

SÖNÜMLEME SABİTLERİNİN BUHAR ENJEKTE EDİLMİŞ REZERVUARLARDA SİSMİKLE GÖRÜNTÜLENMESİ

Seismic Imaging of Attenuation Coefficients in Steam Flooded Reservoirs

MEHMET FERRUH AKALIN(*)

ÖZET

İkincil üretim işlemlerinde, rezervuarlardan daha fazla petrol çekmek amacıyla karbondioksit ve su buharı gibi maddeler, petrolün daha akıcı hale getirilmesi ve çekilen petrolün yerinin doldurulması amacı ile rezervuara enjekte edilir. Enjekte edilen su buharının rezervuar kayacının fiziksel özelliklerinde değişmelere neden olduğu, bu yüzden kayaçtaki elastik hızının azaldığı ve sismik dalgaların sönmülendirmelerinin arttığı laboratuvar deneyleriyle belirlenmiştir, (Nur, 1982).

Sismik yayılma zamanı ve genlik verileri yardımıyla kuyular arasında kalan bölgeler için sönmülendirmeye katsayılarının ve yayılım hızlarının görüntülenmesinde tomografik yeniden inşa (reconstruction) tekniği kullanılabilir.

Bu çalışmada, tekrarlamalı yeniden inşa tekniği IRT (Iterative Reconstruction Technique) kullanılarak, ikincil üretim işlemleri sırasında rezervuardaki sönmülendirmeye katsayıları; modellenmiş sismik genlik verilerinden elde edilmiştir. IRT değişik veri toplama geometrilerine kolaylıkla uydurulabilir. Ters çözümlemede, başlangıç adımı olarak ışın yollarının doğrusal olduğu varsayılmıştır.

Başarılı bir görüntüleme işlemi için, genlik verisi, ters çözümde önce anomaliye doğru uzatılmalıdır (yaklaştırılmalıdır). Yaklaştırma işlemi kaynakla alıcının anomaliye doğru taşınmasına eşdeğerdir. Veri toplama geometrisi, yani kaynakla alıcının anomaliye göre pozisyonları, bu işlemde önemlidir. Anomalinin şeklinin yeniden inşası, doğrudan rezervuarın şekline, yeterli ölçümün sağlanması açısından kaynak ve alıcı noktası sayısına, anomali ile çevresi arasındaki sönmülendirmeye katsayısı farklılığına ve de sismik verinin frekans içeriğine bağlıdır.

ABSTRACT

In secondary recovery operations to squeeze out more petroleum out of current reservoirs, agents such as carbon dioxide and water steam are injected to facilitate the flow of petroleum and to replace petroleum in situ. Injection of water steam causes changes in the physical properties of reservoir rock so that the intrinsic elastic velocity is decreased and the attenuation of seismic waves is increased as determined by laboratory experiments, (Nur, 1982).

Tomographic reconstruction techniques can be used to image attenuation coefficients and propagation velocities of regions between the boreholes from amplitude and travel time of seismic data.

An iterative reconstruction technique (IRT) is used to invert simulated seismic amplitude data and to image the attenuation coefficient within the reservoir during secondary recovery operations. The IRT is easily adapted to a variety of scanning geometries. To start with a straight ray approximation is assumed in the inversion process.

For a successful imaging process, the amplitude data are continued toward the anomaly before inversion. The continuation procedure is equivalent to moving the sources and receivers close to the anomaly. The scanning geometry plays a significant role in this procedure. The reconstruction of the shape of the anomaly is dependent on the shape of the reservoir itself, ray density to guarantee sufficient sampling, the attenuation contrast between the flooded and non-flooded regions, and of course the frequency content of the seismic data.

GİRİŞ

İkincil petrol üretim işlemlerinin verimli olabilmesi ve işlemin bilinçli bir şekilde planlanabilmesi için, basılan su

buharının yayıldığı zonun sınırlarının yaklaşık olarak bilinmesi zorunludur.

(*) T.P.A.O. Arama Grubu Veri İşlem Müdürlüğü, ANKARA

Rezervuar kayacındaki fiziki değişiklikleri algılayacak en etkin yol sismik yöntemdir. Basılan buhar nedeniyle kayacın sıcaklığındaki artış ve gözeneklerdeki gaz, dolayısıyla kayacın elastik dalgaların yayılım hızı azalır ve elastik dalgaların sönümlenmesi artar, (Nur, 1982). Anomalinin etrafındaki kuyularda ve yüzeyde kurulacak bir kaynak alıcı düzeniyle sismik veri toplanabilir. Sönümleme katsayısı $\alpha(x, y, z)$ ve elastik hız $v(x, y, z)$ fonksiyonları, sismik genlik ve yayılma zamanı verilerinden elde edilebilir.

Arazi şartlarında sismik dalgaların sönümlenmesini McDonal ve arkadaşları (1958) incelemişlerdir. Birbirine çok yakın kuyularda değişik derinliklerde ölçümler yaparak belli frekans aralığında sönümleme sabiti hesaplama yoluna gitmişlerdir.

Bois ve arkadaşları (1972) kuyudan kuyuya sismik yayılma zamanı ölçümlerinden, kuyular arasındaki elastik hız dağılımının hesaplanabileceği ve küçük yapıların bu şekilde algılanabileceğini göstermişlerdir.

Bu projede bir ters çözüm yöntemi olan, tekrarlamalı rekonstrüksiyon tekniği IRT (Dines ve Lytle, 1979, 1980), modelleme ile elde edilen sismik genlik verisinden, sönümleme sabitlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır. Bu tekniğin en büyük avantajı çok çeşitli ışın tarama geometrisine elverişli olmasıdır.

