



## Maden Tetkik ve Arama Dergisi

<http://dergi.mta.gov.tr>

MADEN TETKİK VE ARAMA  
D E R G İ S İ



YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

YAYIN KURULUŞU

### Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Amasya-Tokat arasındaki kısmının gerilme dağılımının irdelenmesi

#### *Analysis of the stress distribution of North Anatolian Fault Zone for the part between Amasya-Tokat cities*

Ayça ÇIRMIK<sup>a\*</sup>, Ufuk AYDIN<sup>b</sup>, Oya ANKAYA PAMUKÇU<sup>a</sup> ve Fikret DOĞRU<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği, İzmir, Türkiye

<sup>b</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Erzurum, Türkiye

<sup>c</sup>Atatürk Üniversitesi, Oltu Meslek Yüksekokulu, İnşaat, Erzurum, Türkiye

*Araştırma Makalesi*

Anahtar Kelimeler:

GNSS, Rejyonel  
Soğurulma Katsayısı,  
Coulomb Gerilme /  
Gerinim Analizi.

**ÖZ**

Kıtasal kabuk içerisinde oluşan tektonik kuvvetler zaman içinde depremleri oluşturarak kabuktaki gerilme, sıkışma ve deformasyonlarda sürekli olarak değişime sebep olmaktadır. Deprem dalgalarının genlikleri kabuk içindeki gerilme/gerinim (stress/strain) dağılımı ile değişim göstermektedir. Bu çalışmada zaman içinde kırılğan kabukta yığılan elastik deformasyon enerjisinin sebep olduğu tektonik kuvvetlerde etkin olan içsel gerilme/gerinim ve rejyonel soğurulma katsayısının değişimi incelenmiştir. Çalışma alanı Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun orta kesimi ile Ezinepazarı fay zonu ve Merzifon fay zonlarının oluşturduğu alandır. Bu alanda 9 Ekim 2015 ( $M_L=5,1$ ) tarihinde Tokat ili Yoldere-Erbaa'da meydana gelmiş depremin odak mekanizma çözüm değerleri kullanılarak Coulomb gerilme analizi yapılmıştır. Ayrıca bu depremin çalışma alanı ve çevresinde meydana getirdiği deformasyonu irdelemek amacıyla Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System, GNSS) verileri değerlendirilmiş ve bu istasyonların 2013-2014-2015-2016 yıllarına ait GNSS verileri kullanarak bu istasyonların hızları hesaplanmıştır. Bu çalışmanın bir diğer aşamasında çalışma alanına ait soğurulma dağılımını belirlemek için bölgedeki sismik istasyonlara ait deprem verileri kullanarak rejyonel soğurulma katsayıları belirlenmiştir. Sonuç olarak Coulomb gerilme analizi sonuçları, GNSS verilerinden elde edilen hız değerleri dağılımı ve sismolojik çalışmadan elde edilen soğurulma bulguları birlikte değerlendirilmiştir.

Geliş Tarihi: 01.07.2021

Kabul Tarihi: 02.11.2021

Keywords:

GNSS, Regional  
Absorption Coefficient,  
Coulomb Stress/Strain  
Analysis.

**ABSTRACT**

Tectonic forces formed in the continental crust, cause permanent changes in stress, compression and deformation. The amplitudes of earthquake waves vary with the stress/strain distribution in the crust. In this study, the change of stress / strain and regional absorption coefficient, which is effective in tectonic forces caused by elastic deformation energy accumulating in the brittle crust over time, was investigated. The study area is the middle part of the North Anatolian Fault Zone and the area formed by Ezinepazarı fault zone and Merzifon fault zone. In this area, Coulomb stress analysis was carried out by using the focal mechanism solution values of the earthquake that occurred in Yoldere-Erbaa, Tokat on October 9, 2015 ( $M_L=5.1$ ). In order to examine the deformation caused by this earthquake in and around the study area, Global Navigation Satellite System (GNSS) data were

\*Başvurulacak yazar: Ayça ÇIRMIK, [ayca.cirmik@deu.edu.tr](mailto:ayca.cirmik@deu.edu.tr)

*evaluated and the velocities of these stations were calculated using GNSS data of these stations for the years 2013-2014-2015-2016. Also, regional absorption coefficients were determined by using earthquake data. As a result, Coulomb stress analysis results, velocity values distribution obtained from GNSS data and absorption findings obtained from seismological study were evaluated together.*

## 1. Giriş

Deprem anında blokların yer değiştirmesiyle meydana gelen deformasyondan yola çıkarak cisimlerin yamulmasına neden olan iç kuvvet alanları kestirilebilir. Koordinatların zamansal değişimlerinin izlenmesi ile elde edilen yatay ve düşey değişim miktarları, kıtasal deformasyonun kinematığını gösterdiği gibi bu deformasyona sebep olan tektonik kuvvetler de etkin olan içsel gerilme/gerinim miktarının kestirilmesine olanak sağlamaktadır. Artan efektif gerilmeler, faydaki deformasyonunun en fazla görüldüğü bölgelerde gerilmelere ve böylelikle depremlere neden olmaktadır (Chinnery, 1963). Coulomb gerilme değişimi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Harris ve Simpson, 1992; Stein vd., 1992; Çırmık, 2014; Çırmık vd., 2016, 2017; Çırmık ve Pamukçu, 2017; Affandi vd., 2019). Kabuk içinde gerilme veya gerinim değişimi deprem anında oluşan sismik dalgaların hızlarını değiştirdiği gibi sismik dalga genliklerinde farklılaşmasına sebep olmaktadır. Kabuk içinde sismik soğurulmayı değiştirecek çok sayıda mekanizma vardır ve şartların değişmesi soğurulmayı kayda değer biçimde değiştirir (Toksöz ve Johnston, 1981). Kıtasal kabuk deformasyonuna sebep olan deprem enerjisinin zaman-uzaklık ortamındaki soğurulması (dalga genliğini azalma-artma) ortamın litolojik yapı ve gerilme/gerinim durumuna göre değişmektedir. Dalga genliğindeki azalım oranı soğurma hakkında iyi bir fikir vermektedir (Aki, 1969). Soğurulma ile ilgili ülkemizde ve dünyada birçok araştırma yapılmıştır (Aki ve Chouet, 1975; Aydın ve Kadirov, 2008; Ugalde vd., 2010; Aydın, 2014, 2016). Türkiye’de daha önceki çalışmalarında GNSS verileri ile Pamukçu vd. (2015), İzmir’in güneyinde düşey kütle hareketlerini incelemek için çalışma yürütmüşlerdir. Ayrıca Çırmık vd. (2017), Coulomb yazılımı (Toda vd., 2011) ile Gülbahçe fayının kinematik yapısını irdelemişlerdir. Bu kapsamda önce bölgeye en yakın depremlerin etki alanı belirlenmiştir. Daha sonra bu seçilen alana yakın ve deprem zamanını içeren TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait GNSS verileri Gamit/Globk

(Herring vd., 2015) yazılımı ile değerlendirilerek bölgedeki olası hız karakteri saptanmıştır.

Bu çalışma kapsamında, Amasya-Tokat illeri ve çevresinde yer alan bölgede gerilme ve gerinim dağılımları hesaplanmıştır, ayrıca aynı bölge için soğurulma analizi yapılmıştır. Soğurulma analizi sonuçları ile kabuk içi Coulomb gerilme değişimi arasındaki ilişki irdelenmiş ve bu ilişki deprensellikte karşılaştırılmıştır.

