

ÖZET

Çekül sapması, yeryüzünde yapılan ölçülerden jeodezik ürünlerin hesaplanmasında karşılaşılan bir kavramdır. Topoğrafik-izostatik çekül sapmaları; gerçek çekül doğrultusu ile jeoid yerine alınan elipsoidin normali arasındaki doğrultu farkının kaynağı olarak jeoidin dışındaki kitlelerin düzensizliği ve yerkabuğunu oluşturan kitlelerin sabit kalınlıkta ve sabit yoğunlukta olmaması gösterilerek hesaplanırlar.

Bu çalışmada, Türkiye I. Derece Nirengi Ağının 7. Poligonuna ait 43 noktada hesaplanan topoğrafik-izostatik çekül sapma bileşenlerine ve bunların hesabı ile ilgili araştırmalara yer verilmektedir. Bir nümerik integrasyon olan hesaplama işlemlerinde Pratt-Hayford izostasi sistemi ve ızgara yöntemine göre birisi küresel diğeri düzlem yaklaşımla geliştirilen iki çeşit formül kullanılmıştır. Bu iki formül birbiri ile karşılaştırılarak dikkate alınan topoğrafik kitlelerin uzaklığına göre bazen birisi bazen diğeri tercih edilmiştir. Hesaplarda dikkate alınması gereken kitlelerin uzaklıkları tesbit edilerek oluşturulan 250 bin civarındaki blokun ortalama yükseklikleri veri olarak kullanılmıştır. Verilerin elde edilmesinde blokların uzaklıklarına göre değişik ölçekli haritalardan yararlanılmıştır. Hesaplarda, verilerin elde edilmesi, bu verilerin bilgi kayıt ortamına aktarılması ve bilgisayarda veri yönetimi yönünden önemli zorluklarla karşılaşmıştır.

1. GİRİŞ

Jeodezik problemlerin özelliğinden dolayı ölçüler yeryüzünde, hesaplar ise seçilen bir hesap yüzeyinde yapılır. Referans yüzeyinin seçiminde yapılacak faaliyetten amaçlanan doğruluk etkili olur. Ülke veya kıta düzeyindeki nirengi ağlarının hesabında yeryuvarının gerçek şekline (jeoide) olabildiğince uyan bir dönele elipsoid referans yüzeyi olarak seçilir.

Çekül sapması, yeryüzünde ölçülerin yapılmasında esas alınan gerçek çekül doğrultusu ile elipsoid yüzeyinde hesapların yapılmasında esas alınan elipsoid

normali arasındaki doğrultu farkıdır. Çekül sapması kavramı ile yeryüzünde yapılan ölçülerden istenen ürünlere giderken hesaplama işlemleri için doğanın modellenilmesi nedeniyle karşılaşılr. Çekül sapmasının bu modellenmedeki yaygın kullanım yerleri kısaca şöyle özetlenebilir :

- * Yeryüzünde yapılan ölçülerin hesap yüzeyine indirgenmesinde,
- * En uygun elipsoid ve datum parametrelerinin seçiminde,
- * Jeoidin belirlenmesinde.

Hesaplanmalarında kullanılan verilerin türüne göre çeşitli ön adlar alan çekül sapmalarının ana kaynağı olarak yeryuvarının kitle düzensizlikleri gösterilir. Burada söz konusu olan topoğrafik-izostatik çekül sapmaları; yeryuvarının kitle düzensizlikleri,

1. Jeoidin dışındaki kitlelerin dağılımının düzensizliği (topoğrafik),
2. Yerkabuğunu oluşturan kitlelerin sabit kalınlık ve sabit yoğunlukta olmaması (izostatik)

şeklinde özelleştirilerek hesaplanırlar (Gürkan, 1977). Topoğrafik-izostatik çekül sapmalarının hesaplanması demek, yukarıda açıklanan ve yerkabuğunun kitle düzensizliklerinin yapay olarak giderilmesi durumunda gerçek çekül doğrultusunda oluşacak değişim miktarlarının hesaplanmasıdır.

Kitle düzensizliklerini yapay olarak ortadan kaldırmak, önce kitle düzensizliklerini açıklayan bir izostazi modelini ortaya koymak ve buna uygun olarak yerkabuğuna ait kitleleri, kitle düzensizliklerini giderecek şekilde yer değiştirmekle başılır.

Yerkabuđuna ait kitlelerin yapay olarak yer değiştirmesi Newton çekim yasasına göre gerçek çekül doğrultusunun yönünün değişmesine yol açar. Çekül doğrultusunda oluşacak değişim miktarı, teorik olarak yerleri değiştirilen yerkabuğuna ait tüm kitle elemanlarının (dm) çekül doğrultusunda oluşturacağı değişimlerin ayrı ayrı hesaplanıp toplamlarının alınmasıyla bulunabilir. Özde bir integrasyon işlemi olan bu hesaplama, pratikte jeoid yüzeyi (veya yeryüzü) benimsenen bir koordinat sistemi yardımıyla uygun büyüklükte ve biçimde sonlu q bölmelerine ayrılarak becerilir. Her bölme için arazinin yüksekliği veya denizin derinliği sabit kabul edilerek uygun ölçekli topoğrafik haritalardan ortalama bölme yükseklikleri herhangi bir yolla tahmin edilir. İntegral formülleri sonlu bölmelere ait sınır değerlerine göre integre edilerek her q bölgesindeki yapay kitle değişiminin çekül dorultusuna et-

kisinin kuzey-güney ve doğu-batı doğrultusundaki bileşenleri ($\Delta q \xi$, $\Delta q \eta$) ayrı ayrı hesaplanır. Bunların toplanmasıyla topoğrafik-izostatik çekül sapmasının kuzey-güney ve doğu-batı bileşenleri (ξ , η) bulunur.

