

GRAVİTE VE MAGNETİK ÖLÇÜMLERİN YATAY DÜZLEME İNDİRGENMESİ

REDUCTION OF GRAVITY AND MAGNETIC MEASUREMENTS TO A HORIZONTAL PLANE

Ali İsmet KANLI, Mustafa ÖZDEMİR ve İbrahim KARA

İ. Ü. Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 34850 Avcılar-İstanbul.

ÖZ: Bu çalışmada, Gravite ve Magnetik verilerinin yatay düzleme indirgenmesiyle ilgili model çalışmaları sunulmuştur. Yatay düzleme indirgeme, diğer bir deyişle topoğrafik düzeltme adı altında yapılan bu çalışmada iki farklı yaklaşım kullanılmıştır. Bunlardan ilki; düzenli aralıklarla ölçülmüş verilere uygulanan indirgeme metodu, ikincisi ise; düzensiz aralıklarla ölçülmüş verilere uygulanan indirgeme metodudur. Düzenli aralıklarla alınan verilere uygulanan indirgeme yönteminde Fourier Transformu temel alınmış, düzensiz aralıklarla alınan verilere uygulanan indirgeme yönteminde ise Sonlu Harmonik Seriler temel alınarak birer yaklaşım yöntemi sunulmuştur. Her iki yöntemde de, konuya açıklık getirmek için farklı topoğrafya ve modeller kullanılmıştır. Kullandığımız her iki yöntemde iğçer adet model çalışması yapılarak yorum aşamasında önemli ölçüde kolaylık sağlayan ve yanılığı payını büyük ölçüde azaltan topoğrafik düzeltme işleminin önemi açıklanmaya çalışılmıştır.

ABSTRACT: In this study the theoretical model of studies are presented about the reduction of the gravity and magnetic data to a horizontal plane.

Two different approaches have been used in this study by the names of "the reduction to a horizontal plane", in other words "topographic correction". The first of these is the reduction method applied to the datas measured in the evenly spaces and the latter is the reduction method applied to the datas measured in the unevenly spaces. These approach processes are presented by taking "The Finite Harmonic Series" as the base in the reduction method applied to the data measured in the evenly spaces and by taking "The Finite Harmonic Series" as the base in the reduction method applied to the data measured in the unevenly spaces. In both methods different topographies and models are used to clarify the subject.

In both methods that are used the importance of the transaction of topographic corrections is tried to be stated by making three model studies, which brings facility to a great extent on the phase of the interpretation and which reduces the lot of the mistakes.

GİRİŞ

Gravite ve Magnetik çalışmalardaki önemli bir konuda, verilerin belirli bir düzleme indirgenmesidir. Gravite ve Magnetik verilerin çoğu, engebeli bir yüzey üzerinde ölçülür fakat yorum yöntemlerinin hemen hepsi yatay bir düzlem için geçerlidir. Hem Gravite hem de Magnetik yöntemlerde, bilinen tüm düzeltme işlemleri tamamlandıktan sonra yorumların doğruluğu için verilerin belirli bir düzleme indirgenmesi gerekmektedir.

Konuyla ilgili yapılan önceki çalışmalarda problemelere değişik yaklaşımlarda bulunulmuştur (Bhattacharya, 1965; Tsuboi, 1965; James, 1966; Henderson ve Cordell, 1971; Ergün, 1984).

Yapılan çalışmada, Gravite ve Magnetik ölçümlerin yatay düzleme indirgenmesi için iki farklı yaklaşım sunulmuştur. Bunlardan ilki; düzenli aralıkta alınan veriler için Fourier metodlarının kullanımı, diğer yaklaşım ise;

düzensiz aralıkta alınan veriler için en küçük kareler ve matrix metodlarından hesaplanan katsayıların yardımıyla Sonlu Harmonik Serilerin kullanımınıdır. Her iki yöntemde de topoğrafyanın etkisiyle oluşan anomalilerdeki istenmeyen etkiler giderilmeye çalışılmıştır. Konuya ışık tutmak için 6 ayrı model üzerinde çalışma yapılmıştır. Model olarak; silindir, gelişigüzel şekle sahip bir yapı ve magnetik dayk kullanılmıştır. İlk önce düzenli aralıklarda alınan veriler, sonrada düzensiz aralıklarda alınan veriler için değişik topoğrafyalar kullanılarak konuya açıklık getirilmeye çalışılmıştır.

Önemli diğer bir konu; indirgeme işlemleri sırasında sıkça karşılaşılan ve anomalilerde büyük ölçüde bozulmalara sebep olan gibbs olayı adını verdiğimiz yanılığıcı gürültülerin düzeltilmesi ve her iki yöntem için farklı yaklaşımlar kullanılarak hesaplanan kesme dalğa sayılarının bulunmasıdır. İndirgeme işlemlerine bu aşamalar tamamlandıktan sonra geçilmektedir.

Sonlu Harmonik Seriler:

Lineer harmonik fonksiyonların sınırlı sayıda eklenmesiyle gravite anomalisine şu şekilde bir yaklaşımda bulunabilir,

$$g(x, z) = A_0/2 + \sum_{k=1}^M e^{2k\pi(z/\lambda)} [A_k \cos 2k\pi(x/\lambda) + B_k \sin 2k\pi(x/\lambda)] + \varepsilon_M \quad (1)$$

burada λ , veri noktalarının sayısı $2m+1$ 'den az veya eşit olduğu durumda, verilerin yanal dizilimiyle hesaplanan asıl dalga boyudur. A_k ve B_k , verilerden hesaplanabilen $2m+1$ katsayılarını, $\varepsilon_M(x, z)$ ise yaklaşımdaki hataları göstermektedir. İstasyonlar düzgün aralıkta ve veriler $z=0$ düzleminde olduğunda, formül (1) alışımlı sonlu Fourier Serilerini ifade etmektedir. Daha sonra (λ) uzunluğundaki trigonometrik fonksiyonların ortogonal özellikleri incelenerek A_k ile B_k standart formüllerden hesaplanır. Düzensiz aralıkta ölçülen veriler nedeniyle ortogonal özellikler uygulanamaz, çünkü veriler düzensiz aralıktadır ve exponansiyel faktörler karmaşıktır. A_k ve B_k katsayılarını tayin etmek için başka orantıların bulunması gerekir. Veri noktalarının herbirine (1) eşitliği uygulanarak $2m+1$ bilinmeyenli A_k ve B_k katsayılarından bir grup N eş zamanlı eşitlik elde edilir.

$$g(x, z) = A_0/2 + \sum_{k=1}^M e^{2k\pi(z_i/\lambda)} [A_k \cos 2k\pi(x_i/\lambda) + B_k \sin 2k\pi(x_i/\lambda)] + \varepsilon_{i,M} \quad (2)$$

(2) eşitliğinde bilinen değerler sol taraftadır. $2m+1 \leq N$ olduğu için denklem genellikle Enküçük Kareler metoduyla çözümlenmelidir. Denklem aşağıdaki basitleştirilmiş şekilde yazılabilir.

$$g_i = \sum_{k=1}^{2M+1} c_{i,k} \alpha_k + \varepsilon_{i,M} \quad (3)$$

$$\text{Burada, } \alpha_k = \begin{cases} A_0/2, & k = 1; \\ A_{k-1}, & 2 \leq k \leq M+1; \\ B_{k-M-1}, & M+2 \leq k \leq 2M+1; \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{Ve, } c_{i,k} = \begin{cases} e^{2x(k-1)z_i/\lambda} \cos[2\pi(k-1)x_i/\lambda], & 1 \leq k \leq M+1; \\ e^{2\pi(k-1)z_i/\lambda} \sin[2\pi(k-1)x_i/\lambda], & M+2 \leq k \leq 2M+1. \end{cases} \quad (5)$$

Şeklinde elde edilebilir.

(3) nolu denklemi aşağıdaki gibi matrix gösterilimiyle yazabiliriz,

$$\begin{bmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \vdots \\ g_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & \dots & C_{1,2M+1} \\ C_{2,1} & C_{2,2} & \dots & C_{2,2M+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{N,1} & C_{N,2} & \dots & C_{N,2M+1} \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_{2M+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1,M} \\ \varepsilon_{2,M} \\ \vdots \\ \varepsilon_{N,M} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Asıl problem $\sum_{i=1}^N \varepsilon_{i,M}^2$ 'yi minimum yapan α_k 'ları bulmaktır.

$$G = C' \alpha + \varepsilon \quad (7)$$

Sembolik olarak, (6) eşitliği şu şekilde yazılabilir,

Rezidüellerin karelerinin toplamını minimum yapan α grubunu, $\hat{\alpha}$ ile belirtecek olursak eşitlik şu şekilde yazılabilir,

$$(C' C) \hat{\alpha} = (C' G), \quad (8)$$

Burada, C' , C matrisinin transpozisini ifade etmektedir. (8) eşitliğinin çözümü şu şekilde yazılabilir,

$$\hat{\alpha} = (C' C)^{-1} (C' G) \quad (9)$$

(9) eşitliğinde gösterildiği gibi çözüm çarpımın ardından matrix ters çözümünü içermektedir, işlemler hızlı bilgisayarlarla kolayca yapılır. (9) eşitliğinden $\hat{\alpha}$ 'yı hesapladıktan sonra,

$$\hat{g}_{i,M} = \sum_{k=1}^{2M+1} c_{i,k} \hat{\alpha}_k \quad (10)$$

eşitliğinden yararlanarak, ölçüm değerlerine en iyi yaklaşımı hesaplamış oluruz. İlk $M+1$ katsayıları olan α_k dan A_k , son M katsayıları olan α_k 'dan ise B_k hesaplanır. İstenen eşitlik şu şekilde yazılabilir,

$$\hat{g}_{i,M} = A_0/2 + \sum_{k=1}^M e^{2k\pi(z_i/\lambda)} [A_k \cos 2k\pi(x_i/\lambda) + \hat{B}_k \sin 2k\pi(x_i/\lambda)] \quad (11)$$

Böylece katsayılar tayin edilmiş olur. İstenen düzlemdeki anomalii elde etmek için topoğrafyaya ait olan (z) değerlerini (10) ve (11) eşitliklerine ekleriz. (Henderson ve Cordel, 1971).

