

## DAYK VE FAYLARIN MANYETİK ANOMALİLERİNİN NOMOGRAMLARLA YORUMU

### INTERPRETATION OF MAGNETIC ANOMALIES DUE TO DIKES AND FAULTS BY NOMOGRAMS

**İbrahim SERTÇELİK**

Y.Ü. Kocaeli Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İzmit

**ÖZ:** Nomogramlar kullanılarak dayk ve düşey fayların manyetik anomalileri hızlı bir şekilde yorumlanabilmektedir. Dayk ve düşey fay gibi uzun tabuler yapıların manyetik anomalileri genellikle bir maximum ve minimum içerir. Bu çalışmada kullanılan yöntem de, maximum ve minimum amplitüdü ile bunların orijine olan uzaklıklarına dayanır. Bu amplitüd ve uzaklıklardan karakteristik oranlar  $D$  ve  $A$  bulunur. Dayk ve düşey fay modellerinin parametreleri ile  $D$  ve  $A$  oranlarının değişimleri nomogramlar şeklinde verilmiştir. Nomogramlardan, dayk için genellikle  $A > D$ , ince levha için  $A = D$  ve düşey fay için  $D > A$  olduğu gözlenmiştir. Böylece karakteristik oranlardan, kaynağın cinsi ve verilen analitik bağıntılar kullanılarak da kaynak parametreleri bulunur.

Yöntem, diğer yöntemlere göre oldukça pratiktir ve manyetik alanın toplam, düşey ve yatay bileşenlerine uygulanabilmektedir. Teorik model çalışmaları ile yöntemin uygulanabilirliği gösterilmiştir. Ayrıca yöntem kullanılarak, Yozgat-Sarıkaya-Karabacak Mevkii Düşey Bileşen Manyetik Anomali Haritası yorumlanmıştır.

**ABSTRACT:** The interpretation of the magnetic anomalies of dikes and vertical faults are done in a fast way by using nomograms. The magnetic anomalies of the long tabular bodies like dike and vertical fault usually consist of a maximum and a minimum. The method used in this work is also based on the maximum and the minimum amplitudes and the distances of them from the origin. The characteristic ratios,  $D$  and  $A$  are obtained from these amplitudes and the distances. The parameters of the dikes and the vertical faults, and the variations of  $D$  and  $A$  ratios are given as nomograms. It is observed that  $A > D$  for dike,  $A = D$  for thin sheet and  $D > A$  for vertical fault from the nomograms. Hence, the type of the source is found from the characteristic ratios and also the source parameters are obtained using analytical relations.

The method given here is much practical with respect to other methods, and it can be applied to the magnetic anomalies either in total, vertical or horizontal components. The applicability of the method are shown in the theoretical model works. Besides these the vertical component magnetic anomaly map of Yozgat-Sarıkaya-Karabacak region using this method has been interpreted.

#### 1. GİRİŞ:

Manyetik haritaların yorumu, genellikle kaynak derinliği, dalımı, genişliği ve süseptibilitesinin bulunması için yapılırdır. Kaynağın basit geometik şekiller olması durumunda yorumlar başarılı olmaktadır. Manyetik yorum için basit modellerin çoğu kullanışlıdır. Dayk ve düşey fay iki önemli jeofizik modeldir. Özellikle dayk modeli, bir çok jeolojik duruma uygun olması nedeniyle maden ve petrol aramalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Dayk tipi yapılar, bazı yeraltı zenginliklerini içermesi nedeniyle araştırmacıların ilgisini çekmiş ve bu konuda bir çok çalışma yapılmıştır.

Dayk ve fay parametreleri, eğri çıkartma tekniği, karakteristikler yöntemi ya da bilgisayar tekniklerinden herhangi biri kullanılarak bulunabilir. Hutchison (1958),

Rao ve Murty (1967) anomali eğrisi ile çıkartıldığında eğriyi tek ve çift simetri bileşenlerine ayıran logaritmik eğrilerin kullanımını önermişlerdir. Gay (1963) ise dayk parametrelerine bağlı bir dizi eğri yayınlamıştır. Bazı yöntemlerde ise Kolumzine (1970), Quresh ve Naleye (1978) tek ve çift bileşenler ayrılır ve uygun formüller yardımıyla kaynak parametreleri hesaplanır. McGrath ve Hood (1970), Rao (1973), Won (1981), bilgisayere yönelik teknikler geliştirmişlerdir. Bunlar esas itibarıyla deneme-yanılma yöntemleridir. Anomali eğrisine en iyi uyan parametre grubu bulunana kadar parametrelerin herbiri sıra ile keyfi bir miktar değiştirilir ve hatanın minimum olması sağlanmaya çalışılır.

Karakteristik eğrileri veya noktaları kullanarak manyetik anomalilerin analizi klasik yorum yöntemlerin-

den biridir. Bu konuda Moo (1965), Brukschaw ve Kunaratnam (1963), Grant ve West (1965), Bean (1966), Rao ve Murthy (1978), Murthy (1985), Babu ve Rao (1986) ve daha bir çok araştırmacı çeşitli yorum teknikleri geliştirmişlerdir. Çok sayıda anomali olması durumunda eğri çakıştırma ve karakteristikler yöntemleri uzun zaman alır. Kompüter yorumunda ise bir başlangıç tahminine gereksinim duyulur. Bu nedenle hızlı ve pratik yöntem arayışları sürmektedir. Bunlardan biri de nomogramlarla yorumdur.

Karakteristikleri kullanan yöntemler genel olarak incelendiğinde (Am, 1972), seçilen karakteristik noktaların aşağıda belirtilen özelliklerde olması gerekmektedir.

$$\Delta F = C \left[ \sin \theta \cdot \ln \left[ \frac{(x+b)^2 + h^2}{(x-b)^2 + h^2} \right]^{1/2} + \cos \theta \left[ \arctan \frac{(x+b)}{h} - \arctan \frac{(x-b)}{h} \right] \right] \quad (1)$$

- 1— Kolayca tanımlanabilen uzaklıklara bağlı olmalı,
- 2— Anomali çok geniş uzaklıklara yayılmamalı,
- 3— Hızlı bir şekilde ve çok fazla hesap gerektirmeden elde edilebilmeli.

ise indüklenmiş ve kalıntı mıknatıslanmanın oluşturduğu sonuç manyetizasyonun efektif inklınasyon açısı olarak tanımlanır. (Şekil-1.b)  $Io'$  ve  $Jo'$  bağıntıları aşağıda verilmiştir. (Hood 1964).

$$Io' = \arctan (\tan Io / \cos \alpha) \quad Jo' = \arctan (\tan Jo / \cos \alpha)$$

### 3.1. DAYK MODELİ

Sonsuz derinliğe uzanan iki boyutlu dalımlı bir daykın (Şekil 2.a) uzanımına dik bir profil boyunca herhangi bir M (x) noktasındaki manyetik anomali  $[\Delta F]$  değeri için genel ifade şöyledir. (Gay 1963).

Yukarıdaki eşitlik de x, gözlem noktasının orijin-

den olan uzaklığıdır, h ise daykın üst yüzey derinliğidir. C, amplitüd katsayısı ve  $\theta$ , index parametresidir. C ve  $\theta$ 'nin eşdeğerleri  $\Delta F$ 'in üç durumu (toplam, düşey ve yatay) için Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Dayk ve düşey fay için amplitüd katsayısı ve index parametresinin eşdeğerleri

Anomali	Amplitüd Katsayısı (C)	İndex Parametresi ( $\theta$ )
Toplam Alan	$2PB \cdot (1 - \cos^2 Io \cdot \sin^2 \alpha)^{1/2} (1 - \cos^2 Io \cdot \sin^2 \alpha)^{1/2}$	$Io' + Jo' - \delta - 90^\circ$
Düşey Alan	$2PB \cdot (1 - \cos^2 Io \cdot \sin^2 \alpha)^{1/2}$	$Io' + \delta$
Yatay Alan	$2PB \cdot \sin \alpha \cdot (1 - \cos^2 Io \cdot \sin^2 \alpha)^{1/2}$	$Io' - \delta - 90^\circ$
	$P=K \cdot T$ ve $B=\sin \delta$ (dayk), $B=\cos \delta$ (düşey fay)	
	Yalnız indüklenmiş manyetizasyon durumunda $Jo=Io$ , $a=\alpha$ ,	
	$Jo' = Io'$	

Yukarıdaki üç şart, orta enlemlerde uzun tabuler yapıların manyetik anomalilerindeki max ve min noktaları ile sağlanır. Bu yöntemde A ve D oranları bulunarak, kaynak parametreleri hesaplanır.

$$\Delta F = C \left[ \sin \theta \cdot \ln \left[ \frac{(X+R/2)^2 + 1}{(X-R/2)^2 + 1} \right]^{1/2} + \cos \theta \left[ \arctan (X+R/2) - \arctan (X-R/2) \right] \right] \quad (2)$$

### 3. YÖNTEMİN TEORİSİ:

Dayk ve düşey fay modellerinin manyetik anomalilerinin formüle edilmesinde aşağıdaki notasyonlar kullanılmıştır.

Bir XOY kartezyen koordinat sisteminde (Şek-1.a), Y eksenini cismin uzanım doğrultusunda seçilir. Manyetik profil ise Y eksenine dik ve manyetik kuzey ile bir  $\alpha$  açısı yapan X eksenine yönelir.  $Io$ , T şiddetli yer manyetik alanının inklınasyonudur. Kalıntı mıknatıslanmanın olması durumunda  $Jo$ , sonuç manyetizasyonun (J) inklınasyon açısı,  $a$  ise denklınasyon açısıdır.  $Io'$  indüklenmiş manyetizasyon durumundaki efektif inklınasyon açısı,  $Jo'$

x ve b'nin birim derinlikte alınmasıyla (1) eşitliği yeniden yazılabilir.

Burada,  $X = x/h$  ve  $R = 2b/h$  dir.  
 $\Delta F$ 'deki max./min. şartı (2) eşitliğinden

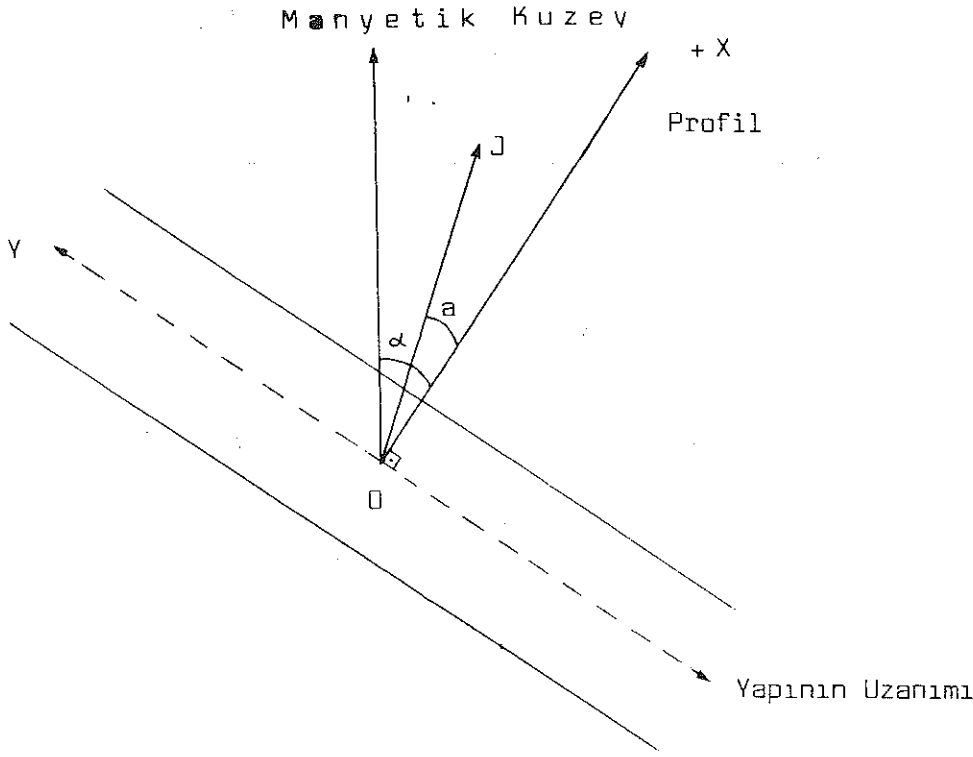
$$X^2 + 2X \cdot \cot \theta - (1+R^2/4) = 0 \quad \dots (3)$$

olur.  $\Delta F$ 'in maximum ( $X_M$ ) ve minimum ( $X_m$ ) noktalarına karşılık gelen (3) nolu eşitliğin kökleri,