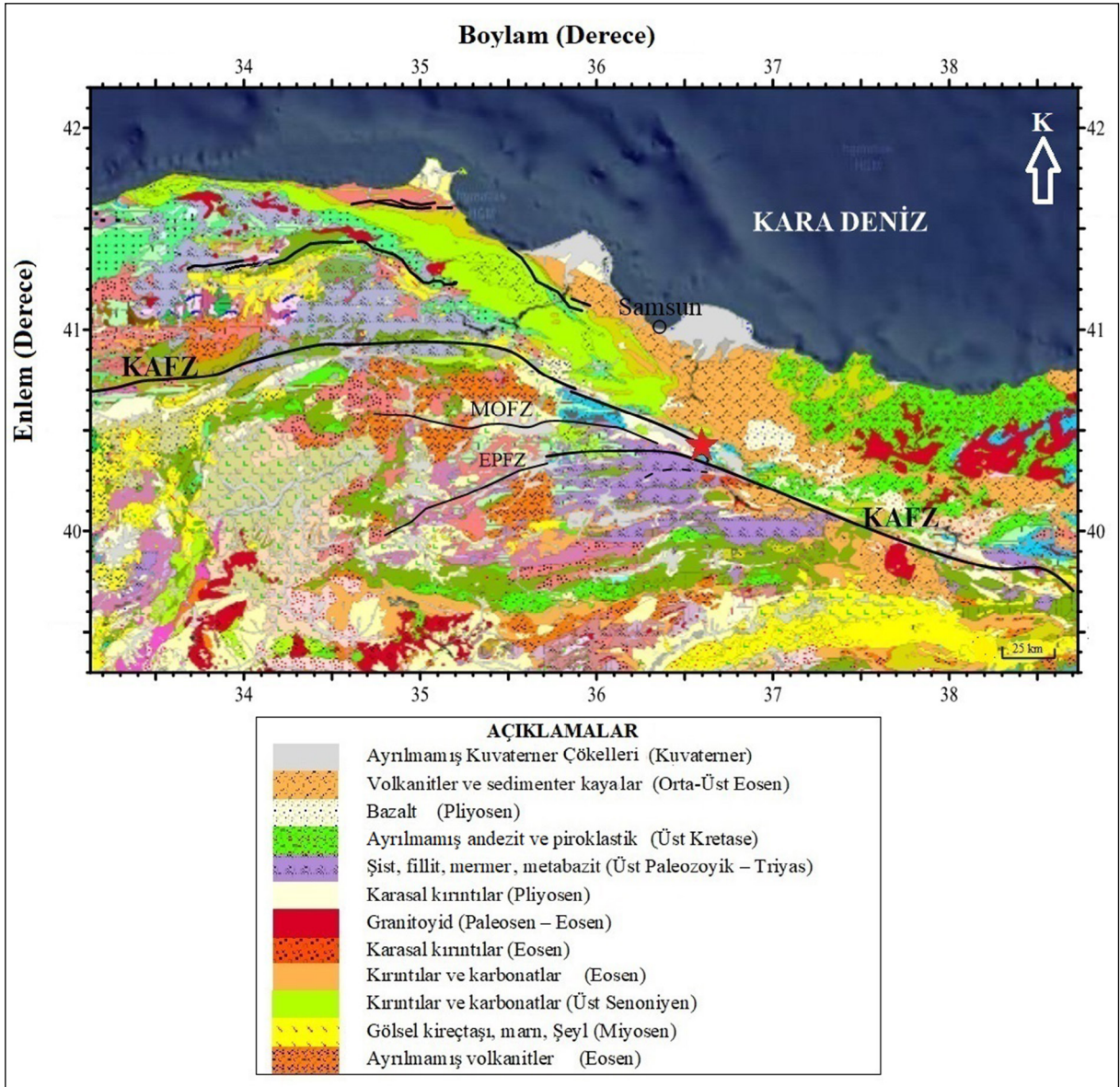
## 2. Çalışma Alanının Tektoniği

Anadolu’daki tektonik hareketlerden meydana gelen sismik aktivite, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Ege Graben Sistemi (EGS), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi, Helenik Kıbrıs Yayı (HKY) ve Orta Anadolu Ova Bölgesi (OAB) olmak üzere altı adet ana sismik rejim ile ifade edilmektedir. KAFZ, Saros Körfezi’nden Karlıova’ya kadar yaklaşık 1200 km’dir (Şekil 1). KAFZ, dünyadaki en aktif doğrultu atımlı faylardan biridir (Ketin, 1948; Şengör, 1979; Şengör ve Natal’in, 1996; Şengör vd., 2005). KAFZ Ege Tafrojeni ile Doğu Anadolu Yüksek Platosu’nu birleştirmekte olup Karadeniz’e paralel bir şekilde kıyıya yaklaşık 100 km uzaklıkta uzanmaktadır (Taymaz vd., 1991; Koçyiğit vd., 2001; Şengör vd., 2005). KAFZ’den ayrılarak güneybatıya doğru Ezinepazarı, Amasya, Sungurlu ilçelerinden geçen ve Delice yakınlarında son bulan yaklaşık 250 km uzunluktaki fay, Ezinepazarı fayı (Şaroğlu vd., 1987), Merzifon ovasını güneyden sınırlayan yaklaşık 30 km uzunluğundaki D-B yönlü fay ise Merzifon fayı olarak tanımlanmaktadır (Arpat ve Şaroğlu, 1975; Şaroğlu vd., 1987) (Şekil 1).

## 3. Metod

### 3.1. Coulomb Analizi

Coulomb v3.3 yazılımı (Toda vd., 2011) faylar nedeniyle meydana gelmiş herhangi bir derinlikteki yer değiştirme, gerilme ve gerinim hesaplamada kullanılmaktadır. Bu yazılımdaki hesaplamalar, Okada



Şekil 1- Çalışma alanı ve çevresinin genel tektonik ve jeolojik yapısı (<http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx> web sitesinden değiştirilerek alınmıştır). KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, MOFZ: Merzifon Ovacık Fay Zonu, EPFZ: Ezinepazarı Fay Zonudur. Kırmızı yıldız ise 9 Ekim 2015 ( $M_L=5,1$ ) depreminin merkez üssünü göstermektedir.

(1992) tarafından belirtilen tekdüze, izotropik elastik özellikleri içeren bir elastik yarı uzay ortamında gerçekleştirilmektedir. Coulomb kriterinde eğer Coulomb gerilmesi ( $\sigma_f$ ) belirli bir değeri aşarsa bir yüzeyde meydana gelen göçme;

$$\sigma_f = \tau_\beta - \mu(\sigma_\beta - p) \quad (1)$$

bağıntısı ile verilir. Burada  $\tau_\beta$  göçme yüzeyindeki makaslama gerilmesi,  $\sigma_\beta$  normal gerilmesi,  $p$  boşluk suyu basıncı ve  $\mu$  sürtünme katsayısıdır (Toda vd., 2011).

Sonuç olarak bir ortam için hesaplanan Coulomb gerilme değişimi; makaslama gerilme değişimi ve normal gerilme değişimi değerlerinin toplam etkisine eşittir.

### 3.2. Soğurulma Analizi

Rejyonel soğurulma katsayısını belirlemek için sismik dalga genliklerinin zaman içinde azalımı metodu kullanılmıştır. Genliklerdeki azalımı (soğurulma) (Aki ve Richards, 1980),

$$A(x, t) = A_0^{i(kx-wt)} \quad (2)$$

bağıntısı ile verilmektedir Burada:  $A_0$ ;  $x=0$  mesafesindeki  $t=0$  anındaki amplitüd (odak amplitüdü),  $w$ : açısal frekans,  $k$ : dalga sayısını ifade etmektedir. Soğurulma frekans cinsinden ya da karmaşık dalga sayısı cinsinden belirtilebilir (Toksöz ve Johnston, 1981).

