



NOMOGRAM KULLANILARAK SİSMİK KIRILMA YOL-ZAMAN GRAFİKLERİNDEN KATMAN KALINLIKLARININ SAPTANMASI

(DETERMINATION OF LAYER THICKNESSES FROM NOMOGRAM BY USING SEISMIC REFRACTION TRAVEL TIME GRAPHICS)

Çağrı ÇAYLAK*, Emre TİMUR*

ÖZET/ABSTRACT

Sismik kırılma verileri kullanarak, çok katman kesişme-uzaklık nomogramı yardımıyla düşey yönde yer altındaki katmanların kalınlıkları saptanmaya çalışılmıştır. Verilerin değerlendirilme aşamasında kullanılan nomogram, katman kalınlıklarının belirlenmesinde basit ve kullanışlı olmasının yanında, düzeltme faktörlerinin etkisiyle, doğru ve belirleyici sonuçlar vermektedir. Kullanımı oldukça kolay bir nomograma ve basit bir hesaplama işlemine dayanan yöntemi, kısa zamanda ve pratik çalışmalarda sismik kırılma verilerinin değerlendirilmesinde araştırmacılara yardımcı olmaktadır. Yöntem, bilgisayar olanağının bulunmadığı koşullarda ve hem de eğitim amaçlı kullanılabilir niteliktedir. Katman kalınlıklarının saptanmak amacıyla sismik kırılma verilerinin değerlendirilmesinde nomogramın kullanımının belirleyiciliği ve güvenilirliğinin gözlemlenmesi amaçlanmış ve iki adet kuramsal test modeli üzerinde denenmiştir. Ayrıca, alınan sismik kırılma verisine ait katman kalınlıkları; nomogram, klasik bağıntılar ve Refractsoln yazılımı yardımıyla saptanarak karşılaştırılmıştır.

It is aimed to determine thicknesses of the layers by using distance-intersection nomogram method on seismic refraction data. Besides it is possible to achieve accurate and characteristic results by the effect of correction factor, nomograms which are applied in the interpretation step, are very effective on determination of layer thickness. This method, which is based on a simple calculation and nomogram, helps the workers on the interpretation of simple and fast applications of seismic refraction method. This method is applicable both where an observer has not a computer and for educational purposes during student practices in the class. It is intended to determine the effectiveness of the nomogram method by utilizing two test model studies for seismic refraction interpretation. Furthermore, a field study was used to compare for the determinations of layer thicknesses with the nomogram method, classical equations and Refractsoln software.

ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Sismik Kırılma, Çok katman, Nomogram
Seismic Refraction, Multilayer, Nomogram

*DEÜ, Müh. Fak., Jeofizik Müh. Bölümü, Kaynaklar Yerleşkesi, 35160 Buca, İZMİR

1. GİRİŞ

Sismik kırılma yöntemi, yeraltındaki katmanların kalınlıklarının saptanmasında elastik dalgaların, yer içerisinde yayılması ile ilgili fizik ilkelerine dayanır. Sismik kırılma yöntemi kullanılarak, dalga yayılım hızının, tabakanın hız ve yoğunluğuna bağlı yeterli akustik empedans farklılığına sahip, derinlikle hızın arttığı katmanlı ortamlarda, katman hızlarının ve kalınlıklarının kabul edilebilir bir doğrulukla saptanması amaçlanır. Sismik kırılma çalışmalarında, katman sayılarının artmasıyla orantılı olarak katman kalınlıklarının çözümünde güçlüklerle karşılaşmaktadır.

Değişik bir katman sayısı için daha basit derinlik ve kalınlık hesabı yapan çok katmanlı sismik kırılma nomogramı kullanılmıştır. Bu nomogram, derinlikle hızı artan sismik katmanların saptanmasında başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır. Yeraltında iki katmandan daha fazla katmanlı ortamlar için, derinlik düzeltme formülünden yararlanılarak daha doğru bir sonuç ortaya konmaktadır (Meidav, 1960).

Teknoloji ile orantılı olarak bilgisayar olanaklarının da geliştiği günümüzde sismik verilerin değerlendirilmesi çoğu zaman yazılımlar kullanılarak yapılmaktadır. Kullanımı oldukça kolay bir nomograma ve basit bir hesaplama işlemine dayanan yöntemi, kısa zamanda ve pratik çalışmalarda sismik kırılma verilerinin değerlendirilmesinde araştırmacılara ve lisans seviyesindeki öğrencilerin yapacağı sismik kırılma uygulamalarında farklı bir yaklaşım olarak klasik bağıntılarla karşılaştırma yapmak amacıyla kullanılmasında yararlı olabileceği düşünülmektedir. Katman kalınlıklarını saptamak amacıyla sismik kırılma verilerinin değerlendirilmesinde nomogramın kullanımının belirleyiciliği ve güvenilirliğinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır; iki adet kuramsal test modeli üzerinde ve İzmir'in Seferihisar İlçesi, Doğanbey Tuzlası'nda Şekil 8'da gösterilen profilde alınan veri üzerinde denenmiştir. Ayrıca, alınan sismik kırılma verisine ait katman kalınlıkları; nomogram, klasik bağıntılar ve Refractsoln yazılımı yardımıyla belirlenerek karşılaştırılmıştır.

2. YÖNTEM

Meidav tarafından geliştirilen ve katman kalınlıklarının saptanmasında kullanılan nomogram, ilk olarak katman hızlarının derinlikle arttığı ve katmanların birbirine paralel olduğu bir yer modeli için uygulanmıştır (Meidav, 1960) (Şekil 1).

