

# SERBEST HAVA ANOMALİ KESTİRİM YÖNTEMLERİ VE YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Emin AYHAN  
Osman ALP

## ÖZET

$\Delta g_F$  serbest hava anomalilerinin  $H$  yükseklikleri ile korelasyonlu olduğu bilinmektedir. Çalışmada, 1 nolu test bölgesinde  $\sigma_{\Delta g_F}^2$  varyansının % 85 oranında topografyadan kaynaklanması, söz konusu korelasyonun açık bir kanıtıdır. Üç aşamalı oluşturulan prediksiyon işleminin ilk aşamasında bu korelasyon giderilmekte, ikinci aşamada  $M$  nci dereceden iki boyutlu polinom ile  $\Delta g_F$  deki deterministik parça (trend) belirlenmekte ve üçüncü aşamada ağırlıklı ortalamalar veya en küçük karelerle kolokasyon (EKKK) yöntemleri kullanılarak prediksiyon işlemi tamamlanmaktadır. Prediksiyon işlemini oluşturan bu üç aşamanın değişik kombinasyonları ile 12 prediksiyon yöntemi modellendirilerek test bölgelerinde uygulanmıştır. Ölçülerden hatalı ve uyuşumsuz olanları belirlemek üzere ölçü ve hesap farklarından hesaplanan robust karakterli  $S_\epsilon$  ölçek faktörü ile basit bir test geliştirilmiştir. 8 test bölgesinde bulunan  $b$  deneyel Bouguer faktörlerinin ortalaması 0.1148 ve standart Bouguer faktörü 0.1119 olduğundan aralarındaki fark oldukça küçüktür. Bu nedenle "Helmert Ortometrik Yükseklik Sisteminin" Türkiye için önerilebileceği sonucuna varılmaktadır.

## 1. GİRİŞ

Ayhan-Ayken (1987)'de yapılan çalışmanın devamı olan bu yazıda ölçü noktalarındaki  $\Delta g_F$  serbest hava anomalilerinden ölçü bulunmayan noktalarda (hesap noktaları)  $\Delta g_F$  değerlerini hesaplama yöntemleri kuramsal olarak açıklanacaktır. Daha sonra bu yöntemler ile test bölgelerinde elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak uygulamaya yönelik bilgiler üretilicektir.

Prediksiyon yöntemlerini açıklamadan önce serbest hava anomalileri ile yükseklikler arasındaki korelasyonu kısaca açıklamakta yarar vardır. Çünkü prediksiyon yöntemlerinin oluşturulmasında ve başarısında bu korelasyonun gözönünde tutulması önemli bir rol oynar.

Bilindiği gibi  $\Delta g_F$  serbest hava anomalisi ;

$$\Delta g_F = g_P - \gamma_Q \quad (1.1)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada

$g_P$  ... P yeryüzü noktasında gravite

$\gamma_Q$  ... P noktasına karşılık Q tellüroid noktasındaki normal gravite-  
dir.

İsostasi kuramlarına göre topografik kitlelerin isostatik bir dengede  
olduğu varsayıldığından kabul edilen isostasi kuramına göre  $A^T$  topografik  
kitle çekimi ile  $A^C$  isostatik denge çekimi arasındaki farkın serbest hava  
anomalisine eşit olması gereklidir. Bu düşüncce ile  $\Delta g_F$  ;

$$\Delta g_F \approx 2 \pi k \rho (H - \bar{H}) - C \quad (1.2)$$

olarak yazılır (Kraiger-Sünkel, 1983). Burada

C ... Yerey düzelmesi

H ... Yükseklik

$\bar{H}$  ... Ortalama yükseklik

k ... Newton çekim sabiti

$\rho$  ... Yoğunluk

$\pi$  ... 3.1414..

anlamındadır. (1.2) eşitliği düzenlenerek;

$$\Delta g_F = 2 \pi k \rho H - 2 \pi k \rho \bar{H} - C \quad (1.2a)$$

$$\text{ve } b = 2 \pi k \rho \quad (1.3)$$

$$a = -2 \pi k \rho \bar{H} - C \quad (1.3a)$$

tanımları ile

$$\Delta g_F = b H + a \quad (1.4)$$

olarak  $\Delta g_F$  ve H arasında doğrusal korelasyonun varlığı gösterilir. (1.2a) e-  
şitliği

$$\Delta g_F + C = 2 \pi k \rho H - 2 \pi k \rho \bar{H}$$

veya

$$\Delta g_{Faye} = b H + a' \quad (1.5)$$

biriminde Faye anomalileri için düzenlenerek Kraiger-Sünkel (1983)'de prediksiyon için kullanılmıştır. (1.4) ve (1.5) eşitlikleri ilk bakışta birbirine benzemesine karşılık gerek ölçülerin türü gerekse  $a'$  nin  $a'$  den farklı olması nedeniyle birbirinden ayrırlar. Ancak her iki eşitlikte de  $b$  Bouguer faktörü aynı anladadır.

$\Delta g_B$  Bouguer anomalisi tanımından yararlanarak  $\Delta g_F$  ile  $\Delta g_B$  arasında ;

$$\Delta g_B = \Delta g_F + b H \quad (1.6)$$

ilişkisi yazılabilir (Heiskanen-Moritz, 1967). Bu eşitlik düzenlenerek

$$\Delta g_F = \Delta g_B - b H \quad (1.7)$$

ile  $\Delta g_F$  ve  $H$  arasındaki korelasyonun varlığı değişik bir yorumla ifade edilebilir.

## 2. PREDİKSİYON YÖNTEMLERİ

Bir önceki bölümde, serbest hava anomalileri ile yükseklikler arasında varlığı gösterilen doğrusal korelasyonun, prediksyon yöntemlerinin başarısındaki önemini ortaya koyabilmek için söz konusu korelasyonu içeren ve içermeyen hesaplama modelleri oluşturulacaktır.

C yerey düzeltmesi sayısal arazi modelinin belirlenmesini ve yoğun hesaplama yapılmasını gerektirdiğinden C 'nin diğer bir deyişle Faye anomalilerinin hesaplanmadığı düşünülerek  $\Delta g_F$  'nin  $H$  ile korelasyonu (1.4) eşitliği ile ifade edilecektir.  $n$  adet ölçü noktasında  $\Delta g_F$  için yazılan (1.4) eşitliklerinden yararla

$$v_i + \Delta g_{F_i} = a + b H_i \quad , \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

matris gösterimi ile

$$\underline{v} + \underline{\Delta g_F} = \underline{A} \underline{x} \quad (2.2)$$

yazılır. Burada  $\underline{v}$  düzeltme vektörü olup

$$\underline{\Delta g_F} = [ \Delta g_{F_1}, \Delta g_{F_2}, \dots, \Delta g_{F_n} ]^T$$

$$A^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 1 \\ H_1 & H_2 & \dots & H_n \end{bmatrix}$$

$$\underline{x}^T = [ a \ b ]$$

anlamındadır. (2.2) eşitliğinin en küçük kareler ilkesini sağlayan çözümü ile bulunan  $\hat{\underline{v}}$  vektörü " Bir Kez İndirgenmiş Ölçüler " olarak isimlendirilir.  $\Delta g_I$  ile gösterilen bir kez indirgenmiş ölçüler;

$$\underline{\Delta g}_I = \underline{\Delta g}_F - A \hat{\underline{x}} \quad (2.3)$$

eşitliği ile ifade edilir.  $\hat{\underline{x}} = [ \hat{a} \ \hat{b} ]^T$  bilinmeyen çözüm vektörünün  $\hat{b}$  elemanı ve deneysel Bouguer faktörünün (1.3) eşitliği ile verilen tanımından yararla  $\rho_{\text{ort}}$  ortalama yoğunluğu,

$$\hat{\rho}_{\text{ort}} = \frac{\hat{b}}{2 \pi k} \quad (2.4)$$

ile hesaplanır. En küçük karelerle dengeleme ile hesaplanan  $\hat{b}$  deneysel Bouguer faktörü küçük bölgelerde gerçek değere yakın, büyük bölgelerde ise gerçek değerden farklıdır (Kraiger-Sünkel, 1983).

(2.2) eşitliğinin bir çözümü

$$\hat{\underline{x}} = [ 0 \ 0 ]^T \quad (2.5)$$

alındığından  $\Delta g_F$  ile  $H$  arasında korelasyon olmadığı varsayılmakta,

$$\hat{\underline{x}} = [ 0 \ 0.1119 ]^T \quad (2.6)$$

kabul edildiğinde ise (2.3) ile bulunan  $\Delta g_I$  'ler  $\Delta g_B$  " Tamamlanmamış Bouguer Anomali " lerine özdeş olmaktadır. (2.5) eşitliği  $\Delta g_F$  ile  $H$  arasındaki doşruşal korelasyonun bilinen standart ifadesidir (Heiskanen-Moritz, 1967).

