

ELASTİK ATIM TEORİSİ: KUZEY ANADOLU FAY ZONU ÖRNEĞİ

Fatih Poyraz¹, Orhan Tatar², Kemal Özgür Hastaoğlu¹, Tarık Türk¹, Önder Gürsoy⁴, İsmail Ercüment Ayazlı³

¹CÜ, Cumhuriyet Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh.Bölümü, Sivas, fpoyraz@cumhuriyet.edu.tr, khastaoglu@cumhuriyet.edu.tr

²ÇOMÜ, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Jeoloji Müh.Bölümü, Çanakkale, orhantatar@comu.edu.tr

³YTÜ, Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Müh.Bölümü, Esenler, İstanbul, eayazli@yildiz.edu.tr

⁴İTÜ, İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Müh.Bölümü, Maslak, İstanbul, ogursoy@itu.edu.tr

ÖZET

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) bir çok bilim adamı için araştırma konusu olmuştur. KAFZ boyunca farklı çalışma gruplar tarafından birçok jeodezik ağ tesisi yapılmış ve jeodezi disiplini tarafından KAFZ'in depremselliği incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında analizlerde kullanılacak GPS verileri DPT 2006K 120220 no'lu projesinden sağlanmıştır. Bu proje kapsamında çalışma sahası batıda Tokat (Erbaa), doğuda Erzincan (Çayırılı), Kuzeyde Gümüşhane (Kelkit) ve Ordu (Gürgentepe), Güneyde ise Tokat (Çördük) ve Sivas yerleşkeleri arasında (Toplam yüzölçümü 69.437 Km²) kalmaktadır. Bu çalışmada Sivas Merkez (SIVA), Sivas Doğanşar (DOSA), Sivas İmranlı (IMRN), Tokat Çördük (CRDK), Pınarbeyli (PBYL), Ataköy (ATKY), Teknealan (TALN), Koşutdere (KSDR), noktalarını içeren bir kesit alınarak elastik atım modeli incelenmiştir. Kesit oluşturulurken, yaklaşık konumları fay doğrultusunu dik kesen noktalar seçilmiştir. KAFZ'da depremlerin derinlik dağılımına bakarak bu zonun derinliğinin ortalama olarak 15 km civarında olduğu bilinmektedir.

Anahtar Sözcükler: GPS, KAFZ, Elastik Atım Teorisi

ABSTRACT

ELASTIC REBOUND THEORY: A CASE STUDY IN THE NORTH ANATOLIAN FAULT ZONE

North Anatolian Fault Zone (NAFZ) has been a research topic for a lot of scientists. Through NAFZ, different work groups has built different geodesic networks and it has been investigated in geodesic discipline point of view for it's seismicity. GPS values used in this research for analyzing purposes has been obtained from the research, DPT 2006K with number 120220. Within this research, the boundaries of this research consist of Tokat (Erbaa) on West, Erzincan (Çayırılı) on East, Gümüşhane (Kelkit)/Ordu (Gürgentepe) on North and Tokat (Çördük) as well as Sivas campus on South and has a total of 69.437 km² area. In this research a section has been taken using the points in Sivas Merkez (SIVA), Sivas Doğanşar (DOSA), Sivas İmranlı (IMRN), Tokat Çördük (CRDK), Pınarbeyli (PBYL), Ataköy (ATKY), Teknealan (TALN), Koşutdere (KSDR) and using them, elastic rebound theory has been investigated. While constructing the section, estimated locations which do cross vertically to the fault strike has been chosen. In NAFZ, with looking into the earthquake depth distribution, it's already known the this zone's average depth is approximately 15 km.

Keywords: GPS, NAFZ, Elastic rebound theory.

