GEOTEKNİK DEPREM MÜHENDİSLİĞİ AÇISINDAN BANDIRMA İLÇESİ ÇEVRESİNİN DEPREMSELLİĞİ VE SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Can BALCI
Batman Üniversitesi, mehmetcan.balci@batman.edu.tr

Arş. Gör. Fatih UÇAR
Akdeniz Üniversitesi, fatihucar@akdeniz.edu.tr

ÖZET:

Bu çalışmada Bandırma ilçesi coğrafi koordinatları (40,35 Enlem – 27,97 Boylam) merkez alınarak ± 1 enlem-boylam değerleri arasında kalan çalışma alanının deprem kataloğu oluşturularak, Bandırma İlçesi ve çevresinin depremselliği irdelenmiş ve sismik tehlike analizi yapılmıştır.

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından sağlanan, Bütünleştirilmiş Homojen Türkiye Deprem Kataloğundan 1900'den sonra (aletsel dönem) meydana gelen 4.0'dan büyük depremler tespit edilerek çalışma alanının probabilistik sismik tehlike analizi SISTEHAN II programı kullanılarak yapılmıştır. SISTEHAN II programı dönüş periyodu–yer ivmesi ve aşılma ihtimali–yer ivmesine ait bilgilerinin elde edilmesini sağlayarak çalışma alanının depremselliğini ortaya koymuştur.

Çalışmada çeşitli azalım denklemleri kullanılarak 100 yıllık dönüş periyodu – eş ivme haritaları ve 50 yılda bu değerlerin %10 aşılma ihtimali – eş ivme haritaları oluşturulmuştur. Yine azalım denklemleri yardımlarıyla Bandırma ilçesi ve çevresinde oluşabilecek en büyük yatay yer ivmesi değerleri hesaplanarak bunların geoteknik deprem mühendisliği bakımından kentleşmeye olan olası etkileri değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: geoteknik deprem mühendisliği, sismik tehlike analizi, bandırma

SEISMIC HAZARD ANALYSIS AND GEOTECHNICAL EARTHQUAE ENGINEERING EVALUATION OF THE BANDIRMA DISTRICT AND ITS SURROUNDINGS

Asst. Prof. Dr. Mehmet Can BALCI
Batman Üniversitesi, mehmetcan.balci@batman.edu.tr

Res. Asst. Fatih UÇAR
Akdeniz Üniversitesi, fatihucar@akdeniz.edu.tr

ABSTRACT:

The study took the geographic coordinates of the Bandirma district (40.35 Latitude, 27.97 Longitude) as the central point in the formation of an earthquake catalogue of a study area defined as ±1 latitude and longitude of the point in question. A seismic hazard analysis was carried out by examining the seismicity of the Bandirma district and its surroundings.

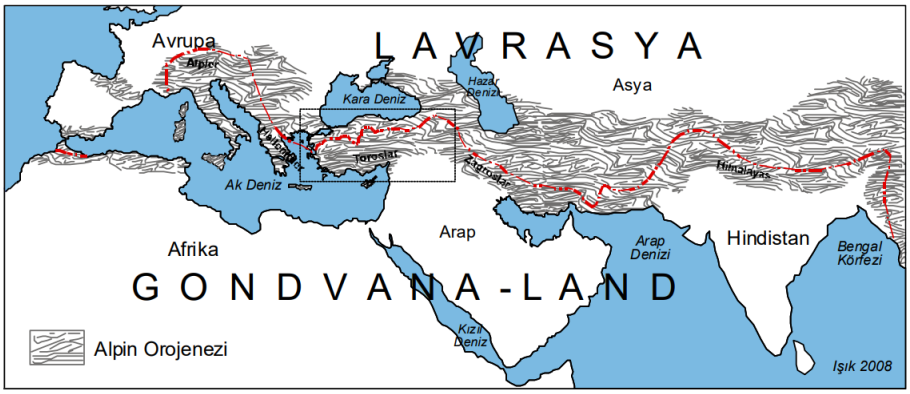
All earthquakes with a magnitude greater than 4.0 since 1900 were identified in the Integrated Homogenous Turkey Earthquake Catalogue of the Disaster and Emergency Management Authority's (AFAD's) Earthquake Department. The probabilistic seismic hazard analysis of the study area was performed using the SISTEHAN II program. The SISTEHAN II program measured the seismicity of the studied area, providing information on the relationship between return period and ground acceleration, and between exceedance probability and ground acceleration.

Various attenuation relationships were used in the study to form a record of a 100-year the return period – iso-acceleration maps, and the 50-year 10% exceedance probability – iso- acceleration maps. Furthermore, with the aid of attenuation relationships, calculations were made to determine the largest possible peak ground acceleration in the Bandirma district and its surroundings, and their potential effect on urbanization were assessed from an earthquake engineering standpoint.

Keywords: geotechnical earthquake engineering, seismic hazard analysis, bandirma

GİRİŞ

Türkiye, Alp-Himalaya kuşağının Doğu Akdeniz kesiminde (Şekil 1) yer almaktadır. Bu bölgede halen devam etmekte olan levha hareketlerinden kaynaklı yanal yönde ve dalma-batma şeklinde gelişen büyük tektonik ögeler yer almaktadır (Şeşetyan vd. 2015). Tektonik açıdan hareketli olan ülkemiz depremsellik yönünden dünyanın en etkin kuşakların birinde bulunmaktadır (Akın, 2001). Ülkemizde meydana gelen tüm depremlerin kaynak faylarını etkinliği devam etmekte olan bu tektonik ögeler oluşturmaktadırlar (Şeşetyan vd. 2015).



