

JEOTERMAL SAHALARDA ALINAN ESKİ LOGLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Umran SERPEN
Gürşat ALTUN

ÖZET

Bu çalışmada, önce kuyu loglarının jeotermal alanlardaki genel kullanımları hakkında bilgi sunulmakta, daha sonra da MTA'nın eski teknoloji kullanarak bazı sahalarda aldığı loglar değerlendirilmekte ve değerlendirme teknikleri hakkında bilgi sunulmaktadır. Eski log kayıtlarının değerlendirilmesi sonucunda gözeneklilik dağılımı, yoğunluk dağılımı, çimentolama katsayısı, vb. niceliksel değerlendirmeler yapılmış ve formasyonların yoğunluk ve gözeneklilik parametrelerini temsil eden değerler elde edilmiş ve sonuç olarak sunulmuştur.

1. GİRİŞ

Kuyu Logları kabaca kullanıcıya kuyu ve formasyon hakkında geniş bilgiler verebilen, göremediğimiz ve soyut kalan yer altı yapısını, elde edilen veriler ışığında karakterize etmemizi sağlayan kayıtlardır. Kuyu logları yaygın bir şekilde uzun yıllardır petrol endüstrisinde kullanılmaktadır. Dolayısıyla, petrol endüstrisinde rezervuar ve yerbilimi ile pek çok sorunun çözülmesinde petrol mühendislerinin başvurdukları önemli bir alet haline gelmiştir.

Ancak, Türkiye'deki jeotermal sahalarda kuyu logları kullanımının 35 yıllık geçmişi olmakla beraber, geçen süre içerisinde kullanımları pek yaygın hale gelememiştir. Genelde petrol sahaları için geliştirilen log aletlerinin yüksek sıcaklıktaki jeotermal kuyu koşullarına dayanamaması, petrol ve jeotermal sahalardaki formasyon farklılıkları gibi sebepler, jeotermal sahalarda kuyu logu kullanımının önüne geçen etmenler olmuştur.

Ülkemizde MTA tarafından 60'lı yıllardan itibaren jeotermal sahalardan sürekli olarak kuyu logları alınmıştır. Alınan bu loglar, formasyon değerlendirmesi açısından önemli bir bilgi veri tabanı niteliği taşımaktadır. Genelde bu loglar değerlendirilmemekte, ya da niteliksel olarak bazı basit değerlendirmeler yapılmaktadır.

Bu günlerde MTA daha modern kuyu logu alan ünitelerle çalışmasına rağmen, 60'lı yıllardan beri alınan kuyu loglarının büyük bir kısmı o yılların teknolojisi ile çalışan ünitelerle alınması nedeniyle, güncel "know-how" ile değerlendirilemez durumdadır. Ayrıca, niceliksel değerlendirme yapabilmek için bazı loglar eksik kalmaktadır. Son 20-30 yılda, petrol endüstrisi geçmişte petrol sahalarından alınan bu tür logların değerlendirilmesini teşvik etmekte ve yöntemler önermektedir. Aynı çerçevede, MTA'nın eski teknoloji ile aldığı logların değerlendirilerek bilgi kazanımı, söz konusu olmuştur.

Öte yandan, ülkemizde ister su, ister jeotermal akışkan üretmek için delinen kuyularda kuyu logu kayıtları almak gibi bir gelenek yeterince gelişmemiştir. Bu tür yaklaşımlar sadece petrol ve doğal gaz araması yapan TPAO gibi şirketlerde gelişmiştir. MTA bazı kuyularda kuyu logları kayıtlarını almaktadır, ancak belediye ve özel şirketlerin geliştirdiği sahalarda kuyu loglarına pek rağbet edildiği söylenemez. Aslında, kuyu logları hem jeolojik korelasyon yapmak, hem de kayaç akışkan özelliklerini

belirlemek amacıyla mutlak alınmalıdır. Bu kayıtlar, ayrıca bugün gözden kaçan bazı verilerin, ileride gelişen teknoloji ile önem kazanmasına aracılık da edebilirler.

2. KUYU LOGLARININ JEOLTERMAL ALANLARDA KULLANIMI

2.1. Jeotermal Alanlarda Kullanılan Loglar

Kuyu Çapı (Caliper) Logu

Delme işlemine, özellikle de akışkan dolaşımına kayaçların tepkisi bu log tarafından verilir. Kaliper logun aldığı çap kayıtları, ayrıca kayacın sağlamlığı veya göreceli kayaç sertliğinin bir göstergesidir. Kuyunun genişlemiş kısımları, diğer loglardan tespit edilen çatlak zonlarına karşı gelerek, çatlak zonlar doğrulanabilir. Yalnız aynı genişleme, hidrotermal alterasyon sonucunda oluşan killerin dolaşım akışkanına karışmasıyla da meydana gelebilir [1]. Jeotermal sahalarda bu logun başlıca kullanım alanları :

- Koruma borusunun çimentolamasında kullanılacak miktarı tayin etmek;
- Kuyu testleri ve hidrolik çatlama operasyonlarında kullanılması gereken packer'ların oturma yerlerini tespit etmektir.

Rezistivite Logları

Bu loglar, jeotermal sahalarda esas olarak geçirgen zonların bulunmasında, farklı kayaçların, farklı elektriksel özelliklere sahip olması dolayısıyla, litolojik değişimlerin gözlenmesinde ve arama sahasında uygulanmış jeoelektrik ölçmelerin sonuçlarını kontrol etmek için kullanılır.

Tortul (sedimanter) formasyonlarda bulunan elektrik doğal uçuşma (self potansiyel) üretimi kristalen ve volkanik formasyonlarda fiziksel olarak çok az mümkündür. Bazen elektrokinetik etkiler dolayısıyla çatlak zonlarında küçük potansiyeller ölçülebilir. Bu elektrokinetik etkilerin orijini mafik kayaçlardır [1].

Derinlik kayaçları jeotermal sıcaklıklarda genel olarak $10^4-10^6 \Omega m$ arasındaki rezistiviteleriyle kötü birer iletkenlerdir. Rezervuar kayacının rezistivitesini $1-10 \Omega m$ 'lik jeotermal akışkan belirler [2]. Bundan dolayı, bu rezistivite değeri gözeneklilik (porozite), sıcaklık ve su tuzluğuna bağlıdır. Jeotermal sahalarda akışkanların yarattığı bu iletken zonlar, hidrotermal alterasyon ve metalik mineralizasyon zonlarının aynı iletkenliği göstermesi dolayısıyla birbirine karıştırılabilir. Tablo 1'de değişik malzemelerin rezistivite değerleri görülmektedir.

Tablo 1. Değişik malzemelerin rezistivite değerleri [2].

Malzeme	Rezistivite, (Ωm)
Pirit	10^{-6}
Derişik tuzlu su	2×10^{-2}
Kil	1-3
Kuvarz	10^{10}

Jeotermal rezervuarlar genellikle çatlaklı ve petroldeki gibi taneler arası (intergranüler) akış olmadığı için logların sayısal değerlendirilmesinde kullanılan Archie formülü Keller vd. (1974) [3] tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$F = 18 \times \Phi^{-1.05} \quad (1)$$

Bu loglarla jeotermal sahalarda sayısal değerlendirme yapmak oldukça güçtür. En yüksek formasyon rezistivitesine göre iletken çamurun gölgeleme etkisi dolayısıyla, en büyük elektrot aralıklı sondalarla ölçülen rezistiviteler bile, gerçek formasyon rezistivitelerinden küçüktürler. Diğer taraftan, niteliksel olarak, kristalen ve volkanik kayaçların yarattığı yüksek rezistivite ortamında geçirgen zonların etken göstergesidirler.

Kristalen formasyonlarda indüksiyon logları bazı sonuçlar vermelerine rağmen, yüksek kayaç rezistiviteleri dolayısıyla, ölçülen değerler 100 Ω m'den fazla olursa, bu loglar fazla güvenilir değildir. Yine de geçirgen çatlaklı zonları gösterebilirler.

Gamma Ray Logu

Derinlik ve özellikle genç volkanik kayaçların bulunduğu jeotermal sahalar için gamma-ray logu interpretasyonu son yıllarda geliştirilmeye başlanmıştır. İzlanda'daki son araştırmalar [4] gamma-ray radyoaktivitesinin kayacın SiO_2 içeriği ile ilgili olduğunu ortaya koymuştur. Jeokimyasal bulgularda, bu durum bazikten asidiğe giden derinlik kayaçlarında radyoaktif izotop içeriğinin artması dolayısıyla desteklenmektedirler. İzlanda da kayaçların esas olarak bazalttan oluştuğu yerlerde, gamma-ray aktivitesi çok düşük, kayaçların asidik olduğu yerlerde ise oldukça yüksek bulunmuştur [4]. Her halükarda GR logu, farklı kuyuların ve yeryüzündeki formasyonların korelasyonunda, petroldekine benzer önemli bir rol oynayacağı ortaya çıkmıştır [1].

