



KOCAELİ VE ÇEVRESİ İÇİN COULOMB GERİLME ANALİZİ

Elçin GÖK^{1*}, Mustafa ERDEM¹, Çağlar ÖZER²

¹Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

² Atatürk Üniversitesi, Deprem Araştırma Merkezi, Erzurum, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Coulomb, Gerilme Analizi, Deprem, Kocaeli.</i>	17 Ağustos 1999, Mw=7.6 büyüklüğündeki Kocaeli depremi, Marmara Denizi içine uzanan Kuzey Anadolu Fayının büyük bir deprem üretme olasılığını ve Marmara Bölgesi için Deprem Riski ve Sismik Tehlike analizinin önemini ortaya çıkarmıştır. Çalışma alanında gelişen hareketlenmeye bağlı olarak oluşan depremler zaman zaman gerilmeyi değiştirmekte ve buna bağlı olarak bu bölgede oluşacak gerilimi incelemeye olanak sağlamaktadır. Coulomb gerilme değişimlerinin hesaplanmasıyla artçı depremler ve ana depremlere bağlı olarak meydana gelen gerilme artışı ve gerilmenin azaldığı yerler belirlenebilmektedir. Ayrıca deprem ve fay ilişkisi kurularak bölgedeki diğer fay ve depremler arasında bağlantı kurulmasına ve gelecekte deprem oluşacak yerlerin belirlenmesine imkan vermektedir. Bu çalışma kapsamında, Kocaeli’nde Coulomb gerilme analizi uygulanmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Çalışmada, Coulomb programı kullanılarak 1990-2016 yılları arasında Marmara bölgesinde meydana gelen depremler kullanılmıştır. Marmara denizinde 6 adet model oluşturulup fayların Coulomb gerilme değişimleri ortaya konmuştur. Modellerde deprem ve fay parametrelerinin kullanıldığı Coulomb gerilmesi hesaplamaları ile gerilme artışının ve azalmasının Marmara denizinde ve çevresinde gösterdiği sonuçlar elde edilmiştir.

COULOMB STRESS ANALYSIS OF KOCAELİ AND SURROUNDINGS

Keywords	Abstract
<i>Coulomb, Stress Analysis, Earthquake, Kocaeli.</i>	17 August 1999, Mw = 7.6 Kocaeli Earthquake, revealed the possibility of producing a great earthquake in the North Anatolian Fault extending into the Marmara Sea and the importance of the Earthquake Risk and Seismic Hazard Analysis for the Kocaeli city and all Marmara Region. The earthquakes that occur due to the movement that develops in the study area change the stress from time to time and accordingly it enables to investigate the stress in this region. Investigation of Coulomb stress changes can be used to determine the location where stress increases and decreases due to the aftershock and main earthquakes. Besides, earthquake and fault related to allow connection between other faults and earthquakes in the region and to determine places where earthquakes will occur in the future. In this study, Coulomb stress analysis was applied in Kocaeli and the results obtained were interpreted. Earthquakes occurred in the Marmara region between 1990 and 2016 using the Coulomb program. 6 fault model were made in the Marmara Sea and Coulomb stress changes of the faults were revealed. The Coulomb stress analysis using the earthquake and fault parameters in the models show the results of increase and decrease of stress in and around Marmara sea.

Alıntı / Cite

Gök, E., Erdem, M., Özer, Ç. (2020). Kocaeli ve Çevresi için Coulomb Gerilme Analizi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(1), 1-11.

* İlgili yazar / Corresponding author: elcin.gok@deu.edu.tr

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
E. Gök, 0000-0002-2643-1453	Başvuru Tarihi / Submission Date	10.12.2018
M. Erdem, 0000-0002-5236-9163	Revizyon Tarihi / Revision Date	23.05.2019
Ç. Özer, 0000-0001-5401-2013	Kabul Tarihi / Accepted Date	25.06.2019
	Yayın Tarihi / Published Date	20.03.2020

1. Giriş (Introduction)

Bir deprem çalışmasının ana hedeflerinden biri gelecekte deprem olma ihtimali olan bölgelerin araştırılmasıdır. Bu hedefe ulaşmada depremi oluşturan süreçlerin iyi bir şekilde anlaşılması önem taşımaktadır. Deprem tehlikesi olan aktif fay bölgelerinde, depremler nedeniyle oluşan gerilme değişimleri tehlikeli bölgelerin tahmin edilmesi açısından oldukça önem taşımaktadır. Bir deprem kendisinden sonra meydana gelebilecek depremlerin normal oluş zamanını öne çekebilme, geciktirebilme veya başka fayları tetikleyebilmektedir (Stein vd., 1997; Çakır vd., 2003; Nalbant, 2005). Yerkabuğunda meydana gelen deformasyonlara bağlı olarak özellikle önceki zayıflık zonları üzerinde düşük hızda bir gerilme birikimi meydana gelmekte ve bu gerilmeler depremlerle boşaltılmaktadır. Bir fay düzleminde gelişen yeniden kırılma ve kaymaya bağlı olarak oluşan depremler gerilmeyi düşürmekte ve deprem fayı üzerinde yeni bir gerilme birikim süreci başlamaktadır. Yeniden artan efektif gerilme fayın maksimumuna ulaştığı noktalarında yeni gerilmelerin ve depremlerin oluşmasına sebep olabilmektedir (Chinery, 1963). Deprem hareketi sırasında meydana gelen yer değiştirmelerin neden olduğu Coulomb gerilme değişiminin, yakınındaki faylar üzerindeki kırılma gerilmesine olan etkisi birçok araştırmacı tarafından incelenmektedir (Harris ve Simpson, 1992; Stein vd., 1992, 1997; King vd., 1994; Hubert vd., 1996; Harris, 1998; Nalbant vd., 1998; King ve Cocco, 2000). Deprem öncesinde, sonrasında ve sırasında çalışılan alandaki gerilme bölgelerinin saptanmasında Coulomb gerilme analizi en etkin yöntemlerden biridir. Bu yöntem kullanılarak yapılan birçok çalışma ile güvenilir sonuçlar elde edilmektedir.

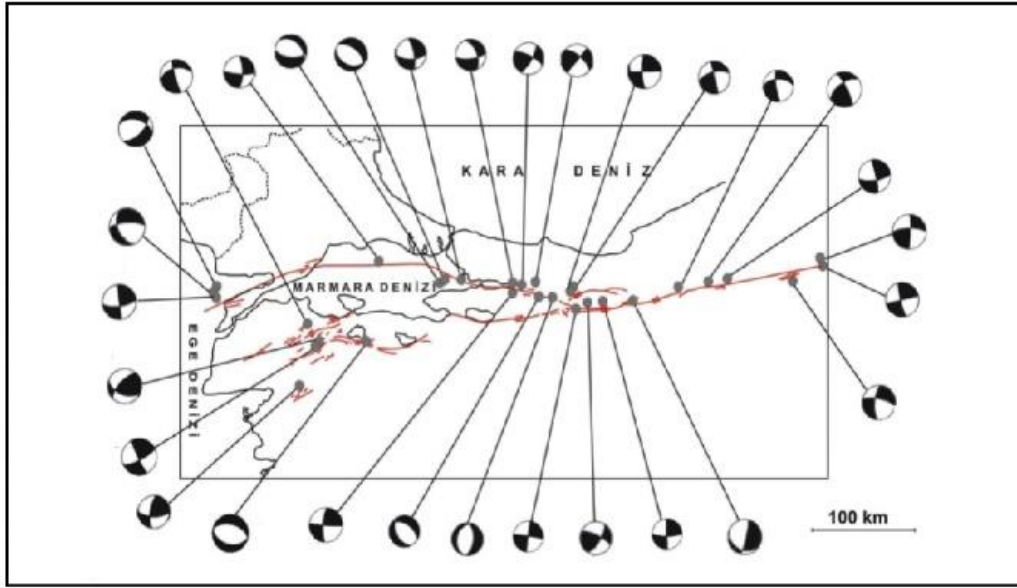
Bu çalışma, Kocaeli ili ve çevresi özelinde başlamış ancak ilerledikçe tüm Marmara Denizi'ndeki fay modelleri kullanılması yöntemin başarısını artırmak ve tüm bölgeyi incelemek için uygun görülmüştür. Bölgenin tamamı deprem tehlikesi açısından değerlendirilmiş ve böylece ileride yapılacak çalışmalara ışık tutması amaçlanmıştır. Bu sebeple çalışmada, 1990-2016 yılları arasında Marmara bölgesinde moment büyüklüğü (Mw) 4.0 ile 7.6 arasında meydana gelen depremlerin Marmara denizinde belirlenen senaryo fay zonunda gelişen gerilme alanı değişimlerinin incelenmesiyle gerilme artışlarının olduğu alanların belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Marmara Bölgesi Sismotektonik Yapısı ve Depremselliği (Seismicity and Seismotectonics of the Marmara Region)

