

# **KONYA BÖLGESİ İÇİN GPS İLE ELDE EDİLEN ELİPSOİDAL YÜKSEKLİKLERDEN ORTOMETRİK YÜKSEKLİKLERİN HESAPLANMASI**

İsmail ŞANLIOĞLU, Ayhan CEYLAN, Cevat İNAL, Özşen ÇORUMLUOĞLU  
İbrahim KALAYCI

Selçuk Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 42031  
Kampüs KONYA, email: sanlioglu@selcuk.edu.tr

***Özet :** Günümüzde, GPS (Global Positioning System) ile belirlenen elipsoidal yüksekliklerin, pratik haritacılıkta kullanılan ortometrik yüksekliğe dönüşümü problemi ile çok sık karşılaşılır. Dönüşüm farklı şekillerde yapılabilir. Bu çalışmada multiküadratik enterpolasyon tekniği kullanılarak elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliğe dönüşümü için DELPHİ dilinde program hazırlanmıştır. Bu program ile, WGS84 (World Geodetic System 84) elipsoidine göre belirlenmiş  $x$ ,  $y$  projeksiyon koordinatları ve  $h$  elipsoidal yüksekliği kullanılarak, bölge içinde kalan noktaların jeoit ondülasyonları ve ortometrik yükseklikleri hesaplanabilir.*

## **1. GİRİŞ**

Günümüzde GPS ölçmeleri ile ölçü noktalarının konum ve yükseklikleri WGS84 datumunda yüksek doğrulukta belirlenebilmektedir. Belirlenen bu değerler pratik haritacılıkta doğrudan kullanılamazlar. Çünkü, ülkelerin koordinat sistemleri ve kot başlangıç noktaları farklılık gösterebilmektedir. Ülkemizde noktaların konumlarının belirlenmesi için hesaplar uluslararası Hayford elipsoidi üzerinde yapılmakta ve noktaların Gauss-Krüger projeksiyon sistemindeki koordinatları hesaplanmaktadır. Noktaların yükseklikleri ise Antalya maregrafına göre belirlenmektedir. Bu nedenle GPS ile WGS84 sisteminde elde edilmiş konum ve yükseklik değerlerinin ülke sistemine dönüştürülmesi zorunlu olmaktadır. Bu çalışmada GPS ile belirlenen elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliğe dönüşümü konusu incelenmiş ve Konya bölgesi için dönüşüm katsayıları hesaplanmıştır.

## **2. GPS/NİVELMAN İLE JEOİT ONDÜLASYONLARININ BELİRLENMESİ**

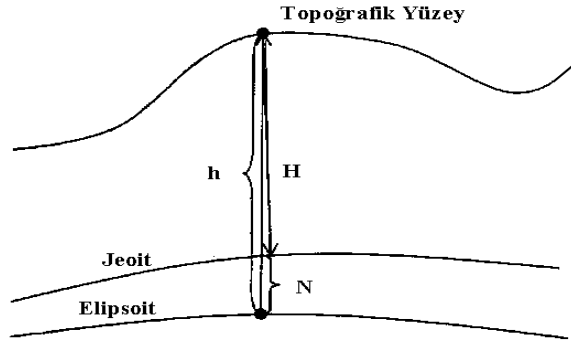
GPS ölçülerinin değerlendirilmesi sonucu noktaların elipsoidal yükseklikleri, nivelman ölçüleri ile de ortometrik yükseklikleri belirlenir. Jeoit ondülasyonu Şekil 1'e göre;

$$N = h - H \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır [Liddle, 1989; Ollikainen, 1997]. (1) eşitliğinde,

$h$  : elipsoidal yükseklik

$H$  : ortometrik yükseklik dir.