Gamma Ray Spektral Log

Spektrolog biri toplam gamma aktivitesi, diğerleri de toryum, uranyum ve potasyum olmak üzere dört kayıttan oluşmaktadır. Jeotermal sahalarda bu logun;

çatlaklı zonların tesbiti,
hidrotermal alterasyon zonlarının belirlenmesi, ve
litoloji tayini

gibi işlevleri vardır. Spektrolog da uranyum kayıtlarının yüksek olduğu yerler, derinlik kayaçlarındaki çatlaklı zonlardır. Bunun sebebi de, uranyumun çok hareketli olması ve göçerek, çatlaklarda çökmesidir [1]. Hidrotermal zonlar ise, azalan potasyum içeriği ve uranyum çökmesi ve de potasyumun bu zonların kenarlarında tekrar çökmesi ile oluşur [2].

Potasyum içeriği ayrıca litoloji hakkında da bilgi verebilir. Hornblend-biotit-şistler ve amfibolitler düşük gamma aktiviteleriyle tanınırlar. Bunun sebebi de, düşük potasyum aktivitesidir. Ayrıca, bu log tüflerin tanınmasında da kullanılabilir. Tüflerin konsolidasyonundan sonra, uranyum ve toryumun çoğu çözünmeyerek kayaç içinde kalır. Bu da spektrolog ile gözlenebilir. Fonolitik tüfler ile riyolitlerde daha fazla uranyum konsantrasyonu gözlenmiştir [1].

Kaba Yoğunluk Logu

Jeotermal kuyularda yoğunluk logu çatlak yerlerinin belirlenmesi, litoloji tayini için çapraz-grafik yapımı ve buhar saturasyonu hesaplanmasında kullanılır. Tortul kayaçların aksine volkanik kayaçlarda matriks yoğunluğu oldukça sabit sayılır. Bundan dolayı, kaba yoğunluktaki değişim tortul kayaçlardan daha çok volkanik kayaçlarda gözenekliliğe daha bağlıdır. İzlanda da alınan loglar bunu doğrulamıştır [2].

Kristalen temel kayaçlar, tortul kayaçlar tarafından gösterilen kaba yoğunluklara sahip değildirler. Bundan dolayı, yoğunluk logu bu tip kayaçlarda litoloji logu olarak kullanılabilir. Kayacın görelî mafik içeriği, granit için tipik olan değerlerden logun farklılık göstermesiyle, belirlenir. Yalnız mafik tip kayaçların elektron yoğunlukları, bu logların kalibre edildiği ortamlardan genellikle fazla olduğu için, mafik zonlarda alınan log değerlerinde bir düzeltme yapmak gerekir [2]. Yoğunluk logunun diğer loglar ile karşılaştırılmasından farklı jeolojik formasyonlar ortaya çıkabilir.

Son zamanlarda yapılan çalışmalar yoğunluk ve nötron loglarının birlikte değerlendirilmesinden formasyondaki akışkanın yoğunluğunun hesaplanmasının mümkün olduğunu göstermiştir. Buradan özgül hacme ($V=1/\rho_f$) geçilip, buhar doymuşluğu hesaplanabilir.

Nötron Logu

Bu logun esas amacı akışkan ile dolu gözenekliliğin belirlenmesidir. Bununla birlikte nötronlar formasyon suyu protonları ile minerallere bağlı suyun protonlarını ayırt edemezler. Bu durum, jeotermal kuyu loglarında özel bir ilgi alanı yaratmıştır, çünkü hidrotermal alterasyon sonucu suyun bağlı olduğu mineraller ortaya çıkar. Ayrıca, jeotermal kayaçların çatlaklarında oluşan ikincil minerallerdeki su miktarı oldukça yüksektir [1].

Nötron logu cihazının çalışması logaritmikdir. Diğer bir deyişle, gözeneksiz kayaçlar için porozite değişimi, gözenekli kayaçlardaki değişimden daha kolay kaydedilir. Bundan ötürü, çatlakları tamamen ikincil minerallerle dolmuş yüksek yoğunluklu bazaltik bir derinlik kayacındaki çatlaklar kolayca gözlemlenebilir. Bilindiği gibi, kristalen kayaçlar çatlak zonları hariç, genel olarak, sınırlı bir geçirgenlik aralığına sahiptirler. Bu da alterasyon zonlarının ayırt edilmesinde yardımcı olur [2].

Jeotermal sahalarda nötron logunun diğer önemli bir kullanımı, mafik tip kayaçların litolojik tayinidir. Bu tip kayaçlar yüksek elektron yoğunluklu ve yüksek nötron absorbe etme kabiliyetine sahip oldukları için, yoğunluk logunda yüksek kaba yoğunluk, nötron logunda yüksek gözeneklilik gösterirler. Nötrondaki bu yanlış gösterim, sonik log tarafından doğrulanmaz ve bu log gözeneklilikte bir değişme göstermez [1].

Sonik Loglar

Bir kayacı karakterize eden sıkıştırılabilirlik katsayısı, elastisite modülü, kayma (shear) modülü ve Poisson oranı parametreleri sesin hızını veren modern akustik ölçümlerinden ve yoğunluk ölçümlerinden elde edilebilir. Bunun için, sonik log (LSS, Long Spacing Tools) boyuna hız dalgaları (compressional wave) ve enine hız dalgalarını (shear wave) hesaplayan bir programla birlikte kullanılır. Log kayıtlarından elde edilen kayaç parametreleri, karotlardan elde edilen parametrelerle yakın sonuç vermezler. "Statik" karot değerleriyle "dinamik" log değerleri arasında, ölçümlerin doğası gereği bir fark vardır [5] ve [6].

Geçiş Zamanı Sistemleri

En çok kullanılan sonik log olup, geçiş zamanı tespit edilerek gözeneklilik ve litoloji tayininde diğer loglarla kullanılır. Ayrıca, bu log çatlak ve ikincil gözenekliliği ihmal ettiği ve yalnız tanelerarası gözenekliliği gösterdiği için toplam gözenekliliği gösteren nötron ve yoğunluk loglarından daha düşük bir gözeneklilik verecektir. Buda bize çatlakların belirlenmesini sağlayacaktır [1].

Akustik Genlik Sistemleri

Bu loglar öncelikle çatlakların tespiti için kullanılırlar. Çatlaklı zonlarda boyuna dalga (compressional wave) genişliğinde azalma olurken, enine dalgalarının (shear wave) çok az azalır veya durur. Bu durum çatlak zonlarının belirlenmesini sağlar. Ayrıca bir zondaki çatlamanın şiddeti, V_{comp}/V_{shear} oranındaki değişmeden bulunur [1].

Tüm Dalga Sonik Logu

Yalnızca ilk gelen dalgayı gösteren sonik geçiş zamanı logunun aksine, tüm dalga sonik log, sismoğraf verisi gibi tüm dalgayı gösterir. Bu log kayacın karakteri hakkında hemen bir bilgi verir. Başka loglarda şüpheli görülen çatlak zonları, bu logda çok belirgin hale gelir [1].

Borehole Televiwer (BHTV)

Bu log, sonar tipi kuyu duvarı tarayıcısıdır. Çatlakların yönünü doğrudan göstermesi açısından önemlidir. Doğal çatlakların yönelimi, daha önceki gerilim sahaları hakkında önemli bilgiler verir. Orijinal çatlakları, ya da bu kalan gerilim sahaları veya daha önceki çatlakların yarattığı zayıf yerler, yaratılan çatlak yönlenmesini belirleyebilir [1].

Sıcaklık Logu

Sürekli sıcaklık kaydı jeotermal kuyularda çok değerli bilgiler verir. Çatlak zonlarının tespitinde çok önemlidir. Bu zonalardaki geçirgenlik sıcaklık logundaki geri dönüş miktarı ile belirlenir. Ayrıca, jeotermal sistemin, hidrotermal veya konduksiyonla beslenen gibi tanımlanmasını sağlar. Bu logun jeotermal sistemlerde kullanımı ayrı bir bildiri konusu olacak kadar geniştir. Genel olarak sıcaklık logları jeotermal gradyenin ve statik kuyu dibi sıcaklığının belirlenmesinde kullanılırlar.

Sıcaklık logu kaydedilirken, daha soğuk bir akışkanın kuyuda sirkülasyonu nedeniyle sıcaklık ölçüm okumaları hata içerirler. Bu nedenle formasyonların statik sıcaklık değerlerinin belirlenmesi jeotermal kuyularda da önem kazanmaktadır. Bu amaçla, farklı zamanlarda aynı derinlikte birkaç ölçüm yapılır. Ölçüm okumaları grafiksel olarak çizdirilirse, sıcaklık artış eğrisinin asimtot yaptığı yer aşağıdaki bağıntı kullanılarak bulunur [5] ve [6].

$$\log \frac{t + \Delta t}{\Delta t} \quad (2)$$

burada,

t = sirkülasyon zamanı, saat

Δt = sirkülasyon durdurulduktan sonra geçen zaman, saat.