Serbest hava anomalilerinin yükseklikle olan korelasyonun giderilmesi prediksiyon yöntemlerinin ilk aşamasını oluşturur. İkinci aşamada ;  $\hat{\underline{x}}$  bilinmeyen vektörünün deneysel veya standart değerlerinden yararlanarak (2.3) eşitliği ile tanımlanan  $\Delta g_I$  veya  $\Delta g_B$  'lere bir yüzey uydurularak ölçülerdeki trend'in alınması amaçlanmaktadır. Bu amaçla trend yüzeyi ;

$$\Delta g_I (X, Y) = \sum_{i=0}^I c_i f_i (X, Y) \quad (2.7)$$

biçiminde bir fonksiyon seçilebilir. Burada  $c_i$  bilinmeyen katsayılar ve  $f_i(X, Y)$  temel fonksiyonlar ('base function')'dır. Uygulamada değişik temel fonksiyonlar kullanılmakta olup trend yüzeyinin belirli olması için uygun temel fonksiyonun seçimi önemlidir (Moritz, 1978; Vanicek-Krakiwsky, 1982). Örnek olarak aşağıda iki temel fonksiyon verilecektir;

\* Quadratik yüzeyler (Hardy, 1971; 1984),

$$f_i(X, Y) = ((X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + d)^{1/2} \quad (2.8)$$

d ... bir katsayı

\* İki boyutlu polinomlar (Davis, 1973),

$$f_i(X, Y) = X^k Y^l, \quad k, l = 0, 1, \dots \quad (2.9)$$

Bu çalışmada (2.9) eşitliği ile verilen iki boyutlu polinomlar temel fonksiyon seçilmiştir. (2.9) eşitliği (2.7)'de yerine konulursa;

$$\Delta g_I(X, Y) = \sum_{k=0}^K \sum_{l=0}^L c_{kl} X^k Y^l \quad (2.10)$$

ile trend yüzeyini veren fonksiyonun genel biçimini tanımlanır. M yüzeyin derecesini göstermek üzere (2.10) eşitliğindeki K ve L;

$$K = \text{INT}(M/2)$$

$$L = M - K$$

ile bulunur. (2.10) eşitliğinde kullanılan X, Y düzlem koordinatları, noktaların  $\phi, \lambda$  enlem ve boylamından yararla;

$$X = (\phi - \phi_o) R_o \quad (2.11)$$

$$Y = (\lambda - \lambda_o) \cos \phi_o R_o \quad (2.12)$$

olarak belirlenir. Burada

$$R_o = (M_o N_o)^{1/2} \quad (2.13)$$

$$M_o = \frac{a (1-e)^2}{(1-e^2 \sin^2 \phi_o)^{3/2}}, \quad N_o = \frac{a}{(1-e^2 \sin^2 \phi_o)^{1/2}}$$

$$e^2 = 1 - (b/a)^2$$

a, b ... Elipsoidin büyük ve küçük yarı eksenleridir.

Yukardaki eşitliklerde geçen  $\phi_o, \lambda_o$  koordinatlı nokta, hesap bölgesinde oluşturulan bir X,Y dik koordinat sisteminin başlangıç noktası olup uygulamada iki türlü belirlenir.

\* Ölçü noktalarının enlem ve boylamlarının ortalaması ile belirlenen ve bölgenin ortalarına rastlayan nokta,

veya

\* Her hesap noktası X,Y dik koordinat sisteminin başlangıç noktası olarak seçilir (Kassim, 1980).

Ancak ikinci yol; her hesap noktası için tüm ölçü nokta koordinatlarının (X,Y) yeniden hesaplanmasını gerektirdiğinden bu çalışmada uygulanmamıştır.

(2.10) eşitliğinin  $\Delta g_I$  ölçüleri için yazılan düzeltme denklemi olduğu düşünülerek matris gösteriminde,

$$\underline{v} + \Delta \underline{g}_I = \underline{B} \underline{c} , \quad \underline{P} = \underline{\underline{I}} \quad (2.14)$$

ile dengelemenin matematik modeli oluşturulur. Burada

$$\underline{B} = \begin{bmatrix} 1 & X_1 & \dots & X_1^K & Y_1^L \\ 1 & X_2 & \dots & X_2^K & Y_2^L \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & X_n & \dots & X_n^K & Y_n^L \end{bmatrix}$$

$$\underline{c} = [ c_{00} \quad c_{01} \quad \dots \quad c_{KL} ]^T$$

$$\Delta \underline{g} = [ \Delta g_{I_1} \quad \Delta g_{I_2} \quad \dots \quad \Delta g_{I_n} ]^T$$

$\underline{P}$  ... Ağırlık matrisi ,  $\underline{\underline{I}}$  ... Birim matris

olup  $n > (K+1)(L+1)$  olmak üzere  $\underline{c}$  ve  $\underline{v}$  bilinmeyenlerin en küçük kareler ilkesini sağlayan çözümleri;

$$\hat{\underline{c}} = (\underline{B}^T \underline{B})^{-1} \underline{B}^T \Delta \underline{g}_I \quad (2.15)$$

$$\hat{\underline{v}} = (\underline{\underline{I}} - \underline{B}(\underline{B}^T \underline{B})^{-1} \underline{B}^T) \Delta \underline{g}_I \quad (2.16)$$

ile bulunur. (2.16) eşitliğiyle hesaplanan  $\hat{v}$  düzeltmeleri "İki Kez İndirgenmiş Anomaliler" ismi ile anılır ve  $\Delta g_{II}$  ile gösterilir. Diğer bir ifade ile

$$\Delta g_{II} = \underline{\Delta g}_I - \underline{B} \hat{c} \quad (2.16a)$$

olarak yazılır. Böylece prediksiyon işleminin ikinci aşaması tamamlanır ve bu aşama sonunda  $\Delta g_{II}$  iki kez indirgenmiş anomaliler elde edilir. Prediksiyon işleminin üçüncü aşaması hesap noktalarındaki  $\Delta g_{II}$ 'lerin ölçü noktalardaki  $\Delta g_{II}$ 'lerden yararla hesaplanması kapsar. Bu amaçla iki yöntem kullanılacaktır;

\* Ağırlıklı Ortalamalar

\* En Küçük Karelerle Kolokasyon (EKKK)

Ağırlıklı ortalamalar yönteminde p hesap noktasındaki  $\Delta g_{II}$  :

$$\Delta g_{II_p} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta g_{II_i} d_i^{-v}}{\sum_{i=1}^n d_i^{-v}} \quad (2.17)$$

eşitliği ile bulunur. p noktalarının birden çok olması durumunda matris gösteriminde (2.17) eşitliği

$$\begin{bmatrix} \Delta g_{II_{p_1}} \\ \Delta g_{II_{p_2}} \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta g_{II_{p_m}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{p_1} & & & \\ & t_{p_2} & 0 & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & t_{p_m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d_1^{-v}_{p_1} & d_2^{-v}_{p_1} & \cdots & d_n^{-v}_{p_1} \\ d_1^{-v}_{p_2} & d_2^{-v}_{p_2} & \cdots & d_n^{-v}_{p_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_1^{-v}_{p_m} & d_2^{-v}_{p_m} & \cdots & d_n^{-v}_{p_m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta g_{II_1} \\ \Delta g_{II_2} \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta g_{II_n} \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

ile yazılır. Burada

$$t_{p_j} = \sum_{i=0}^n d_i^{-v} \quad , \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$\Delta g_{II_{p_j}}$  ... p hesap noktasında belirlenen  $\Delta g_{II}$

$\Delta g_{II_i}$  ... i ncı ölçü noktasındaki  $\Delta g_{II}$

$d_i \dots p_j$  hesap noktası ile  $i$ inci ölçü noktası arasındaki uzaklık.

$v$  ... Prediksiyonun gücü (genellikle  $1.5 < v < 4$  arasında değer alır ve deneysel belirlenir).

EKKK yönteminde; hesap noktalarında bilinmeyen  $s$  sinyalleri bilinen  $\underline{\lambda}$  ölçülerinden

$$\hat{s} = C_{sl}^{-1} \underline{\lambda} \quad (2.19)$$

eşitliği ile bulunur. Bu eşitlikte  $\hat{s}$  ve  $\underline{\lambda}$  rastgele değişken olup merkezlen-dikleri, yani

$$E\{ \hat{s} \} = 0 \quad , \quad E\{ \underline{\lambda} \} = 0$$

ve  $\underline{\lambda}$  ölçülerinin hatasız olduğunu varsayılar. İki kez indirgenmiş anomalile-rin EKKK ile prediksiyonu yapıldığında (2.19) eşitliğindeki terimlerin an-lamları aşağıdadır.

$$\hat{s} = [ \hat{\Delta g}_{II_1}, \hat{\Delta g}_{II_2}, \dots, \hat{\Delta g}_{II_m} ]^T, \text{ Hesap noktalarındaki } \Delta g_{II}$$

$$\underline{\lambda} = [ \Delta g_{II_1}, \Delta g_{II_2}, \dots, \Delta g_{II_n} ]^T, \text{ Ölçü noktalarındaki } \Delta g_{II}$$

$C_{sl} \dots$  Sinyal ve ölçü çapraz kovaryans matrisi

$C_{ll} \dots$  Ölçü kovaryans matrisi

(2.19) eşitliğini prediksiyon işleminin üçüncü aşamasında kullanabilmek için  $C_{sl}$  ve  $C_{ll}$  matrislerinin diğer bir deyişle ölçü kovaryans fonksiyonunun belirli olması gereklidir. Bu amaçla ölçülerden yararlanarak deneysel kovaryans sayıları ile kovaryans fonksiyonunun deneysel yerel belirleyici parametreleri olan;

$C_o \dots$  Varyans

$\zeta \dots$  Korelasyon Uzunluğu

$X \dots$  Eğrilik Parametresi

$\psi_o \dots$  İlk Sıfır Noktası

bulunur. Daha sonra ya deneysel yerel belirleyici parametrelerden yada de-

neysel kovaryans sayılarından yararla, seçilen bir model kovaryans fonksiyonunun parametreleri hesaplanır. Bu çalışmada

$$C(s) = \frac{A}{(1 + B^2 s^2)^{3/2}} \quad (2.20)$$

A ve B parametrelili fonksiyon model kovaryans fonksiyonu olarak seçilmişdir. (2.20) eşitliğindeki A, B bilinmeyen parametreleri deneysel yerel belirleyici parametrelerden yararla;

$$A = C_0 \quad (2.21)$$

$$B = \frac{(2^{2/3} - 1)^{1/2}}{\zeta} \quad (2.21a)$$

ile bulunur (Moritz, 1980).

