

JAPONYADA MATSUKAWA JEOTERMAL SAHASINDA ALINAN KUYU KAROTLARINDAKİ SİSMİK DALGA HIZLARININ ÖLÇÜLMESİ (+)

Burhan Özçiçek

M.T.A. Enstitüsü 1964 - 1965 J.I.S.E.E.
(Tokyo) talebesi

1. GİRİŞ

Total verimi 150 Ton/H olan 3 kuyunun delinmesinden sonra, dördüncü kuyuda delinmiştir ve bazı jeo fizik ameliyeler altında bulunmaktadır. 1400 m. derinliğe sahip olan bu kuyunun verimi diğer üç kuyununkine eşit olacağı umulmaktadır.

Netice olarak, bu sahada, 20 Kw/H lık bir elektrik - kuvvet istasyonunun inşaatına başlanmıştır ayrıca istihsalin 1966 sonuna kadar başlayacağı umulmaktadır.

Bu makalede, Matsukawa Jeotermal Sahasındaki 3. ve 4. kuyulardan elde edilen numuneler üzerindeki tecrübi çalışma rapor edilmiştir. Bu çalışmanın benzeri 1. ve 2. kuyular için yapılmış ve neticeler aynı isim altındaki bir raporla neşredilmiştir.

Bu çalışmanın esas gayesi; kuyulardan elde olunan taşların fiziki özelliklerinin derine doğru değişimi görmek ve daha önce jeolojik ve jeofizik prospeksiyonla ima edilen yeraltı yapısını daha açık olarak görmektir.

Her ne kadar bu çalışmada kullanılan metod yeraltı yapısını ortaya koymak için en kesin bir araştırma usulü değilse de denel çalışmalar içinde ehemmiyetli bir yer tutar.

Bilindiği gibi, Japonya birçok volkanlarla kaplıdır. Matsukawa Jeotermal Sahası (39° 52'N, 140° 55'E) Honshu adasının kuzeyindeki Iwate Eyaletinin de yer almaktadır. Matsukawa'nın ve diğer bazı jeotermal sahaların coğrafik lokasyonu Şek. 1 de görülmektedir. Sahanın jeolojik haritası Şek. 2 de görül-

mektedir. İnceleme sahası Mt. Iwate'nin kuzey - batı ayağında yer almaktadır.

Kuzey - batı Honshu'da hakim jeolojik yapı paleozoiktir. Matsukawa jeotermal sahasının en alt kısmı da paleozoik bir yapı gösterir. Bu civarda paleozoik formasyonun mostralara da (out crop) rastlanır. Esas olarak (Chert) (*) ve (slate) (**) ihtiva eder. Bu formasyonun üstünde yeşil tuf görülür. Bunun üstünde kumtaşı, Shale ve Konglomera yer alır. Bu sediman ve permeabl formasyon; Niigata ve Akita bölgelerindeki petrol formasyonlarının birleştiği yerdedir. Bu sediman formasyonunun üstünde tabakalanmış tüfe (Welded tuff) benzeyen dasit Lav görülür.

En üst kısmı; Kuaterner Matsukawa Andesitlerini ve Marumori Volkanının yıkıntı malzemelerini ihtiva eder. Şekil. 3 deki kesik çizgi eski bir volkan ve aynı şekildeki AA kesik çizgisi gözenekli formasyonu gösterir.