Topoğrafik-izostatik çekül sapmalarının hesabında kullanılan integral formülleri benimsenen izostatik modele ve jeoid yüzeyindeki bölmelerin elde edilmesine uygun olarak geliştirilir. Bu çalışmada kullanılan integral formüllerinin geliştirilmesinde izostazi modeli olarak Pratt-Hayford modeli, bölümlene yöntemi olarak ızgara yöntemi işlemlerdeki kolaylıkları nedeniyle tercih edilmiştir.

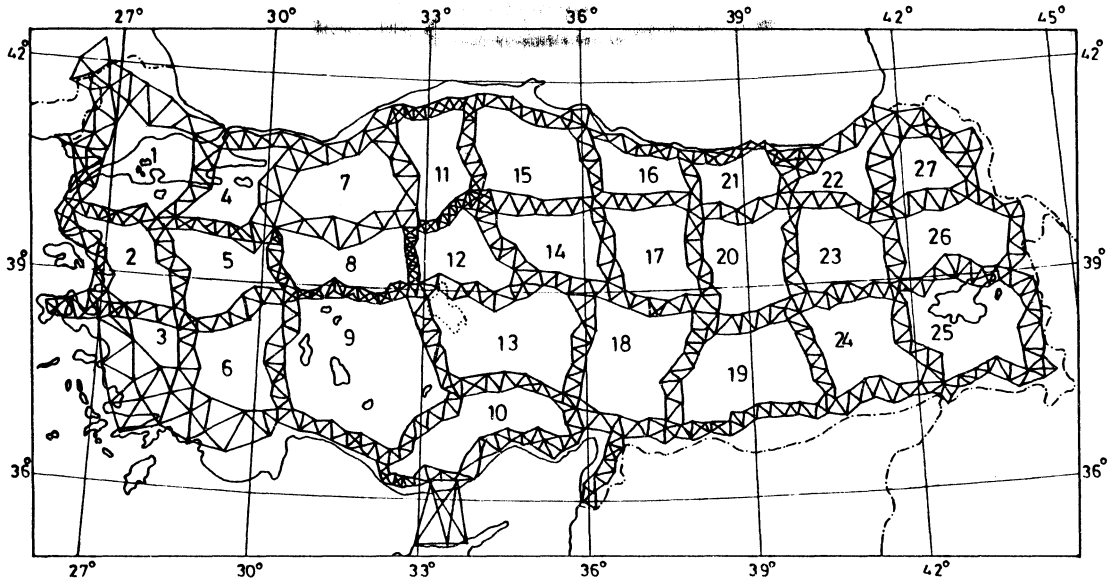
Pratt-Hayford izostazi modeline göre, deniz seviyesi ile denge yüzeyi (yerkabuğunun alt sınırı) arasındaki tüm kitlelerin yoğunluğu sabit olacak şekilde ;

a) Denizlerde, deniz dibi ile denge yüzeyi arasındaki kitleler gevşetilerek denizler doldurulur,

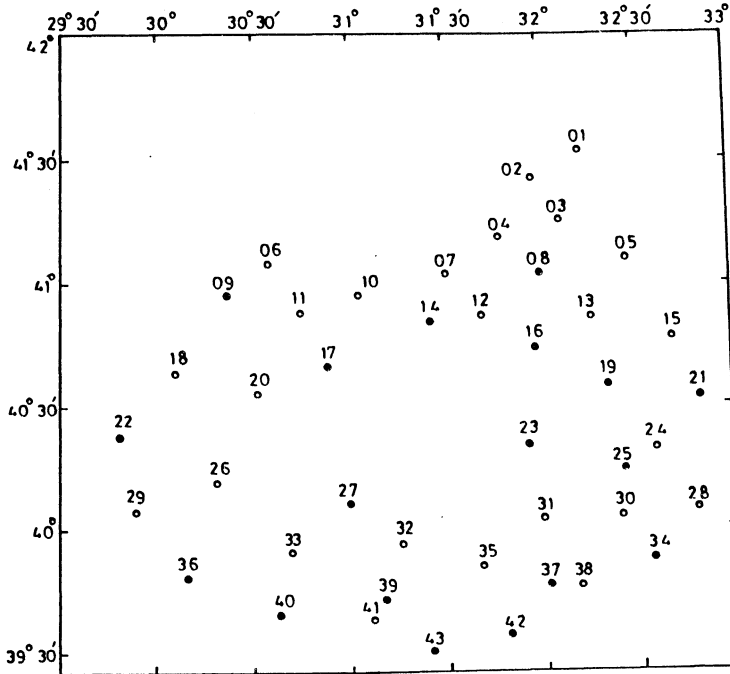
b) Karalarda, deniz seviyesinin üstündeki kitlelerin tamamı kaldırılarak hemen altlarındaki deniz seviyesi ile denge yüzeyi arasına sıkıştırılır.

Izgara yöntemine göre jeoid yüzeyi genel olarak coğrafi koordinat çizgileri ile bölmelere ayrılır. Özel olarak düzlem yaklaşım gereken durumlarda jeoid yüzeyi düzlem kabul edilerek bölümlene dik koordinat sisteminin koordinat doğrularıyla da yapılabilir. Izgara yöntemine göre bölümlenmenin üstünlüğü bölmelerin ortalama yükseklik tahminlerinin bütün hesap noktaları için yalnızca bir defa yapılmasıdır.

Bu çalışmada topoğrafik-izostatik çekül sapması hesabı üzerine yapılan bir denemeye ve elde edilen sonuçlarla ilgili yorumlara yer verilecektir. Deneme alanı olarak seçilen bölge Türkiye`I. Derece nirengi ağı 7. poligonudur (Şekil-1). Bu bölgede topoğrafik-izostatik çekül sapması hesaplanan nirengi noktaları 43 adettir (Şekil-2). Hesaplar için gerekli olan 250 bin civarındaki yükseklik verisi, hesaba dahil edilen kitlelerin hesap noktasına olan uzaklıkları dikkate alınarak 1/25.000, 1/100.000, 1/250.000, 1/500.000, 1/2.500.000 ve 1/5.000.000 ölçekli haritalardan bizzat okunarak elde edilmiştir. Hesaplama işlemleri KTÜ'de IBM 370/125 bilgisayarında yapılmışlardır.



