

Amasya ve çevresinin depremselliği ve deterministik deprem tehlike analizi

M. Korhan ERTURAC*, Okan TÜYSÜZ

İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Yer Sistem Bilimi Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Amasya ve yakın çevresi, kuzeyde Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ana kolu ile sınırlanan, orta ve güneyinde ise KAF'dan ayrılarak Anadolu içerisinde doğru uzanan yan kollar olan Esençay-Suluova (Es-SuF) ve Ezinepazar-Sungurlu (EzSF) Fay sistemleri tarafından denetlenen geniş bir deformasyon alanı içerisinde yer almaktadır. Amasya Makaslama Zonu (AMZ) olarak tanımlanan bu alanın morfolotektonik evrimi, aktivitesini günümüzde de sürdüren çok sayıda tektonik hat tarafından kontrol edilmiştir. İnceleme alanında yer alan aktif tektonik hatlardan en önemlisi olan KAF'nın ana kolu, son yüzyıldaki (1939, 1942 ve 1943) deprem serisi ile tamamen kırılmıştır. Hendek çalışmaları ile fay hattının son 2000 yıl içerisindeki deprem geçmişi ortaya konularak yayınlanmış ise de tarihsel kayıtlarda bulunan ancak KAF üzerinde bu çalışmalarla bulunamamış birçok yıkıcı depremin AMZ içerisinde yeralan yan kollar üzerinde gerçekleştiği öngörülmektedir. Bu fayların aktivite derecesi ile üzerlerinde gerçekleşebilecek depremlerin çevreye etkilerinin belirlenmesi bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Amasya ve çevresinin deprem tehlikesinin belirlenmesine yönelik olarak: (1) arazi çalışmaları ile aktif fayların uzanımları ve özellikleri belirlenmiştir, (2) aletsel dönemde gerçekleşen çeşitli boyutlardaki depremler derlenmiştir, (3) tarihsel deprem kayıtlarına yönelik literatür derlemesi gerçekleştirilmiştir, (4) GPS kampanyalarından elde edilen bölgede biriken yıllık atım değerleri kullanılmıştır, (5) fay segmentlerinin uzunlukları ve olası depremlerin büyüklükleri hesaplanmıştır. (6) Elde edilen tüm verilerin ışığında AMZ dahilinde yer alan herbir fay segmenti üzerinde deprem senaryoları kurgulanmış ve CBS ortamında ivme azalım ilişkileri kullanılarak bu depremlerin şiddet dağılımı hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Amasya, KAF, deterministik deprem tehlikesi analizi (DSHA), deprem senaryoları, ivme azalım ilişkileri.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: M. Korhan ERTURAC. erturac@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 60 76.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Yer Sistem Bilimi Programı'nda tamamlanmış olan "Amasya ve çevresinin morfolotektonik evrimi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 19.11.2009 tarihinde dergiye ulaşmış, 31.12.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.09.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Deterministic seismic hazard analysis for Amasya and surroundings

Extended abstract

The North Anatolian Fault (NAF) forms the northern boundary of the Anatolian plate and is characterized by a right-lateral strike slip motion. The fault extends between 26° and 40° E longitudes and forms a broad arc roughly parallel to the coast of the Black Sea following a former suture zone. The only visible perturbations to the smooth geometry of the NAF are, at around 34-37°E longitude, two main splay faults named Ezinepazar-Sungurlu Fault and Suluova Fault with several related minor fault segments that bifurcate from the main fault line, possibly due to the convexity of the NAF geometry. These secondary fault structures show remarkable morphological expressions accompanied with elongated basin formations and significant microseismicity. The NAF, together with these splay faults, form a broad wedge-shaped shear zone called Amasya Shear Zone (ASZ) where major growing cities of central Anatolia such as Amasya, Çorum and Tokat are located.

These cities, which today have total a population close to 500000 with significant industrial infrastructure, were subject to destructive earthquakes during both historical (such as 1579, 1794 and 1668) and instrumental (such as 1939, 1942a, 1942b, 1943 and 1996) seismic periods. Recent paleoseismological studies revealed the rupture history of NAF in a time span of 2000 years (for a review see Hartleb et al. 2006). However, the historical earthquake database of the study area contains unlocated destructive earthquakes (such as 1579 and 1794 events) which are proposed to be nucleated on the splay faults of the ASZ. This statement reveals that there is an unevaluated seismic hazard potential of the region.

In this work, a 6 step procedure is followed for a complete earthquake hazard assessment for the study area:

- (1) First, the faults of ASZ are mapped in detail with field studies to understand the behavior and segmentation of the major fault systems (SuFS and EzSFS).
- (2) A detailed catalogue of instrumental seismic activity is prepared to understand the seismicity of

the region and to define the local clusters concentrated on the fault segments.

- (3) Information of historical earthquakes are investigated through the literature and field study in major cities to identify the possible related fault segment, this is accomplished by comparing intensity distributions based on historical data and modeled scenarios.
- (4) The results of recently published analysis of a local GPS campaign (Yavaşoğlu et al., 2009) is used to determine the annual slip rate resolved on the overall shear zone to estimate the earthquake recurrence interval.
- (5) For each active fault segment, the maximum magnitude of a possible earthquake is calculated with the relations between the rupture length and magnitude (Wells and Coppersmith, 1994).
- (6) GIS based earthquake scenarios based on attenuation relations (Tüysüz, 2003) are prepared to model the geographic intensity distribution for each calculated earthquake.

Historical documents related to earthquake activity within the study area permit us to study a time-span of 500 years in detail. During this period, two major earthquake swarms occurred on the NAF. The first was the single 1668 event ($M:7.9$) and the other includes 1939 ($M_w:7.8$), 1942 ($M_w:7.2$) and 1943 ($M:7.4$) earthquakes which ruptured the overall NAF in the study area. On the other hand, faults within the ASZ ruptured in 1579, 1794 and partly in 1939 events accompanied with several moderate earthquakes. The annual slip rate resolved on NAF is 20 mm and on the overall ASZ faults is 5 mm/year (Yavaşoğlu et al., 2009). The relation between these earthquakes and the slip rates shows that there is not enough accumulated elastic strain yet to produce a destructive earthquake both on the NAF and its splays deforming the ASZ. Despite this conclusion, there is always a possibility for a moderate to major earthquake(s) due to the chaotic behavior of crustal deformation which yet cannot be measured and modeled.

Keywords: Amasya, North Anatolian Fault, deterministic seismic hazard analysis (DSHA), earthquake scenarios, attenuation relations.

Giriş

Alp-Himalaya dağ kuşağı üzerinde yer alan Türkiye'nin büyük bir bölümü deprem tehlikesi altındadır. Son yüzyıl içerisinde büyük oranda Kuzey Anadolu Fayı (KAF) üzerinde gerçekleşen yıkıcı depremlerde (ör: 1939, 1943 ve 1999 depremleri) oldukça çok sayıda can kaybı yaşanmıştır. Son dönemlerde yapılan araştırmalar, KAF üzerinde gerçekleşen depremlerin tarihçesinin anlaşılmasını sağlamakla birlikte çeşitli bölgelerde (ör: Marmara) yakın dönemde beklenen büyük depremlere dikkat çekmektedir (Şengör vd., 2005).

