ANTAKYA VE YAKIN ÇEVRESİ İÇİN DEPREM TEHLİKESİNİN STOKASTİK YÖNTEMLER İLE TAHMİNİ

N. Topkara[1], M.S. Yücemen[2], N. Yılmaz[3] ve A. Deniz[4]

[1] *Yüksek Lisans Öğrencisi, İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
[2] *Profesör, İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
[3] *Doktor, Deprem Dairesi, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara*
[4] *İnşaat Yüksek Mühendisi, Teknolojik Mühendislik Hizmetleri Ltd. Şirketi, Antalya*
Email: naztopkara@gmail.com

ÖZET:

Antakya ve çevresi, mevcut Deprem Bölgeleri Haritası'na göre 1. derece deprem bölgesindedir. Antakya yöresi gibi sismik açıdan aktif olan bir bölgede olabilecek depremlerin yerini, zamanını ve büyüklüğünü önceden kestirmek mümkün değildir. Son yıllarda mevcut veri sayısının ve kalitesinin artmasına ek olarak stokastik tahmin metotlarındaki gelişmeler, ülkenin her bölgesi için olduğu gibi Hatay ili için de deprem tehlikesinin tahmininde daha güvenilir sonuçlar elde etmeye olanak sağlamıştır. Deprem tehlikesinin tahmininde mevcut belirsizliklerin göz önünde bulundurulabilmesi için mutlaka stokastik yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Bu çalışmada stokastik yöntemler kullanılarak Antakya ve Hatay ilinin bazı ilçeleri için deprem tehlikesinin tahmini amaçlanmıştır.

Çalışmada yörenin 200 km yakınlığında son yüzyıl içinde meydana gelen depremlerden oluşan ve farklı magnitüd ölçeklerindeki depremlerin ortak bir ölçeğe dönüştürüldüğü kapsamlı bir deprem katalogu kullanılmıştır. Antakya'yı etkileyebilecek yakınlıkta ve daha önceki araştırmalarda belirlenmiş olan alan deprem kaynakları ve farklı azalım ilişkileri kullanılmıştır. Değişik varsayım ve sismisite parametrelerindeki belirsizliklerin sismik tehlike sonuçlarına yansıtılması mantık ağacı yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bildiride ayrıca, olasılıksal sismik tehlike analizinin temelini oluşturan modeller özetlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Antakya, sismik tehlike, istatistiksel analiz, aktif fay, stokastik süreç.

1. GİRİŞ

Türkiye, Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde bulunan bir ülke olması nedeni ile depremselliğinin incelenmesi büyük önem taşır. 36-38º K enlemleri ve 35-38º D boylamları arasında yer alan Antakya ve çevresi de bu kuşak üzerinde bulunmaktadır. Ayrıca, bu bölge Afrika Kıtası, Arap Levhası ve Anadolu Plakası'nın çarpışma merkezi konumunda oluşu nedeniyle her zaman olası büyük bir deprem tehlikesi ile karşı karşıyadır. Bu bölgede daha önce de yıkıcı çok sayıda depremin yaşandığı bilinmektedir. Antakya ve çevresinin fayların düğüm noktasında yer alması ve zeminin de alüvyonlu olmasından ötürü bu bölge depreme karşı son derece hassastır.

Antakya ve çevresi coğrafi özelliklerinden dolayı tarih boyunca yerleşim yeri olmuştur. Bu nedenle bu bölgedeki yapılar depreme dayaklı olarak tasarlanmalıdırlar. Depreme dayanıklı tasarım yaparken bölgenin deprem tehlikesi değerlendirilmelidir. Bu yüzden bu çalışmada amaçlanan, Antakya ve çevresinde bulunan mevcut deprem kaynaklarını ve özelliklerini değerlendirerek bu bölge için bir sismik tehlike analizini gerçekleştirmektir.

2. OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ

Olasılıksal sismik tehlike analizi (OSTA)'nin amacı, belirlenen bir yer hareketi parametresinin bir veya birçok yerde, belirli bir zaman içinde aşılma olasılığının tahminidir. Olasılıksal sismik tehlike analizi çeşitli adımlardan oluşur. Güvenilir bir deprem katalogunun elde edilmesi, bu adımlardan birincisidir. Bunun için deprem tehlikesinin tespit edileceği bölge için geçmiş deprem kayıtları derlenir. Derlenen deprem katalogunda bulunan kayıtların her biri, incelenen bölgedeki deprem kaynak bölgeleri ile birlikte değerlendirmeye tabi tutularak kaynak bölgelerine ait sismisite parametrelerinin değerleri ve bu bölgelerin deprem yaratma kapasiteleri hesaplanabilir. Azalım (yer hareketi tahmin) ilişkisi diğer önemli girdilerden birisidir.

Sonraki adım ise sismik tehlike analizi için gerekli olan girdilerdeki belirsizliklerin incelenmesi, bunların hesaplanması ve değişik analiz kombinasyonları tasarlanarak bu belirsizliklerin analiz sonuçlarına olan etkilerinin ortaya çıkartılmasından oluşur. Bu işlem, sismisite değişkenlerinin belirsizlik içermediğini varsayan deterministik yöntemlere göre olasılığa dayalı deprem tehlike analizlerinin sağladığı avantajları da ortaya koymaktadır.

