

Gravite Anomalilerinden Gömülü Yapı Derinliğinin Belirlemesi için Bir Yaklaşım

Mert METE¹, Petek SINDIRGI^{*1}, Coşkun SARI¹

¹ Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 35390, Buca-İzmir, Türkiye

(Alınış / Received: 24.08.2022, Kabul / Accepted: 26.11.2022, Online Yayınlanma / Published Online: 25.04.2023)

Anahtar Kelimeler

Gravite,
Kayan Ortalama,
Küre,
Yatay Silindir,
Düşey Silindir

Öz: Gravite anomalilerinden gömülü bir yapının derinliğini kestirmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada, doğrusal bir bağıntı üretilerek normalleştirilmiş gravite değerlerinden yapı derinliğinin hesaplandığı bir yöntem tanıtılmıştır. Yöntem, gözlemlenen gravite verilerine uygulanabildiği gibi gravite anomali haritası üzerinde alınan profil verilerine de uygulanabilir. Özellikle, arazide ölçülen gravite verilerine kayan ortalama işleci uygulanması düzgünleştirilen verilerden küre, yatay ve düşey silindir gibi basit geometrik yapıların derinliklerinin kestirilmesinde yöntem oldukça yararlıdır. Bu yöntem, sadece kalıntılara değil, aynı zamanda kısa profil uzunluğundaki Bouguer gravite verilerine de kolaylıkla uygulanabilir. Bu çalışmada, gürültüsüz ve çeşitli oranlarda gürültülü kuramsal modellere uygulanmıştır. Gürültü başarı oranını düşürse de tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, yöntemin geçerliliğini sınamak amacıyla, farklı araştırmacılar tarafından değerlendirilen Mobrun, Medford, Cuba ve Leona gibi dünyanın çeşitli alanlarında ölçülen gravite anomalilerinin literatürde yer alan değerlendirme sonuçları ile yöntem çözümleri karşılaştırılmıştır. Küre, yatay ve düşey silindir yapı modelleri için saptanan çözümlerin literatürde yer alan sonuçlarla uyumlu olduğu gözlenmiştir.

An Approach to Determine the Buried Structure Depth from Gravity Anomalies

Keywords

Gravity,
Moving Average,
Sphere,
Horizontal Cylinder,
Vertical Cylinder

Abstract: Many methods have been developed to estimate the depth of a buried structure from gravity anomalies. The method introduced in this study is to calculate the depth of structure from normalized gravity values by generating a linear equation. The method can be applied to the observed gravity data as well as the profile data taken on the gravity anomaly map. In particular, the application of the moving average operator to the gravity data measured in the field is very useful in estimating the depths of simple geometric structures such as spheres, horizontal and vertical cylinders from the smoothed data. The method can be easily applied not only to residuals, but also to Bouguer gravity data with short profile lengths. In this study, the method was applied to noise-free data and noisy model data with varying degrees of noise ratio. In this study, it has been applied to the noise-free synthetic data and noisy data with varying degrees of noise rate. The results are satisfactory, although the added noise reduces the success rate. In addition, in order to test the validity of the method, the evaluation results of the gravity anomalies measured in various areas of the world such as Mobrun, Medford, Cuba and Leona, which were evaluated by different researchers, and the method solutions in the literature were compared. It has been determined that the solutions obtained for the sphere, horizontal and vertical cylinder structure models are compatible with the results in the literature.

1. Giriş

Potansiyel alan verilerinin yorumundaki belirsizlik sorunu herhangi bir işlemle veya yorumlama tekniği ile çözülemez [1]. Bununla birlikte, anomaliye neden olan kaynağın basit geometrisinin atanması gibi bazı ön bilgiler birleştirilerek tekil bir çözüm elde edilebilir [2]. Her ne kadar basit modeller jeolojik olarak gerçekçi olmayabilse de genellikle bu modeller birçok anomalinin kaynaklarını analiz etmek için yeterlidir [3,4].

Gravite anomalilerini yorumlarken basit kaynak geometrisi varsayımıyla jeolojik yapıların derinliklerini kestirmek için çeşitli sayısal yöntemler uygulanabilir. Bu yöntemlere örnek olarak Fourier dönüşümü [5], Euler dekonvolüsyonu [6], Mellin dönüşümü [7], en küçük kareler minimizasyonu yaklaşımları [8,9] ve yapay sinir ağı çözümleri [10,11] verilebilir. Bu çalışmada, basit modellerin neden olduğu kalıntı (rezidüel) gravite anomalilerinin değerlendirilmesi ve yorumlanması için alternatif bir yöntem sunulmaktadır. Gömülü gravite kaynaklarının derinliğini belirlemek için doğrusal bir bağıntı türetilmiştir. Önerilen teknik basit matematiksel işlemlerle derinliğin hesaplanmasına olanak sağlar. Yöntemin katkısı, gürültüsüz ve gürültülü olarak üretilen kuramsal anomaliler ve dört arazi örneği kullanılarak gösterilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Yöntem

$x = 0$ merkezli ve z derinliğinde gömülü basit gravite modellerinin (örneğin bir küre, sonsuz yatay bir silindir ve yarı-sonlu bir düşey silindir gibi) bir gözlem noktasında ($x, z = 0$) genel gravite anomalisi [12] tarafından aşağıdaki gibi verilmektedir:

$$g(x) = \frac{Az^m}{(x^2+z^2)^q} \quad (1)$$

burada, q ; yapı biçim faktörüdür, m ise, kaynağın doğasını tanımlayan bir terimdir [14,24].

$$q = \begin{cases} 3/2 & \text{küre için,} \\ 1 & \text{yatay silindir için,} \\ 1/2 & \text{düşey silindir için,} \end{cases}$$

$$m = \begin{cases} 1 & \text{küre için,} \\ 1 & \text{yatay silindir için,} \\ 0 & \text{düşey silindir için,} \end{cases}$$

ve A , genlik faktörü olup

$$A = \begin{cases} \frac{4\pi G\rho R^3}{3} & \text{küre için,} \\ 2\pi G\rho R^2 & \text{yatay silindir için,} \\ \pi G\rho R^2 & \text{düşey silindir için,} \end{cases}$$

burada ρ yoğunluk farkıdır. G , evrensel yerçekimi sabitidir ve R , yarıçaptır. Kaynak üzerindeki ($x = 0$) yerçekimi değerini (g_0) kullanarak, (1) nolu bağıntı normalleştirilebilir [12].

$$g(n) = \frac{g(x)}{g_0} = \left(\frac{z^2}{x^2+z^2}\right) = \left(\frac{z^2}{x^2+z^2}\right)^q \quad (2)$$

Bağıntı (2) yeniden düzenlenirse,

$$(g_n(x))^{\frac{1}{q}}x^2 + (g_n(x))^{\frac{1}{q}}z^2 = z^2 \quad (3)$$

bağıntısına ulaşılır.