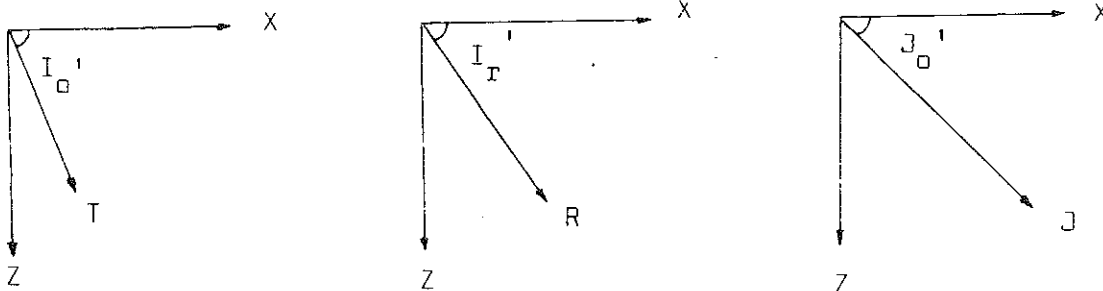
$$X_M = -\cot \theta + (\operatorname{Cosec}^2 \theta + R^2/4)^{1/2} \quad \dots (4)$$

$$X_m = -\cot \theta - (\operatorname{Cosec}^2 \theta + R^2/4)^{1/2} \quad \dots (5)$$

olarak bulunur.



Şekil -1a : Manyetik tabuler bir yapının XOY kartezyen koordinat sisteminde görünüşü



Şekil -1b : İndüklenmiş, kalıntı ve sonuç manyetizasyon vektörlerinin XZ düzleminde görünüşü.

$$D = \left| \frac{XM + X_m}{XM - X_m} \right| \dots (6)$$

olur.  $X_M$  ve  $X_m$  ise (4) ve (5)'den tanımlanmıştır. (9) ve (10), (8)'de yerine konular ve sadeleştirilirse,

şeklinde tanımlanırsa (4) ve (5) nolu eşitliklerden,

$$D = \left| \frac{2 \cdot \cos\theta}{(4+R^2 \cdot \sin^2 \theta)^{1/2}} \right| \dots (7)$$

$$A = a_1 / a_2 \dots (11)$$

elde edilir. D oranının yalnız R ve  $\theta$ 'ya bağlı olduğu (7)'den açıkça görülmektedir.

elde edilir.  $a_1$  ve  $a_2$  ise aşağıda verilmiştir.

Diğer A'yı aşağıdaki gibi tanımlayalım.

$$A = \left| \frac{FM + F_m}{FM - F_m} \right| \dots (8)$$

$$a_1 = 2 \cdot \cos\theta \cdot \arctan (R/2) \dots (12)$$

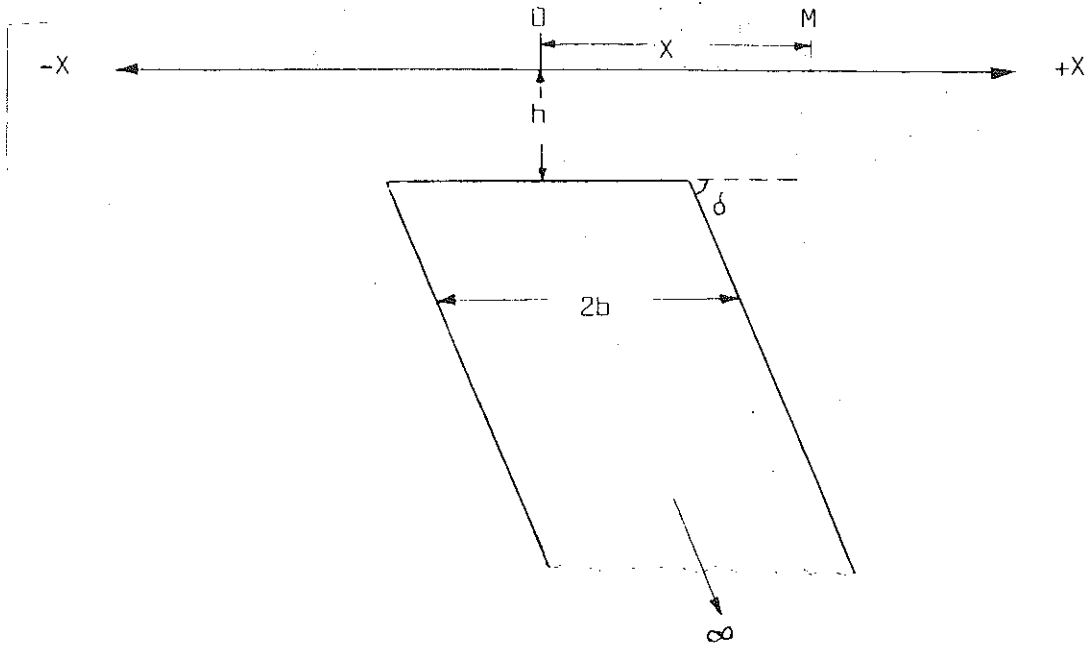
(11) nolu eşitlikten görülebileceği gibi A oranı, daykın R ve  $\theta$  değerlerine bağlıdır. Böylece, A ile D oranları yalnızca

(8) nolu eşitlikte,

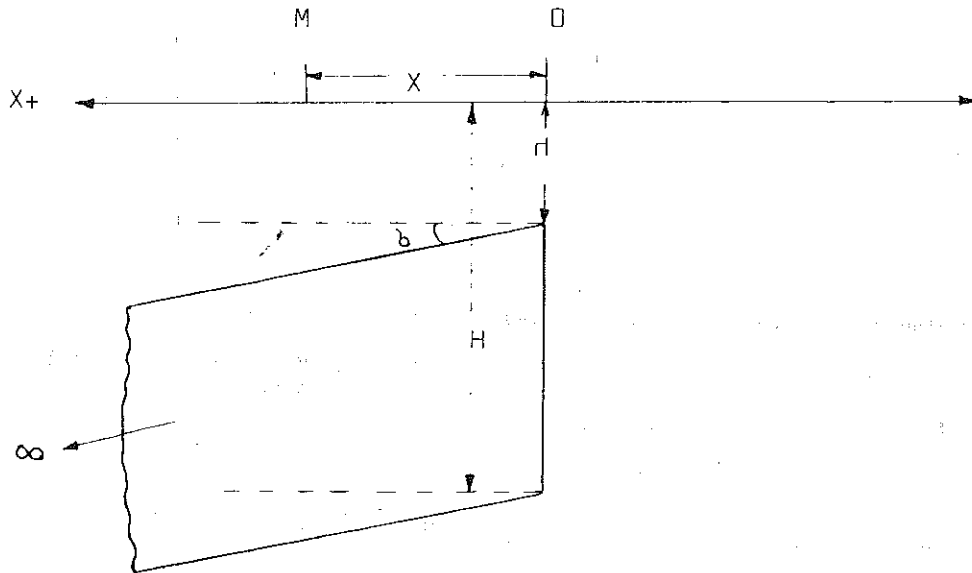
$$FM = C \left[ \sin\theta \cdot \ln \left[ \frac{(XM+R/2)^2 + 1}{(XM-R/2)^2 + 1} \right]^{1/2} + \cos\theta \left[ \arctan (XM+R/2) - \arctan (XM-R/2) \right] \right] \dots (9)$$

ve

$$F_m = C \left[ \sin\theta \cdot \ln \left[ \frac{(X_m+R/2)^2 + 1}{(X_m-R/2)^2 + 1} \right]^{1/2} + \cos\theta \left[ \arctan (X_m+R/2) - \arctan (X_m-R/2) \right] \right] \dots (10)$$



Şekil -2a : Dayk modeli



Şekil -2b : Dişey fay modeli

$$a_2 = 0,5 \cdot \sin\theta \cdot \ln \left[ \frac{2 + R^2 \cdot \sin^2\theta + R \cdot \sin\theta \cdot (4 + R^2 \cdot \sin^2\theta)^{1/2}}{2 + R^2 \cdot \sin^2\theta - R \cdot \sin\theta \cdot (4 + R^2 \cdot \sin^2\theta)^{1/2}} \right] + \cos\theta \cdot \arctan \left[ \frac{2 + R^2 \cdot \sin^2\theta + R \cdot \sin\theta \cdot (4 + R^2 \cdot \sin^2\theta)^{1/2}}{2 + R^2 \cdot \sin^2\theta - R \cdot \sin\theta \cdot (4 + R^2 \cdot \sin^2\theta)^{1/2}} \right] \quad \dots (13)$$

ve

$$A = b_1 / (b_2 + b_3) \quad \dots(16)$$

R ve  $\theta$  'dan etkilenir ve daykın karakteristikleri olarak kullanılabilir. R ve  $\theta$ 'nin çeşitli kombinasyonları için A'ya karşı D'nin işaretlenmesinde, D ve A değerlerinin bir çifti, R ve  $\theta$  değerlerinin bir tek grubuna karşılık gelir. Şek-3'de verilen nomogramların hazırlanmasında bu kural kullanılmıştır.

bulunur. (16)'daki  $b_1$ ,  $b_2$  ve  $b_3$  ise,

$$b_1 = \cos\theta \cdot \ln(R+1) \quad \dots(17)$$

$$b_2 = 0,5 \cdot \cos\theta \cdot \ln \frac{b_{21} + b_{22}}{b_{21} - b_{22}} \quad \dots(18)$$

D ve A için limitler;

(7) nolu eşitlikte  $\theta=0^\circ$  alındığında  $D=1$  ve  $\theta=90^\circ$  alındığında  $D=0$  bulunur. Bu yüzden  $\theta$  için limitler,

(18)'deki  $b_{21}$  ve  $b_{22}$ ,

$$b_{21} = 2 \cdot (R+1)^2 + 0,5 \cdot (R^2 + 2R + 2) \cdot [(R+2)^2 \cdot \cot^2\theta + 2 \cdot (R+1)] \quad \dots(18a)$$

$$b_{22} = 0,5 \cdot \cot\theta \cdot R \cdot (R+2)^2 \cdot [(R+2)^2 \cdot \cot^2\theta + 4 \cdot (R+1)] \quad \dots(18b)$$

ve

$$b_3 = \sin\theta \cdot \arctan \left[ \frac{2 \cdot R \cdot [R(R+2)^2 \cdot \cot^2\theta + 4 \cdot (R+1)]^{1/2}}{(R+2)^2 \cdot \cot^2\theta + 4 \cdot (R+1) - R^2} \right] \quad \dots(19)$$

şeklinde bulunur.

