Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 32:1 (2017) 243-251

Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi
Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University

Elektronik / Online ISSN : 1304 - 4915
Basılı / Printed ISSN : 1300 - 1884

Güncel veriler ve olasılıksal sismik tehlike analizi kullanarak Eskişehir için sismik tehlike haritası ve ivme eğrileri elde edilmesi

Hakan Karaca*
Niğde Valiliği, Niğde İl Afet ve Acil Yardım Müdürlüğü, Niğde, Türkiye

Ö N E Ç I K A N L A R

- Olasılıksal sismik tehlike analizi
- Yer hareketi tahmin denklemi yaklaşımı
- Toplam sismik tehlikeye fay kaynak katkısı

Makale Bilgileri
Geliş: 21.01.2016
Kabul: 25.11.2016

DOI:
10.17341/gazimmfd.300615

Anahtar Kelimeler:
Eskişehir,
olasılıksal sismik tehlike analizi,
sismik tehlike haritası,
ivme spektrum eğrisi

ÖZET

Bu çalışmada klasik olasılıksal sismik tehlike analizi (OSTA) kullanılarak Eskişehir için sismik tehlike haritası ve ivme spektrum eğrileri geliştirilmiştir. Merkezi Eskişehir olan 300 km yarıçapında bir çember içinde kalan alanda, tektonik yapılar, güncel sismik hareketlilik ve ilgili sismik parametreler araştırılmış ve seçilen alanda bulunan fay hatları ve ilgili parametreleri, sismik aktivite kayıtları ve alan kaynaklar belirlenerek klasik OSTA uygulanmıştır. Sürekli artan sismik kayıtlar sayesinde alan kaynaklar daha belirgin olarak seçilmiş, artan bilgi birikimi sayesinde de fay hatları ve ilgili parametreleri yeniden belirlenmiştir. Bilgi birikiminin bir yansıması olarak yer hareketi tahmin denklemi (YHTD)'nin yerelliğinin önemi anlaşılmış ve denklem için elde edilen esas katsayılar; sismik tehlike analizi için oluşturulan veritabanından seçilen yerel sismik kayıtlar kullanılarak kalibre edilmiştir. Klasik OSTA kullanılarak elde edilen etkin yer ivmesi (PGA) sismik tehlike haritası ve ivme spektrum eğrisi, hâlihazırda kullanılan resmi deprem bölgeleri haritası ve ivme spektrum eğrisi ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda deprem tehlikesinin alansal olarak dağılımları irdelenmiş ve bu çalışmada elde edilen sismik tehlike haritasının daha detaylı olduğu ve bunun da analiz yapılan alanların boyutlarından ve kullanılan farklı YHTD'lerden kaynaklandığı öne sürülmüştür.

Obtaining seismic hazard map and response spectrum curve by using the latest data and probabilistic seismic hazard analysis

H I G H L I G H T S

- Probabilistic seismic hazard analysis
- Approach in ground motion prediction equation
- The contribution of the faults to the overall seismic hazard

Article Info
Received: 21.01.2016
Accepted: 25.11.2016

DOI:
10.17341/gazimmfd.300615

Keywords:
Eskisehir,
probabilistic seismic hazard analysis,
seismic hazard map,
response spectrum curves

ABSTRACT

In this study, seismic hazard maps and response spectrum curves are obtained using classical probabilistic seismic hazard analysis for Eskisehir. The surrounding area within the boundary of a 300 km radius circle centered at Eskisehir is investigated for tectonic setting, local seismic activity and related seismic parameters. As the importance of the locality of the ground motion prediction equations (GMPE) is confirmed by recent studies and as a reflection of the accumulation of knowledge in the field, employing a local GMPE is deemed necessary. The equation is adjusted by calibration of the coefficients by using the local database. In the calibration, seismic events with the records are selected from the database gathered for the seismic hazard analysis. The developed seismic hazard map for peak ground acceleration and the response spectrum curve is compared with the current official seismic zonation map for the relative scattering of the seismic hazard and the spectrum curve. At the end of the study, it is shown that the seismic hazard map developed through this study contains more detailed information which is attributed to the source delineation, selection of GMPE and the scale of the interested regions.

* Sorumlu Yazar/Corresponding author: karaca26@hotmail.com / Tel: +90 506 235 1837