Bu bağıntının, normalize edilmiş tek bir kalıntı gravite değerinden bile bir derinlik tahmini (z) sağlayabildiği açıktır. Bununla birlikte, birkaç hata kaynağı nedeniyle, derinliğin iyi bir kestirimini elde etmek için çoklu değerler gerekir. En küçük kareler anlamında, (3) nolu bağıntı izleyen bağıntıyla çözülebilir:

$$z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (1 - (g_n(x_i))^{\frac{1}{q}})((g_n(x_i))^{\frac{1}{q}})x_i^2}{\sum_{i=1}^N (1 - (g_n(x_i))^{\frac{1}{q}})^2}} \quad (4)$$

Burada N , gözlemlerin sayısıdır. (4) nolu bağıntı, aşağıdaki basit işlem adımları ile gerçekleştirilebilir:

1. Bağıntı (2) kullanılarak kalıntı gravite gözlemlerinin normalleştirilmesi,
2. $\sum U = \sum_{i=1}^N (1 - (g_n(x_i))^{\frac{1}{q}})((g_n(x_i))^{\frac{1}{q}})x_i^2$ 'nin hesaplanması,
3. $\sum L = \sum_{i=1}^N (1 - (g_n(x_i))^{\frac{1}{q}})^2$ 'nin hesaplanması,
4. Daha sonra derinlik $z = \sqrt{\sum U / \sum L}$ bağıntısı ile belirlenir.

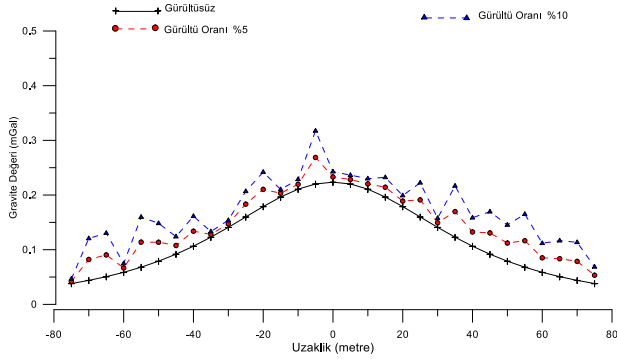
3. Bulgular

3.1. Kuramsal Yapı Modelleri için Uygulamalar

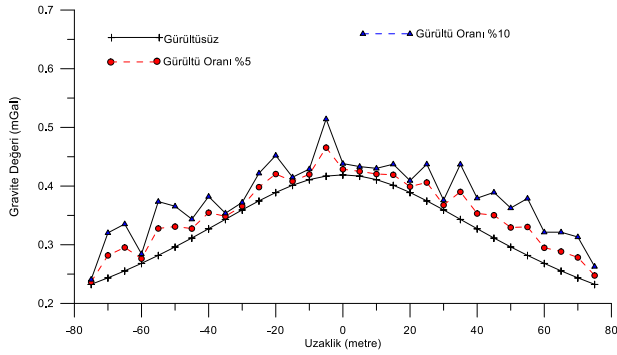
Yöntem, farklı derinliklerde gömülü olan, 2.5 g/cm³ yoğunluk farkına sahip küre ve silindir (yatay ve düşey) modelleri için oluşturulan kuramsal gravite verileri kullanılarak test edilmiştir. Kuramsal gravite anomali değerleri, 5 metre aralıklarla 150 metrelik bir profil boyunca önce gürültüsüz, daha sonra da ham gravite verilerinin ölçümü ve işlenmesi sırasında ortaya çıkabilecek hataları ve/veya yakındaki kaynaklardan kaynaklanan küçük etkileri irdelemek amacıyla %5 ve %10 rasgele gürültü içerecek şekilde

gürültülü olarak hesaplanmıştır. Gürültü hesaplamaları 0 ile +1 arasında rasgele sayı üreten RND(N) alt programı ile gerçekleştirilmiştir. Üretilen rasgele sayının aralığı açık bir aralıktır, yani 0 ve 1 değerlerini içermez (14). Hesaplamalarda kullanılan bilgisayar programı Ek A'da verilmektedir.

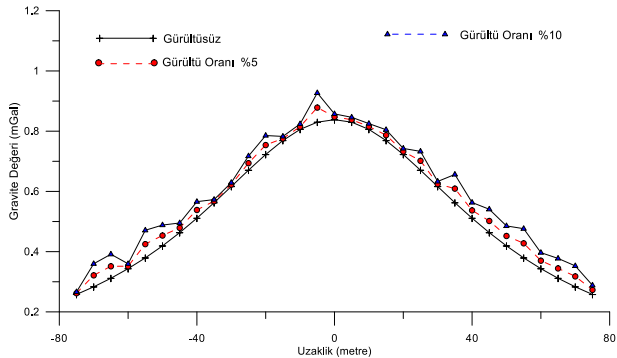
Küre ve silindir (yatay ve düşey) modellerinin kuramsal gravite anomalileri ve %5 ve %10 rasgele gürültü eklenmiş anomalileri Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 1. Küre modeli için grafik (yarıçap $R=20$ m, derinlik $z=50$ m, yoğunluk farkı 2.5 gr/cm^3)



Şekil 2. Düşey silindir modeli için grafik (yarıçap $R=20$ m, derinlik $z=50$ m, yoğunluk farkı 2.5 gr/cm^3)



Şekil 3. Yatay silindir modeli için grafik (yarıçap $R=20$ m, derinlik $z=50$ m, yoğunluk farkı 2.5 gr/cm^3)

Küre ve silindir (yatay ve düşey) modellerinin kuramsal gürültüsüz anomalilerinin sunulan yöntem

ile değerlendirilmesi sonucunda Tablo 1'de elde edilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Tablo 1. Kuramsal gürültüsüz yapı modelleri gravite anomalileri için saptanan derinlik değerleri

Model Yapı	Model Yapı Derinliği (m)	Hesaplanan Derinlik (m)
Küre	50	50
Yatay Silindir	50	50
Düşey Silindir	50	50

Yöntem, daha sonra gürültülü kuramsal gravite verileri üzerinde denenmiştir. Gürültülü kuramsal gravite verilerine uygulanması sonucunda küre ve silindir (yatay ve düşey) modellerinin % 5 ve % 10 gürültü ile bozulan verileri için kestirilen derinlikler de Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Kuramsal gürültülü yapı modelleri gravite anomalileri için saptanan derinlik değerleri

Model Yapı	Model Yapı Derinliği (m)	Hesaplanan Derinlik (m)	
		%5 Gürültülü	%10 Gürültülü
Küre	50	61.12	69.66
Yatay Silindir	50	52.99	55.89
Düşey Silindir	50	57.05	62.32

Gürültüsüz ve gürültülü kuramsal model yapı anomalilerinin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen sonuçların oldukça iyi bir şekilde saptandığı görülmektedir.