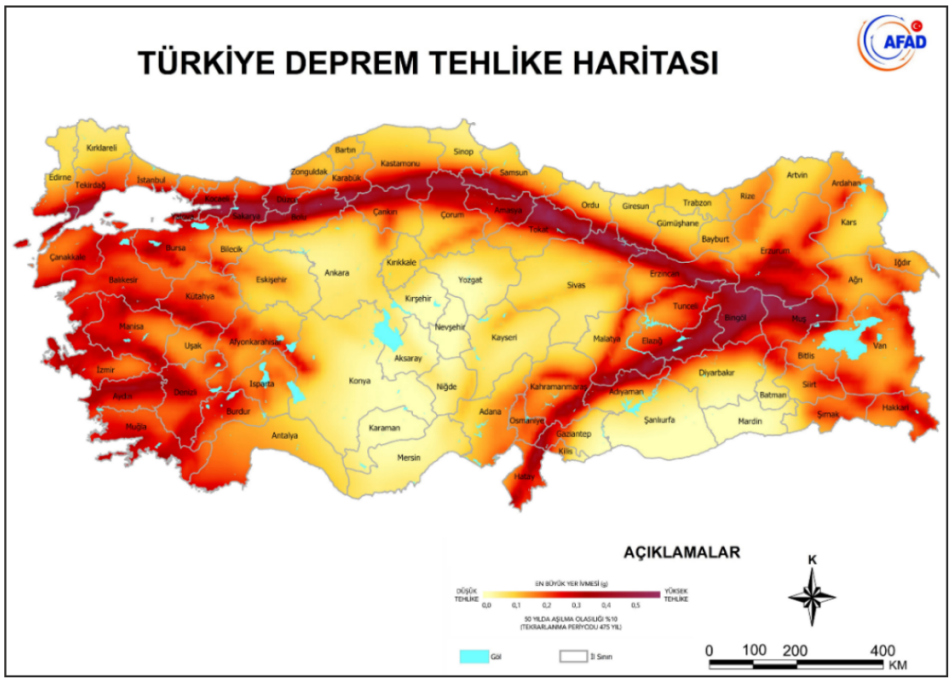
Şekil 1. Alpin Orojenezi

Deprem tehlikesi, bir depremin belli yer ve zaman aralığı içerisinde meydana gelmesi şeklinde tanımlanmakta ayrıca deprem riski kavramının da önemli bir aşamasını oluşturmaktadır (Erdik vd 2006). "Sismik Tehlike" ve "Sismik Risk" terimleri birbirine karıştırılmaması gereken iki farklı durumu belirtmektedir. Tehlike, bir fiziksel olayı ifade ederken; Risk ise tehlikeden kaynaklı olarak meydana gelebilecek can ve mal kaybını temsil etmektedir (Yeats vd 1997). Dolayısıyla çözümleme işlemi, Risk Analizi olarak değil Tehlike Analizi şeklinde isimlendirilirken oluşturulan haritalar ise Deprem Tehlike Haritaları olarak tarif edilmektedir. Risk haritaları üretebilmek için, tehlike haritaları temel olarak kullanılmak üzere, nüfus ve yapılaşma gibi verilerin de çözümleme işlemine dahil edilmesi gerekmektedir. Analiz sonucunda aynı tehlike sonuçlarına erişilen farklı bölgelerde, nüfus ve yapılaşmanın etkisiyle farklı riskler olduğu görülebilmektedir.

Ülkemizde 1940 tarihli birinci deprem şartnamesi ile resmi olarak ilk kez 1945 yılında deprem tehlikesi bölgeleme haritası yayımlanmış, daha sonra 1947 tarihli ikinci deprem şartnamesi ile harita güncellenmiş, meydana gelmiş tarihi depremlerde hasar görmüş alanlar iki tehlike bölgesi olarak ayrılırken, hasar beklenmeyen alanlar üçüncü bir bölge olarak nitelendirilmiştir (Erdik vd 2006). Fakat tehlike haritasında hasar etkeni göz ardı edilmeli, sadece depremin oluşu üzerinde durulmalıdır. 1963 yılında ise ikinci deprem tehlikesi bölgeleme haritası yayımlanmış, bu haritada ise dört tehlike bölgesi (V, VI, VII ve >VIII şiddet değerleri) yer almıştır. 1972 yılına gelindiğinde Avrupa Sismoloji Komisyonunun tavsiyeleri üzerine üçüncü deprem tehlikesi bölgeleme haritası yayımlanmış, bu haritada ise beş tehlike bölgesi (V, VI, VII, VIII ve >IX şiddet değerleri) yer almıştır. Bu haritaların ortak noktası deterministik yöntem ile yapılmış olmaları olup, depremlerin oluşum frekansları (veya dönüş periyotları) ile ilgili bilgileri sağlayamamalarının doğurduğu eksiklikler nedeniyle, uzun yıllar süren çalışmalar sonucunda 1996 yılında, olasılıksal (probabilistik, stokastik) yaklaşım ile hazırlanan ve günümüzde de kullanılan dördüncü deprem tehlikesi bölgeleme haritası yayımlanmıştır. Dört sınıra karşılık gelen 0.1g, 0.2g, 0.3g ve 0.4g düzeylerinde ivme katsayısı ile ölçeklendirilen harita, bu katsayıları sınırlayan beş bölgeye ayrılmıştır (Erdik vd 2006). Türkiye'de mühendislik yapılarının tasarımında ivme değeri çoğunlukla, her bölge için sabit bir yatay yer ivme değeri belirlenen Türkiye Deprem

Bölgeleri Haritasına (Afet İşleri, 1996) bağlı kalınarak belirlenmektedir. Akın'a göre (2001) bu yaklaşım, her bir deprem bölgesi kendi içinde homojen kabul edildiği için ve bir deprem bölgesinden diğerine geçişte 0.1g gibi yüksek bir ivme değeri kullanıldığı için sakıncalıdır.

En son 1996 yılında yürürlüğe giren Türkiye Deprem Tehlike Haritası (Şekil 2), AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından yenilenmiş, 18 Mart 2018 tarih ve 30364 sayılı (mükerrer) Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. 1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe girecek olan yeni harita en güncel deprem kaynak parametreleri, deprem katalogları ve yeni nesil matematiksel modeller dikkate alınarak çok daha fazla ve ayrıntılı veriyle hazırlanmıştır. Yeni haritada, bir önceki haritadan (1996) farklı olarak deprem bölgeleri yerine en büyük yer ivmesi değerleri gösterilmiş ve "deprem bölgesi" kavramı ortadan kaldırılmıştır.



Şekil 2. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2018)

Bu çalışmanın amacı, Bandırma ilçesini (40,35° K – 27,97° D) merkez alarak ve ±1° açılım göstererek yaklaşık olarak 39,35°-41,35° kuzey enlemleri ile 26,97°-28,97° doğu boylamları arasında kalan poligonun sismik tehlike analizini SISTEHAN II (Kayabalı, 2000) programı ile gerçekleştirmektir. Analizler sonucunda bölgeye uygun azalım denklemleri kullanılarak 100 yıllık dönüş periyodu – eş ivme haritaları ve 50 yılda bu değerlerin %10 aşılma ihtimali – eş ivme haritaları oluşturulmuştur. Bandırma ilçesi ve çevresinde oluşabilecek en büyük yatay yer ivmesi değerleri hesaplanmış bunların geoteknik deprem mühendisliği bakımından yapılaşmaya ve kentleşmeye olan olası etkileri değerlendirilmiştir.

