

HAGEDOORN'UN ARTI EKSI METODUNUN DÜŞÜK HIZLI YÜZEY TABAKALAR İÇİN DÜZELTMELERDE KULLANILMASI

Gökhan UĞURTAŞ *)

ÖZET :

Jibs tabakalarını aramak için 1963 yazında Kuzey İngiltere'nin Lake District bölgesinde Kirkby Thore'da sismik refraksiyon etüdü yapıldı. İki yönlü zaman - mesafe grafiğinde her iki uçta zaman kesintili iki tabaka bulunmuştur. Zaman kesintisi düşük hızlı pit tabakasından ileri geldiği kabul edilmiştir. Pit hız tayini bu tabakanın ince olduğundan dolayı yapılamamıştır. Bu yüzden pit hızı tahmini olarak alınmıştır. Pit'in bu hız tahmininden doğan muhtemel hatalar Hagedoorn'un artı - eksi metodunu iki defa kullanarak yok edilmiştir. Bu işlem üç tabaka için yeni bir bağıntı bulunarak yapılmıştır. Hagedoorn'un artı - eksi metodunun üç tabakaya uygulanışı ve bu uygulamanın yüzey tabakaları düzeltmelerinde kullanılışı bu yazıda incelenmiştir.

ABSTRACT :

During the summer of 1963, refraction works was carried out in Northern England at Kirby Thore for the investigation of gypsum beds. The reversed time distance graph showed two layer earth with an intercept at each end. The intercept was taken to be due to the low velocity peat layer. No velocity determination could be done on peat due to the thin thickness of these beds. Therefore a peat velocity was assumed. Possible errors for this assumption on the thickness of marly shales between peat and the gypsum beds were eliminated by using Hagedoorn's plus - minus method twice. This was done by deriving new expression for three layer earth. Application of plus - minus method to the three layer earth and its use for the weathering correction* are discussed in this paper.

Artı - Eksi Metodu :

Hagedoorn'un artı - eksi metodu bu yazıda ışın yolundan faydalanarak açıklanacaktır. Hagedoorn [1] **) kendi yazısında metodu dalga yayılımından çıkarmıştır. Metodu ışın yolu ile çıkarma daha açık ve anlaşılır olduğu için tercih edilmiştir.

S ve S₂ iki atış noktası ve G bu atış noktaları arasında değişen bir jeofon noktası olsun. Şekil : 1'e bakınız) Eğer G kritik acıya bağlı olan kritik uzaklığın dışında bir noktaya yerleştirilmiş ise, her iki atış noktasından jeofona ilk dalganın erişme zamanı aşağıdaki gibi yazılabilir. Bu zaman formüllerinin karışık olmaması için refraktör tabakasında katedilen yol, yüzey atış noktası jeofon uzaklığına eşit alınmıştır. Bu kulübün sonuçlara etkisi olup olmadığı daha sonra eleştirilecektir. Aşağıdaki zaman bağlantıları birbirinden çıkarılır ve $t_1 = t_2$, olarak alınırsa :

$$\begin{aligned}
 t_{x_1} &= t_1 + \frac{x}{V_2} + t_{s_1} & (1) \\
 t_{x_2} &= t_2 + \frac{X-x}{V_2} + t_{s_2} & (2) \\
 t_{x_1} - t_{x_2} &= \frac{2x}{V_2} - \frac{X}{V_2} + t_1 - t_2 & (3)
 \end{aligned}$$

Yukarıdaki bağıntı (3) e bakacak olursak, iki yönlü bir refraksiyon atışı için t₁, t₂ ve X/V₂ değerleri belli ve değişmez oldukları görülür. Dolayısıyla sol tarafa eksi zaman dersek, eksi zamanlar ile jeofon noktası uzaklığı grafiği çizilirse, elde edilen doğrunun eğiminin iki katı ikinci tabakanın hızını verecektir. Yukarıdaki bağıntının en önemli özelliği derinlik teriminin formüle girmemiş olmasıdır. Bu yüzden ikinci tabakanın hızının bulunmasında, ikinci tabakanın ayırım yüzeyinin geometrik şeklinin etkisi yoktur. Bağlantıların karışık olmaması için yukarıda yaptığımız kabulün hız hesaplamasına hiç bir

*) Jeofizik Yük. Müh.