Bu sonuçlardan sonra, %5 ve %10 gürültülü kuramsal model yapı anomalilerine üç noktalı kayan ortalama işleci uygulanarak veriler düzleştirilmiş ve yöntem düzleştirilmiş verilere uygulanmıştır. Model yapıların düzleştirilmiş gravite anomali grafikleri Ek B'de verilmiştir. Düzleştirilmiş gravite anomali verilerinden elde edilen sonuçlar da Tablo 3'de verilmektedir.

Tablo 3. Kayan ortalama ile düzleştirilmiş yapı modelleri gravite anomalileri için saptanan derinlik değerleri

Model Yapı	Model Yapı Derinliği (m)	Hesaplanan Derinlik (m)	
		%5 Gürültülü	%10 Gürültülü
Küre	50	60.56	69.02
Yatay Silindir	50	52.89	55.25
Düşey Silindir	50	55.12	59.49

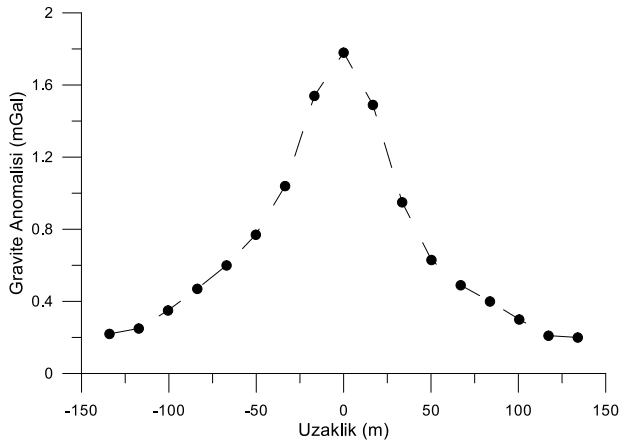
3.2. Arazi Verisi Uygulamaları

Bu aşamada literatürde yer alan ve daha önce farklı araştırmacılar [2, 3, 13-23] tarafından değerlendirilen Mobrur, Medford, Cuba ve Leona sahalarında ölçülen gravite anomalileri bu çalışmada sunulan yöntem ile küre ve silindir (yatay ve düşey) yapı modelleri için değerlendirilmiş ve önceki sonuçlarla

karşılaştırılmıştır. Ayrıca, örnekleme aralığının çözüme katkısının olup olmadığı da araştırılmıştır.

Çalışmada değerlendirilen gravite anomalileri sırasıyla Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7 'de verilmektedir.

Mobrun gravite anomalisi, 268 m uzunluğunda olup örnekleme aralığı $\Delta x=16.75$ m (Veri sayısı $N=17$) ve $\Delta x=33.5$ m (Veri sayısı $N=9$) olmak üzere sayısallaştırılarak (Şekil 4) tanımlanan yöntem ile değerlendirilmiştir. Saptanan derinlikler Tablo 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Mobrun gravite anomalisi ([14]'ten sayısallaştırılmıştır)

Tablo 4. Mobrun gravite anomalisinin önerilen yöntemle farklı yapı modelleri için saptanan derinlik değerleri

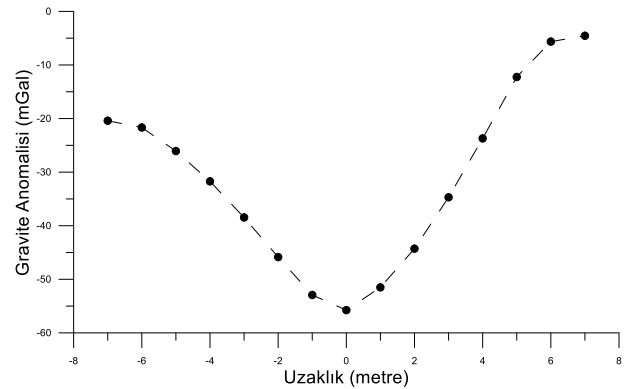
Model Yapı	Derinlik (m)	Derinlik (m)
	($N=17$) $\Delta x=16.75$ m)	($N=9$) $\Delta x=33.5$ m)
Küre ($q=1.5$)	67.33	68.87
Yatay Silindir ($q=1$)	45.81	46.53
Düşey Silindir($q=0.5$)	19.44	19.35

Mobrun gravite anomalisinin değerlendirmesini içeren literatürde yer alan çalışmalar Tablo 5'te sunulmuştur. Tablo 4 ve Tablo 5 karşılaştırıldığında, son yıllarda yapılan çalışmalarda araştırmacılar yatay ve düşey silindir arasında bir yapı parametresi hesaplamışlardır. Bu değer için saptadıkları derinlik, bu çalışmada önerilen yöntemle yatay ve düşey silindir modelleri için saptanan derinliklerin arasında kaldığından sonuçların uygunluğundan söz edilebilir.

Tablo 5. Mobrun gravite anomalisi için önceki çalışmalarda saptanan parametre değerleri

Parametre	Araştırmacılar		
	Grant and West (1965)	Roy ve diğ. (2000)	Essa (2012)
z (m)	30	29.44	33.3
q	-	0.77	0.78
A (mGal)	-	-	59.1

Yöntemin uygulandığı bir diğer anomali olan Medford gravite anomalisi, 14 m uzunluğunda olup örnekleme aralığı $\Delta x=1$ m (Veri sayısı $N=15$) ve $\Delta x=0.5$ m (Veri sayısı $N=29$) olmak üzere sayısallaştırılmıştır (Şekil 5). Uygulanan yöntem ile saptanan derinlikler Tablo 6'da verilmektedir. Medford gravite anomalisinin değerlendirmesini içeren daha önce yapılmış çalışmalar Tablo 7'de sunulmuştur. Tablo 6 ve Tablo 7 karşılaştırılırsa, diğer araştırmacının saptadığı yapı parametresi ($q=1$) için hesapladığı ve kuyu bilgisinden elde edilen derinlik, önerilen yöntemle aynı yapı parametresi için hesaplanan derinliğe oldukça yakındır.