DÜZLEM DALGA GENLİK VERİSİNİN TEORİK TERS ÇÖZÜMÜ

Gerekli olan küresel dağılım ve transmisyon düzeltmeleri uygulandıktan sonra, sismik dalgaların genliklerindeki azalmaların sadece kayaların sönümleyici özelliklerine bağlı olacağı varsayılabilir. Bu varsayımdan hareket edilerek düzlem dalgalar için bir ışın yolu boyunca genliğin eksponensiyel olarak azaldığı, iki boyutlu aşağıdaki doğrusal integral denklemleriyle modellenenir:

$$\ln \frac{A(s)}{A_0} = - \int_0^s \alpha(\xi) d\xi \quad (1)$$

burada $\alpha(\xi)$, $\alpha(x, z)$ nin ışın boyunca geçilen kısımlarını belirler ve $\alpha(x, z)$

$$\alpha(x, z) = 2\pi f \frac{Q^{-1}(x, z)}{V(x, z)}$$

ifadesiyle verilir.

Bir ortamı tarayan ışınlar için verilen genlik veri setinden, sönümleme sabiti fonksiyonu $\alpha(x, z)$ ters çözümle hesaplanabilir. Aynı şekilde, yayılma zamanları verisinden de hız fonksiyonu $v(x, z)$ 'nin ters çözümü bulunduğundan sonra, "özel sönümleme faktörü" $Q^{-1}(x, z)$ tek bir frekans için hesaplanabilir.

MODEL

İki kuyu arasındaki ortam, belli bir kaynak alıcı düzeni kullanılarak sismik ışınlarla taranır. Modelde, ışınların doğrusal olduğu ve genliklerdeki değişimlerin sadece sönümleme sabitindeki değişikliklerden kaynaklandığı varsayılmıştır. Sentetik model, α_1 sönümleme sabitiyle bir çok sönümleyici zon ve bir de α_2 sönümleme sabitiyle homojen zondan oluşmaktadır, ($\alpha_2 < \alpha_1$). Veri toplama düzeni bir kaynak kuyusu ve yüzeyle, diğer kuyuya yerleştirilmiş alıcılardan oluşmaktadır. Şekil 1.

YÖNTEM

Şekil 1'deki modelden elde edilen genlik verilerinden, sayısal olarak sönümleme sabitinin ışınlarla taranan alan içerisindeki dağılımı ters çözümlemeyle hesaplanır. Sürekli fonksiyon $\alpha(x, z)$ 'nin sayısallaştırılmış $[\alpha_{ij}]$ matrisidir. İki kuyu arasındaki toplam $I \times J$ adet elemana bölünür ve her bir (i, j) elemanına sabit α_{ij} değeri verilir. Şekil 2, IRT metodu için problemin sayısal olarak kuruluşunu göstermektedir. Doğrusal integral denklemi (1), sayısal şekle dönüştürülürse,

$$a_{kl} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \alpha_{ij} \Delta S_{ijkl} \quad (2)$$

elde edilir. Burada

a_{kl} = k. kaynaktan l. alıcı arasındaki ışın için normalleştirildikten sonra, tabii logaritması alınmış genlik değeridir.
 α_{ij} = Eleman (i, j) 'nin ortalama sönümleme sabitidir.
 ΔS_{ijkl} = (k, l) ışınının, (i, j) elemanı içerisinde kalan parçasının uzunluğudur.

Böylece ters çözümleme işlemi, bir doğrusal denklemler setinin çözümü haline indirgenmiş olur. Bu doğrusal denklemler "ölçülen" a_{kl} genlik değerleri ile, α_{ij} sayısal sönümleme sabiti arasındaki bağıntıyı kurmaktadır.

IRT algoritması Şekil 3'te, bu doğrusal denklemler setinden α_{ij} matrisinin hesaplanabilmesi için verilmiştir.

Algoritma ilk tahminle başlar:

$$\alpha_{ij}^0 = \frac{1}{N_{ij}} \sum_{k,l} \text{sign}(\Delta S_{ijkl}) \frac{a_{kl}}{L_{kl}} \quad (3)$$

burada

N_{ij} - Eleman (i, j) 'yi kesen ışınların toplam sayısı,
 L_{kl} - Işın (k, l) 'nin ışın yolu uzunluğudur.

$\text{sign}(\Delta S_{ijkl}) = \begin{cases} 1, & \text{ışın } (k, l), \text{ eleman } (i, j)\text{'yi keserse,} \\ 0, & \text{kesmezse.} \end{cases}$

İlk tahmin hem hesaplama zamanı, hem de metodun stabilitesi açısından önemlidir. Burada özellikle seçilen bu ilk tahmin α_{ij}^0 , (i, j) elemanından geçen tüm ışınların ortalama sönümleme sabitlerinin ortalamasıdır.

q adet iterasyondan sonra elde edilen \hat{a}_{kl}^q genlik değerleri, ölçülen a_{kl} değerlerinin en son tahminleri olsun.

$$a_{kl}^q = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \alpha_{ij}^q \Delta S_{ijkl} \quad (4)$$

a_{kl} ile \hat{a}_{kl}^q arasındaki farkı alırsak;

$$a_{kl} - \hat{a}_{kl}^q = \sum_{i,j} \Delta \alpha_{ij}^q \Delta S_{ijkl}, \quad (5)$$

her bir eleman (i, j) için bir düzeltme değeri $\Delta \alpha_{ij}^q$ hesaplanabilir

Bu yöntemde her bir ışın ayrı ayrı ele alınır. Denklem (5) sadece ışın (k, l) için düşünülürse, elde edilen tek bir denklemi sonsuz sayıda $\Delta \alpha_{ij}^q$ değerlerinin sağladığı görülür. Böylece bir belirsizlikten kurtulmak ve tek bir çözüm elde edebilmek için, aşağıdaki C gibi kriteri, denklem (5)'i sağlama şartıyla minimize etme yolu seçilmiştir.

$$C = \sum_{i,j} \sum_{k,l} (\Delta \alpha_{ij}^q)^{2p} \quad (6)$$

$$\Delta a_{kl}^q = \sum_{i,j} \Delta \alpha_{ijkl}^q \Delta S_{ijkl} \quad (7)$$

