

GPS İLE LOKAL GEOİD BELİRLEME: İZMİR ÖRNEĞİ

Rahmi Nurhan ÇELİK
Tevfik AYAN
Gökalep ALANKO

ÖZET

GPS bilindiği gibi bir noktaya ait konumu üç boyutlu (3D) olarak, WGS84 datumuna bağlı olarak vermektedir. Düşey konum yalnız başına incelenirse, GPS ile 3d konumlandırılmış bir noktanın yüksekliği WGS84 elepsoidi ile o nokta arasındaki düşey uzaklık olarak ortaya çıkmaktadır. Eğer bu noktaya ait nivelman yüksekliğide biliniyorsa, bu iki yükseklik arasındaki farkdan o noktadaki geoid ondülasyonu pratik olarak bulunabilir. Bir başka deyişle, GPS ve nivelman ölçmelerinin kullanımıyla geoid belirlemek olasıdır.

Bu bildiride İzmir Metropolitan Nirengi Ağı Sıklaştıma ve İyileştirme Projesi kapsamında geliştirilen İzmir Lokal Geoidinin belirlenmesinde yapılan çalışmalar, hesaplar ve oluşturulan geoidin doğruluğu hakkında bilgi verilmektedir.

GİRİŞ

GPS, bundan bir iki yıl öncesine kadar Türkiye de yalnızca yer kabuğu hareketlerini ve yapılarıdaki deformasyonları belirleyebilmek amacıyla bilimsel çalışmalarda kullanılmaktaydı; fakat bugün GPS alıcılarının ucuzlaması ve veri değerlendirme tekniklerinin gelişimiyle Harita mühendisliği şirket ve büroları tarafından da kullanılmaya başlanmıştır.

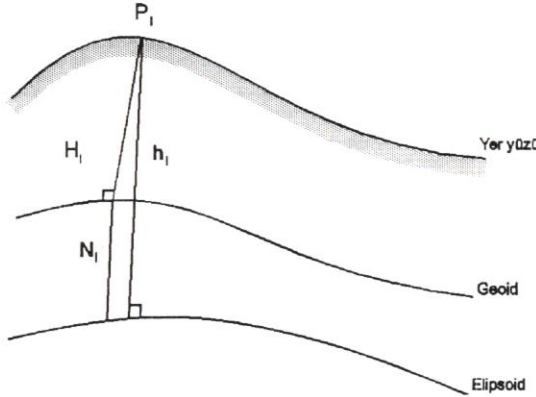
GPS tekniğinin nirengi çalışmalarına getirmiş olduğu uygulama kolaylığının yanında sağladığı 3D konum sayesinde, geoidi belirli ülkeler veya bölgelerde nivelman yükünüde ortadan kaldırmaktadır. Geoidin belirli olmadığı durumlarda ise ortometrik yükseklikleri belli olan noktaların GPS ile 3D konumlandırılması sonucunda yada GPS koordinatları bilinen noktaların ortometrik yüksekliklerinin belirlenmesiyle bir geoidin belirlenebilmesine olanak vermektedir. Bununla beraber Türkiye’de, teoride elde edilmesi gravite ölçülerini de gerektiren ortometrik yükseklikler yerine ortalama deniz seviyesinden olan nivelman yükseklikleri kullanılmaktadır (Ayan v.d., 1996c).

İzmir Metropolitan GPS Nirengi Ağı 96 çalışmasında nirengi noktalarına ait yüksekliklerin belirlenebilmesi ve bu yüksekliklerin yapılacak ortofoto harita üretiminde ve GIS uygulamalarında kullanılabilmesi amacıyla, ve sonrası yapılacak GPS uygulamalarında nivelman yüksekliklerine GPS yüksekliklerinden ulaşılabilmesi için bu bölgeye ait lokal bir geoid belirlenmiştir. Bu bildiride, çalışmada belirlenen geoid ile ilgili bilgiler verilmektedir.

GPS YÜKSEKLİĞİ İLE GEOİD ARASINDAKİ İLİŞKİ

GPS ile elde edilen yükseklikler WGS84 elipsoidinden olan yüksekliklerdir. Bu yükseklikler elipsoid normalinin yeryüzünü kestiği boyla ölçülür. Geoid, elipsoid ve yeryüzü arasındaki yükseklik ilişkileri Şekil 1 de grafik olarak açıklamaktadır.

