

Bu makale aşağıda atıf bilgisi verilen makalenin Türkçe çevirisidir.  
Atıf bilgisi: Kara, İ., Tarhan Bal, O., Tekkeli, B. A. 2022. A graph method for interpretation of magnetic anomalies over 2D dikes and vertical faults. Bulletin of the Mineral Research and Exploration 168, 1-10. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.928467>



## Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>



### 2B dayk ve düşey faylar üzerindeki manyetik anomalilerin yorumu için bir grafik yöntemi

#### *A graph method for interpretation of magnetic anomalies over 2D dikes and vertical faults*

İbrahim KARA<sup>a</sup>, Oya TARHAN BAL<sup>a\*</sup> ve Anisya B.TEKKELİ<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye*

*Araştırma Makalesi*

Anahtar Kelimeler:  
Manyetik Yorum, 2B  
Dayk, Düşey Fay, Grafik  
Yöntemi.

#### ÖZ

Dayk ve faylara ait parametrelerin, manyetik anomalilerden yorumu için bu yapıların basit geometrik varsayımları sıklıkla kullanılmaktadır. Bir 2B dayk veya düşey faya ait manyetik anomali, çift ve tek simetriye sahip iki bileşenden oluşmaktadır. Çift ve tek bileşenlerin oranı alındığında elde edilen denklem genlik katsayısından bağımsızdır. Dayk ve düşey fayların çift bileşenin yarı maksimum değerinin apsisi ve tek bileşenin maksimumu yapının derinlik ve yarı genişliği ile ilişkilidir. Bu ilişki, dayk ve faylar için tanımlı denklemlerde yerine konduğunda, yarı genişlik değeri de denklemlerden atılabilir. Böylece, elde edilen oran model parametrelerinin elde edilmesi için kullanılabilir. Herhangi uzaklık değerlerine karşılık çift ve tek bileşenlerin oranı kullanılarak, farklı derinlik ve indeks çiftleri için eğriler elde edilebilir ve bunların grafiğinden 2B dayk ve düşey faylara ait parametreler belirlenebilir. Metodun geçerliliği, dayk ve düşey fay durumları için yapay modellerle sınanmıştır. Yöntem, ayrıca iki farklı arazi verisine uygulanmış, elde edilen sonuçlar, önceki çalışmalarla kıyaslanmıştır.

Geliş Tarihi: 02.01.2021  
Kabul Tarihi: 16.04.2021

Keywords:

Magnetic Interpretation,  
2D Dike, Vertical Fault,  
Graph Method.

#### ABSTRACT

Simple geometric assumptions for dikes and faults are often used for interpreting the parameters of these structures from magnetic anomalies. The magnetic anomaly of a 2D dike or a vertical fault consists of two components; one with even and the other with odd symmetries. The function resulting from the ratio of the even and odd components is independent from the amplitude coefficient. The abscissa of the half-maximum of the even component and the maximum of the odd component of a dike or a vertical fault is related to its depth and its half-width. Incorporating this relation into the corresponding equations for dikes and vertical faults, the half-width value can be eliminated from the equations. Thus, the resulting ratio can be used for determining the model parameters. Using the ratio of the even component to the odd component for given distances, curves can be obtained for different depth-index parameter pairs, and from the graph of these curves, parameters of 2D dikes and vertical faults can be determined. The validity of the method is tested using synthetic models for dike and vertical fault cases. The method is also implemented on two different field data, and the results obtained are compared to previous studies.

\*Başvurulacak yazar: Oya TARHAN BAL, [tarhan@istanbul.edu.tr](mailto:tarhan@istanbul.edu.tr)

## 1. Giriş

Dayk ve düşey fay modelleri, manyetik yorumlamada sıklıkla kullanılmaktadır. Birçok araştırmacı, bu yapılara ait anomalileri, orijin simetrik çift ve tek bileşenlere ayırıştırarak yorumlamıştır. Hutchison (1958) bir logaritmik eğri çakıştırma yöntemi kullanır, Bhimasankaram vd. (1978)'de Fourier dönüşümü kullanılmıştır, Kara vd. (1996) ve Kara (1997)'de korelasyon faktörlerini ve integrasyon nomogramlarını kullanan bir yöntem sunulmuştur, Rao vd. (1973)'de yatay türevlerden faydalanan iki yöntem verilmiştir, Atchuta Rao ve Ram Babu (1981)'de bir nomogram yöntemi önerilmiştir.

Günümüzde, yeraltındaki yapıların ortaya çıkarılması için 2B ve 3B ters çözümler yaygın şekilde uygulanırsa da, çok çözümlülük nedeniyle yanıltıcı sonuçlar sağlayabilmektedir. Bu nedenle, basit kaynak geometrileri kullanılarak bu tip yapıların model parametrelerini elde etme işlemi hala uygulanmaktadır. Dayk ve benzeri basit geometrilerin anomalilerinin yorumu için son yıllarda geliştirilmiş yöntemlere örnekler; Abdelrahman ve Essa (2015) ikinci türev anomalileriyle basit yapılar için derinlik ve biçimsel parametrelerini elde etmiştir, Abo-Ezz ve Essa (2016), basit yapılar için doğrusallaştırılmış manyetik anomali formülüyle en küçük kareler yöntemini uygulamıştır. Essa ve Elhussein (2017) dalımlı dayklara ait model parametrelerini ikinci yatay gradyan anomalilerinden faydalanarak elde etmiştir.

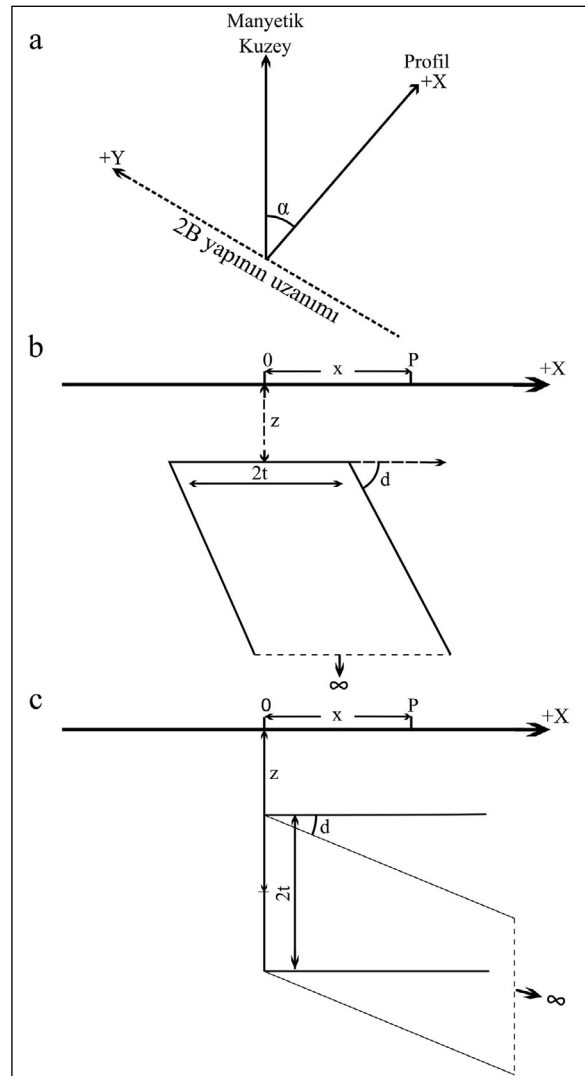
Bu çalışmada, dalımlı dayk ve düşey fayların manyetik anomalilerinden model parametrelerini elde etmek için bir yöntem önerilmiştir. Böyle basit yapı varsayımları için, hesaplamalar çok hızlı olsa da, ters çözüm yöntemleri ya da global optimizasyon yöntemlerinin uygulanması fazla avantaj sağlayamamaktadır. Bu nedenle, kodlama ve uygulamadaki kolaylığı nedeniyle grafik metodu tercih edilmiştir.