**) Köşeli parantez içindeki rakamlar yazının sonunda verilen referansları göstermektedir.

etkisi olmadığı görülmektedir. Bağintı (3) teki X değeri hakikatte X uzaklığından, kritik açıya ve her iki atış noktasındaki ikinci tabaka derinliğine bağlı olarak belli bir miktar daha küçüktür, fakat bir refraksiyon profili için belli bir uzaklık olduğundan sabittir, değişmez ve hız eğimini etkilemez. Bağintı (3) teki x değeri hakikatte x den küçük bir değerdir, fakat bu fark her jeofon noktasında aynıdır. İki atış noktası arasında jeofon noktası belli aralıklar ile değişirken, atış noktalarındaki kiritik açı ve ikinci tabakaya olan derinlik sabit kalır, jeofon noktalarında ise kiritik açı sabit kalır fakat derinlik değişebilir. Bu derinlik değişiminin, ikinci tabaka refraksiyon yoluna etkisi önemsizdir. Dolayısıyla zaman jeofon noktası uzaklığı grafiğindeki eğim bu kabul ile etkilenmez.

Yukarıdaki zaman bağıntılarını 1 ve 2 toplayıp gerekli eşitlikleri yerine koyup sadeleştirsek :

$$\begin{aligned}
 t_{x_1} + t_{x_2} &= t_1 + t_2 + \frac{X}{V_2} + t_{g_1} + t_{g_2} \quad (4) \\
 T &= t_1 + \frac{X}{V_2} + t_2 \\
 t_{g_1} &= t_{g_2} = t_g \\
 t_{x_1} + t_{x_2} - T &= 2 t_g = \frac{2 h \cos i}{V_1} \\
 \cos i &= \sqrt{1 - \frac{V_1^2}{V_2^2}} \\
 h &= (t_{x_1} + t_{x_2} - T) \left(\frac{V_1}{2 \sqrt{1 - \frac{V_1^2}{V_2^2}}} \right) \quad (5)
 \end{aligned}$$

Yukarıdaki bağıntıda sağ parantez herhangi bir refraksiyon profil atışı için değişmez olup k ile gösterilir. Dolayısıyla herhangi bir jeofon noktasındaki ikinci tabaka olan derinlik artı zamanlarından, iki atış noktası arasındaki zaman T yi çıkarıp k ile çarpmak sureti ile bulunur. Yukarıdaki bağıntının çıkarılmasında daha evvel yaptığımız kabulün hiç bir tesiri olmadığı kolayca görülebilir.

, Artı - Eksi Metodunun Uç Tabakaya Uygulanması :

Hagedoorn'un [1] artı - eksî metodu ikiye fazla tabakaya uygulanması, iki uç atış noktası arasında iki veya üç ara atış noktası ilâve etmekle sağlanır. Ara atış noktala-

rı yüzey tabaka hız değişiminde kullanıldığından, zaten genellikle refraksiyon atışlarında yapür. Dolayısıyla ilâve bir zaman kaybına ve masrafa yol açmaz.