GİBSS OLAYI:

Trigonometrik seriler yaklaşımı asıl dalga boyu (λ) nın bulunduğu ve kendi kendine tekrar eden periyodik verileri kapsamaktadır. Potansiyel alan verileri genelde bu yolla tekrar edilmediğinden dolayı çözümlerin içinde

hatalar yer alır. Bu durum özellikle sınır noktaları olan $x=0$ (merkezde) ve $x=\lambda$ 'nın bulunduğu bölgelerde belirgin bir şekilde göze çarpmaktadır. $g(0, z)$ ve $g(\lambda, z)$ değerlerinde, amplitüdlerdeki aşırı farklılıklar yüzünden yüksek dalga sayılı titreşimler meydana gelir.

$x=\lambda$ hattındaki profilleri, sonlu cosinüs serilerine açarak istenmeyen titreşimleri elimine ettiğimiz düz bir fonksiyonun eldesinde kullanırız. Bu durumda serilerin gösterimi,

$$g(x, z) = \alpha_1 / 2 + \sum_{k=2}^{2M+1} \alpha_k e^{\pi(k-1)z/\lambda} \cdot \cos [\pi(k-1)x / \lambda] + \varepsilon_{i,M}(x, z) \quad (12)$$

şeklinde yazılabilmektedir.

Veri noktalarında (12) eşitliği şu şekilde ifade edilebilir,

$$g(x_i, z_i) = \alpha_1 / 2 + \sum_{k=2}^{2M+1} \alpha_k e^{\pi(k-1)z_i/\lambda} \cdot \cos [\pi(k-1)x_i / \lambda] + \varepsilon_{i,M} \quad (13)$$

Burada $i = 1, 2, \dots, N$ ve $2M + 1 \leq N$ olmalıdır.

(13) denklemi ilk önce her N veri noktasına (x_i, z_i) , daha sonra $\hat{\alpha}_k$ için hesaplanan, (8) denklemindeki eşitlik gurubuna uygulanır. Bu gibbs metodu, özellikle $x=\lambda$ noktasındaki türevde oldukça iyi sonuçlar vermektedir (Henderson ve Cordel, 1971).

Düzenli Aralıkta Ölçülen Verilerin Yatay Düzleme İndirgenmesi İle İlgili Model Çalışmaları ve Kesme Dalga Sayılarının Hesaplanması

Verilerin periyodik olması nedeniyle, düzenli aralıkta ölçülmüş potansiyel alan verilerinin istenilen yatay düzleme indirgenmesi Fourier dönüşümü ile kolaylıkla yapılabilmektedir. Fourier dönüşümü yardımı ile teorik olarak hesaplanan gravite ve magnetik verilerin frekans ortamına dönüşümü, hazırlanan bilgisayar programları yardımıyla yapılır. Reel ve imajinel bileşenlerine ayrılan veriler, indirgenmesi istenen yatay düzleme ait (z) değerleri ile bire bir çarpılarak anomali değerlerimizin frekans ortamındaki görünümü elde edilmiş olur. Bu değerlerin ters fourier dönüşümü alınarak, tekrar uzunluk (zaman) ortamındaki anomali değerleri elde edilir. Bu sayede istenilen yatay düzleme, ölçü değerleri indirgenmiş ve topoğrafyadan kaynaklanan etkiler verilerden arındırılmış olur.

Yalnız burada değinilmesi gereken bir başka önemli konuda, bu dönüşümler sırasında özellikle $x=0$ (merkezde) ve $x=\lambda$ (uç noktalarda) gibss olayı adı verilen, istenmeyen etkilerin meydana gelmesidir. Bu etkileri ölçüm değerlerinden arındırmak için kesme dalga sayısının (M) tespit edilmesi gerekmektedir. Fourier dönüşümü ile he-

saplanan amplitüd değerlerimize karşılık gelen (M) değerleri grafiklenerek (Şekil 2, 4, 6) uygun olan kesme dalga sayısı bulunur. Bu sayede istenmeyen yüksek dalga sayılı etkiler hesaplanan M değerleri yardımıyla elimine edilmiş olur.

Silindir Modeli

Silindir modeliyle ilgili yapılan çalışmada, 33 adet veri noktasında ikişer birim aralıkla hesaplamalar yapılmıştır. Varlığı kabul edilen silindir modelinin kütlesi $M=100$ birim, indirgeme düzlemine olan derinliği $h=5$ birim olarak alınmıştır. Modele ait hesap değerleri tablo 1'de verilmiştir. Şekil 1'de gösterildiği gibi kesikli çizgilerle ifade edilen g_i anomalisi istenen yatay düzleme ait gerçek gravite anomalisini, düz çizgiyle gösterilen g_T anomalisi indirgenmesi istenen topoğrafik etkileri içeren anomaliiyi, küçük dairelerle gösterilen g_h anomalisi ise hesaplanan ve yatay düzleme indirgenen gravite anomalisini ifade etmektedir.

Şekil 1'de alt kısımda, indirgeme düzlemi üzerinde alınan teorik topoğrafya ve ona ait olan (z) derinlikleri verilmiştir. Silindirin merkezi $x=0$ (merkezde) kabul edilmektedir. Tablo 1'de (x) ile gösterilen değerler veri noktalarının silindirin merkezine olan mesafelerini, (z) değerleri ise topoğrafik yükseklikleri gösterir. Bunlara ek olarak modele ait $g_T(x,z)$, $g_i(x,0)$ ve $g_h(x,0)$ anomali değerleri ve yapılan % hata oranlarında hesaplanarak tablo 1'de verilmiştir.

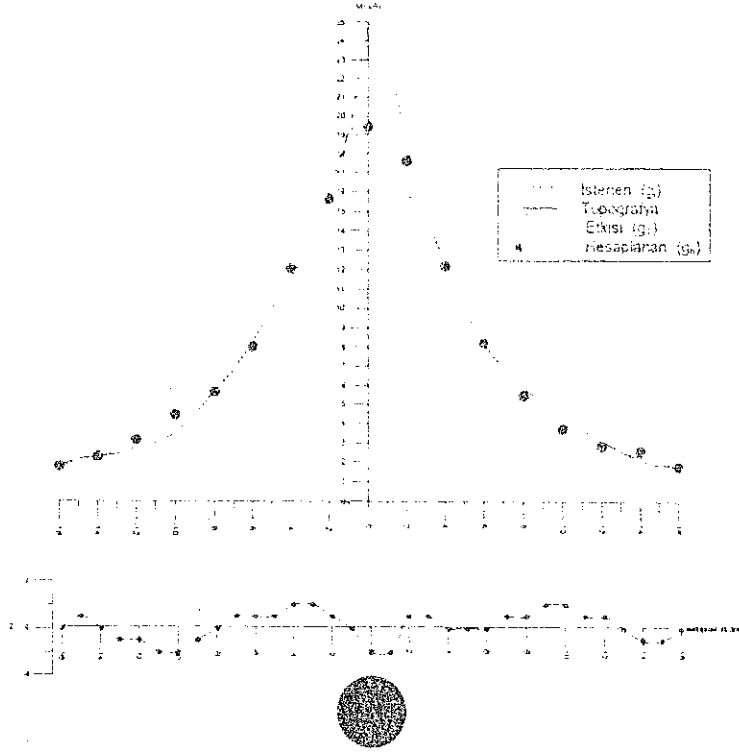
Şekil 1'de görüldüğü gibi, özellikle silindirin merkezine karşılık gelen $x=0$ noktaları civarında meydana gelen anomali bozuklukları düzeltilmeye çalışılmıştır. Hesaplanan sonuçların $(g_h(x,0))$ bulunması istenen gerçek gravite anomalisine ait değerlere $(g_i(x,0))$ olan yakınlığı (özellikle yüksek topoğrafik bölgelerde) dikkati çekmektedir.

