2011 DEPREMİNİN IŞIĞINDA VAN VE ÇEVRESİ İÇİN DEPREM HESABI PARAMETRELERİNİN TAYİNİ

E. Kalkan[1] ve P. Gülkan[2]

[1] *Araştırma Mühendisi, Earthquake Science Center, United States Geological Survey, Menlo Park*
[2] *Profesör, İnşaat Müh. Bölümü, Çankaya Üniversitesi, Ankara*
Email: polatgulkan@cankaya.edu.tr

ÖZET:

Van Gölü baseni üzerindeki Van şehrinin depremselliği, etrafındaki Van Fay Zonu, Doğu Anadolu Fay zonu ve Bitlis Fay zonu tarafından kontrol edilir. Van 2011 yılında moment büyüklüğü (M_w) 7.2 olan yıkıcı şiddette depreme ve bu depremin artçı şoklarına maruz kalmıştır. M_w 7.2'lik depremi Bitlis Fay Zonunda vuku bulmuştur. Bu 40 km uzunluğundaki fay zonu şehrin yaklaşık 20 km kuzeyinden geçmektedir. Depremin ana ve artçı şokları bölgede 600 can kaybına yol acarken, birçok yapının yıkılmasına yol açmıştır. Bu çalışmada eldeki jeolojik, tektonik ve sismolojik verileri göz önüne alarak, Van ili ve çevresi için karelaj üzerine yuvarlatılmış depremsellik modeli teşkil edilmiş ve bu model dikkate alınarak bir dizi ihtimali deprem tehlike hesapları yapılmıştır. Deprem tehlikesinin tahmininde mevcut belirsizliklerin göz önünde bulundurulabilmesi için stokastik yöntemlerin kullanılması şarttır. Bu amaçla kullanılan mantık ağacı yöntemi çerçevesinde, Türkiye'ye mahsus ve başka ülkelerdeki kayıtlara dayalı değişik yer hareketi tahmini ilişkileri kullanılarak işin tabiatından kaynaklanan belirsizlikler minimuma indirilmiştir. Sunulan hesaplar ve bunlara karşılık gelen grafik halindeki veriler yapı tasarımına temel teşkil edecek deprem yüklerini bulunmasında kullanılabilecek nitelik ve normda hazırlanmıştır. Yaptığımız hesaplar, Van şehir merkezi için alınacak deprem yer hareketinin ortalama 475 yılda bir tekerrür eden şiddetinin (yani 50 yılda aşılma ihtimali %10 olan) azami yer ivmesi şeklindeki ifadesinin 0.44 g, 2475 yıllığın (yani 50 yılda aşılma ihtimali yüzde 2 olan) ise 0.76 g olduğunu göstermektedir. Buna ilaveten 0.2 ve 1 saniyelerdeki spektral ivmelerin de aynı tekerrür aralıkları için hesaplanan değerleri takdim edilmiştir.

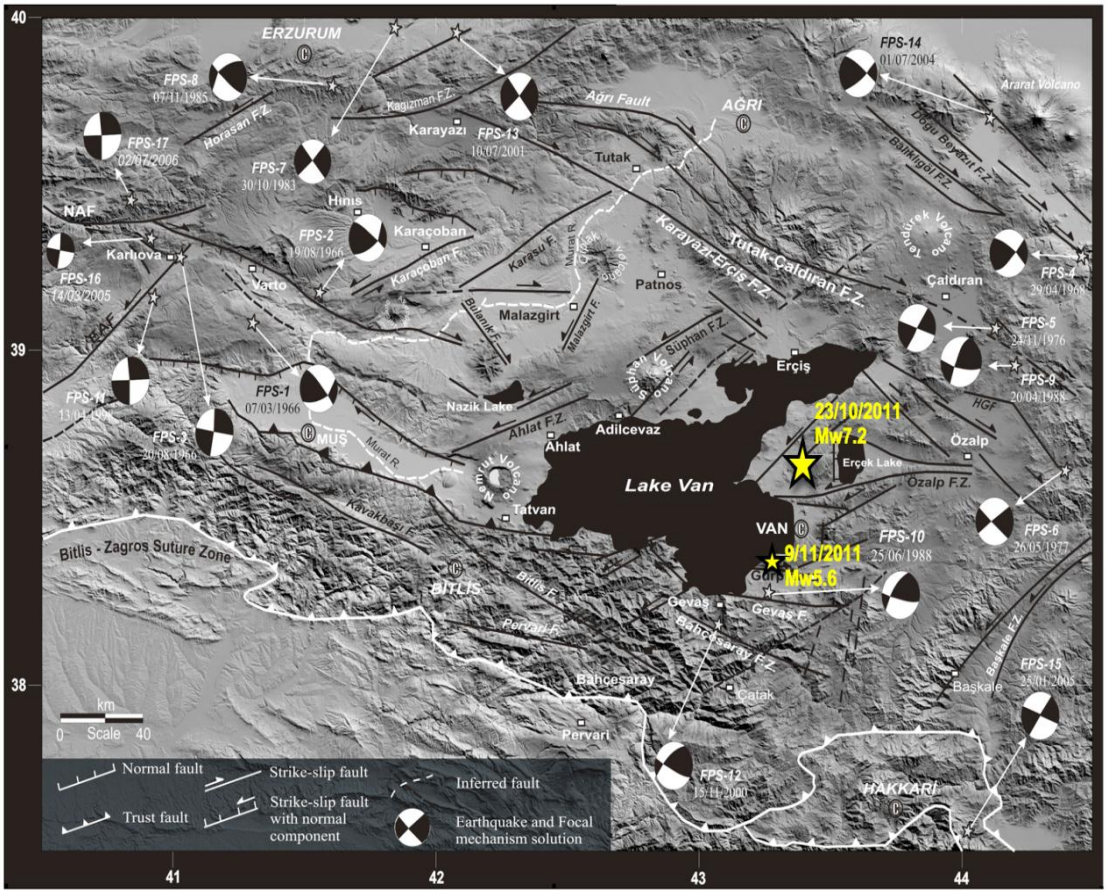
ANAHTAR KELİMELER: Deprem tehlikesi, sismik tasarım, Van depremi, bina kapasitesi.