Şekil 1: Elipsoidal ve ortometrik yükseklik ilişkisi [Zhan-Jı, 1998]

### 3. MULTİKUADRATİK ENTERPOLASYON YÖNTEMİ

GPS ile belirlenen elipsoidal yüksekliklerin ortometrik yüksekliğe dönüştürülmesinde çok sayıda enterpolasyon yöntemi geliştirilmiştir. GPS/Nivelman ile elipsoidal ve ortometrik yüksekliği belli noktaların konumuna ve sayısına bağlı olarak enterpolasyon yöntemi seçilmektedir. Bu çalışmada multikuadratik enterpolasyon yöntemi öngörüldüğünden bu yöntemin açıklaması yapılmaktadır.

Multikuadratik enterpolasyon yöntemi Hardy (1971) tarafından önerilmiştir. Bu enterpolasyon tekniğinin amacı çalışma alanında bilinen tüm dayanak noktalarını kullanarak tek bir fonksiyon ile yüzeyi tanımlamaktır. Analitik bir çözümleme tekniğidir. Tekniğin uygulanabilmesi için bir trend yüzeyi geçirilir. Trend yüzeyi olarak birinci ya da ikinci dereceden polinom kullanmak uygundur [Leberl, 1973]. İkinci dereceden ortogonal olmayan bir polinom kullanılırsa;

$$N_{trend}(x, y) = a_0 + a_1y + a_2x + a_3xy + a_4y^2 + a_5xy^2 + a_6x^2 + a_7x^2y + a_8x^2y^2 \quad (2)$$

yazılabilir. Bu ifadenin çözümü için en az 9 dayanak noktası gereklidir. Nokta sayısının 9 dan fazla olması durumunda  $a_i$  katsayıları en küçük kareler yöntemine göre dengeleme ile belirlenir [İnal, 1996]. Daha sonra trend yüzeyden yararlanarak x, y düzlem koordinatları bilinen bir noktanın jeoit ondülasyonu,

$$N(x, y) = N_{trend} + \sum_{i=1}^n c_i \left[ (x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

eşitliği ile hesaplanır. (3) eşitliğinde;

$n$ : dayanak noktalarının sayısı

$c_i$ : dayanak noktalarının bilinen  $N(x,y)$  değerlerinden yararlanarak hesaplanan katsayılar

dır.  $c_i$  katsayılarını hesaplamak için aşağıdaki yol izlenir.

$$\begin{aligned}
 c_1.a_{11} + c_2.a_{12} + \dots\dots\dots c_n.a_{1n} &= \Delta N_1 \\
 c_1.a_{21} + c_2.a_{22} + \dots\dots\dots c_n.a_{2n} &= \Delta N_2 \\
 \dots\dots\dots & \\
 \dots\dots\dots & \\
 c_1.a_{n1} + c_2.a_{n2} + \dots\dots\dots c_n.a_{nn} &= \Delta N_n
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

(4) eşitliğindeki  $a_{ij}$  katsayıları dayanak noktalarının koordinatlarından yararlanarak ;

$$a_{ij} = \left[ (x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2 \right]^{1/2} \tag{5}$$

eşitliği ile hesaplanır.  $\Delta N_i$ ; i noktasında , geçirilen trend yüzeyi ile bilinen ondülasyon değeri arasındaki farktır. Matris gösterimi ile  $c_i$  bilinmeyen katsayıları;

$$c_i = A^{-1} . \Delta N_i \tag{6}$$

ile hesaplanır. Çalışma alanındaki dayanak noktalarının sayısı artıka A matrisinin boyutları artar ve invers alma işlemi zorlaşır. Bu enterpolasyon yönteminde dayanak noktaları için hiçbir çakıştırma artığı kalmamaktadır.