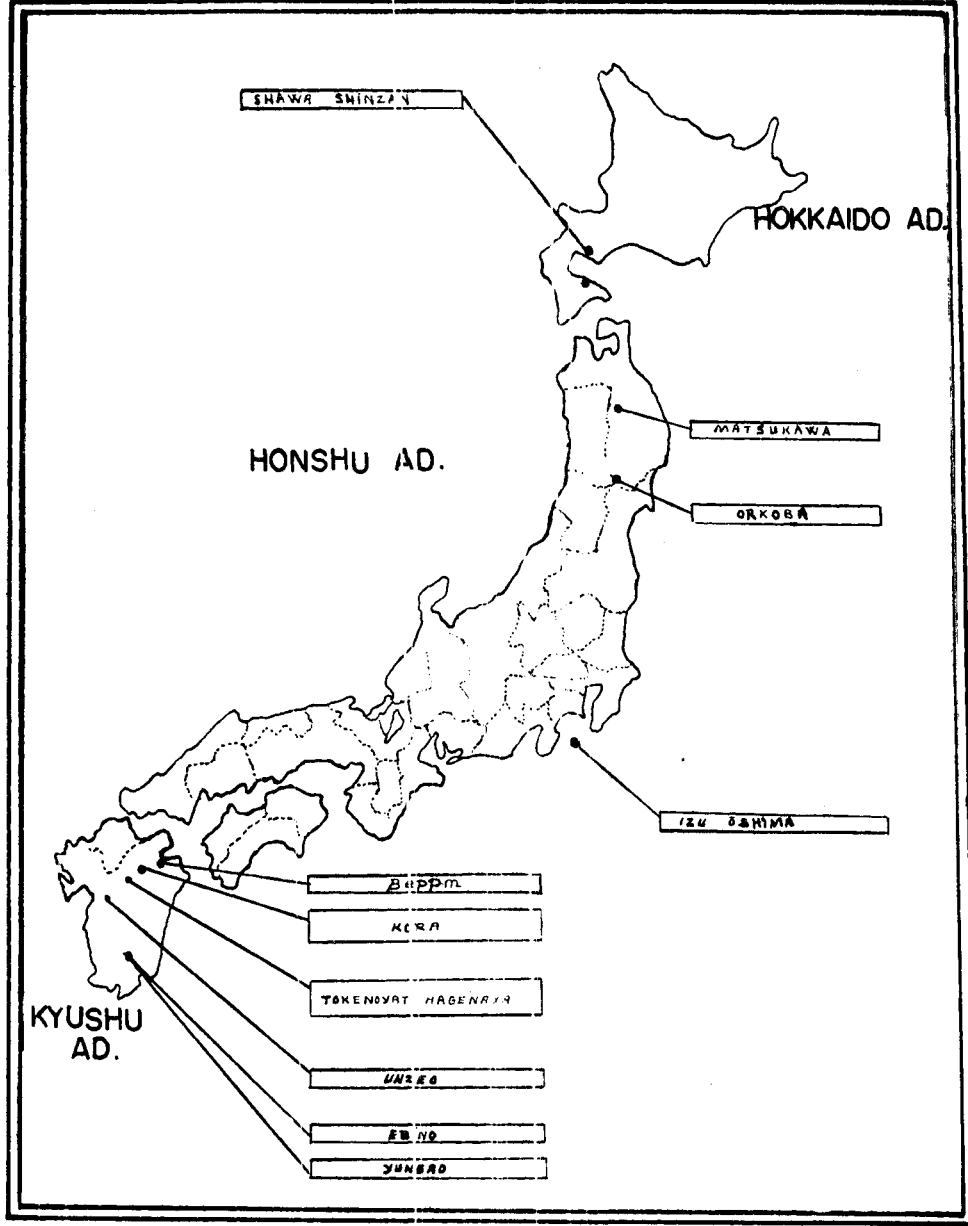
II. KULLANILAN MATERYALLER

3 ve 4 No. lu kuyuların muhtelif derinliklerinden alınan 28 numune Geological Survey of Japan'ın sismik laboratuvarında, hız tayini için kullanılmışlardır. Numunelerin minimum ve maksimum boyutları sırasıyla 2 cm × 2 cm × 2 cm ve 7.0 cm × 4.7 cm × 4.8 cm. dir. Her numunenin derinliği ve kayaç adı, Tablo 1 de verilmiştir.

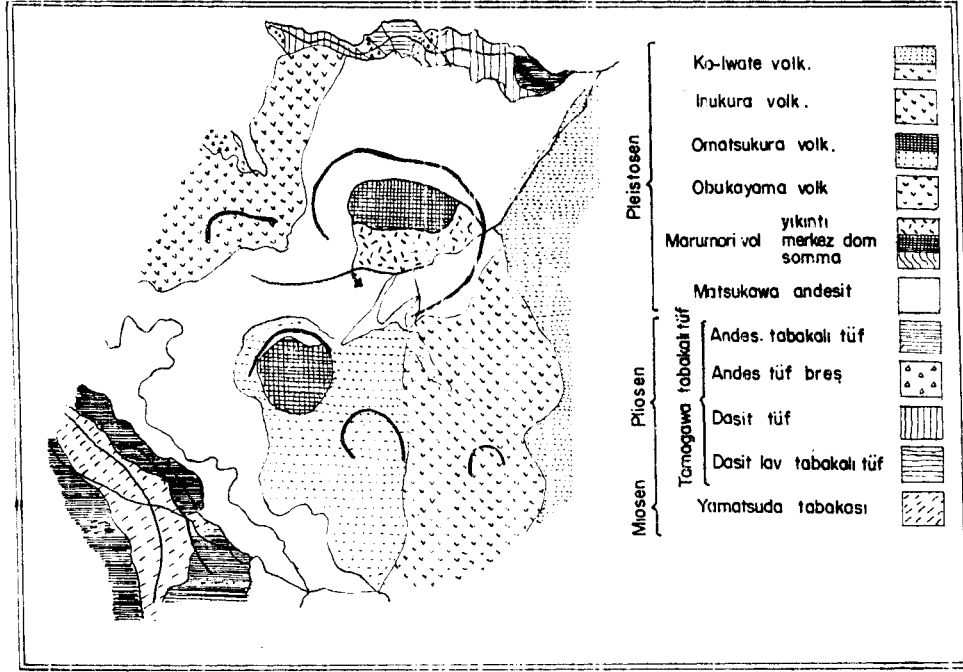
(*) Çakmak taşının katışık cinsidir. Boyutu: taş da denir.