Yöntemde, derinlik ve indeks parametreleri, çift ve tek bileşenin oranlarından elde edilen bir dizi eğrinin kesişme noktasından elde edilmiştir. Yapının yarı genişliğiyse, çift bileşenin yarı maksimumu ve tek bileşenin maksimumunun apsis değeri arasındaki ilişkiyle elde edilmiştir. Tanımlanan bu yöntem, dayk ve düşey fay durumları için yapay veriler kullanılarak sınanmıştır, daha sonra arazi verilerine uygulanmıştır.

## 2. Yöntem

Dayk ve düşey fay anomalilerinin yorumu için bu çalışmada sunulan yöntem için aşağıdaki notasyon ve varsayımlar kullanılmıştır.

Bir kartezyen koordinat sisteminde, y eksenini, anomaliye neden olan yapının doğrultusunda ve x eksenini, ölçüm hattı yönünde varsayılmıştır (Şekil 1a).  $i$  ölçüm bölgesindeki inklinasyon açısıdır. Profilin manyetik kuzeyden açısı  $\alpha$  ile, dayk veya fayın dalım açısı  $d$  ile gösterilmiştir.  $k$  süseptibilite karşıtlığıdır,  $T$  toplam manyetik alan genliğinin nominal değeridir.



Şekil 1- 2B dayk ve düşey fayların genel gösterimi; a) manyetik kuzey, ölçüm hattı ve 2B yapı doğrultusunun üst görünüşü, b) daykın kesit görünümü, ve c) düşey fayın kesit görünümüdür.

Dayklar için  $R=\sin\theta$  ve düşey faylar için  $R=\cos\theta$  olarak tanımlanmıştır.

Yukarıda tanımlanan notasyona göre, genlik katsayısı ve indeks parametresinin değişimi, toplam, düşey ve yatay manyetik anomali bileşenleri için Çizelge 1'deki biçimde verilebilir. Çizelgede,  $I=\tan^{-1}[\tan(i) / \cos(\alpha)]$ 'dir.

## 2.1. Yöntemin Dalımlı Dayklar İçin Uygulanması

Dalımlı bir dayka (Şekil 1b) ait manyetik anomalinin ( $\Delta F$ ), herhangi  $P(x)$  noktasındaki değeri aşağıdaki gibi verilebilir (Gay, 1963).

$$\Delta F = M \left\{ \cos\theta \left[ \tan^{-1}\left(\frac{x+t}{z}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{x-t}{z}\right) \right] + \frac{1}{2} \sin\theta \cdot \ln \left[ \frac{(x+t)^2 + z^2}{(x-t)^2 + z^2} \right] \right\} \quad (1)$$

Denklemden,  $x$  gözlem noktasının orjinden uzaklığı,  $z$  daykın üst noktasının derinliği,  $t$  ise yarı genişlik değeridir. Denklem 1, çift (E) ve tek (F) bileşenlerin toplamı olarak aşağıdaki biçimde ifade edilebilir.

$$\Delta F(x) = E(x) + F(x) \quad (2)$$

Denklemden,

$$E(x) = M \cdot \cos\theta \left[ \tan^{-1}\left(\frac{x+t}{z}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{x-t}{z}\right) \right] \quad (\text{çift fonksiyon}) \quad (3a)$$

$$F(x) = \frac{1}{2} M \cdot \sin\theta \cdot \ln \left[ \frac{(x+t)^2 + z^2}{(x-t)^2 + z^2} \right] \quad (\text{tek fonksiyon}) \quad (3b)$$

dir.  $E(x)$ 'in yarı maksimum ve  $F(x)$ 'in maksimumuna ait apsis değerlerini  $s$  ile gösterecek olursak, aralarındaki ilişki  $s=(z^2+t^2)^{1/2}$  olarak verilir ve bu denklemin  $t$  için çözümü aşağıdaki denklemi vermektedir.

$$t=(s^2-h^2)^{1/2} \quad (4)$$

Herhangi  $x$  mesafesi için çift bileşen değeri, aynı mesafe için tek bileşene oranlandığında, eşitliğin sol tarafı  $C_1$  ve sağ tarafı  $C_2$  ile gösterilirse aşağıdaki ifadeler yazılabilir.

$$C_1 = \frac{E(x)}{F(x)} \quad (5a)$$

$$C_2 = \frac{\cos\theta \left[ \tan^{-1}\left(\frac{x+t}{z}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{x-t}{z}\right) \right]}{0.5 \sin\theta \ln \left[ \frac{(x+t)^2 + z^2}{(x-t)^2 + z^2} \right]} \quad (5b)$$

Denklemlerde,  $t$  değeri  $z$  ve  $s$  cinsinden verilebilir.  $z$  değeri elde edilirse, Denklem 4 kullanılarak  $t$  değeri hesaplanabilir.

Sunulan yöntemde, Denklem 5a kullanılarak,  $C_1$ 'in değeri, gözlenen arazi anomalisinden elde edilen çift ve tek bileşen değerlerinden,  $C_2$  ise teorik  $[\theta, z]$  çiftlerinin değerlerini değiştirerek hesaplanmaktadır. Dikkat edilmelidir ki,  $C_1/C_2$  oranı genlik katsayısından bağımsızdır.

Denklem 5b kullanılarak, bir  $z$  değerine karşılık  $\theta$  değerini Çizelge 2'den faydalanarak,  $0^\circ - 90^\circ$ ,  $90^\circ - 180^\circ$ ,  $180^\circ - 270^\circ$  veya  $270^\circ - 360^\circ$  arasında değiştirerek bir dizi  $C_2$  değeri elde edilebilir. Bu işlem, bütün olası  $z$  değerleri için uygulanmalıdır. Her  $z$  değeri için, gözlenen ve hesaplanan oranlar, yani  $C_1$  ve  $C_2$  arasındaki en küçük yapan  $\theta$  değeri belirlenir ve elde edilen  $z - \theta$  çiftleri eğriler olarak grafiklenir ( $z$  değerlerine karşılık  $\theta$  değerleri biçiminde). Model parametreleri  $z$  ve  $\theta$ 'nın gerçek değerleri için  $C_1 - C_2$  farkının her mesafe değeri için en küçüklenmesi gerektiği açıktır. Bu nedenle, farklı mesafeler için elde edilen eğriler çizilirse, bu eğrilerin kesişim noktası  $z$  ve  $\theta$ 'nın gerçek değerlerini işaret edecektir. Denklem 4'den faydalanarak,  $t$ 'nin değeri  $z$  değerinden hesaplanabilir. İşlemin akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.

