

GOCE UYDU VERİLERİNİN TÜRKİYE'DE TESTİ

N. Yılmaz

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61000, Trabzon, Türkiye
n_berber@ktu.edu.tr

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Türkiye Jeoidi, GOCE, GPS/Nivelman, CHAMP, GRACE

ÖZET

GOCE (Gravity field and Ocean Circulation Explorer) uydusu yere mümkün olduğunca yakın, yörünge yüksekliği 260 km olan, yeryuvarının gravite alanındaki değişimleri maksimum hassasiyette belirlemeyi amaçlayan bir uydudur. 17 Mart 2009 yılında yörüngeye yerleştirilen bu uydunun, jeoidin yüksek bir doğrulukta belirlenmesini sağlamak, yerin iç yapısının yansırı okyanusların derinliklerindeki akımlara da bir pencere açmak gibi amaçları vardır. Uydunun hedefi; gravite anomalilerini $1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$ doğrulukla belirlemek, jeoidi 1-2 cm doğrulukla belirleyebilmek ve konumsal çözünürlüğü 100 km'den daha iyi elde edebilmektir.

Yeryuvarının gravite alanının belirlenmesinde kullanılan CHAMP ve GRACE diğer yakın yer uydularındır. Uyduların görevi, jeodezik ve jeodinamik amaçlar için yeryuvarının global olarak izlenmesine izin verecek doğrulukta gravite alanı bilgisi sağlamaktır. Diğer bir ifadeyle, uydu gravite misyonlarının amacı, yerin gravite alanındaki geçici değişimleri belirlemektir.

Bu uydular yerin gravite alanının uzun dalga boyu bileşenine çok önemli katkıda bulunmuşlardır. Bunlar, homojenlik ve gravite alan bilgisinin global kapsamda neredeyse tamamını sağlamaktadırlar. Fakat global jeopotansiyel modeller için yapılan hata tahminleri çoğunlukla çok iyimserdir ve/veya global bir ortalama olarak verilmektedir. Bu yüzden, belirli bir bölgede global jeopotansiyel modelin performansını yansıtmaması gerekmez. Bir global jeopotansiyel model kullanıcısı, modelden elde ettiği gravite alan büyüklükleriyle lokal verilerini karşılaştırarak kendi doğruluk ve hassasiyetini test etmelidir.

Bu çalışmada, GOCE uydu verileri yardımıyla hesaplanan jeoid ondülasyonlarının Türkiye için uygunluğu testi yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak öncelikle Türkiye genelinde 30 test noktası seçilmiştir ve seçilen bu 30 test noktasının GOCE uydusuna ait GOCO01s, GOCO02s ve GOCO03s (GOCO, 2012) global jeoid modellerindeki jeoid ondülasyonları hesaplanmıştır. Bunun için, önce noktaların quasi-jeoide göre yükseklik anomalisi değerleri GRAVSOFTE yazılım paketi ile harmexp.exe (Tscherning vd., 1994) programında hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan yükseklik anomalilerine $d\zeta = \zeta - N$ düzeltmesi getirilerek jeoid yüksekliklerine (N) geçilmiştir. Ardından test noktalarında Türkiye GPS/Nivelman jeoidine ait jeoid yükseklikleri ile GOCO uydusundan elde edilen jeoid yüksekliklerinin farklarının alınması suretiyle karşılaştırmalar yapılmıştır. Alınan bu farklarla GOCO01s, GOCO02s ve GOCO03s global jeoid modellerinin Türkiye GPS/Nivelman jeoidinden olan sapmalarının en küçük, en büyük ve karesel ortalaması hesaplanarak modeller arasındaki uyumlar incelenmiştir. Modeller arasındaki farklar hem tablolarla hem de şekillerle görselleştirilmiştir.

Daha önce Yılmaz, 2011'de OSU91A, EGM96, GGM01S, GGM01C, EIGEN-GRACE01S, EIGEN-GRACE02S, EIGEN-CHAMP03S, GGM02S, GGM02C, EIGEN-CG01C, EIGEN-CG03C ve EGM08 olmak üzere 12 farklı global jeoid model ile Türkiye GPS/Nivelman jeoidi arasında yapılan karşılaştırmalar ve Yılmaz ve Karaali, 2011'de EIGEN-GL04C, EIGEN-GL04S1, EIGEN-5C olmak üzere 3 değişik global model ile Türkiye GPS/Nivelman jeoidi arasında yapılan karşılaştırmalar da göz önünde bulundurularak; hem bu global jeoid modellerin Türkiye GPS/Nivelman jeoidiyle uyumları istatistiksel olarak irdelenmiş, hem de Türkiye GPS/Nivelman jeoidiyle en uyumlu ve en uyumsuz global jeoid modelinin hangisi olduğu belirlenmiştir.