(**) Metamorfize olmuş kiltası. (Arduvaz)

(+) Mürferit çalışma raporu olarak, Geological Survey of Japan'ın sismik laboratuvarında Dr. Masami Hayakawa'nın idaresinde yapılmıştır.



Şekil-1. Japonyadaki Jeotermal Sahaların Coğrafi Lokasyonu



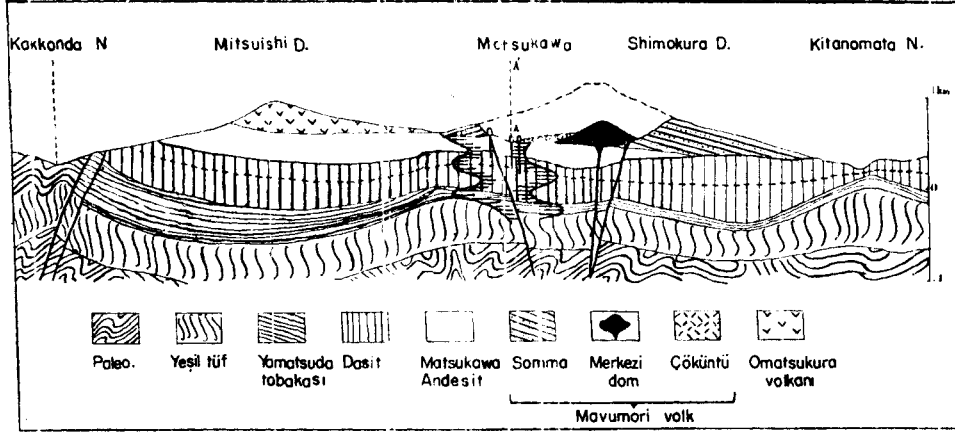
Şekil - 2. Matsukawa jeotermal sahasının jeolojik haritası

KUYU 4

Numune No.	Derinlik (metre)	Numunenin kayac isimleri
1	100.00—105.00	a andezit
3	200.00—203.00	b "
4	200.00—203.50	? "
6	250.00—254.80	a "
8	300.00—305.00	c tuf
9	300.00—305.00	a "
10	300.00—305.00	b "
11	350.00—355.00	c andezit
12	350.00—355.00	b "
13	400.00—405.00	a "
14	400.00—405.00	a "
15	400.00—405.00	b "
16	445.00—447.00	c Nevoditik dasit
17	445.00—447.00	a Dipto
18	445.00—447.00	b "

KUYU 3

1	400.00—405.50	„ Andezit-tabakalı tuf
2	300.00—305.00	b klasitik sedimanter tuf
3	527.00—528.80	„ Nevoditik dasit
4	588.30—592.60	„ Nevoditik dasit
5	650.30—655.00	„ Dasit - tabakalı tuf
7	755.40—756.40	„ Nevoditik dasit
8	806.60—808.10	„ Sedimanter tuf
9	850.00—854.00	a Dasit (tabakalı tuf)
10	903.00—905.00	„ Dasit (tabakalı tuf)
11	947.40—951.50	„ Breccia
12	1001.90—1004.90	„ Tuf - Şeyl
13	1095.50—1098.50	„ Mikrodiorit
14	1203.40—1207.20	„ Tuf



Şekil-3 Marsukava jeotermal sahasının şematik profili

Tablo 1: Numunelerin listesi

- a Numunenin üst kısmı
- b Numunenin orta kısmı
- c Numunenin alt kısmı

Simsik dalga hızlarının ölçülmesinde "Ultra Sonic Velocity Propagation Meter" isimli alet kullanılmıştır. Muhtelif basınç altındaki hızların ölçülmesi için bir basınç aleti (stresser) ve birde (strain gauge) kullanılmıştır. Tecrübelerde basıncı direkt yoldan ölçecek aletimiz (Pressure gauge) olmadığı için strain gauge'de ölçülen strain değerleri basınca çevrilmiştir.

P hızı ölçüleri için 500.000 cps ve S hızı ölçüleri için 1.000.000 cps'lik titreşim neşreden ve alanı, barium titanit kristalleri kullanılmıştır.

