OLASILIK VE İSTATİSTİK YÖNTEMLER İLE MERSİN İLİNİN SİSMİK TEHLİKESİNİN TAHMİNİ

R. F. KARTAL[1], T. KILIÇ[1], F. T. KADİRİOGLU[2],

[1] *Jeofizik Yük. Müh., Deprem Dairesi,Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Dumlupınar Bulvarı No:274 Çankaya-ANKARA*

[2] *Jeoloji Yük. Müh., Deprem Dairesi,Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Dumlupınar Bulvarı No:274 Çankaya-ANKARA*

Email: kartal@derem.gov.tr

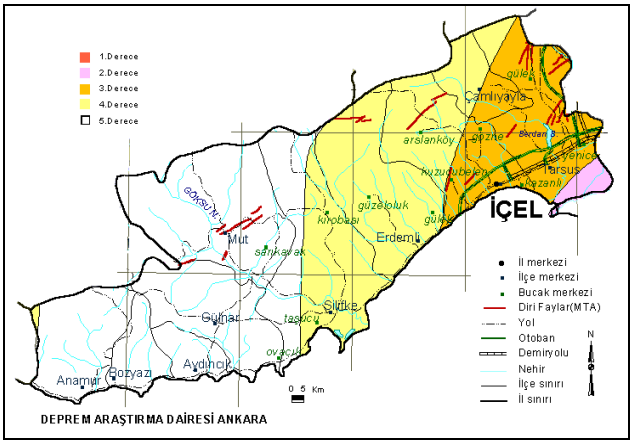
ÖZET:

Mersin ili 36.03°-37.42° kuzey enlemleri ile 32.57°-35.16° doğu boylamları arasında yer almaktadır. İlin kara sınırı 608 km olup, yüzölçümü 15953 km^2 'dir. Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) verilerine göre ilin 2010 yılı nüfusu 1647899 kişidir. Yüzölçümünün % 87'si dağlık olan ilin toplam nüfusunun yarısından fazlası (%51.18) il merkezinde toplanmıştır. Ataş Rafinerisi ve sahip olduğu geniş hinterland sayesinde Mersin Uluslararası Limanı, Türkiye'nin en önemli ve en işlek limanıdır. Ayrıca Türkiye'nin en büyük serbest bölgesi olan ve 300 şirkete ev sahipliği yapan Mersin serbest bölgesi burada kurulmuştur. 321 km sahil şeridine sahip olan Mersin ili kıyılarının 109 km'lik bölümünü doğal kumsallar oluşturmaktadır. Bu nedenle Mersin ili önemli turizm merkezleri arasında yer alır. Böylesi önem arz eden yörenin sismik tehlikesinin, eldeki verilerin elverdiği ölçüde güvenilir bir şekilde yapılmasının ihtiyacı doğmuştur. Çalışmada olasılık ve istatistik yöntemlerden yararlanılarak yörenin sismik tehlikesi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Yörenin 250 km yakınlığı, çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında son 110 yılda meydana gelen depremlere ait farklı ölçeklerdeki magnitüd değerleri ortak bir ölçeğe (Mw) dönüştürülerek deprem kataloğu yeniden derlenmiş, çalışma alanını etkileyebilecek sismik kaynaklar belirlenmiştir. Farklı azalım ilişkileri kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Hesaplanan en büyük ivme değeri Tarsus ilçesinin Kuzeydoğusunda 0.15 g olarak elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER : Mersin, Sismik Tehlike Analizi.

1. GİRİŞ

Mersin ili mevcut Deprem Bölgeleri Haritası'na [1] göre II., III., IV. ve V. derece deprem bölgelerini içermektedir (Şekil-1).
Teknolojik gelişmelere paralel olarak üretilen cihazlar sayesinde veri sayısı ve kalitesi de yükselmiştir. Buna ek olarak stokastik tahmin metodlarındaki gelişmeler, sismik tehlike tahmininde daha güvenilir sonuçlar elde etme olanağı sağlamıştır.