Şekil 5. Medford gravite anomalisi ([16]'dan sayısallaştırılmıştır)

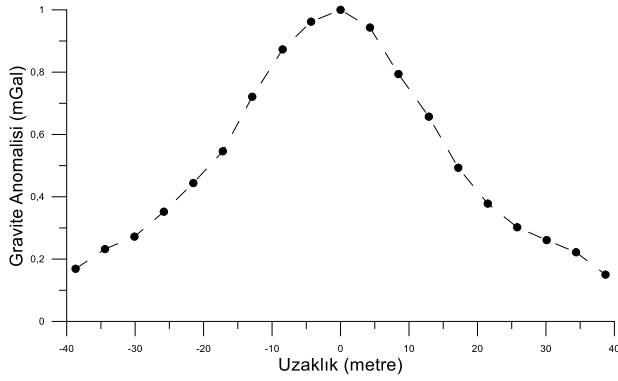
Tablo 6. Medford gravite anomalisinin önerilen yöntemle farklı yapı modelleri için saptanan derinlik değerleri

Model Yapı	Derinlik (m)	Derinlik (m)
	($N=15$) $\Delta x=1$ m)	($N=29$) $\Delta x=0.5$ m)
Küre ($q=1.5$)	4.48	4.49
Yatay Silindir ($q=1$)	3.41	3.42
Düşey Silindir($q=0.5$)	2.00	2.00

Tablo 7. Medford gravite anomalisi için önceki çalışmalarda saptanan parametre değerleri

Parametre	Araştırmacılar	
	Salem ve diğ. (2003)	Salem ve diğ., 2003 (Kuyu bilgisi)
z (m)	3.76- 4.02 m arası	3.57
q	1.0	-
A (mGal)	-	-

Bir diğer anomali olan Cuba gravite anomalisinin profil uzunluğu 73.1 m olup örnekleme aralığı $\Delta x= 4.3$ m (Veri sayısı $N=19$) ve $\Delta x= 8.6$ m (Veri sayısı $N=9$) olmak üzere sayısallaştırılarak (Şekil 6) tanımlanan yöntem ile değerlendirilmiştir. Saptanan derinlikler Tablo 8'de, anomalinin çeşitli araştırmacılar tarafından yapılmış değerlendirmeleri ise Tablo 9'da verilmiştir. Bu tablolardan da görüldüğü gibi, önerilen yöntemden hesaplanan derinlik ve yapı parametreleri, diğer çalışma sonuçlarıyla uyumludur.



Şekil 6. Cuba gravite anomalisi ([16]'dan sayısallaştırılmıştır)

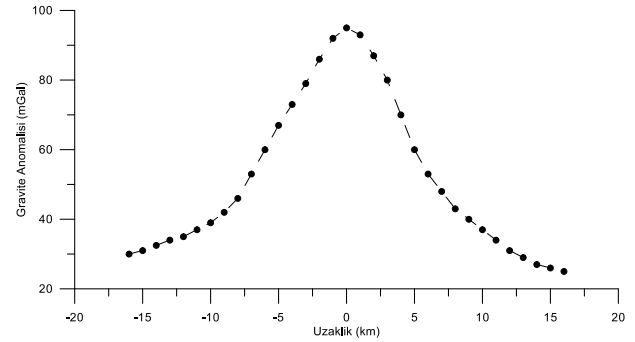
Tablo 8. Cuba gravite anomalisinin önerilen yöntemle farklı yapı modelleri için saptanan derinlik değerleri

Model Yapı	Derinlik (m)	Derinlik(m)
	(N=19 $\Delta x=4.3$ m)	(N=9 $\Delta x=8.6$ m)
Küre ($q=1.5$)	24.30	24.97
Yatay Silindir ($q=1$)	17.32	17.96
Düşey Silindir ($q=0.5$)	8.50	9.06

Tablo 9. Cuba gravite anomalisinin önceki çalışmalarda saptanan parametre değerleri

Parametre	Araştırmacılar		
	Robinson and Coruh (1988)	Salem ve diğ. (2003) (Çeşitli veri sayısı için hesaplanmış aralık)	Salem ve diğ., 2003 (Kuyu bilgisi)
z(m)	21.8	23.02-24.90	21
q	Küre	1.5	-
A (mGal)	-	-	-

Yöntemin uygulandığı son anomali olan Leona gravite anomalisinin profil uzunluğu 32 km'dir. Örneklem aralığı $\Delta x=1$ km (Veri sayısı $N=33$) olmak üzere sayısallaştırılarak (Şekil 7) tanımlanan yöntem ile değerlendirilmiştir. Saptanan derinlikler Tablo 10'da verilmektedir. Leona gravite anomalisinin değerlendirmesini içeren daha önce yapılmış çalışmalar Tablo 11'de sunulmuştur. Bu tablo incelendiğinde araştırmacıların $q=0.5$ ve $q=1.5$ gibi iki farklı yapı şekli için çözümler yaptığı görülmektedir. Her iki model için hesaplanan derinlikler, bu çalışmada (Tablo 10) hesaplanan değerlere oldukça yakındır.



Şekil 7. Leona gravite anomalisi ([17]'den sayısallaştırılmıştır)

Tablo 10. Leona gravite anomalisinin önerilen yöntemle farklı yapı modelleri için saptanan derinlik değerleri

Model Yapı	Derinlik (km)
	(N=33, $\Delta x=1$ km)
Küre ($q=1.5$)	11.94
Yatay Silindir ($q=1$)	8.77
Düşey Silindir($q=0.5$)	4.515

Tablo 11. Leona gravite anomalisinin önceki çalışmalarda saptanan parametre değerleri

Parametre	Araştırmacılar					
	Biswas ve diğ. (2017) (İnce dayk)	Tlas ve diğ. (2005)	Ashfahani ve Tlas (2012)	Mehanee (2014) (Küre)	Mehanee (2014) (Düşey Silindir)	Biswas (2015) (Düşey Silindir)
x_0 (km)	-0.4	0.22	-	-	-	-0.4 ± 0.0
z(m)	4.6	9.17	9.13	12.2	4.59	4.6 ± 0.0
q	0.5	1.499	1.499	1.5	0.5	0.5
A (mGal)	433.6±2.94 (mGal×km)	6971.83 (mGal×km ²)	6931.78 (mGal×km ²)	13026.03 (mGal×km ²)	436.31 (mGal×km)	94.7 ± 0.7 (mGal×km)

4. Tartışma ve Sonuç

Gravite anomalilerinden gömülü bir yapının derinliğini kestirmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu çalışmada tanıtılan yöntem, gözlemlenen gravite verilerine uygulanabildiği gibi gravite anomali haritası üzerinde alınan profil verilerine de uygulanabilir. Özellikle, arazide ölçülen gravite verilerine kayan ortalama işleci uygulanması düzleştirilen verilerden küre, yatay ve düşey

silindir gibi basit geometrik yapıların derinliklerinin kestirilmesinde yöntem oldukça yararlıdır ve uygulaması da oldukça basittir. Yöntem, sadece kalıntılara (rezidüellere) değil, aynı zamanda kısa profil uzunluğundaki Bouguer gravite verilerine de kolaylıkla uygulanabilir.

