

Kriging Yöntemi ve Geoit Yüksekliklerinin Enterpolasyonu

Servet YAPRAK¹, Ersoy ARSLAN²

Özet

Bu çalışmada, GPS/Nivelman yöntemi ile geoit yükseklikleri belirlenen dayanak noktalarından yararlanarak, Kriging yöntemi ile, geoit belirleme konusu işlenmiştir.

Uygulamada, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yaptırılan "İstanbul GPS Nirengi Ağı – 1999" (İGNA-99) projesi kapsamında, konumları ve geoit yükseklikleri belirlenmiş 200 dayanak ve 50 test noktası kullanılmıştır. ArcGIS 8.3 yazılımının Geostatistical Analyst modülü kullanılarak Ordinary Kriging enterpolasyon yöntemi uygulanmıştır. 200 dayanak noktası ile geoit yüzey modeli oluşturulmuş ve modelden, geoit yüksekliği bilinen 50 test noktası için geoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Test noktaları için ikinci ve üçüncü derece trend üzerinde Ordinary kriging enterpolasyonla modelden hesaplanan geoit yüksekliklerinin $N_{\text{HESAP-ÖLÇÜ}}$ farkları ve farkların karesel ortalama hata değerleri sırası ile ± 3.09 cm ile ± 3.05 cm olarak bulunmuştur.

Anahtar Sözcükler

Geoit, geoistatistik, enterpolasyon, GPS/Nivelman

Abstract

Kriging method and interpolation of geoid heights

This study, investigates the geoid determination based on Kriging interpolation method, using the base points whose geoidal heights are determined by GPS/Leveling.

In this study, 200 base points and 50 test points whose coordinates and geoidal heights are obtained from the İstanbul GPS Network 1999 (IGNA-99) project are used. The differences between the geoidal heights $N_{\text{CALCULATED-MEASURED}}$ are calculated from the models for 50 test points using Geostatistical Analyst module of ArcGIS 8.3 software and Ordinary Kriging interpolation method. The mean square errors of $N_{\text{CALCULATED-MEASURED}}$ differences for test points with Ordinary Kriging on the second and third degree trends are found to be ± 3.09 cm and ± 3.05 cm, respectively

Keywords

Geoid, geostatistics, interpolation, GPS/leveling

1. Giriş

Günümüzde GPS tekniği, jeodezik uygulamalar için vazgeçilmez bir ölçme yöntemi olmuştur. Bugün GPS ölçme tekniği, mühendislik ölçmeleri ve jeodezik çalışmalarda gittikçe artan bir yaygınlıkla kullanılmaktadır. GPS tekniği ile jeodezik amaçlı konum belirlemede nokta yükseklikleri WGS84

elipsoidine dayalı olarak belirlenmektedir. Ancak mühendislik çalışmalarında elipsoidal yükseklikler (h) yerine ortometrik yüksekliklere (H) gereksinim duyulmaktadır. Ortometrik yükseklikleri elde etmek için nivelman ölçmeleri yoğun zaman ve emek gerektirdiğinden uygulamada pratik değildir. GPS ölçmelerinden ortometrik yüksekliklerin hesaplanması için duyarlı bir geoit modellemesine gereksinim vardır. Bu modelden (N) geoit yükseklikleri pratik olarak hesaplanabilir ve GPS ölçmeleri ile elde edilen elipsoidal yüksekliklerden çıkarılarak $H=h-N$ bağıntısı ile ortometrik yükseklikler elde edilir (EROL ve ÇELİK 2005).

Geoit, ağırlık potansiyelinin sabit olduğu ortalama deniz yüzeyine yakın bir yüzeydir. BÖHNBÜY'ne göre ortometrik yüksekliklerin hesabında geoit modelinin kullanılması için önerilen yöntemler aşağıdadır.

- TG99A geoidinin doğrudan kullanılması,
- TG99A geoit modelinin yerel GPS/Nivelman geoit ölçüleriyle güncelleştirilerek kullanılması,
- Baz vektörlerinde elipsoit ve TG99A geoit yükseklik farklarından elde edilen ortometrik yükseklik farklarının bir nivelman ağı şeklinde dengelenmesi,
- Yerel GPS/Nivelman geoit modelinin oluşturulması (KILIÇOĞLU ve FIRAT 2003).

Geoit yükseklikleri belirleme teknikleri içerisinde en yaygın olanı GPS/Nivelman tekniğidir.

Bu çalışmada GPS/Nivelman ile geoit ondülasyonları bilinen dayanak noktalarından yararlanarak, elipsoidal yüksekliği bilinen noktaların ortometrik yüksekliklerinin belirlenmesinde Ordinary Kriging enterpolasyonu uygulaması gerçekleştirilmiştir. Dayanak ve test noktaları için hesaplanan $N_{\text{HESAP-ÖLÇÜ}}$ farkları ve farkların karesel ortalama hata değerleri bulunarak karşılaştırılmıştır. Ayrıca geoistatistik ve Kriging ile ilgili özet bilgi verilmiştir.

2. Geoistatistik

Geoistatistik, istatistiğin uygulamalı bir dalı olup, ilk olarak yer bilimlerinde karşılaşılan kestirim problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Geoistatistiksel yöntemlerle, gözlemlerin yapıldığı noktaların konumları ve gözlemler arası korelasyon dikkate alınarak yansız ve minimum varyanslı kestirimler yapılabilmektedir (OLEA 1982, ÇETİN ve TÜLCÜ 1998, BAŞKAN 2004).

