

BÖLÜM 6

MANYETİK ANOMALLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE YORUMU

6.1 GİRİŞ

Bu bölümde cisimlerin manyetik özelliklerine ve çeşitli cisimlerin oluşturacağı anomali türlerine kısaca değinilecektir.

6.2 CİSİMLERİN MANYETİK ÖZELLİKLERİ

Cisimler manyetik özellikleri açısından üç grupta toplanır. Bunlar,

1. diamanyetik,
2. paramanyetik,
3. ferromanyetik,

cisimlerdir.

Diamanyetizma

Maddenin en küçük parçası olan atom modeli göz önüne alındığında merkezde pozitif yüklü bir çekirdek ve bu çekirdek etrafında ise değişik yörüngelerde hareket eden negatif yüklü elektronlar bulunur. Bu elektronların yörünge üzerindeki hareketleri bir mıknatıs çubuğuna benzer bir manyetik alan yaratırlar.

Böylesine bir cisme bir dış alan uygulandığında elektronlar budış alana tepki olarak, uygulanan alanı perdeleyecek şekilde yörüngelerini değiştirmeye çalışır. Bunun sonucu da ters yönde bir manyetik moment kazanırlar. Bu olay diamanyetizma olarak isimlendirilir.

Bu tür cisimler ancak bir dış alan uygulandığı zaman diamanyetik özellik gösterirler. Bu alan uygulandığı zaman ise bu cisimlerin mıknatıslığı dış olaylar tarafından örtülerek diamanyetik değilmiş gibi davranırlar. Diamanyetik cisimler negatif manyetik duyarlık gösterirler.

Paramanyetizma

Yörüngesel olarak hareket eden atomlar kendi etraflarında da hareket ederler. Spin hareketi denilen bu hareketin sonucu elektronlar bir mıknatıs gibi davranırlar ve uygulanan manyetik alan doğrultusunda dizilirler.

Atomlar toplam enerjilerini minimum seviyede tutabilmek için yörüngelerinde çift sayıda elektron bulundurlar. Elektronların spin momentleri zıt yönlü olduklarından mıknatıslanmaları sadece yörüngesel hareketlerinden kaynaklanır ve cisim bu takdirde diamanyetik davranış gösterir.

Sonuç olarak yörüngelerinde tek sayıda elektron bulunduran cisimler paramanyetik davranış gösterirler.

Ferromanyetizma

Diğerlerinden farklı olarak bu cisimlere bir dış alan uygulanıp kaldırıldığında mıknatıslanmalarını kaybetmemektedirler. Hatta bir dış alan uygulanmadığı zaman da mıknatıslanma kazanabilmektedirler.

Yörünge ve spin hareketi yapan elektronlar bir mıknatıslanma kazanmakta ve dipol gibi davranmaktadırlar. Bunun sonucu oluşan mıknatıslanmada atomlar birbirini etkilemektedir. Bu etkileşim sonucu da bir değişim enerjisi oluşmaktadır. Bu değişim enerjisi en büyük olan cisimler oldukça büyük mıknatıslanma kazanır. Bu tür cisimlere ferromanyetik cisimler denir ve bunlar dış alan uygulanmadığı zaman da mıknatıslanma kazanabilirler.

6.2.1 Minerallerin manyetik sınıflaması

Ferromanyetik cisim içinde mıknatıslanma gösteren en küçük bölge domen diye isimlendirilir. Mineraller de manyetik domenlerinin konumuna bağlı olarak üç grupta toplanırlar. Bunlar,

1. ferromanyetik
2. antiferromanyetik
3. ferrimanyetik

minerallerdir.

Ferromanyetik

Ferromanyetik minerallerde tüm domenler aynı yöndedir (Şekil 6.1). Bu türlere örnek olarak Fe, Ni ve Co gösterebiliriz. Doğada ferromanyetiklere sık rastlanmaz. Bunun nedeni ise bu elementlerin yaygın olarak oksitler ve tuzlar halinde bulunmalarıdır. Bunların manyetik duyarlılıkları $10-10^5$ emu/cm³ mertebesindedir.