Aynı derinlikte farklı zamanlarda yapılan sıcaklık ölçüm okumaları Denklem 2'ye karşı çizdirilirse, doğrusal bir ilişki elde edilir. Bu doğrusal ilişkide, $(t + \Delta t) / \Delta t = 1$ 'e karşı gelen değer formasyonun statik sıcaklığını yansıtır.

2.2. Logların Birlikte Değerlendirilmesi

Litolojik logların (GR, yoğunluk, nötron, sonik ve rezistivite) verdikleri bilgiler, çeşitli logların karşılaştırılmasıyla çok daha iyi hale getirilebilir. Örneğin, nötron-yoğunluk-sonik logların bir arada değerlendirilmesinden mafik kayalar tanımlanabilmektedir. Gamma ray ve diğer logların karşılaştırılmasından klorit şist ayırt edilebilmektedir. Diğer taraftan, logların karşılaştırılmasında da çatlaklı zonun varlığı doğrulanmaktadır. Hatta bazan loglardan andezitin alterasyona uğradığı bile farkedilebilmektedir [1].

Diğer bir karşılaştırma tekniği çapraz grafik olup, geçilen formasyonların farklı birimlerinin değerlendirilmesinde, önemli bir araçtır. Bu grafiklerde 2 bazen de 3 log birbirine karşı çizilebilir.

Çapraz grafiklerin jeotermal logların yorumunda kullanılması daha başlangıç aşamasındadır. Petrol endüstrisinde kullanılan 3 temel loga (nötron, yoğunluk ve sonik) rezistivite de eklenmiştir. Bu tip çapraz grafiklerden yalnız litolojik elemanlar değil, çatlaklı zonlar ve hatta alterasyona uğramış zonlar da ortaya çıkarılabilir.

2.3. Jeotermal Sahalarda Kuyu Logları İle Çatlakların Bulunması

Kayaç matriksinin belirlenmesinden sonra aranan parametreler, gözeneklilik ve çatlak yapısıdır. Jeotermal kuyularda çatlaklı zonların belirlenmesi çok önemli bir işlemdir, çünkü üretim bu zonlardan yapılmaktadır. Jeotermal kuyularda iki türlü çatlak oluşumu vardır: doğal çatlaklar ve sondaj sırasında oluşturulan hidrolik çatlaklar.

BHTV ölçümleri ile her iki çatlak türünde belirlenebilmektedir [5]. Tablo 2 hangi loglarla çatlaklı zonların belirlenmesi gerektiğine işaret etmektedir. Tabloda belirtilen yöntemlerin bazıları (kaliper, dipmetre, BHTV, sonik) çatlak yönünü doğrudan gösterebilir, bazıları (akışölçer, sıcaklık, rezistivite, SP, çimentolama faktörü, LSS, GR) çatlağı belirlemesine rağmen yönünü belirleyemez ve bazılarında (yoğunluk düzeltme kaydı ve litoloji) sadece kuyu duvarının bir kısmını kaydederken çatlağı belirler.

Tablo 2. Jeotermal logların çatlaklı zonların belirlenmesinde kullanımı [1].

	Log	Log Aleti veya Yöntem	Çatlaklara Logun Tepkisi
1	Kuyu Çapı Logu (Kaliper)	3 kollu	Kuyu genişlemesi
		4-6 kollu	Asimetrik kuyu genişlemesi
2	Rezistivite		Farklı sondaların değişik tepkileri
3	Akustik Loglar	P dalgasının genişliği	Yüksek çatlak açısından (düşeyle) dolayı azalma
		S dalgasının genişliği	Düşük çatlak açısından dolayı azalma
		Tüm dalga	Ulaşma ve girişim patternleri
4	Gözenekliliğin Karşılaştırılması	Nötron-Karot porozitesi	$\emptyset_N > \emptyset$ karot
		Sonik-Diğerleri	$\emptyset_S > \emptyset_N \cdot \emptyset_D$
5	Spektral Gamma Logu		Uranyum konsantrasyonunda artış
6	Borehole Televiewer		Çatlakların resmi
7	Sıcaklık	Üretim profili	Sıcak anomali
		Enjeksiyon profili	Soğuk anomali

2.4. Kuyu Loglarının Sıcaklık Sınırları

Jeotermal sahalarda kullanılacak olan loglar üzerinde sıcaklıktan ötürü bazı kısıtlamalar gelmektedir. Piyasada seksenli yılların ortalarında kullanılan kuyu logu aletlerinin çoğu, özel bir önlem almaksızın 180 °C (350 °F) sıcaklıklara kadar çalışabilmektedir. Koruyucu tip kılıfların kullanılmasıyla, bazı aletler 12 saate kadar 260 °C (500 °F) sıcaklıklarda çalışabilir. Aletlerin kullanım sıcaklık üst limitleri aşağıdaki Tablo 3'teki gibidir:

Tablo 3. Çeşitli log sondalarının sıcaklık sınırlamaları [7].

Log	Log Tipi	Sıcaklık Sınırlaması (°F)
Rezistivite	Standart rezistivite	300
	Standart Dual Induction (DIL)	350
	Sıcak Kuyu : Single Induction (IL)	500
Gözeneklilik	BHC Sonic	350
	Sıcak Kuyu BHC Sonic	500
	Sıcak Kuyu BHC Sonic + GR	400
	Long Spaced Sonic	350
Yoğunluk	FDC	400-500
	CNL	400-500
Dipmeter	Four Arm High Resolution	350

Sıcaklığı 500 °F'ı bulan 6000-10000 ft derinliğindeki bir kuyuda soğutma yapılmasına rağmen "DIL", "Long Spaced Sonic" ve "Dipmeter" loglarını tüm kuyu boyunca almak imkansızdır. Yukarıdaki kısıtlamalar dolayısıyla sıcaklığı 500°F civarında olan bir kuyuda "SP"nin "Sıcak Kuyu IL" ile birlikte alınması tavsiye edilir. Sıcak kuyu BHC Sonic tek olarak alınmalıdır. İkinci bir soğutmadan sonra FDC–CNL–GR–Kaliper birlikte alınabilir.

2.5. Kumtaşı Rezervuarlarında Log Programı

Jeotermal bir kuyunun log programı bir petrol kuyusunun log programı ile oldukça benzerlik gösterir. Örneğin, Paris havzasındaki kuyular için program [5]:

Yaklaşık 1000 m (3300 ') derinlikte ve 12 ¼ inç çaplı sondajdan sonra
Kaliper
Rezistivite (Dual Lateralog), doğal gamma ray log
Sonic log (isteğe bağlı)
9-5/8 inç koruma borusunun yerleştirilmesinden sonra
Çimentonun CBL ile kontrolü
Yaklaşık 1600 m (5250 ') derinlikte ve 8-1/2 inç çaplı sondajdan sonra (su üreten zonun üstü)
Rezistivite (Dual Lateralog)
Yoğunluk, nötron, doğal gamma ray, kaliper logları
Sonic log (isteğe bağlı)
7" koruma borusunun yerleştirilmesinden sonra
Çimentonun CBL ile kontrolü
6" çaplı kuyunun sondajından sonra
Rezistivite (Dual Lateralog)
Yoğunluk, nötron, doğal gamma ray, kaliper logları
Tamamlamadan sonra
Sürekli akışölçer (flowmeter) incelemesi
Basınç (yükselem), sıcaklık

2.6. Kireçtaşı Rezervuarlarında Log Programı

Kireçtaşı rezervuarlarında program yaklaşık aynıdır. Bu programa ek olarak, çatlakların bulunması için çeşitli yöntemler kullanılır. En etkin olanlar Çatlak Tanımlama Logu (FIL, Fracture Identification Log) ve BHTV (Borehole Televiewer) logudur [5]. Son dönemlerde görüntüleme logları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlara örnek, FMI (Formation Micro Imager) ve STAR (Simultaneous Acoustic and Resistivity) loglarıdır. Bu loglardan elde edilen görüntüler kayıt sırasında gerçek zaman (real time) olarak yüzeyde işlenebilmektedir ve çatlaklar, ikincil gözeneklilik ve yapısal tabaka eğimleri gibi özellikler kolayca belirlenmektedir.

3. ESKİ LOGLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

MTA tarafından alınan logların bazıları 1960'lı yılların sonunda alınan eski loglar olması nedeniyle, bu logların birimlerinin güncellenmesi gerekmektedir. Kalibrasyon sorunlarından kaynaklandığı tahmin edilen kayıtlardaki bazı anormal durumların normalize edilmesi gerekmektedir. Normalize edilme işlemi, derinliği ve özellikleri bilinen herhangi bir litoloji için tüm kayıtların yeniden düzenlenmesidir.

