

YERÇEKİMİNİN DİK İKİNCİ TÜREVİ VE YERKABUGUNDA KİTLE DAĞILIMI

Kasım YAŞAR

ABSTRACT. — In this paper the writer presents a new detailed study of the «Second Vertical Derivative» of gravity, which is directly based on the fundamentals of the theory of the potentials.

First of all the writer derives valid relations between the curvature of a closed surface and the well known «Laplace» differential equation. See text formulas No. 1, 2 and 3.

On the other hand he explains also the connections of the Bouguer isogams; which may be represented by the equation $g(x, y) = \text{constant}$; and their radius of curvature in a general form.

In addition to this equation he is showing the g_x and g_y components of the curvature vector and their g_{xx} and g_{yy} derivatives and then he is making an adequate choice of an arbitrary coordinate system; for instance; the tangent and its normal. Thus he is changing the (x) axis with (t) and the (y) axis with (n), with the condition that the (t) axis should be parallel to the direction of the regional continuation of the isogams and the (n) axis perpendicular to them. See figure - 1.

By applying this assumption carefully to every anomalous configuration of the Bouguer picture and providing that all $g_t = 0$; he is stating the equation No. 4 and substituting this in equation No. 3; he extracts the equation No. 5, by which the second vertical derivative values to be computed.

At the end of his theory he is briefly mentioning that when the isogams are approximately of straight line shape, he is obtaining the equation No. 6, which indicates the case that the second vertical derivative of gravity is the gradient of gradients

Additionally, he is giving formula No. 6 and according to that computing geometrically the curves from a Bouguer pattern. See figure-2a

Then he is explaining how to calculate the second vertical derivative values by the aid of a gravity profile, which is shown in figure-2b.

Later he is deriving the equation No. 12 by means of formula No. 7c, which is given in the transcendent form and separately he is stating the No. 13, which is; from the several certain patterns; empirically computed and developed.

At last he is calculating the total depth and upper edge depth of an anomaly which is caused by a sphere shaped subsurface body with the different density contrasts and additionally he is comparing his method with the others of «Elkins's and Rosenbach's».

Potensiyel teorisine göre; kapalı bir yüzeyin dışındaki potensiyel sahası; bu yüzeye dik bulunan saha vektörünün bileşenlerinin tayin edilmesiyle mümkündür.

Yerküresi yüzü bir Jeoit yüzü olarak kabul olunduğundan bu kaidenin tatbikiyle yüzün her noktası için yerçekiminin potensiyali ve bu potensiyalin türevlerini hesaplamak kolay bir mes'ele olur, ancak yüzün her noktasında yer çekimi kıymetlerinin bilinmesi icabeder.

Yukarda sözü geçen saha vektörlerinin, Türkiyenin kapladığı; yeryüzü üzerinde tayini mevzubahis olsa; bu takdirde yapılacak iş bu yüzey üzerinde en az 10 Km x 10 Km. aralı her noktada 0.1 mgal. incelikte yerçekimi ve 0.3 m. incelikte deniz yüzünden yükseklik ölçüleri yapmak icabeder.

Ölçülen bu değerlerin jeoit yüzü üzerinde olmalarını te'min edebilmek maksadiyle; önce bunların deniz yüzüne indirilmiş olmaları ve fiziki yüzeyin topografik kitle tesirlerinden kurtarılmış bulunmaları lazımdır. Böylece bu yüzey üzerinde çekim dağılımının teferruatı hesabedilebilir ve bu sahanın dışında kalan uzak bölgeler için bu dağılımın tahminleri yapılabilir.

Jeodezi ve genel jeofizik bilimlerinin el ele uğraşdığı bu işler; bilinen değerlerin küre fonksiyonlarına açılışlarıyla bütünlenip, jeoit ondülasyonlarını, şakul değişimlerini ve dolayısıyla o yüzün hassas haritalarını kontrol ve cihetlendirmeğe yararlar.

Fakat küçük muntikalarda yapılan gravimetrik araştırmalar için yukarda sözü geçen uzak aralı vektörlerin hesaplarından vazgeçmek ve işleri basitleştirmek kabildir.

