

# Jeofizik Sondaj Kuyu Loglarının Kömür Aramalarında Kullanımı



**Hakan Arden**

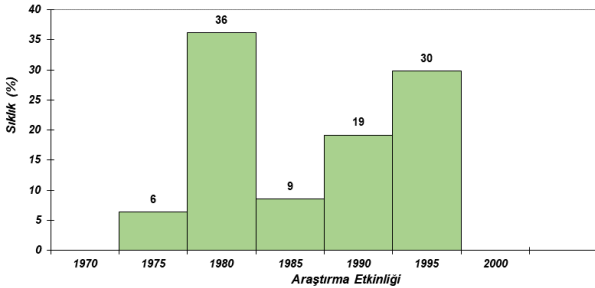
Uzman Jeoloji Müh./Proje Müdürü  
DMT İngiltere  
Hakan.Arden@dm-t-group.com

**Ulrich Ruppel**

Madencilik Danışmanlık Departmanı Başkanı  
Yardımcısı, DMT Almanya  
Ulrich.Ruppel@dm-t-group.com

Jeofizik kuyu logları (bazen buna kablolu loglama da denir) kömür aramalarında, kömür katmanlarının belirlenmesi için hali hazırda dünyanın her yerinde kullanılmaktadır. Kömür arama programlarında jeofizik logların kullanımı günümüzde rutin bir hal almış olsa da, aslında petrol endüstrisi bu yöntemi çok daha önceden beri, neredeyse yüz yıldır kullanmaktadır.

Örneğin bu makalenin birinci yazarı tarafından 1990'ların sonunda yapılmış olan bir literatür araştırması (Şekil 1), jeofizik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen kömür kalitesini belirleme çalışmalarının, özellikle yetmişli yılların sonu ile seksenli yılların başında gerçekleştiğini göstermektedir. Kullanımın zirve yaptığı ikinci bir dönem ise seksenlerin sonu ile doksanların başında gerçekleşmiştir. Yetmişli yıllarda gerçekleşen yoğun etkinlikler, yüksek petrol fiyatları ile bağlantılı olabilirken, doksanlı yıllardaki ikinci zirve dönemi, kömür yatağı metanı gibi alternatif yakıt kaynaklarına getirilen vergi indirimleriyle ilgilidir.



Şekil 1. 1970-1998 yılları arasında jeofizik loglardan kömür kalitesinin belirlenmesiyle ilgili araştırma etkinliği (Kahraman, 1997)

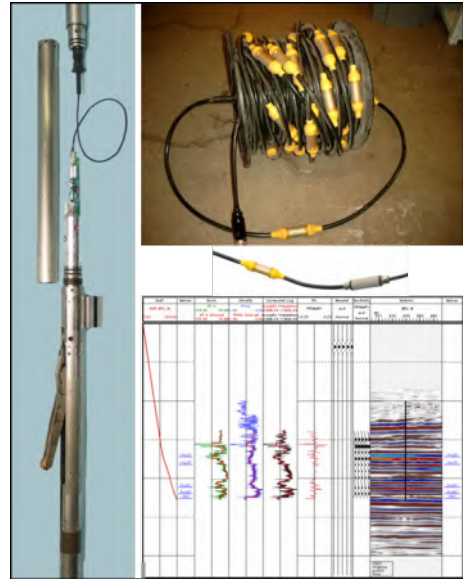
Jeofizik loglama, "sonda" adı verilen çeşitli jeofizik aygıtlar ile kuyu içindeki kayaların fiziksel özelliklerini ölçerek sondaj kuyularının araştırılmasıdır. Ölçümler, sondanın tel bir kablunun ucuna bağlanarak sondaj kuyusunun dibine indirilmesinin ardından, sondayı sabit bir hızda kuyudan geri yukarı çıkartılması sırasında istifteki kaya tabakalarından gelen sinyalleri kaydederek gerçekleştirilir (Şekil 2).