3.1. Birim Dönüşümleri

Bu bölümde birim dönüşüm işlemleri için 1970 yılında AF–1 kuyusunda alınan loglar kullanılmıştır. Bu loglarda nötron, yoğunluk, GR, loglarının birimleri Count Per Second (cps) olarak verilmiştir. Log

değerlendirmelerinin yapılabilmesi için cps' in nötron logu için % gözenekliliğe, yoğunluk logu için g/cc' e ve GR logu için API birimlerine dönüştürülmesi gerekir.

CPS-API Dönüşümü

Cps' den API dönüşümü yapılabilmesi öncelikle GR logu için gereklidir. Bu çalışmadaki hesaplamalarda cps' den API' a geçiş faktörü "5" alınmıştır. Bu faktör her log aletine göre değişmekte olup, MTA'nın kullandığı Gerhard aleti için geçerli bir parametredir. Her cps değeri "5" ile çarpılarak

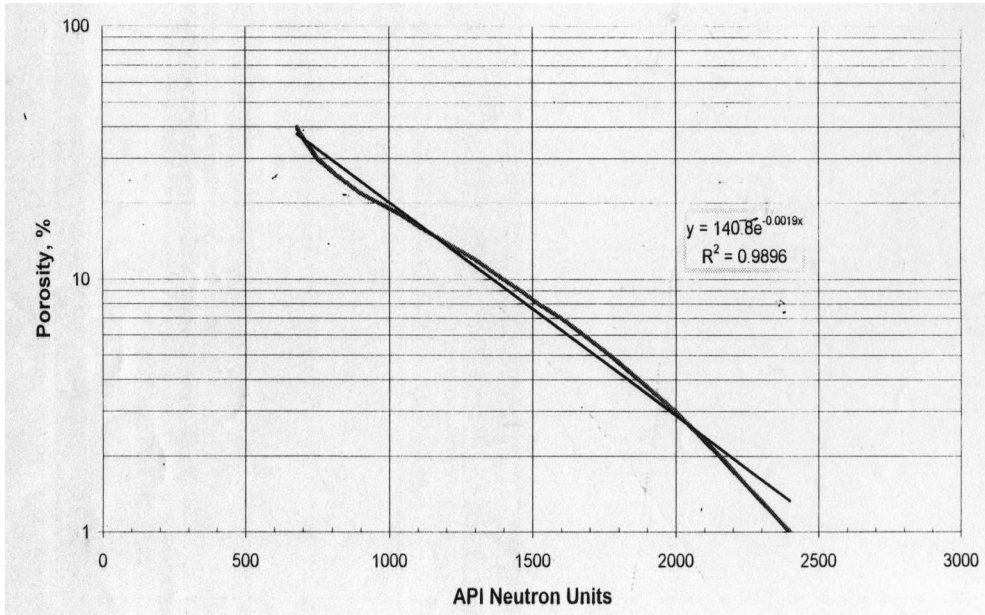
API birimine geçilmiştir.

API - % Gözeneklilik Dönüşümü

Şekil 1'deki grafik % Gözeneklilik – API dönüşüm eğrisidir. Bu eğrinin denklemi şekilde de verildiği gibi,

$$\Phi = 140.8 e^{-0.0019 API} \quad (3)$$

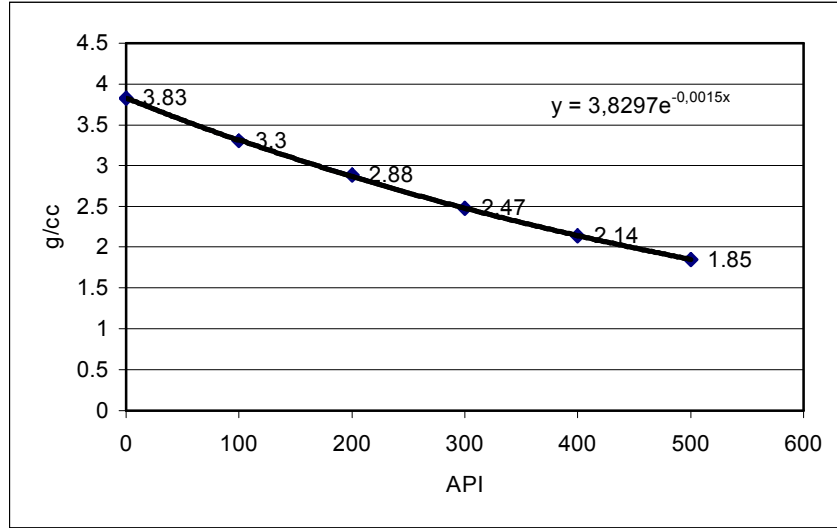
şeklinde ifade edilir. Bu denklem kullanılarak bir önceki basamakta elde ettiğimiz API değerleri % gözenekliliğe çevrilir. Bu işlem bütün derinliklerden elde edilen verilere uygulanarak, tüm kuyu için gözenekliliğin derinlikle değişimi % gözeneklilik cinsinden hesaplanmıştır.



Şekil 1. API - % Gözeneklilik dönüşüm eğrisi [8].

3.1.3. API – g/cc Dönüşümü

Şekil 2 API–yoğunluk (g/cc) dönüşüm grafiğidir. Bu eğrinin denklemi; $\rho = 3.8297e^{-0.0015 API}$ 'dir. Bu denklem kullanılarak elde edilen API değerleri g/cc' e çevrilmektedir.



Şekil 2. API - Yoğunluk dönüşüm eğrisi [8].

3.1.4. Verilerin Normalizasyonu

AF-1 ve AF-23 kuyularından elde edilen log değerlerinde birim dönüşümleri yapıldığında, özellikle AF-23 kuyusunun nötron gözeneklilik verilerinde yüksek değerler gözlenmiştir. Elde edilen sonuçların daha gerçekçi verilere dönüştürülmesi için normalizasyon işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Nötron gözeneklilik verilerinin normalizasyonu, yoğunluk gözenekliliklerinin hesaplanması ve nötron gözeneklilik verilerinin yoğunluk gözenekliliği verilerine eşlenmesi ilkesine dayanır. Ancak yoğunluk gözenekliliğinin hesaplanmasından önce yoğunluk verilerinin normalizasyonu gerekir. Bu ise herhangi bir tabakanın yoğunluk-GR grafiğinde eğilim eğrisinin o tabakanın normal yoğunluk değerine çekilmesi ile olur. Nötron gözeneklilik verilerinin yoğunluk gözenekliliği verilerine eşlenmesi işlemi ise, cps-API birim dönüşümünde kullanılan faktörün değiştirilmesi ile yapılmıştır. Yoğunluk gözenekliliğine karşı çizdirilen nötron gözeneklilik grafiğindeki eğilim eğrisinin eğimini 1'e yaklaştıracak şekilde bir cps-API birim dönüşüm faktörü seçilir. Bu şekilde normalizasyon işlemi gerçekleştirilmiş olur.

Şekil 3'de AF-23 kuyusuna ait mermer tabakası için yoğunluk-GR grafiği verilmiştir. Bu grafikte, tane yoğunluğu, mermerin yoğunluğu olan 2.75 g/cc değerine çekilerek öncelikle yoğunluk verileri normalize edilmiştir. Mermer tabakası için normalize edilmiş yoğunluk değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Normalizasyonun yapılması için mermer tabakasındaki her yoğunluk değerinden "0.2513" çıkarılmıştır. Daha sonra mermer tabakasının yoğunluğu normalize etmek için kullandığımız "0.2513" değeri bütün yoğunluk verilerinden çıkarılarak düzeltilmiş yoğunluk verileri hesaplanmıştır. Tüm derinlikler için düzeltilmiş yoğunluk verileri Şekil 5'de gösterilmiştir.