Gözlem verilerinin deneysel variogram yapısının belirlenmesi ve bu yapıya teorik bir modelin uydurulması

¹Yrd. Doç. Dr. Gazi Osmanpaşa Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Tokat.

²Doç. Dr., İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, İstanbul

geostatistiksel çalışmaların temelini oluşturmaktadır (DELHOMME 1978, VIEIRA vd. 1983, ÇETİN ve TÜLCÜ 1998, BASKAN 2004). Variogram uzayda farklı noktadaki değişkenler arasındaki bağımlılığı ölçen, karakterize eden bir fonksiyondur. Variogram analizi, incelenen özelliğin konumsal bağımlılık derecesini, yani ölçme yapılan noktalar arasındaki konumsal bağımlılığı belirlemede, kriging analizi ise ölçme yapılmayan nokta veya alanlardaki özelliklerin kestirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (ÖZTAŞ 1995, BAŞKAN 2004).

Geoistatistik analiz için öncelikle verilere normal dağılım testi uygulanmalıdır. Normal dağılımlı olmayan veriler kullanıldığında kestirimden kaynaklanan hatalar yüksek çıkmaktadır (DİKİCİ 2001). Geoit yükseklik değerlerinin konumsal dağılımının değerlendirilmesinde; histogram, trend analizi, Normal QQplot, yarıvariogram ve kovaryans grafikleri ve yersel dağılım haritası kullanılmaktadır.

Histogram, belirli aralıklara karşılık gelen gözlem değerlerinin hangi sıklıkta dağıldığını gösterir. Trend analizi, verilerin üç boyutlu görünümünü sağlar. Yatay düzlemde belirtilen her bir ölçme noktasında ölçü değeri (N) üçüncü boyut olarak görülür. Trend analizinde, noktalardaki ölçü değerlerinin yansımaları görülür. Bu değerler uygun bir polinom ile tanımlanabilir. Aynı zamanda iki doğrultudaki eğilimin, grafik üzerinde gösterimi gerçekleştirilir (JOHNSON vd. 2001, GÜNDOĞDU 2004). Normal QQplot, gözlem verilerinin standart normal dağılımdan sapmalarını grafik üzerinde göstermek için kullanılmaktadır (GÜNDOĞDU 2004).

Yarıvariogramın doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için; modeli oluşturan konumu ve geoit yükseklikleri (N) bilinen dayanak nokta sayısının en az 30 olması istenir ki, bu sayı bazı araştırmacılara göre 100 ve hatta 200 dür. Bu yüzden herhangi bir uzaklığa ilişkin yarıvariogram hesaplamasında konumu ve geoit yükseklikleri (N) bilinen nokta çifti sayısı en az 30 olmalıdır (MULLA 1998, MULLA ve SCHEPERS 1997, DİKİCİ 2001).

Geoistatistikte konumsal değişken değerleri arasındaki farkın uzaklığa bağlı değişimleri variogram fonksiyonu ile ifade edilir. Variogram fonksiyonu birbirinden s uzaklığındaki iki konumsal değişken arasındaki farkın varyansı olarak ifade edilir ve $2\gamma(s)$ ile gösterilir. Yarıvariogram fonksiyonu ise 1 nolu eşitlikteki gibi hesaplanır, variogram fonksiyonunun yarısı olarak ifade edilir. (JOURNAL ve HUIJBREGTS 1978 ÇETİN 1996, TERCAN ve SARAÇ 1998, MERT 2005).

$$\gamma(s) = \frac{1}{2n(s)} \sum_{s_{ij}}^{n(s)} (N(x_i, y_i) - N(x_j, y_j))^2 \quad (1)$$

$$s_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (2)$$

s_{ij} = i ve j noktaları arasındaki yatay uzaklık.

$n(s)$ = s mesafedeki nokta çiftleri sayısı

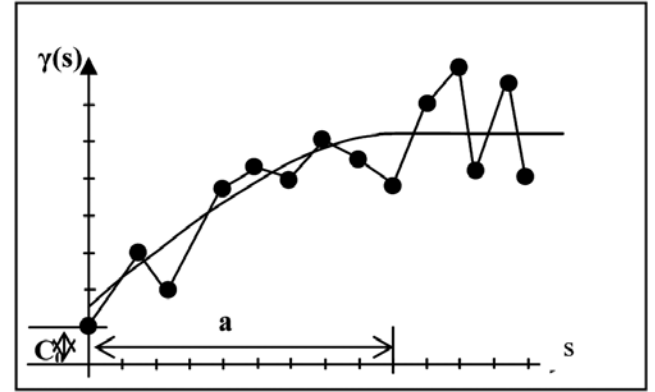
N_i = i noktasındaki geoit ondülasyonu

N_j = j noktasındaki geoit ondülasyonu

$\gamma(s)$ = s mesafesine ilişkin yarıvariogram değeri

Yarıvariogram hesap edilirken dikkat edilmesi gerekli kurallar şunlardır (BURROUGH 1991, DİKİCİ 2001):

- 1) Hesaplamalarda kullanılacak örnek arası mesafe için yeterince örnek çiftinin olması gerekir.
- 2) Elde yeterince örnek çifti olamayacağından, varyans diyagramını arazinin en uzun kenarının yarısından fazlası için hesaplamamak gerekir.
- 3) Düzensiz örnekleme yapılan durumlarda, en küçük örnek aralığını hesaplamalarda başlangıç olarak almak gerekir.