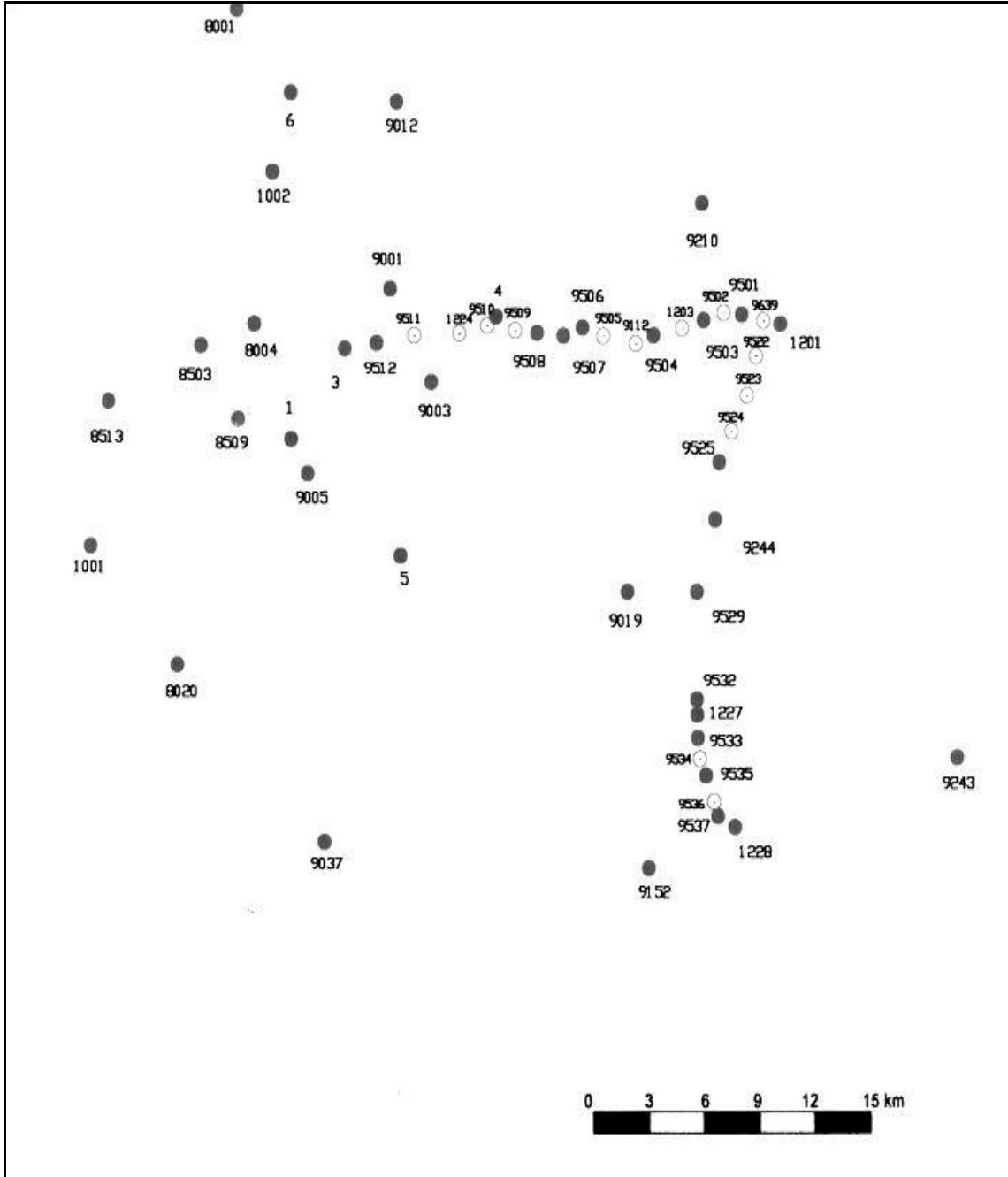
#### 4. ÇALIŞMA ALANINDA YAPILAN ÖLÇMELER VE DEĞERLENDİRME

Bu araştırma, Konya'da ~1250 km<sup>2</sup> lik bir alanda yapılmıştır. Çalışma alanında bulunan 53 noktada 15" lik epok aralığında 1<sup>h</sup> süreyle statik yöntemle GPS ölçmesi yapılmıştır. GPS ölçmelerinde 5 Leica SR9500, 4 Ashtech Z Extreme, 8 Javad ve 3 Trimble GPS alıcısı kullanılmış ve GPS ölçmeleri 4 günde tamamlanmıştır. Çalışma alanındaki noktalardan 5 tanesi Rs noktasıdır. 28 noktaya geometrik nivelmanla kot taşınmıştır. 20 noktanın ortometrik yüksekliği ise 30 noktanın yüksekliği sabit alınarak SKI 2.3 yazılımında bulunan Step-wise dönüşüm programı ile hesaplanmıştır.