D ve A oranlarının, yalnız R ve  $\theta$ 'ya bağlı olduğu (15) ve (16) nolu eşitliklerden görülmektedir. Düşey fay modeli için D ve A oranlarının limitleri, dayk modelindeki limitlerin aynıdır.

R ve  $\theta$ 'nin farklı kombinasyonları için D ile A'nın değişimi Şek-4'de nomogramlar şeklinde verilmiştir. Nomogramlar,  $R=0,1, 2,3,4,5,6,8,10,15,20$  ve  $\theta$ 'nin  $0^\circ$  ile  $90^\circ$  arasındaki değerleri için hazırlanmıştır. Çünkü bu sınırın dışındaki  $\theta$  değerleri için  $\Delta F$  eğrileri, bu sınırdaki  $\theta$  değerine sahip  $\Delta F$  eğrilerinin ayna simetridirler.  $R=0$  nomogramı (Şek-4), ince levha durumuna karşılık gelir.

$$0 \leq D \leq 1$$

ve benzer olarak, aynı işlemler A için yapıldığında,

$$0 \leq A \leq 1$$

bulunur.

### 3.2. NOMOGRAMLARIN HAZIRLANMASI

Şek-3'de verilen nomogramlar, R ve  $\theta$  'nin farklı değerleri için D ile A'nın değişimini gösterir. Bu eğriler,  $R=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15$  ve  $20$  için hazırlanmıştır. Index parametresi  $\theta$ ,  $0^\circ$  ile  $90^\circ$  arasında değişir. Çünkü, bunların dışındaki değerlerin  $\Delta F$  eğrileri,  $0^\circ$  ile  $90^\circ$  arasındaki  $\Delta F$  eğrilerinin ayna simetrikleridir.  $R=0$  olduğunda (çok ince bir dayk durumu)  $\theta$ 'nin herhangi bir değeri için  $D=A$  olduğu kolayca görülebilir. Bu yüzden  $R=0$  için A'ya karşı D'nin çizimi bir doğruyu verir ve eğimi birdir. (Şek-3'de  $R=0$  eğrisi)

### 3.3. DÜŞEY FAY MODELİ

Dayk modeline benzer olarak, bir düşey fayın (Şek-2.b) uzanımına dik bir profil boyunca üç bileşendeki (toplam, düşey ve yatay) manyetik anomalileri tek bir gruba aittir ve genel ifadesi aşağıda verilmiştir.

$$\Delta F = C \left[ \cos\theta \cdot \ln \left[ \frac{x^2 + H^2}{x^2 + h^2} \right]^{1/2} + \sin\theta \left[ \arctan \frac{x}{h} - \arctan \frac{x}{H} \right] \right] \quad \dots(14)$$

Bu eşitlikte h, fayın üst yüzey derinliği, H ise fayın alt yüzey derinliğidir. C, amplitüd katsayısı ile  $\theta$ , index parametresinin eşdeğerleri Tablo 1'de verilmiştir.

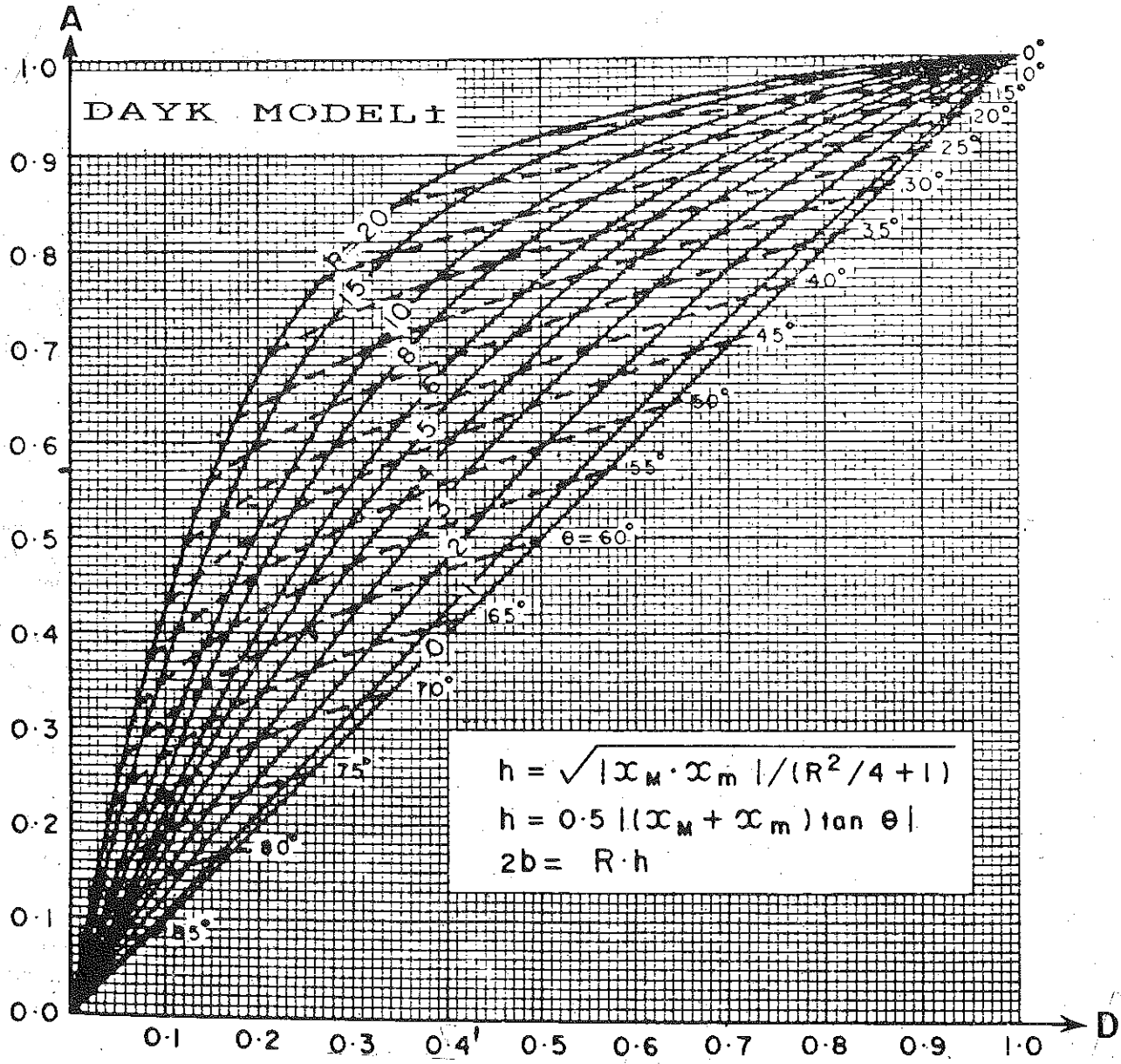
D ve A için (6) ve (8) eşitliklerinde verilen tanımlamaları kullanarak düşey fay için,

### 3.4. DAYK ve DÜŞEY FAY İÇİN NOMOGRAMLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

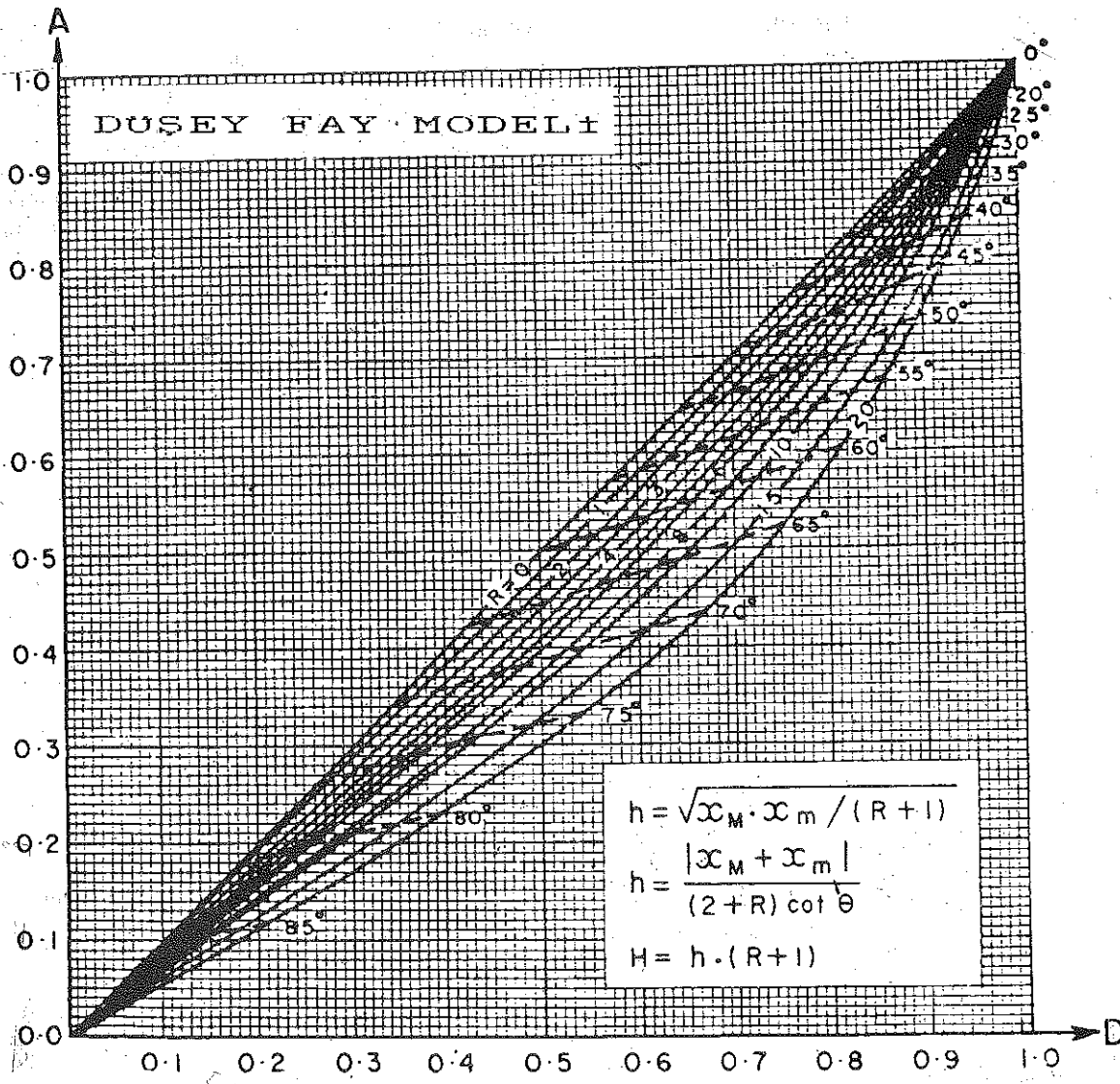
Dayk ve düşey fay modellerinin nomogramları arasındaki kalitatif karşılaştırma, Şek-3 ve Şek-4'den yapılabilir.

(i). Dayk modeli nomogramları,  $R>0$  için A'nın, D'den daima büyük olduğu A ve D oranları ile karakterize edilirler. İnce levha modelini temsil eden  $A=D$  durumunda  $R=0$ 'dır.

$$D = \left| \frac{(R+2) \cdot \cos\theta}{[(R+2)^2 \cdot \cos^2\theta + 4 \cdot (R+1) \cdot \sin\theta]^{1/2}} \right| \quad \dots(15)$$



Şekil -3 : Dayk modeli için nomogramlar



Şekil -4 : Düşey fay modeli için nomogramlar

(ii). Düşey fay modeli nomogramları ise  $R > 0$  için A'nın D'den daima küçük olduğu A ve D oranlarıyla karakterize edilirler.