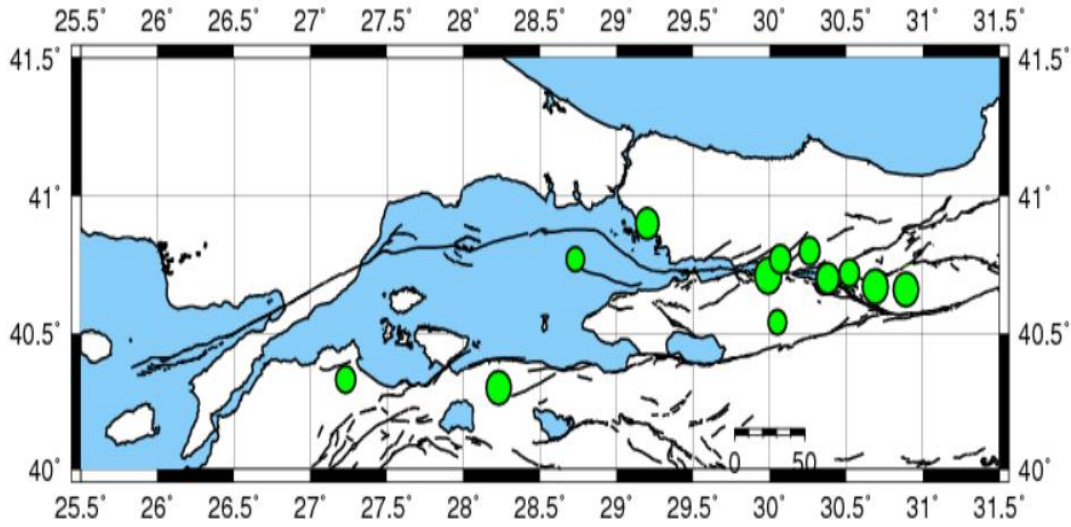
Marmara bölgesi oldukça aktif bir sismositeye ait karmaşık tektonizmaya sahip olan bir bölgedir. Kuzeyde Avrasya levhası ile güneyde güneybatıya doğru hareket eden Anadolu levhası arasında yer alan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Anadolu sıkışma zonunu Batı Anadolu açılma zonu ile bağlar ve sağ yanal atım bileşenine sahip aktif bir faydır (McKenzie 1972; Şengör 1979). KAFZ, doğuda Karlıova'dan başlayarak batıya doğru geldiğinde üç ana kola ayrılmakta ve Marmara Denizinin içinden ve güneyinden Bursa'dan geçerek Ege Denizi'ne varmaktadır (Yılmaz vd., 2010, Barka ve Kadinsky-Cade, 1988). Marmara Denizi'nin içinde belirgin sırtlarla ayrılmış üç çukurluk yer almaktadır. Bunlar doğuda Çınarcık, orta bölgede Orta Marmara ve batıda Tekirdağ çukurlukları ismini alır (Okay vd., 2000). Geçmişten günümüze bir çok araştırmacı bölgenin deprem tehlikesini araştırmışlardır (Erdik vd., 2004). Marmara Denizi'nden geçen KAFZ'nun tektonik yapısı hakkında birçok fikir öne sürülmüştür. Bunlardan en çok kabul görenlerden bazıları şunlardır; KAF'ın, Marmara Denizi içerisinden tek bir zon halinde geçtiği (Şengör, 1979; 1980; Şengör ve Canitez, 1982; Şengör vd., 1985), Marmara Denizi'nde bulunan önceden bahsettiğimiz bu üç çukurlukların bir graben yapısı taşıdığı (Crampin ve Evans, 1986; Adatepe, 1988; Smith vd., 1995) son olarak da Marmara Denizi'nin bir çek-ayır (pull-apart) yapıya sahip bir havza olduğu araştırmalarla sunulmuştur (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Wong vd., 1995). 17 Ağustos 1999 (Mw=7.6, Delouis vd., 2002) İzmit depreminin ardından ise tüm modeller yeni çalışmalarla gözden geçirilmiştir. Büyük hasar yaratan bu depremden sonra yapılan çalışmalar ilk modellerin bazılarını destekler nitelikte olmuştur (Armijo vd., 1999, 2002; Carton, 2005 ve Carton vd., 2007; Demirbağ vd., 2003; Imren vd., 2001; Le Pichon vd., 1999, 2001, 2003; Polat vd., 2002a,b). Ayrıca Laigle vd., 2008 ve Becel vd., 2009 ise, yaptıkları çalışmalarda negatif çiçek yapısını öne sürmüşlerdir.

Tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelmiş depremler incelendiğinde Marmara bölgesinin depremselliği göreceli olarak çok yüksektir. Marmara bölgesinde, milattan sonra şiddeti IX ve X arasında değişen 18 tarihsel yıkıcı deprem olmuştur. Güncel kayıtlarda ise bölgede 6'dan büyük 13 adet hasar yapan deprem meydana gelmiştir (Ambraseys and Jackson, 2000).

Marmara Bölgesi için, farklı araştırmacılar tarafından yapılan fay düzlemi çözümleri, Şengör vd. (2004) tarafından sunulmuştur (Şekil 1). Bölgedeki odak mekanizma çözümlerine baktığımızda doğrultu atımlı faylanmalarla birlikte normal fayların da oldukça fazla yer aldığını görmekteyiz. Bu da bölgenin karmaşık tektonizmasına işaret etmektedir.



Şekil 1. Çalışma bölgesinde oluşan depremlerin odak mekanizması çözümleri (Şengör vd., 2004). (Focal mechanism solutions of earthquakes occurred in the study area.)



Şekil 2. Marmara Denizi ve çevresini etkileyen önemli depremler (Taymaz vd., 1991; Taymaz, 1999). (Important earthquakes affecting the Marmara Sea and its surroundings)

Bölgenin depremselliğine genel olarak araştırıldığında, Marmara Bölgesinde 1957-1999 yılları arasında meydana gelmiş, Marmara bölgesi ve çevresinde yıkıcı etkisi olan depremler Şekil 2 ve Tablo 1' de gösterilmiştir.