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

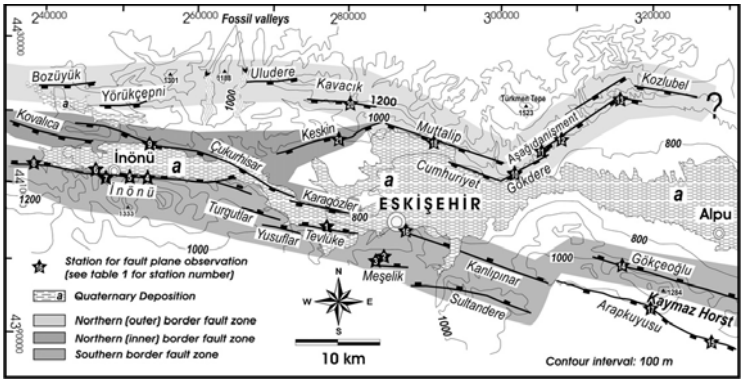
Türkiye genelinde sismik hareketlilik göz önüne alınarak bir değerlendirme yapıldığında Eskişehir'in sismik hareketlilik açısından en aktif bölgelerin içinde olmadığı anlaşılır. Fakat şehir, en aktif bölgelerden olan Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAFH) Bölgesi ile Ege Bölgesinin arasında yer aldığı için büyük ölçekli depremlerin etkilerine maruz kalabilir. Böyle bir şekilde konumlanmış bir şehir için OSTA, deterministik analizden daha gerçekçidir ve sismik tehlike açısından daha kullanışlı ve anlamlı değerler sunabilir. Eskişehir bu konumu nedeniyle de resmi deprem haritasının [1] da teyit ettiği gibi, orta derecede sismik tehlikeye maruz kalmaktadır. Eskişehir ve çevresi için yapılan diğer sismik tehlike haritası ve ivme-spektrum eğrileri çalışmaları sonucunda da, Eskişehir ilinin orta-düzey sismik tehlike bölgesi olduğu teyit edilmiştir. Yücemen vd. [2] tarafından OSTA yöntemi ile Eskişehir şehir merkezinin 475 yıl yineleme süresi için en büyük yer ivmesi 0,26g olarak hesaplanmış, deterministik yöntem kullanarak sismik tehlike analiz yapan Orhan vd. [3], aynı ivmeyi 0,40g olarak hesaplamıştır. Geçmişte yapılan çalışmalar her ne kadar detaylı olursa olsun, bu çalışmaların, geçen zamana bağlı olarak eldeki verilerin artması, modelleme ve analiz kabiliyetimizin gelişmesi ve sismik olayları daha iyi anlamamız sayesinde, yeniden düzenlenip zamana uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Resmi sismik tehlike haritasının da aynı nedenlerden dolayı güncellendiği göz önüne alındığında, bu analizlerin yerel düzeyde de yapılmasının önemi hemen anlaşılır. Geçmiş haritalarla karşılaştırma yapıldığında, sismik tehlike analizinin gelecekteki yönünü de öngörebiliriz. Dolayısıyla, güncel veriler, modelleme yöntemleri ve analiz teknikleri kullanılarak yapılan sismik tehlike analizi, ileride yapılacak analizler için bir altlık oluşturması açısından da iyi bir adımdır. Sismik tehlike haritası ve ivme-tepki eğrilerinin en güvenilir şekilde elde edilmesi için en önemli ölçüt sismik verilerin çokluğu, tamlığı ve güvenilirliğidir. Bu bilgilerin eksikliği kendini en çok özellikle katalog incelemesi sonrası katalog tamlığı ve fayların yeri ve sismik parametreleri konularında hissettirmektedir. Sismik tehlike analizlerinin en önemli ayaklarından biri olan YHTD'lerde bilgi eksikliği dolayısıyla hem tasarım hem de kullanım sırasında sorgulanmaya açıktır. Bu nedenle sismik tehlike analizi için genellikle mantık ağacı geliştirme yoluna gidilerek, bilgi eksikliğine dayalı belirsizlik minimuma indirilmeye çalışılmıştır. Ancak bazı durumlarda mantık ağacı kullanılmasını gerektirmeyecek kadar belirgin tercihler ortaya çıkabilir. Bu durum özellikle YHTD seçimi sırasında kendini gösterebilir. Şöyle ki ilk önce Douglas [4] tarafından öne sürülen Avrupa'da meydana gelen depremlerin Amerikan depremlerine göre daha çabuk sönümlendiği ile ilgili bulgulara, Karaca [5]'nın çalışmasında da rastlanmıştır. Dolayısıyla, YHTD seçimi sırasında yerel kaynaklar kullanılarak geliştirilen ve yerel verilere duyarlı denklemler seçilmesinin daha doğru olduğu ortaya çıkmıştır. Aynı şekilde, mantık ağacına gerek kalmayacak şekilde ve bir duyarlılık çalışmasına gerek kalmadan sismik tehlike analizi ile ilgili diğer girdilerde de parametre duyarlılığı ve veri güvenilirliğine göre tercih yapılabilir. Konu ile ilgili daha çok değerlendirme yapılmasına gerek kalmadan anlaşıldığı üzere, bu çalışma, artan sismik verileri, kaynak bilgileri ve ilgili parametreleri ve özellikle modelleme yetileri daha geliştirilmiş YHTD'leri değerlendirerek, Eskişehir için güncel sismik tehlike değerleri bulmayı hedeflemiştir. Ayrıca, eldeki sismik verilerin çokluğu sayesinde daha güvenilir şekilde oluşturulan alan kaynaklar, güncel veriler ışığında derlenen nitelikli fay parametreleri ve fay magnitüd-tekrarlama modeli çalışmaya özgünlük katmış ve buna ek olarak yerel YHTD seçimi ve bu denklem için güncellenmiş katsayı kullanılması çalışmanın katkı sunan bir yapıya kavuşmasını sağlamıştır.

2. TEORİK METOT (THEORETICAL METHOD)

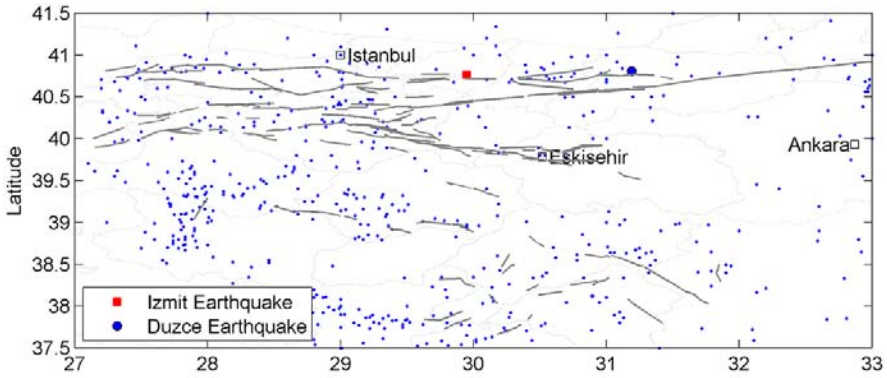
Sismik tehlike analizi için belirlenen bölgenin tektonik yapısı araştırılmış, sismik kayıtlar incelenerek sismik hareketlilik verileri toplanmış ve bu veriler ışığında sismik kaynaklar belirlenmiş ve son olarak ise bölge için en uygun olduğu düşünülen yer hareketi tahmin denklemi belirlenmiştir.

2.1. Tektonik Yapı (Tectonic Structures)

Çalışma için belirlenen alan içinde sismik hareketlilik açısından iki önemli bölge yer almaktadır: KAFH Bölgesi ve Ege Bölgesi. KAFH dünya üzerinde bulunan fay hatlarının en aktif olanlarından birisidir. Bahsi geçen fay hattında, 1939 yılından bu yana dokuz adet büyük ölçekli ve hasar verici deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerden 1999 Düzce ve İzmit depremleri sadece Türkiye'de değil, dünyada meydana gelmiş en büyük ölçekli depremlerdendir. Eskişehir'in batısında bulunan Ege Bölgesinin sismik yapısı ise, KAFH'nın batıya doğru ilerlemesi, Helen Yayının saatin tersi yönündeki dönme hareketi ve Afrika plakasının kuzey yönünde ilerlemesi nedeniyle meydana gelen sıkışmadan dolayı meydana gelen grabenlerden oluşmaktadır. Grabenler doğu-batı yönünde uzanmakta ve bölgenin içinde bulunduğu kuzey-güney yönlü gerilmeleri işaret etmektedir. Bölgede orta büyüklükte depremler sık sık görülmekte olup sismik kayıtlarımızdaki en büyük ölçekli depremler Alaşehir, 1970 (M_s=6,6) ve Gediz, 1970 (M_s=7,0) depremleridir. Eskişehir şehir merkezi ise sismik hareketlilik açısından göreceli olarak durgun olup, şehir merkezi civarında meydana gelen en büyük deprem 1956 yılında olmuş ve büyüklüğü M_s=6,4 olarak kaydedilmiştir. Bölge tektonik açıdan incelendiğinde, Eskişehir'in kuzeyde doğrultu atımlı KAF ile güneyde normal atımlı fayların egemen olduğu Ege bölgesi arasında geçiş bölgesinde yer almakta olduğu hemen anlaşılır. Şekil 1'de [6] gösterildiği üzere, Eskişehir ve yakın çevresinde ise, uzunluğu 5 ile 25 km arasında değişen ve iki paralel hat arasındaki ki en uzun mesafe 450 m olarak uzanan faylar bulunmaktadır (Şekil 1). Batıda İnönü ve doğuda Kaymaz fayına kadar alanın içerisinde