Böylece üç aşamalı prediksiyon işlemi sonunda, H yükseklikle bir Q hesap noktasında  $\Delta g_F$  serbest hava anomalisi

$$\hat{\Delta g}_F_Q = \hat{a} + \hat{b} H_Q + \sum_{k=0}^K \sum_{l=0}^L \hat{c}_{kl} X_Q^k Y_Q^l + \hat{\Delta g}_{IIQ} \quad (2.22)$$

genel prediksiyon eşitliği ile hesaplanır (Kassim, 1980; Merry, 1983; Ben-cilioni-Sanso, 1985).

(2.22) genel prediksiyon eşitliğindeki aşamaların bir, iki veya üçünün birden kullanılması ve ayrıca I ve III ncü aşamalardaki seçenekler gözönünde tutularak genel prediksiyon işleminin özel durumları elde edilebilir. Bu düşünce ile değişik kombinasyonlar yapılarak 12 ayrı prediksiyon yöntemi oluşturulmuş olup aralarındaki ilişkiler de gözönünde tutularak Şekil-1'deki akış diyagramında topluca gösterilmektedir. Bu 12 prediksiyon yönteminde kullanılan prediksiyon aşamaları ile aşamalardaki seçenekler Tablo-1'de verilmektedir.

(2.22) eşitliği,

$$m(X, Y, H) = \hat{a} + \hat{b} H + \sum_{k=0}^K \sum_{l=0}^L \hat{c}_{kl} X^k Y^l \quad (2.23)$$

olmak üzere

$$\Delta g_F(X, Y, H) = m(X, Y, H) + \Delta g_{II}(X, Y) \quad (2.24)$$

birimine dönüştürülüğünde  $m(X, Y, H)$ ;  $\Delta g_F$  serbest hava anomalilerindeki toplam deterministik (trend) parçasını temsil eder. Bu durumda,  $\Delta g_F$  ve  $\Delta g_{II}$  rast-

gele süreç olarak değerlendirildiğinde (2,24) eşitliği Universal Kriging'e dönüşür. Universal Kriging'de  $\Delta g_F$  yüzeyi deterministik, ortalama ve sürekli  $m(X, Y, H)$  yüzeyi ile bu yüzey çevresinde salınımları olan rastgele nitelikli  $\Delta g_{II}$  yüzeyinin toplamından oluşturulur. Bu yüzeylerden deterministik olan  $m(X, Y, H)$  yüzeyinin bir  $\hat{m}(X, Y, H)$  çözümü, ilk adımda, en küçük karelerle dengeleme ile bulunur. İkinci adımda

$$\Delta g_{II}(X, Y) = \Delta g_F(X, Y, H) - \hat{m}(X, Y, H) \quad (2.25)$$

ile tanımlanan rastgele nitelikli  $\Delta g_{II}(X, Y)$  yüzeyinin çözümü ise kovaryanslardan yararla elde edilir. İki adımlı bir işlemle çözülen Universal Kriging bu yapısıyla parametreli EKKK ile özdeş çözüm verir (Hardy, 1984; Dermanis 1984).

YÖNTEM NO.	ÖLÇÜ	KORELASYON	YÜZEV	YÖNTEM
1	1	1	1	0
2	2	1	1	0
3	1	1	1	1
4	1	1	1	2
5	2	1	0	1
6	1	1	0	1
7	1	0	0	1
8	2	1	0	2
9	1	1	0	2
10	1	0	0	2
11	2	1	1	2
12	2	1	1	1

Tablo-1 : Prediksiyon Yöntemleri

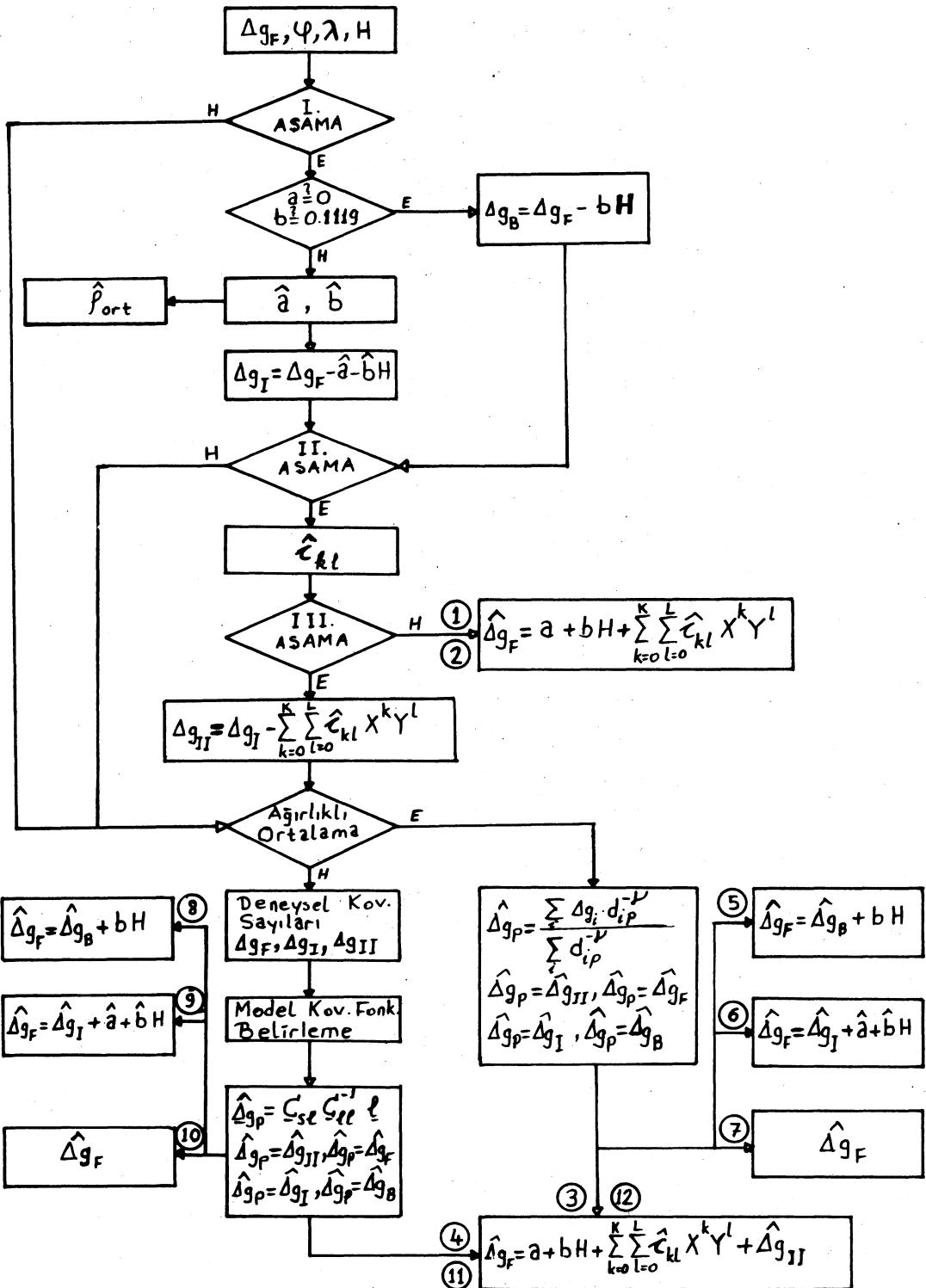
ÖLÇÜ : 1 ;  $\Delta g_F$ , 2 ;  $\Delta g_B$

KORELASYON: 0 ;  $a=b=0$ , 1 ;  $a=0$ ,  $b \neq 0$

YÜZEV : 0 ;  $c_{kl}=0$ , 1 ;  $c_{kl} \neq 0$

YÖNTEM : 0 ;  $\hat{g}_{II} = 0$ , 1 ; Ağırlıklı Ortalamalar, 2 ; EKKK

Tablo-1'deki prediksiyon yöntemlerinden 4,8,9 ve 11 nolu yöntemler yukarıda açıklanan Universal Kriging ile özdeş olduğundan Universal Kriging'in  $\Delta g_F$  prediksiyonuna uygulaması olarak düşünülmelidir. Ağırlıklı ortalamaları



Şekil-1

İçeren prediksiyon yöntemlerinde  $\Delta g_{II}$  rastgele süreç kabul edilmemişinden, bu yöntemlerin Universal Kriging ile ilişkisini kurmak olanaklı değildir.