Tablo 1. Marmara Denizi ve çevresinde meydana gelen önemli depremler (M72: McKenzie, 1972; TT91: Taymaz vd., 1991; HRVD: Harvard-CMT; TT99: Taymaz, 1999; USGS: USGS-NEIC) (Significant earthquakes occurred in and around of the Marmara Sea)

Tarih	Zaman	Enlem (derece)	Boylam (derece)	Büyüklik	Derinlik (km)	Kaynak
26.05.1957	06:33	40.66	30.89	Ms=7.0	-	M72
18.09.1963	16:58	40.90	29.20	Ms=6.4	15	TT91
06.10.1964	14:31	40.30	28.23	Ms=6.9	14	TT91
22.07.1967	16:56	40.67	30.69	Ms=7.1	12	TT91
30.07.1967	01:31	40.72	30.52	Ms=5.6	-	M72
05.07.1983	12:01	40.33	27.23	Mb=5.5	10	HRVD
21.10.1983	20:34	40.54	30.5	mb=5.1	14	HRVD
24.04.1988	20:49	40.77	28.73	mb=5.0	19	HRVD
20.06.1943	15:32	40.70	30.38	M=6.3	-	M72
17.08.1999	00:01	40.71	29.99	Mw=7.4	9	TT99
13.09.1999	11:55	40.77	30.7	Mw=5.9	12	TT99
11.11.1999	14:41	40.80	30.26	Mw=5.7	7	USGS

Çalışma kapsamında, KAFZ'nun Marmara Bölgesi'ndeki bölümü modellenirken daha önce yapılmış çalışmalardan hareketle 6 adet farklı fay zonu modeli kullanılmıştır. Modeller tek tek ve birlikte değerlendirilmiştir. Bunlar; doğudan batıya İzmit Fayı, İzmit Fayının kuzey batıya doğru devamında kıyı şeridinde paralel giden bir fay modeli, Çınarcık çukurunun olduğu bölgede Kuzey Sınır Fayı olarak da adlandırılan Fay zonu, Orta Marmara sırtı olarak tanımlanan Orta Marmara Fayı, Tekirdağ çukurunun sınırındaki fay Zonu, en batıda Saros körfezi boyunca uzanan Ganos Fayıdır.

3. Coulomb Gerilme Analizi (Coulomb Stress Analysis)

Yerkabuğunda meydana gelen hareketlere bağlı olarak gerilme birikimi meydana gelmekte ve bu gerilmeler depremlerle azalmaktadır. Bir deprem olduğunda ilgili faydaki hareket ile meydana gelen depremler bölgedeki gerilimi azaltmaktadır. Bu gerilim azalımından sonra yeni bir gerilme birikimine kadar deprem tehlikesi azalmaktadır (Chinery 1963). Deprem hareketine bağlı olarak bölgedeki gerilimin artması yakındaki fayların tetiklenmesine sebep olmaktadır. Bölgedeki gerilimin azalması ya da birikimi Coulomb gerilme değişiminin gözlenmesiyle mümkündür. Coulomb gerilme değişiminin saptanmasıyla deprem ve fay ilişkisi kurularak bölgedeki deprem tehlikesi hesaplanabilir. Böylece ileride meydana gelebilecek depremlerin yerleri belirlenebilir (Toda vd., 1998).

Bir deprem hareketi oluştuğunda, bölgedeki faylar üzerindeki mevcut statik gerilme değişmektedir. Bu gerilme değişimi, yer değiştirmeler yöntemiyle hesaplanır (Okada 1985). Bir deprem kendisinden sonra olabilecek depremleri normal zamanından öne çekerek tetikleyebilmekte, bazı durumlarda geciktirebilmektedir. Öncü şokları artçı şoklar ve ana deprem arasında depremin oluşumunu karakterize eden bazı durumlarda direk etkileyen bir ilişki vardır. Bu ilişki depremden sonra faydan uzak bölgelerdeki artçı şokların oluşumları ile kırılmada etkili olan kayma gerilmesi değişimi arasındaki bağıntı ile açıklanmaya çalışılmıştır (Kılıç ve Kalyoncuoğlu, 2015; Das ve Scholtz, 1981). Hasar yaratan yıkıcı bir büyük depremin ardından yapılan çalışmalar ile deprem olmadan önce ve sonrasında bölgedeki Coulomb kırılma kriterinin incelenmesiyle kabul edilebilir sonuçlar ortaya çıkmıştır. (Stein vd., 1992; Toda vd., 1998).

Coulomb kırılma kriteri (3.1)'de görülüşü gibi ifade edilir.

$$|\tau| = S_0 + \mu\sigma \quad (3.1)$$

Coulomb kırılma kriteri τ , kırılmanın yönüne göre değiştiği için mutlak değer olarak gösterilmiştir. S_0 ; malzemenin dayanım gerilmesi, μ , iç sürtünme katsayısı, σ , düzleme etkileyen normal kuvvet olarak tanımlanır.

Coulomb gerilmesindeki değişim $\Delta\sigma_f$ olarak ifade edilir. $\Delta\sigma_f$ kırılma öncesi ve kırılma sonrasındaki kalıcı gerilme değerlerinin farkına eşittir (King vd., 1994).

$$\Delta\sigma_f = \Delta\tau - \mu(\Delta\sigma - \Delta p) \quad (3.2)$$

Denklem (3.2)'de görüldüğü gibi $\Delta\sigma$ ve $\Delta\tau$ kırılma yüzeyine etki eden normal kayma gerilme değerlerindeki değişimler olarak ifade edilirken, Δp ise boşluk sıvı basıncındaki değişimdir. Coulomb gerilmesindeki değişim yani $\Delta\sigma_f$ arttığında ilgili fayın kırılması kolaylaşırken; azaldığında ise kırılma zorlaşır. Kırılma yüzeyinin gerilme eksenini

ile arasındaki açının β olduğu kabul edilirse, Coulomb gerilmesi $\Delta\sigma_f$, β açısının (3.3)'de gösterildiği gibi olması durumunda en büyük değerini alır.

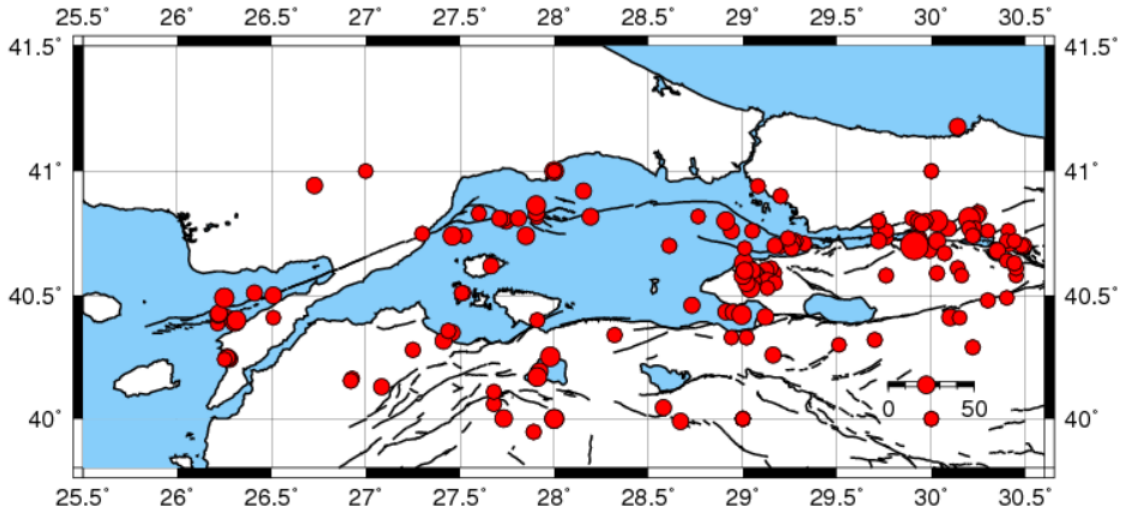
$$\tan 2\beta = \mp \frac{1}{\mu} \quad (3.3)$$

Bölgede deprem hareketi ile ilişkilendirilen direk bir fay bulunmuyor ise Coulomb gerilme değişimi en uygun ya da en yakın faylara göre hesaplanır. En yakın fayın konumu ise elde edilen bölgesel gerilme alanı ile belirlenir (Anderson 1951).