2.1. Deprem Katalogunun Oluşturulması ve Katalog Üzerinde Yapılan Tadilatlar

Deprem tehlikesi sadece incelenen yerde olabilecek depremlere bağlı değildir. Ele alınan bölgenin aynı zamanda yakın çevresinde meydana gelebilecek depremlerden de etkileneceği düşünülmelidir. Bu nedenle coğrafi koordinat olarak 36º 12´ 01.04´´ kuzey enlemi ile 36º 09´ 59.05´´ doğu boylamı kesişiminde bulunan Antakya'nın (Hatay il merkezi) 200 km yakınlığında meydana gelen bütün depremlerin göz önünde bulundurulması kararlaştırılmıştır. Bu alan içerisinde, bir sonraki bölümde bahsedilecek olan sekiz alansal sismik kaynak bölgesi tanımlanmıştır. Bu kaynak bölgelerinden bazılarının sadece bir bölümü sözü geçen dikdörtgen alanda kalmakla birlikte, analizlerde sismik kaynağın tamamı modellenmiş ve depremsellik parametreleri de yine kaynağın tamamı için tanımlanmıştır.

Antakya ve yakın çevresi için yapılan bu çalışmada, deprem katalogunun oluşturulması için Deniz (2006) tarafından derlenen sismik veri tabanından yararlanılmıştır. Bu veri tabanı dört farklı kaynaktan toplanan deprem verilerinin karşılaştırılması ile elde edilmiş olup bu veri kaynakları şunlardır: Afet İşleri Genel Müdürlüğü-Deprem Araştırma Dairesi (2004), Boğaziçi Üniversitesi – Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (2004), Uluslararası Sismoloji Merkezi (2004) ve Birleşik Devletler Jeolojik Araştırmalar Kurumu (2004)'dur. Elde edilen birleşik katalog son yüzyıl içinde meydana gelen depremleri içermektedir.

Bu çalışmada deprem büyüklüğünü belirtmek için moment magnitüdü (M_w) kullanılmıştır. Farklı büyüklük ölçeklerine göre (cisim dalga magnitüdü – M_b, süre magnitüdü – M_d, yerel magnitüd – M_L ve yüzey dalgası magnitüdü – M_s) raporlanan deprem kayıtlarının M_w ölçeğine çevrilmesi oldukça önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bunun için dönüşüm denklemlerinin geliştirilmesinde çok yaygın olarak standart en küçük kareler regresyonu kullanılmaktadır. Ancak bu yöntem aralarında bağıntı kurulacak değişkenlerden yalnızca bağımlı değişkende hata olması durumunu göz önünde tutmaktadır. Halbuki deprem büyüklüklerinin çeşitli nedenlerden kaynaklanan belirsizlikler yüzünden hatasız olarak belirlenmesi mümkün değildir. Dolayısıyla aralarında bağıntı kurulacak olan bağımlı ve bağımsız değişkenlerin her ikisinin de hata içermesi kaçınılmazdır. Böyle bir durumda ortogonal regresyon yönteminin kullanılması uygun olacaktır. Bu amaçla Deniz ve Yucemen (2010) tarafından aşağıda verilen dönüşüm denklemleri kullanılmıştır.

$$M_w = 2.25 \times M_b - 6.14 \qquad (1.a)$$

$$M_w = 1.27 \times M_d - 1.12 \qquad (1.b)$$

$$M_w = 1.57 \times M_L - 2.66 \qquad (1.c)$$

$$M_w = 0.54 \times M_s + 2.81 \qquad (1.d)$$

Ortogonal regresyon, çevirim ilişkilerinin eğimlerini standart en küçük kareler yöntemine göre her zaman daha büyük tahmin etmektedir. Bu nedenle büyük depremlerin magnitüdlerini geleneksel yönteme göre daha büyük

vermektedir. Küçük depremler için bunun tersi geçerli olmakla birlikte bu depremlerin sismik tehlikeye katkısı zaten oldukça küçük seviyelerde kalmaktadır. Dolayısıyla, deprem tehlikesinin tahmininde ortogonal regresyonun kullanılması durumunda geleneksel yöntemin sonuçlarına göre daha emniyetli tarafta değerler elde edilecektir.

Depremlerin oluş sürecinin tahmininde, depremlerin birbirlerinden bağımsız ya da kendilerinden önceki depremlere bağımlı olarak meydana geldiklerini varsayan çeşitli stokastik modeller vardır. Bağımsız deprem oluşum modeli olarak yaygın bir şekilde kullanılan Poisson modeli depremlerin gerek yer, gerekse zaman açısından birbirlerinden bağımsız bir şekilde meydana geldikleri varsayımına dayanır. Poisson modeline göre incelenen bir bölgede, t zaman aralığında m_0 alt magnitüd sınırından büyük n sayıda deprem olma olasılığı

$$P_n(t) = e^{-\lambda t} \times (\lambda t)^n / n! \tag{2}$$

şeklinde ifade edilebilir. Denklem (2)'de λ ilgili bölgede birim zamanda meydana gelen ortalama deprem sayısını temsil etmektedir. Bir bölgede meydana gelen depremlerin sayısı ile deprem magnitüdleri arasında Gutenberg ve Richter (1949) tarafından önerilen doğrusal magnitüd-sıklık ilişkisi kullanılarak magnitüd için olasılık yoğunluk işlevi şu şekilde ifade edilmiştir:

$$f_M(m) = k \times \beta \times e^{-\beta(m-m_0)} \tag{3}$$

Burada, β büyük depremlerin küçük depremlere göre hangi sıklıkta meydana geldiğini gösteren sismotektonik parametre olarak tanımlanmaktadır. Büyüklük-sıklık ilişkisi genellikle hem bir m_1 üst sınırı, hem de bir m_0 alt sınırı ile kısıtlandırılır. Böylelikle, üst sınır ile fiziksel olarak her kaynağın üretebileceği depremlerin magnitüdleri belirlenirken, alt sınır ile de deprem tehlikesi yaratma açısından kritik görülen en küçük depremler belirlenmiş olur. Denklem (3)'de k, birikimli dağılım işlevinin m_1 üst magnitüd sınırında 1.0'e eşit olmasını sağlayan bir katsayıdır.

Öncü ve artçı depremlerin (ikincil depremler) sismik tehlike analizinin dışında tutulması, Poisson modelinin dayandığı bağımsızlık koşulunu sağlama açısından gerekmektedir. Literatürde öncü ve artçı şokların tayini için birçok yöntem bulunmaktadır. Öncü ve artçı depremler zamansal ve mekânsal olarak ana şok etrafında benzer dağılımlar göstermektedirler. Bu nedenle, ikincil depremlerin tayini öncü ve artçı depremler için farklılık göstermemektedir. Sözü geçen çalışmalar mühendislik uygulamaları için belirli bir büyüklük seviyesindeki depremlerin, deprem bölgesi, sismik kaynak, ilgili fayın uzunluğu ve çeşidi gibi ayrımlar gözetilmeksizin aynı ikincil deprem aktivitesine yol açtığını kabul eden çalışmalardır. Dolayısıyla, bu çalışmada da her bir deprem büyüklüğü seviyesi için, bu seviyede bulunan bir ana şoka belirli bir zaman ve uzaklık penceresi içinde kalan bütün depremlerin ilgili ana şokun artçı depremleri olduğu kabul edilmiştir. Bir depremin öncü deprem sayılabilmesi için ise, kendi büyüklük seviyesi için belirlenmiş olan zaman ve uzaklık pencerelerinin içerisinde, kendisinden daha büyük bir deprem bulunması gerekmektedir. Böyle durumlarda magnitüdü daha büyük olan ikinci depremin ana şok olduğu varsayılmıştır. Bu varsayımlara istisna olarak, yalnızca magnitüdü 6.0'dan büyük olan bütün depremlerin ana şok olduğu kabul edilmiştir. Bu varsayımlara göre, Deniz (2006) tarafından önerilen ve Tablo 1'de verilen zaman ve uzaklık pencereleri çalışmamızda kullanılmıştır.

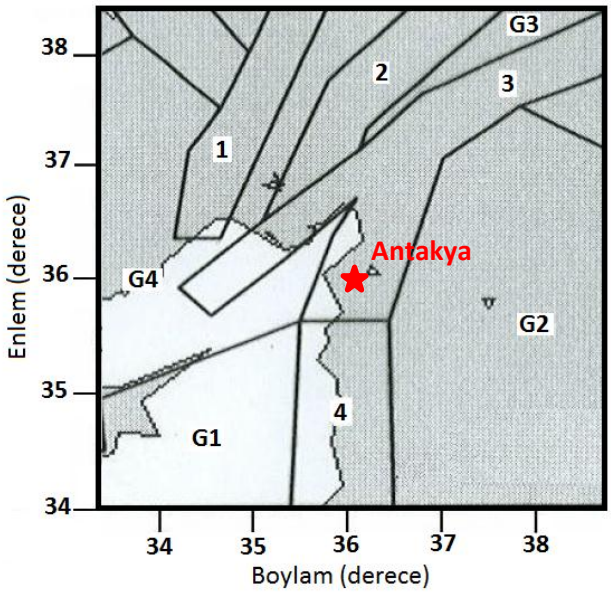
2.2. Sismik Kaynak Bölgelerinin Belirlenmesi ve Depremselliklerinin Tespiti

Sismik kaynak bölgeleri, sismik kaynağın her noktasında deprem olma olasılığının aynı olduğu varsayılan alansal bölgelerdir. Bu çalışmada sismik kaynak bölgeleri belirlenirken, hiçbir kaynak bölgesi ile ilişkilendirilemeyen depremlerin sismik tehlikeye katkısı yapay geri plan kaynak bölgeleri ile hesaba katılmıştır. Erdik, v.d. (1999) toplam 37 sismik kaynak bölgesi ile Türkiye'nin özellikle doğu ve batı sınırlarında ayrıntılı sismik bölgelendirme çalışmalarında bulunmuşlardır. Aynı kaynak bölgeleri bazı revizyonlarla geliştirilerek, Bommer, v.d.(2002) tarafından Doğal Afet Sigortaları (DASK) sisteminin oluşturulması sırasında kullanılmıştır.