1. GİRİŞ

Van ili ve çevresinin depremselliği Türkiye'nin doğu kesiminin deprem faaliyetini elinde tutan Güney Anadolu Fay ve Bitlis Fay zonları ile Van Fay zonunun etkisindedir. Mevcut deprem bölgeleri haritasına göre ikinci derece deprem bölgesi dahilindedir (Gülkan v.d., 1993). Van ili 23 Ekim 2011'de hasar ve can kaybına sebep olan M_w 7.2 büyüklüğünde depreme ve bu depremle tetiklenen bir dizi kuvvetli artçı soka maruz kalmıştır. Bu deprem serisi bölgede can kaybına ve ülkemize mahsus tarzda inşa edilmiş yapının yıkılmasına sebep olmuştur. Bu çalışma, Deprem Bölgeleri Haritasının verdiği malumatın ötesinde, bölgede yapılacak yapıların depreme dayanıklı mühendislik hesapları için gerekli parametrelerin belirlenmesini amaçlamaktadır. Bu amaçla noktasal deprem tehlikesi tayinine ve bu değere denk gelecek spektral ivme değerlerine ihtiyaç vardır. Bu yüzden, Van ilini 200 km yarıçapla çevreleyen bölgede vuku bulmuş depremlerin toplanması ve incelenmesi, eldeki jeolojik ve tektonik bilgiler ışığı altında deprem üretebilecek kaynak bölgelerinin belirlenmesi çalışmamızın ağırlık merkezini teşkil etmektedir. Toplanan bilgiler daha sonraki aşamada stokastik (ihtimaller hesabına dayalı) formülasyon formatı içerisinde bölgede meydana gelecek deprem tehlikesinin belirlenmesi için kullanılacaktır.

2. JEOLOJİK VE TEKTONİK VERİLER

Van bölgesi Arap plakasının kuzeye, Avrasya plakasına doğru yakınlaşması sonucu geniş bir alanı etkileyen kuzey-güney yönlü sıkışma ve daralma kuşağı içindedir (Akansel v.d. 2013). Bu sıkışma, genel olarak doğu-batı uzanımlı bindirme fayları ile kuzeybatı-güneydoğu sağ yönlü ve kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı sol yönlü doğrultu atımlı fayların teşkiline sebep olmaktadır (Sekil 1). 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen moment magnitüd büyüklüğü (M_w) 7.2 Van depremi bu sıkışma kuşağı içinde olup depremin merkez üssü şehir merkezinin hemen kuzeyinde ve Van Gölü'nün hemen doğusundadır. 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen Van Depremi'nin ardından yaklaşık üç hafta sonra 9 Kasım 2011 tarihinde, Van ili merkezinin güneyinde yer alan Edremit ilçesinde büyüklüğü (M_w) 5.6 olan ikinci bir deprem meydana gelmiştir. Van-Edremit depremi 23 Ekim 2011 depreminden farklı bir fay mekanizmasına sahiptir.



Şekil 1. Van ili çevresindeki aktif faylar (Selçuk v.d., 2010)

Bu bölge daha önce de birçok yıkıcı depreme maruz kalmıştır. Ambraseys ve Jackson, (1998) 1646 yılında büyüklüğü yaklaşık (M_s) 7.0 ve üzeri bir depremin Van çevresini etkilediğini rapor etmiştir. Ayrıca 1976 (M_s) 7.3 Çaldıran depremi de Van ve çevresinde hasara sebep olmuştur. Selcuk v.d. (2010) ve Emre v.d. (2012) tarafından belirtildiği üzere, bölgenin deprem hareketini kontrol altında tutan en önemli fay yapısı "Van Fay zonu" diğer ismiyle Özalp Fay zonudur. Bu fay hattının mekanizması MTA'ya göre "bindirme" olarak tarif edilmiştir. Bu 30-40 km uzunluğundaki fay Van il merkezine yaklaşık 20 km uzağında doğu-batı istikametinde uzanmaktadır. Ayrıca bölgede Şekil 1'de belirtilen çok sayıda fay zonunu ve tekil faylar da mevcuttur.

3. İHTİMALLER HESABINA DAYALI DEPREM TEHLİKESİ

Bu çalışmada takip edilen klasik ihtimaller hesabına dayalı deprem tehlike yöntemi prensipte Cornell (1968)'in ihtimaliyet modelini ve daha sonra bu modelde yapılan gelişmeleri (McGuire, 1974; 1978; Frankel, 1995) temel almaktadır. İhtimaller hesabına dayalı deprem tehlikesi analizlerinin amacı, belirlenen değişik yer hareketi seviyelerinin bir veya birkaç yerde, belirli bir zaman içinde aşılma ihtimalinin tahminidir. Bu hesap yöntemi çeşitli adımlardan meydana gelir. Bunlardan ilki deprem tehlikesinin tespit edileceği bölge için geçmiş deprem kayıtlarının derlenmesi yoluyla güvenilir bir deprem katalogunun elde edilmesidir. Derlenen deprem katalogunda bulunan kayıtların her biri, incelenen bölgedeki deprem kaynak bölgeleri ile ilişkilendirilerek, kaynak bölgelerinin deprem yaratma kapasiteleri ve deprem parametreleri hesaplanabilir. Diğer önemli bir hesap girdisi yer hareketi tahmin ilişkisidir. Hesap girdilerinde bulunan belirsizliklerin incelenmesi (epistemik = yetersiz bilgiden kaynaklanan ve aleatorik = işin tabiatındaki rassallıktan kaynaklanan), ve farklı analiz kombinasyonları tasarlanarak bu belirsizliklerin analiz sonuçlarına olan etkilerinin bulunması da ikinci aşamayı teşkil eder. Bu işlem, ihtimaliyete dayalı deprem tehlike analizlerinin, analiz girdilerinin belirsizlik içermediğini varsayan "deterministik" (tayin edilmiş) yöntemlere göre sağladığı avantajlardan biridir. Bu bildiri sunduğumuz sonuçların nereden elde edildiğini tarif etmek ve icabında kontrol edilmesine imkân vermek amacıyla teorik detaylara girecek tarzda kaleme alınmıştır.