İki katmanlı bir yer modeli için, üstteki katmanın kalınlığı

$$d_1 = \frac{x_1 R_{12}}{2} \quad (1)$$

bağıntısı ile verilir. Burada, d_1 ; üstteki katmanın kalınlığı, x_1 ; ilk kesişme uzaklığı, kırılan ve doğrudan gelen dalgaların kesişim uzaklığı, R_{12} ise katman hızları ile tanımlanan bir katsayı olup $R_{12} = [(V_2 - V_1)/(V_2 + V_1)]^{\frac{1}{2}}$ bağıntısı ile tanımlanır.

Yer modelinin ikiden fazla katman içermesi durumunda, j 'inci katmanın kalınlığı

$$d_j = \frac{x_j R_{j,j+1}}{2} - \sum_{i=1}^{j-1} A_{ij} d_i, \quad (2)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada, R_j ve A_{ji} terimleri

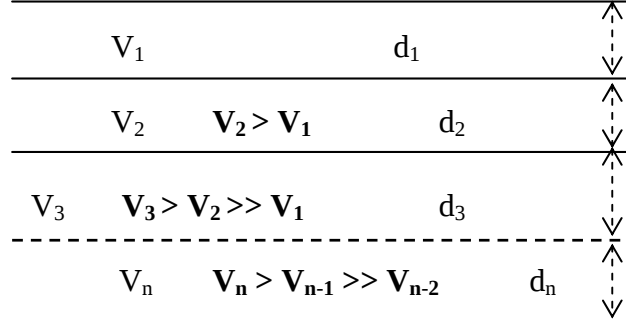
$$R_{j,j+1} = [(V_{j+1} - V_j)/(V_{j+1} + V_j)]^{\frac{1}{2}}$$

$$A_{ji} = \left[\left(1 - U^2_{i,j+1} \right)^{\frac{1}{2}} - \left(1 - U^2_{ij} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \cdot \left[U^2_{ij} - U^2_{i,j+1} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

ayrıca buradaki U_{ij}

$$U_{ij} = V_i / V_j \quad (4)$$

bağıntılarıyla tanımlanır.



Şekil 1. Yüzey altı yapı modeli

$V_j > V_{j-1}$ durumunda, Snell Yasası'na göre yer altında bir kırılma meydana gelir. Genel düzeltme terimi olarak tanımlanan A_{ji} , $V_j < V_{j+1}$ koşulu devam ettiği sürece, çözümlemede kullanılabilir. A_{ji} değerleri, C_{ji} değerleri nomogram kullanılarak da kestirilebilir. Kuramsal olarak $Z_{ji} = 1/U_{ji} = V_j / V_i$ olmak üzere, C_{ji} değerleri izleyen bağıntıdan da hesaplanabilir.

$$C_{ji} = Z_{ji} - (Z_{ji}^2 - 1)^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

Eşitlik 5'in kestirimi, $V_{j+1} / V_i > 3$ ve $V_i \ll V_{j+2}$ koşulları sağlandığında, Eşitlik 3 ile verilenlerin küçük bir hata değeri ile uyuşması beklenir. j 'inci katman kalınlığı

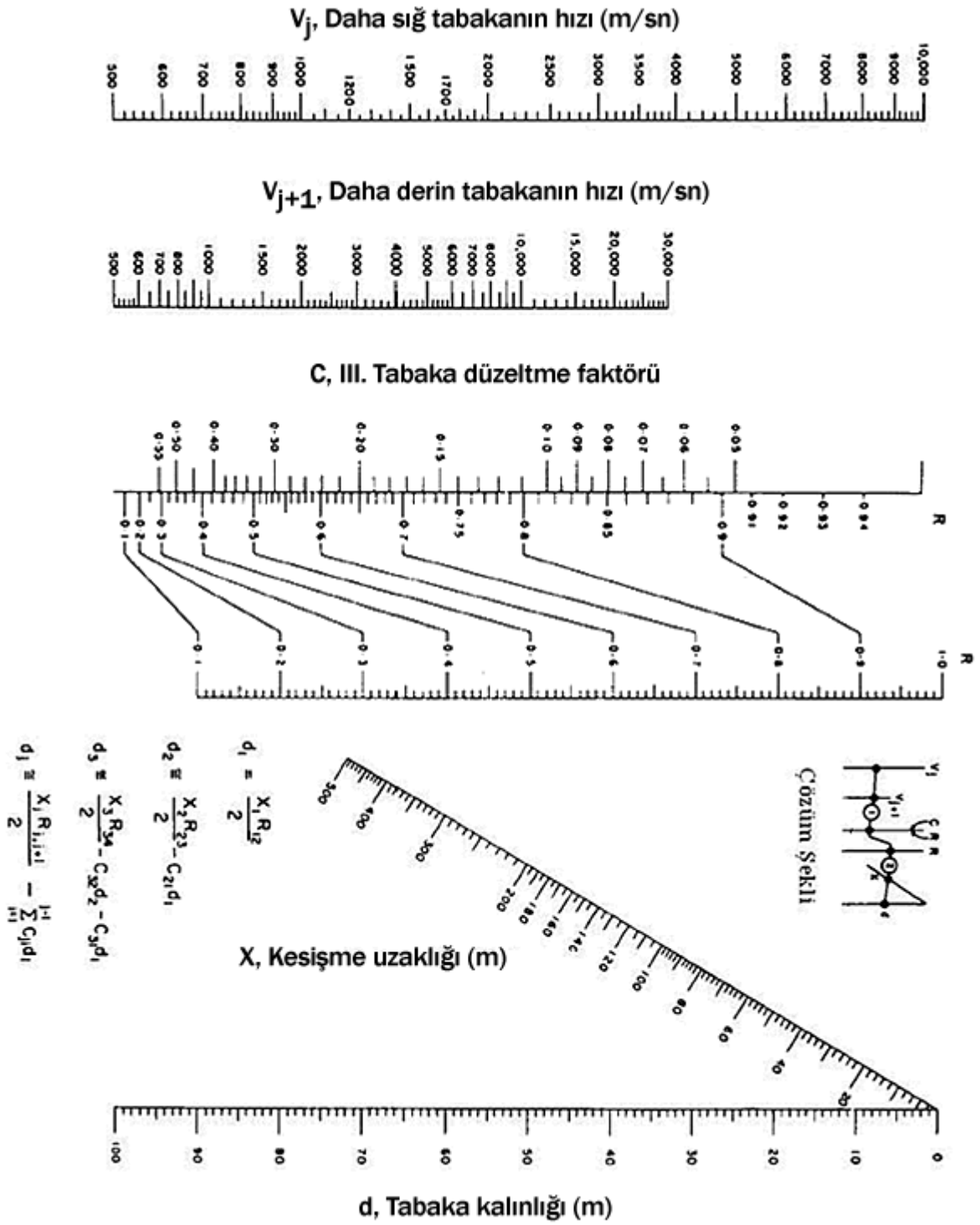
$$d_j \cong \frac{1}{2} x_j \cdot R_{j,j+1} - \sum_{i=1}^{j-1} C_{ji} d_i \quad (6)$$