Hesaplamalar yapılırken gibbs olayını ortadan kaldırmak için kullanılan kesme dalga sayısına ait grafik şekil (2) de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi kesme dalga sayısı $M=8$ olarak alınmıştır. Burada düşey eksen Amplitüd yatay eksen kesme dalga sayısını (M) ifade etmektedir.

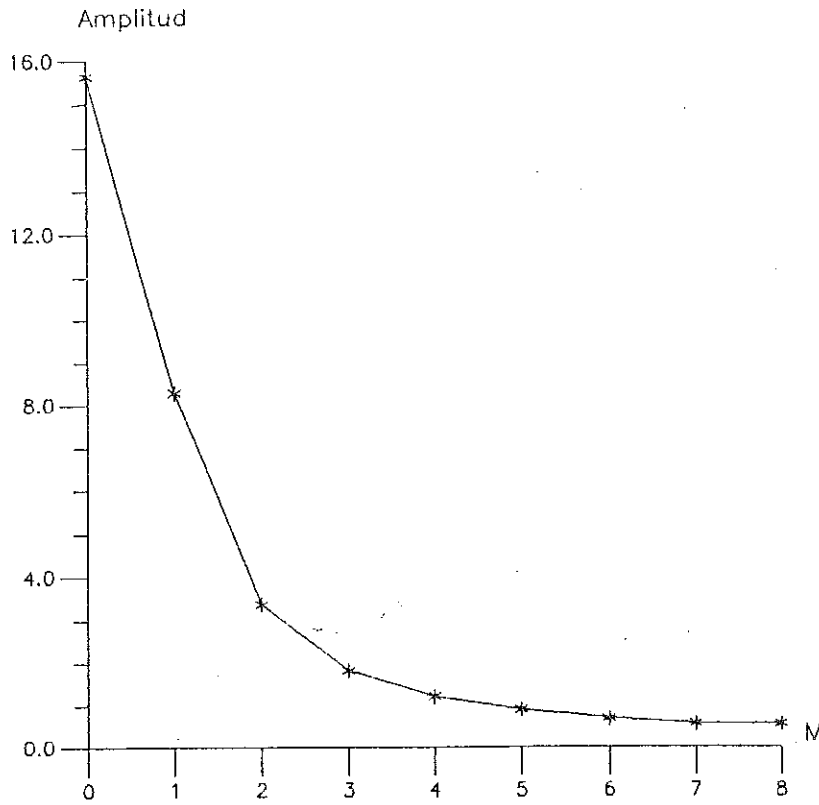
Gelişigüzel Şekle Sahip Yapı Modeli

Yeraltında varlığı kabul edilen $n=7$ kenarlı gelişigüzel şekle sahip poligonik yapının hesaplamaları Talwani yöntemiyle yapılmıştır. Yapıya ait yoğunluk kontrastı 1, veri nokta sayısı 29, profil uzunluğu 28 km seçilmiştir.

Şekil 3'de gösterildiği gibi bulunmak istenen gravite anomalisi g_i kesikli çizgilerle, topoğrafya etkisini içeren anomali g_T düz çizgilerle, hesaplanan indirgenmiş değerlere ait anomali g_h ise küçük dairelerle gösterilmiştir. Şeklin alt kısmında teorik olarak alınan topoğrafya ve ölçekli olarak çizilen poligonik yapı görülmektedir.



Şekil 1. Silindir modeli.



Şekil 2. Silindir modeli için, kesme dalga sayısı tayini ($M=8$).

Tablo 1. Silindir modeline ait değerler.

x	z	$g(x,0)$	$g_T(x,z)$	$g_h(x,0)$	% Hata $g_T(x,z)$	% Hata $g_h(x,0)$
-16	0	1.779	1.779	1.779	0	0
-15	0.5	2	2.155	-	7.750	-
-14	0	2.262	2.262	2.262	0	0
-13	-0.5	2.577	2.378	-	-7.722	-
-12	-0.5	2.959	2.74	3.123	-7.401	5.542
-11	-1	3.425	2.92	-	-14.745	-
-10	-1	4	3.448	4.427	-13.800	10.675
-9	-0.5	4.717	4.444	-	-5.788	-
-8	0	5.618	5.618	5.618	0	0
-7	0.5	6.757	6.94	-	2.708	-
-6	0.5	8.197	8.302	8.024	1.281	-2.110
-5	0.5	10	9.955	-	-0.450	-
-4	1	12.195	11.538	12.058	-5.387	-1.123
-3	1	14.706	13.333	-	-9.336	-
-2	0.5	17.241	16.058	15.636	-6.862	-9.309
-1	0	19.231	19.231	-	0	-
0	-1	20	25	19.433	25	-2.834
1	-1	19.231	23.529	-	22.349	-
2	0.5	17.241	18.557	17.617	7.633	2.180
3	0.5	14.706	15.385	-	4.617	-
4	0	12.195	12.195	12.195	0	0
5	0	10	10	-	0	-
6	0	8.197	8.197	8.197	0	0
7	0.5	6.757	6.94	-	2.708	-
8	0.5	5.618	5.836	5.444	3.880	-3.097
9	1	4.717	5.128	-	8.713	-
10	1	4	4.412	3.703	10.300	-7.424
11	0.5	3.425	3.636	-	6.161	-
12	0.5	2.959	3.156	2.817	6.658	-4.798
13	0	2.577	2.577	-	0	-
14	-0.5	2.262	2.081	2.544	-8.002	12.466
15	-0.5	2	1.835	-	-8.250	-
16	0	1.779	1.779	1.779	0	0

Tablo 2'de 2'şer birim aralıkla hesaplanan g_h , g_T , ve g_i anomali değerleri topluca gösterilmiştir. X veri noktalarını, z ise derinlikleri vermektedir.

Yapımıza ait koordinatlar (km) ise ,

1. noktanın koordinatları (x, z) : 9, 5.5
2. noktanın koordinatları (x, z) : 12, 3.5
3. noktanın koordinatları (x, z) : 14, 4
4. noktanın koordinatları (x, z) : 17, 5
5. noktanın koordinatları (x, z) : 16, 6
6. noktanın koordinatları (x, z) : 13, 7
7. noktanın koordinatları (x, z) : 10, 6.5

şeklinde alınmıştır.

Kesme dalga sayısının bulunması ile ilgili grafik, şekil 4'de verilmiştir. Kesme dalga sayısı $M=5$ olarak alınmıştır.

Şekil 3'de görüldüğü gibi istenilen g_i gravite anomalisine yakınlığı açısından hesaplanan g_h anomalisi oldukça iyi bir uyum göstermektedir.

Magnetik Dayk Modeli

Yapılan çalışma Gravite yönteminde olduğu gibi Magnetik yöntemlerde uygulanabilmektedir. Kullanılan magnetik dayk modelimize ait parametreler,

Amplitüd katsayısı $C=10$

Magnetik daykın yarı genişliği $b=1$

İndex parametresi $\theta=60$

Derinlik $h=6$

olarak alınmıştır.

Şekil 5'de kesikli çizgiyle gösterilen g_i bulunmak istenen magnetik daykın düşey anomalisini, düz çizgilerle gösterilen g_T topoğrafik etkileri içeren anomaliyi, küçük dairelerle gösterilen g_h anomalisi hesaplanan değerleri ifade etmektedir. Teorik olarak alınan topoğrafya ile magnetik dayk, şeklin altında gösterilmiştir.

Tablo 3'de 41 adet veri noktasına ait x değerleri, z derinlikleri, $g_i(x,0)$ istenen gerçek anomali değerleri, $g_T(x, z)$ topoğrafya etkilerini içeren anomali değerleri ve $g_h(x, 0)$ hesaplanan anomali değerleri verilmiştir. g_T ve g_h anomali değerlerine ait % hatalar tabloda gösterilmiştir. Kesme dalga sayısının saptanması için çizilen grafik, şekil 6'da gösterilmiştir. Kesme dalga sayısı $M=6$ olarak alınmıştır.

Şekil 5'de görüldüğü gibi hesaplanan g_h magnetik anomali ile bulunmak istenen g_i gerçek magnetik anomali değerlerinin benzerliği göze çarpmaktadır. Topoğrafik etkiden kaynaklanan bozulmalar giderilerek istenilen yatay düzleme indirgeme yapılmış olur.

Düzensiz Aralıkta Ölçülen Verilerin Yatay Düzleme İndirgenmesi ile İlgili Model Çalışmaları ve Kesme Dalga Sayılarının Hesaplanması

Bu bölümde yapılan model çalışmalarına ait verilerin hepsi gelişigüzel aralıklarda alınmıştır. Bu nedenle düzenli aralıkta ölçülen değerlerle yapılan çalışmalara nazaran daha kompleks matematiksel analizleri içermektedir. Kullanılan indirgeme yöntemi; En Küçük Kareler ve Matrix metodlarından hesaplanan katsayıların yardımıyla, Sonlu Harmonik Seriler yaklaşımı temel alınarak yapılmıştır. Bilinen Fourier metodları burada uygulanamaz çünkü düzensiz aralıkta alınmış veriler ile bunların rölatif yer değiştirmeleri, trigonometrik fonksiyonların diksel (ortagonal) özelliklerinin kullanımını engellemektedir.