Yukarıda açıklanan prediksiyon yöntemlerini incelemek için öncelikle kaba hatalı ve uyuşumsuz ölçülerden arındırılmış bir ölçü kümesi gereklidir. Ölçüler bir ön prediksiyon işleminden geçirilip uygun ölçütler ile kaba hatalı ve uyuşumsuz olan ölçüler ayıklanarak istenilen nitelikte bir ölçü kümesi elde edilebilir. Bu amaçla her defasında bir  $\Delta g_F$  ölçüsü, ölçü kümesinden çıkarılıp o noktadaki  $\hat{g}_F$  hesaplanır ve daha sonra aynı noktadaki ölçü ve hesap değerlerinden,

$$\varepsilon_i = \Delta g_{F_i} - \hat{g}_{F_i} \quad (2.26)$$

farkları bulunur. Eğer  $\Delta g_F$ 'ler arasında kaba hatalı ve uyuşumsuz ölçüler yoksa;  $\{\varepsilon_i\}$  örnek kümenin  $\mu_\varepsilon = 0$ ,  $\sigma_\varepsilon^2$  parametrelili ve normal dağılımlı bir evrensel kümeden gelmesi gereklidir. Ölçüler arasında kaba hatalı ve uyuşumsuz ölçüler bulunduğuanda  $\mu_\varepsilon$  umut değeri ve  $\sigma_\varepsilon$  standart sapma bunlardan çok etkilendir. Bu nedenle ölçülerin testi için geliştirilecek ölçütlerde  $\mu_\varepsilon$  ve  $\sigma_\varepsilon$  yerine robust karakterli merkezci (konum) ve ölçek faktörlerinden yararlanılacaktır. Robust karakterli konum ve ölçek faktörlerinin özelliği ölçüler arasındaki kaba hatalı ve uyuşumsuz ölçülerden etkilenmemeleridir. Bu amaçla Hampel'in düzelendiği Huber'in 2nci önerisine göre hesaplanan robust karakterli  $T_\varepsilon$  konum ve  $S_\varepsilon$  ölçek faktörleri tanımlanacaktır. Söz konusu faktörler,

$$\sum_i \psi_i(x; k) = 0 \quad (2.27)$$

koşulunu sağlayacak biçimde belirlenir. Burada  $\psi_i(x; k)$  etki fonksiyonu olarak bilinir ve

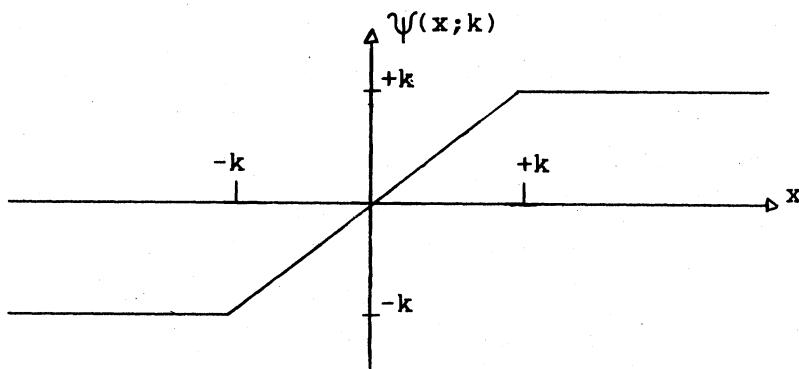
$$x = \frac{\varepsilon - T}{S} \quad (2.28)$$

olmak üzere

$$\psi(x, y) = \begin{cases} -k & x < -k \\ x & -k \leq x \leq k \\ k & k < x \end{cases} \quad (2.29)$$

ile verilir.

Bu fonksiyonun grafiği Şekil-2'de gösterilmektedir.



Şekil-2 : Etki fonksiyonu ( $\psi(x;k)$ ) grafiği

(2.27), (2.28) ve (2.29) eşitliklerinden  $k=1.5$  için hesaplanan  $T_\epsilon$ ;  $\{\epsilon\}$  örnek kümenin median'ıdır.  $S_\epsilon$  ölçek faktörü ise

$$S_\epsilon = \frac{\text{med} |\epsilon - T_\epsilon|}{0.6754} \quad (2.30)$$

eşitliği ile belirlenir. Bu eşitlikte  $\text{med} |\epsilon - T_\epsilon|$  hataların mutlak değerlerinin median'ı (Median Absolute Deviation, MAD) olup normal dağılımda MAD'ının umut değeri 0.6754'e eşittir (Huber, 1981; Crave v.d., 1987).  $T_\epsilon$  ve  $S_\epsilon$  faktörlerinin hesabında Andrews v.d.(1972)'de verilen algoritma ve altprogram kullanılmıştır.

(2.30) eşitliğindeki robust karakterli  $S_\epsilon$  ölçek faktöründen yararla,

$$|\epsilon_i| \leq 2.5 S_\epsilon \quad (2.31)$$

eşitsizliği ile tanımlanan test ölçütünü sağlamayan ölçülerin tamamı kaba hatalı veya uyuşumsuz ölçü kabul edilip ölçü kümesinden çıkarılarak oluşturulan sonuç ölçü kümesi prediksiyon yöntemlerinin karşılaştırılmasında kullanılmıştır.

Table-1'deki prediksiyon yöntemlerini karşılaştırmak için iki ölçüt kullanılabilir. Bu ölçütlerden ilki (2.26) eşitliğindeki  $\epsilon_i$  farklarından

$$M_o = \pm \left( \frac{\sum_{i=0}^n \epsilon_i}{n} \right)^{1/2} \quad (2.32)$$

ile tanımlanan  $M_o$  karesel ortalama hatadır. Bu eşitlikteki  $n$ ; prediksiyonda

kullanılan toplam test nokta sayısı olup ölçü noktaları aynı zamanda test noktası olduğundan ölçü nokta sayısına eşittir. Ölçüler arasında kaba hatalı veya uyuşumsuz ölçüler bulunduğuunda  $\sigma_e$  gibi  $M_o$ 'da bundan etkilenmekte ve kayık (biased) bir ölçek faktörü olmaktadır. Ancak aynı veri kümesi ile yapılmış farklı çözümlerin birbirile karşılaştırılmasında  $M_o$  anlamlıdır.  $M_o$ 'nın küçük olması uygulanan prediksyon yönteminin anlamlı olduğunu gösterir (Ayhan-Ayken, 1987).

Karşılaştırma ölçütlerinin ikincisi  $\rho^*$  prediksyon gücü olup

$$\bar{\Delta g}_F = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta g_{F_i}}{n} \quad (2.33)$$

olmak üzere

$$\sigma^* = \pm \left( \frac{\sum_{i=0}^n (\Delta g_{F_i} - \bar{\Delta g}_F)^2}{n} \right)^{0.5} \quad (2.34)$$

ile hesaplanan  $\sigma^*$ 'dan yararla

$$\rho^* = \frac{M_o}{\sigma^*} \quad (2.35)$$

eşitliğiyle tanımlanır (Merry, 1983). Buradaki  $\rho^*$  prediksyon gücü ile ağırlıklı ortalamalarda kullanılan  $\sigma^*$  prediksyon gücü tanımlarının farklı olduğuna dikkat edilmelidir.

Yukarıda incelenen prediksyon yöntemleri ve karşılaştırma ölçütleri test bölgelerindeki ölçü kümeleri ile bir sonraki bölümde sayısal olarak irdelenecektir.

### 3. SAYISAL UYGULAMA VE YÖNTEM KARŞILAŞTIRMASI

Bir önceki bölümde verilen yöntemlerin uygulama koşullarını belirlemek için 8 test bölgesinde sayısal inceleme yapılmıştır. Farklı engebelikte arazilerden oluşan test bölgeleri 1/100000 ölçüleri pafta alanını kapsamakta olup enlem ve boylam cinsinden sınırları Tablo-2'dedir. Ölçü noktalarında; GRS80 sisteminde  $\Delta g_F$  ölçüleri ile enlem, boylam ve yükseklik bilinmektedir. Test bölgelerine giren ölçü noktalarının sayıları ile  $\Delta g_F$ 'nin bölge içinde değişimini gösteren  $\sigma_{\Delta g_F}^2$  Tablo-3'de verilmektedir. Tablo 2 ve 3'den 3,4 ve 8 nolu test bölgelerinin engebeli diğerlerinin orta veya az engebeli oldukları söylenebilir.

BÖLGE	ENLEM	BOYHAM	COĞRAFİ BÖLGE
1	37 00-37 30	32 30-33 00	İç Anadolu Bölgesi
2	38 30-39 00	32 30-33 00	İç Anadolu Bölgesi
3	40 30-41 00	41 00-41 30	Doğu Karadeniz Bölgesi
4	37 00-37 30	28 30-29 00	Ege Bölgesi
5	41 00-41 30	27 00-27 30	Marmara Bölgesi (Trakya)
6	39 30-40 00	33 30-34 00	İç Anadolu Bölgesi
7	37 30-38 00	39 30-40 00	Güneydoğu Anadolu Bölgesi
8	39 30-40 00	41 00-41 30	Doğu Anadolu Bölgesi

Tablo-2 : Test Bölgeleri

BÖLGE NO.	NOKTA SAYISI	$\Delta g_F$	v
1	142	746.52	2.0
2	111	131.56	4.5
3	100	3473.88	3.0
4	133	1854.38	4.0
5	189	51.76	3.5
6	122	323.73	4.0
7	271	1092.67	3.5
8	259	1601.47	3.0
ORTALAMA			3.5

Tablo-3 : Nokta Sayısı,  $\Delta g_F$  Varyansı ve v Katsayısı.

1 nci test bölgesinde 3 nolu prediksiyon yöntemi kullanılarak (2.31) eşitliği ile oluşturulan kaba hatalı veya uyuşumsuz ölçü testinin anlamlığı incelenmiştir. Bu incelemede ağırlıklı ortalamalar için  $v = 1.5$  alınmış ve hesap noktası yakın çevresindeki en az 10 ölçü kullanılmıştır. II nci aşamada  $\Delta g_I$ 'lere yüzey uydurulurken yüzey derecesi 1'den 18'e kadar artırılarak her derece için iki çözüm bulunmuştur. Çözümlerin ilkinde, kaba hatalı ve uyuşumsuz ölçü testi uygulanıp belirlenen ölçüler atılmış ve sonra ikinci çözüm yapılmıştır. Tablo-4'de  $\Delta g_F$  ve Tablo-5'de  $\Delta g_B$  için her iki çözüm sonunda hesaplanan  $M_o$  ve  $S_\varepsilon$  değerleri verilmekte, kaba hatalı veya uyuşumsuz ölçülerin atılıp atılmamasının  $M_o$  ve  $\sigma^*$  üzerindeki etkileri Şekil-3'de grafik olarak gösterilmektedir. Tablo-4 ve 5'deki değerler incelendiğinde,