Şekil 6.1

Antiferromanyetik

Bu tür cisimlerde atomların manyetik momentleri birbirine zıt yöndedir (Şekil 6.2). Bu nedenle de net manyetik moment sıfırdır.

Şekil 6.2

Bunlara örnek olarak MnO, NiO, CuO, FeS, Fe₂O₃ ü verebiliriz. Bunların manyetik duyarlılıkları 10^{-3} emu mertebesindedir.

Ferrimanyetik

Bu gruba giren minerallerde genellikle aynı ve ters yöndeki atomların sayısı ve büyüklükleri farklıdır (Şekil 6.3).

Şekil 6.3

Bu nedenle madde şiddetli mıknatıslanma gösterebilir. Dış alan olmadığı zamanda mıknatıslanma kazanma özelliği bunlarda da görülür. Bu gruba örnek olarak manyetit, pirotit, ulvospinel ve maghemiti verebiliriz. Bunların manyetik duyarlılıkları da 10^{-3} emu mertebesinde.

6.3 MANYETİK HİSTERESİS

Cisimlerin manyetik özelliklerine değinirken bazı cisimlerde uygulanan dış alan kalktığında bile cisimde bir mıknatıslanmanın kaldığı yani sıfırlanmadığına değinilmişti. Özellikle ferromanyetik cisimlerde görülen bu olay manyetik histeresis diye isimlendirilir. Şimdi bu olayı bir örnekle açıklayalım (Şekil 6.4).

Şekil 6.4

H manyetik alanı sıfırdan başlayarak arttırılırsa H_s ye gelindiğinde mıknatıslanma da J_s ye ulaşır. Bu noktadan itibaren alanı ne kadar arttırsak arttıralım mıknatıslanmanın ölçütü değişmez. buna doyma mıknatıslanması denir. Alan azaltılıp $H=0$ a ulaştığında mıknatıslanmanın sıfır olmayıp J_r gibi bir değere ulaştığı görülür. Buna da kalıcı (remanent) mıknatıslanma denir. Söz konusu malzemeye ters yönde bir alan uygulandığında, mıknatıslanmanın sıfıra ulaştığı H_c değerine koersif alan denir. Ferromanyetik cismin H_c şiddetinin bilinmesi durumunda mıknatıslanması giderilebilir. Eğer ters yönde alanın arttırılması sürdürülürse, bir noktada H_s gibi bir yerde mıknatıslanma, J_s değerine ulaşır. Bu noktadan itibaren alan tekrar azaltılırsa $H=0$ a ulaşıldığında mıknatıslanma $-J_s$ değerine ulaşır. Alanı buradan itibaren arttırmaya başladığımızda ise $J=0$ değerine ulaşıldığında koersif mıknatıslanma değerine ulaşılır. Arttırma işlemine devam edilirse sonuçta mıknatıslanma yine doymuluk değerine ulaşır.

6.4 MIKNATISLANMA TÜRLERİ

Yerküre üzerindeki kayalar incelendiğinde iki tür mıknatıslanma görülür. Bu kayalardaki mıknatıslanma şiddeti ise

$$J = J_i + J_r \quad (6.1)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Bu bağıntıda; J_i indüksiyon mıknatıslanması, J_r remanant (kalıcı) mıknatıslanmasıdır.

İndüksiyon mıknatıslanması cisme etki eden manyetik alan ile aynı yönlüdür ve şiddeti de söz konusu alan ile orantılıdır. Orantı sabitine manyetik duyarlık ismi verilir ve,

$$J_i = k T \quad (6.2)$$

bağıntısı ile tanımlanır.

Kalıcı mıknatıslanma ise önceki zamanlarda kayacın o zamanki manyetik alan doğrultusunda kazandığı ve o alanın etkisinin kalkmasına karşın koruduğu mıknatıslanmadır. Bu mıknatıslanma türü indüksiyon mıknatıslanmasından küçük olduğu gibi bazen daha da büyük ve yön olarak da farklı olabilir. Genellikle termal metamorfik kayaların ve püskürük kayaların bulunduğu bölgelerdeki manyetik anomaliler yorumlanırken kalıcı mıknatıslanmanın yönünün ve şiddetinin iyi bilinmesi gerekir.