1. GİRİŞ

Kuzey Anadolu Fay Zonu tarihsel ve aletsel dönemlerde üzerinde birçok yıkıcı büyük depremlerin meydana geldiği ülkemizin en aktif fay zonlarından birisidir. Bu fay zonu üzerinde 1939-1999 yılları arasında meydana gelmiş ve doğudan batıya doğru göç etmiş bir deprem serisi vardır. Çalışma alanını oluşturan Erzincan Havzası ve Erbaa arası, 1939, 1942 ve 1992 yıllarında gerçekleşen depremler ile oldukça şiddetli hasar görmüştür. Erzincan havzası ve yakın çevresinde, birbiri ile eşlenik geometri oluşturan Kuzey Anadolu Fay (KAF) kuşağı, Kuzeydoğu Anadolu Fayı (KDAF) ve Ovacık Fayı (OF) bu yörenin en önemli tektonik yapılarını oluşturmaktadır. Tarihsel depremlerin çokluğu bu üç ana fayın hareketleri ile yakından ilgilidir (Kaypak ve Eyidoğan, 2002).

1939 Erzincan depremi Türkiye'de olmuş en büyük deprem (Mw:7.9) olup, 32962 kişi hayatını bu depremde kaybetmiştir. Bu depremde Erzincan'dan Erbaa'ya, oradan da Amasya'ya kadar uzanan yaklaşık 360 km uzunlukta yüzey kırığı meydana gelmiştir (Ketin, 1976). Faylar segmentler (birbirinin devamı şeklindeki fay parçaları) şeklinde olabirler (Tüysüz 1999). 26 Aralık 1939 Büyük Erzincan depremi yüzey kırığı, KAF'nın doğuya doğru uzantısından 4-5 km'lik açılmalı sıçrama yaparak Erzincan havzasını oluşmasına da yol açan segmentle başlar. 60 km kadar devam eden fay, yaklaşık 20°'lik sıkışmalı bir büküm yaparak batıya, Erzincan havzasının 10 km kuzeybatısından Suşehri'ne doğru 110 km boyunca uzanır. Burada sağa sıçrayarak çek-ayır tipi bir havza oluşturan fay, 125 km düz bir şekilde devam ettikten sonra Niksar havzasının güneydoğusunda 15° sıkışmalı bir büküm yaparak Amasya güneyine doğru 90 km daha uzanır ve sonlanır (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988).

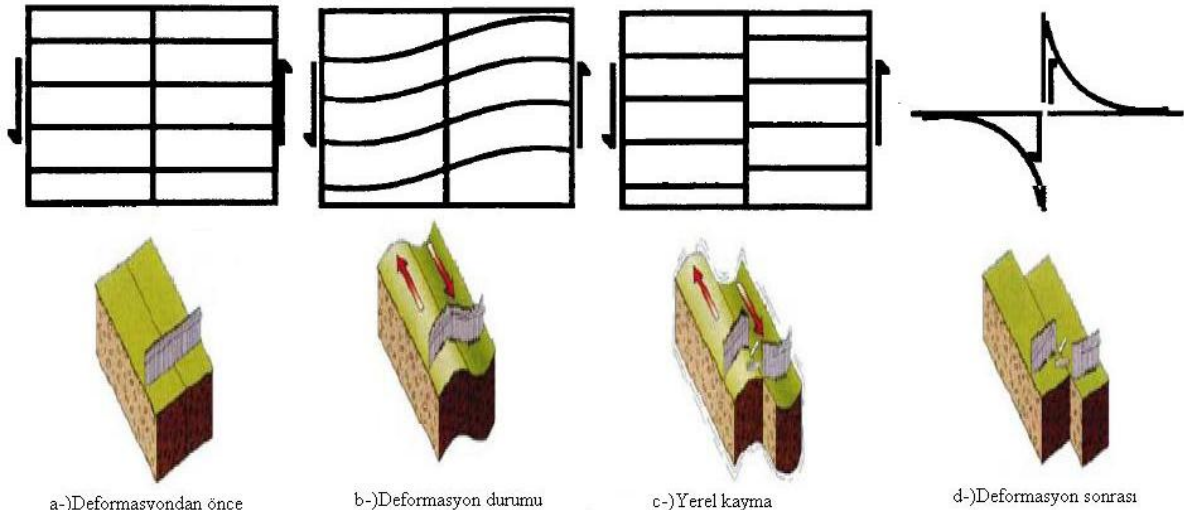
20 Aralık 1942 yılında Erbaa-Niksar civarında meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki deprem sonucunda yaklaşık 50 km uzunluğunda yeni bir yüzey kırığı meydana gelmiş olup atım değerleri 1.5-2 m arasında değişmektedir. 1942 depremi