C'yi denklem (7)'yi sağlamak şartıyla minimize edebilmek için yeni bir fonksiyon düzenlenir;

$$F(\Delta \alpha_{ijkl}^q, \lambda) = C - \lambda [\Delta a_{kl}^q - \sum_{i,j} \Delta \alpha_{ijkl}^q \Delta S_{ijkl}]$$

ve bu $F(\Delta \alpha_{ijkl}^q, \lambda)$ fonksiyonu $\Delta \alpha_{ijkl}^q$ ve λ 'ya göre minimize edilirse:

$$\frac{\partial F}{\partial \Delta \alpha_{ijkl}^q} = 0 = 2p(\Delta \alpha_{ijkl}^q)^{2p-1} - \lambda \Delta S_{ijkl}$$

$$\frac{\partial F}{\partial \lambda} = 0 = \Delta a_{kl}^q - \sum_{i,j} \Delta \alpha_{ijkl}^q \Delta S_{ijkl}$$

Eğer, ışın boyunca kesilen elemanlardan (r, t) elemanı için $\Delta \alpha_{rtkl}^q$ değeri hesaplanmak istenirse,

$$\lambda = \frac{2p(\Delta \alpha_{rtkl}^q)^{2p-1}}{\Delta S_{rtkl}}$$

$$\Delta \alpha_{ijkl}^q = \frac{\Delta a_{rtkl}^q (\Delta S_{ijkl})^{1/(2p-1)}}{(\Delta S_{rtkl})^{1/(2p-1)}}$$

$$\Delta \alpha_{rtkl}^q = \frac{(\Delta S_{rtkl})^{1/(2p-1)} \Delta a_{kl}^q}{\sum_{i,j} \Delta S_{ijkl} (\Delta S_{ijkl})^{1/(2p-1)}}$$

elde edilir. p'nin sonsuza gitmesi halinde, $\Delta \alpha_{rtkl}^q$ şöyle olur:

$$\Delta \alpha_{rtkl}^q = \frac{\Delta a_{kl}^q}{\sum_{i,j} \Delta S_{ijkl}} = \frac{\Delta a_{kl}^q}{L_{kl}}, \quad p \rightarrow \infty$$

Eşitlik (6)'daki p'nin sonsuza gitmesi halinde kritere, sayısal filtre dizaynında, Chebyshev normu adı verilir. $\Delta \alpha_{rtkl}^q$ ışın boyunca kesilen tüm elemanlar için hesaplanan tek düzeltme değeridir. Tüm ışınlar için, bu düzeltmeler hesaplandıktan sonra, her bir eleman için o elemandan geçen ışın sayısı kadar düzeltme değeri hesaplanmış olur. Yeni iterasyona geçmeden önce elemanlara uygulanacak olan $\Delta \alpha_{ij}^q$ düzeltmeleri, (i, j) elemanları için hesaplanan tüm $\Delta \alpha_{ijkl}^q$ düzeltmelerinin ortalamasından bulunur:

$$\Delta \alpha_{ij}^q = \frac{1}{N_{ij; k,l}} \sum \Delta \alpha_{ijkl}^q$$

Yeni α_{ij}^{q+1} matrisi şu şekilde hesaplanır:

$$\alpha_{ij}^{q+1} = \alpha_{ij}^q + \Delta \alpha_{ij}^q$$

Belli bir yakınsama kriteri sağlanıncaya kadar iterasyonlara devam edilir.

Basit bir modelden, şekil 4a, elde edilen genlik verisiyle, IRT metodunun nasıl bir sonuç verdiği şekil 4b'de izlenmektedir. Kaynak noktaları (X) işaretiyle, alıcılar ise Δ gösterilmiştir. Açıkça şekil 4a'daki anomali, şekil 4b'de de yüksek sönümleme sabitleriyle belli olmaktadır. Ancak, anomalinin çevresindeki elemanlarda sönümleme sabitleri çok değişik değerler ($\alpha \in (0,2)$) almaktadırlar. Aynı zamanda anomalinin içindeki değerler de modeldekinden daha dü-

şüktür. Bunun nedeni, algoritmada her bir iterasyon için hesaplanan $\Delta \alpha_{ij}^q$ düzeltmelerinin ışınlar boyunca tüm hücrelere uygulanmasıdır. Dolayısıyla anomaliden geçen ışınlar boyunca, $\Delta \alpha_{ij}^q$ değerleri büyük, geçmeyen ışınlar için küçük olmaktadır. Bazen de anomaliden geçmeyen ışınlar için hesaplanan $\Delta \alpha_{ij}^q$ değerleri, ölçülen a_{kl} değerlerinden büyük olmakta ve negatif $\Delta \alpha_{ij}^q$ düzeltmeleri elemanlara uygulanmaktadır. Böylece $\alpha = 1$ den daha küçük değerler oluşabilmektedir.

Bu dağılma etkisini ortadan kaldırmak için yonteme yeni bir ekleme yapılmıştır.

YÖNTEMİN GELİŞTİRİLMESİ

Eğer anomaliden geçen ışınlarla, anomaliden geçmeyen ışınları birbirinden ayıracak bir kriter bulunursa, anomalinin şeklinin ve veri toplama geometrisinin elverdiği oranda anomalinin çevresinde görülen dağılma önlenecektir. Anomaliden geçen ışınlar boyunca hesaplanan ortalama sönümleme sabitleri ($\alpha_1 = a_{kl}/L_{kl}$), anomaliden geçmeyen ışınların ortalama sönümleme sabitlerine (α_2) nazaran belirli şekilde büyük olacaktır ($\alpha_1 \gg \alpha_2$, eğer anomalinin sönümleme sabiti anomaliyi çevreleyen alandaki ortalama sönümleme sabitinden bariz şekilde büyükse).

Bu fikirden hareket ederek, anomaliden geçmeyen ışınlar boyunca görülen ortalama sönümleme sabitleri, bu ışınların geçtikleri hücrelere dağıtılır. Bu şekilde anomalinin sınırları daraltılmış olur, Şekil 5. Orijinal genlik verilerinden anomalinin dışında oldukları belirlenen hücrelerin katkıları çıkarılırsa, yenibir genlik verisi seti elde edilmiş olur. Bu tür verinin anomaliye doğru taşınma işlemine, potansiyel metodlarda da karşılaşılr. Örneğin, gözlenen gravite alanı, eğer yüzeyle verinin indirgeniği seviye arasında anomali kitle yok ise, anomaliye doğru taşınabilir (aşağıya doğru uzarım-downward continuation).