Ortometrik yüksekliği bilinen ve dönüşümde kullanılmayan 9501, 9508, 9510 noktalarının yükseklikleri kontrol amacıyla dönüşüm parametreleri kullanılarak hesaplanmış ve farklar sırasıyla 0.3cm, 0.3cm ve 3cm dir.

GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde 3 TUTGA (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı) (1001, 1002, 9112) noktasının 1998.00 epokundaki ITRF-96 (Inertial Terrestrial Reference Frame-96) koordinatlarına gözlem gününe ait hız düzeltmesi getirilmiş ve bu noktalara dayalı olarak diğer noktaların koordinatları hesaplanmıştır.

Çalışma alanında elipsoidal ve ortometrik yüksekliği bilinen 53 nokta bulunmaktadır (Tablo 1). Noktaların 39 tanesi dayanak noktası olarak seçilmiş, 14 tanesi kontrol için kullanılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2:Çalışma alanındaki noktaların dağılımı

Multiküadratik enterpolasyon ile jeoit ondülasyonlarını hesaplamak için ikinci dereceden ortogonal olmayan bir polinom kullanılarak trend yüzey geçirilmiş ve (2) eşitliğindeki fonksiyon katsayıları hesaplanmıştır (Tablo 2). Multiküadratik enterpolasyondaki katsayıların hesabında ise (4)-(6) eşitlikleri kullanılmıştır. (Tablo 3).

Tablo 1:Çalışma alanındaki noktaların projeksiyon koordinatları, elipsoidal ve ortometrik yükseklikleri

Nokta No	X(m)	Y(m)	Elipsoidal Yük.(h)	Ortometrik Yük.(H)	
1	4197935.105	457548.655	1045.348	1009.086	DAYANAK NOKTALARI
3	4202060.609	460480.375	1042.304	1006.374	
4	4203492.420	468698.182	1037.017	1001.203	
5	4192639.062	463468.639	1038.689	1002.614	
6	4213686.388	457580.388	1182.757	1147.127	
1001	4193116.808	446670.963	1411.945	1375.138	
1002	4210077.086	456583.365	1204.262	1168.459	
1201	4203113.512	484104.254	1036.748	1001.094	
1227	4185386.130	479546.456	1038.023	1002.094	
1228	4180297.325	481581.541	1041.270	1005.499	
8001	4217464.891	454668.445	1397.679	1362.043	
8004	4203201.695	455575.119	1088.802	1052.670	
8020	4187714.705	451353.090	1087.158	1050.535	
8503	4202224.207	452675.545	1139.740	1103.448	
8509	4198858.825	454687.387	1076.129	1039.800	
8513	4199692.764	447652.464	1371.616	1335.002	
9001	4204760.081	462952.236	1048.011	1012.210	
9003	4200520.747	465162.346	1036.968	1001.060	
9005	4196369.828	458436.846	1048.444	1012.204	
9012	4213254.698	463335.017	1099.954	1064.516	
9019	4190995.857	475779.570	1042.237	1006.226	
9037	4179655.029	459312.065	1044.900	1008.703	
9152	4178444.130	476896.843	1064.150	1028.374	
9210	4208568.205	479872.731	1038.334	1002.904	
9243	4183423.262	493592.523	1042.097	1006.517	
9244	4194242.102	480535.890	1038.614	1002.618	
9501	4203545.403	482010.596	1034.064	998.395	
9503	4203296.787	479946.602	1035.137	999.412	
9504	4202614.237	477229.321	1035.227	999.503	
9506	4202978.852	473382.758	1040.111	1004.347	
9507	4202616.687	472342.203	1035.879	1000.096	
9508	4202744.711	470914.619	1035.369	999.574	
9512	4202305.058	462197.654	1041.948	1006.066	
9525	4196841.485	480770.385	1033.830	997.862	
9529	4190980.917	479539.172	1035.673	999.681	
9532	4186088.295	479525.627	1036.294	1000.308	
9533	4184334.480	479571.020	1037.409	1001.406	
9535	4182623.121	480009.464	1035.362	999.461	
9537	4180787.047	480655.414	1038.282	1002.501	
1203	4202936.076	478768.800	1036.527	1000.853	KONTROL NOKTALARI
1224	4202738.114	466692.460	1038.899	1003.097	
9112	4202247.584	476263.134	1042.513	1006.754	
9502	4203632.282	481029.363	1034.807	999.124	
9505	4202598.955	474508.509	1035.369	999.595	
9509	4202866.826	469727.263	1036.556	1000.751	
9510	4203086.657	468212.226	1037.602	1001.787	
9511	4202656.757	464246.045	1040.270//	1004.396	
9522	4201661.780	482774.750	1034.040	998.376	
9523	4199862.787	482282.917	1033.926	998.031	
9524	4198237.158	481445.915	1034.041	998.100	
9534	4183389.327	479679.341	1037.332	1001.471	
9536	4181442.558	480448.610	1035.845	999.999	
9639	4203260.906	483179.523	1034.349	998.675	

