

## Burdur İl Merkezinin Depremselliğinin Araştırılması

Mehmet Uğur YILMAZOĞLU\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

(Alınış / Received: 28.05.20016, Kabul / Accepted: 09.11.2016, Online Yayınlanma / Published Online: 30.12.2016)

### Anahtar Kelimeler

Burdur,  
Deprem,  
Olasılıksal Deprem Tehlike  
Analizi

**Özet:** Büyük bir kısmı 1. Dereceden deprem bölgesi olan Burdur İlinin, sismik bakımdan 36.50-38.50 K ve 28.50-31.50 D ile sınırları içerisinde depremselliğinin ve deprem riskinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Çalışma alanı depremselliğinin incelenmesi amacıyla magnitüd frekans ilişkisi, sismik risk ve tekrarlanma periyodu hesaplamaları yapılmıştır. Çalışma alanında 1900-2014 yılları arasında meydana gelen  $M_w \geq 4$  olan depremler için, yıllık tekerrür ilişkisi Gutenberg ve Richter bağıntısına göre bulunmuş bölgenin deprem riski SEİSRİSK III programı kullanılarak ortaya konulmuştur. SEİSRİSK programı ile bölgenin 50 yılda sırasıyla, %10, %40 aşılma olasılıklarına göre pik iveme değerleri hesaplanmıştır.

### Çalışmanın İngilizce İsmi Her Kelimenin İlk Harfi Büyük (Bağlaçlar Hariç) ve “Cambria” Fontunda 12 Punto Olacak Şekilde Buraya Eklenmelidir

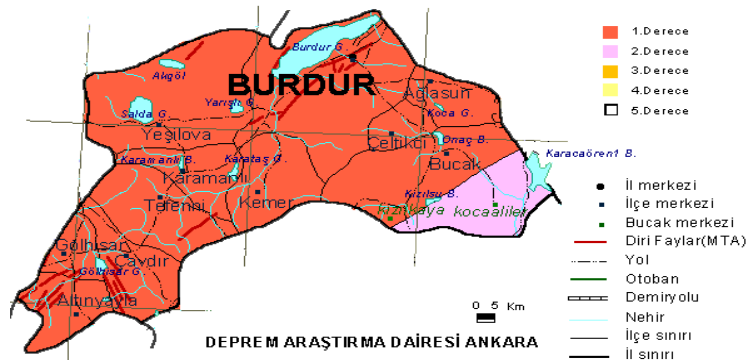
### Keywords

Burdur,  
Earthquake,  
Probabilistic Seismic Hazard  
Analysis

**Abstract:** The purpose of this study is, to probabilistic Burdur's seismicity and earthquake risks. For investigation of studied area, magnetude-frequency statistic method for relation, seismic risk and cycling period calculations were done. In te study area, seismic risk of Burdur were found by using the equation of Gutenberg and Richter for earthquakes which are  $MD \geq 4$  and the earthquake risk in the region has been demonstrated using SEİSRİSK III program. SEİSRİSK program in the region with peak acceleration values are calculated based on 50 years respectively 10% and 40% exceedance probability..

### 1. Giriş

Burdur, Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi'nde bulunan bir ildir ve 2014 nüfus sayımına[1] göre toplam nüfusu 256.898'dir. İl, güneyde Batı Torosların uzantısı olan Boncuk, Elmalı ve Katrancık Dağı, doğudan yine Batı Torosların uzantısı olan Kuyucak ve Dedegöl Dağı, kuzeyden Budur Gölü ve Karakuş Dağı, batıdan Acı Göl ve Eseler Dağları gibi doğal sınırlarla çevrilmiştir. Tarihi doku ve doğal güzellikleri bakımından zengin olan Burdur ili, mevcut Deprem Bölgeleri Haritası'na göre I ve II dereceden deprem bölgelerini içermektedir.(Şekil 1)



Şekil 1. Burdur İli deprem bölgeleri haritası [11]

Günümüzde gelişen teknoloji sayesinde depremlerle ilgili verilerin sayıları ve güvenilirliği artmıştır. Elde edilen farklı disiplinlerdeki verilerin coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak entegre edilmesiyle daha güvenilir sonuçlar elde etme olanağı sağlamıştır. Bu kapsamda Burdur İlinin olasılıksal yöntemlerle sismik tehlikesinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Belirli bir sahada oluşabilecek sismik aktivite büyüklüğünün önceden kestirimi için sismik aktivite üretmesi muhtemel tüm kaynaklar belirlenmeli ve analizler yapılarak gelecekteki deprem oluşturma potansiyali değerlendirilmez. Bu alanda ilk olarak Cornell (1968)[2] tarafından geliştirilen istatistikler, sismik tehlikenin belirlenmesine temel oluşturan yöntemlerdir. Olasılıksal sismik tehlike analizi (OSTA), incelenen bölgeyi etkileyebilecek tüm deprem kaynaklarını dikkate almakla beraber her bir tasarım/senaryo depremi için yıllık aşılma ihtimalleri dikkate bulundurularak istenilen zaman diliminde istenilen aşılma olasılığına göre hesaplamalar yapılabilmektedir[3]. Hasar ve can kaybına neden olabilecek depremlerin oluşma ihtimalini veren OSTA'nın hesaplama adımları şöyle sıralanabilir:

1. İnceleme alanında meydana gelmiş depremlerin derlenmesi ve deprem katalogunun oluşturulması,
2. Depremler arasından öncü ve artçı depremlerin ayıklanması,
3. Sismik kaynakların belirlenmesi ve deprem kaynak zonlarının oluşturulması,
4. Deprem kaynak zonlarının tekerrür ilişkilerinin bulunması,
5. İnceleme alanına uygun deprem azalım ilişkilerinin belirlenmesi,
6. Uygun bir programla deprem tehlikesinin modellenmesi.

### 2.1. Deprem Kataloğunun Oluşturulması

Deprem katalogları; dünya üzerinde meydana gelmiş depremleri istenilen bölgesel sınırlar içerisinde oluş tarihlerine göre sıralayan ve her bir depremin büyüklüğü, derinliği ve oluş yeri gibi bilgileri içeren veri tabanlarıdır. Bölgenin depremselliğini tam olarak ifade edebilmek için aletsel dönem verilerinin yanında tarihi deprem verileri ve deprem verisi bulunmayan dönemler için de yapay deprem verileri üretilerek bölgenin deprem kataloğu oluşturulur.