Şekil 1. Eskisehir ve yakın çevresinde bulunan fayları gösterir haritası
(The active fault map around the city of eskisehir)

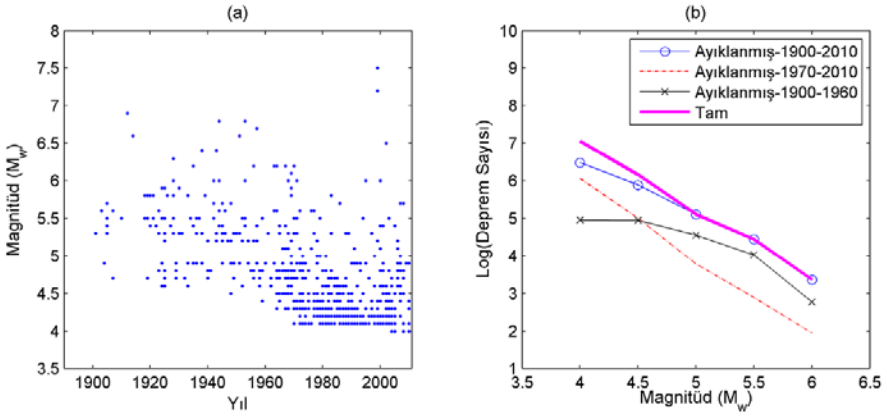


Şekil 2. Eskişehir ve çevresinde 1900–2010 yılları arasında meydana gelen sismik aktiviteleri gösterir harita (m_w>4,0, ayıklama işleminden sonra) (Seismicity around Eskisehir between 1900 and 2010, (M≥4.0, after declustering)

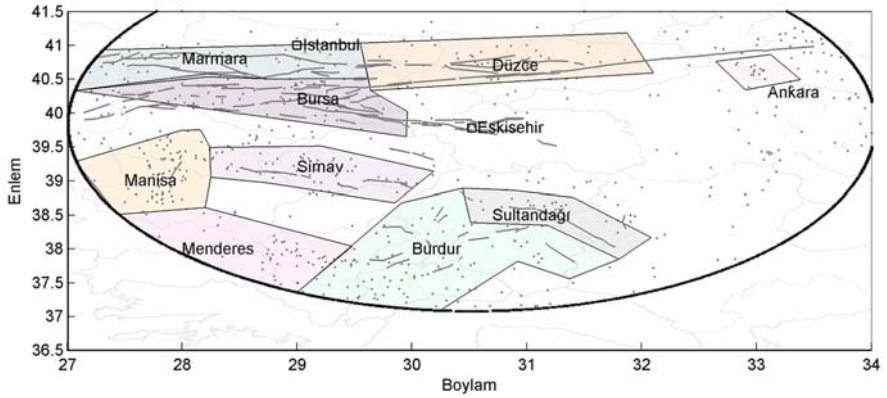
bulunan ve kuzeybatı-güneydoğu yönünde uzanan bu faylar daha çok verev (oblik) atımlı normal faylardır. Emre vd. [7] tarafından yapılan çalışma ile Şekil 1'de gösterilen fayların uzanım yönleri konusunda önemli bir farklılık olmadığı teyit edilmiştir. Ayrıca, bu fayların, Anadolu plakası sabit olarak kabul edildiğinde, blok olarak batı ve güneybatı yönünde hareket ettiği en son yapılan GPS ölçümlerinden de anlaşılmış olup, bölge içi gerilimlerin ise açılma nedeniyle gerilime maruz kaldığı jeolojik gözlemlerden [8] anlaşılmaktadır.

2.2. Sismik Hareketlilik (Seismic Activity)

Eskişehir merkezli 300 km yarıçapındaki dairesel alan içinde kalan bölgede meydana gelen depremler derlenerek katalog çalışması yapılmış, katalog oluşturmak için 1900-2005 arası için Kandilli Rasathanesi kayıtları [9] ile 2006-2010 arası için AFAD kayıtları [10] kullanılmıştır. Oluşturulan katalog, deprem magnitüdlerinin farklı ölçeklerde kaydedilmesinden dolayı, Deniz [11] tarafından geliştirilen denklemler kullanılarak özdeşleştirilmiş, ayrıca Deniz [11] ve Deniz vd. [12] tarafından geliştirilen zaman ve uzaklık aralıkları kullanılarak öncü ve artçı depremler ayıklanmıştır. Ayıklanma işleminden önce moment magnitüdü 4,0'dan büyük olan 1422 deprem belirlenmiş, ayıklanma işleminden sonra bu sayı 653'e inmiştir. Şekil 2'de de gösterildiği üzere, çalışma alanının sismik aktivitesi KAF hattının kuzey kolu ile Ege Bölgesinde yoğunlaşmıştır. Çalışma alanı olarak seçilen bölge içinde, KAF hattının kuzey kolunda 1999 yılında iki adet büyük ölçekli deprem meydana gelmiş ve ikisi de büyük ölçekte yıkımlara ve can kayıplarına neden olmuştur. Sismik tehlike çalışmasının geçerliliği için oluşturulan katalog tamlık açısından incelenmiş ve depremlerin zaman ve büyüklük açısından dağılımı göz önüne alınarak yapılan değerlendirme sonucunda Şekil 3a'dan da anlaşılacağı üzere, deprem kayıtlarının 1970'ten itibaren çok fazla arttığı görülmüştür. Bu durum, 1960'ların ortalarından itibaren deprem kayıt araçlarının bütün ülke çapında yaygınlaştırılması göz önüne alındığında, şaşırtıcı değildir. Özellikle magnitüdü 5,0'dan küçük olan depremler daha önce hemen hemen hiç yokken, 1970'ten sonra birdenbire arttığı şekilde açıkça görülmektedir. Ayrıca aynı şekilden anlaşılacağı üzere, magnitüdü 5,0'den büyük olan depremler oluşma sıklığı açısından dönemsel olarak dalgalı bir yapı arz etmekte, 1970 öncesi kayıtlarında moment magnitüdü 5'ten büyük olan depremlere daha çok rastlanırken, sonrasında bu depremlerin sayılarında bir azalma olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla oluşturulan katalogda bir tamlık sorunu olduğu, ancak klasik OSTA için oluşturulan deprem kataloğunun tamlığı gerektiğinden, katalogun tamlık açısından uygun hale getirilmesi gerektiği