Şekil-1 : Türkiye I. derece nirengi ağı.

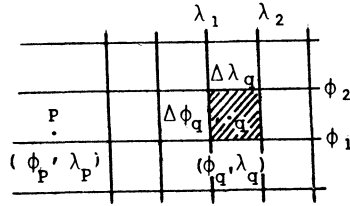


Şekil-2

2. HESAP FORMOLLERİ

Hesaplar için, P hesap noktası jeoid yüzeyinde ($H_p = 0$) kabul edilerek birisi küresel diğeri düzlem yaklaşımla iki çeşit formül geliştirilmiştir.

Küresel Yaklaşım Formülü : Bu formül jeoid yüzeyindeki bölmelerin ϕ , λ coğrafi koordinat çizgileri ile elde edildiği ve blok (bölme) kitlesinin blok orta noktasından geçen düşey çizgi boyunca yoğunlaştığı (yani sıkıştırıldığı) varsayılarak nümerik integrasyonla türetilmiştir. Blok kitlesi için böylesi varsayım, integral formüllerinin sadece h blok yüksekliğine göre integre edilmesini gerektirir. Şekil-3'te görülen ϕ_1 , ϕ_2 , λ_1 , λ_2 coğrafi koordinat çizgileri ile sınırlı q sayılı bloktaki yapay kitle değişiminin $P(\phi_p, \lambda_p, H_p = 0)$ noktasındaki çekül doğrultusunda yaratacağı değişimin doğu-batı ve kuzey-güney bileşenleri $\Delta q\eta$, $\Delta q\xi$



Şekil-3

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta q\eta \\ \Delta q\xi \end{array} \right\} = \frac{K}{G} \Delta \rho \cos \phi_q \Delta \sigma_q \left\{ \begin{array}{l} S \\ C \end{array} \right\} \left[Q_1 (U(z=z_2) - U(z=z_1)) - Q_2 (U(z=z_4) - U(z=z_3)) \right] \quad (1)$$

küresel yaklaşım formülü ile hesaplanabilir (Karaali, 1985). Formüldeki sembollerin anlamları aşağıdaki gibidir;

- K : Newton çekim sabiti,
- G : Hesap bölgesi için ortalama gravite değeri,
- ρ_o : Yeryuvarının kabuk yoğunluğu,
- ρ_w : Suyun yoğunluğu,
- H_q : Blok ortalama yüksekliği veya derinliği,
- D : İzostatik denge derinliği,
- R : Yeryuvarının ortalama yarıçapı,

ϕ_p, λ_p : P hesap noktasının coğrafi koordinatları,

ϕ_q, λ_q : Blok orta noktasının coğrafi koordinatları,

$\Delta\phi_q, \Delta\lambda_q$: Blok boyutları

olmak üzere

$$\bar{D} = D \left(1 - \frac{D}{R} + \frac{D^2}{3R^2} \right)$$

$$\cos\psi = \sin\phi_q \sin\phi_p + \cos\phi_q \cos\phi_p \cos(\lambda_q - \lambda_p)$$

kısaltmalarıyla,

$$\Delta\sigma_q = \Delta\phi_q \Delta\lambda_q$$

$$S = \cos\phi_q \sin(\lambda_q - \lambda_p)$$

$$C = \sin\phi_q \cos\phi_p - \cos\phi_q \sin\phi_p \cos(\lambda_q - \lambda_p)$$

Denize Ait Bir Blok İçin

$$\Delta\rho = \rho_w - \rho_o$$

$$Q_1 = 1$$

$$Q_2 = H_q / (\bar{D} - H_q)$$

$$z_1 = -H_q$$

$$z_2 = 0$$

$$z_3 = -\bar{D}$$

$$z_4 = -H_q$$

Karaya Ait Bir Blok İçin

$$\Delta\rho = \rho_o - \rho_i$$

$$Q_1 = \bar{D} / (\bar{D} + H_q)$$

$$Q_2 = H_q / (\bar{D} + H_q)$$

$$z_1 = 0$$

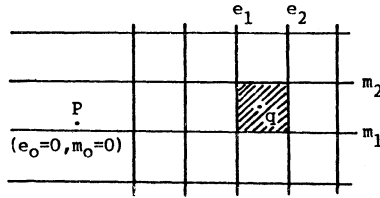
$$z_2 = H_q$$

$$z_3 = -\bar{D}$$

$$z_4 = 0$$

$$U(z) = R \left[\frac{(1 + \frac{z}{R})^2}{\sqrt{(1 + \frac{z}{R})^2 - 2(1 + \frac{z}{R}) \cos \psi + 1}} + \frac{(1 + \frac{z}{R})^2 (6 \cos^3 \psi - 5 \cos \psi) - 3 \cos^2 \psi + 2}{(1 - \cos^2 \psi) \sqrt{(1 + \frac{z}{R})^2 - 2(1 + \frac{z}{R}) \cos \psi + 1}} + 3 \cos \psi \ln \{ 2(\sqrt{(1 + \frac{z}{R})^2 - 2(1 + \frac{z}{R}) \cos \psi + 1} + (1 + \frac{z}{R}) - \cos \psi) \} \right]$$

Düzlem Yaklaşım Formülü : Bu formül, jeoid yüzeyindeki bölmelerin, orijini P hesap noktasında bulunan (e , m) dik koordinat sisteminin koordinat doğrularıyla elde edildiği varsayılarak geliştirilen integral formüllerinin bölme (blok) sınır değerlerine göre integre edilmesiyle üretilmiştir. Buna göre, Şekil-4'de görülen e₁, e₂, m₁, m₂ koordinat doğrularıyla sınırlı q sayılı bloktaki yapay kitle değişiminin P(e_p=0, m_p=0, H_p=0) noktasındaki çekül doğrultusuna etkisinin doğu-batı ve kuzey-güney doğrultusundaki bileşenlerinin (Δq_η , Δq_ξ) hesabı için, kesin integrasyonla geliştirilen