### 2.2. Depremler Arasından Artçı ve Öncü Depremlerin Ayıklanması

Artçı ve öncü depremlerin belirlenmesinde birçok deneye dayalı formül mevcuttur. Homojenliği yakalamak amacıyla ülkemizdeki veriler kullanılarak elde edilmiş Tablo 1'de gösterilen zaman ve uzaklık pencereleri kullanılmasına karar verilmiştir. Ara değerler zaman için doğrusal, uzaklık için log-doğrusal interpolasyonu ile elde edilmiştir [4].

**Tablo 1.** Zaman-uzaklık pencereleri [4]

Magnitüd	Uzaklık (km)	Zaman (gün)
4.5	35.5	42
5	44.5	83
5.5	52.5	155
6	63	290
6.5	79.4	510
7	100	790
7.5	125.9	1326
8	151.4	2471

### 2.3. Sismik Kaynakların Belirlenmesi ve Kaynak Zonlarının Oluşturulması

Bölge için hazırlanan deprem kataloğu ile birlikte bölgenin diğer değerkenleri olan sismik yapılar ve jeolojik veriler dikkate alınarak deprem kaynakları oluşturulmalıdır. Bölgesel probabilistik deprem tehlikesinin belirlenmesinde karşılaşılan en önemli problemlerden biri deprem kaynak bölgelerinin belirlenmesidir.

Deprem kaynak bölgelerinin belirlenmesinde prensip olarak:

1. Kaynak bölgeleri sismik özellikleri mümkün olduğunca homojen sahalar şeklinde tanımlanmalı,

2. Farklı sismik potansiyeye sahip kaynak bölgeleri arasındaki sınır, daha aktif olanına yakın bir şekilde belirlenmeli,
3. İstatistiksel olarak yeterli sayıda güvenilir depremlerin bulunduğu bölgelerde, sınırlar, tektonik verilerle desteklenerek, sismik veriler esasına göre belirlenmelidir [5].

Deprem kaynak belgelendirilmesinde diğer önemli bir konuyu ise deprem kaynaklarının etkileme alanının belirlenmesidir. Etkilenme alanının belirlenmesinde alanın büyüklüğü konusunda yerleşmiş kesin bir sınır uzaklıklar bulunmamaktadır. Genel kabul olarak, inceleme alanı, merkezinde inşaat sahası olan ve daire çapı 100 km olan alandır ve bu alan içinde kalan deprem kaynakları üzerinden sismik tehlike analizleri yapılır. Bu dairenin çapının seçiminde yapı veya tesisin kullanım amacı, önem katsayısı ve yapı veya tesisten istenilen performans gibi kriterlerin yanında inşaat sahası etrafındaki fayların uzunluğu, aralığı, mekanizmaları, seçilen alana mesafeleri, fayların aktiflik dereceleri, yaratabilecekleri en büyük deprem magnitudü, seçilen yer hareketi parametresinin dikkate alınması öngörülen en küçük değeri, kullanılacak olan zemin hareketi parametresindeki mesafeye bağlı azalım oranı ve azalım ilişkisi gibi değişik birçok faktöre bağlıdır.

#### 2.4. Deprem Kaynak Bölgelerinin Tekerrür İlişkilerinin Bulunması

Kaynak zonunun üreteceği deprem büyüklüğünün zamanla ilişkisini, Gutenberg ve Richter [6] tarafından Güney Kaliforniya depremlerine ait veriler kullanılarak geliştirilmiş olan ampirik yinelenme ilişkisiyle hesaplanır. Bu ilişki de magnitudün fonksiyonu olarak depremlerin oluş frekansı incelendiğinde, genellikle doğrusal bir ilişki izlediği görülür ve bu ilişki

$$\log N(M) = a - b.M \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $N(M)$ , verilen bir bölge ve belirli süre için, büyüklüğü  $M$ 'ye eşit veya daha büyük olan depremlerin sayısını,  $M$  ise magnitudü göstermektedir. Magnitud-frekans bağıntılarının hesaplanmasında normal ve birikimli frekanslar arasında ayırım yapmak gerekir.

#### 2.5. İnceleme Alanına Uygun Deprem Azalım İlişkilerinin Belirlenmesi

Azalım ilişkisi yer hareketlerinin mekân-uzaklık ilişkisinin modellenerek ampirik olarak hesaplanmasıdır. Bir deprem sırasında kaynaktan oluşan zemin titreşimleri, depremin merkezinden çevreye yayılarak ilerler ve bu yayılan bu titreşimlerin etkileri zemin koşullarına bağlı olarak odaktan uzaklaştıkça genellikle azalacaktır. Bu azalma veya artma azalım ilişkileri bağıntıları kullanılarak hesaba katılmaktadır. Genel olarak azalım ilişkileri; deprem magnitudüne, inceleme alanının kaynağa olan uzaklığına, kaynak karakteristiğine ve inceleme alanının zemin koşullarına bağlı olarak değişen yer hareketlerinin (yer değiştirme, hız, ivme vb. farklı parametrelerinin) deneysel olarak kestirimidir. Azalım ilişkileri kullanılarak yer hareketlerinin kestiriminde bulunabilmesi için gerek duyulan genel parametreler; deprem magnitudü (büyüklüğü), deprem karakteristiği (fay türü), deprem kaynağı ile inceleme alanı arasındaki en kısa mesafe ( $R$ ) ve inceleme alanının doğal zemin yapısıdır [5, 7].

