Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering

AKÜ FEMÜBİD **17** (2017) **035505** (1041-1047) AKU J. Sci. Eng. **17** (2017) **035505** (1041-1047)
DOİ: 10.5578/fmbd.66246

Türkiye'de Gravite ve Nivelman Ağları ile Jeoidin Depremsel Deformasyonu

Bahadır Aktuğ[1], Begüm Çıvgın[2]
[1, 2] *Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ankara.*

e-posta: Bahadir.Aktug@ankara.edu.tr

Geliş Tarihi: 09.07.2017 ; Kabul Tarihi: 15.12.2017

Anahtar kelimeler
Sismik Deformasyon;
Jeoid;
Gravite Ağları;
Nivelman Ağları;

Özet

Bir deprem ülkesi olan ülkemizin ulusal ağlarının tasarımı ve uzun dönemli idamesi için depremlerin ülkemiz ağları üzerindeki etkilerinin periyodik olarak belirlenmesi ve buna bağlı olarak revizyon ölçümlerinin planlanmasına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada son 80 yılda meydana gelen depremlerin ulusal gravite ve nivelman ağları ile jeoid üzerindeki kümülatif etkisi araştırılmıştır. 1938-2008 yılları arasında moment tensör çözümü olan 738 adet deprem kullanılarak yapılan hesaplamalar gravite değişimlerinin -58 ile +69 µGal mertebesinde, yükseklik değişimlerinin ise -47 cm ile +49 cm aralığında olduğu görülmektedir. Buna karşın jeoidin değişimi ±1 mm düzeyindedir.

Seismic Deformation of the Geoid and the Gravity and Leveling Networks in Turkey

Keywords
Seismic Deformation;
Geoid;
Gravity Networks;
Levelling Networks;

Abstract

The seismic effects on the national networks need to be determined periodically for the design and long-term maintenance of geodetic networks in Turkey and revision surveys need to be planned according to them. In this study the cumulative effect of the earthquakes on the gravity and levelling networks of Turkey and the geoid over the last 80 years is analyzed. The analysis on 738 earthquakes between 1938 and 2008 with a known moment tensor solution show that the gravity changes are between -58 and +69 µGal, the height changes are between -47 and +49 cm. On the other hand, the change in the geoid does not exceed 1 mm.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Ülkemizde depremlerin jeodezik ağlar üzerindeki etkisi konusunda ayrıntılı çalışmalar bulunmaktadır (Aktuğ vd., 2011). Depremsel yerdeğiştirmelerin ele alındığı söz konusu çalışmalarda özellikle ulusal jeodezik ağların deformasyonu incelenmektedir. Buna karşın, yerdeğiştirmelerin aksine, gravite, jeopotansiyel ve jeoid üzerindeki deprem etkileri ülkemizde yeterince çalışılmamıştır (Aktuğ, 2017). Bu çalışma söz konusu boşluğu doldurmaya ve öncü olmaya yönelik bir gayretin sonucudur. İkinci bölümde nivelman, ve gravite ağları üzerindeki depremsel değişimlerin teorik olarak hesaplanma yöntemi gösterilmiş ve üçüncü bölümde Türkiye'de son seksen yılda meydana gelen depremlerin meydana getirdiği potansiyel değişimi, gravite değişimi, yükseklik değişimi ve jeoid üzerindeki kümülatif etki hesaplanmıştır.

2. Türkiye'de Gravite ve Nivelman Ağları

Türkiye Temel Gravite Ağı (TTGA) çalışmaları 1956-1958 yılları arasında Harita Genel Komutanlığı tarafından gerçekleştirilmiştir (TTGA-56). Daha sonra, 1971'de Uluslararası Gravite Standardizasyon Ağı kapsamında Ankara'da beş noktada gravite ölçümleri yapılmış ve IGSN-71 sistemi gravite değerleri belirlenmiştir (Morelli vd., 1974). IGSN-71 gravite değerleri ile dengelenen TTGA-56 gravite değerlerinin doğruluklarının ±0.07-0.19 mGal

arasında değiştiği belirlenmiştir (Ayhan vd., 1992). TTGA-56 nokta gravite doğruluklarının jeodezik, jeofizik ve mühendislik çalışmaları için yetersiz olması nedeniyle 55 noktalı Türkiye Temel Gravite Ağı 1999 (TTGA-99) çalışmaları 1993-1999 yılları arasında tamamlanmış ve 17 Ağustos 1999 İzmit ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinden sonra 2000 yılında gravite değerleri güncellenmiştir.