Klasik deprem tehlikesi belirlenme usulüne hakikatin mutlak ifadesi yerine mühendise binalara kazandırması lazım gelen kapasiteyi belirleyen bir katsayının elde edilmesi olarak bakmak gerekir. Gerçekten de son yıllardaki kimi "başarısızlıklar" ihtimaliyete dayalı deprem yer hareketinin ciddi şekilde sorgulanmasına yol açmıştır (Stein, 2012; Gülkan, 2013; Marzocchi, 2013). Yazımız konunun felsefi boyutlarına dokunmamaktadır.

4. SİSMİK KAYNAK MODELLEMESİ

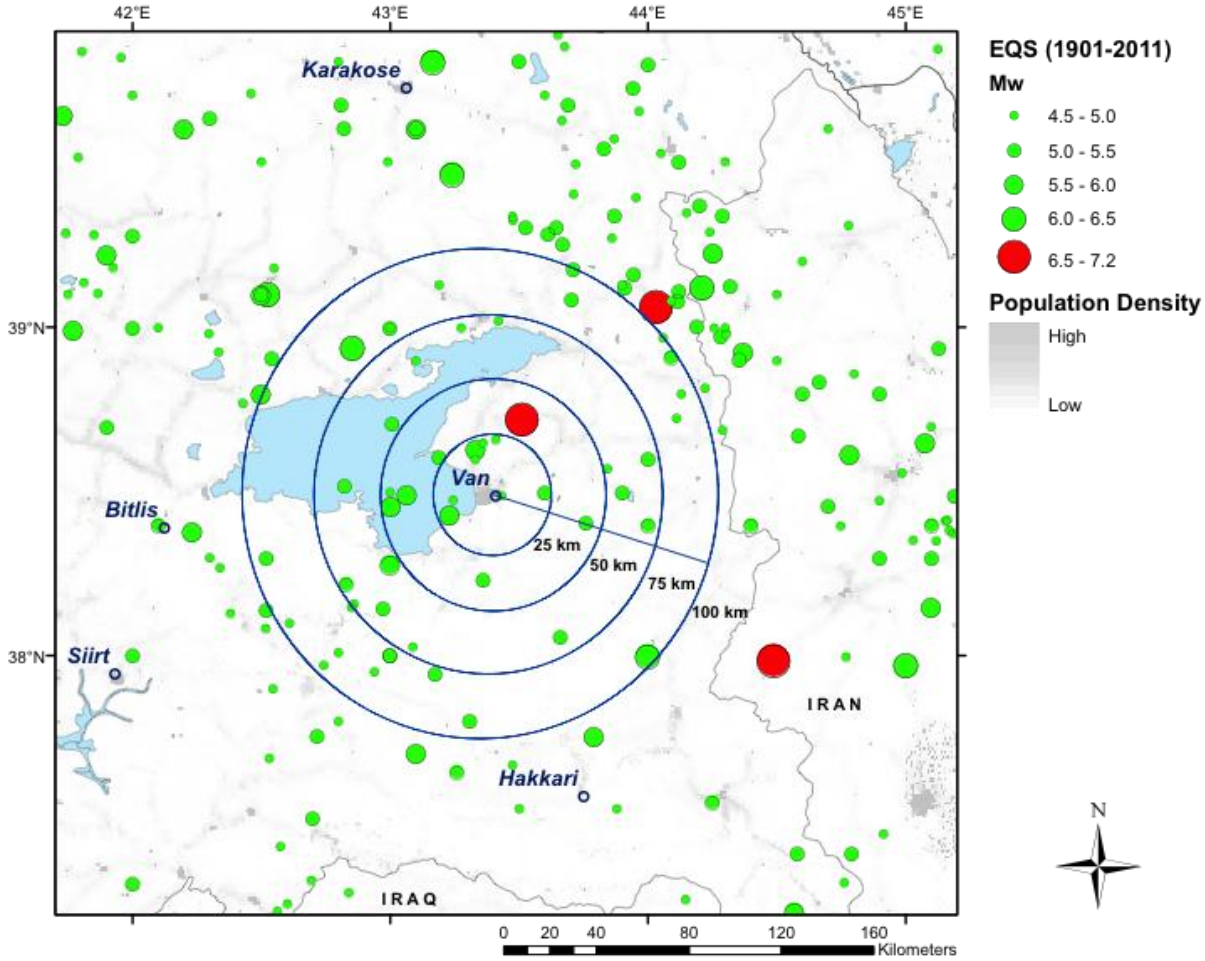
4.1. Bölgesel Deprem Katalogu

Van yöresinin deprem tehlikesinin tahmini için, farklı kaynaklardan toplanan deprem verilerinin karşılaştırılması ile mümkün olabilecek en kapsamlı deprem katalogu elde edilmiştir. Başvurulan kaynaklar Afet İşleri Genel Müdürlüğü – Deprem Araştırma Dairesi, Boğaziçi Üniversitesi – Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü ve Birleşik Devletler Jeolojik Araştırmalar Kurumu'dur (USGS) [Not: İlgili kurumların internet adresleri "Kaynaklar" kısmında verilmiştir]. Elde edilen birleşik katalog son yüzyıl içinde (1901 – 2011 arası) meydana gelen M≥4.5 ölçümsel depremleri içermektedir.

Deprem tehlikesinin sadece incelenen yerde vuku bulabilecek depremlere bağlı olmayacağı, aynı zamanda yakın çevrede meydana gelebilecek depremlerden de etkileneceği açıktır. Bu sebeple coğrafi koordinat olarak yaklaşık Van şehir merkezinin 200 km yakınlığında meydana gelen bütün depremlerin göz önünde bulundurulması kararlaştırılmıştır. 41.00° – 46.00° doğu boylamları ve 37.00° – 40.00° kuzey enlemleri tarafından sınırlanan dikdörtgen alandaki sismik faaliyetin yörenin deprem tehlikesini belirlediği varsayılmıştır. Bu alan içerisinde meydana gelmiş olan depremlerin harita üzerindeki merkez üssü mahalleri Şekil 2'de verilmiştir.

