ERBAA (TOKAT) YERLEŞİM ALANINDAKİ SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

M.K. Akın[1], S.L. Kramer[2] ve T. Topal[3]

[1] *Yardımcı Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van*
[2] *Profesör, İnşaat Müh. Bölümü, Washington Üniversitesi, Seattle-USA*
[3] *Profesör, Jeoloji Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
Email: mugeakink@gmail.com

ÖZET:

Çalışma alanı, Erbaa (Tokat), Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) olarak bilinen sismik olarak aktif bir bölge içinde yer almaktadır. Erbaa şehir merkezi, 1940'lı yıllardan önce Kelkit Nehri'nin sol sahilinde kurulmuşken, merkez 1942 Niksar-Erbaa (M_w = 7.2) depreminden sonra daha güneye taşınmıştır. Erbaa'nın sismik mikrobölgeleme çalışması kapsamında detaylı saha incelemesi yapılarak çalışma alanının jeolojik ve jeoteknik özellikleri ortaya konulmuştur. Bu çalışma kapsamında, yerleşim alanına ait zeminlerin sıvılaşmaya karşı duyarlılığı belirlenmiştir. İnceleme alanındaki zeminlerin SPT-N, birim hacim ağırlık, ince tane oranı vb. gibi özellikleri ve yeraltısuyu derinlikleri de dikkate alınarak sıvılaşma analizleri için bir veritabanı oluşturulmuştur. Sıvılaşmaya duyarlı zeminler farklı metotlar kullanılarak değerlendirilmiştir. Erbaa zeminlerinin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi için sıvılaşma potansiyeli indeksleri (LPI ve LSI) yöntemleri kullanılmıştır. İlk olarak, her bir sondaj kuyusundaki sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (FS) belirlenmiştir. Sıvılaşma analizlerinde tüm inceleme alanı için tek bir ivme değeri yerine her bir sondaja ve/veya sismik mikrobölgeleme kapsamında oluşturulan karelaj sistemine özel yatay ivme değerleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmeye gidilmiştir. Sonuç olarak, sıvılaşma potansiyeli indeksleri (LPI ve LSI) değerleri belirlenmiş ve inceleme alanının iki farklı yöntemden elde edilen sonuçlara göre hazırlanmış sıvılaşma potansiyeli haritaları üretilmiştir. Elde edilen bu haritalara göre, yerleşim alanının Kelkit Nehri'ne yakın olan kuzey kesimlerinin yüksek sıvılaşma potansiyeline sahip olduğu belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Sıvılaşma potansiyeli, Erbaa, KAFZ, harita, sismik mikrobölgeleme.

1. GİRİŞ

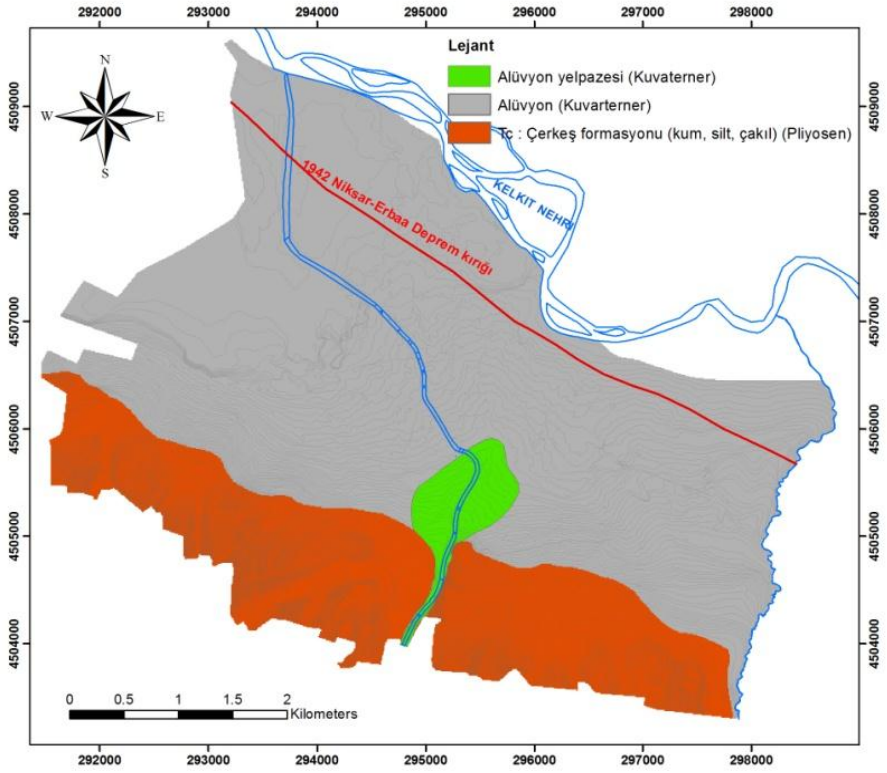
Çalışma alanı, Erbaa, Orta Karadeniz bölgesinde Tokat iline bağlı olup 95658 nüfusludur (DPT, 2007). Kelkit çayı kenarında kurulan ilçe, Kelkit Irmağı boyundaki bir ova ile bunu çevreleyen dağlık yerleri içine alan 1111 kilometrekarelik yüzölçüme sahip Erbaa baseninde yer almaktadır (Şekil 1).