Böylece, A ve D oranları, dayk, levha ya da düşey bir fayın oluşturduğu yapının yorumlanmasında kullanılabilirler.

#### 4. YORUM İŞLEMLERİ

##### 4.1. MANYETİK PARAMETRELER

Önce, araştırma sahasındaki toplam yer manyetik alan şiddeti (T) ve manyetik inklinasyon açısı ( $I_0$ ) belirlenir. Profilin azimutu ( $\alpha$ ) ise manyetik kuzeyden itibaren saat yönünde ölçülür. Efektif inklinasyon ( $I_0'$ )'da,

$$I_0' = \arctan(\tan I_0 / \cos \alpha)$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanabilir.

##### 4.1.1. ORJİN VE SIFIR HATTININ BULUNMASI

Bir arazi eğrisi için orijin ve sıfır hattı bilinmeyenlerdir. Bunlar, Powell (1967) tekniğini veya Lamontagne (Koulumzine, 1970) tekniğini ya da aşağıdaki verilen tekniği kullanarak bulunabilir.

$\Delta F$  eğrisinde (Şek-5) X1 ve X1' uzaklıklarındaki iki nokta P ve Q olsun. Bu durumda,

$$\Delta F(X1) = \Delta F(X1') = F_M - \delta F = F1$$

X2 ve X2' uzaklıklarındaki iki nokta R ve S olsun. Bu durumda da,

$$\Delta F(X2) = \Delta F(X2') = F_m + \delta F = F2$$

olur. Burada,

$$\delta F = (F_M - F_m) / N$$

ve N birden büyük bir sayıdır.

X,  $\Delta F$  koordinat sisteminde bu noktaların koordinatları P(X1, F1), Q(X1', F1), R(X2, F2), S(X2', F2) olur. P ve S noktalarının birleştirilmesiyle oluşan PS doğrusunun denklemi,

$$\frac{X - X1}{X2' - X1} = \frac{F - F1}{F2 - F1} \quad \dots (20)$$

şeklinde yazılabilir. Benzer olarak, Q ve R noktalarının birleştirilmesiyle oluşan QR doğrusunun denklemi ise,

$$\frac{X - X1'}{X2 - X1'} = \frac{F - F1}{F2 - F1} \quad \dots (21)$$

olur. (20) ve (21)'de  $\Delta F$ 'nin götürülmesiyle PS ve QR doğrularının kesim noktasının absisi,

$$X = \frac{X1 \cdot X2 - X1' \cdot X2'}{X1 - X1' + X2 - X2'} \quad \dots (22)$$

olarak bulunur. Powell (1967), dayk ve düşey fay anomalilerinin her ikisi için  $X1 \cdot X2 = X1' \cdot X2'$  olduğunu göstermiştir. Bu nedenle (22)'de  $X=0$  olur. Bu durum PS ve QR doğrularının,  $X=0$ 'da yani orijinde kesiştiğini gösterir.

Orijinin yeri bulunduktan sonra bilinen,

$$FM + Fm = Fo \quad \dots (23)$$

bağıntısı kullanılarak sıfır hattı belirlenir. (23)'de  $Fo$ , orijin üzerindeki  $\Delta F$ 'in amplitüdüdür.

##### 4.1.2. KARAKTERİSTİK ORANLARIN BULUNMASI VE KAYNAK CİNSİNİN TAYİNİ

A ve D oranları, (6) ve (8) eşitlikleri kullanılarak bulunur. Daha önce, max. ve min. değerleri ile bunların orijine olan uzaklıkları dikkatli bir şekilde anomali eğrisin den belirlenmelidir.

$\Delta F$  anomali eğrisi,  $A > D$  ise bir dayk ailesine,  $A < D$  ise bir fay ailesine,  $A = D$  ise ince levha ailesine aittir.

##### 4.2. KAYNAK PARAMETRELİNİN HESAPLANMASI

Bulunan iki karakteristik oran A ve D,  $A \geq D$  ise dayk modeli nomogramlarına (Şek-3),  $A \leq D$  ise fay modeli nomogramlarına (Şek-4) işaretlenerek, bunların kesiştiği R ve  $\theta$  değerleri okunur. R ve  $\theta$  değerleri kullanılarak aşağıda verilen analitik bağıntılardan anomaliyi veren yapının parametreleri bulunur.

##### 4.2.1. DAYK MODELİ İÇİN DERİNLİK VE GENİŞLİĞİN HESAPLANMASI

Daykın üst düzey derinliği h, (4) ve (5) nolu eşitliklerden türetilen aşağıdaki bağıntıların herhangi birinden bulunabilir.

$$H = 0,5 / [(XM + Xm) \cdot \tan \theta] \quad \dots (24)$$

$$h = \left[ \frac{XM \cdot Xm}{(1 + R^2/4)} \right]^{1/2} \quad \dots (25)$$

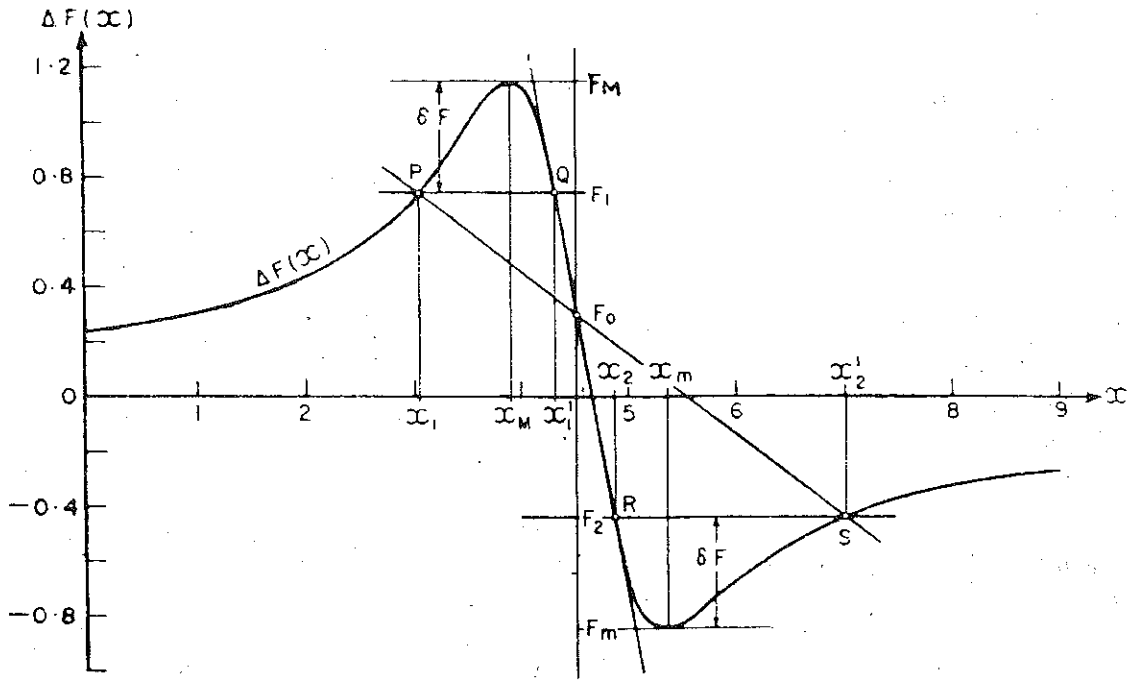
h değerini iki bağıntıdan bulup, ortalamasını almak daha sağlıklı sonuç verecektir. Daykın genişliği 2b ise,

$$2b = R \cdot h \quad \dots (26)$$

bağıntısından bulunur. Nomogramlardan  $\theta$ 'nin yalnızca  $0^\circ$  ile  $90^\circ$  arasındaki değeri bulunduğundan  $\theta$ 'nin gerçek değeri aşağıdaki kriterlerden bulunur. Anomali eğrisinde,

Pozitif anomali hakim ve pozitif X eksenini tarafında ise,





Şekil -5 : Orijin tayininde kullanılan karakteristik amplitüd ve uzaklıkları gösteren rastgele birimde alınmış anomali eğrisi

$$\theta = \theta_n \text{ ya da } \theta_n - 360^\circ$$

Pozitif anomali hakim ve negatif X eksenini tarafında ise,

$$\theta = -\theta_n \text{ ya da } -(\theta_n + 360^\circ)$$

Negatif anomali hakim ve pozitif X eksenini tarafında ise,

$$\theta = \theta_n - 180^\circ$$

Negatif anomali hakim ve negatif X eksenini tarafında ise,

$$\theta = -(\theta_n + 180^\circ)$$

olur.  $\theta_n$ , nomogramlardan (Şek-3 ve Şek-4) okunan  $\theta$  değeridir. Örnek olarak, çeşitli  $\theta$  değerleri için bir daykın manyetik anomali eğrileri Şek-6'da verilmiştir.

#### 4.2.2. DÜŞEY FAY MODELİ İÇİN ÜST VE ALT DERİNLİKLERİN HESAPLANMASI

Düşey fayın üst yüzey derinliği  $h$ , aşağıdaki bağıntılardan biri kullanılarak bulunabilir.

$$h = [ |XM \cdot X_m| / (R+1) ]^{1/2} \quad \dots (27)$$

$$h = \left| \frac{(XM \cdot X_m) \cdot \tan \theta}{R+2} \right| \quad \dots (28)$$

Alt yüzey derinliği  $H$  ise,

$$H = (R+1) \cdot h \quad \dots (29)$$

bağıntısından bulunur. Daha iyi sonuç vermesi açısından, (27) ve (28)'den hesaplanan  $h$  değerleri ve bunların (29)'da yerine konulmasıyla bulunan  $H$  değerlerinin ortalamasını almak doğru olacaktır.

Dayk modeline benzer olarak, fay modelinde de nomogramlardan (Şek-4) bulunan  $\theta$  değeri yalnız  $0^\circ$  ile  $90^\circ$  arasında olduğundan dayk modelinde verilen kriterlerden gerçek  $\theta$  değeri bulunur.

#### 4.2.3. DALIM AÇISININ BULUNMASI

Index parametresi  $\theta$  daha önce bulunduğundan, daykın ya da düşey fayın dalım açısı  $\delta$ , Tablo 1'de verilen uygun (toplam, düşey, yatay) eşitliklerden bulunur.

#### 4.2.4. SUSEPTİBİLİTE KONTRASTININ BULUNMASI

Dayk ve fayların yorumları ile ilgili yöntemlerde, suseptibilite kontrastı hesabı için çeşitli bağıntılar verilmiştir. Bu yöntemde de suseptibilite kontrastı ( $k$ )'yı veren bir bağıntı çıkartılmaya çalışılmıştır.

Tablo 1. incelendiğinde suseptibilite kontrastı ( $k$ )'nın  $P=k \cdot T$  şeklinde, amplitüd katsayısı ( $C$ )'nin içinde yer aldığı görülür.

Dayk modelinin  $\Delta F$  değerini veren (1) nolu eşitlikte,  $x=0$  verilir ve gerekli sadeleştirmeler yapılırsa,  $\Delta F_0$  değeri aşağıdaki gibi bulunur.

$$\Delta F_0 = C \cdot [2 \cdot \cos \theta \cdot \arctan (b/h)] \quad \dots (30)$$

$\Delta F_0$  değeri, orijindeki  $\Delta F$  değeridir ve anomali eğrisinden okunur. Buradan,  $C$  amplitüd katsayısı bulunur.