Şekil 1: Variogram grafiği ve parametreleri

Teorik olarak $s=0$ olduğunda variogramın değeri sıfıra eşittir [$\gamma(0)=0$]. Uzaklığa bağlı değişimin verilerden belirlenebileceği bir sınır değeri vardır ki bu sınır değeri birbirine en yakın iki örnek arasındaki uzaklıktır. Uygulamada bu uzaklıktan daha küçük uzaklıklarda değerler arasındaki farkın değişimi belirlenemez ve bu durum variogram orjininde bir süreksizliğe yol açar. Süreksizliğin bir nedeni de örnekleme ve analiz hatalarıdır. Variogramda bu durum “nugget etkisi” C_0 olarak kendisini gösterir. Bu değere kontrolsüz etki varyansı da denir (DAVID 1988, MERT 2005). Kestirim değerini etkilemez. Sadece Kriging varyansında değişime sebep olur. (CHAUVERT 1982, TERCAN ve SARAÇ 1998).

Konumsal değişken variogramı, belirli bir mesafeden sonra artışını durdurur ve tepe varyansı (eşik, sill) “ $C_0 + C$ ” değeri çevresinde değerler almaya başlar. Variogramın eşik değerine ulaştığı uzaklık etki alanı (yapısal uzaklık, range) “a” olarak adlandırılır. Bu uzaklıktan daha büyük uzaklıklarda konumsal bağımlılık sona ermiştir (TERCAN ve SARAÇ 1998, BAŞKAN 2004).

Tablo 1: Çeşitli variogram modelleri (YİĞİT 2003).

Variogram modeli	Fonksiyon	Durum
Gauss	$\gamma(s) = C_0 + C(1 - \exp(-\frac{S^2}{a^2}))$	
Üssel	$\gamma(s) = C_0 + C(1 - \exp(-\frac{S}{a}))$	
Küresel	$\gamma(s) = C_0 + C(\frac{3S}{2a} - \frac{S^3}{2a^3})$ $\gamma(s) = C_0 + C$	$(0 \leq s \leq a)$ $s > a$
Liner	$\gamma(s) = C_0 + C.S$	
Logaritmik	$\gamma(s) = C_0 + C.log(s)$	$(s > 0)$

Gözlem verilerinin deneysel variogram yapısının belirlenmesi ve bu variogram yapısına teorik bir modelin uydurulması geoistatistiksel çalışmaların temelini oluşturmaktadır (DELHOMME 1978, VIEIRA vd. 1983, OLIVER ve WEBSTER 1991, BAŞKAN 2004). Geoistatistikte kullanılan variogram modellerinden en yaygın kullanılanlar Tablo 1 de verilmiştir.

3. Çapraz Geçerlilik

Çapraz geçerlilik yöntemi, teorik yarıvariogram parametrelerinin çalışma alanını temsil edip edemeyeceğinin belirlenmesinde bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Çapraz geçerlilik analizi, kriging metodu içerisinde yer alan ölçme noktalarındaki değerleri, çevresindeki değerlerle tahmin ederek, gerçek değerlerle tahmin değerlerini karşılaştıran, seçilen modelin güvenilirliğini test eden bir yöntemdir (VIEIRA vd. 1983, BAŞKAN 2004).

4. Kriging Enterpolasyon Yöntemi

Kriging enterpolasyon yöntemi, bilinen yakın noktalardan alınan verileri kullanarak, diğer noktalardaki verilerin optimum değerlerini kestiren bir enterpolasyon metodudur (İNAL vd. 2002). Kriging enterpolasyon, yarıvariogram yapısal özellikleri kullanılarak örneklenmemiş noktalardaki konumsal değişikliklerin yansız tahmininin optimal şekilde yapıldığı bir tekniktir (TRANGMAR vd. 1985, BAŞKAN 2004) Kriging yöntemini diğer enterpolasyon yöntemlerinden ayıran en önemli özellik, tahmin edilen her bir nokta veya alan için bir varyans değerinin hesaplanabilmesidir ki bu tahmin edilen değerlerin güven derecesinin bir ölçüsüdür (BAŞKAN 2004).

Krigingde kullanılan temel eşitlik,

$$N_p = \sum_{i=1}^n P_i \times N_i \quad (3)$$

dir. Burada;

n = modeli oluşturan nokta sayısı

N_i = N_p in hesabında kullanılan noktaların geoit ondülasyon değerleri

N_p = Aranılan ondülasyon değeri

P_i = N 'nin hesabında kullanılan her N_i değerine karşılık ağırlık değerleridir.

$i=1$ den n 'ye kadar gözlem noktalarındaki N ondülasyon değeri bilinmektedir. Ancak bu değerlere verilecek olan ağırlıkların hesaplanması gerekmekte olup Kriging'de bu ağırlıklar, kestirim hataları ortalaması sıfır ve varyans minimum olacak şekilde belirlenir. Yansızlık için ümit değeri $E [N_p - N_i] = 0$ olmalıdır. Bunu sağlayabilmek için $\sum P_i = 0$ olmalıdır. Minimum varyans için ise; $\text{Var} [N_p - N_i] = \text{minimum}$ olmalıdır.