bağıntısıyla kabul edilebilir bir doğrulukla kestirilebilir. Eşitlik 6'nın sağ tarafındaki ilk terim ($R_{j,j+1}$) ve C_{ji} değerleri, kesişme uzaklığı nomogramı üzerinden okunur (Şekil 2).

3. YÖNTEMİN UYGULANMASI

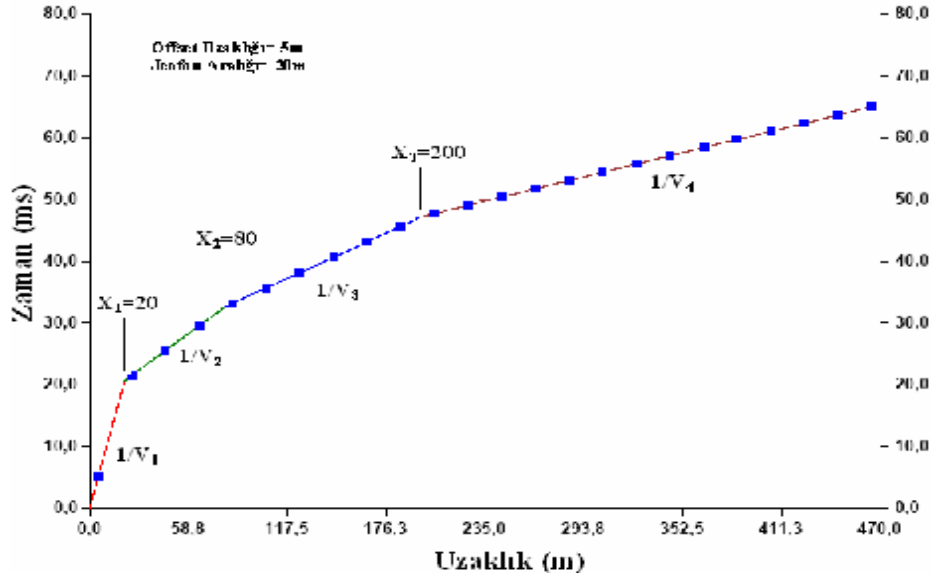
Farklı katman hızı ve kalınlıklarına sahip yatay tabakalı yer yapı modelleri üzerinde çözümler yapılarak, Şekil 2'de verilen sismik kırılma nomogramının kullanılmasıyla çok katmanlı yapıların katman kalınlıklarının basit olarak saptanmaktadır.

Örneğin, V 'ler katman hızları, x 'ler kesişme uzaklıkları olmak üzere verilen yer yapı modeli için, Şekil 3'de verilen yol-zaman grafiği üzerinde kestirilen katman hızları ve kesişme uzaklıkları değerleri nomogram kullanılarak değerlendirilmiş ve yapıyı oluşturan katman kalınlıkları saptanmaya çalışılmıştır.



Şekil 2. Çok tabakalı sismik kırılma nomogramı (Meidav, 1960)

$V_1=1000$ m/sn	$x_1=20$ m
$V_2=5000$ m/sn	$x_2=80$ m
$V_3=8000$ m/sn	$x_3=200$ m
$V_4=15000$ m/sn	



Şekil 3. Yer altı yapı modelinin seyahat zamanı-uzaklık grafiği

Nomogram kullanılarak, katman kalınlıklarının saptanması işlemi aşağıda verilen sırayla gerçekleştirilmektedir.

1. V_j ölçeğinde 1000 değeri ile V_{j+1} ölçeğinde yer alan 5000 değeri bir doğru ile birleştirilir ve C-R ölçeği kesiştirilir.
2. C ölçeğinde aşağıya doğru çizilen değer okunur ($C_{21}=0.10$). Bu C değeri, bitişik katmanlar için düzeltme faktörüdür.
3. Arakesitte, C ölçeğinin karşısındaki ölçekteki R değeri okunur ($R=0.818$).
4. R ölçeğinin, hemen bitişiğine, $R=0.818$ değeri taşınır ve birinci katmanın kalınlığını hesaplamak, yani d_1 'i okumak için, x_1 kesişme uzaklığından geçecek şekilde R değerinden bir doğru uzatılır ($x_1=20$ için $d_1=8.4$ bulunur).
5. İkinci katmanın kalınlığını çözmek için, $V_2=5000$, $V_3=8000$ ve $x_2=80$ kullanılarak işleme devam edilir. Şekil 2, $C_{32}=0.344$, $R=0.48$, $d_2=19.5$ düzeltilmeyen ve 18.66 düzeltilen (düzeltme faktörü olarak ikinci adımda elde edilen C_{21} ile) değerler bulunur.
6. Üçüncü katman için, $V_1=1000$, $V_3=8000$, $V_4=15000$ ve $x_3=200$ değerleri kullanılarak, aynı şekilde, Şekil 2'deki çok katmanlı kırılma nomogramı kullanılarak, $R=0.55$ ve $C_{31}=0.062$ saptanır ve önceden elde edilen C_{32} değeri yerine koyularak, düzeltilen değer $d_3=48.15$ ve düzeltilmeyen üçüncü katman kalınlığı $d_3=55$ elde edilir. C_{31} , C ölçeğinde, V_1 'den V_3 'e bir çizgi uzatılarak elde edilen düzeltme terimidir.

