

ARAŞTIRMA MAKALESİ

GPS-NİVELMAN ÖLÇÜLERİ VE KRİGİNG YÖNTEMİYLE YEREL JEOİT BELİRLEME ÜZERİNE DENEYSEL UYGULAMA

Hakan AKÇIN

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, ZONGULDAK

Geliş Tarihi: 20.04.2002

CASE STUDY ON LOCAL GEOID DETERMINATION BY GPS-LEVELING MEASUREMENTS& KRIGING METHOD

SUMMARY

In the 3-D geodetic applications it is necessary to determine the geoid undulations between practical height and ellipsoidal heights by GPS measurements. However, geoid undulations cannot be measured in each point on the earth. Geoid surface is therefore obtained by the various survey combinations and prediction models on the adequately dense surface points. In this study; the kriging method is selected for a prediction model, and results of case study acquired by GPS and geometric leveling combination on a geodetic test network in the Bursa Metropolitan Area are presented.

ÖZET

Üç boyutlu jeodezik uygulamalarda, GPS ölçüleri ile elipsoidal yüksekliklerden pratik yüksekliklere geçiş için bir ara yüzey olan jeoitin bilinmesi gereklidir. Ele alınan bu jeoit yüzeyi ise; yeryüzünün her noktasında doğrudan ölçülemeyip belirli dayanak noktalarında gerçekleştirilen değişik ölçü kombinasyonları ve değişik prediksyon modelleri kullanılarak oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada; bir prediksyon modeli olarak kriging yöntemi ele alınmış ve Bursa Metropolitan Alanında oluşturulmuş bir jeodezik test ağı üzerinde, GPS ve geometrik nivelman ölçülerine dayalı deneysel uygulamalar gerçekleştirilerek sonuçları sunulmuştur.

1. GİRİŞ

Yerel jeoit belirleyerek pratik yükseklik elde etmeye yönelik bu deneysel çalışma; müşavirliği ve kontrolörlüğü Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü tarafından gerçekleştirilmiş olan "Bursa Metropolitan Alanı Sayısal Fotogrametrik Harita Üretimi" projesi kapsamında oluşturulmuştur. Bu amaçla; bir jeodezik test ağı üzerindeki 7 farklı noktanın, değişik markalardaki çift frekanslı GPS alıcıları ile statik ve hızlı statik olarak elde edilmiş GPS ölçüleri ve geometrik nivelman ölçülerinin kombinasyonu ile belirlenmiş 67 dayanak noktasının jeoit yüksekliklerinden kriging yöntemi ile jeoit yükseklikleri predikte edilmiş, yanı sıra ağ genişletilerek 251 dayanak noktasından 2. derece trend fonksiyonuyla yapılan prediksyonla da kriging modellemesi sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yazıda ilkin jeoit, elipsoit ve pratik yükseklik kavramları ele alınarak, kriging prediksyon yöntemi ve yöntemin felsefesi anlatılmıştır. Ardından bu yöntemin değişik uygulamaları tanıtılmıştır. Son bölümde ise değişik sayıdaki dayanak noktaları kullanılarak, trendsiz ve trend yüzeyi geçirilerek oluşturulmuş model uygulamaları, noktasal prediksyon ve parça parça yüzeylerle prediksyon yapılarak elde edilen sonuçların istatistiksel olarak yorumlanması verilerek, önerilerde bulunulmuştur.

2. JEOİT, ELİPSOİT, BİLİMSEL VE PRATİK YÜKSEKLİK KAVRAMLARI

Jeodezik uygulamalarda üç farklı yüzey ya da yer şekli söz konusudur . Bunlar;

- Fiziksel yeryüzü,
- Yerin geometrik biçimine uygun, matematiksel olarak modellenmiş referans yüzeyi elipsoit,
- Arşimet'in kapalı kaplar yasasına göre, sükunet halindeki deniz yüzeyi (okyanus yüzeylerinin) karaların altında da devam ettiği varsayılan eş potansiyel **jeoit**'dir.

Bu yüzeyler arasında değişik şekillerde ilişkiler kurularak aşağıda verilecek olan tanımlar yapılır.