Enterpolasyonun yansız olması için ağırlık toplamlarının 1'e eşit olması istenir. Bu durumda n tane bilinmeyen ve $(n+1)$ tane denklem vardır. Çözümün yansız olması için λ Lagrange

çarpanı eklenir. Böylece denklem sayısı bilinmeyen sayısına eşitlenir (İNAL ve YİĞİT 2003).

Ağırlıklar variogram fonksiyonlarından yararlanılarak aşağıdaki 4 eşitliğinden bulunur.

$$P = \gamma^{-1} \times \gamma_o \quad (4)$$

Burada;

P = Ağırlık matrisini,

γ = Dayanak noktaları arasındaki yarıvariogram matrisini,
 γ_o = Dayanak noktaları ile kestirim noktası arasındaki yarıvariogram matrisini gösterir.

Ağırlıkların belirlenmesinden sonra eşitlik 3' ten her bir nokta için kestirim değerleri hesaplanır.

Enterpolasyon noktasının Kriging varyansı, aşağıdaki 5 eşitliği ile bulunur.

$$\sigma^2 = P^T \times \gamma_o \quad (5)$$

Burada;

P^T =Ağırlık matrisinin transpozunu,

σ^2 = Kriging varyansı

ifade eder.

Kriging tekniği, diğer tahmin tekniklerine göre daha yansız sonuçların yanı sıra, minimum varyanslı ve tahmine ait standart sapmanın hesaplanmasına olanak veren bir tekniktir (DEUTSCH ve JOURNAL 1992, ABTEW vd. 1993, BAŞKAN 2004). Kriging tekniğinde örnekleme yapılmamış bir noktada araştırılan özellik için enterpolasyon yapmada bu noktanın yakın çevresinde ölçüm yapılmış en az 6 ve 8, en çok 16 ve 24 arasında değişik nokta kullanılır (WOLLENHAUPT vd. 1997, DİKİCİ 2001).

5. Uygulama

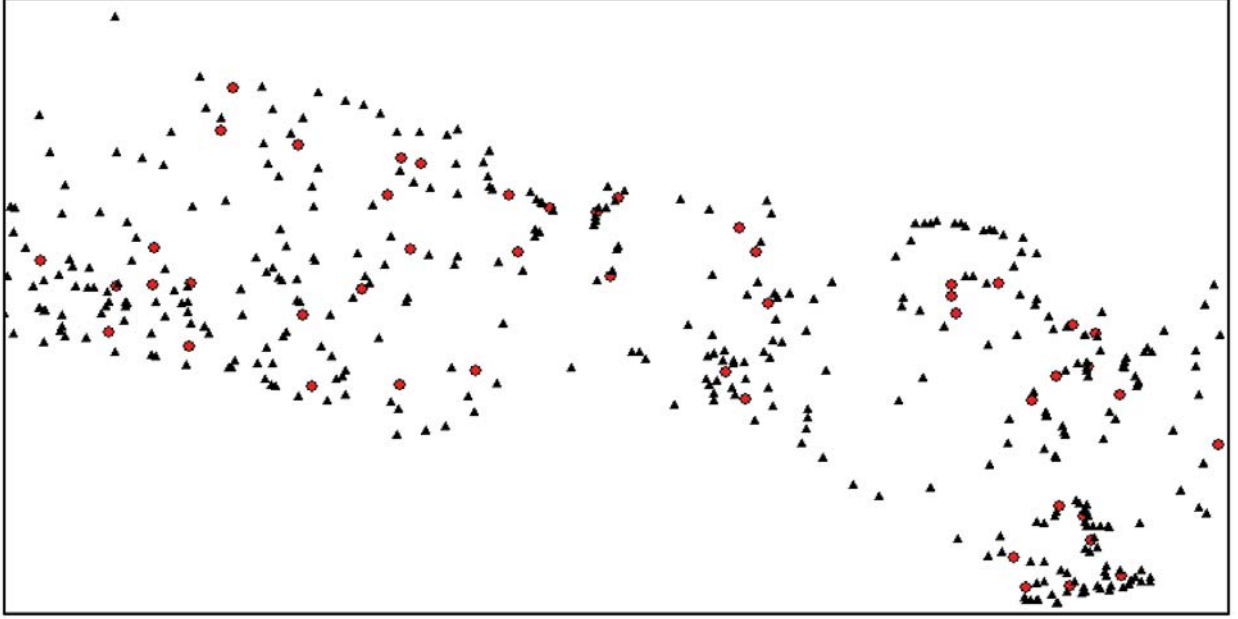
Uygulamada, İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından 1999 yılında EMİ Harita Şirketine "İstanbul GPS Nirengi Ağı – 1999" (İGNA-99) projesi kapsamında yaptırılan, İstanbul il sınırları içine dağılmış olan, konumları ve geoit yükseklikleri belirlenmiş 200 dayanak ve 50 test noktası verileri kullanılmıştır (YILMAZ 2006). Dayanak ve test noktalarının dağılımı Şekil 2' de görülmekte olup dayanak noktaları siyah, test noktaları kırmızı renktedir.