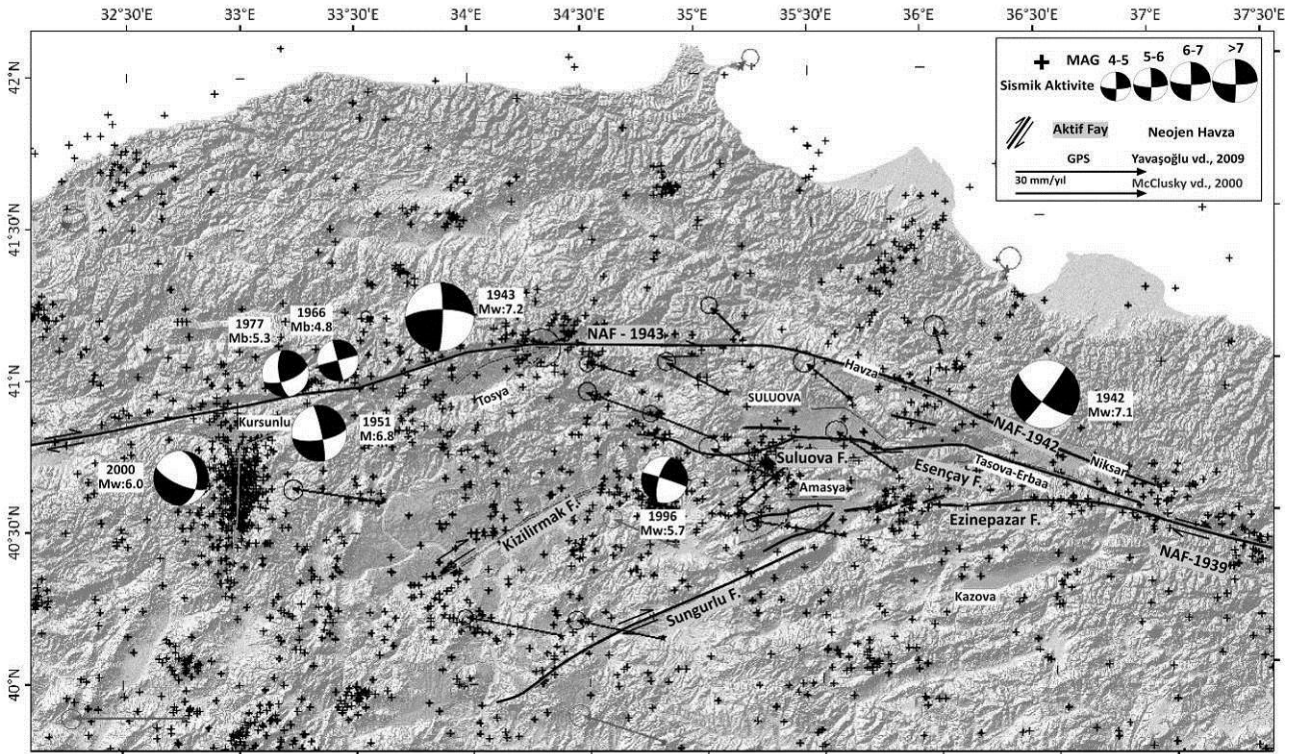
İnceleme alanı ve yakın çevresi, orta kuzey Anadolu'da yer alan, kuzeyde KAF ve güneyde ise KAF'dan ayrılan en önemli yan kollardan olan Ezinepazar-Sungurlu Fay Sistemi ile sınırlandırılan geniş bir makaslama zonudur (Şekil 1). Amasya Makaslama Zonu (AMZ) olarak adlandırılan bu alan içerisinde toplam nüfusu 500000'e ulaşan Anadolu'nun önemli yerleşim birimleri (Amasya, Çorum ve Tokat) yer almaktadır. Günümüzde hızla gelişmekte olan bu şehirler mevcut alanların yetersiz kalması nedeni

ile aktif faylar kontrolünde genişlemekte olan ovalar üzerine doğru yayılmaktadır. Bu nedenle bölgenin depremselliğinin anlaşılması önem kazanmaktadır.

Amasya ve çevresinde aletsel dönem içerisinde gerçekleşen depremler

AMZ ve çevresindeki sismik aktivitenin dağılımının anlaşılabilmesi için 1916-1999 tarihleri aralığında MAM-ISC (Tan vd., 2008), 1999-2009 Ağustos ayına kadar ise KOERI (Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü) kataloglarından yararlanılarak bütünlük bir veri seti hazırlanmıştır.

AMZ içerisinde, aletsel dönemde magnitüdü 4'den büyük 40; 5'den büyük 19 deprem gerçekleşmiştir (Şekil 1). Bu depremler ve magnitüdü 3'den küçük olan depremler belirli bölgelerde yoğunlaşmaktadır. AMZ'nda aletsel dönem içerisinde gerçekleşen önemli depremler: 1942 Kızılırmak Vadisi depremleri (M:5-6); 1996 Salhan Vadisi depremi (Mw:5.7) ile 2000 Orta Depremi (Mw: 6.0) olarak özetlenebilir.



Şekil 1. İnceleme alanı ve çevresinin aktif fayları, sismik aktivitesi ve vektörel GPS hızları

AMZ'nun doğu kesiminde Ezinepazar Fayı (EzF) ve Esençay Fayı (EsF) üzerinde yer alan sismik aktivite kümelenmesi oldukça belirgindir. Bunu kuzeybatıya doğru Ladik yakınlarında KAF ve Derinöz Fayı (DöF) üzerinde kümelenmiş sismik aktivite izler. KAF boyunca, bu kesimden Kargı'ya kadar uzanan hat üzerinde oldukça az sayıda deprem kaydedilmiştir. KAF'nın daha batı kesimleri sismik açıdan oldukça aktiftir. Kargı-İlgaz arasında uzanan hat üzerinde, 4-6 arasında değişen büyüklükte oldukça çok sayıda deprem kaydedilmiştir. Bu depremlerden en günceli, 6 Haziran 2000 tarihinde KAFZ içerisindeki bir R' makaslama (Şengör vd., 2005) üzerinde gelişmiş K-G doğrultulu Dodurga Fayı üzerinde gerçekleşmiş; listrik karakterli, normal bileşenli, sol yönlü doğrultu atım kinematığına (Çakır ve Akoğlu, 2008) sahip Orta depremdir (Mw:6.0). AMZ içerisindeki alanlarda sismik kümelenme, zonun orta-güney kesiminde Deliçay Fayı (DF) ile Geldingen Fayı (GF) arasında gözlenmektedir. Bu kümelenme fayın en-echelon geometri gösterdiği dar bir alana dağılmıştır ve fay segmentleri ile ilişkili morfotektonik unsurların aktif olduğunu göstermektedir. AMZ'nun batı-orta kesiminde en önemli sismik kümelenme, 1996 Salhan Vadisi depremi (Mw: 5.7) hattı üzerinde bulunmaktadır. Zamansal olarak geniş aralıklı olsa da, bu depremin etki alanında, halen ortalama büyüklüğü M:3 olan depremler kaydedilmektedir. AMZ'nun en batısında bulunan ve Laçın Fayı ile Kızılırmak Fayı arasında gelişmiş, yüzeye ulaşmayan bir antitetik bağlantı fayı olduğu düşünülen Çorum Fayı üzerinde son 4 yıl içerisinde büyüklüğü M: 4 - 4.9 arasında değişen 4 deprem ve ilişkili artçı şoklar gerçekleşmiştir. AMZ'nun batı kesiminde özellikle de 34°D boylamından itibaren aletsel dönemde kaydedilmiş depremlerin dağılık oluşu, AMZ'nu kontrol eden faylar üzerinde elastik gerilme birikiminin sonlanması olarak yorumlanmıştır. Bu seyrek ve dağılık depremler, daha batıda Ankara güneyinde Bala çevresinde gözlenen 2005-2008 depremleri gibi Anadolu'nun iç deformasyonu ile ilişkilendirilmelidir.

