

YER ALTI JEOLJİSİ ARAŞTIRMALARINDA VE MADEN ARAMALARINDA JEOFİZİK YÖNTEMLER; JEOLJİK PROBLEME UYGUN JEOFİZİK ARAŞTIRMA YÖNTEMİ SEÇİMİ

Yahya ÇİFTÇİ

Günümüzde yer yüzeyinden itibaren yer kabuğunun derinliklerine doğru çok değişik amaçlarla fiziksel veri toplanmaktadır. Kabuk kalınlığı araştırmalarından petrol/doğal gaz aramacılığına, kimberlit ya da derin yerleşimli maden yataklarının saptanması/boyutlandırılmasına, yer altı suyu/akifer araştırmalarından sığ derinliklerdeki metalik/endüstriyel ham madde, hatta arkeolojik kalıntıların görüntülenmesine kadar çok farklı amaçlarla jeofiziksel veri toplanmakta ve yorumlanmaktadır. Bu "jeolojik problem" çeşitliliği, jeofiziksel araştırma yöntemlerinin de hem çeşitlilik hem de duyarlılık açısından hızla gelişmesini sağlamıştır. Özellikle son yıllarda bilgisayar işlemci teknolojilerindeki olağanüstü gelişmeler, çok büyük hacimli verilerin toplanmasını ve hızla yorumlanabilmesini olanaklı kılmıştır. Bu yazının amacı, yer bilimsel araştırmalarda jeolojik probleme en uygun jeofiziksel araştırma yönteminin belirlenmesini ve birbirini destekleyen yöntemlerin birlikte yorumlanmasının çözümde ne denli önemli olduğunun altını bir kez daha çizmektir.

Öncelikle, başlıca jeofizik araştırma yöntemlerinin genel prensipleri çizelge 1'de özetlenmiştir. Bu tabloda ilgili yöntemin dayandığı fiziksel parametre, bu fiziksel parametrenin birimi, ilgili fiziksel özelliği, anomali kaynağı ve yer yüzeyinden itibaren araştırma derinlikleri hakkında kısa açıklamalar verilmiştir.

Çizelge 2, jeofizik araştırma yöntemlerinin ana prensiplerini, yetersizlik/kısıt ve zorluklarını özetlemektedir. Çizelge 3 ise, başlıca jeolojik problemlerin araştırılmasına yönelik

jeofiziksel yöntem/yöntemler belirlenirken göz önüne alınan faktörleri özetlemektedir.

Yer kabuğu heterojen ve anizotropdur. Bu heterojenite yer kabuğunun ilk oluşumundan itibaren jeolojik tarih boyunca geçirdiği jeotektonik evrimden kaynaklanır. Yer kabuğundaki maden yatakları ve endüstriyel ham maddeler de, yer kabuğunun oluşumundan tamamen farklı jeolojik koşullara bağlı olarak oluştuklarından, aynı zamanda yer kabuğunun anizotropi bölgeleridir. Bu anizotropi bölgeleri, ortalama yer kabuğuna göre farklı fiziksel özellikler sergileyeceğinden aynı zamanda jeofiziksel açıdan "anomali" bölgeleri olarak kendilerini ifade ederler.

Her maden yatağı, oluşum modeli zenginliğine rağmen "kendine özgü"dür, yani bir ya da birkaç parametre açısından "eşsiz"dir. Maden yatağı oluşum modelleri, bu "eşsiz" yataklar arasındaki benzerlikler üzerine kuruludur, araştırma ve yorumlama kolaylığı sağlamak üzere oluşturulurlar. Bu nedenle, aynı tip maden yatakları için belirli bir jeofiziksel araştırma yönteminin "kesinlikle olumlu yanıt vermesi" beklenmemelidir. Nitekim, aşağıdaki tablolar incelendiğinde maden yataklarının belirgin ayırtman özellikleri olduğu gibi, başka fiziksel parametrelerin de yer yer egemen olduğu anlaşılabilir. Bu nedenlerle, maden yatağı araştırmalarında herhangi bir parametreye (yoğunluk, elektrik iletkenliği, manyetik, süseptibilite vb.) göre seçilmiş tek bir jeofizik araştırma yöntemi çoğunlukla yeterli olmaz. Bu yöntemi destekleyen diğer bir ya da daha fazla jeofizik araştırma yöntemi ile birlikte değerlendirilerek karar verilmesi çok daha gerçeğe yakın yorumlar yapılmasını sağlar. Bu yorumlama sonrasında yürütülecek doğrudan jeolojik araştırmalar, ön jeolojik ve jeofizik modeli doğrulayabilir veya yanlışlayabilir. Doğrudan jeolojik veri arttıkça söz konusu jeoloji/jeofizik modeller yeniden gözden geçirilerek maden yatağının oluşum modeli olgunlaştırılır.

* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Maden Etüt ve Arama Dairesi - ANKARA

Çizelge 1- Jeofizik araştırma yöntemlerinin genel özelliklikleri.

YÖNTEM	Ölçülen fiziksel parametre	Birimi	İlgili fiziksel özellik	Anomali kaynağı	Araştırma derinliği
GRAVİTE	Yer çekim alanının toplam gücü	Gal, miligal	yoğunluk	Yoğunluk farklılıkları	Tüm derinlikler
MANİYETİK	Yer çekim alanının gradyenti Yer manyetik alanının toplam gücü	Eötvös (10^9 gal/cm) Nanotesla veya gama	Manyetik süseptibilite ve kalıntı manyetizasyon	Manyetik süseptibilite ve (veya) kalıntı manyetizasyon kontrasti	Yüzeiden Cürte izd emine kadar olan derinlikler
GAMA-RAY SCINTİLOMETRE	Yer manyetik alanının gradyenti Gelen Gama-ışını fotonlarının miktan	Nanotesla/gama Miktar/saniye	“	“	“
GAMA-RAY SPEKTROMETRE	Gelen Gama-ışını fotonlarının miktan ve bunların enerji düzeyi	Spektral bölgede Miktar/saniye Kalibre edilmişse %K, ppm U ve Th	K+U,Th atomlarının ve izotoplarının miktan	Yüzeiden 50 cm'lik kesimdeki K+U,Th kontrasti	Yüzeiden 50 cm
SİSİMİK KIRILMA	Sismik enerjinin vanş (Seyahat) zamanı	Metre, milisaniye	P veya S dalgası hızı	Tabakalar arasındaki hız /yapı farkı	Tüm derinlikler
SİSİMİK YANSIMA	Sismik enerjinin vanş (Seyahat) zamanı	Metre, milisaniye	P veya S dalgası hızı	Tabakalar arasındaki hız /yapı farkı	Tüm derinlikler
TERMAL SONDAJ YA DA SİĞ SONDAJ ELEKTRİK	Termal gradient veya sıcaklık	°C/m, °C	Termal il etkenlik	Termal akış veya konduktivite değişimleri	Kuyu derinliği
(DOĞRUDAN GÖRÜNÜR REZİSTİVİTE) Mİse-a-la-masse	Elektrod pozisyonu (m), uygulanan akım (A) ve elektrik alanı (mV)	Metre, amps, milivolt; (Ohm-m)	rezistivite	Rezistivitedeki yanal ve düşey değişimler	Yaklaşık 2 km
INDUCED POLARISATION (IP)	DC veya düşük frekanslı AC alanı uygulanır Rezistivite değişimi w/frekans (PFE)	milivolt Yüsd e değişim	rezistivite	iletken kütle	Birkaç yüz metre
SELF POTENTIAL (SP)	Doğal yakın-statik elektrik alanı (doğru akım)	milivolt	iyonik polarizasyon girişimi	Sülfürü metalik mineraller ve gözene k suyu	Yaklaşık 2 km
ELEKTROMANYETİK (MT, AMT, CSAMT)	Yö rteme bağılı olarak uygulanan elektrik ya da manyetik alanın ölçüm değeri	Empedans (Ohms) ya da boyutsuz oran değeri, il etkenlik birimi (Seimens/m) ya da rezistivite (Ohm-m) Sayısal ya da optik yoğunluk görüntüsü olarak kaydedilir	Elt/pH elektronik il etken il etkenlik (rezistivite'nin ters)	Elt/pH ta ki yanal/düşey değişimler Yer il etkenliğindeki yanal ya da düşey değişimler	Birkaç yüz metre Sığ (10m: VLF; 100 m, kontrollü kaynak) Orta derinlik: 1 km; AMT Derin (10 km; MT)
UZAKTAN ALGILAMA	Yansıyan radyasyon yoğunluğu (UV, VIS, IR)	Spektral yansıma, Albedo	Spektral yansıma, Albedo	Spektral yansıma ve Albedo değerindeki değişimler	Sadece yüzey

Çizelge 2- Jeofizik araştırma yöntemlerinin ana prensipleri, yetersizlik ve zorlukları (Kaynak: www.microgeo.com)