Yöntemde kesme dalga sayılarının hesabı ise şu şekilde yapılmaktadır. Serilerde kullanılacak terimlerin sayısı ile (12) ve (13) eşitliklerindeki M değerleri rezidüel değişim tahminlerinden (S^2_M) deneysel olarak hesaplanabilir. Eğer terimler yetersiz sayıda alınmış ise rezidüel değişim tahmini normalden daha fazla bir büyüklüğe sahip olabilir. (12) eşitliği için rezidüel değişim tahmini, ile verilir. Rezidüel değişim tahmini S^2_M 'ye karşılık gelen M değerlerinin grafiklenmesi yoluyla elde edilen eğ-

$$S^2_M = [1/(N - 2M - 1)] \sum_{i=1}^N (g_i - \hat{g}_{i,M})^2 \quad (14)$$

rinin minimuma yaklaştığı değer hatanın en az olduğu kesme dalga sayısı olarak kabul edilmektedir (Henderson ve Cordel, 1971).

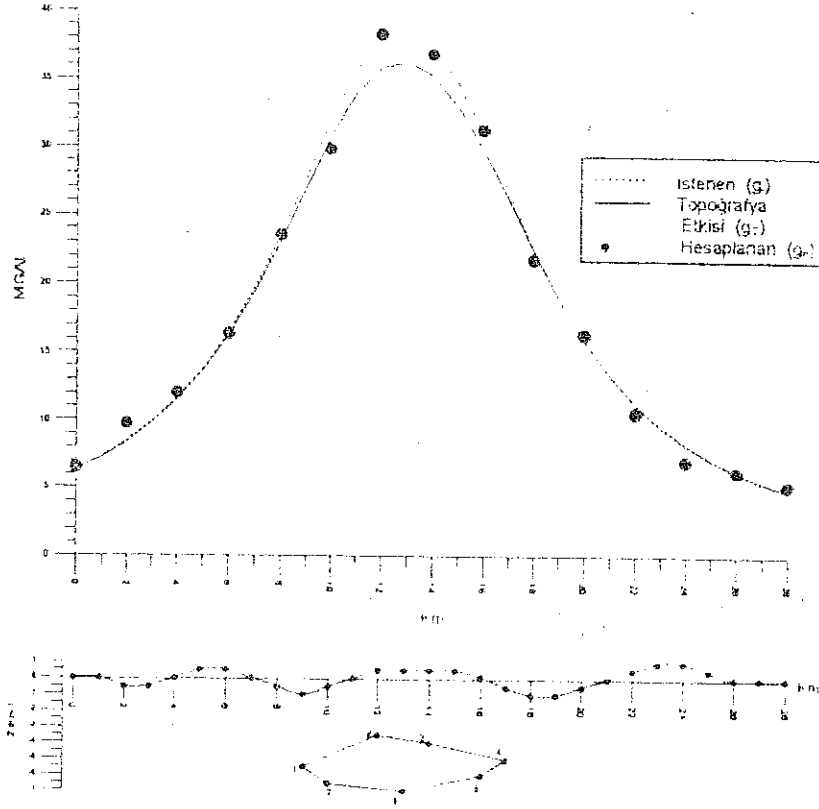
Kesme dalga sayılarının tespitinde, (Şekil 8, 10, 12) S^2_M 'ye karşılık gelen M değerleri grafiklenerek 0'a en yakın ilk değişim saptanmış ve kesme dalga sayısı olarak alınmıştır.

Silindir Modeli

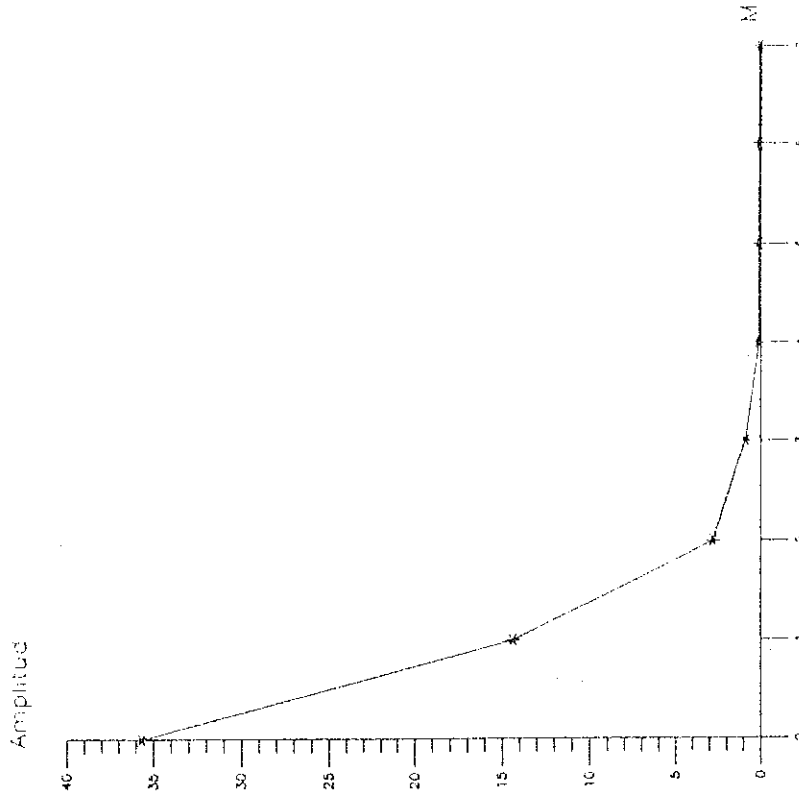
Silindir modeline ait hesaplanan ve yatay düzleme indirgenmesi yapılan ölçüm değerleri düzensiz aralıklarda alınmıştır.

Modelin (Şekil 7) kütlesi $M=100$ birim, indirgeme düzlemine olan derinliği $h=5$ birim olarak alınmıştır. Silindirin merkezi $x=0$ noktasına koyulmuştur. Şekilde indirgeme düzlemi üzerinde alınan teorik topoğrafya görülmektedir. İstenen g_i gerçek gravite anomalisi kesikli çizgilerle, topoğrafya etkisini içeren gravite anomalisi g_T düz çizgilerle, hesaplanan g_h anomalisi ise küçük daireler ile belirtilmiştir.

Tablo 4'de gösterilen 29 adet veri noktasına ait x değerleri silindirin merkezine olan mesafeleri, z değerleri topoğrafik yükselteleri, $g_i(x,0)$ teorik gravite anomali değerlerini, $g_T(x, z)$ z yüksekliklerindeki topoğrafya etki-



Şekil 3. Gelişigüzel şekle sahip yapı modeli.



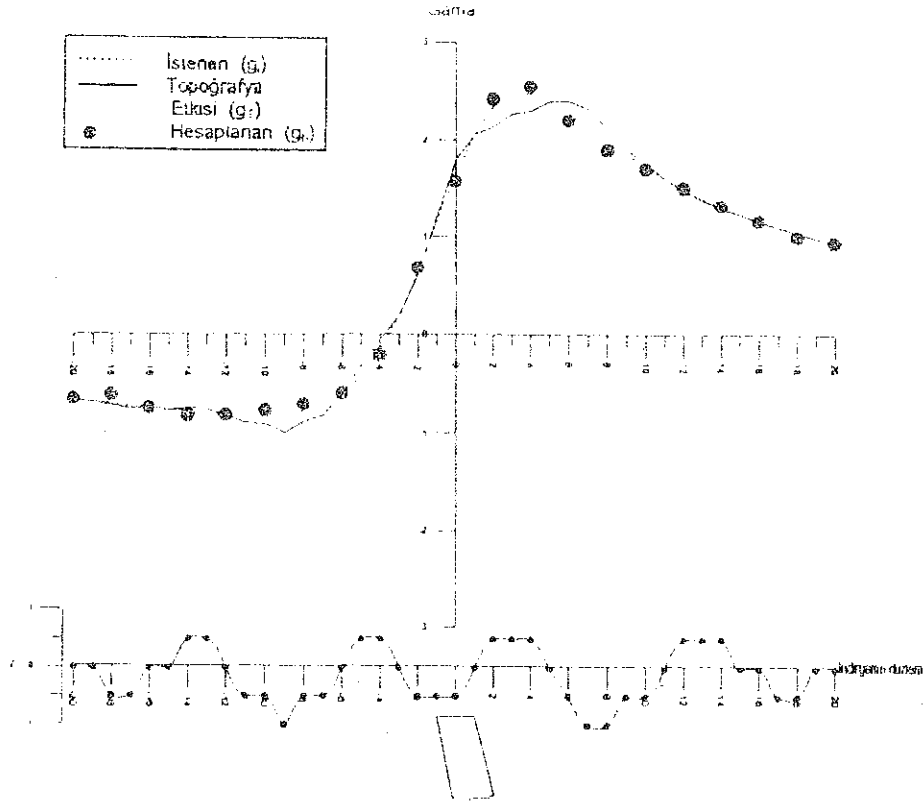
Şekil 4. Gelişigüzel şekle sahip yapı modeli için, kesme dalga sayısı tayini ($M=5$).