1. GİRİŞ

GOCE (Gravity field and Ocean Circulation Explorer) uydusu yere mümkün olduğunca yakın, yörünge yüksekliği 260 km olan, yeryuvarının gravite alanındaki değişimleri maksimum hassasiyette belirlemeyi amaçlayan bir uydudur. 17 Mart 2009 yılında yörüngeye yerleştirilen bu uydunun, jeoidin yüksek bir doğrulukta belirlenmesini sağlamak, yerin iç yapısının yansırı okyanusların derinliklerindeki akımlara da bir pencere açmak gibi amaçları vardır (ESA, 2012).

Uydunun hedefi; gravite anomalilerini $1 \text{ mGal} = 10^{-5} \text{ m/s}^2$ doğrulukla belirlemek, jeoidi 1-2 cm doğrulukla belirleyebilmek ve konumsal çözünürlüğü 100 km'den daha iyi elde edebilmektir (IRLS, 2012).

Yeryuvarının gravite alanının belirlenmesinde kullanılan CHAMP ve GRACE diğer yakın yer uydularındır. Uyduların görevi, jeodezik ve jeodinamik amaçlar için yeryuvarının

global olarak izlenmesine izin verecek doğrulukta gravite alanı bilgisi sağlamaktır. Diğer bir ifadeyle, uydu gravite misyonlarının amacı, yerin gravite alanındaki geçici değişimleri belirlemektir (Neumeyer vd., 2004).

GOCE uydusu, gravite alanının orta ve kısa dalga boyu parçasını belirleyebilme özelliğinden dolayı CHAMP (Challenging Minisatellite Payload) ve GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) uydularının tamamlayıcısı niteliğindedir. CHAMP ve GRACE uydularında gravite kökenli olmayan kuvvetler, uydunun ağırlık merkezine yerleştirilmiş bir ivme ölçer (akselerometre) ile ölçülerek gravite sinyalinden ayrılabilir. GOCE uydusunda ise, bir gravite uydusunun en önemli üç temel kriteri olan; üç boyutta ve sürekli konum bilgisi toplamak, gravite kökenli olmayan kuvvetleri yok etmek ve mümkün olduğunca alçaktan uçabilmek özellikleri vardır (Karşlıoğlu, 2006).

CHAMP uydusu 15 Temmuz 2000'de yerleştirilmiştir. Başlangıçtaki yörünge yüksekliği 454 km olup görev süresince yavaşça alçalarak bu yükseklik 300 km'ye

düşmüştür. GRACE uydusu, daha çok gravite alanını iyileştirmeyi ve özellikle gravite alanındaki geçici değişimleri belirlemek üzere tasarlanmıştır. 17 Mart 2002'de aynı yörüngede birbirini izleyen ve aralarındaki mesafe yaklaşık 200 km olan ikiz iki tane uydudan oluşmaktadır. Uydunun başlangıçtaki yörünge yüksekliği 500 km dir. Bu yükseklik düzenli bir şekilde 1.1 km/ay oranında azalmıştır (Rummel, 2003; Schrama, 2003).

Bu uydular yerin gravite alanının uzun dalga boyu bileşenine çok önemli katkıda bulunmuşlardır. Bunlar, homojenlik ve gravite alan bilgisinin global kapsamda neredeyse tamamını sağlamaktadırlar. Fakat global jeopotansiyel modeller için yapılan hata tahminleri çoğunlukla çok iyimserdir ve/veya global bir ortalama olarak verilmektedir. Bu yüzden, belirli bir bölgede global jeopotansiyel modelin performansını yansıtmaması gerekmez. Bir global jeopotansiyel model kullanıcısı, modelden elde ettiği gravite alan büyüklükleriyle lokal verilerini karşılaştırarak kendi doğruluk ve hassasiyetini test etmelidir (Kiamehr ve Sjöberg, 2005).