Deniz (2006), Bommer, v.d. (2002) tarafından önerilen sismik kaynakları esas alarak ve uzman görüşüne dayalı (Koçyiğit, 2005) bazı modifikasyonlar yaparak bir sismik kaynak bölgeleri haritası ortaya koymuştur. Çalışmamızda yürütülen sismik tehlike analizine esas teşkil eden sismik kaynaklar bu haritadan alınmıştır ve Şekil 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. İkincil depremlerin ayırt edilmesinde kullanılan uzaklık ve zaman pencerelerinin boyutları (Deniz, 2006)

Magnitüd	Uzaklık (km)	Zaman (gün)
4.5	35.5	42
5.0	44.5	83
5.5	52.5	155
6.0	63.0	290
6.5	79.4	510
7.0	100.0	790
7.5	125.9	1326
8.0	151.4	2471



Şekil 1. Antakya yöresini etkileyebilecek deprem kaynak bölgeleri
(Sismik kaynakların adları ve sismisite parametreleri Tablo 2 ve 3'te verilmiştir.)

Bir önceki bölümde derlenen deprem katalogundaki deprem kayıtlarının katalog bilgilerinde ikincil depremler ve eksik verilere ilişkin herhangi bir tadilat yapılmadan dağıtılması halinde, sismisite parametreleri için Tablo 2'de verilen değerler elde edilmiştir. Gutenberg-Richter büyüklük-sıklık ilişkisinin her bir sismik kaynak bölgesi için hesaplanmasında hem doğrusal regresyon hem de en büyük olabilirlik istatistiksel tahmin yöntemleri kullanılmıştır.

Her bir kaynak bölge için depremlerin geriye doğru Stepp (1973) tarafından önerilen yöntemle 10 ve 10 yılın katları dönemlerde incelenmesi ile her bir büyüklük seviyesinin eksiksiz raporlanma zaman aralıkları belirlenmiştir. Sadece eksiksiz raporlanma sürelerinde geçerli olan sismisite özelliklerinin kullanılması ile elde edilen sonuçlar Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Sismik kaynak bölgeleri için katalog bilgilerinde eksik verilere ilişkin herhangi bir tadilat yapılmaması durumunda depremsellik parametrelerinin değerleri (Deniz, 2006)

		Bütün Depremler				**Sadece Ana Şoklar**			
		Standart En Küçük Kareler Regresyonu		En Büyük Olabilirlik Yöntemi		Standart En Küçük Kareler Regresyonu		En Büyük Olabilirlik Yöntemi	
No.	Sismik Kaynak Bölgesi	β	λ (göz.)	β	λ (göz.)	β	λ (göz.)	β	λ (göz.)
1	Orta Anadolu Fay Kuşağı	1.554	0.314	1.918	0.314	1.484	0.276	1.347	0.276
2	Yazyurdu-Göksun Fay Kuşağı	1.618	0.571	1.550	0.571	1.491	0.457	1.460	0.457
3	Doğu Anadolu Fay Sistemi	2.042	1.524	1.950	1.524	1.879	1.010	1.630	1.010
4	Ölü Deniz Fay Kuşağı	1.833	0.370	1.833	0.370	1.833	0.370	1.833	0.370
G1	Geri Plan Güney A	1.415	0.257	1.580	0.257	1.393	0.238	1.667	0.238
G2	Geri Plan Güney B	1.144	0.210	1.709	0.210	1.087	0.190	1.633	0.190
G3	Geri Plan İç 4	2.197	0.200	2.602	0.200	2.305	0.181	2.625	0.181
G4	Geri Plan İç 5	2.464	1.590	2.464	1.590	2.395	1.200	2.395	1.200

Tablo 2 ve 3'de β değerlerinin mutlak değerleri verilmiştir. λ(göz.) değerleri ise, gözlenen (ya da eksik raporlanma analizi ile düzeltilen) deprem sayılarının gözlem süresine bölünmesi ile bulunmuştur. Her bir kaynak bölgesine düşen depremler ZMAP yazılımı (Wiemer, 2001) kullanılarak elde edilmiştir.

Tablo 3. Sismik kaynak bölgeleri için katalog bilgilerinde eksik verilere ilişkin bir tadilat yapılması durumunda depremsellik parametrelerinin değerleri (Deniz, 2006)

		Bütün Depremler				**Sadece Ana Şoklar**			
		Standart En Küçük Kareler Regresyonu		En Büyük Olabilirlik Yöntemi		Standart En Küçük Kareler Regresyonu		En Büyük Olabilirlik Yöntemi	
No.	Sismik Kaynak Bölgesi	β	λ (göz.)	β	λ (göz.)	β	λ (göz.)	β	λ (göz.)
1	Orta Anadolu Fay Kuşağı	1.764	0.619	2.855	0.619	1.720	0.560	2.740	0.560
2	Yazyurdu-Göksun Fay Kuşağı	1.961	1.210	3.454	1.210	1.832	1.008	3.431	1.008
3	Doğu Anadolu Fay Sistemi	2.304	3.117	2.304	3.117	2.140	2.161	2.140	2.161
4	Ölü Deniz Fay Kuşağı	2.197	0.370	2.197	0.370	2.197	0.370	2.197	0.370
G1	Geri Plan Güney A	1.660	0.372	2.671	0.372	1.656	0.353	2.947	0.353
G2	Geri Plan Güney B	1.716	0.520	1.716	0.520	1.655	0.470	1.655	0.470
G3	Geri Plan İç 4	2.197	0.700	2.602	0.700	2.305	0.636	2.625	0.636
G4	Geri Plan İç 5	2.464	2.710	2.464	2.710	2.395	1.996	2.395	1.996