- Fiziksel yeryüzüyle jeoit arasındaki çekül eğrisi boyunca olan uzaklığa, jeoit indirilen normal eğrinin uzunluğuna veya potansiyel yöntemlerle tanımlanan yüksekliklere bilimsel yükseklikler adı verilir. Buna göre, bilimsel yükseklikler için üç değişik tanım geçerlidir(8); potansiyel farkı esasına dayalı Geopotansiyel yükseklik (Cp), 45° enlemindeki deniz yüzeyindeki gravite değerine bağlı olarak ele alınan Dinamik yükseklik (Cp45) ve yeryüzü ile arasındaki normalin uzunluğuna bağlı Ortometrik yükseklik(H).
- Bilimsel yüksekliklerin, varsayımlara dayalı ağırlık ivmesi değerleri kullanılarak , herhangi bir düzeltme getirilmeksizin yaklaşık bir değerde elde edilen yükseklikler olan pratik yükseklikler(Hp)(3).
- Yeryüzü ve elipsoit arasındaki elipsoit normalini boyunca elde edilen elipsoit yüksekliği (h). Bu değer, matematiksel parametrelerle tanımlanan bir büyüklük olup, yerin fiziksel parametreleriyle (yerin gravite alanı gibi) bir ilişkisi yoktur. Elipsoit yükseklikleri için aşağıdaki eşitlikler geçerlidir. Bu eşitliklerde kullanılanlar sırasıyla; "X,Y,Z" yer merkezli jeodezik koordinatlar, "φ" jeodezik enlem, "a ve b" elipsoidin büyük yarı ve küçük yarı eksenleri, "e" ve "e'" elipsoidin birinci ve ikinci ikincil dış merkezlikleridir(7).

$$P = \sqrt{X^2 + Y^2}; \quad R_N = \frac{a}{\sqrt{1 - e'^2 \sin^2 \phi}}; \quad \phi = \arctan\left(\frac{Z + e'^2 b \sin^3 \theta}{P - e'^2 a \cos^3 \theta}\right); \quad \theta = \arctan\left(\frac{aZ}{bP}\right); \quad h = \frac{P}{\cos \phi} - R_N \quad (1)$$

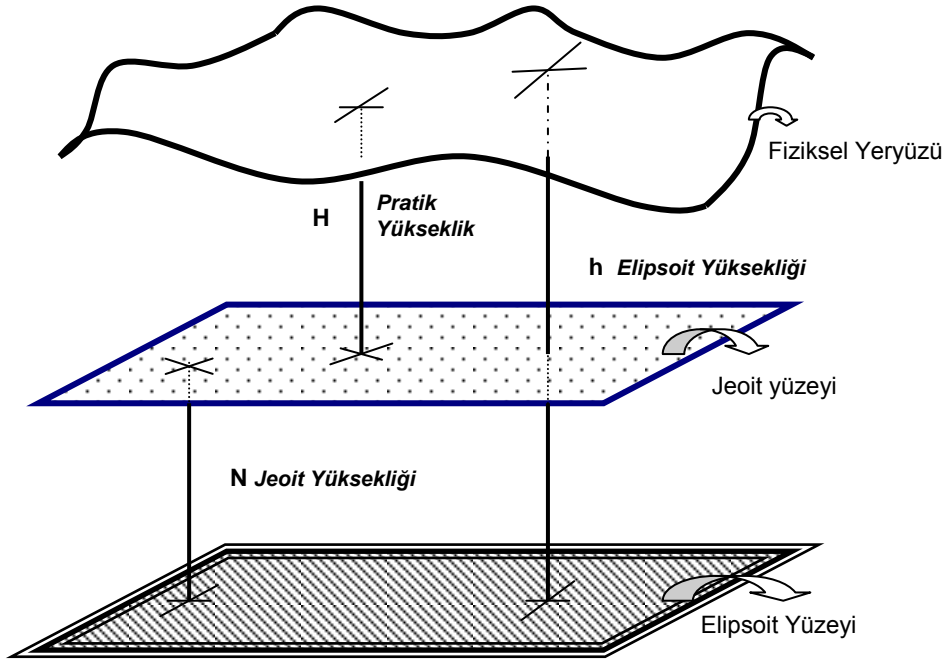
- Elipsoit ile jeoit arasındaki normal eğrinin uzunluğu ile ifade edilen jeoit yüksekliği (N) için aşağıdaki eşitlik geçerlidir.

$$N \cong h - H_P \quad (2)$$

3. GPS VE NİVELMAN ÖLÇÜLERİ İLE YEREL JEOİT BELİRLEME

Yerel bir alandaki jeodezik uygulamalarda, varsayıma dayalı ağırlık ivmelerinin kullanıldığı ya da bunlara dayalı herhangi düzeltme getirilmemiş bilimsel yüksekliklerin, dolayısıyla pratik yüksekliklerin elde edilmesinde, yerel yüzeye uygun dağılmış belirli

dayanak noktalarında hassas geometrik nivelman ile ölçülen pratik yükseklikler ve GPS nivelmanı ile elde edilen elipsoit yüksekliklerin kombinasyonu uygulanarak yükseklikler hesaplanabilir (Şekil 1). Eldeki mevcut yüksekliklerden de değişik projeksiyon yöntemleriyle yerel alana en iyi uyan yüzey geçirilir ve böylece GPS ölçüleriyle konumlanan her noktanın pratik yüksekliği yüzey parametreleriyle hesaplanmış olur.