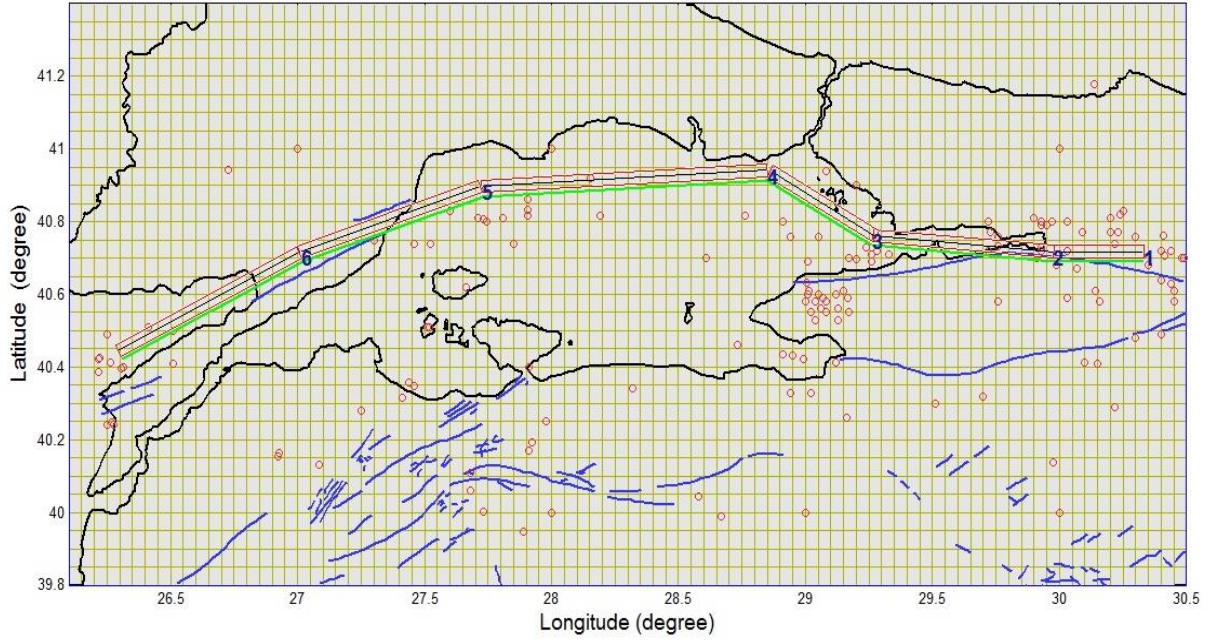
Coulomb gerilme analizi yapılırken, deprem hareketinin neden olduğu gerilme değişimlerinin doğruluğu, değerlendirmede seçilen deprem ve depremler için kullanılan parametrelerin seçimi ile belirlenir. Başlangıçta yapılacak hatalar Coulomb gerilmesi dağılımında önemli sapmalara neden olabilir.

4. Bulgular (Results)

Kocaeli ili ve Marmara denizinin deprem tehlikesini tespit etmek amaçlı yapılan Coulomb Gerilme Analizi için Coulomb3.3 programı kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında 1990-2016 arasında meydana gelen 165 adet, büyüklükleri 4.0 ile 7.6 arasında değişen depremler kullanılmıştır. Depremlerin lokasyon bilgileri AFAD dan alınmıştır (Şekil 3). Çalışma alanı ilk aşamada sayısallaştırılarak referans noktaları oluşturulmuştur. Çalışma alanının kıyı hattı belirlendikten sonra Marmara denizini etkileyen KAF zonunun çalışma bölgesindeki kırık zonu sayısallaştırılmıştır. Fay modellerini elde etmek için MTA diri fay haritası (Emre vd., 2013) ile Çakır vd. (2003)'ün yaptığı çalışmadan faydalanılmıştır. Bölgeyi temsil eden en uygun 6 farklı fay modeli seçilmiş ve bunlar kullanılarak senaryolar oluşturulmuştur(Şekil 4).



Şekil 3. Çalışma kapsamında kullanılan depremlerin episantr haritası (AFAD, <https://depem.afad.gov.tr/>; GMT, Wessel and Smith, 1995) (Epicenter map of earthquakes used in this study)

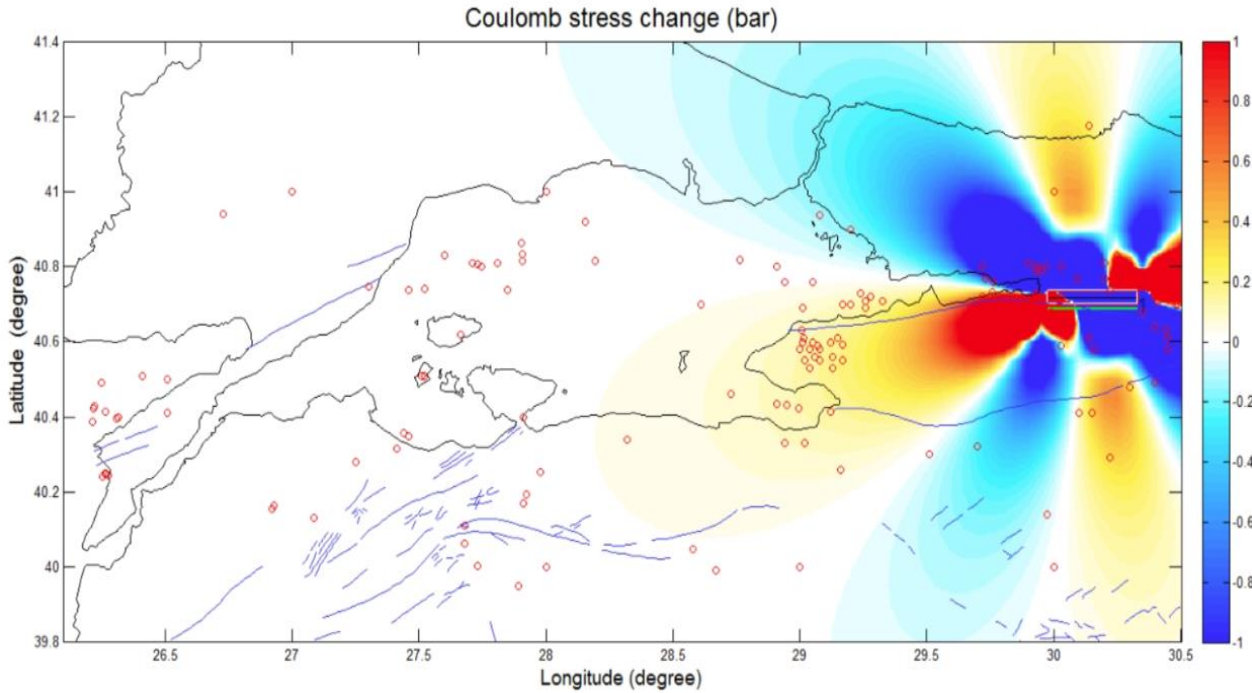


Şekil 4. Çalışmada kullanılan fay modelleri ve depremlerin haritası. (Fault models used in this study and epicenter map of earthquakes)