4. UYGULAMA ÇALIŞMALARI

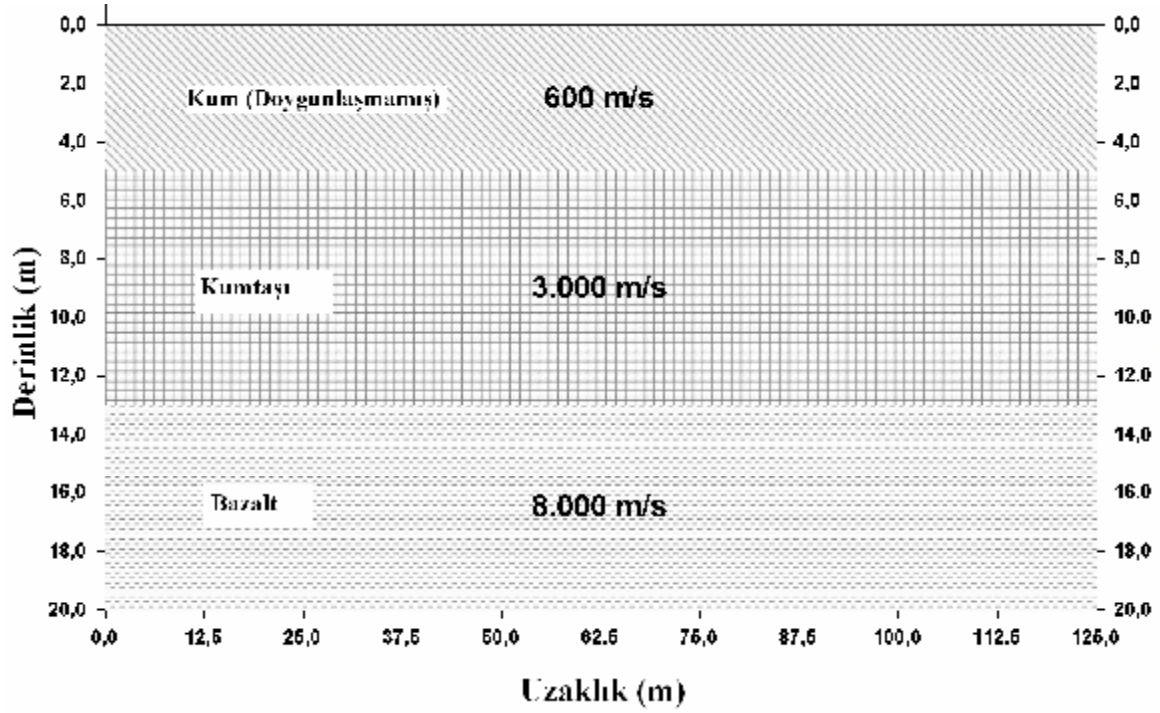
4.1. Kuramsal Uygulamalar

Bu bölümde, sismik kırılma nomogramının sınanması amacıyla, Çizelge 1., Çizelge 3.'te verilen parametreler kullanılarak yatay tabakalı iki yer yapı modeli oluşturulmuştur. Bu modellerin oluşturduğu seyahat zamanları, milimetrik kağıda çizilerek kesişme uzaklıkları ve hız değerleri saptanmış, çok katmanlı sismik kırılma nomogramı yardımıyla da katmanlara ait kalınlıklar, düzeltme faktörleri de kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, saptanan katman kalınlıkları, oluşturulan kuramsal yer yapı modelleriyle karşılaştırılmış ve nomogramın basit bir değerlendirme amacıyla kullanımı sınanmıştır (Çizelge 2, Çizelge 4).

