

**JEOTERMAL SAHALARIM DEĞERLENDİRİLMESİNDE, REZİSTİVİTE
ETÜDLERİNİN ÖNEMİ VE ELEKTRİK SONDAJLAR SONUCU,
REZERVUAR SICAKLIĞININ TAYİNİ HAKKINDA YENİ BİR METOD**

Sırrı KAVLAKOĞLU (x)

özet :

Bilindiği gibi, Jeotermal sahalarda ısı kaynağı olabilen bir mağmatik kütle bahis konusudur. Genellikle 5 - 6 km. derinlikte olabilen ve 2000 - 3000 °C sıcaklığında bulunabilen böyle bir kaynağa herhangi permiabiliteyle bağlı yer üstü ve yeraltı meteorik suları, mağmatik kütleyle delmek suretiyle ısınmakta ve daha ziyade düşey permiabiliteleri seçerek yukarı çıkmaktadır. Yukarıya çıkarken gerek içinden geçtiği kayalardan sıcaklığına uygun olarak erittiği materialleri ve gerekse mağmatik kütleden ayrılan iuvenil suyu da ihtiva edebileceği irin sıcak su artık bir sıcak çözelti halinde olacaktır.

Sıcak çözelti, yukarı bölgelerde bulunması muhtemel soğuk meteorik su rezervuana ulaşınca, Darcy Kanununa uygun olarak bir kısım soğuk meteorik suyun yerine yerleşecektir. Böylece rezervuarda tabanı geniş silindirik bir sıcak çözelti sütunu meydana gelecektir. Zamanla bu sütun daha ziyade küçük genlikli konveksiyon akımları sebebiyle genişliyecektir.

Rezervuarda meydana gelmiş olan sıcak çözelti sütunu, ihtiva ettiği tuzlar dolayısıyla, civarına nazaran daha iletken olabilecek ve netice olarak bu, sathıtan yapılan sabit aralıklı elektrot sistemi ve elektrik sondajlarla lokalize edilebilecek ve muhtemel derinliği bulunabilecektir. Ayrıca elektrik sondajlarla rezervuarın muhtemel sıcaklığı, burada teklif ettiğimiz bir metodla, tayin edilebilmektedir.

Görüldüğü gibi, rezistivite metodu ile sıcak çözelti lokalize edilebilmekte ve bunun muhtemel derinliği ile sıcaklığı tayin edilebilmektedir.

Jeotermik enerji sahaları için çok önemli olan kuru - buhar bölgelerinin tesbiti, sıcak çözeltinin ortaya konmasından sonra gelen bir çalışmadır. Ancak bu konuda Jeofizik yönden yeni araştırmalar yapılması gerekir.

Giriş :

Jeotermik enerji bugün önemli enerji kaynaklarından biri olmuştur. Meselâ İtalya'nın sadece Larderollo sahasından 400 MW civarında, Amerika'nın Gaysers Jeotermal sahasından 300 MW, Yeni Zelanda'nın Wairekei Jeotermal sahasında 200 MW civarında önemli olabilecek güçler temin edilmektedir. Bunlardan başka, yer altından satha çıkarılan bu enerji kaynağını kıymetli yan elementleri ihtiva etmesi dolayısıyla önemli olabilmektedir. Ayrıca derinleiden satha kadar ulaşırken bazı Jeolojik fikirleri yansıtmaması bakımından da faydalı olmaktadır.

Bu gün Türkiye'mizde, Kızıldere bölgesinde bu yönden enerji üretmek için projeler hazırlanmakta ve Afyon bölgelerinde de enerji elde etme, şehri ısıtma, Pamukkale tipinde turistik yerler meydana getirmek için projeler yapılmaktadır.

(x) Dr. Jeofizikçi, M.T.A. Enstitüsü

Genç volkanik hareketlere sahne olan Türkiye'mizde, termal zuhurlar yaygın ve çoktur. Bugüne kadar, Sarayköy, Gönen, Agamemnun, Urla; Tuzla - Çanakkale ve Afyon'da yapılan çalışmalar memleketimizin Jeotermal potansiyel bakımından büyük bir potansiyele haiz olacağını göstermiştir. Dolayısıyla, bu konuya eğilmek Türkiye'ye faydalar sağlayacaktır.

Jeotermal potansiyelin önemi dolayısıyla geçen yıl Piza - italya'da Birleşmiş Milletler «Jeotermal Kaynakların Geliştirilmesi ve Faydalanma» konusunda bir simpozyum düzenlemiştir. Bu simpozyumda yüz elliye yakın tebliğ verilmiştir. Bunlardan J. Mc. Nitt (1970) Jeotermal sahaların Jeolojik yönden sınıflandırılması ve Jeotermal sahaların meydana gelmesinde mümkün olabilecek mekanizma'yı ele almıştır. D. E. White (1970), Jeoşimik yönden, Jeotermal sahaların, kuru - buhar ve sıcak - su sahaları olarak iki sınıfta mütalâa edilmesi ve Cl, SiO₂, Na, K, Ca, B, CO₂ ihtivalarının sıcak su sistemlerini değerlendirmede önemli olabilecekleri ayrıca SiO₂ ve Na/K değerleri bir çok sistemde rezervuar sıcaklığını veren büyüklükler olabileceğini tartışmıştır. B, NH₄, CO₂, Hg ihtivalarının fazlalığı kuru - buhar sistemlerinin müşterek vasıfları olarak belirlediği eleştirilmiştir.