Şekil-4

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta q_{\eta} \\ \Delta q_{\xi} \end{array} \right\} = \frac{K}{G} \Delta \rho \left[Q_1 \left\{ \begin{array}{l} A(n_1 = z_1, n_2 = z_2) \\ B(n_1 = z_1, n_2 = z_2) \end{array} \right\} - Q_2 \left\{ \begin{array}{l} A(n_1 = z_3, n_2 = z_4) \\ B(n_1 = z_3, n_2 = z_4) \end{array} \right\} \right] \quad (2)$$

düzlem yaklaşım formülü kullanılır. Burada,

$$T_{ijk} = \sqrt{e_i^2 + m_j^2 + n_k^2}, \quad (i, j, k = 1, 2)$$

$$F_{ik} = \sqrt{e_i^2 + n_k^2}, \quad (i, k = 1, 2)$$

$$K_{jk} = \sqrt{m_j^2 + n_k^2}, \quad (j, k = 1, 2)$$

kısaltmalarıyla,

$$\begin{aligned}
A(n_1, n_2) = & n_1 \ln \left[\frac{(m_1 + T_{111})(m_2 + T_{221})}{(m_1 + T_{211})(m_2 + T_{121})} \right] + n_2 \ln \left[\frac{(m_1 + T_{212})(m_2 + T_{122})}{(m_1 + T_{112})(m_2 + T_{222})} \right] \\
& + m_1 \ln \left[\frac{(n_1 + T_{111})(n_2 + T_{212})}{(n_1 + T_{211})(n_2 + T_{112})} \right] + m_2 \ln \left[\frac{(n_1 + T_{221})(n_2 + T_{122})}{(n_1 + T_{121})(n_2 + T_{222})} \right] \\
& + 2 e_1 \left[\tan^{-1} \frac{e_1(T_{122} - F_{12})}{m_2(F_{12} + n_2)} - \tan^{-1} \frac{e_1(T_{121} - F_{11})}{m_2(F_{11} + n_1)} \right. \\
& \quad \left. + \tan^{-1} \frac{e_1(T_{111} - F_{11})}{m_1(F_{11} + n_1)} - \tan^{-1} \frac{e_1(T_{112} - F_{12})}{m_1(F_{12} + n_2)} \right] \\
& + 2 e_2 \left[\tan^{-1} \frac{e_2(T_{221} - F_{21})}{m_2(F_{21} + n_1)} - \tan^{-1} \frac{e_2(T_{222} - F_{22})}{m_2(F_{22} + n_2)} \right. \\
& \quad \left. + \tan^{-1} \frac{e_2(T_{212} - F_{22})}{m_1(F_{22} + n_2)} - \tan^{-1} \frac{e_2(T_{211} - F_{21})}{m_1(F_{21} + n_1)} \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B(n_1, n_2) = & n_1 \ln \left[\frac{(e_1 + T_{111})(e_2 + T_{221})}{(e_1 + T_{121})(e_2 + T_{211})} \right] + n_2 \ln \left[\frac{(e_1 + T_{122})(e_2 + T_{212})}{(e_1 + T_{112})(e_2 + T_{222})} \right] \\
& + e_1 \ln \left[\frac{(n_1 + T_{111})(n_2 + T_{122})}{(n_1 + T_{121})(n_2 + T_{112})} \right] + e_2 \ln \left[\frac{(n_1 + T_{221})(n_2 + T_{212})}{(n_1 + T_{211})(n_2 + T_{222})} \right] \\
& + 2 m_1 \left[\tan^{-1} \frac{m_1(T_{212} - K_{12})}{e_2(K_{12} + n_2)} - \tan^{-1} \frac{m_1(T_{211} - K_{11})}{e_2(K_{11} + n_1)} \right. \\
& \quad \left. + \tan^{-1} \frac{m_1(T_{111} - K_{11})}{e_1(K_{11} + n_1)} - \tan^{-1} \frac{m_1(T_{112} - K_{12})}{e_1(K_{12} + n_2)} \right] \\
& + 2 m_2 \left[\tan^{-1} \frac{m_2(T_{221} - K_{21})}{e_2(K_{21} + n_1)} - \tan^{-1} \frac{m_2(T_{222} - K_{22})}{e_2(K_{22} + n_2)} \right. \\
& \quad \left. + \tan^{-1} \frac{m_2(T_{122} - K_{22})}{e_1(K_{22} + n_2)} - \tan^{-1} \frac{m_2(T_{121} - K_{21})}{e_1(K_{21} + n_1)} \right]
\end{aligned}$$

olmak üzere, diğer sembollerin anlamları \bar{D} yerine D alınmak koşuluyla daha önce açıklanan anlamlarının aynısıdır.

Bu çalışmada yapıldığı gibi jeoid yüzeyinin bölünmesi ϕ , λ coğrafi koordinat çizgileriyle yapılması ve buna uygun olarak yükseklik verilerinin elde edilmesi durumunda çeşitli nedenlerle P hesap noktasının yakınında kesin integrasyonla türetilen düzlem yaklaşım formülünün uygulanması istenebilir. Bu durumda ϕ_1 , ϕ_2 , λ_1 , λ_2 coğrafi koordinat çizgileriyle sınırlı ($\phi_1 < \phi_2$, $\lambda_1 < \lambda_2$) bir blokun yanal yüzlerinin, başlangıcı $P(\phi_p , \lambda_p)$ noktasında bulunan dik koordinat sistemindeki koordinatları (e_1, e_2, m_1, m_2) yerterli yaklaşıklıkla ;

$$\begin{aligned} e_1 &= R \cos\left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2}\right) (\lambda_1 - \lambda_p) & m_1 &= R (\phi_1 - \phi_p) \\ e_2 &= R \cos\left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2}\right) (\lambda_2 - \lambda_p) & m_2 &= R (\phi_2 - \phi_p) \end{aligned} \quad (3)$$

bağıntılarından hesaplanabilir.