S₁ ve S₂ atış noktalarından G jeofonuna üçüncü tabaka refraksiyon yolu ile gelen dalgaların zamanları Şekil : 1 - deki işaretleme kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir. Burada daha evvel yaptığımız gibi, üçüncü tabakadaki refraksiyon yolu, atış noktası ile jeofon noktası arasındaki uzaklığa eşit alınmıştır. Bu kabulün elde edilecek bağıntıya tesiri olmadığı görülecektir.

$$T_{x_1} = t_{g_1} + T_1 + \frac{X}{V_3} + T_{g_1} + t_{g_1} \quad (6)$$

$$T_{x_2} = t_{g_2} + T_2 + \frac{X-X}{V_3} + T_{g_2} + t_{g_2} \quad (7)$$

Bu zaman bağıntılarını toplarsak gerekli eşitlikleri yerine koyup sadeleştirmeleri yaparsak :

$$\begin{aligned}
 T_{x_1} + T_{x_2} &= t_{g_1} + t_{g_2} + T_1 + T_2 \\
 &+ \frac{X}{V_3} + 2T_g + 2 t_g \quad (8)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= t_1 + T_1 + \frac{X}{V_3} + T_2 + t_2 \\
 T_{x_1} + T_{x_2} - T &= 2 t_g + 2 T_g \quad (9)
 \end{aligned}$$

$$t_g = \frac{h \sqrt{1 - \frac{V_1^2}{V_2^2}}}{V_1} \quad (10)$$

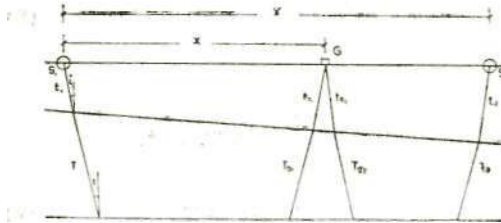
$$T_g = \frac{H_2 \sqrt{1 - \frac{V_2^2}{V_3^2}}}{V_2} \quad (11)$$

Yukarıda yaptığımız kabulün elde ettiğimiz bağıntıya girmedığı görülmektedir. Yukarıdaki 9,10 ve 11 bağıntıları, üç tabakalı refraksiyon etüplerinde kullanılarak üçüncü tabakamın ayırım yüzeyinin geometrik şekli

$$H_2 = (T_{x_1} + T_{x_2} - T - 2t_g) \left(\frac{2V_2}{\sqrt{1 - V_2^2/V_3^2}} \right) \quad (12)$$

bulunabilir. Bu işlem için esas refraksiyon Profiline uç atış noktaları arasına iki veya üç atış noktası yerleştirmek gerekir. Ara atış noktaları kullanılarak t_c değeri, artı değerleri hesaplanarak bulunur. Bu t_g değeri 9 numaralı bağıntıya konulursa, ikinci ve üçüncü tabakalar arasındaki H_2 (ikinci tabakanın kalınlığı) değeri, birinci tabakanın hızına bağlı olmayarak elde edilir :

Yukarıdaki bağıntıda bütün zaman değerleri bilinmektedir. İkinci ve üçüncü tabakaların hızları V_2 ve V_3 , eksi zaman grafiklerinin eğiminin bulunması ile elde edilir. Yukarıdaki bağıntıda birinci tabakanın hızının yer almaması önemlidir. Dolayısıyla birinci tabakanın hızı bilinmiyorsa, bir datum yüzeyi alınarak, buna göre düzeltme yapılabilir.



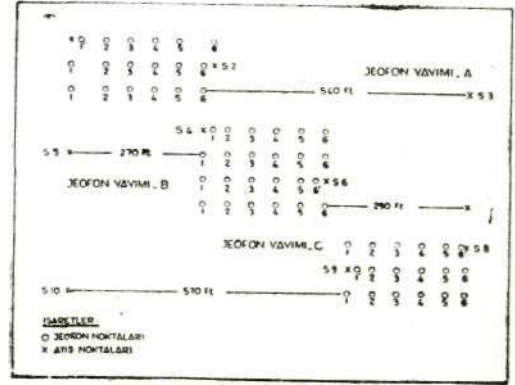
Şekil : 1 — Artı - Eksi Metodunun Prensipleri

Sismik Refraksiyon Etüdü :

Jibs tabakalarının derinliğini bulmak için 810 feetlik bir refraksiyon profili etüdü yapılmıştır. Altı jeofonluk yayılım bu profil hattı üzerinde üç defa kaydırılmıştır. Her jeofon yayılımında profil uçlarında ve esas profil hattının uçlarında atışlar yapılmıştır (Şekil : 2). Ara atışlar sayesinde yüzey tabakasının hız değişimi incelenmek istenmiştir.