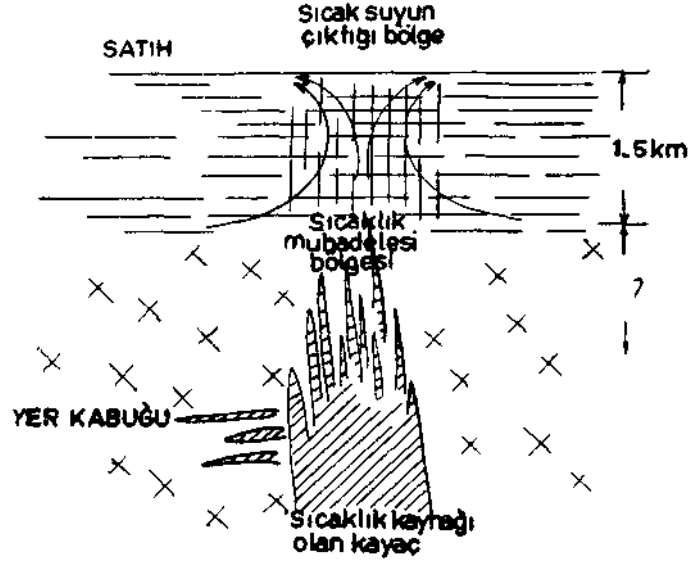
C. J. Banwell (1970) Jeofizik yönden, Jeotermal sahaların fizik modelleri, 15-30 m.'lik kuyularda gradient ölçüleri ve rezistivite etüdüleri ve istikşaf sondajlarının lokasyonu için kriterler üzerinde durmuştur. Bunlardan başka R. James (1970) buhar-su karışımı sahalarının hangi hallerde kuru-buhara dönüşebileceğini ve bol miktarda akmaya terkedilen sıcak suyun yere yeniden enjekte edilmesi konularını etüd ve münakaşa etmiştir.

Biz bunlara paralel olarak yeraltı sıcak çözeltisinin, lokasyonu, takribi derinliği ve burada teklif ettiğimiz bir metodla, rezervuar sıcaklığını ortaya koymak yönünden rezistivite metodlarının önemini göstermeye çalışacağız. Bunun için sıcak suyun özelliğini ve rezervuara yerleşmesi ve muhtemel şekli hakkında bilgilere ihtiyacımız olacaktır. Bunlarla ilgili olarak, G. V. Keller (1970) Yeni - Zelanda Jeotermal sahası için hipotetik bir kesit vermiştir. Bu kesitini, manyeto-tellurik derin rezistivite çalışmalarıyla tesbite çalışmıştır. A. Mc. Nabb (1969) rezervuara yakın bir sıcaklık sorsu düşünerek bu sorsa Darcy Kanununa uygun olarak akan soğuk meteorik suyun değmek suretiyle ısınmasını ve aynı Darcy Kanunu uyarınca sütun halinde yükselmesini etüd etmiştir. K. Tezcan (1966) satıhtaki sıcak suların rezistivitesini tayin etmek suretiyle düşük rezistiviteli konturların önemli olacağını işaret etmiştir. S. T. Boniwellme (1968) sudaki klor ihtivasına göre, rezistivite değerlerindeki düşüşünü göstermiş ve buna istinaden düşük rezistiviteli konturların sıcak suyu lokazi ettiğini göstermiştir. S. Kavlakoğlu (1968) S. Kavlakoğlu (1970) sıcak suyun rezervuara yerleşmesini ve rezervuardaki şeklini Darcy Kanununa uygun olarak etüd etmiştir.

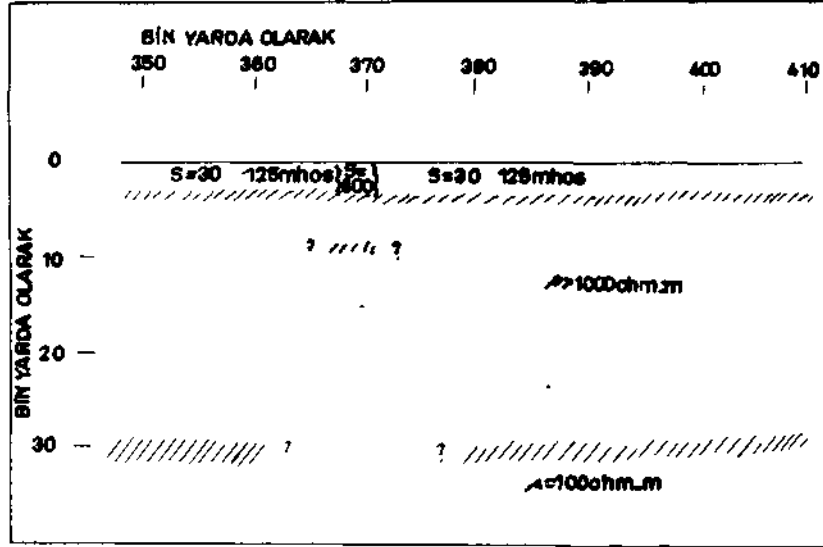
Jeotermal Sahaların Değerlendirilmesinde Rezistivite Etüdülerinin Önemi.