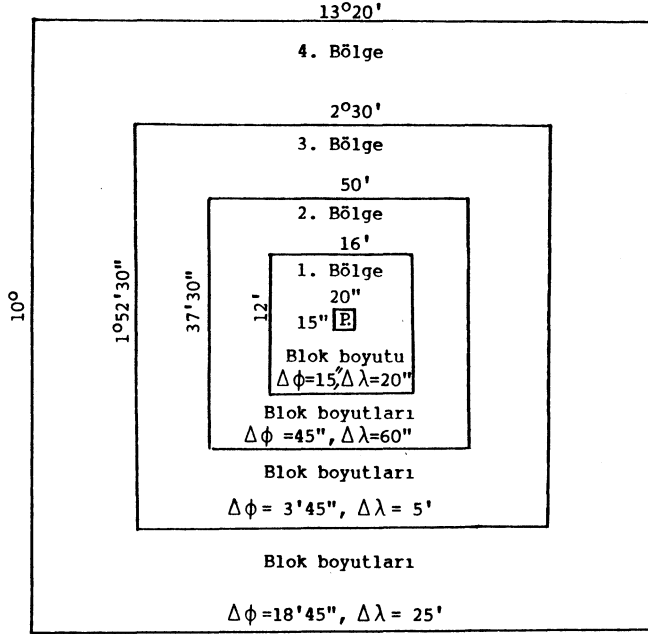
3. VERİLERİN ELDE EDİLMESİ

Topoğrafik-izostatik çekül sapmalarının hesaplanmasında veri olarak sadece topoğrafik yüksekliklere ve/veya derinliklere ihtiyaç duyulur. Newton çekim yasasına göre kitlelerin çekim etkileri uzaklıkla ters orantılı olarak artar. Bu nedenle tüm yeryüzü yerine, topoğrafik-izostatik çekül sapmalarına pratik anlamda etkili olan yeryüzü parçalarının hesap formüllerine uygun olarak bölmelere (bloklara) ayrılması ve bu blokların ortalama yüksekliklerinin topoğrafik haritalardan herhangi bir biçimde tahmin edilmesi gerekir.

Hesaplarda kullanılan formüllere uygun olarak etki alanlarına giren yeryüzü parçalarının bölünmesi coğrafi koordinat çizgileriyle yapılmıştır. Deneme bölgesinde yapılan araştırmalar her bir hesap noktası etrafında meridyen boyunca 10° , paralel boyunca $13^\circ 20'$ büyüklüğünde bir etki alanını dikkate almanın fazlasıyla yeterli olduğunu, bunun dışındaki kitlelerin çekül sapma bileşenlerine etkileri toplamının 0.01 den küçük olduğunu göstermiştir.

Etki alanlarına giren yeryüzü parçalarının bölmelere ayrılması, etkilerin uzaklıkla azalmasından ötürü P hesap noktasından uzaklaştıkça bölme bo-

utları büyüyecek şekilde yapılmıştır. Buna göre, her bir hesap noktası için $10^{\circ} \times 13^{\circ}20'$ boyutlarında belirlenen etki alanı, içtekilerin dış sınırları dıştakilerin iç sınırlarıyla çakışacak şekilde, içiçe beş alt etki bölgesine ayrılmıştır (Şekil-5).



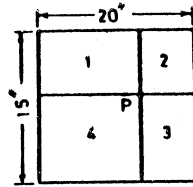
Şekil-5

Etki bölgelerinin dış sınırlarının boyutları,

- * 0. bölge (en iç bölge) için $15'' \times 20''$
- * 1. bölge için $12' \times 16'$
- * 2. bölge için $37'30'' \times 50''$
- * 3. bölge için $1^{\circ}52'30'' \times 2^{\circ}30'$
- * 4. bölge için $10^{\circ} \times 13^{\circ}20'$

olacak biçimde seçilmiştir.

Deneme alanındaki hesap noktalarına ait etki alanlarını içine alan yüzü parçaları; 1. bölgeler 15" x 20", 2. bölgeler 45" x 60", 3. bölgeler 3'45" x 5', 4. bölgeler 18'45" x 25' boyutlarındaki bloklardan oluşacak şekilde bölmelere ayrılmıştır. Bu ayrımda; blokların yaklaşık kare şeklinde ve boyutlarının tam sayı katları olmalarına ve 1. bölgelere ait 1/50.000 ölçekli paftaları sınırlayan coğrafi koordinat çizgilerinin 15" x 20", 2. bölgelere ait 1/100.000 ölçekli paftaları sınırlayan coğrafi koordinat çizgilerinin 45" x 60", 3. bölgelere ait 1/250.000 ölçekli paftaları sınırlayan coğrafi koordinat çizgilerinin 3'45" x 5' boyutlarındaki blokların orta noktalarından geçmelerine dikkat edilmiştir. Bu şekilde pafta esasına göre bölümlenmesi sonucu P hesap noktaları 15" x 20" boyutlu blokların içinde herhangi bir yere rastlar. Bu nedenle P hesap noktasını içinde bulandıran 15" x 20" boyutlarındaki en iç bölge (0. bölge) standart bölümlenme yerine P hesap noktasından geçen coğrafi koordinat çizgileriyle değişik boyutlu dört bloka ayrılmıştır (Şekil-6).



Şekil-6

Yukarıda anlatılan bölümlenmeye göre, herhangi bir P noktasındaki topoğrafik-izostatik çekül sapmasının hesabında 4 adedi 0. bölgede, 2303 adedi 1. bölgede, 2244 adedi 2. bölgede, 800 adedi 3. bölgede, 988 adedi 4. bölgede olmak üzere toplam 6339 blokun etkisi dikkate alınmış olmaktadır.