Gürültüyü azaltmak için jeofonlar yarı feet derine yerleştirilmiştir. Profil ucu atışları için 6 feet derinliğinde kuyularda 1/2 librelük dinamit lokumları (gelignite) ve jeofon yayımları uçlarında 3 feet derinliğinde kuyularda 1 veya 2 onzluk dinamit lokumları (gelignite) ateşlenmiştir.

Kayıtlar SIE transistorlu jeofizik amplifikatör sistemi (model GTR 200) ve ultra viole kaydedici ile elde edilmiştir. Amplifikatör sistemi, master ünitesi MU - 200 ve fütüre ünitesi FU - 200 den meydana gelmiştir.



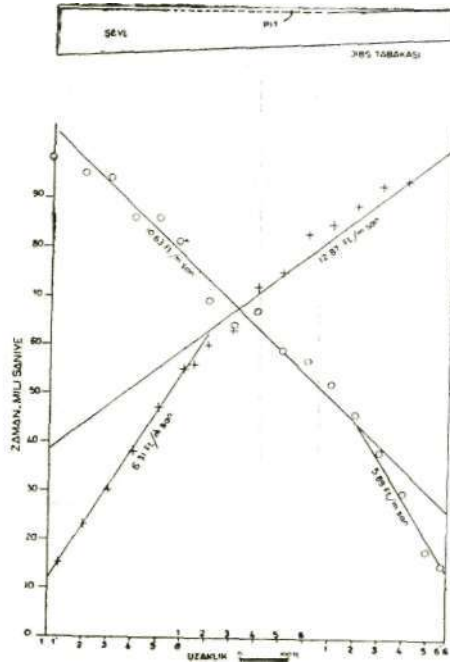
Şekil : 2 — Atış Plânı

Sismik Refraksiyon Profiline Değerlendirilmesi :

Kayıtlardaki refraksiyonlar $z \approx 1$ m. saniyelik hassasiyetle okunmuştur. Atış anı yine 1 m. saniyelik hassasiyetle okunmuştur. Dolayısıyla her hangi bir refraksiyon için maksimum muhtemel hata ≈ 2 m. saniyedir. Jeofonların yerleştirilmesindeki $0,5$ feetlik bir hata, bu muhtemel hata nisbetine fazla bir şey ilâve etmez.

Zaman uzaklık grafikleri atış kuyusu derinliği için düzeltme yapıldıktan sonra hazırlanmıştır. Şekil : 3 - ve i - Bu zaman uzaklık grafikleri iki önemli husus ortaya çıkarmıştır. Birinci husus zaman uzaklık grafiklerinin ilk doğrularının orijinden geçmemesidir, ikinci husus ise yatay yönde hız değişiminin görülmesidir.

Grafiklerdeki zaman ordinat ekseninde kesinti, observasyon metodundaki hatalardan ileri gelebileceği düşünülmüştür. Kaydetme cihazlarında bir zaman farkı olması veya patlama am üe patlama akımının kesilmesi arasında bir zaman farkı olması mümkündür. Ancak bu kaynakların etkisinin