Bu çalışmada yöntem, küre, düşey ve yatay silindir gibi basit geometrik yapı modellerinin oluşturduğu kuramsal gürültüsüz, gürültülü ve üç nokta kayan

ortalama işleci ile düzgünleştirilmiş gravite anomali verilerinin değerlendirilmesi ile sınınmıştır. Yöntemin geçerliliği, daha sonra farklı araştırmacılar tarafından değerlendirilen Mobraun, Medford, Cuba ve Leona gibi farklı alanlarda ölçülen gravite anomalilerini literatürde verilen değerlendirme sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu alanlar için diğer çalışmalarda benzer ve farklı yöntemlerle elde edilen q yapı parametresine karşılık hesaplanan yapı derinliğinin bu çalışmada üç farklı yapı modeline göre hesaplanan yapı derinliklerinden q yapı parametresi aynı/yakın olan çözümle oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Literatürden alınan gravite anomali verilerine bu verilere daha önce düzgünleştirme ve süzgeçleme amaçlı birçok veri işlem uygulaması yapıldığı düşünülerek ikinci bir düzgünleştirme işlemi uygulanmamıştır. Ancak, arazide ölçülen gravite anomalilerine uygun bir süzgeçleme ve düzgünleştirme işlemi uygulanması yöntemin daha uygun ve doğru sonuçlar vermesi bakımından yararlı olacaktır.

Çalışmamızda literatürden seçilen anomaliler iki ayrı örnekleme aralığı ile sayısallaştırılmıştır. Bunun amacı, örnekleme aralığının yöntemin sonuçları üzerindeki etkisini gözlemlemektir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, örnekleme aralığının sonuçlar üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Sonuçlar arasında gözlemlenen farkların potansiyel alan verisi olan gravite verisinin çok çözümlülüğünden ve matematiksel çözümden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, bu çalışmada sunulan yöntem gravite anomali verilerinden küre, yatay silindir, düşey silindir gibi basit geometrik yapı modellerinin derinliklerinin saptanmasında özellikle öğrenciler için yararlı bir uygulama olacağı düşünülmektedir.

Etik Beyanı/Declaration of Ethical Code

Bu çalışmada, "Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi" kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, bahsi geçen yönergenin "Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler" başlığı altında belirtilen eylemlerden hiçbirinin gerçekleştirilmediğini taahhüt ederiz.

Kaynakça

- [1] Roy, A. 1962. Ambiguity in Geophysical Interpretation. *Geophysics*, 27, 90-99.
- [2] Roy, L., Agarwal, N. P., Shaw, R. K. 2000. A New Concept in Euler Deconvolution of Isolated Gravity Anomalies. *Geophysical Prospecting* 48, 559-575.

- [3] Nettleton, L. L. 1976. *Gravity and Magnetism in Oil Prospecting*. McGraw-Hill Book Co., New York, NY, 462s.
- [4] Abdelrahman, E. M., EI-Araby, T. M. 1993. A Least-squares Minimization Approach to Depth Determination from Moving Average Residual Gravity Anomalies. *Geophysics*, 59, 1779-1784.
- [5] Sharma, B., Geldart, L. P. 1968. Analysis of Gravity Anomalies of Two-dimensional Faults using Fourier Transforms. *Geophysical Prospecting*, 16, 77-93.
- [6] Thompson, D. T. 1982. EULDPH-A New Technique for Making Computer-assisted Depth Estimates from Magnetic Data. *Geophysics*, 47, 31-37.
- [7] Mohan, N. L., Anandababu, L., Roa, S. 1986. Gravity Interpretation using Mellin Transform. *Geophysics*, 52, 114-122.
- [8] Gupta, O. P. 1983. A least-squares Approach to Depth Determination from Gravity Data. *Geophysics*, 48, 360-537.
- [9] Abdelrahman, E. M. 1990. Discussion on a Least-squares Approach to Depth Determination from Gravity Data by O.P. Gupta. *Geophysics*, 55, 376-378.
- [10] Elawadi, E., Salem, A., Ushijima, K. 2001. Detection of Cavities from Gravity Data using a Neural Network. *Exploration Geophysics*, 32, 75-79.
- [11] Kaftan, I., Salk, M., Senol, Y. 2011. Evaluation of Gravity Data by using Artificial Neural Networks Case Study: Seferihisar Geothermal Area (Western Turkey). *Journal of Applied Geophysics*, 75 (4), 711-718.
- [12] Abdelrahman, E. M., EI-Araby, H. M., EI-Araby, T. M., Abo-Ezz, E. R., 2001. Three least-squares minimization approach to depth, shape, and amplitude coefficient determination from gravity data. *Geophysics* 66,1105-1109.
- [13] Grant, F. S., West, G. E. 1965. *Interpretation Theory in Applied Geophysics*. McGraw-Hill, Co., New York, NY, 140s.
- [14] Essa, K. S. 2012. A Fast Interpretation Method for Inverse Modelling of Residual Gravity Anomalies Caused by Simple Geometry. *Journal of Geological Research*, 2012, 1-10.
- [15] Robinson, E. S., Coruh, C. 1988. *Basic Exploration Geophysics*. Wiley, New York, NY, 562s.