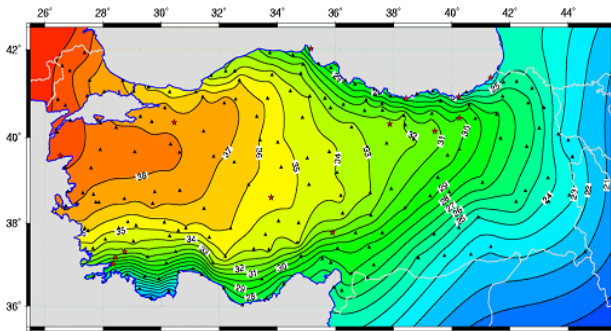
2. UYGULAMADA KULLANILAN JEİDLER

2.1. Türkiye GPS/Nivelman Jeoidi

GPS/Nivelman jeoid yüksekliklerini belirlemek için, 197 Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999 (TUTGA-99A) noktası seçilmiştir. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A), üç boyutlu yer merkezci koordinat sistemi olan Uluslararası Yersel Referans Sistemi-1996 (ITRF96 International Terrestrial Reference Frame)'nde, GRS80 elipsoidine göre belirlenmiş bir ağıdır. Ağın seçilen noktaları, geometrik nivelman ölçüleriyle Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99)'na bağlanmış ve ortometrik yükseklikleri hesaplanmıştır.

GPS noktalarında Helmert ortometrik yüksekliği hesaplanırken, önce TUDKA-99 noktasından GPS noktasına kadar olan geçki boyunca jeopotansiyel sayı değerleri, ardından ortometrik yükseklikler hesaplanmıştır. Bir GPS noktasının N_{GPS} jeoid yüksekliği;

$N_{GPS} = h - H$ genel eşitliğiyle hesaplanmıştır. 197 GPS noktasında hesaplanan Türkiye GPS/Nivelman Jeoidi Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Türkiye GPS/Nivelman Jeoidi (m) (Ayhan vd., 2002).

2.2. Global Jeoid Modelleri

Global jeoid modelleri belirlenmelerinde kullanılan veri ve küresel harmonik katsayıların maksimum derecesi bakımından birbirinden farklılıklar göstermektedir. Bu farklar Tablo 1'de verilmiştir.

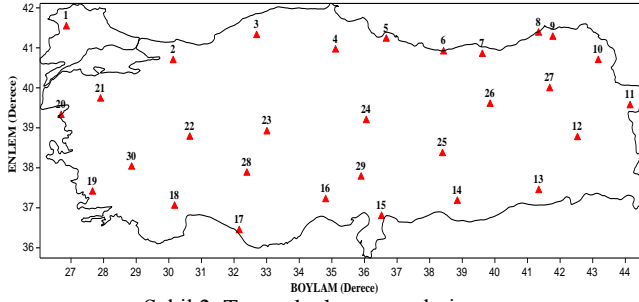
Model	Veri	Maksimum Çözünürlük (Derece)
OSU91A	Uydu izleme, altimetre, gravimetre	360
EGM96	Uydu izleme, altimetre, gravimetre	360
GGM01S	GRACE	120
GGM01C	GRACE	200
EIGEN-GRACE01S	GRACE	140
EIGEN-GRACE02S	GRACE	150
EIGEN-CHAMP03S	CHAMP	140
GGM02S	GRACE	160
GGM02C	GRACE, altimetre, gravimetre	200
EIGENCG01C	CHAMP, GRACE, altimetre, gravimetre	360
EIGENCG03C	CHAMP, GRACE, altimetre, gravimetre	360
EGM08	GRACE, altimetre, gravimetre	2160
EIGEN-GL04C	GRACE, LAGEOS, altimetre, gravimetre	360
EIGEN-GL04S1	GRACE, LAGEOS	150
EIGEN-5C	GRACE, LAGEOS, altimetre, gravimetre	360
GOCO01S	GOCE, GRACE	224
GOCO02S	GOCE, GRACE, CHAMP, SLR	250
GOCO03S	GOCE, GRACE, CHAMP, SLR	250

Tablo 1. Değişik global jeoid modellerinin esas aldığı kriterler

YAPILAN ÇALIŞMALAR

3.1. Uygulama Alanı ve Test Noktalarının Seçimi

Çalışmada Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı'na (TUTGA-99A) ait 30 nokta kullanılmıştır. Bu noktaların TUTGA-99 koordinat sistemindeki elipsoidal yükseklikleri doğrudan GPS ölçüleriyle, ortometrik yükseklikleri ise doğrudan veya dolaylı olarak Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1999 (TUDKA-99) datumunda belirlenmiş noktalardır. Türkiye geneline mümkün olduğunca homojen olarak dağılmış olmasına dikkat edilen bu 30 noktanın yerleri Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Test noktalarının yerleri