Harmonik dalganın amplitüdünde meydana gelen azalımın logaritması, ortamın soğurulmasını ifade eder.  $A_{x_1}$ ;  $x_1$  mesafesindeki genlik,  $A_{x_2}$  ise  $x_2$  mesafesindeki genlik ve ( $x_1 > x_2$ ) olmak üzere soğurulma katsayısı (Chopra ve Alexeev, 2004),

$$\delta = \frac{1}{x_2 - x_1} \ln \left( \frac{A(x_1)}{A(x_2)} \right) \quad (3)$$

$$A_x = A_0 e^{-\delta} \quad (4)$$

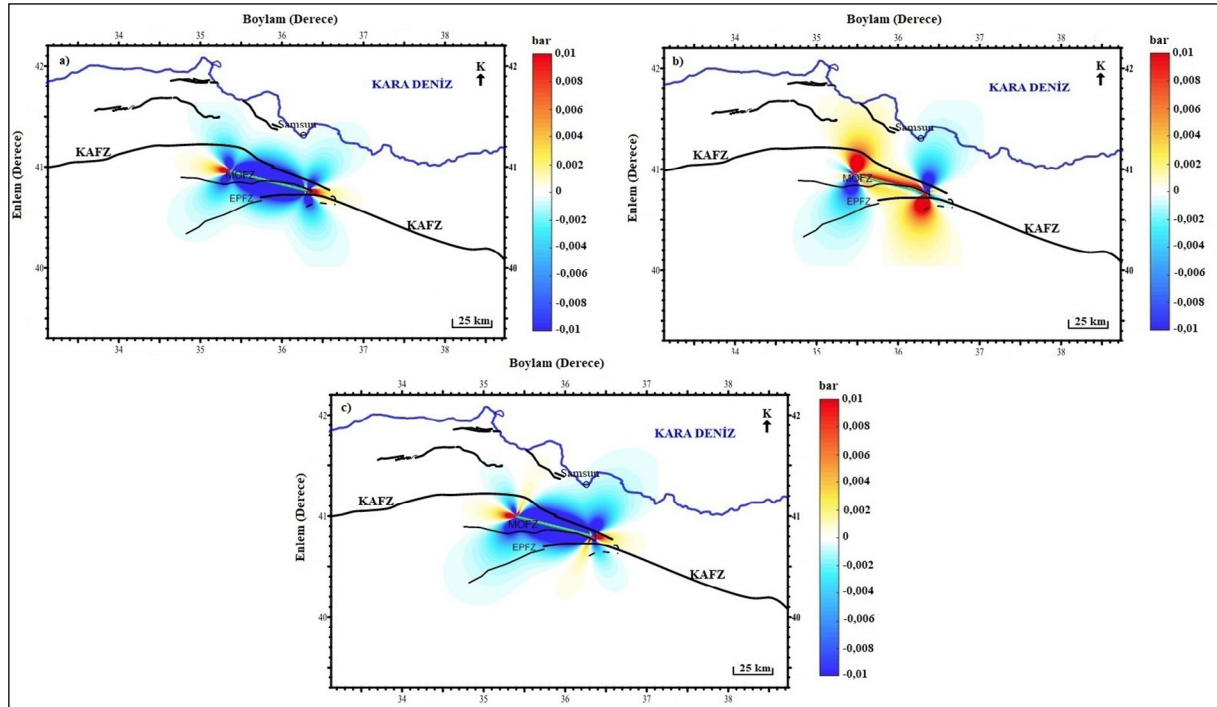
şeklinde tanımlanır.

#### 4. Veri ve Bulgular

Bu çalışma kapsamında incelenen bölgede Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nün (KRDAE) verilerine göre 09 Ekim 2015 tarihinde Yoldere-Erbaa (Tokat)'da büyüklüğü  $M_L=5,1$  ve odak derinliği yaklaşık 5 km olan bir deprem meydana gelmiştir (KRDAE, 2015). KRDAE tarafından hazırlanan tahmini şiddet haritasına göre şiddet değerinin depremin merkezinde (Erbaa)  $I_0= V$ , Tokat ilinde ise  $I_0 = IV$  olduğu belirtilmiştir. Depremin merkez üssü KAFZ üzerindedir. 1900 sonrasında bölgede en büyük deprem ( $M=7,0$ ) 20 Aralık 1942 tarihinde Erbaa-Tokat'da meydana gelmiştir (KRDAE, 2015). Bu çalışmada KRDAE tarafından sunulan 9 Ekim 2015 Yoldere-Erbaa (Tokat) ( $M_L=5,1$ ) depremine ait deprem odak mekanizma çözüm değerleri (Çizelge 1) kullanılarak Coulomb v3.3 yardımıyla bu depremin yarattığı gerilme ve gerinim değerleri hesaplanmıştır (Şekil 2, 3).

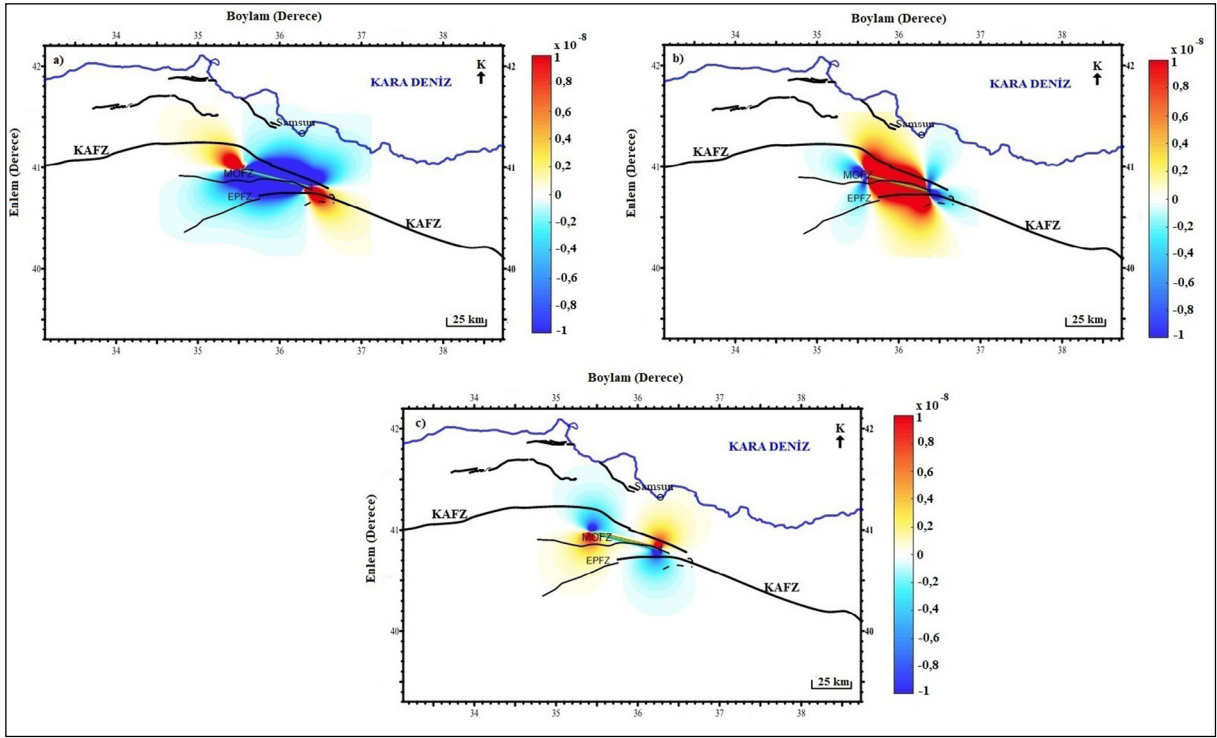
Çizelge 1- Coulomb v3.3 (Toda vd., 2011) yazılımında kullanılan kaynak parametreleri.

Poisson Oranı	Young Modulu (bar)	Sürtünme Katsayısı	Enstitü Adı	Doğrultu (Strike) Açısı (°)	Eğim (Dip) Açısı (°)	Kayma (Rake) Açısı (°)	Derinlik (km)
0,25	$8 \times 10^5$	0,4	KRDAE	280	86	178	5



Şekil 2- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) tarafından hesaplanan 320 deprem odak mekanizma verilerine göre elde edilen; a) makaslama gerilmesi, b) normal gerilme ve c) Coulomb 321 gerilmesi değişimleri (mavi renk: gerilim boşalması, kırmızı renk: gerilim yüklemesini belirtmektedir).