Yoğunluk verilerinin düzeltilmesi işlemi gerçekleştirildikten sonra yoğunluk gözeneklilikleri aşağıda verilen Denklem 3.1 kullanılarak hesaplandı;

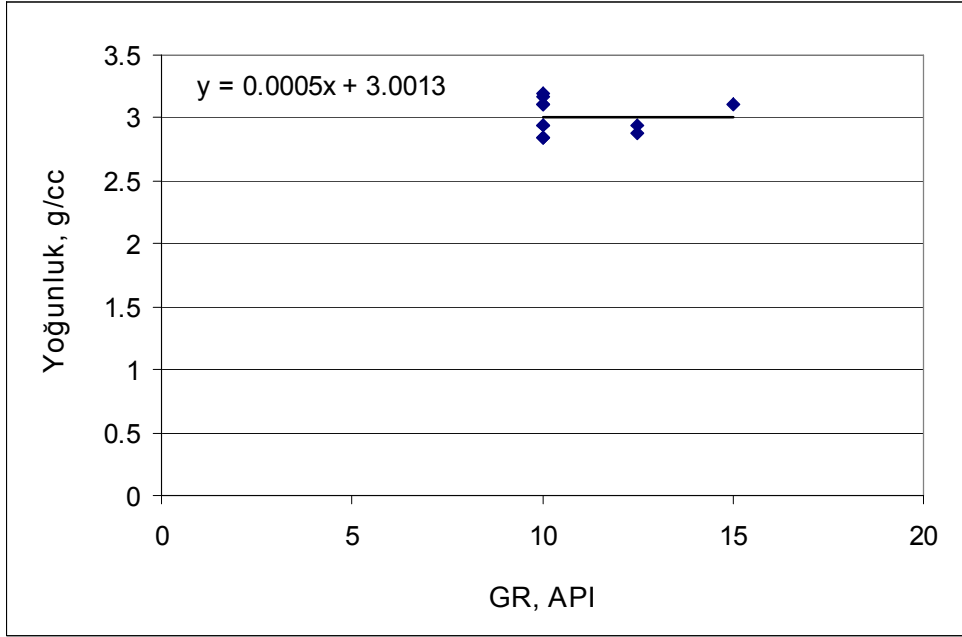
$$\Phi_D = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f} \quad (4)$$

burada,

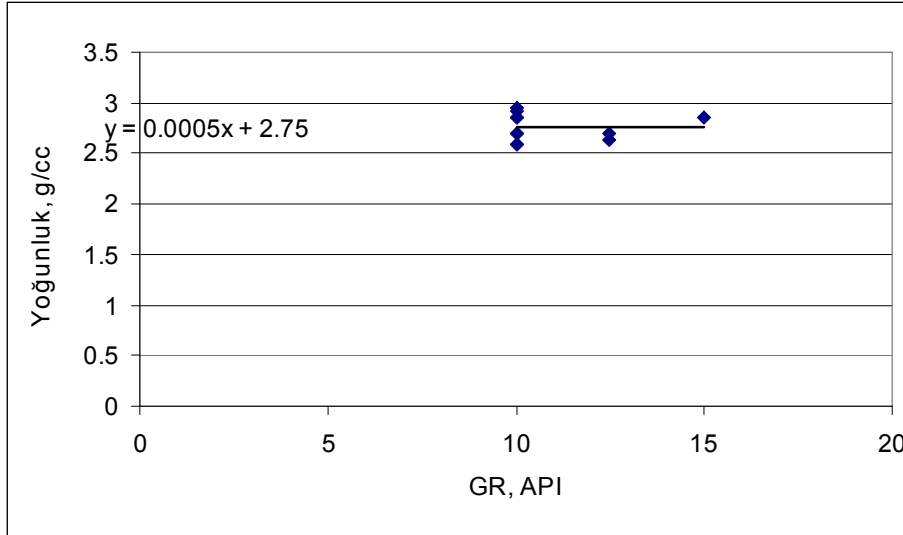
ρ_{ma} = matriks yoğunluğu, g/cc

ρ_b = logdan okunan yoğunluk değeri, g/cc

ρ_f = akışkan yoğunluğu, g/cc



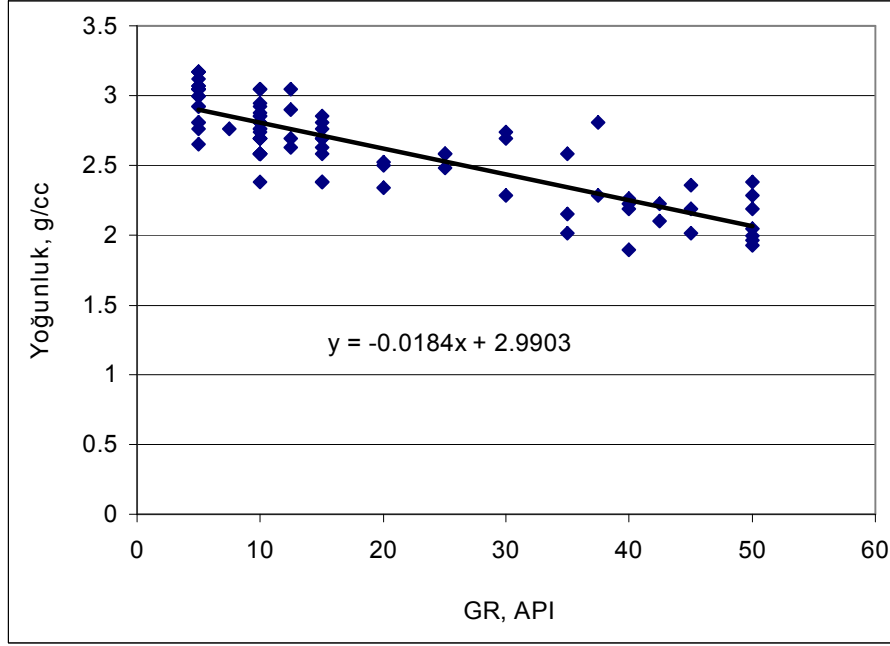
Şekil 3. AF-23 Kuyusu mermer tabakası için düzeltilmemiş Yoğunluk – GR grafiği [8].



Şekil 4. AF-23 Kuyusu mermer tabakası için düzeltilmiş Yoğunluk–GR grafiği [8].

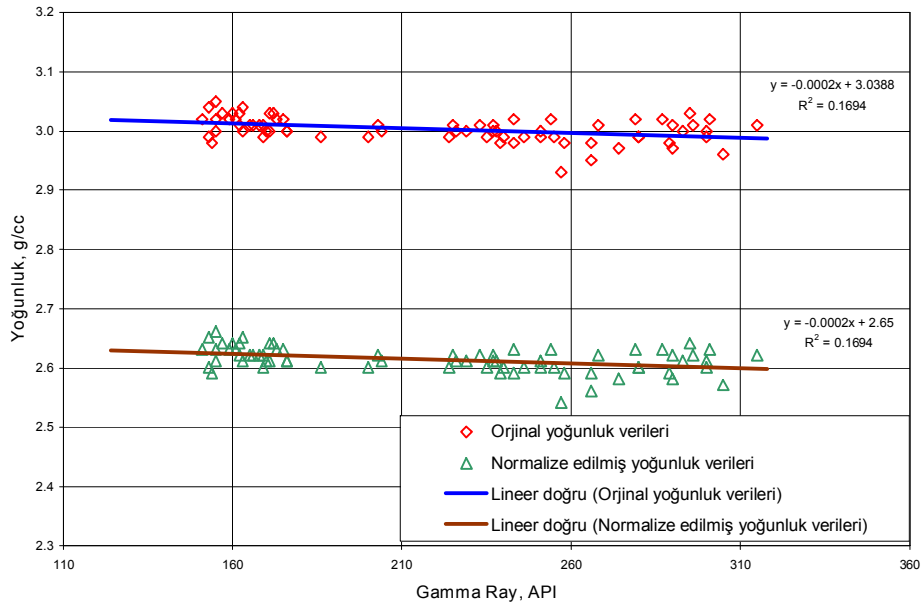
Bu şekilde oluşturulan yoğunluk gözeneklilikleri ile nötron gözeneklilik verileri arasında çapraz grafik oluşturulmuş ve eğimi 1' e yaklaştırmak için nötron gözeneklilik verilerinde cps-API dönüşüm faktörü olarak 9.722 değeri bulunmuştur.

Böylelikle daha önce "5" olarak aldığımız cps-API dönüşüm faktörü "9.722" olarak değiştirilmiştir. Bu faktörün kullanılmasıyla elde edilen nötron gözeneklilik değerleri normalize edilmiş nötron gözeneklilik değerlerdir.