Sıcaklık kaynağı olarak satha çıkmamış bir erüptif kayaç magmasını nazarı itibare alalım. Bu konuda G. V. Keller'in hipotetik kesiti (Şekil 1) de görülmektedir.

G. V. Keller, satha çıkmamış ve arz kabuğu içinde seri halde dayklar düşünmüştür. Meteorik su bunlara değerek ısınmakta ve rezervuara yükselmektedir. Bu görüşünü doğrulamak için Yeni Zelanda Kuzey adasında bulunan Jeotermal bölgede magneto-tellurik derin rezistivite etüdüleri yapmıştır. (Şekil 2)

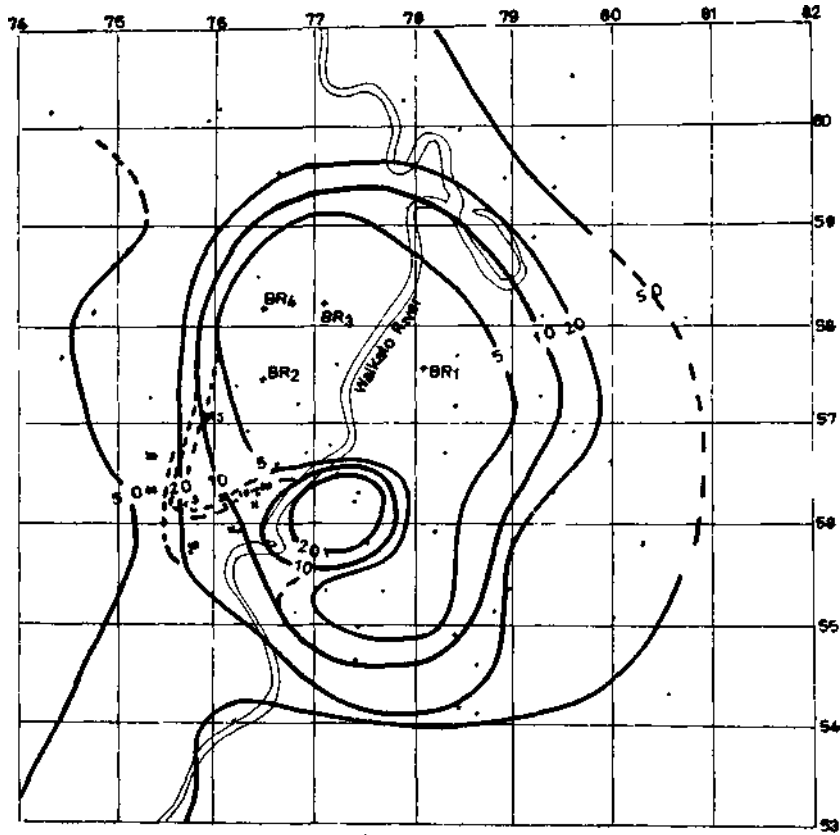


ŞEKİL . 1



ŞEKİL . 2

Şekilde görüldüğü gibi orta kısımda, iletkenliği civana nazaran yüksek olan bir bölge bölge mevcuttur. Bu, burayı dolduran sıcak suyla izah edilmektedir. Aynı şekilde P. Me. Donald (1968)'in rezistivite ile tesbit etmiş olduğu ve sondajlarla teyid edilen sıcak su sütunu (Şekil 3), Mc. Nabb (1969) tarafından teorik olarak izah edilmeye çalışılmıştır. Mc. Nabb, rezervuara bitişik sıcaklık kaynağı düşünmüş-