Amasya ve çevresinde tarihsel dönemde gerçekleşen depremler

İnceleme alanını kontrol eden fayların tarihsel dönem aktivitelerinin ve güncel deprem tehlikesinin belirlenebilmesi için tarihsel deprem kayıtlarına yönelik literatür derlemesi ve Amasya ili dahilinde saha araştırması yapılmıştır. Amasya, tarihi çok eskilere dayanan özellikle de milattan sonra uzun bir dönem boyunca cazibe merkezi olmuş bir yerleşim birimidir. Şehirde günümüze kadar korunmuş Roma, Bizans, Selçuklu ve Osmanlı dönemine ait anıtsal yapılar vardır. Bununla birlikte, çoğunluğu 15-17. yy. arasında yapılan toplam 100 adet kayıtlı kamu binasından ancak yarısı günümüze kadar ulaşılabilmiştir (Kuzucular, 1994). Bu yapıların önemli bir kısmı Yeşilirmak Nehri'nin alüvyon dolgusu ve alüvyal yelpaze çökelleri üzerinde bulunmaktadır ve depremler sonucu tamir edilemeyecek ölçüde tahrip olup yıkılmışlardır (Yaşar, 1912-1928). Saha çalışması ile eski tarihli yapılar üzerinde tamir kitabeleri aranmış ancak deprem nedeniyle yıkım ve tamire yönelik net bir bilgi elde edilememiştir. Bununla birlikte binaların çoğunluğunun, yapım tarihlerinden günümüze kadar 2-3 arasında değişen sayılarda önemli tamirat gördükleri gözlenmiştir (Şekil 2). Bu tamiratların en belirgin olanlarında kullanılan teknikler 18.yy Osmanlı mimarisi ile uyumludur, bu nedenle 1668 depreminden sonra gerçekleştirildiği düşünülmektedir.



Şekil 2. Gümüşlü Camii'nde 18. yy tamir izleri

Amasya için bir diğer istisnai durum ise 4 ciltlik Amasya Tarihi isimli eserdir (Yaşar, 1912-1928). Eserinin özellikle ilk cildinde Yaşar (1912-1928), kendinden önceki vaka-nüvis'lerin günümüze kadar ulaşmamış eserlerinden yararlanarak Amasya çevresinde gerçekleşen depremlerin tarihini ve etkileri hakkında değişen detaylarda bilgi sunmuştur.

Türkiye ve yakın çevresinde gerçekleşen tarihsel depremlere dair çok sayıda katalog bulunmaktadır (Eyidoğan vd., 1991; Guidoboni vd., 1994; Ambraseys ve Finkel, 1995; Guidoboni ve Comastri, 2005, Tan, vd., 2008). KAF üzerinde gerçekleştirilen hendek çalışmaları ile (Yoshioka vd., 2000; Hartleb vd., 2003, 2006) inceleme alanında gerçekleşen 236, 499, 1050, 1254 ve 1668 depremlerine ait yüzey kırıkları tespit edilmiştir.

M.S. 236 depremi

Guidoboni ve diğerleri (1994) katalogunda değinilen bu depreme ait tek kayıt M.S. 235-236 tarihli bir kitabeden gelmektedir. Havza yakınlarında açılan Alayurt (Hartleb vd., 2003) ve batısındaki Aslançayırı (Yoshioka vd., 2000) hendeklerinde bu deprem belirlenebilmiştir (Şekil 3).

Böylelikle uzanımı kesin olarak bilinmemekle birlikte 236 depreminin KAF üzerinde yüzey kırığı yaratan büyük bir deprem olduğu sonucuna varılmıştır.

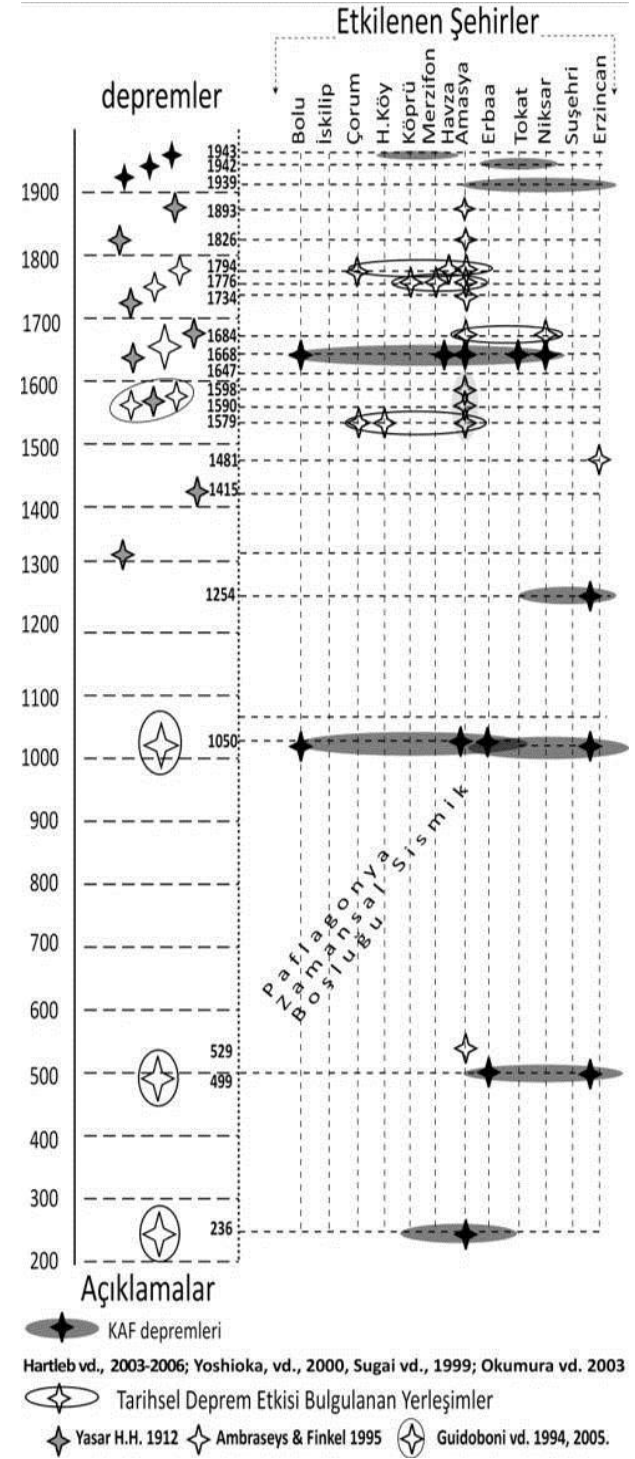
M.S. 1035-1045-1050 deprem serisi

KAF'nın batı (1035), doğu (1045) ve orta kesiminde (1050) gerçekleşen, tarihsel kaynaklar yardımıyla hasar dağılımı ve hendek çalışmalarıyla da yüzey kırığının olası uzanımı belirlenen bir deprem serisi bulunmaktadır.