Blokların ortalama yüksekliklerinin elde edilmesinde; 0. bölgelerdeki değişik boyutlu bloklar ve 15" x 20" boyutlu bloklar için 1/25.000, boyutları 45" x 60" olan bloklar için 1/100.000, boyutları 3'45" x 5' olan bloklar için 1/250.000, boyutları 18'45" x 25' olan bloklar için de yerine göre 1/1.000.000, 1/1.500.000, 1/2.500.000, 1/5.000.000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılmıştır. Deniz ve göllere ait blokların derinlikleri için değişik ölçekli deniz ve göl haritalarından yararlanılmıştır.

0. bölgelerdeki blokların ortalama yükseklikleri, hesaba daha etkili olduklarından ortalama yükseklik tahminleriyle, diğer bütün blokların ortalama yükseklikleri ise blok yüzeyinin yüksekliğinin doğrusal olarak değiştiği varsayılarak blok orta noktalarının yükseklikleriyle temsil edilmiştir. Blokların orta noktalarının yükseklikleri yukarıda belirtilen haritalar üzerinden, pafta ve blok boyutlarına uygun olarak çizilen şeffaf şablonlar yardımıyla okunmuştur.

Deneme alanındaki 43 nirengi noktasına ait topoğrafik-izostatik çekül sapmalarının hesabında kullanılmak üzere yüksekliği ve/veya derinliği okunan toplam blok sayısı 248 725 dir. Bunların dağılımları şöyledir :

- * 0. bölge etki alanlarına giren değişik boyutlu 172 blok,
- * 1. bölge etki alanlarına giren 15" x 20" boyutlu 185 625 blok,
- * 2. bölge etki alanlarına giren 45" x 60" boyutlu 54 000 blok,
- * 3. bölge etki alanlarına giren 3'45" x 5' boyutlu 6624 blok,
- * 4. bölge etki alanlarına giren 18'45" x 25' boyutlu 2304 blok.

4. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Topoğrafik-izostatik çekül sapma bileşenlerinin hesabı KTÜ'deki IBM 370/125 bilgisayarında yapılmıştır. Hesaplarda veri yönetimi yönünden zorlukla karşılaşıldığından, her bölge için ayrı bir hesap programı yazılarak bölge esasına göre hesaplama yoluna gidilmiştir.

0. bölgede ve 1. bölgede yer alan blokların etkileri kesin integrasyonla türetilen düzlem yaklaşım formülüne göre, diğer bölgelerde yer alan blokların etkileri küresel yaklaşım formülüne göre hesaplanmıştır. Yeryüzünün bölümlenmesi coğrafi koordinat çizgileriyle yapıldığından, düzlem yaklaşım formülü için gerekli e, m dik koordinatları (3) bağıntısı yardımıyla bulunmuştur. Ancak 0. bölgedeki dört bloğun hesabında (Şekil-6) ;

- * 1. blok için $e_2 = e_p = 0$, $m = m_p = 0$
- * 2. blok için $e_1 = e_p = 0$, $m = m_p = 0$
- * 3. blok için $e_1 = e_p = 0$, $m = m_p = 0$
- * 4. blok için $e_2 = e_p = 0$, $m = m_p = 0$

olmakta ve bu nedenle düzlem yaklaşım formülü ile yapılan hesapta belirsizlikler meydana gelmektedir. Bunu gidermek için, hesap sonucunu etkilemeyecek tarzda $\Delta e = \Delta m = 1$ cm. seçilerek blok yanal yüzlerinin koordinatları,

$$* 1. \text{ blok için } e_2 = -\Delta e, m_1 = \Delta m$$

$$* 2. \text{ blok için } e_1 = \Delta e, m_1 = \Delta m$$

$$* 3. \text{ blok için } e_1 = \Delta e, m_2 = -\Delta m$$

$$* 4. \text{ blok için } e_2 = -\Delta e, m_2 = -\Delta m$$

olacak şekilde kaydırılmışlardır.

Çizelge-1'de $R = 6370$ km, $D = 100$ km, $\rho_w = 1.027$ gr cm^{-3} , $\rho_o = 2.67$ gr cm^{-3} , $K = 66.7 \times 10^{-9}$ $\text{cm}^3 \text{gr}^{-1} \text{san}^{-2}$ ve $g = 980$ gal alınarak deneme alanındaki 43 nirengi noktasında hesaplanan toplam topoğrafik-izostatik çekül sapma bileşenleri (15. ve 16. sütunda) ve her bölgedeki blokların bunlara etkileri (5. sütundan 14. sütuna kadar) görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Topoğrafik-izostatik çekül sapması hesabının en çok zaman gerektiren kısmı yükseklik verilerinin elde edilmesi ve bunların bilgisayar kayıt ortamına aktarılmasıdır. Ayrıca bilgisayarda veri yönetimi açısından zorluklarla karşılaşmıştır. Bu zorluklar, her bir hesap noktası için ayrı bir etki alanı belirlemek yerine tüm hesap noktalarının etki alanlarını içine alan tek ve sabit bir etki belirlenip, bu sabit etki alanının, hesap noktalarının konumunu dikkate alarak uygun şekilde ve büyüklüklerde bloklara ayrılmasıyla giderilebilir. Bunun diğer bir yararı da noktaların kaçınıcı bölge etki alanlarına girdiğine bakılmaksızın tüm hesap noktaları için aynı blokların kullanılmasıdır.

Etki alanının genişliği üzerine yapılan inceleme sonucunda; hesap noktasından yaklaşık 400 km'den daha uzaktaki kitlelerin topoğrafik-izostatik çekül sapma bileşenlerine etkileri toplamının $0''.05$, yaklaşık 550 km'den daha uzaktaki kitlelerin etkileri toplamının $0''.01$ civarında olduğu görülmüştür.