YÖNTEM ADI VE KODU	YÖNTEMİN ANA PRENSİPLERİ	YÖNTEMİN YETERSİZLİKLERİ VE ZORLUKLARI
DC REZİSTİVİTE (M-3)*	Yere, iki elektrod aracılığı ile (akım elektrodları) akım verilir. Yüzeyle ilgili voltaj değeri (potansiyel elektrodlar aracılığı ile) ölçülerek söz konusu elektrik akımının yer altındaki yönü ve şiddeti ortaya konur. Bu veriler, yer altındaki jeolojik ortamların toplam direnç (mekanik) adı altında yorumlanarak yer elektrik kesitleri ve/veya modelleri üretilir.	Yaygın olan yorum, tek boyutludur (DES). Bu verilerden üretilen DES enine kesitlerinin duyarlılığı, nokta aralığına bağlıdır. Son yıllarda iki boyutlu yer elektrik kesitleri (çok kanallı) giderek yaygınlaşmaktadır.
DOĞAL POTANSİYEL (SP) (M-10)	Yer yüzeyinde iki nokta arasında doğal bir gerilim farkı vardır. Bu gerilim farkı, ortamın gözeneklerinde dolaşan YAS'dan kaynaklanabileceği gibi, yer altındaki jeolojik ortamın porozite değişimlerinden, veya değişik metal ya da jeolojik malzemenin bulunmasından, ya da pil etkisi gösteren metallerin bulunmasından kaynaklanabilir.	Gömülü metal objelerden kaynaklanan keskin rezistivite değişimleri ya da iki-üç boyutlu etkiler not edilmelidir. Özellikle yüksek enlemlerdeki tellürik gücü ayrıca kaydedilmelidir.
İNDÜKLENMİŞ POLARİZASYON (IP) (M-16)	Yere, zamana bağlı ölçüm yapabilen bir prob yerleştirilir. Akım elektrodları ile yere belirli bir akım verilir ve bu akımın zamana bağlı değişimleri kaydedilerek yerin IP ETKİSİ (şarjabilite) analiz edilir. Bu etkinin etken frekansı 1 ila 3 Hz dolayındadır.	Jeolojide ekonomik olmayan mineraller daha yaygındır. Özellikle, sahte altın olarak ünlenmiş olan pirit, ekonomik öneme sahip minerallerin yanında yaygınca bulunur. İletken alanlarda elektromanyetik çiftlenme (coupling) büyük bir sorundur. Bu yöntemi uygularken deneyimli maden jeologlarının danışmanlığı gerekir.
JEOLOJİK YAPILAR İÇİN ELEKTROMANYETİK (M-4)	Yer yüzeyinde güçlü bir alternatif elektromanyetik alan yaratılır ve bu alan jeolojik nesnelerin etrafını sarar. Yer yüzeyinden iletkenlik değeri (görünür rezistivite ile eşleştirilebilir) ile birbirine yakın jeolojik objeler için ortalama iletkenlik değerleri ölçülür ve farklar harıtanılır.	Her jeolojik ortamın elektrik iletkenlik değeri farklı olmakla birlikte, homojen olmasa da belirli değer aralıkları belirli jeolojik ortamlar için standart kabul edilebilir. Değişim oranı belirli bir düzeyin üzerinde olduğunda bu yeni değer aralığının başka bir jeolojik ortamı temsil ettiği kabul edilir. Bu farklılık, sondaj verileri ile de atanabilir. Böylelikle, derinlik verisi de varsa, belirli jeolojik ortamların yanıt ve düşey yöndeki değişimleri modellenilebilir.
METAL DEDEKSİYONU İÇİN ELEKTROMANYETİK (M-5)	Yer yüzeyinde dolaştırılan bir bobin aracılığıyla güçlü bir elektromanyetik alan yaratılır. Elektromanyetik alan değişimleri kaydedilerek bu alansal geometri belirlenir ve modellenir.	Uygulama derinliği kısıtlıdır. Çevre gücünden çok etkilenir. Yüzeyle ilgili objelerin etkileri ile hedef derinlikteki objelerin etkilerini birbirinden ayırmak zordur.