1935 yılında Antalya mareograf istasyonu ölçüleri ile başlayan Türkiye Düşey Kontrol Ağı çalışmaları 1970 yılına kadar ana karayolları boyunca yapılan ölçülerle devam etmiş ve Düşey Kontrol Ağı tesis edilmiştir. 1973 yılından itibaren başlatılan ikinci faz geometrik nivelman ölçüleri günümüze kadar sürdürülmüştür. Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı-1992 (TUDKA-92) oluşturma çalışmaları 1985-1992 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. 1993 yılından itibaren, TUDKA-92' de üç adet geçkinin uyumsuz olduğunun saptanması ile bazı geçki ölçülerinin tekrarlanması, tüm geçki noktalarının koordinatlarının sayısallaştırılması, mevcut verilerin (gravite, enlem, boylam, geometrik yükseklik farkı, uzaklık) kontrolü ve ek ölçüler ile TUDKA dengelemesi yeniden yapılmış ve TUDKA-99 oluşturulmuştur (Demir ve Cingöz, 1999). TUDKA-99 ağına bağlı nokta yüksekliklerinin duyarlılıkları 0.3 cm ile 9 cm arasındadır (Demir ve Cingöz, 1999). Halen kullanımda olan Normal ortometrik yükseklikler ile TUDKA-99 Helmert ortometrik yükseklikleri arasındaki farkların Türkiye ölçeğinde ortalaması +9.5 cm ve standart sapması ±8.4 cm olup değerleri -14 cm ile +36.9 cm arasında değişmektedir. Herhangi bir noktada, konuma bağlı olarak iki yükseklik sistemi arasındaki düzeltme değeri hesaplanabilmektedir (Demir ve Cingöz, 1999).

3. Nivelman ve Gravite ağları ile Jeoid Depremsel Değişimi

Depremlerin nivelman ve gravite ağları ile jeoid üzerindeki etkisinin belirlenmesi için, depremsel yatay deformasyonlarda olduğu gibi öncelikle deprem kaynağının modellenmesine ihtiyaç vardır. Bu amaçla, İzmit ve Düzce depremlerinin Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) üzerindeki etkisinin araştırılmasında da kullanılan kaynak modeli Aktuğ (2003) tarafından verilmiştir (Şekil 1).

Noktasal kaynağın sebep olduğu deplasman alanından, dörtgen bir alanın sebep olacağı deplasman alanını elde etmek için, fay düzleminin uzunluğu (L) ve genişliğine (W) bağlı integral çözümü yapmak gereklidir. Buna göre;

$$\int_{x}^{x-L} d\xi \int_{p}^{p-W} d\eta \qquad (1)$$

olur. Burada, *x* ve *p* fay düzleminin Şekil 1'de verilen koordinatlarını; $d\xi$ ve $d\eta$ ise, noktasal kaynağın elastik yarı-uzay dislokasyon modeline göre fay düzlemi üzerindeki koordinatlarına bağlı değişim fonksiyonlarını göstermektedir. Dörtgensel bir alan için (fay düzlemi) analitik denklemleri kapalı halde integrali aşağıdaki eşitlik ile ifade edilebilir:

$$f(\xi,\eta)\Big\| = f(x,p) - f(x,p-w) - f(x-L,p) + f(x-L,p) \qquad (2)$$

Kayma vektörü bileşenleri *(U_1, U_2, U_3)* şeklinde ifade edilebilir. Nokta kaynak olarak verilen bir depremin yaratacağı potansiyel değişimi (2) eşitliğiyle düzlem dislokasyon içinde de hesaplanabilir.

Düzlem dislokasyon olarak modellenen bir depremin yaratacağı potansiyel değişimi Okubo (1993) tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$\Delta\Psi(x_1,x_2,x_3) = \{\rho G\left[U_1 S_p(\xi,\eta) + U_2 D_p(\xi,\eta) + U_3 T_p(\xi,\eta)\right] + \Delta\rho G U_3 C_g(\xi,\eta)\}\Big\| \qquad (3)$$

$$S_p(\xi,\eta) = -q_0 I_0 \sec^2\delta + R\tan\delta + 2\xi I_1 \tan^2\delta \qquad (4)$$

$$D_p(\xi,\eta) = -\xi I_0 \tan\delta - 2x_3 I_2 \sin\delta - q_0\left[\log(R+\xi) + 2I_1\tan\delta\right] \qquad (5)$$