#### 2.5. Deprem Tehlikesinin Modellenmesi

Deprem tehlikesi analizindeki amaç, eskiden olmuş deprem olaylarına ait farklı disiplinlerdeki verileri, istatistiksel olarak sistematik bir şekilde birleştirerek belirli konumdaki inşaat sahasında ileride beklenebilecek depremsel etkinlik için belirli olasılık değerlerini saptayabilmektir [8]. Analizler sonucunda en büyük yer ivmesi değeri veya herhangi bir periyoda karşılık gelen spektral ivme değerleri elde edilebilmektedir. Bunun yaygın olarak kullanan iki model vardır. Depremlerin bağımsızlık, düzenlilik ve kararlılık şartının olması gereken Poisson homojen modeli ve Gumbel uç değer olasılık dağılımı modelidir

### 3. Bulgular

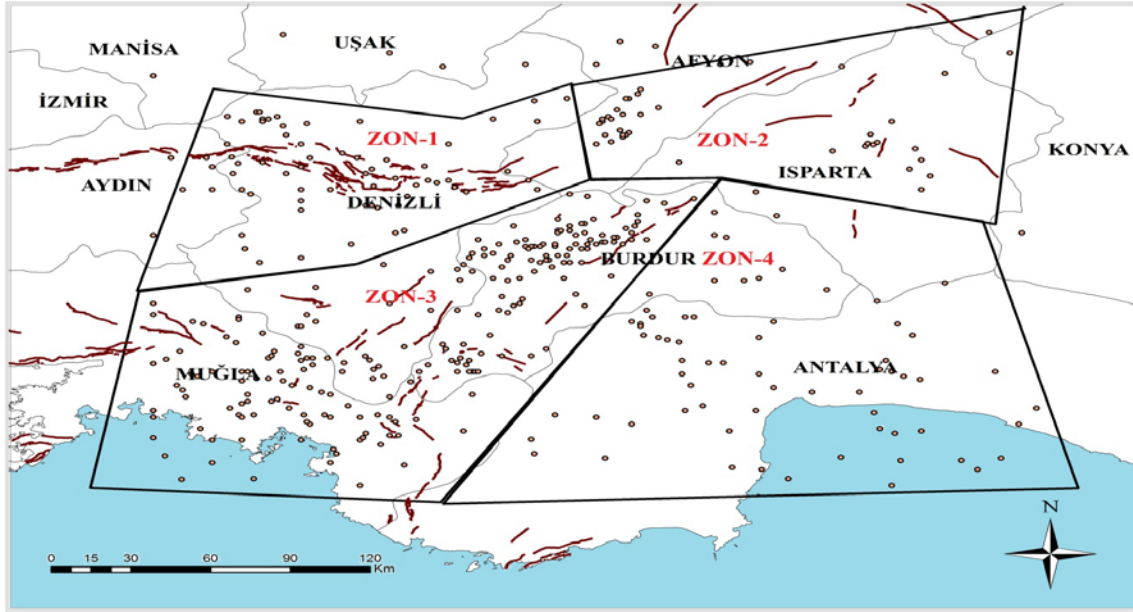
Çalışmamızda ulusal deprem kataloğu kullanılarak bölgenin depremselliğini nesnel olarak elde edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için: 01.01.1900-09.02.2015 tarihleri arası UDİM, (Ulusal Deprem İzleme Merkezi, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü.) kataloğundan [9] yararlanılmıştır.

Sismik risk çalışma alanı ve çevresine bağlı olduğu için araştırmamızda 36.50-38.50 K ve 28.50-31.50 D ile sınırları içerisindeki depremler hesaba katılmıştır. Çalışmada deprem büyüklüğü olarak moment magnitudü seçilmiş ve en küçük deprem 4.0 olarak belirlenmiştir. Farklı deprem istasyon merkezlerinin farklı ölçeklerde sundukları deprem

magnitüdlerinin  $M_w$  ölçeğine çevrilmesi için ortogonal regresyon yöntemi ile ülke çapında meydana gelen depremlerin analizi sonucu elde edilen aşağıdaki çevirim bağıntıları [10] kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} M_w &= 2,25 * M_b - ave - 6,14 \\ M_w &= 1,27 * M_d - ave - 1,12 \\ M_w &= 1,57 * M_l - ave - 2,66 \\ M_w &= 0,54 * M_s - ave + 2,81 \end{aligned} \quad (2)$$

Magnitüt çevrim bağıntıları ve zaman-uzaklık penceresi kullanılarak elde edilen veriler ile bölgenin fay sistemi verilerinin birleştirilmesi ile kaynak bölgeleri belirlenir. Çalışma alanının deprem kaynak bölgeleri belirlenirken Maden Teknik Arama [11] kurumunun yenilenmiş diri fay haritaları ve ayrıca Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar ve Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü Kıyı Yapıları, Demiryolları Ve Havameydanları İnşaatları Deprem Teknik Yönetmeliği İçin Deprem Tehlikesi Belirlemesi (2006)[12] yönelik yapılmış deprem kaynak bölgeleri temel alınarak çalışma alanını etkileyecek kaynak zonları Şekil 2 deki gibi oluşturulmuştur.