Erbaa şehir merkezi, Kelkit ırmağının akış aşağısına göre batısında yer almaktadır. 1942 ve 1943 yıllarında meydana gelen depremler sonrası oluşan ciddi tahribat dolayısıyla, daha önce de belirtildiği, gibi yerleşim alanı güneye doğru kaydırılmıştır.

Şekil 1. Yerbulduru haritası

1.1. Çalışma Alanı Jeolojisi

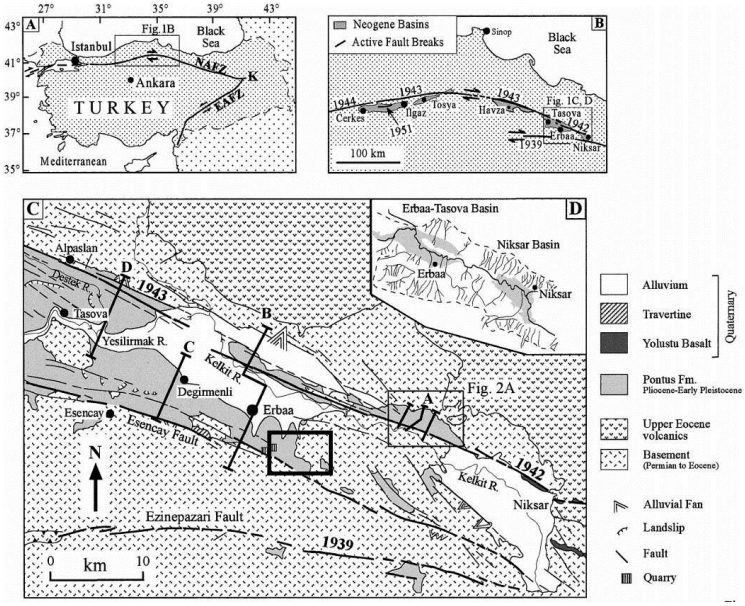
Erbaa baseni yakın çevresinde, Permiyen ve Senozoyik yaşlı birimler yer almaktadır. Temel kayasını, Turhal Grup metamorfikleri (Permiyen-Triyas) (Şekil 2) oluşturur (Aktimur vd., 1990). Geç-Orta Jura aglomera-kumtaşı ve Geç Jura-Erken Kretase kireçtaşı birimleri temel kayalarını uyumsuzluk ile örterler. Bu birimlerin üzerine baskın olarak konglomera, kumtaşı, çamurtaşı, şeyl ve marn ardalanmasından oluşan Yumaklı formasyonu gelmektedir. Bu formasyonun yaşı Geç Kretase 'dir. Bu birim, iki farklı Tersiyer birimi (Akveren ve Kusuri) birimleri tarafından üzerlenir. Bu birimler de, karasal ortamda oluşmuş Çerkeş formasyonu tarafından uyumsuzluk ile örtülür. Erbaa basenindeki en genç birim, vadi tabanlarını dolduran Kuvaterner alüvyon'dur (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanı jeoloji haritası