Bilhassa son zamanlarda çok hassas gravimetre aletlerinin yapılmış bulunmaları ve bu yönde yeraltı cevherlerinin araştırılması için her şekliyle önemli adımlar atılmıştır.

Bukünkü tatbiki gravimetri işlerinde herşeyden evvel yeraltındaki kitle dağılımıyla yeryüzündeki çekim sahası arasındaki ilgiyi

açıklayacak şekilde ölçü neticelerini kıymetlendirmek ve bu suretle yeraltı yapılarını haritalarla tayin ve tesbit etmek ön planda gelen vazifelerdendir.

Yerçekimi potansiyalinin yüksek mertebeden türevleriyle yeraltı kitle dağılımı arasındaki münasebetlerin uzun zamandanberi bilinişi ve gerek teorik ve denemeli yollarla; çekimin dik gradyanını; ölçmek için birçok defa uğraşıldığı hepimizce bilinmektedir. Fakat doğrudan doğruya

$$\partial g / \partial z = \partial^2 U / \partial z^2$$

deyimiyle gösterilen bu gradyanı ölçecek herhangi bir aletin belki yapılmasının mümkün olamayacağını düşünerek bahis konusu bu bileşenin veya bunun yüksek mertebeden türevlerinin gerek çekim potansiyali ve gerek gravite anomalilerinden hesapları kolaylıkla mümkündür.

Herhangi bir Bouguer gravite anomalisi haritasından anlaşılabilceği üzere, boyunca uzanan ve devam ve yönü güzel bir şekilde belli olan bir yeraltı kitlesinde x profil eksenini egrilerin rejyonel gidişine dik olan bir cihete getirecek olursak,

$\partial^2 U / \partial z^2 = - \partial^2 U / \partial x^2$ olur. Fakat $\partial^2 U / \partial x^2$ kıymetleri: Eötvös sahra terazisiyle ölçülen yüzey yarıçap bükülmeleri olduklarından; bunlarla ikinci dik türey kıymetlerini hesaplamak hiç bir zaman gravimetre aletiyle elde edilen anomalilerden elde olunacak miktarlara eşit olmayacaktır,

O halde dik bileşenin daha yüksek mertebeden türevlerini, doğrudan doğruya Bouguer kıymetlerinden hesaplanan g kıymetlerinden; elde etmek her bakımdan kısa ve kesin bir sual olacaktır.

Nitekim, Th. A. Elkins ve H. Haalck ve 1953 senesinde O. Rosenbach neşrettikleri yazılarla bahis konusu meseleyi güzel bir şekilde çözmüşlerdir.

Aşağıda teorisini açıkladığım bu yeni metot yardımıyla de aynı problemi, yukarda adlarını verdiğim yazarların usullerinden ayrı olarak çözmek mümkündür.

Bilindiği gibi yerçekiminin dik ikinci türeviyle Nivo yüzeyleri ortalama bükülmeleri arasında basit bir münasebet vardır. Bu münasebet K. Jung'a göre,

$$- \partial^2 U / \partial x^2 = g \frac{1}{r_1}$$

deyimleriyle daha önce $-\partial^2 U / \partial y^2 = g \frac{1}{r_2}$ verilmiş, olup

Laplas diferensiyel denkleminde,

$$\partial^2 U / \partial z^2 = - (\partial^2 U / \partial x^2 + \partial^2 U / \partial y^2) \dots\dots\dots (1)$$

yazılır.