Çizelge 2- Anomalinin ekstremumuna göre  $\theta$ 'nın değişimi.

Ekstremler	$\theta$
Pozitif anomali	pozitif x ekseninde $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$
Negatif anomali	negatif x ekseninde $90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$
Negatif anomali	pozitif x ekseninde $180^\circ \leq \theta \leq 270^\circ$
Pozitif anomali	negatif x ekseninde $270^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$

Çizelge 1- Farklı manyetik bileşenler için genlik katsayısı ve indeks parametresi.

Anomali	Genlik Katsayısı (M)	İndeks Parametresi ( $\theta$ )
Toplam alan	$2kTS (1 - \cos^2 i \sin^2 \alpha)$	$2I - d - 90^\circ$
Düşey alan	$2kTS (1 - \cos^2 i \sin^2 \alpha)^{1/2}$	$I - d$
Yatay alan	$2kTS \sin \alpha (1 - \cos^2 i \sin^2 \alpha)^{1/2}$	$I - d - 90^\circ$

## 2.2. Yöntemin Düşey Faylar İçin Uygulanması

Dayk durumuna benzer biçimde, düşey fay için herhangi P(x) noktasındaki manyetik alan değeri aşağıdaki gibi verilebilir verilebilir (Atchuta Rao ve Ram Babu, 1981).

$$\Delta F = M \left\{ \cos\theta \ln \ln \left[ \frac{x^2 + (z+t)^2}{x^2 + (z-t)^2} \right]^{1/2} + \sin\theta \left[ \tan^{-1} \frac{x}{z-t} - \tan^{-1} \frac{x}{z+t} \right] \right\} \quad (6)$$

Denklemden, x orjinin gözlem noktasına uzaklığı, z yeryüzünden fayın yarı kalınlığına kadar olan mesafe ve t fayın yarı genişliğidir. Denklem 6'da çift (E) ve tek (F) bileşenlerle ifade edilebilir.

$$\Delta F(x) = E(x) + F(x) \quad (7)$$

Denklemden,

$$E(x) = M \cos\theta \ln \left[ \frac{x^2 + (z+t)^2}{x^2 + (z-t)^2} \right]^{1/2} \quad (8a)$$

$$F(x) = M \sin\theta \left[ \tan^{-1} \frac{x}{z-t} - \tan^{-1} \frac{x}{z+t} \right] \quad (8b)$$

E(x)'in yarı maksimum ve F(x)'in maksimum değeri için apsis değeri s ile gösterilirse,  $s = (z^2 - t^2)^{1/2}$  olduğu bilinmektedir. Bu nedenle,

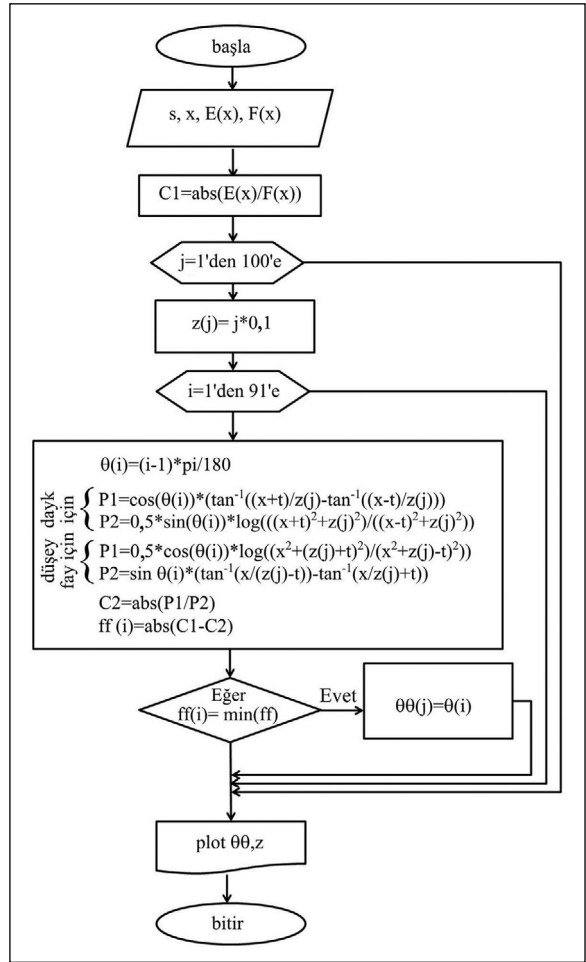
$$t = (z^2 - s^2)^{1/2} \quad (9)$$

Herhangi x mesafesinde, çift bileşen değeri, aynı mesafedeki tek bileşene oranlandığında, aşağıdaki denklemler yazılabilir. Denklemin sağ tarafı C<sub>1</sub> ve sol tarafı C<sub>2</sub> ile ifade edilirse,

$$C_1 = \frac{E(x)}{F(x)} \quad (10a)$$

$$C_2 = \frac{\cos\theta \ln \left[ \frac{x^2 + (z+t)^2}{x^2 + (z-t)^2} \right]^{1/2}}{\sin\theta \left[ \tan^{-1} \frac{x}{z-t} - \tan^{-1} \frac{x}{z+t} \right]} \quad (10b)$$

t değeri, z ve s cinsinden verilebileceği için, Denklem 10b'de kalan bilinmeyenler  $\theta$  ve z'dir. z değeri bulunduğu zaman, Denklem 9'dan faydalanarak t hesaplanabilir. Düşey fay için  $\theta$  ve z hesaplanırken, dayklar için tanımlanan aynı işlem adımları uygulanır (Şekil 2).



Şekil 2- Bir eğrinin elde edilmesi için akış şeması.