1034 ve/veya 1035 depremi, Ankara ve kuzeyi ile muhtemelen Bolu çevresinde yıkıcı etkileri olan bir deprem olarak tarihsel kayıtlarda geçmektedir (Guidoboni ve Comastri, 2005). Depreme ait yüzey kırığı, Gerede ve Demirtepe (Hartleb vd., 2006) hendeklerinde bulunmuştur (Şekil 3).

1045 depremi, Erzincan ve çevresinde ciddi yıkıma neden olmuştur. Depremde yüzey kırığı

oluşumu ve bir yıla yakın süre içerisinde zaman zaman orta büyüklüğe ulaşabilen artçı şoklar geliştiğine tarihsel kayıtlarda değinilmektedir (Guidoboni ve Comastri, 2005). Depreme ait yüzey kırığı, Çukurçimen hendeğinde (Hartleb vd., 2006) bulunmuştur (Şekil 3).



Şekil 3. İnceleme alanında gerçekleşen tarihsel depremler

KAF'nın orta kesimini etkileyen 1050 depreminde hasar gören Amasya Kalesi 1075 yılında büyük bir tamirat geçirmiştir (Yaşar, 1912-1928). Böylelikle M.S. 1050 yılında, 20 yy. deprem serisi içerisindeki 1942 ve 1943 depremlerinde kırılan fay segmentlerinin tek parça olarak kırıldığı bir deprem öngörülebilir.

M.S. 1579-1590-1598 depremleri

Tarihsel kaynaklarda 16. yüzyılın sonlarına doğru gerçekleşen ve Amasya ile yakın çevresinde etkili olan bir deprem (serisi?) hakkında detaylı bilgi bulunmaktadır. Elde edilen ilk kayıt, 19 Ekim 1579 tarihinde Çorum'da birçok evi yıkan ve kamu binalarına önemli derecede hasar veren bir depremden bahsetmektedir. Bu depremden Amasya da etkilenmiştir (Ambraseys ve Finkel, 1995). Diğer bir kayıt ise Kasım 1590 (Muharrem, 999) tarihlidir. Sadece Yaşar (1912-1928) tarafından tanıtılan bu depremden Sultan Beyazıt Camii ve Burmalı Minare Camii önemli hasar görmüştür. Venedik kaynaklarında geçen 1598 depreminin de Amasya'da büyük hasar yaptığı belirtilmektedir (Ambraseys ve Finkel, 1995). Bu depremler birbirinden bağımsız olabileceği gibi tek bir depremden de bahsediliyor olabilir. KAF üzerinde açılan hendek çalışmalarında bulunamayan bu deprem yüksek olasılıkla AMZ içerisinde yer alan aktif fay hatları üzerinde gerçekleşmiştir (Şekil 3).

M.S. 1647 depremi

Hicri 1057 yılında (6 Şubat 1647-26 Ocak 1648) meydana gelen bir deprem, Amasya'da aralarında Hacı Hamza ve Fethiye Camii'leri ile Hilafet Gazi Medresesi'nin de bulunduğu çok sayıda kamu binasının hasar görmesine neden olmuştur (Yaşar, 1912-1928). Bu deprem olasılıkla AMZ içerisinde bulunan aktif fay hatlarından kaynaklanmıştır (Şekil 3).

M.S. 1668 depremi

Kuzey Anadolu Fayı üzerinde tarihteki en büyük deprem 16 Ağustos 1668 tarihinde gerçekleşmiştir. Bu depremde, etki alanı değerlendirmelerine göre Niksar-Bolu arasındaki KAF hattı tamamen kırılmıştır. Bu depremin hissedilen en yüksek şiddeti X (Ms:7.9) olarak geçmektedir (Ambraseys ve Finkel, 1995). Amasya'da ise

Sultan Bayezid Camii'nin kubbeleri, minareleri, Amasya Kalesi'nin duvarları, kargir binalar, camilerin çoğunun kubbeleri ve Bedesten kısmen ya da tamamen yıkılmıştır (Yaşar, 1912-1928). Depremin yüzey kırığının uzanımı hendek çalışmaları ile belirlenmiştir (Yoshioka vd., 2000; Hartleb vd., 2003).

M.S. 1684 depremi

14 Eylül 1684 yılında gerçekleşen bu depremde Amasya kentindeki taş binaların yıkıldığı ve evlerin çöktüğünden bahsedilmektedir. Bunların yanı sıra Sultan Beyazıt Camii'nde de hasar oluşmuştur (Yaşar, 1912-1928). Başka bir kaynakta ise (Ambraseys ve Finkel, 1995) depremin Niksar'da da etkilerinin olduğuna değinilmektedir. Bu depremin EzSF'nin orta-doğu kesiminde gerçekleşmiş, orta-büyük ölçekli bir olay olduğu düşünülebilir.

M.S. 1734-1735 depremi

Hicri 1147'de (3 Haziran 1734-23 Mayıs 1735) gerçekleşen bu depremde harabe halindeki Beyler Sarayı tamamen yıkılmıştır (Yaşar, 1912-1928). Bu deprem AMZ içerisindeki fay hatlarından herhangi birinden kaynaklanan orta ölçekli bir olay olarak yorumlanmıştır.

M.S. 1776 depremi

29 Aralık 1776 tarihinde gerçekleşen bu depremde, Köprü (Vezirköprü) ve Merzifon kentlerinde kötü durumdaki binaların bir kısmının yıkıldığı rapor edilmiştir (Ambraseys ve Finkel, 1995). KAF ana koluna oldukça yakın ve genç çökeller üzerinde bulunan bu yerleşimlerin yanı sıra, Amasya'da hasarlı olan bir türbe yıkılmıştır (Yaşar, 1912-1928). Bu depremin hasar dağılımı, KAF ya da SuFZ'nun orta kesiminde gerçekleşen orta büyüklükte bir deprem olabileceğini düşündürmektedir.

M.S. 1794 depremi

18 Temmuz 1794'da meydana gelen bu depremde Çorum ve çevresi şiddetli olarak etkilenmiştir. Şehirdeki kamu binalarının çoğunluğu yıkılmış ve hasar görmüştür. Depremin bölgeye etkileri Maliyeden Müdevver ve Cevdet-i Maliye defterlerinde detaylı olarak rapor edilmektedir. Bu kaynaklarda, yöre halkının önemli bir

kısının Çorum'dan göç ettiği ve depremde Amasya ve Kargı çevresinin de etkilendiği belirtilmektedir (Ambraseys ve Finkel, 1995).