P_i noktasının GPS ölçülerinden elde edilen WGS84 sistemindeki üç boyutlu koordinatlardan elde edilen elipsoidal yüksekliği (h_i), bu elipsoid normali üzerindeki, elipsoidten yer yüzüne kadar olan düşey uzaklıktır. P_i noktasının geoidden olan yüksekliği ise (H_i) dir. Bu yükseklik ortometrik yüksekliktir. Türkiye de ortametrik yükseklikler belli değildir bunun yerine, ortalama deniz seviyesinden olan yükseklikler kullanılır. Bu nedenle İzmir bölgesinin geoidinin belirlenmesinde de ortalama deniz seviyesi yükseklikleri yani pratik yükseklikler, (uygulamada kullanılan) nivelman yükseklikleri kullanılmıştır.



Şekil 1 Yüksekliklerin geometrik ilişkileri

Yukarıda tanımlanan elipsoid yüksekliği ile nivelman yüksekliği arasındaki fark, geoid ondülasyonunu (N_i) vermektedir. Aşağıdaki eşitlik bu ilişkiyi göstermektedir.

$$H_i = h_i - N_i$$

Bu eşitlik incelendiğinde, nirengi noktalarına ait H_i pratik yüksekliklerini GPS ölçülerini kullanarak elde edebilmek için N_i geoid yüksekliğine gereksinim vardır. Yüksek presizyon gerektirmeyen çalışmalarda, yeteri sıklıkta noktanın hem GPS hemde nivelman yüksekliklerinin belirlenmesi durumunda, geoid yükseklikleri

$$N_i = h_i - H_i$$

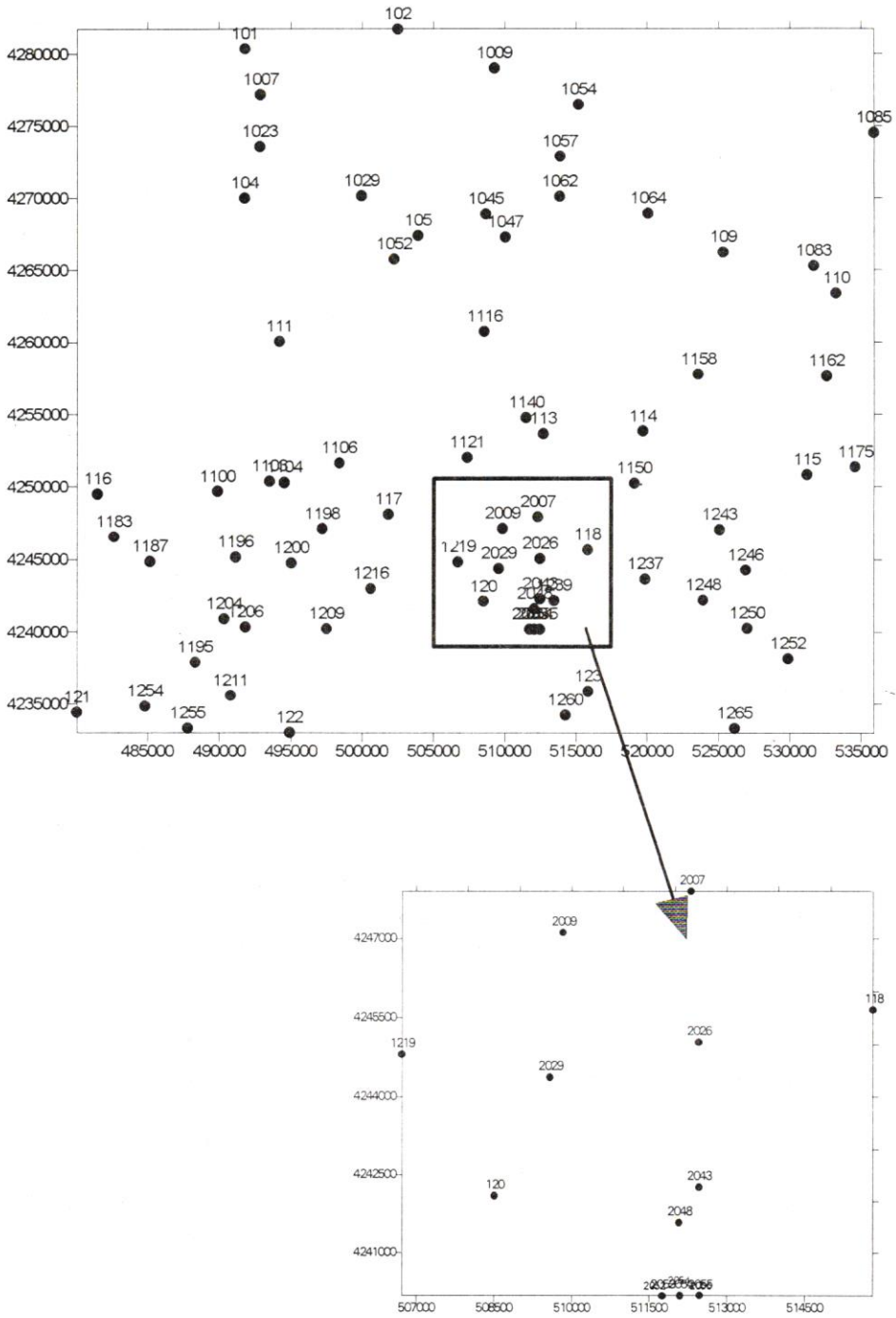
bulunur. Daha sonra nivelman ile yükseklikleri belirlenmemiş diğer GPS noktalarının geoid yükseklikleri lineer enterpolasyon ile bulunur. Lineer enterpolasyonun doğru sonuçlar verebilmesi için topoğrafyaya da bağımlılık gösteren geoid yüzeyinin enterpolasyona elverişli düzgün değişen yüzeylerde, başka bir değişle düzgün kitle dağılımına sahip olan yüzeylerde uygulanması önerilmektedir.(Ayan v.d., 1996b).