ÖRNEKLER

Metodun geliştirilmesinden sonra, bir önceki kare model için elde edilen ters çözüm sonucu şekil 6'da gösterilmiştir. Burada ideal bir durum vardır; veri toplama geometrisinden anomali elemanlar tam anlamıyla belirlenebilmektedir. Genlik verisi tam olarak anomalinin sınırlarına indirgenebilmekte ve böylece rekonstrüksiyon işlemi çok kolaylaşmaktadır.

Şekil 7'de daha kritik bir model vardır; kalın çizgiyle belirlenen anomalinin sağ tarafında bir "gölge zon" vardır. Bu "gölge zon" anomalinin sağ tarafının anomaliden geçmeyen ışınlarla örneklenememesinden dolayı oluşmaktadır. Anomalinin yüksek α -değeri gölge zonda dağılmakta ve özellikle anomalinin içinde sağ tarafta düşük α -değerleri oluşmaktadır.

Şekil 8 ve 9, aynı gölgelenme olayını ve de veri toplama geometrisinin önemini ortaya koymaktadır. Ayrıca karegridin anomalinin şeklini örneklemedeki rolü kesik çizgilerle vurgulanmaktadır. Alanı kaplayan karelerin sayısı artırılırsa, rekonstrüksiyon işleminin ayrımlılığı da artırılmış olur. Ancak gerçek uygulamalarda karelerin boyutlarının en küçük dalga boyunda olması yeterlidir. En küçük dalga boyundan daha küçük kare boyutunun geçilmesinin yöntemin ayrımlılığına hiçbir etkisi olmayacaktır. Şekil 9'da kaynak-kuyusunun yeri sağ tarafa alındığında, bu anomali şekli için daha başarılı bir rekonstrüksiyon yapılabilmektedir. Dola-

yısıyla kaynak-noktalarının anomaliye göre konumları en az iki farklı pozisyonda olacak şekilde veri toplanırsa, anomali daha doğru olarak belirlenebilir.

Başarılı bir rekonstrüksiyon için ortamın ne kadar sayıdaki kaynak ve alıcı ile taranması gerektiği sorusunu incelemek için figür 10a, b, c, d'de değişik kaynak ve alıcı nokta sayıları için rekonstrüksiyon sonuçları görülmektedir. Kaynak ve alıcı nokta sayıları azaldıkça gölge zon büyümektedir. Anomaliyle irtibatı olmayan yalancı elemanlar ortaya çıkmaktadır. Ancak bu elemanların konumları, anomalinin gerçek pozisyonunu etkileyecek nitelikte değildirler. Nitekim şekil 10a'da eleman başına 1,5 ışın düşerken, 10d'de 0,4 ışın düşmesine rağmen anomalinin pozisyonu güvenle belirlenebilmektedir. Bu durum, bu özel model için kaynak-alıcı geometrisinin iyi seçilmiş olması sebebiyle ters çözüm sonuçlarının atış ve alıcı sayılarına olan bağımlılığının azalmasından ileri gelmektedir. Genel olarak, geniş frekans bantlı sismik veri seti ile yapılacak rekonstrüksiyon işlemleri dört faktöre bağlı olur:

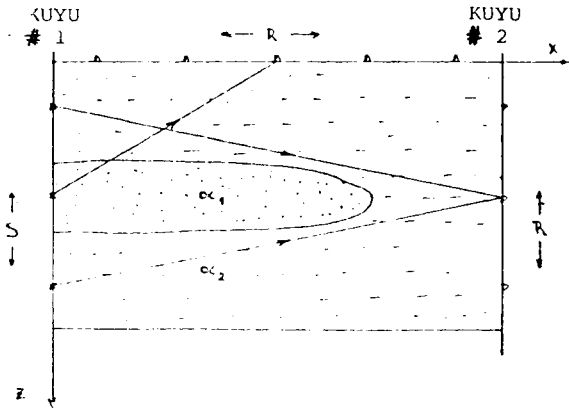
1. Anomalinin şekli,
2. Atış ve alıcı sayısı,
3. Anomali ve anomalinin çevresi arasındaki sönümlenme farkı,
4. Veri toplama geometrisi.

SONUÇLAR

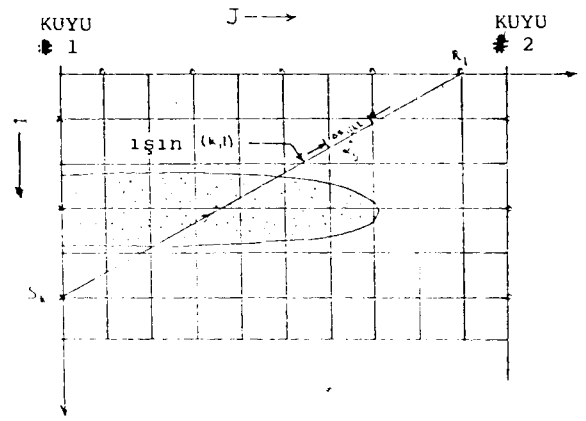
Bu çalışmada kullanılan basit modeller için, IRT rekonstrüksiyon tekniği, genlik indirgeme fikriyle beraber gayet iyi çalışmıştır. Genlikleri indirgeme işleminin başarılı olması için anomaliden geçmeyen ışınların anomaliyi iyice sınırlandırması gerekmektedir. "Gölge zonlar" anomalinin şeklinin tam olarak görüntülenmesini zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla veri toplama geometrisi iyi planlamalı ve değişik kaynak-alıcı düzenleri için rekonstrüksiyon imajları oluşturulmalıdır. Anomali şeklinin ortaya çıkarılması, anomalinin şeklinin, veri yoğunluğunun, veri-toplama geometrisinin ve de anomaliyle çevresi arasındaki sönümlenme farkının fonksiyonudur.