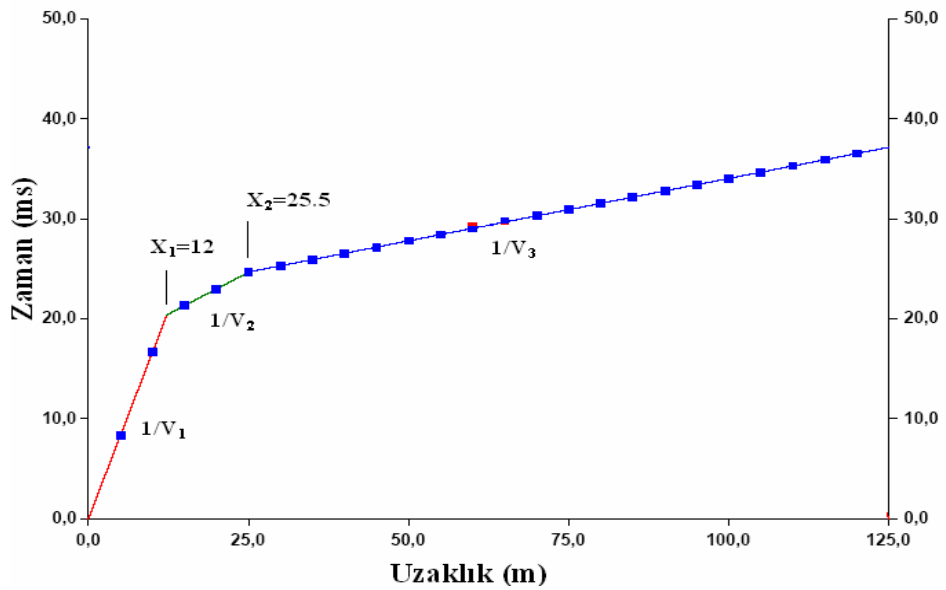
4.1.1. Uygulama - I

Çizelge 1. I.Yapı modeli

$V_1(m/sn)$	600	<i>Ofset Uzaklığı (m): 5</i>
$V_2 (m/sn)$	3000	<i>Jeofon Aralığı (m): 5</i>
$V_3 (m/sn)$	8000	
$h_1 (m)$	5	
$h_2 (m)$	8	



Şekil 4. I.yapı modelinin kesit görünümü



Şekil 5. I.yapı modelinin seyahat zaman-uzaklık grafiği

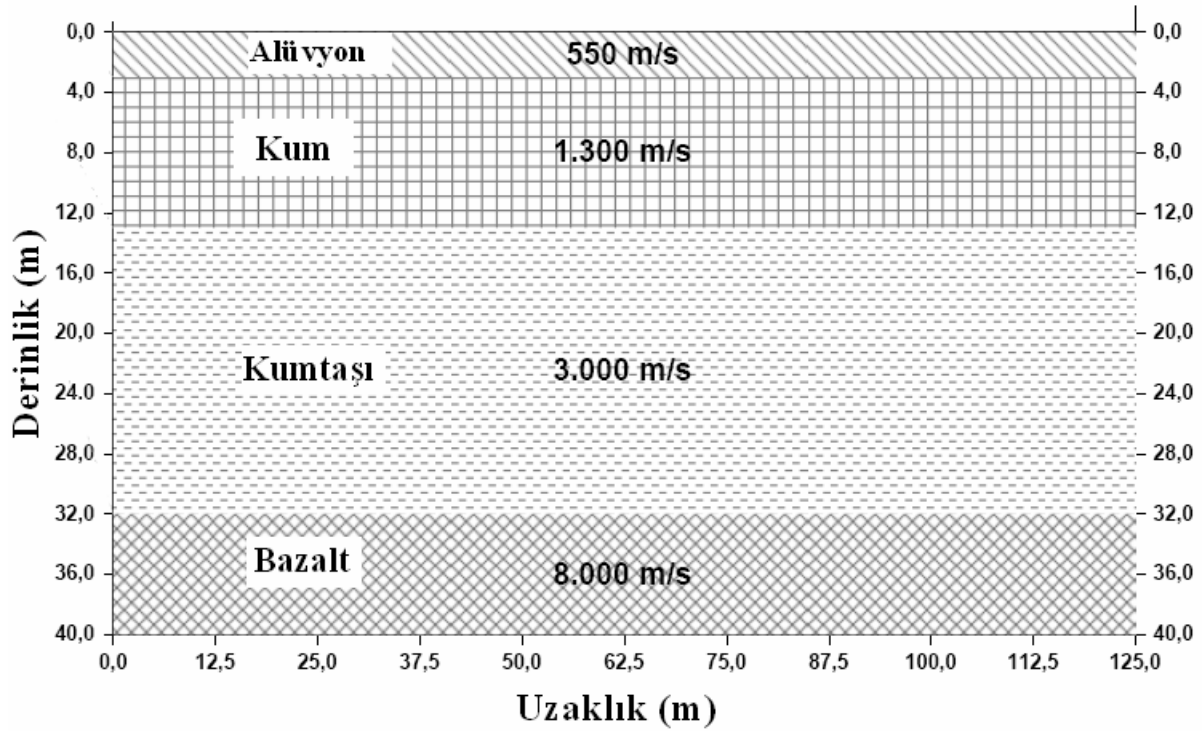
Çizelge 2. Nomogram çözümüyle kuramsal verilerin karşılaştırılması

	Kuramsal (Yapı) Modeli	Nomogram ile Çözüm		
$V_1(m/sn)$	600	600	$X_1(m)$	12
$V_2(m/sn)$	3000	3000	$X_2(m)$	25.5
$V_3(m/sn)$	8000	8000		
$h_1(m)$	5	4.92		
$h_2(m)$	8	8.19		

4.1.2. Uygulama - II

Çizelge 3. II. yapı modeli

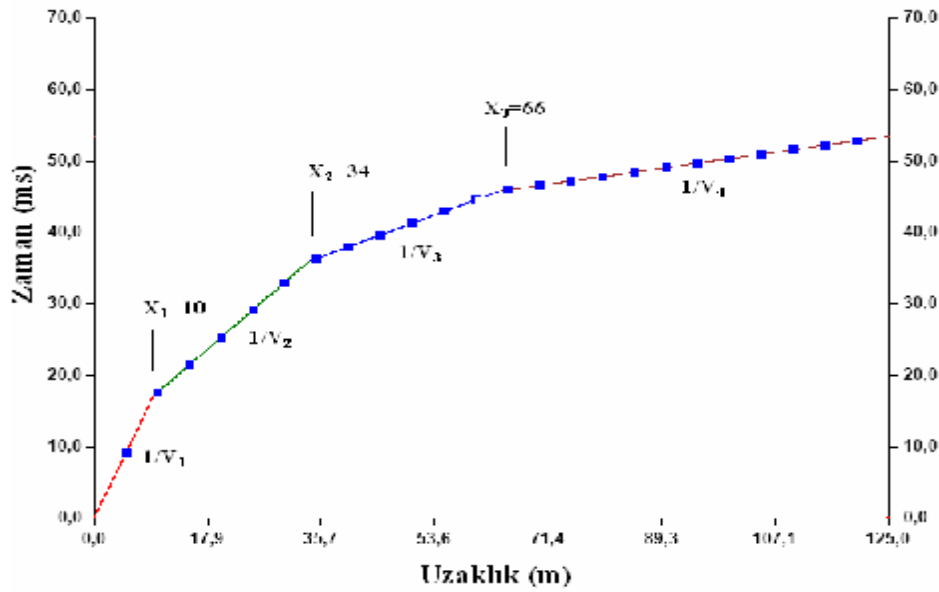
$V_1(m/sn)$	550	<i>Ofset Uzaklığı (m): 5</i>
$V_2(m/sn)$	1300	<i>Jeofon Aralığı (m): 5</i>
$V_3(m/sn)$	3000	
$V_4(m/sn)$	8000	
$h_1(m)$	3	
$h_2(m)$	10	
$h_3(m)$	19	



