

Türkiye’de Gravite ve Nivelman Ağları ile Jeoidin Depremisel Deformasyonu

Bahadır Aktuğ

Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 06830, Gölbaşı, Ankara.

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 ila +69 μGal mertebesinde, yükseklik değişimlerinin ise -47 cm ile +49 cm aralığında olduğu görülmektedir. Buna karşın jeoidin değişimi ± 1 mm düzeyindedir.

Anahtar Sözcükler

Deprem, Jeoid, Gravite, Nivelman Ağları, Deformasyon

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.

Keywords

Earthquake, Geoid, Gravity, Levelling Networks, Deformation

1. Giriş

Yerdeğiştirmelerin aksine, gravite, jeopotansiyel ve jeoid üzerindeki deprem etkileri ülkemizde yeterince çalışılmamıştır. 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. Nivelman ve Gravite ağları ile Jeoid Depremisel 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)’de verilmiştir (Şekil 1).

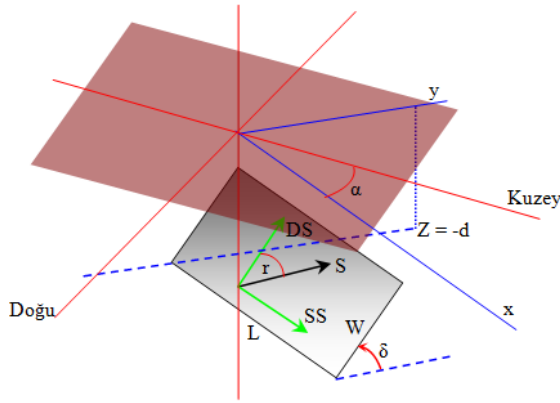
Noktasal kaynağın sebep olduğu deplasman alanından, dörtgen bir alanın sebep olacağı deplasman alanını elde etmek için, fay düzleminin uzunluğu (L) ve genişliği (W)’ne bağlı integral çözümü yapmak gereklidir. Buna göre;

$$\int_x^{x-L} d\xi \int_p^{p-W} d\eta \quad (1)$$

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:

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

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.



| | |
|----------|---|
| 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. $DS = S \cdot \cos(r)$, $SS = S \cdot \sin(rake)$. |

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

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

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

Burada,

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

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

$$C_p(\xi, \eta) = -\xi \log(R + \eta) - \eta \log(R + \xi) - 2q I_2 \quad (6)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

şeklinde. Burada, U_i kayma vektörü (slip) bileşenleri, δ Eğim Açısı (dip angle), y' ve d' fay düzleminin noktanın orijini ifade ettiği ve fay düzlemine paralel bir koordinat sistemindeki koordinatları, ξ, η, q fay düzlemi başlangıç noktasının fay düzlemi koordinat sistemi üzerindeki koordinatları, R , fay başlangıç noktasının orijine olan uzaklığı ifade etmektedir. Potansiyel değişimi hesaplandıktan sonra, gravite değişimi potansiyelinin düşey yöndeki (x_3) türevi alınarak aşağıdaki şekilde bulunabilir:

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

Burada;

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

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

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

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

(13) eşitliğinin son terimindeki yükseklik değişimi ise (Okada, 1985)'de aşağıdaki şekilde verilmektedir.

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

Burada;

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

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

$$T_h(\xi, \eta) = \frac{y' q}{R(R + \xi)} + \cos \delta \cdot \left[\frac{\xi q}{R(R + \eta)} - \tan^{-1} \frac{\xi \eta}{q R} \right] - I_5 \sin^2 \delta \quad (23)$$

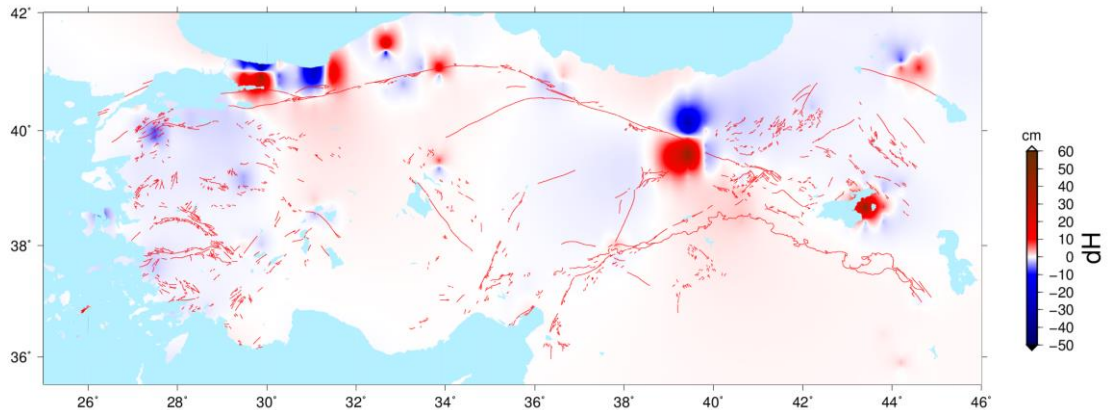
$$y' = \eta \cos \delta + q \sin \delta \quad (24)$$

$$I_4(\xi, \eta) = (1 - 2\nu) [\ln(R + d') - \sin \delta \cdot \ln(R + \eta)] \sec \delta \quad (25)$$