REFERANSLAR

1. Bois, P., La Porte, M., Lavergne, M., and Thomas, G., 1972, Well-to-Well Seismic Measurements: Geophysics, Vol. 37, No. 3 p. 471-480.
2. Dines, Kris A., and Lytle, R. Jeffrey, 1979, Computerized Geophysical Tomography: Proceedings of the IEEE, Vol. 67, No. 7 p. 1065-1073.
3. Dines, Kris A., and Lytle, R. Jeffrey, 1980, Iterative Ray Tracing Between Boreholes for Underground Image Reconstruction: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-18, No. 3 p. 234-240.
4. McDonal, F.J., Angona, F.A., Mills, R.L., Sengbush, R.L., Van Nostrand, R.G., and White, J.E., 1958, Attenuation of Shear and Compressorial Waves in Pierre Shale: Geophysics, Vol. 23, No. 3, p. 421-435.
5. Nur, Amos, 1982, Seismic Imaging in Enhanced Recovery: Society of Petroleum Engineers of AIME.

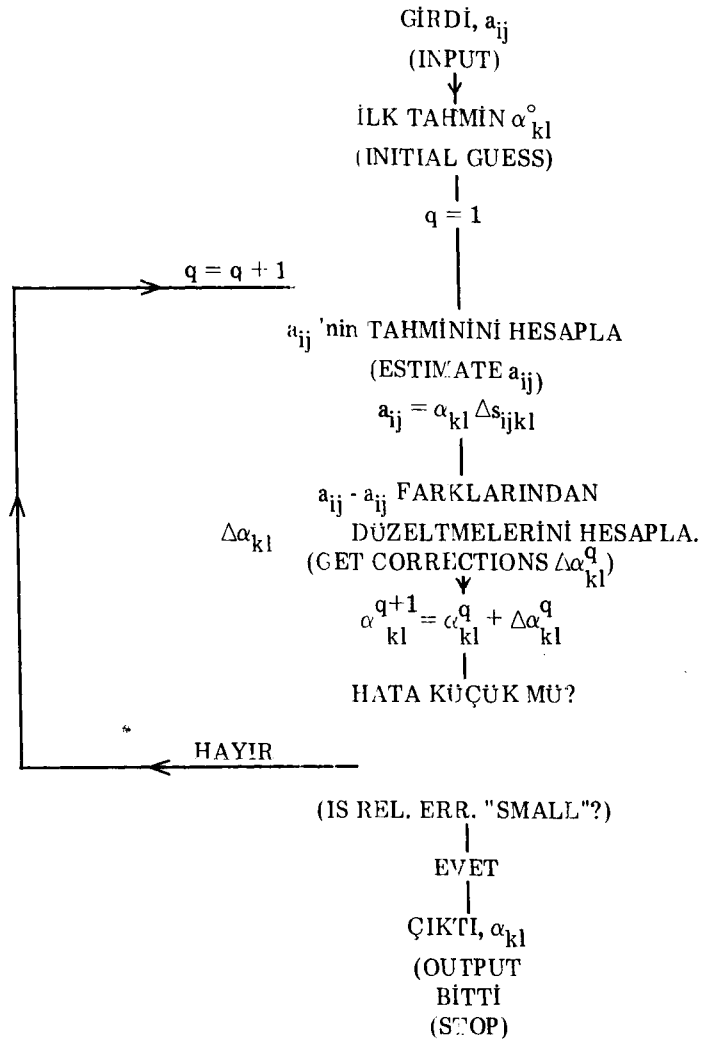


Şekil 1- Model.

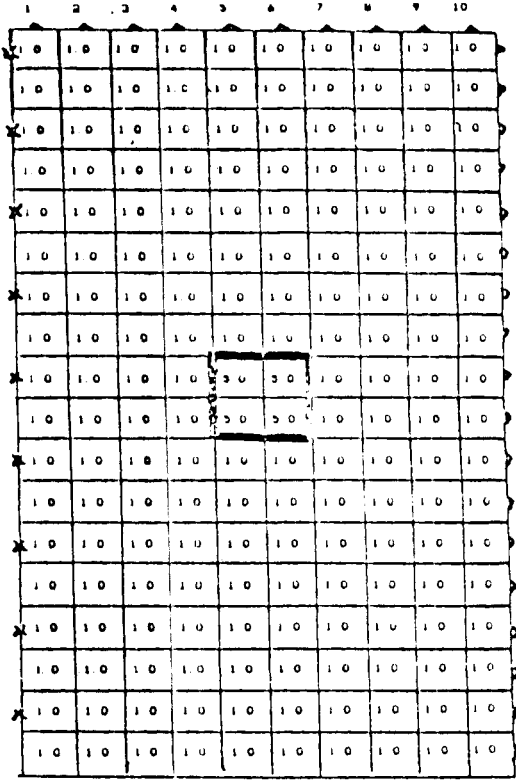


Şekil 2- IRT yöntemi için modelin sayısal kuruluşu.

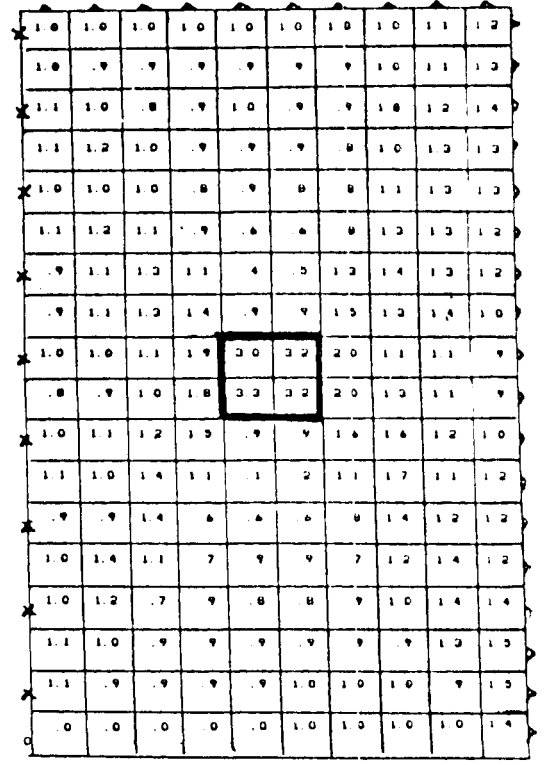
AKIŞ DİYAGRAMI



Şekil 3- IRT yönteminin bilgisayarda programlanmasında kullanılan akış diagramı.