Şekil : 3 — Zaman Uzaklık Grafiği

küçük olacağı ve hiç bir zaman 10 m. saniyenin üzerinde olan ordinat kesintisi seviyesine çıkmıyacağına karar kılınmıştır. Bu zaman kesintisinin izahı düşük hızlı bir yüzey tabakası ile yapılmıştır. Atış kuyuları açılırken zaten bir pit tabakasına rastlanmıştır. Bu pit tabakasının derinliği 3,7 ve 8 No. lu atış kuyularında 5 feet olarak bulunmuştur. Diğer atış kuyularında 3 feet pit kalınlığı bulunmuştur. Pit kalınlığının az olması ve atış noktalarının hemen yanlarına jeofon yerleştirilememiş olmasından dolayı pit tabakasının hızı bulunamamıştır. Sismik hesaplarda bu yüzden pit tabakasının hızı Heiland'ın [2] verdiği 1,0 feet/m. saniye olarak alınmıştır. Sismik refraksiyon etüdü yaptığımız bu bölgede pit hızının Heiland'ın verdiği başka bölgedeki pit hızından değişik olabileceği ve yatay yönde değişebileceği mümkündür. Bu yüzden hesaplarımıza bir hata girmiştir.

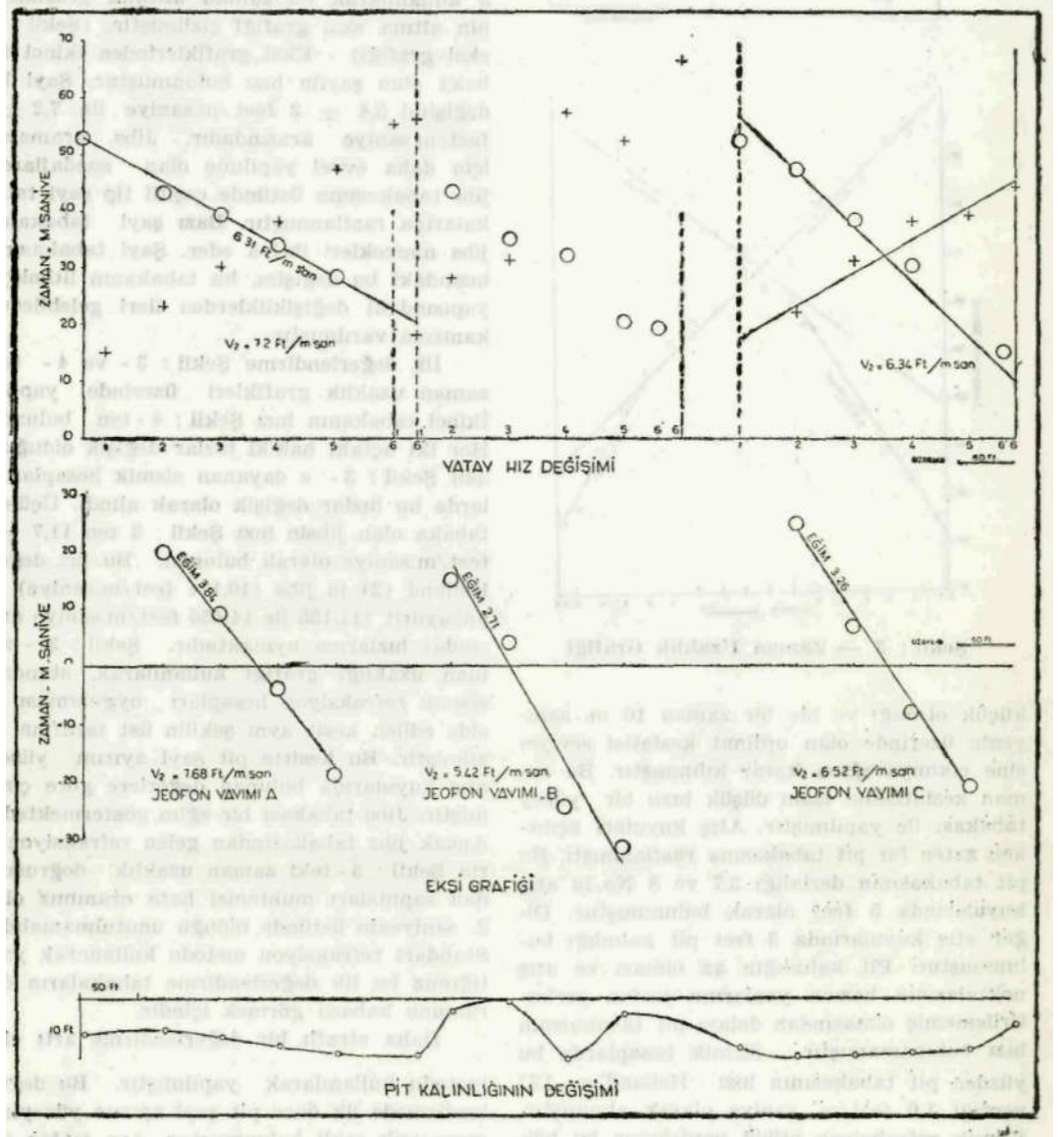
İkinci husus pit tabakasının altındaki şayi tabakasının hızının yatay yönde değişmesidir. Bu hız değişimi Şekil : 4 - teki zaman uzaklık grafiğinde görülebilir. Uç bitişik jeofon yayınının her iki ucunda atış yapmak suretile ile elde edilen zaman uzaklık grafikleri bu şekilde bir arada dökülmüştür. B jeofon yayılımı zaman uzaklık grafiğindeki noktalardan herhangi bir doğru geçirilmemiştir, çünkü bu noktaların çizilecek herhangi bir doğrudan sapma uzaklıkları sismik