Sismik tehlike analizlerinde her bir sismik kaynak bölgesinin yaratabileceği en büyük deprem magnitüdünün belirlenmesi de oldukça önemlidir. Çalışmamızda en büyük magnitüd değerleri, ilgili sismik kaynak bölgesinde gözlenen en büyük magnitüd değerine bağlı olarak belirlenmiştir. Buna göre en büyük deprem magnitüdleri Orta

Anadolu Fay Kuşağı için 7.1, Yazyurdu- Göksun Fay Kuşağı için 7.0, Doğu Anadolu Fay Sistemi için 7.5, Ölü Deniz Fay Kuşağı için 7.4, Geri Plan Güney A için 6.4, Geri Plan Güney B için 6.2, Geri Plan İç 4 için 5.4 ve Geri Plan İç 5 için 5.6 olarak belirlenmiştir. Deprem tehlikesi yaratabilecek en küçük depremin büyüklüğü, moment magnitüd ölçeğine göre 4.5 olarak belirlenmiştir.

2.3. Azalım İlişkisi

Çalışmamızda yer hareketi parametresi olarak en büyük yer ivmesi (PGA) kullanılmakla birlikte, 0.05, 0.10, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.75, 1.00, 2.00 ve 3.00 s'deki spektral ivmeler (SA) için de sismik tehlike tahmini yapılmıştır. Bu yer hareketi parametreleri cinsinden deprem tehlikesinin tahmin edilmesinde çeşitli azalım ilişkileri kullanılmıştır. Kalkan ve Gülkan (2004) tarafından önerilen ve yerel verilere dayanan azalım ilişkisinin yanında daha önceki deprem tehlike analizlerinde yaygın olarak yer verilen ithal azalım ilişkilerinden Boore, v.d. (1997) tarafından önerilen azalım ilişkisi de göz önünde tutulmuştur. Bunlara ilaveten yeni nesil yer hareketi tahmin ilişkilerinden Campbell ve Bozorgnia (2008) tarafından önerilen azalım ilişkisi de çalışmamızda kullanılmıştır. Ayrıca yerel zemin koşullarının sismik tehlikeye etkisinin dikkate alınmasına karar verilmiştir. Bu amaçla çalışmamızda Antakya için kayma dalgası hızının, Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından işletilmekte olan Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağına ait Hatay Merkez istasyonunun kayma dalgası hızına, Vs = 470 m/s (AFAD, 2012), eşit olduğu varsayılmıştır. Çalışmada yer alan bu azalım ilişkileri ile ilgili kısa bilgiler aşağıda verilmiştir.

Kalkan ve Gülkan (2004) : 1976 ve 2003 yılları arasında Türkiye'de meydana gelen moment magnitüd değeri 4.0 - 7.5 arasında değişen 57 depreme ait 112 kuvvetli yer hareketi ölçümüne dayanmaktadır. En büyük yer ivmesinin doğal logaritması için Kalkan ve Gülkan (2004) tarafından geliştirilen azalım ilişkisi aşağıda verilmiştir:

$$\ln Y = 0.393 + 0.576\,(M-6) - 0.107\,(M-6)^2 - 0.899 \ln r - 0.2\,\ln(V_S/1112) \quad (4)$$

Bu denklemde Y, yerçekimi ivmesi (g) cinsinden en büyük yer ivmesinin yatay bileşeni ve M moment magnitüdüdür. Burada r değişkeni

$$r = \sqrt{r_{cl}^2 + h^2} \quad (5)$$

şeklindedir. Denklem (5)'de, r_{cl} yırtılma yüzeyinin yeryüzüne izdüşümü ile en büyük yer ivmesinin tahmin edileceği yer arasındaki en kısa mesafeyi (km) (Joyner-Boore uzaklığı), h ise sanal derinliği temsil etmekte olup en büyük yer ivmesi için h=6.91 km olarak tanımlanmıştır. Denklemdeki V_S (m/s), karakteristik kayma dalgası hızıdır.

Boore, v.d. (1997): Bu çalışmada ise 1940–1992 yılları arasında Kuzey Amerika'da meydana gelen 20 sığ odaklı depreme ait 271 kayda yer verilmiştir. Bu depremlerin büyüklükleri M_w'ye göre 5.5 ile 7.5 arasında değişmektedir. Ancak 6.0'dan küçük depremlerin sebep olduğu yer hareketi ölçümlerinin sayısı oldukça kısıtlıdır. Asıl çalışmada depremler fay mekanizmasına göre sınıflandırılarak alternatif analizler yapılmıştır. Ancak çalışmamızda veri tabanının tamamı kullanılarak elde edilen azalım ilişkisine yer verilmiştir. Boore, v.d.(1997) tarafından 80 km'ye kadar en büyük yer ivmesinin doğal logaritması için önerilen azalım ilişkisi

$$ln\,Y = -0.242 + 0.527 \times (M-6) - 0.778 \times ln\,r - 0.371 \times ln(V_S/1396) \quad (6)$$

şeklindedir.