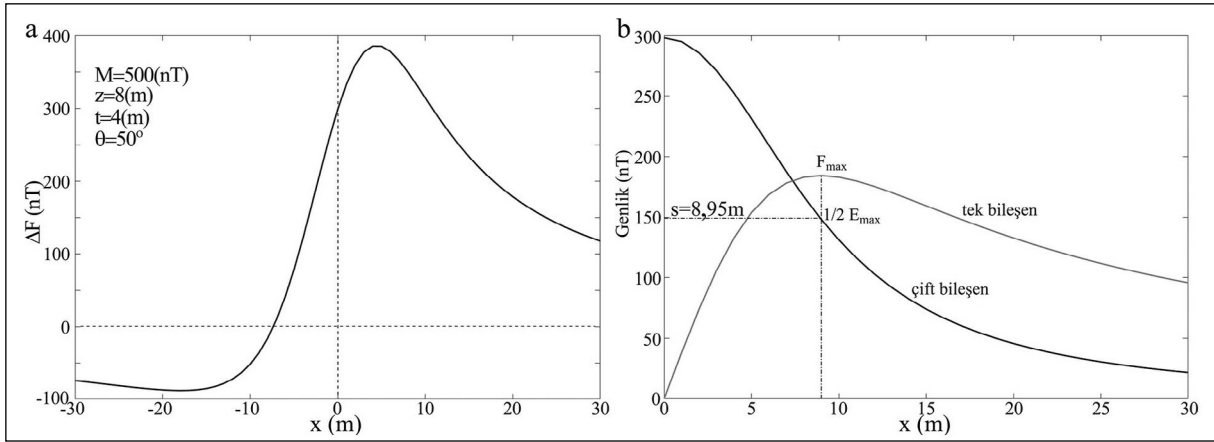
## 3. Bulgular

### 3.1. Dayk Anomalisi Üzerinde Teorik Uygulama

Bu teorik uygulamada model parametreleri,  $z=8$  m,  $t=4$  m ve  $\theta=50^\circ$  olarak alınmıştır. Verilen model parametreleriyle elde edilen anomali Şekil 3a'da, çift ve tek bileşenleri Şekil 3b'de gösterilmiştir.

Yöntem, çift ve tek bileşenlerin  $x=[1, 12]$  m aralığındaki değerleri kullanılarak uygulanmıştır. Bu değerler için hesaplanan eğri kümesi Şekil 4'de gösterilmiştir. Bu eğrilerin kesişim noktası, derinlik (z) ve indeks parametrelerini ( $\theta$ ) vermektedir.

Şekil 4'ten  $z=8$  m ve  $\theta=50^\circ$  değerleri kolaylıkla görülmektedir. Şekil 3b'den, ayrıca  $s=8,95$  m değeri de elde edilmektedir. Elde edilen z ve s değerleri, Denklem 4'te yerine konduğunda, yarı genişlik değeri  $t=4$  m olarak elde edilmektedir. Elde edilen değerler,



Şekil 3- a) Teorik dayk modeli için hesaplanmış manyetik anomali, b) teorik dayk modeli için hesaplanan manyetik anomalinin çift ve tek bileşenleri.

modele ait gerçek değerlerin aynısıdır ve yöntemin model parametrelerini belirleyebildiğini ortaya koymaktadır.

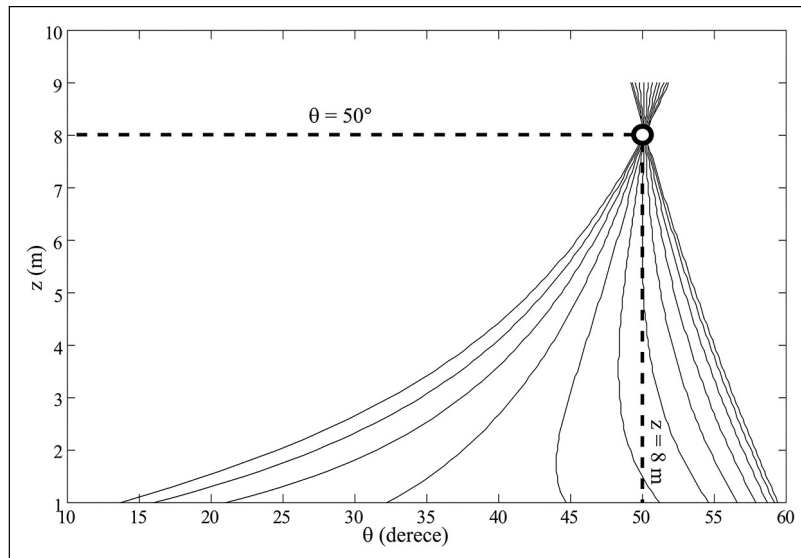
Yöntemin gürültülü veride uygulanabilirliğini göstermek için, %5 Gauss gürültüsü verilere eklendikten sonra işlecin sonuçları sınanmıştır. Tanımlanan deney, farklı rastgele gürültülerle 1000 defa tekrarlanmıştır.  $\theta$  ve  $z$  değerlerinin otomatik seçimi amacıyla, aykırı değerlere sahip eğriler (outlier) %70 budanmış ortalama (trimmed mean) kullanılarak atıldıktan sonra en iyi kesişim noktası belirlenmiştir.

Şekil 5'te örnek gürültülü veri,  $x > 0$  için tek ve çift bileşenleri gösterilmiştir; Şekil 6a'da bu veri için elde

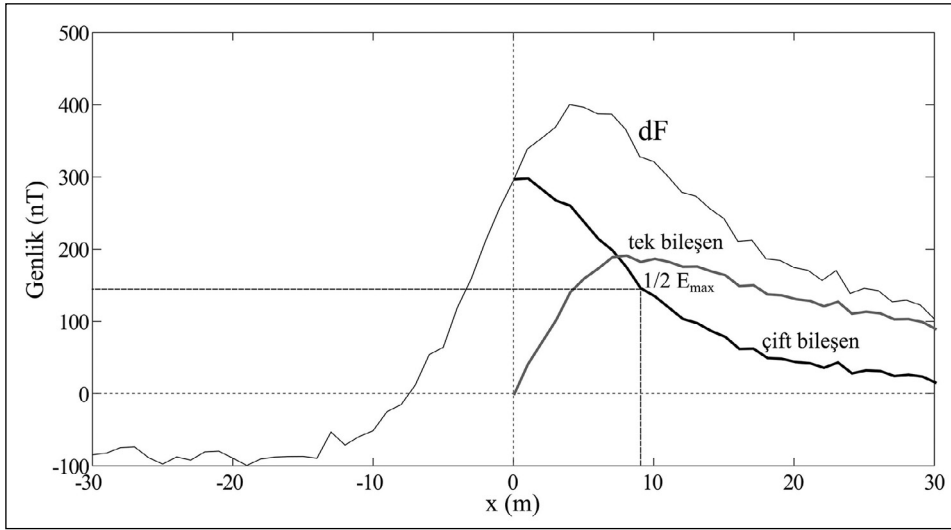
edilmiş eğri kümesi gösterilmiştir. Deneyin 1000 defa tekrarından elde edilen her bir  $[\theta, z]$  çifti Şekil 6b'de dağılım grafiği olarak gösterilmiştir; örnek gürültülü veri için elde edilmiş değer de bu grafik üzerinde ayrıca işaretlenmiştir. Deney, eklenen gürültü seviyesi için,  $\theta$  değerlerinin  $[49, 51]$  derece arasında,  $z$  değerlerininse  $[7, 9]$  metre arasında değiştiğini göstermektedir. Deneyden görüldüğü üzere, yöntem gürültülü verilere de başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir.