Benzer olarak, düşey fay modelinin  $\Delta F$  değerini veren (14) nolu eşitlikte aynı işlemler tekrarlanırsa,

$$\Delta F_0 = C \cdot [\cos \theta \cdot \ln (H/h)] \quad \dots (31)$$

bulunur. Bu bağıntıdan da fay modeli için amplitüd katsayısı hesaplanabilir. Dayk ve fay modelleri için bulunan  $C$  amplitüd katsayıları, Tablo 1'deki toplamı, düşey ve yatay alan için verilen eşitliklerde yerine konularak suseptibilite kontrastı ( $k$ ) bulunabilir.

### 5. UYGULAMALAR

Uygulamalar, teorik model çalışmaları ve arazi uygulaması olarak iki bölümde toplanmıştır.

#### 5.1. TEORİK MODEL ÇALIŞMALARI

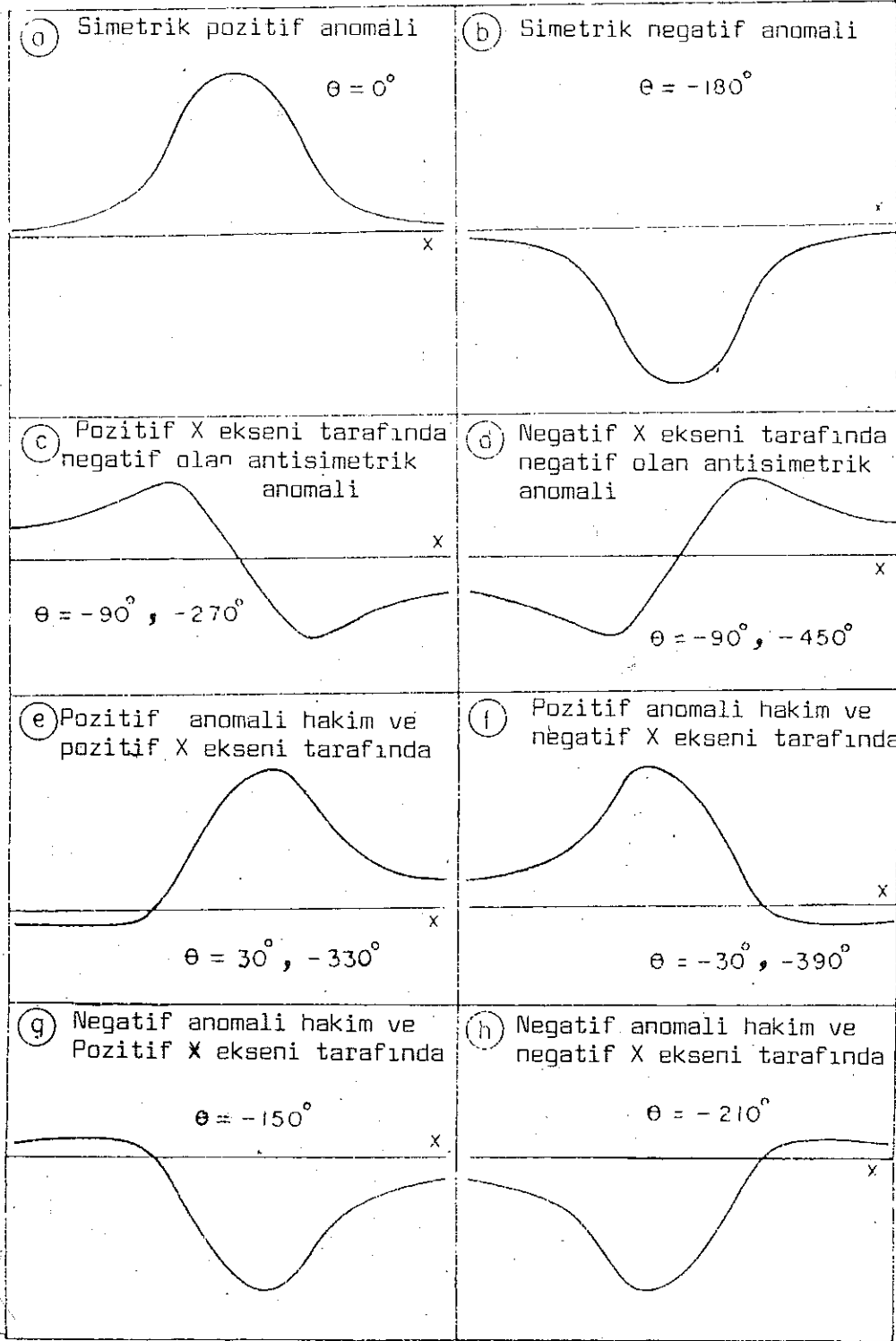
Öncelikle Tablo 1 ve (1) ile (14) nolu eşitlikler, verilen parametrelere göre dayk ve düşey fay modeli için toplam, düşey ve yatay alan anomali üretecek ve grafiğini çizicek şekilde programlanmıştır. Çeşitli parametrelere göre çizdirilen grafiklerden max. ve min. amplitüdü ile bunların orijine olan uzaklıkları bulunarak,  $A$  ve  $D$  oranları hesaplanmıştır. Bu oranlar ilgili nomogramlara gidilerek  $R$  ve  $\theta$  n değerleri bulunmuştur.  $R$  ve  $\theta$  değerlerinden, teori bölümünde verilen bağıntılar kullanılarak dayk modeli için üst yüzey derinliği ( $h$ ) ve yarı genişlik ( $b$ ), fay modeli için de üst yüzey ( $h$ ) ve alt yüzey ( $H$ ) derinlikleri bulunmuştur. Bu değerler ve anomali eğrisinden bulunan  $\Delta F_0$  değeri kullanılarak dalım açısı ( $\delta$ ) ve suseptibilite kontrastı ( $k$ ) bulunmuştur.

Kalın ve ince dayk, sıg ve derin fay durumları dahil çeşitli dalım açıları için birçok toplam, düşey ve yatay bileşen anomali eğrileri üretilmiştir. Eğrilerden hesaplanan parametreler, verilen parametrelere oldukça yakındır. Teorik model örneklerinden iki tanesi eğrileri ile verilmiştir.

İlk örnek Tablo 2'de verilen parametrelere göre üretilmiş bir dayka ait toplam alan anomali eğrisi Şek-7'de görülmektedir. Karakteristik oranlardan hesaplanan parametreler, verilen parametrelerle Tablo

Tablo 2. Bir daykın toplam manyetik alan anomalisinde verilen parametreler ve bulunan karakteristik oranlar

VERİLEN PARAMETRELER		
Inklinasyon açısı (derece)	oi = 67	
Deklınasyon açısı (derece)	al = 70	
Total yer man. alan şid. (gama)	T = 50000	
Suseptibilite kontrastı (cgs)	sk = .002	
Daykın yarı genişliği (m)	b = 5	
Daykın üst yüzey derinliği (m)	h = 5	
Daykın dalım açısı (derece)	sig = 110	
TOTAL MANYETİK ALAN ANOMALİSİ HESABI		
Efektif inklınasyon açısı (derece)	EI = 81.74	
Index parametresi (derece)	DE = -36.52	
Amplitüd katsayısı	C = 162.60	
max. değer (gama)	FM = 236.24	max deg. uzak. (m)
min. değer (gama)	Fm = -30.98	min deg. uzak. (m)
KARAKTERİSTİK ORANLAR		
	A=0.768	D=0.693
A>D olduğundan bu bir DAYK anomalisidir.		

Şekil -6 : Çeşitli  $\theta$  değerleri için tipik dayk anomali eğrileri

**Tablo 3.** Bir düşeye fayın yatay manyetik alan anomalisinde verilen parametreler ve bulunan karakteristik oranlar

VERİLEN PARAMETRELER			
Inklinasyon acisi (derece)			$\delta_i = 40$
Denklinasyon acisi (derece)			$\alpha_l = 30$
Total yer man. alan sid. (gama)			$T = 1000$
Suseptibilite kontrasti (cgs)			$sk = .1$
Daykin yari genişliği (m)			$b = 20$
Daykin üst yüzey derinliği (m)			$h = 30$
Daykin dalim acisi (derece)			$\text{sig} = 15$
TOTAL MANYETİK ALAN ANOMALİSİ HESABI			
Efektif inklınasyon acisi (derece)			$EI = 44.10$
Index parametresi (derece)			$DE = 6.90$
Amplitud katsayısı			$C = -89.23$
max değer (gama)	$FM = 9.20$	max değer. uzak. (m)	$XM = 42.10$
min değer (gama)	$Fm = -26.79$	min değer. uzak. (m)	$Xm = -14.25$
KARAKTERİSTİK ORANLAR			
	$A=0.489$	$D=0.494$	
$D>A$ olduğundan bu bir FAY anomalisidir.			

**Tablo 4.** Şekil-7'de verilen anomali eğrisinin yorum sonuçları

Parametre	Verilen	Hesaplanan
h (m)	5.00	5.11 5.12
b (m)	5.00	4.85 4.86
$\delta$ (derece)	110.00	110.40
k (cgs)	0.0020	0.0023

4'de karşılaştırılmıştır.

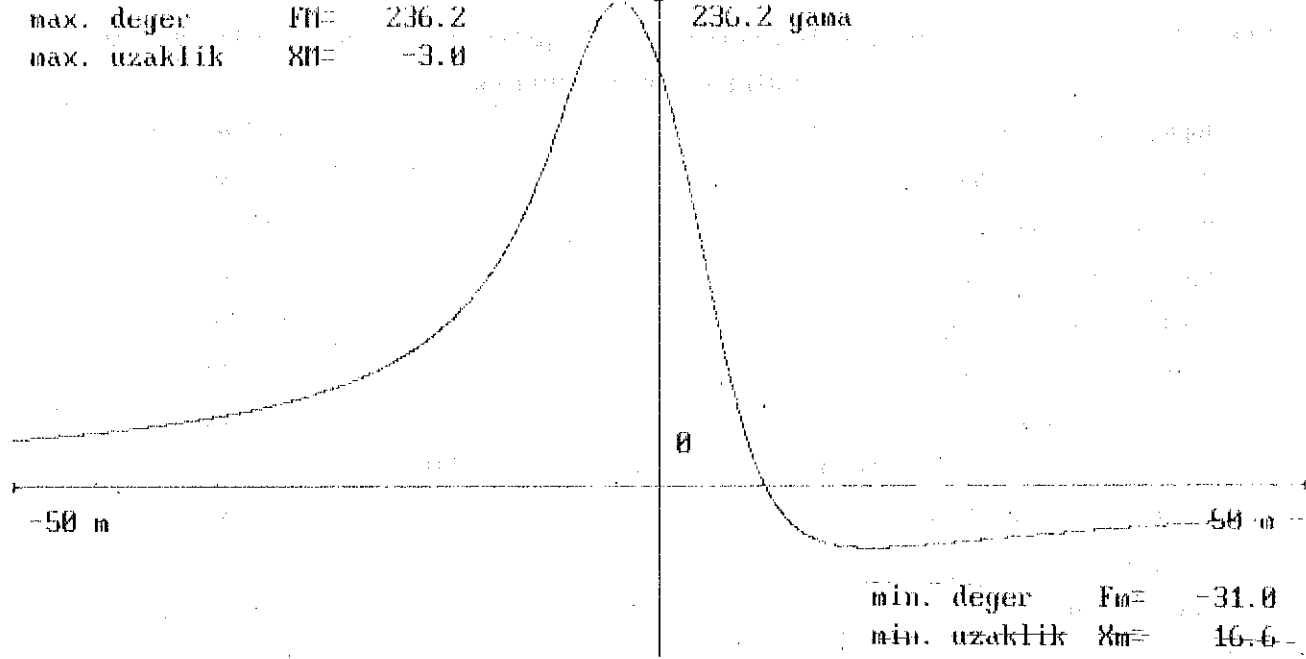
İkinci örnek, Tablo 3'de verilen parametrelerden üretilen düşey bir fayın yatay alan anomalisidir. Şek-8'de

görülen anomali eğrisinin yorumu sonucu bulunan parametreler, verilen parametrelerle karşılaştırmalı olarak Tablo 5'de verilmiştir.