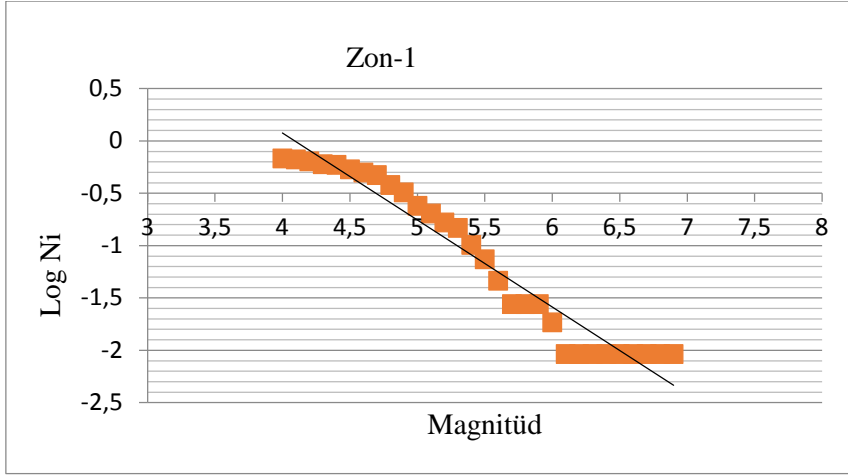


Şekil 2. Burdur İli deprem bölgeleri haritası

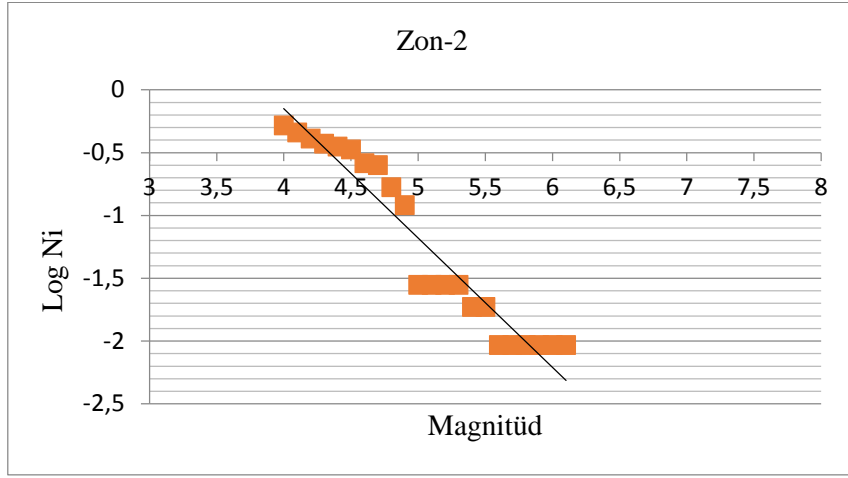
Deprem kaynak özelliklerinin belirlenmesi yani kaynağın noktasal, alansal veya hacimsel özellikte olduğu belirlendikten sonra o kaynak üzerindeki depremlerin dağılımı, her kaynaktaki deprem büyüklüğünün zamana göre ilişkisinin belirlenmesine gereksinim duyulmaktadır. Formül birde veriler en küçük kareler metodu kullanılarak analiz edildi ve her bir zonun deprem tekerrür ilişkisi hesaplanmıştır. Tablo 2'deki zonların depremsellik parametreleri elde edilmiştir. Zonların tekerrür eğrileri Grafik 1 ila Grafik 4 arasında gösterilmiştir.

Tablo 2. Sismik kaynak bölgelerinin depremsellik parametreleri

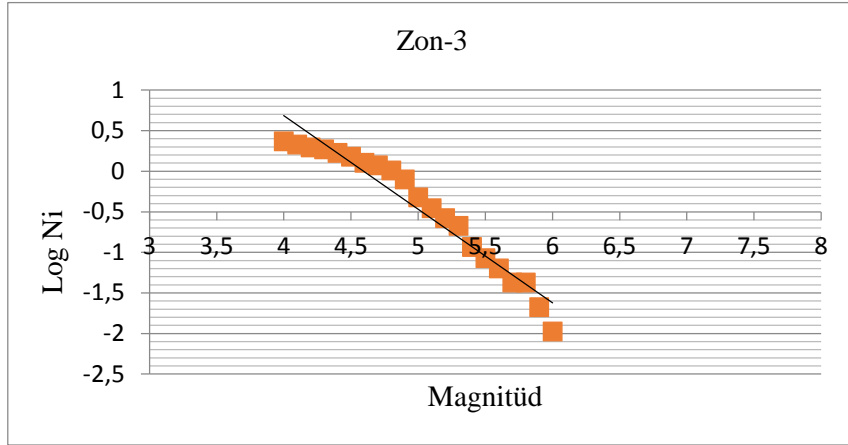
Kaynak Adı	İlgili Diri Faylar	Mekanizma	a	b
Zon - 1	Menderes Fayı	Normal	3.5	0.8
Zon - 2	Tatarlı ve Arızlı Fayı	Normal	4.0	1.0
Zon - 3	Fethiye-Burdur Fayı	Normal Bileşenli Sol Yanal Atımlı	5.0	1.0
Zon - 4			2,1	0,6



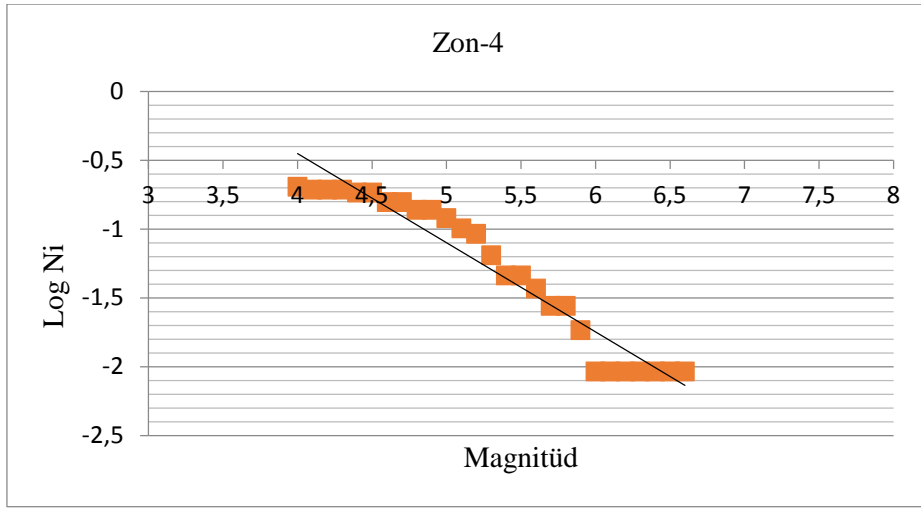
**Grafik 1.** Zon-1 bölgesinin magnitüd-tekerrür ilşkisi