Seçilen 30 noktanın elipsoidal yükseklikleri (h), ortometrik yükseklikleri (H), gravimetrik yükseklik anomalilerini (ζ) jeoid yüksekliklerine (N) dönüştürmekte kullanılan $d\zeta$ düzeltme değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

N.N	Ortometrik yükseklik H (m)	Elipsoidal yükseklik h (m)	$d\zeta$ düzeltmesi (m)
1	143.8827	182.9942	-0.0014
2	510.6212	548.1760	0.0031
3	909.6400	945.5467	-0.0017
4	854.1896	888.1105	0.0303
5	15.1787	43.1707	-0.0001
6	216.1831	243.6590	-0.0026
7	832.0689	860.4165	0.0238
8	7.3858	30.1790	-0.0002
9	288.3085	313.6850	0.0228
10	1846.2478	1871.1180	0.3083
11	1555.0286	1577.8730	0.2413
12	1691.4762	1716.7800	0.2377
13	976.6762	998.8345	0.0764
14	507.6026	532.3930	0.0235
15	404.1737	432.2256	0.0135
16	785.5074	815.6803	0.0765
17	60.0010	87.4360	-0.0012
18	1085.8402	1116.2550	0.0814
19	100.2777	134.8520	-0.0045
20	59.1133	98.2089	-0.0021
21	409.0186	447.5946	-0.0014
22	1182.1537	1219.9000	0.0936
23	1087.2560	1123.2500	0.0708
24	1271.3797	1305.3060	0.1617
25	1110.0351	1140.0810	0.0834
26	1501.7747	1532.4540	0.2323
27	1735.3093	1762.9800	0.3382
28	1375.8953	1411.9050	0.1182
29	707.8182	739.6496	0.0625
30	673.3114	708.6318	0.0292

Tablo 2. Test noktalarına ait veriler

3.2. Test Noktalarındaki Jeoid Yüksekliklerinin Hesaplanması

Test noktalarının GPS/Nivelman jeoidindeki jeoid yükseklikleri, $N = h - H$ genel eşitliğinden hesaplanmıştır.

Test noktalarının GOCO01S, GOCO02S ve GOCO03S global jeoid modellerindeki jeoid yüksekliklerini elde etmek için, önce noktaların quası-jeoide göre yükseklik anomali değerleri GRAVSOFY yazılım paketi ile harmexp.exe (Tscherning vd., 1994) programında hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan yükseklik anomalilerine Tablo 2'de verilen $d\zeta = \zeta - N$ düzeltmesi getirilerek jeoid yüksekliklerine (N) geçilmiştir. Belirtilen değişik modellere göre belirlenen N jeoid yükseklikleri Tablo 3'de verilmiştir.

N.N	GPS/Nivelman Jeoid Yüksekliği	GOCO01S Jeoid Yüksekliği	GOCO02S Jeoid Yüksekliği	GOCO02S Jeoid Yüksekliği
1	39.112	40.2614	40.2314	40.2614
2	37.555	37.8369	38.0869	38.3569
3	35.907	36.4117	36.6517	36.7817
4	33.921	34.4697	34.6797	34.8697
5	27.992	29.5701	29.6001	29.4801
6	27.476	28.2426	28.3926	28.4926
7	28.348	28.2762	28.3962	28.3662
8	22.793	23.9002	24.0302	23.9302
9	25.377	26.4472	26.8372	26.8872
10	24.870	26.6517	26.2917	26.1517
11	22.845	22.8987	23.2687	23.2187
12	25.304	26.5723	26.1223	26.0023
13	22.158	22.1336	22.1236	22.1236
14	24.790	25.6165	25.6865	25.6865
15	28.052	28.3265	28.1365	28.2365
16	30.173	31.4335	31.5435	31.4535
17	27.435	27.8912	28.1312	28.2212
18	30.414	31.4486	31.3486	31.4086
19	34.574	35.3245	35.4245	35.4545
20	39.096	40.1921	40.0521	40.0921
21	38.576	39.9714	39.9614	39.9314
22	37.746	38.8964	38.6164	38.8464
23	35.994	37.3192	37.0492	37.1292
24	33.926	35.1583	35.1083	35.2183
25	30.046	30.9166	30.8866	30.8866
26	30.680	31.4277	31.2277	31.1677
27	27.671	29.0918	29.0418	29.1418
28	36.010	36.7218	36.6318	36.6918
29	31.831	33.1075	33.1075	33.1375
30	35.320	36.9408	36.6708	36.6208