Çizelge 2- devamı

YER RADARI (M-12)	Bir verici ile yer altına elektromanyetik dalga gönderilir. Yer altında ilerleyen elektromanyetik dalgalar farklı jeolojik ortam sınırlarından geri yansır ve bu yansımalar kaydedilir. Dalga-nın seyahat süresi göz önüne alınarak yansıma yüzeyinin geometrisi yorumlanır.	Yüzeyle kil, tuzlu su ya da ince daneli kırıntıların bulun-ması elektromanyetik dalganın emilmesine yol açar ve dalgalar hızla sönmüştür; derine ulaşamaz. Veriler yüzey-den enine kesit formatında toplanır (zaman/uzaklık) ve hat doğrultusu jeolojik yapıya dik seçilmemiş ise yanlışçı sin-yaller kaydedilebilir. Zaman ekseni, yaklaşık bir hız fonk-siyonu kullanılarak derinliğe dönüştürülür. Ham veri, üze-rinde önemli oranda veri işleme yapılmadan kullanılmaz.
KONUM BELİRLEYİCİ-LER (M-13)	Bir kızığa monte edilmiş alıcı ve vericiden oluşur. Yer rada-rına göre çok daha düşük frekans aralığında ve yüzeyden belirli bir yükseklikte, paralel ve kesişen hatlar üzerinde yer altındaki elektromanyetik değişimlerin kaydedilmesi ve gö-mülü nesnelere kaynaklanan etkilerin belirlenerek, belirli derinlikler için elektromanyetik değişim haritaları oluşturulma-sı esasına dayanır.	Yer altındaki gömülü nesne yoğunluğu çok sayıda dene-me yapılmasına neden olabilir. Plastik (PVC) ya da fiberg-las nesnelere duyarlı değildir.
KUYU JEOFİZİĞİ (M-14)	Kuyu içinde amaca uygun 50'den fazla log üretilebilir (akus-tik, elektrik, radyometrik, gravite, manyetik, yoğunluk, poro-zite, v.b.).	En önemli sorun, kuyu cidarının borulanmadan, aşırı sökülme olmadan, ölçüme uygun halde bir süre tutula-bilmesi, aletlerin kalibrasyonu ve deneyimli teknik ekip tarafından uygulanmasıdır. Operasyon esnasındaki ola-sı prob sıkışmaları nedeniyle yüksek kapasiteli kurtarma ekipmanının hazır tutulması gerekir.
TERMAL GRADYENT (M-15)	Günlük sıcaklık değişim aralığının altındaki sıcaklıklara ula-şan bir kuyu açılır. Bir borunun içi su doldurularak kuyuya yerleştirilir ve kuyu kapatılır. Stabilizasyon sağlandığında, ka-libre edilmiş bir prob bu boru içinde hareket ettirilerek derinlik/ sıcaklık fonksiyonu hesaplanır.	Probon yüksek sıcaklıklara (150-200 °C) kalibre edilmesi genellikle çok zordur. Su girişimi, sondaj sorunları, kuyu stabilizasyonu gibi sorunlar yaşanabilir. Ayrıca, jeolojik medya içindeki konveksiyon da sorun olabilir.
GRAVİTE (M-6)	Yer yüzeyindeki yer çekim alanı, yer altındaki yoğunluk de-ğişimlerine duyarlıdır. Yanal yöndeki yoğunluk değişimleri ölçülür ve yorumlanır. Bu değişimler, jeolojik yapı açısından modellenir.	Ham ölçüler doğrudan kullanılmaz, çok sayıda ve ayrı-n-tılı düzeltme işlemlerinin uygulanması gerekir.
MANYETİK (M-11)	Yer manyetik alanı, demir minerallerinin bol olduğu ortamlar-da ikinci bir manyetik alanın oluşumunu sağlar. Yer altındaki her türlü jeolojik ortam, süseptibilite değerlerine bağlı olarak bu değişimleri yansıtır ancak, demir mineralinin bol olduğu kesimlerde bu değişim kolaylıkla saptanacak kadar şiddet-lidir.	Yer manyetik alanındaki manyetik fırtınalar, indüklenen ikincil manyetik alanlarda hızlı değişimlere neden olabi-lir. Çevrede bulunan her türlü manyetik özellik gösteren cisimden etkilenir. Ölçümleme anı ve lokasyonu ile ilgili düzeltmeler uygulanmadan ham veri kullanılmaz.