Şekil 3. (a) Deprem kayıtlarının zaman ve büyüklük açısından dağılımı (b) tam ve tam olmayan katalog kısımları için magnitüd-tekerrür ilişkileri karşılaştırması ((a) distribution of earthquakes with respect to magnitude (b) the comparison of magnitude recurrence relationships for complete and incomplete parts)



Şekil 4. Alan kaynaklar (M_w>4,0, ayıklama işleminden sonra) (Area sources (M_w>4,0, after declustering))

anlaşılmıştır. Bunu sağlamak için katalog 10'ar yıllık dilimlere bölünmüş ve Stepp [13] tarafından geliştirilen tamlık testi kullanılarak kataloğun deprem magnitüdleri açısından tamlığı sağlanmıştır. Şekil 3b'de kataloğun tam olmayan kısmı için magnitüd-tekerrür ilişkisi özellikle küçük magnitüdlerde kendini ele vermiş ve kataloğun tam olduğu kısımlarda ideal Gutenberg-Richter (GR) dağılımı ölçütü dikkate alındığında, magnitüd-tekerrür ilişkisinde herhangi aykırılık olmadığı gözlemlemiştir. Katalog tam hale getirildikten sonra ise katalogdaki gözlemlenen aykırılığın giderildiği şekilden de anlaşılacağı üzere görülmüş olup, katalog çalışması sismik tehlike analizi için yeterli düzeyde tamamlanmıştır.

2.3. Sismik Kaynaklar (Seismic Sources)

2.3.1. Alan Kaynaklar (Area Sources)

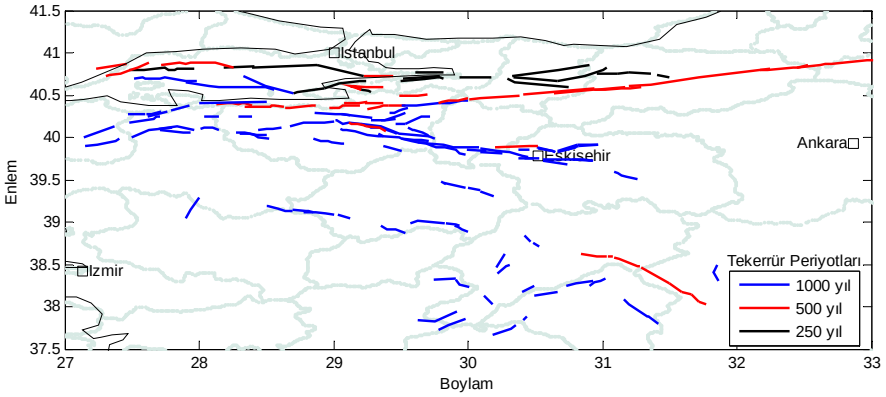
Magnütüdü 6.0'dan büyük olan depremlerin faylardan kaynaklandığı varsayılarak, alan kaynaklar için sismik parametrelerin belirlenmesinde magnitüdü 6.0'dan küçük depremler kullanılmıştır. Güvenilir alan kaynak modeli geliştirebilmesi için Şekil 4'ten de izlenebileceği üzere, bir alanda jeolojik yapıların ve sismik aktivitelerin ayırt edici derecede yoğunlaşması öncelikli ölçüt olarak kullanılmıştır (Şekil 1). Ayrıca bu alan kaynakların geliştirilmesinde alan içerisinde kalan depremlerin güvenilir derecede sismik parametre elde edilebilecek sayıda olması koşulu dikkate alınmıştır [14]. Tablo 1'de görüldüğü üzere, oluşturulan alan kaynakların dışında kalan depremler ise genel bir alan kaynak oluşturularak değerlendirilmiştir. Ayrıca, magnitüdü 4'den büyük depremlerin yıllık meydana gelme sıklığı ve GR denkleminde kullanılan *b* değerleri; ham veriler, 1970 sonrası ham veriler ve öncü ve artçı depremlerin elendiği ve tamlaştırma işleminin yapıldığı katalog verileri için hesaplanmış ve aynı tabloda verilmiştir. Alan kaynaklar için derinlik olarak 20 km varsayılarak analiz yapılmıştır.

2.3.2. Faylar (Faults)

Fayların büyük bir kısmı ile ilgili sismik parametreler örneğin fay çeşitleri, aktivite yoğunlukları ve tekrar etme sıklıkları Koçyiğit [8]'ten elde edilmiştir. Eskişehir ve yakın çevresindeki faylar için Ocakoğlu [6], Marmara Denizi fayları için ise Kalkan vd. [15] kullanılmıştır. Faylar üzerinde meydana gelebilecek en büyük magnitüdlü depremin büyüklüğü Wells vd.[16] tarafından doğru atımlı ve normal faylar için geliştirilen denklemler kullanılarak elde edilmiş ve bahsi geçen faylar, hesaplanan maksimum

Tablo 1. Alan kaynaklar ve ilgili parametreler
(Area sources and their parameters)

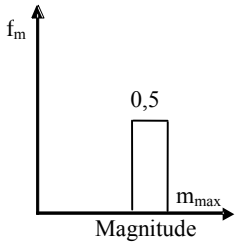
Alan Kaynak	Maks M_W	Ham Veri ν (/yıl)	b	1970 Sonrası Veri ν (/yıl)	b	Elenmiş ve Tamlanmış ν (/yıl)	b
Ankara	6,0	0,20	1,29	0,13	1,34	0,19	1,02
Burdur	6,0	2,00	0,91	0,55	0,93	1,22	0,93
Bursa	5,8	1,02	0,65	0,45	0,91	1,14	0,84
Düzce	5,6	2,08	0,83	0,24	0,71	0,66	0,74
Marmara	5,7	0,69	0,89	0,32	0,93	0,36	0,89
Manisa	6,0	0,97	0,78	0,52	1,28	0,93	1,04
Menderes	5,8	0,68	0,62	0,28	0,61	0,91	0,74
Simav	6,0	2,34	0,92	0,52	0,96	0,70	0,95
Sultandağı	6,0	0,35	0,59	0,15	1,26	0,41	0,93
Genel	6,0	2,61	0,69	1,09	0,96	3,39	0,91