ŞEKİL- 3

BROADLANDS REZİSTİVİTE HARİTASI

Wenwır «lektrot aralık 1800ft

Rezistivite konturları ~ 20

Dışarı ohm.m

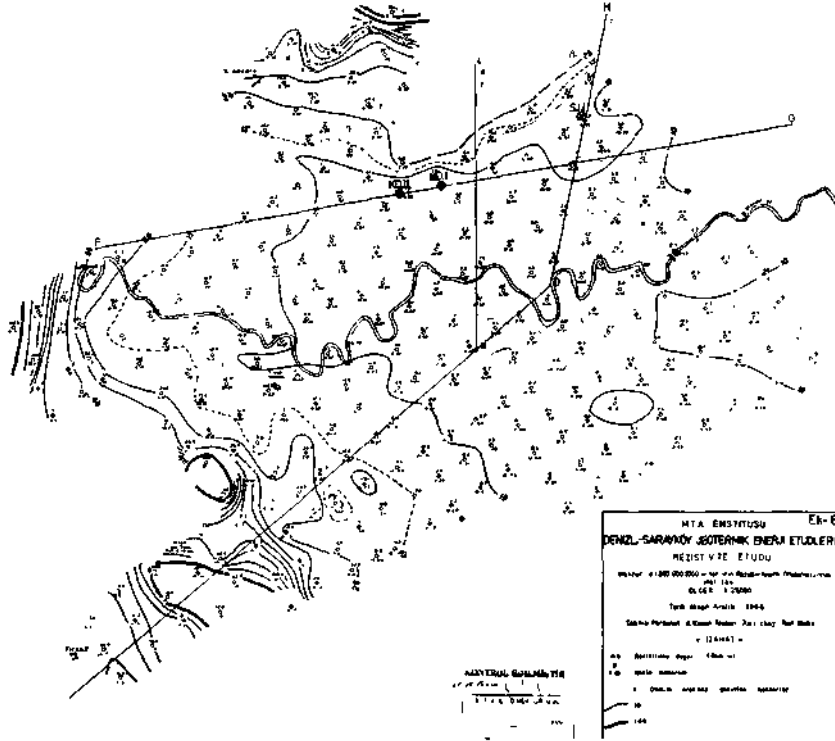
Sondajlar *B/J

ÖLÇEK

1000 0 1000 2000m

tür. (Şekil 4). Rezervuardaki meteorik soğuk su sıcaklık kaynağına kadar inerek ısınmakta ve bir sütun halinde yukarıya çıkmaktadır. Böylece rezistivite haritaları ve sondajlarla elde edilen neticeler teorik olarak izah edilmeye çalışılmıştır. K. Tezcan (1969) Sarayköy'de yapmış olduğu rezistivite etüdlarını değerlendiren sıcak suyun rezistivitelemlerinin düşük olduğunu tesbit etmiş ve düşük rezistiviteli konturnun sıcak su bölgelerini belirttiğini ortaya koymuştur. (Şekil 5). (Şekil 6).

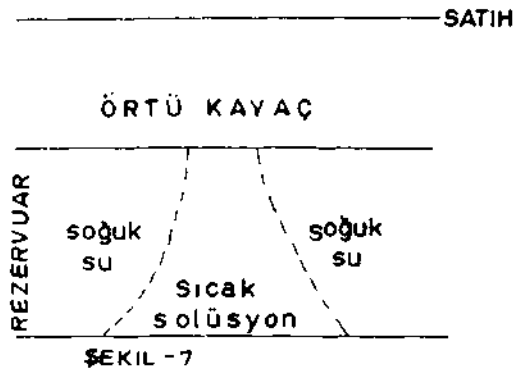
Kanaatimce, herhangi bir permiabl sistemle, sıcak kaynağına bağlı, yer üstü ve yer altı meteorik suları, derinlerdeki sıcak kaynağına değmek suretiyle ısınmaktadır. Isınan bu su, sıcak kaynaktan ayrılan juvenil suyu ve bazen aynı kaynaktan ayrılan sıcak gazları da ihtiva edebilmektedir. Bu sıcak su, termodinamik kanunlara uygun olarak ve daha çok şakuli permiabilitelelen seçerek örtü tabakası altında bulu-