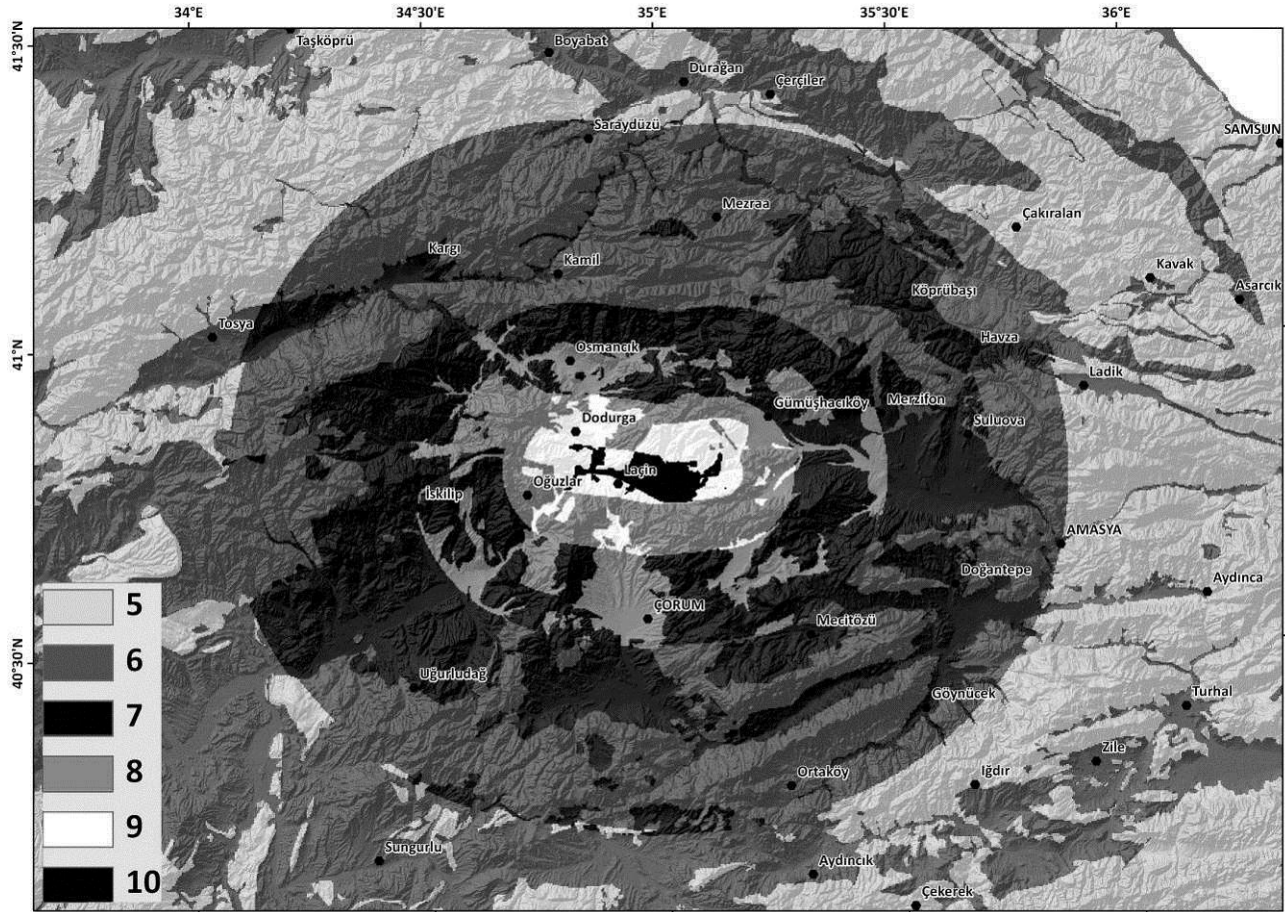
Bu depremin olasılıkla AMZ batısında yer alan Alıcık-Laçın Fayı üzerinde gerçekleşen ve fayın uzunluğuna göre en çok M:6.7-6.8 büyüklüğünde (Wells ve Coppersmith, 1994) bir depreme karşılık gelebileceği, şiddet dağılımı modellenmesi ile belirlenmiştir (Şekil 4). Bu senaryoya göre depremden Çorum (VIII), Amasya ise (VI) şiddetinde etkilenmiştir.

Deprem senaryoları

Deprem senaryoları, deterministik ve probabilistik sismik tehlike analizlerinde önemli bir yere sahip ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Campbell, 2003). Bu yöntem yardımıyla belirli bir büyüklüğe sahip bir depremin çevreye etkisi öngörülebilmektedir. Bu çalışmanın temeli, mühendislik sismolojisi çalışmalarında önemli bir

yer tutan ve literatürde azalım ilişkileri olarak tanımlanan, depremin büyüklüğü ve yer ivmesi arasındaki uzaklığa bağlı ilişkiler (Douglas, 2003) ile yerel zemin özelliklerinin CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ortamında birlikte kullanılmasıdır. Yöntem, Tüysüz (2003) tarafından ayrıntılı olarak tanıtılmıştır. Bu tez çalışmasında deprem senaryoları, (1) tarihsel ve aletsel dönemde gerçekleşmiş, büyüklüğü ve kırık uzunumu bilinen depremlerin şiddet dağılımlarının detaylı olarak belirlenebilmesi, (2) büyüklüğü ve ilişkili fay hattı bilinmeyen tarihsel depremlerin senaryolarda kurgulanan depremlerle karşılaştırılarak özelliklerinin tahmin edilebilmesi ve (3) gelecekte gerçekleşebilecek bir depremin olası şiddet dağılımının öngörülebilmesi için kullanılmıştır.

Deprem büyüklüğü ile yüzey kırığı uzunluğu ve atım miktarı arasındaki amprik ilişkiler
Depremin büyüklüğü ile ortalama atım ve yüzey kırığı uzunluğu (YKU) arasında logaritmik bir



Şekil 4. 1794 depreminin olası yüzey kırığı üzerinden modellenen şiddet dağılımı

ilişki vardır. Bu ilişkiler, aletsel dönem içerisinde gerçekleşmiş depremlerin özelliklerinin amprik olarak değerlendirilmesiyle kurulmuştur (Wells ve Coppersmith, 1994).

$$\text{Magnitüd } M = a + b * \log (\text{Ortalama Atım}); \quad (1)$$

$$a=6.81 (0.05) \quad b=0.78 (0.06)$$

$$\text{Magnitüd } M = a + b * \log (\text{Yüzey Kırığı Uzunluğu}) \quad (2)$$

$$a=5.16(0.13) \quad b=1.12(0.08)$$

Azalım ilişkileri

Bu çalışmada literatürde yaygın olarak kullanılan Boore vd. (1993) azalım bağıntısı tercih edilmiştir. Bu bağıntı ve bileşenleri Denklem 3'te ve Tablo 1'de tanımlanmıştır.

$$\ln (IVME) = b_1 + b_2 (M_w - 6) + b_3 (M_w - 6)^2 + b_4 (D^2 + h^2)^2 + b_5 \log_{10} (D_2 + h_2)^2 + b_6 G_b + b_7 G_c + \epsilon_1 \quad (3)$$

Tablo 1. Boore ve diğerleri (1993)'e göre ivme azalım ilişkileri

b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	b ₆	b ₇	h	ε ₁
0.136	0.229	0	0	-0.778	0.162	0.251	5.57	0.226

D: Hesaplanan noktanın faya dik uzaklığı
M_w: Depremin moment büyüklüğü
V_s: Kesme dalgası hızı

V _s (m/sn)	Zemin Türü	G _b	G _c
180-360	Yumuşak gevşek zemin	0	1
360-750	Katı, sıkı zemin	1	0
>750	Kaya	0	0