etüd hata yüzdesinin çok üstündedir. **Formül.** 3 kullanılarak bu zaman uzaklık grafiklerinin altına eksi grafiği çizilmiştir. (Şekil : 4, eksi grafiği) - Eksi grafiklerinden ikinci tabaka olan şaylin hızı bulunmuştur. Şayi hız değişimi 5,4 ;p 2 feet/m.saniye ile 7,2 jr 3 feet/m.saniye arasındadır. Jibs aramaları için daha evvel yapılmış olan sondajlarda, jibs tabakasının üstünde çeşitli tip şayi tabakalarına rastlanmıştır. Bazı şayi tabakaları jibs mercikleri ihtiva eder. Şayi tabakasının hızındaki bu değişim, bu tabakanın litolojik yapısındaki değişikliklerden ileri gelebileceği kanısına varılmıştır.

İlk değerlendirme Şekil : 3 - ve 4 - teki zaman uzaklık grafikleri üzerinde yapıldı. İkinci tabakanın hızı Şekil : 4 - ten bulundu. Her iki uçtaki hakiki hızlar değişik olduğundan Şekil : 3 - e dayanan sismik hesaplamalarda bu hızlar değişik olarak alındı. Üçüncü tabaka olan jibsin hızı Şekil : 3 ten 11,7 q; 4 feet/m.saniye olarak bulundu. Bu hız değeri Heiland (2) in jibs (10,171 feet/m.saniye) ve anhydrit (11,155 ile 14,436 feet/m.saniye arasında) hızlarına uymaktadır. Şekil : 3 - zaman uzaklığı grafiği kullanılarak, standart sismik refraksiyon hesapları uygulaması ile elde edilen kesit aynı sekilin üst tarafına çizilmiştir. Bu kesitte pit şayi ayırım yüzeyi atış kuyularında bulunan değerlere göre çizilmiştir. Jibs tabakası bir eğim göstermektedir. Ancak jibs tabakasından gelen redaksiyonların Şekil : 3 - teki zaman uzaklık doğrusundan sapmaları muhtemel hata oranımız olan 2. saniyenin üstünde olduğu unutulmamalıdır. Standart refraksiyon metodu kullanarak yaptığımız bu ilk değerlendirme tabakaların durumunu kabaca görmek içindir.