$$C_p(\xi,\eta) = -\xi\log(R+\eta) - \eta\log(R+\xi) - 2qI_2 \qquad (6)$$

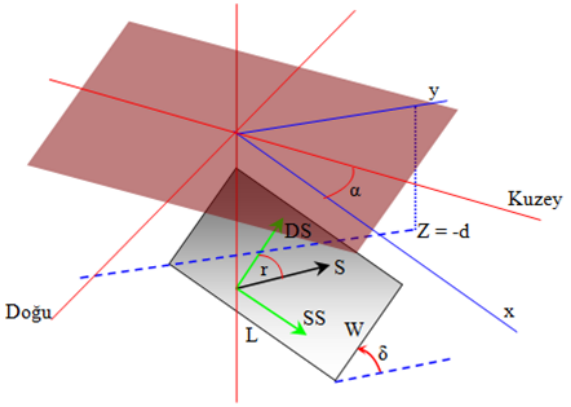
$$T_p(\xi,\eta) = \xi I_0 \tan^2\delta - x_3\sin\delta\log(R+\xi) + 2q_0(I_1\tan^2\delta + I_2) + C_p(\xi,\eta) \qquad (7)$$

$$I_0(\xi,\eta) = \log(R+\eta) - \sin\delta\log\left(R+d'\right) \qquad (8)$$

$$I_1(\xi,\eta) = \tan^{-1}\frac{q\cos\delta + (1+\sin\delta)(R+\eta)}{\xi\cos\delta} \qquad (9)$$

$$I_2(\xi,\eta) = \tan^{-1}\frac{R+\xi+\eta}{q} \qquad (10)$$

$$R = \sqrt{\xi^2 + \eta^2 + q^2} \qquad (11)$$



S : Kayma Vektörü
δ : Eğim Açısı (dip angle)
α : Fay doğrultusunun azimutu (strike)
d : Fay Düzleminin derinliği
L : Fay Düzleminin Uzunluğu
W : Fay Düzleminin Genişliği
SS : Kayma vektörünün fay doğrultusu yönündeki bileşeni (strike-slip)
DS : Kayma vektörünün fay doğrultusuna dik yöndeki bileşeni (dip-slip)
x,y : Fay düzlemi koordinat sistemi eksenleri. x, fay doğrultusu boyunca, y, ona dik doğrultuda olacak şekildedir.
r : Kayma vektörünün yönü (rake). Bu açı fay düzlemi üzerindeki yerdeğiştirmeyi bileşenlerine ayırmak için kullanılabilir. DS = S.cos (r) , SS = S. sin (rake) .

Şekil 1. Deprem kaynağının dislokasyon ile modellenmesi ve parametrizasyonu (Aktuğ, 2003)

$$d' = \eta \sin\delta - q\cos\delta \qquad (12)$$

$$q = x_2 \sin\delta - (d - x_3)\cos\delta \qquad (13)$$

$$q_0 = q - x_3 \cos\delta \qquad (14)$$

Burada, U_i kayma vektörü (slip) bileşenlerini, *y'* ve *d'* fay düzleminin noktanın orijini ifade ettiği ve fay düzlemine paralel bir koordinat sistemindeki koordinatlarını, 'ξ, η, q' fay düzlemi başlangıç noktasının fay düzlemi koordinat sistemi üzerindeki koordinatlarını, *R*, fay başlangıç noktasının orijine olan uzaklığını ifade etmektedir. Potansiyel değişimi hesaplandıktan sonra, gravite değişimi potansiyelin değişiminin düşey yöndeki (x_3) türevi alınarak aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$\Delta g(x_1, x_2) = \{\rho G\left[U_1 S_g(\xi,\eta) + U_2 D_g(\xi,\eta) + U_3 T_g(\xi,\eta)\right] + \Delta\rho G U_3 T_g(\xi,\eta)\} \| - \beta\Delta h(x_1, x_2) \qquad (15)$$

Burada;

$$S_g(\xi,\eta) = -\frac{q\sin\delta}{R} - \frac{q^2\cos\delta}{R(R+\eta)} \qquad (16)$$

$$D_g(\xi,\eta) = 2I_2\sin\delta - \frac{q\,d'}{R(R+\xi)} \qquad (17)$$

$$T_g(\xi,\eta) = 2I_2\cos\delta + \frac{qy'}{R(R+\xi)} + \frac{q\xi\cos\delta}{R(R+\eta)} \qquad (18)$$

$$C_g(\xi,\eta) = 2I_2\cos\delta - \sin\delta(1-2\upsilon)\log(\xi+R) \qquad (19)$$

Şeklindedir.