Bu çalışmada deprem şiddet ölçü birimi olarak moment magnitüdü (M_w) kullanılmıştır. Deprem tehlikesi yaratabilecek en küçük depremin büyüklüğü moment magnitüdüne göre 4.5 olarak belirlenmiştir. Farklı büyüklük ölçeklerine göre (cisim dalga magnitüdü – M_b, süre magnitüdü – M_d, yerel magnitüd – M_L ve yüzey dalga magnitüdü – M_s) raporlanan deprem kayıtlarının M_w ölçeğine çevrilmesi gerekmektedir. Değişik kurumların kullanmakta oldukları ölçüm cihazlarının farklılık göstermesi ve hesap yöntemlerindeki aykırılıklar sebebiyle, her bir büyüklük ölçeğinin tanımının net olmasına rağmen, birbirlerine dönüştürülmesi analitik metotlarla mümkün olamamaktadır. Bu yüzden deneye dayalı (ampirik) bağıntıların geliştirilmesi ve kullanılması şarttır. Bu çalışmada Yücemen ve Deniz (2006) tarafından ortogonal regresyon metodu ile son

yüzyıl içerisinde Türkiye çapında meydana gelmiş bütün depremlerin tahlili neticesinde elde edilen çevirim ilişkileri kullanılmıştır.



Şekil 2. 1901-2011 yılları arasında Van ili ve çevresinde vuku bulan $M_w \geq 4.5$ depremlerin merkez üsleri; gri renk nüfus yoğunluğunu göstermektedir

Depremlerin oluş sürecinin tahmininde, depremlerin birbirlerinden bağımsız ya da kendilerinden önceki depremlere bağımlı olarak meydana geldiklerini varsayan çeşitli stokastik modeller vardır. Bağımsız deprem vuku bulma modeli olarak yaygın bir şekilde kullanılan Poisson modeli depremlerin gerek yer, gerekse zaman açısından birbirlerinden bağımsız bir şekilde meydana geldikleri kabulüne dayanır. Halen Amerika Birleşik Devletlerinde yürürlükte olan deprem bölgeleri haritaları Poisson modelini temel almaktadır (Petersen v.d. 2008). Poisson modeline göre incelenen bir bölgede, t zaman aralığında m_0 alt magnitüdü sınırından büyük n sayıda (= birikimli) deprem olma ihtimali:

$$P_n(t) = e^{-\lambda t} x(\lambda t)^n / n! \tag{1}$$

şeklinde ifade edilebilir. Denklem (1)'de λ ilgili bölgede birim zamanda (genellikle bir yıl) meydana gelen ortalama deprem sayısını temsil eder. Bir bölgede meydana gelen depremlerin sayısı ile deprem magnitüdleri

arasında Gutenberg ve Richter (1949) tarafından önerilen yarı logaritmik uzayda doğrusal magnitüd-sıklık ilişkisi kullanılarak magnitüd için ihtimal yoğunluk fonksiyonu şu şekilde ifade edilmiştir:

$$f_M(m) = kx\beta xe^{-\beta(m-m_0)} \tag{2}$$

Burada, β büyük depremlerin küçük depremlere göre hangi sıklıkta meydana geldiğini gösteren sismotektonik parametre olarak tanımlanmaktadır. Büyüklük-sıklık ilişkisi genellikle hem bir şiddet (m_1) üst sınırı, hem de bir şiddet (m_0) alt sınırı ile sınırlandırılır. 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 (2)'de verilen k, birikimli dağılım fonksiyonunun m_1 üst magnitüd sınırında 1.0'e eşit olmasını sağlayan bir katsayıdır. Böylece deprem sayısı bir çeşit normalleştirilmiş olmaktadır.

Öncü ve artçı depremlerin (ikincil depremler) sismik tehlike analizinin dışında tutulması Poisson modelinin gerektirdiği bağımsızlık şartını sağlama açısından gerekmektedir. Literatürde öncü ve artçı şokların tayini için birçok yöntem bulunmaktadır (Gardner ve Knopoff, 1974; Kagan, 2002; Prozorov ve Dziewonski, 1982; Savage ve Rupp, 2000). Öncü ve artçı depremler zaman ve mekân 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 türü 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.

4.2. Kaynak Model: Karelaj Üzerine Dağıtılmış Sismisite

Van yöresi için deprem tehlikesi hesaplamaları karelaj üzerine yuvarlatılmış depremsellik modeline göre ele alınmaktadır. Model, ileride meydana gelecek depremlerin koordinatlarındaki temel belirsizliği dikkate almakta ve uzaydaki durağan depremselliği gerçekleştirerek deprem kaynaklarının sınırlarının belirlenmesindeki keyfiliği yok etmektedir. Depremsellik modeli Poisson tekerrür tayini için kümelenmemiş bir deprem kataloguna ihtiyaç göstermektedir. Modele göre belirli faylara izafe edilmemiş deprem olayları ilerisi için potansiyel deprem kaynağı olarak alınmakta ve karelaj üzerine dağıtılmış hücrelere dağıtılmaktadır. Boyutları 0.05x0.05 derece olan her bir hücrenin içindeki depremlerin M_{ref} değerinden daha büyük olan n_i adedi sayılmaktadır. Sayılan bu adet o hücre için büyüklüğü M_{ref}'ten fazla olanların en muhtemel ihtimalini temsil etmektedir (Weichert, 1980; Bender, 1983). Dağılım bilinince n_i sayıları birikimli sayılardan (M_{ref} ten fazla olan n_i adet) artımlı sayılara tahvil edilmektedir (sayıları M_{ref} ile M_{ref} + ΔM arasında olan). Kullanılan formül Hermann (1977) da verilmektedir. Daha sonraki adımda n_i karelajındaki değerler c mesafesi dâhilinde Gauss fonksiyonu yardımıyla uzayda yuvarlatılmaktadır. Böylece her ufak kare için yuvarlatılmış $\tilde{n}_i$ değeri (Frankel 1995)'de belirtildiği üzere:

$$\tilde{n}_i = \frac{\sum_j n_j e^{-\Delta_{ij}^2/c^2}}{\sum_j e^{-\Delta_{ij}^2/c^2}} \tag{3}$$

olarak tespit edilmektedir. Bu denklemde $\tilde{n}_i$ toplam deprem sayısını aynı tutmak için normalize edilmektedir Δ_{ij} ise *i* ve *j* hücreleri arasındaki mesafedir. Uygulamamızda *i* hücresinden 3*c* mesafeye kadar olan *j* adet hücre dikkate alınmıştır. Bir yıllık süre zarfında tayin edilen yer hareketi değerini aşma ihtimali Denklem (1)'deki $\tilde{n}_i$ sayısı kullanılarak tayin edilmektedir. Van ili ve çevresi için $\tilde{n}_i$ değerleri her bir karelaj noktasına olan mesafelere göre toplanmakta böylece N_k sayısı her bir karelaj noktası yerinden belirli bir mesafe artımında bulunan hücrelerin $\tilde{n}_i$ sayılarının toplamını göstermektedir. Bir yıllık süre zarfında u_o eşiğini aşma ihtimali $\lambda(u > u_0)$mesafe ve magnitüdleri toplayarak tayin edilir (Frankel, 1995):

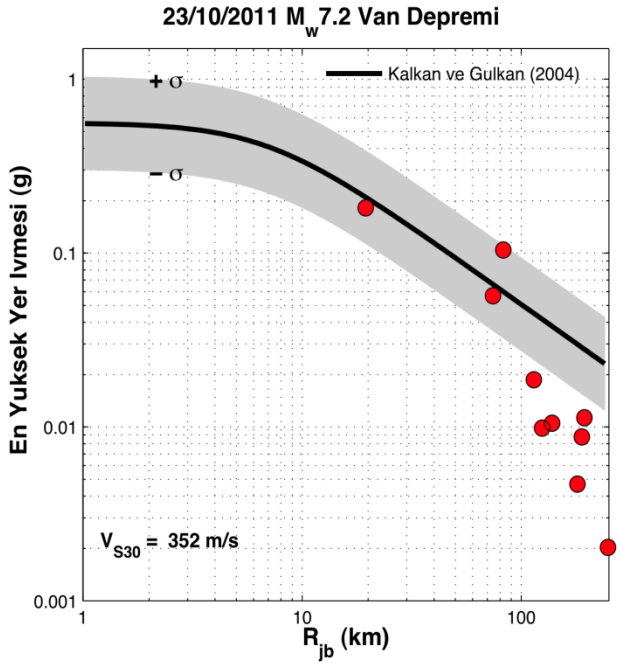
$$\lambda(u > u_0) = \sum\sum 10^{[\log(N_K/T) - b(M_l - M_{ref})]} P(u > u_0 \,|\, D_k, M_l) \tag{4}$$

Burada *k* mesafe kutucuğunun *l* ise magnitüd kutucuğu sayısı olmaktadır. *T*, N_k'nin tayini için kullanılan katalogun süresini göstermektedir. Böylece ilk toplam yardımıyla *k*'nci mesafe kutusundaki depremlerin yıllık sayılarının toplamını elde etme imkânı doğmaktadır. $P(u>u_0|D_k,M_l)$ ifadesi her bir karelaj noktasındaki u yer hareketinin D_k mesafesindeki M_l magnitüdlü deprem tarafından u_o değerini aşacak eşiğe getirme ihtimalidir. Bu ihtimal yöre için geçerli olduğu kabul edilen yer hareketi tahmin etme denklemi ve bunun herhangi bir uzaklık ve magnitüd değeri için gösterdiği standart sapma (değişkenlik) ile bağlantılıdır. Bir yıllık süre zarfında eşiğin geçilme ihtimali $P(u>u_0|D_k,M_l)$ değerinin 0.0021'den az olması durumunda aşağı yukarı buna eşittir. $P(u>u_0|D_k,M_l)$ farklı u_o değerleri için hesaplanır ve belirli bir yıllık ihtimale karşı gelen değer ara tahmin yardımıyla tayin edilir. Yaptığımız hesaplarda 1901 sonrası dönemdeki Mw 4.5'ten büyük depremler dikkate alınmıştır.

4.3. Azalım İlişkileri

Azalım ilişkisi olarak Kalkan ve Gülkan (2004) tarafından önerilen ve Türkiye'deki mahalli verilere dayanan azalım ilişkisi kullanılmıştır. İlave olarak önceki deprem tehlike analizlerinde yaygın olarak yer verilen ithal azalım ilişkilerinden Boore ve Atkinson (2008), Chio ve Youngs (2008) ve Campbell ve Bozorgnia (2008) tarafından önerilen ampirik formüller de alternatif olarak göz önünde bulundurulmuştur. Kullanılan 4 azalım ilişkisinden, Kalkan ve Gulkan (2004) için 0.5 ağırlık verilmiş, kalan 0.5 ağırlık diğerlerine eşit olarak bölüştürülmüştür. Sekil 3'de ise M_w 7.2 Van depremini en yüksek yer ivme değerleri Kalkan ve Gülkan (2004) azalım iliksisinin tahminleri ile karşılaştırılmıştır. Görüldüğü üzere, 100 km içerisinde alınan kayıtlar ile tahmin edilen değerler çok yakındır.

Bu çalışmalarda aynı azalım ilişkisi içerisinde farklı zemin şartları için katsayıların değiştirilerek kullanılması önerilmektedir. Van mahalli için, azalım ilişkileri yer hareketinin sert zeminde (kaya, V_{S30} = 760 m/s) hissedilmesi beklenen ortalama değerleri veren durumlarda kullanılacaktır.