III. KULLANILAN METODLAR

Şek. 4, taşların normal şartlarda (a), ve muhtelif basınçlar altındaki (b) Ultra - Sonik hızlarının ölçülmesinde kullanılan metodu şematik olarak göstermektedir.

Aynı usul, değişik sıcaklıkta ve ratıp şartlardaki taşların sismik hızlarının ölçülmesinde kullanılmıştır. Şekil 4 b de görüldüğü gibi, numunelere düşey doğrultuda bir stresser tatabik edilmiştir. Basınç altındaki ölçüler için kul-

lanılan transmitter (dalga verici) ve receiver (alıcı) özel olarak imal edilmiş, baştaça dayanıklıdır.

Ultra Sonik dalgalar osiloskop ekranı üzerinde görülebildiği gibi, fotoğrafıda çekilebilmektedir. Okunan zaman mikro saniye ve Spesimenlerin boyu (mesafe) mm. cinsindedir. Şekil 5 te bazı sismogramlar görülmektedir.

Spesimen'in boyu L ve sismogramda okunan geliş zamanı T ise, spesimene ait hız; Km/sec. olarak

$$v = \frac{L}{T} \quad (1)$$

dir.

Spesimenlerin zahiri yoğunlukları (ρ_A) efektif porositeli (n) aşağıdaki formüllerle bulunmuştur.

$$\rho_A = \frac{W_{AD}}{W_{AW} - W_{WW}} \quad (\text{Gr./Cm}^3) \quad (2a)$$

$$n = \frac{W_{AW} - W_{AD}}{W_{AW} - W_{WW}} \times 100 (\%) \quad (2b)$$

W_{AD} : Spesimen kuru iken havadaki ağırlığı

W_{AW} : Spesimen ratıp iken havadaki ağırlığı

W_{WW} : Spesimen ratıp iken sudaki ağırlığı

Hakiki yoğunluk aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

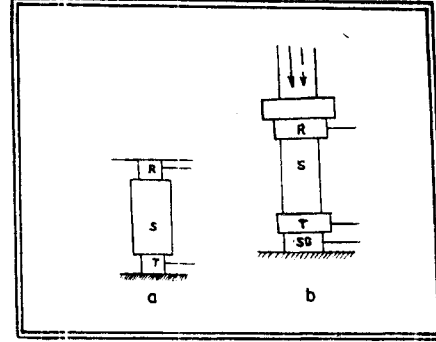
$$\rho T = \frac{100}{100-n} \times \rho_A \quad (3)$$

IV. DENEY NETİCELERİ

Önce zahiri yoğunluk ve efektif porosite tayin edilmiştir. Neticeler Tablo 2 de gösterilmiştir. Yoğunluk derine doğru bir artış göstermemektedir. Yoğunluğun bu intizamsız değişmesi materyellerin mineralojik ve petrolojik kompozisyonu, vs. ile izah olunabilir.

P ve S dalgalarına ait ölçmeler n neticeleri sırasıyla Tablo 3 ve Tablo 4 te gösterilmiştir. Her iki dalga için, hız ölçüleri spesimenin vertikal eksen (A) ve ihtiyari yatak eksenleri boyunca (B ve C) yapılmıştır. Yoğunluk değişmes n-

de olduğu gibi hızın da derine doğru artmayıp geliş güzel bir değişme gösterdiği görülmektedir.



Şekil-4. Ultra sonik P ve S hız ölçü metodunun şematik görünüşü

- a) Normal ölçüler
b) Basınç altındaki ölçüler

S: spesimen, T: transmitter, R: receiver ve SG: strain guage

KUYU 4

Numune No.	ρ_A gr/cm ³	n %	Numune No.	ρ_A gr/cm ³	n %
1	2.31	5.40	12	2.60	1.75
3	2.46	4.23	13	2.61	1.62
4	2.51	4.50	14	2.52	3.59
6	2.49	1.09	15	2.52	4.40
8	2.58	6.85	16	2.61	0.82
9	2.46	12.67	17	2.52	4.11
10	2.59	7.05	18	2.52	3.17
11	2.42	1.61			

KUYU 3

1	2.45	6.22	8	3.69	11.63
2	2.27	3.82	9	2.36	9.98
3	2.50	3.86	10	2.47	7.50
4	2.46	3.60	11	2.47	7.09
5	2.19	13.71	12	2.55	6.35
7	2.54	4.83	13	2.83	0.00

Tablo 2 :