Şekil : 6

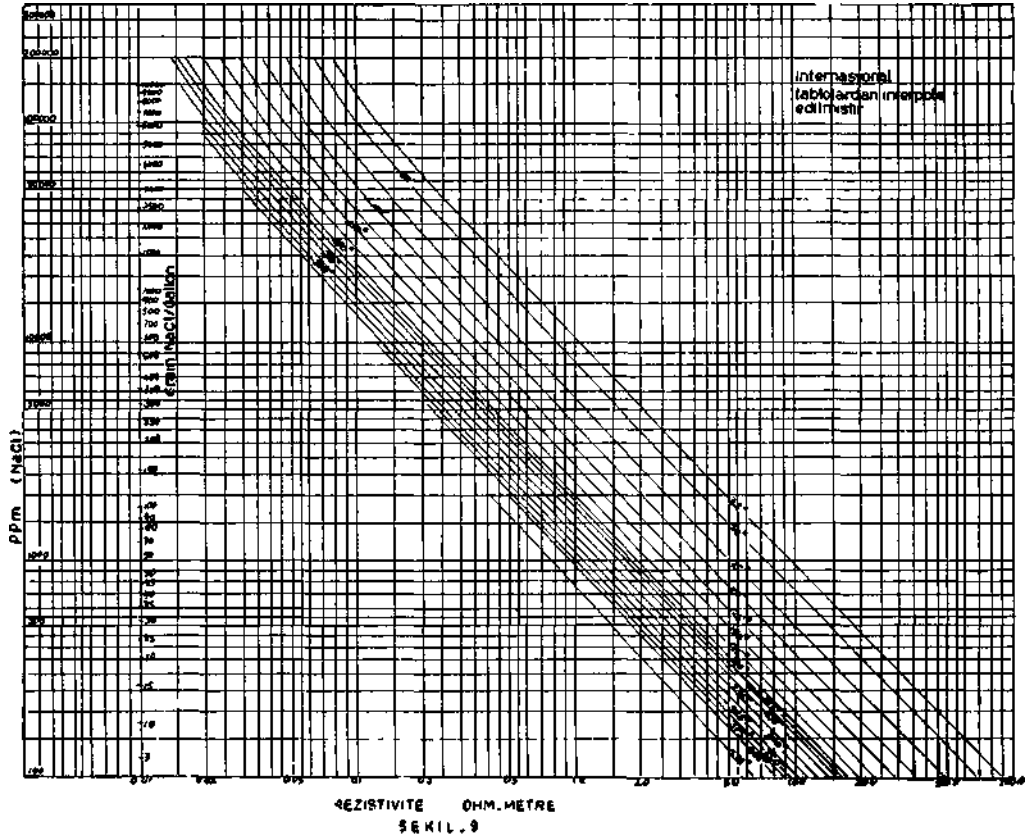
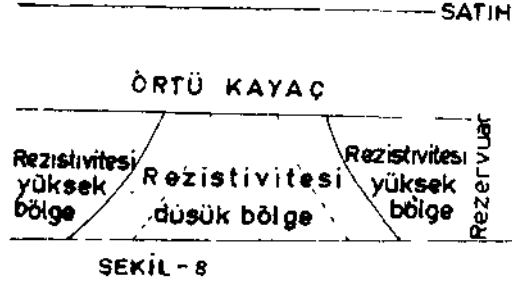
olarak Darcy Kanunu gereğince başlangıçta rezervuardaki meteorik suyun bir kısmının yerine yerleşecektir. (Şekil 7). Bunun teorik izahı, «Jeotermik enerji kaynağı Jeotermal akiferler hakkında yeni bir görüş Sarayköy sahası için uygulama» adlı makalemizde yapılmıştır. S. Kavlıkoğlu (1968).

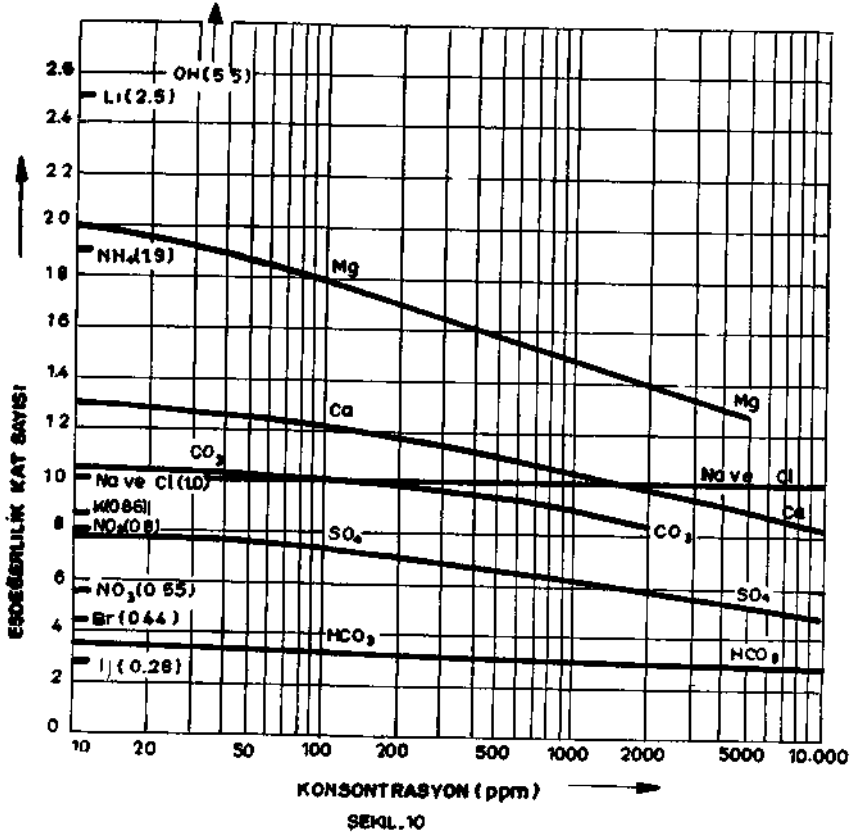
Meteorik su rezervuarına yerleşen sıcak çözelti daha ziyade küçük genlikli konveksiyon akımları sebebiyle meteorik soğuk su bölgelerine doğru genişliyecektir. (Şekil 8). Artık rezervuarda tabanı geniş silindirik şekilde bir sıcak çözelti bahis konusudur. Ve bu yapılan sondajlar sonucu doğrulanmıştır. (Meselâ Şekil 3)