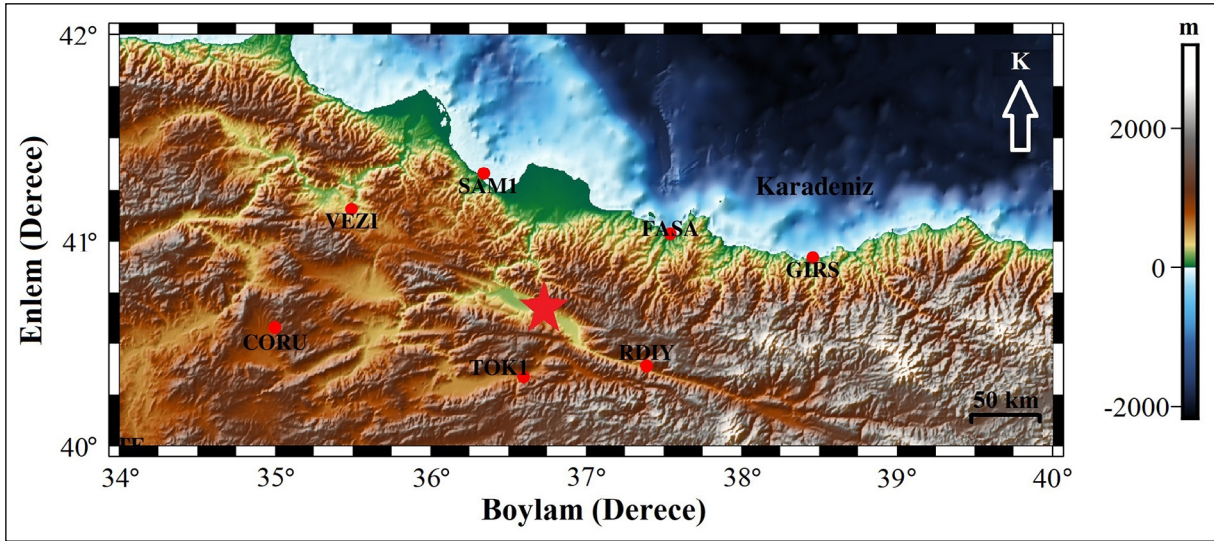
Şekil 3- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) tarafından hesaplanan deprem odak mekanizma verilerine göre elde edilen gerininin; a) XX, b) YY ve c) ZZ bileşenindeki değişimleri.

Çalışmanın diğer aşamasında Tokat ili Yoldere-Erbaa ilçesinde (Şekil 4) 9 Ekim 2015 tarihinde  $M_L=5,1$  büyüklüğünde meydana gelen depremin yarattığı tektonik etkileri irdelemek amacıyla TUSAGA-Aktif sistemine ait GNSS istasyonlarına ait veriler kullanılmıştır. TOK1 (Tokat, Merkez), RDIY (Tokat, Reşadiye), GIRS (Giresun, Merkez), FASA (Ordu, Fatsa), SAM1 (Samsun, Merkez), VEZI (Samsun, Vezirköprü) ve CORU (Çorum, Merkez) GNSS istasyonuna ait depremin oluş tarihinden 30 gün öncesi (9 Eylül) ve 30 gün sonrası (9 Kasım) ve deprem

günü dahil olmak üzere 61 günlük veri Gamit/Globk (Herring vd., 2015) yazılımı ile değerlendirilmiştir. Avrasya plakası sabit alınarak çözümler yapılmıştır. Bunun için hassas yörünge bilgilerine sahip olan sabit ve sürekli GNSS verisi toplayan Uluslararası GNSS Servisi (IGS) istasyonlarından; BUCU, GLSV, ISTA, MATE, MIKL, NICO, PENC, TUBI ve ZECK istasyonları seçilmiş, Uluslararası Yersel Referans Sistemi (ITRF) olarak ITRF2014 kullanılmıştır ve GNSS veri değerlendirme stratejisi Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 2- Çalışma kapsamındaki GNSS verisi değerlendirme stratejisi.

Yazılım	Gamit/Globk Versiyon 10.71
Veri Aralığı	30 saniye/24 saat günlük veri
Proses Günleri	9 Eylül - 9 Kasım 2015 (2015 yılının 252. - 313. günleri)
Kesme Açısı	10°
Efemeris Bilgisi	IGS final yörüngeleri ve IGS ERP dosyaları
Anten Faz Merkezi Bilgisi	Ağırlıklandırılmış faz merkezi modeli yüksek açısı ile ilişkilendirilmiştir (PCV - antmod.dat).
Troposfer Parametreleri	VMF1 (Vienna Mapping Function) kullanılmıştır. Zenit gecikme parametreleri her 2 saatte hesaplanmaktadır.
Uluslararası Yersel Referans Sistemi	ITRF 2014
Sabit İstasyonlar	Avrasya sabit referans sistemi seçilmiştir. IGS referans istasyonları olarak; BUCU, GLSV, ISTA, MATE, MIKL, NICO, PENC, TUBI ve ZECK istasyonları kullanılmıştır.
Son Koordinat Hesaplaması	61 günlük GNSS verileri GLOBK ile birleştirilmiştir.



Şekil 4- 9 Ekim 2015 ( $M_L=5,1$ ) depreminin merkez üssü olan Tokat ili Erbaa ilçesinin yakınında bulunan TUSAGA - Aktif sistemine ait istasyonların yerlerinin görünümü. Kırmızı noktalar: TUSAGA - Aktif istasyonlarının yerlerini, kırmızı yıldız: 9 Ekim 2015 ( $M_L=5,1$ ) depreminin merkez üssünü göstermektedir.

9 Ekim 2015 tarihi 2015 yılının 282. gününe denk gelmektedir ve 252. ve 313. günlerine denk gelen tarih aralığı için zaman serileri (Şekil 5) oluşturulmuştur. Bu aşamanın bir sonraki adımında ise bu istasyonların 2013, 2014, 2015 ve 2016 yıllarına ait GNSS verilerinin değerlendirilmesiyle Avrasya plakası sabit alınarak hızları (Şekil 6) elde edilmiştir.

Soğurulma çalışmaları kapsamında Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı)'na ait KVK (Kavak, Samsun), RSDY (Reşadiye, Tokat) ve TOKT (Tokat) istasyonlarının verileri kullanılmıştır (Şekil 7). Çalışma alanında bulunan her üç fay demetinin de etkilerini içeren 3 istasyona (KVK, RSDY ve TOKT) ait toplam 192 kütle dalgası verisi kullanılmıştır (Şekil 7). Bu veriler kullanılarak  $P_g$  ve  $S_g$  dalgası soğurulma değerleri belirlenmiştir (Şekil 8). Çalışmada magnitüdüleri 3-5,1 ve odak derinlikleri 1,2-32 km olan depremler kullanılmış ve bu depremlere ait dış merkez (episantr) uzaklıklarının yaklaşık 150 km olmasına özen