Kesin integrasyonla geliştirilen düzlem yaklaşım formülü ile yaklaşık nümerik integrasyonla geliştirilen küresel yaklaşım formülünün yapılan karşılaştırılması sonunda, her iki formül arasındaki farkın hesap noktasının

çok yakınında ortaya çıktığı anlaşılmıştır. Buna göre, düzlem yaklaşım formülünün 12' x 16' boyutlarındaki 1. bölge alanının tüm 15" x 20" boyutlu bloklarına (her bir hesap noktası için 2303 adet) uygulanması yerine, hesap noktasının hemen etrafındaki 1'30" x 2' boyutlu bölgedeki 35 adet blok ile 0. bölgedeki bloklara uygulanması yeterli olmaktadır.

En iç bölgedeki (0. bölge) 15" x 20" boyutlu dört blokun topoğrafik-izostatik çekül sapma bileşenlerine etkisi, diğer bölgelerin her birinin etkilerine eşdeğer büyüklükte çıkmaktadır. Bu nedenle en iç bölgenin bölüm-lenmesinde ve bu bölgedeki bloklar ile hesap noktasının çok yakınındaki 15" x 20" boyutlu blokların yüksekliklerinin elde edilmesinde daha dikkatli davranılması gerekmektedir.

Çizelge-1

Nokta		Koordinatlar		0.bölge etkisi		1.bölge etkisi		2.bölge etkisi		3.bölge etkisi		4.bölge etkisi		Top-izostatik çekül sap.Bi.	
No	Adı	ϕ	λ	$\Delta\eta_0$	$\Delta\xi_0$	$\Delta\eta_1$	$\Delta\xi_1$	$\Delta\eta_2$	$\Delta\xi_2$	$\Delta\eta_3$	$\Delta\xi_3$	$\Delta\eta_4$	$\Delta\xi_4$	η	ξ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
01	Halimoğlu	41° 31'	32° 14'	-1.1	-0.2	0.1	0.4	-2.5	3.4	-3.4	6.3	-0.9	2.3	-7.7	12.6
02	Göldağı	41 25	31 59	1.9	0.2	2.1	0.4	-0.8	4.1	-3.4	6.1	-0.8	2.4	-1.0	13.1
03	Akçaharman	41 15	32 07	-1.0	-1.1	1.2	5.3	-1.0	3.4	-2.6	5.8	-0.9	2.1	-4.3	15.6
04	Babatepe	41 11	31 48	-1.0	-2.0	3.4	2.6	-0.7	2.6	-3.0	6.1	-0.7	2.1	-1.9	11.4
05	Keltepe 1	41 05	32 27	-0.8	2.6	2.2	-0.1	-0.1	3.2	-1.8	3.9	-0.8	2.2	-1.2	11.7
06	Dibektaş	41 05	30 35	0.4	-1.1	0.5	1.8	0.2	3.0	-0.7	4.4	-0.4	2.1	0.0	10.2
07	Kızıltepe	41 02	31 31	-1.0	-1.4	-4.3	2.1	-3.2	4.3	-2.4	5.3	-0.6	2.1	-11.5	12.4
08	Soğukoluk	41 02	32 00	0.2	-1.7	-2.5	2.5	-1.5	3.0	-1.6	4.6	-0.7	2.1	-6.1	10.4
09	Oflak	40 57	32 23	-0.3	-0.6	0.8	0.5	0.3	0.6	-0.5	4.1	-0.5	2.0	-0.2	6.5
10	Kaplandede	40 57	31 04	-1.4	-2.3	0.2	-0.2	-0.5	2.7	-2.6	5.1	-0.5	2.0	-4.7	7.4
11	Çamdağ	40 53	30 45	-0.4	0.0	-3.9	-1.5	-2.0	1.8	-1.3	4.5	-0.5	2.0	-8.1	6.9
12	Çiledoruğu 1	40 52	31 42	1.9	-1.0	-0.8	-1.5	-0.3	3.2	-2.3	3.4	-0.8	2.0	-2.3	6.1
13	Naldöken	40 51	32 16	2.2	1.0	-2.9	-0.9	-2.5	3.0	-1.1	2.3	-0.4	2.1	-4.7	7.6
14	Dikmen 1	40 50	31 26	1.8	1.0	-5.0	0.0	-3.3	3.4	-2.2	4.0	-0.5	2.1	-9.2	10.4
15	Karataş	40 46	32 41	-2.6	0.5	4.2	1.8	-0.1	1.9	-0.4	1.9	-0.3	1.5	0.8	7.6
16	Doruktepe	40 44	31 58	0.9	-1.7	0.4	4.6	-0.3	4.5	-2.0	1.7	-0.7	1.8	-1.7	10.8
17	Dikmen 2	40 40	30 54	-0.7	2.2	-1.4	0.1	-1.7	4.8	-2.1	2.9	-0.7	1.9	-6.7	11.7
18	Keltepe 2	40 39	30 06	0.4	2.6	-2.1	3.8	0.8	2.1	-0.6	2.3	-0.6	1.8	-2.1	12.6
19	Erenler	40 34	32 22	-1.3	-1.8	1.6	-0.3	-0.1	-1.5	-0.6	0.7	-0.4	1.7	-0.8	-1.1
20	Göktepe	40 33	30 32	0.0	0.7	-0.9	4.1	-2.3	3.8	-1.1	2.0	-0.8	1.8	-5.1	12.4
21	Cezirdede	40 31	32 50	-0.6	1.5	-0.7	-2.5	-1.2	-1.9	0.8	-0.4	-0.4	1.7	-2.0	-1.6

Çizelge-1 (devam)