5. Tartışma ve Sonuçlar (Discussion and Conclusion)

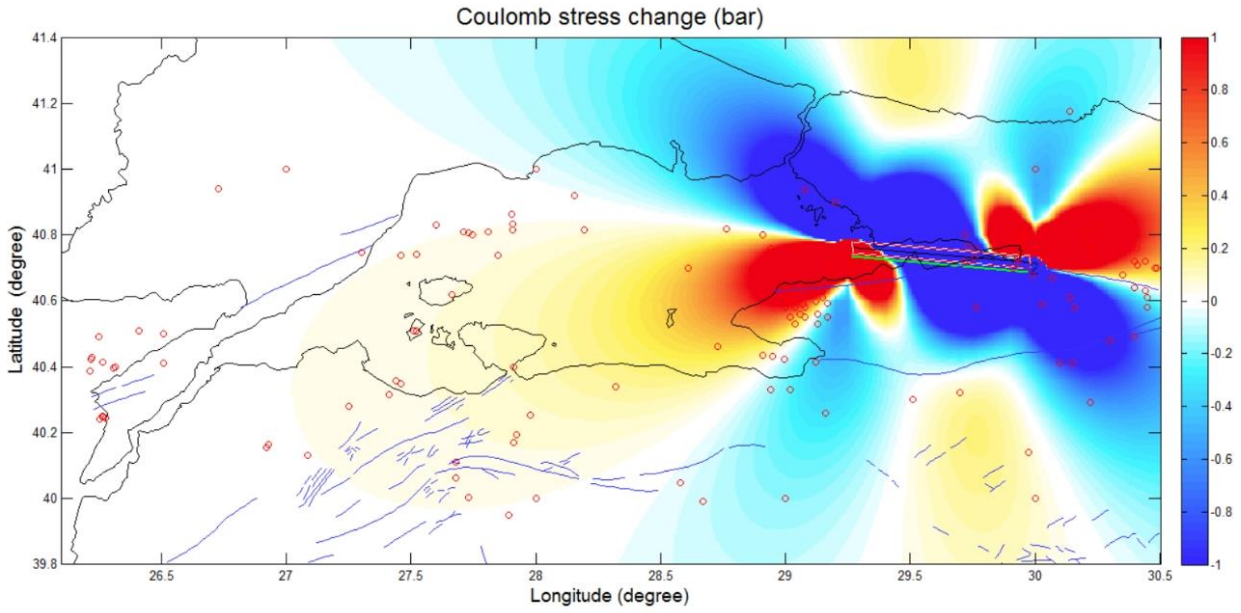
Bu bölümde, bölgeye uygulanan Coulomb Gerilme Analizi yönteminin sonuçları şekiller ile ayrıntılı olarak anlatılacaktır. Bir önceki bölümde anlatıldığı gibi Kuzey Anadolu Fayının Marmara Denizindeki uzantısı olan doğudan batıya doğru yer alan 6 farklı fay modeli üzerinden çalışma yapılmıştır.

İzmit Fayı olarak da adlandırılan 1 nolu fay modeli, tek olarak ve tüm depremler kullanılarak Coulomb gerilme analizi uygulandığında gerilmenin KB-GD yönünde azaldığını buna rağmen İzmit Fayının batısında ve doğusunda gerilmenin yüksek olduğunu görülmektedir (Şekil 5).



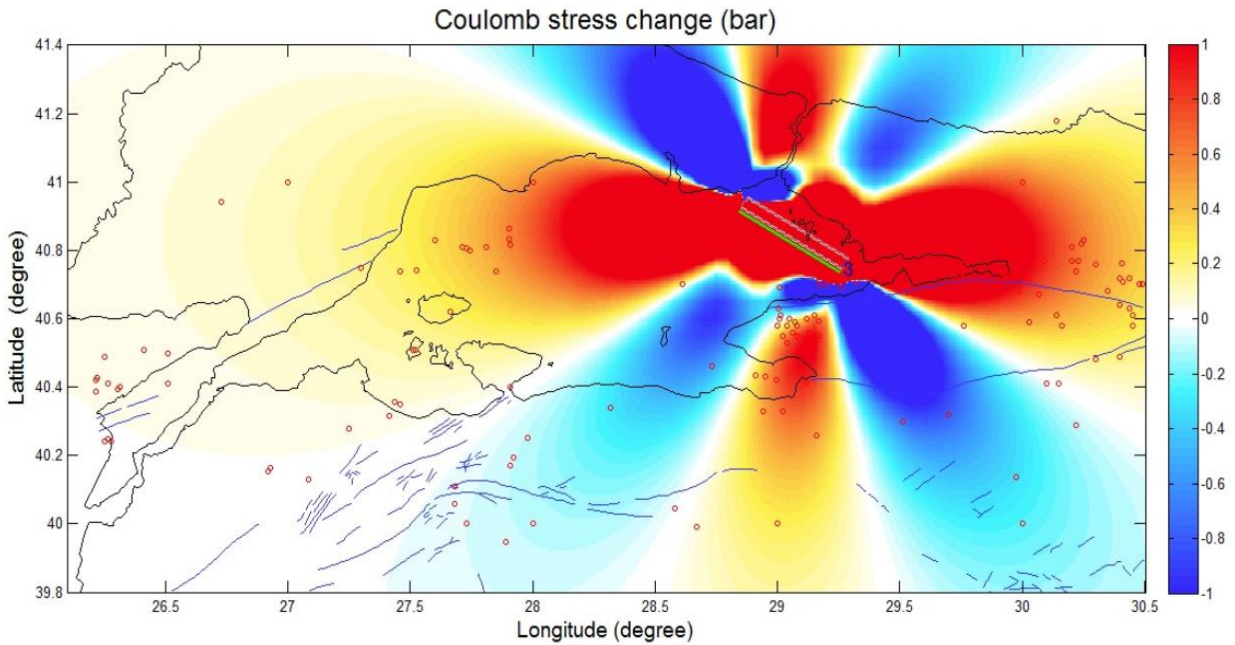
Şekil 5. Bir nolu fay modelinin değerlendirilmesi (Evaluation of the number one fault model)

2 nolu fay modeli programda uygulandığında, Şekil 6 'da görüldüğü üzere 1 nolu modeldeki gibi aynı yönde ancak çok daha yüksek bir gerilim azalımı saptanmıştır. 17.08.1999 depreminin lokasyonunun bu fay modeli üzerinde yer alması bu yükselimin sebebidir.