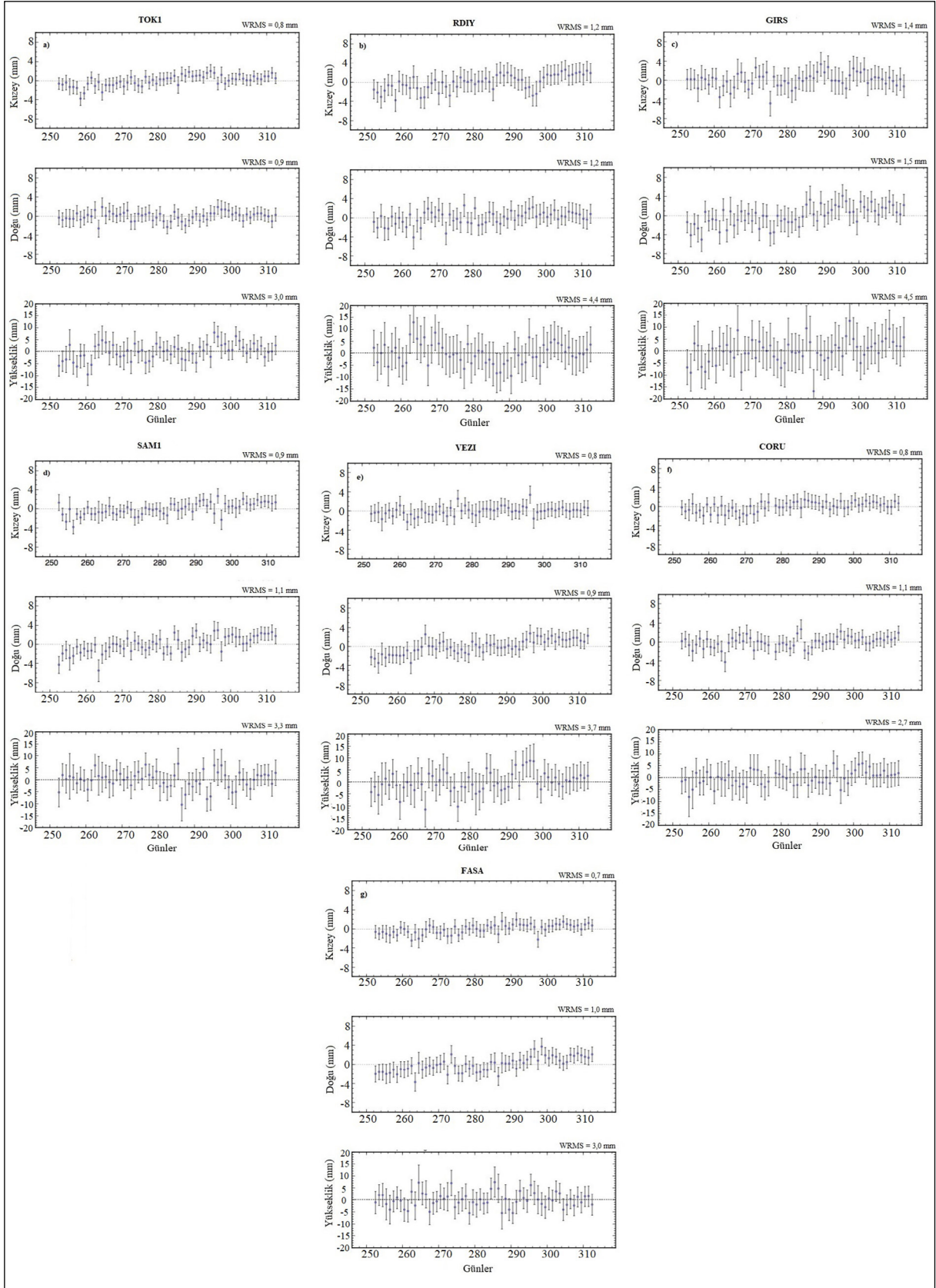
gösterilmiştir. 3 istasyonun her biri için  $P_g$  ve  $S_g$  dalgalarının rejyonel soğurulma değerleri ve katsayıları hesaplanmıştır. Üç istasyona ait depremler için hesaplanan  $P_g$  ve  $S_g$  soğurulma değerleri Şekil 8'de verilmiştir. Bu değerlerden rejyonel soğurulma katsayıları elde edilmiş (Çizelge 3) ve rejyonel soğurulma katsayıları yanal tomografi görselleri Şekil 9'da görülmektedir.

## 5. Tartışma

Bu çalışmanın ilk aşamasında, KAFZ'deki çalışma alanı kapsamında Merzifon Fayı ve Ezinepazarı Fay zonu ve çevresinde yapılan GNSS verilerinin değerlendirilmesi ve Coulomb gerilme/gerinim hesaplamaları yapılmıştır. 9 Ekim 2015 Yoldere - Erbaa (Tokat) ( $M_L = 5,1$ ) depremine ait KRDAE tarafından belirtilen deprem odak mekanizma çözümleri değerlerinin (Çizelge 1) kullanıldığı Coulomb  $v3.3$  yazılımı ile elde edilen gerilme ve gerinim sonuçları (Şekil 2 ve 3) göz önüne alındığında, depremin meydana geldiği bölge ve çevresinde genel olarak genlik değerlerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 3- Çalışmada kullanılan istasyonların koordinatları ile  $P_g$  ve  $S_g$  rejyonel soğurulma katsayıları.

İstasyon	Boylam (°)	Enlem (°)	Adet	$\delta P_g$ (km/1)	$\delta S_g$ (km/1)	$\delta S_g / \delta P_g$	Yer
KVK	36,0463	41,0807	60	0,0203	0,0248	1,2216	SAMSUN
RSDY	37,3273	40,3972	57	0,029	0,0238	0,8207	TOKAT
TOKT	36,5445	40,3173	75	0,0106	0,0131	1,2359	TOKAT
TOPLAM	-----	-----	192	-----	-----		

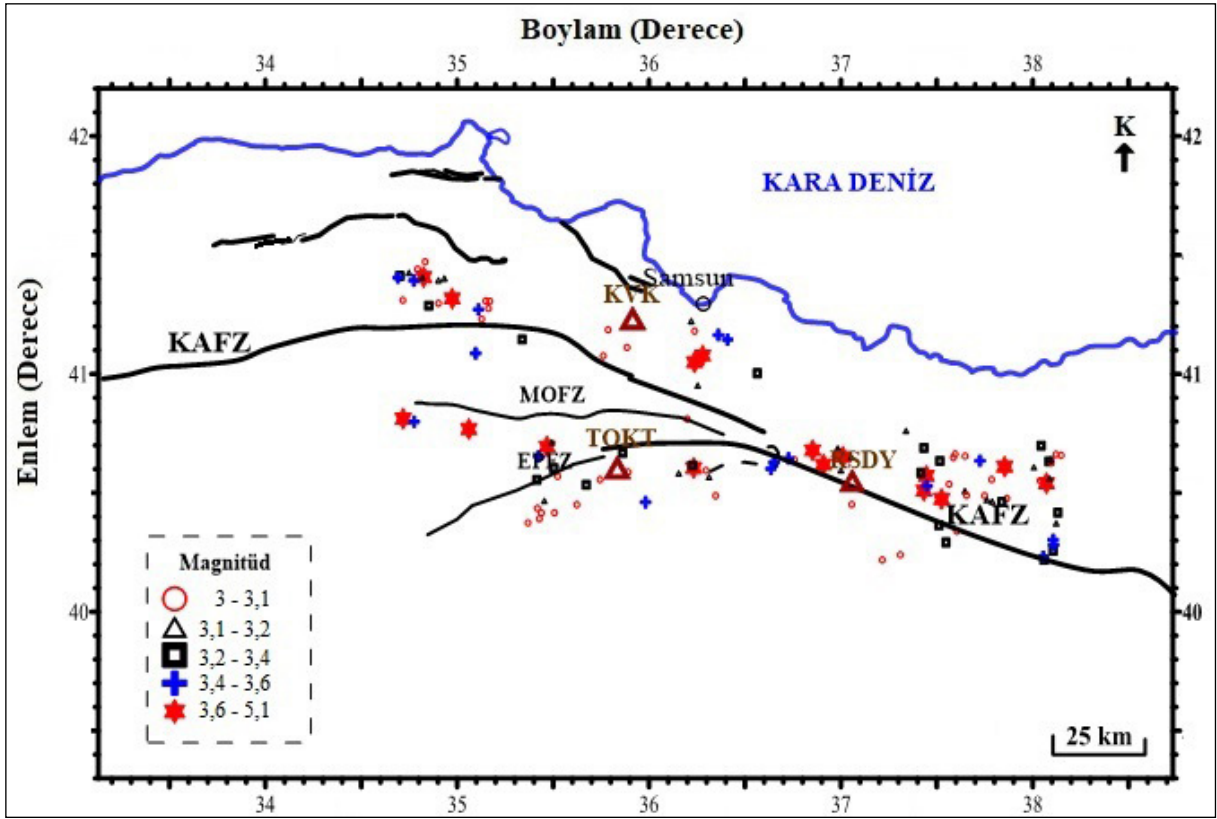


Şekil 5- 2015 yılının 252. - 312. günleri için; a) TOK1, b) RDIY, c) GIRS, d) SAM1, e) VEZI, f) CORU ve g) FASA istasyonlarının kuzey, doğu ve yükseklik bileşenlerine ait zaman serileri.