(13) eşitliğinin son terimindeki yükseklik değişimi ise Okada (1985) tarafından aşağıdaki şekilde verilmektedir

$$\Delta h(x_1, x_2) = \frac{1}{2\pi}[U_1 S_k(\xi,\eta) + U_2 D_k(\xi,\eta) + U_3 T_k(\xi,\eta)] \qquad (20)$$

Burada;

$$S_h(\xi,\eta) = \frac{d'q}{R(R+\eta)} - \frac{q\sin\delta}{R+\eta} + I_4\sin\delta \qquad (21)$$

$$D_h(\xi,\eta) = \frac{d'q}{R(R+\xi)} - \sin\delta.\tan^{-1}\frac{\xi\eta}{qR} + I_5\sin\delta.\cos\delta \qquad (22)$$

$$T_h(\xi,\eta) = y'q/R(R+\xi) - I_5\sin^2\delta + \cos\delta.(\xi\,q/R(R+\eta) - \tan^{-1}\frac{\xi\eta}{qR}) \qquad (23)$$

$$y' = \eta\cos\delta + q\sin\delta \qquad (24)$$

$$I_4(\xi,\eta) = (1-2\upsilon)\left[\ln\left(R+d'\right) - \sin\delta.\ln\left(R+\eta\right)\right]\sec\delta \qquad (25)$$

$$I_5(\xi,\eta) = 2(1-2\upsilon)I_1\sec\delta \qquad (26)$$

4. Depremlerle Oluşan Kümülatif Yükseklik ve Gravite Değişimi

Kalafat vd. (2008) tarafından verilen yöntemle belirlenmiş 1938-2008 yılları arasında moment

tensör çözümü olan 738 adet (3.0 < Mw < 7.7) deprem (Şekil 2) kullanılarak düzlem dislokasyon için kullanılabilecek deprem kaynak parametreleri elde edilmiştir. Kullanılan depremlerden Mw ≥ 6.2 olan 53 depremin kaynak parametreleri Çizelge 1'de verilmektedir.

Moment tensör çözümlerinden düzlem kaynak parametrelerinin hesaplanması için Kanamori ve Anderson (1975) ile Wells ve Coppersmith (1994) tarafından verilen ampirik dönüşümler kullanılmış ve potansiyel, gravite ve yükseklik değişimleri GeodSuit (2017) tarafından verilen uygulama ile hesaplanmıştır.

Kanamori ve Anderson'a (1975) göre sismik moment, düzlem kaynak parametrelerine bağlı olarak

$$M_0 = \mu LWU \tag{27}$$

ile verilir. Burada, μ, rijidite modülüdür (genel kabule göre 33 GPa). Buna göre, fay düzlemi üzerindeki kayma miktarı,

$$U = M_0 / (\mu LW) \tag{28}$$

İle hesaplanır. Kanamori ve Anderson (1975), fay düzleminin uzunluğuna (*L)* bağlı olarak deprem büyüklüğünü izleyen bağıntıyı vermiştir,

$$M = \log(L^2) \tag{29}$$

Fayın uzunluğu ve fay üzerindeki kayma miktarının hesaplanması için sismik moment, Hanks ve Kanamori'nin (1979) aşağıdaki bağıntısından hesaplanabilir

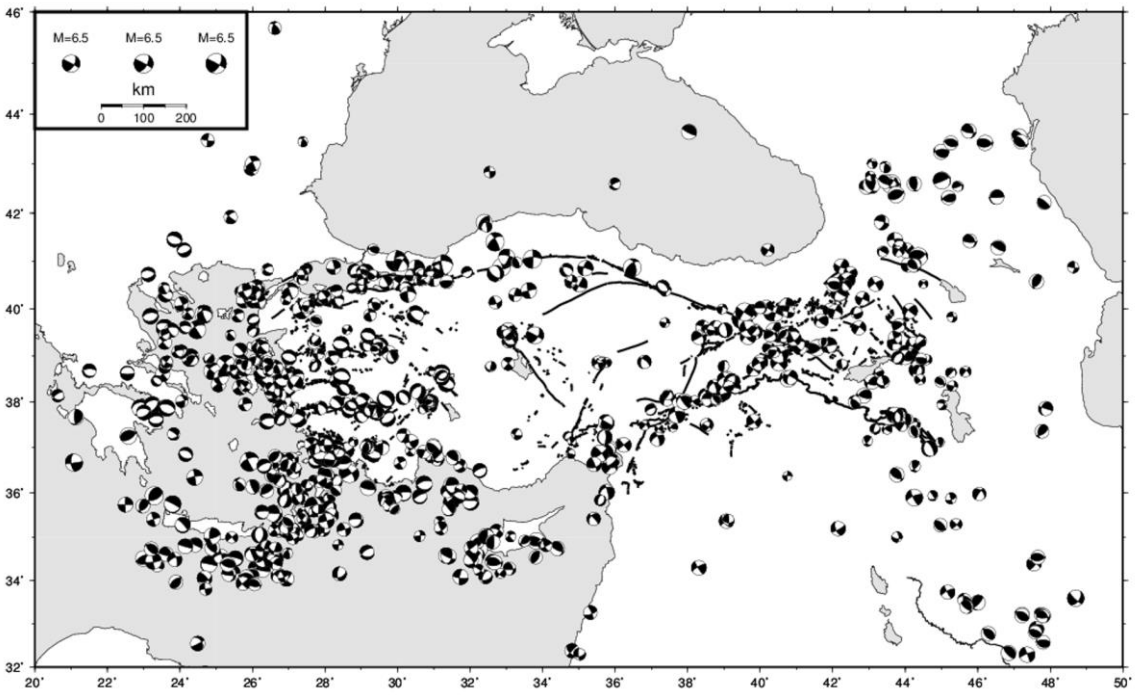
$$M = \frac{2}{3}\log M_0 \text{-}10.7 \tag{30}$$