Tablo 2. Gelişigüzel şekle sahip yapı modeline ait değerler.

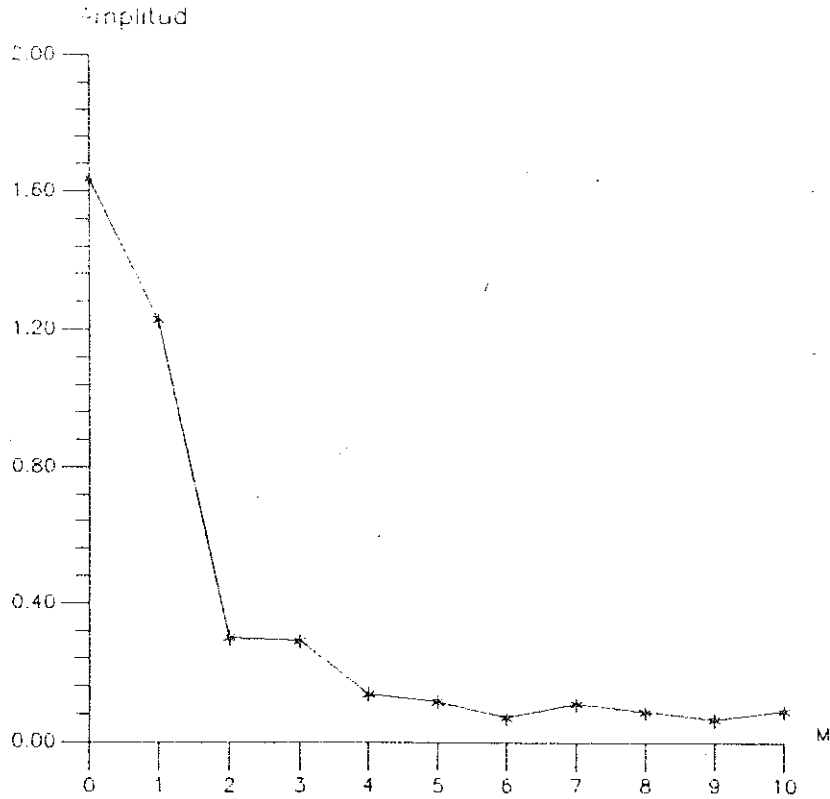
x	z	$g_i(x,0)$	$g_T(x,z)$	$g_h(x,0)$	% Hata $g_T(x,z)$	% Hata $g_h(x,0)$
0	0	6.390	6.32	6.468	-1.095	1.220
1	0	7.340	7.25	-	-1.226	-
2	-0.5	8.510	8.4	9.699	-1.293	13.971
3	-0.5	9.930	9.8	-	-1.309	-
4	0	11.700	11.53	12.006	-1.453	2.564
5	0.5	13.880	13.67	-	-1.513	-
6	0.5	16.550	16.3	16.324	-1.511	-1.365
7	0	19.790	19.46	-	-1.668	-
8	-0.5	23.580	23.11	23.445	-1.993	-0.572
9	-1	27.770	27.03	-	-2.665	-
10	-0.5	32	30.81	29.764	-3.719	-7.043
11	0	35.680	33.9	-	-4.989	-
12	0.5	38.090	35.79	38.222	-6.038	0.346
13	0.5	38.700	36.21	-	-6.434	-
14	0.51	37.400	35.16	36.773	-5.989	-1.676
15	0.5	34.550	32.85	-	-4.920	-
16	0.1	30.730	29.64	31.162	-3.547	1.405
17	-0.52	26.550	25.96	-	-2.222	-
18	-1	22.480	22.23	21.643	-1.112	-3.723
19	-1	18.840	18.78	-	-0.318	-
20	-0.5	15.740	15.79	16.246	0.318	3.214
21	0	13.200	13.2	-	0.682	-
22	0.5	11.130	11.24	10.497	0.988	-5.687
23	1	9.460	9.57	-	1.163	-
24	1	8.110	8.22	6.950	1.356	-14.303
25	0.5	7.010	7.11	-	1.427	-
26	0	6.110	6.2	6.201	1.473	1.489
27	0	5.360	5.45	-	1.679	-
28	0	4.740	4.82	5.177	1.688	9.219

Tablo 3. Magnetik dayka ait değerler .

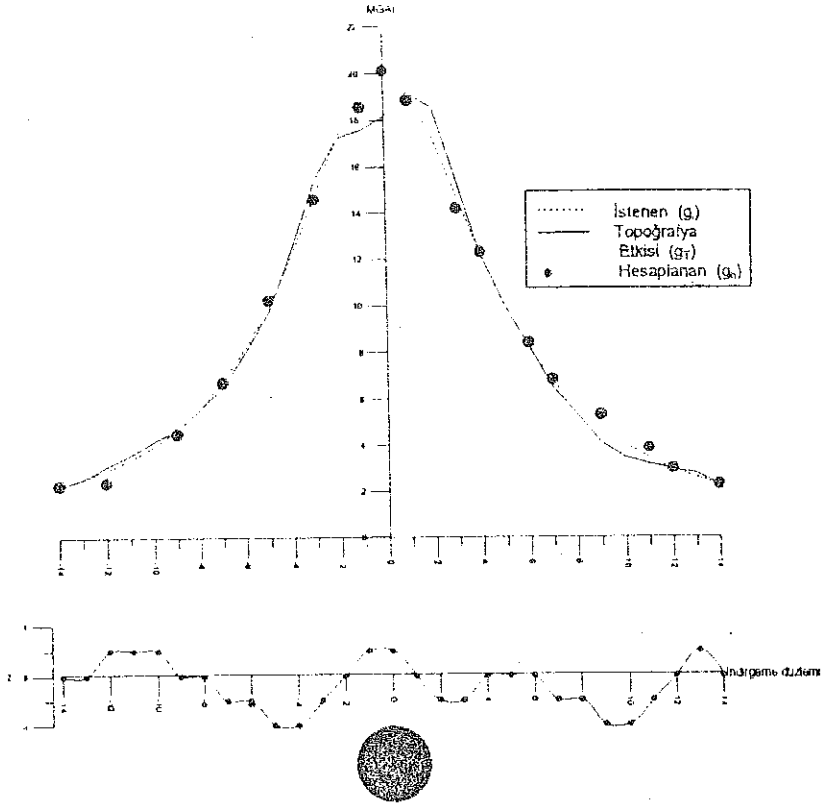
x	z	$g(x,0)$	$g_T(x,z)$	$g_h(x,0)$	% Hata $g_T(x,z)$	% Hata $g_h(x,0)$
-20	0	-0.657	-0.657	-0.657	0	0
-19	0	-0.678	-0.678	-	0	-
-18	-0.5	-0.679	-0.725	-0.612	3.720	-12.446
-17	-0.5	-0.721	-0.750	-	4.022	-
-16	0	-0.744	-0.744	-0.744	0	0
-15	0	-0.765	-0.765	-	0	-
-14	0.5	-0.786	-0.744	-0.822	-5.344	4.580
-13	0.5	-0.805	-0.757	-	-5.963	-
-12	0	-0.820	-0.820	-0.820	0	0
-11	-0.5	-0.830	-0.895	-	7.831	-
-10	-0.5	-0.830	-0.906	-0.769	9.157	-7.349
-9	-1	-0.816	-0.996	-	22.059	-
-8	-0.5	-0.780	-0.882	-0.708	13.077	-9.230
-7	-0.5	-0.713	-0.828	-	16.129	-
-6	0	-0.599	-0.599	-0.599	0	0
-5	0.5	-0.422	-0.309	-	-26.777	-
-4	0.5	-0.162	-0.060	-0.212	-62.963	30.864
-3	0	0.195	0.195	-	0	-
-2	-0.5	0.645	0.610	0.674	-5.426	4.496
-1	-0.5	1.153	1.206	-	4.597	-
0	-0.5	1.651	1.799	1.157	8.964	-4.906
1	0	2.065	2.065	-	0	-
2	0.5	2.340	2.134	2.418	-8.803	3.333
3	0.5	2.467	2.265	-	-8.188	-
4	0.5	2.473	2.293	2.544	-7.279	2.871
5	0	2.396	2.396	-	0	-
6	-0.5	2.274	2.397	2.198	5.409	-3.342
7	-1	2.132	2.316	-	8.630	-
8	-1	1.987	2.122	1.888	6.794	-4.982
9	-0.5	1.847	1.898	-	2.761	-
10	-0.5	1.717	1.755	1.693	2.213	-1.397
11	0	1.598	1.598	-	0	-
12	0.5	1.490	1.466	1.503	-1.611	0.872
13	0.5	1.393	1.375	-	-1.292	-
14	0.5	1.305	1.292	1.312	-0.996	0.536
15	0	1.227	1.227	-	0	-
16	0	1.156	1.156	1.156	0	0
17	-0.5	1.092	1.096	-	0.366	-
18	-0.5	1.034	1.036	0.987	0.193	-4.545
19	0	0.981	0.981	-	0	-
20	0	0.933	0.933	0.933	0	0