Şekil 1. Fiziksel yeryüzü ve elipsoit arasında modellenmiş jeoit yüzeyi

4. KRİGİNG PREDİKSİYON YÖNTEMİ

Kriging prediksyonu, projeksiyonu yapılacak noktanın $N(X,Y)$ değişken değerini bir grup dayanak noktasının doğrusal bir kombinasyonu olarak hesaplayan istatistiksel yüzey modellenmesi yöntemidir. Yöntem; Güney Afrikalı bir maden mühendisi **D. G. Krige** tarafından geliştirilmiş olduğundan, kendisine atfen yönteme **kriging** denilmiş, özellikle günümüzde madencilikte cevher yüzeyi modellemesinde ve jeolojide yer altı katmanlarının modellemesinde yaygın bir kullanım alanına sahip olmuştur. Yöntemin tüm uygulamalarında, hata varyansını hesaplayan $\sum P_i \gamma = 1$ ölçütünü kullanarak en az hata ile enterpolasyon için en iyi doğrusal denklem sisteminin oluşturulması sağlanır(6). Hata varyansındaki (γ) değeri ise semivariogram adı verilen doğrusal ya da doğrusal olmayan grafikler üzerinden alınan semivaryans değeridir. Yöntemin temelini kuşkusuz bu grafiğin modellenmesi ve semivaryans değerinin hesaplanması oluşturmaktadır. Kriging yönteminin uygulanış şekillerine göre ise üç farklı modeli vardır.

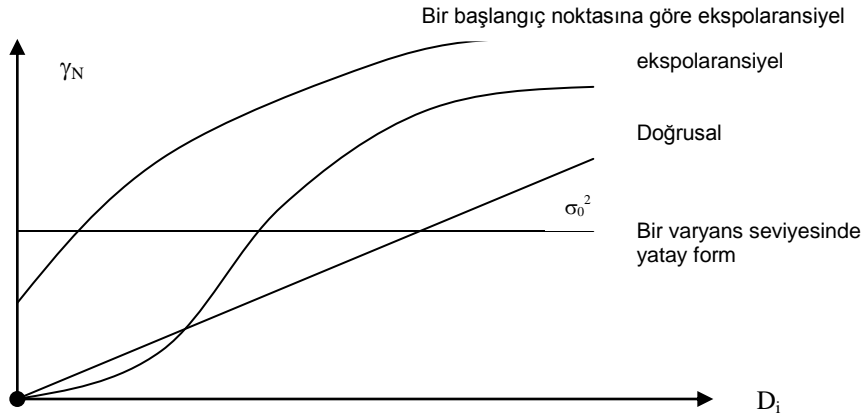
Bunlar:

- Noktasal (punctual) kriging,
- Genişletilmiş (universal) kriging,
- Prediksyon elipsi parametreleriyle hesaplanan noktasal kriging.

Kriging uygulamalarında kullanılan grafikler; aralarındaki uzaklığı bilinen iki $N(X,Y)$ değişken (bu uygulamada jeoit yükseklikleri) arasında, bu uzaklık eşit veya değişik uzunluktaki parçalara bölünerek, her parçaya göre jeoit yüksekliklerin değişimlerinin nasıl olduğunu ifade etmektedir. Böylece yüzey modellemesi yapılacak bölgede jeoit yüksekliklerinin ara uzaklıklar " D_i " lere göre nasıl değiştiğini ifade eden çeşitli tipte semiveriogramlar hazırlanır (Şekil 2). Bu grafikten yararlanarak GPS-Nivelman kombinasyonu ile elde edilen dayanak noktaları ve jeoit yüksekliği hesaplanacak nokta arasındaki değişik uzaklıkların semivaryansları, dolayısıyla yapay ağırlık değerleri belirlenir. Grafiklerin hazırlanmasında ;

$$\gamma_N = \frac{1}{2} \left\{ \sum_{i=1}^{n-k} (D_i - D_{i+k})^2 \right\} \quad (3)$$

genel eşitliği kullanılır. Burada " D_i " i konumunda alınmış yerleştirilmiş bir ölçü ve " D_{i+k} " k aralığında alınmış diğer bir ölçüyü (bu uygulamada yatay mesafeyi) ifade etmektedir.