Numunelerin ölçülen zahiri yoğunluklarının (ρ_A) ve porozitelerinin (n) listesi

KUYU 4

Numune No.	V_{pA}	V_{pB}	V_{pC}	$B+C$	$B+C$	$A+B+C$
				V_p	$V_{pa}V_p$	V_p
				2	2	2
1	2.06	2.08	2.07	2.07	— 0.01	2.07
3	2.83	2.70	2.70	2.70	+ 0.13	2.74
4	2.61	2.92	3.14	3.03	— 0.42	2.69
6	2.20	2.32	2.66	2.49	— 0.29	2.39
8	3.10	3.33	2.98	3.15	— 0.05	3.14
9	2.32	2.60	2.57	2.58	— 0.26	2.50
10	2.84	2.93	2.76	2.84	— 0.00	2.84
11	2.34	2.73	2.71	2.72	— 0.38	2.59
12	2.70	3.06	2.77	2.91	— 0.21	2.84
13	4.64	4.59	4.48	4.53	+ 0.10	4.57
14	2.90	3.06	3.29	3.17	— 0.27	3.08
15	3.48	3.47	3.59	3.53	— 0.05	3.51
16	3.75	3.65	3.66	3.65	— 0.09	3.69
17	3.51	3.62	3.29	3.45	— 0.05	3.47
18	2.65	3.10	3.03	3.06	— 0.41	2.93

KUYU 3

1	2.39	3.33	3.37	3.35	— 0.97	3.03
2	3.07	2.93	2.45	3.69	— 0.62	2.82
3	1.88	2.41	2.74	2.57	— 0.69	2.34
4	2.34	2.65	2.60	2.62	— 0.28	2.53
5	3.27	2.88	2.52	2.70	+ 0.57	2.89
7	3.37	3.36	2.76	2.56	+ 0.81	3.16
8	2.34	2.96	2.72	2.84	— 0.50	2.67
9	3.38	3.20	3.20	3.20	+ 0.18	3.26
10	2.45	2.78	2.88	2.83	— 0.38	2.77
11	2.21	2.61	2.74	2.67	— 0.46	2.52
12	3.12	4.17	—	—	—	3.12
13	4.50	—	4.13	4.13	+ 0.37	4.25
14	4.21	3.68	3.81	3.74	+ 0.56	3.90

Tablo 3

Normal şartlarda düşey (A) ve ihtiyari yatay (B ve C) doğrultularında ölçülen P dalgası hızları ve düşey hız ile ortalama yatay hız arasındaki farklar.

KUYU 4

Numune No.	V_{sA}	V_{sB}	V_{sC}	V_s	V_{sA}	V_s	$A+B+C$
				$\frac{B+C}{2}$	$\frac{B+C}{2}$	$\frac{A+B+C}{2}$	
1	1.07	0.98	1.08	1.03	+ 0.04		1.04
3	1.45	1.34	1.43	1.38	+ 0.06		1.41
4	1.12	1.18	1.42	1.30	- 0.18		1.24
6	1.28	1.07	1.09	1.08	+ 0.20		1.18
8	1.67	1.20	1.26	1.23	+ 0.44		1.38
9	1.20	1.21	1.10	1.15	+ 0.04		1.14
10	—	1.34	1.22	1.28	—		1.287
12	1.52	2.06	1.95	2.00	- 0.48		1.84
13	2.00	2.23	3.90	3.06	- 1.06		2.71
15	1.45	1.61	1.56	1.58	- 0.13		1.54
17	1.40	1.76	1.52	1.64	- 0.24		1.56
18	1.47	1.58	1.63	1.60	- 0.13		1.56
1	2.11	2.07	1.63	1.85	+ 0.26		1.94
2	1.45	1.43	1.14	1.28	+ 0.16		1.34
3	1.59	1.14	—	1.147	+ 0.45		1.24
4	1.22	1.32	1.09	1.20	+ 0.01		1.21
5	1.60	0.97	1.30	1.13	+ 0.46		1.29
7	1.76	1.60	1.56	1.58	+ 0.18		1.64
8	1.02	1.46	1.49	1.47	- 0.45		1.32
9	1.86	1.83	1.80	1.81	+ 0.04		1.83
11	1.29	1.50	1.42	1.46	- 0.17		1.40

Tablo 4

Normal şartlarda, düşey (A) ve ihtiyarı yatay (B ve C) doğrultularda ölçülen S dalgası hızları ve düşey hız ile ortalama yatay hız arasındaki farklar.

Tecrübedeki en önemli netice, vertikal doğrultudaki hızların, horizontal doğrultudakilere nazaran çok farklı oluşudur. Bu serinin birinci kısmında da izah edildiği veçhile, "genel olarak; sedimanter tabakalarda, yatay doğrultudaki sismik hız, düşey doğrultudakinden daha büyüktür" Araştırmacı benzer hadisenin magmatik kayalardan da vuku bulabileceğini düşünmektedir.

Bunlardan başka, kristalize materyallerde, kristallerin durumu da hızlarda böyle düzensizliklerin sebebi olabilir. Fakat taşların kristalografisinin

tetkik edilememesi yüzünden bu yönde bir inceleme ihmal edilmiştir.