Uygulamada ArcGIS 8.3 yazılımının Geostatistical Analyst modülü kullanılarak ordinary kriging enterpolasyon yöntemi uygulanmıştır. 200 dayanak noktası ile lokal geoit yüzey modeli oluşturulmuş ve modelden, geoit yüksekliği bilinen 50 test noktası için ikinci ve üçüncü derece trend üzerinde ordinary kriging enterpolasyonlarla geoit yükseklikleri hesaplanmıştır. Ölçü ve modele göre hesaplanan geoit yüksekliklerinden $N_{\text{HESAP-ÖLÇÜ}}$ farkları ve farkların Karesel Ortalama Hata (KOH) değerleri hesaplanarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

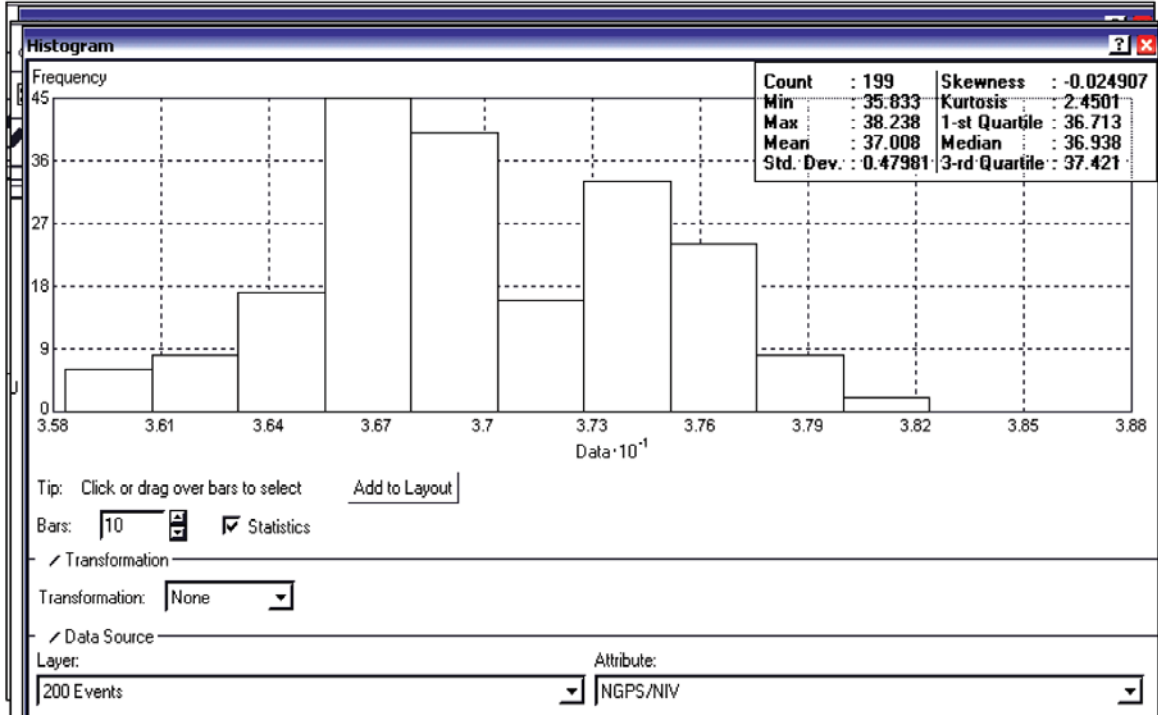
Geoit yüksekliği değerlerinin oluşturduğu dağılım grafiği histogram biçiminde elde edilmiş ve Şekil 3' te sunulmuştur. Histogram her sınıftaki değerlerin yoğunluğunu göstermektedir. 200 dayanak noktasına ait histograma ait özet bilgiler Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2: 200 dayanak noktalı modelin histogram değerleri

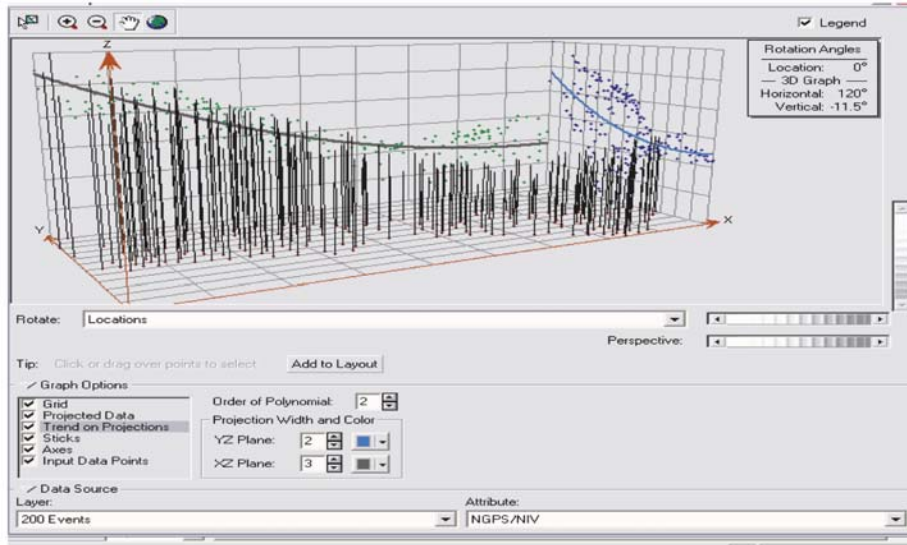
Dayanak Noktaları	Minimum	Maksimum	Ortalama	Ortanca	Yamukluk	Basıklık	Standart Sapma	1. dördül	3. dördül
200	35.833	38.238	37.008	36.938	0.0249	2.4501	0.4798	36.712	36.938