**Grafik 2.** Zon-2 bölgesinin magnitüd-tekerrür ilşkisi



**Grafik 3.** Zon-3 bölgesinin magnitüd-tekerrür ilşkisi

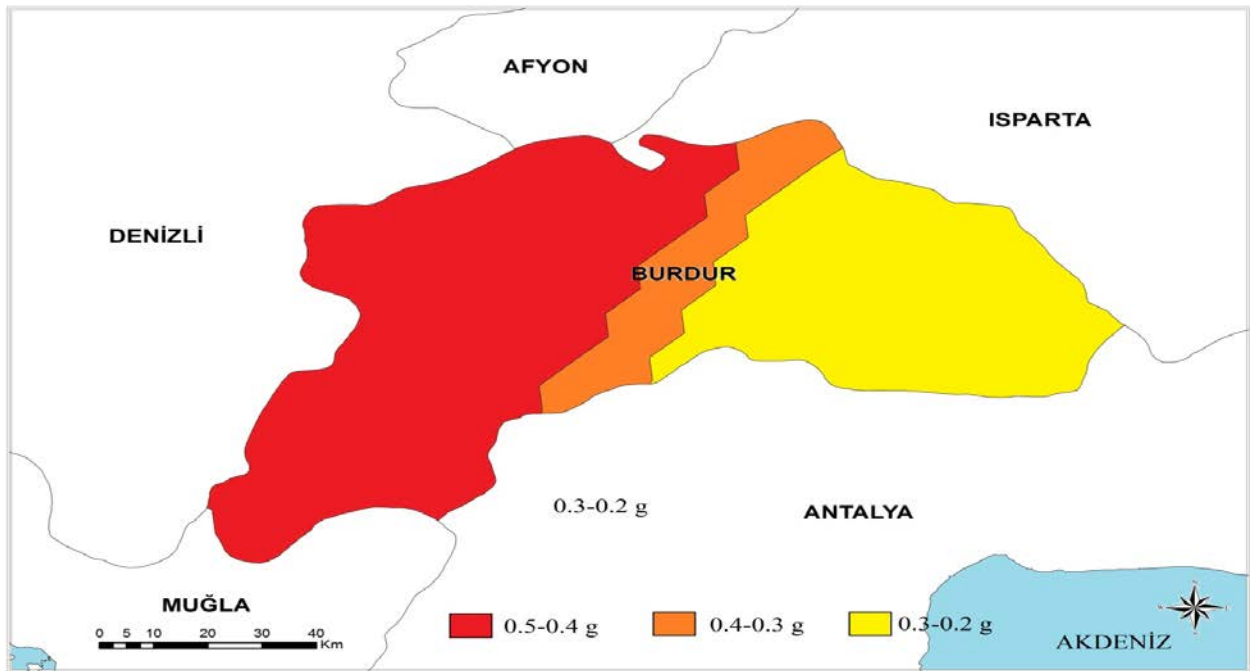


**Grafik 4.** Zon-4 bölgesinin magnitüd-tekerrür ilişkisi

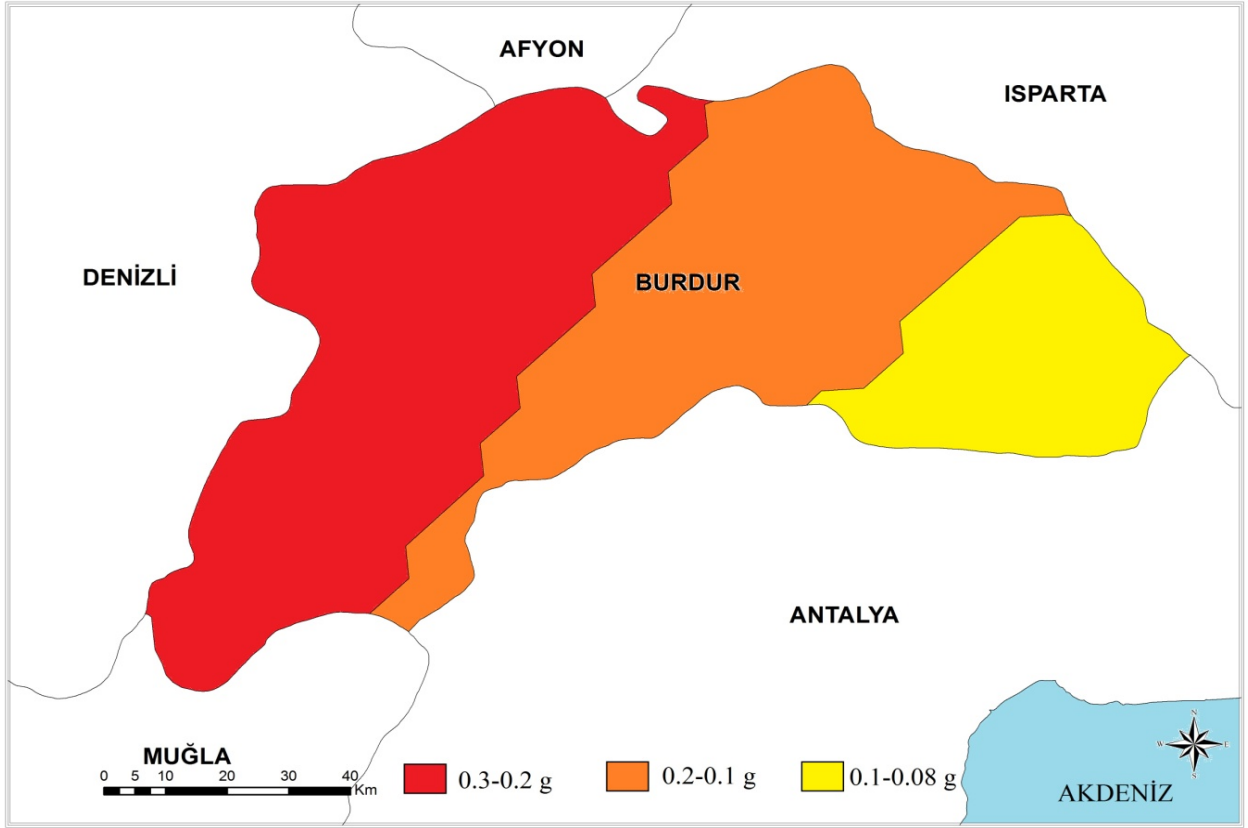
İnceleme alanına uygun azalım ilişkisi belirlenirken Türkiye ve uluslar arası alanda geçerliliğe sahip Boore ve diğ. (1997) [13], Campbell ve diğ.(1997)[14], Sadıgh ve diğ.(1997)[15] azalım ilişkileri kullanılmıştır. OSTA'nın önemli hesap adımlarından bir diğeri olan bu adımda depremlerin azalım ilişkileri inceleme alanının zemin özelliklerine göre belirlenmek zorundadır. Ancak inceleme alanının zemin özelliklerinin belirlenmesi ayrı bir konu olduğundan çalışmada NERHM B/C sınırına göre katsayılar alınarak hesaplamalar yapılmıştır.