Çizelge 2- devamı

SİSMİK YANSIMA (M-2)	Yer yüzeyindeki (ya da kuyu içindeki) bir enerji kaynağından üretilen şok dalgası yer altında yayılır. Akustik öz direnç farkı belirli bir oranın üzerindeki jeolojik yüzeylerden yansıyan bu dalga, yer yüzeyindeki bir jeofon dizisi tarafından tekrar kaydedilir. Alınan bu kayıtların veri işlemi sonucunda söz konusu jeolojik ara yüzeylerin ve bu ara yüzeyler arasında kalan jeolojik ortamın uzamsal konumları ve fiziksel özellikleri belirlenir. Bu yolla yer altının yapısal ve stratigrafik modeli yorumlanır.	Yüzyeden itibaren ilk birkaç yüz metrelik derinlikler için yüksek çözüme gücüne sahip sismik kesitler üretmek zordur. Bu kesim, ortam gürtütüsünden çok etkilidir. Bu nedenle, jeolojik ortamdan kaynaklanmayan sinyallerin, saçılmaların ve katlanmaların veriden ayıklanması büyük bir dikkat gerektirir.
KUYU İÇİ SİSMİĞİ (M-7)	Özel olarak açılmış iki adet kuyudan birine üç bileşenli jeofon dizisi indirilir, diğere ise enerji kaynağı indirilir. İki kuyu arasında kalan formasyonun P ve S dalga hızları, iki yönde de kaydedilerek bu jeolojik ortamın sismik kesiti elde edilir ve yorumlanır.	Kuyunun eğimli olması ve bu eğimin bilinmemesi, bu tekniği anlamsız kılabilir. Kuyuda takım kesilmesi, kuyucuların sökülmesi, formasyonun yıkanması gibi sorunlar veri kalitesini önemli ölçüde etkiler. Kuyular arası mesafenin fazla olduğu durumlarda, iyi tabakalı yüksek hız zonları, asil ilgililenen düşük hız zonlarını maskeleyebilir.
SİSMİK KIRILMA (M-1)	Bir enerji kaynağından üretilen şok dalgaları yer altında ilerler ve belirli jeolojik yüzeylerde (ortamın yoğunluğu değiştiğinden) yayılma hızı değişir. Bu ara yüzeyden itibaren dalganın bir kısmı ilerleyerek yayılmaya devam eder, bir kısmı da geriye yansır. Böylelikle söz konusu ara yüzeyin derinlik bilgisi ile bu yüzeyin üstünde kalan jeolojik ortamın sismik hız bilgisi kaydedilir. Yöntem, derinlik arttıkça yoğunluğun da artacağı bir fiziksel kabule dayanır.	Yüksek hızlı bir seviyeden sonraki veya bu seviyenin içindeki düşük hız zonlarının saptanması zordur.
KESME DALGASI (S-WAVE) SİSMİK KIRILMA (M-8)	Bu yöntem, M-1 yöntemi ile aynı ilkeye dayanır ancak burada ölçülen, yer yüzeyine paralel yayılan S dalgasıdır. Bu nedenle, hem enerji kaynağı hem de alıcılar, bu düzene uygun olarak dizayn edilir.	Yüksek hız zonu içindeki düşük hız tabakaları saptanamaz. Bu dalgalar suda yayılmadığı için YAS araştırmalarında kullanılamaz.
YÜZEY DALGA ANALİZİ (SASW ya da MASW) (M-9)	Bir enerji kaynağı ile üretilen enerji, okyanus dalgalarına benzer şekilde yer yüzeyinde ilerler. Birkaç alıcı ile bu dalgaların faz hızları ve frekansları ölçülerek enerji düzeyleri saptanır. Ölçüm noktasının altında kalan jeolojik ortamın derinliği ile mekanik özellikleri. (s- dalga hızları) ölçümlenir. Eğer iki boyutlu veri elde etmek gerekiyorsa aktif jeofonlar yüzeyde kaydırılarak s- dalga hızı sismik hız kesiti elde edilir.	İlgilenilen derinliğe bağlı olarak yanal yöndeki değişimlere son derece duyarlıdır. Hızların seçilmesinde yapılar göz ardı edildiğinden yorumlamada bazı boşluklar olabilir. Yüksek hızlı sinyallerde girişimler olabilir.
UZUN SÜRELİ SİSMİK İZLEME (Monitoring) (M-17)	Sürekli sismik kayıt alan sismik istasyonlar kurulur. Her türlü etkiden kaynaklanan sismik izler (deprem, patlatma, vibrasyon, v.b.) analiz edilir.	En önemli dezavantaj, küçük sarsıntıların kaçırılmadan kaydedilebileceği yoğunlukta istasyon ağı oluşturma güçlüğü ya da bu istasyonların bakımlarının aksamasıdır.

*M1-17 kodları, Microgeo şirketinin iş paketi kodlarıdır ve ilgili web sayfasında konu başlıklarına kolayca ulaşım sağlar.

Çizelge 3- Jeolojik probleme uygun jeofiziksel yöntemin belirlenmesi (Kaynak: www.microgeo.com)