### 3.2. Bir Dayka Ait Arazi Verisi Üzerinde Uygulama

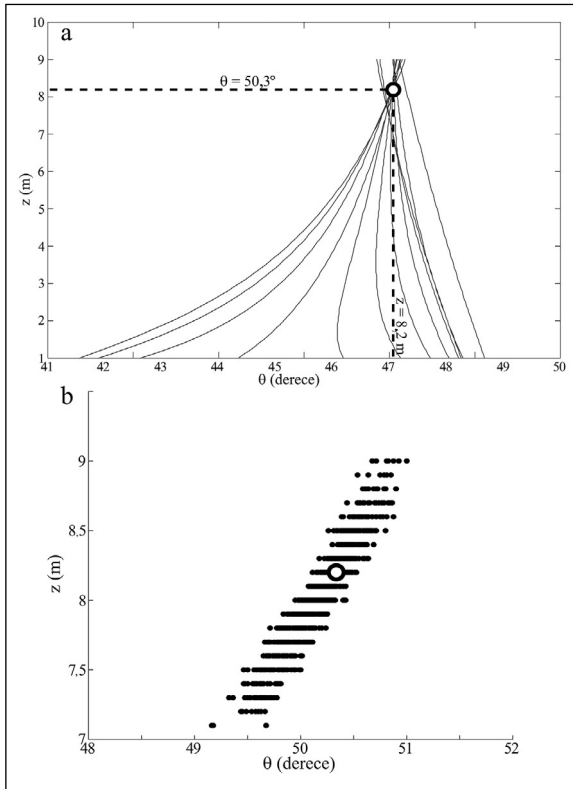
Bu arazi uygulaması için Kuzey Carolina, ABD'de bulunan Durham Triyasik Baseni'nde bir diyabaz daykı üzerinde toplanmış ve daha önce Won (1981)



Şekil 4- Yöntemin, teorik modele ait çift ve tek bileşenlere uygulanmasıyla elde edilen eğri kümesi.



Şekil 5- Teorik dayk modeli için hesaplanmış %5 Gauss gürültüsü eklenmiş manyetik anomali (dF) ve  $x>0$  için bu anomaliye ait çift ve tek bileşenler.



Şekil 6- a) %5 Gauss gürültülü verilere yöntemin uygulanmasıyla elde edilmiş eğri kümesi, b) gürültülü anomaliye yöntemin uygulanmasıyla elde edilen  $[\theta, z]$  çiftlerinin dağılımı (1000 deneme için). Örnek gürültülü veriler için elde edilmiş  $[\theta, z]$  çifti daire ile gösterilmiştir.

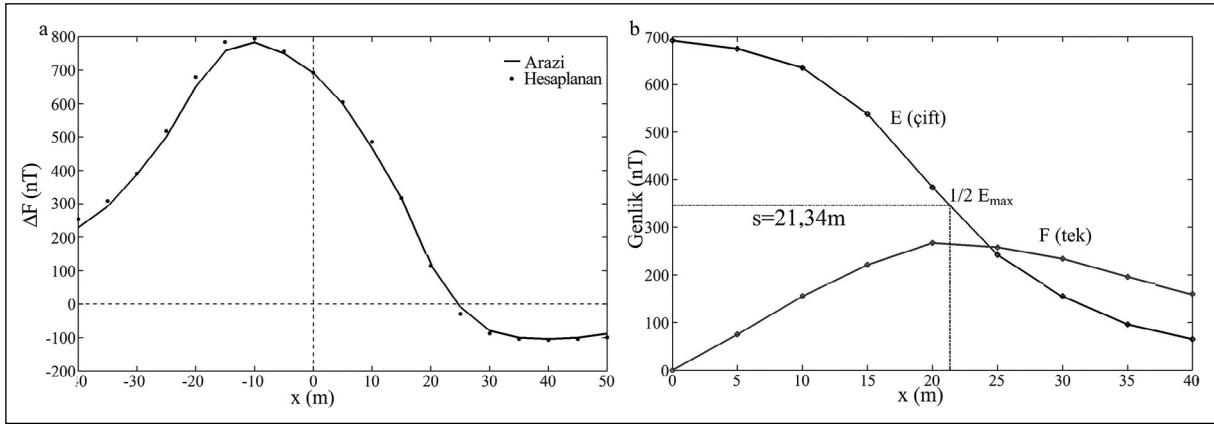
tarafından yorumlanmış veriler örneklenmiştir (Şekil 7a, düz çizgi). Daha sonra, sunulan yöntem, veriler çift ve tek bileşenlerine ayrıştırılarak uygulanmıştır (Şekil 7b).

Şekil 7b'de, çift bileşenin yarı maksimumuna ait apsis değeri  $s= 21,34$  m'dir. Sunulan yöntem,  $x= 10, 20, 30$  ve  $40$  m için çift ve tek bileşen değerleri kullanılarak uygulanmış ve Şekil 8'de verilen eğri kümesi elde edilmiştir. Kesişim noktalarından  $z=8,4$  m ve  $\theta=329^\circ$  değerleri elde edilmiştir. Bu değerler kullanılarak, Denklem 4'ten  $t=19,62$  m olarak hesaplanmıştır.

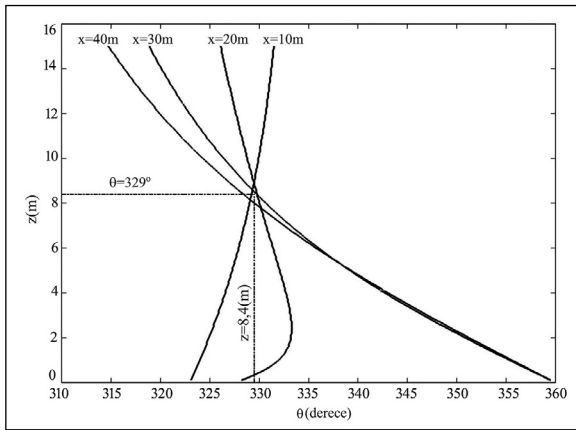
Bu aşamada, genlik katsayısı (M) haricindeki bütün parametreler elde edilmiştir. Denklem 3a kullanılarak,  $M= 346,1$  değeri hesaplanabilir ve elde edilen parametreler kullanılarak elde edilen sentetik anomali Şekil 7a'daki biçimde (noktalar) verilebilir. Şekil 7a' da görüldüğü üzere, gözlenen ve hesaplanan anomaliler oldukça benzerdir. Elde edilen değerler de daha önce Won (1981) tarafından elde edilen değerlere benzerdir ( $z= 7,97$  m,  $t= 19,7$  m,  $\theta=292,6^\circ$ ).

### 3.3. Düşey Fay Anomalisi Üzerinde Teorik Uygulama

Bu örnek için hesaplanan düşey fay anomalisi için model parametreleri olarak,  $M=500$  nT,  $z=10$  m,  $t=6$  m ve  $\theta=45^\circ$  kullanılmıştır ve Şekil 9a'da gösterilmiştir. Bu model için hesaplanmış çift ve tek bileşenler Şekil 9b'de verilmiştir.