1.2. Tektonik

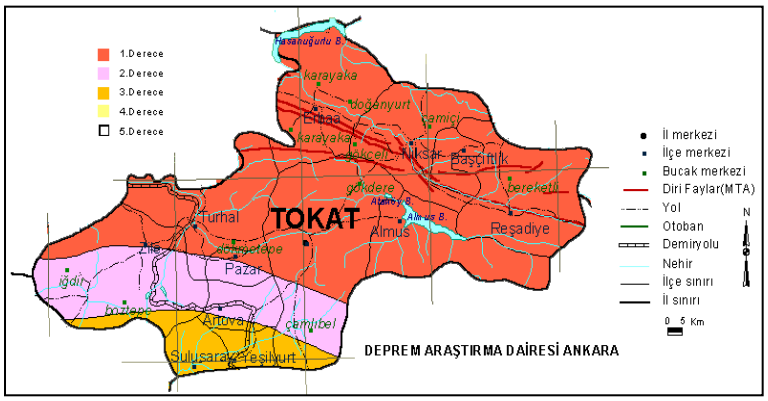
Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) , dünyada en iyi bilinen doğrultu atımlı faylardan birisidir ve fay zonu boyunca çok sayıda çek-ayır havzalar oluşmuştur. Yaklaşık 1500 km uzunluğunda olan bu fay zonu, sismik açıdan aktiftir ve hareket yönü dikkate alındığında, Anadolu Plakası ile Karadeniz Plakası arasında sağ-yanal doğrultu atımlı fay özelliğindedir (Şengör vd., 1985). KAFZ tarafından oluşturulan çek-ayır basenlerin stratigrafisi ve yapısı çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmıştır (Barka ve Hancock, 1984; Barka, 1984; Barka ve Gülen, 1989; Koçyigit, 1989, 1990; Tatar ve Park, 1992; Andrieux vd., 1995; Bellier vd., 1997). Çalışma alanının yakınındaki ve 1939-1942 depremlerinin görüldüğü çek-ayır basenleri (Taşova-Erbaa ve Niksar) ise çeşitli araştırıcılar tarafından incelenmiştir (Tatar vd., 1990; Tatar ve Park, 1992; Barka vd., 2000). Bu iki çek-ayır baseni bazen iki farklı bazen de tek bir basenmiş gibi değerlendirilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanı ve yakın çevresi tektonik haritası

2. DEPREMSELLİK

1900'lü yıllarda Erbaa ve yakın civarında çok sayıda deprem olmuştur. Erbaa, Türkiye 1.derece deprem bölgesinde yer almaktadır (http://www.deprem.gov.tr/indexen.html) (Şekil 4). Daha öncede bahsedildiği gibi, geçmiş depremler dikkate alındığında, Erbaa KAFZ içerisinde bulunan önemli bir deprem bölgesinde yer almaktadır. 1942 Niksar-Erbaa depremi Erbaa bölgesi için çok yıkıcı olmuş, bu deprem dolayısıyla şehir merkezinin yeri güneye doğru kaydırılmıştır. Her ne kadar, Demirtaş ve Yılmaz (1986) yılında belirtilen üç sismik boşluk Erbaa'yı içine almasa da, 1942 yılından beri hiçbir sismik aktivite olmaması dolayısıyla, Erbaa ve yakın çevresi için de deprem tehlikesinin mevcut olduğu söylenebilir. Erbaa ve yakın çevresindeki sismik aktiviteler (M>5.5 olan deprem büyüklükleri) Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 4. Tokat ilinin sismik zonlarını gösteren harita (Afet İşleri Genel Müdürlüğü, 1996)