Jeolojik Problem	Problemin tanımı	Önerilen jeofizik araştırma yöntemi	Açıklama
Temel kaya derinliği	Ana kayanın yüzeyden derinliği ne kadardır? Bu ana kayaya kadar olan zonun elektriksel özellikleri nelerdir? YAS tablası derinliği nedir? Ayrışma zonu veya fay zonu kalınlığı ne kadardır?	İyi Yöntem: Jeolojik yapıya yönelik elektromanyetik (M-4); DC-Rezistivite (M-3) En İyi Yöntem: Sismik kırılma (M-1)* Destekleyici yöntem: Gravite (M-6)	Plaser yataklar veya ayrışma zonu kalınlığı araştırmaları açısından önemlidir.
Elastik özellikler	Elastisite sabiti ya da Young Modülü, kesme modülü, bulk modülü ve Poisson oranının yerinde değeri nedir? Alüvyon'un dayanımı nedir? Kayanın dayanımı nedir? Yer altındaki herhangi bir tabakanın S-dalga ve P-dalga hızları nedir? Sıvılaştırma tehlikesi var mıdır?	İyi Yöntem: Yüzey dalga Analizi (M-9) Daha İyi Yöntem: P ve S dalga Kırılım (M-2) En İyi Yöntem: Kuyu içi sismikliği (M-7)	Porfirli sistemlerde veya ağsallı damar, kırık- çatlak-fay kontrollü yataklarlarda ortamın yoğunluğu ile kayanın elastik özellikleri arasında ilişki vardır.
Litolojik Tanımlama	Yer altında örtülü bulunan kayacın cinsi nedir? Bu kavaçlar yanal yönde nasıl değişim sunmaktadır? Maden işletmesini nereye konuşturmalıyım?	İyi Yöntem: IP (M-16) Daha İyi Yöntem: Sismik yansıma (M-2) En İyi Yöntem: Kuyu Loglaması (M-14)** Destek Yöntemleri: DC-Rezistivite (M-3) ve Sismik kırılma (M-1)	Maden yatağının içinde bulunduğu kaya doğrudan belirlenemiyorsa bu seviyenin, altında ya da üstünde bulunan litolojilerin yanal kontrollü dolaylı bir kontrol sağlanabilir.
Stratigrafi	Jeolojik yapı nedir? Tabaka eğimi ne yöndedir? Kuyu lokasyonunu nereye vermeliyim? Formasyon sınırları hangi derinliklerdedir? Fayların konumu nedir? Kıvrım yapılarının konumları nedir? Petrol nerede aranmalıdır?	İyi Yöntem: DC-Rezistivite (M-3) Daha İyi Yöntem: Sismik kırılma (M-1) En İyi Yöntem: Sismik yansıma (M-2) Destek Yöntemi: Yer Radarı (GPR) (M-12)	Özellikle stratigrafik kontrollü madden yataklarının araştırılmasında belirli kılavuz seviyelerinin belirlenip haritalanmasını kolaylaştırır.
Yoğunluk değişimleri	Kayacın yoğunluğu nedir? Stratigrafideki yoğunluk değişimleri, düşük/yüksek yoğunluklu kesimler nerededir? Yoğunluk değişiminin dağılımı nasıldır? Fayların veya kapanmış maden galerilerinin havalanma bacalarının konumları nerededir? Çökme yapıları veya yer altı boşluklarını nasıl saptayabiliriz? Kuyudaki gaz nere-	İyi Yöntem: Yer Radarı (M-12) Daha İyi Yöntem: Sismik kırılma (M-1) En İyi Yöntem: Gravite (M-6)	Diseminasyon ve stokwork yapıları madden yataklarında cevherleşme olan/olmayan kesimler ile cevher tenörü değişimleri kayacın yoğunluğunda değişimlere yol açar. Bu değişimler, belirli duyarlılık aralıkları için saptanabilir ve haritalanabilir.

Çizelge 3- devamı

Yer altı sıcaklığı	Sıcaklığın derinlikle değişimi nedir? Yer altındaki ısı akısı yüzeyde nasıl dağılıyor? Jeotermal kaynak nerededir? Kuyuyu ve enerji santralini nereye planlamalıyım?	İyi Yöntem: DC-Rezistivite (M-3) En İyi Yöntem: Termal Gradyent (M-15)	Gerek jeotermal amaçlı araştırmalarda gerekse genç volkanik sahalardaki hidrotermal aktivitenin bulunduğu zonların belirlenmesinde önemlidir.
Permeabilite değişimleri	Kayacın permeabilitesi nedir? Yer altı suyunun hareket yönü (hidrolik eğimi) nedir? YAS üretim kuyusunu nereye açmalıyım? YAS üretimi açısından verimli seviyeler hangileridir?	İyi Yöntem: DC-Rezistivite (M-3) En İyi Yöntem: Kuyu Logu Yöntemleri (M-14)***	Maden işletmelerinde YAS sorunlarının boyutlandırılmasında, deşarj parametrelerinin belirlenmesinde önemli olabilir.
Kazılabilirlik	Ana kayanın dayanımı nedir? Riperleme ya da dinamit kullanmam gereken kesimler neresidir?	İyi Yöntem: Yer Radarı (M-12) Daha İyi Yöntem: Kuyu içi sismği (M-6) En İyi Yöntem: Sismik Kırılma (M-1) Destek yöntemi: Sismik yansıma (M-2)	Açık ocak işletmeciliğinde dekapaj ya da kazı ile üretilecek cevher zonuunun belirlenmesi önemlidir.
Faylar	Fay var mıdır? Varsa nerededir? Atım yönü nedir? Fay zonu genişliği ne kadardır? Bu fay hangisidir?	İyi Yöntem: DC-Rezistivite (M-3) Daha İyi Yöntem: Sismik yansıma (M-2) En İyi Yöntem: Sismik Kırılma (M-1)	Yapı kontrollü maden yataklarında cevherli zonu etkileyen, kesen ve öteleyen fay yapılarının ve geometriilerinin belirlenmesi açısından önemlidir.
Mağaralar, Yer altı Boşlukları	Mağara nerededir? Enjeksiyon dolgu yikanmış mıdır? Yer altı boşluğunu nasıl saptarım? Binalar neden çöküyor?	İyi Yöntem: DC-Rezistivite (M-3) Daha İyi Yöntem: Kuyu içi sismği (M-7) En İyi Yöntem: Yer Radarı (M-12) Destek Yöntemleri: SP (M-10) ve Gravite (M-6)	Karstik oluşumlu maden yataklarında karstlaşma bölgeleri ile karstların dolgu/boş olma durumlarının belirlenmesi açısından önemlidir.
Masif Sülfür Araştırmaları	Maden yatağının konumu nedir? Sondaj hedefleri nerededir ve bunların öncelik sırası nedir? Maden yatağının boyutları ve şekli nedir? Birden kesilen cevher gövdesi nerededir?	İyi Yöntem: Manyetik (M-11) Daha İyi Yöntem: DC Rezistivite (M-3) En İyi Yöntem: Jeolojik yapıya yönelik elektromanyetik (M-4) Destek Yöntem: Gravite (M-6)	Özellikle örtülü alanlarda yürütülen prospeksiyonlarda zaman ve ekonomi sağlar, jeolojik yapının ve cevherleşmenin modellenmesi daha kısa sürede ve daha sağlıklı olarak yapılabilir.
Dissemine Sülfürler	Maden yatağı nerededir? Piriftçe zengin kesimler nerededir? Verimsiz zonların konumları nedir? Sülfürce en zengin kesimler nerededir? Bu maden yatağı ekonomik midir?	İyi Yöntem: DC-Rezistivite (M-3) En İyi Yöntem: IP (M-16) Destek Yöntemleri: Gravite (M-6) ve Manyetik (M-11)	Mineralizasyon zonlarının haritalanması ve doğru sondaj hedeflerinin belirlenmesini olanaklı kılar.