yüzey kırığı 3 ayrı segmentten oluşmaktadır. Doğu segment Niksar batısında Çimenözü-Abdalkolu köyleri arasında, orta segment Abdalkolu-Buzköy arasında uzanır. Batı segment ise Buzköy batısında açılmalı bir sekme (stepover) ile Tepekişla ve Çatılı köylerine kadar uzanır. Kırık boyunca 8 noktada yerdeğiştirmeye ilişkin veriler gözlenmiş olup, ötelenme değeri 1.5 – 2 m arasında değişmektedir (Tatar, vd., 2006). 13 Mart 1992 Erzincan depremi ana sarsıntısı ($M_w=6.9$), geniş, karmaşık ve kalın tortul içeren bir açılma-genişleme havzası niteliğinde olan Erzincan havzasında olmuştur (Tatar, vd.,1993).

Türkiye’de GPS ile kabuk hareketlerin belirlenmesine yönelik çalışmalar, 90’lı yılların başlarında yapılmaya başlanmıştır. GPS ile yapılan çalışmaların büyük kısmı KAFZ’da yapılmıştır. KAFZ boyunca bugüne kadar jeodezik, jeolojik ve sismolojik farklı yöntem ve veriler kullanılarak 5 mm-110 mm arasında değişen hareket büyüklükleri elde edilmiştir (Demir, 1999). KAFZ’ın batı kesimindeki hareketler için Barka ve Kadinsky-Cade (1988) jeolojik verilerden 5-10 mm/yıl; sismolojik veriler yardımıyla Kasapoğlu ve Toksöz (1983) 10 mm/yıl; Taymaz vd. (1991) 38 mm/yıl; Kiratzi ve Papazachos (1995) 16 mm/yıl; Pınar vd (1996) 5-6 mm/yıl değerlerini belirlemişlerdir. Straub (1996) KAFZ’ın batı kesimindeki hareketler için 16-18 mm/yıl değerini vermektedir. McClusky vd. (2000)’nin KAFZ boyunca oluşturduğu doğrusal hız ortalama $22-24 \pm 1$ mm/yıl dır. Reilinger vd. (2006) Türkiye ve çevresinin kabuksal hareketini incelemiş ve KAFZ boyunca yaklaşık 25 mm/yıl olarak belirlemiştir. Özener vd. (2010) KAFZ’ın doğu kesiminde noktaların yıllık hızlarını 16-24 mm/yıl olarak hesaplamıştır. Ayrıca Yavaşoğlu vd. (2010) yılında KAFZ’unun orta Anadolu kesiminde noktalara ait yıllık hızları 18-21 mm/yıl olarak belirlemiştir.

2. ELASTİK ATIM TEORİSİ

Deprem döngüsü ve yüzey yer değiştirmelerine ilişkin çalışmalar Reid (1911)’in elastik atılım teorisi ile başlamıştır. Buna göre, fay sınırıyla ayrılan blokların görel hareketleri, doğrusal (zamana göre) gerilim birikimi yaratmaktadır. Blokların fay sınırının altında belirli bir derinliğe kadar kilitli olması sebebiyle gerinim birikimi süresince fay sınırına yakın bölümler, fay sınırından uzak bölümler kadar yer değiştirememektedir. Yer kabuğunun geometri ve Jeolojisine bağlı olarak oluşan deprem ile gerinim boşalmakta ve fay sınırına yakın bölümler toparlanmaktadır. Daha sonra gerinim birikimi tekrar başlamakta ve döngü devam etmektedir (Turcotte ve Schubert, 1982). Bu durum sonsuz doğrultu atımlı bir sistem için Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1: Reid (1911)'in elastik atılım teorisi oluşum sırası