Tablo 1. Erbaa ve yakın çevresindeki tarihsel depremler

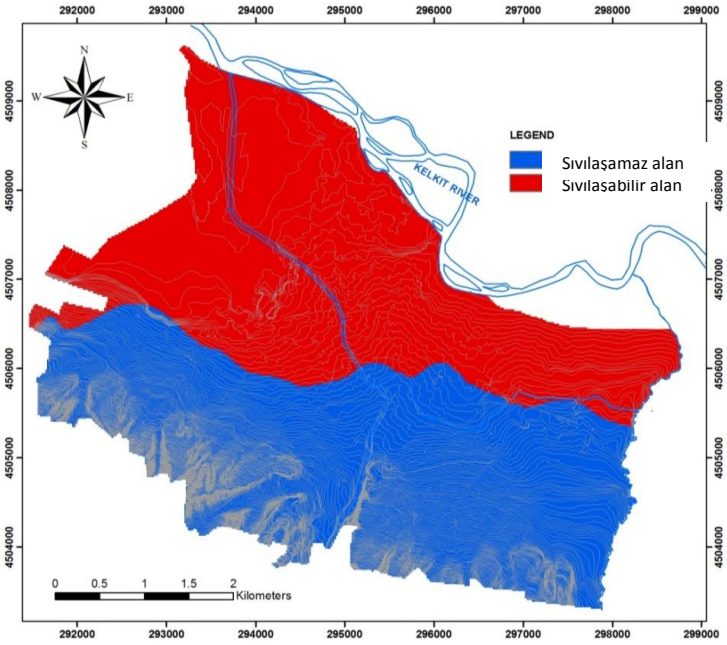
Tarih	Yer	M ≥ 5.5	Tarih	Yer	M ≥ 5.5
04.04.1543[1]	Tokat ve Erzincan	?	26.11.1943[2,3,4]	Tosya-Ladik	7.2-7.3
1688[1]	Amasya-Niksar	?	1943[2]	Erbaa ve yakın çevresi	5.6
1909[2,4]	Erbaa ve yakın çevresi	6.3	1944[2]	Erbaa ve yakın çevresi	5.5
1909[2]	Erbaa ve yakın çevresi	5.8	1960[2,4]	Erbaa ve yakın çevresi	5.9
1909[2,4]	Erbaa ve yakın çevresi	5.7	13.03.1992[1,2,3]	Erzincan	6.8
24.01.1916[2,4]	Tokat	7.1	15.03.1992[2,4]	Erzincan	5.8
1923[2]	Erbaa ve yakın çevresi	5.9	26.11.1943[2,3,4]	Tosya-Ladik	7.2-7.3
1929[2,3,4]	Erbaa ve yakın çevresi	6.1	1943[2]	Erbaa ve yakın çevresi	5.6
1935[2,3]	Erbaa ve yakın çevresi	5.5	1944[2]	Erbaa ve yakın çevresi	5.5
1939[2]	Erbaa ve yakın çevresi	5.7	1960[2,4]	Erbaa ve yakın çevresi	5.9
26.12.1939[2]	Erzincan	7.9	13.03.1992[1,2,3]	Erzincan	6.8
1940[2]	Erbaa ve yakın çevresi	6.2	15.03.1992[2,4]	Erzincan	5.8
1941[2,4]	Erbaa ve yakın çevresi	5.7	**Kaynaklar:**	1) Ambraseys ve Finkel, 2006 2) Özmen vd., 1997	
20.12.1942[2]	Niksar-Erbaa	7.1-7.2		3) Ayhan vd., 1984 4) İnan vd., 1996	

3. ZEMİN KOŞULLARI

Alüvyon, çalışma alanının büyük bir kısmını örtmektedir (Şekil 2). Alüvyon kalınlığı inceleme alanının kuzeyine (Kelkit nehrine) doğru artmaktadır. Çalışma alanındaki alüvyon çakıllı, kumlu, siltli ve killi malzemelerden oluşmaktadır. Çakıl boyutları genellikle 2-5cm arasında değişmektedir. Çakıllar gri renkli, yuvarlak ve iyi derecelenmiştir. Kumlu birimlerin yoğunlukları nehire doğru azalmaktadır. Killi seviyeler, koyu yeşil-açık kahverenkli ve orta-yüksek plastiktir. Alüvyondaki su seviyesi, Erbaa'nın kuzeyine özellikle de Kelkit nehrine doğru sığlaşmaktadır. Bu çalışma kapsamında toplam 104 sondaj kuyusuna ait verileri değerlendirmek mümkün olmuştur. Erbaa yerleşim alanında 21 rezistivite, 20 sismik kırılma, 3 downhole kuyu içi sismik, 10 uphole kuyu içi sismik, ve 517 mikrotremör, 6 MASW-REMI ölçümü yapılmıştır.