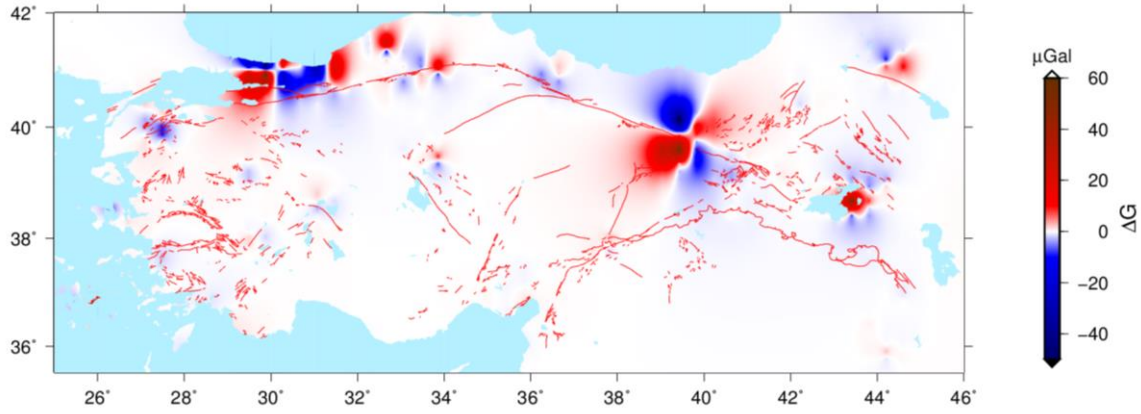
$$I_5(\xi, \eta) = 2(1 - 2\nu) I_1 \sec \delta \quad (26)$$

3. Nivelman ve Gravite ağırları ile Jeoid Depremesel Değişimi

Kalafat ve diğ. (2008)'de verilen yöntemle belirlenmiş 1938-2008 yılları arasında moment tensör çözümü olan 738 adet deprem kullanılarak düzlem dislokasyon için kullanılabilir deprem kaynak parametreleri elde edilmiştir. Moment tensör çözümlerinden düzlem kaynak parametrelerinin hesaplanması için Kanamori ve Anderson (1975) ile Wells and Coppersmith (1994) tarafından verilen amprik dönüşümler kullanılmış ve potansiyel, gravite ve yükseklik değişimleri GeodSuit (2017)'de verilen uygulama ile hesaplanmıştır. Hesaplanan kümülatif yükseklik değişimleri Şekil 1'de, gravite değişimleri ise Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 1. Son seksen yılda meydana gelen depremlerle oluşan kümülatif yükseklik değişimleri



Şekil 2. Son seksen yılda meydana gelen depremlerle oluşan kümülatif gravite değişimleri

4. 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) 1'inci derece nokta gravite değerleri için $\pm 0.0038 - 0.0086$ mGal standart sapma değerleri elde edilmiştir (Demir ve diğ., 2006). Elde edilen kümülatif gravite değişimleri -58 ila $+69$ μ Gal mertebesinde olduğu düşünüldüğünde, 1. derece ağı duyarlığın on katı düzeyinde bir deformasyon meydana geldiği gözükmektedir. Bununla birlikte, kümülatif gravite değişimleri 1938-2008 yıllarını ve de 2011 Van depremini kapsamaktadır. Bu anlamda, mevcut ağı gözlemlerinin önemli bölümü, eski depremlerden sonra yapıldığından mevcut ağıda 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 ağı gözlemlerinin görece olarak daha eski olup depremlerin önemli bölümünü içermesi, mevcut ağı 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. Gravite değişimlerinin %50-%70 lik kısmı yükseklik değişiminden kaynaklanmaktadır. Teorik olarak kümülatif gravite değişimlerinin Bouger anomalilerinde (Kılıçoğlu ve diğ., 2011) de izlenmesi gerekmektedir. Yükseklik etkisinden arındırılmış kümülatif gravite değişimlerinin Bouger anomalileri ile karşılaştırılması ve çalışma ölçeğinin söz konusu benzerlikleri taşıyabileceği şekilde seçilmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Aktuğ, B., 2003. "Elastik Yarı-Uzay Modelleri ve Depresel Koordinat Değişimlerine Dinamik Bir Yaklaşım", Harita Dergisi, 129, 1-16.
- Demir, C., A.Kılıçoğlu, O.Fırat, 2006, Türkiye Temel Gravite Ağı-1999 (TTGA-99), Harita Dergisi, Sayı 136, S. 49.
- GeodSuit (2017). GeodSuit Dislokasyon Modülü Kullanım kılavuzu, Ankara.
- Kalafat, D., Güneş, Y., Kekovalı, K., Kara, M., Deniz, P., Yılmaz, M., 2011. A revised and extended earthquake catalogue for Turkey since 1900 (1900-2010; $M > 4.0$), Bogaziçi University Publication No: 10499, ISBN 978-975-518-331-2 640p., Bebek-İstanbul.
- Kalafat, D., K. Kekovalı, A. Pınar (2008). A Catalogue of Sources Parameters of Moderate and Strong Earthquakes for Turkey and Surrounding Area, Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-07256, 2008, EGU General Assembly 2008, 13-18 April 2008, Vienna, Austria.
- Kılıçoğlu, A., Lenk, O., Direnç, A., Simav, M., Yıldız, H., Aktuğ, B., Türker, A., Göçmen, C., Paslı, E., Akçakaya, M. (2010) Türkiye İzostatik Gravite Anomali Haritası, Harita Dergisi, 144, 1-19.
- Okada, Y., 1985. Surface Deformation Due to Shear And Tensile Faults In A Half-Space. Bull. Seismol. Soc. Am. Vol.75, 1135-1154, 1985.
- Kanamori, H., and Anderson, D.L. (1979). Theoretical basis of some empirical relations in seismology, Bull. Seismol. Soc. Am., 49, 65, 1073-1095, 1979.
- Wells, D. L., and K. J. Coppersmith (1994), New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement, Bull. Seismol. Soc. Am., 84, 974-1002.