Bununla beraber İzmir bölgesinde yapılan çalışmanın topoğrafyası ele alındığında, düzgün değişmeyen bir kitle dağılımının söz konusu olduğu ve yüksekliklerin çok farklı değişim gösterdiği gözlenmektedir. Bu nedenle İzmir'deki çalışma alanına ait geoidin belirlenmesinde yüksek dereceden bir yüzey denklemi kullanılmıştır.

İZMİR LOKAL GEOİDİ

Toplam 340 noktadan oluşan İzmir Metropolitan GPS Nirengi Ağı 96, 150,000 hektarlık bir alana yayılmıştır. Bu noktaların tamamına ait koordinatlar GPS teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. Bu noktaların arasından seçilen 71 noktanın nivelman yükseklikleri, geometrik ve karşılıklı trigonometrik nivelman teknikleri kullanılarak bulunmuştur (Ayan v.d., 1996b). 71 nivelman noktası alana eşit dağılmış ve alanın topoğrafyasını mümkün olduğunca iyi temsil eden noktalardan oluşturulmaya çalışılmıştır, Şekil 2.

Çalışmanın yapıldığı alanının çok engebeli bir topoğrafyasının olması sebebiyle Şekil 3a, 71 noktada belirlenen geoid ondülasyonları çok değişken bir görünüm ortaya koymuştur. Çok değişken özellik gösteren ondülasyonlar sonucu ortaya çıkacak olan geoidin alanı iyi yansıtabilmesi için altıncı dereceden bir yüzey denklemi geçirilmiştir. Bununla da yetinilmeyerek bu yüzey bir trend fonksiyonu olarak kabul edilmiştir. Bunun sonucunda GPS yükseklikleri bilinen diğer 279 nokta için geoid ondülasyonları $\hat{N}_i$ kolokasyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Ayan v.d., 1996a)..



Şekil 2 Geoid belirlemede kullanılan yüksekliği belirlenmiş noktalar

Kullanılan 6. derece yüzey denklemi

$$\begin{aligned}\bar{N}(X,Y) = & A_{00} + A_{01} Y + A_{02} Y^2 + A_{03} Y^3 \\ & + A_{01} X + A_{11} XY + A_{12} XY^2 + A_{13} XY^3 \\ & + A_{20} X^2 + A_{21} X^2Y + A_{22} X^2Y^2 + A_{23} X^2Y^3 \\ & + A_{30} X^3 + A_{31} X^3Y + A_{32} X^3Y^2 + A_{33} X^3Y^3\end{aligned}$$

dir. Bu 16 bilinmeyenli denklem, 71 N_i değerine ilişkin düzeltme denklemlerinin yazılmasıyla en küçük kareler yöntemine göre çözülmüş ve Tablo 1 de verilen A_{ij} katsayıları bulunmuştur. Denklemdaki X ve Y değerleri sırasıyla her bir noktanın çalışma alanı ortalarında bulunan bir referans noktasına kaydırılmış Sağa, Yukarı değerleridir (Ayan v.d., 1996a)..