Şekil 5.29 (a)'da gerilme birikimi başlamadan önceki durum, (b)'de gerilim birikimi ile faya dik hatların aldığı durum, (c)'de hatların depremle birlikte elastik olarak faya dik duruma gelmesi, (d)'de depremden sonra noktaların fay sınırına yakın ve uzak oluşlarına göre yer değiştirmeleri göstermektedir (Aktuğ, 2006).

Elastik atılım teorisine göre, herhangi bir noktada komşu blokların tektonik kuvvetlerin etkisiyle zamana bağımlı olarak kaymaları sonucu oluşan elastik deformasyon enerjisi depolanır. Depolanan enerji kritik bir değere eriştiğinde fay düzlemi boyunca var olan sürtünme kuvvetini yenerek fay çizgisinin her iki tarafındaki kayaç bloklarının birbirine görel hareketlerini oluşturmaktadır. Bu olay ani yer değiştirme hareketidir. Bu ani yer değiştirmeler ise bir noktada biriken birim deformasyon enerjisinin açığa çıkması boşalması diğer bir deyişle mekanik enerjiye dönüşmesi ile yer katmanlarının kırılma ve yırtılma hareketi oluşmaktadır.

Depremlerinin oluşumunu ve deprem döngüsünü "elastik atılım teorisi" adı altında anlatımı 1911 yılında Amerikalı H.F. Reid tarafından yapılmıştır ve laboratuvarlarda da denenerek ispatlanmıştır. Buna göre depremin oluşumunda 4 ayrı aşama bulunmaktadır.

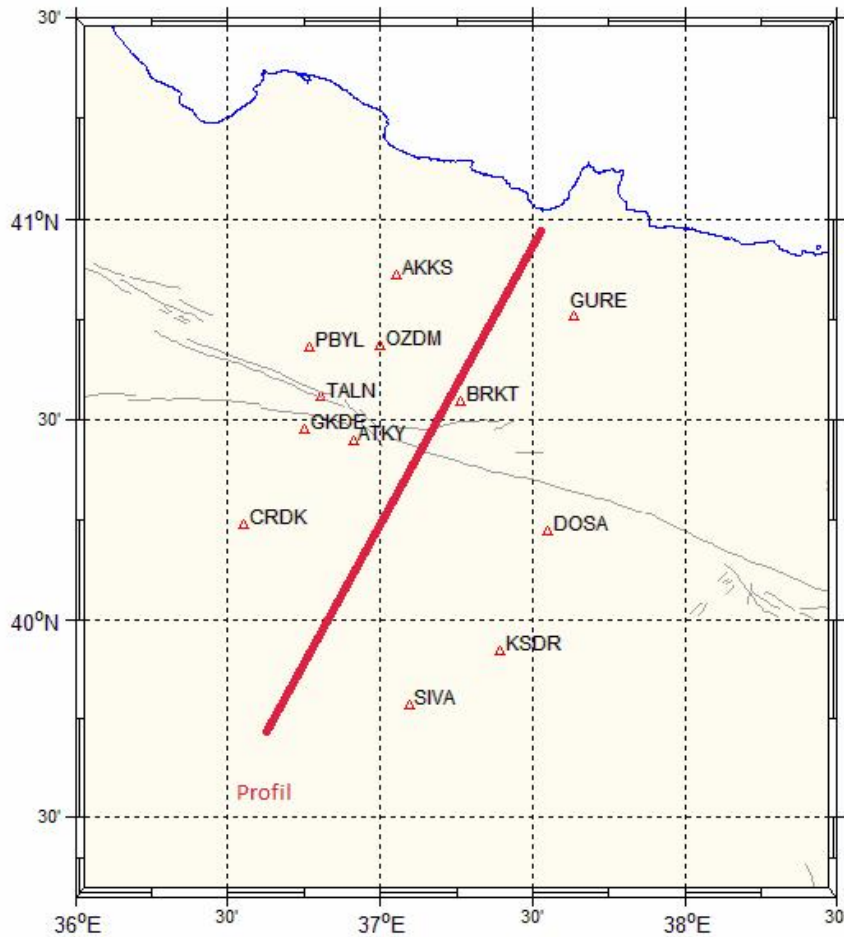
- a) İnter-Sismik Dönemi: Fay üzerinde hareketin olmadığı, ancak bölgedeki gerilim arttığı ve buna bağlı olarak da potansiyel enerjinin biriktiği dönemdir.
- b) Pre-Sismik Dönemi: Fay üzerindeki gerilmenin kritik düzeye geldiği aşamadır.
- c) Ko-Sismik Dönemi: Bu kısa dönemde potansiyel enerji hızla kinetik enerjiye dönüşür. Depremin oluşum anıdır.
- d) Post-Sismik Dönemi: Artçı sarsıntıların olduğu ve fayın yeni bir denge durumuna geldiği dönemdir. Post-sismik döneminin sonu inter-sismik döneminin başlangıcıdır.