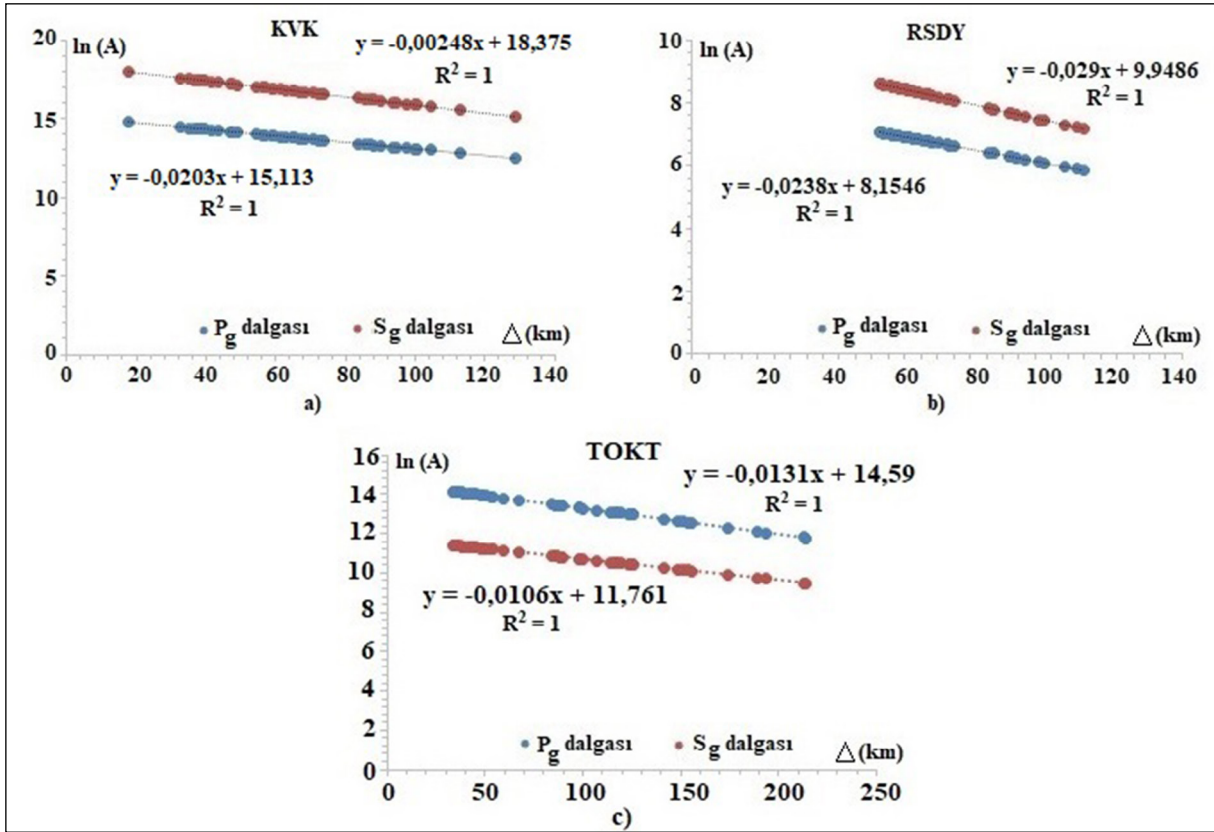
Şekil 7- Çalışma için seçilen bölge ve soğrulma için kullanılan istasyonların (KVK, TOKT, RSDY) lokasyonları ve çalışmada kullanılan depremlerin dağılımları. Bordo üçgenler istasyonların lokasyonlarını belirtmektedir. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, MOFZ: Merzifon Ovacık Fay Zonu, EPFZ: Ezinepazarı Fay Zonu'dur.

Bu çalışmanın bir sonraki aşamasında, bölgedeki GNSS istasyonlarının 2013, 2014, 2015 ve 2016 yıllarına ait hız değerleri (Şekil 6) göz önüne alındığında, SAM1, FASA ve GIRS istasyonlarının hızlarının VEZI, CORU, TOK1 ve RDIY istasyonlarının hızlarına göre daha az olduğu saptanmıştır. İstasyonların genel olarak hız vektör yönü kuzeybatıdır. Ancak CORU istasyonunun hız vektör yönünde kuzey bileşeni diğer istasyonlara göre daha az baskındır. Şekil 6'da görüldüğü gibi CORU (Çorum, Merkez) ve TOK1 (Tokat, Merkez) istasyonlarının hızları, bölgedeki diğer GNSS istasyonlarına göre daha fazladır. Ancak CORU istasyonundaki hız vektörü yönündeki farklılık göz önüne alınırsa bu istasyonun bulunduğu lokasyon, TOK1 istasyonunun bulunduğu lokasyonuna göre farklı tektonik karaktere sahip olduğu şeklinde yorumlanabilir.

Çalışma bölgesine ait bulgular kabuk hareketinin stabil olduğunu göstermektedir. Bu durum iki olasılık ile açıklanabilir. Birincisi; çalışma alanı için bir

elastik deformasyon enerji yığılmasının devam ettiğini veya bu alanın diğer alanlara göre daha rijit olduğu şeklinde açıklanabilir. Diğer bir olasılık ise verilerin alındığı istasyonların depremin merkez üssünden uzakta bulunmasından dolayı bu depremden çok fazla etkilenmemiş olmalarıdır. Bu nedenle çalışma alanında, yer içi deformasyonunun daha hassas ve ayrıntılı saptanabilmesi için kinematik mekanizmayı temsil eden ana kaya üzerine kurulacak kampanya tipi GNSS ölçümleri planlanmalı ya da sabit GNSS istasyonlar ile bu tektonizmanın sürekli izlenmesi önerilmektedir.

Sismik dalgalar geçtikleri ortamın sadece elastik parametreleri, litolojik ve kimyasal özelliklerine değil ortamı etkileyen gerilme/gerinim özelliklerindeki değişimlerinden de etkilenerek ilerlerler (Aydın, 2011). Yeraltındaki basınçta bir artışın meydana gelmesi soğurmayı azaltıcı bir etki oluşturur. Basınç ve/veya gerilme soğurulmayı birinci dereceden kontrol eden etkenlerden biridir (Aydın, 2011). Bu bilgiler