Halbuki, ölçüyü dikey düzleminde iyi bir yaklaşımla $r_1 = r_2 = r$ olarak alınabileceğinden, yani jeoit bir sferoit olarak kabul edilebileceğinden 1 numaralı denklemin sağ tarafını,

$$g (1/r_1 + 1/r_2) = g (r_1 + r_2 / r_1 r_2)$$

şeklinde yazar ve buradan,

$$\partial^2 g / \partial z^2 = - (\partial^2 U / \partial x^2 + \partial^2 U / \partial y^2) = 2 g \frac{1}{r} \dots (2)$$

bulunur. 2 numaralı denkleminde sol taraf yerçekimi potansiyelinin yarıçap vektörü yönünde üçüncü türevi demek olduğundan,

$$\partial^3 U / \partial z^3 = \partial^2 g / \partial z^2 = 2 g \partial (1/r) / \partial z \dots\dots\dots (3)$$

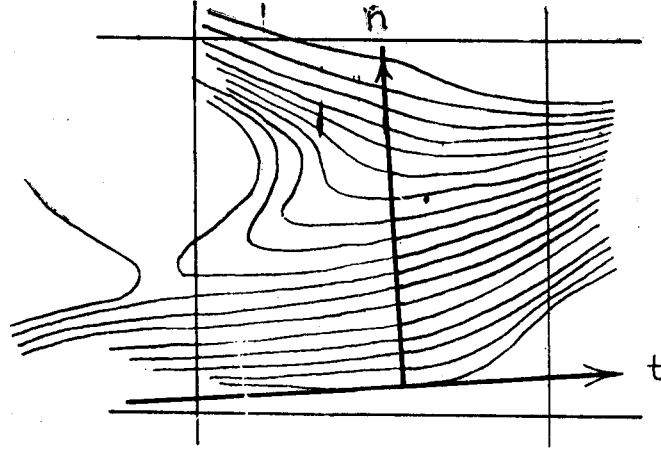
bulunur.

Biliyoruzki Bouguer haritasındaki izogamlar denkleminin $g(x, y) = c$ olduğuna şüphe yoktur. Ve bu denklemlerle yüzey bükülmeleri arasında diferensiyel hesapları kaidelerine göre, her zaman

$$r = \frac{(g_x^2 + g_y^2)^{3/2}}{2 g_x g_y g_{xy} - g_y^2 g_{xx} - g_x^2 g_{yy}} \quad \text{münasebeti caridir.}$$

Burada, $g_x = \partial g / \partial x$; $g_y = \partial g / \partial y$; $g_{xy} = \partial^2 g / \partial x \partial y$; $g_{xx} = \partial^2 g / \partial x^2$; $g_{yy} = \partial^2 g / \partial y^2$ dir.

Şimdi keyfi olarak intihab edeceğimiz koordine eksenlerinden x yerine t ve y yerine de n harflerini koyarak, t nin yönünü o bölgedeki izogamların rejyonel gidişi ve n ninkini de bu izogamların gradyan yönü olarak kabul edersek (Şekil - 1) den $g_t = 0$ olacağı aşıkârdır.



Şekil 1

O halde,
$$r = \frac{(g_n^2)^{3/2}}{-g_n^2 g_{tt}} = \frac{g_n}{g_{tt}} \dots \dots \dots (4)$$

yazılır.

Diğer taraftan,

$$\partial^2 U / \partial t^2 + \partial^2 U / \partial n^2 + \partial^2 U / \partial z^2 = 0$$

olduğundan, potansiyalin bileşenler yönündeki üçüncü mertebeden parsiyel türevleri yine,

$$\partial^3 U / \partial t^3 + \partial^3 U / \partial n^3 + 2 g \partial (1/r) / \partial z = 0 \quad \text{olur ve böylece,}$$

$$\partial^2 g / \partial z^2 = -\partial^2 g / \partial t^2 - \partial^2 g / \partial n^2 \quad \text{elde olunur. Şimdi}$$

bu formülün sağ tarafındaki ilk terim yerine 4 numaralı denklemdenki eşiti konursa,

$$\partial^2 g / \partial z^2 = \frac{1}{r} g_n - g_{nn} \dots \dots \dots (5)$$

bulunur.

5 numaralı formülden anlaşılacağı üzere, profil istikametindeki bükülme yarıçapları; mevcut izogamlardan hesap edileceğinden, Bouguer değerleri yerlerinin de çok hassas olarak haritalara oturtulmuş olmaları icabeder.