Çizelge 3- devamı

Eski Madencilik yapıları	Eski maden nerededir? Havalandırma bacalarının konumları nelerdedir? Tasman potansiyeli olan alanlar veya devam eden tasmanlar nelerdedir? Üretim odaları (katlar) nerededir? Topuklar nerededir? İş makinası neden birden birkaç metre çöktü?	İyi Yöntem: Gravite (M-6) Daha İyi Yöntem: Yer Radarı (M-12) En İyi Yöntem: Sismik Yansıma (M-2)	Yeraltı kazı haritalarının kat kat ortaya konması bu kesimlerde potansiyel çökme alanlarının belirlenmesinde etkili bir veri sağlar.
Dolgu alanlarının sınırları	Atık havuzları nerededir? Dolgu alanı sınırları nerededir? Sızıntılar ne yöne gidiyor? Dolguda büyük metalik nesnelere var mı ve nerededir? Kontrol edilebilir için ne kadar kazı yapılmalı?	İyi Yöntem: DC-Rezistivite (M-3) Daha İyi Yöntem: Manyetik (M-11) En İyi Yöntem: Metal Saptama Amaçlı Elektromanyetik (M-5)	Kapanmış maden işletmelerinde çevre kontrolü açısından etkili ve hızlı çalışmayı sağlar.
Radyometrik Maden Yatakları	Uranium yatağının konumu nedir? Radyometrik minerallerin bulunduğu boşluklar nelerdedir? Maden yatağını kontrol eden fayların konumu nedir?	İyi Yöntem: DC-Rezistivite (M-3) Daha İyi Yöntem: Sismik Kırılma (M-1) En İyi Yöntem: Kuyu Logu Yöntemleri (M-14)	Kuyu logu yöntemleri (Gama-ray, Rezistivite, vb.) doğrudan radyometrik minerale yönelik etkili bir çalışma yöntemidir.

(*jeofizik araştırma yöntemleri çizelge 1 ve 2'de özetlenmiştir. (<http://www.microgeo.com>; Yukarıda verilen çizelgelerdeki jeofizik yöntemlerin tanım ve açıklamaları ilgili internet sitesinden sadeleştirilerek alınmıştır.))

**Bir maden yatağı prospeksiyonunda çevre gövdesinin jeolojik modelinin oluşturulması için genellikle tek yöntem yeterli olmaz. Bunun için, derinlik boyutunda bilgi veren, birden fazla ve birbirini destekleyen jeofizik araştırma yöntemlerinin uygulanması önerilir.