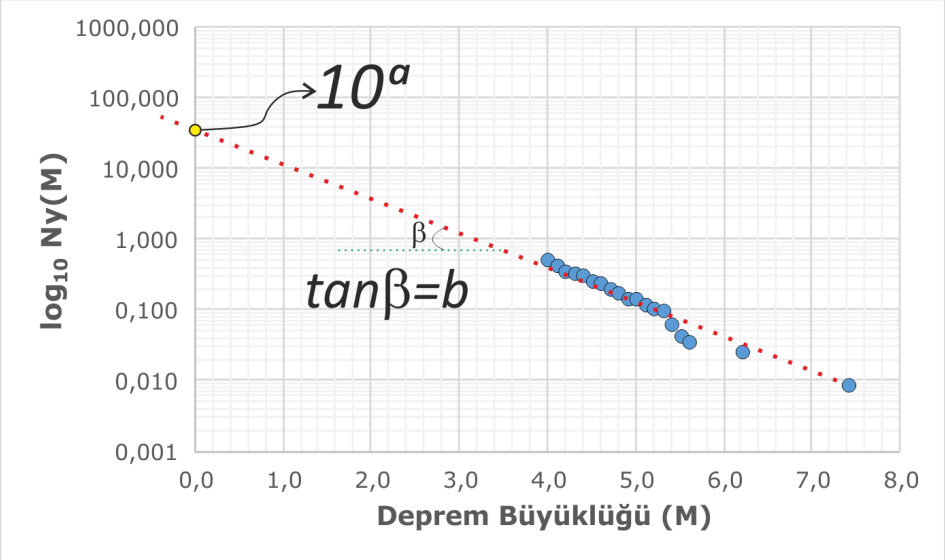
YÖNTEM

SISTEHAN, bir nokta için probabilistik sismik tehlike analizi yapmak amacıyla yazılmış bir programdır. SISTEHAN II ise SISTEHAN'ın geliştirilmiş bir sürümü olup, çalışmada kullanılmıştır. SISTEHAN II, belirli bir dönüş periyodu ve aşılma ihtimaline karşılık gelen kuvvetli yer ivmesi verilerini hesaplamak amacıyla yazılmıştır. Program yardımıyla Ulusay vd. (2004) ve Kayabalı & Beyaz (2004) sönüm denklemleri kullanılarak; 100 yıllık dönüş periyodu- eş ivmesi haritaları ile 50 yılda %10 aşılma ihtimali- eş ivme haritaları oluşturulmuştur.

SISTEHAN II, çalışma kapsamındaki deprem odaklarından sismik kaynaklar oluşturulması ve bu kaynaklardan Gutenberg-Richter parametrelerinin elde edilmesi (Eşitlik 1) ile çözümleme yapabilen bir sismik tehlike analizi programıdır. Gutenberg-Richter yasası (1944) (**Şekil 3**), belirli bir büyüklükteki depreme eş veya daha büyük depremlerin oluş miktarlarını analiz etmekte kullanılmaktadır.

$$\log n_M = a - bM \qquad (1)$$

M : Deprem büyüklüğü,
n_M : M veya üzeri büyüklükteki depremin oluş sayısı,
Ny(M) : M veya üzeri büyüklükteki depremin birikimli (kümülatif) oluş sayısı,
a : Alanın sismik etkinliğini belirten Gutenberg-Richter parametresi,
b : Alanın tektonik karakteristiğine bağlı Gutenberg-Richter parametresi,
şeklinde tanımlanmaktadır.

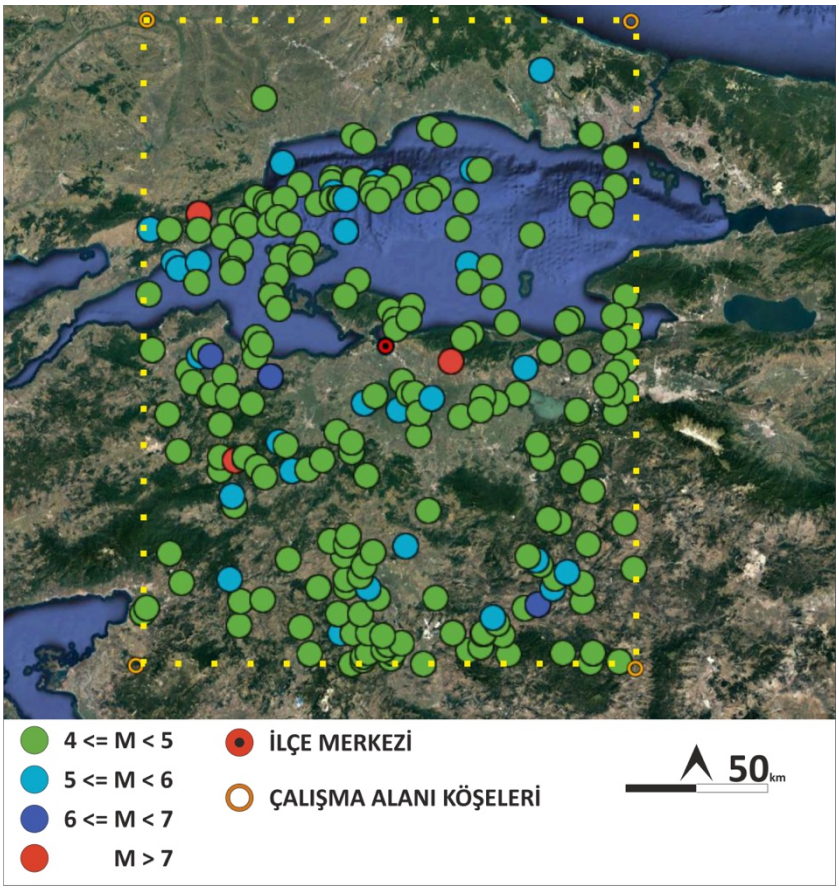


Şekil 3. Gutenberg-Richter Yasası

Öncelikli olarak, çalışmanın kapsamını oluşturan Bandırma ilçesi (40,35° K – 27,97° D) merkezli 39,35°-41,35° kuzey enlemleri ile 26,97°-28,97° doğu boylamları arasında kalan kısım haritalanmış (Şekil 4) ve devamında Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından sağlanan deprem veritabanı aracılığı ile 1900 yılından (aletsel dönem) günümüze kaolan depremler listelenerek çalışma alanında meydana gelmiş M≥4,0 olan depremler ayıklanmıştır (**Şekil 5**).