Şekil 1. Mersin ili deprem bölgeleri haritası.

Sismik tehlike tahmininde olasılık ve istatistik yöntemlerin kullanılması, mevcut belirsizliklerin göz önünde bulundurulması açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada da olasılık ve istatistik yöntemler kullanılarak Mersin ili için sismik tehlikenin belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ (OSTA)

Sismik tehlikenin belirlenmesine temel oluşturan istatistiksel yöntemler ilk olarak Cornell [2] tarafından geliştirilmiştir. OSTA'nın amacı, hasar ve can kaybına neden olabilecek farklı yer hareketi düzeylerinin, farklı yer veya yerlerde, belirli bir zaman dilimindeki aşılma olasılığının tahminidir. OSTA'nın genel aşamaları şöyle sıralanabilir: (1) proje alanında geçmişte meydana gelen deprem kayıtlarının derlenmesi ve güvenilir bir deprem kataloğunun oluşturulması, (2) ana şokların, öncü ve artçı şoklardan belirli bir zaman uzaklık penceresine göre [3] ayrılması, (3) sismik kaynakların belirlenmesi, (4) oluşturulan deprem kataloğundaki depremlerin merkez üstlerinin konumuna göre sismik kaynaklara dağıtılması. Belirlenen sismik kaynaklarla ilişkilendirilemeyen depremlerin katkısını da hesaba katmak üzere geri plan alan kaynakların tanımlanması, (5) uygun bir stokastik modelin seçilmesi, (6) bölge için bir azalım ilişkisi geliştirilmesi veya mevcut azalım ilişkilerinden uygun birinin seçilmesi, (7) bütün bu verileri kullanarak proje alanının sismik tehlikesini hesaplamak üzere hazırlanmış uygun bir bilgisayar yazılımının kullanılması [4].

2.1. Çalışmada Kullanılacak Deprem Kataloğunun Oluşturulması

Çalışmada Aletsel dönem (01.01.1900-31.12.2010) kayıtları kullanımıştır. Bu kayıtlardan aletsel büyüklüğü 4.0 ve daha büyük olan depremler seçilmiştir. 01.01.1900-31.12.1915 dönemi için Ambraseys ve Finkel [5] kataloğu, 01.01.1916-31.12.1964 dönemi için E. Alsan [6] kataloğu, 01.01.1965-31.12.2005 dönemi için Uluslararası Sismoloji Merkezi [7] katalogları ve 01.01.2006-31.12.2010 dönemi için Afet ve Acil Durum (AFAD) Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi [8] kataloğu kullanılmıştır.

Sismik tehlike, sadece çalışma alanında meydana gelebilecek depremlere bağlı değildir. Dolayısı ile çalışma alanının yakın çevresinde meydana gelebilecek depremleri de sismik tehlike hesabına katmak gerekir. Aynı zamanda, çalışma alanında hasar ve can kaybına neden olabilecek büyüklükte deprem üretebilecek potansiyele sahip sismik kaynakların da sismik tehlike hesabına dahil edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle Mersin il merkezinin 250 km yarıçapındaki bir alanda meydana gelen bütün depremlerin sismik tehlike analizi hesabına katılması kararlaştırılmıştır.

Çalışmada moment magnitüdünün (Mw) kullanılmasına karar verilmiştir. Simik tehlike yaratabilecek en küçük depremin büyüklüğü moment magnitüdüne göre 4.5 olarak belirlenmiştir. Farklı sismoloji merkezlerinin farklı ölçeklerde sundukları deprem magnitüdlerinin Mw ölçeğine çevrilmesi için ortogonal regresyon yöntemi ile son

yüzyılda ülke çapında meydana gelen depremlerin analizi sonucu elde edilen aşağıdaki çevirim bağıntıları [3] kullanılmıştır.