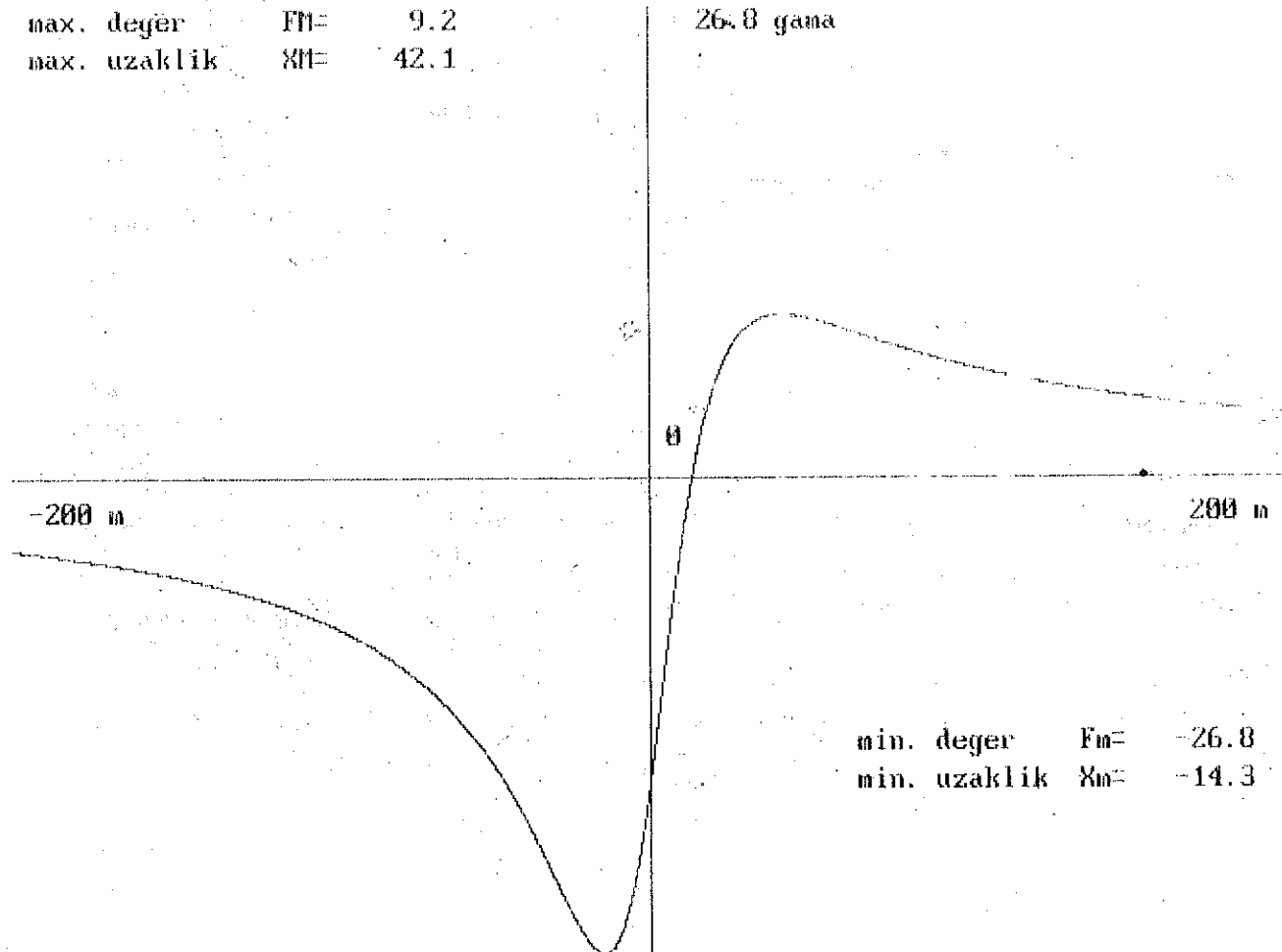
Her iki örnekte de, hesaplanan parametrelerin, verilen parametrelere çok yakın olduğu görülmektedir.

**Tablo 5.** Şekil-8'de verilen anomali eğrisinin yorum sonuçları

Parametre	Verilen	Hesaplanan
h (m)	20.0	20.6 20.9
b (m)	30.0	28.9 29.3
$\delta$ (derece)	15.0	15.0
k (cgs)	0.1	0.119



Şekil -7 : Tablo 2'de verilen parametrelere göre üretilen, dayka ait toplam alan anomali eğrisi



Şekil -8 : Tablo 3'de verilen parametrelere göre üretilen, faya ait toplam alan anomali eğrisi

## 5.2. YÖNTEMİN YOZGAT-SARIKAYA-KARABACAK MEVKİİ DÜŞEY

### BİLEŞEN MANYETİK ANOMALİ HARİTASINA UYGULANMASI

#### 5.2.1. BÖLGENİN JEOLojİSİ

##### Coğrafik Durumu;

Arazi şartları etüd yapmaya uygundur. Arazi tamamen düz yani engebesizdir. Bitki örtüsü yoktur. Yörenin iklimi karasaldır. Yani Orta Anadolu iklimi hakimdir.

##### Jeolojisi;

Jeolojiden söz ederken demir mineralizasyonu yönünden jeoloji ele alınmaktadır. Saha tamamen Neojenle örtülü olup (Ek 2. Jeoloji Haritası) cevher hakkında yüzeyden jeolojik gözlem yapılamamıştır. Yüzeyde most-rası yoktur, ancak sahanın güneyinde bulunan mermerler-de  $F_2O_3H_2O$  infiltrasyonu görülmüştür.

Cevherleşmenin Hornblend'le birlikte bulunması stratigrafik konumu itibariyle mika gnays içinde yer alan amfibolit şist ara seviyesine karşılık gelmektedir.

Cevherleşmenin yapısal konumu, eksen doğrultusu NE-SW yönünde olan bir antiklinal ve bu yatağın NW'na karşılık gelen bir senklinal oluşturmaktadır. Cevherleşme tektonik yapıyla uyumludur.

#### 5.2.2. KULLANILAN ALET VE ARAZİ İŞLERİ

Etüd, MTA Enstitüsü ekibi tarafından yapılmıştır. Etüd sahasında manyetik alanın düşey bileşenini ölçen ve 5/1000000 gram ağırlığına denk manyetik etkiyi duyacak kadar hassas Torsiyon QFZ manyetometresi kullanılmıştır. Alet araziye tatbik edilmeden önce steril kabul edilen kalkerler üzerinde baz tayini yapılmıştır. Yapılan manyetik gözlemlerden, manyetik alanın düşey bileşen değerleri her istasyon için hesaplanmış ve manyetik anomali haritası elde edilmiştir. Daha sonra bu haritadan rezidüel anomali haritası bulunmuştur. (Ek 3) Ayrıca, çalışma sahasının toplam yer manyetik alan şiddeti  $T=45000$  gama ve inklinasyon açısı  $I_0=56^\circ$  bulunmuştur.

#### 5.2.3. YÖNTEMİN UYGULANMASI VE ANOMALİLERİN YORUMU

Yöntem, Yozgat-Sarıkaya-Karabacak Mevkii düşey bileşen anomali haritasından alınan iki kesit eğrisine uygulanmıştır.

İlk kesit, Ek 3.'de K6 noktasından geçen AA' kesitidir. Bu kesitten elde edilen anomali eğrisinin (Şek-9) orijini ve sıfır hattı, teori bölümünde verilen teknik kullanılarak elde edilmiştir Max. ve min. değerlerden karakteristik oranlar,  $A=0.563$  ve  $D=0.512$  bulunmuştur.  $A>D$  olduğundan bu bir dayk anomalisidir. Dayk modeli için verilen nomogramlar (Şek-3) ve ilgili bağıntılar kullanılarak, üst yüzey derinliği  $h=28.60$  m, yarı genişliği  $b=20.10$  m, dalım açısı  $\delta=116^\circ$  ve suseptibilite kontrastı  $k=0.0288$  cgs. olarak bulunmuştur. Bulunan parametreler dayk modeli için verilen (1) nolu bağıntıda yerlerine konularak elde edilen teorik dayk düşey alan anomali eğrisi, arazi eğrisi ile birlikte Şek-9'da grafiklenmiştir. İki eğrinin birbiriy-le uyum içinde olduğu görülmektedir.

Alınan ikinci kesit, Ek-3'de K2 noktasından geçen BB' kesitidir. Bu kesit eğrisi için karakteristik oranlar  $A=0.733$  ve  $D=0.721$  bulunmuştur.  $A>D$  olduğundan bu eğri de bir dayk anomalisine aittir. Dayk modeli için verilen nomogram ve bağıntılar kullanılarak,  $h=29$  m,  $b=5.75$  m,  $\delta=108^\circ$  ve  $k=0.0737$  cgs değerleri bulunmuştur. Bu değerlerden bulunan teorik eğri, Şek-10'da arazi eğrisi ile birlikte grafiklenmiştir. İki eğrinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak AA' kesitindeki anomaliyi veren kütlelinin,

Üst yüzey derinliği	$h=28.60$ m.
Yarı yüzey derinliği	$b=20.15$ m.
Dalım açısı	$\delta=116^\circ$
Suseptibilite kontrastı	$k=0.0288$ cgs.

parametrelerine sahip bir dayk olduğu ve BB' kesitindeki anomaliyi veren kütlelinin de,