Deprem tehlikesinin modellenmesinde ülkemizde Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY, 2005) [16]tasarıma esas deprem hareketi, aşılma olasılığı 50 yıllık süre için %10 olan yer hareketi olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada 50 yıllık süre için %10 ve %40 aşılma olasılıklarına göre zemin pik ivme ve kısa ve 1 sn periyottaki spektral ivme değerleri hesaplanmıştır.50 yıllık bir yapı ömrü içerisinde, % 10 aşılma ihtimali olan bir deprem 475 yıllık bir periyotta ve %40 aşılma ihtimali olan bir deprem 98 yıllık bir periyotta meydana gelmektedir.

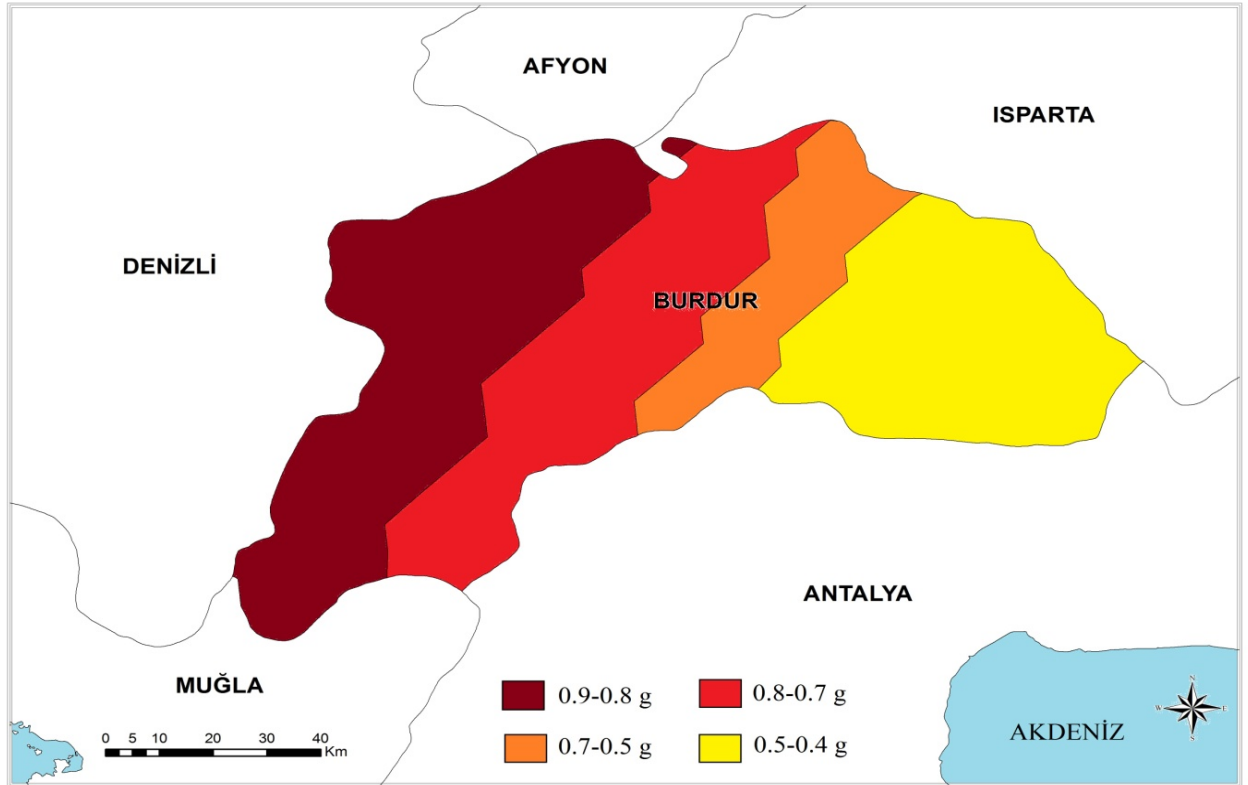
Çalışma alanının sismik tehlike analizinin yapılmasında SEISRISK III (Bender vd., 1987) [17] programı kullanılmıştır. Pik ivme değerleri için Campbell ve diğ.(1997)[14], Sadıgh ve diğ.(1997)[15] azalım ilişkilerinin ortalamaları kullanılmıştır. Kısa ve 1 sn periyotlu spektral ivme değerleri için kullanılan üç azalım ilişkisinin ortalaması kullanılmıştır. Hesaplanan zemin ivme haritaları Şekil 3-8'de sunulmuştur.



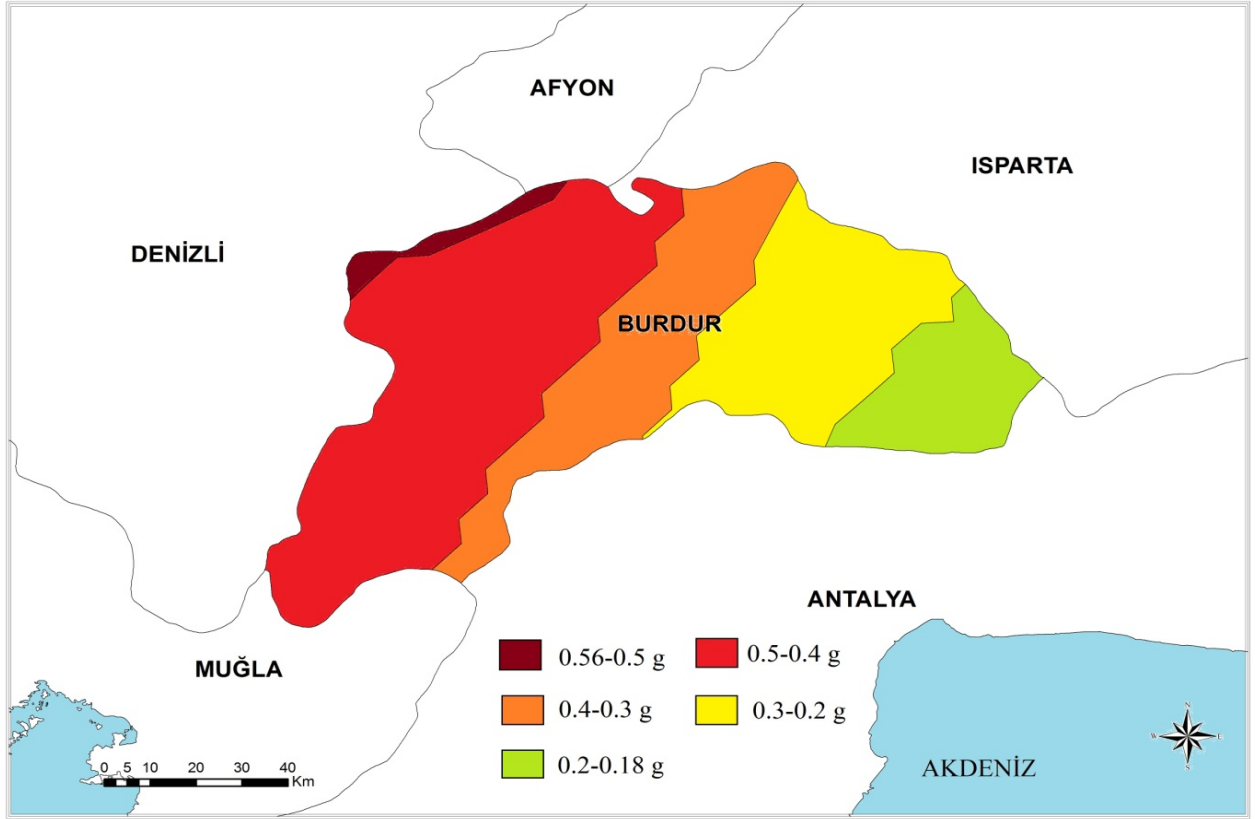
**Şekil 3.** Burdur ilinin %10 aşılma ihtimali pik ivme haritası