Bu çalışmanın I nci kısmında araştırmacı, sığda pozitif ve derinde negatif

olan $V_{PA} - V_P \frac{B+C}{2}$ farkının karakteristik özelliklerini izah etmiştir.

S dalgasına ait ölçmeler Tablo 4 de görülmektedir. V_s 'e ait teorik mütalâa: V_p ye nazaran çok karışık olduğu için araştırmacı sadece neticeleri yazmakla yetinmiştir.

KUYU 4

Numune			Numune		
No.	V_{DAW}	$V_{DA} - V_{DAW}$	No.	V_{DAW}	$V_{DA} - V_{DAW}$
1	1.95	+ 0.11	12	2.65	+ 0.05
3	3.10	-- 0.27	13	4.70	-- 0.06
4	2.68	-- 0.07	14	2.97	-- 0.07
6	2.90	-- 0.70	15	3.39	+ 0.09
8	3.12	-- 0.02	16	3.64	+ 0.11
9	2.53	-- 0.21	17	3.35	+ 0.16
10	2.96	-- 0.12	18	2.57	+ 0.08
11	2.38	-- 0.04			

KUYU 3

1	2.97	-- 0.59	8	2.48	-- 0.14
2	2.90	+ 0.17	9	3.38	+ 0.00
3	2.81	+ 0.07	10	3.00	-- 0.55
4	2.77	-- 0.43	12	2.92	+ 0.20
5	3.11	+ 0.16	12	4.28	+ 0.22

Tablo 5

Rutubetli şartlarda P--nin düşey doğrultudaki hızı (v_{FWA}) ve bu hızlarla normal hızlar arasındaki farklar.

Normal olarak, hız ile yoğunluk arasında bir uygunluk olması beklenir. Fakat neticeler, bu bölgede çok karışık bir yer altı strüktürü olduğunu göstermektedir.

Spesimenler ölçülen her V_p hızlarına karşılık V_s hızları Şekil 6 daki grafikte görülmektedir. V_p/V_s nin ortalama değeri 1.77 civarındadır.

Tablo 5 te ratıp şartlar altında P dalgası hızları ve bunlarla normal şartlar altındakilerin mukayeseleri görülmektedir.

Ratıp şartları temin etmek için spesimenler bir kaç gün suda bırakılmıştır. Bu muamele, ideal ratıp şartları elde etmeye en yakın usuldür.

Araştırmacı, ratıp şartlardaki hızın, normal şartlardakinden daha yüksek olacağını ummakta idi. Fakat, ölçü değerleri bu kabulden farklı neticeler göstermektedir.

Bazı araştırmacılara göre, poröz (po-

rous) kayaların hızları, her zaman içerisindeki suyun miktarı ile artmaz. Başlangıçta, içinde suyun miktarına göre azalır, ve bir minimum yaptıktan sonra tekrar artmaya başlar. Bu düşüncenin ışığı altında, spesimendeki gözeneklerin tamamen su ile dolmasını temin etmek lâzımdır.

4, 10 ve 11 No. lu spesimenlerin muhtelif basınç altındaki sismik hızları ölçülmüş ve neticeler Tablo 6 ve Şekil 7 de verilmiştir. Çalışma sahasında ortalaya yoğunluğun 2.5 Gr/cm^3 olduğunu farzederek tatbik edilen maksimum basınç 277 Kg/cm^2 . Bu basınç teorik olarak 1110 m. derinliğe tekabül eder. Netice olarak bu basınç, sondajla inilen maximum derinliği sembolize edebilmektedir. Her ne kadar böyle kıt done ile hızın basınç ile (yani derine doğru) değişimini öğrenmek mümkün değilsede, mevcut tecrübe; sıg kayalarda, derine doğru hız değişmelerini (basıncı artırmak suretiyle) göstermektedir.

KUYU 4

Numune	P		Numune	P		Numune	P	
	kg/cm ³	V _{PA}		kg/cm ³	V _{PA}		kg/cm ³	v _{PA}
4	81	2.29	10	81	2.49	11	88	2.11
	127	2.36		130	2.56		134	2.19
	169	2.45		171	2.63		179	2.25
	210	2.50		219	2.69		222	2.31
	269	2.57		277	2.72		266	2.35