Wells ve Coppersmith (1994), fay uzunluğu ve kayma miktarı için aşağıdaki bağıntıları vermiştir

$$M = -3.22 + 0.69\log(L) \tag{31}$$

$$\log(U) = -5.46 + 0.82M \tag{32}$$

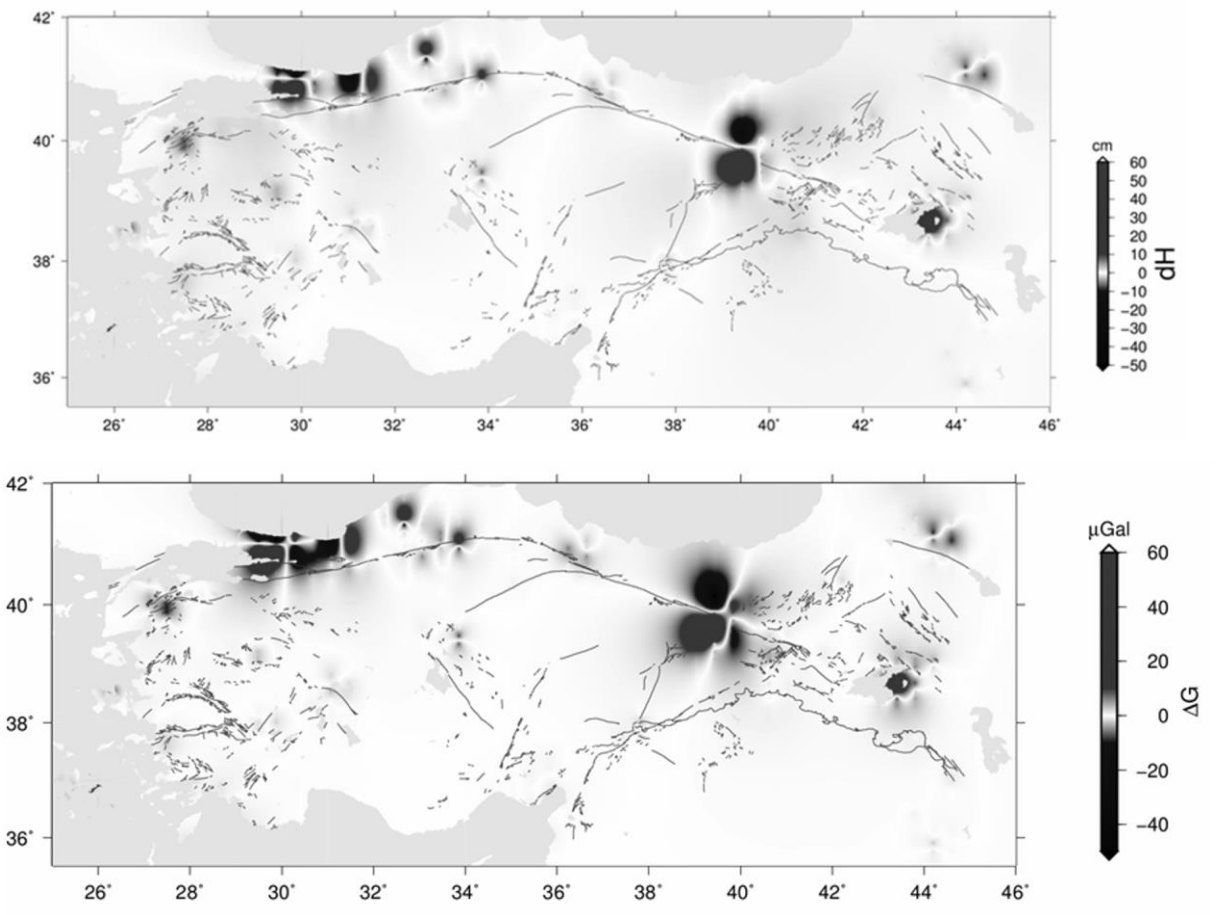
Yukarıdaki ampirik bağıntılar ile belirlenen düzlem kaynak parametreleri kullanılarak hesaplanan kümülatif yükseklik değişimleri ve gravite değişimleri Şekil 3'de verilmektedir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan depremlerin moment tensör çözümü ile belirlenen kaynak parametreleri. Kaynak parametreleri Kalafat vd. (2011) den alınmıştır.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan depremlerden Mw ≥ 6.2 olanların moment tensör çözümü ile belirlenen kaynak parametreleri