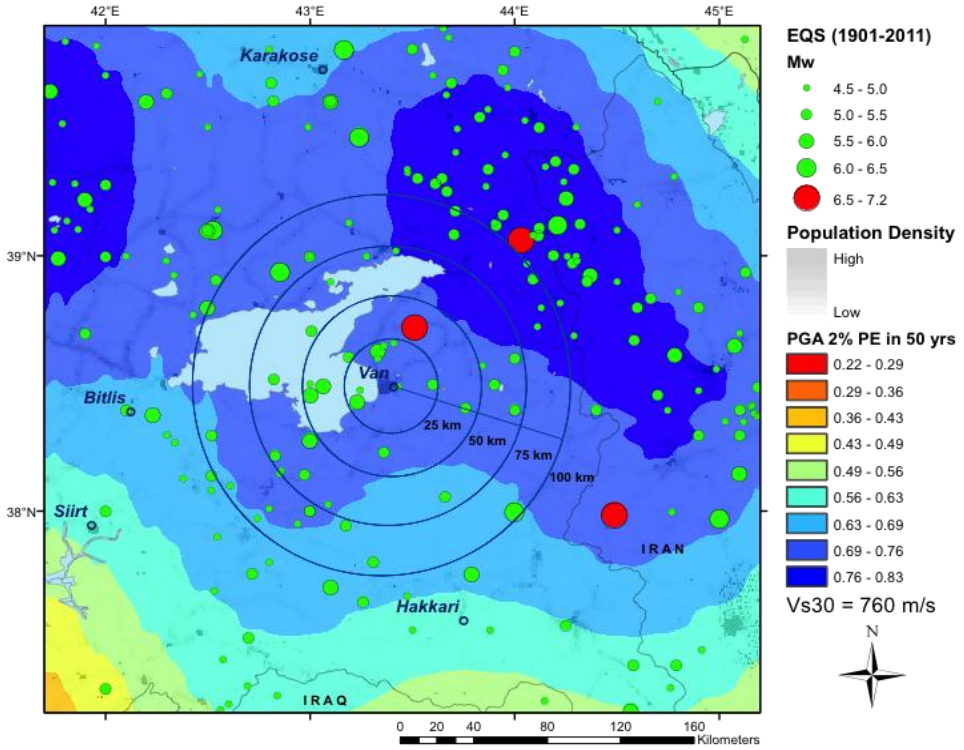
Şekil 3. 23.10.2011 M_w 7.2 Van depremi en yüksek yer ivme kayıtları ile Kalkan-Gülkan (2004) azalım ilişkisinin en iyi tahmin değerlerinin karsılaştırılması [R_{jb} = Joyner-Boore mesafe tanımı]

5. "EN İYİ TAHMİN" SİSMİK TEHLİKE DEĞERLERİ

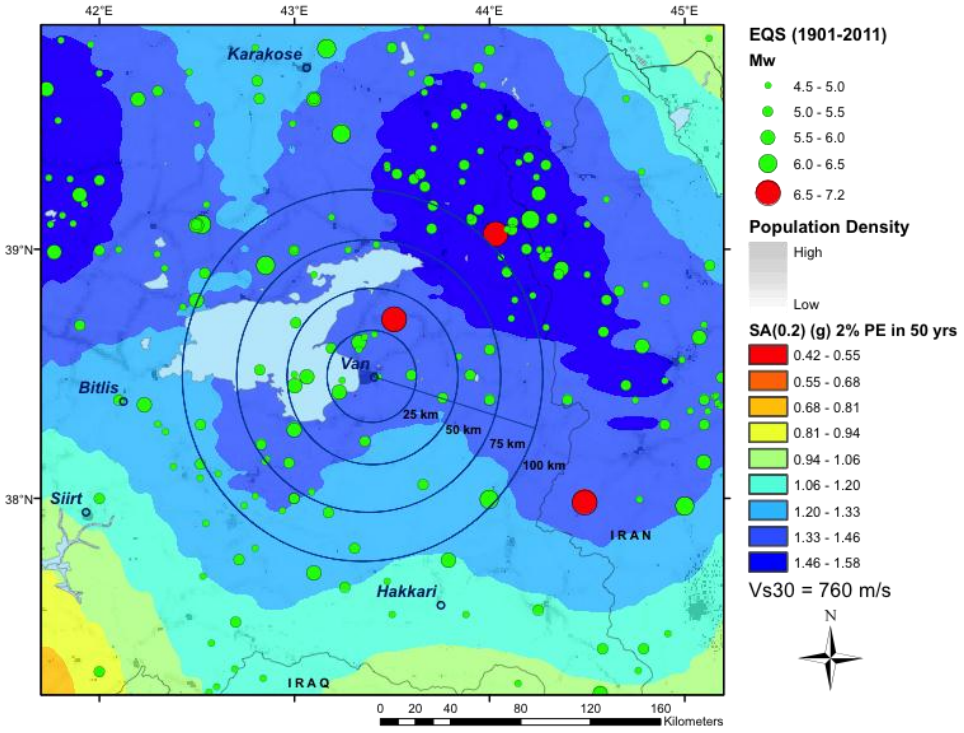
Van ve çevresi için çeşitli tekerrür sürelerine göre "en iyi tahmin" deprem tehlikesi yukarıda bahsedilen azalım ilişkileri ve onlara atfedilen ağırlıklarla birleştirilmesi ile elde edilmiştir. Bulunan değerler deprem tehlikesi haritası (MCE = Maximum Credible (veya "Capable") Earthquake) olarak Şekil 4, 5 ve 6'da sunulmaktadır. Burada verilen haritalar 2475 yıl deprem tekerrür suresine tekabül etmektedir, yani 50 yıl içerisinde yüzde 2 oranında asılma ihtimaline sahiptir. Bu ihtimal dâhilindeki deprem "MCE" olarak nitelendirilmektedir. Genel uygulamada tasarıma tekabül eden ivme değerleri MCE değerlerin 2/3'u olarak alınır. Ayrıca Van şehir merkezi için farklı tekerrür aralıkları için hesaplanan tasarım ivme değerleri Tablo 1'de takdim edilmiştir. Sekil 7'de ise deprem tehlike eğrileri verilmiştir. Van merkezi için halen geçerli deprem bölgeleri haritasının hesabında verilen azami ivme değeri 0.39 g'dir. Yakınlığı tesadüf olarak görmek daha doğru olur.