Bir keşif programını planlarken, programda sondaj kuyusu jeofizik loglarının kullanımı, çok pahalı mal olabilecek hataları önleyebileceği için jeofizik logların kullanımını ve arama bütçesinin içindeki maliyetini, bir şekilde makul hale getirecektir.

Logların kullanışlılığı uzun süredir uygulayıcılar tarafından bilindiği için, bu eşsiz araçlar dünya kömür endüstrisine yarar sağlamaktadır.

Bu yararlar, problem çözme alanlarını da kapsamaktadır, özellikle de jeofizik loglama araçlarının, yüksek çözünürlüklü sismik ve zemin manyetik araştırmaları ile birleşimi sayesinde hem açık maden ocağı hem de yer altı madenciliği sınırlarını belirleme konusuna ciddi bir katkısı vardır. Yer altı madenciliğinde, kömür katman içi sismik metodu madencilik alanlarının oryantasyonunun planlanmasında ve özellikle uzun ayak panellerinin konumlandırılmasında da kullanılabilir.

Günümüzdeki büyük madencilikle tanınan ülkelerde (Avustralya, Kanada, ABD, Rusya ve Çin) gerçekleştirilen kömür aramalarında, özellikle kömür katmanı gibi bir sondajda kesilen litolojileri tanımlamada yardımcı olması nedeniyle, rutin olarak kuyu sondajlaması ve sonda kuyusu jeofizik loglaması yapılmaktadır.



Şekil 2. Bazı jeofizik loglama araçları ve işlemeden sonra elde edilen veriler

Hammaddeden bağımsız olarak, jeofizik loglamadaki asıl amaç, yerinde kaya tiplerini ve sondaj kuyularında kesilen tortul ve magmatik kayaları tanımlamaya yardımcı olabilecek gözeneklilik ve sıvı içeriği gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemektir.

Tipik bir kömür arama programı, tavan ve taban derinlikleri doğru bir şekilde tanımlanmış ve dolayısıyla kömür

katman kalınlığı hesaplanmış, aynı zamanda da ara kesme yerleri gibi katman morfolojik özellikleri belirlenmiş olan kömür damarlarının kimliği hakkında bilgi toplamayı amaçlar.

Ek olarak, bu programlar, faylanma, çatlak ve eklemeler, erozyonel kalıntılar ve kalın kumtaşları ile katmanlar arasına giren magmatik kayalar gibi jeolojik özelliklerin yanı sıra, gaz özellikleri de dahil olmak üzere kömür katmanları içindeki kalite farklılıklarını ölçmeyi ve tanımlamayı amaçlamaktadır. Arama programları, hidrojeolojik ve jeoteknik özelliklerin belirlenmesi gibi diğer alanları da içerebilir.

Bu farklı alanlardan gelen tüm veriler bir araya toplandıktan sonra, jeolojik bir veri tabanına yerleştirilebilir ve böylece kömür kalitesi ve jeoteknik özelliklerin yanı sıra, jeolojik kayıplarla birlikte kömür kaynakları ve rezervlerinin tahmini de yapılabilir. Sonuç olarak, bu bilgiler daha sonra maden planlama programına da kabul edilebilir.