Kalıcı mıknatıslanma türleri olarak IRM (izotermal), TRM (ısı), VRM (virkoz), CRM (kimyasal), DRM (çökeltme), ARM (anhisteritik) ve PRM (basınçla) mıknatıslanmaları sayabiliriz.

6.5 DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Buraya değin olan kısımda manyetik yöntemin genel özelliklerine ayrıntılı olarak değinilmiştir. Bu bölümde ise veri-işlem uygulamaları verilecektir.

Manyetik yöntemde de graviteye benzer şekilde Bölüm 3 te değinilen veri-işlem yöntemlerinin tamamı uygulanabilir. Uygulamalar her iki yöntemde de birbirine koşut olduğundan bu uygulamalara burada tekrar değinilmeyecektir. Burada sadece gravite yöntemindeki yoğunluğun özdeşi olan manyetik duyarlık konusuna değinilecektir.

6.5.1 Manyetik duyarlık

Manyetik duyarlık kavramına Bölüm 4.2 de değinilmişti. Bilindiği gibi manyetik anomalinin şeklini etkileyen önemli parametrelerden birisidir. Bu nedenle prospeksiyon amaçlı çalışmalarda manyetik duyarlığın sağlıklı olarak saptanması oldukça önemlidir.

Manyetik duyarlık arazide yüzey ölçümleri ve alınmış yönlü numuneler üzerinde laboratuvar ölçümleri şeklinde olmak üzere iki türlü yapılır.

Şekil 6.5 de Bayburt yöresinde Aydın ve Gelişli (1994) tarafından bir skarn zonunda yapılmış yüzey ölçülerinden elde edilmiş manyetik duyarlık haritası görülmektedir. Harita Şekil 6.6 da verilen jeolojik harita ile karşılaştırıldığında manyetik prospeksiyonda duyarlık ölçülerinin ne kadar önemli olduğu görülmektedir.

Şekil 6.5

6.5 MODELLEME ÇALIŞMALARI

Gravite bölümünde de değinildiği gibi tüm işlemler tamamlandıktan sonra amaç elde edilen anomaliyi yorumlamaktır. Diğer bir deyişle anomaliye neden olan yapıyı ortaya koymak yani modellemektir.

Bu işlem için Bölüm 3.4 de değinilen yaklaşımlar manyetik yöntem için de aynen geçerlidir. Yalnız başlangıç model için manyetikte mıknatıslanmayı en iyi simgeleyen dipol modelinden yola çıkmak yararlı olacaktır.

Şekil 6.6

6.5.1 Tek manyetik kutup

Doğada tek kutuplu bir dipol bulmak olanaksızdır. Ancak boyu çok uzun bir dipolün aşağıdaki ucunun etkisi göz ardı edilerek tek bir kutup gibi yorumlanabilir (Şekil 6.7).

Şekil 6.7

Böylesine bir tek kutbun yaratacağı Z ve H anomalileri,

$$\Delta Z = \frac{p h}{(r^2 + h^2)^{3/2}}, \quad \Delta H = \frac{p r}{(r^2 + h^2)^{3/2}} \quad (6.3)$$

$$r^2 = x^2 + y^2, \quad h = 1.305 r_{1/2}$$

bağıntısı ile tanımlanır.

6.5.2 Mıknatıs Çubuğu

Yeraltında çift kutuplu bir mıknatısın yaratacağı anomalilerin şekli (Şekil 6.6) ve bağıntıları aşağıda verilmektedir. Mıknatıs çubuğunun eğimi α , boyu l olan eğik bir mıknatıs çubuğunun alan bileşenleri,

$$\Delta Z = p \left\{ \frac{h}{(x^2 + y^2 + h^2)^{3/2}} - \frac{h - l \sin \alpha}{[(x - l \sin \alpha)^2 + y^2 + (h + l \sin \alpha)^2]^{3/2}} \right\} \quad (6.4)$$
$$\Delta H = p \left\{ \frac{x}{(x^2 + y^2 + h^2)^{3/2}} - \frac{x - l \cos \alpha}{[(x - l \sin \alpha)^2 + y^2 + (h + l \sin \alpha)^2]^{3/2}} \right\}$$

Şekil 6.8

bağıntıları ile verilir. Mıknatısın dik ($\alpha=90^\circ$) ve yatay ($\alpha=0$) olması durumunda (6.4) bağıntılarında gerekli değişimler yapılarak ulaşılabilir.