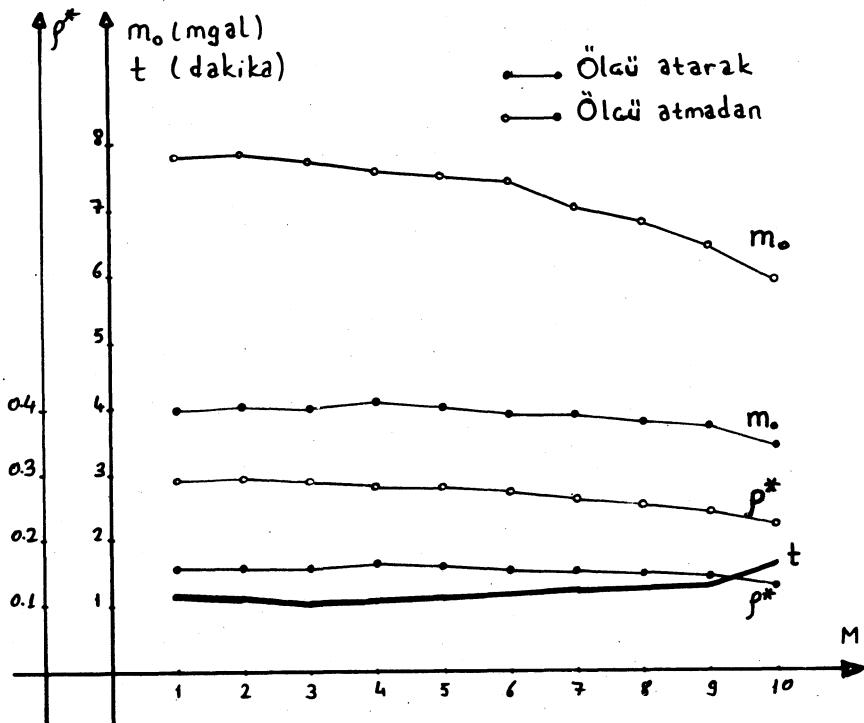
YÜZEV DERECESİ	ÖLÇÜ ATMADAN		ATILAN ÖLÇÜ SAYISI	ÖLÇÜ ATARAK	
	M <sub>o</sub> mgal	S <sub>e</sub> mgal		M <sub>o</sub> mgal	S <sub>e</sub> mgal
1	8.4	4.4	4	4.6	3.6
2	8.4	4.2	4	4.6	3.5
3	8.3	4.4	4	4.6	3.6
4	8.2	4.4	3	4.5	3.8
5	8.1	4.5	3	4.4	3.6
6	8.0	4.5	3	4.4	3.9
7	7.5	4.5	4	4.3	3.8
8	7.3	4.4	3	4.3	3.7
9	6.9	4.6	4	4.2	3.7
10	6.4	4.8	3	4.1	3.8
11	5.9	4.2	3	3.9	3.4
12	5.6	3.8	4	3.8	3.2
13	4.8	3.4	7	3.4	3.0
14	4.0	3.5	4	3.3	3.1
15	3.7	3.5	2	3.6	3.5
16	3.4	2.7	3	3.2	2.9
17	2.8	2.4	4	2.5	2.2
18	2.5	1.7	9	1.7	1.2

Tablo-4 :  $\Delta g_F$  için kaba hatalı veya uyuşumsuz ölçü test sonuçları.

YÜZEV DERECESİ	ÖLÇÜ ATMADAN		ATILAN ÖLÇÜ SAYISI	ÖLÇÜ ATARAK	
	M <sub>o</sub> mgal	S <sub>e</sub> mgal		M <sub>o</sub> mgal	S <sub>e</sub> mgal
1	7.9	3.9	4	4.0	3.6
2	7.9	3.9	4	4.0	3.5
3	7.8	3.9	4	4.0	3.6
4	7.6	4.1	3	4.1	3.6
5	7.5	4.1	3	4.0	3.4
6	7.4	4.4	3	3.9	3.8
7	7.0	4.1	4	3.9	3.7
8	6.8	4.0	4	3.8	3.2
9	6.5	4.4	3	3.7	3.1
10	5.9	4.5	3	3.4	2.9
11	5.4	4.1	3	3.4	3.0
12	5.1	4.0	2	3.3	2.8
13	4.3	3.5	4	3.1	2.5
14	3.5	3.0	4	2.7	2.7
15	3.1	2.8	2	3.0	2.7
16	2.8	2.3	4	2.4	2.2
17	2.4	2.1	2	2.2	2.2
18	2.1	1.5	9	1.4	1.3

Tablo-5 :  $\Delta g_B$  için kaba hatalı ve uyuşumsuz ölçü test sonuçları.

$S_\varepsilon$  değerinin kaba hatalı ve uyuşumsuz ölçülerden hiç etkilenmediği buna karşılık  $M_0$ 'ın yüzeyin derecesine göre % 50'ye varan oranda azaldığı anlaşılmaktadır. İkinci çözümde bulunan  $M_0$  ve  $S_\varepsilon$  değerlerinin yüzey derecesinden bağımsız olarak hemen hemen birbirine eşit olması (2.31) eşitliği ile uygulanan testin anlamlı ve ayrıca  $S_\varepsilon$  ölçek faktörünün robust karakterli olduğunu gösterir.



Şekil-3 : 1 nci bölgede  $M_0$  ve  $\rho^*$  değerleri.

Ağırlıklı ortalamalarda prediksiyon gücünü deneysel hesaplamak ve kullanılacak ölçü sayısını belirlemek için 8 test bölgesinde 3 nolu yöntem ve 4 ncü dereceden yüzey ile sayısal bir inceleme yapılmıştır. Tablo-3'deki 8 test bölgesinde bulunan en uygun  $v$  değerleri arazi engebeligine bağlı olmasının 3.5 civarında değerler almaktadır. Yeterli ölçü sayısını belirlemek üzere önce en az 10 ve sonra en az 20 ölçü ile yapılan prediksiyon sonunda ölçü sayısını artırmanın bir yararı olmadığı anlaşılmıştır. Karakteristik olmaları nedeniyle 2,3 ve 4 ncü test bölgelerinde en az 10 ve en az 20 ölçü ile yapılan prediksiyonlarda bulunan  $M_0$  değerleri,  $v$  değeri değişken alınarak Şekil-4'de gösterilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi  $v$  'nin 3'den

büyük değerleri için en az 10 ve en az 20 ölçü ile yapılan çözümlerde  $M_o$  aynıdır. 3 nolu yöntem ve 4 ncü dereceden yüzey ile elde edilen bu sonuçların; ağırlıklı ortalamaların kullanıldığı 5,6,7 ve 12 nolu prediksiyon yöntemleri için de geçerli olacağı düşünülerek en az 10 ölçü ile hesap yapılması ve  $\nu$ 'nin 3.5 alınması öngörülmüştür. Nitekim Kassim (1980)'de hesap noktasının dört bir yanına dağılmış en az 10 ölçünün yeterli olduğu belirtilmektedir.

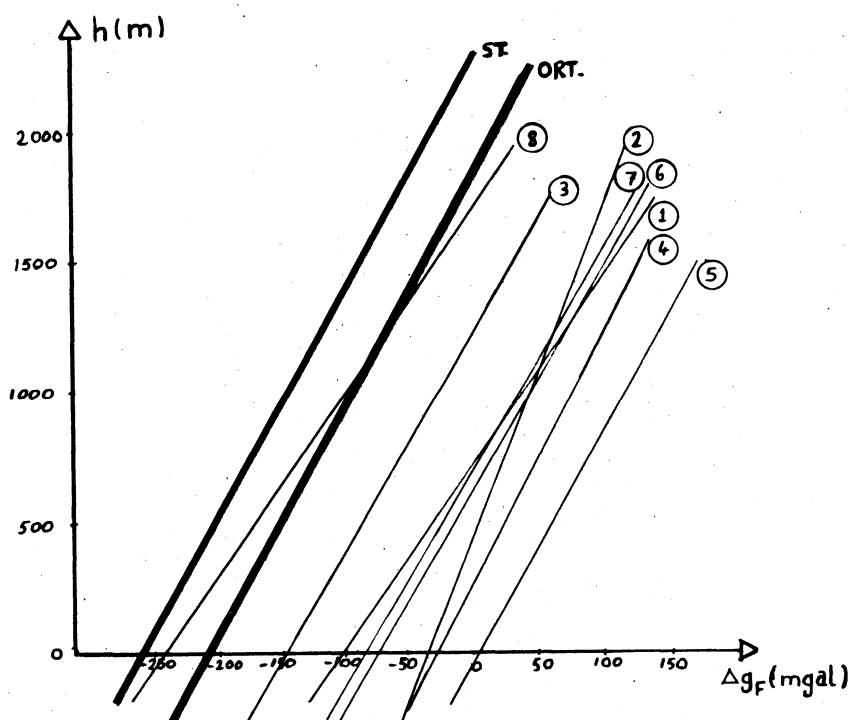
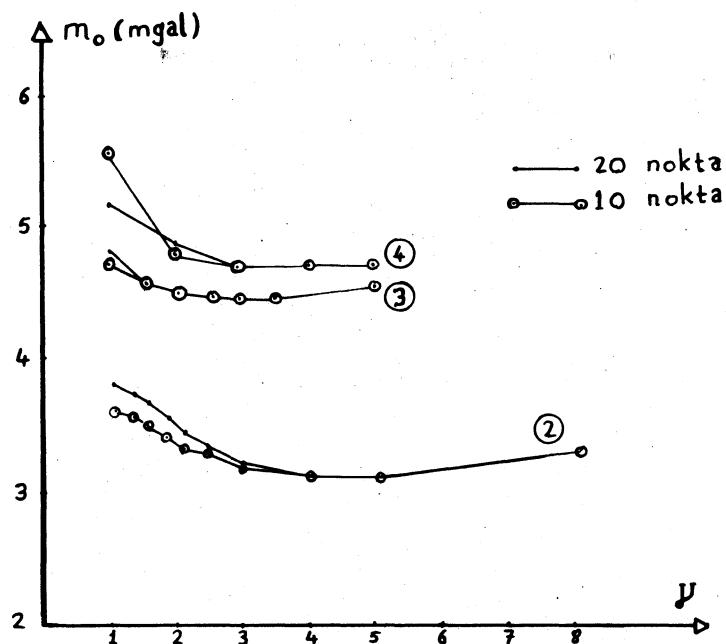
$\Delta g_F$  serbest hava anomalilerinin yükseklikle korelasyonunu göstermek üzere test bölgelerinde a ve b katsayıları deneysel hesaplanmıştır. Bu katsayılarından  $\hat{a}$  bölgedeki ölçülerin ortalamasına (Bouguer anomalilerinin ortaması) ve  $\hat{b}$  katsayısı da Bouguer faktörüne karşılık gelir.  $\hat{b}$  katsayısı gravitenin düşey gradyenti ile doğrudan ilgili olduğundan, gerek gravite indirmeleri gerekse yükseklik sistemlerinin seçiminde önemlidir.