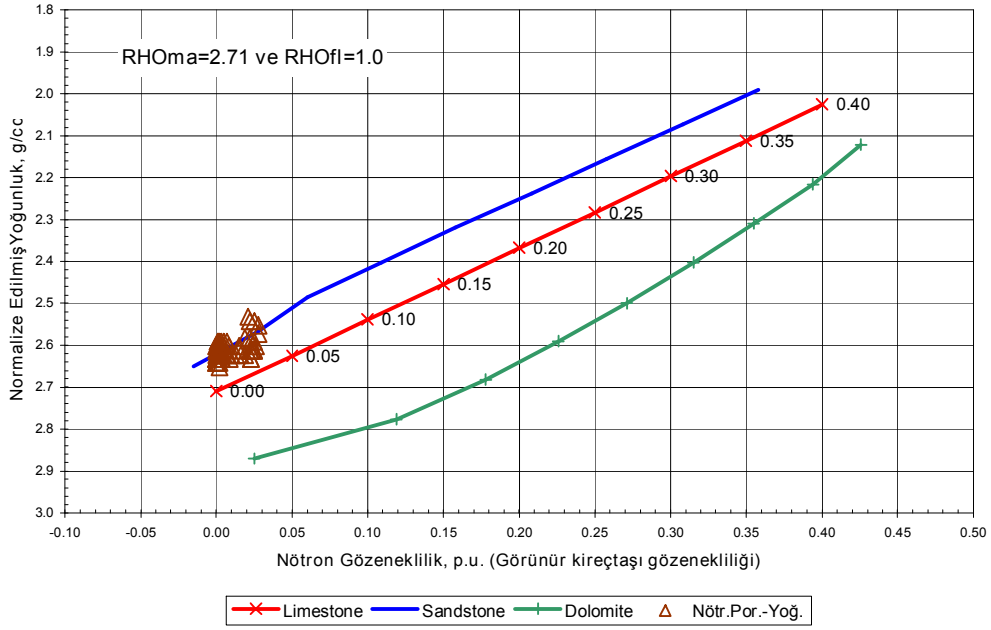


Şekil 5. AF-23 Kuyusu tüm derinlikler için normalize edilmiş Yoğunluk-GR grafiği [8].

Öte yandan, Balçova jeotermal sahasında alınan loglar da normalizasyona tabi tutulmuştur. Şekil 6 BG-5 kuyusunda alınan loglardan oluşturulan GR-yoğunluk çapraz grafiğinde yapılan normalizasyon prosesi görülmektedir. Şekil 7'de normalize edilmiş logla yapılan çapraz grafiği göstermektedir.

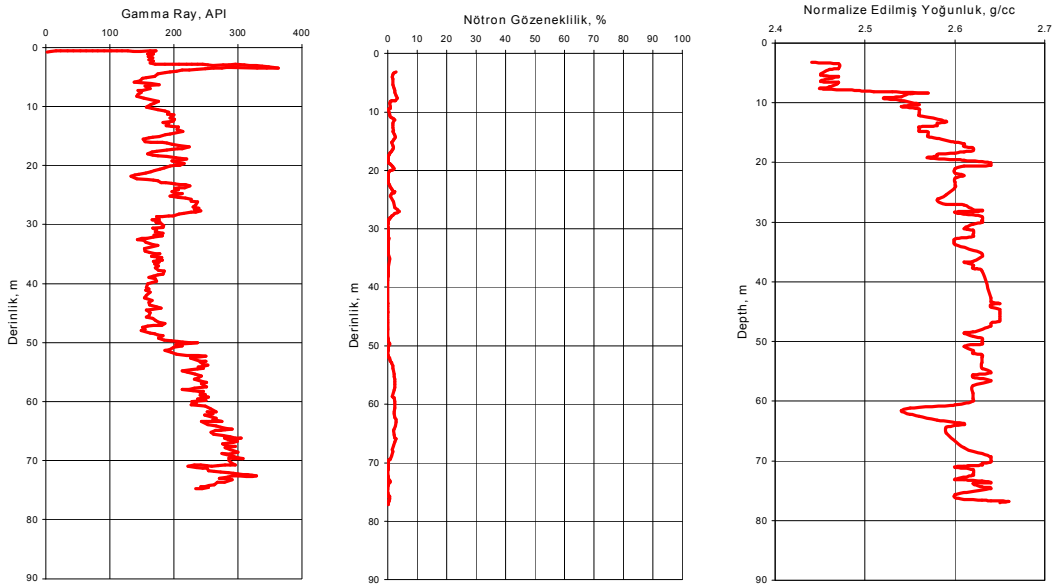


Şekil 6. BG-5 kuyusunda uygulanan normalizasyon prosesi [9].



Şekil 7. BG-5 kuyusunda normalize edilmiş yoğunlukla oluşturulan çapraz grafik [9].

Sonuçta, normalize edilen logların Şekil 8'de gösterilen bileşik demetinde yoğunluk ve gözeneklilik kayıtları oldukça uyum içerisinde görülmektedir. Diğer bir deyişle, yoğunluğun yüksek olduğu yerlerde gözeneklilik düşük, yoğunluğun düşük olduğu yerlerde de gözeneklilik yüksektir.

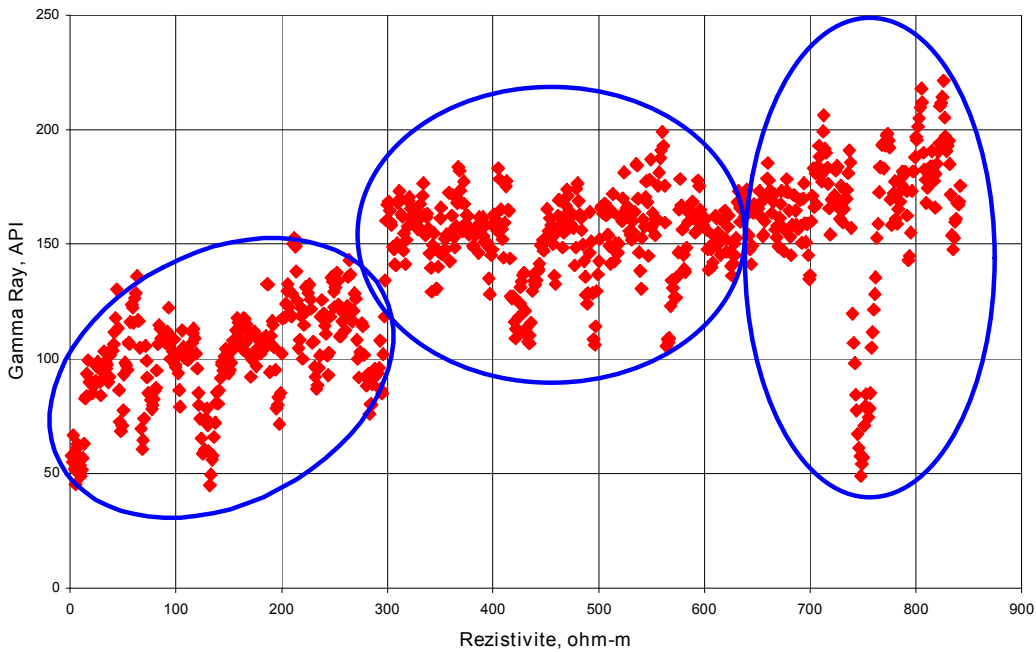


Şekil 8. BG-5 kuyusunda bileşik log demeti [9].

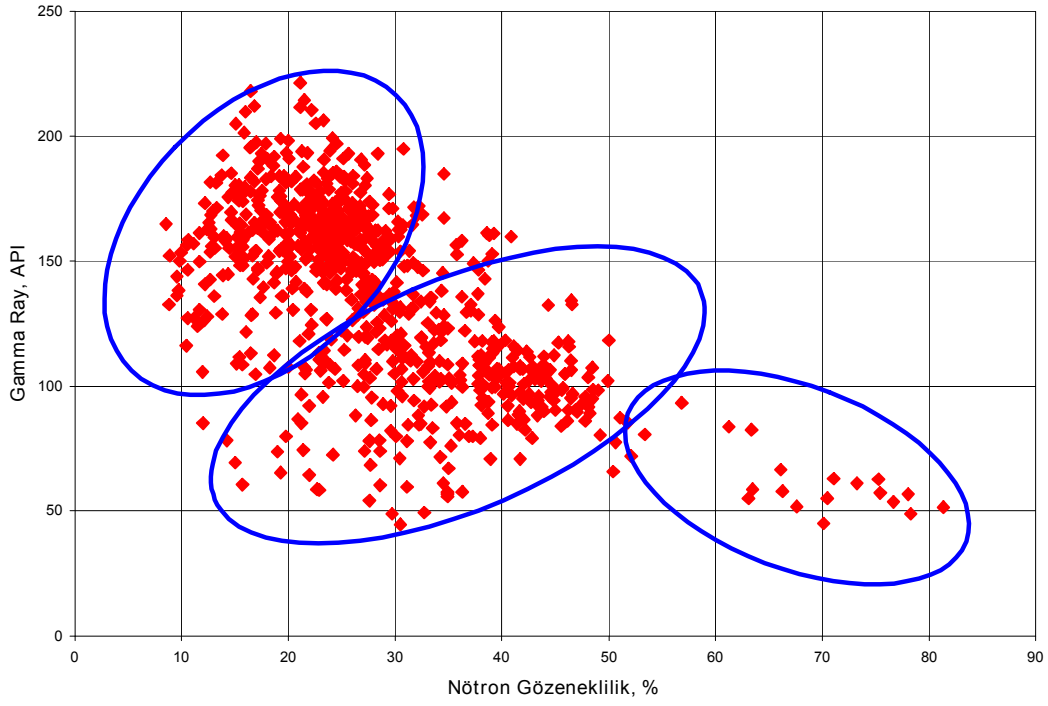
3.1.5. Logların Niteliksel Değerlendirilmesi