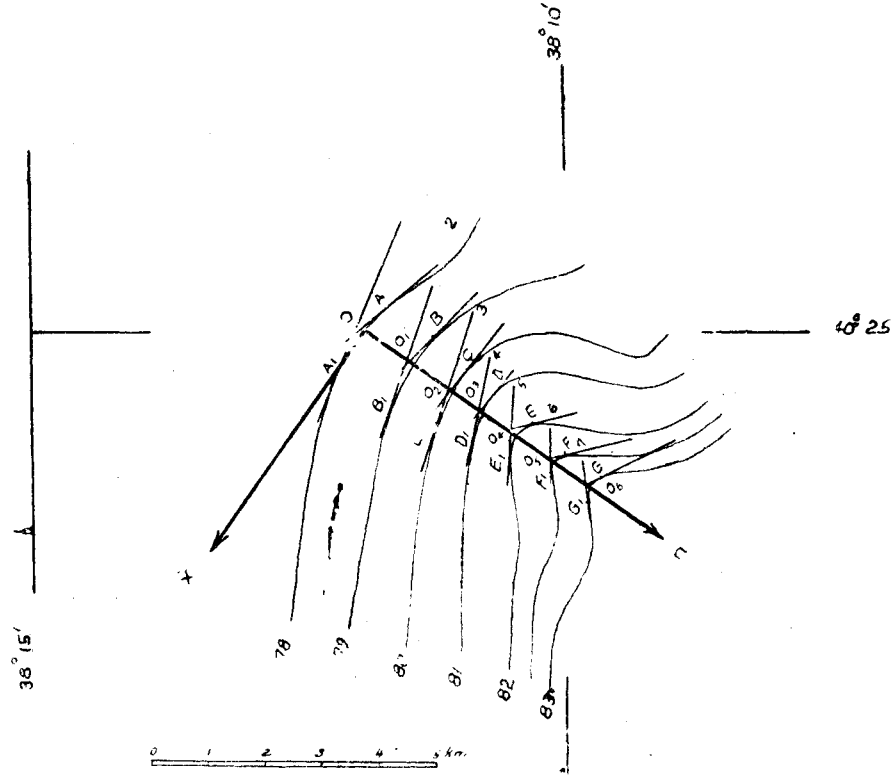
Şimdi özel bir hali nazarı itibara alarak ve belli küçük bölgelerde bükülme yarıçaplarını sonsuz kabul edelim, o halde isogamlar birer düz hat olacaklarından 5 numaralı denklemden

$$\partial^2 g / \partial z^2 = - \partial (\partial g / \partial n) \partial n \dots\dots\dots (6)$$

elde edilir. Kanaatime göre bu deyim pratikte bir ehemmiyeti haiz olmalıdır; çünkü aradığımız ikinci dik türev bu takdirde bir gradyanın gradyanı olarak ve kolaylıkla numerik neticelere gider.

Yarıçapların hesabı :

Tetkike aldığımız bölgede izogamların rejyonel gidişi iyice kestirildikten sonra profil istikametinde grafik olarak hesaplanan birkaç r den vezinli ortalama bir yarıçap (Şekil-2) de görüldüğü üzere kıymetlendirilebilir.



Şek. 2a

Meselâ (Şekil-2a) da 78 mgal. değerini taşıyan izoğam eğrisinin üzerindeki (o) noktası; araştırma yaptığımız bölgede, kordine merkezini ve (on) doğrusu da meylin en fazla olan gradyan yönünü belli eden (n) eksenini göstermiş olsun.

O halde, o, o₁, o₂ ve ila noktaları 78, 79, 80 ve ila izoğamların profili kestikleri yerlerdir.

Şimdi bu noktaların heriki tarafında ve münasip şekilde alınacak yerlerden eğrilere çizilecek teğetlerin teşkil edeceği (a) açılarıyla A-A₁, B-B₁, C-C₁ ve ila (s) arkları arasında bükülme yarıçaplarını veren.

$$r = \frac{\Delta s}{\Delta a} 57^{\circ}.3 \text{ münasebetini yazabiliriz. Buradan,}$$

$$\frac{1}{r} = 0.0174 \frac{\Delta a}{\Delta s} \dots\dots\dots (6)$$

bulunur.