Tablo 1. Van merkez için farklı tekerrür aralıkları için tasarım ivme değerleri

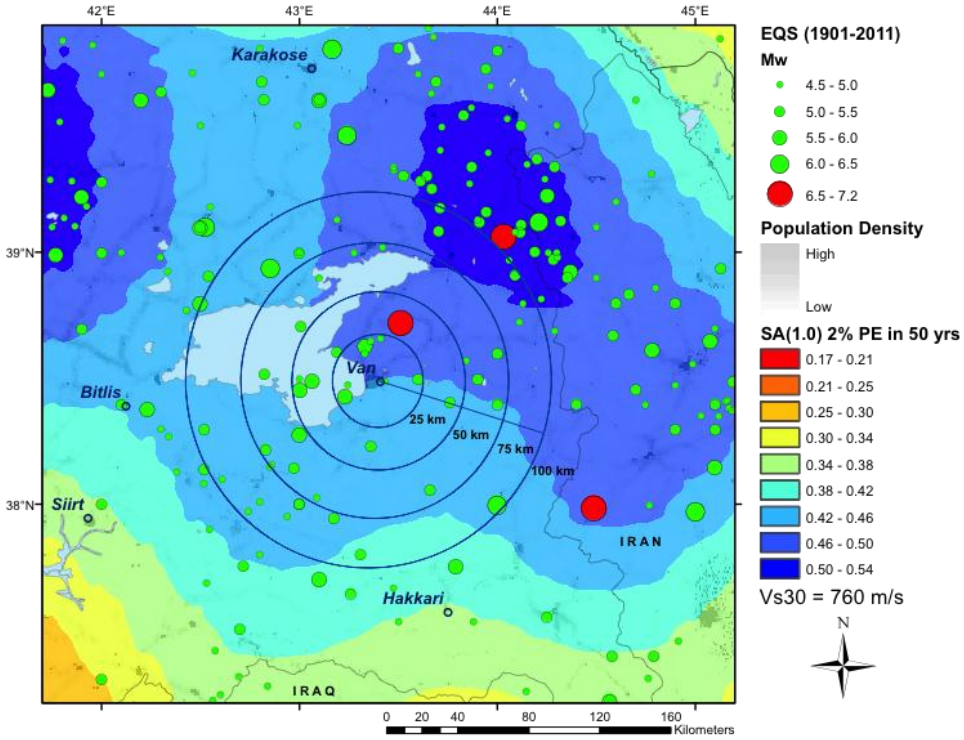
	10%, 50 YIL 475 YILLIK DEPREM	2%, 50 YIL 2475 YILLIK DEPREM
PGA	0.44g	0.76g
SA (0.2s)	0.77g	1.46g
SA (1.0s)	0.24g	0.50g



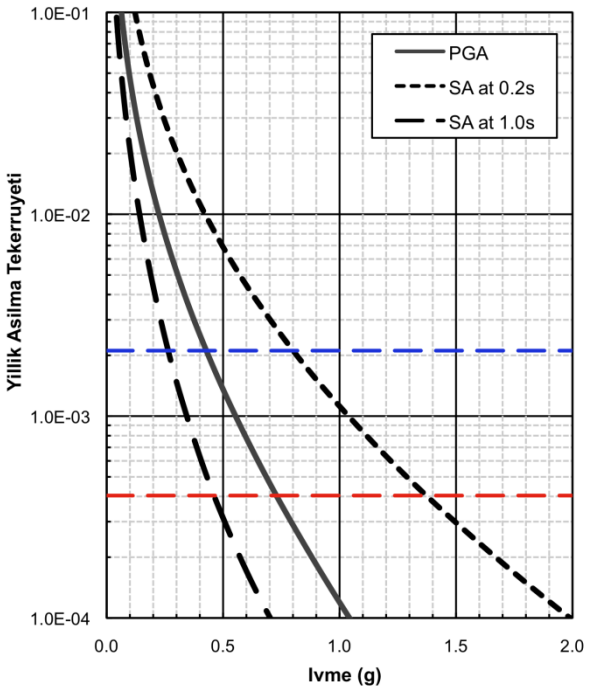
Şekil 4. 2475 yıllık deprem için en iyi tahmin en yuksek yer ivme ("PGA") haritası



Şekil 5. 2475 yıllık deprem için en iyi tahmin 0.2 s spektral ivme ("SA") haritası



Şekil 6. 2475 yıllık deprem için en iyi tahmin 1.0 s spektral ivme ("SA") haritası



Şekil 7. Azami yer ivmesi ("PGA"), 0.2 ve 1.0 saniyelerdeki spektral ivme ("SA") değerleri için en iyi tahmin deprem tehlike eğrileri.

Tablo 1'de verilen 475 ve yıllık tekerrür süresi, 50 yıl içinde yüzde 10 aşılma ihtimaline denk gelmektedir. Yani 475 yıllık tekerrür suresine tekabül eden bir depremin önümüzdeki 50 yıl içinde olma ihtimali yüzde 10'dur. Farklı bir açıdan, 475 ve 2475 yıllık tekerrür süreli depremlerin önümüzdeki yıl içinde olma ihtimali 1/475 = 0.002 ve 1/2475 = 0.0004 şeklindedir. Buna göre, 475 yıllık tekerrür süresi için en büyük yer ivmesi **0.44 g** olarak hesaplanmıştır. Ayni şekilde 2475 yıllık deprem için ise en büyük yer ivmesi (PGA) **0.76 g** değerine tekabül etmektedir. Bu sonuçlara ışık tutan en önemli etken bölgenin deprem üretme sıklığıdır, yani sismik faaliyet oranlarıdır.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada da stokastik (ihtimaller hesabına dayalı) yöntemler kullanılarak Van ili ve cevresi için deprem tehlikesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bölgenin jeolojik ve tektonik durumu incelenmiş ve inceleme alanı içerisinde vuku bulmuş olan depremlere ait istatistikî bilgiler derlenmiştir. Deprem tehlikesinin hesaplanması amacıyla Boore ve Atkinson (2008), Chiou ve Youngs (2008) ve Campbell ve Bozorgnia (2008) tarafından verilen yer hareketi tahmin ilişkileri, Türkiye'de kaydedilen depremlere dayalı olan Kalkan ve Gülkan (2004) denklemine karşılık olarak dikkate alınmıştır. Yer hareketi tahmin denklemlerinin farkları nihai denklemlere Kalkan ve Gülkan (2004) bağıntısına 0.5, diğer üç ilişkiye ise 0.5/3 = 0.167 rölatif ağırlık vermek suretiyle dikkate alınmıştır. Mahalli zemin durumunu hesaplarda dikkate almamak amacıyla zemin genel kaya (V_{S30} = 760 m/s) şartlarının geçerli olduğu kabul edilmiştir. Değişik varsayım ve deprem parametrelerindeki belirsizliklerin sismik tehlike sonuçlarına yansıtılması için mantık ağacı yöntemi kullanılmıştır. Netice itibari ile 50 yıl içinde yüzde 2 ihtimalle aşılma ihtimali olan deprem için, bölgede oluşabilecek en büyük yer ivmesi **0.76 g** olarak hesaplanmıştır. Bu ivme seviyesi 2475 yıl tekerrür süreli depreme denk gelmektedir.