Elastik atılım teorisi en sade haliyle sayısal olarak,

$$V(x, t) = \frac{V}{\pi} \tan^{-1} \left(\frac{x}{D} \right) \quad (1)$$

şeklinde verilmektedir (Savage ve Burford,1973).

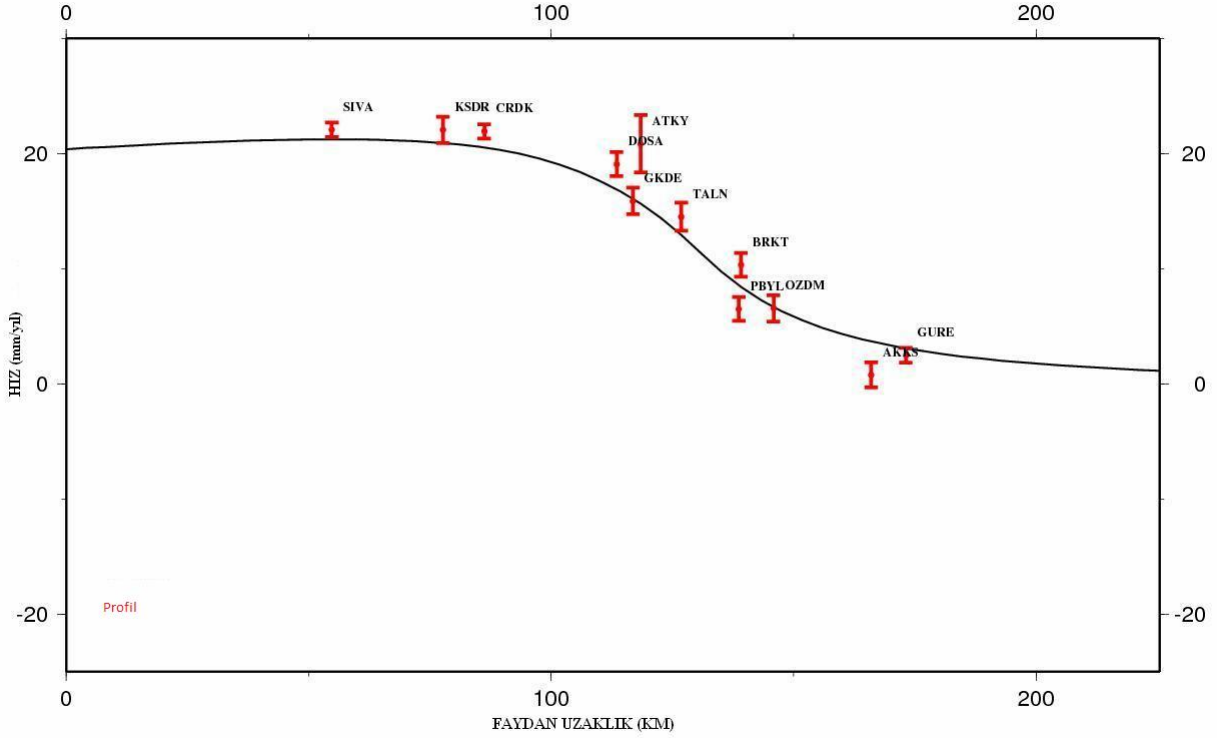
Burada v , x ve D , sırasıyla plakaların fayın kilitli olduğu derinlik altında görel hareket hızı, fay sınırına göre noktaların dik uzaklıkları ve sismojenik tabaka kalınlığıdır. Elastik atım teorisi ile ilgili (Savage, 2000; Meade, vd., 2002; Meade, 2004; Smith, 2005) çalışmalarında daha ayrıntılı olarak ele alınmıştır.