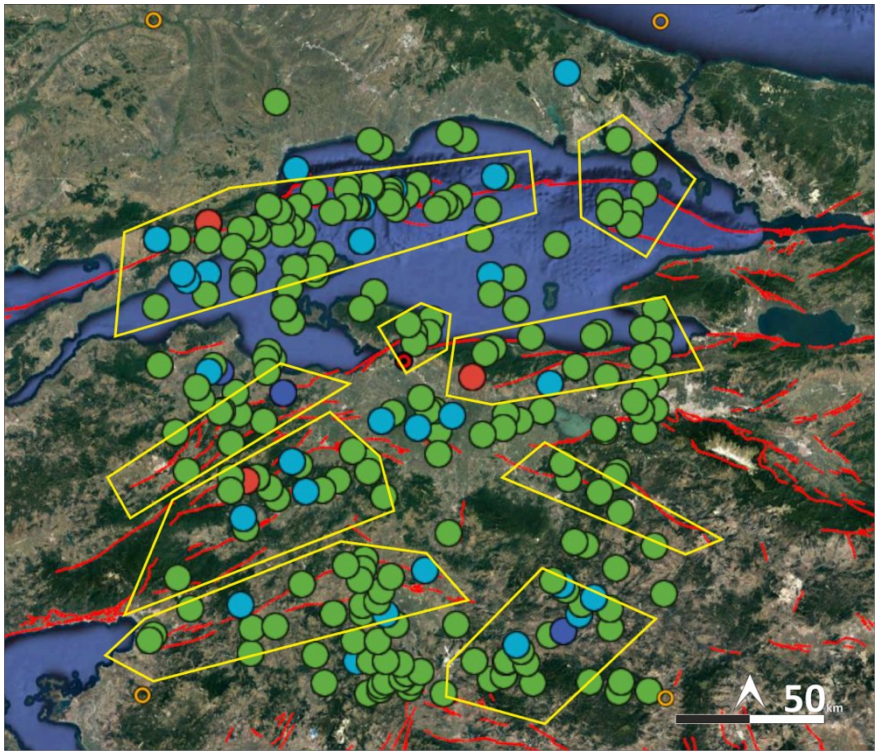


Şekil 4. Çalışma Alanı (Bandırma Merkezli, ±1° Enlem-Boylam)

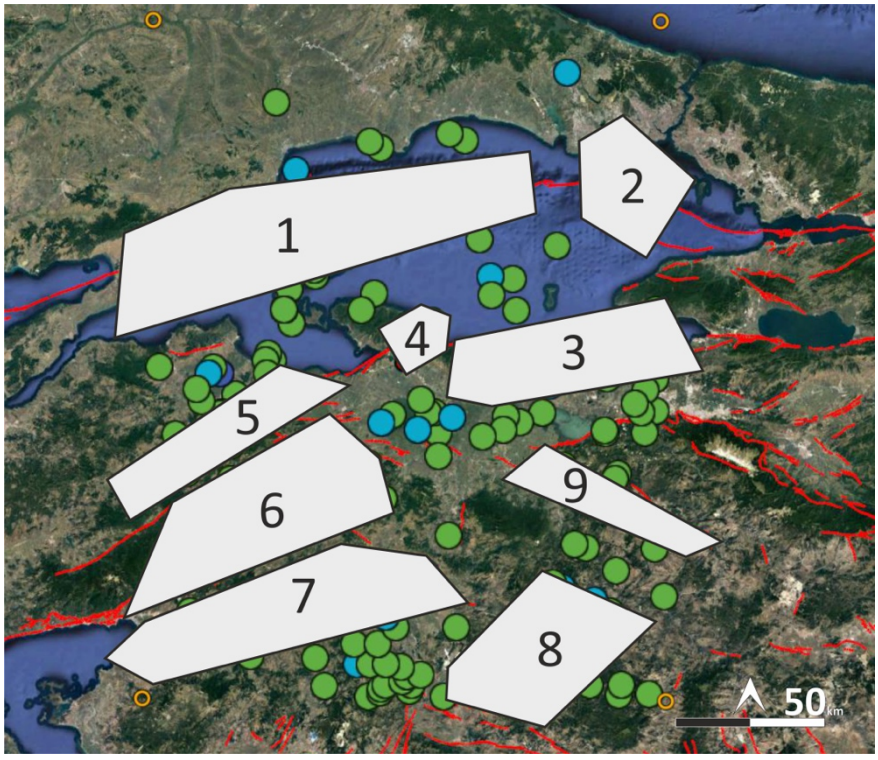


Şekil 5. Çalışma Alanında Meydana Gelen Depremler (M≥4, 1900'den Sonrası)

Çalışma bölgesini sismik alanlara bölmek için MTA tarafından hazırlanan diri fay haritası kullanılmış, hem diri fayların çevresi hem de daha önce deprem yoğunluğu gözlenen kısımlar sismik alan olarak belirlenmiş (**Şekil 6**) ve analiz içi numaralandırılmıştır (**Şekil 7**).