Böylesine bir mıknatısın değişik konumlardaki ve değişik mıknatıslanmaya sahip olması durumundaki değişimler ise Şekil 6.9 da verilmektedir. Anomalilerdeki değişim incelendiğinde dikkat edilirse yapının konumundan çok mıknatıslanma doğrultusunun egemen olduğu görülmektedir.

Şekil 6.9

6.5.3 Manyetik dipolün alanı

Yeraltında bulunan küre, yatay sonsuz silindir ve düşey fay gibi model yapıların manyetik anomalilerinin elde edilmesinde bir dipolün alanından yararlanılır. Düşey duran bir dipolün (Şekil 6.10) bir P noktasında yaratacağı potansiyel (4.12) bağıntısından yararlanarak (kuzey yarıkürede),

Şekil 6.10

$$V = -\frac{p(r_2 - r_1)}{r_1 r_2} = -\frac{p dr}{r^2} \quad (6.5)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Burada,

$$dr = l \cos \theta = \frac{lh}{r}, \quad M = pl \quad (6.6)$$

yaklaşımları yapılarak (6.5) de yerine konursa,

$$V = -\frac{Mh}{r^3} \quad (6.7)$$

elde edilir. (6.7) bağıntısı düşey duran bir dipolün P noktasında yaratacağı potansiyel ifadesidir. Burada alan bileşenleri,

$$\begin{aligned} \Delta X &= -\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{3Mxh}{(x^2 + y^2 + h^2)^{3/2}} \\ \Delta Y &= -\frac{\partial V}{\partial y} = \frac{3Myh}{(x^2 + y^2 + h^2)^{3/2}} \\ \Delta Z &= -\frac{\partial V}{\partial z} = \frac{M(x^2 + y^2 + 2h^2)}{(x^2 + y^2 + h^2)^{3/2}} \end{aligned} \quad (6.8)$$

bağıntıları yardımıyla tanımlanır.

Böylesine bir dipolun yatay olması durumunda ise potansiyel

$$V = - \frac{Mx}{r^2} \quad (6.9)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Alan bileşenleri ise (6.8) yaklaşımları kullanılarak bulunur.

Şekil 6.11 de değişik doğrultulardaki bir dipolun Z değişimi görülmektedir.

Şekil 6.11

Bu yaklaşımlar değişik doğrultularda mıknatıslanmış bir küre için de geçerlidir.

6.5.4 Manyetik fay problemi

Şekil 6.12 daki gibi bir fayın Z anomalisi gravite yönteminde (3.58) ile verilen fay çözümüne eşittir ve

Şekil 6.12

$$Z = 2 Jz \left[\frac{\rho}{2} + \arctg \frac{x}{h} \right] \quad (6.10)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Bu fay probleminde yararlanarak Şekil 6.13 deki gibi bir yapının manyetik anomalisi de bulunabilir.

Şekildeki yapı h derinliğinde, y yönünde -i dan i a uzanırken x yönünde sınırlıdır. Böylesine bir yapının vereceği anomali ise (6.10) bağıntısında verilen yaklaşımdan yararlanarak, x doğrultusunda - i dan a ya ve yine aynı yönde - a dan i a uzanan bir fayın oluşturacağı anomalilerin toplamından oluşur ve

$$Z = 2 Jz \left(\operatorname{arctg} \frac{x-a}{h} - \operatorname{arctg} \frac{x+a}{h} \right) \quad (6.11)$$

bağıntısı ile tanımlanır.

17

6.5.5 Talwani yöntemi

Potansiyel teoriden bilindiği ve Bölüm 4.3 de değinildiği gibi bir dipolün bir P noktasında yaratacağı potansiyel dik koordinat sisteminde

$$V = \frac{M \cos \theta}{r^2} \quad (6.12)$$

bağıntısı ile verilir. Bu bağıntı vektörel olarak

$$V = \frac{M r}{r^3} \quad (6.13)$$

şeklinde yazılabilir.