Tablo 3. 30 test noktasının GPS/Nivelman, GOCO01S, GOCO02S, GOCO03S global jeoid modellerinde hesaplanan jeoid yükseklikleri (m)

3.3. Global Jeoid Modellerinin Lokal GPS/Nivelman Jeoidi ile Karşılaştırılması

Jeoid ondülasyonu N değerini doğrudan vermesi ($N = h - H$) ve Ülke Düşey Kontrol Ağıyla doğrudan ilişkisi nedeniyle, Türkiye lokal GPS/Nivelman jeoidinin GOCO01S, GOCO02S ve GOCO03S global modellerle farkları alınmış ve Tablo 4'de gösterilmiştir.

N.N	GPS-GOCO01S	GPS-GOCO02S	GPS-GOCO03S
1	-1.1499	-1.1199	-1.1499
2	-0.2821	-0.5321	-0.8021
3	-0.505	-0.745	-0.875
4	-0.5488	-0.7588	-0.9488
5	-1.5781	-1.6081	-1.4881
6	-0.7667	-0.9167	-1.0167
7	0.0714	-0.0486	-0.0186
8	-1.107	-1.237	-1.137
9	-1.0707	-1.4607	-1.5107
10	-1.7819	-1.4219	-1.2819
11	-0.0542	-0.4242	-0.3742
12	-1.2684	-0.8184	-0.6984
13	0.0247	0.0347	0.0347
14	-0.8261	-0.8961	-0.8961
15	-0.2746	-0.0846	-0.1846
16	-1.2606	-1.3706	-1.2806
17	-0.4562	-0.6962	-0.7862
18	-1.0342	-0.9342	-0.9942
19	-0.7502	-0.8502	-0.8802
20	-1.0965	-0.9565	-0.9965
21	-1.3954	-1.3854	-1.3554
22	-1.1504	-0.8704	-1.1004
23	-1.3253	-1.0553	-1.1353
24	-1.2325	-1.1825	-1.2925
25	-0.8711	-0.8411	-0.8411
26	-0.748	-0.548	-0.488
27	-1.4211	-1.3711	-1.4711
28	-0.7122	-0.6222	-0.6822
29	-1.2761	-1.2761	-1.3061
30	-1.6204	-1.3504	-1.3004

Table 4. GPS/Nivelman jeoidi ile GOCO01S, GOCO02S ve GOCO03S arasındaki jeoid yüksekliklerinin farkları

3.4. Global Jeoid Modellerinden Hesaplanan Jeoid Yükseklikleri ile Lokal GPS/Nivelman Jeoidinden Hesaplanan Jeoid Yüksekliklerinin Farklarına İlişkin Değerlendirmeler

Burada, Tablo 4'de gösterilen $k = 30$ test noktasında global jeoid modellerinden hesaplanan jeoid yükseklikleri ($N_{m_i}^{GM}$) ile Türkiye lokal GPS/Nivelman jeoidinden hesaplanan jeoid yüksekliklerinin ($N_{GPS/Niv}$) farkları değerlendirilmeye tabi tutulmuştur. Değerlendirmeler, değişik modellerin birbirinden sapmalarının en küçük, en büyük değerleri ve karesel ortalamaya hataları esas alınarak yapılmıştır. Her bir global jeoid modelinden bulunan jeoid yükseklikleri ($N_{m_i}^{GM}$) ile lokal GPS/Nivelman jeoidinden bulunan jeoid yüksekliklerinin ($N_{GPS/Niv}$) ($\Delta N_{GPS/Niv-GM} = N_{GPS/Niv} - N_{m_i}^{GM}$) şeklinde oluşturulan farklarına ilişkin ortalama değerler karesel olarak $k = 30$ test noktası için