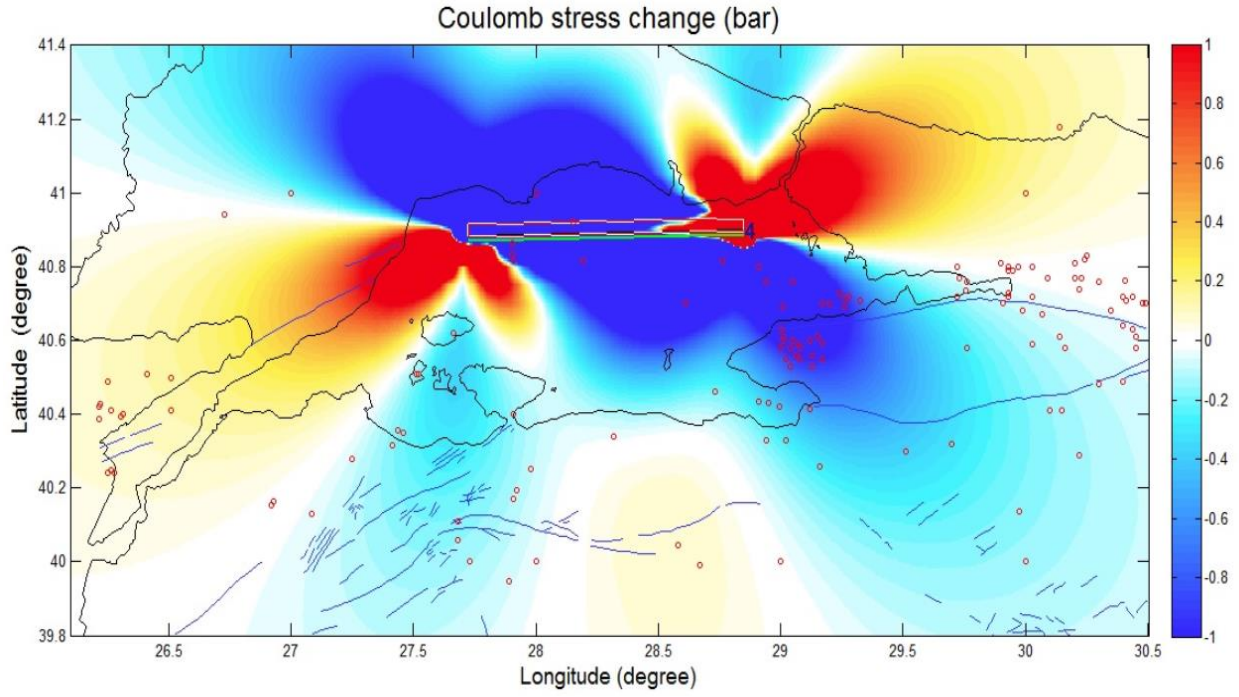
Şekil 6. İki nolu fay modelinin değerlendirilmesi (Evaluation of the number two fault model)

İlk iki fay modelinin doğrultusu yaklaşık doğu-batı yönelimli olmasına rağmen 3 nolu fay modeli KB-GD doğrultulu Kuzey Sınır Fayı olarak da adlandırılan İstanbul il merkezinin kıyı şeridinde paralel yer alan bir fay modelidir. Bu fayın 10.07.1894 tarihinde 9 şiddetinde bir deprem ürettiği yapılan çalışmalarla saptanmıştır (Ambraseys, 2001). Şekil 7'de görüldüğü üzere bu fay modeli programda uygulandığında doğu-batı yönelimli gerilimin çok yüksek olduğu tespit edilmiştir.



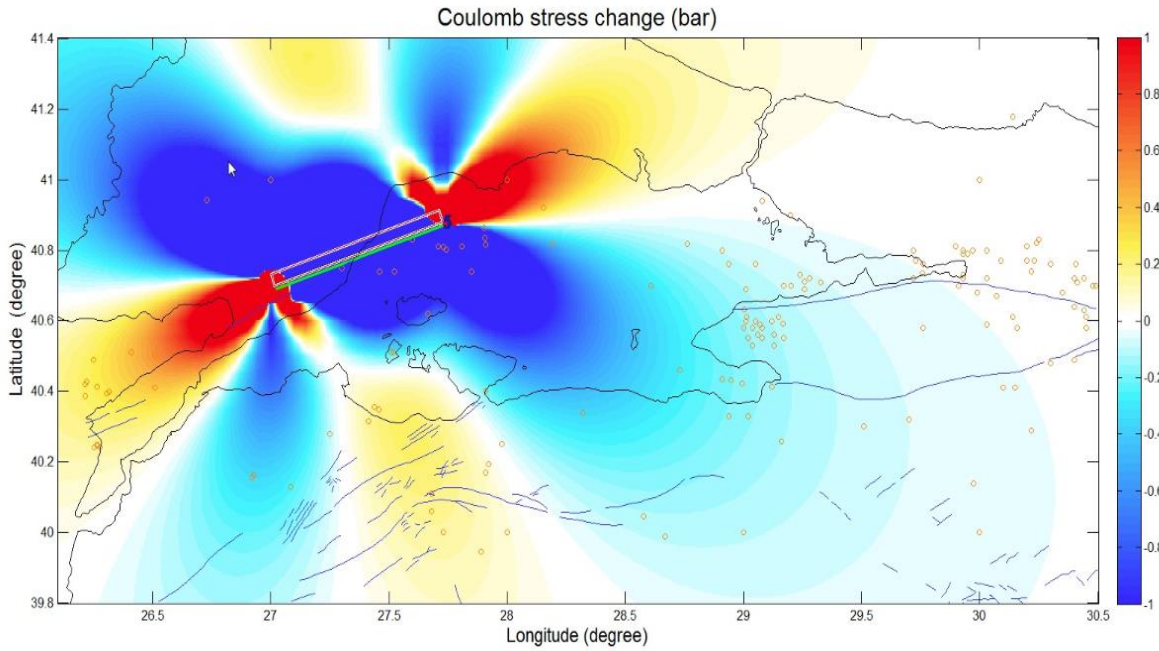
Şekil 7. Üç nolu fay modelinin değerlendirilmesi (Evaluation of the number three fault model)

Orta Marmara fayı olarak adlandırılan 4 nolu fay modeli esas alındığında gerilim azalımının KB-GD yönünde çok yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 8).



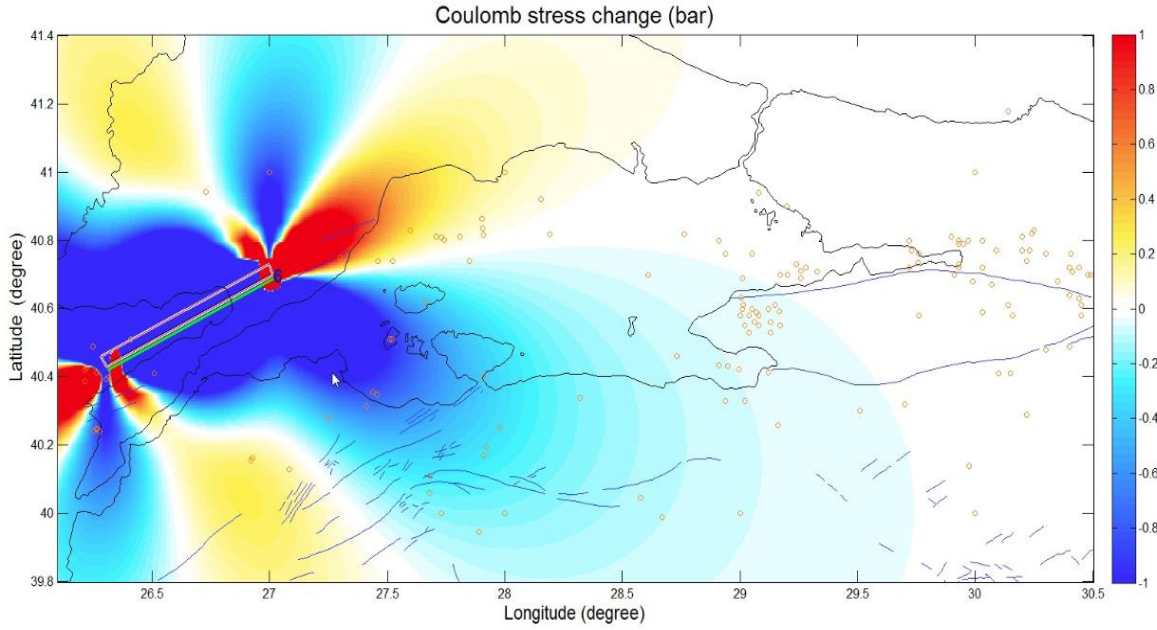
Şekil 8. Dört nolu fay modelinin değerlendirilmesi (Evaluation of the number four fault model)

Marmara denizinden Tekirdağ yarımadasında Mürefte'ye doğru KD-GB doğrultulu 5 nolu fay modeli programa uygulandığında, gerilimin yaklaşık KB-GD yönünde oldukça fazla azaldığı ve fayın GB kısmında gerilimin arttığı gözlenmiştir (Şekil 9).