KAYNAKLAR

Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı-Deprem Araştırma Dairesi İnternet Sayfası, (2007). TURKNET, http://sismo.deprem.gov.tr/VERITABANI/turknetkatalog.php

Akansel V., Ameri, G., Askan, A., Caner, A., Erdil, B., Kale O. and Okuyucu, D. (2013). The 23 October 2011 7.0 Van (Eastern Turkey) Earthquake: Characteristics of Recorded Strong Ground Motions and Post Earthquake Condition Assessment of Infrastructure and Cultural Heritage, Earthquake Spectra (in-press).

Bender, B. (1983). Maximum likelihood estimation of b values for magnitude grouped data, Bull. Seismol. Soc. Am., 73: 831–851.

Birleşik Devletler Jeolojik Araştırmalar Kurumu İnternet Sayfası, (2007). 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.

Boore, D.M. and Atkinson, G.M. (2008). "Ground motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s", Earthquake Spectra, 24(1): 99-138.

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): 139-172.

Chiou B.S.J, and Youngs. R.R. (2008). "An NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra", Earthquake Spectra, 24(1): 173-215.

Emre, O., Duman T.,Y., Özalp, S., Olgun, S. and Elmacı, H. (2012). "1:250,000 Scale Active Fault Map Series of Turkey, Van (NJ 38,5) Quadrangle, Serial Number: 52", General Directorate of Mineral Reserach and Exploration, Ankara-Turkey.

Frankel, A. (1995). "Mapping seismic hazard in the Central and Eastern United States", Seism. Res. Letts, 66(4): 8-21.

Gardner, J. K., Knopoff, L. (1974). "Is the Sequence of Earthquakes in Southern California, with Aftershocks Removed, Poissonian?". Bulletin of the Seismological Society of America, 64: 1363-1367.

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

Gülkan, P. (2013). "A Dispassionate View of Seismic Hazard Assessment," Seismological Research Letters, Volume 84, Number 3, p. 413-416

Gülkan, P. Yücemen, M.S., Başöz, N. Koçyiğit, A. ve Doyuran, V. (1993). "En Son Verilere Göre Hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası". Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi Rapor No. 93-01, Ocak.

Hermann, R.B. (1977). Recurrence Relations, Earthquake Notes, 88: 47-49.

Kagan, Y. Y., (2002). "Aftershock Zone Scaling", Bulletin of the Seismological Society of America, 92(2): 641-655.

Kalkan, E. and Gülkan, P. (2004). "Empirical attenuation equations for vertical ground motion in Turkey", Earthquake Spectra, 20(3): 853-882.

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

Marzocchi, M. (2013). "Seismic Hazard and Public Safety," EOS, Vol. 94, No. 27, 2 July.

McGuire, R.K. (1974). "Seismic structural response risk analysis incorporating peak response regressions on earthquake magnitude and distance", MIT, Deparment of Civil Engineering/Research Report R74-51.

McGuire, R.K. (1978). "Frisk: Computer program for seismic risk analysis using faults as earthquake sources", USGS, Open-File Report: 78-1007.

Petersen, Mark D., Frankel, Arthur D., Harmsen, Stephen C., Mueller, Charles S., Haller, Kathleen M., Wheeler, Russell L., Wesson, Robert L., Zeng, Yuehua, Boyd, Oliver S., Perkins, David M., Luco, Nicolas, Field, Edward H., Wills, Chris J., and Rukstales, Kenneth S. (2008). Documentation for the 2008 Update of the United States National Seismic Hazard Maps, U.S. Geological Survey Open-File Report 2008–1128, 61 p.

Prozorov, A. G., Dziewonski, A. M. (1982). "A Method of Studying Variations in the Clustering Property of Earthquakes: Application to the Analysis of Global Seismicity", Journal of Geophysical Research, 87(B4): 2829-2839.

Savage, M. K., Rupp, S. H. (2000). "Foreshock probabilities in New Zealand". New Zealand Journal of Geology & Geophysics, 43, 461-469.

Selcuk, L., Selcuk, A.S. and Beyaz, T. (2010). "Probabilistic seismic hazard assessment for Lake Van basin, Turkey", Nat. Hazards, 54: 949–965.

Stein, S., Geller, R.J. Liu, M. (2012). "Why earthquake hazard maps often fail and what to do about it", Tectonophysics 562–563: 1–25.

Uluslararası Sismoloji Merkezi İnternet Sayfası, (2007). On-line Bulletin, http://www.isc.ac.uk/ Bull, Internatl. Seis. Cent., Thatcham, United Kingdom.

Yücemen, M.S. and Deniz, A. (2006). "Assessment of Seismic Hazard for the Eskisehir Region using Stochastic Methods", Proceedings, Structural Mechanics Seminar 2006, Osman Gazi University, Eskisehir, pp: 69-85.

Weichert, D. H. (1980). Estimation of earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes, Bull. Seismol. Soc. Am., 70: 1337–1356.