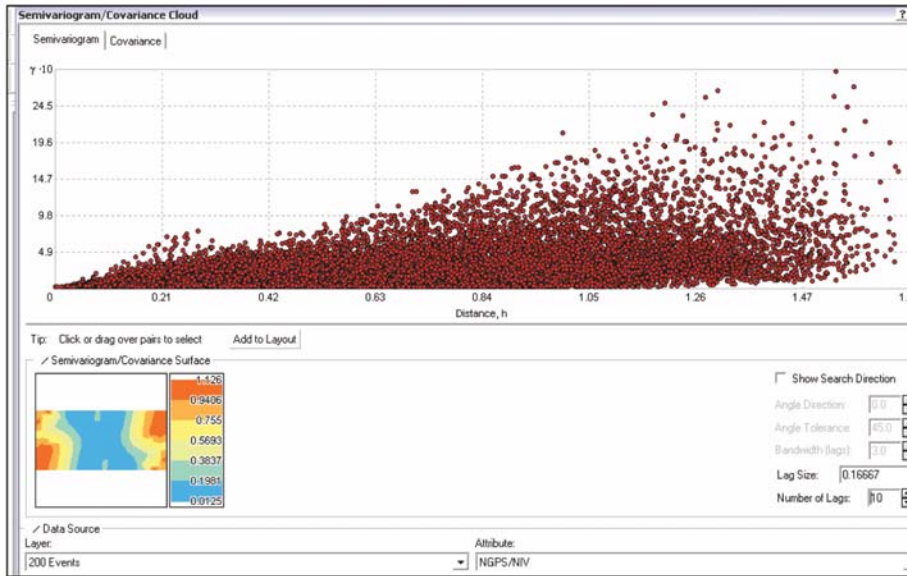
Şekil 2: Dayanak ve test noktalarının dağılımı



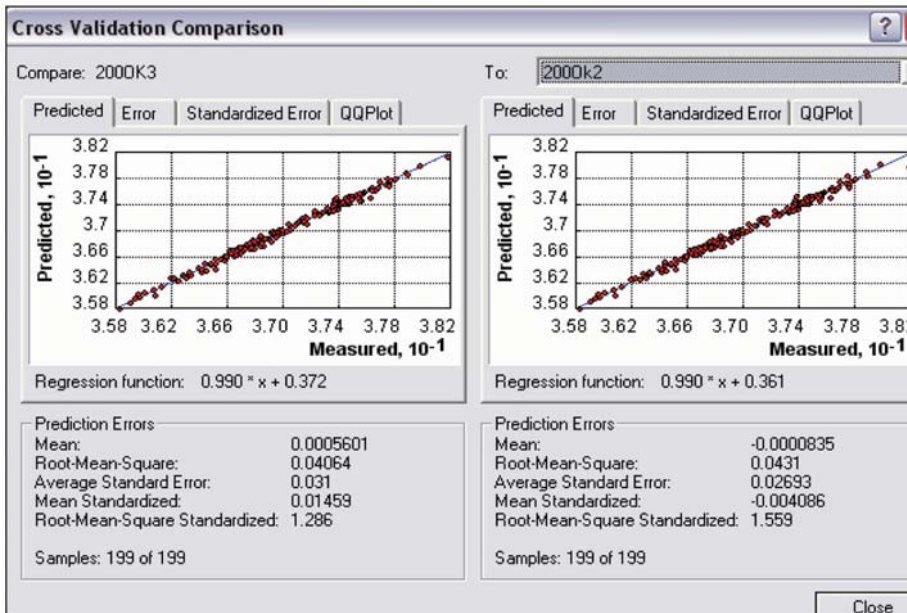
Şekil 3. Model noktalarındaki geoit yükseklik histogramı



Şekil 4: 200 dayanak noktasına ait trend analizi grafiği



Şekil 5: Yarıvaryogram grafiği



Şekil 6: Çapraz geçerlilik karşılaştırma penceresi

Yüzey oluşturmadan önce verilerin bir dönüşüm gerektirip gerektirmediğinin sorgulanması için histogram grafiği ile dağılım sorgulanması yapılmalıdır. Hızlı bir kontrol için, ortalama ve ortanca değere bakılabilir. Bu değerler birbirine yakın ise verilerin normal dağılıma uyduğu söylenebilir (GÜNDOĞDU 2004). Tablo 2’de modelin histogram istatistik sonuçları görülmekte olup ortalama ve ortanca değerlerin 37.008 ve 36.938 değerleri ile birbirine çok yakın olduğu görülmekte, Şekil 3’te ise histogram grafiği verilmektedir.