$$M_W = 2.25\,x\,M_{b-ave} - 6.14 \qquad M_W = 1.27\,x\,M_{d-ave} - 1.12$$
$$M_W = 1.57\,x\,M_{l-ave} - 2.66 \qquad M_W = 0.54\,x\,M_{s-ave} + 2.81 \tag{1}$$

2.2. Ana Şokların Öncü ve Artçı Şoklardan Ayrılması

Depremlerin meydana gelme sürecinin tahmininde, kendilerinden önceki depremlere bağımlı veya bağımsız olarak oluştuğunu varsayan çeşitli stokastik modeller vardır. Bu modellerden en yaygın kullanılanı Poisson modelidir. Bu çalışmada Poisson modeli kullanılmıştır. Bu modelin bağımsızlık koşulunun sağlanması için öncü ve artçı depremlerin analizin dışında tutulmuştur. Öncü ve artçı şokların ana şoklardan ayrılması ile ilgili literatürde birçok yöntem bulunmaktadır [9, 10, 11, 12]. Deniz'in [3] çalışmasında olduğu gibi bu çalışmada da, belirli bir deprem büyüklüğü seviyesindeki bir ana şoka, belirli bir zaman ve uzaklık penceresi içerisinde kalan bütün depremler, dikkate alınan ana şokun artçı depremleri olarak değerlendirilmiştir. Bir depremin öncü deprem olarak belirlenebilmesi için, kendi büyüklük seviyesi için belirlenen zaman ve uzaklık penceresi içerisinde, kendisinden daha büyük magnitüdlü başka bir depremin bulunması gerekmektedir. Bu büyük magnitüdlü deprem ana şok olarak varsayılmıştır. Öte yandan, istisna olarak belirli bir zaman ve uzaklık penceresi içerisindeki magnitüdü 6.0 ve daha büyük olan bütün depremler ana şok olarak değerlendirilimiştir.

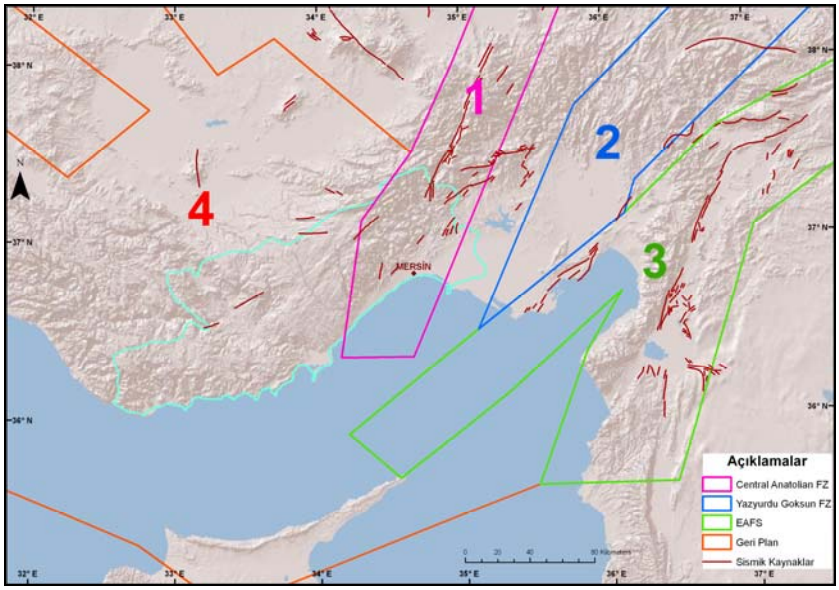
Çalışmamızda kullanılan zaman ve uzaklık pencereleri Tablo 1'de verilmiştir. Ara değerler zaman için doğrusal, uzaklık için log-doğrusal interpolasyonu ile elde edilmiştir [13]. Buna göre 110 yıllık (1900-2010) zaman dilimindeki 95 deprem kullanılmıştır. 80 deprem ana şok olarak değerlendirilirken, 1 deprem öncü şok, 14 deprem artçı şok olarak belirlenmiştir.

Tablo 1. Öncü ve artçı depremlerin ayırt edilmesinde kullanılan zaman-uzaklık pencereleri.