Şekil 6. II. yapı modelinin kesit görünümü

Çizelge 4. Nomogram çözümüyle kuramsal verilerin karşılaştırılması

	Kuramsal (Yapı) Modeli	Nomogram ile Çözüm		
$V_1(m/sn)$	550	590	$X_1(m)$	10
$V_2(m/sn)$	1300	1300	$X_2(m)$	34
$V_3(m/sn)$	3000	3100	$X_3(m)$	66
$V_4(m/sn)$	8000	8000		
$h_1(m)$	3	3.05		
$h_2(m)$	10	10.12		
$h_3(m)$	19	19.7		



Şekil 7. II. yapı modelinin seyahat zaman-uzaklık grafiği

4.2. Arazi Uygulaması

Bu uygulama, İzmir'in Seferihisar İlçesi, Doğanbey Tuzlası'nda Şekil 8'da gösterilen profil üzerinde yapılmıştır.

Seferihisar jeotermal alanı jeolojisinin temelini Menderes Masifine ait metamorfitlet oluşturmaktadır. Bunlar; altta "Dereboğazı şistleri" ve "Dereboğazı mermerleri" olarak ayrılmış olup, araştırma alanının güney doğusunda mostra verir. Güney batıda ise, bunların üzerinde yer alan "Doğanbey Burnu metamorfitletleri" bulunmaktadır (Eşder, 1990).

En alt birimden en üst birime doğru çalışma alanındaki yeraltı katmanları incelendiği zaman en altta Bornova karmaşığı olarak adlandırılan ve fliš içeren katman bulunur. Bu katmanın üzerinde Neojen yaşlı Payamlı çakıltası vardır. En üst katman ise; traverten ve alüvyonu karakterize eden güncel tortul çökeltileri bulundurulur.

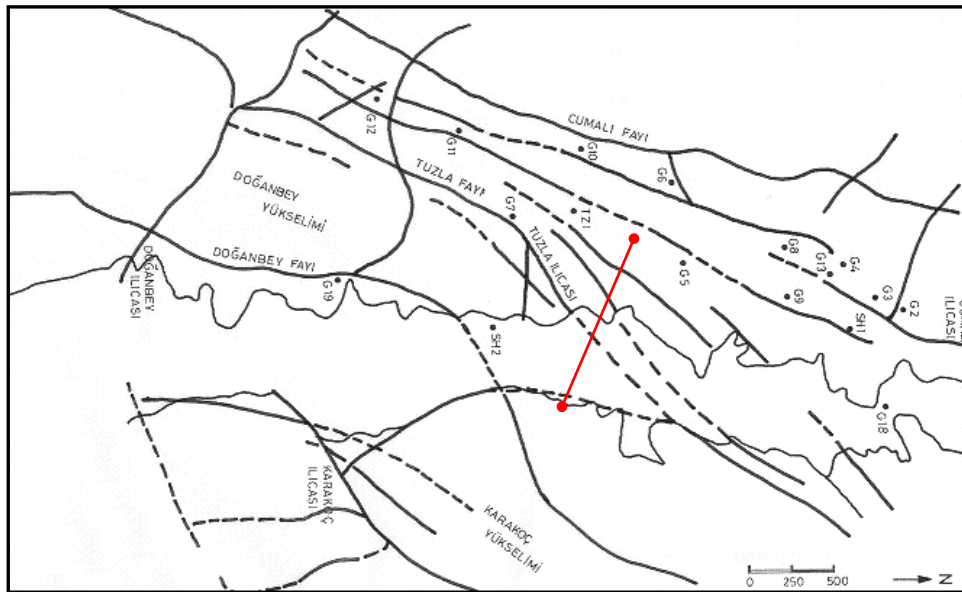
Traverten oluşumu tektonizmaya bağlı gözlenen jeotermal ve hidrotermal suların etkisiyle olur. KD-GB ve KB-GD uzanımlı birimlerini zaman zaman kesen fay hatları mevcuttur. KD-GB hattı daha çok normal fay karakteri gösterirken, KB-GD hattı ise verrev atımlı fay özelliği gösterir.

Bölgede sıcak su çıkışları ise KD-GB yönde uzanan faylar boyunca görülmektedir (Filiz ve Tarcan, 1993). Alandaki önemli jeotermal çıkışlar; Tuzla Ilıcısı, Cumalı Kaplıcası, Doğanbey Kaplıcası ve Karakoç Kaplıcası civarında gözlenmektedir. Bölgede daha önce yapılan yer elektrik araştırmalarının sonuçları, sıcak su kaynakları ve volkanik domlar

civarında gözlenen düşük özdirenç değerlerinin alanın ana tektonik yapısına paralel olarak GB-KD yönünde uzandığını ortaya koymuştur.