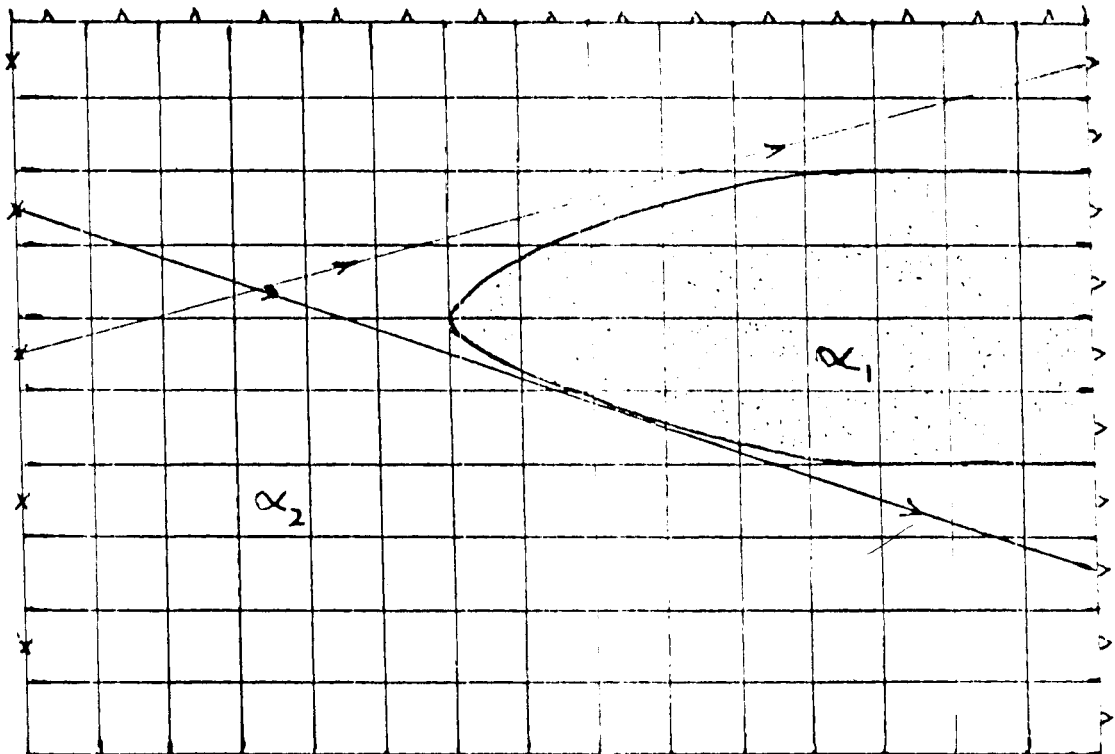
Şekil 4a



Şekil 4b

Şekil 4- a) Model, b) Modelden elde edilen genlik verisine uygulanan ters çözümlemenin sonucu.

$R \longrightarrow$



Şekil 5- Anomaliden geçmeyen ışınların yardımıyla anomalinin yeri daha dar bir alana kısıtılabilir.

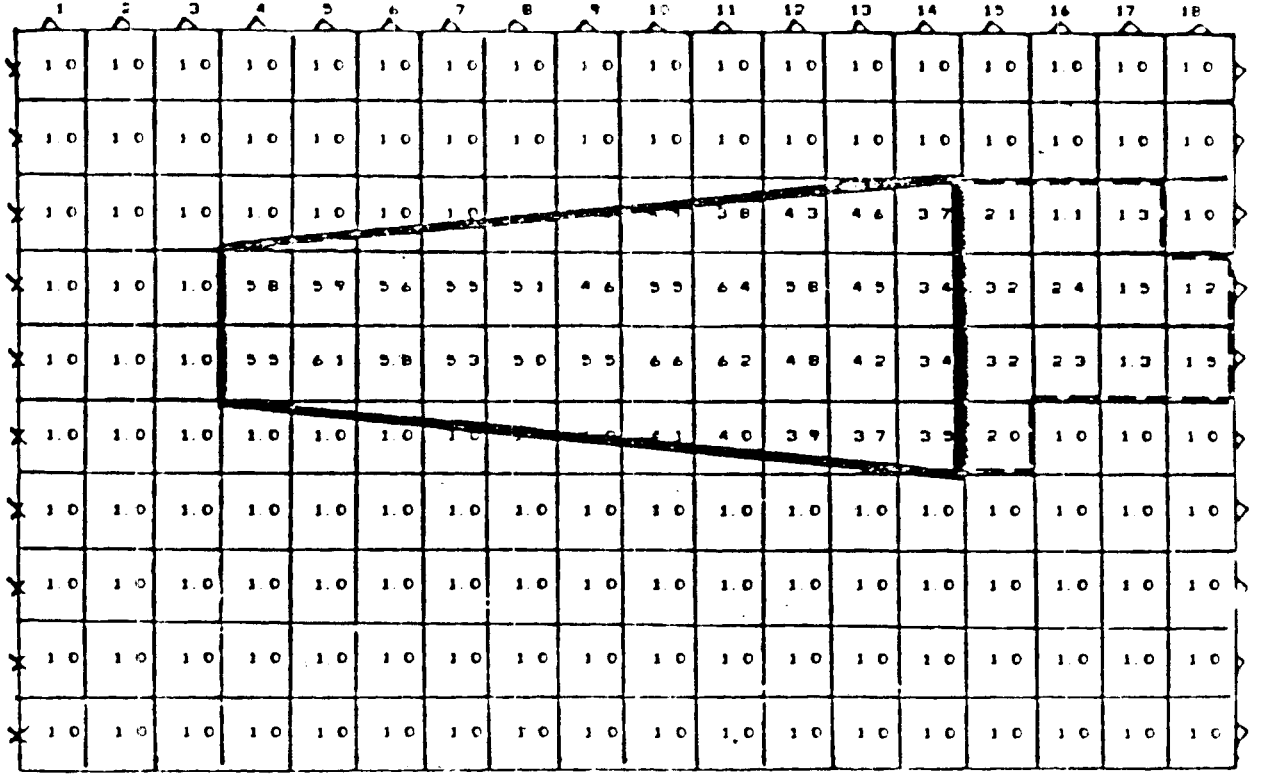
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
13	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
14	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
17	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
18	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
19	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
21	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
22	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
23	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
24	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
25	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
26	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
27	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
28	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
29	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
30	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
31	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
32	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
33	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
34	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
35	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
36	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
37	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
38	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
39	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
40	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
41	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
42	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
43	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
44	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
45	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
46	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
47	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
48	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
49	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
50	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
51	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
52	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
53	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
54	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
55	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
56	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
57	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
58	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
59	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
60	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
61	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
62	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
63	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
64	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
65	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
66	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
67	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
68	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
69	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
70	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
71	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
72	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
73	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
74	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
75	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
76	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
77	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
78	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
79	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
80	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
81	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
82	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
83	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
84	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
85	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
86	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
87	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
88	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
89	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
90	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
91	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
92	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
93	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
94	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
95	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
96	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
97	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
98	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
99	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Şekil 6- Metodun geliştirilmesinden sonra, Şekil 4a'daki model için ters çözümleme sonuçları.