Şekil 7- a) Bir diyabaz daykı üzerinde gözlenmiş manyetik alan (Won, 1981) anomalisi (düz çizgi) ve sunulan metot ile elde edilmiş model parametreleriyle hesaplanmış anomali değerleri (noktalar), b) arazi verilerine ait çift ve tek bileşen anomalileri.



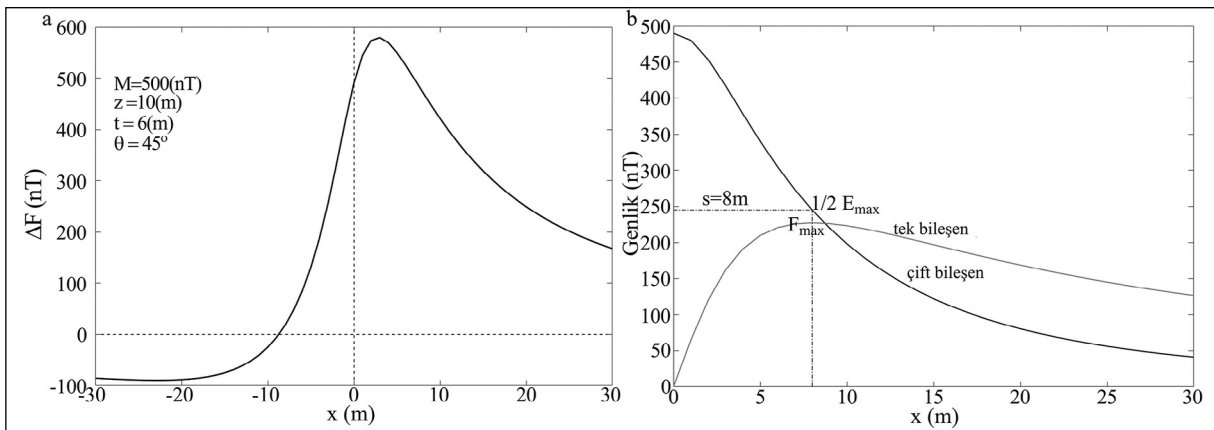
Şekil 8- Arazi anomalisinin çift ve tek bileşenlerine, önerilen yöntemin uygulanmasıyla elde edilen eğri kümesi.

Şekil 10'da verilen eğri kümesi, sunulan yöntemin  $x=[1, 12]$  m aralığı için çift ve tek bileşen anomalilerine uygulanmasıyla elde edilmiştir.

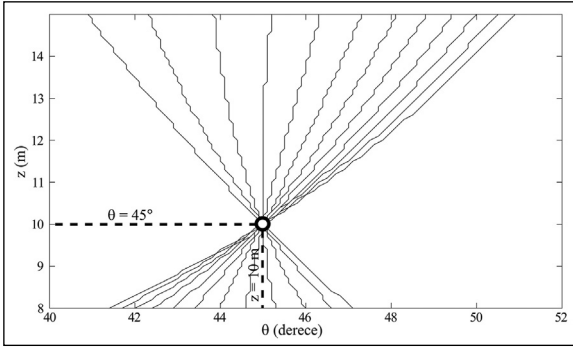
Bu eğrilerin kesişim noktaları, derinlik ( $z$ ) ve indeks parametresine karşılık gelmelidir ( $\theta$ ).

Şekil 10'da, eğrilerin kesişim noktası  $z=10$  m ve  $\theta=45^\circ$  değerini vermektedir; Şekil 9b'de  $s=8$  m değeri elde edilmiştir. Bu değerler Denklem 9'da yerine konduğunda, yarı genişlik  $t=6$  m olarak hesaplanmaktadır. Sunulan yöntemle elde edilen model parametreleri, modelin gerçek değerleri ile aynıdır.

Yöntemin verilerde gürültülü bulunması durumunda da uygulanabilirliğini göstermek için, %5 Gauss gürültüsü teorik düşey faya ait verilere eklendikten sonra işlecin sonuçları sınanmıştır. Deney, düşey fay anomalisi için de 1000 defa tekrarlanmıştır. Şekil 11'de örnek gürültülü veri gösterilmiş,  $x>0$  için tek ve çift bileşenleri sunulmuştur; Şekil 12a'da bu veri için elde edilen eğri kümesi sunulmuştur.



Şekil 9- a) Teorik düşey faya ait hesaplanan manyetik anomali, b) teorik düşey fay anomalisinden hesaplanan çift ve tek bileşenler.

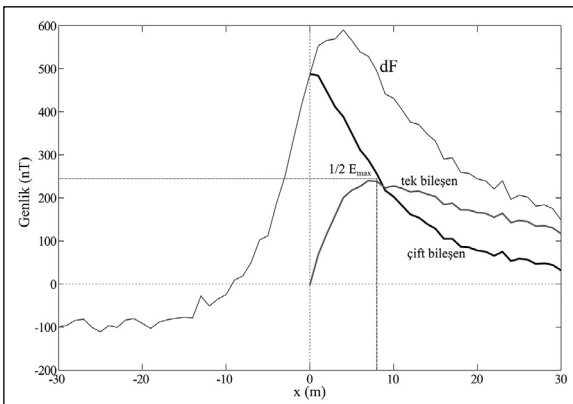


Şekil 10- Sunulan yöntemin, teorik düşey fay için çift ve tek bileşen değerlerine uygulanmasıyla elde edilen eğri kümesi.

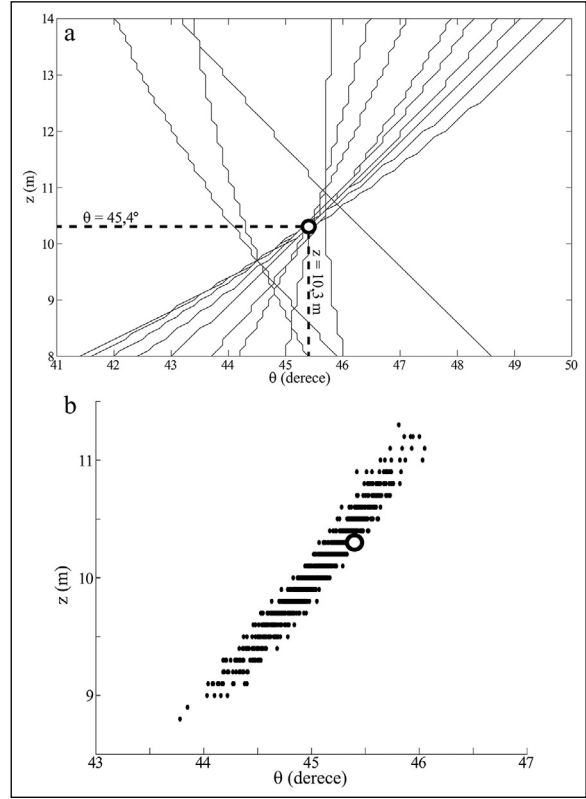
Deneyin 1000 defa tekrarlandıktan sonra elde edilen her bir  $[\theta, z]$  çifti Şekil 12b’de dağılım grafiği olarak gösterilmiştir; örnek gürültülü veri için elde edilmiş değer de bu grafik üzerinde ayrıca işaretlenmiştir. Deney, eklenen gürültü seviyesi için, elde edilen  $\theta$  değerlerinin  $[43,75; 46]$  derece arasında,  $z$  değerlerininse yaklaşık  $[8,7; 11,3]$  metre arasında değiştiği görülmektedir. Deneyden, yöntemin gürültülü düşey fay anomalilerine de başarılı bir şekilde uygulanabildiğini göstermektedir.