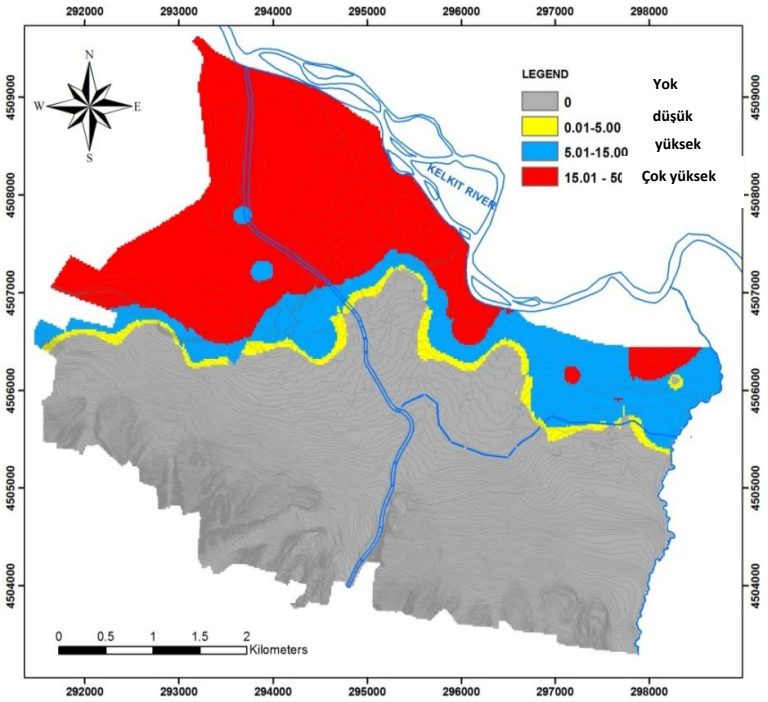
4. SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Erbaa'da sıvılaşma ve sıvılaşma sonrası etkilerin belirlenmesi için mevcut veriler kullanılarak sıvılaşma potansiyeli olan seviyeler değerlendirilmiştir (Akın ve Topal, 2008a; 2008b). Sıvılaşmaya yatkın seviyeler, başlangıç mekanizmaları ve sıvılaşma sonrası etkiler, Erbaa zeminlerinin sıvılaşmaya karşı duyarlılığı açısından belirlenmiştir. İnceleme alanındaki zeminlerin SPT-N, birim hacim ağırlık, ince tane oranı vb. gibi özellikleri ve yeraltısuyu derinlikleri dikkate alınarak sıvılaşmaya duyarlı zeminler, Boulanger ve Idriss (2005) ve Bray ve Sancio (2006) metotları kullanılarak değerlendirilmiştir. Buna göre, Erbaa'daki sıvılaşma olasılığı olan seviyeler her bir sondaj kuyusu bazında incelenmiştir. İnceleme alanı için elde edilen sıvılaşmaya karşı duyarlılık haritası Şekil 5'de sunulmuştur.