Şekil 2. Bilinen değişik türlerde semiveriogramlar

Uygulamalarda, yerel modelleme alanındaki aynı doğrultudaki dayanak noktaları arasındaki uzaklıkların değişik varyasyonlardaki incelemeleri ile semivaryanslar elde edilerek ve bu değerler grafik üzerine işlenerek oluşan grafik, bilinen formlara (küresel ,ekspolaransiyel, harmonik veya polinom gibi) genellenir. Ayrıca Kollokasyon yönteminde olduğu gibi değişik otokorolasyon fonksiyonları da kullanılarak bu grafikler çizdirilebilir (1). Bu aşamada, aşağıda örnek bir uygulama gerçekleştirilecektir. Bu uygulamada; aralarındaki uzaklık 10 km olan, GPS ve nivelman kombinasyonu ile yükseklikleri hesaplanmış A ve B gibi iki dayanak noktasını ele alınmıştır. Bu noktalardan A'nın yüksekliği 80 m, B'nin ise 65 m alınarak ve (3) eşitliği kullanılarak semivaryans değerleri hesaplanmıştır (değerler abartılıdır). Bu noktalar arasında semiveriogramın oluşturulabilmesi için AB aralığı önce 5 parçaya bölünüp tekli ve ikili, 4 eşit parçaya bölünerek tekli, son olarak da 2 ve 10 eşit parçaya bölünerek, (3) no'lu eşitliğe uygun biçimde hesaplanan γ_N değeri ile Şekil 3'deki grafik oluşturulmuştur.

$$2 \text{ km'lik aralıkta; } \gamma_{N1} = \frac{(80-77)^2 + (77-74)^2 + (74-71)^2 + (71-68)^2 + (68-65)^2}{2*5} = 4,5m^2$$

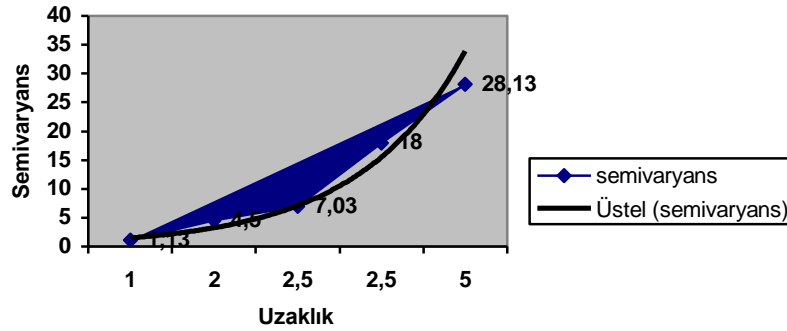
$$2,5 \text{ km'lik aralıkta ; } \gamma_{N2} = \frac{(80-74)^2 + (74-68)^2 + (77-71)^2 + (71-65)^2}{2*4} = 18\text{m}^2$$

2,5 km'lik aralıkta;

$$\gamma_{N3} = \frac{(80-76,25)^2 + (76,25-72,5)^2 + (72,5-68,75)^2 + (68,75-65)^2}{2*4} = 7,03\text{m}^2$$

$$5 \text{ km'lik aralıkta; } \gamma_{N4} = \frac{(80-72,5)^2 + (72,5-65)^2}{2*2} = 28,13\text{m}^2$$

$$1 \text{ km'lik aralıkta; } \gamma_{N5} = \frac{(80-78,5)^2 + (78,5-77)^2 + (77-75,5)^2 + \dots + (66,5-65)^2}{2*10} = 1,13\text{m}^2$$



Şekil 3. Örnek uygulama için semiveriogram

4.1. Noktasal Kriging

Bu uygulama, kriging yöntemlerinin içinde modellemede en çok ele alınan yalın ve çözümü kolay olan türüdür. Verinin durağan olduğu (eğimin fazla değişmediği) ve eşit aralıklı nokta konumlarına dayalı yüzey modellenmesi için ideal bir yöntemdir (5,6). Dayanak noktalarının $N(Y.X)$ değişken değerleri ve elde edilen ağırlıklarıyla aranan noktanın yüksekliği aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$N(X, Y)_k = \sum_{i=1}^n P_i N_i = P_1 N_1 + P_2 N_2 + \dots + P_n N_n \quad (4)$$