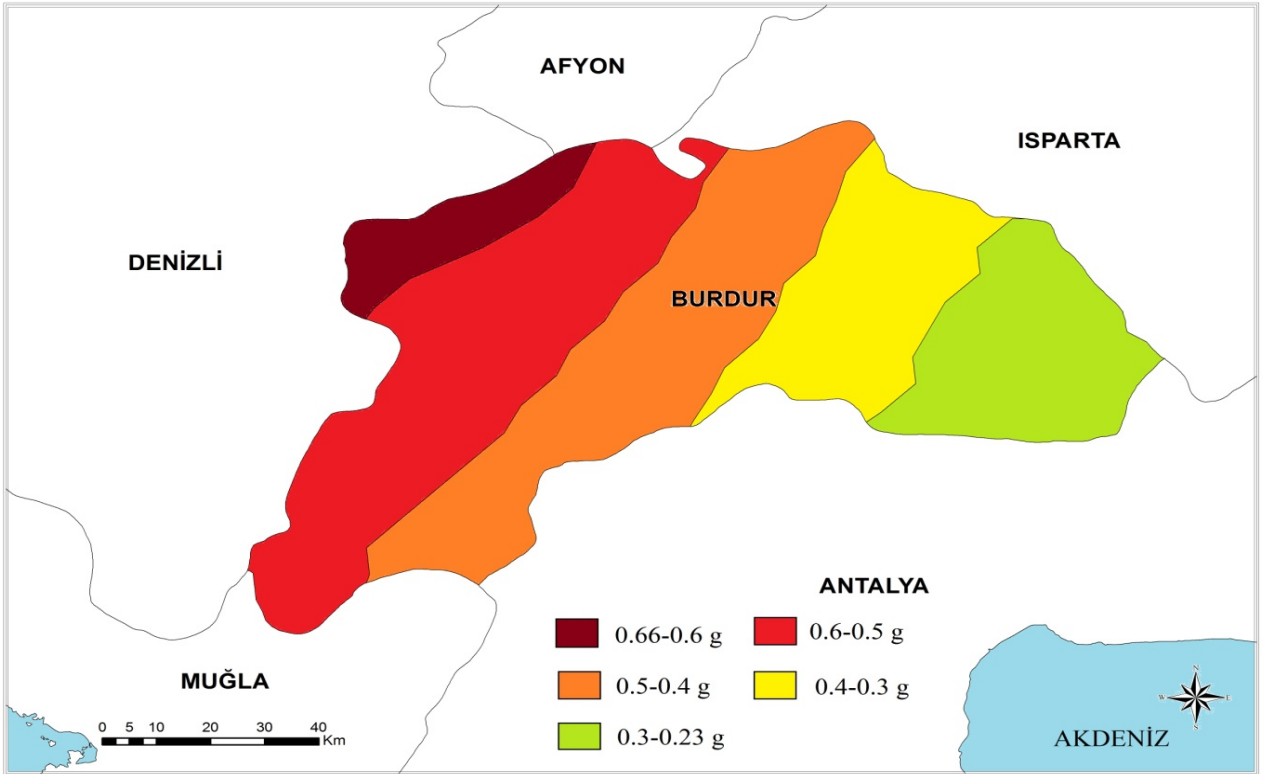
Şekil 4. Burdur ilinin %40 aşılma ihtimalli pik ivme haritası



Şekil 5. Burdur ilinin %10 aşılma ihtimalli kısa periyotlu (T=0.2 sn) spektral ivme haritası