NO	TARİH	SAAT	ENLEM (º)	BOYLAM (º)	DERİNLİK (km)	Mw	Azimut (º)	Dalım Açısı (º)	Kayma Açısı (º)
1	26.12.1939	23:57	39.80	39.51	20	7.6	200	61	4
2	17.08.1999	00:01	41.01	29.97	17	7.6	91	87	164
3	12.11.1999	16:57	40.93	31.25	18	7.2	170	80	-36
4	09.07.1956	03:11	36.69	25.92	10	7.0	154	83	-29
5	29.04.1991	09:12	42.60	43.61	22	7.0	87	53	77
6	19.12.1981	14:10	38.81	25.27	10	6.9	312	82	17
7	26.11.1943	22:20	41.05	33.72	10	6.8	269	73	173
8	01.02.1944	03:22	41.41	32.69	10	6.8	332	77	31
9	18.03.1953	19:06	39.99	27.36	10	6.8	150	84	14
10	07.12.1988	07:41	41.10	44.36	15	6.8	59	67	66
11	09.10.1996	13:10	34.50	32.09	23	6.8	140	80	13
12	08.01.2006	11:35	35.93	23.29	64	6.8	66	55	119
13	20.12.1942	14:03	40.87	36.47	10	6.7	345	57	42
14	25.04.1957	02:25	36.42	28.68	80	6.7	58	85	19
15	26.05.1957	06:33	40.67	31.00	10	6.7	87	78	176
16	06.08.1983	15:43	39.89	24.66	10	6.7	138	84	-9
17	13.03.1992	17:18	39.94	39.57	15	6.7	123	86	175
18	13.08.1951	18:33	40.88	32.87	10	6.6	348	83	-20
19	18.01.1982	19:27	39.56	24.47	10	6.6	148	87	-33
20	16.07.1955	07:07	37.65	27.26	40	6.5	292	55	-49
21	24.04.1957	19:10	36.43	28.63	80	6.5	346	76	152
22	26.07.2001	00:21	38.96	24.29	15	6.5	238	89	-166
23	03.02.2002	07:11	38.62	31.21	15	6.5	66	55	-104
24	19.04.1938	10:59	39.44	33.79	10	6.4	298	87	150
25	20.06.1943	15:32	40.85	30.51	10	6.4	176	76	2
26	23.07.1949	15:03	38.57	26.29	10	6.4	250	56	-149
27	10.09.1953	04:06	34.72	32.24	6	6.4	27	73	144
28	23.10.1992	23:19	42.67	45.01	15	6.4	67	83	80
29	01.10.1995	15:57	38.06	29.68	15	6.4	310	60	-88
30	01.05.2003	00:27	39.04	40.53	15	6.4	239	82	-24
31	20.02.2008	18:27	36.67	21.08	20	6.4	83	86	-29
32	15.07.2008	03:26	35.70	27.68	35	6.4	356	47	-173
33	24.11.1976	12:22	39.05	44.04	10	6.3	107	78	4
34	20.06.1978	20:03	39.60	23.58	10	6.3	104	47	-92
35	25.02.1981	02:35	37.87	22.91	10	6.3	40	64	-113
36	04.03.1981	21:58	37.93	23.25	10	6.3	39	55	-114
37	27.12.1981	17:39	38.67	24.89	10	6.3	309	89	33
38	15.06.1991	00:59	42.58	43.07	15	6.3	16	58	130
39	27.06.1998	13:55	36.87	35.58	30	6.3	53	81	15
40	20.02.1956	20:31	39.89	30.49	40	6.2	264	50	-133
41	23.05.1961	02:45	36.70	28.49	70	6.2	269	28	90
42	15.09.1961	01:46	34.91	33.83	15	6.2	298	55	112
43	18.09.1963	16:58	40.77	29.12	40	6.2	152	40	-32
44	06.10.1964	14:31	40.30	28.23	34	6.2	292	36	-90
45	22.07.1967	16:56	40.67	30.69	33	6.2	93	90	176
46	28.03.1970	21:02	39.21	29.51	18	6.2	308	35	-90
47	06.09.1975	09:20	38.51	40.77	32	6.2	250	54	43
48	18.12.1980	12:34	35.89	44.25	15	6.2	154	79	163
49	30.10.1983	04:12	40.35	42.18	16	6.2	215	64	7
50	21.06.1984	10:43	35.74	23.80	34	6.2	298	85	-86
51	20.07.1996	00:00	36.07	26.92	15	6.2	30	53	-81
52	22.01.2002	04:53	35.53	26.59	90	6.2	271	89	-58
53	06.01.2008	05:14	37.26	22.58	42	6.2	60	55	80