Türkiye'ye uygun yükseklik sistemi henüz belirlenmediğinden test bölgelerinde  $\hat{b}$  Bouguer faktörünün deneysel belirlenmesine özen gösterilmiştir. Bu amaçla 3 nolu yöntemde 4 ncü dereceden yüzey ve  $\nu = 3.0$  alınıp, test bölgelerinde prediksiyon yapılarak  $\hat{a}$ ,  $\hat{b}$  ve (2.4) eşitliğinden  $\hat{\rho}_{\text{ort}}$  ortalamaya yoğunluk hesaplanmış olup bu değerler Tablo-6'da sunulmaktadır. Test bölgelerinde hesaplanan  $\hat{b}$  ve  $\hat{\rho}_{\text{ort}}$  değerlerinin ortalamaları  $\hat{b} = 0.1148$ ,  $\hat{\rho}_{\text{ort}} = 2.74 \text{ gr/cm}$  ile standart değerleri  $b = 0.1119$ ,  $\rho_{\text{ort}} = 2.67 \text{ gr/cm}$  arasındaki fark oldukça küçütür. Çok sayıda ve değişik arazilerde yapılacak incelemelerle daha anlamlı sonuçlara varılabileceği bir gerçektir. Ancak 8 test bölgelerinde yapılan bu incelemede, Türkiye koşullarına en uygun yükseklik sistemi olarak HELMERT Ortometrik Yükseklik Sisteminin alınabileceği sonucuna varılmaktadır.

Tablo-6'da verilen  $\hat{a}$  ve  $\hat{b}$  değerlerinden yararla  $\Delta g_F$ 'lerin yükseklikle korelasyonu Şekil-5'de her bölge için ayrı ayrı gösterilmektedir.

2 nci bölümde oluşturulan 12 prediksiyon yöntemini karşılaştırmak amacıyla 1 ve 2 nci bölgelerde sayısal uygulama yapılmıştır. Prediksiyonun III ncü aşamasında ağırlıklı ortalamalar için  $\nu = 3.5$  ve en az 10 ölçü kullanılmış, II nci aşamada yüzey derecesi 1'den 10'a kadar artırılarak uygun yüzey derecesinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

EKKK'in kullanıldığı prediksiyon yöntemlerinde belirlenen deneysel kovaryans fonksiyonları ölçülerin nitelidine göre üç grupta toplanabilir. Bu

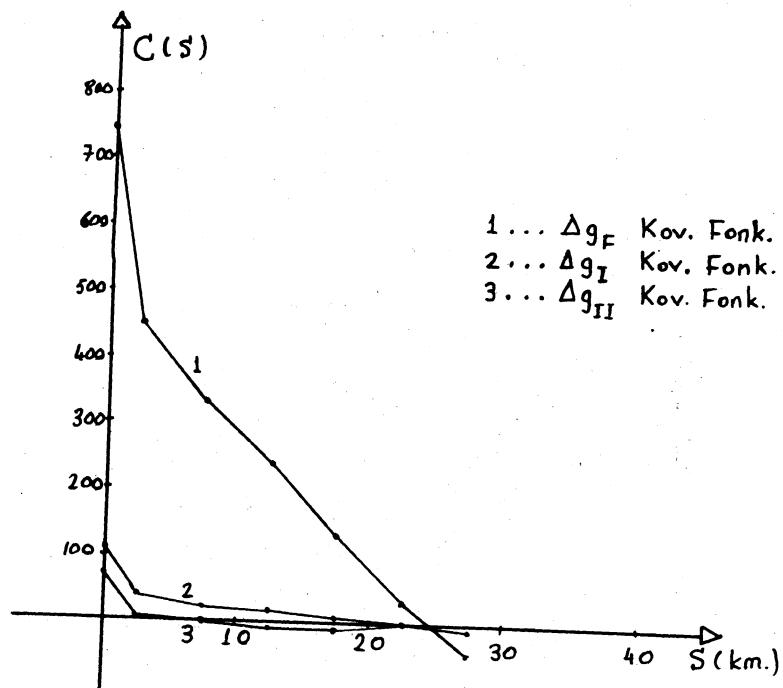


Şekil-5

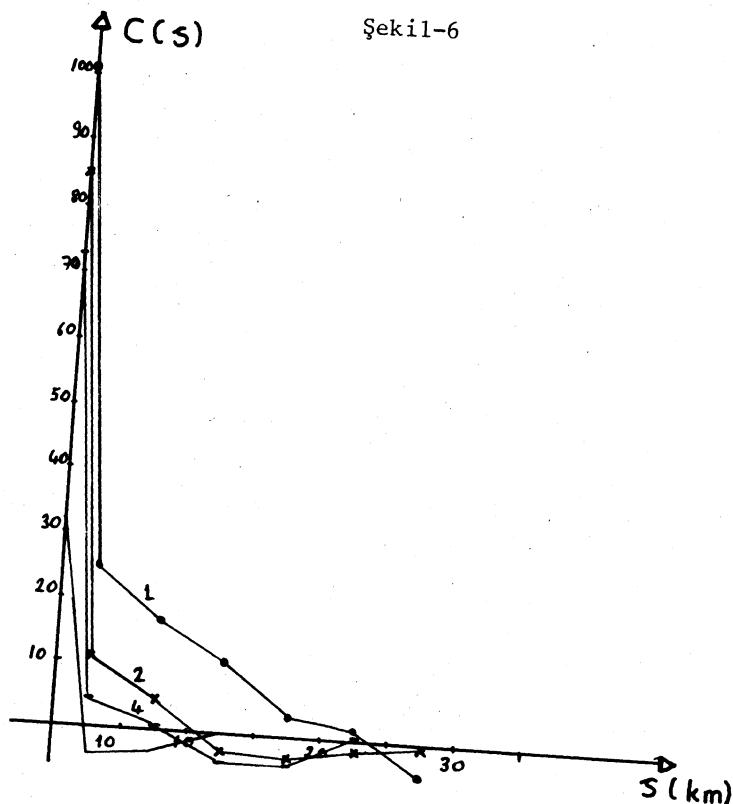
BÖLGE NO.	$\hat{a}$ (mgal)	$\hat{b}$	$\hat{\rho}_{\text{ort}}$ (gr/cm)
1	-96.02	0.1346	3.21
2	-29.73	0.0733	1.75
3	-143.51	0.1145	2.73
4	-29.47	0.1060	2.53
5	6.37	0.1112	2.66
6	-75.20	0.1188	2.83
7	-82.20	0.1216	2.90
8	-237.56	0.1385	3.30
ORTALAMA		0.1148	2.74
STANDART		0.1119	2.67

Tablo-6 : Deneysel  $\hat{a}$  ,  $\hat{b}$  ,  $\hat{\rho}_{\text{ort}}$  değerleri.

gruplardan ilkini, yerel belirleyici parametreleri bölgeden bölgeye göre değişen  $\Delta g_F$  serbest hava anomalisi kovaryans fonksiyonları oluşturur. İkinci grupta ise deneysel ( $\hat{a}$  ,  $\hat{b}$ ) veya standart ( $a$  ,  $b$ ) katsayıları kullanılarak yükseklikle korelasyonları giderilen  $\Delta g_I$  veya  $\Delta g_B$  'lerin kovaryans fonksiyonları bulunur. 4 ve 11 nolu yöntemlerde yüzeyin derecesine bağlı olarak belirlenen kovaryans fonksiyonları üçüncü grupta yer almaktadır. Her üç grubdaki kovaryans fonksiyonlarının 1 ve 2 nci bölgelerde hesaplanan  $C_0$  ve  $\zeta$  değerleri Tablo-7'de topluca sunulmuştur. Tablodan  $\Delta g_I$  ve  $\Delta g_B$  ölçülerine ait  $C_0$  ve  $\zeta$  değerlerinin her iki bölgede de aynı olduğu görülmekte ve buradan  $\Delta g_I$  ile  $\Delta g_B$  kovaryans fonksiyonlarının benzer dolayısıyla 8 ve 9 nolu yöntemlerin hemen özdeş oldukları sonucuna varılmaktadır. Yüzey derecesini artırmanın  $C_0$ 'da bir azalmaya  $\zeta$  'da ise belirli bir değere kadar artıktan sonra sabit bir değere ( test bölgelerinde 2500 m ) ulaşmasına neden olduğu anlaşılmaktadır.  $\zeta$ 'nin 2500 m sabit değerini alması, deneysel kovaryans sayıları belirlenirken sınıf aralıklarının standart olarak 5 km alınmasından ve ölçü nokta sıklığının ortalama 3 - 5 km olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil-6 ve 7'de 1 nci bölgede  $\Delta g_F$  ,  $\Delta g_I$  ve  $\Delta g_{II}$  için ve Şekil-8'de 2 nci bölgede  $\Delta g_F$  ile  $\Delta g_I$  için belirlenen deneysel kovaryans fonksiyonları grafik olarak sunulmaktadır. Şekil-6, 7 ve 8'den  $\Delta g_F$  ile  $\Delta g_B$  kovaryans fonksiyonlarına ait ilk sıfır noktalarının birbirine eşit olduğu, yüzey derecesi arttıkça ilk sıfır noktası değerinin azaldığı anlaşılmaktadır.  $\Delta g_F$  ve  $\Delta g_B$