ŞEKİL - 7

Bu çözeltinin rezistivitesi, konsantrasyon miktarı ve sıcaklığı arasındaki bağıntılar abakta görülmektedir. (Şekil 9). Abak sadece NaCl solüsyonu için hazırlanmıştır. Çözeltimiz meselâ Br, NO_3 , HCO_3 , I, SO_4 , NO_2 , K, CO_3 , Ca, NH_4 , Mg, Li, OH, v.s. gibi elemanları ihtiva ediyorsa, bunların NaCl'e eşdeğer değerlerini aşağıdaki abak vasıtasıyla hesap etmek mümkündür. (Şekil 10). Binaenaleyh çözeltimizin ihtiva ettiği elementlere göre, eşdeğer ppm değerlerini bulmak suretiyle, daima NaCl çözeltisi için yapılmış abak kullanılabilir.





Görüldüğü gibi, rezistivite sıcak çözeltinin sıcaklığının ve konsantrasyon değerinin fonksiyonudur. Yani

$$\rho = f(t, k) \text{ şeklindedir.}$$

Burada ρ çözeltinin rezistivitesi t sıcaklık ve k konsantrasyon değeridir, ve rezistivite sıcaklıkla ters, ppm değeri ile doğru orantılıdır. Demek oluyor ki, satıhtaki çözeltinin rezistivitesi ve sıcaklığı bilindiği takdirde derindeki çözeltinin rezistivitesinin mertebesi hakkında abaktan istifade etmek mümkündür. Genellikle çözeltiyi ihtiva eden formasyonun rezistivitesi civarına nazaran düşük olmaktadır. Binaenaleyh rezistivite metodunun, sabit elektrot aralığı sistemi, kullanılarak çözeltiyi ihtiva eden sütun lokalize edilebilecektir.

Bundan başka muhtemel Jeotermal sahada yapılacak elektrik sondajlar çözelti sütununun satıhtan itibaren muhtemel derinliği hakkında fikir verecektir. Ayrıca G. V. Kell'in çalışmalarına uygun çalışmalar yapmak suretiyle Jeotermal bölgenin rezistivite modelini çizmek mümkün olabilecektir. (Şekil 2) Bunların yanında rezistivite metodlarının vereceği klâsik bilgileri de mütalâa edebiliriz.

Görülüyor ki yapılan ve yaptığımız teorik ve tatbiki çalışmalara istinaden, rezistivite metodlarıyla, termal bölgenin model olarak bir tasavvurunu yapmak, sıcak çözeltiyi ihtiva eden formasyonu derinliğine ve yatak olarak sınırlamak mümkün olabilmektedir.

Elektrik Sondajlarla Rezervuar Sıcaklığının Tayini Hakkında Yeni bir Metod.

Yazımızın birinci kısmında, rezistivite metodlarıyla Jeotermal sahaların büyük çapta değerlendirilebilmekte olduğu gösterilmişti. Ancak bu metodlarla rezervuar sıcaklığı hakkında yaklaşığa olsa bir fikre sahip olamıyorduk. Bu bölümde vereceğimiz yeni bir metodla, elektrik sondajlar sonucu, bunun mümkün olabileceğini göreceğiz.

Biliyoruz ki, rezervuarlardaki sıcak çözeltinin rezistivitesi ile sıcaklığı arasında,

$$f_{\zeta} = f(k, t)$$

şeklinde fonksiyonel bir bağıntı vardır. Burada f_{ζ} çözeltinin rezistivitesi, t çözeltinin sıcaklığı k ' de konsantrasyon miktarıdır. Ancak biz satıhtan yaptığımız elektrik sondajlarla, sıcak çözeltiyi ihtiva eden muhtemel rezervuarın rezistivitesini tayin edebiliyoruz. Bu f_r olsun, f_r ile f_{ζ} arasında, yüzde yüz satürasyon halinde

$$\frac{\rho_r}{\rho} = F \frac{\rho_r}{\rho} \quad \text{bağıntısı vardır.}$$

Burada F . formasyon rezistivite faktörüdür.