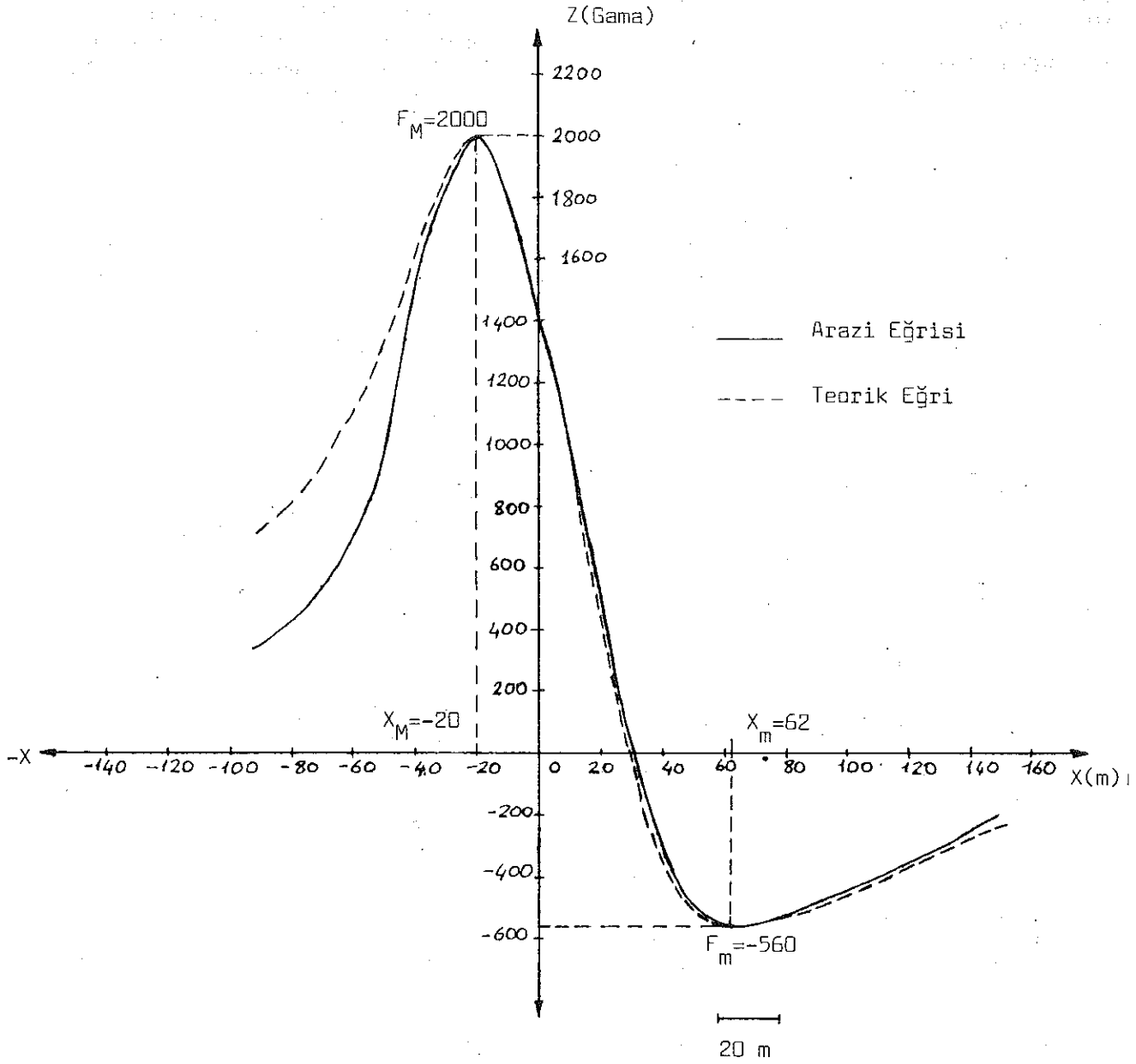
Üst yüzey derinliği	$h=29.00$ m.
Yarı genişliği	$b=5.75$ m.
Dalım açısı	$\delta=108^\circ$
Suseptibilite kontrastı	$k=0.0737$ cgs.

parametrelerine sahip bir dayk olduğu kanısına varılmıştır.

## 6. YÖNTEMİN LİMİTASYONU VE SONUÇ

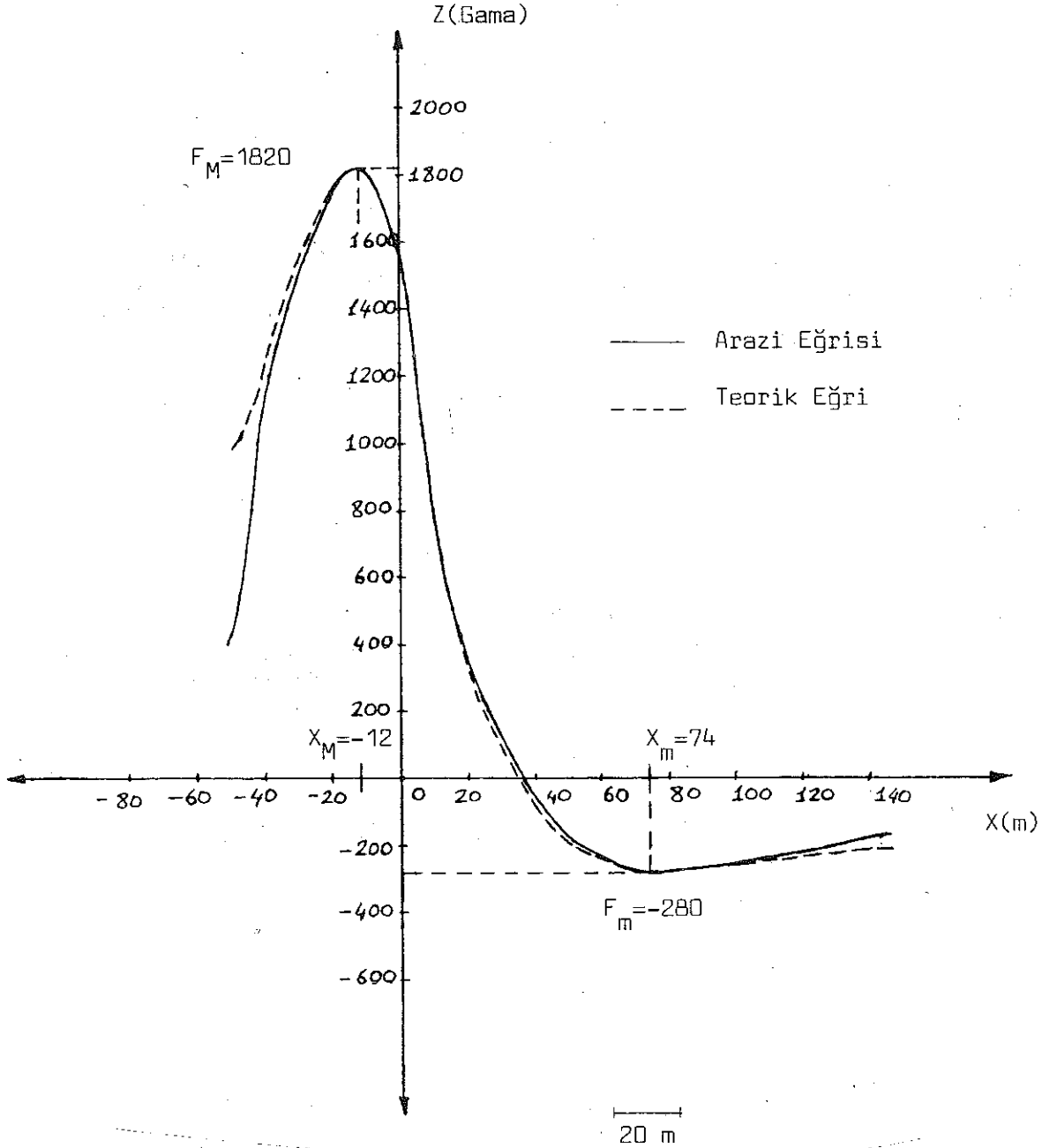
Anomali eğrisi üzerindeki birkaç karakteristik noktaya dayanan yorum yöntemlerinin, karakteristik noktalar yanlış tanımlandığında ya da çevre özelliklerinden kaynaklanan gürültülerin üst üste binmesi durumunda pek iyi sonuçlar vermediği bilinmektedir. Bununla beraber, bu yöntemler klasik eğri çakıştırma yöntemlerinden daha hızlıdır ve birçok durumda şaşırtıcı derecede iyi sonuçlar verirler. (Am, 1972).

Bu çalışmadaki yöntem, tamamen anomali eğrisindeki orijinin, sıfır hattının max. ve min. noktaların yerleri-



Şekil -9 :  $K_6$  noktasından geçen AA'kesitine ait anomali eğrisi ve hesaplanan teorik eğri.





Şekil -10 : K2 noktasından geçen BB'kesitine ait anomali eğrisi ve hesaplanan teorik eğri.

ne bağlıdır. Bunların yerlerinin belirlenmesinde yapılacak bir hata aynen sonuçlara yansiyacaktır. Ayrıca anomali eğrisi simetrik ya da antisimetrik olduğunda yöntem kullanışsızdır. Çünkü anomali eğrisi simetrik (yani  $\theta=0^\circ$ ) olduğunda A ve D oranlarının herikisi bir'e, anomali eğrisi antisimetrik (yani  $\theta=90^\circ$ ) olduğunda da sifıra gider. Bu iki durumda da, Şek-3 ve Şek-4'den de görülebileceği gibi R'nin farklı değerleri için nomogramlar birbirlerine yaklaşmışlardır. Bu yüzden bu nomogramları kullanarak R için tek çözüm bulmak mümkün değildir.

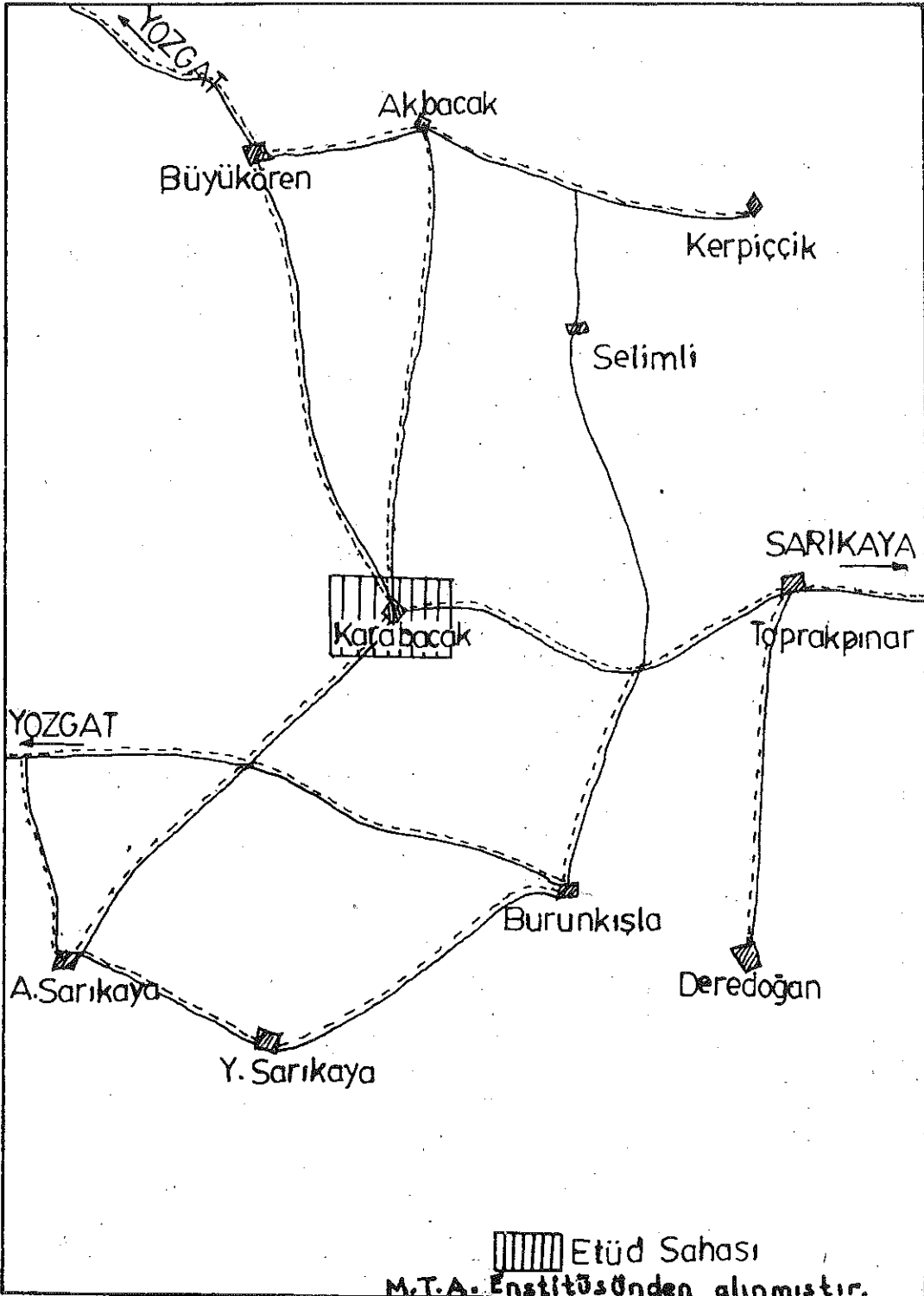
Bu yöntemi kullanarak derinlik, genişlik (dayk için) ve taban derinliğinin (düşey fay için) bulunması indüklenmiş ve kalıntı manyetizasyon (eğer kalıntı alan, cismin heryerinde yön ve magnitud olarak sabit kalıyorsa) durumları için aynıdır. Bununla beraber cismin dahımı yalnızca kalıntı bileşenin yönü ve amplitüdü bilindiğinde bulunabilir. Yöntem çok pratiktir, toplam, düşey ve yatay alan anomalilerine uygulanabilir. Teorik model ve arazi örnekleri ile yöntemin uygulanabilirliği gösterilmiştir.