- [16] Salem, A., Elawadi, E., S., Ushijima, K. 2003. Short note: Depth Determination from Residual Gravity Anomaly using a Simple Formula. Computer and Geosciences, 29, 801-804.
- [17] Biswas, A., Parija, M., Kumar, S. 2017. Global Nonlinear Optimization for the Interpretation of Source Parameters from Total Gradient of Gravity and Magnetic Anomalies Caused by Thin Dyke. Ann. Geophys., 60(2),1-17.
- [18] Davis, W. E., Jackson, W. H., Richter, D. H. 1957. Gravity Prospecting for Chromite Deposits in Camaguey Province, Cuba. Geophysics 22, 848-869.
- [19] Asfahani J., Tlas M. 2012. Fair Function Minimization for Direct Interpretation of Residual Gravity Anomaly Profiles due to Spheres and Cylinders. Pure and Applied Geophysics, 169, 157-165.
- [20] Mehane S. A. 2014. Accurate and Efficient Regularized Inversion Approach for the Interpretation of Isolated Gravity Anomalies. Pure and Applied Geophysics ,171, 1897-1937.
- [21] Butler, D. K. 1984. Microgravimetric and Gravity Gradient Techniques for Detection of Subsurface Cavities. Geophysics, 49, 1084-1096.
- [22] Tlas, M., Asfahani, J., Karmeh, H. 2005, A Versatile Nonlinear Inversion to Interpret Gravity Anomaly Caused by a Simple Geometrical Structure. Pure and Applied Geophysics, 162, 2557-2571.
- [23] Biswas, A. 2015. Interpretation of Residual Gravity Anomaly Caused by a Simple Shaped Body using Very Fast Simulated Annealing Global Optimization. Geoscience Frontiers, 6(6), 875-893.
- [24] Abdelrahman, E. M., Bayoumi, A.I., Abdelhady, Y. E., Gobashy, M. M., El-Araby, H. M.,1989. Gravity interpretation using correlation factors between successive least-squares residual anomalies. Geophysics 54(12), 1614-1621. 1989.

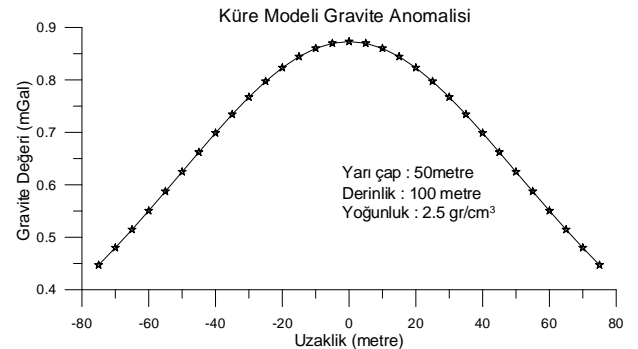
Ekler

Ek A. FORTRAN Bilgisayar Programı

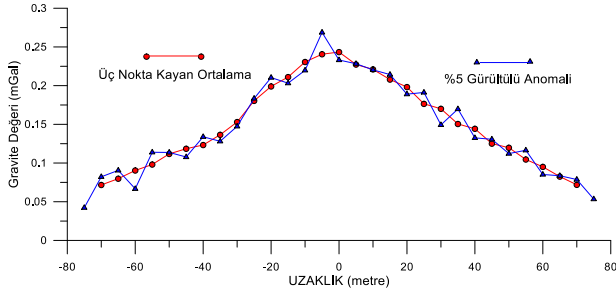
```
C....PROGRAM İÇİNDE KULLANILAN TANIMLAR
C.....G : EVRENSEL ÇEKİM DEĞERİ (0.00667)
C.....X(I) : ÖLÇÜM NOKTALARI
C.....H(I) : HESAPLANAN GRAVİTE ANOMALİ DEĞERLERİ
C.....HR(I) : GÜRÜLTÜLÜ GRAVİTE ANOMALİ DEĞERLERİ
C.....RO : YOĞUNLUK FARKI (GR/CM3)
C.....R : YARIÇAP (METRE)
C.....Z : YAPI DERİNLİĞİ
C.....Q : YAPI FAKTÖRÜ
C.....Q=1.5 İSE KÜRE ; Q=1.0 İSE YATAY SİLİNDİR ; Q=0.5
C..... İSE (DÜŞEY SİLİNDİR)
```

```
C.....M=1 İSE KÜRE ; M=1 İSE YATAY SİLİNDİR ; M=0 İSE
C..... DÜŞEY SİLİNDİR
DIMENSION X(100),H(100),HN(100),HR(100),RND(100)
DATA N,M,Q,RO,R,Z/31,1,1.5,2.5,20.,50./
DATA G,PI/0.00667,3.14159265/
READ(1,*)(X(I),I=1,N)
READ(1,*)(RND(I),I=1,N)
IF(Q.EQ.1.5.AND.M.EQ.1) GO TO 10
IF(Q.EQ.1.0.AND.M.EQ.1) GO TO 20
IF(Q.EQ.0.5.AND.M.EQ.0) GO TO 30
10 A=(4.*PI*G*RO*(R**3))/3.
GO TO 40
20 A=2*PI*G*RO*(R**2)
GO TO 40
30 A=PI*G*RO*(R**2)
40 DO 50 I=1,N
X1=A*Z**M
X2=(X(I)**2+Z**2)**Q
C H(I)=(A*(Z**M))/((X**2+Z**2)**Q)
H(I)=X1/X2
50 CONTINUE
C.....HESAPLANAN ANOMALİ DEĞERİNE GÜRÜLTÜ
C..... EKLEME
DO 19 K=1,N
HR(K)=H(K)+RND(K)*0.1
WRITE(3,55)X(K),HR(K)
55 FORMAT(3X,F10.2,3X,F10.4)
19 CONTINUE
K=(N+1)/2
HO=HR(K)
WRITE(*,*)HO
DO 60 I=1,N
HN(I)=HR(I)/HO
WRITE(3,11)X(I),HR(I),HN(I)
11 FORMAT(3X,F10.2,3X,F10.4,3X,F10.4)
60 CONTINUE
TOP1=0.0
TOP2=0.0
DO 65 I=1,N
B1=1.-(HN(I))**(1/Q)
B2=HN(I)**(1/Q)
B=B1*B2*X(I)**2
TOP1=TOP1+B
C1=B1**2
TOP2=TOP2+C1
65 CONTINUE
Z=SQRT(TOP1/TOP2)
WRITE(3,51)Z
51 FORMAT(5X,"DERİNLİK",2X,"Z=",F10.4)
STOP
END
```

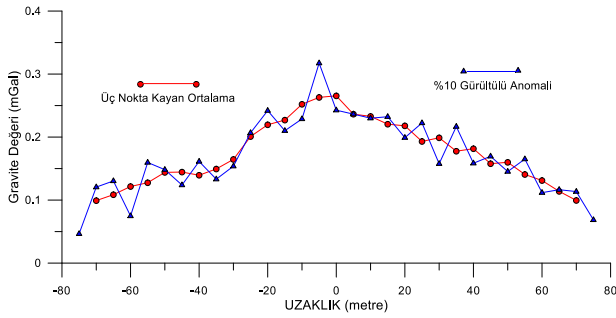
Ek B. Farklı Yapı Parametreleri için Kuramsal Gürültüsüz, Gürültülü ve  Nokta Yuvarlatma İşleci ile Dzđnleřtirilmiř Model Yapı Gravite Anomalileri