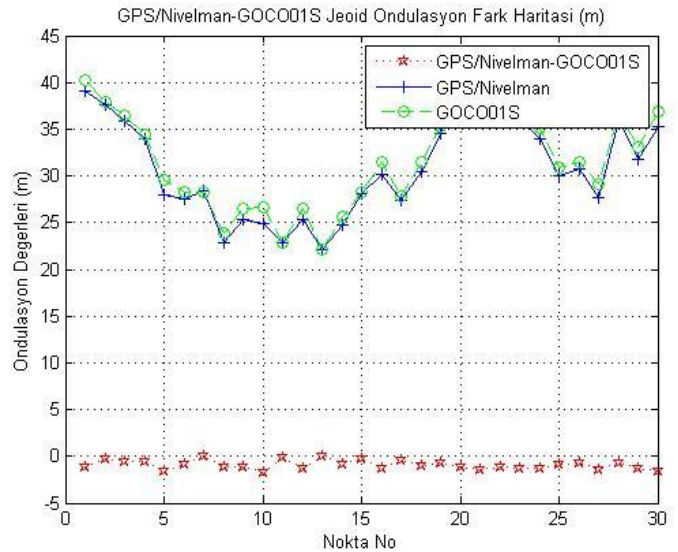
$$RMS = \pm \left[\left(\sum_{i=1}^k \Delta N_{GPS/Niv-GM}^2 \right) / k \right]^{1/2} \quad \text{eşitliğinden}$$

hesaplanmıştır. Değişik global jeoid modelleri ile lokal GPS/Nivelman jeoidinin birbirinden sapmalarının en küçük, en büyük değerleri, ortalama, standart sapma ve karesel ortalaması Tablo 5'de verilmiştir.

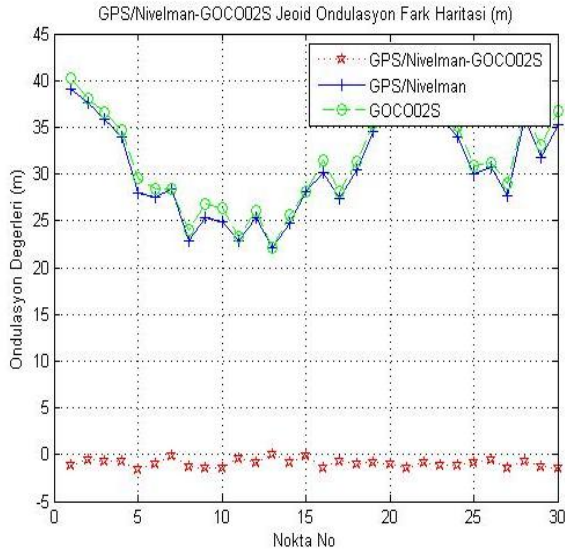
Global jeoid modelleri ile Türkiye lokal GPS/Nivelman jeoidi arasındaki jeoid yüksekliklerinin farkları Matlab yazılımında hazırlan Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5 ile görselleştirilmiştir.

Karşılaştırılan Modeller	Jeoid Modellerinin Birbirinden Sapmalarının En Küçük Değeri (m)	Jeoid Modellerinin Birbirinden Sapmalarının En Büyük Değeri (m)	Jeoid Modellerinin Birbirinden Sapmalarının Karesel Ortalaması \pm RMS (m)
GPS/Niv-GOCO01S	0,0714	-1,7819	1,0366
GPS/Niv-GOCO02S	0,0347	-1,6081	1,0039
GPS/Niv-GOCO03S	0,0347	-1,5107	1,0256

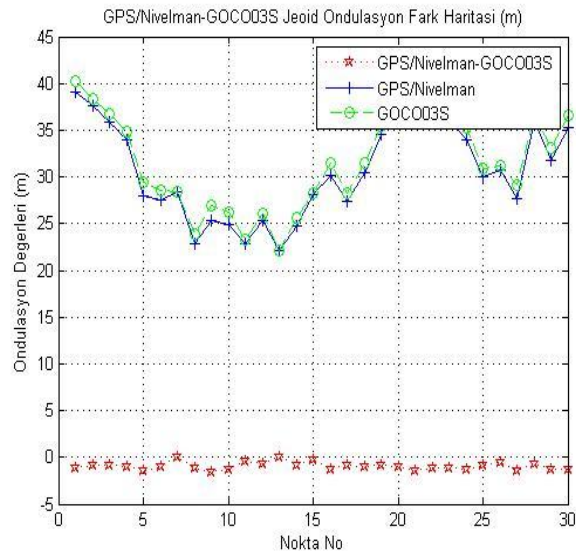
Tablo 5. Global jeoid modellerinden hesaplanan jeoid yükseklikleri ile lokal GPS/Nivelman jeoidinden hesaplanan jeoid yüksekliklerinin farklarına ilişkin istatistikî değerler



Şekil 3. GPS/Nivelman-GOCO01S jeoid ondülasyon fark haritası (m)