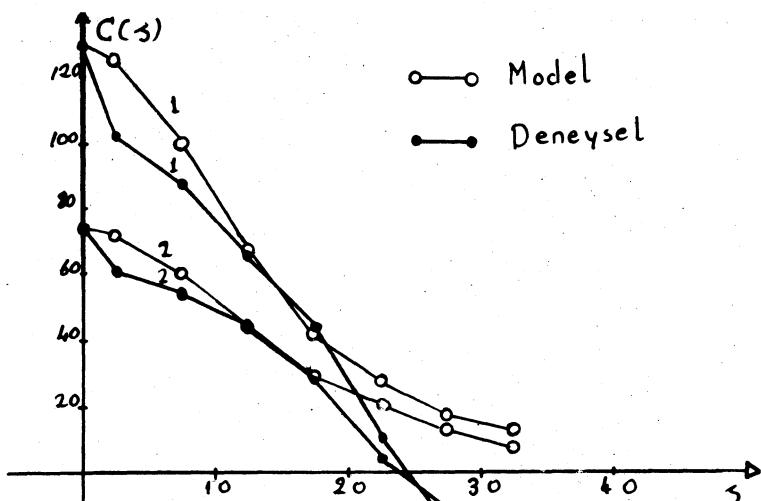


Şekil-6



Şekil-7

kovaryans fonksiyonlarına ilişkin korelasyon uzunluğunun 1 nci bölgede birbirinden farklı ve 2 nci bölgede birbirinin aynı olması nedeniyle ç korelasyon uzunluğu için bir genelleme yapılamamaktadır.



Şekil-8 : 2 nci bölgede  $\Delta g$  ve  $\Delta g$  kovaryans fonksiyonları.

III ncü aşama prediksiyon işleminde uygulanan EKKK yönteminde ölçü sayısı boyutunda bir matris inversi alınması gerekliliği bu yöntemin olumsuz yönünü oluşturur. Bu nedenle Ayhan-Ayken (1987)'de önerildiği gibi hesap noktasına (1.4 ç)'dan daha yakın uzaklıkta nokta çevresindeki ölçüler kullanılarak hesaplama yapılmıştır.

Tablo-1'de verilen 12 prediksiyon yöntemini birbiriyle karşılaştırmak amacıyla 1 ve 2 nci test bölgelerinde her bir prediksiyon yöntemi ile ayrı ayrı hesaplama yapılmıştır. Ölçü noktaları aynı zamanda test (hesap) noktası seçilmiş bir test nokta değeri hesaplanırken o noktadaki ölçünün ölçü kümesinden çıkarılması ve diğer ölçülerden yararlanması temel ilke olarak alınmıştır. Ancak 1 ve 2 nolu prediksiyon yöntemlerinde en küçük karelerle dengelenme ile ölçülere uygun bir trend yüzeyi belirlenirken tüm ölçüler kullanılmış ve bulunan trend yüzeyinden yararla test noktalarının değeri hesaplanmıştır. Diğer prediksiyon yöntemlerinde ise I ve II nci aşamalarda tüm ölçüler kullanılmış III ncü aşamada ise bir test noktasındaki ölçü o test nokta değeri hesaplanırken kullanılmamıştır.

Prediksiyon yöntemleri uygulanırken önce bir ön prediksiyon işlemi ile test noktalarındaki  $\epsilon_i$  ölçü ve hesap değeri farkları bulunmuş ve  $\epsilon_i$  değerlerine (2.31) eşitliği ile oluşturulan test uygulanmıştır. Test sonunda kabu hatalı veya uyuşumsuz olduğu belirlenen ölçülerin tamamı atılarak oluşturulan yeni ölçü kümesi ile ikinci bir prediksiyon yapılmıştır. 1 ve 2 ncı test bölgelerinde her prediksiyon yöntemi ile ikinci prediksiyon sonunda hesaplanan  $M_o$  ve  $\rho^*$  karşılaştırma ölçütleri Tablo-8 ve 9'da verilmektedir.

Tablo-8 ve 9'da sunulan  $M_o$  ve  $\rho^*$  karşılaştırma ölçütleri topluca değerlendirildiğinde aşağıdaki özellikler sıralanabilir.

- \* Her iki test bölgesinde 5 ve 6 nolu yöntemler 7 nolu yöntemle, 8 ve 9 nolu yöntemler 10 nolu yöntem ile karşılaştırıldığında; yükseklikle korelasyonu giderilen gravite anomalileri ( $\Delta g_I$  veya  $\Delta g_B$ ) ile yapılan prediksiyonda hesaplama doğruluğunun  $\Delta g_F$  'nin kullanıldığı prediksiyona göre % 50 oranında daha iyi olduğu belirlenmektedir.
- \*  $\Delta g_B$  Bouguer anomali ölçülerini ile prediksiyon yöntemlerinin  $\Delta g_I$  ve  $\Delta g_F$  ölçülerile prediksiyona göre daha doğru sonuçlar vermesi nedeniyle gravite anomalisi prediksiyonunda  $\Delta g_B$  Bouguer anomalilerinin, başka amaçlarla kullanılmak üzere deneysel  $\hat{a}$ ,  $\hat{b}$  katsayıları hesaplanmak istendiğinde  $\Delta g_I$  'lerin prediksiyonda ölçü olarak kullanılması uygun olmaktadır.
- \* 3 ve 12 nolu yöntemlerde yüzeyin derecesi artırıldığında hesap doğruluğunun artmadığı, farklı dereceden yüzeylerle yapılan hesaplarda  $M_o$  ve  $\rho^*$  'in hemen hemen aynı kaldığı belirlendiğinden; 2 veya 3 ncü dereceden bir yüzey ile 3 veya 12 nolu yöntemin orta ve az eğimli bölgelerde gravite anomali prediksiyonu amacıyla kullanılabileceği sonucuna varılmaktadır.
- \* EKKK'yi kullanan prediksiyon yöntemlerinin (4,8,9,10,11) ağırlıklı ortalamaları kullanan prediksiyon yöntemlerine (3,5,6,7,12) göre genel olarak daha az doğruluk sağladıkları görülmektedir. Buradan EKKK'nın ağırlıklı ortalamalara göre gravite anomali prediksiyonuna daha az uygun olduğu sonucuna varılabilir ancak bu yargının doğrulanması için farklı nitelikte ve çok sayıda ölçü kümesinde bu incelemenin yapılmasında yarar vardır.
- \* İşlem hacmi, işlem zamanı, yöntemin basitliği, doğruluğu ve farklı

Böl. No.	Yüz. Der. No.	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
		Yönt. No.	$C_o$	$\zeta$	$C_o$	$\zeta$	$C_o$	$\zeta$	$C_o$	$\zeta$	$C_o$	$\zeta$	$C_o$	$\zeta$	$C_o$	$\zeta$	$C_o$	$\zeta$	$C_o$	$\zeta$	
1	4	103	2500	85	2500	81	2500	73	2500	70	2500	65	2500	53	2500	46	2500	41	2500	32	2500
1	11	110	2500	82	2500	75	2500	68	2500	65	2500	57	2500	49	2500	42	2500	37	2500	28	2500
2	4	76	14872	34	4741	33	4600	26	3449	24	3317	15	2500	12	2500	12	2500	10	2500	6	2500
2	11	80	13920	36	4997	36	4969	29	3886	25	3552	14	2500	12	2500	11	2500	10	2500	6	2500
1 (2)	8	119	2500	(84	14128)	(Bouguer Anomalisi)															
1 (2)	9	110	2500	(76	14870)	(Yükseklikle Korelasyonu Giderilen Serbest Hava Anomalisi)															
1 (2)	10	741	6023	(130	12897)	(Serbest Hava Anomalisi)															

Tablo-7 : 1 ve 2 nolu Test Bölgelerinde  $C_o$  (mgal) ve  $\zeta$  (m) Parametreleri

24

Böl.No. Yönt.No.	1		2	
	$M_o$	$\rho^*$	$M_o$	$\rho^*$
5	3.20	0.13	2.65	0.23
6	4.16	0.16	2.97	0.28
7	9.04	0.37	3.47	0.34
8	4.92	0.20	4.02	0.35
9	3.85	0.16	4.54	0.39
10	7.73	0.31	3.82	0.35

Tablo-8 : 1 ve 2 nci Bölgede Yöntem Karşılaştırması.