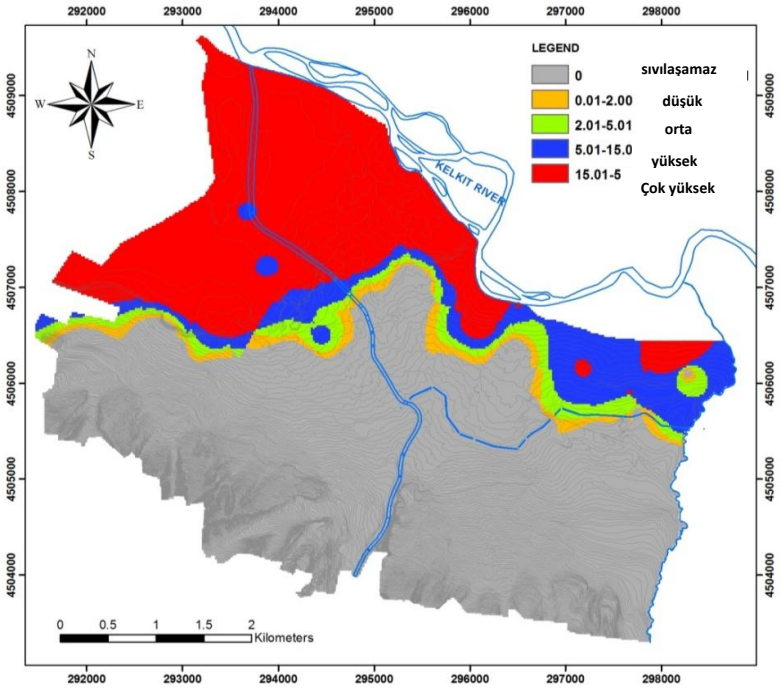


Şekil 5. İnceleme alanının sıvılaşmaya karşı duyarlılık haritası

Erbaa zeminlerinin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi için Iwasaki vd. (1982) ve Sönmez (2003) tarafından önerilen yöntemler kullanılmıştır. İlk olarak, Idriss ve Boulanger (2008) metodu ile her bir sondaj kuyusundaki sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı (FS) belirlenmiştir. Diğer bir deyişle, sıvılaşma analizlerinde tüm inceleme alanı için tek bir ivme değeri yerine her bir sondaja ve/veya karelaj sistemine özel yatay ivme değerleri göz önünde bulundurulmuştur. Analizlerde en büyük olası deprem büyüklüğü olarak 7.2 alınmıştır. Sonuç olarak, sıvılaşma potansiyeli indeksi (LPI) değerleri Iwasaki vd. (1982) ve Sönmez (2003) yöntemleri ile hesaplanmıştır. İnceleme alanının iki farklı yöntemden elde edilen sonuçlara göre hazırlanmış sıvılaşma potansiyeli haritaları Şekil 6 ve 7'de gösterilmektedir.



Şekil 6. İnceleme alanının Iwasaki vd. (1982) LPI göre hazırlanmış sıvılaşma potansiyeli haritası



Şekil 7. İnceleme alanının Sönmez (2003) LPI göre hazırlanmış sıvılaşma potansiyeli haritası

5. SONUÇLAR

Iwasaki vd. (1982) yöntemine göre hazırlanmış sıvılaşma potansiyeli haritasında gri renkli bölgeler, LPI değerlerinin oldukça düşük olduğu zonları işaret etmektedir. Ancak, bu durumda sıvılaşmaya duyarlı olmayan Pliyosen birimlerinin de düşük sıvılaşma potansiyeline sahip olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır ki bu pek mantıklı gözükmemektedir. Öte yandan, Sönmez (2003) yöntemine göre hazırlanmış sıvılaşma potansiyeli haritasında aynı gri renkli bölgeler sıvılaşmayan zonda yer almaktadır. Bunların yanı sıra, her iki yöntem de inceleme alanının kuzeybatısında Kelkit Nehri boyunca yayılım gösteren gevşek ve sığ yeraltısuyu seviyesine sahip alüvyon birimi için (kırmızı bölge) yüksek sıvılaşma potansiyeli olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

Akın, M., Topal, T., (2008a). Assessment of SPT-based liquefaction of erbaa (tokat), turkey. 6th ınt. Conference on Case Histories İn Geotechnical Engineering, 12-16 august 2008, Arlington-Va, usA

Akın, M., Topal, T., (2008b). Estimation of liquefaction effects of erbaa (Turkey) by using liquefaction potential index. Euroengeo, 15-20 September 2008, Madrid, Spain

Akın, M., Kramer, S.L., Topal, T., (2009). Comparison of Measured And Estimated Shear Wave Velocities in A Seismically Active Area (Erbaa, Turkey). Fifth International Conference on "Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering And Soil Dynamics, San Diego, California.

Aktimur, KT., Tekirli, M.E., Yurdakul, M. E., Ateş, Ş., Ürgün, B.M., Teoman, M.Ş., Keçer, M., Turşucu, A., Genç, S., 1990. 1:100 000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Tokat D 22 paftası: MTA yayl., Ankara.

Ambraseys, N.N., Finkel, C.F., 2006. Türkiye'de ve Komşu Bölgelerde Sismik Etkinlikler: Bir Tarihsel İnceleme (1500-1800), TÜBİTAK Akademik Dizi, 252 pp.

Andrieux, J., Over, S., Poisson, A., Bellier, O., 1995. The North Anatolian Fault Zone: distributed Neogene deformation in its northward convex part. *Tectonophysics*, 243, 135-154.