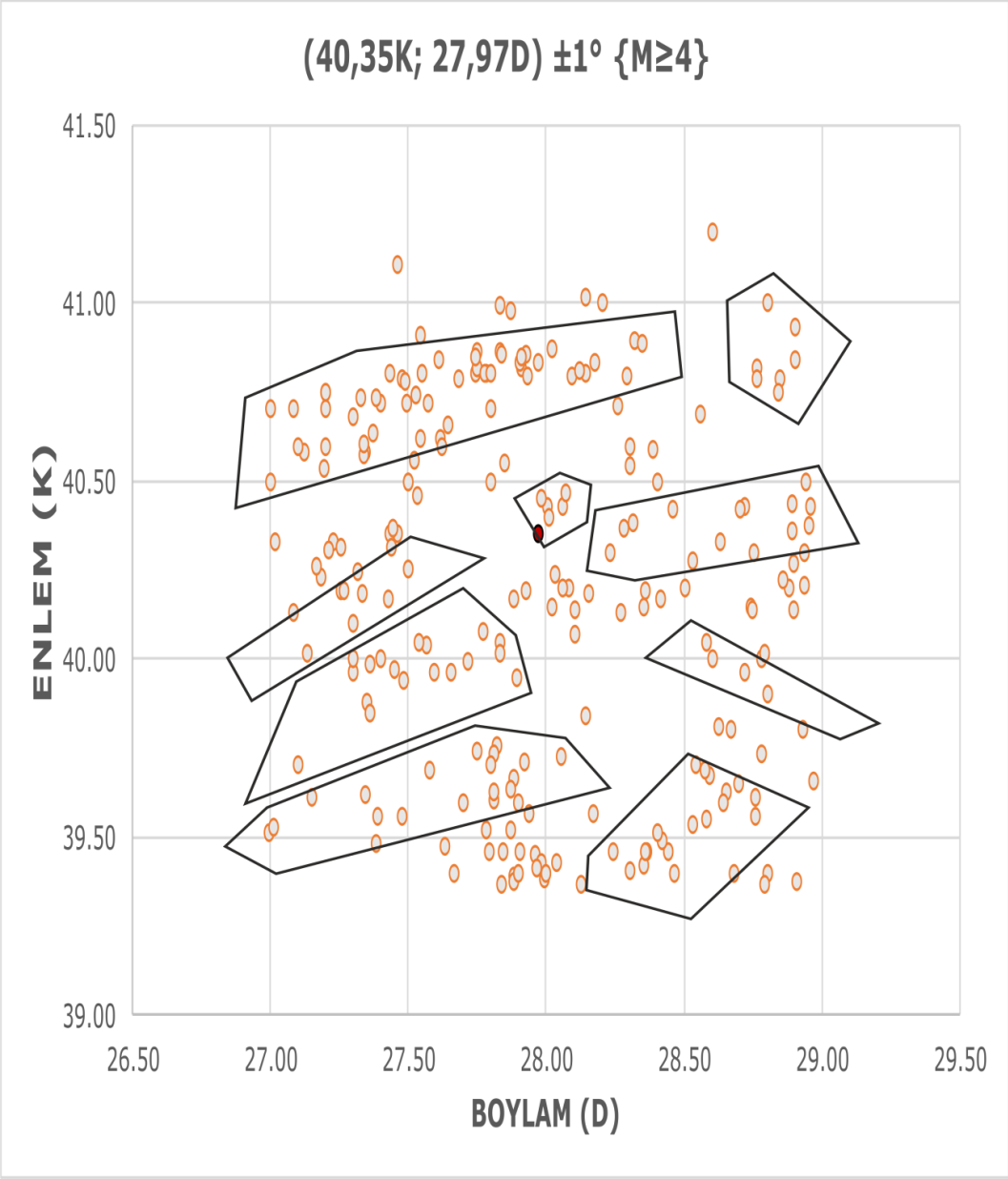
Şekil 6. Bandırma ve Çevresi için Belirlenen Sismik Alanlar



Şekil 7. Bandırma ve Çevresi için Numaralandırılmış Sismik Alanlar

Analiz için dokuz poligon oluşturulmuş olup her bir poligonun içinde kalan deprem odakları ayıklanmış (**Şekil 8**) ve Gutenberg-Richter parametreleri her bir poligon için belirlenmiştir. SISTEHAN II programı analiz yapabilmek için köşe koordinatlarına da ihtiyaç duyduğundan her bir poligonun köşe koordinatları (**Tablo 1**), toplam deprem odak noktası (**Şekil 9***a*) ile her poligona düşen deprem sayısı (**Şekil 9***b*) ve her sismik alanda ilk ve son olarak meydana gelen depremlerin süre farkı (

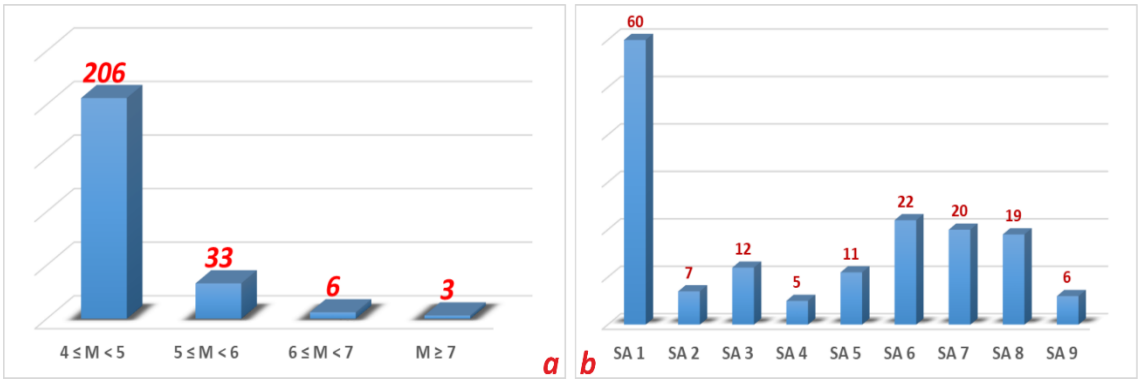
Tablo 2), analiz için hazırlanmıştır.



Şekil 8. Bandırma ve Çevresi için Numaralandırılmış Sismik Alanların MS Excel'e Aktarılması

Tablo 1. Sismik Alanların Köşe Koordinatları

SİSMİK ALAN	x_1	y_1	x_2	y_2	x_3	y_3	x_4	y_4	x_5	y_5	x_6	y_6
1	26,978	40,773	27,369	40,905	28,488	41,016	28,512	40,832	26,944	40,462		
2	28,672	41,048	28,834	41,124	29,105	40,933	28,922	40,699	28,679	40,818		
3	28,179	40,284	28,209	40,455	28,993	40,580	29,133	40,363	28,347	40,257		
4	27,924	40,489	28,083	40,561	28,193	40,527	28,179	40,422	28,028	40,351		
5	26,915	40,038	27,559	40,380	27,817	40,319	27,000	39,917				
6	26,978	39,626	27,157	39,971	27,744	40,235	27,928	40,102	27,982	39,939		
7	26,907	39,505	27,054	39,615	27,785	39,847	28,103	39,812	28,258	39,671	27,086	39,428
8	28,177	39,382	28,183	39,479	28,534	39,767	28,958	39,615	28,544	39,301		
9	28,385	40,038	28,544	40,144	29,204	39,853	29,069	39,808				