Şekil 5. Fay kaynakları ve karakteristik deprem yineleme periyotları
(Fault sources and characteristic earthquake return periods)

magnitüdlü depremin tekerrür sıklığına [17] göre sınıflandırılarak Şekil 5'de farklı renklerde gösterilmiştir. Ayrıca fay derinlikleri bütün faylar için 20 km kabul edilmiş ve dalım açılarının tam bilinmediği durumlarda muhafazakâr ve yansız sonuç vermesi nedeniyle, fay eğimleri dik olarak kabul edilmiştir.

Magnitüd tekrarlama ilişkisi için karakteristik tekerrür modelinin sadece büyük ölçekli depremler için geçerli olan kısmı kullanılmış ve (m_{max}-0,5) ile m_{max} arası olasılıksal dağılım sabit kabul edilmiştir. Şekil 6'de gösterildiği üzere, bu magnitüd-tekerrür ilişkisi için fayların meydana getirebileceği en büyük ya da en küçük magnitüdlü deprem değil, sadece deprem aralığı önem taşımaktadır.



Şekil 6. Bu çalışmada kullanılan karakteristik model
(The characteristic model used in this study)

Zaman alanındaki tekerrür ilişkisi için Poisson modeli kullanılmış ve şekilde gösterilen magnitüd aralığı içinde kalan bütün depremlerin zaman alanında da aynı periyotlarda tekerrür ettikleri kabul edilmiştir. Faylardan kaynaklanan sismik tehlikenin hesaplanması sırasında kullanılan eşitlik, sayısal çözümler için şekillendirilecek olursa, yer hareketi büyüklüğünün yıllık olarak y_0 seviyesini aşma olasılığı Eş. 1 ile hesaplanır.

$$\lambda(y > y_0) = \lambda(m_i > m_{min}) \sum_{j=1}^{n_m} \sum_{k=1}^{n_r} P[y > y_0 | m_j, r_k] P(m_i = m_j) P(r_i = r_k) \quad (1)$$

Bu eşitlikte $\lambda(m>m_{min})$, ilgili fay üzerinde büyüklüğü m_{min} ve üzerinde olan depremlerin yıllık meydana gelme sıklığı olarak kabul edilmiş, $P[y>y_0|m_j, r_k]$ ise, büyüklüğü m_j olan bir depremin r_k uzaklıktaki etkisinin y_0 değerinden büyük olma olasılığı olarak tanımlanmıştır. $p_i(m)$ ise kaynakta meydana gelen depremlerin magnitüd-olasılık dağılımını ve $p_i(r)$ ise i nokta kaynağı ile depremin etkisinin hesaplandığı mesafe arasındaki uzaklığın olasılık dağılımını ifade etmektedir. Böylelikle, m_i and r_i değerleri n_m ve n_r aralıklarına bölünerek sayısal çözümleme için hazır hale getirilebilir. Bu çalışma için kullanılacak olan magnitüd-tekerrür ilişkisi gereğince, depremler faylarını tüm

uzunluğu boyunca ya da bir kısmı boyunca kırıklar oluşturduğu düşünülünce, $P(m_i=m_j)$ ve $P(r_i=r_k)$ değerlerinin aslında magnitüde ne kadar bağlı olduğu anlaşılır. Şöyle ki; herhangi bir depremde meydana gelen fay yırtılmasının uzunluğunun, fayın tüm uzunluğuna olan oranı, $P(r_i=r_k)$ olasılık değerini verebilir. Bu değer Eş. 3'te daha açık bir şekilde ifade edilmiştir.

$$P(r_i = r_k) = \left[L_i \middle| m_j, r_k\right] \Big/ \left[L_{\max} \middle| m_{\max}, r_k\right] \quad (2)$$

Ayrıca $P(m_i=m_j)$ değeri de, fayın meydana getirebileceği en büyük magnitüdlü depremden bağımsız olmak üzere, oluşturulan aralığa bağlı olarak değişir.

$$P(m_i = m_j) = 1/n_m \quad (3)$$

Eş. 1, Eş. 2 ve Eş. 3 den anlaşılacağı üzere, faylar için düzenlenen olasılıksal sismik tehlike analizi, magnitüd ve uzaklık değerlerinin olasılıksal dağılımının temelde çok basit olması sayesinde göreceli olarak kolay bir işlemdir.

2.4. Yer Hareketi Tahmin Denklemi
(Ground motion prediction equation)

OSTA için en önemli aşamalardan bir tanesi analiz yapılacak yer için en uygun YHTD'nin seçilme işlemidir. Geliştirilen denklemin uygulama kısıtları, geliştirme amacı, uygulanması planlanan alan ve denklem katsayılarının türetilmesinde kullanılan veritabanı düşünüldüğünde, başka bir deyişle denklemlerin ne kadar yerel olduğu göz önüne alındığında ([18]'de verilen referans), sismik tehlike analizi için en uygun denklemin seçilmesi işinin ne kadar önemli olduğu anlaşılır. Ayrıca yerel sismik hareketliliğin kendine has yanlılıklarının diğer bölgelere ya da ülkelere göre ne seviyede olduğu bilinmiyorsa, yerel sismik veriler kullanılarak geliştirilen denklemler daha güvenilir ve sismik tehlike analizi açısından daha uygundur. Şu da bilinmelidir ki yerel verilerle geliştirilen yerel denklemlerin kullanılması bile modellemenin kesinliği açısından yeterli olmayabilir. Yerel denklemlerin performans dağılımı Özmen vd. [19] tarafından irdelenmiş ve denklemlerin arasındaki büyük performans farklılıkları gösterilmiştir. Bu konu Karaca [5] tarafından detaylı olarak incelenmiş ve sismik tehlike analizleri için en uygun yöntemin, ya yerel veriler kullanarak yerel bir denklem geliştirmek, ya da en yaygın olarak kullanılan denklemlerin yerel veriler kullanarak elde edilen performans ve belirsizlik seviyelerine göre en uygun denklemi seçmek olduğu dile getirilmiştir. Çalışmada, Eskişehir ve çevresinde meydana gelen 27 adet deprem ve 199 adet kayıt kullanılmış, Akkar vd. [20] (AC10) tarafından sadece Türkiye çapında meydana gelen depremler kullanılarak geliştirilen YHTD'nin, Eskişehir ili sismik tehlike analizi için en uygun denklem olduğunu anlaşılmış ve denklemin katsayıları güncelleştirilmiştir. Ayrıca denklemin lineer ve lineer olmayan zemin parametreleri, yerin en üst 30 m'lik tabakasının ortalama kayma dalgası hızına (V_{s30}) bağlı olarak değişmekle birlikte, yerellik konusunda sorgulanabilir sonuçlar elde edilmesine neden olabileceğinden, denklem zemin etkisi yok kabul edilerek analiz yapılmıştır. Güncelleştirilmiş katsayıların denklem performansına etkisini görebilmek için geliştirilen performans eğrileri Şekil 7'de verilmiştir. Aynı denklemin bu derece farklı performansının olması, farklı denklemler arasında ki performans farklılıklarının sadece denklemlerin terimlerinden kaynaklanmadığını, verilerin çeşitliliğinden de kaynaklanabileceğini göstermesi açısından önemlidir.