Şekil 3: Çalışma bölgesi için belirlenen yaklaşık kesit yeri

Bu çalışmada tek kesit alınarak elastik atım modeli incelenmiştir. Alınan kesitin yaklaşık yeri Şekil 2'de gösterilmiştir. KAFZ'da depremlerin derinlik dağılımına bakarak bu zonun derinliğinin ortalama olarak 15 km civarında olduğu bilindiğinden elastik atılım model uygulamasında derinlik 15 km olarak alınmıştır.

Elastik atılım modelinin gösterdiği şekillerde sağ eksen faydan uzaklığı, yukarı eksen noktaların hızlarını göstermektedir. Ayrıca, hata çubukları nokta hızlarının duyarlıklarını temsil etmektedir. Şekil 3. incelendiğinde fayın güneyinde kalan noktaların hızları 22mm/yıl olarak görülmekte faya yaklaşıldıkça bu hızların azalmakta olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3: Çalışma bölgesi için belirlenen yaklaşık kesit yeri

2. SONUÇ

Bu çalışmada uygulama bölgesindeki 12 adet GPS noktasının Avrasya plakasına göre elde edilen hız değerlerinden bölgenin gerilim birikimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda fay zonu içerisinde kalan noktalarda fayın güneyinde kalan noktalara göre daha az hız sonuçları tespit edilmiştir. Çalışma bölgesi için elde edilen hızlardan, fayın kuzeyine doğru gidildikçe daha da azaldığı ve sıfır değerini alacağı anlaşılmaktadır. Ayrıca hız değerlerinin doğudan batıya doğru büyüdükleri gözlenmiştir. Bu sonuçlar, yaklaşık 15 km fay derinliğine sahip olan çalışma bölgesinin bir gerilim birikimi olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca bölge genelinde inter-sismik dönem yani deprem öncesi gerilim birikiminin oluştuğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan GPS verileri DPT 2006K 120220 nolu projeden elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

Aktuğ, B., (2006), "Jeodezik ölçüler ile deprem kaynak parametrelerinin belirlenmesi", İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul

Barka, A., Kadinsky-Cade K., (1988), " Strike-Slip Fault Geometry in Turkey and Influence on Earthquake Activity" Tectonics, 7, 663-684

Demir, C., (1999), "Kuzey Anadolu Fay Zonu Batı Kesiminde Yatay Yer Kabuğu Hareketleri ve Gerilim Birikiminin Araştırılması", YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.