Şekil 4. GPS/Nivelman-GOCO02S jeoid ondülasyon fark haritası (m)



Şekil 5. GPS/Nivelman-GOCO03S jeoid ondülasyon fark haritası (m)

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Daha önce Yılmaz, 2011'de OSU91A, EGM96, GGM01S, GGM01C, EIGEN-GRACE01S, EIGEN-GRACE02S, EIGEN-CHAMP03S, GGM02S, GGM02C, EIGEN-CG01C, EIGEN-CG03C ve EGM08 olmak üzere 12 farklı global jeoid model ile Türkiye GPS/Nivelman jeoidi arasında yapılan karşılaştırmalar ve Yılmaz ve Karaali, 2011'de EIGEN-GL04C, EIGEN-GL04S1, EIGEN-5C olmak üzere 3 değişik global model ile Türkiye GPS/Nivelman jeoidi arasında yapılan karşılaştırmalar Tablo 6'da verilmiştir.

Karşılaştırılan Modeller	Jeoid Modellerinin Birbirinden Sapmalarının En Küçük Değeri (m)	Jeoid Modellerinin Birbirinden Sapmalarının En Büyük Değeri (m)	Jeoid Modellerinin Birbirinden Sapmalarının Karesel Ortalaması \pm RMS (m)
GPS/Niv-OSU91A	-2.981	3.749	1.780
GPS/Niv-EGM96	2.491	-2.671	1.546
GPS/Niv-GGM01S	1.399	-2.218	1.263
GPS/Niv-GGM01C	0.681	-2.952	1.256
GPS/Niv-EIGENGRACE01S	0.981	-2.670	1.182
GPS/Niv-EIGENGRACE02S	1.029	-2.158	1.159
GPS/Niv-EIGENCHAMP03S	3.035	-3.975	1.717
GPS/Niv-GGM02S	1.069	-2.612	1.101
GPS/Niv-GGM02C	0.749	-2.562	1.178
GPS/Niv-EIGENCG01C	1.799	-2.198	1.213
GPS/Niv-EIGENCG03C	1.499	-2.081	1.187
GPS/Niv-EGM08	-0.304	-1.244	0.869
GPS/Lev-EIGENGL04C	1.487	-2.566	1.244
GPS/Lev-EIGENGL04S1	0.877	-2.729	1.242
GPS/Lev-EIGEN5C	1.107	-2.616	1.218

Tablo 6. Global jeoid modellerinden hesaplanan jeoid yükseklikleri ile lokal GPS/Nivelman jeoidinden hesaplanan jeoid yüksekliklerinin farklarına ilişkin istatistikî değerler

SONUÇLAR

- Test noktalarında global jeoid modellerinden hesaplanan jeoid yükseklikleri ile lokal GPS/Nivelman jeoidinden hesaplanan jeoid yüksekliklerinin farklarına ilişkin istatistikî değerlerden (Tablo 5 ve Tablo 6), GPS/Nivelman jeoidinden en az sapan global jeopotansiyel modelinin EGM08 global jeoidi olduğu görülmüştür. Lokal GPS/Nivelman jeoidi ile EGM08 jeoid modelinin birbirinden saptması yaklaşık ± 87 cm dir. Bu iki modelin birbirinden saptmasının en küçük ve en büyük değerleri sırasıyla yaklaşık -30 cm ve -124 cm dir. Lokal GPS/Nivelman jeoid yükseklikleri ile EGM08 jeoid yüksekliklerinin farklarına ait hesaplanmış RMS değeri, diğer global modellerin lokal GPS/Nivelman jeoidinden olan farklarına ait hesaplanmış RMS değerleriyle karşılaştırıldığında en küçük olduğu görülmüştür. Global jeoid modellerinin esas aldığı kriterlere Tablo 1'den bakıldığında bu modellerin çözünürlüklerinin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. EGM08 jeoidinin çözünürlüğün diğer global jeoid modellerinin çözünürlüğünden çok daha yüksek olması, bu modelin diğer global jeoid modellerine

göre, lokal GPS/nivelman jeoidiyle daha iyi uyum sağlanmasına neden olduğu düşünülmüştür.