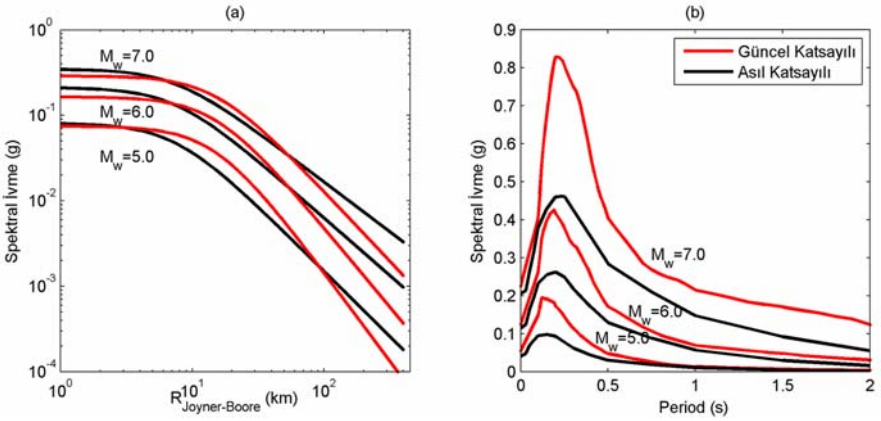
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR
(RESULTS AND DISCUSSIONS)

Sismik tehlike analizi için gerekli bilgilerle oluşturulan veri tabanı ile EZ-FRISK v7.62 [21] programı kullanılarak sismik tehlike analizi yapılmış ve deprem tehlike haritaları üretilmiştir. Bölge $0{,}25^0$x$0{,}25^0$ enlem ve boylam aralıklarında ızgara şeklinde bölünerek, kaynak alan ve faylardan meydana gelen sismik tehlike ayrı hesaplanmış ve toplam sismik tehlike değerlerinin elde edilmesi için kaynak alanlar ve faylardan kaynaklanan sismik tehlike değerleri toplanmıştır.

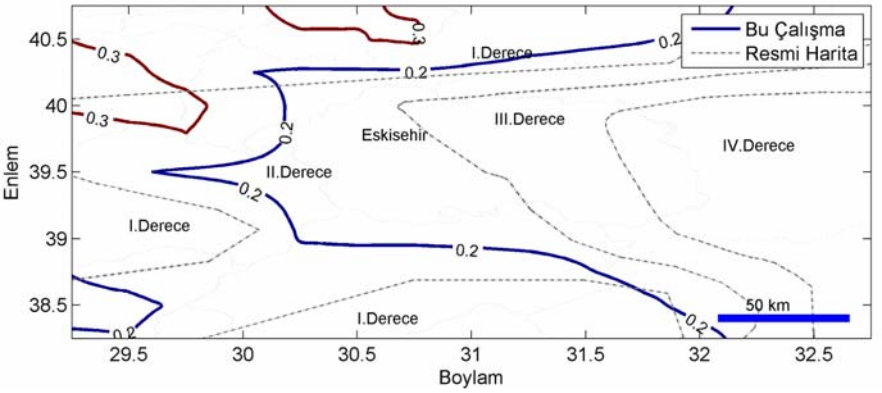
3.1. Sismik Tehlike Haritası (Seismic Hazard Map)

Şekil 8'den de görüleceği üzere tekrarlama periyodu 475 yıl olan bir deprem için yapılan sismik tehlike analizi sonucunda elde edilen en yüksek yer ivmesi (PGA) haritası elde edilmiştir. Gülkan vd. [22] tarafından hazırlanan resmi deprem bölgeleri haritası zemin koşullarının etkisi yok sayılarak düzenlenmiştir. Dolayısıyla bu çalışma için elde edilen sismik tehlike haritasının, resmi deprem bölgeleri haritası ile sismik tehlike dağılımı açısından karşılaştırmasının yapılabilmesi için, Akkar vd. [20] tarafından geliştirilen tahmin denklemi de zemin etkilerinden bağımsız olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sismik tehlike haritası ile resmi deprem bölgeleri haritası kavramsal olarak farklı olmakla birlikte, deprem tasarımı için kullanılacak ivme değerlerinin dağılımı açısından karşılaştırılabilir [19].