### 3.4. Bir Düşey Faya Ait Arazi Verisi Üzerinde Uygulama

Arazi verisi uygulaması için, Perth Baseni’nin batı sınırında toplanmış toplam manyetik alan anomalisi (Atchuta Rao ve Ram Babu, 1981) 2 km aralıkla örneklenerek, anomali; çift ve tek bileşenine ayrıştırılmıştır (Şekil 13b).



Şekil 11- Teorik düşey fay için hesaplanmış %5 Gauss gürültüsü eklenmiş manyetik anomali (dF) ve  $x>0$  için bu anomaliye ait çift ve tek bileşenler.



Şekil 12- a) %5 Gauss gürültülü verilere yöntemin uygulanmasıyla elde edilmiş eğri kümesi ve b) gürültülü anomaliye yöntemin uygulanmasıyla elde edilen  $[\theta, z]$  çiftlerinin dağılımı (1000 deneme için). Örnek gürültülü veriler için elde edilmiş  $[\theta, z]$  çifti daire ile gösterilmiştir.

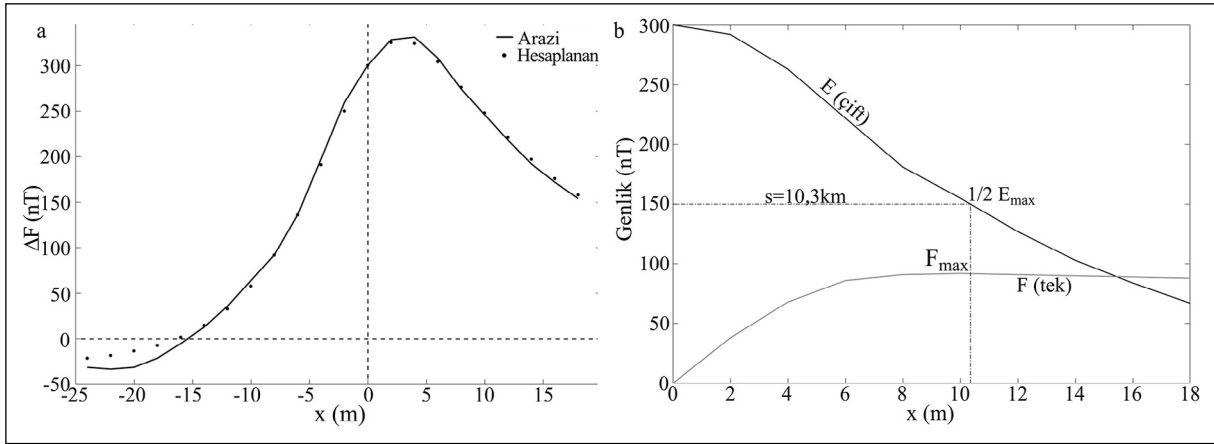
Anomalinin çift ve tek bileşenlerine ayrıştırılmasıyla,  $s= 10,3$  km değeri, çift bileşenin yarı maksimumu ve tek bileşenin apsis değerlerinden elde edilmiştir (Şekil 13b). Sunulan yöntem,  $x=2, 4, 6$  ve  $8$  km için çift ve tek bileşenlere uygulandığında, Şekil 14’de verilen eğri kümesi elde edilmiştir. Kesişim noktalarından  $z= 11$  km ve  $\theta=33^\circ$  değerleri elde edilmiştir; Denklem 12 uygulanarak da  $t= 4,12$  olarak hesaplanmıştır. Elde edilen parametrelerden hesaplanan anomali Şekil 13a’da noktalarla gösterilmiştir.

Şekil 13a’da, gözlenen ve hesaplanan veriler arasındaki uyumun iyi olduğu gözlenmektedir ve elde edilen model parametreleri, daha önce Qureshi ve Nalaye (1978) ve Atchuta Rao ve Ram Babu (1981) çalışmalarında elde edilmiş değerlere benzerdir.

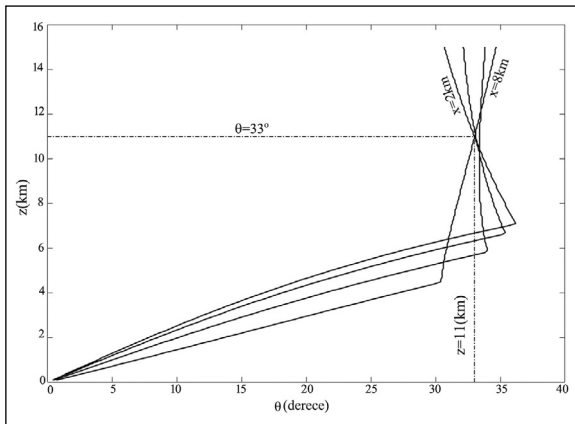
## 4. Tartışma

Yeraltının geometrik ayrıklaştırılmasına dayanan çok boyutlu ters çözüm yöntemlerinin, modern





Şekil 13- a) Perth Baseni'nin batı sınırında toplanmış toplam manyetik alan anomalisi (Atchuta Rao ve Ram Babu, 1981; düz çizgi) ve önerilen yöntemin uygulanmasıyla elde edilmiş model parametreleri kullanılarak hesaplanmış anomalisi (noktalar) ve b) düşey fay için arazi verisine ait çift ve tek bileşen değerleri.



Şekil 14- Sunulan yöntemin uygulanmasıyla elde edilmiş eğri kümesi.

yazılım ve yöntemlerle yaygın şekilde uygulanır hale gelmesine karşın, manyetik alan verilerinin yeterli derinlik çözünürlüğü sunamaması nedeniyle, yapıların dalımlarının ve derinliklerinin belirlenmesi görece zordur. Bu nedenle, basit kaynak geometrileri ile grafik ve ters çözüm yöntemleri kullanarak, varsayılan model parametrelerinin elde edilmesi hala uygulanmaktadır.

Bu çalışmada uygulanan yöntem, grafik tabanlı bir yaklaşımla model parametrelerini, ölçülen verinin çift ve tek bileşenlerinden elde etmektedir. Aynı yaklaşım, en küçük kareler ters çözümü ile de uygulanabilir olmasına karşın, hesaplamaların hızlı olması ve varsayılan kaynak geometrileri için çok çözümlülüğün görece az olması nedeniyle grafik yöntemi ile arama da eşit derecede yeterlidir.