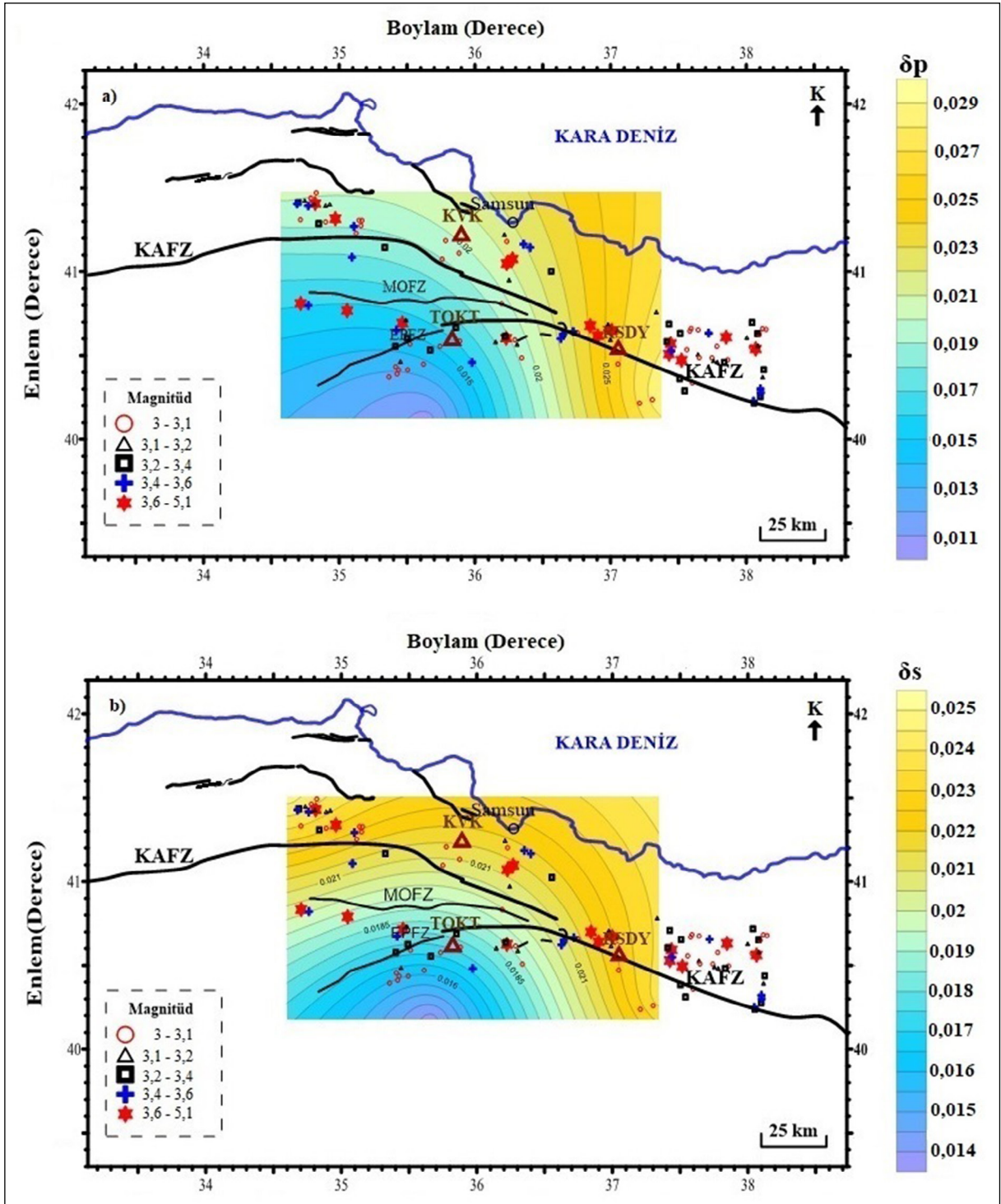


Şekil 8- Çalışmada kullanılan istasyonlara ait  $\ln(A) - \Delta$  (km) grafikleri ve  $P_g - S_g$  soğurulma değerleri; a) KVK, b) RSDY ve c) TOKT istasyonuna değerler.

işığında çalışmanın bir diğer aşamasında, zaman içinde kırılğan kabukta yığılan elastik deformasyon enerjisinin sebep olduğu tektonik kuvvetlerde etkin olan içsel gerilme/gerinim dağılımının ve rejyonel soğurulma değişimi incelenmiştir. Bu değişimi irdelemek amacı ile soğurulma değerleri (Şekil 8) ve soğurulma katsayısı (Şekil 9) KVK, TOKT ve RSDY istasyonları için belirlenmiştir. Bölgede en yüksek  $P_g$  ve  $S_g$  soğurulma değerleri (Şekil 8a) ve RSDY (Şekil 8b) istasyonlarından, en düşük soğurulma değerleri ise TOKT (Şekil 8c) istasyonundan elde edilmiştir. Bu değerlerden yola çıkarak elde edilen rejyonel soğurulma katsayıları ( $\delta_p$  ve  $\delta_s$ ) (Şekil 9) göz önüne alındığında KVK ve RSDY istasyonlarındaki değerler TOKT istasyonuna ait değerlere göre yüksektir. En yüksek  $P_g$  ve  $S_g$  soğurulma değerleri (Şekil 8b) ve rejyonel soğurulma katsayıları (Şekil 9a ve 9b) RSDY istasyonunda görülmektedir. Bu durumun, RSDY ve çevresine ait kabuk yapısının, KVK ve çevresine ait kabuk yapısına göre daha yoğun bir faylanma mekanizmasına sahip olmasından kaynaklı olduğu

düşünülmektedir. TOKT istasyonuna ait değerlerin (Şekil 8 ve Şekil 9) diğer iki istasyona göre daha düşük olmasının nedeni ise TOKT istasyonunun lokasyonunun Şekil 9'da görüldüğü gibi MOFZ ve EPFZ'ye yakın olması ile açıklanabilir. Ayrıca, TOKT ve çevresine ait bulguların en düşük bulunması (Şekil 9) TOKT ve çevresinin diğer iki istasyona göre daha fazla basınç altında olduğunu göstermektedir. Bu bulgular KAFZ ile EPFZ arasında diğer bölgelere göre daha güçlü bir tektonik sıkıştırma etkisi olduğu, Reşadiye (Tokat) ve çevresinin ise daha az sıkışmaya maruz kaldığı şeklinde yorumlanabilir.

Çalışmada uygulanan Coulomb analizi çalışmalarından elde edilen Coulomb gerilme değerleri bu çalışmada kullanılan sismoloji istasyonlarının lokasyonları ile birlikte değerlendirildiğinde (Şekil 10) TOKT istasyonunun 9 Ekim 2015 depreminin meydana getirdiği gerilme boşalmasının olduğu bölgede bulunduğu, RSDY ve KVK istasyonlarının ise etki alanı dışında kaldıkları gözlenmiştir.

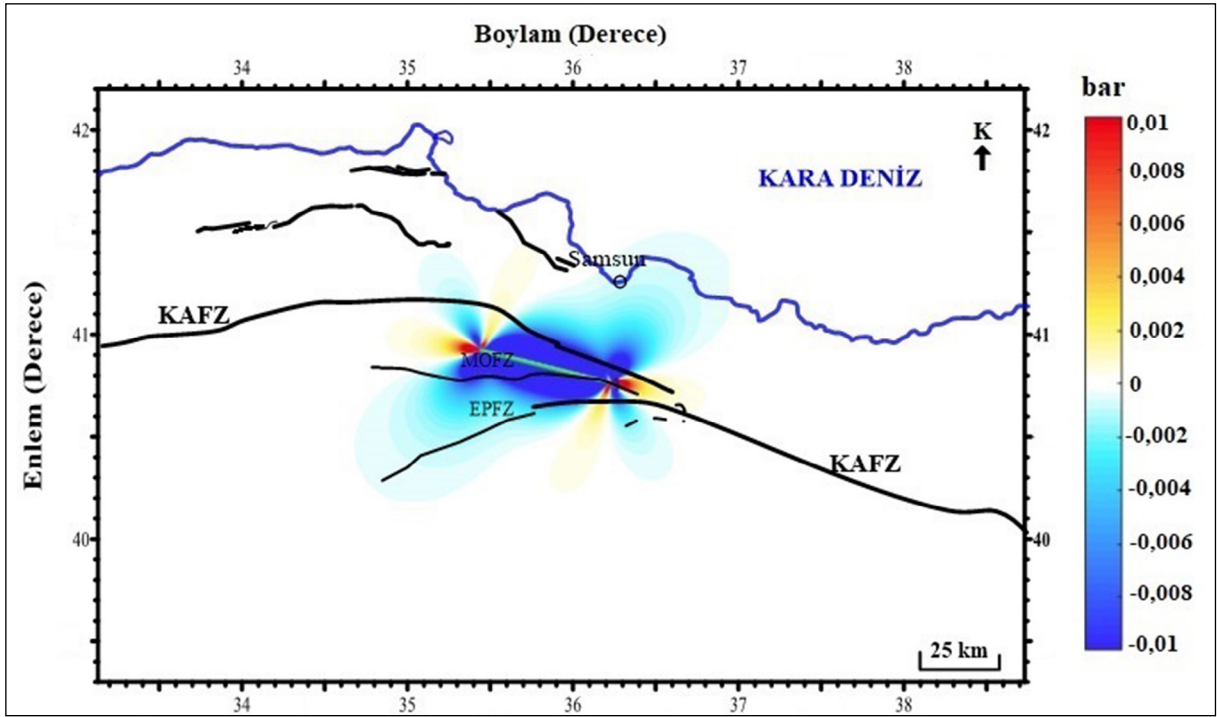


Şekil 9- İstasyondan elde edilen; a)  $\delta p$  rejyonel soğurulma katsayıları ve b)  $\delta s$  rejyonel soğurulma katsayıları yanal tomografisi. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, MOFZ: Merzifon Ovacık Fay Zonu, EPFZ: Ezinepazarı Fay Zonu'dur.