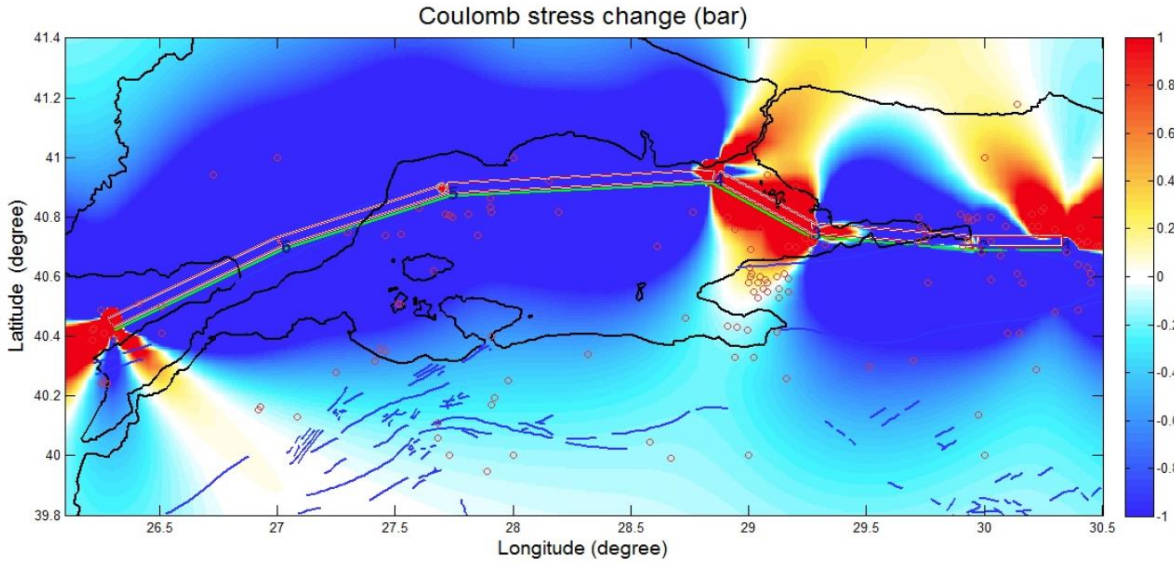
Şekil 9. Beş nolu fay modelinin değerlendirilmesi (Evaluation of the number five fault model)

Son olarak Şarköy'den Saroz Körfezi boyunca yer alan 6 nolu fay modeli kullanıldığında yaklaşık doğu-batı yönlü gerilimin azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Altı nolu fay modelinin değerlendirilmesi (Evaluation of the number six fault model)

Tüm fay modelleri bir bütün olarak Coulomb stress analizi programına uygulandığında, gerilim değişiminin en yüksek 3 nolu fay modeli boyunca elde edildiğini görmekteyiz.



Şekil 11. Altı fay modelinin birlikte değerlendirilmesi (Evaluation of six fault models together)

Diğer bölgelerde gerilimin azaldığını bu bölgede ise gerilimin yüksek olduğu görülmektedir. Gerilimin dağınık olması belli bir yönde olmaması, doğrultusu açısından bir yorum yapmamızı engellemiştir (Şekil 11). Bölgenin batısı ve doğusunda görülen gerilim artımının, doğrudan bölgedeki stres değişiminden kaynaklanmadığı o bölgelerde deprem verisinin az olmasından dolayı ortaya çıktığı düşünülmektedir.