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

2.3. Kaynak Zonları ve Sismik Kaynakların Belirlenmesi

Deniz [3] tarafından Türkiye geneli için önerilen sismik kaynak bölgeleri (Şekil 2), bu çalışmadaki Kaynak Zonu Depremlerinin (KZD) seçiminde dikkate alınmış ve ana şoklardan 52 deprem KZD olarak değerlendirilmiştir. Herhangi bir sismik kaynak bölgesi içerisinde yer almayan ve ana şok olarak belirlenmiş olan depremler ise Geri Plan Alan Kaynak Depremleri (GPAKD) olarak sismik tehlike hesabına dahil edilmiştir.



Şekil 2. Sismik kaynak bölgeleri ve belirlenen sismik kaynaklar.

2.4. Depremlerin Sismik Kaynak Bölgelerine Dağıtılması

Derlenen deprem kataloğundaki kayıtların Şekil 2'de sunulan kaynak bölgelerine dağıtılması ile Tablo 2'de verilen sismisite parametreleri elde edilmiştir. Her bir sismik kaynak bölgesi için, Gutenberg-Richter [14] büyülük-sıklık ilişkisinin hesaplanmasında doğrusal regresyon yöntemi kullanılmıştır. Tablo 2'de β değerlerinin mutlak değerleri verilmiştir. λ (göz.) değerleri ise, gözlenen deprem sayılarının gözlem süresine bölünmesi ile elde edilmiştir.

Sismik tehlike analizlerinde her bir sismik kaynak bölgesinde meydana gelebilecek en büyük deprem magnitüdünün belirlenmesi de önemli bir aşamadır. Bu amaçla sismik kaynak bölgesi içerisinde yer alan 197 çizgi kaynak, 1 alan kaynak tanımlanmıştır. Tanımlama yapılırken Şaroğlu ve diğ. [15] tarafından hazırlanan diri fay hartası dikkate alınmıştır. Buna göre en büyük deprem magnitüdleri Central Anatolian Fay Zonu için 6.9; Yazyurdu-Göksun Fay Zonu için 7.2; EAFS için 6.9; Geri Plan Alan Kaynak için 7.2 kullanılmıştır.

Tablo 2. Sismik kaynak bölgeleri için depremsellik parametreleri.

No	**Sismik Kaynak Zonları**	**Bütün Depremler**		**Sadece Ana Şoklar**	
		Standart en küçük kareler regresyonu		Standart en küçük kareler regresyonu	
		β	λ (göz.)	β	λ(göz.)
1	Central Anatolian FZ	1.1211	0.0727	1.1211	0.0727
2	Yazyurdu Göksun FZ	1.8386	0.2273	1.6546	0.1727
3	EAFS	2.0182	0.2818	1.8296	0.2273
4	Geri Plan Alan Kaynak	1.5782	0.2818	1.4907	0.2545

2.5. İvme Azalım İlişkisi

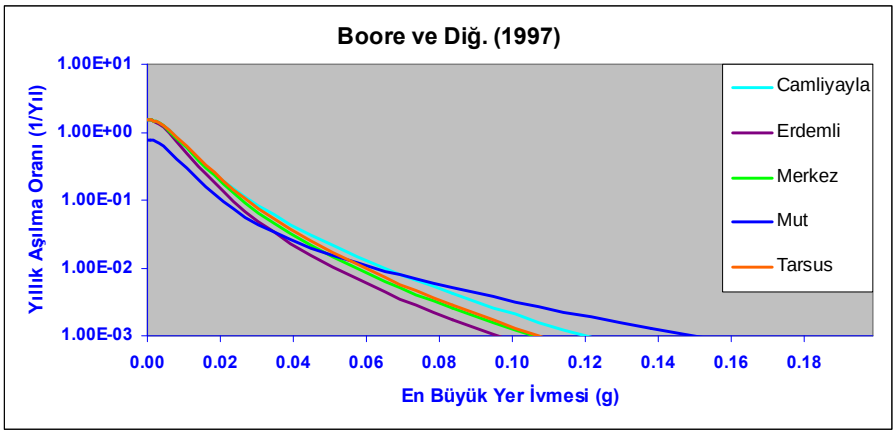
Çalışmada Boore ve diğ. (1997) [16], Kalkan ve Gülkan (2004) [17] ve Akkar ve Çağnan (2010) [18] bağıntıları kullanılmıştır. Bu tür çalışmalarda araştırmacılar, aynı azalım ilişkisi içerisindeki farklı zemin koşulları için katsayıların değiştirilerek kullanılmasını önermektedirler. Ancak çalışma bölgesinin yerel zemin koşullarının incelenmesi ayrı bir çalışma konusu oluşturmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada sert zemin (kaya) için önerilen katsayılar kullanılmış ve her üç azalım ilişkisinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