Tablo 6

Değişik basınçlar altındaki P dalgası hızları

KUYU 4

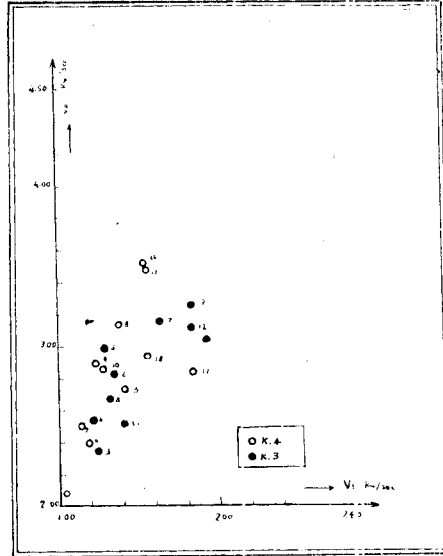
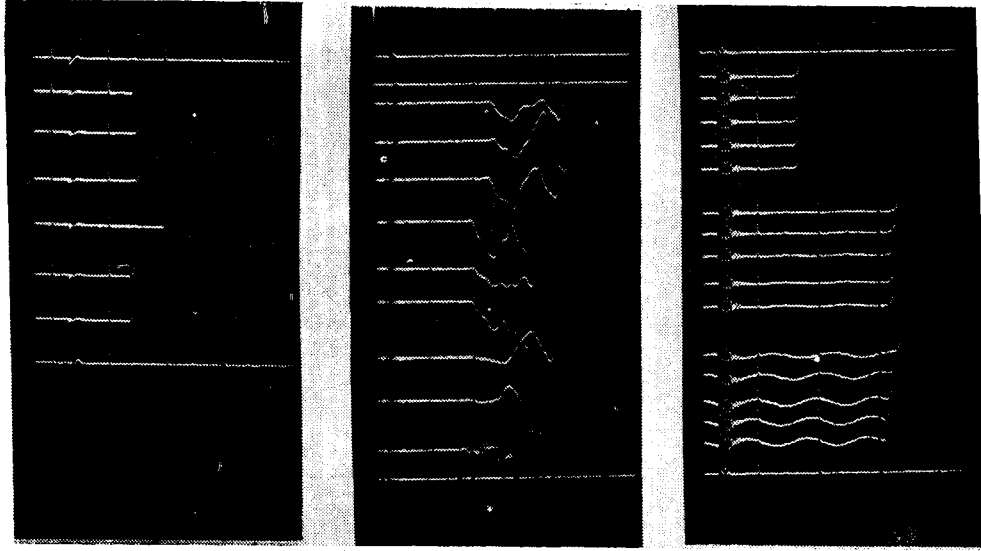
Numune			Numune		
No.	to C	v _{PA}	No.	to C	v _{PA}
5	110	2.96	10	110	2.93
	85	3.21		85	2.97
	59	3.30		59	2.96
	119	3.22		27	2.77
	180	3.08		103	2.75
7	110	3.51	13	119	2.74
	85	3.45		180	2.66
	59	3.40		110	4.62
	119	3.27		85	4.62
	180	3.35		59	4.55
8	110	2.32	13	27	4.58
	85	2.31		103	4.62
	59	2.32		119	4.55
	119	2.27		180	4.14
	180	2.17			

Tablo 7:

Değişik sıcaklık altındaki p dalgası hızları

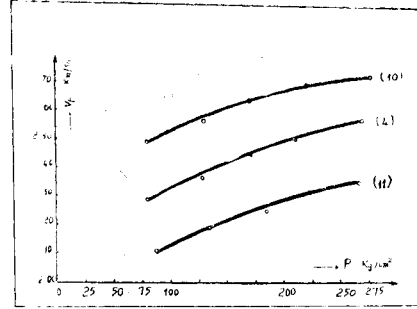
Bazı spesimenlerde değişik sıcaklıklar altındaki longitudinal hız ölçmeleri Tablo 7 de dir. Şekil 8 ise muhtelif sıcaklık dereceleri altında hız değişimini temsil etmektedir. Bu deney için, evvelâ spesimenler 110°C ye kadar ısıtılmışlardır. İhtiva ettikleri suyu defetmek için uzun müddet bu sıcaklık altında tutulduktan sonra 27°C ye kadar soğutulmuştur. Sonra, tedrici olarak 180°C ye kadar ısıtılmış ve bu arada hız ölçmeleri

yapılmıştır. Ölçü yapılmadan önce, homojen ısı dağılımını temin etmek için, spesimen istenilen sıcaklıkla bir süre bekletilmiştir. Her ne kadar değişik sıcaklık altında hız değişimleri çok karışık bir şekil ima ederse de (Şekil 8) altında sismik hız 7 No. lu spesimen müstesna sıcaklığın artması ile azalmakta olduğu kolayca görülmektedir. Şekil 8 deki oklar sıcaklığın değişme yönünü gösterir.



Şekil-6 Vp ve Vs değerlerinin mukayesesi

Çalışma sahasında yeraltına ait max. sıcaklığın 270°C - 300°C olduğunu gözönüne alırsak (bak-Kısım.I) tecrübe- de spesimenleri kafi derecede ısıtma- dığımız görülür.