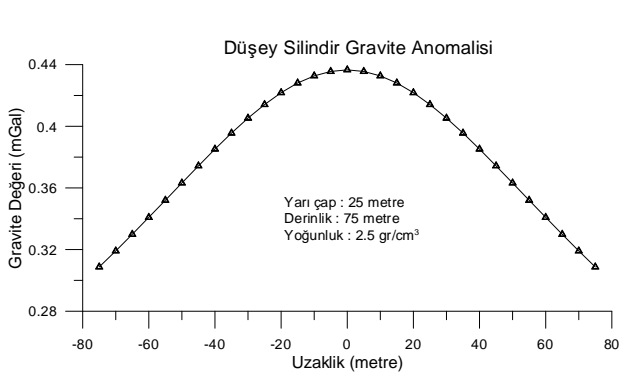
Şekil B1a. Küre Modeli parametreleri ve gravite anomalisi (Yarıçap (R) =50 metre, Derinlik (z) = 100 metre, Yoğunluk (ρ) = 2.5 gr/cm³)



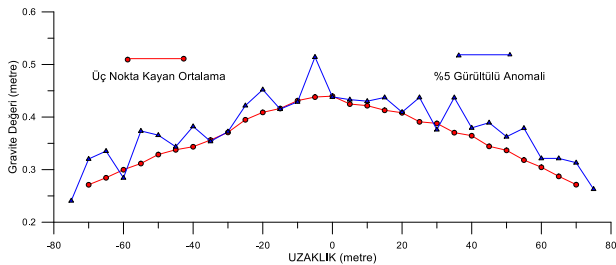
Şekil B1b. Küre modelinin %5 gürültülü ve üç nokta kayan ortalama anomalisi



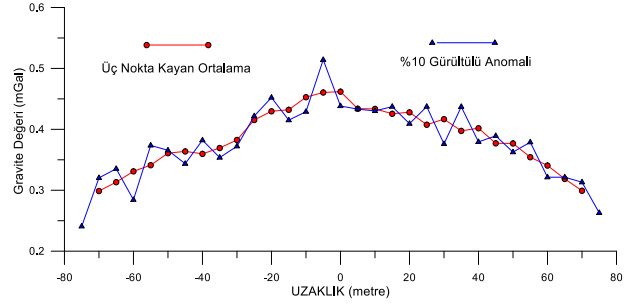
Şekil B1c. Küre modelinin %10 gürültülü ve üç nokta kayan ortalama anomalisi



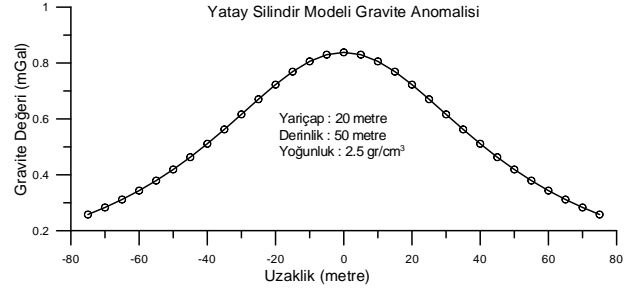
Şekil B2a. Düşey Silindir Modeli Gravite Anomalisi. Model parametre değerleri (Yarıçap (R) =25 metre, Derinlik (z) = 75 metre, Yoğunluk (ρ) = 2.5 gr/cm³)



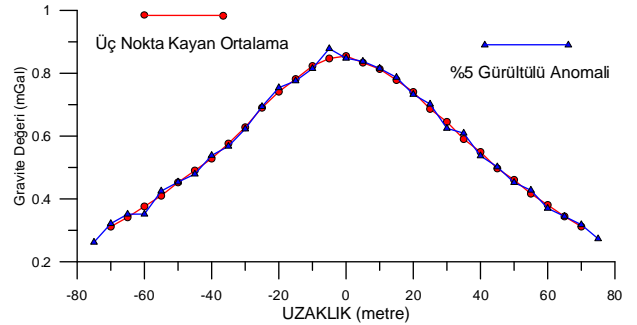
Şekil B2b. Düşey Silindir modelinin %5 gürültülü ve üç nokta kayan ortalama anomalisi



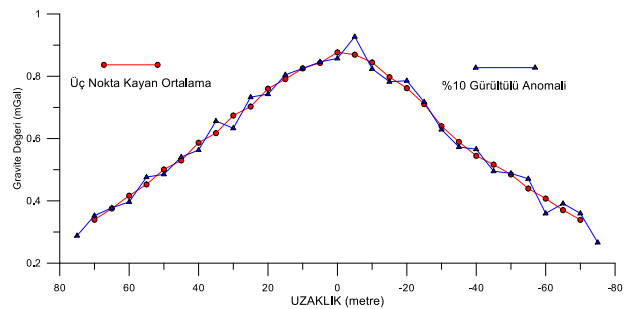
Şekil B2c. Düşey Silindir modelinin %10 gürültülü ve üç nokta kayan ortalama anomalisi



Şekil B3a. Yatay Silindir Modeli Gravite Anomalisi. Model parametre değerleri (Yarıçap (R) =20 metre, Derinlik (z) = 50 metre, Yoğunluk (ρ) = 2.5 gr/cm³)

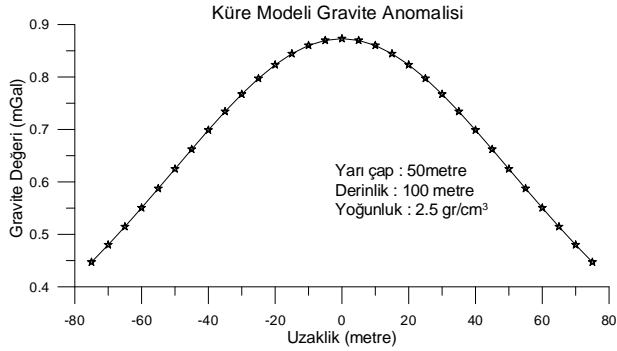


Şekil B3b. Yatay Silindir modelinin %5 gürültülü ve üç nokta kayan ortalama anomalisi

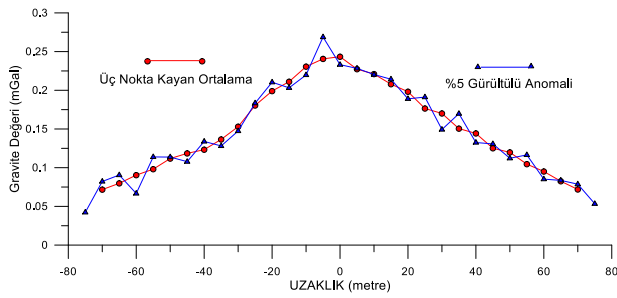


Şekil B3c. Yatay Silindir modelinin %10 gürültülü ve üç nokta kayan ortalama anomalisi