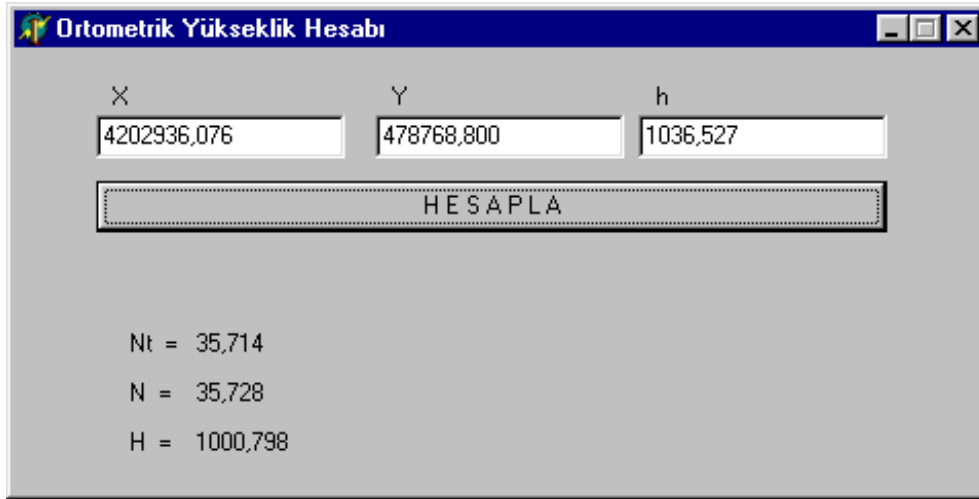
Tablo 2: Bikuadratik katsayılar

a <sub>0</sub>	8.65855307132005
a <sub>1</sub>	8.82315154512980 E-04
a <sub>2</sub>	1.31789252691306 E-03
a <sub>3</sub>	-4.08915000887911 E-08
a <sub>4</sub>	-7.26016490849857 E-09
a <sub>5</sub>	3.297936020318380 E-13
a <sub>6</sub>	-1.32131281124770 E-08
a <sub>7</sub>	4.05083635278885 E-13
a <sub>8</sub>	-3.29918505774937 E-18