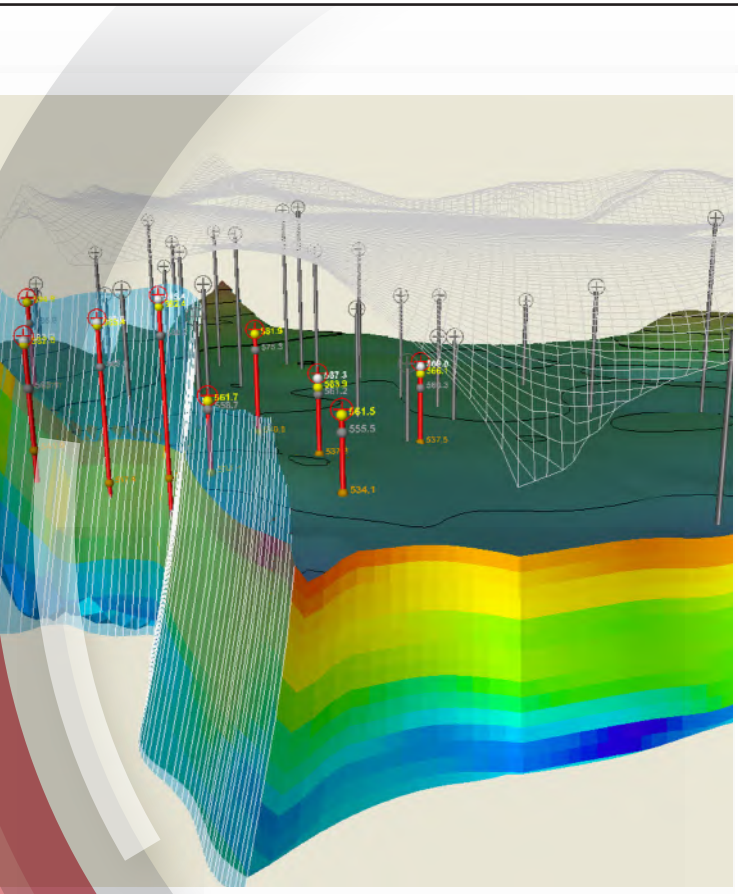
Geleneksel sondaj kuyusu açma ve karot/çip loglama yöntemi hala programların vazgeçilmez bir parçası olabilmese karşın, jeofizik sondaj kuyusu loglaması da, araştırmalarda bazı kritik araçları kullanarak kömür istiflerinin genel yorumuna da önemli ölçüde katkı sağlayabilir. Kömür aramalarında en yararlı loglar, gama ışını, yoğunluk, nötron, kaliper, sonik ve rezistivitedir. Bunlardan, ilk ikisi (gama ışını ve yoğunluk)

genellikle kömür düzeylerini ve kömür istiflerindeki diğer genel kaya tiplerini tanımlamak için yeterlidir ve bu yüzden de, karotlama yapılmamış kuyularda ve kalınlığın karot uzunluğu kullanılarak güvenilir şekilde ölçülemediği durumlarda özellikle yararlıdırlar.

Eğim-ölçer ve akustik tarama ile görüntü işleme teknikleri gibi diğer loglar ayrıca kömür taşıyan katmanlardaki yapısal özellikleri ve bunların yapısal stres alanı oryantasyonunu tanımlamak için kullanılır.

Jeofizik araçlar, aşağıdakiler de olmak üzere birçok özellik hakkında bilgi toplanmasına yardımcı olur:

- Kömür katmanları ve kılavuz düzeylerin tanımı,
- İstif içerisindeki litolojilerin yorumlanması,
- Bir saha boyunca kömür ve diğer katmanların korelasyonu,
- Doğru katman derinliği ve kalınlığı,
- Kömür katman yapısı ve katman morfolojik ayrıntıları,
- Sondaj kuyularının oryantasyonu (dikeylik ve sapma yönü)
- Jeolojik yapıları belirlemek için oluşumların stratigrafik eğim ölçümü,
- Sondaj kuyusu karot örnekleme kontrolü,
- Karot geri dönüşümü yüzdelerinin değerlendirilmesi,
- Kaya dayanım değerlendirmesi ve
- Kömür kalitesinin ve saha boyunca kalite değişiminin göstergesi.



## Türkiye Doğal Kaynaklar Sektörünün Hizmetinde

Jeoloji-Maden Mühendisliği ve Danışmanlık

### Hizmetlerimiz

- Kaynak ve Rezerv bilgilerinin değerlendirilmesi (JORC, NI 43-101, vs)
- Cevher Keşif ve Modellemesi
- Keşif Jeofiziği
- Hidrojeoloji ve Su Kontrolü
- Jeotermal Enerji

- Kömür Madenlerinde Güvenlik
- Kömür Madenlerinde Gaz Kontrolü
- Bakir Sahalarda Maden Planlaması ve Geliştirme
- Maden Üretim Planlaması ve Tasarımı