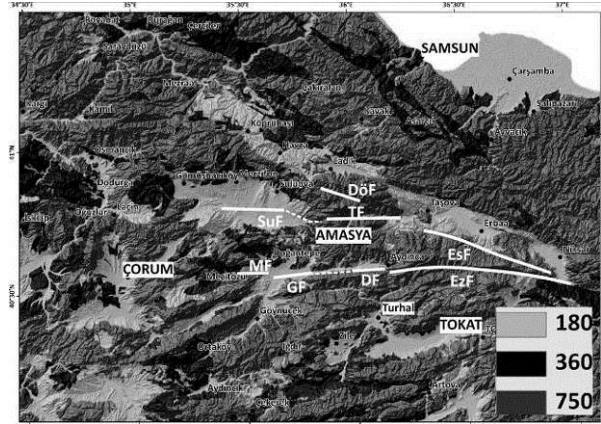
İvme değerleri ve şiddet arasındaki ilişki için ise Arıoğlu vd. (2001) tarafından önerilen bağıntı kullanılmıştır (Denklem 4).

$$\text{ŞİDDET} = 1.748 \ln (IVME) * 1.078 \quad (4)$$

Deprem senaryolarının GIS ortamında gerçekleştirilmesi

Bu çalışmada deprem senaryolarının gerçekleştirilebilmesi için, ESRI © tarafından üretilen ArcGIS ortamında, Tüysüz (2003) tarafından tanımlanan yöntem izlenmiştir. Bu amaçla, 1/500.000 ölçekli Sinop (Tüysüz vd., 1998) ile MTA Samsun paftası altlık jeolojik harita olarak kullanılmış ve bu haritadaki birimler egemen litolojileri ve yaşları göz önünde bulundurularak 3 zemin grubuna ayrılmıştır (Şekil 5). Daha sonra saha çalışmaları ile belirlenen ve depremde kırılması öngörülen faylar sayısallaştırılmış ve fay uzunluğuna bağlı olarak üzerinde gerçekleş-

ebilecek depremin büyüklüğü ilgili bağıntılar yardımıyla hesaplanmıştır (Denklem 1 ve 2).



Şekil 5. AMZ'nun kesme dalgası hızına göre (Vs: m/sn) zemin sınıflandırması ve deprem senaryosu kurgulanan aktif fay hatları

Jeoloji haritalarındaki çokgen özelliğinde vektörel olarak bulunan bu veri, 100 metre çözünürlüğündeki grid verisine sonra da her bir gridin ortasında bulunan nokta verisine dönüştürülmüştür. Her noktanın faya dik uzaklıklarının ArcGIS yardımıyla hesaplanması ve devamında Denklem 3 ve 4'de verilen bağıntıların kullanılması ile her bir nokta için ivme ve şiddet değerleri belirlenmiştir. Nokta verilerinin şiddet değerleri kullanılarak yeniden grid verisine dönüştürülmesi ile ivme ve şiddet dağılımları belirlenmiş, böylece AMZ içerisinde farklı faylar üzerinde gerçekleşebilecek depremlerin olası şiddet dağılımı deterministik olarak modellenmiştir (Tablo 2).

AMZ içerisinde yer alan aktif fay sistemlerinin özellikleri bölgenin deprem tehlikesinin anlaşılması için çok önemlidir. Bu faylar makaslama zonunun doğu kesiminde kesintisiz olarak izlenmekle birlikte, özellikle orta ve batı kesiminde çok parçalı bir görünüm sunmaktadır. Bu bölgelerde ve daha batıda aktif fayların tek bir parça olarak kırılması ve büyük deprem üretmesi çok düşük ihtimale sahiptir. Bölgede gerçekleştirilmiş paleosismoloji çalışmaları ile tarihsel dönemde AMZ çevresinde kaydedilen çok şiddetli depremlerin, KAF hattının kırılması sonucu gerçekleştiğinin belirlenmesi bu görüşü desteklemektedir. Bununla birlikte bölgede yıkıcı etkileri olan orta-büyük ölçekli birçok depremin

AMZ içerisinde yer alan aktif fay hatlarında gerçekleşmiş olabileceği düşünülmektedir. Deprem senaryolarında kullanılan bu fay hatları ve uzunluklarına bağlı olarak üretebilecekleri deprem büyüklükleri Tablo 2’de, senaryoların sonuçları da (şiddet dağılım haritaları) Şekil 6’da sunulmuştur.

Tablo 2. AMZ içerisinde kurgulanan deprem senaryoları

Fay segmenti	YKU (km)	Magnitüd (Mw)
Derinöz Fayı (DöF)	13	6.4
Taşova Fayı (TF)	23	6.7
Ezinepazar Fayı* (EzF)	1.5 m	6.9
Suluova Fayı (SuF)	23	6.7
Geldingen Fayı (GF)	15	6.5
Deliçay Fayı (DF)	13	6.4
Yolpınar-Suluova Fayı	38	6.9
Deliçay-Geldingen Fayı	47	7.0
Mecitözü Fayı (MF)	20	6.6

* EzF için deprem büyüklüğü 1939 depreminde ölçülen ortalama atım değerinden hesaplanmıştır (Barka, 1996).

Deprem tehlikesi analizi

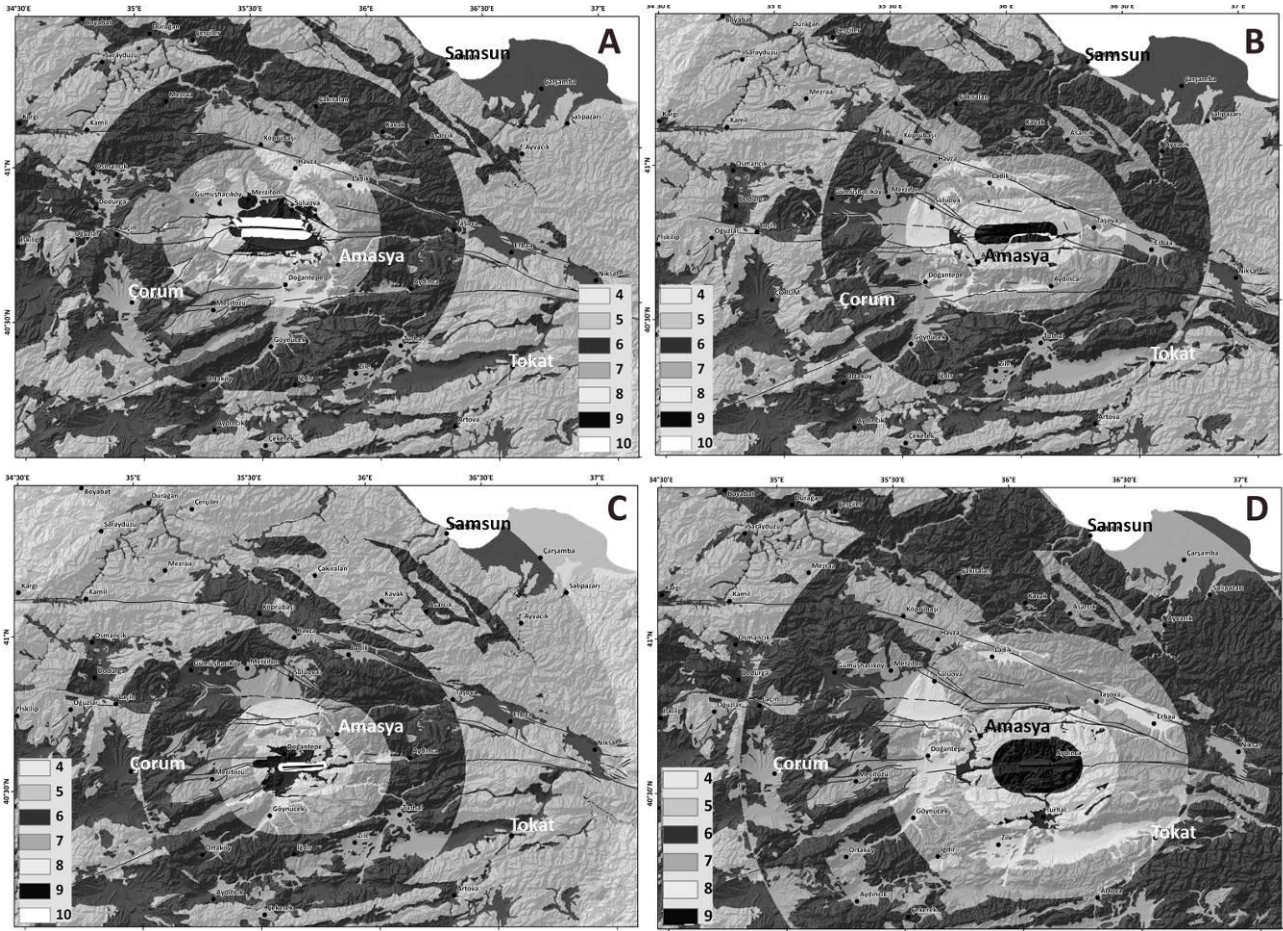
Bir bölgenin deterministik deprem tehlike analizinin gerçekleştirilebilmesi için gerekli parametreler, bölgedeki uzun dönem deprem aktivitesinin özellikleri (büyüklük ve ilişkili fay segmenti gibi) ile aktif tektonik hatların özellikleridir (uzanım, segmentasyon ve hız bileşeni vb.). Bu amaca yönelik olarak AMZ genelinde deprem tehlikesinin belirlenebilmesi için tarihsel depremlerin veri kalitesine bağlı olarak özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. AMZ içerisindeki aktif fay hatlarının özelliklerine göre farklı uzunlukta yüzey kırıklarına bağlı olarak gelişen farklı büyüklükte depremlerin senaryoları kurgulanmış ve şiddet dağılım haritaları modellenmiştir.