Ayhan, E., Alsan, E., Sancaklı, N., Üçer, S.B, 1984. Turkish Earthquake Catalogue - Türkiye ve Dolayları Deprem Kataloğu 1881-1980, Boğaziçi Üniversitesi, 126 pp.

Barka, A., 1984. Kuzey Anadolu Fay Zonudaki Bazi Neojen-Kuvanterner Havzalarinin Jeolojisi ve Tektonik Evrimi, Ketin Simpozyumu, 209-227 (in Turkish).

Barka, A., Gulen, L., 1989. New constraints on age and total offset of the North Anatolian Fault Zone: implications for tectonics of the Eastern Mediterranean region, METU. *Journal of Pure and Applied Sciences*, 21, 39-63.

Barka, A., Hancock, P.L., 1984. Neotectonic deformation patterns in the convex-northwards arc of the North Anatolian fault zone. In: Dixon, J.E., Robertson, A.H.F. (Eds.), The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. Geol. Soc. London, Spec. Publ. 17, 763-774.

Barka, A. A., Akyüz, S. H., Cohen, H. A., Watchorn, F. 2000. Tectonic evolution of the Niksar and Taşova-Erbaa pull-apart basins, North Anatolian Fault Zone: their significance for the motion of the Anatolian block. *Tectonophysics* 322, 243-264.

Bellier, O., Over, S., Poisson, A., Andrieux, J., 1997. Recent temporal change in stress state and modern stress field along the North Anatolian Fault Zone (Turkey). *Geophysical Journal*. International, 131, 61-86.

Boulanger, R. W., Idriss, I. M., 2005. Evaluating cyclic failure in silts and clays. Proceedings, Geotechnical Earthquake Engineering Satellite Conference on Performance Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering: Concepts and Research. Prepared by TC4 Committee of ICSMGE, Japanese Geotechnical Society, Tokyo, 78-86.

Bray, J. D., Sancio, R. B., 2006. Assessment of the liquefaction susceptibility of fine-grained soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 132(9), 1165-1177.

Demirtaş, R., Yılmaz, R., 1996. Türkiye'nin Sismotektoniği, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı yayınları.

Idrıss, I. M., boulanger, R. W., 2008. Soil liquefaction during earthquakes. Monograph mno-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 261 pp.

Inan, E., Colakoglu, Z., Koc, N., Bayülke, N., Coruh, E., 1996. Earthquake Catalogs with Acceleration Records from 1976 to 1996. , General Directorate of Disaster Affairs, Earthquake Research Department, Ankara, Turkey, 98 pp (in Turkish).

Iwasakı, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S., Sato, H., 1982. Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods. Proceedings of the 3rd International Conference On Microzonation, Seattle, 3, 1310-1330.

Koçyiğit, A., 1989. Susehri basin: an active fault-wedge basin on the North Anatolian Fault Zone, Turkey. Tectonophysics movements in the Arabia–Africa–Eurasia plate collision zone. 167, 13-29.

Koçyiğit, A., 1990. Tectonic setting of the Golova Basin, total offset of the North Anatolian Fault Zone, Eastern Pontide, Turkey. Annal. Tecton. IV(2), 155-170.

Özmen, B., Nurlu, M., Güler, H., 1997. Coğrafi Bilgi Sistemi ile Deprem Bölgelerinin İncelenmesi, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, 89 pp.

Sonmez, H., 2003. Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey). *Environmental Geology*, 44(7), 862-871.

Şengör, A. M. C., Görür, N. and Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, Strike-slip deformation, basin formation, and sedimentation, Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Pub. 37 (in honor of J.C. Crowell), 227-264.

Tatar, O., Park, R.G., Temiz, H., Tutkun, S.Z., 1990. Transtensional and transpressional structures associated with the North Anatolian strike–slip fault zone: the Niksar Basin, Turkey. In: Savascin, M.Y., Eronat, A.H. (Eds.), Proc. Int. Earth Sciences Congress on Aegean Regions, Vol. II., 323-333.

Tatar, O., Park, R.G., 1992. Neotectonic extensional and contractional strains within Pliocene basin deposits near the NW margin of the Niksar pull-apart basin, Turkey (abstr.). In: Int. Workshop: Work in Progress on the Geology of Turkey, 9-10 April, Keele University, 65–66.