- Test noktalarında global jeoid modellerinden hesaplanan jeoid yükseklikleri ile lokal GPS/Nivelman jeoidinden hesaplanan jeoid yüksekliklerinin farklarına ilişkin istatistikî değerlerden (Tablo 5 ve Tablo 6), Türkiye için en uyumsuz global jeopotansiyelin OSU91A jeoidinin olduğu görülmüştür. Türkiye lokal GPS/Nivelman-OSU91A karşılaştırmasına ait RMS değeri ± 178 cm dir. Bu iki modelin birbirinden sapmasının en küçük ve en büyük değerleri sırasıyla yaklaşık -298 cm ve -375 cm dir. Lokal GPS/Nivelman jeoid yükseklikleri ile OSU91A jeoid yüksekliklerinin farklarına ait hesaplanmış RMS değeri, diğer global modellerin lokal GPS/Nivelman jeoidinden olan farklarına ait hesaplanmış RMS değerleriyle karşılaştırıldığında en büyük olduğu görülmüştür.
- Bu çalışmada değerlendirilen Lokal GPS/Nivelman jeoidi ile GOCO01S, GOCO02S ve GOCO03S global jeoid modellerinin birbirinden sapmaları yaklaşık ± 100 cm'in üzerindedir. Buna karşın Lokal GPS/Nivelman jeoidi ile EGM08 jeoid modelinin birbirinden sapması yaklaşık ± 87 cm idi. Bu sonuç, GOCO01S, GOCO02S ve GOCO03S global jeoid modellerinin EGM08 modelinden sonra oluşturulmalarına rağmen, Türkiye lokal GPS/Nivelman jeoidiyle EGM08 modelinden daha iyi bir uyum sağlayamadıklarını göstermektedir. Ayrıca, Türkiye için en uygun jeopotansiyel modelin EGM08 olduğunu ve bu modelin diğer global modellere göre Türkiye GPS/Nivelman jeoidiyle nispeten daha uyumlu olduğunu da göstermektedir.

4. KAYNAKLAR

Ayhan, M.E., Demir, C., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Aktuğ, B., Açıkgöz, M., Fırat, O., Şengün, Y. S., Cingöz, A., Gürdal, M.A., Kurt, A.İ., Ocak, M., Türkezer, A., Yıldız, H., Bayazıt, N., Ata, M., Çağlar, Y. ve Özerkan, A., 2002. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A), *Harita Dergisi*, Özel Sayı 16.

Karşlıoğlu, M. O., 2006. Uydu Gradyometresi ve Goce Uydusu, *Harita Dergisi*, 135, 26-41.

Kiamehr, R. ve Sjöberg, L.E., 2005. Comparison of The Qualities of Recent Global and Local Gravimetric Geoid Models in Iran, *Stud. Geophy. Geod.*, 49, 289-304.

Neumeyer, J., Schwintzer, P., Barthelmes, F., Dierks, O., Imanishi, Y., Kroner, C., Meurers, B., Sun, H. ve Virtanen, H., 2004. Comparison of Superconducting Gravimeter and CHAMP Satellite Derived Temporal Gravity Variations, Earth Observation with CHAMP Results from Three Years in Orbit, Edt. Christoph Reigber, Hermann Lühr, Peter Schwintzer, Jens Wickert, Springer, Berlin, 31-36.

Rummel, R., 2003. How to Climb the Gravity Wall, Earth Gravity Field from Space-from Sensors to Earth Sciences, Edt. G. Beutler, R. Rummel, M.R. Drinkwater ve R. VonSteiger, Kluwer Academic Publishers, International Space Science Institute, Netherlands, 1-14.

Schrama, E.J.O., 2003. Error Characteristics Estimated from CHAMP, GRACE and GOCE Derived Geoids and from Satellite Altimetry Derived Mean Dynamic Topography, *Space Science Reviews*, 108, 179-193.

Tscherning, C.C., Knudsen, P. ve Forsberg, R., 1994. Description of the GRAVSOFIT Package Geophysical Institute, University of Copenhagen.

Yılmaz, N., 2011. Türkiye İçin Farklı Yöntem ve Verilerle Belirlenen Jeoidlerin Karşılaştırılması, Doktora Tezi, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Yılmaz, N. ve Karaali, C., 2011. Investigation of discrepancies of some geoids determined using various methods for Turkey, *International Journal of the Physical Sciences*, 6, 19, 4656-4666.

ESA, 2012. <https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/goce>, (27 Aralık 2012).

IRLS,2012.http://ilrs.gsfc.nasa.gov/missions/satellite_missions/current_missions/goce_general.html, (27 Aralık 2012).

GOCO, 2012. <http://www.goco.eu/>, (25 Aralık 2012).