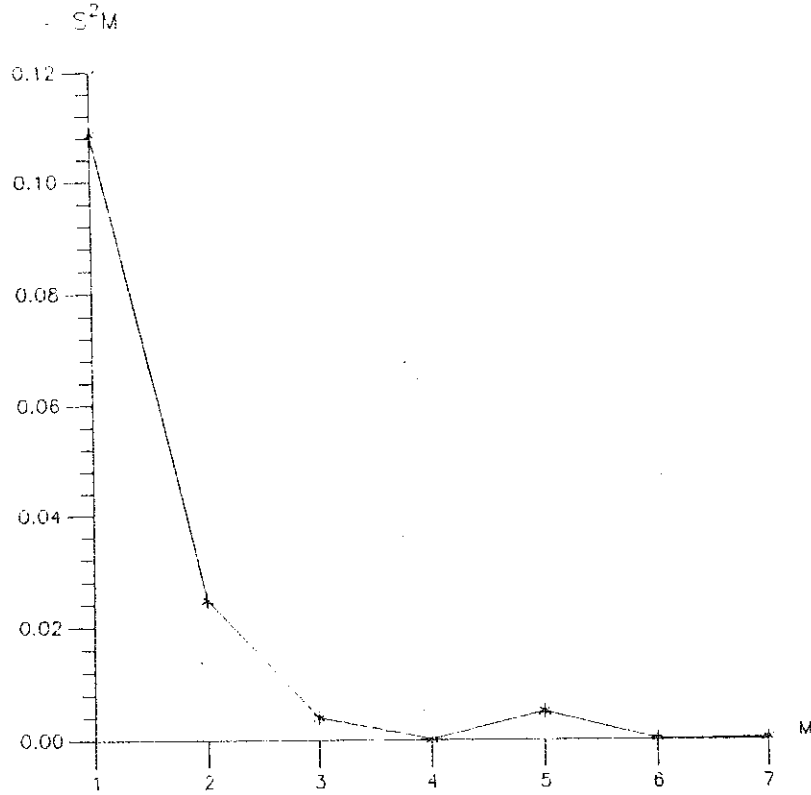
Şekil 5. Magnetik dayk model.



Şekil 6. Magnetik dayk modeli için, kesme dalga sayısının tayini (M=6).



Şekil 7. Silindir modeli.



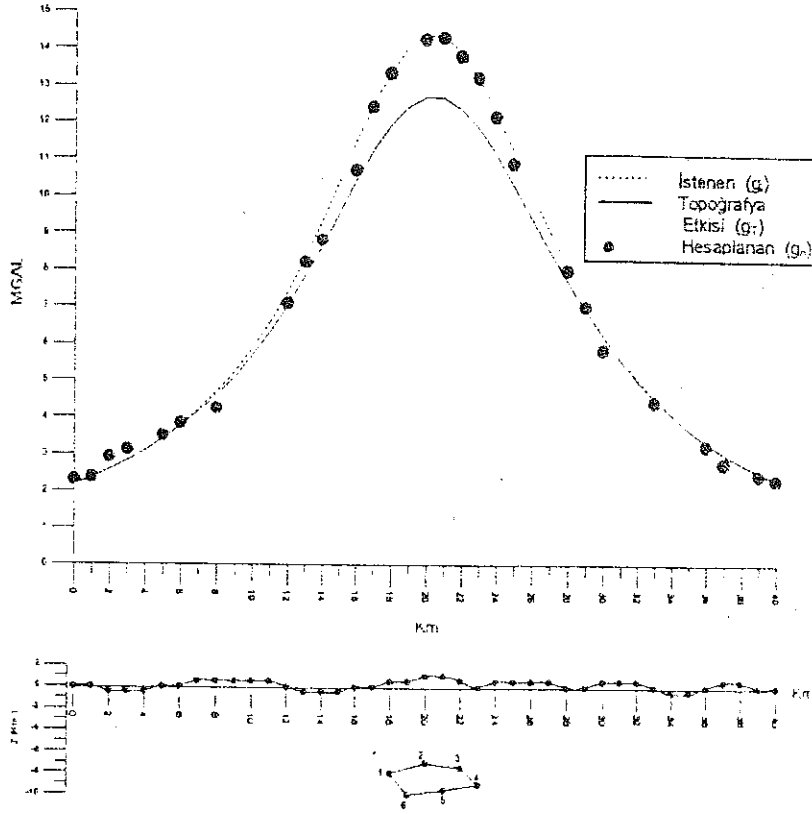
Şekil 8. Silindir modeli için kesme dalga sayısı tayini ($M=4$).

Tablo 4. Silindir modeline ait değerler.

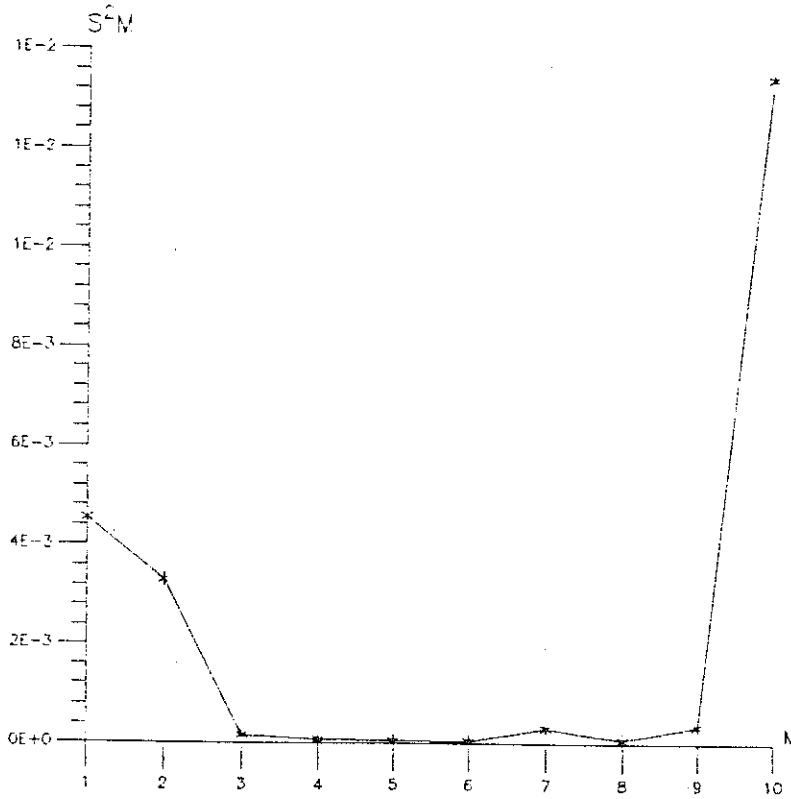
x	z	$g_f(x,0)$	$g_T(x,z)$	$g_h(x,0)$	% Hata $g_T(x,z)$	% Hata $g_h(x,0)$
-14	0	2.262	2.262	2.29	0	1.237
-13	0	2.577	2.577	-	0	-
-12	0.5	2.958	3.156	2.4	6.686	-18.864
-11	0.5	3.424	3.636	-	6.182	-
-10	0.5	4	4.222	-	5.566	-
-9	0	4.716	4.716	4.53	0	-3.944
-8	0	5.617	5.617	-	0	-
-7	-0.5	6.756	6.498	6.71	-3.827	-0.680
-6	-0.5	8.196	8	-	-2.400	-
-5	-1	10	9.756	10.23	-2.439	2.30
-4	-1	12.195	12.5	-	2.500	-
-3	-0.5	14.705	15.384	14.58	4.615	-0.850
-2	0	17.241	17.241	-	0	-
-1	0.5	19.230	17.6	18.55	-8.480	-3.536
0	0.5	20	18.181	20.14	-9.091	0.639
1	0	19.230	19.230	18.83	0	-2.080
2	-0.5	17.241	18.556	-	7.629	-
3	-0.5	14.705	15.384	14.19	4.615	-3.502
4	0	12.195	12.195	12.29	0	0.779
5	0	10	10	-	0	-
6	0	8.196	8.196	8.4	0	2.489
7	-0.5	6.756	6.498	6.82	-3.827	0.947
8	-0.5	5.617	5.341	-	-4.926	-
9	-1	4.716	4.123	5.31	-12.577	12.595
10	-1	4	3.448	-	-13.793	-
11	-0.5	3.424	3.185	3.87	-6.974	13.025
12	0	2.958	2.958	2.97	0	0.405
13	0.5	2.577	2.760	-	7.102	-
14	0	2.262	2.262	2.29	0	1.237

Tablo 5. Gelişigüzel şekle sahip yapı modeline ait değerler.