Burada; P_i değerleri Kriging uygulaması sonunda elde edilen ağırlık değerleri ve N_i ler ise jeoit yükseklikleridir. Eğer hesaplamalarda bir trend yüzeyi yardımıyla küçültülmüş değerler kullanarak yükseklikler hesaplanmak isteniyorsa, bu durumda;

$$t\{N(X, Y)_k\} = \sum_{i=1}^n P_i t\{N_i\} \quad \text{ile}$$

$$N(X, Y)_k = N_{\text{trend}} + t\{N(X, Y)_k\} \quad (5)$$

eşitlikleri geçerli olur. Hata varyansını $\sum P_i \gamma = 1$ ölçütünü kullanarak oluşturulan ifadelere, Lagrange çarpanı da eklenerek diferansiyeli alındığında, noktasal kriging için aşağıdaki eşitlik oluşturulmuş olunur.

$$\sum_{i=1}^n P_i \gamma(N_{ij}) + \lambda = \gamma(N_{ik}) \quad (6)$$

Burada; “ P_i ” ağırlıklar, “ $\gamma(N_{ij})$ ” dayanak noktaları arasındaki semivaryanslar, “ $\gamma(N_{ik})$ ” ise dayanak noktalarıyla prediksyonu yapılacak nokta arasındaki uzaklığa bağlı semivaryans değerleridir. (6) nolu eşitlikten ağırlıkların hesaplanabilmesi için ağırlıkların toplamının bire eşit olduğunu ifade eden bir denklem daha eklenerek, denklem takımının çözümüne gidilir. Örneğin 3 dayanak noktasından, bir k noktasının prediksyonu için bu eşitlikler yazılacak olursa;

$$\lambda + P_1 \gamma(N_{11}) + P_2 \gamma(N_{12}) + P_3 \gamma(N_{13}) = \gamma(N_{1k})$$

$$\lambda + P_1 \gamma(N_{21}) + P_2 \gamma(N_{22}) + P_3 \gamma(N_{23}) = \gamma(N_{2k})$$

$$\lambda + P_1 \gamma(N_{31}) + P_2 \gamma(N_{32}) + P_3 \gamma(N_{33}) = \gamma(N_{3k})$$

$$0 + P_1 + P_2 + P_3 = 1$$

ile;

$$\begin{bmatrix} 1 & \gamma(N_{11}) & \gamma(N_{12}) & \gamma(N_{13}) \\ 1 & \gamma(N_{21}) & \gamma(N_{22}) & \gamma(N_{23}) \\ 1 & \gamma(N_{31}) & \gamma(N_{32}) & \gamma(N_{33}) \\ 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(N_{1k}) \\ \gamma(N_{2k}) \\ \gamma(N_{3k}) \\ 1 \end{bmatrix}$$

şekline dönüşür. Elde edilen matris eşitliği çözüldürse;

$$\underline{AP} = \underline{B} \quad (7)$$

$$\underline{P} = \underline{A}^{-1} \underline{B}$$

ağırlık matrisi elde edilmiş olur. Bulunan ağırlıklar (4) veya (5) eşitliğinde yerine konularak noktanın yüksekliği hesaplanır. Kestirimin varyansı ve standart hatası ise;

$$S_{\epsilon}^2 = \lambda + P_1 \gamma(N_{1k}) + P_2 \gamma(N_{2k}) + P_3 \gamma(N_{3k})$$

$$S_{\epsilon} = \sqrt{S_{\epsilon}^2} \quad (8)$$

dir. Ancak son yazılan standart hata eşitliği %68 olasılık değerine karşılık gelen bir ifadedir. Bu değerin %95 olasılıklı değeri, elde edilen standart hatanın iki katıdır.

4.2. Genelleştirilmiş (üniversal-evrensel) Kriging

Genelleştirilmiş krigingde; noktasal kriginge benzer çözüme gidilmesine karşın, ek olarak dayanak noktalarıyla hesaplanacak nokta arasındaki konum koordinat farkları olan ΔY ve

ΔX 'leri içeren iki denklem takımı daha eklenerek çözüm gerçekleştirilir. Bu denklem takımları şunlardır:

$$\begin{aligned}
 0 + P_1\Delta X_1 + P_2\Delta X_2 + \dots + P_n\Delta X_n &= 0 \\
 0 + P_1\Delta Y_1 + P_2\Delta Y_2 + \dots + P_n\Delta Y_n &= 0 \\
 \Delta X_1 = X_1 - X_k & \quad \Delta X_2 = X_2 - X_k & \dots & \quad \Delta X_n = X_n - X_k \\
 \Delta Y_1 = Y_1 - Y_k & \quad \Delta Y_2 = Y_2 - Y_k & \dots & \quad \Delta Y_n = Y_n - Y_k
 \end{aligned} \tag{9}$$

Genelleştirilmiş kriging, yukarıda gösterilmiş olan eşitliklerden de görülebileceği gibi, noktaların konum koordinatları, denklemleri genişletmede kullanıldığından yüzeyin düzensiz dağılmış örneklerden hesaplandığı ve eğimin var olduğu durumlarda sık kullanılan bir yöntem olmuştur (5,6).