Nokta		Koordinatlar		0.bölge etkisi		1.bölge etkisi		2.bölge etkisi		3.bölge etkisi		4.bölge etkisi		Top-izostatik çekül sap.Bi.	
No	Adı	ϕ	λ	$\Delta\eta_0$	$\Delta\xi_0$	$\Delta\eta_1$	$\Delta\xi_1$	$\Delta\eta_2$	$\Delta\xi_2$	$\Delta\eta_3$	$\Delta\xi_3$	$\Delta\eta_4$	$\Delta\xi_4$	η	ξ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
22	Avdan	40° 22'	29° 48'	" 2.6	" 0.0	" -1.5	" 0.1	" -0.9	" -0.6	" -0.9	" 3.1	" -0.4	" 1.5	" -1.1	" 4.0
23	Killik kaşı	40 20	31 56	0.4	-2.2	-2.3	2.8	-0.8	-4.1	-0.6	-0.3	-0.4	1.4	-3.6	-2.4
24	Hızırtepe	40 19	32 57	-0.6	-0.4	1.4	0.6	-1.1	-2.2	0.4	-0.3	-0.7	1.2	-0.6	-1.0
25	Bakırcak	40 14	32 25	-0.8	-0.7	0.5	1.2	-0.8	-0.5	0.2	-2.0	-0.4	1.4	-1.3	-0.6
26	Enserkaya	40 11	30 19	0.3	0.2	-1.5	1.2	-2.0	0.1	-1.0	2.0	-0.5	1.7	-4.7	5.2
27	Aktepe	40 06	31 00	1.3	-1.0	-3.9	0.7	-2.1	1.5	-0.4	0.3	-0.1	1.3	-5.3	2.8
28	Aktaş	40 04	32 49	-0.3	0.0	0.6	-1.4	-0.9	-1.5	-0.5	-0.2	-0.2	0.7	-1.4	-2.3
29	Kapaklı	40 04	29 53	0.6	0.6	0.3	-1.5	0.7	3.2	-0.6	2.9	-0.5	1.2	0.5	6.3
30	Ahmaşık	40 03	32 25	-2.2	-1.3	2.4	0.2	-0.6	0.2	0.1	-1.4	-0.3	0.9	-0.6	-1.4
31	Kırktepeler	40 02	32 00	0.2	0.2	-0.2	1.5	-0.8	-0.3	-0.1	-1.3	-0.3	1.1	-1.1	3.0
32	Uzunyatak	39 56	31 16	1.9	-1.6	-0.9	2.0	-0.6	0.6	0.2	0.3	-0.5	1.4	0.1	2.6
33	Türkmenbaba	39 55	30 42	-1.1	0.4	2.1	-1.2	-0.5	1.0	-0.4	0.7	-0.3	1.5	-0.3	2.3
34	Meşedağı	39 52	32 35	-0.2	-1.1	0.3	3.0	-1.8	-0.4	0.4	-0.1	-0.5	1.2	-1.8	2.6
35	Yağarslan	39 51	31 41	-2.0	-1.0	3.6	1.1	1.0	1.0	0.3	-1.1	-0.5	1.4	2.3	1.4
36	Kozdorucu	39 47	30 10	0.0	0.4	0.6	0.9	0.1	1.6	0.4	1.9	-0.3	1.0	0.8	5.7
37	Koçarkoç	39 46	32 01	0.4	0.3	-2.0	0.6	-0.8	-0.8	-0.1	0.1	-0.3	0.6	-2.8	0.9
38	Çiledoruğu 2	39 46	32 11	-1.1	-2.4	1.4	2.6	-0.8	-0.2	0.0	0.2	-0.6	0.6	-1.1	0.7
39	Yulaktepe	39 43	31 11	-1.6	-0.5	1.3	-0.3	-0.7	0.2	0.5	0.6	-0.3	1.0	-0.8	1.0
40	Melemen	39 40	30 38	-1.4	0.3	1.4	0.4	1.0	0.9	-0.5	1.0	-0.2	1.2	0.3	3.8
41	Burukluçal	39 38	31 07	-2.0	1.0	1.8	0.9	-0.2	-0.3	0.2	0.8	-0.1	1.2	-0.3	3.5
42	Üryantepe	39 34	31 49	-2.1	-1.5	1.6	1.8	2.2	0.4	-1.1	0.1	0.2	1.1	0.9	1.8
43	Yediler	39 30	31 25	0.2	2.2	-0.5	-2.6	-0.8	-1.2	0.5	1.2	0.0	0.3	-0.6	-0.1

K A Y N A K L A R

- /1/ Ayhan, E. : Topoğrafik-İzostatik Çekül Sapması ve İzostatik Anomali, Harita Dergisi, Sayı:89, s.55-84, Ankara. 1982
- /2/ Chovitz, B. : The Influence of the Distant Topography on the Deflection of the Verticale, Bull. Geod., No:54, s.37-43. 1959
- /3/ Erokan, İ. : Untersuchungen zur Topographisch-Isostatischen Lotabweichungsinterpolation für Landesvermessungszwecke, Bonn. 1963
- /4/ Gürkan, O. : Topoğrafik-İzostatik Çekül Sapması, KTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü, Trabzon. 1977
- /5/ Gürkan, O. : Çekül Sapması Kavramı Türleri. Harita Dergisi, Sayı:86, s.24-45, Ankara. 1979
- /6/ Heitz, S. : Formeln zur Berechnung topographisch-isostatischer Reduktionen von Lotabweichungen auf der Grundlage geographischer Koordinaten, DGK. Reihe A, Heft Nr.47 1966
- /7/ Heitz, S. : Geoidbestimmung durch interpolation nach kleinsten Quadraten aufgrund gemessener und interpolierter Lotabweichungen, DGK. Reihe C, Heft Nr.124. 1968
- /8/ Karaali, C. : Türkiye'nin Bir Bölgesi İçin Astrojeodezik Jeoid Belirleme Denemesi, KTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Bölümü, Trabzon. 1985
- /9/ Reinhart, E. : Lotabweichungen aus sichtbaren Massen, DGK. Reihe C, Heft Nr.114 1968