Tablo 1: Yüzey denkleminin katsayıları

A_{00}	37.97	A_{10}	-0.008284	A_{20}	-0.000279	A_{30}	3.9E-05
A_{01}	0.006671	A_{11}	0.001522	A_{21}	-4.36E-05	A_{31}	6.51E-07
A_{02}	0.000567	A_{12}	-9.8E-05	A_{22}	-2.62E-06	A_{32}	2.76E-07
A_{03}	5.78E-06	A_{13}	-4.39E-06	A_{23}	-4.91E-08	A_{33}	8.44E-09

Katsayıların bulunmasından sonra, bu 71 noktaya ait geoid ondülasyonları bir de yüzey fonksiyonu kullanılarak bulunur. Fonksiyonla bulunan ondülasyonlar ile ölçmeler sonucu bulunan ondülasyonlar arasındaki farklarla düzeltmeler (inkonsistent parametreler)

$$v_{N_i} = \bar{N}_i - N_i$$

hesaplanır. Sonuçta bulunan v_N değerleri stokastik değişkenler olarak düşünülür ve kolokasyon probleminin ‘sinyal’ (s) leri olarak değerlendirilir. Bu yolla nivelman yüksekliği bilinmeyen noktalarda geoid yükseklikleri hesaplanır. Genel olarak kolokasyon modeli aşağıdaki gibi ele alınmıştır.

$$I + v = Ax + Is + os$$

Bu modelde yer alan I ölçüleri yerine v_N , deterministik terim Ax yerine $N(X,Y)$ gelmekte, s ise sinyalleri $(\bar{N} - N)$ ifade etmektedir. Bu problem, yüzey denkleminde bulunan A_{ij} katsayılarının belirlemesi, farklı bir deyişle deterministik terimin modelden ayrılması ve bu 71 noktanın dışında kalan interpolasyon noktalarındaki sinyallerin $(\bar{s}_i)$ belirlenmesi olarak düşünülürse

$$I = v_N = s$$

$$\bar{s} = C_{ss} D^{-1} v_N$$

$$D = I + C_{ss}$$

eşitlikleri kullanılarak belirlenir. Kololasyon modeline ait varyans-covaryans matrisi ise aşağıdaki gibi ele alınır.

$$Q = \begin{bmatrix} C_{vv} & 0 & 0 \\ 0 & C_{ss} & C_{s\bar{s}} \\ 0 & C_{\bar{s}s} & C_{\bar{s}\bar{s}} \end{bmatrix}$$

71 destek noktasına ait v_N değerleri arasındaki kolerasyonu ifade eden kovaryans fonksiyonu olarak, bir çok çalışmada kullanılan ve aşağıda eşitliği verilen Hirvonen fonksiyonu

$$C_{s_i s_j} = \frac{1}{1 + \left(\frac{S_{ij}}{c} \right)^2}$$

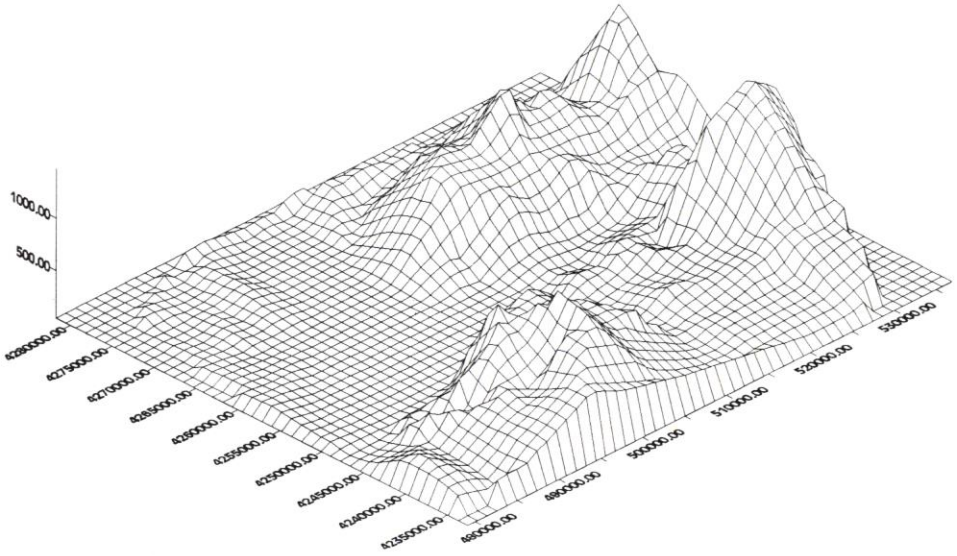
kullanılmıştır. Bu eşitlikteki $C_{s_i s_j}$ i ve j noktalarındaki v_N düzeltme değerleri arasındaki kolerasyonu, S_{ij} bu iki nokta arasındaki uzaklığı (km olarak), 'c' ise bir katsayı olup interpolasyonun karesel ortalama hatasını minumum yapacak biçimde, tekrarlanan ölçümler arasından seçilerek belirlenir. Bu çalışmada c değeri 7 olarak elede edilmiştir. C_{ss} matrisinin elemanları ise bir interpolasyon noktası ile destek noktaları arasındaki kolerasyonun ifadesi olarak yine yukarıdaki Hirvonen fonksiyonu ile hesaplanmıştır (Ayan v.d., 1996a).