4.3. Prediksiyon Elipsi Parametreleriyle Hesaplanan Noktasal Kriging

Kriging'in bu türünde; prediksiyonu yapılacak noktanın çevresine yayılmış bir dizi dayanak noktasından, nokta arama elipsi veya veriogram anizotropi elipsinin içerisinde kalan dayanak noktaları ile noktasal kriging uygulaması yapılır. Arama elipsinin büyük ve küçük yarı eksenleri (yarıçapları), Semiveriogram diyagramının ani yükselme yaptığı pik noktalarının uzaklıklar eksenindeki karşılıkları alınarak hesaplanır.

5. DENEYSEL UYGULAMA

Deneysel uygulama için seçilen test ağı, Bursa Metropolitan Alanı'nda oluşturulmuş 7 noktalı üçüncü derece bir yüzey ağı olup, ağın çevresinde uygun dağılmış 67 adet dizi nirengi noktaları ise bu ağın modellemesinde kullanılacak dayanak noktaları olarak seçilmiştir. Test ağı ve dizi nirengi noktalarına Trimble 4000SSE ve Topcon Turbo SII GPS alıcıları ile statik ve hızlı statik yöntemde ölçümler yapılmış, ayrıca dizi nirengiler yanı sıra test ağının tüm noktalarında geometrik nivelman ile pratik yükseklikler belirlenmiştir. Test ağındaki 7 nokta (210024,, 210038 ki bu noktalar uygulamada 1024,, 1038 olarak adlandırılmıştır) için elde edilen pratik yükseklikler ayrıca gerçek değer olarak kullanılmıştır. Test ağının genel görünümü Şekil 4'te verilmiştir. Test ağındaki nivelman ölçümleri için karesel ortalama hata ± 14.7 mm, GPS ölçülerinin minimum sabitle dengelemesi sonucu karesel ortalama hatası ise ± 5.77 mm olarak elde edilmiştir. Dizi nirengilerden oluşan dayanak noktaları için jeoit yükseklikleri ; GPS ölçmelerinden bulunan elipsoit yükseklikler ile nivelman ölçüleri farklarından hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılmış olan diyagram ise Şekil 5'de görüldüğü gibi oluşturulmuştur.

Tablo 1. Trend yüzeyi kullanılarak ele alınmış kriging sonuçları

Nokta No	1016	1021	1022	1024	1025	1026	1038
(U1). 9 dayanak noktasından elde edilmiş noktasal kriging sonuçları.							
N (m)	36,466	36,476	36,675	36,594	36,798	36,912	36,638
(U2). 18 dayanak noktasından elde edilmiş noktasal kriging sonuçları.							
N (m)	36,522	36,520	36,657	36,594	36,818	36,892	36,638
(U3). 37 dayanak noktasından elde edilmiş noktasal kriging sonuçları.							
N (m)	36,524	36,581	36,609	36,567	36,782	36,870	36,601
(U4). 67 dayanak noktasından elde edilmiş noktasal kriging sonuçları.							
N (m)	36,510	36,529	36,669	36,550	36,811	36,936	36,640
(U5). 67 dayanak noktasından elde edilmiş genişletilmiş kriging sonuçları.							
N (m)	36,586	36,617	36,612	36,508	36,748	36,681	36,548

Elde edilen değerler Tablo 1'de verilmiştir. Her bir uygulamada kullanılan dayanak noktaları, prediksyonu yapılacak nokta veya noktaların çevresinde en homojen dağılımı sağlayacak yerlerden seçilmiştir. Ayrıca tüm yüzey ağı için bütüncül hesaplamaların yanı sıra test ağının tek tek bütün noktaları için çevresindeki en yakın ve en iyi konumdaki 4'er dayanak noktası seçilerek de noktasal kriging uygulaması gerçekleştirilmiştir. Buna ilişkin sonuçlar da Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Trendsiz olarak ele alınmış, bütüncül ve parça yüzeyler için noktasal kriging uygulama sonuçları