Campbell ve Bozorgnia (2008) NGA: Bu çalışmada en büyük yer ivmesi (PGA), en büyük yer hızı (PGV), en büyük yer değiştirmesi (PGD) ve 0.01-10 s aralığında %5 sönümlü spektral ivme (SA) için bir azalım ilişkisi geliştirilmiştir. Önerilen ilişki, büyüklüğü 4.0'ten 7.5–8.5'e kadar olan depremler ve 0–200 km arasındaki mesafeler için geçerlidir. Önerilen ilişki aşağıda verildiği gibidir.

$$\ln Y = f_{mag} + f_{dis} + f_{flt} + f_{hng} + f_{site} + f_{sed} \quad (7)$$

Burada Y, yatay yer hareketi parametresinin geometrik ortalamasını göstermektedir. Denklem (7)'de yer alan terimlerin açılımları ve ayrıntılı bilgi Campell ve Bozorgnia (2008)'de verilmiştir. Bu yeni nesil yer hareketi (NGA) tahmin (azalım) ilişkisinde, zemin etkisi kayma dalgası hızı aracılığıyla hesaba katılmaktadır.

3. ANTAKYA VE ÇEVRESİ İÇİN SİSMİK TEHLİKE DEĞERLERİ

Yapılan değişik varsayımların geçerliliği için belirlenen öznel olasılık değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'te verilen tüm varsayımların göz önünde tutulması ile 64 kombinasyon oluşturulmuştur. Bu kombinasyonların her biri için sismik tehlike analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar mantık ağacı yöntemiyle birleştirilmiştir. Analizlerin yapılmasında EZ-FRISK (2011) programı kullanılmıştır. Bir kombinasyonda yer alan varsayımlara göre hesaplanan sismik tehlike değerinin, o kombinasyon için bulunan birleşik olasılık değeri ile çarpılması ve 64 kombinasyonun her biri için benzer şekilde bulunan sismik tehlike değerlerinin toplanması ile elde edilen ağırlıklı ortalama sismik tehlike değeri "en olası tahmin" olarak adlandırılmıştır. Çalışmamızda benimsenen üç değişik azalım ilişkisi kullanılarak elde edilen en olası ivme değerleri ve bunların ortalaması 475 ve 2475 yıllık tekerrür süreleri için, sırası ile, Tablo 5 ve 6'da verilmiş ve ayrıca elde edilen sismik tehlike eğrileri Şekil 2'de gösterilmiştir. Bu değerler coğrafi koordinatları (36º 12′ 01.04′′) kuzey enlemi ile (36º 09′ 59.05′′) doğu boylamı kesişiminde bulunan Antakya (Hatay il merkezi) için geçerlidir. Buna ilaveten coğrafi koordinatları, sırası ile, (36° 35′ 09.13′′ K; 36° 10′ 21.26′′ D), (36° 50′ 09.24′′ K; 36° 13′ 29.49′′ D) ve (35° 57′ 09.23′′ K; 36° 04′ 03.43′′ D) olan İskenderun, Dörtyol ve Yayladağı ilçeleri için elde edilen sismik tehlike eğrileri de Şekil 3'de verilmiştir.

Tablo 4. Değişik varsayımların geçerliliği için belirlenen öznel olasılık değerleri

Alternatif Varsayımlar	Öznel Olasılık
Bütün depremler	0.5
Sadece ana şoklar	0.5
Eksik raporlanma ile ilgili bir tadilat yapılmaması	0.4
Eksik raporlanma ile ilgili bir tadilat yapılması	0.6
Büyüklük-sıklık ilişkisi hesabında standart en küçük kareler regresyonu	0.4
Büyüklük-sıklık ilişkisi hesabında en büyük olabilirlik yöntemi	0.6

4. SONUÇ

Bu bildiride Antakya ve Hatay ilinin bazı ilçeleri için deprem tehlikesinin stokastik yöntemler çerçevesinde tahmini amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan üç yer hareketi tahmin (azalım) ilişkisinden elde edilen sismik tehlike değerleri Antakya ve diğer üç ilçe için karşılaştırılmıştır. Antakya için verilen sismik tehlike eğrilerinden de (Şekil 2) görüleceği üzere Boore-Joyner-Fumal (B-J-F) ile Kalkan-Gülkan (K-G) tarafından geliştirilen azalım ilişkileri yaklaşık aynı sismik tehlike değerlerini verirken, Campbell-Bozorgnia (C-B) tarafından önerilen yeni nesil azalım ilişkisi, 1000 yıldan daha büyük tekerrür süreleri için artan oranda daha küçük sismik tehlike değerleri vermektedir. Tablo 4'te verilen tüm varsayımların mantık ağacı yöntemine göre birleştirilmesi ve bu üç

azalım ilişkisinin de eşit ağırlıkla kullanılması ile elde edilen en olası sismik tehlike eğrileri Şekil 3'de sunulmuştur. Bu şekilden de görüleceği üzere bu dört coğrafi konum da hemen hemen aynı sismik tehlikeye maruzdurlar ve hesaplanan en büyük yer ivmesi (PGA) değeri 475 yıllık tekerrür süresi için 0.39g ve 2475 yıl için ise 0.6g olmaktadır.