Daha etraflı bir değerlendirme artı eksi metodu kullanılarak yapılmıştır. Bu değerlendirmede ilk önce pit şayi ayırım yüzeyinin geometrik şekli bulunmuştur. Ara jeofon yayımları zaman uzaklık grafikleri ve bu grafiklerden elde edilen eksi grafikleri yani şayi tabakası hızları Şekil : 4 - te alt alta dökülmüştür. Pit hızı 1,0 feet/m.saniye olarak alınmış ve eksi grafiğinden bulunan şayi hızı ve Şekil : 4 - zaman uzaklık grafiğinden bulunan artı değerleri formül : 5'e konularak her jeofon noktası altındaki pit kalınlığı hesap edilerek Şekil : 4 - ün alt tarafındaki pit gayl tabakaları kesiti meydana getirilmiştir. Bu kesitte pit hızını yaklaşık olarak almamızdan dolayı, pit kalınlığında sabit bir oranda hata olabilir.

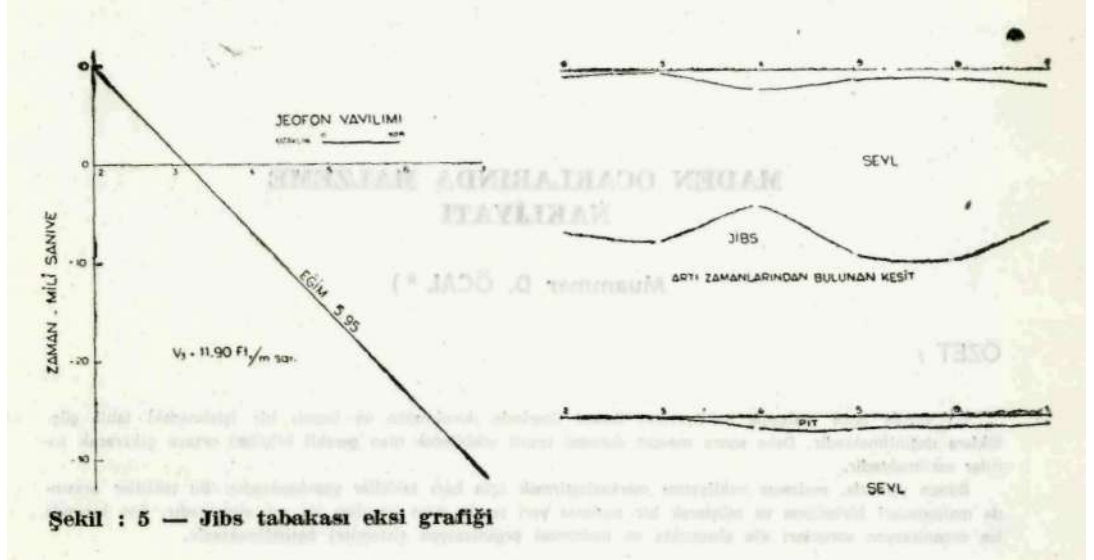
Bundan sonra değerlendirmenin ikinci bölümüne geçilmiştir. Üçüncü tabakanın ayı-



.Şekil : 4

rım yüzeyinin geometrik şeklini bulmak için ilk önce bu tabakanın hızı, Şekil : 3 zaman uzaklık grafiğinde ikinci refraktör tabakası üzerine gelen B jeofon yayılımının 2,3,4,5, ve 6 No. lu jeofonları ile C jeofon yayılımının 1 No. lu jeofonlarındaki refraksiyon zamanları kullanılarak, eski zaman grafiği elde edilmiştir. (Şekil : 5). Bu eski grafiğinden bulunan jibs tabakası hızı 11,9 T 4 feet/, saniye, daha evvel Şekil : 3 - ten bulunan hıza **uymaktadır.**

Üçüncü tabakanın ayırım yüzeyinin geometrik şekli Formül : 12 kullanılarak elde edilmiştir. Bu formüldeki ikinci ve üçüncü tabaka hızları Şekil : 4 - ve 5 - teki eksigrafleri hızlandır. Aynı formüldeki T zamanları Şekil : 3 - ten ve t zamanları Şekil : 4 - teki zaman uzaklık grafiklerinden okunup yerine konulmuştur. Böylece elde edilen kesit daha "evvel elde edilen pitşayl ayırım geometrik şekli ile beraber Şekil : 6 - in üst tarafına çizilmiştir. Bu kesitteki şayi jibs ayırım yüzeyinin geometrik şekli **birinci** tabaka pit **hızı**