Nokta No	1016	1021	1022	1024	1025	1026	1038
(U6). 9 dayanak noktasından elde edilmiş noktasal kriging sonuçları.							
N (m)	36,466	36,476	36,675	36,594	36,798	36,912	36,638
(U7). Kendisine komşu 3 dayanak noktasından 1016 için edilmiş noktasal kriging sonucu.							
N (m)	36,536						
(U8). Kendisine komşu 4 dayanak noktasından 1021 için elde edilmiş noktasal kriging sonucu.							
N (m)		36,605					
(U9). Kendisine komşu 4 dayanak noktasından 1022 için elde edilmiş noktasal kriging sonucu.							
N (m)			36,657				
(U10). Kendisine komşu 4 dayanak noktasından 1024 için elde edilmiş noktasal kriging sonucu.							
N (m)				36,548			
(U11). Kendisine komşu 4 dayanak noktasından 1025 için elde edilmiş noktasal kriging sonucu.							
N (m)					36,730		
(U12). Kendisine komşu 4 dayanak noktasından 1026 için elde edilmiş noktasal kriging sonucu.							
N (m)						36,833	
(U13). Kendisine komşu 4 dayanak noktasından 1038 için elde edilmiş noktasal kriging sonucu.							
N (m)							36,627

Tablo 3. Gerçek değerler (GPS/Nivelman ile elde edilmiş değerler), predikte edilen değerlerin gerçek değerlerden farkları ve deneysel standart sapmalar

Nokta No	1016	1021	1022	1024	1025	1026	1038
Gerçek Değerler							
μ	36,560	36,619	36,676	36,587	36,775	36,802	36,639
Predikte edilen değerlerin, gerçek değerlerden farklarının mutlak değerleri							
(U1)	94mm	143mm	1mm	7mm	23mm	110mm	1mm
(U2)	38	99	19	7	43	90	1
(U3)	36	38	67	20	7	68	38
(U4)	50	90	7	37	36	134	1
(U5)	26	2	60	79	27	61	91
(U6)	108	160	43	5	28	56	55
(U7)....(U13)	24	14	19	39	45	31	12
Deneysel standart sapmalar							
σ	62,1mm	96,8	39,1	37,1	32,2	85,0	42,9

Ele alınan uygulamalardan predikte edilerek bulunan sonuçların, gerçek değerlerden farkları ve deneysel standart sapmalardan, uygulanan yöntemlerin eş değerlikli olup olmadıkları istatistiksel olarak değerlendirilebilir ve bunun için serbestlik dereceleri eşit olduğundan "Cochran Eş Değerlilik Testi" uygulanabilir (1,3). Buna göre Tablo 3'den $f=7$ ve uygulama sayısı $m=7$ için Cochran eşitlikleri kullanılarak aşağıdaki sonuca ulaşılmıştır. Buna göre;

$$\text{Test değeri : } \bar{G}_{\text{mak}} = \frac{\sigma_{\text{mak}}^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2} = 0,3571$$

$$\text{Sınır değeri : } G_{\text{mak},f,m} = 0,3535 \quad (9)$$

Sonuç : *Test değeri* > *Sınır değeri* olarak bulunmuştur.

Sonuçların ayrıca denetlenebilmesi için, aynı trend fonksiyonuyla tüm Bursayı homojen kaplayan (doğrultu özelliği gösteren dizi nirengiler hariç) 251 noktalı üçüncü derece yüzey ağı ile 7 test noktası predikte edilerek gerçek değerlerle aralarındaki farkların mutlak değerleri hesaplanmış ve aşağıda verilmiştir.

Tablo 4. 251 dayanak noktasından 2. derece polinom yüzeyi ile elde edilmiş değerlerin gerçek değerden farkları

Nokta No	1016	1021	1022	1024	1025	1026	1038
N (m)	35mm	58mm	47mm	24mm	40mm	41mm	8mm

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kriging modellemesi için ele alınan deneysel uygulamalardan aşağıda belirtilen sonuçlar çıkartılabilir:

- Değişik sayıda ve türde kriging uygulamalarından elde edilen sonuçların istatistiksel analizinde sınır değerinin az bir farkla da olsa aşılması nedeniyle, uygulamaların eş değerlikli olmadığı belirlenmiştir.