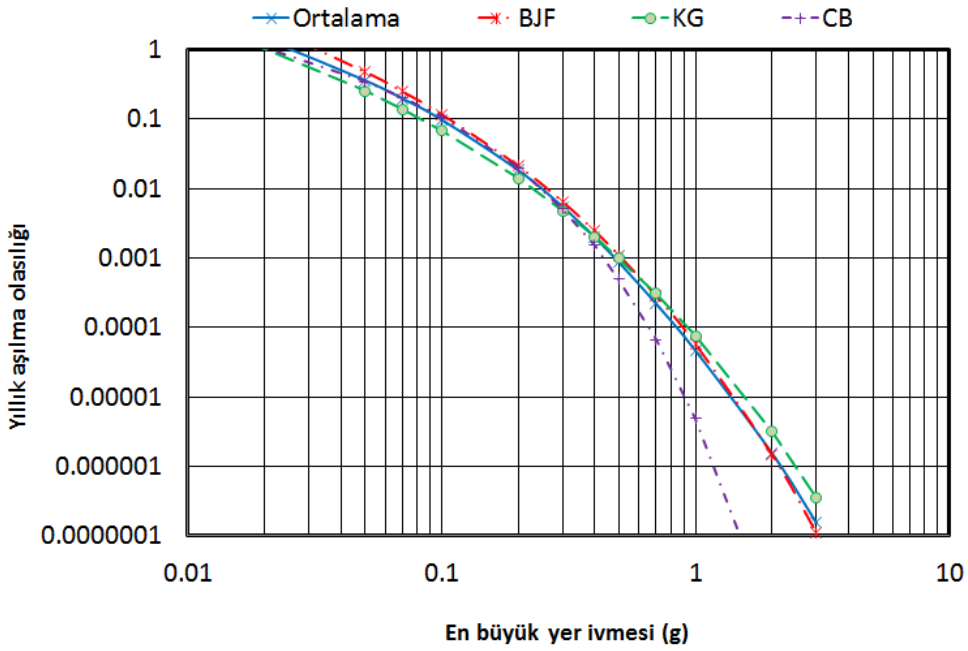
Daha önce Askan, vd. (2010) tarafından Antakya için yapılan çalışmada, sadece geri-plan sismik etkinliği dikkate alarak ve mekansal olarak düzleştirilmiş sismisite modelini kullanarak PGA değerleri 475 ve 2475 yıllık tekerrür süreleri için, sırasıyla 0.20g ve 0.40g, olarak tahmin edilmiştir. Bu PGA değerlerinin Antakya'nın maruz kalabileceği sismik tehlikenin alt sınırını oluşturduğu düşünülürse, bu çalışmada elde edilen değerler daha önce Askan, vd. (2010) tarafından bulunan değerlerle uyumludur.

Tablo 5. Değişik azalım ilişkilerine göre Antakya (Hatay il merkezi) için hesaplanan en olası yatay yer ivme (PGA) ve spektral ivme (SA) değerleri (**475** yıllık tekerrür süresi)

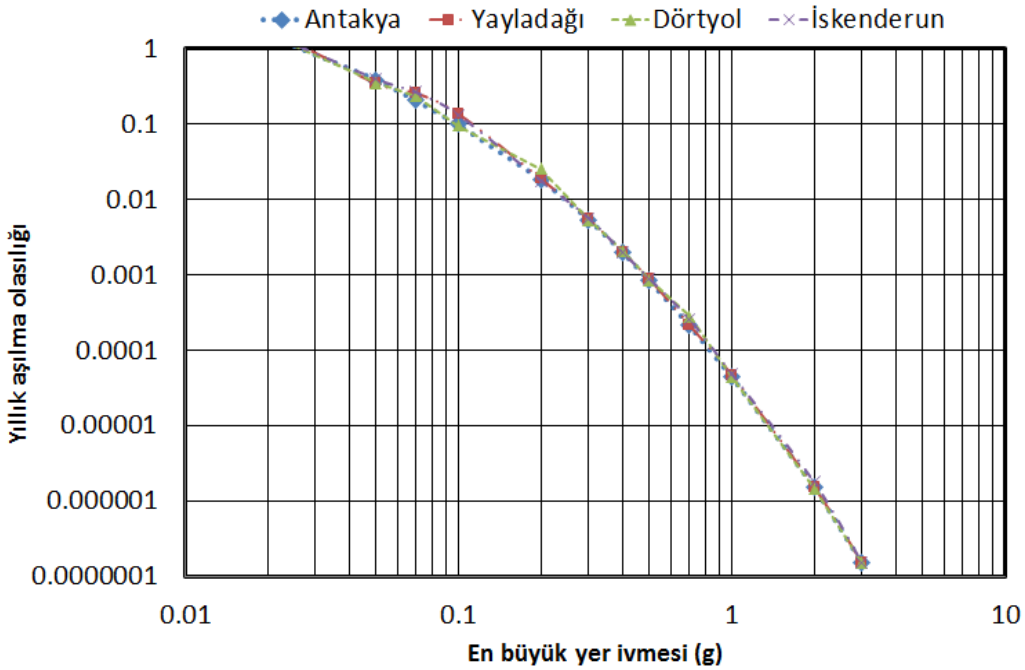
Spektral Periyot (s)	**Boore-Joyner-Fumal (1997) (g)**	**Kalkan-Gülkan (2004) (g)**	**Campbell-Bozorgnia (2008) NGA (g)**	**Ortalama (g)**
PGA	0.41730	0.39450	0.36960	0.39380
0.05	0.49020	0.68470	0.43090	0.54710
0.10	0.53640	0.87050	0.63720	0.70730
0.20	0.79200	1.05400	0.79370	0.88320
0.30	0.84070	0.94050	0.88560	0.89040
0.40	0.79330	0.82900	0.90600	0.85510
0.50	0.72120	0.70330	0.90020	0.79870
0.75	0.53420	0.58790	0.85550	0.70430
1.00	0.41100	0.54480	0.72450	0.59100
2.00	0.21420	0.24980	0.42160	0.31110
3.00	0.14150	0.16560	0.25870	0.19470