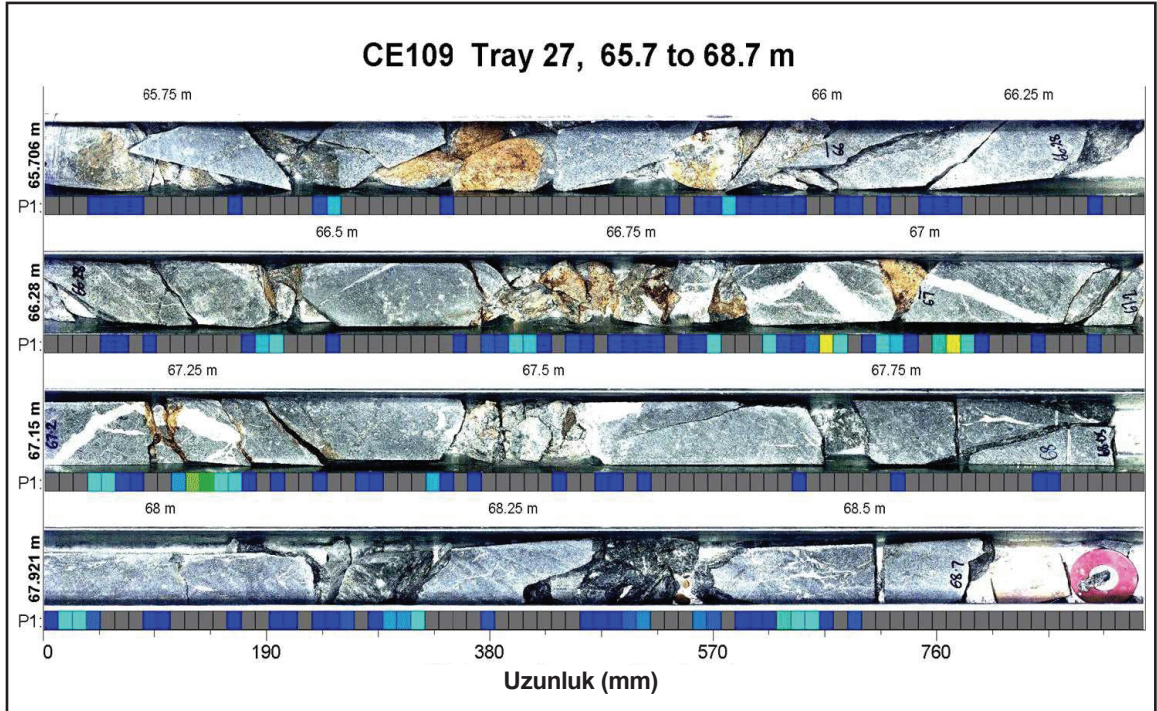
***Kuyu logu: Maden yatağı araştırmalarında üzerinde fazla durulmayan bir jeofiziksel araştırma yöntemidir. Bu yöntemde kullanılan probun özelliğine bağlı olarak metreden birkaç cm aralığına kadar yer altının fiziksel değişimleri çok hassas bir şekilde belirlenebilir. Kuyu başında karotlar üzerinde yürütülen tanımlama çalışmaları, karot veriminin düşüklüğü ve/veya tanımlamayı yapan jeoloğun mesleksel birikiminin yeterli olmaması gibi nedenlerle değişikler ve aynı bölge için bile belirli bir standardı sağlayamayabilir. Oysa kuyu logu ölçümü, uluslararası standartlarda olmak üzere herhangi bir fiziksel değişimi (elektrik iletkenliği, porozite, yoğunluk, sismik hız, radyoaktif ışınma kapasitesi, öz direnç, vb.) yüksek çözünürlüklü olarak kaydetme işlemidir ve karot kaybı olan aralıkların da kayıt altına alınmasını sağlar. Bu yönüyle kuyu logu, bu noktadaki jeolojik formasyonların derine doğru fiziksel kimlik belgeleridir. Söz konusu sayısal kayıtların saklanması, paylaşımı ve korelasyonları da çok daha kolay, sağlıklıdır ve güvenlidir. Karotların zaman içinde korozyonu, nakliye ve depolama sırasındaki deformasyon veya kayıpları bu sayısal veriler için geçerli değildir. Söz konusu sayısal veriler uluslararası açık ve yorum farklılıkları, veri kalitesine ve sıklığına bağlı olacaktır.

Yukarıdaki jeofiziksel yöntemlere son yıllarda hızla yaygınlaşan spektrometrik loglama yöntemi de eklenmelidir. Kuyu logu yönteminden farklı olarak bu yöntem karotlar üzerinde yürütülür ve karotun spektrometrik olarak birkaç cm'de bir çözünürlükte taranmasına dayanır. Bu yöntem kompleks fillosilikat alterasyonu üyelerinin ayırtılmasında (fillosilikat, amfibol, karbonat, sülfat, demir-oksit ve termal infra-red donanımı eklendiğinde kuvars, feldspat, granat, olivin ve piroksen) kullanılmakta olup özellikle porfiri sistemlerdeki alterasyon kuşaklarının kuyu başında hızla belirlenmesini ve sayısal korelasyonu sağlamaktadır (Holiday ve Cooke, 2007). (Şekil 1).

DEĞİNİLEN BELGELER

Holliday, J. R. ve Cooke, D. R., 2007. Advances in Geological Models and Exploration Methods for Copper ± Gold Porphyry Deposits, In "Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration" edited by B. Milkereit, 2007, p. 791-809

<http://www.microgeo.com>



Şekil 1- Karotlar üzerinde, sandıktan çıkarmadan ve temas etmeden kaydedilen spektrometre logu örneği (karbonat miktarı griden kırmızıya doğru artar, Holiday ve Cooke, 2007).