- Eşdeğerlik yapısını bozan uygulamanın trendsiz, 9 noktalı noktasal kriging uygulaması olduğu anlaşılmaktadır, çünkü bu uygulama çıkartıldığında diğerleri ile uyuşum sağlanabilmektedir.
- Uygulamalarda 1021 ve 1016 nolu noktalar ekstrapolasyon, diğer noktalar ise enterpolasyon yapılarak predikte edilmiştir. Bu nedenle ekstrapolasyon yapılan noktalarda gerçek değerlerden sapmalar en büyük bulunmuştur.
- Predikte edilen noktalara en yakın homejen dağılmış daha az sayıda dayanak noktası seçilerek parça parça yüzeylerde kriging modellemesi yaparak oldukça iyi sonuçlar alınabilmektedir.
- Daha geniş bir alandaki 251 noktayla 2. derece bir polinom yüzeyi kullanılarak elde edilmiş sonuçların gerçek değerlerden farkları incelendiğinde, kriging uygulamalarından elde edilenlerle benzer sonuçlar bulunmuştur.
- Genişletilmiş kriging ile noktasal kriging uygulamasına nazaran az da olsa iyi sonuçlar alınabilmektedir.

Bu sonuçlara göre; bir yerel jeoidin modellenmesinde kriging yöntemleri uygulanarak oldukça başarılı sonuçlara elde edilebilir. Uygun sonuçları alabilmek için kriging; parça parça yüzeyler ile ve prediksyonu yapılacak noktaya optimum mesafedeki yeterli sayıdaki dayanak noktasıyla (üç ve daha fazla) çözümlere gidilmelidir. Bütüncül çözümler için ise, trend geçirilerek küçültülmüş değerler ile çalışılması daha uygun sonuçlar vermektedir. Trend fonksiyonunun oluşturulmasında uyuşumsuz dayanak noktaları çıkartılması ve uygun dereceden bir polinomun seçilmesi modellemenin kalitesini yükseltmektedir. Bu modellemede; dayanak noktasının azlığı yada fazlalığının sonuçları çok fazla değiştirmedeği görülmüştür. Burada önemli olanın, predikte edilen noktaların çevresinde uygun dağılmış dayanak noktalarının oluşmasının sağlanması gerektiğidir. Ayrıca kriging için dayanak noktalarının bir doğrultu halinde sıralanarak zincirler oluşturmasının uygulamada olumsuz bir sonuç vermediği görülmüştür. Bu durum 251 noktalı uygulamayla doğrulanmaktadır. Tüm bunların yanısıra, kriging modellemesi ile jeoit yüzeyi belirlemede en etkin faktörün semiveriogramların oluşturulması olduğunu da hatırlatmak gereklidir. Konu üzerinde çeşitli otokorelasyon fonksiyonları kullanılarak sonuçları iyileştirici araştırmalar yapılabilir. Son olarak, kriging yöntemiyle yerel jeoit yüzeylerinin de hassas olarak modellenebileceği bu uygulamayla kanıtlanmıştır.

TEŞEKKÜR

Yazar; bu çalışmanın gerçekleşmesindeki katkılarından dolayı bölüm çalışma arkadaşı Öğr. Gör. Ali AZAR ve verilerin sağlanmasındaki katkılarından dolayı Bursa Sayısal Harita Üretimi Projesi adına BUSKİ ve Kontrolörlük birimi ZKÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölüm Başkanlığına teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

- [1] AKÇIN H., AZAR A., "Kollokasyonla jeoit modellemede uyuşumsuz ölçülerin robust kestirim ile belirlenmesi ve bir örnek uygulama", Harita Genel Komutanlığı Harita Dergisi, Sayı 119, ISSN-1300-5790, sy 46-58, Ocak 1998.
- [2] AKÇIN H., "Jeoit kavramı ve belirleme teknikleri üzerine bir inceleme", Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 2, Temmuz 2001.
- [3] AYDIN Ö., "Ölçme Bilgisi II", Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, 2000

- [4] AYTAÇ M., “ Modern Dengeleme”, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını, 1984.
- [5] DAVIS J. C., “Stattistik And Data Analysis In Geology”, 5. Baskı, Jhon Willey & Sons, sy 305-405 Newyork, 1986.
- [6] GEDİKOĞLU İ., “ Coğrafi Bilgi Sistemeleri ve uzaktan algılama teknikleri- I. Mekansal Analizler”, ISBN 975-97035-0-5, İşlem Şirketler Gurubu Yayını, sy 182-191, Ankara 2000.
- [7] OLLIKANEN M., “Determination of orthometric Heights using GPS leveling”, Fininsh Geodetic Institute, Research Report, sy 1-15, Kirkkonummi-Helsinki Finland, 1997,
- [8] ULSOY E., “Ülke Jeodezi Ağları”, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayını, sy 195-201, İstanbul 1984.

PDF Source : [Sigma](#)