Bu çalışmada, son 500 yıl için gerçekleştirilen tehlike analizinde (Şekil 7), belirlenemeyen bir zamandan itibaren biriken atım 1579 depremi ile önemli miktarda karşılandığı ve 1939 Erzincan depremi yüzey kırığının EzSF boyunca yaklaşık 60 km ilerlemesinin nedeninin AMZ içerisindeki elastik yamulma birikimi olduğu kabul edilmiştir. Bu depremlerin arasında kalan zaman

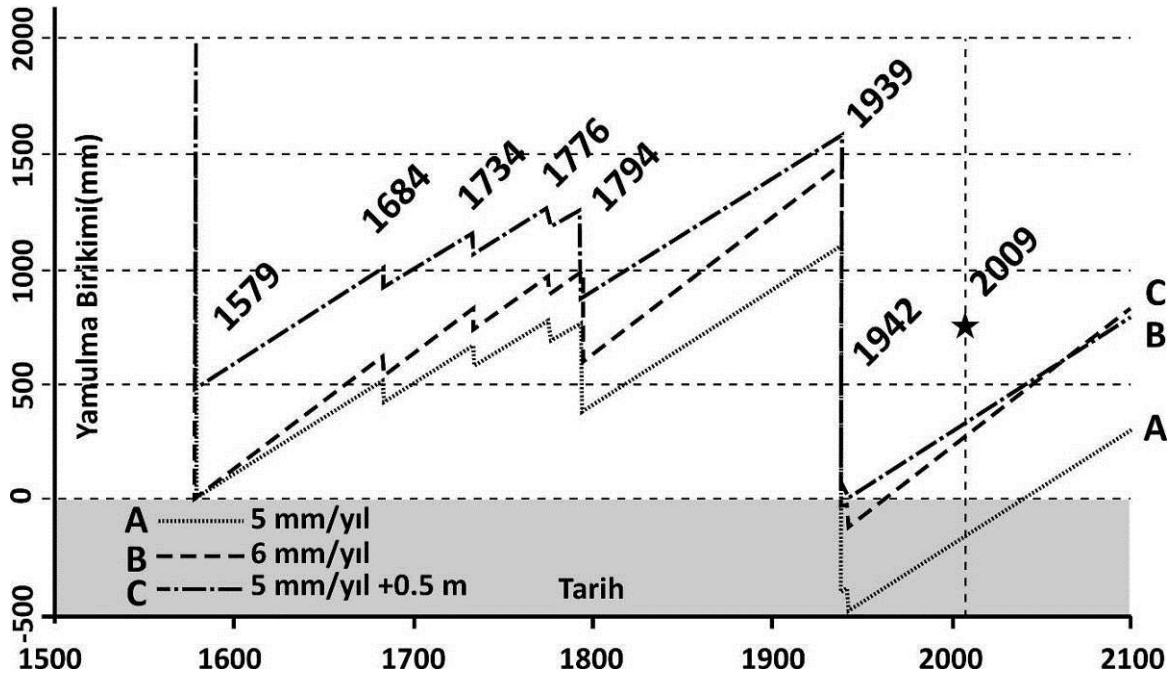
zarfında (1579-1939 ve 2009), AMZ’nun batı kesiminde 1794 Çorum depremi (Alıcık-Laçın ya da Hamamözü Fayı, 26 km ~M:6.7:~0.4 m) ve 1942 Kızılırmak Vadisi depremleri (M:6.0:~0.1 m) gerçekleşmiştir. Orta ve doğu kesimde ise tarihsel dönemde 1684 ve 1734-1776 depremleri (her deprem için ortalama büyüklük M:6.0:~0.1 m), yaklaşık 0.2 m toplam atım üretmişlerdir. Aletsel dönemde ise 1939 Erzincan depreminde kırılan Ezinepazar segmenti üzerinde ortalama 1.5 metre atım gerçekleşmiştir (Barka, 1996). Bu bileşenler birlikte değerlendirildiğinde, AMZ içerisinde biriken toplam atımın tamamı belirli bir hata payıyla karşılanmaktadır (Şekil 7/A, gri taralı alan). Bu yaklaşımın tam doğrulukla çalışması için (1) AMZ içi hız bileşeninin 6 mm/yıl (Şekil 7/B) ya da (2) 1579 depreminin AMZ içerisinde birikmiş atımın tamamını boşaltmamış olması (~0.5 m) (Şekil 7/C) yeterli olmaktadır.

Öngörülen bu modelin doğru olması durumunda yakın dönemde AMZ içerisinde yıkıcı etkileri olabilecek büyüklükte bir depremin gerçekleşme ihtimali oldukça düşmektedir. Bununla birlikte fayların üzerindeki uzun dönem deprem aktivitesinin değişken olabileceği bilinmektedir. Doğruluğu yüksek sonuçlara ulaşabilmek için AMZ içinde özellikle de orta kesiminde yer alan fayların (SuF ve DF-GF) uzun dönem deprem geçmişinin hendek çalışmalarıyla kesin olarak belirlenmesi gerekmektedir. Yakın bir gelecekte AMZ içerisinde hangi fay segmentinin kırılacağını tahmin etmek çok güçtür. Bu çalışmanın sonuçları fayların segmentasyonunun doğudan batıya doğru arttığı yönündedir. Böylelikle AMZ içerisinde kalan fayların tek ve uzun bir hattan ziyade parçalı olarak kırıldıkları öngörülmelidir. Bununla birlikte uzun dönemde AMZ içerisindeki faylar üzerinde büyüklüğü M: 6-6.9 arasında değişebilecek depremlerin olabileceği açıktır.