Tüm bu hesaplamalar sonucunda, aşağıdaki

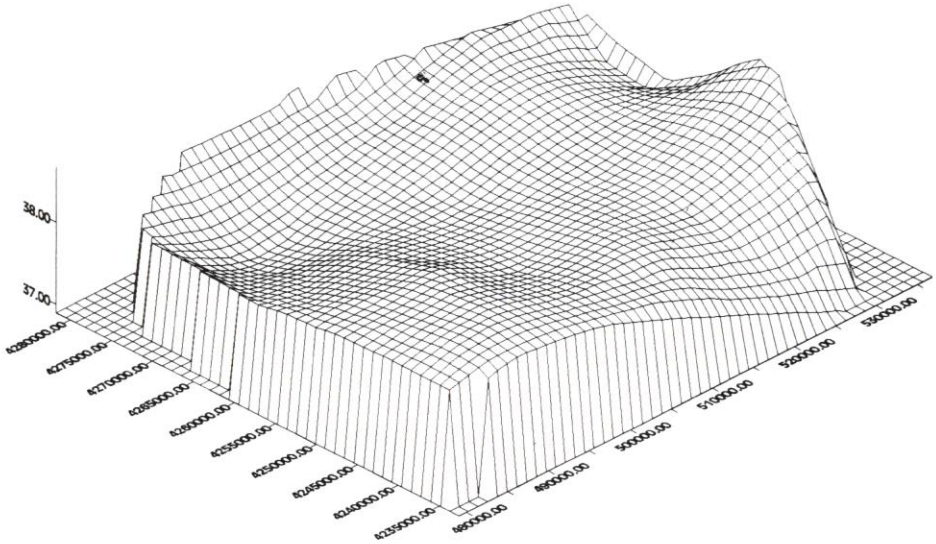
$$\hat{N} = \bar{N} + \bar{s}$$

eşitliği ile bulnan ve dm doğrulukta elde edilen İzmir Lokal Geoidi Şekil 3b de görülmektedir.

a-) Çalışma alanının topoğrafyası



b-) Çalışma alanına ait Geoid



Şekil 3 Çalışma alanının topoğrafyası ve geoidi

SONUÇ

GPS yüksekliklerinden, kullanılabilir yüksekliklerin elde edilmesi için değişik yöntemler ileri sürülmektedir. Bu yöntemler arasında en yoğun kullanılanı geoidin

$$N(X;Y) = F(X;Y)$$

gibi bir yüzey fonksiyonu ile ifade edilmesidir.

İzmir Metropolitan GPS Nirengi Ağı 96 da, bu yol izlenmiş ve altıncı dereceden bir yüzey belirlenmiştir. Ancak çalışma alanının engebeli topoğrafyası bu fonksiyon ile hesaplanacak bir GPS ölçüm noktasının geoid yüksekliğinin ± 20 cm karesel ortalamadan daha iyi olarak elde edilmesine olanak vermemiştir. Daha iyi sonuçların elde edilmesi için, kullanılan fonksiyonu trend fonksiyonu kabul eden bir kolokasyon modeli uygulanmış, böylece interpolasyonla bulunacak geoid yüksekliği doğruluklarının iki katı artırılması sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

Ayan, T., Çelik, R. N., Alanko, G. (1996a) : GPS Tekniği İle İzmir Metropolitan Nirengi Ağı Sıklaştırma ve İyileştirme Projesi, Rapor, İTÜ İnşaat Fakültesi, 20 Eylül 1996, 2119, İzmir

Ayan, T., Çelik, R. N., Alanko, G. (1996b) : GPS Tekniği İle İzmir Metropolitan Nirengi Ağı Sıklaştırma ve İyileştirme Projesi, Ek Rapor, İTÜ İnşaat Fakültesi, 20 Ekim 1996, 2119, İzmir

Ayan T, Baykal, O., Aksoy A. v.d (1996c) : Zonguldak GPS Ağı Projesi Raporu, İTÜ İnşaat Fakültesi, 1996