Tablo 6. Değişik azalım ilişkilerine göre Antakya (Hatay il merkezi) için hesaplanan en olası yatay yer ivme (PGA) ve spektral ivme (SA) değerleri (**2475** yıllık tekerrür süresi)

Spektral Periyot (s)	**Boore-Joyner-Fumal (1997) (g)**	**Kalkan-Gülkan (2004) (g)**	**Campbell-Bozorgnia (2008) NGA (g)**	**Ortalama (g)**
PGA	0.64060	0.64590	0.51750	0.60170
0.05	0.80070	1.09500	0.59660	0.88390
0.10	0.90120	1.37600	0.88350	1.11100
0.20	1.28100	1.76900	1.08300	1.41800
0.30	1.39800	1.65500	1.21000	1.43100
0.40	1.35800	1.44600	1.26700	1.36400
0.50	1.26400	1.21100	1.29900	1.27600
0.75	0.98280	1.05300	1.31300	1.16500
1.00	0.76690	1.01300	1.16600	1.03300
2.00	0.39810	0.47370	0.77740	0.59130
3.00	0.26440	0.31570	0.50370	0.38160



Şekil 2. Değişik azalım ilişkilerinden Antakya için en büyük yer ivmesi (PGA-g) cinsinden elde edilen sismik tehlike eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 3. Antakya, İskenderun, Dörtyol ve Yayladağı için en büyük yer ivmesi (PGA-g) cinsinden "en olası" sismik tehlike eğrileri

KAYNAKLAR

AFAD (2012). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı İnternet Sayfası, http://kyh.deprem.gov.tr/rapor/20120722_ML5_0_Maras_Andirin_Deprem_KYH_Formu.pdf.

Askan, A., Ün, E.M., Yılmaz, N. and Yücemen, M.S. (2010). Estimation of Seismic Damage in the Antakya Region due to Background Seismic Activity, Workshop on - Seismic Risk Assessment and Mitigation in the Antakya-Maras Region on the basis of Microzonation, Vulnerability and Preparedness Studies, Antakya.

Birleşik Devletler Jeolojik Araştırmalar Kurumu İnternet Sayfası, (2004). USGS/NEIC (PDE) 1973 – Present, http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic_global.html, U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior, Reston, VA, USA.

Bommer, J., Spence, R., Erdik, M., Tabuchi, S., Aydınoğlu, N., Booth, E., Del Re, D. and Peterken, O. (2002). Development of an Earthquake Loss Model for Turkish Catastrophe Insurance, *Journal of Seismology*, **6:2**, 431-446.

Boore, D. M., Joyner, W. B. and Fumal, T. E. (1997). Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work, *Seismological Research Letters*, **68:1**, 128-153.

Campbell K.W. and Bozorgnia, Y. (2008). NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 s., *Earthquake Spectra*, **24:1**, 139-171.

Deniz, A. (2006). Deprem Sigorta Prim Oranlarının Stokastik Yöntemlerle Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Deniz, A. and Yucemen, M. S. (2010). Magnitude Conversion Problem for the Turkish Earthquake Data, *Natural Hazards*, **55:2**, 333-352.

Deprem Araştırma Dairesi İnternet Sayfası, (2004). TURKNET, http://sismo.deprem.gov.tr/VERITABANI/turknetkatalog.php, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Erdik, M., Alpay Biro, Y., Onur, T., Şeşetyan, K. and Birgören, G. (1999). Assessment of Earthquake Hazard in Turkey and Neighboring Regions, *Annali Di Geofisica*, **42:6**, 1125-1138.

EZ-FRISK (2011). User's Manual, version 7.62, Risk Engineering Inc., Boulder, Colorado.

Gutenberg, B. and Richter, C.F. (1949). Seismicity of the Earth and Associated Phenomenon, Princeton University Press, Princeton, New York.

Kalkan, E. and Gülkan, P. (2004). Attenuation Relationship for Maximum Horizontal Component of Ground Motion for Turkey, *Earthquake Spectra*, **20:4**, 1111-1138.

Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü İnternet Sayfası, (2004). Katalog, http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/veri_bank/mainw.htm, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Koçyiğit, A. (2005). Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, Ankara.

Stepp, J. C. (1973). Analysis of Completeness of the Earthquake Sample in the Puget Sound Area, S.T. Handing (Editor), Contributions to Seismic Zoning. NOAA Tech. Rep. ERL 267-ESL 30, U.S. Dep. of Commerce.

Uluslararası Sismoloji Merkezi İnternet Sayfası, (2004). On-line Bulletin, http://www.isc.ac.uk/Bull, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom.

Wiemer, S. (2001). A Software Package to Analyze Seismicity: ZMAP, *Seismological Research Letters*, **72:2**, 374-383.