Şekil 3. Son seksen yılda meydana gelen depremlerle oluşan kümülatif yükseklik (a) ve gravite (b) değişimleri

5. Sonuç ve Öneriler

En büyük yükseklik değişimi 1939 Erzincan depremi ve 1999 İzmit depreminin olduğu bölgede meydana gelmiştir. 2011 Van depremi de önemli ölçüde değişim yaratmıştır. Bunun en önemli nedeni Van Depreminin bindirme bir fay üzerinde meydana gelmiş olmasıdır. Türkiye Temel Gravite Ağı-1999 (TTGA-99) l'inci derece nokta gravite değerleri için ±0.0038 – 0.0086 mGal standart sapma değerleri elde edilmiştir (Demir vd. 2006). Elde edilen kümülatif gravite değişimlerinin -58 ile +69 μGal mertebesinde olduğu düşünüldüğünde, 1. derece ağın duyarlığın on katı düzeyinde bir deformasyon meydana geldiği gözükmektedir. Bununla birlikte, kümülatif gravite değişimleri 1938-2008 yılları arasında moment tensör çözümü olan 738 adet depremi ve 2011 Van depremini kapsamaktadır. Bu anlamda, mevcut ağ gözlemlerinin önemli bölümü, eski depremlerden sonra yapıldığından mevcut ağda toplam değişim daha azdır. Ancak, bu durum 80 yıllık bir süre içerisinde meydana gelebilecek sismik etkileri göstermesi bakımından önemlidir. Yükseklik değişimlerinin ise -47 cm ile +49 cm aralığında olması ve nivelman ağının gözlemlerinin göreli olarak daha eski olup depremlerin önemli bölümünü içermesi, mevcut ağın önemli miktarda deforme olduğunu göstermektedir. Buna karşın jeoidin değişimi ±1 mm düzeyindedir. Jeoid, sismik etkilere karşı çok daha dirençlidir. Bindirme faylarında büyüklüğü 9 olan depremlerde dahi jeoid değişimi 10 cm altındadır. Örneğin, 600 km fay üzerinde meydana gelen 1964 Alaska Depremi (M9.2) bile jeoidi 10 cm değiştirmiştir. Gravite değişimlerinin %50-%70'lik kısmı yükseklik değişiminden kaynaklanmaktadır, depremle meydana gelen yoğunluk değişimi de gravite üzerinde %30-%50 düzeyinde etkiye sahiptir. Bu nedenle, depremle meydana gelen gravite değişimlerinin sadece yükseklik değişimleri ile hesaplanması yanlış sonuç verebilmektedir. Teorik olarak kümülatif gravite değişimlerinin Bouger anomalilerinde de (Kılıçoğlu

vd. 2010, 2011) izlenmesi gerekmektedir. Yükseklik etkisinden arındırılmış kümülatif gravite değişimlerinin Bouger anomalileri ile karşılaştırılması ve çalışma ölçeğinin söz konusu benzerlikleri taşıyabileceği şekilde seçilmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Yazarlar makalenin geliştirilmesi yönünde yaptıkları yapıcı eleştiriler için editör ve ismi belirtilmeyen iki hakeme teşekkür ederler. Haritalar Generic Mapping Tools (GMT-5.4.2) yazılımı ile hazırlanmıştır (Wessel ve Smith 1991, 1995, 1998, Wessel vd. 2013)

Kaynaklar

Aktuğ, B., 2003. Elastik Yarı-Uzay Modelleri ve Depremsel Koordinat Değişimlerine Dinamik Bir Yaklaşım. *Harita Dergisi*, **129**, 1-16.