Teğetlerin (o) noktalarından uzaklıkları izoğamların yatıklık dereceleri ile ilgili olduklarından, bunların (on) ekseninden en fazla kullanılan ölçeğin bir ila iki birimini aşmaması icabeder.

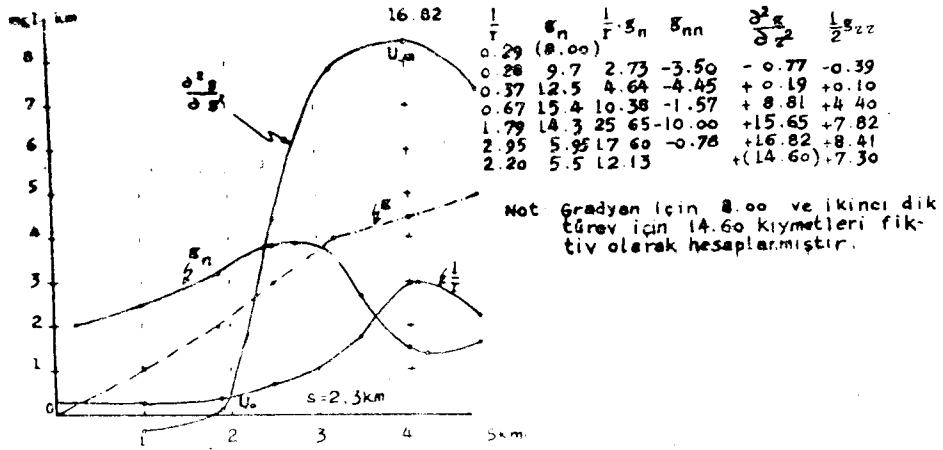
Böylece 78 izogamında 3, 79 izogamında 2, 80 izogamında 3 ve nihayet 81, 82, 82.5 ve 83 izogamlarında birer deneme ile hesaplanan bükülme yarıçaplarından sıra ile, aşağıdaki miktarlar elde edilmiştir.

$$\begin{aligned} r_{78} &= 57.3 (1.5/25.5) = 3.4 \text{ km. } 1/r_{78} = 0.0174 (25.5/1.5) = 0.294 \text{ km.}^{-1} \\ r_{79} &= 57.3 (1.6/26.0) = 3.6 \text{ km. } 1/r_{79} = 0.0174 (26.0/1.6) = 0.282 \text{ km.}^{-1} \\ r_{80} &= 57.3 (1.05/22.5) = 2.7 \text{ km. } 1/r_{80} = 0.0174 (22.5/1.05) = 0.373 \text{ km.}^{-1} \\ r_{81} &= 57.3 (0.7/27.1) = 1.6 \text{ km. } 1/r_{81} = 0.0174 (27.1/0.7) = 0.673 \text{ km.}^{-1} \\ r_{82} &= 57.3 (0.68/70.0) = 0.6 \text{ km. } 1/r_{82} = 0.0174 (70.0/0.68) = 1.790 \text{ km.}^{-1} \\ r_{82.5} &= 57.3 (0.45/76.5) = 0.34 \text{ km. } 1/r_{82.5} = 0.0174 (76.5/0.45) = 2.95 \text{ km.}^{-1} \\ r_{83} &= 57.3 (0.55/70.0) = 0.45 \text{ km. } 1/r_{83} = 0.0174 (70.0/0.55) = 2.20 \text{ km.}^{-1} \end{aligned}$$

Not: (Bütün değerler 1/100,000 ölçekli Bouguer hartasından 13.5 cm. lik sürgülü cetvelle hesaplanmıştır.)

g , g_n , $1/r$ ve $\partial^2 g / \partial z^2$ eğrilerinin çizilmesi :