Şekil 9. ***a*** **Bandırma ve Çevresi için Büyüklüklerine Göre Filtrelenmiş Deprem Sayıları** ***b*** **Her Bir Sismik Alan (SA 1-9) için Deprem Sayıları**

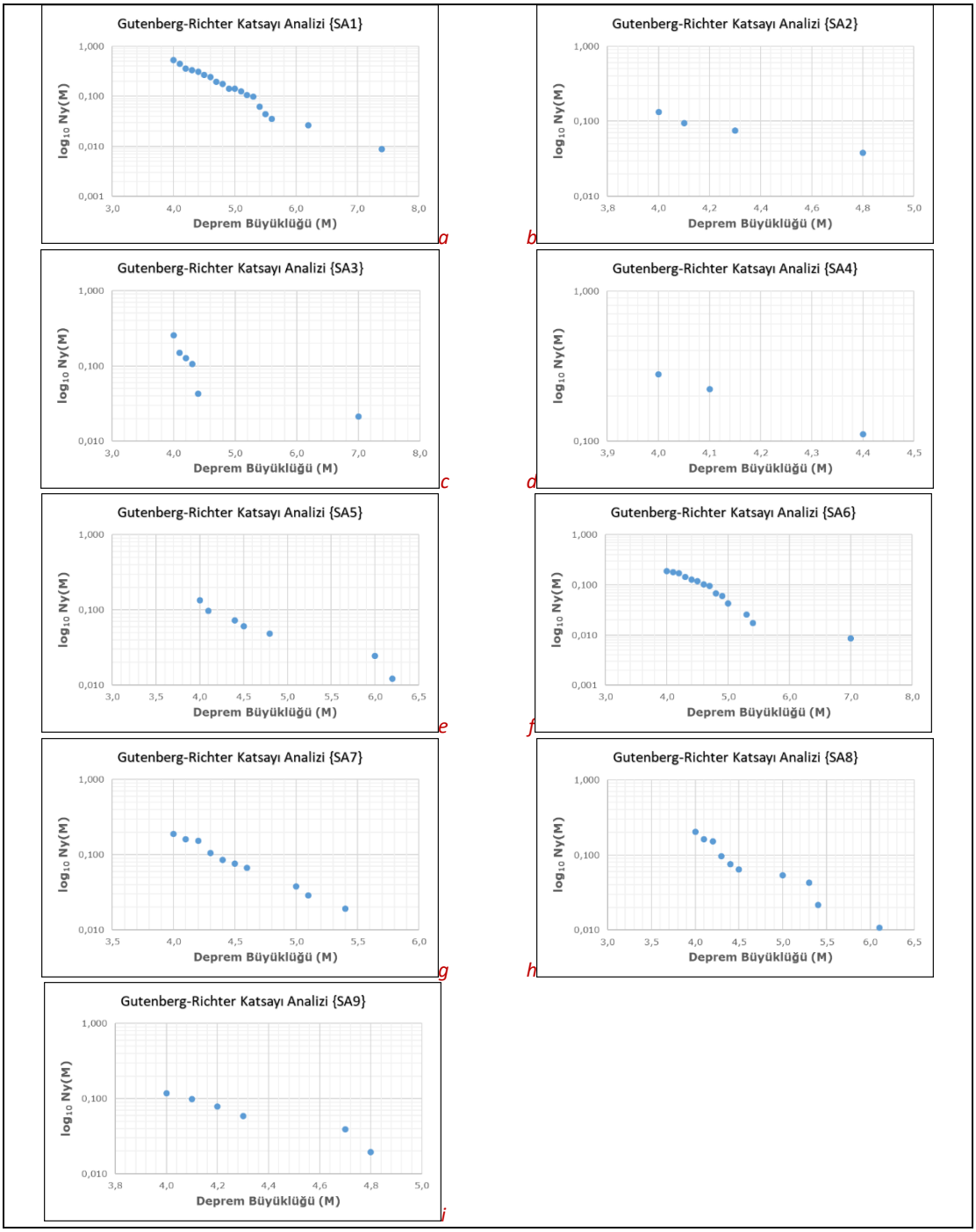
Tablo 2. Sismik Alanlara Düşen Depremlerin İlki ve Sonuncusu Arası Zaman Farkı (yıl)

	SA 1	SA 2	SA 3	SA 4	SA 5	SA 6	SA 7	SA 8	SA 9
T	113	53	47	18	82	117	105	93	51

BULGULAR

Gutenberg-Richter yasası gereği her bölge için ayrı ayrı parametre hesabının yapılması gerektiğinden her poligona (SA 1-9) düşen depremlerin büyüklükleri ile yıllık birikimli oluş sayıları grafiklere aktarılarak dokuz ayrı (**Şekil 10**) Gutenberg-Richter eğrisi çıkarılmıştır ve her bölgeye ait parametreler hesaplanmıştır (

Tablo 3).