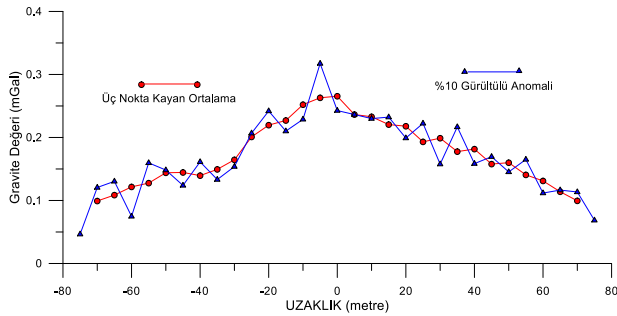
Ek C. Kuramsal Gürültüsüz, Gürültülü ve Üç Nokta Yuvarlatma İşleci ile Düzgünleştirilmiş Model Yapı Gravite Anomalileri



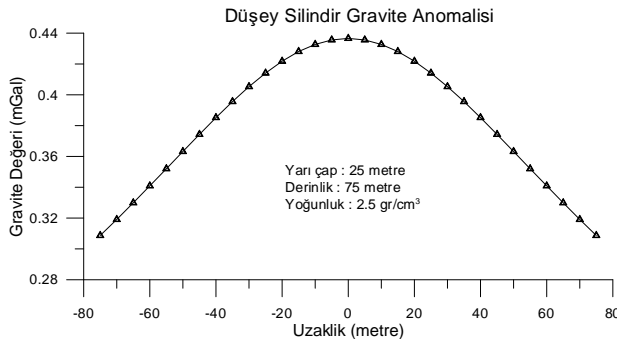
Şekil B4a. Küre Modeli Gravite Anomalisi. Model parametre değerleri (Yarıçap (R) =50 metre, Derinlik (z) = 100 metre, Yoğunluk (ρ) = 2.5 gr/cm³)



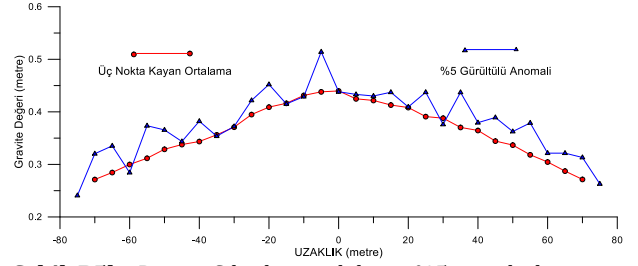
Şekil B4b. Küre modelinin %5 gürültülü ve üç nokta kayan ortalama anomalisi



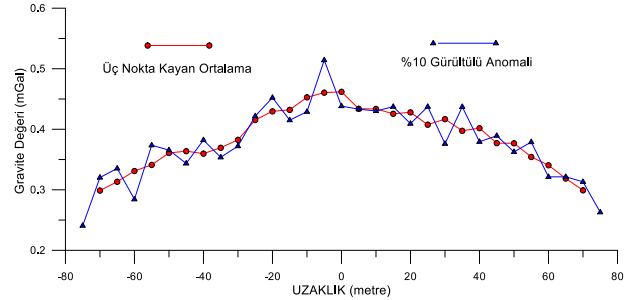
Şekil B4c. Küre modelinin %10 gürültülü ve üç nokta kayan ortalama anomalisi



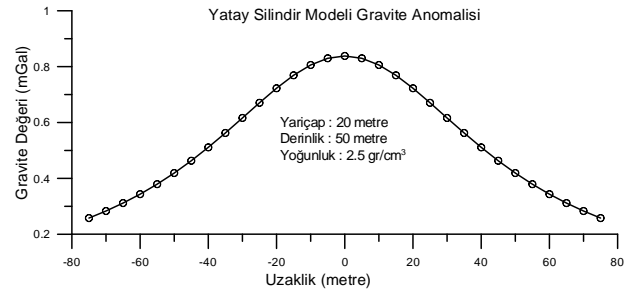
Şekil B5a. Düşey Silindir Modeli Gravite Anomalisi. Model parametre değerleri (Yarıçap (R) =25 metre, Derinlik (z) = 75 metre, Yoğunluk (ρ) = 2.5 gr/cm³)



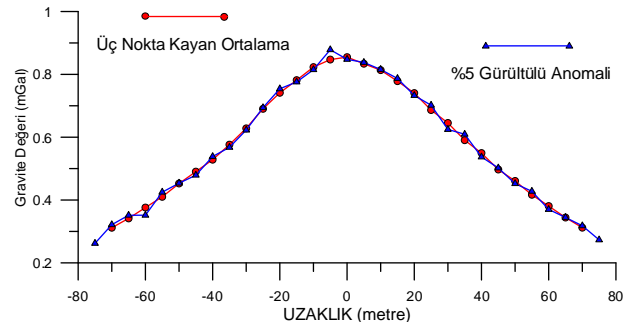
Şekil B5b. Düşey Silindir modelinin %5 gürültülü ve üç nokta kayan ortalama anomalisi



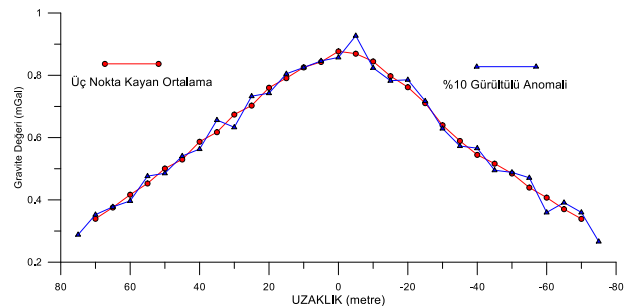
Şekil B5c. Düşey Silindir modelinin %10 gürültülü ve üç nokta kayan ortalama anomalisi



Şekil B6a. Yatay Silindir Modeli Gravite Anomalisi. Model parametre değerleri (Yarıçap (R) =20 metre, Derinlik (z) = 50 metre, Yoğunluk (ρ) = 2.5 gr/cm³)



Şekil B6b. Yatay Silindir modelinin %5 gürültülü ve üç nokta kayan ortalama anomalisi



Şekil B6c. Yatay Silindir modelinin %10 gürültülü ve üç nokta kayan ortalama anomalisi