- 1) Şekil-2a da 1/100,000 ölçekli Bouguer hartasından (on) istikametinde alınan bir kesit doğrudan doğruya (g) eğrisini verir.
- 2) Tersim edilen (g) eğrisinden (on) yönünde eşit aralıklarla teşkil edilen $\Delta g / \Delta n$ farklarının en küçük oranları da (g_n) gradyan eğrisini tâyin eder. Şekil-2b ye bak.
- 3) (n) yönünde çizilen (g_n) eğrisinden eşit aralıklarla teşkil edilen $\Delta g_n / \Delta n$ farklarının en küçük nisbetleri (g_{nn}) leri, yani gradyanın gradyanı kıymetlerini te'min eder
- 4) 6 numaralı formül yardımı ile hesaplanan değerlerden elde olunan muvazeneli ($1/r$) eğrisiyle gradyan eğrisi ve gradyanın gradyanı kıymetleri vasıtasıyla enterpole edilen değerler 5 numaralı formülde yerlerine kondukta Şekil 2b deki ($\partial^2 g / \partial z^2$) eğrisini meydana getirir



Şekil 2b

Birimlerin tâyini :

- a) g nin birimi 0.1 mgal. olduğuna göre g_n ' ninki 0.1 mgal/km olup, $1/r$ nin birimi km^{-1} ve g_{nn} birimide 0.1 mgal/ km^2 olduklarından g_{zz} birimi de 0.1 mgal/ km^2 . olur.
- b) Araştırmalar için kullanılan Bouguer hartasının en elverişli ölçeği 1/50,000 veya 1/100,000 olacağına göre; gravite, gradyan,

yarıçap bükülmesi ve ikinci dik türev eğrileri toplu olarak bir n-o-t kartezyen koordine sistemi üzerine inşa edilebilir. (Şekil-2b)'ye bak.

Bu maksatla (on) eksenini üzerinde uzaklık veya uzaklık farklarını ve (ot) eksenini üzerinde de miligal, miligal/kilometre, resiprok kilometre ve miligal/kilometre kare değerlerini alacak olursak; eğrileri; ölçeğe göre doğru şekillendirmiş ve birbiriyle mukayeselerini her bakımdan mümkün kılmış oluruz.

- c) (ot) eksenini üzerinde gravite eğrisi için her yarım miligal 1/2 santimetre ile gösterilirse, gradyan eğrisi için her $\Delta g/\Delta s$ kıymetinin Eötvös cinsinden miktarını 2 defa küçülterek aynı eksen üzerinde santimetre ile göstermek icabeder.

Bu takdirde g_n ve $1/r$ eğrilerinden elde olunan kıymetlerle hesaplanan ikinci dik türev değerleri (ot) eksenini üzerinde santimetre olarak gösterilmelidir.

Not : 1 Eötvös = 0.1 mgal/km. dir.

Derinlik hesapları :

Yukarıda izah edildiğine göre; ikinci d.k türev anomalileri; arz yüzüne yakın yeraltı kitlelerinin te'sirlerini gösterdiklerinden, muhtelif yoğunlukta bulunan ve mezkur anomalilere tekabül eden bu kitlelerin normal yüzeyden, yani deniz seviyesinden olan derinliklerini hesaplamak önemli bir vazifedir.

Yeryüzünde mevkileri Bouguer hartaları ve muhtelif kesitlerle tesbit edilmiş bulunan bu kitleler; hesaplarda kolaylığı te'min bakımından, ya bir Küre veya eksenini kesit yönüne dik olan bir Silindir olarak kabul edilebilirler.

O halde potansiyel teorisine göre, Şekil-3 den,

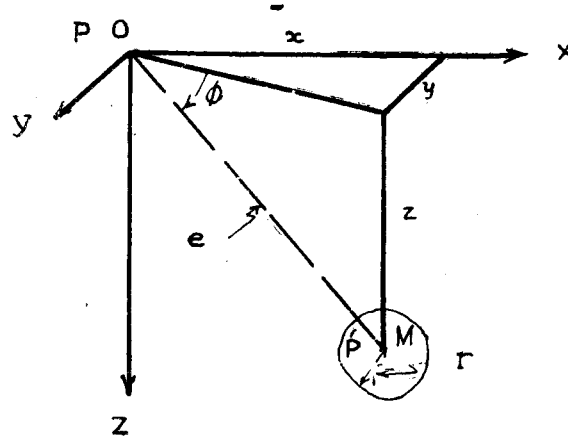
$$g = \frac{\partial U}{\partial z} = k^2 \cdot dm \cdot \sin \phi / e^2 \dots\dots\dots (7a)$$