Böl. No.	1						2					
	Yön. No.	1	2	3	4	11	12	1	2	3	4	11
Mo 1 p*	5.60 0.22	6.27 0.24	4.25 0.16	3.97 0.16	4.16 0.17	3.28 0.13	8.69 0.76	8.97 0.78	2.95 0.27	6.69 0.63	7.04 0.62	2.62 0.23
Mo 2 p*	5.11 0.20	4.81 0.19	4.35 0.17	4.16 0.16	3.49 0.14	3.24 0.13	5.58 0.49	5.65 0.49	2.90 0.27	4.64 0.41	4.43 0.39	2.74 0.24
Mo 3 p*	5.33 0.20	4.80 0.19	4.37 0.17	4.08 0.16	3.41 0.14	3.52 0.14	5.51 0.48	5.64 0.49	2.90 0.27	4.56 0.43	4.61 0.40	2.74 0.24
Mo 4 p*	5.22 0.20	4.81 0.19	4.41 0.17	4.02 0.16	3.26 0.13	3.39 0.14	4.85 0.42	4.73 0.41	2.90 0.27	4.07 0.38	4.05 0.36	2.77 0.24
Mo 5 p*	4.90 0.19	4.61 0.18	4.39 0.17	4.23 0.17	3.37 0.13	3.13 0.13	4.47 0.42	4.30 0.38	2.91 0.27	3.87 0.36	3.76 0.32	2.58 0.23
Mo 6 p*	4.73 0.18	4.12 0.16	4.40 0.17	4.37 0.17	3.48 0.14	3.54 0.14	3.42 0.32	3.40 0.30	2.90 0.27	3.27 0.31	2.94 0.26	2.82 0.25
Mo 7 p*	4.53 0.18	4.07 0.16	4.33 0.17	4.26 0.17	3.61 0.14	3.54 0.14	3.31 0.31	2.87 0.25	2.90 0.27	3.11 0.29	2.98 0.26	2.83 0.25
Mo 8 p*	4.00 0.16	3.57 0.14	4.07 0.16	3.72 0.15	3.36 0.13	3.42 0.13	3.12 0.29	2.98 0.26	2.69 0.25	2.82 0.27	2.59 0.23	2.54 0.22
Mo 9 p*	3.77 0.15	3.63 0.14	4.00 0.16	3.69 0.15	3.32 0.13	3.38 0.13	3.01 0.26	2.80 0.25	2.81 0.26	2.79 0.25	2.54 0.22	2.63 0.23
Mo 10 p*	3.38 0.13	3.12 0.12	4.01 0.16	3.58 0.14	3.01 0.12	3.13 0.13	2.26 0.21	2.11 0.18	2.23 0.21	1.88 0.17	2.02 0.18	2.22 0.19

Tablo-9 : 1 ve 2 nci Test Bölgelerinde Yöntemlerin Karşılaştırılması.

arazilerde uygulanabilme özellikleri gözönünde tutularak Tablo-8 ve 9'daki  $M_o$  ve  $\rho^*$  değerleri incelendiğinde 5 nolu prediksiyon yönteminin (Bouguer anomali ölçüleri ve ağırlıklı ortalamalar) gravite anomali prediksiyonuna en uygun yöntem olduğu söylenebilir.

\*  $\rho^*$  'nun her iki test bölgesinde farklı değerler alması,  $\rho^*$  ile arazi engebeliği arasında bir ilişkinin varlığı düşüncesini uyandırmaktadır. Engebeliği farklı arazilerde bu ilişkinin belirlenmesi uygun prediksiyon yönteminin seçimini kolaylaştırabilecek niteliktedir.

#### 4. SONUÇLAR

$\Delta g_F$  serbest hava anomali prediksiyonu amacıyla 12 prediksiyon yöntemi oluşturulmuş olup bu yöntemlerin bazı özellikleri 8 test bölgesinde ve gravite anomali prediksiyonuna uygunlukları ise ilk iki test bölgesinde incelemiştir. Bu inceleme sonunda yükseklikle korelasyonu standart Bouguer faktörleri ( $a = 0$ ,  $b = 0.1119$ ) ile giderilen anomalilerin ( $\Delta g_B$ ) ve ağırlıklı ortalamalar yönteminin anomali prediksiyonuna uygunluğu belirlenmiştir. Diğer özellikleri de gözönünde tutularak 12 prediksiyon yönteminden gravite anomali prediksiyonuna en uygun olan yöntemin 5 nolu yöntem olduğu söylenebilir. Ayrıca 2 veya 3 ncü dereceden bir trend yüzeyinin kullanıldığı 3 ve 12 nolu prediksiyon yöntemlerinin de anomali prediksiyonuna uygun olduğu belirlenmiştir.

Sayısal incelemeler prediksiyon yöntemlerinin doğruluğunu etkileyen faktörlerden en önemli birinin ölçüler arasında kaba hatalı veya uyuşumsuz ölçü bulunması olduğunu göstermektedir. Bu tür ölçülerin ayıklamak amacıyla robust karakterli  $S_\epsilon$  ölçek faktöründen yararlanarak basit ve etkili bir test geliştirilmiştir. Bir ön prediksiyon işlemi sonunda uygulanan söz konusu testde kaba hatalı veya uyuşumsuz ölçü olduğu belirlenen ölçülerin hepsi ölçü kümesinden çıkarılarak yapılan prediksiyonda  $M_o$ 'ın % 50'ye varan bir oranda küçülmüş olması uygulanan testin anlamlı olduğunu göstermektedir.

Ağırlıklı ortalamalar yöntemi uygulanırken değişken parametre olan  $\nu$  prediksiyon gücünü 3.5 almanın ve hesap noktası yakın çevresindeki en az 10 ölçü ile hesaplama yapmanın yeterli olduğu belirlenmiştir.

$\Delta g_F^2$  serbest hava anomali varyansının 1 ncı test bölgesinde % 85'lik ve 2 ncı test bölgesinde % 42'lik bölümünün topoğrafyadan kaynaklanması  $\Delta g_F$

serbest hava anomalilerinin yükseklikle korelasyonlu olduğunun açık bir göstergesidir. Prediksiyon yöntemlerinin başarılı olarak kullanılabilmesi için  $\Delta g_F$  ile yükseklikler arasındaki bu korelasyonun giderilmesi çok önemli olup bu amaçla deneyel ( $\hat{a}$ ,  $\hat{b}$ ) veya standart ( $a$ ,  $b$ ) katsayılarının kullanılması yeterlidir.

Test bölgelerinde 0.0733 - 0.1385 arasında değerler alan b deneyel Bouguer faktörlerinin ortalaması 0.1148 olup standart Bouguer faktörü 0.1119 ile arasında % 2.6'lık bir fark bulunmaktadır. Gerek bu farkın küçük olması ve gerekse Helmert Ortometrik Yükseklik tanımında standart Bouguer faktörünün kullanılmış olması nedenleriyle, "Helmert Ortometrik Yükseklik Sistemi" nin Türkiye koşullarına uygun yükseklik sistemi olarak seçimimin anlamlı olacağrı düşünülebilir. Bu seçimin doğruluğunu göstermek için öncelikle daha çok sayıdaki test bölgesinde inceleme yapılması ve ayrıca  $\hat{b}$  faktörünün Kräger-Sünkel (1983)'de önerilen parametrelî EKKK yöntemi ile veya Heiskanen-Moritz (1967)'de verilen tamamen istatistiksel olan yöntemle belirlenip karşılaştırılmalarda yarar görülmektedir.

#### KAYNAKLAR

- /1 Andrews, D.F., Bickel, P.J., : Robust Estimator of Location. Princeton Hampel, F.R., Huber, P.J., Universty Press, Princeton, New Jersey. Rogers, W.H., Tukey, J.W. (1972)
- /2 Ayhan, E., Ayken, İ. : Gravite Anomali Prediksiyonu ve Yerel Kovaryans Fonksiyonu. Harita Dergisi, Sayı. 98, ss.19-44 (1978)
- /3 Benciolini, B., Sanso, F. : The Use of Topographic Heights in Gravity Field-Prediction. I Hotine-Marussi Symposium on Mathematical Geodesy, Rome. (1985)
- /4 Chave, A.D., Thomson, D.J., Anderson, M.E. : On The Robust Estimation of Power Spectra, Coherences and Transfer Functions. JGR, Vol.92, No.B.1., pp.633-648. (1987)
- /5 Davis, J.C. : Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley and Sons. New York. (1973)

- /6/ Dermanis, A. : Kriging and Collocation-A Comparison. Manuscripta Geodaetica, Vol.9, No.3, pp.159-167 (1984)
- /7/ Hardy, R.L. : Multiquadratic Equations of Topography and Other Irregular Surfaces. JGR, Vol.76, No.8, pp.1905-1915. (1971)
- /8/ Hardy, R.L. : Kriging, Collocation and Biharmonic Models for Application in the Earth Sciences (What's the Differences ?) Technical Paper of the ACSM Meeting. (1984)
- /9/ Heiskanen, W.H., Moritz, H. : Physical Geodesy, Freeman (1967)
- /10/ Huber, P.J. : Robust Statistics. John Wiley and Sons. New York (1981)
- /11/ Kassim, F.A. : An Evaluation of Three Techniques, For The Prediction of Gravity Anomalies in Canada. University of New Brunswick, Dept. of Surv.Eng., Tech.Rept. No.73 Fredericton. (1980)
- /12/ Kraiger, G., Sünkel, H. : The Prediction of Free-Air Anomalies. Manuscripta Geodaetica, 8/3, pp.229-248 (1983)
- /13/ Merry, C.L. : Gravity Anomaly Prediction Using Local Collocation. (In Techniques to Predict Gravity Anomalies and Deflections Of The Vertical in Mountainous Areas Ed. K.P. Schwarz. University of Calgary). (1983)
- /14/ Moritz, H. : Introduction to Interpolation and Approximation (In: Approximation Methods in Geodesy Ed: Hans Sünkel, Dummler Verlag, Bonn). (1978)
- /15/ Moritz, H. : Advanced Physical Geodesy. Herbert Wittemann Verlag, Karlsruhe. (1980)
- /16/ Schwarz, K.P., Lachapelle, G., Mainville, A. : Gravity and deflection estimation using different data types. (In Techniques to Predict Gravity Anomalies and Deflections of the Vertical in Mountainous Areas. Ed.: K.P.Schwarz, University of Calgary). (1983)
- /17/ Vanicek, P., Krakiwsky, E.P. : Geodesy: The Concepts. North-Holland. Amsterdam. (1982)