İzmir Flişi tek bir formasyon olarak anılmasına rağmen, içinde değişik litolojileri barındıran metakumtaşlarıdır. Bu formasyon içinde hakim bileşen olarak görünen kumtaşları, büyük sıkıştırma kuvvetleri ve ısının etkisi altında kompakt hale gelmiş ve hafifçe metamorfe olmuşlardır. Bu tür formasyonlar metamorfizmaya uğradıkları için petrol sahalarındaki kumtaşlarından farklılıklar göstermektedirler. Ayrıca, Balçova yöresindeki jeotermal sistem içinde dolaşan jeotermal akışkanlar da taşıdıkları ısı nedeniyle, bu formasyona etki etmiş ve bazı kesimlerini alterasyona uğratmışlardır. Bu nedenlerle litolojik içeriği zaten kompleks olan İzmir Flişi daha da karmaşık hale gelmiştir. Jeotermal sistemin büyük ölçüde bu formasyon içinde yer alması ve jeotermal rezervuarın tamamen bu formasyon içinde kalması, bu formasyonun daha da iyi anlaşılmasına ihtiyaç yaratmıştır. Bu bağlamda, rezervuar kayacının daha iyi anlaşılmasını sağlamak için Şekil 9 ve Şekil 10'da görülen çapraz grafikler oluşturulmuştur. BD-5 kuyusunun Şekil 9'da görülen GR-Rezistivite ve Şekil 10'da görülen GR-Nötron Gözeneklilik çapraz grafiklerinde İzmir Flişinin kayda alınan bu bölümünde 3 ayrı birim gözlenmektedir. Bu durum, Şekil 11'de görülen bileşik log demetinde de doğrulanmaktadır. Öte yandan, değişik kuyularda alınan loglar tüm kuyu boyunca alınmayıp, farklı intervalleri kaydettikleri ve kuyu derinlikleri de farklı olmaları için, kuyular arası bir korelasyon yapmak mümkün olmamıştır.

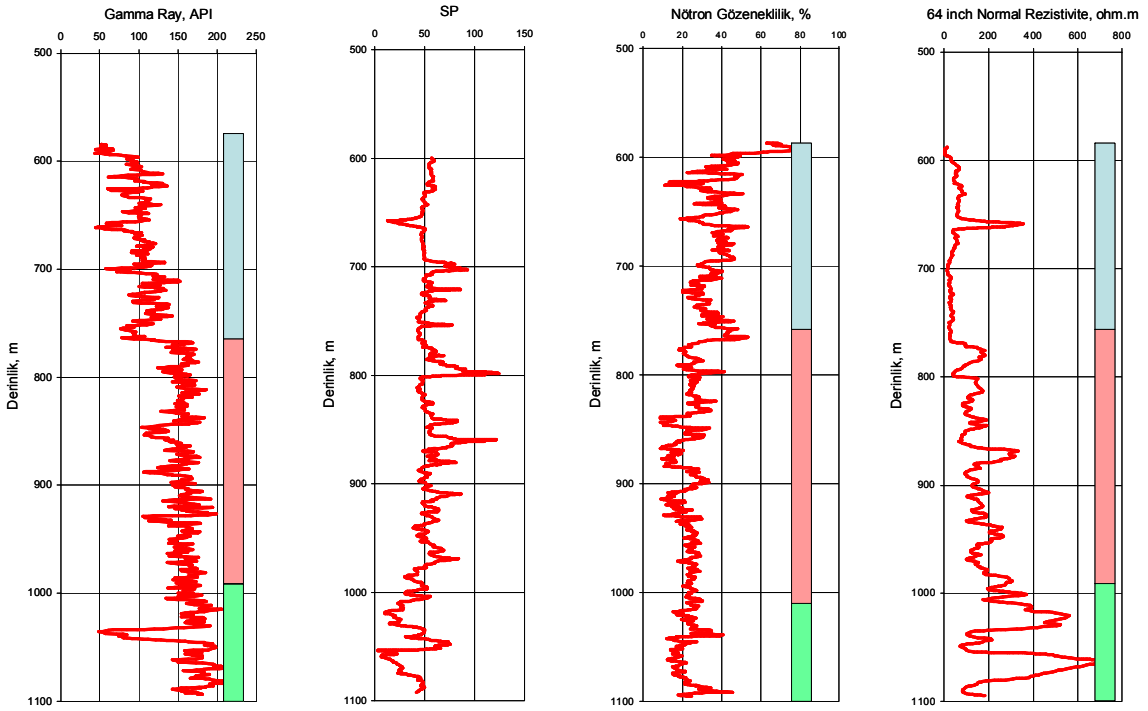
Niteliksel değerlendirme çapraz grafiklerden de gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 12'de görülen BD-8 kuyusu Yoğunluk – Nötron Gözenekliliği (275-670 m aralığında) çapraz grafiği, Şekil 7'de görülen BG-5 kuyusundan (0-75 m aralığında) oldukça farklıdır. Her iki log İzmir Flişi içinde alınmış olmasına rağmen, farklı yerler ve derinliklerden alınmışlardır ve farklı formasyon karakterizasyonu göstermektedirler. Şekil 7'de formasyon tamamen kumtaşı olarak gözlenirken, diğerinde kireçtaşı ve dolomite kaymış görülmektedir. Aslında, İzmir Flişi genelde metakumtaşlarından oluşmuştur. Bu farklılaşmayı, kumtaşının çimento malzemesindeki değişime ve hidrotermal alterasyona yorabiliriz. Hidrotermal alterasyon sonucu oluşan kil minerallerinin yapısında taşıdığı su, gözenekliliğin yüksek görünmesinde rol oynamış olabilir. Bunun yanı sıra, saçılmış değerler çatlaklı bir formasyona da işaret edebilir. Bu yorum BD-8 kuyusu içinde geçerlidir.



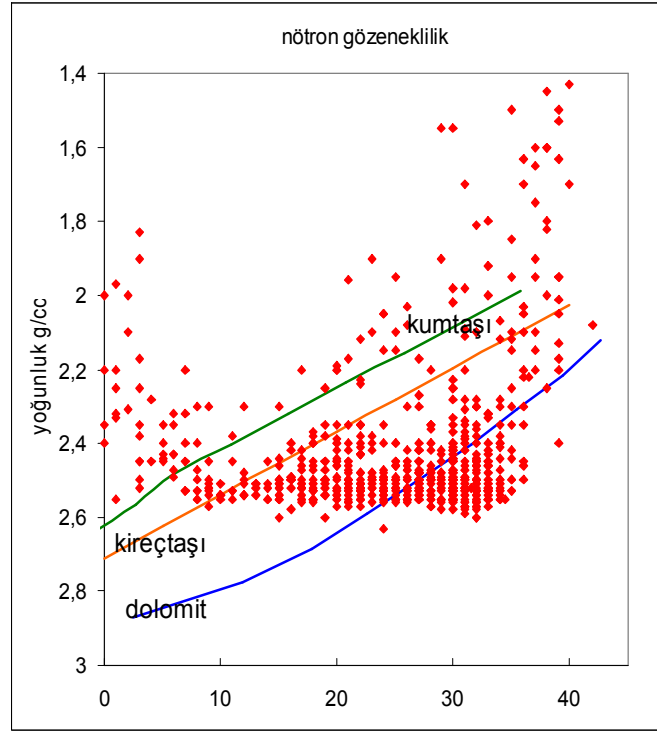
Şekil 9. BD-5 kuyusu GR-Nötron gözeneklilik çapraz grafiği [10].



Şekil 10. BD-5 kuyusu GR-Nötron gözenelilik çapraz grafiği [10].



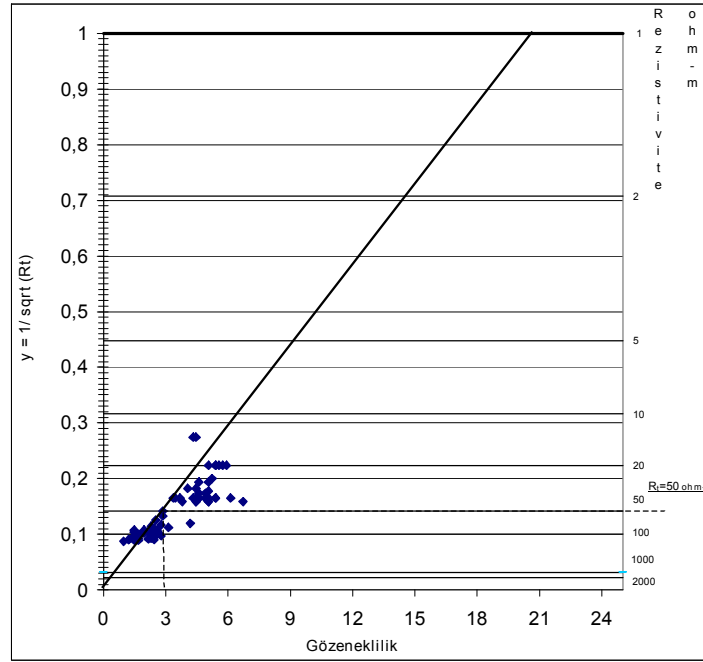
Şekil 11. BD-5 kuyusunun bileşik log demeti [11].