$$g_z = \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 3 k^2 dm \left(\sin^2 \phi - \frac{1}{3} \right) / e^3 \dots\dots\dots (7b)$$

$$g_{zz} = \frac{\partial^3 U}{\partial z^3} = 3 k^2 dm \cdot \sin \phi (5 \sin^2 \phi - 3) / e^4 \dots\dots\dots (7c)$$

denklemleri yazılabilir. Burada,

$$\sin \phi = \frac{z}{e} \text{ ve } e = x^2 + y^2 + z^2$$



$$V = \frac{4}{3} \pi r^3, \quad M = \frac{4}{3} \pi r^3 \sigma$$

Şekil 3

olduklarından ve anomaliyi doğuran kitlenin doğrudan doğruya küre biçiminde bir yeraltı teşekkülü olduğu kabul olunursa (7c) den en büyük anomali değerine tekabül eden kıymet

$$e^4 U_m = 8.379 r^3 \Delta \sigma \left(5 \frac{z^3}{e^3} - 3 \frac{z}{e} \right) 10^{-7} \text{ cgs} \dots\dots\dots (8)$$

formülü ile gösterilebilir. Eğer $(x^2 + y^2) = s^2$ ile gösterilirse,

$$e = s^2 + z^2 \quad \text{olur}$$

Halbuki en büyük g_{zz} kıymeti için $s = 0$ ve $e = z$ olacaklarından 8 No. lu denklem,

$z^4 U_m = 16.758 r^3 \Delta \sigma 10^{-7} \text{ cgs}$ şeklinde deyimlendirilir ve buradan,

$$r = \sqrt[3]{\frac{z^4 U_m}{16.76 \Delta \sigma}} \dots\dots\dots (9) \text{ bulunur.}$$

Diğer taraftan ikinci dik türey eğrisinin (n) eksenini kesiği noktada $U = 0$ olacağından 8 No. denklemden bu sefer de,

$$z = \frac{5.014}{6.473} e \dots\dots\dots (10) \text{ elde edilir.}$$

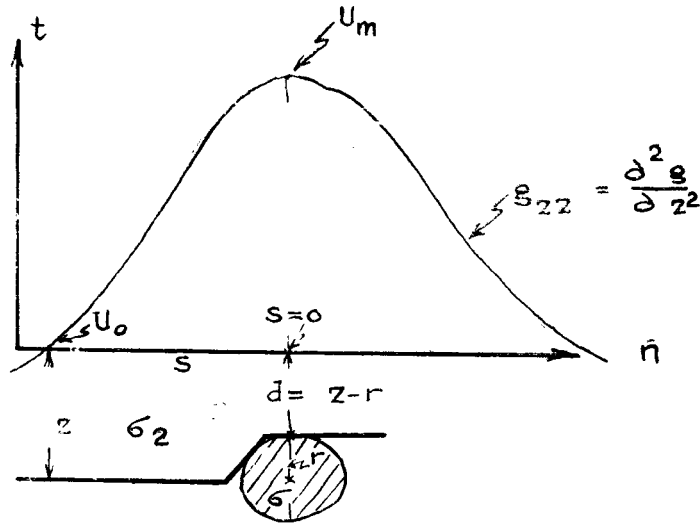
Burada e yi bir binom serisine açar ve 3. üncü ve 4. üncü terimleri, s/z her zaman 1 den küçük olacağından; ihmal edersek,

$$e = z \left(1 + \frac{1}{2} \frac{s^2}{z^2} \right) \text{ bulunur. Bu deyim (10) da yerine}$$

konursa,

$$z = 1.30 s \text{ km.} \dots\dots\dots (11) \text{ elde edilir.}$$

O halde d derinliği, s ikinci dik türevi (n) eksenine nazaran en büyük olduğu yerle sıfır olduğu yer arasındaki uzaklığı, U_m kesitteki en büyük ikinci dik türev kıymetini ve $\Delta \sigma$ da araştırma yapılan bölgedeki en uygun yoğunluk kontrastını (bu kıymet jeologlarla yapılacak istişarelerden sonra daha iyi taktir edilebilir) gösterdikleri taktirde (Şekil - 4) den