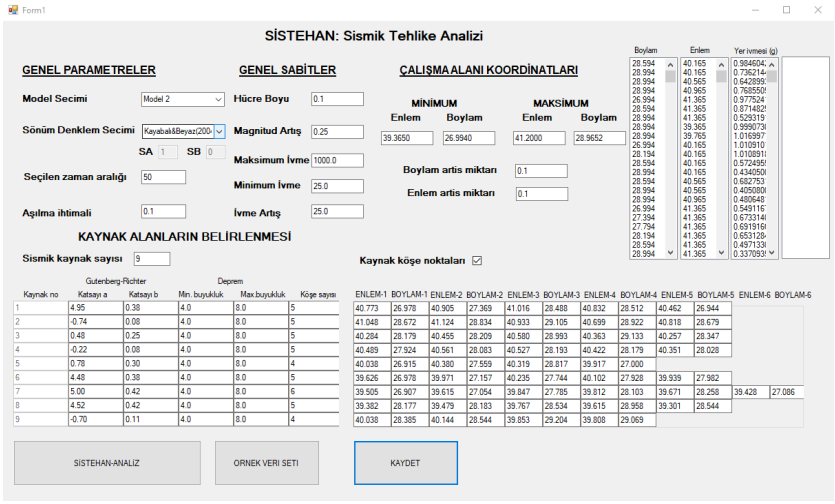


Şekil 10. Gutenberg-Richter Parametre Analizi *(a-i)*

Tablo 3. Her Alan için Hesaplanan Gutenberg-Richter Parametreleri

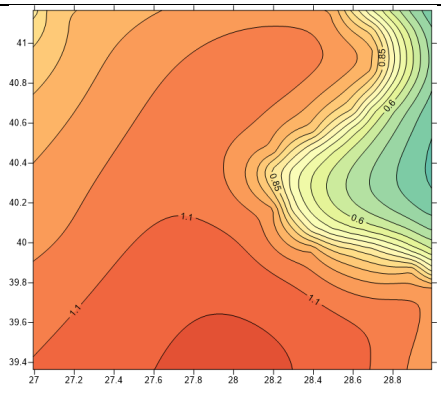
	SA 1	SA 2	SA 3	SA 4	SA 5	SA 6	SA 7	SA 8	SA 9
a	4,95	-0,74	0,48	-0,22	0,78	4,48	5,00	4,52	-0,70
b	0,38	0,08	0,25	0,08	0,30	0,38	0,42	0,42	0,11

SISTEHAN II (**Şekil 11**) programında Ulusay vd. (2004) ve Kayabalı & Beyaz (2004) sönüm denklemleri kullanılmış olup; her iki sönüm denklemi için de 100 yıllık dönüş periyodu - eş ivme verileri ve 50 yılda % 10 aşılma ihtimali - eş ivme verileri elde edilmiştir.



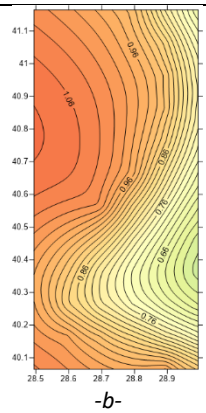
Şekil 11. SISTEHAN II Programı Ekran Görüntüsü

Programda aynı veriler hem 0,4°lik enlem-boylam artışı ile hem de analizlerin daha hassas olması açısından 0,1°lik enlem-boylam artışı ile kullanılmıştır. Bu veriler yardımıyla program tarafından hesaplanan enlem-boylam değerlerine ait yer ivmesi değerlerine göre her sonuç için ayrı ayrı kontur haritaları elde edilmiştir.



-a-

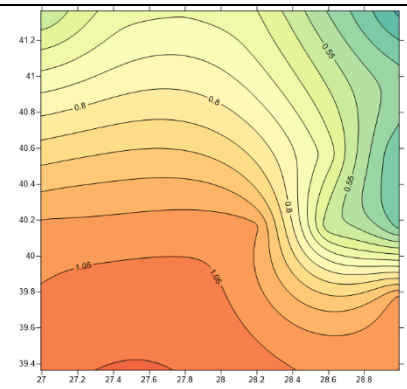
Kayabalı & Beyaz (2004)
100 Yıllık Dönüş Periyodu (0,1° Enlem-Boylam)



-b-

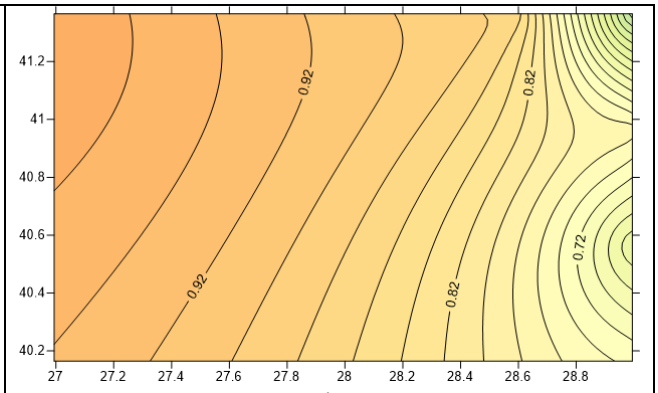
Ulusay vd. (2004)
100 Yıllık Dönüş Periyodu (0,1° Enlem-Boylam)

Şekil 12. 100 Yıllık Dönüş Periyodu, 0,1° Aralıklı
***(a)* Kayabalı & Beyaz (2004), *(b)* Ulusay vd. (2004)**



-a-

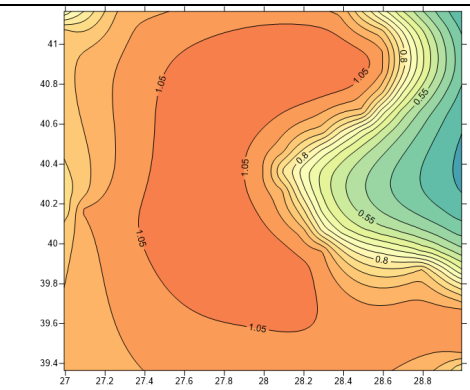
Kayabalı & Beyaz (2004)
100 Yıllık Dönüş Periyodu (0,4° Enlem-Boylam)



-b-

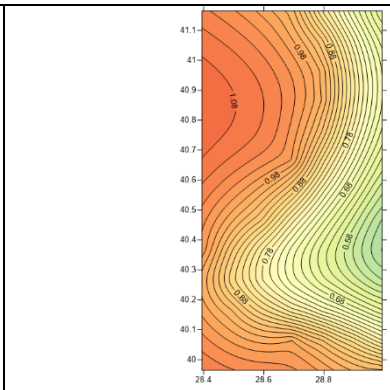
Ulusay vd. (2004)
100 Yıllık Dönüş Periyodu (0,4° Enlem-Boylam)

Şekil 13. 100 Yıllık Dönüş Periyodu, 0,4° Aralıklı
***(a)* Kayabalı & Beyaz (2004), *(b)* Ulusay vd. (2004)**



-a-

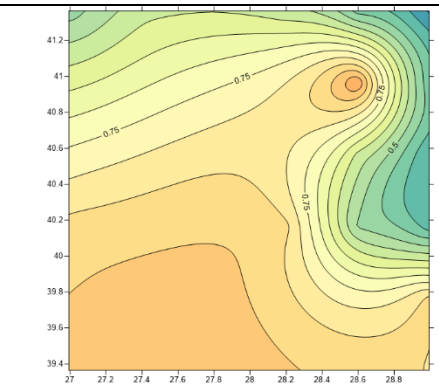
Kayabalı & Beyaz (2004)
50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 (0,1° Enlem-Boylam)