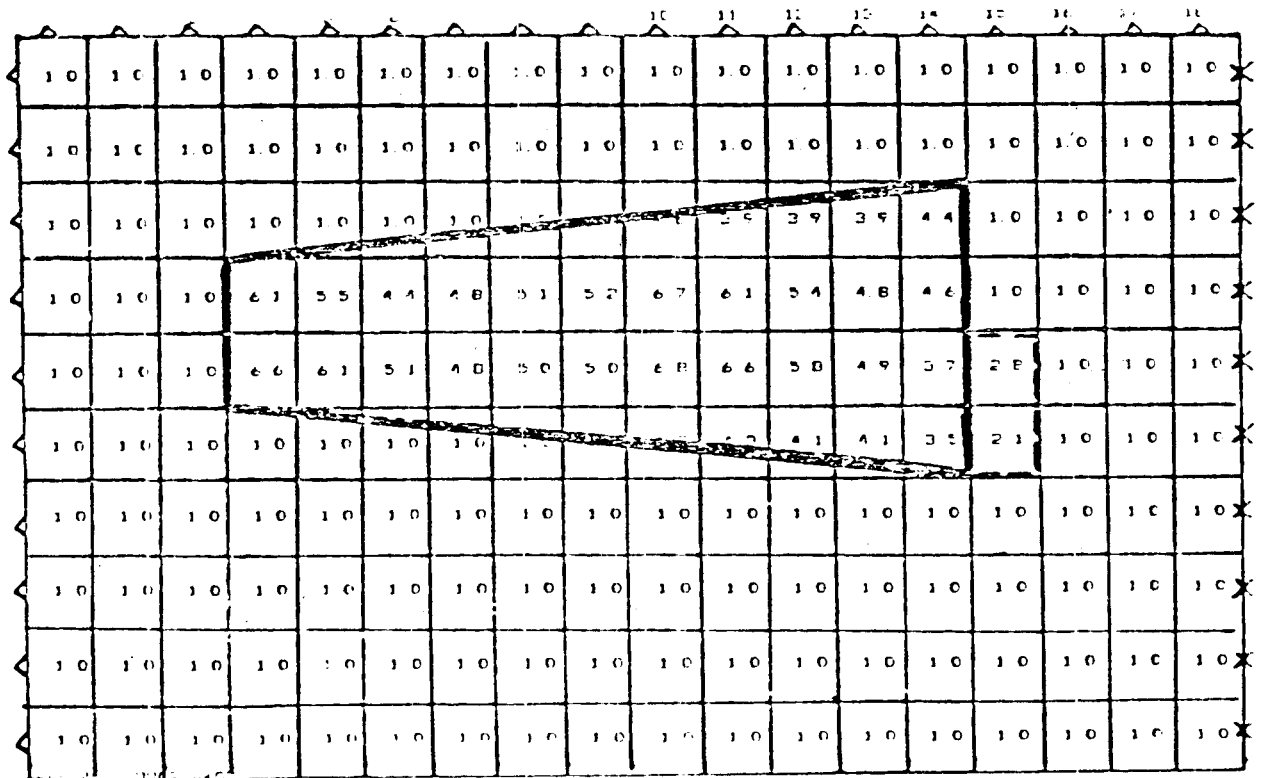
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3	10	10	10	10	50	50	50	49	49	47	47	47	46	33	27	18	18	10	10
4	10	10	10	50	51	51	51	52	51	48	52	47	35	28	27	22	18	16	→ Gölge zon
5	10	10	10	50	50	51	51	53	55	54	51	40	37	32	18	27	15	14	
6	10	10	10	50	50	50	53	53	52	47	46	43	41	34	32	10	10	10	
7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
13	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
14	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
16	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
17	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
18	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	

Şekil 7- Kalın çizgiyle belirlenmiş çok sönümleyici ($\alpha_1 = 5$) zondan ve de anomaliyi çevreleyen homojen zondan ($\alpha_2 = 1$) oluşan modelden elde edilen genlik verisine uygulanan ters çözümleme sonucu. Kesikli çizgiyle "gölge zon" belirtilmiştir.