#### 7. YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Am, K. (1972)**, The Arbitrarily Magnetized Dike: Interpretation by Characteristics, *Geoexploration* 10, 63-90.
- Babu, H.V.R., Vijayakumar, V. and Rao, D.A. (1986)**, A Simple Method for the Analysis of Magnetic Anomalies Over Dike-Like Bodies, *Geophysics* 51, 1119-1126.
- Bean, R.J. (1966)**, A Rapid Graphical Solution for the Aeromagnetik Anomaly of the Two-Dimensional Tabular Body, *Geophysics* 31, 963-960.
- Bruckshaw, J.M., and Kunaratnam, K. (1963)**, The Interpretation of Magnetic Anomalies Due to Dykes, *Geophys. Prospect.* 11, 509-522.
- Gay, S.P. (1963)**, Standart Curves for Interpretation of Magnetic Anomalies Over Long Tabular Bodies, *Geophysics* 28, 161-200.
- Grant, F.S., and Martin, L. (1966)**, Interpretation of Aeromagnetik Anomalies by the Use of Characteristic Curves, *Geophysics* 31, 135-148.
- Hood, P. (1964)**, The Königsberger Ratio and the Dipping-Dike Equation, *Geophys. Prospect.* 12, 440-456.
- Kara, İ. (1986)**, Basamak Fayların Manyetik ve Gravite Anomalilerinin Yorumu, *İ.Ü. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, C.5, S.1-2, 131-138.
- Koulomzine, TH., Lamontagne, Y., and Nadev, A. (1970)**, New Methods for the Direct Interpretation of Magnetic Anomalies Caused by Inclined Dikes of Infinite Length, *Geophysics* 35, 812-830.
- Moo, J.K.C. (1965)**, Analytical Aeromagnetik Interpretation: The Inclined Prism, *Geophys.* 35, 812-830.
- Özdemir, M. (1984)**, Daykların Oluşturduğu Mağnetik Anomalilerin Yorumu, *İ.Ü. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, C.4, S.1-2, 87-104.
- Powell, D.W. (1967)**, Fitting Observed Profiles to a Magnetized Dike or Fault-Step Model, *Geophys. Prospect.* 15, 208-220.
- Rao, D.A., and Babu, H.V.R. (1981)**, Nomograms for Rapid Evaluation of Magnetic Anomalies Over Long Tabular Bodies. Pageoph. 119, 1037-1050.
- Qureshi, I.R., and Naley, A.M. (1978)**, A Method for the Direct Interpretation of Magnetic Anomalies Caused by Two Dimensional Vertical Faults, *Geophysics* 43, 179-188.

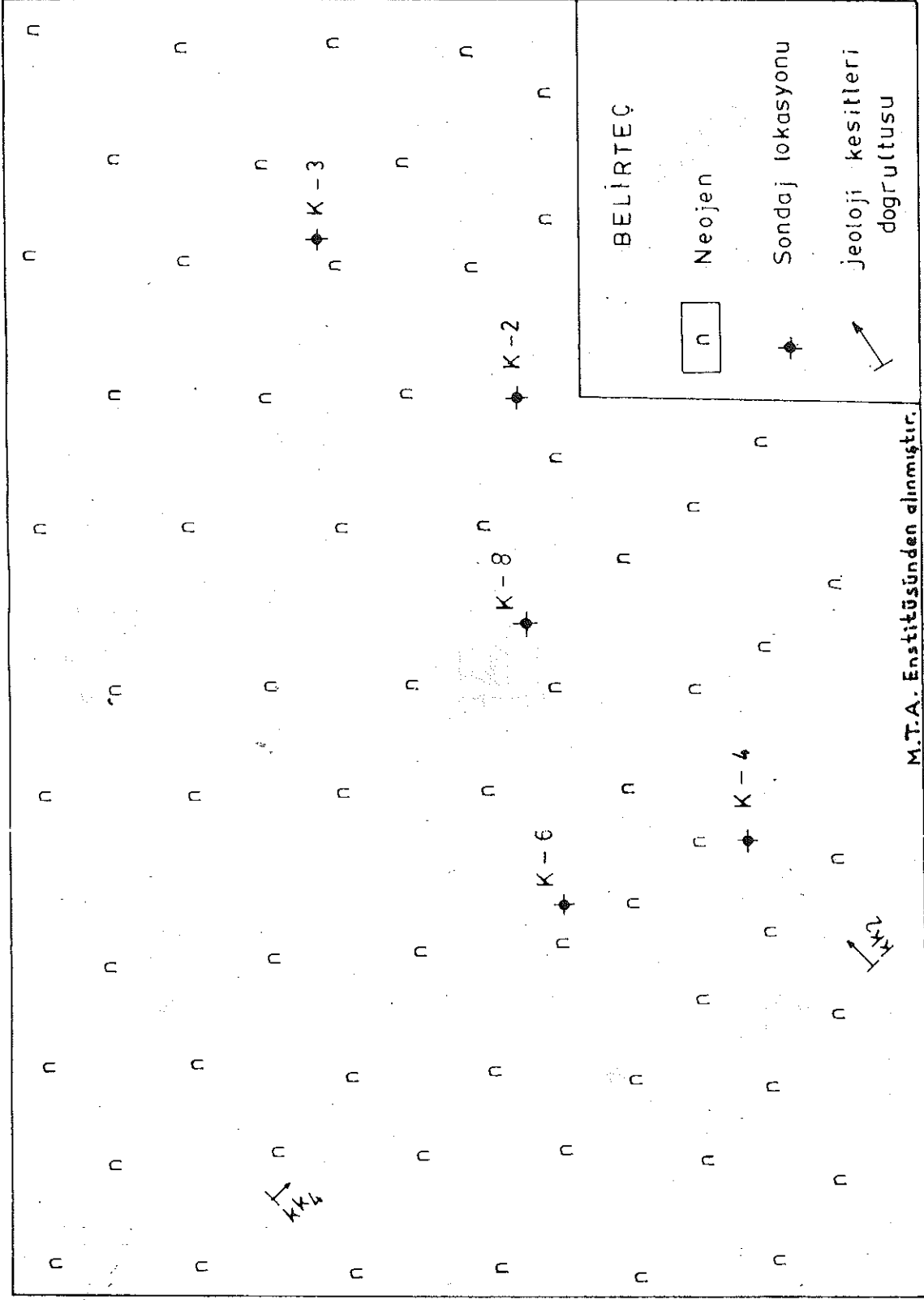
## ETÜD SAHASININ LOKASYON HARİTASI

Ölçek: 1/100000



YOZGAT KARABACAK MEVKİİ JEOLOJİ HARİTASI  
ÖLÇEK : 1/2000

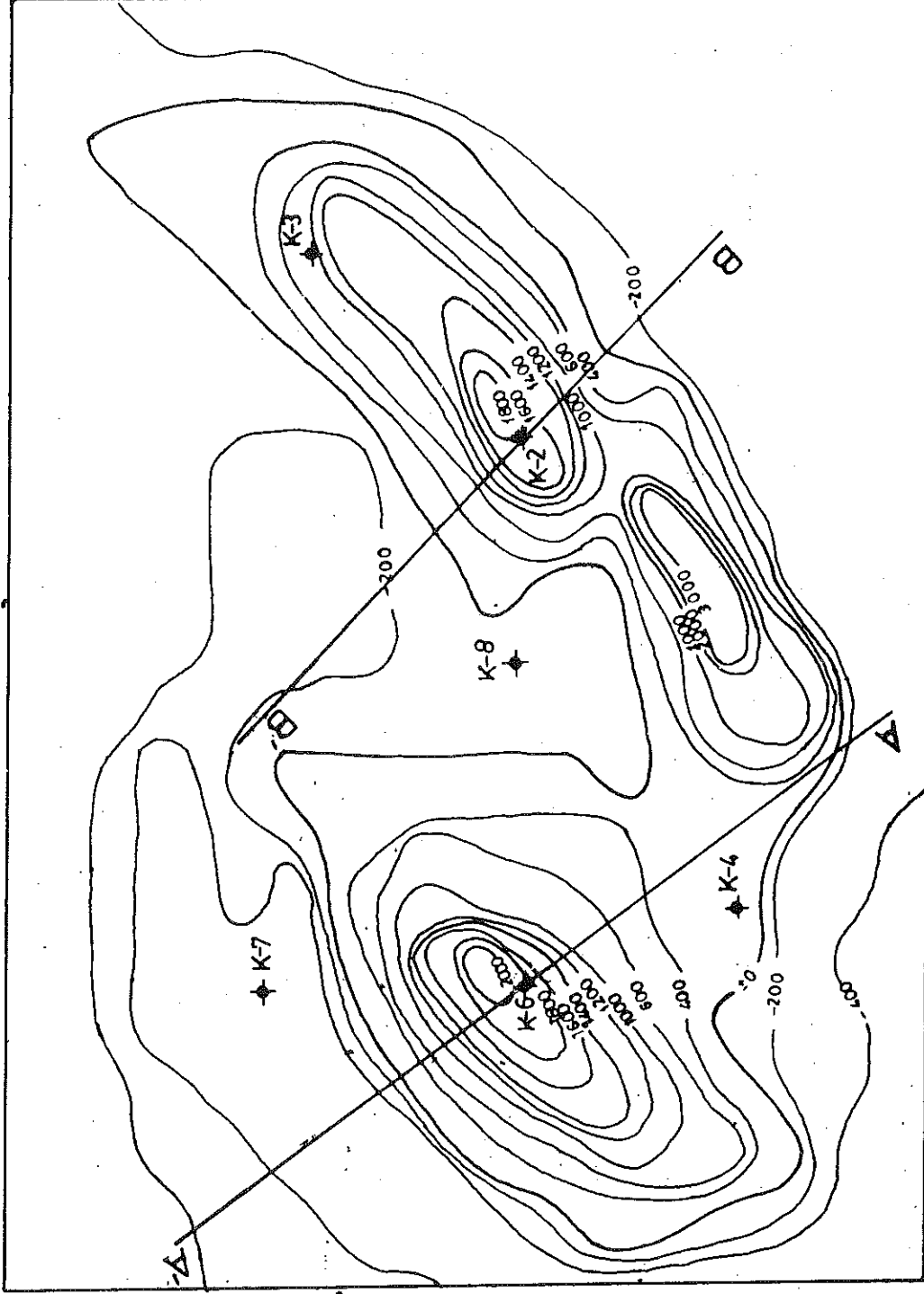
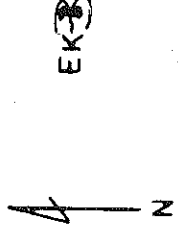
EK-2



YOZGAT - SARIKAYA - KARABACAK MEVKİİ

II. DERECE REZİDÜEL  
DÜŞEY BİLEŞEN ANOMALİ HARİTASI

ÖLÇEK : 1/2000



M.T.A. Enstitüsünden alınmıştır.