3. MERSİN İLİ İÇİN TAHMİN EDİLEN SİSMİK TEHLİKE DEĞERLERİ

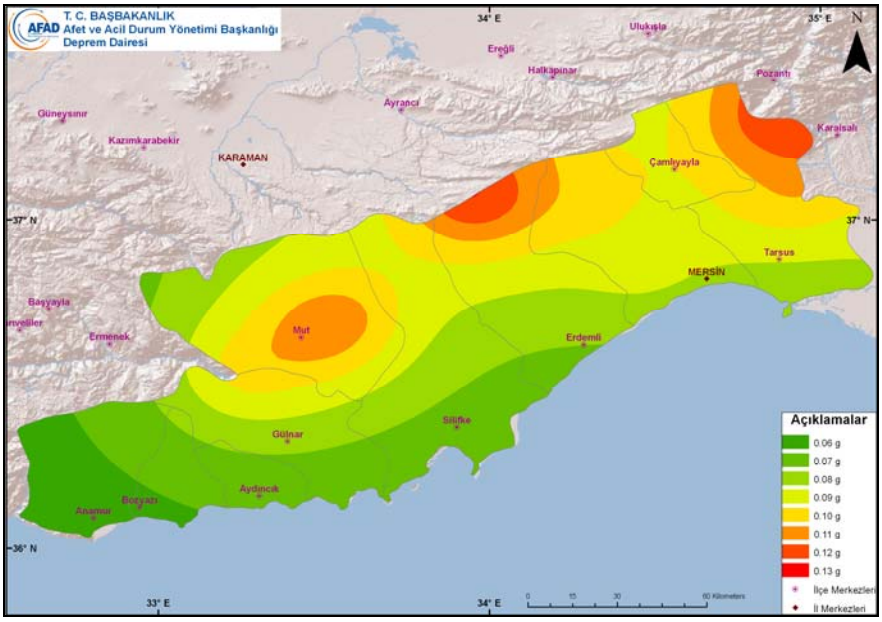
Çalışma alanının sismik tehlike analizinin yapılmasında CRISIS2007 [19] yazılımı kullanılmıştır. Farklı azalım ilişkileri kullanılarak Mersin ili için 475 yıllık tekerrür süresine karşılık gelen sismik tehlike eğrileri ve eş-ivme haritaları elde edilmiştir. Her üç azalım ilişkisinden elde edilen eş ivme haritalarına göre Mut, Erdemli, Merkez, Çamlıyayla ve Tarsus ilçelerideki ivme değerlerinin diğer ilçelerdeki ivme değerlerinden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle sismik tehlike eğrisi grafiğinde sadece yukarıda adı geçen ilçeler yer almıştır.

3.1. Boore ve diğ. (1997) Bağıntısına Göre Mersin İli İçin Tahmin Edilen Sismik Tehlike

Boore ve diğ. (1997) tarafından geliştirilen ivme azalım bağıntısı kullanılarak, Mersin ili için 475 yıllık tekerrür süresine karşılık gelen sismik tehlike değerleri hesaplanmış ve sonuçlar sismik tehlike eğrisi olarak Şekil 3.1'de, eş ivme haritası olarak Şekil 3.2'de sunulmuştur. Mersin il merkezi için hesaplanan ivme değeri 0.07 g dir.