Sismik kırılma çalışmasında, ölçümler Geometrics–Smartseis 24 kanallı sismik ölçü aleti, 14 Hz’lik P jeofonu ve kaynak olarak 8 kg’lık balyoz kullanılarak alınmıştır. 120 m’lik profil üzerinde düz ve ters atış yapılmıştır. Offset uzaklığı düz atış için 7 m, ters atış için 3 m ve jeofon aralığı 5 m alınmıştır.

Arazi çalışmasında temel amaç, nomogram yönteminin sınanması ve bulunması olası bir fay yapısını belirleyerek ortamı modellemektir. Ancak 120 metrelik profil uzunluğuna karşılık gelen araştırma derinliği (serim uzunluğunun yaklaşık üçte biri) ve kullanılan kaynak, fay yapısını ortaya çıkarmada yetersiz kalmaktadır. Çalışma sonucunda, herhangi bir fay izine rastlanmamış, eğimli tabaka şeklinde modelleme yapılmıştır.



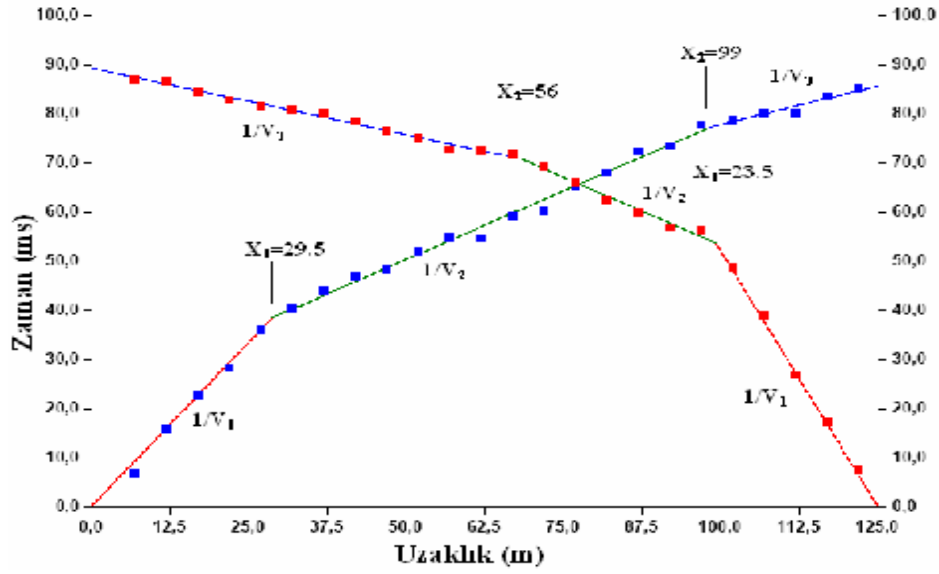
Şekil 8. Tuzla fayının topoğrafik haritası ve çalışma profili doğrultusu

Sismik kırılma verileri, milimetrik kağıtta çizilerek, katmanlara ait hız ve kesişme uzaklık değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen bu değerler,

$$h_1 = \frac{x_1}{2} \left(\frac{V_2 - V_1}{V_2 + V_1} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad h_1 = \frac{t_i}{2} \frac{V_1 V_2}{\sqrt{V_2^2 - V_1^2}} \quad (7)$$

$$h_2 = \frac{0.5 \cdot t_{i2} \cdot V_3 - h_1 \cdot \sqrt{(V_3/V_1)^2 - 1}}{\sqrt{(V_3/V_2)^2 - 1}} \quad (8)$$

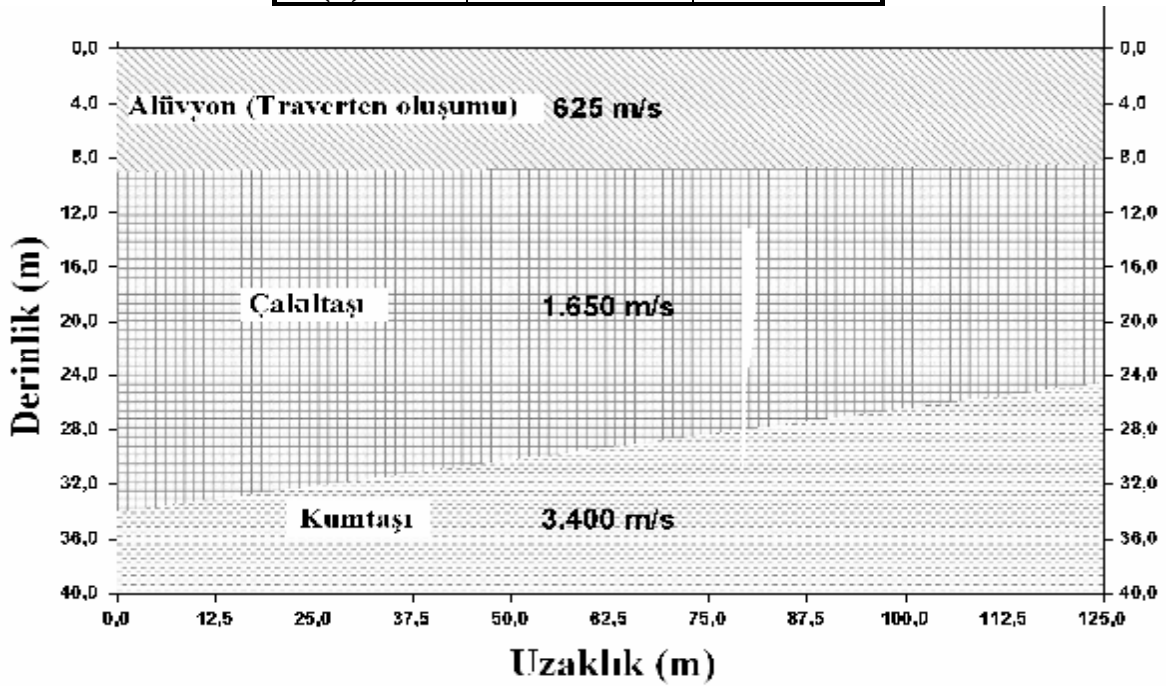
klasik h1 ve h2 bağıntıları, RefractSoln v.1.00 sismik kırılma yazılımı ve nomogram ile değerlendirilerek katmana ait derinlikler saptanmıştır (Ergin, 1981; Ayers, 2000) (Çizelge 5, Çizelge 6 ve Çizelge 7).