- Bankalarca Geçerli Yatırım Araştırmaları ( Saha Araştırması, Ön-Fizibilite ve Fizibilite Çalışmaları)
- Durum Tespiti (Due diligence)
- Bilirkişi ve Cevher Uzmanı Raporları

- Güvenlik ve Çalışma Eğitimi
- Uluslararası Standartlara Uygun Yangın Testleri ( Konveyör Bant, Hidrolik Sıvılar, Plastikler)
- Soğutma ve Isıtma Kontrol Sistemleri, Havalandırma Sistemleri Mühendisliği

### DMT GmbH & Co. KG

#### Merkezi Almanya İstanbul Merkez Şubesi

Ayazmadere Cad. Pazar Sk. Bareli Plaza No: 2-4 Kat: 4 Gayrettepe TR 34349 Beşiktaş, İstanbul

Tel +90 212 293 2980

Mobil +90 535 206 7175

Fax +90 212 293 3844

turkey@dmt-group.com

Birçok litoloji için log karşılıklarının bir özeti Şekil 3'de verilmiştir.

ŞEYL		Gamma		Yoğunluk		Sonic		Nötron Kumtaşı Gözenekliliği %		Resistivite (D-M)					
		0	API	150	1.0	g/cm <sup>3</sup>	3.0	140	μS.FT	40	50	0	10	100	1000
ŞEYL	DENİZSEL														
	DENİZSEL OLMAYAN														
KÖMÜR	BİTÜMEN														
	KALİTESİZ														
	LİNYİT														
	ANTRASİT														
KUMTAŞI	GÖZENEKLİ														
	SIKI														
SİLT TAŞI															
EVAPORİTLER	JİPS														
	TUZLAR														
	ANHİDRİT														
KİREÇTAŞI	GÖZENEKLİ														
	SIKI														

Şekil 3. Madencilik uygulamaları için log analizi (Firth D, 1999)

Jeofizik loglar ayrıca, bir veri noktasının JORC Kodu'na göre "Gözlem Noktası" statüsüne uygun olup olmayacağını belirlemesine de yardımcı olur. JORC Kodu, gözlem noktasını, gözlem, ölçüm ve/veya test yoluyla kömür hakkında bilgi sağlayan kömür taşıyan tabakaların belirli lokasyonlardaki bölümleri olarak tanımlar. Bunlar kömür varlığının açıkça belirlenmesine olanak sağlar.

Gözlem noktaları farklı oranlarda güvenilirliğe sahiptir ve yüzyeiden ya da yer altından çıkmaları, sondaj kuyusu karotları, kalibre edilmiş kuyu içi jeofizik logları ve karotlanmamış sondaj kuyularında temsili matkap kesimlerinden veri noktalarını içerebilir. Sondaj kuyusu jeofizik aletlerinin eşsiz nitelikleri, jeofizik olarak loglanmış (en azından yoğunluk ve kaliper logları ile birlikte) ve kuyuda tam olarak kesilmiş bir kömür katmanının "Miktar Gözlem Noktası" olarak tanımlanıp tanımlanamayacağını belirler.

Jeofizik loglardan bir veri noktası "Gözlem Noktası" olarak seçildikten sonra, bu loglar (özellikle doğal gamma, yoğunluk ve kaliper kombinasyonu) kömür katmanının en üst ve en alt (tavan ve taban) sınırlarını uygun bir doğrulukla tahmin edebildiği için, bu nokta hacimsel tahmin/hesaplama için kullanılabilir.

Bu durum, hiçbir karotlama yapılmamış olan kuyularda ve ayrıca kalınlığın karot uzunluklarından güvenilir bir şekilde saptanamadığı durumlarda özellikle kullanışlıdır. Avustralya Kömür Kılavuzu (2014), kömür katmanlarının karotlandığı kuyularda analitik testler için kömür örneği alırken, jeofiziksel logların (özellikle densite / kaliper log kombinasyonları), aynı zamanda önemli karot kaybı bölgelerini daha güvenilir bir şekilde belirleyebileceğini söylemektedir.