Aktuğ, B. , Sezer, S., Özdemir, S., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., 2011. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı Güncel Koordinat ve Hızlarının Hesaplanması, *Harita Dergisi*, **145**, 1-14.

Aktuğ, B. (2017). Gravite ve Nivelman Ağları ile Jeoidin Depremsel Deformasyonu, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 03.05.2017 - 06.05.2017, Beytepe Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara.

Ayhan, M.E., Demir, C. Ve Alas, B., 1992. Türkiye Temel Gravite Ağı 1956 (TTGA-56)'nın Yeniden Dengelenmesi, *Harita Dergisi*, **108**, 43-58.

Demir, C. Ve Cingöz, A., 1999. Türkiye Ulusal Düşey Kontrol Ağı (TUDKA-99). İç Rapor No: Jeof-99-2, Jeodezi Dairesi Başkanlığı, HGK, Ankara (yayımlanmamış), 1999.

Demir, C., Kılıçoğlu, A. ve Fırat, O., 2006. Türkiye Temel Gravite Ağı-1999 (TTGA-99). *Harita Dergisi*, **136**, 49.

GeodSuit, 2017. GeodSuit Dislokasyon Modülü Kullanım Kılavuzu, Ankara.

Hanks, T.C. and Kanamori, H., 1979. A moment magnitude scale. *Journal of Geophysical Research*, **84**, 2348-2350.

Kalafat, D., Güneş, Y., Kekovalı, K., Kara, M., Deniz, P. and Yılmazer, M., 2011. A revised and extented earthquake cataloque for Turkey since 1900 (1900-2010; M>4.0), Bogaziçi University Publication No: 10499, Bebek-İstanbul, 1-640.

Kalafat, D., Kekovalı, K. and Pınar, A., 2008. A Catalogue of Source Parameters of Moderate and Strong Earthquakes for Turkey and Surrounding Area. *Geophysical Research Abstracts*, **10**, EGU2008-A-07256, 2008, EGU General Assembly 2008, 13-18 April 2008, Vienna, Austria.

Kanamori, H. and Anderson, D.L., 1975. Theoretical basis of some empirical relations in seismology. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **65**, 1073-1095.

Kılıçoğlu, A., Direnç, A., Yıldız, H., Bölme, M., Aktuğ, B., Simav, M. and Lenk, O., 2011. Regional gravimetric quasi-geoid model and transformation surface to national height system for Turkey (THG-09), *Studia Geophysica et Geodaetica*, **55**, 557-578.

Kılıçoğlu, A., Lenk, O., Direnç, A., Simav, M., Yıldız, H., Aktuğ, B., Türkezer, A., Göçmen, C., Paslı, E. ve Akçakaya, M., 2010. Türkiye İzostatik Gravite Anomali Haritası. *Harita Dergisi*, **144**, 1-19.

Morelli, C., Gantar, C., McConnell, R.K., J.G., Szobo, B., Uotila, U. and Whalen, C.T., 1974. The International Gravity Standardization Net 1971 (I.G.S.N. 71), IAG Special Publication No. 4, Paris, France.

Okada, Y., 1985. Surface Deformation Due to Shear And Tensile Faults in a Half-Space. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **75**, 1135-1154.

Okubo, S., 1993. Reciprocity theorem to compute the static deformation due to a point dislocation buried in a spherically symmetric earth. *Geophysical Journal International*, **115**, 921-928.

Wells, D.L., and Coppersmith, K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **84**, 974–1002.

Wessel, P. and Smith, W.H.F., 1991. Free software helps map and display data. *Eos Transactions American Geophysical Union*, **72**, 441.

Wessel, P. and Smith, W.H.F., 1995 New version of the Generic Mapping Tools released. *Eos Transactions American Geophysical Union*, **76**, 329.

Wessel, P. and Smith, W.H.F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released. *Eos Transactions American Geophysical Union*, **79**, 579.

Wessel, P., Smith, W.H.F., Scharroo, R., Luis, J.F. and Wobbe, F., 2013. Generic Mapping Tools: Improved version released. *Eos Transactions American Geophysical Union*, **94**, 409-410.