Kaypak, B., Eyidoğan, H., (2002), "Erzincan havzası ve dolayının üst-kabuk hız yapısının (1-B) belirlenmesi", itüdergisi/d Mühendislik Cilt:1, Sayı:2, 107-122

Kasapoğlu, K.E., Toksöz M.N. (1983), "Tectonic Consequences of the Collision of the Arabian and Eurasian Plates: Finite Element Models" Tectonophysics, 100, 71-95.

- Ketin, İ., (1976), "San Andreas ve Kuzey Anadolu Fayları arasında bir karşılaştırma", Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 19, 149-154.
- Meade, B. J., Hager, B. H., McClusky, S., Reilinger, R. E., Ergintav, S., Lenk, O., Barka, A., Özener, H., (2002), "Estimates of Seismic Potential in the Marmara Sea Region from Block Models of Secular Deformation Constrained by Global Positioning System Measurements", Bulletin of the Seismological Society of America, v. 92, n.1, pp. 208-215.
- Meade B.J., (2004), " Kinematic Models of Interseismic Deformation in Southern California" PhD.Thesis Massachusetts Institute of Technology , 178 Pages
- McClusky, S., S. Balassanian, A. Barka, et al. (2000), "Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus", J. Geophys. Res. 105, 5695–5720.
- Ozener H., Arpat E., Ergintav S., Doğru A., Çakmak R., Turgut B., Doğan U., (2010) "Kinematics of the eastern part of the North Anatolian Fault Zone" Journal of Geodynamics 49 (2010) 141-150
- Pınar, A., Honkura, Y. and Kikucki, M. 1996. A rupture model for the 1967 Mudurnu valley, Turkey earthquake and its implications for seismotectonics in the western part of the NAFZ, Geophys. Res. Let. Vol. 23, no.1, pp.29-32.
- Reilinger, R. E., et al. (2006), "GPS constraints on continental deformation in the Africa Arabia- Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions", Journal Of Geophysical Research, Vol. 111, B05411, doi:10.1029/2005JB004051
- Reid, H.F., (1911), "The Elastic Rebound Theory of Earthquakes", Bull.Dept.Geol.Univ. Calif., 6, 413- 444.
- Savage J. C., Burford, R.O., (1973), "Geodetic determination of relative plate motion in central California", Journal of Geophysical Research, 78, 832-845.
- Savage, J.C., (2000), "Viscoelastic-coupling model for the earthquake cycle driven from below", J. Geophys. Res., 105, 25,525-25,532
- Straub, C., (1996), Recent Crustal Deformation and Strain Accumulation in the Marmara Sea Region, N.W. Anatolia, Inferred from GPS Measurements, PhD Thesis, ETH Zürich, Switzerland.
- Smith, B. R.,(2005)Three-dimensional Deformation and Stress Models: Exploring One Thousand Years of Earthquake History Along the San Andreas Fault System", PhD.Thesis University Of California, San Diego Scripps Institution Of Oceanography, 151 pages
- Tatar, O., Gürsoy, H., Koçbulut, F., Kavak, K.Ş., Sezen, T.F., Polat, A., Akpınar, Z., Mesci, L., Kiratik, L.O., (2006) Kuzey Anadolu Fay Zonu - 1942 Erbaa-Niksar depremi yüzey kırığı: yeni gözlemler, ATAG10, 2 - 4 Kasım
- Taymaz, T., Jackson, J. Ve McKenzie, D. (1991)," Active Tectonic of North and central Aegean Sea", Geophys., J. Int., 106:433-490
- Turcotte, D. L., Schubert, G., 1982. Geodynamics: Applications of Continuum Physics to Geological Problems, John Wiley&Sons, New York.
- Tüysüz, O., (1999), "Yeryuvarının iç Yapısı Depremler ve Türkiye", Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yavaşoğlu H., Tarı E., Tüysüz O., Çakır Z., Ergintav S., (2010), "Determining and modeling tectonic movements along the central part of the North Anatolian Fault using geodetic measurements" Journal of Geodynamics 2010, doi:10.1016/j.jog.2010.07.003