Genelde uygulamada verilerin genel eğilimini belirlemek amacıyla trend analizi uygulanır. Az eğimli bir yamaç düzlem olarak veya bir vadi 2.derece bir polinom olarak gösterilebilir. 200 dayanak noktası ile oluşturulan modelde yanlış tahminlerin yapılmasını önlemek için analiz sonucu bulunan 2. ve 3. derece trendler kaldırılarak geriye kalan verilerden modellemeye devam edilmiştir. Bu iki trend üzerinde yapılan enterpolasyonlar karşılaştırılmıştır. Şekil 4’de trend analizi penceresi görülmektedir.

Yarıvariogram ve kovaryans, ölçme yapılan noktalar arasında konumsal ilişkinin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Birbirine yakın konulardaki ölçümlerin birbirlerine yakın değerler vereceği bir gerçektir. Yarıvariogram ve kovaryans bu ilişkinin düzeyini belirlemektedir.

Grafik üzerindeki her bir nokta veri çiftlerini ifade etmektedir. Grafikte x eksenini iki nokta arasındaki uzaklığı, y eksenini ise iki nokta arasındaki yarıvariogram değerini gösterir. Tablodaki kırmızı noktalar haritadaki iki farklı konumdaki değeri gösterir. Eğer nokta uzaklığının 0’a yakın olduğu bölgede yüksek yarıvariogram değeri varsa verilerin doğruluğunu kontrol etmemiz gerekir. Şekil 5’de yarıvariogram grafiği görülmektedir.

Verilerin test işleminin tamamlanmasından sonra 2. ve 3. derece trend üzerinde ordinary kriging enterpolasyonlar yapılmış (OK2, OK3) ve 200 dayanak noktasından oluşan modelden N_{HESAP} geoit yükseklik değerleri hesaplanmıştır. Enterpolasyonlardan hesaplanan değerlerle GPS/Nivelman yöntemi ile bulunan $N_{ÖLÇÜ}$ değerleri arasındaki $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark değerleri bulunmuştur. OK2 ve OK3 modellerinde 200 dayanak noktası için $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değeri sırası ile ± 4.37 cm ve ± 4.06 cm olarak bulunmuştur. Ayrıca 200 dayanak noktasından 44 noktada $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark değerinin iki modelde de ± 5 cm’den büyük olduğu görülmüştür. 50

test noktası için iki modelden $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının KOH değerleri sırası ile ± 3.09 ve ± 3.05 cm olarak hesaplanmıştır. 50 test noktasından 9 tanesinde $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ fark değerinin ± 5 cm’den büyük olduğu görülmüştür. Tablo 3’de dayanak ve test noktalarına ilişkin sonuçlar görülmektedir.

Tablo 3: 200 dayanak noktalı modelden hesaplanan $N_{HESAP-ÖLÇÜ}$ farklarının istatistiksel sonuçları

	Model noktaları		Test noktaları	
	OK2 (cm)	OK3 (cm)	OK2 (cm)	OK3 (cm)
MAK	14.12	13.80	7.99	8.04
MİN	0.00	0.00	0.00	0.00
ORT	0.01	0.06	0.29	0.29
KOH	± 4.37	± 4.06	± 3.09	± 3.05
Fark > ± 5 cm	44 nokta	44 nokta	9 nokta	9 nokta

Enterpolasyon sonuçlarının karşılaştırılmasında çapraz geçerlilik karşılaştırma penceresinden de yararlanılabilir (Şekil 6). Burada iki enterpolasyon sonucu bulunan değerlerin istatistik sonuçları karşılaştırıldığında; tahmin hataları ortalamasının sıfıra en yakın ve standart KOH değeri 1’e en yakın sonucu veren model daha iyi modeldir. Şekil 6 daki değerler incelendiğinde OK3 modeli değerleri ile OK2 değerlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiği, OK2 modelinde elde edilen sonuçların daha iyi olduğu görülmektedir.

5.Sonuç ve Öneriler

Geoit belirleme, jeodezide uydu teknolojilerinin artan kullanımı sonucu çözülmesi gereken önemli bir problem haline gelmiştir. Burada GPS/Nivelman yöntemi ile belirlenmiş lokal geoit modelinden yararlanarak Ordinary Kriging enterpolasyon yöntemi ile geoit belirlemenin ArcGIS Geostatistical Analyst yazılımında uygulamasının aşamaları ve geoistatistik anlatılmıştır.

Yapılan örnek uygulama ile de konumu bilinen noktalarda Ordinary Kriging yöntemi ile geoit yüksekliğinin hesaplanabileceği gösterilmiştir. Ayrıca, variogram modellemesinin tecrübeye dayanması dolayısı ile farklı yüzey modellerinin seçiminin kestirim sonuçlarına etkisi incelenmiştir.