Formasyon rezistivite faktörünü, Jeotermal bölgedeki muhtemel rezervuarların porositelerini tayin etme imkânına sahip olduğumuza göre, porosité cinsinden yazalım. Meselâ 0, yumuşak formasyon için

$$F = \frac{0.81}{\phi^2} \quad \text{şeklindedir.}$$

Bu takdirde rezervuardaki çözeltinin rezistivitesi

$$\rho_{\zeta} = \frac{\phi^2}{0.81} \rho_r \quad \text{şeklinde olacaktır.} \quad (1)$$

Diğer taraftan, petrol kuyuları çamurlarında kullanılmak üzere ve sabit konsantrasyon halinde, meselâ NaCl çözeltisi için J. J. Arps (1953) tarafından verilecek sıcaklıkla rezistivite arasındaki aşağıdaki amprik bağıntıyı

$$\left(R_w \right)_{t_2} = \left(R_w \right)_{t_1} \cdot \frac{t_1 + 6.77}{t_2 + 6.77} \cong \left(R_w \right)_{t_1} \frac{t_1 + 7}{t_2 + 7} \quad (2)$$

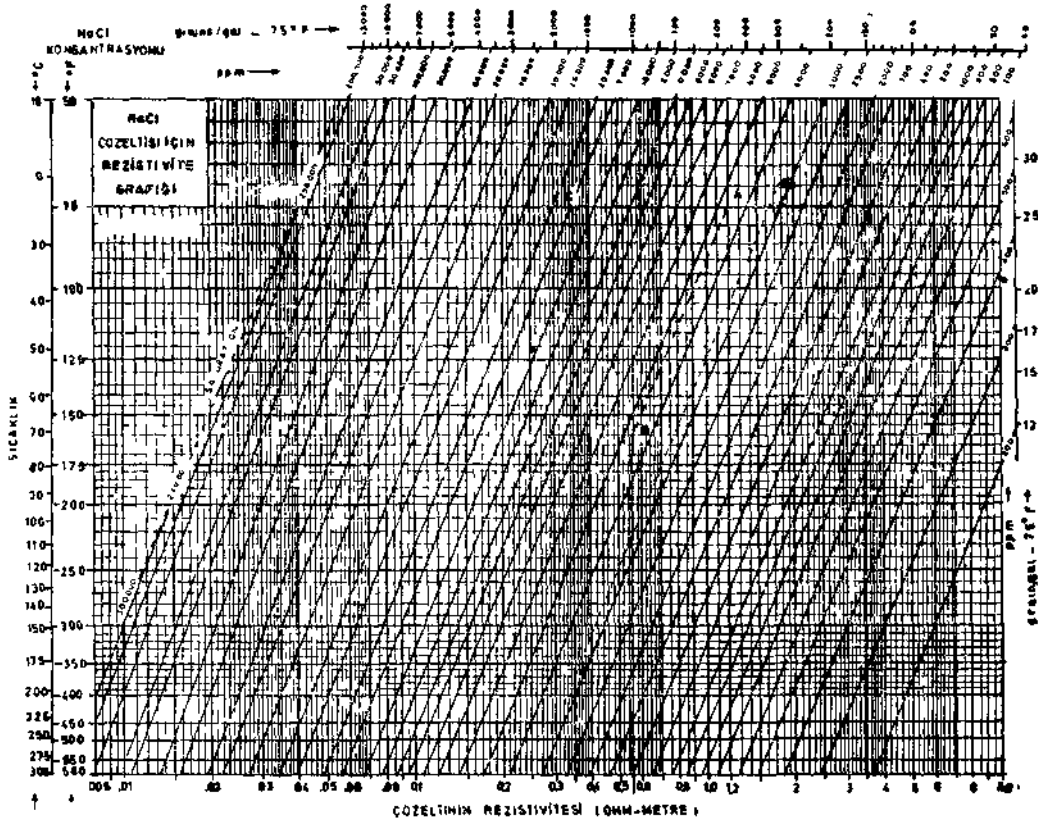
yazalım. Burada, $(R_w)_{t_1}$ tuz çözeltisinin t_1 sıcaklığındaki ohm-m cinsinden rezistivitesi, $(R_w)_{t_2}$ tuz çözeltisinin t_2 sıcaklığındaki ohm-m olarak rezistivitesidir. t_1 ; t_2 fahrenheit cinsinden iki muhtelif sıcaklıktır.

Jeotermal saharımızda, elektrik sondaj sonucu muhtemel rezervuara ait elde edilen rezervuar rezistivitesini rezervuar sıcaklığı yönünden değerlendirmek için (1) ve (2) formüllerinden

$$R_t = 0.81 \cdot \frac{(\rho)_{t'}}{\rho_R} (t + 7) - 7 \quad (3)$$

elde edilir. Böylece satıktaki ölçüler sonucu rezervuar sıcaklığını veren formülü bul-
mu oluruz. Burada, R_2 fahrenheit cinsinden rezervuar sıcaklığı, θ rezervuarın porosi-
tesi, $(\rho)_{t'}$ t' satıhtaki t' sıcaklığındaki sıcak çözeltinin ohm-m cinsinden rezistivitesi,
fr elektrik sondaj sonucu elde edilmiş muhtemel rezervuarın ohm-m cinsinden rez-
istivitesi ve t satıhtaki sıcak çözeltinin fahrenheit cinsinden sıcaklığıdır.