x	z	$g(x,0)$	$g_T(x,z)$	$g_h(x,0)$	% Hata $g_T(x,z)$	% Hata $g_h(x,0)$
0	0	2.160	2.180	2.294	0.926	6.203
1	0	2.350	2.370	2.359	0.851	0.382
2	-0.5	2.570	2.590	2.904	0.778	12.996
3	-0.5	2.820	2.820	3.11	0	10.283
4	-0.5	3.100	3.090	-	-0.323	-
5	0	3.420	3.400	3.486	-0.585	1.929
6	0	3.790	3.750	3.82	-1.055	0.791
7	0.5	4.210	4.140	-	-1.663	-
8	0.5	4.690	4.590	4.223	-2.132	-9.957
9	0.5	5.240	5.100	-	-2.672	-
10	0.5	5.880	5.680	-	-3.401	-
11	0.5	6.600	6.320	-	-4.242	-
12	0	7.420	7.040	7.072	-5.121	-4.690
13	-0.5	8.340	7.830	8.21	-6.115	-1.558
14	-0.5	9.350	8.670	8.785	-7.273	-6.042
15	-0.5	10.410	9.550	-	-8.261	-
16	0	11.500	10.430	10.68	-9.304	-7.130
17	0	12.530	11.240	12.415	-10.295	-0.917
18	0.5	13.410	11.940	13.328	-10.962	-0.611
19	0.51	14.050	12.440	-	-11.459	-
20	1	14.370	12.690	14.229	-11.691	-0.981
21	1	14.310	12.660	14.29	-11.530	-0.139
22	0.6	13.900	12.360	13.780	-11.079	-0.863
23	0	13.170	11.820	13.195	-10.251	0.189
24	0.5	12.230	11.100	12.136	-9.240	-0.768
25	0.5	11.180	10.270	10.851	-8.140	-2.942
26	0.5	10.090	9.380	-	-7.037	-
27	0.5	9.040	8.500	-	-5.973	-
28	0	8.060	7.660	7.968	-4.963	-1.141
29	0	7.170	6.890	6.992	-3.905	-2.482
30	0.5	6.370	6.180	5.81	-2.983	-8.791
31	0.5	5.670	5.540	-	-2.293	-
32	0.5	5.060	4.980	-	-1.581	-
33	0	4.530	4.480	4.388	-1.104	-3.134
34	-0.5	4.070	4.050	-	-0.491	-
35	-0.5	3.660	3.660	-	0	-
36	0	3.310	3.320	3.215	0.302	-2.870
37	0.5	3	3.030	2.747	1	-8.433
38	0.5	2.730	2.760	-	1.099	-
39	0	2.500	2.530	2.427	1.200	-2.919
40	0	2.290	2.320	2.294	1.310	0.174



Şekil 9. Gelişigüzel şekle sahip yapı modeli.



Şekil 10. Gelişigüzel şekle sahip yapı modeli için kesme dalga sayısı tayini ($M=6$)

sini ve $g_h(x,0)$ ise hesaplanan anomali değerlerini göstermektedir. Ayrıca % hata oranlarında tabloda verilmiştir. Kesme dalga sayısı şekil 8'de gösterildiği gibi S^2_M 'ye karşılık gelen M değerlerinin grafiklenmesiyle, ilk minimum değere karşılık gelen $M=4$ kesme dalga sayısı olarak alınmıştır.

Şekil 7'de çizilen g_i istenen anomali ile indirgenmesi yapılan g_h anomalisi uyum içindedir.

Gelişigüzel Şekle Sahip Yapı Modeli

Yeraltında gelişigüzel bir şekle sahip poligonik yapımız $n=6$ kenarlı olacak şekilde seçilmiş ve hesaplamalar Talwani yöntemi ile yapılmıştır. Yapıya ait yoğunluk kontrastı 1, ölçü nokta sayısı 41 ve profil uzunluğu 40 km olarak alınmıştır.

Şekil 9'da gösterilen ve hesaplanması amaçlanan gerçek gravite anomalisi g_i kesikli çizgilerle, teorik topoğrafya üzerindeki veri istasyonlarında hesaplanan ve topoğrafik etkileri içeren anomali g_T düz çizgilerle çizilmiştir. İndirgenmiş sonuçları içeren gravite anomalisi g_h ise küçük dairelerle ifade edilmiştir. Tablo 5'de gösterilen düzensiz aralıklarla hesaplanan veri değerleri x ile topoğrafik yükseltiler ise z ile ifade edilmiştir. $g_i(x,0)$ gerçek anomali değerlerini, $g_T(x,z)$ topoğrafya etkilerini içeren anomali değerlerini, g_h ise düzensiz aralıkta alınan indirgenmiş değerleri göstermektedir. Hata hesapları yüzde(%) olarak verilmiştir. Şekil 9'da ölçekli olarak çizilen poligonik yapının koordinatlarını (km) şu şekilde verebiliriz;

1. noktanın koordinatları $(x, z) : 18, 8$
2. noktanın koordinatları $(x, z) : 20, 7$
3. noktanın koordinatları $(x, z) : 22, 7.5$
4. noktanın koordinatları $(x, z) : 23, 9$
5. noktanın koordinatları $(x, z) : 21, 9.5$
6. noktanın koordinatları $(x, z) : 19, 10$

Kesme dalga sayısının $M=6$ olarak alındığını gösteren grafik, şekil 10 da verilmiştir. Şekil 9'da görülen g_i gerçek gravite anomalisi ile hesaplanan g_h gravite anomalisinin benzerliği açıkça görülmektedir.

Magnetik Dayk Modeli

Çalışmada kullanılan magnetik dayk modeline ait parametreler;

Amplitüd katsayısı $C=10$

Magnetik daykın yarı genişliği $b=1$

İndex parametresi $\theta=10$

Derinlik $h=6$
olarak alınmıştır.

Şekil 11'de kesikli çizgiyle gösterilen g_i magnetik daykın gerçek düşey anomalisini, düz çizgiyle gösterilen g_T anomalisi topoğrafik etkileri içeren anomaliyi, küçük dairelerle sembolize edilen anomali ise indirgenen g_h magnetik anomaliyi göstermektedir. Teorik topoğrafya ile magnetik dayk modeli şeklin alt kısmında verilmiştir. Tablo 6'da gösterilen 41 adet veri noktasına ait değerler x ile gösterilmiştir. (z) herbir ölçü noktasına ait topoğrafya yüksekliklerini ifade etmektedir. $g_i(x,0)$ gerçek magnetik anomali değerlerini, $g_T(x, z)$ topoğrafya etkisini içeren anomali değerlerini ifade etmektedir. Gelişigüzel aralıklarla hesaplanmış magnetik anomali değerleri ise $g_h(x, 0)$ ile gösterilmiştir. % hatalar herbir ölçüm noktası için ayrı ayrı hesaplanarak tabloda verilmiştir.

Kesme dalga sayısına ait grafik şekil 12'de verilmiştir. Kesme dalga sayısı $M=8$ olarak alınmıştır.

Şekil 11'deki anomaliler karşılaştırıldığında, hesaplanan g_h anomalisi, g_T topoğrafya etkisini içeren anomaliye nazaran, g_i gerçek magnetik anomali ile daha iyi bir uyum sağlamaktadır.

SONUÇLAR:

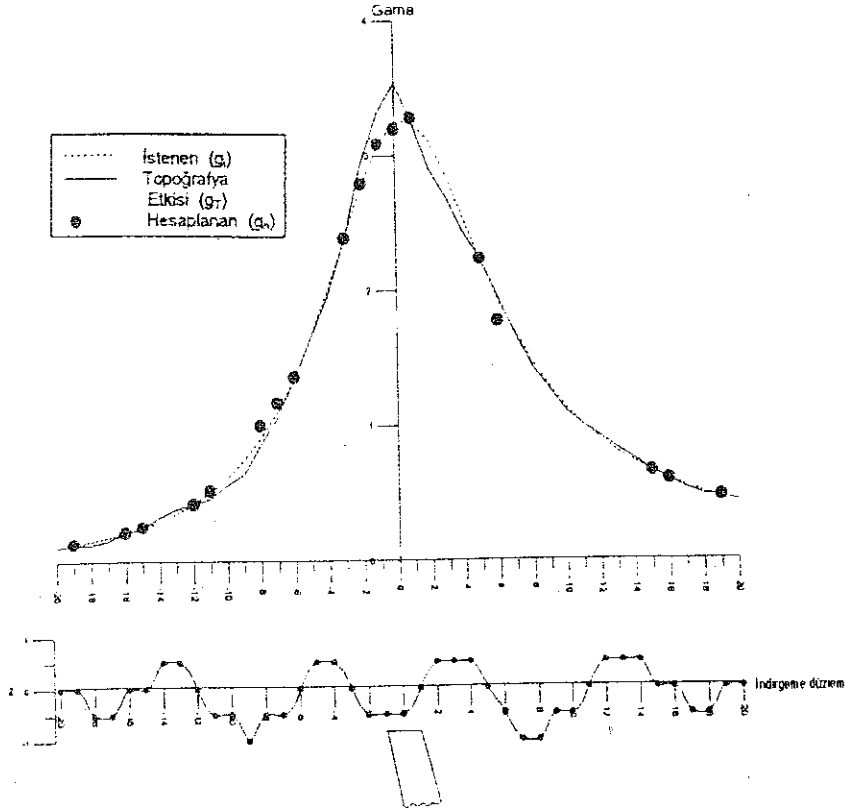
Yapılan çalışmada, Gravite ve Magnetik yöntemlerde topoğrafyanın etkisiyle anomalilerde meydana gelen ve yorumlamayı güçleştiren bozuklukların düzeltilmesi ile ilgili 6 ayrı model çalışması sunulmuştur. Bu model çalışmalarından 3 tanesi düzenli aralıklarla alınmış verilere, diğer 3 tanesi ise gelişigüzel aralıklarla alınan verilere uygulanmıştır. Düzenli aralıklarda alınmış verilerle ilgili yapılan çalışmada; Fourier metodları, gelişigüzel aralıklarda alınan verilerle ilgili yapılan çalışmada ise; Sonlu Harmonik Seri yaklaşımları kullanılmış ve hazırlanan bilgisayar programları yardımıyla çözümler aranmıştır.