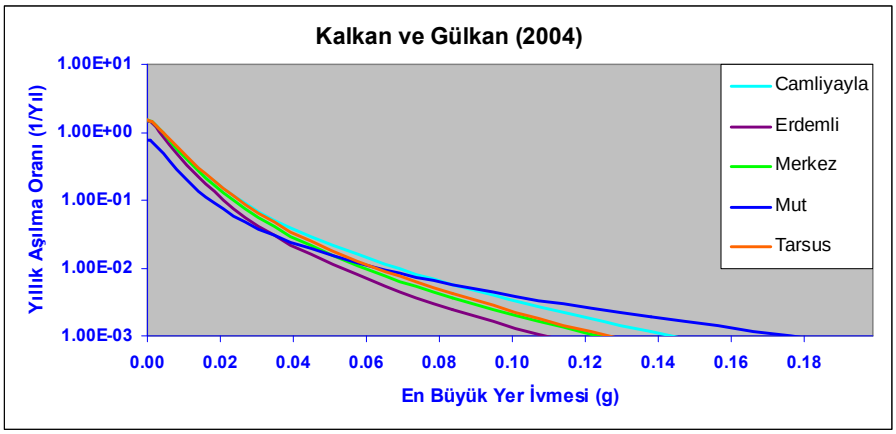
Şekil 3.1. Boore ve diğ. 1997 bağıntısına göre hesaplanan sismik tehlike eğrisi.



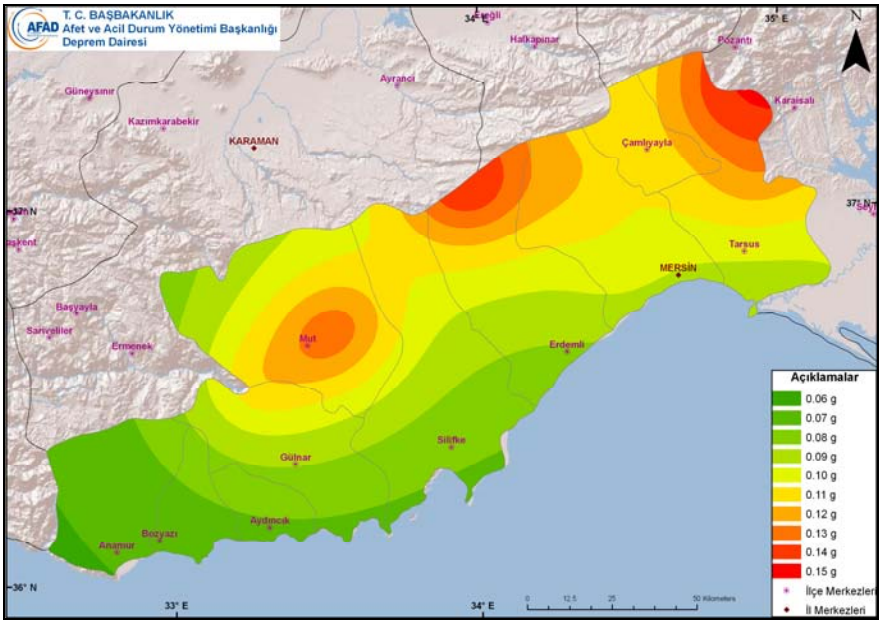
Şekil 3.2. Boore ve diğ. (1997) bağıntısına göre elde edilen eş-ivme haritası.

3.2. Kalkan ve Gülkan (2004) Bağıntısına Göre Mersin İli İçin Tahmin Edilen Sismik Tehlike

Kalkan ve Gülkan (2004) tarafından geliştirilen ivme azalım bağıntısı kullanılarak, Mersin ili için 475 yıllık tekerrür süresine karşılık gelen sismik tehlike değerleri hesaplanmış ve sonuçlar sismik tehlike eğrisi olarak Şekil 3.3'te, eş ivme haritası olarak Şekil 3.4'te sunulmuştur. Mersin il merkezi için hesaplanan ivme değeri 0.09 g dir.