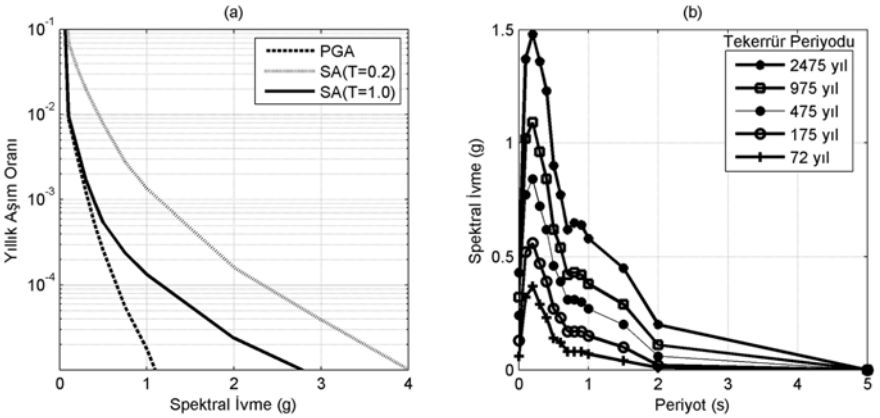
Bu iki harita karşılaştırıldığında, her iki haritada da Eskişehir'in kuzeyinde bulunan KAFH ile Ege Bölgesinde sismik tehlikenin diğer bölgelere göre yüksek olduğu ve tehlikenin İç Anadolu'ya doğru kademeli olarak azaldığı görülmektedir. Kısaca yorum yapmak gerekirse, Eskişehir deprem tehlikesi açısından göreceli olarak güvenilir bir şehirdir, ancak kısa mesafelerde bulunan ve yüksek sismik tehlikeye maruz kalan bölgelerde meydana gelebilecek bir depremin Eskişehir'i etkileme kapasitesine sahip olduğu bilinmektedir. Resmi harita verilerinin hazırlanmasında kaynakların daha büyük ölçeklerde değerlendirildiği ve katalog, fay ve alan kaynak parametreleri ve modelleri ile farklı bir YHTD kullanıldığı göz önüne alındığında, sismik tehlike haritasının daha farklı olması beklenebilir. Ancak şekilden de anlaşılacağı üzere bu kadar farklı parametreye rağmen sismik tehlike haritası ile deprem bölgeleri haritası genel hatlar itibariyle birbiriyle benzeşmektedir. Haritaların benzeşmeyen kısımlarının ölçek farklılığından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 7. AC10 denkleminin performansı (kaya zemin, fay belirtilmemiş) (The performance of AC10 (rock, fault not specified))



Şekil 8. Eskişehir ve çevresi için 475 yıl yineleme periyotlu maksimum yer ivmesini gösterir sismik tehlike haritası (PGA=g) ve resmi deprem bölgeleri haritası
(Seismic hazard map for Eskisehir and surrounding area for 475-year return period (PGA=g) and official earthquake zonation map)

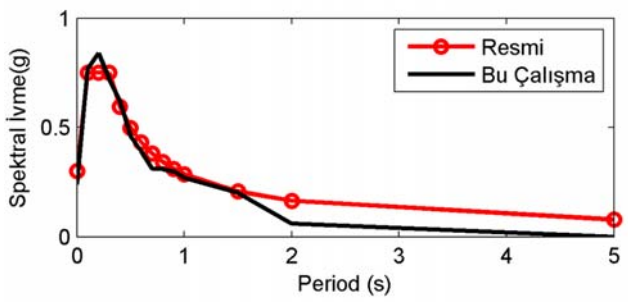


Şekil 9. (a) PGA ve SA(T=0,2s, T=1,0 s) için yıllık aşım oranları (b) eskişehir için geliştirilen elastik ivme-tepki eğrileri (NEHRP B/C, %5 sönüm oranı)
((a) annual exceedence rates for PGA and SA (T=0,2s, T=1,0s) (b) elastic response spectrum curves developed for Eskisehir (NEHRP B/C, %5 damping))

3.2. İvme-Tepki Spektrumu (Response Spectrum Curve)

İvme-tepki spektrumunun oluşturulabilmesi için, öncelikle her bir spektral periyot ve PGA için yıllık aşım oranlarının hesaplanması gerekmektedir. Yıllık aşım oranlarının hesaplanmasında alan kaynaklar ve fay kaynaklar ayrı ayrı değerlendirmeye tabi tutulur ve etkileri toplanır. Zaman alanında kullanılan tekerrür ilişkisi Poisson dağılımıyla ifade edildiği için, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan ya da tekerrür periyodu 475 yıl olan bir deprem için yıllık aşım oranı 0,0021 olduğundan, bu değere tekabül eden bütün etkin yer ivmesi değeri ve her bir spektral periyoda denk

gelen bütün spektral ivme değerleri bulunabilir. Şekil 9a' da PGA, SA(T= 0,2 s, T=1,0 s) için hesaplanan yıllık aşım oranları gösterilmektedir. EZ-FRISK [21] tarafından otomatik olarak yapılan bu hesaplamalar sonucunda elde edilen ivme eğrileri Şekil 9b' de gösterilmiştir. Bu eğriler, tekerrür sıklığı sırasıyla 2475, 975, 475, 172 ve 72 yıl olan ya da 50 yılda olma olasılığı sırasıyla %2, %5, %10, %25 ve %50 olan depremler için geliştirilmiş olup, NEHRP B/C sınıfına göre hesaplanmıştır.



Şekil 10. Bu çalışma kapsamında eskişehir için geliştirilen ve resmi olarak hesaplanan ivme eğrilerinin karşılaştırılması (475 yıl tekerrür periyodu, zemin bu çalışma için NEHRP B/C ve DBBYH-2007'ye göre Z1 kabul edilmiştir, I=1,0)
(Comparison of official response spectrum curve and the curve obtained in this study (475-year return period, for this study site class is accepted as NEHRP B/C and Z1 for TEC-2007, I=1.0))