Tablo 3. Multiküadratik katsayılar

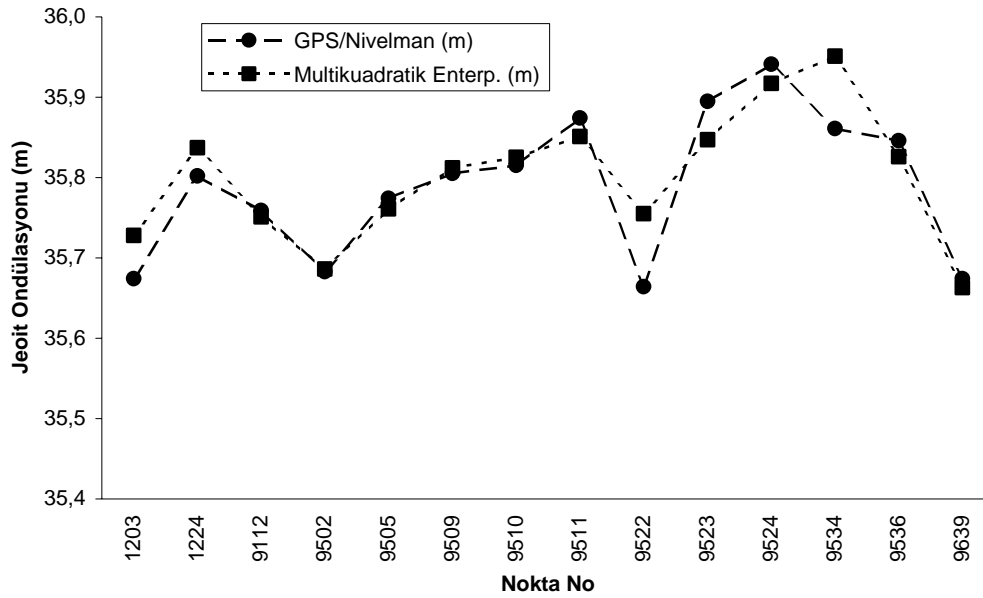
Nokta No	Multiküadratik katsayılar	Nokta No	Multiküadratik katsayılar
1	-1.66148014460834 E-05	9019	-2.36698748937888 E-06
3	1.19896146607319 E-05	9037	7.23710698008298 E-06
4	-1.21206349423155 E-05	9152	6.04749508727038 E-06
5	1.01744246127146 E-05	9210	-8.24504599297856 E-06
6	6.21536187462945 E-06	9243	3.33062537783712 E-06
1001	-2.08567312704768 E-06	9244	-4.63087164200042 E-07
1002	5.11578604469198 E-06	9501	2.63321873601464 E-06
1201	1.879932103664370 E-05	9503	-1.43992359853489 E-05
1227	7.660311668965200 E-05	9504	1.21722777616966 E-05
1228	-2.470397538690710 E-05	9506	-4.77834281179579 E-06
8001	-1.059260175897040 E-05	9507	1.42604038208305 E-06
8004	7.493107078625100 E-07	9508	2.24632375220408 E-06
8020	-9.031397140482830 E-06	9512	4.68691685495087 E-06
8503	4.778277580282680 E-07	9525	-1.02985315789629 E-05
8509	-1.459744414002840 E-06	9529	6.51168260687723 E-06
8513	6.343713993636510 E-06	9532	-3.43726070014189 E-05
9001	5.363061828872560 E-07	9533	-5.96650411952270 E-05
9003	-4.847204459474130 E-07	9535	3.89626224520701 E-06
9005	8.860303388901440 E-08	9537	2.36668173053106 E-05
9012	6.423406453588300 E-07		

Çalışma alanında uygun dağılımlı 39 nokta dayanak noktası olarak seçilmiş multiküadratik bir yüzey geçirilmiş ve bu yüzey sayesinde 14 kontrol noktasındaki jeoit ondülasyonları DELPHI dilinde hazırlanan program ile hesaplanmıştır. Bu programda çalışma alanındaki dayanak noktaları dikkate alınarak X koordinatları 4178000 ile 4210000 arasında, Y koordinatları ise 446000 ile 481000 arasında sınırlandırılmıştır. Bu değerlerin dışına çıkıldığında program uyarı vermekte ve yeni değerlerin girilmesi istenmektedir. Verilen aralıkta noktanın X, Y koordinatları ve elipsoidal yüksekliği girildiğinde program (2) eşitliği ile  $N_{trend}$  değerini, (3) eşitliği ile koordinatı girilen noktadaki jeoit ondülasyonunu ve (1) eşitliği ile de ortometrik yüksekliğini hesaplamaktadır (Şekil 3).