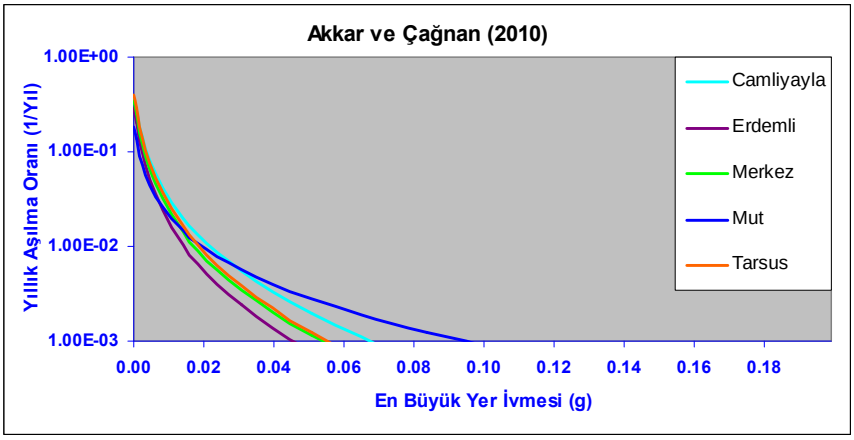
Şekil 3.3. Kalkan ve Gülkan (2004) bağıntısına göre hesaplanan sismik tehlike eğrisi.



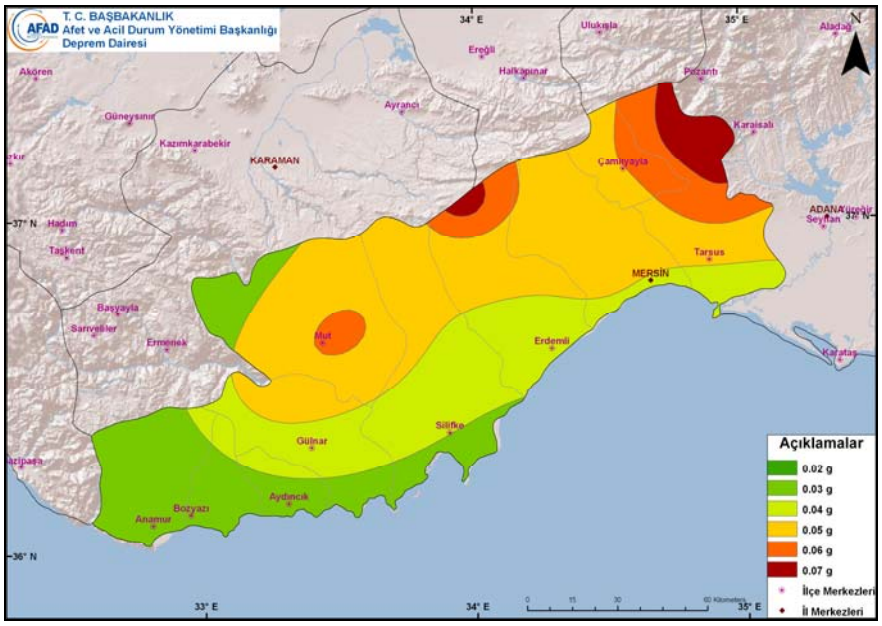
Şekil 3.4. Kalkan ve Gülkan (2004) bağıntısına göre elde edilen eş-ivme haritası.

3.2. Akkar ve Çağnan (2010) Bağıntısına Göre Mersin İli İçin Tahmin Edilen Sismik Tehlike

Akkar ve Çağnan (2010) tarafından geliştirilen ivme azalım bağıntısı kullanılarak, Mersin ili için 475 yıllık tekerrür süresine karşılık gelen sismik tehlike değerleri hesaplanmış ve sonuçlar sismik tehlike eğrisi olarak Şekil 3.5'te, eş ivme haritası olarak Şekil 3.6'da sunulmuştur. Mersin il merkezi için hesaplanan ivme değeri 0.04 g dir.