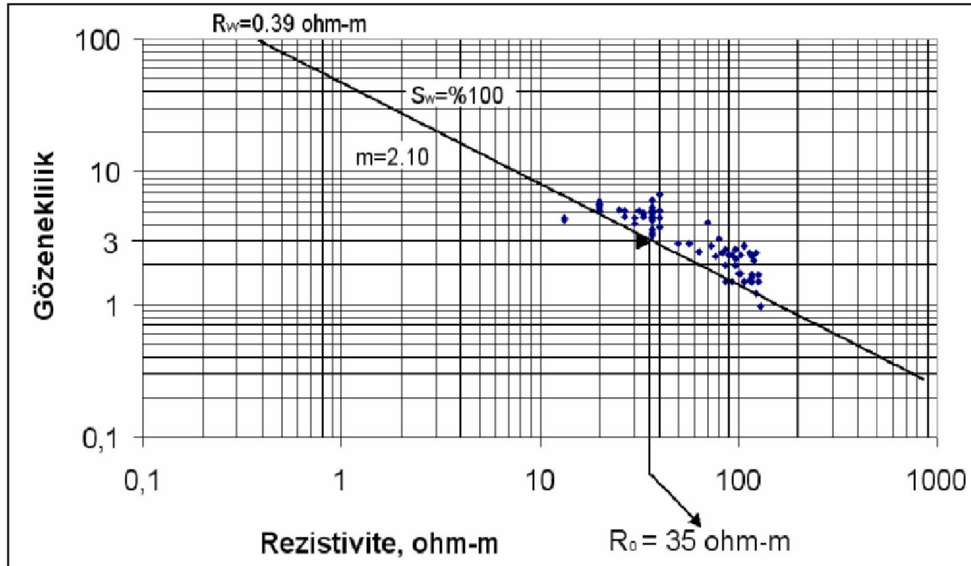
Şekil 12. BD-8 kuyusu Yoğunluk-Nötron Gözeneklilik çapraz grafiği (275-625 m)[10].

3.1.6. Logların Niceliksel Değerlendirilmesi

Logların niceliksel değerlendirilmesinde elde edilen en önemli parametre, nötron logundan doğrudan okunan, yoğunluk ve sonik loglardan formüllerle elde edilen gözeneklilik değeridir. Bunun yanında, yine gözeneklilikle ilgili olarak archie bağıntısındaki çimentolama faktörü m 'in çapraz grafiklerden hesaplanmasıdır. Bu bağlamda yapılan çalışmalar çerçevesinde AF-1 kuyusunda mermer ve kalkışist tabakası için oluşturulan Hingle ve Pickett çapraz grafikleri Şekil 13 ve Şekil 14'te görülmektedir. Adıgeçen kuyu için m çimentolama katsayısı 2.12 olarak bulunmuştur. Bu değer Archie formülünde yerine konularak, o formasyon için değişik derinliklerde gözeneklilik değeri hesaplanabilir.



Şekil 13. AF-1 kuyusu için oluşturulan Hingle grafiği [8].



Şekil 14. AF-1 kuyusu için oluşturulan Pickett grafiği [8].

SONUÇ

Yukarıda anlatılanların ışığı altında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Jeotermal sahalarda öncelikli hedef olan geçirgen ve gözenekli zonların tanımlanması ve çatlakların belirlenmesinde kullanılan loglar genel olarak tanıtılmıştır.

Eski logların değerlendirilebilmeleri için gerekli birim dönüşüm ve normalizasyon teknikleri tanımlanmıştır. Log kayıtları alınmış kuyular için dönüşüm ve tanımlama prosesi uygulamalı olarak sunulmuştur.

Afyon ve Balçova jeotermal sahalarda kaydedilmiş eski kuyu loglarından, niteliksel ve niceliksel değerlendirmeler sonucunda elde edilen parametre değerleri ve yorumlar verilmiştir.

Türkiye'deki jeotermal sahalarda daha etkin ve verimli kullanılabilmesi için, rezervuar tanımlamasının temel girdi verisini sağlayan log ölçüm kayıtlarının, işletmeciler tarafından sistematik olarak alınması gerekmektedir.

Daha sağlıklı değerlendirme ve yorum yapılabilmesi için yeni teknoloji ile alınmış logların Türkiye'deki jeotermal sahalarda kullanımı özendirilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] SERPEN, U., "Geothermal Well Logging", Report to PNO, Manila, 1980.
- [2] STEFANSSON, V. & STEINGRIMSON, "Geothermal Logging I". Orkustofnun, Second Edition, Reykavik, June 1981.
- [3] KELLER, G.V., MURRAY, J.C. & TOWLE, G.H., Geophysical Logs from Kilauea Geothermal Drill Hole, Paper L, SPWLA 15th Annual Logging Symposium, Mc Allen, Texas, June 2-5, 1974.
- [4] STEFANSSON, V., GUDLAUGSSON, S.T., and GUDMUNSSON, A., "Silica Content and Gamma Ray Logs in Volcanic Rocks", Proceedings WGC2000, Kyushu-Tohoku, Japan, May 28-June 10 2000.
- [5] DESBRANDES, R., "Encyclopedia of Well Logging", Gulf Publishing Company, Houston, Texas, ABD, 1985.
- [6] BASSIOUNI, Z., Theory, "Measurement and Interpretation of Well Logs", SPE Society of Petroleum Engineers, Vol. 4, Richardson, Texas, ABD, 1994.
- [7] SERPEN, U. ve GÜLGÖR A., Jeotermal Kuyularda Kuyu Logları Uygulamaları, Türk Petrol ve Doğalgaz Dergisi Vol.1, No.1 40-48, Haziran 1995.
- [8] UZUNER, Ö., "Afyon AF-1 ve AF-3 Jeotermal Kuyularının Log Analizi", İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl. Bitirme Çalışması. İstanbul, 2005.
- [9] SATMAN, A., SERPEN, U. ve ONUR; M., "Balçova-Narlıdere Jeotermal Rezervuar ve Üretim Performans Değerlendirilmesi", Balçova Jeotermal Ltd. için Rapor, İstanbul, 2001.
- [10] DİLSİZ, M. : "Balçova Jeotermal Sahası BD-8 & BD-9 Kuyuları Log Analizleri", Bitirme Tasarım Projesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, İstanbul, Mayıs 2004.
- [11] SERPEN, U., ALTUN, G., DİLSİZ, M. ve AKSOY, N., İzmir Flişi İçinde Kuyu Logları Değerlendirmesi, IPETGAS2005, 15th International Petroleum and Natural Gas Congress and Exhibition, 11-13 May, Ankara, 2005.

ÖZGEÇMİŞLER

Umran SERPEN

1945 yılı İzmir doğumludur. 1967 yılında İTÜ Petrol Müh. Böl.'den mezun olduktan sonra 1974 yılına kadar TPAO ve MTA'da petrol ve jeotermal sahalarda çalışmıştır. 1974 yılından 1987 yılına kadar ELECTROCONSULT adlı bir İtalyan mühendislik ve danışmanlık şirketinde El Salvador, Guatemala, Meksika, Nikaragua, Kosta Rika, Arjantin, Şili, Etiyopya, Kenya, Filipinler, Rusya ve İtalya gibi ülkelerin çeşitli jeotermal projelerin çeşitli aşamalarında danışmanlık yapmıştır. 1987 yılından itibaren İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl.'de Öğr. Gör. Dr. olarak çalışmaktadır.

Gürşat ALTUN

1966 yılı Artvin/Şavşat doğunludur. 1988 yılında İ.T.Ü. Maden Fakültesi Petrol Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Aynı Üniversiteden 1993 yılında Yüksek Mühendis ve Louisiana Eyalet Üniversitesinden (ABD) 1999 yılında Doktor ünvanını almıştır. 1989-1999 Yılları arasında Araştırma Görevlisi olarak İ.T.Ü.'de ve LSU'da görev yapmıştır. 2000 yılından beri İ.T.Ü. Maden Fakültesi Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, Sondaj ve Formasyon Değerlendirmesi Anabilim Dalı'nda Yard. Doç. Dr. olarak görev yapmaktadır. Sondaj ve sondaj hidroliği, sondaj akışkanları, kuyu kontrolü, kuyu stabilitesi, kuyu logları, koruma borulu ve üretim kuyularında log değerlendirilmesi konularında çalışmaktadır.