Şekil 4

$d = 1.30 s - \sqrt[3]{\frac{[1.30]^4 s^4 U_m}{16.76 \Delta \sigma}}$ yazılır ve burrdan sadeleştirme ile,

$$d = s \left(1.30 - 0.03 \sqrt[3]{\frac{U_m s}{\Delta \sigma}} \right) \dots\dots\dots (12) \text{ bulunur.}$$

Yapılan bir çok deneme hesaplarından elde edilen neticelere göre 12 No. lu formül, yer altında heriki tarafa simetrik bir şekilde yamaçlar veren ve ortası küre biçiminde tepeciklere uygun kitle şekillerine tetabuk etmekte olup; (7c) deki ϕ açısının 45 derece olduğuna delalet eder. Bu açının bilahere yapılacak istidlallerde belki muhtemel bir fayın sıvı olduğuna hükmetmek de kabildir.

Buna mukabil derinden dik olarak yukarıya doğru yükselen sahrerler için ampirik olarak elde ettiğim en uygun derinlik formülü

$$d = s \left(1.20 - 0.025 \sqrt[3]{\frac{U_m s}{\Delta \sigma}} \right) \dots\dots\dots (13)$$

deyimiyle gösterilebilir.

Misal. Şekil - 2b deki kıymetlerden istifade ederek 0.1 ve 0.2 yoğunluk kontrastları için aşağıdaki derinlikler hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned} d\sigma_1 &= 2,3 \left(1,30 - 0,03 \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 82,2,3}{0,1}} \right) = 2,3 (1,30 - 0,03 \cdot 7,29) \\ &= 2,3 (1,30 - 0,22) = 2,49 \text{ km.} \end{aligned}$$

$$d\sigma_2 = 2,3 \left(1,30 - 0,03 \sqrt[3]{\frac{16,82,2,3}{0,2}} \right) = 2,3 (1,30 - 0,03 \cdot 5,79)$$

$= 2,3 (1,30 - 0,17) = 2,62 \text{ km.}$ Bu kıymetlerden faydalanarak ayrıca,

$$r_1 = 2,3 \cdot 0,22 = 0,51 \text{ km.}$$

$$r_2 = 2,3 \cdot 0,17 = 0,39 \text{ km.}$$

$$z = 2,3 \cdot 1,30 = 3,00 \text{ km.} \quad \text{miktarları hesaplanabilir.}$$

NETİCE

Malum olduğu üzere gerek «residüel» ve gerek «Elkins ve Rosenbach» usulleriyle yapılan yeraltı anomali araştırmaları bir takım uzun hesap ve haritalama işleriyle çok zaman alıcı olduklarından, yukarda teori ve pratik inceliklerini açıkladığım metoden bunlara nazaran oldukça kısa ve ekonomik maksatlara tamamiyle kâfi gelen yeni bir araştırma olduğunu; jeofizik branşı ile ilgili okurlara arz ederim.

B İ B L İ Y O G R A F Y A

- Dr. C. H. SCHUSE, (1945) : Theorie der Functionen. *Darmstadt*, (Überstzng. von A. A. Cournot)
- Dr. A. WANGERIN, (1922) : Theorie des Potentials und der Kugelfunktionen. *Berlin*, I-II Band.
- T. A. ELKINS, (1950) : The second derivative method of gravity interpretation. *Gulf Research & Development Co.* Pittsburgh, Pennsylvania.
- O. ROSENBAACH, (1952) : A contribution to the computation of the «Second Derivative» from gravity data *E. A. E. G. Hannover*.
- H. HAALCK, (1953) : Lehrbuch der angewandten Geophysik Teil, I. *Berlin*.
-