Ayrıca yukarıda (3) numaralı formülümüzden ve Schlumberger'in NaCl çözeltisi için çizmiş olduğu abaklardan, yararlanarak Jeotermal çalışmalarda kullanılmak üzere aşağıdaki abağı tertiplemek mümkündür. (Şekil 11). Tertiplemiş olduğumuz bu abağa göre, satha çıkan belli sıcaklıktaki çözeltinin rezistivitesi ve muhtemel rezervuarın porositesi bilindiği takdirde elektrik sondajla muhtemel rezervuara ait tayin



ŞEKİL 11

edilmiş rezistivite değerinden bu rezervuarın sıcaklığını bulmak mümkün olabilmektedir.

Örneğin; satıhta çıkan 70°F sıcaklığında çözeltinin rezistivitesi 1,8 ohm-m olsun. Düşey sıcaklık eksenindeki 70°F noktasından yatay eksene çizeceğimiz paralel çizgiyle, yatay eksen üzerinde 1,8 ohm-m noktasından düşey eksene çizeceğimiz paralel doğrunun kesim noktası P olsun. P noktasından konsantrasyon doğrularına paralel bir doğru çzelim. Bu doğru aynı zamanda sıcak çözeltinin konsantrasyon değerini de vermektedir. Elektrik sondaj sonucu bulunmuş olan meselâ fr = 2,8 ohm-m rezistivite değerini muhtemel rezervuara ait meselâ;

$$\frac{\varnothing^2}{0.81} \approx \frac{1}{8}$$

$$\text{(Burada } \varnothing = \frac{32}{100} \text{ alınmıştır.)}$$

değeri ile çarptıktan sonra elde edilen (0.35 ohm-m) değerini yatay eksen üzerinde alarak buradan çıkılacak dik doğrunun konsantrasyon eğrisini kestiği noktaya ait sıcaklık (375°F), muhtemel rezervuarın sıcaklığı olacaktır.

Netice :

Görüldüğü gibi, rezistivite metodu, Jeotermal sahaalrın değerlendirilmesinde en önemli Jeofizik metodlardan biri olmaktadır. Ve bu konuda kullanılan diğer metodlar içindede yegâne olarak belirlemektedir.

Bu bakımdan MTA Enstitüsü, Jeotermik enerji yönünden çok önemli olabilecek Afyon Jeotermik enerji bölgesini sadece rezistivite etüdüleriyle meydana çıkarmıştır. Bunun maliyeti, klâsik metodlar uygulanmak suretiyle ortaya konan diğer Jeotermik enerji bölgelerinin maliyeti yanında, sıfır mertebesindedir.

Zira sadece rezistivite metodlarıyla (Yeni teklif ettiğimiz metod dahil) sıcak çözeltiyi ihtiva eden formasyonu lokalize etmek bunun derinliği hakkında ve sıcaklığı hakkında bilgi edinmek mümkün olabilmektedir.

Kanaatimce, bu kadar bilgi, yapılacak istikşaf sondajları için yeterli sayılabilir.

Bu çalışmalardan sonra, sahanm kuru buhar imkânları bahi skonusu otenalıdır. Ancak bu konuda klasik etüdülerin dışında fikrimiz yoktur. Bazı araştırmaların yapılması gerektiği kanısındayım.

Bibliyografik Tanıtım :

- (1) J. Mc. Nitt, The Geologic Environment of Geothennal Fields as a Guide To Exploration.
Piza 197» TV/1 Distr. Limited. U. N. Symposium.
- (2) D. E. White, Geochemistry Applied to the Discovery, Evaluation, and Exploration of Geothennal Energy Resources.
Piza 1970 Distr. Limited. U. N. Symposium.

- (3) C. J. Banwell., Geophysical Techniques in Geothermal Exploration, Piza 1970 Distr. Limited. U. N. Symposium.
- (4) R. James., Reservoir Physics and production Management. Piza 1970 Distr. Limited. U. N. Symposium.
- (5) G. V. Keller., Induction Methods in Prospectiong for Hot Water Piza 1970 IV/1 Distr. Limited. U. N. Symposium.
- (6) A. Mc. Nabb., On Convection in a porous Medium.
- (7) K. Tezcan., Denizli - Sarayköy Jeotermik Enerji Araştırmaları, Gravite ve Re-zistivite Etiidleri Raporu 1966. MTA Rapor No: 3841.
- (8) C. J. Bamvell, P. Me. Donald., Broadlands Geothermal Area Geophysical Survey. 1967 D. S. I. R. New-Zealand.
- (9) S. Kavlakoğlu, Jeotermik Enerji kaynağı Jeotermal Akiferler Hakkında Yen] Bir Görüş; Türkiye 2. Genel Enerji Kongresi 1968
- (10) S. Kavlakoğlu, Origin Of The Geothermal Waters or Natural steam. Piza 1970. Distr. Limited. U. N. Symposium.
- (11) J. J. Arps, The Effect of Temperature On The Density and Electrical Re-sistivity of Sodium Chloride Solutions. J. Petroleum Technology Oct 1953, 5, No: 10)