Bu depremlerin herhangi birinin gerçekleşmesi durumunda, Amasya ili merkez olmak üzere geniş bir alan (Yeşilirmak Vadisi, Geldingen Ovası ve Suluova Ovası’nın güneydoğu kesimi) en şiddetli (IX-X) etkilenecek yerlerdir. Bununla birlikte AMZ içerisindeki düzlük alanların üzerine kurulu olan yerleşimlerin çoğunluğu (Suluova, Merzifon, Aydınca, Göynücek) yüksek şiddette (VIII-IX) etkileneceği öngörülmektedir.



Şekil 6. AMZ içi aktif faylarında kurgulanan senaryoların şiddet dağılım haritaları. A) Suluova Fayı, M:6.7; B) Taşova Fayı, M:6.7; C) Geldingen Fayı, M:6.5, D) Deliçay Fayı, M:6.4



Şekil 7. Amasya ve çevresinin deterministik deprem tehlike analizi

KAF üzerinde yoğunlaşan ~20 mm/yıl hız bileşeni (Yavaşoğlu vd., 2009), son depremden (1943) günümüze kadar geçen 66 yıl içerisinde fay üzerinde ~1.3 m. atım birikimi gerçekleştirmiştir. Bu birikim M~6.9 büyüklüğünde bir depreme karşılık gelebilir. Bununla birlikte KAF üzerinde tarihsel dönemde depremlerin tekrarlanma aralıkları gözetildiğinde, yakın bir gelecekte AMZ çevresindeki KAF hattı üzerinde büyük ve yıkıcı deprem oluşumu öngörülmektedir.

Sonuçlar

Bu çalışma ile AMZ olarak tanımlanan geniş bir alanı etkileyen tarihsel depremler bölgedeki tali aktif faylarla ilişkilendirilmiştir. Bunun yanısıra aletsel dönemde gerçekleşen depremler ve bölgenin GPS hız bileşenleri birlikte kullanılması ile Amasya ve yakın çevresi için deterministik bir deprem tehlikesi değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir.

Analiz sonuçlarına göre inceleme alanı içerisinde yakın dönemde büyük bir deprem beklenmemelidir. Bununla birlikte bütünlük bir deprem riski çalışması için bölgede yer alan önemli mühendislik yapıları ile kamu binalarının olası bir depremdeki davranışları irdelenmeli ve hendek çalışmaları ile aktif fayların uzun dönem deprem aktivitesi kesin olarak ortaya konulmalıdır.

Sonsöz

Bu çalışma, T.C. Amasya Valiliği ve İTÜ/Bilimsel Araştırmalar Birimi (Proje no: 31982 tarafından desteklenmiştir. Yazarlar destekleyen kurumlara, tarihsel metinlerin okunmasındaki desteği için Burak Barutçu'ya ve değerli katkılarından ötürü Haluk Eyidoğan'a teşekkür eder.

Kaynaklar

Ambraseys, N.N. ve Finkel, C., (1995). *The seismicity of Turkey and adjacent areas. A historical review, 1500-1800*, Eren Yayınları, İstanbul.

Arıoğlu, E., Arıoğlu, B.M. ve Girgin, C., (2001). Doğu Marmara depreminin yer ivme değerleri açısından değerlendirilmesi, *Beton Prefabrikasyon*, **57-58**, 5-15.

Barka, A.A.,(1996). Slip distribution along the North Anatolian Fault associated with large earthquakes of period 1939 to 1967, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **86**, 5, 1238-1254.

Boore, D.M., Joyner, W.B. ve Fumal, T.E., (1993). Estimation of response spectra and peak accelerations from western North American earthquakes: An interim report, *U.S. Geological Survey Open-File Report*, **93-509**.

Campbell, K.W., (2003). Strong-motion attenuation relations, in: Lee W.H.K., eds, *International handbook of earthquake and engineering seismology*, **2**, 1003-1011, Academic Press.

Çakir, Z. ve Akoglu, A.M., (2008). Synthetic aperture radar interferometry observations of the M = 6.0 Orta earthquake of 6 June 2000 (NW Turkey): Reactivation of a listric fault, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems (G-cubed)*, **9**, 2031-2051.

Douglas, J., (2003). Earthquake ground motion estimation using strong-motion records: a review of equations for the estimation of peak ground acceleration and response spectral ordinates, *Earth Science Reviews*, **61**, 43-104.

Eyidoğan, H., Utku, Z., Güçlü, U. ve Değirmenci, E., (1991). *Türkiye büyük depremleri makrosismik rehberi (1900-1988)*, İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 198.

Guidoboni, E., Comastri, A. ve Triana A.G., (1994). Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century, Istituto Nazionale di Geofisica, Rome, 504, ISBN 88-85213-06-5.

Guidoboni, E. ve Comastri A., (2005). Catalogue of earthquakes and tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th Century. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - SGA, Bologna, 1037, ISBN 88-85213-10-3.

Hartleb, R.D., Dolan, J.F., Akyüz, H.S. ve Yerli, B., (2003). A 2,000 year-long paleoseismologic record of earthquakes along the central North Anatolian fault, from trenches at Alayurt, Turkey, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **93**, 5,1935-1954.

Hartleb, R.D., Dolan, J.F., Kozacı, Ö., Akyüz, H.S., ve Seitz, G.G., (2006). A 2500-yr-long paleoseismologic record of large, infrequent earthquakes on the North Anatolian fault at Çukurçimen, Turkey, *Geological Society of America Bulletin*, **118**; 7/8;823-840.

Kuzucular, K., (1994). Amasya kentinin fiziksel yapısının tarihsel gelişimi, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 166.

- Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakıncı, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon X. ve Rangin, C., (2005). The North Anatolian fault: A new look, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, **33**, 1-75.
- Tan, O., Tapırdamaz, C. ve Yörük, A., (2008). The Earthquake Catalogues for Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, **17**, 405-418.
- Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, T. ve Tarı, U., (1998). Batı Karadeniz bölgesinin tektonik birliklerinin ayırımı ve 1: 500.000 ölçekli jeoloji haritasının hazırlanması, Proje No: YDABÇAG-17, 92.
- Tüysüz, O., (2003). İstanbul için deprem senaryolarının hazırlanmasında coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı, *İTÜ Bilimsel Araştırma Projesi Raporu*, 80.
- Wells, D.L. ve Coppersmith, K.J., (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, *Bulletin of the Seismological Society of America*, **84**, 4, 974-1002.
- Yaşar, H.H., (1912-1928). *Amasya tarihi*, 4 cilt, Necm-i İstikbal Matbaası, İstanbul, 846.
- Yavaşoğlu, H., Tarı, E., Tüysüz, O., Çakır, Z., Altın, M.U. ve Tarı, U., (2009). Kuzey anadolu fayının orta kesiminin jeodezik ölçmeler ile kinematığının belirlenmesi, *Bildiriler Kitabı*, 62. Jeoloji Kurultayı, 582, MTA-Ankara.
- Yoshioka, T., Okumura, K., Kuşçu, İ. ve Emre, Ö., (2000). Recent surface faulting of the North Anatolian Fault along the 1943 Ladik earthquake ruptures, *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **51**, 1, 29-35.