Şekil 6.14

Böylesine bir dipolün Şekil 6.14 teki gibi y yönünde -i dan +i a uzanması durumunda potansiyel bağıntısı (6.12) bağıntısına

18

$$M = J \quad V = J \quad x \quad y \quad z \quad (6.14)$$

yaklaşımı uygulanarak elde edilen

$$V = \frac{\{(xp - x)Jx + (yp - y)Jy + (zp - z)Jz\} x y z}{\{(xp - x)^2 + (yp - y)^2 + (zp - z)^2\}^{3/2}} \quad (6.15)$$

bağıntısının y yönünde -i dan +i a tümlemesinin alınması ile elde edilir.

$$V = \int_{-i}^i \frac{\{(xp - x)Jx + (yp - y)Jy + (zp - z)Jz\} x y z}{\{(xp - x)^2 + (yp - y)^2 + (zp - z)^2\}^{3/2}} dy \quad (6.16)$$

(6.16) tümlemesinin çözümü ise bizi istenen sonuca ulaştırır ki

buda,

$$V = \frac{2 x z}{[(xp - x)^2 + (zp - z)^2]} [Jx(xp - x) + Jz(zp - z)] \quad (6.17)$$

(6.17) bağıntısından yararlanarak Şekil 6.15 teki gibi bir laminanın potansiyeli ise, (6.17) bağıntısının x_k dan i a kadar tümlemesinin alınması

$$V = \frac{1}{2} \int_{x_k}^i \frac{J_x (x_p - x) + J_z (z_p - z)}{(x_p - x)^2 + (z_p - z)^2} dx \quad (6.18)$$

Şekil 6.15

$$V = \frac{1}{2} \int_{x_k}^i \left\{ \frac{J_x}{(z_p - z)^2 + (x_p - x)^2} \ln \frac{(z_p - z)^2 + (x_p - x)^2}{(z_p - z)^2 + (x_p - x_k)^2} + \frac{J_z}{2} \left(\frac{x_p - x_k}{z_p - z_k} + \arctg \frac{x_p - x_k}{z_p - z_k} \right) \right\} dx \quad (6.19)$$

Böylesine bir laminanın düşey ve yatay bileşen bağıntıları ise

$$Z = \frac{V}{z_p} - \frac{J_x (z_p - z_k) + J_z (x_p - x_k)}{z [(x_p - x_k)^2 + (z_p - z_k)^2]} \quad (6.20)$$

$$H = \frac{V}{x_p} - \frac{J_x (x_p - x_k) + J_z (z_p - z_k)}{z [(x_p - x_k)^2 + (z_p - z_k)^2]}$$

bağıntıları yardımı ile bulunur.

Yapının Şekil 6.15 deki gibi bir yönde \hat{i} uzanan bir prizma olması durumunda düşey bileşen bağıntısı (6.19) dan yararlanarak,

$$Z = \frac{z^2}{z_1} \int_{z_1}^{z_2} \frac{-J_x (z_p - z_k) + J_z (x_p - x_k)}{(x_p - x_k)^2 + (z_p - z_k)^2} dz_k \quad (6.21)$$

tümlemesi ile bulunur. (6.21) in çözümünden

$$Z = \frac{z^2}{z_1} \left[\frac{-J_x (z_p - z_k) + J_z (x_p - x_k)}{(x_p - x_k)^2 + (z_p - z_k)^2} (\hat{U}_1 p - \hat{U}_2 p) + \frac{z_{221}}{z_{221} + x_{212}} \ln \frac{r_{2p}}{r_{1p}} \right] +$$

$$+ J_z \left[\frac{z_{221}}{z_{221} + x_{212}} (\hat{U}_1 p - \hat{U}_2 p) + \frac{x_{12} z_{21}}{z_{221} + x_{212}} \ln \frac{r_{2p}}{r_{1p}} \right] \quad (6.22)$$

bağıntısına ulaşılır. (6.22) bağıntısı bir yönde \hat{i} uzanan bir fayın Z anomalisini veren Talwani bağıntısıdır.

Öngörülen yapının Şekil 6.16 deki gibi bir çokgen oluşturması durumunda herbir kenarın etkisi (6.22) bağıntısından yararlanılarak bulunur ve daha sonra bunların cebrik toplamları alınır.