Aynı kılavuz ayrıca, jeofizik log verilerinin, inceleme/depozit alanı içerisindeki karot kuyularından alınan detaylı karot ta-

nımı ile sinyal verilerinin karşılaştırılarak yorumlanabileceğini belirtmektedir. Bu, civardaki diğer karotsuz kuyuların loglarından elde edilen jeofizik log sinyallerinin (verilerinin) daha güvenilir bir şekilde kullanılmasını sağlar.

Ancak, Kılavuz, değerlendirme alanındaki başka bir karotsuz sondaj kuyusundan jeofizik loglar dikkate alınmadan önce, karotlu sondaj kuyularında kaydedilen litolojilere karşı gelen jeofizik verilerin görsel olarak 'kalibrasyonunun' gerekli olduğunu önermektedir. Bu, jeofizik verilerin yorumlanmasının karotlu sondaj kuyularında gözlenen litolojilerle bir şekilde uyumlu olmasını sağlamak içindir.

Kuyu içi jeofizik loglar hem bölgesel ölçekte hem de daha yerel bir "sahada" ya da maden seviyesinde, kömür sahalarındaki stratigrafik ve kömür katman korelasyonlarına yardımcı olmak için paha biçilmez bir araç olabilir. Bu, istif içerisinde birbirine benzer ve denetirmesi zor kömür damarlarının bulunduğu sahalarda özellikle çok faydalı olabilir. Özellikle, jeofizik loglar kendine özgü jeofizik imzalarıyla kömür damarlarının, birbirlerinden ayırt edilmesi ve doğru kömür damarlarının birbirleriyle denetirilmesinde büyük ölçüde katkı sağlayabilir.

Jeofizik verilerin laboratuvar kaynaklı kömür kalitesi analizlerine karşı kalibre edildiği ve belirli bir jeofizik parametrenin (örnek: yoğunluk/çap ölçümü logundan elde edilen kül değeri ya da yoğunluğu) tekrarlanabilirliğinin kabul edilebilir toleranslar içerisinde olduğu durumlarda, bu jeofizik kömür kalite parametresi, ham kömür kalitesinin sürekliliğini desteklemek için de kullanılabilir.



Sondanın kuyuya indirildikten sonraki kuyu ağzı ölçümü





Sondadan gelen sinyallerin bilgisayara kaydı

Örneğin, Kahraman (1999), Avustralya, Queensland'deki bir kömür madeninde, karot verisinin hiç olmadığı ya da çok az bulunduğu veya verilerin kalitesinin iyi olmadığı ya da hızlı bir şekilde kalite tespiti için gerekli olduğu durumlarda, jeofizik log verilerinin kömür kalitesini belirlemek için kullanılabilir ve ucuz bir alternatif olabileceğini belirtmiştir.

Kuyu içi jeofizik logların kömür karotu örnek analizleri ile ayrıntılı kalibrasyonu, karotsuz sondaj kuyularında yerinde yoğunluğun ve ham kömür külünün tahmin edilmesini sağlayabilir. Bu durumda, yorumlanan ham kül tahminleri, Kömür Kalitesi Gözlem Noktaları arasındaki süreklilik içerisinde güvenilirlik düzeyini artırmak için kullanılabilir.

Ancak, jeofizik olarak türetilmiş kömür kalitesi özellikleri, herhangi bir koklaştırma parametresi içeremez, çünkü bunlar yalnızca kömür örneklerinin fiziksel test edilmesi sonucu belirlenebilir.

Ek olarak, bazı sondaj kuyusu jeofizik log verileri, özellikle yoğunluk, gama, nötron-nötron ve sonik loglar, bu jeofizik aletlerin kaya yoğunluğu, çatlak aralığı, kaya dayanımı ve gözenekliliğe karşılık gelmesinden dolayı sondaj kuyusu karot örneklerinden alınan fiziksel laboratuvar test sonuçlarıyla da ilişkilendirilebilir. Buna dayanarak, örneğin, laboratuvar da belirlenmiş olan kaya dayanım ile sonik hızlar arasında ilişki kurulabilir. Ayrıca, kaya dayanımı ve sonik log değerleri arasındaki deneysel ilişkiye dayanarak kuyularda kullanılan patlayıcı miktarını ve patlatma düzenini optimize etmeye yönelik çalışmalar da gerçekleştirilmektedir. (McNally 1987, 1990; Oylar ve diğerleri 2010; Kelessidis 2011, Hatherly ve diğerleri, 2015,)

Eğim-ölçerli loglar ve optik ya da akustik tarayıcı loglar gibi daha özel jeofiziksel loglar, yatağın yapısal oryantasyonunu ve yapısal özelliklerin tanımlanmasını ölçmek için de kullanılabilir.