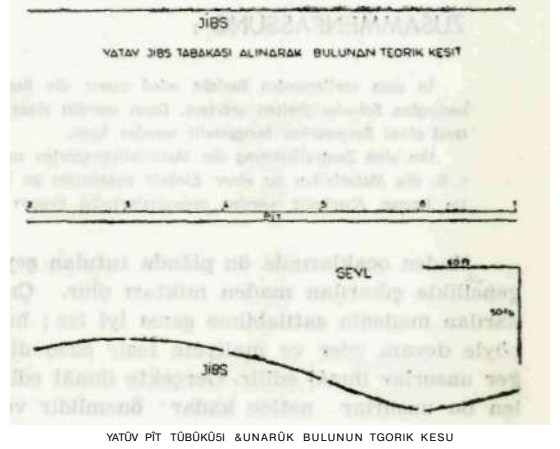
Şekil : 5 — Jibs tabakası eksi grafiği

m bilmemekten dolayı etkilenmiş olabilir, fakat her jeofon noktası altındaki şayi kalınlığı hatasız olarak bulunmuştur. Pit kalınlığında ise bu tabakanın hızını bilmemekten ve yaklaşık bir değer alındığından sabit oranda bir hata olabilir.

Pitin hızını bilmemekten meydana gelen hataların muhtemel sınırlarını araştırmak için bazı teorik hesaplar yapılmıştır. İlk olarak jibs tabakası yüzeyden 85 feet derinlikte yatay olarak alınmış ve pitin kalınlığı buna göre hesaplanmıştır. Bu yolla bulunan teorik kesit Şekil : 6 - nın orta kısmına çizilmiştir. Bundan sonra yüzeydeki pit tabakasının kalınlığı 5 feet olarak alınmış, bu yatay pit tabakasına göre şayi jibs tabakaları ayırım yüzeyi teorik olarak hesaplanıp Şekil : 6 - in alt tarafına çizilmiştir. Artı eksisi metodu kullanarak bulduğumuz kesitin muhtemel uç sınırları gösteren teorik kesitlerle mukayesesi böylece elde edilmiş oldu. Şekil : 6. Bu mukayeseden sonra elde edilen ölçülere göre en uygun kesitin artı eksisi metodu ile bulunan olduğu kanısına varılmıştır. Aynı sahada sismik refraksiyon etüdü ile birlikte resistive etüdü yapılmıştı [3]. Burada resistive etüdüne girilmeyecektir. Ancak artı eksisi metodu ile bulunan kesitin resistive etüdü sonuçlarına uydugunu belirtmemiz gerekir.

Sonuç :

Bu sismik refraksiyon etüdünde artı eksisi metodu üç tabaka problemine başarı ile uygulanmıştır. Bu uygulamanın en önemli hususu, ikinci tabakanın kalınlığının bulunmasında birinci tabaka hızının kullanılmamasıdır.



Şekil : 6 — Jibs tabakası kesitleri

Metodun üç tabakaya uygulanışı son senelerde yaygın olarak kullanılan çekiç sismisinde faydalı olacağı ve refraksiyon ve refleksiyon etüdülerinde yüzey düzeltme hesaplarında kullanılabileceği ileri sürülebilir.

R E F E R A N S L A R

- [1] Plus - Minus Method of Interpreting Seismic Sections : Geophysical . Prospecting, 7 (1959) (1940) S. 158.
- [2] Heiland, C.A. ; Geophysical Prospecting.
- [3] Uğurtaş, G. ; The Applications of -Resistivity and Seismic Methods to the Delineation of Gypsum Beds in Northern England. M. Sc. tezi- Birmingham Üniversitesi. (1963).