Kocaeli ili ve çevresinde yapılan Coulomb gerilme analizi sonuçlarına göre Kocaeli ve özellikle Marmara Denizi'nde İstanbul kıyı şeridinde paralel fay modelinde en yüksek gerilim değişimi bulunmuştur. 1999 Ağustos Kocaeli depreminde yüksek derecede enerji boşalımı olmasına rağmen, Kocaeli ve Marmara Denizi'ni çevresi için deprem tehlikesi hala devam etmektedir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Adatepe, F.M., 1988. Marmara Denizi Jeofizik Verilerinin Değerlendirilmesi. İ.Ü. Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul (Türkçe).
- Ambraseys, N.N., Jackson, J.A., 2000. Seismicity of Sea of Marmara (Turkey) since 1500, *Geophys J Int*, 141, F1–F6.
- Ambraseys, N. 2001. The earthquake of 10 July 1894 in the Gulf of Izmit (Turkey) and its relation to the earthquake of 17 August 1999. *Journal of Seismology*. Kluwer Academic Publishers. 5 (1), s. 117–128. doi:10.1023/A:1009871605267. ISSN 1573-157X.
- Anderson, E. M., 1951. The dynamics of faulting and dyke formation with application to Britain, Oliver & Boyd, Edinburgh, 206 p.
- Armijo, R., Meyer, B., Hubert, A. & Barka, A., 1999. Westward propagation of the North Anatolian Fault into the northern Aegean: timing and kinematics, *Geology*, 27, 267–270.
- Armijo, R., Meyer, B., Navarro, S., King, G., Barka, A., 2002. Asymmetric slip partitioning in the Sea of Marmara pull-apart: a clue to propagation processes of the North Anatolian Fault? *Terra Nova*, 14, 80–86.
- Barka, A., Kadinsky Cade, K., 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7, No:3, 663-684.
- Becel, A., Laigle, M., Voogd, B., Hirn, A., Taymaz, T., 2009. Moho, crustal architecture and deep deformation under the North Marmara Trough, from the SEISMARMARA Leg 1 offshore-onshore reflection-refraction survey, *Tectonophysics*, 467, 1–21.
- Carton, H., 2005. Etudes tectoniques en Mediterranee orientale par analyse de données de sismique reflexion: Mer de Marmara Bassin de Cınarcık et merge du Liban, PhD thesis, Institute De Physique Du Globe De Paris.
- Carton, H., Sing, S.C., Party, 2007. Three dimensional Seismic imaging of active pull- 74 Yerbilimleri apart basin: The Cınarcık Basin along the North Anatolian Fault, *J. Geophys. Res.*, 112, doi:10.1029/2006JB004548.
- Chinery, M. A., 1963. The stress changes that accompany strike-slip faulting. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 53, 921-932.
- Crapin, S., Evans, R., 1986. Neotectonics of the Marmara Sea region of Turkey. *J.Geol. Soc. London*, 143, 343-346.
- Çakır, Z., A. Barka, E. Evren, 2003. Coulomb stress interactions and the 1999 Marmara Earthquake sequence, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 12, 91-103.
- Das, S. ve Scholz, C.H., 1981. Off-fault aftershock clusters caused by shear stress increase. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, 5, 1669-1675.
- Delouis, B., Lundgren, P., Salichon, J. and Giardini, D., 2000. Joint inversion of InSAR and teleseismic data for the slip history of the 1999 Izmit (Turkey) earthquake, *Geophys. Res. Lett.* 27, 3389-3392.
- Demirbağ, E., Rangin, C., Le Pichon X. & Şengör, A.M.C., 2003. Investigation of the tectonics of the Main Marmara Fault by means of deep-towed seismic data, *Tectonophysics*, 361, 1–19.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş. ve Şaroğlu, F. 2013. 1/1.250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-, Ankara, Türkiye.
- Erdik, M., Demircioğlu, M., Sesetyan, K., Durukal E., Siyahi, B., 2004. Earthquake hazard in Marmara Region, Turkey. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 605–631.
- Harris, R.A. ve Simpson, R.W., 1992. Changes in static stress on southern California faults after the 1992 Landers earthquake, *Nature*, 360, 251-254.
- Harris, R. A., 1998. Stress triggers, stress shadows and implications for seismic hazards, *Journal of Geophysical Research*, 103, 24347-24358.
- Hubert, A., King, G.C.P., Armijo, A., Meyer, B. and Papanastassiou, D., 1996. Fault re-activation, stress interaction and rupture propagation of the 1981 Corinth earthquake sequence, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 142, 573-585.
- Imren C., Le Pichon, X., Rangin C., Demirbağ E., Ecevitoglu B., Görür N., 2001. The Anatolian fault within the Sea of Marmara: A new interpretation based on multi- channel seismic and multi-beam bathymetry data. *Earth Planet. Sci. Letter*, 186, 143-158.
- Kılıç C.A., ve Kalyoncuoğlu Ü.Y., 2015. İzmir ili ve Çevresi için Coulomb Gerilme Değişimi ve Depremselliğinin Bölgesel Dağılımı. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 14-16 Ekim 2015 ,DEÜ,İZMİR.
- King, G. C. P., Stein, R. S. ve Lin, J., 1994. Static stress changes and the triggering of earthquakes, *Bulletin of Seismic Society of America*, 84, 935– 953.
- King, G.C.P.ve Cocco, M., 2000. Fault interaction by elastic stress changes: new clues from earthquake sequences, *Adv. Geophys.*, 44, 1–38.
- Laigle, M., Becel, A., de Voogd, B., Hirn, A., Taymaz, T. & Ozalaybey, S., the Members of the SEISMARMARA Leg1, 2008. A first deep seismic survey in the Sea of Marmara: whole crust and deep basins. *Earth planet. Sci. Lett.*, 270, 168–179.
- Le Pichon, X, Şengör, A.M.C., Taymaz, T., 1999. Büyük Marmara Fayı: niçin, nerede ve ne olabilir? *Cumhuriyet Bilim ve Teknik*, 661, 8-11.
- Le Pichon, X., Şengör, A.M.C., Demirbağ, E., 2001. The active main marmara fault, *Earth planet. Sci. Lett.*, 192, 543–560.
- Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Rangin, C., Şengör, A.M.C., 2003. The North Anatolian fault in the sea of marmara, *J. geophys. Res.*, 108, doi:1029/2002JB001862.
- McKenzie, D.P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean Region. *Geophys. J. Astron. Soc.*, 30, 109-185.
- Nalbant, S.S., Hubert, A., King, G.C.P., 1998. Stress coupling between earthquakes in northwest Turkey and the North Aegean Sea. *J. Geophys. Res.*, 103 24469-24486.
- Nalbant, S.S, Mc Closkey, J. and Steacy, S., 2005. Lessons on the calculation of static stress loading from the 2003 Bingol, Turkey earthquake. *Earth And Planetary Science Letters*, 235 (3-4). pp. 632-640.
- Okada, Y., 1985. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bulletin of Seismic Society of America*, 75, 1135-1154.

- Okay, A.İ., Kaşlılar Ö. A., İmren, C., Boztepe G. A., Demirbağ, E., 2000. Geometry of active faults and strike-slip basins in the Marmara Sea, Northwest Turkey: A Multichannel Seismic reflection study. NATO Advanced Research Seminar, Istanbul, Abstracts 20-21. Örgülü, G., 2011.
- Polat O., Haessler, H., Cisternas, A., Philip, H., Eyidogan, H., Aktar, M., Frogneux, M., Comte, D. and Gurbuz, C., 2002a. The Izmit (Kocaeli) Turkish earthquake of August 17, 1999: Previous seismicity, aftershocks and seismotectonics, Bull. Seism. Soc. Am. 92 (1), 361-375.
- Polat O., Haessler, H., Cisternas, A., Philip, H. and Eyidogan, H., 2002b. Analysis and interpretation of the aftershock sequence of the August 17, 1999, Izmit (Turkey) earthquake, J. Seism. 6, 287-306.
- Smith, A.D., Taymaz, T., Oktay, F.Y., Yüce, H., Alpar, B., Başaran, H., Jackson, J.A., Kara, S., Şimşek, M., 1995. Highresolution seismic profiling in the Sea of Marmara (northwest Turkey): Late Quaternary sedimentation and sea-level changes. GSA Buletin, 107/8, 923-936.
- Stein, R.S., King, G.C.P. and Lin, J., 1992. Change in failure stress on the southern San Andreas fault system caused by the 1992 magnitude=7.2 Landers earthquake, Science, 258, 1328-1332.
- Stein, R.S., Barka, A., Dieterich, J.H., 1997. Progressive failure on the North Anatolian fault since 1939 by earthquake stress triggering. Geophys. J. Int., 128, 594-604.
- Şengör, A. M. C., 1979. The North Anatolian Transform Fault: Its Age, Offset and Tectonic Significance. Journal of the Geological Society, 136, 263-282.
- Şengör, A.M.C., 1980. Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları, TJK. Yayınları.
- Şengör, A.M.C., Canitez, N., 1982. The North Anatolian Fault. Alpine Mediterranean Geodynamics, Geodynamics Series, 7, 205-216.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a Case Study. StrikeSlip Deformation, Basin Formation and Sedimentation: The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication 17, 227-264.
- Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X., Rangin, C., 2004. The North Anatolian Fault: A New Look. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 33, 1-75.
- Taymaz, T., Jackson, J. and Mc Kenzie, D., 1991. Active tectonics of the north and central Aegean Sea. Geoph. J. Int., 106, 433-490.
- Taymaz, T., 1999. Marmara Bölgesi'nin Aktif Tektoniği: 1999 Gölcük-Düzce Depremleri. İTÜ-VAKIF Dergisi, 30 (Aralık 1999), 32-36.
- Toda, S., Stein, R.S., Reasenber, P.A., Dieterich, J.H. and Yoshida, A. 1998. Stress transferred by the 1995 Mw=6.9 Kobe, Japan, Shock: effect on aftershocks and future earthquake probabilities. Journal of Geophysical Research 103. Doi:10.1029/98JB00765. issn:0148-0227.
- Wessel, P., and Smith, W.H.F., 1995. New version of the Generic Mapping Tools (GMT), (EOS Transactions, 1995). 76, p. 329.
- Wong, H. K., Ludmann, T., Uluğ, A. Görür, N., 1995. The Sea of Marmara: a plate boundary sea in an escape tectonic regime. Tectonophysics, 244, 231-250.
- Yılmaz Y., Göktaşan E., Erbay AA., 2010. Morphotectonic development of the Marmara Region. Tectonophysics, 488, 51-70.