Şekil 3: Programın ekran görüntüsü

14 kontrol noktasında GPS/Nivelman ve multiküadratik enterpolasyon yöntemiyle belirlenen jeoit ondülasyonları (Şekil 4) ve ondülasyon farkları Tablo 4 de topluca gösterilmiştir.



Şekil 4: Kontrol noktalarındaki jeoit ondülasyonları

Tablo 4. Kontrol noktasındaki jeoit ondülasyonları ve ondülasyon farkları

Nokta No	GPS/Nivelman (m)	Multiküadratik Enterp. (m)	GPS/Niv-Mult. (cm)
1203	35.674	35.728	-5.4
1224	35.802	35.837	-3.5
9112	35.759	35.751	0.8
9502	35.683	35.686	-0.3
9505	35.774	35.761	1.3
9509	35.805	35.812	-0.7
9510	35.815	35.825	-1.0
9511	35.874	35.851	2.3
9522	35.664	35.755	-9.1
9523	35.895	35.847	4.8
9524	35.941	35.917	2.4
9534	35.861	35.951	-9.0
9536	35.846	35.826	2.0
9639	35.674	35.663	1.1

## 5. SONUÇ

Bu çalışmada ~1250 km<sup>2</sup> lik bir alanda GPS/Nivelman ve multiküadratik enterpolasyon yöntemi ile belirlenen jeoit ondülasyonları karşılaştırılmış ve DELPHI programlama dilinde bir program hazırlanmıştır. Bu program ile Konya bölgesinde koordinatları 446000<Y<481000 ve 4178000<X<4210000 arasında olan noktaların jeoit ondülasyonları ve ortometrik yükseklikleri hesaplanabilmektedir. Test alanındaki kontrol noktalarının jeoit ondülasyonları yazılan programla hesaplanmış ve GPS/Nivelman değerleriyle karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırma sonunda;

- GPS/Nivelman ile multiküadratik enterpolasyonla belirlenen jeoit ondülasyonları arasındaki fark -9.1 cm ile 4.8 cm arasında değişmekte ve standart sapma  $\pm 4.21$ cm,
- Çalışma bölgesinde multiküadratik enterpolasyon yöntemi GPS/Nivelman ile belirlenen değerlere iyi bir yaklaşım göstermektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Çorumluoğlu, Ö., İnal, C., Ceylan, A., Şanlıoğlu, İ., Kalaycı, İ., Determination of Geoid Ondulation in the Region of Konya, International Symposium on GIS, 23-26 September 2002, Istanbul.
- Hardy, R.L.,1971, Multiquadric Equation of Topography and Other Irregular Surfaces, Journal of Geophysical Research, Vol.76, No 8.
- İnal, C.,1996, Yerel Jeoit Geçirilerek GPS sonuçlarından Yüksekliklerin Belirlenmesi, S.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 11, Sayı 2, Sayfa 15-21, Konya.
- Leberl, F.,1973, Interpolation In a Square Grid DTM, ITC Journal, 1973-75
- Liddle, L.A.,1989, Orthometric Height Determination By GPS, Surveying and Mapping , Vol 49, No 1.
- Ollikainen, M.,1997, Determination of Orthometric Heights usin GPS levelling, Publication of the Finnish Geodetic Unstitute, No 23, Kirkkonummi.
- Zhan-Ji, Y.,1998, Precise Determination of a Local Geoid and Its Geophysical Interpretation, Dr. Thessis , Hong Hong