Ek olarak, sondaj kuyusu jeofizik logları, kömür havzaları ve proje alanlarındaki baskın karmaşık tektonik yapıları tanımlamak için kullanılan 2D/3D sismik profillerdeki sismik sinyallerin sondaj karot logları ve kuyu jeofiziği temelinde kalibre edilmesine de yardımcı olabilir.

## Sonuçlar

DMT, kömür ve kömür dışı projelerde jeofizik logların kullanımı konusundaki deneyiminin yanı sıra, uzman mühendislerinin arama çalışmalarındaki kapsamlı deneyimlerine ve bilgilerine dayanarak, sondaj kuyusu jeofiziğinin Türkiye'deki kömür aramalarında da kullanılmasını ivedilikle tavsiye eder. Sondaj kuyusu jeofizik logları, projelerin daha gerçekçi bir şekilde geliştirilmesine yardımcı olabilir ve proje sahiplerine arama bütçelerinde önemli tasarruflar sağlayabilir. Gerektiği durumlarda, DMT aynı zamanda müşterilerimize etkili bir arama programı hazırlamakla birlikte CRIRSCO çerçevesindeki dünya çapında bilinen JORC Kodu gibi menkul kıymetler borsalarının da gerektirdiği, uluslararası raporlama kılavuzlarına uygun olarak, maden sahalarında kaynak ve rezerv tahmini yapma konusunda da yardımcı olmaktadır.

## Kaynaklar

1. Kahraman H. 1999. "A Review of Coal Quality Prediction from Geophysical Logs." *Proceedings of the 33rd Newcastle Symposium, "Advances in the Study of the Sydney Basin" July 30 – August 1 1999*, Edited by R.L. Clauss Diessel, with E. K. and Francis S. The University of Newcastle, Dept. of Geology Publication No. 858, 183-191pp.
2. Australian Guidelines for the Estimation and Classification of Coal Resources. 2014. Prepared by the Guidelines Review Committee on behalf of the Coalfields Geology Council of New South Wales and the Queensland Resources Council.
3. Firth D, 1999. *Log analysis for mining applications: Reeves Wireline Services*, P. Elkington (Editor).
4. Hatherly, P, Leung, R, Scheduling S, and Robinson D. 2015. *Drill monitoring results reveal geological conditions in blasthole drilling. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Volume 78, pp. 144-154.
5. Kelessidis, V.C. 2011. *Rock drillability prediction from in situ determined unconfined compressive strength of rock. The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy* V. 111 June.
6. McNally, G.H, 1987. *Geotechnical Applications and Interpretation of Downhole Geophysical Logs. ACIRL. Coal Research Report 87-7, November, 62p.*
7. McNally, G.H, 1990. *The Prediction of Geotechnical Rock Properties from Sonic and Neutron Logs. Exploration Geophysics* 21:65-71.
8. Oylar D. C, Mark C. & Molinda, G.M. 2010. *In situ estimation of roof rock strength using sonic logging. Int J Coal Geol* 83:484-490.

**DMT GmbH & Co. KG İstanbul Merkez Şubesi**  
**Enes BEŞİR Proje Koordinatörü ve Satış Uzmanı**  
**Adres:** Ayazmadere cad. Pazar sok. Bareli Plaza,  
No:2-4 Gayrettepe TR 34349 Beşiktaş, İstanbul  
**Tel:** +90 212 293 29 80 Mobil: +90 535 206 71 75  
**E-mail:** enes.besir@dm-group.com