Şekil-7. P dalgası hızının muhtelif basınç altındaki değişimi

V. NETİCE

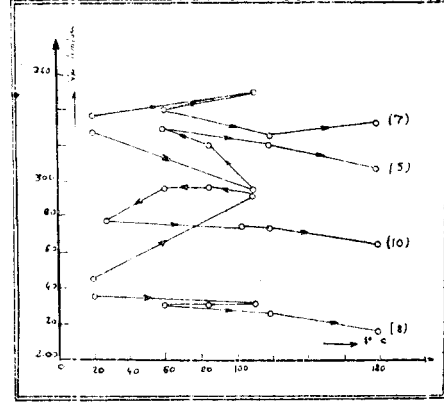
Kuyu-4, kuyu-1'e çok yakın olup 160 m mesafededir. Böylece, Kuyu-1'e ait laboratuvar tecrübelerinin neticelerine dayanarak, anoloji yoluyla Kuyu-4 için de benzer neticeler düşünmek mümkündür. Fakat bu çalışmadaki neticeler, Kısım-1 de verilen neticelere hiç uymamaktadır. Birbirine çok yakın bu iki kuyudan elde edilen farklı neticeler; bu volkanik bölgede çok karışık bir yeraltı yapısını ima etmektedir. Bu kompleks hal, eski volkanın merkezi kısımdaki depresyondan ve formasyondaki yarık,

çatlak ve gözenekli yapıdan ileri gelmektedir.

Genel olarak arz kabuğu içinde, sıcaklık her 100 m. de 3°C artmaktadır. Fakat bu volkanik bölgede bu artış, normalin 10 mislidir. Bunun için, bu çalışmanın 1. ci kısmında kabuğun üst kısımlarında sıcaklığın sismik hız üzerinde basınçla nazaran daha müessir olduğu ifade edilmiştir. Ve kısım-1'de basınçın hız üzerindeki tesiri ihmal edilmişti. Fakat yukarıda da izah edildiği ve şek. 7 den anlaşılacağı veçhile, basınçın hız üzerindeki tesiri sığ tabakalarda dahi, ihmal edilemeyecek kadar önemlidir.

Bu araştırmada, basınç ve sıcaklığın müşterek tesirleri aynı anda tesbit edilmemiştir. Fakat, basınç ve sıcaklığın hız üzerinde zıt yöndeki tesirlerinin birbirlerini dengeledikleri söylenebilir.

Basınç ve sıcaklığın, sismik dalga hızları üzerindeki tesirlerinin incelenmesi; derin formasyonlar için olduğu kadar sığ formasyonlar içinde çok önemlidir. Bu sismik prospeksiyonu geliştirmek ve yeni metotlar bu maksat için, takip edilen yollardan biridir.



Şekil-8 P dalgası hızının sıcaklıkla değişimini gösteren grafik

Yukarıdaki izahatın neticesi olarak; sismik hızın derine doğru çok gelişmiş ve güzel değişmesi, araştırılan derinlik için refraksiyon metodunun uygun olmadığını ima eder. Refraksiyon teorisi hızın derine doğru arttığı prenebinden hareket eder. Bölgede sismik refraksiyon metodu çok iyi netice vermiştir.

Referanslar :

1. John S. Steinhart, Robert P. Meyer-Explosion Studies of Continental Crust.
2. Masami Hayakawa - Measurement of Longitudinal and transverse Wave velocities of Dunite, Peridotite, and some other rocks in Hidaka Area, Hokkaido.
3. M. Hayakawa, S. Balakrishna - An Explanation for the High Ultrasonic velocity in Indian Rocks.
4. Beno Gutenberg - Wave Velocities in the Earth's Crust. (Geol. Soc. Am. p. 19 - 134)
5. Uoward E. Tatel, Merle A. Tuve - Seismic Exploration of Continental Crust. (Geol. Soc. Am. p. 35-50)
6. Shogo Matsushima - Variation of Elastic Wave Velocities of Rocks in the Process of Deformation and Fracture under High Pressures. (Bulletin, Kyoto University, Disaster Prevention Research Institute. No. 35 March, 1960)
7. Ryoichi Yoshiyama - The Ratio of the Velocity of P and S Waves, Bul. Earthquake Research Institute, XXXV (1957) Part. 4.
8. Peter J. Wyllie - The Nature of the Mohorovicic Discontinuity. A Compromise. (Journal of Geophysical Research, Vol. 68, No. 5)
9. M. Hayakawa, K. K. Baba - Geophysical Exploration in Matsukawa Geothermal Area, Japan. Part-I (neşredilmemiştir)