Dolayısıyla, kullanıma hazır duruma getirilmesi için bütün değerlerin zemin büyütme katsayıları ile çarpılarak ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Şekil 10.da bu çalışmada elde edilen ve tekerrür periyotu 475 yıla tekabül eden ivme-tepki spektrumu ile DBBYH [1] referans alınarak geliştirilen ivme eğrisi karşılaştırılmıştır. Her ikisindeki benzerlik dikkat çekici boyutlardadır. Neredeyse 1,5 s civarına kadar hemen hemen aynı değerlerde iken bu periyottan sonraki değerlerde DBBYH [1]'ye göre geliştirilen ivme eğrisi bu çalışmada elde edilen eğri değerlerinin iki katı civarında seyretmektedir. Bu çalışma sonucun elde edilen maksimum yer ivmesi 0,24g olarak hesaplanmış olup bu değer DBBYH [1]'ye göre 0,3g olarak hesaplanmıştır. Yönetmeliğin duyarlılık derecesi ve iki eğri arasındaki benzerlik göz önüne alındığında, yer ivmesi değerlerinin bu çalışma ile yönetmelik arasındaki uyumu yadsıyamayacağı açıktır. Ayrıca bu çalışmada elde edilen maksimum yer ivmesi değerinin, Yucemen vd. [2] tarafından yapılan çalışmada elde edilen maksimum yer ivmesi ile yakınlığı da dikkat çekicidir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Beklendiği üzere, bu çalışmada maksimum yatay yer ivmesi değerleri KAFH boyunca elde edilmiş olup Ege Bölgesinde bulunan fay hatları çevresinde de yer yer yüksek maksimum yer ivmesi değerleri görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen sismik tehlike haritası ile resmi deprem bölgeleri haritası deprem tehlikesinin coğrafi dağılımı açısından karşılaştırıldığında ise, resmi deprem bölgeleri haritası etkin yer ivmesi katsayısının yüksek olduğu bölgelerin alansal olarak daha büyük olduğu görülmektedir. Bu durum, resmi haritanın hazırlanması sırasında kullanılan alan kaynakların ülke ölçeği göz önüne alınarak daha büyük alanları kapsaması ile açıklanabilir. Dolayısıyla, herhangi bir yer için bir sismik değerler arandığında, istenen duyarlılık derecesine bağlı olarak, resmi değerlerden yararlanmak yerine, sismik tehlike analizi ya da yerel ivme-tepki spektrumu hazırlanması çok daha gerçekçi sonuçlar vermesi açısından zorunlu ve gereklidir. Şekil 8'de verilen haritada, deprem tehlikesi açısından benzeşen bölgeler olmakla birlikte, benzeşmeyen alanların da olduğu görülmektedir. Bu çalışmada gözetilen detayların, Türkiye geneli için gösterilemeyeceğinden yola çıkarak, bu tür bir örtüşmenin zaten olamayacağı açıktır. Ancak bölgelere göre genel azalım ve artış eğilimlerinin birbirinden çok farklı olmadığını görmek, özellikle İzmit ve Düzce depremlerinden sonra, bölgesel sismik tehlike beklentilerinin pekiştirildiğinin göstergesidir. YHTD olarak belirlenen AC10, zemin etkilerinin doğrusal ve eğrisel etkilerini bağıntılarla ifade etmektedir. Ancak bu bağıntılar yerel zemin koşulları incelenerek geliştirilmiş bağıntılar olmadığı için, kesinliği konusunda sorgulanabilirler. Bu durum sadece bu çalışma için değil, alıntı zemin bağıntıların kullanıldığı bütün YHTD'ler için geçerlidir. Dolayısıyla, sismik tehlike analizi yapılırken zeminin etkisi yok kabul edilerek analiz yapılması ve yerel zemin etkilerinin ve zemin sınıflarına göre ivme eğrisi büyütme işleminin yerel zemin kaynaklara bağlı olarak geliştirilen katsayılar kullanılarak yapılması çok daha gerçeğe yakın sonuç verebilir. Böylelikle, yapılan bütün çalışmaların zemin etkilerinden bağımsız olarak karşılaştırılması mümkün olabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. DBYBHY (2007). Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, Türkiye.
2. Yücemen M.S., Öztürk N.Y., Deniz A., Probabilistic seismic loss estimation for Eskişehir, Turkey, Proceedings Geohazards, Lillehammer, Norway, June 18-21, 2006.
3. Orhan A., Seyrek E., Tosun H., A probabilistic approach for earthquake hazard assessment of the Province of Eskişehir, Turkey, Nat Hazards and Earth Syst Sci, 7, 607-614, 2007.
4. Douglas J., An investigation of analysis of variance as a tool for exploring regional differences in strong ground motions, J. Seismol, 8, 485-486, 2004.
5. Karaca H., Estimation of potential earthquake losses for the evaluation of earthquake insurance risks, Doktora Tezi, ODTÜ İnşaat Müh. Böl., Ankara, 2014.
6. Ocakoğlu F., A re-evaluation of the Eskisehir Fault Zone as a recent extensional structure in NW Turkey, J. Asian Earth Sci, 31, 91–103, 2007.
7. Emre O., Duman T.Y., Özalp S., Olgun Ş., Elmacı H., 1:250000 ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Maden

Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye, 2012.

8. Kocyigit A,. Active fault investigation in pilot municipalities and their neighborhood: Eskisehir, Gemlik, Bandirma, Tekirdağ and Körfez, Final Report, Project: MEER-A3, 17, 2005.

9. KOERI, Deprem Kataloğu, http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo, Yayın tarihi: Ocak 2006, Erişim tarihi: Eylül 2013.

10. AFAD, Deprem Kataloğu, http://www.deprem.gov.tr/tr/depremkatalogu, Yayın tarihi, Ocak 2011, Erişim tarihi: Eylül 2013.

11. Deniz A., Estimation of earthquake insurance premium rates for Turkey, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ İnşaat Müh. Böl., Ankara, 2006.

12. Deniz A., Yücemen M.S., Processing earthquake catalog data for seismic hazard analysis, 8th International Congress on Advances in Civil Engineering, Kuzey Kıbrıs, 2008.

13. Stepp J.C., Analysis of completeness of the earthquake sample in the Puget Sound Area, Contributions to Seismic Zoning: U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration Technical Report ERL 267-ESL 30, 16-28, 1973.

14. Yücemen M.S., Olasılıksal sismik tehlike analizi, genel bakış ve istatistiksel modellemede dikkat edilmesi gerekli hususlar, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, ODTÜ, Ankara, 2011.

15. Kalkan E., Gülkan P., Yilmaz N., Celebi M., Reassessment of probabilistic seismic hazard in the Marmara Region, B Seismol Soc Am (99) 4, 2127–2146, 2009.

16. Wells D.L., Coppersmith K.J., New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement, B Seismol Soc Am, 84 (4), 974-1002, 1994.

17. Kocyigit A. Yüz yüze görüşme, Jeoloji Müh. Böl., ODTÜ, Ankara, 2011.

18. Kuehn N.M., Scherbaum F., A partially non-ergodic ground-motion prediction equation for Europe and the Middle East, Bull Earthquake Eng, 14 (10), 2629-2642, 2016.

19. Özmen B., Can H., Deterministic seismic hazard assessment for Ankara, Turkey, Journal of Faculty of Engineering and Architure of Gazi University, 31 (1), 9-18, 2016.

20. Akkar S., Cagnan Z., A local ground motion predictive model for Turkey and its comparison with other regional and global ground-motion models, B Seismol Soc Am, 100 (6), 2978-2995, 2010.

21. EZ-FRISK v7.62, Risk Engineering, USA, 2013.

22. Gülkan P., Koçyiğit A., Yücemen M.S., Doyuran V., Başöz N., En son verilere göre hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası. ODTÜ İnsaat Müh. Böl., Rapor no. 93-01, 156, 1993.