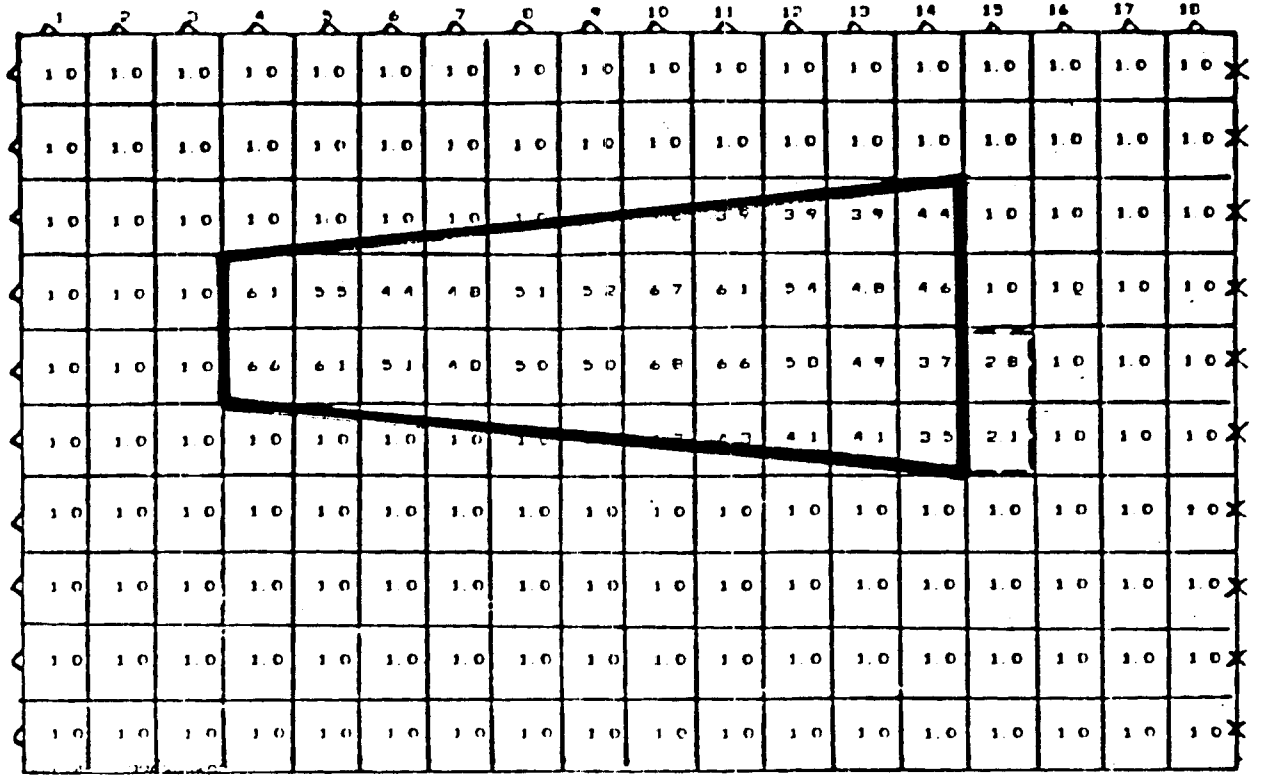
Şekil 8- Kaynak sayısı = 10 Alıcı sayısı = 28



Şekil 9

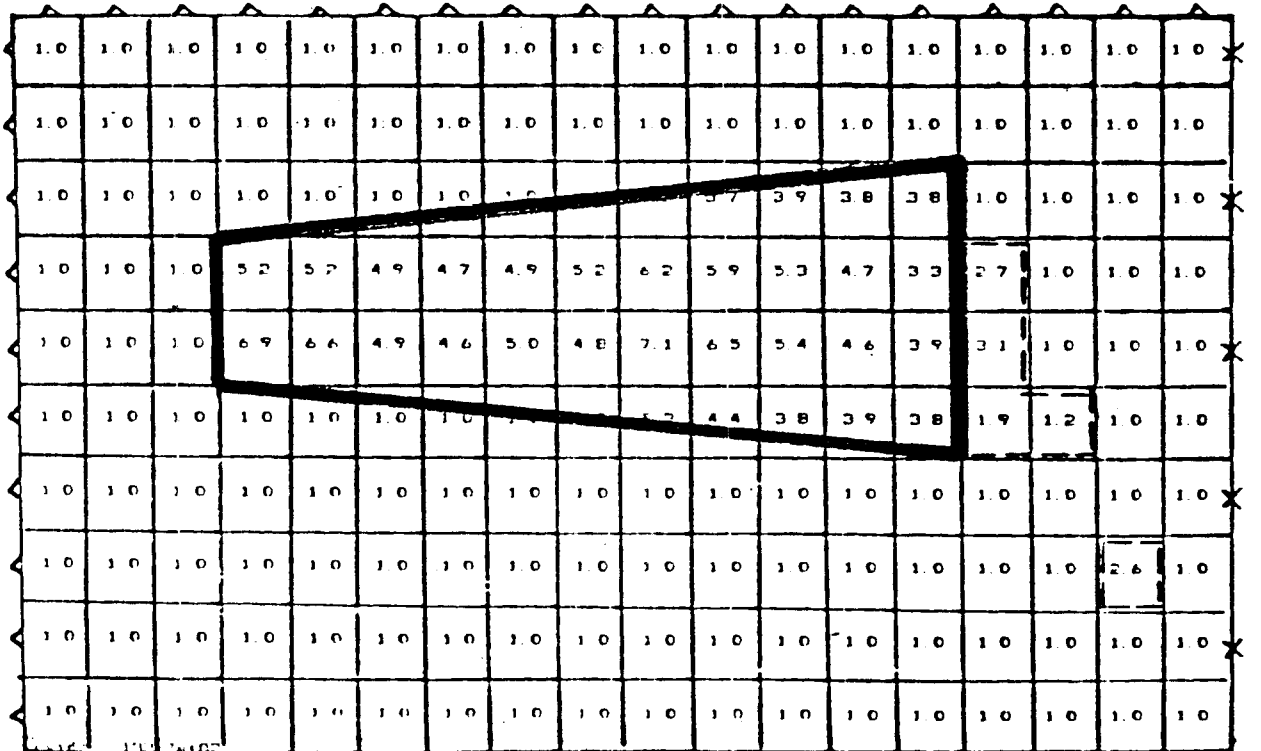


Şekil 8, 9- Alıcı ve kaynak sayısı sabit olmasına rağmen anomalinin şekline göre kaynak kuyusunun yerinin rekonstrüksiyon işlemindeki önemi vurgulanmaktadır.



Kaynak = 10 Alıcı = 28

Şekil 10a



Kaynak = 5 Alıcı = 28

Şekil 10b

Şekil 10- Aynı model ve kaynak-alıcı düzeni için yöntemin kaynak ve alıcı sayılarına bağımlılığı gösterilmektedir.