## 6. Sonuçlar

9 Ekim 2015 Yoldere - Erbaa (Tokat) ( $M_L = 5,1$ ) depremine ait deprem odak mekanizma çözümleri değerlerinin kullanılmasıyla yapılan Coulomb yazılımı

ile edilen gerilme ve gerinim sonuçları irdelendiğinde, makaslama, normal ve Coulomb gerilme değerleri  $-0,01 - 0,01$  bar arasında değişmektedir. Gerinimin XX, YY ve ZZ bileşenlerine ait değerler  $-1 \cdot 10^8$  ile



Şekil 10- Coulomb gerilim değişiminin çalışma alanı üzerindeki görünümü. KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, MOFZ: Merzifon Ovacık Fay Zonu, EPFZ: Ezinepazarı Fay Zonu'dur.

$1 \cdot 10^8$  arasında dağılım göstermektedir. Böylelikle, bu depremin meydana geldiği bölge ve çevresinde genel olarak depremden kaynaklı gerilme ve gerinimlerin genlik değerlerinin düşük olduğu saptanmıştır.

Çalışma alanının yanal tomografisine ait  $\delta p$  soğurulma katsayıları 0,01 - 0,03  $\delta s$  soğurulma katsayıları ise 0,0135 - 0,025 değerleri arasında değişmektedir. Böylelikle çalışmadan elde edilen reyonel soğurulma katsayılarından soğurulmanın en az olduğu TOKT istasyonu çevresi ve kabuk altında gerilme birikiminin diğer iki istasyona göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Özellikle MOFZ ve EPFZ fay zonları ve çevresi için basınç birikimi olduğu sonucu çıkarılabilir.

GNSS verilerinin Avrasya plakası sabit alınarak yapılan çözümlerden elde edilen hız değerleri; KAFZ ve yakın çevresinde yılda yaklaşık 20 mm iken KAFZ'nin hemen kuzeyindeki istasyonlarda (SAM1, FASA, GIRS) yılda 20 mm'nin oldukça altındadır. KAFZ'nin kuzeyinde bulunan istasyonların hızlarının diğer istasyonlara göre daha az olmasının nedeni, KAFZ'nin sağ yönlü doğrultu atımlı fay olmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

### Katkı Belirtme

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Proje No: 8443 kapsamında, Atatürk Üniversitesi ile Dokuz Eylül Üniversitesi'nin ortak çalışması ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan GNSS verileri Harita Genel Müdürlüğü ile Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü'nün birlikte işlettikleri TUSAGA-Aktif sistemine ait istasyonlardan elde edilmiştir. Çalışmadaki bazı şekiller Generic Mapping Tools (GMT) (Wessel vd., 2019) ile çizilmiştir. Değerli vakitlerini ayırarak makalenin gelişmesine katkı sağlayan üç hakeme teşekkür ederiz.

### Değinilen Belgeler

- Affandi, A. K., Sailah, S., Ardiansyah, S., Wafiazizi, M. 2019. An analysis of Coulomb stress change and triggering interaction toward seismic activities in the area West Sumatera within January 2000 - June 2018. Journal of Physics, Conference Series, 1282.
- Aki, K. 1969. Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves. Journal of Geophysical Research 74(2), 615-631.



- Aki, K., Chouet, B. 1975. Origin of coda waves: source, attenuation, and scattering effects. *Journal of Geophysical Research* 80(23), 3322-3342.
- Aki, K., Richards, P. G. 1980. *Quantative Seismology: Theory and Methods*. Freeman, San Francisco.
- Arpat, E., Şaroğlu, F. 1975. Türkiye'deki bazı önemli genç tektonik olaylar. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni* 18(1), 91-101.
- Aydın, U. 2011. Erzincan - Muş - Oltu (Erzurum) arasındaki yüzey kayaçlarının soğurma özelliklerinin incelenmesi. *Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 136, Adana.
- Aydın, U. 2014. Crustal stresses and seismodynamic characteristics in the upper crust. *Open Journal of Earthquake Research* 3(04), 143.
- Aydın, U. 2016. Relationships between geotectonic and seismodynamic characteristics of the crust in the Eastern Anatolia. *Acta Geodaetica et Geophysica* 51(1), 69-79.
- Aydın, U., Kadirov, A. 2008. Erzincan ve çevresinde P dalgası soğurulması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 12(1), 1-8.
- Chinnery, M. 1963. The stress changes that accompany strike - slip faulting. *Bulletin of the Seismological Society of America* 53(5), 921-932.
- Chopra, S., Alexeev, V. 2004. A new approach to enhancement of frequency bandwidth of surface seismic data. *First Break* 22(8).
- Çırmık, A. 2014. Determining the deformations in Western Anatolia with GPS and gravity measurements. *Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 196, İzmir.
- Çırmık, A., Pamukçu, O. 2017. Clarifying the interplate main tectonic elements of Western Anatolia, Turkey by using GNSS velocities and Bouguer gravity anomalies. *Journal of Asian Earth Sciences* 148, 294-304.
- Çırmık, A., Özdağ, O. C., Doğru, F., Pamuk, E., Gönenç, T., Pamukçu, O., Akgün, M., Arslan, A. T. 2016. The soil behaviours of the GNSS station. *Earth Sciences* 5(5), 70.
- Çırmık, A., Doğru, F., Gönenç, T., Pamukçu, O. 2017. The stress / strain analysis of kinematic structure at Gülbahçe Fault and Uzunkuyu Intrusive (İzmir, Turkey). *Pure and Applied Geophysics* 174(3), 1425-1440.
- Harris, R. A., Simpson, R. W. 1992. Changes in static stress on southern California faults after the 1992 Landers earthquake. *Nature* 360(6401), 251-254.
- Herring, T. A., King, R. W., Floyd, M. A., McClusky, S. C. 2015. *Introduction to GAMIT/GLOBK, Release 10.6.*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- KRDAE (Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü). 09 Ekim 2015 Yoldere-Erbaa (Tokat) Depremi. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/wp-content/uploads/2015/10/09-Ekim-2015-Yoldere-Erbaa-Tokat-Depremi-1.pdf>. 1 Mart 2021.
- Ketin, I. 1948. Über die tektonisch-mechanischen Folgerungen aus den grossen anadoluischen Erdbeben des letzten Dezenniums. *Geologische Rundschau* 36(1), 77-83.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., Kuloshvili, S. 2001. Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta* 14(1-3), 177-195.
- Okada, Y. 1992. Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space. *Bulletin of Volcanology* 47, 239-246.
- Pamukçu, O., Gönenç, T., Çırmık, A., Sındırgı, P., Kaftan, I., Akdemir, Ö. 2015. Investigation of vertical mass changes in the south of İzmir (Turkey) by monitoring microgravity and GPS/GNSS methods. *Journal of Earth System Science* 124(1), 137-148.
- Stein, R. S., King, G. C., Lin, J. 1992. Change in failure stress on the southern San Andreas fault system caused by the 1992 magnitude= 7.4 Landers earthquake. *Science* 258(5086), 1328-1332.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A. 1987. Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 8174*, Ankara.
- Şengör, A. 1979. The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society* 136(3), 269-282.
- Şengör, A. C., Natal'in, B. A. 1996. Turcic-type orogeny and its role in the making of the continental crust. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 24(1), 263-337.
- Şengör, A., Tüysüz, O., İmren, C., Sakınc, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon X., Rangin, C. 2005. The North Anatolian fault: a new look. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 33, 37-112.

- Taymaz, T., Jackson, J., McKenzie, D. 1991. Active tectonics of the north and central Aegean Sea. *Geophysical Journal International* 106(2), 433-490.
- Toda, S., Stein, R. S., Sevilgen, V., Lin, J. 2011. Coulomb 3.3 graphic - rich deformation and stress - change software for earthquake, tectonic, and volcano research and teaching - user guide. US Geological Survey Open - file report: 1060(2011), 63.
- Toksöz, M. N., Johnston, D. H. 1981. *Seismic Wave Attenuation*. Society of Exploration Geophysicists. Tulsa, Okla, 2.
- Ugalde, A., Carcolé, E., Vargas, C. A. 2010. S - wave attenuation characteristics in the Galeras volcanic complex (southwestern Colombia). *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 181(3-4), 73-81.
- Wessel, P., Luis, J. F., Uieda, L., Scharroo, R., Wobbe, F., Smith, W. H. F., Tian, D. 2019. The generic mapping tools version 6. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 20, 5556-5564.