Model çalışmalarında görüldüğü gibi, topoğrafyadan kaynaklanan etkiler, kullanılan yöntemlerin yardımıyla düzeltilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, özellikle yüksek topoğrafik bölgelerde yöntemlerin kullanımı, hem gravite hemde magnetik anomalilerin yorumlanmasında meydana gelecek hataları azaltacak niteliktedir. Topoğrafik yükseltilerin az olduğu bölgelerde ise bu düzeltmelerin yapılmasına gerek duyulmayabilir.

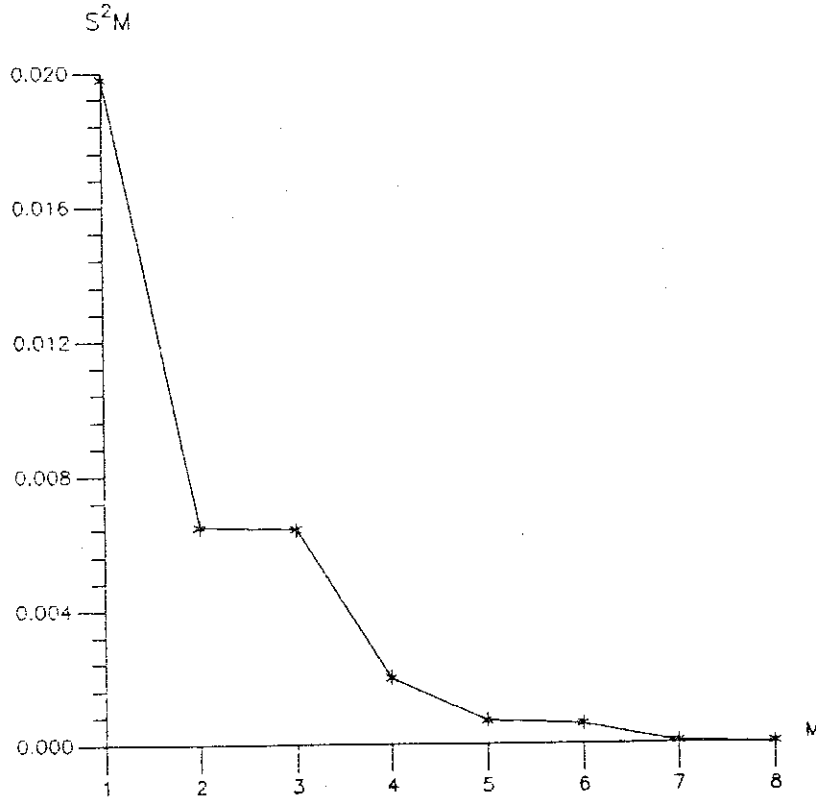
Yapılan çalışmada, iki boyutlu gravite ve magnetik verilerin kullanılmış olması, model yapılarının çokluğu, farklı topoğrafya çeşitliliği ve buna ek olarak, düzenli ve gelişigüzel aralıklarda alınan veriler için iki ayrı çalışmanın yapılmış olması konuya daha fazla ışık tutucu niteliktedir.

Tablo 6. Magnetik dayka ait değerler.

x	z	$g_i(x,0)$	$g_T(x,z)$	$g_h(x,0)$	% Hata $g_T(x,z)$	% Hata $g_h(x,0)$
-20	0	0.112	0.112	-	0	-
-19	0	0.132	0.132	0.132	0	0
-18	-0.5	0.155	0.130	-	-16.129	-
-17	-0.5	0.183	0.155	-	-15.301	-
-16	0	0.215	0.215	0.216	0	0.465
-15	0	0.254	0.254	0.255	0	0.393
-14	0.5	0.301	0.335	-	11.296	-
-13	0.5	0.358	0.394	-	10.056	-
-12	0	0.428	0.428	0.427	0	-0.233
-11	-0.5	0.513	0.467	0.529	-8.967	3.118
-10	-0.5	0.618	0.569	-	-7.929	-
-9	-1	0.748	0.640	-	-14.439	-
-8	-0.5	0.910	0.862	1.004	-5.275	10.329
-7	-0.5	1.112	1.069	1.174	-3.867	5.575
-6	0	1.361	1.361	1.362	0	0.073
-5	0.5	1.661	1.652	-	-0.542	-
-4	0.5	2.012	1.963	-	-2.435	-
-3	0	2.394	2.394	2.388	0	-0.250
-2	-0.5	2.770	2.948	2.790	6.426	0.722
-1	-0.5	3.077	3.327	3.085	8.125	0.259
0	-0.5	3.253	3.542	3.198	8.884	-1.690
1	0	3.260	3.260	3.277	0	0.521
2	0.5	3.110	2.902	-	-6.688	-
3	0.5	2.850	2.693	-	-5.509	-
4	0.5	2.540	2.435	-	-4.134	-
5	0	2.227	2.227	2.230	0	0.134
6	-0.5	1.937	1.958	1.768	1.084	-8.724
7	-1	1.687	1.669	-	-0.832	-
8	-1	1.465	1.426	-	-2.662	-
9	-0.5	1.282	1.260	-	-1.716	-
10	-0.5	1.128	1.103	-	-2.216	-
11	0	0.999	0.999	-	0	-
12	0.5	0.891	0.914	-	2.581	-
13	0.5	0.799	0.822	-	2.879	-
14	0.5	0.721	0.743	-	3.051	-
15	0	0.654	0.654	0.654	0	0
16	0	0.596	0.596	0.595	0	-0.167
17	-0.5	0.546	0.525	-	-3.846	-
18	-0.5	0.503	0.483	-	-3.976	-
19	0	0.465	0.465	0.465	0	0
20	0	0.431	0.431	-	0	-



Şekil 11. Magnetik dayk modeli.

Şekil 12. Magnetik dayk modeli için kesme dalga sayısı tayini ($M=8$).

Yararlanılan Kaynaklar

- Bhattacharyya, B.K. 1965**, Two-dimensional harmonic analysis as a tool for magnetic interpretation, *Geophysics*, V. XXX, No. 5, P. 829-857
- Dampney, C. N. G. 1969**, The equivalent source technique, *Geophysics*, V. 34, No. 1, P. 39-53
- Ergün, M. 1983**, Potansiyel alanların dönüşümleri ve genel yüzeylerde uzanım işlemleri, *Madencilik*, Cilt XXII, Sayı 3, Sayfa 47-52
- Ergün, M., Sarı, C. 1984**, Potansiyel verilerin dalga sayısı ortamı işlemleri, *Jeofizik*, Cilt X, Sayı 1, Sayfa 65-77
- Ergün, M. 1984**, Gravite ve manyetikte topoğrafya etkilerini giderme ve uzanım işlemleri, *Jeofizik*, Cilt X, Sayı 1, Sayfa 86-98
- Grant, F.S., West, G.F. 1965**, Interpretation theory in applied geophysics, Mc Graw-Hill, Inc, New York
- Hagiawara, Y. 1966**, Three-dimensional distribution of real bouguer anomalies from gravity values observed at various elevations, *Bulletin Of the Earthquake Research Institute*, V. 44, P. 519-530
- Hammer, S. 1970**, The anomalous vertical gradient of gravity, *Geophysics*, V. 35, No. 1, P. 153-157
- Henderson, R.G., Cordell, L. 1971**, Reduction of unevenly spaced potential field data to a horizontal plane by means of finite harmonic series, *Geophysics*, V. 36, No. 5, P. 856-866
- Kanlı, A. İ. 1994**, Gravite ve Magnetik Ölçümlerin Yatay Düzleme İndirgenmesi, İ. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Naudy, H., Neumann, R. 1965**, Sur la definition de l'anomalie de bouguer et ses consequences pratiques, *Geoph. Prosp.*, V. 13, P. 1-12
- Rao, D.A., Babu, H. V. R. 1981**, Nomograms for rapid evaluation of magnetic anomalies over long tabular bodies, *Pure And Applied Geophysics*, V. 119, P. 1037-1051