Yöntem, dayk ve düşey faylara ait derinlik, yarı genişlik ve indeks parametrelerini belirleyebilmektedir. Yöntem, gözlenen manyetik alan anomalisinin çift ve tek bileşenleri kullanılarak uygulanmaktadır. Yöntemde, herhangi x mesafesi için çift ve tek bileşenlerin oranı kullanılmaktadır; bu değer genlik katsayısından bağımsızdır. İşlecin amacı, farklı x mesafeleri için gözlenen verilerden elde edilen değerler ve farklı  $[\theta, z]$  çiftleri için elde edilmiş teorik değerler arasındaki farkın en küçüklenmesidir (minimizasyonu). Gerçek parametrelerin, bu farkı her mesafe değeri için en küçüklemesi beklendiğinden, parametreler farklı x mesafeleri için elde edilen eğrilerin kesişim noktasından belirlenebilir. Daha sonra, yarı genişlik değeri Denklem 4'den elde edilmektedir. Sunulan bu yöntemin, hem dalımlı dayk hem de düşey fay modelleri için geçerliliği, gürültülü ve gürültüsüz teorik veriler kullanılarak gösterilmiştir.

Sunulan yorumlama yönteminin, düşey fay için arazi verisine uygulanmasıyla elde edilen model parametreleri, Qureshi ve Nalaye (1978), Achuta Rao ve Ram Babu (1981) çalışmalarında gerçekleştirilen yorumlarla uyumludur. Düşey fay verisi için elde edilen sonuçlar, Çizelge 3'te önceki çalışmalarla kıyaslanmıştır.

Dayk anomalisi için elde edilen parametreler, Won (1981) ile kıyaslandığındaysa, dalım açısı dışındaki bütün parametrelerin oldukça yakın olduğu gözlenmektedir. Ancak, gözlenen ve hesaplanan veriler arasındaki benzerlik (Şekil 7), dalım açısında

Çizelge 3- Düşey faya ait arazi verisi için bu çalışmada elde edilen model parametreleri ve önceki çalışmaların sonuçları.

Parametre	Qureshi ve Nalaye (1978)	Achuta Rao ve Ram Babu (1981)	Bu çalışmada sunulan metot
km cinsinden üst derinlik (z)	6,85	7,2	6,88
km cinsinden üst derinlik (z)	6,30	7,9	
km cinsinden alt derinlik (H)	11,55	14,4	15,12
km cinsinden alt derinlik (H)	16,50	15,7	
Derece cinsinden $\theta$	-330	-315	-327 (33)

gözlenen farklılığın kabul edilebilir sınırlar içinde olduğunu göstermektedir.

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada, dalımlı dayk ve düşey faylara ait manyetik alan anomalilerinden, model parametrelerini belirleyebilen bir grafik yöntemi sunulmuştur. Gürültüstüz ve %5 gürültü eklenmiş teorik örnekler, sunulan yöntemin ilgili model parametrelerini belirleyebildiğini ortaya koyarak yöntemin geçerliliğini göstermiştir.

Arazi verileri için gerçek model parametreleri bilinmeyeceğinden, arazi verileri önceden yorumlanmış örnekler arasından seçilmiştir. Bu nedenle, Won (1981)'de verilen, Kuzey Carolina, ABD' de Durham Triyasik Baseni'nde bir diyabaz daykına ait veriler ve Achuta Rao ve Ram Babu (1981)'da verilmiş olan, Perth Baseni'nin batı sınırında bir düşey faya ait veriler incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, bu çalışmada önerilen grafik yöntemi model parametrelerini önceki çalışmalara yakın bir şekilde belirleyebilmektedir. Gözlenen tek istisna, diyabaz daykına ait veriler için elde edilen indeks parametresinin Won (1981)'de verilen sonuçlara göre 36,4° farklı olmasıdır. Ancak, gözlenen ve hesaplanan veriler arasındaki benzerlik, bu farkın kabul edilebilir aralıkta olduğunu göstermektedir. Bu dayk için elde edilen diğer parametreler, Won (1981)'deki değerlere oldukça yakındır. Düşey fay üzerinde toplanmış veriler, birçok araştırmacı tarafından yorumlandığı için sonuçların daha detaylı bir kıyaslaması yapılabilmektedir. Sonuçlar karşılaştırıldığında, yöntemin düşey faya ait tüm parametreleri başarıyla elde edebildiği gözlenmiştir.

Teorik ve arazi verileri ile gerçekleştirilen çalışmaların sonuçları, sunulan grafik yönteminin,

dalımlı dayk ve düşey faylara ait model parametrelerini başarılı bir şekilde belirlediğini ortaya koymaktadır.

## Katkı Belirtme

Bu çalışma, üniversiteye adım attığımızdan beri bizi evlatlarından ayırmayan ve yol gösteren, bir eğitimci ve araştırmacı olarak bize ilham veren hocamız, Prof. Dr. İbrahim KARA'nın anısına adanmıştır.

## Değinen Belgeler

- Abdelrahman, E. M., Essa, K. S. 2015. A new method for depth and shape determinations from magnetic data. *Pure and Applied Geophysics* 172(2), 439-460.
- Abo-Ezz, E. R., Essa, K. S. 2016. A least-squares minimization approach for model parameters estimate by using a new magnetic anomaly formula. *Pure and Applied Geophysics* 173(4), 1265-1278.
- Atchuta Rao, D., Ram Babu, H. V. 1981. Nomograms for rapid evaluation of magnetic anomalies over long tabular bodies. *Pure and Applied Geophysics* 119(5), 1037-1050.
- Bhimasankaram, V. L. S., Mohan, N. L., Seshagiri Rao, S. V. 1978. Interpretation of magnetic anomalies of dikes using Fourier transforms. *Geoexploration* 16(4), 259-266.
- Essa, K. S., Elhussein, M. 2017. A new approach for the interpretation of magnetic data by a 2-D dipping dike. *Journal of Applied Geophysics* 136, 431-433.
- Hutchison, R. D. 1958. Magnetic analysis by logarithmic curves. *Geophysics* 23(4), 749-769.
- Kara, İ. 1997. Magnetic interpretation of two-dimensional dikes using integration- nomograms. *Journal of Applied Geophysics* 36(4), 175-180.
- Kara, İ., Özdemir, M., Yüksel, F. A. 1996. Interpretation of magnetic anomalies of dikes using correlation

- factors. *Pure and Applied Geophysics* 147(4), 777-788.
- Parker Gay, S. 1963. Standard curves for interpretation of magnetic anomalies over long tabular bodies. *Geophysics* 28(2), 161-200.
- Qureshi, I. R., Nalaye, A. M. 1978. A method for the direct interpretation of magnetic anomalies caused by two-dimensional vertical faults. *Geophysics* 43, 179-188.
- Rao, B. S. R., Murthy, I. V. R., Visweswara Rao, C. 1973. Two methods for computer interpretation of magnetic anomalies of dikes. *Geophysics* 38(4), 710-718.
- Won, I. J. 1981. Application of Gauss's method to magnetic anomalies of dipping dikes. *Geophysics* 46(2), 211-215.