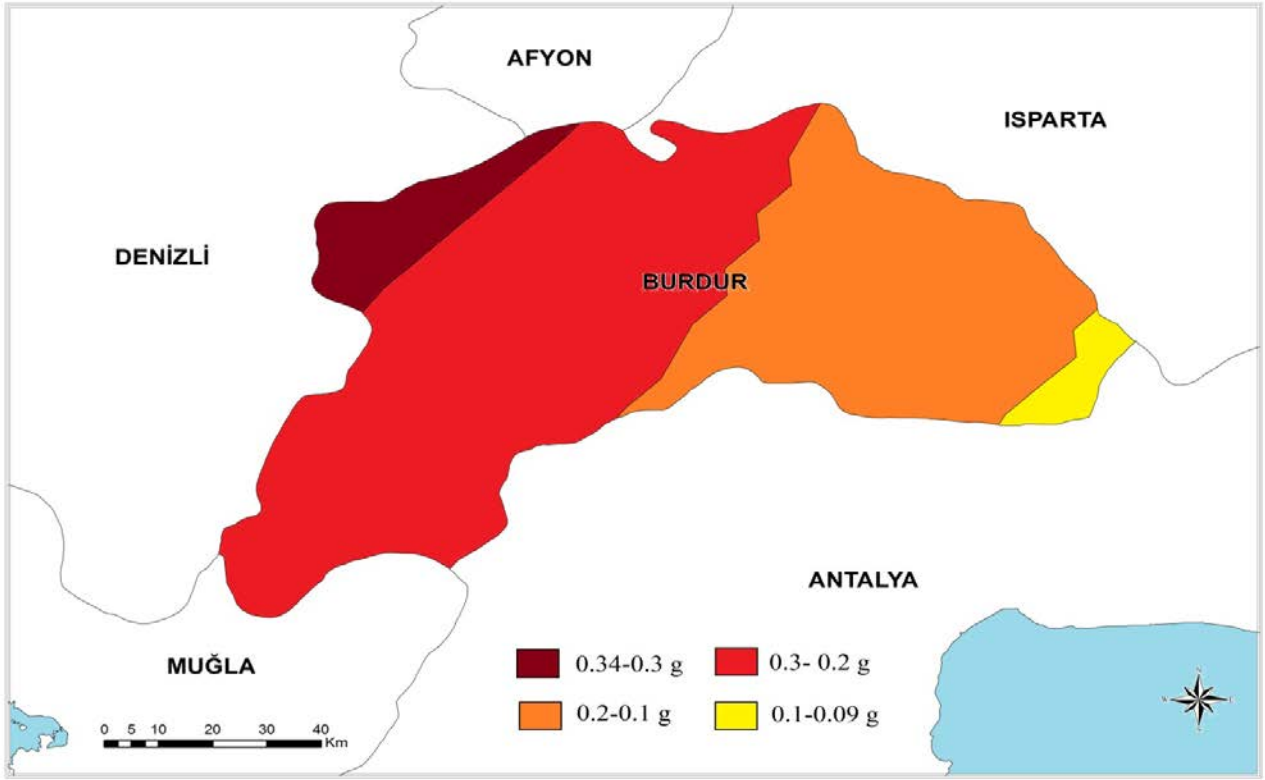


Şekil 6. Burdur ilinin %40 aşılma ihtimali kısa periyotlu( $T=0.2$  sn) spektral ivme haritası



Şekil 7. Burdur ilinin %10 aşılma ihtimali 1 sn periyotlu spektral ivme haritası





Şekil 8. Burdur ilinin %40 aşılma ihtimali 1 sn periyotlu spektral ivme haritası

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Üç farklı azalım ilişkisi kullanılarak hesaplanan ve 475 yıllık ve 98 yıllık tekerrür süresine karşılık gelen ivme değerlerine göre Yeşilova, Karamanlı, Tefenni, Gölhisar, Altınyayla, Çavdır ilçeleri ve Burdur merkezinin bir kısmı, ilin diğer ilçe ve bölgelerine göre daha büyük deprem tehlikesi altındadır. Hesaplamalarda en büyük değer Yeşilova ilçesinin kuzeybatısında elde edilmiş, ana kaya için hesaplanan en büyük yer ivmesi %10 aşılma ihtimaline göre 0.5 g, %40 aşılma ihtimaline göre 0.3 g olarak, kısa periyotta ( $T=0.2$  sn) spektral ivmesi %10 aşılma için 0.9 g, %40 aşılma için 0.56 g olarak ve 1 sn periyotta spektral ivmesi %10 aşılma için 0.66 g, %40 aşılma olasılığı için 0.34 g olarak bulunmuştur.

#### Kaynakça

- [1] TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu 09.04.2015. <http://www.tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temeliste>
- [2] Cornell, C.A., 1968. Engineering Seismic Risk Analysis, Bulletin of the Seismological Society of America, 58, 1583-1606.
- [3] Chioccarelli, E., Iervolino, I. (2014) "Sensitivity analysis of directivity effects on PSHA" Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, Vol. 55, n. 1, pp. 41-53.
- [4] Deniz, A. ve Yüçemen, M.S., 2005. Antalya Yöresi İçin Deprem Tehlikesinin Stokastik Yöntemler ile Tahmini, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Bildiriler Kitabı, s. 540-551.
- [5] Kramer, S.L., 1996. Geoteknik Deprem Mühendisliği, Kayabalı, K., 1. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara/Türkiye
- [6] Gutenberg, B. and Richter, C.F., 1954. Seismicity of the Earth and Related Phenomena, Second Printed, Princeton University Press, Princeton.
- [7] Canbay, E., Ersoy, U., Özcebe, G., Sucuoğlu, H., Wasti, S.T., 2008. Binalar için Deprem Mühendisliği Temel İlkeler, Bizim Büro Basımevi, Ankara

- [8] Yüçemen, M. S., 2008. Deprem Tehlikesinin Tahmininde Olasılıksal Yöntemler, 14.Bölüm,Binalar için Deprem Mühendisliği Temellikeleri, Bizim Büro Basımevi, Ankara/Türkiye.
- [9] UDİM, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Ulusal Deprem İzleme Merkezi Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul. Alındığı tarih: 30.05.2014, adres: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>
- [10] 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.
- [11] MTA, Maden Tekik ve Arama Genel Müdürlüğü, 09.02.2015. [http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=yeni\\_diri\\_fay\\_haritalari-goruntule](http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=yeni_diri_fay_haritalari-goruntule)
- [12] 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 İçin Deprem Tehlikesi Belirlemesi.
- [13] 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.
- [14] Campbell, K. W., (1997), "Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity and pseudo-absolute acceleration response spectra" Seism, Res. Lett., Vol.68, No.1, 154-179.
- [15] Sadigh, K., Chang, C.Y., Egan, J.A., Makdisi, F. And Youngs, R.R., 1997. Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data, Seismological Research Letters, Vol.68, No.1, pp.180-189.
- [16] Bayındırlık ve İşkân Bakanlığı, 2007. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYBHY), Ankara.
- [17] Bender, B., and D. M. Perkins, (1987) "SEISRISK III: A Computer Program for Seismic Hazad Estimation," USGS Bulletin 1772, U. S. Government Printing Office, Washington, 1987.