-b-

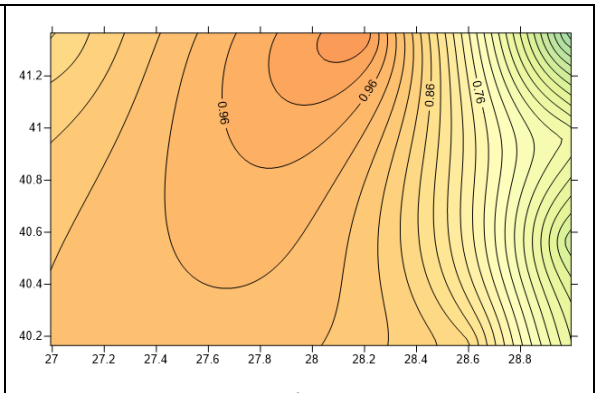
Ulusay vd. (2004)
50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 (0,1° Enlem-Boylam)

Şekil 14. 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10, 0,1° Aralıklı
***(a)* Kayabalı & Beyaz (2004), *(b)* Ulusay vd. (2004)**



-a-

Kayabalı & Beyaz (2004)
50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 (0,4° Enlem-Boylam)



-b-

Ulusay vd. (2004)
50 Yılda Aşılma Olasılığı %10 (0,4° Enlem-Boylam)

Şekil 15. 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10, 0,4° Aralıklı
***(a)* Kayabalı & Beyaz (2004), *(b)* Ulusay vd. (2004)**

SONUÇ ve ÖNERİLER

SISTEHAN II'den elde edilen sonuçların haritalanması ile 0,1° ve 0,4°'lik enlem-boylam ardışımı arasındaki hassaslık farkı gözlenebilmiştir. Ulusay vd. (2004) ve Kayabalı & Beyaz (2004) sönüm denklemleri için ayrı ayrı 100 Yıllık Dönüş Periyodu ve 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10'luk ivme haritaları çıkarılmıştır. Bu haritalar ışığında karşılaştırma yapıldığında, güncellenen deprem haritasına göre daha sığ ve bölgesel analiz gerçekleştirildiğinden, daha yüksek değerler bulunmuştur.

0,4°'lik enlem-boylam ardışımlı 100 Yıllık Dönüş Periyotlu ivme haritalarında Kayabalı & Beyaz (2004) için kuzey doğudan güney batıya 0,40g ile 1,10g arasında yüksek değişim (0,70g fark) gözlenirken, Ulusay vd. (2004) için daha homojen dağılımlı ve 0,66g ile 0,96g arasında değişim (0,30g fark) gözlenmiştir.

0,4°'lik enlem-boylam ardışımlı 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10'luk ivme haritalarında ise Kayabalı & Beyaz (2004) için yine kuzey doğudan güney batıya 0,40g ile 0,90g arasında değişim (0,50g fark) gözlenirken, Ulusay vd. (2004) için kuzey-güney doğrultulu pik yapan ivme değerleri 0,50g ile 1,00g arasında değişim (0,50g fark) göstermiştir.

0,1°'lik enlem-boylam ardışımlı 100 Yıllık Dönüş Periyotlu ivme haritalarında Kayabalı & Beyaz (2004) için güney batıda çok düşük olan, kuzeyden güneye doğru artan ivme değerleri 0,40g ile 1,15g arasında değişim (0,75g fark) gösterirken, Ulusay vd. (2004) için kuzey batıda pik yapan ivme değerleri 0,58g ile 1,08g arasında değişim (0,50g fark) göstermiştir.

0,1°'lik enlem-boylam ardışımlı 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10'luk ivme haritalarında ise Kayabalı & Beyaz (2004) için güney batıda düşük olan, kuzey-güney doğrultusunda merkezde yoğunlaşan ivme değerleri, bölge genelinde 0,35g ile 1,05g arasında değişim (0,70g fark) göstermekte, Ulusay vd. (2004) için ise kuzey batıda pik yapan ivme değerleri 0,52g ile 1,08g arasında değişim (0,56g fark) göstermiştir.

Türkiye Deprem Tehlike Haritası dikkate alındığında, bölgeye göreceli olarak en uyumlu olan harita (0,1°'lik) 50 Yılda Aşılma Olasılığı %10'luk Kayabalı & Beyaz (2004) olarak belirlenmiştir. Yine de sismik alan seçiminden kaynaklı olarak ve sığ analiz sebebiyle bu değerler sadece ön çalışma için kullanılmalı, bölgeye ait özel bir deprem tehlike haritası çıkarılması için, elde edilebilecek tüm unsurlar sisteme dâhil edilerek analiz gerçekleştirilmelidir.

KAYNAKLAR

AFAD. 2018. Yeni Deprem Tehlike Haritası. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Deprem Dairesi Başkanlığı. (http://www.afad.gov.tr/)

Akın, M. (2001). Deterministik Yaklaşımla Türkiye'nin Sismik Tehlike Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 74 Sayfa.

Beyaz, T., (2004). Zemin etkisinden arındırılmış deprem kayıtlarına göre Türkiye için yeni bir deprem enerjisi azalım bağıntısının geliştirilmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara.

Erdik, M., Şeşetyan, K., Demircioğlu, M.B., Durukal, E. (2006). Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar ve Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü Kıyı Yapıları, Demiryolları ve Havameydanları İnşaatları Deprem Teknik Yönetmeliği için Deprem Tehlikesi Belirlemesi. Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü. İstanbul.

Gutenberg, B. and Richter, C. F. (1944). Frequency of Earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34, 185–188.

Kayabalı, K. (2000). SISTEHAN II: Sismik Tehlike Analizi Programı. *Yerbilimleri*. 37/15-29.

Şeşetyan K., Demircioğlu M.B., Duman T. Y., Çan T., Tekin S., Eroğlu Azak T., Zülfikar, Ö., Akkar, S. (2015). Türkiye için Alan Kaynak Modeline Dayalı Olasılıksal Deprem Tehlike Analizi. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 14-16 Ekim 2015, İzmir.

Ulusay, R., Tuncay, E., Sönmez, H. and Gökçeoğlu, C. (2004). An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey. *Engineering Geology*, 74, 265–291.

Yeats, R. S., Sieh, K., Allen C. R. (1997). Deprem Jeolojisi. 567 Sayfa. (Çev. Demirtaş, R. ve Kayabalı, K. 2006, Ankara.)