Şekil 9. Arazi yapı modelinin seyahat zaman-uzaklık grafiği

Çizelge 5. Eşitlik 6 ve Eşitlik 7 kullanılarak arazi verilerinin değerlendirilmesi

	ARAZİ DEĞERLERİ	
	Düz Atış	Ters Atış
$V_1(m/sn)$	750	500
$V_2(m/sn)$	1700	1600
$V_3(m/sn)$	3100	3700
$X_1(m)$	29.5	23.5
$X_2(m)$	99	56
KLASİK YÖNTEMLE DEĞERLENDİRME		
$h_1(m)$	9.18	8.5
$h_2(m)$	23.6	19.4



Şekil 10. Nomogram çözümüyle elde edilen yeraltı modelinin kesit görünümü

Çizelge 6. RefractSoln v.1.00 yazılımı kullanılarak arazi verilerinin değerlendirilmesi (Ayers, 2000)

	ARAZİ DEĞERLERİ	
	Düz Atış	Ters Atış
$V_1(m/sn)$	713	482
$V_2(m/sn)$	1838	1622
$V_3(m/sn)$	2996	3754
$h_1(m)$	9.1	9.2
$h_2(m)$	22.3	16.2

Çizelge 7. Nomogram yardımıyla arazi verilerinin değerlendirilmesi

	ARAZİ DEĞERLERİ	
	Düz Atış	Ters Atış
$V_1(m/sn)$	750	500
$V_2(m/sn)$	1700	1600
$V_3(m/sn)$	3100	3700
$X_1(m)$	29.5	23.5
$X_2(m)$	99	56
KLASİK YÖNTEMLE DEĞERLENDİRME		
$h_1(m)$	9.15	8.58
$h_2(m)$	24.72	16.33

5. SONUÇLAR

Çalışmalar, kuramsal ve arazi uygulaması olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, nomogram ile katman derinliklerinin doğru olarak belirlenebilirliğinin test edilmesi amacıyla üç kuramsal yer yapı modeli oluşturulmuştur. Nomogram yardımıyla elde edilen katman kalınlıklarının, başlangıç yer yapı modelini oluşturan katman kalınlıkları ile kabul edilebilir hata miktarı içerisinde uyduğu gözlenmiştir. İkinci aşamada, nomogram yöntemi arazi çalışmalarında elde edilen sismik kırılma verisine uygulanmış, çalışılan jeolojik ortama ait katman kalınlıkları belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, belirlenebilirliğin doğruluğu ve karşılaştırma amacıyla, aynı seyahat zaman-uzaklık değerleri kullanılarak, Eşitlik 7 ve Eşitlik 8u h_1 ve h_2 , klasik sismik kırılma derinlik hesabı bağıntıları ve RefractSoln v.1.00 sismik kırılma yazılımıyla bir değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirme sonuçlarının birbirine yakınlığı, nomogram ile tabaka kalınlık kestiriminin doğruluğunu ortaya koymaktadır.

Elde edilen sonuçlar, nomogram kullanımının özellikle bilgisayar olanağının bulunmadığı durumlarda ve özellikle sismik prospeksiyon dersi kapsamında Jeofizik Mühendisliği lisans öğrencileri tarafından uygulamalarda çok katmanlı sismik kırılma verilerinin değerlendirilmesi amacıyla kullanılabileceğini göstermiştir. Bunun yanında, yöntem pratik, basit ve kullanışlı olması dolayısıyla birçok kullanıcı açısından tercih edilebilir niteliktedir.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın oluşumu ve gelişimi sırasında gösterdiği özverili katkılardan ötürü Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof.Dr.Coşkun SARI'ya teşekkür ederiz. Ayrıca arazi uygulamasının yapıldığı alanın jeolojik özellikleriyle ilgili yaptığı katkılardan dolayı Prof.Dr.Gültekin TARCAN'a, görüş, öneri ve eleştirileriyle bizleri yönlendiren, yüreklendiren sevgili hocamız Prof.Dr.Mustafa ERGÜN 'e de sonsuz teşekkürler ederiz.

KAYNAKLAR

- Ayers F.J. (2000): “Analysis of Multiple Dipping Interfaces by the Seismic Refraction Method”, No. 7, Version 1.00.
- Ergin K. (1981): “Uygulamalı Jeofizik”, İ.T.Ü. Matbaası Sayı:451, Beşinci Baskı, Gümüşsuyu, İstanbul.
- Eşder T. (1990): “The Crust Structure Convection Mechanism of Geothermal Fluids in Seferihisar Geothermal Area”, Int. Earth Sci. Con. On Aegean Regions, İzmir, Turkey, v. 1, p. 135-147.
- Filiz Ş., Tarcan G. (1993): “Seferihisar (İzmir) Güneyindeki Jeotermal Alanının Hidrojeolojisi”, TPJD Bülteni, s. 97-112.
- Meidav T. (1960). “Nomograms to speed up seismic refraction computations”, Geophysics, v. 25, pp. 1035-1053.