Şekil 3.5. Akkar ve Çağnan (2010) bağıntısına göre hesaplanan sismik tehlike eğrisi.



Şekil 3.6. Akkar ve Çağnan (2010) bağıntısına göre elde edilen eş-ivme haritası.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Üç farklı azalım ilişkisi kullanılarak hesaplanan ve 475 yıllık tekerrür süresine karşılık gelen ivme değerlerine göre Tarsus ilçesinin kuzeydoğu kesimi, Erdemli ilçesinin kuzeyi ve Mut ilçe merkezi, ilin diğer ilçelerine göre daha büyük deprem tehlikesi altındadır. Tarsus ilçesinin kuzeydoğusunda, ana kaya için hesaplanan en büyük yer ivmesi 0.15 g olarak bulunmuştur.

KAYNAKLAR

[1] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, (1997). Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

[2] Cornell, C. A. (1968). Engineering Seismic Risk Analysis, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58,1583-1606.

[3] Deniz, A. (2006). Estimation of Earthquake Insurance Premium Rates Based On Stochastic Methods, Thesis (Master), Department of Civil Engineering, Middle East Technical University (METU). Ankara..

[4] Yücemen, M. S. (2008). Deprem Tehlikesinin Tahmininde Olasılıksal Yöntemler, 14. Bölüm, Binalar için Deprem Mühendisliği Temel İlkeleri, editörler, E. Canbay v.d., Bizim Büro Basımevi, sayfa 365-413, Ankara.

[5] Ambraseys, N. and Finkel, C., (1987). Seismicity of Turkey and Neighbouring Regions, 1899-1915", Annales Geophys., vol. 5B, pp. 701-26.

[6] Alsan, E., Tezuçan, L. ve Bath, M., (1975). An Earthquake Catalogue for Turkey the Interval 1913-1970. Kandilli Observatory Seismological Department and Seismological Institute Sweden. Report No. 7-75.

[7] Uluslararası Sismoloji Merkezi İnternet Sayfası, (2009). http://www.isc.ac.uk, International Seismological Center, Thatcham, United Kingdom.

[8] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi İnternet Sayfası, (2010). http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Veritabani/DDA.aspx?param=1.

[9] 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*, Vol. 64, 1363-1367.

[10] Kagan, Y. Y. (2002). Aftershock Zone Scaling, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 92, No. 2, 641-655.

[11] 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*, Vol. 87, No. B4, 2829-2839.

[12] Savage, M. K., Rupp, S. H. (2000). Foreshock Probabilities in New Zealand, New Zealand, *Journal of Geology & Geophysics*, Vol. 43, 461-469.

[13] Deniz, A. ve Yücemen, M. S. (2005). Antalya Yöresi İçin Deprem Tehlikesinin Stokastik Yöntemler ile Tahmini, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunlari Kongresi, Bildiriler Kitabı, s. 540-551.

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

[15] Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A. (1992). Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA).

[16] Boore, D. M., Joyner, W. B., 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, Vol. 68(1), 128-153.

[17] Kalkan, E., and Gülkan, P. (2004). Site-Dependent Spectra Derived from Ground Motion Records in Turkey, Earthquake Spectra, Vol. 20, No. 4, pp. 1111-1138.

[18] Akkar, S., and Çağnan, Z. (2010). A Local Ground-Motion Predictive Model for Turkey and Its Comparison with Other Regional and Global Ground-Motion Models. *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 100, No.6, pp. 2978-2995.

[19] Ordaz, M., Aguilar, A., Arboleda, J. (2007). CRISIS2007, Ver. 7.2, Program for Computing Seismic Hazard, Instituto de Ingeniería, UNAM, Mexico.