Kaynaklar

- ABTEW W., OBEYSEKERA J., SHİH G.: **Spatial analysis for monthly rainfall in South Florida**, Water Resources Bulletin, 29 (1993), 179-188.
- BAŞKAN O.: **Gölbaşı yöresi topraklarının mühendislik, fiziksel özellik ilişkilerinde jeostatistik uygulaması**, Doktora Tezi, A.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2004.
- BURROUGH P. A.: **Sampling designs for quantifying map unit composition**. In Mausbach, M.J. and L.P. Wilding (eds) Spatial variability of soils and landforms. SSSA special publication number 28. Soil science society of America, inc. Madison, (1991), p 89-127. USA.
- ÇETİN M., **Jeostatistiksel yöntem ile nokta ve alansal yağışların saptanması ve stokastik olarak modellenmesi**, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1996.
- ÇETİN M. ve TÜLCÜ K.: **Doğu Akdeniz Bölgesinde aylık yağışların yersel değişimlerinin jeostatistik yöntemle incelenmesi**, Journal of Engineering and Environmental Science, 22 (1998), 279-288.
- CHAUVET P.: **The variogram claud**. In Jhonson T.B. ve Barnes R.J. (eds) 17th APCOM Society of Mining Engineers, 757-764, New York, 1982.
- DAVID M.: **Handbook of Applied Advanced Geostatistical Ore Reserve Estimation**, Elsevier Science Publishing Company, Amsterdam, 1988.
- DELHOMME J. P.: **Kriging in the Hydrosciences, Advances in Water Resources**, 5 (1978), 251-266.
- DEUTSCH C.V.ve JOURNEL A.G.: **GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide**. New York, New York: Oxford University Press., 1992.
- DİKİCİ H.: **Toprak biliminde kullanılan bazı jeostatistik yöntemleri**, Tarımda Bilişim Teknolojileri 4. Sempozyumu, p.76-81, 2001.
- EROL B ve ÇELİK R. N.: **Mühendislik ölçmelerinde presizyonlu lokal geoit modellerinin önemi ve Türkiye' deki uygulamaları**, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İTÜ, İstanbul.
- GÜNDOĞDU K. S.: **Sulama proje alanlarındaki tabansuyu derinliğinin jeostatistiksel yöntemlerle değerlendirilmesi**, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 18, 2 (2004) 85-95.
- İNAL C., TURGUT, B. ve YİĞİT,C.Ö.: **Lokal alanlarda jeoit endüasyonlarının belirlenmesinde kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması**, Selçuk Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu,16-18 Ekim 2002, Konya.
- İNAL C. ve YİĞİT C. Ö.: **Jeodezik uygulamalarda kriging enterpolasyon yönteminin kullanılabilirliği**, TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı 24-25-26 Eylül 2003, Konya.
- JOHNSON K., HOEF, J.M.V., KRIVORUCHKO, K., ve LUCAS, N.: **Using ArcGIS Geostatistical Analyst**, ISBN: 1-58948-006-6, ESRI, USA, 2001.
- JOURNEL A. G. ve HUIJBREEGTS CH. J. **Mining Geostatistics**, Breau De Recherches Geologiques Et Miners, France, Academic Pres Harcourt Brace & Company, Publishers London, San Diego, New York, Boston, Sidney, Toronto, 1978.
- KILIÇOĞLU A. ve FIRAT O.: **Büyük Ölçekli Harita üretiminde GPS ile ortometrik yükseklik belirlemeye yönelik jeoit modelleme ve uygulamalar**, TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, s. 27-34, Konya, 24-26 Eylül, 2003.
- MERT B. A.: **Jeostatistiksel analiz için bir bilgisayar programının geliştirilmesi ve Antalya-Akseki-Kızıltaş boksit yatağında uygulanması**, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2005.
- MULLA D. J. ve SCHEPERS J. S.: **Key processes and properties for site-specific soil and crop management**. p. 1-18. In: F.J. Pierce and E.J. Sadler (eds.), The State of Site Specific Management for Agriculture. ASA/CSSA/SSSA, Madison, WI. Wollenhaupt, N.C., 1997.
- MULLA D. J.: **Geostatistical and sampling design applications in precision agriculture**. pp. 77-92. In: A. Stein, M. K. Van Ittersum, and G. H. J. De Koning (eds.), Active Methodology: Quantitative Approaches in Systems Analysis. No. 19. DLO Research Institute for Agrobiolgy and Soil Fertility. Wageningen, Netherlands, 1998.
- OLEAR. A.: **Optimization of the High Plains aquifer observation network**, Kansas Geological Survey Groundwater Series Report, Kansas, 1982.
- OLIVER M. A.ve WEBSTER R.: **How Geostatistics can help you**. Soil use and manegement 7, 4 (1991), 206-217.
- ÖZTAŞ T.: **Jeostatistiğin toprak bilimindeki önemi ve uygulanışı**. İlhan Akalan Toprak ve Çevre Sempozyumu, Cilt I. Sayfa: 271-280, Ankara, 1995.
- TERCAN A. E. ve SARAÇ C.: **Maden yataklarının değerlendirilmesinde jeostatistiksel yöntemler**, T.M.M.O.B. Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 1998.
- TRANGMAR B. B., YOST R.J., WEHARA G. **Application of geostatistic to spatial studies of soil properties**. Advances in agronomy, Vol 38,65-91
- VIEIRA S. R., HATFIELD J. L., NIELSEN D.R., BIGGAR J. W.: **Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties**. Hilgardia, 51, 3 (1983), 1-75.
- WOLLENHAUPT N. C., MULLA D. J., GOTWAY CRAWFORD C. A.: **Soil sampling and interpolation techniques for mapping spatial variability of soil properties**. P 19-55. In F.J. Pierce and E.J. Sadler (eds) The state of site-specific management for agriculture. ASA, CSSA, SSSA, Madison, 1997.
- YILMAZ M.: **İstanbul Metropolitan alanında geoit araştırması**, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006.
- YİĞİT C. Ö.: **Elipsoida yüksekliklerin ortometrik yüksekliğe dönüşümünde kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması**, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2003.