



MUĞLA İLİ VE ÇEVRESİ İÇİN DEPREMSELLİK VE SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ

Nazlı Ceyla ANADOLU KILIÇ*¹, Ümit Yalçın KALYONCUOĞLU²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Yalvaç Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Isparta, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Depremsellik,
"b" değeri,
Sismik tehlike analizi,
Probabilistik.*

Özet

Bu çalışmada Batı Anadolu'nun güncel depremselliğine bağlı olarak Muğla ili ve çevresinin depremselliğinin uzaysal dağılımı, maksimum magnitüd " m_{max} " değeri ve yerel tasarım spektrumları belirlenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında uluslararası veri merkezlerinden (International Seismological Centre ve National Earthquake International Centre) elde edilen veriler kullanılarak homojen bir katalog oluşturulmuştur. Depremselliğin ve " m_{max} " değerinin belirlenebilmesi ve haritalanabilmesi için çalışma alanı $0.25^{\circ}K \times 0.25^{\circ}D$ aralıklarla gridlenmiştir. Her bir alt bölge için Gutenberg-Richter bağıntısındaki "b" değeri En Büyük Olasılık ve Kal-Tek yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Ve bölge için $0.8 < b < 0.84$ aralığında değişim gösteren görece düşük "b" değerleri elde edilmiştir. " m_{max} " değeri ise her bir alt bölgede Tate-Pisarenko, Kijko-Sellevoll (Cramer), Kijko-Sellevoll (Kesin), Tate-Pisarenko-Bayes, Kijko-Sellevoll-Bayes yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda bölgede oluşabilecek " m_{max} " değerinin $6.0 \leq Mw \leq 6.5$ aralığında olduğu görülmüştür. Düşük "b" değeri ve yüksek " m_{max} " değeri çalışma alanında geçmişte olduğu gibi gelecekte de yıkıcı depremler olabileceğini göstermektedir. Çalışmanın ikinci ve son aşamasında ise öncelikle deprem üretmesi muhtemel faylar (Karaova-Milas Fayı, Muğla-Yatağan Fayı ve Ula-Ören Fayı) ve bu faylara ait deprem parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen " m_{max} " değerine bağlı olarak yerel tepki spektrumları EZ-FRISK 7.52 programı yardımıyla belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremler için ivme değerleri sırası ile 0.40 g, 3.64 g ve 0.92 g olarak hesaplanmıştır.

SEISMICITY AND SEISMIC HAZARD ANALYSIS FOR MUĞLA CITY AND ITS VICINITY

Keywords

*Seismicity,
"b" value,
Seismic Hazard Analysis,
Probabilistic.*

Abstract

In this study the spatial distribution of seismicity, maximum magnitude value " m_{max} " and local design spectrums for the Muğla city and its vicinity depend on the current seismicity of Western Anatolia were determined. The first part of this study, homogeneous a catalog has been created using data from the international data bases (International Seismological Centre and National Earthquake International Centre). The study area was gridded at $0.25^{\circ}N \times 0.25^{\circ}E$ for the determination and mapping of seismicity and " m_{max} " value. The "b" value in the Gutenberg-Richter relationship was calculated at each, respectively sub-region using conventional methods of Maximum Likelihood and Kal-Tek. A relatively low value of "b" changing in the range of $0.8 < b < 0.84$ was obtained for the region. For each region, the values of " m_{max} " were obtained by Tate-Pisarenko, Kijko-Sellevoll (Cramer), Kijko-Sellevoll (Exact), Tate-Pisarenko-Bayes, Kijko-Sellevoll-Bayes, methods. As a result of calculations it was seen that the value of " m_{max} ", that could occur in the region is between $6.0 \leq Mw \leq 6.5$. Low "b" values and high " m_{max} " values clearly show that destructive earthquakes occurred in the past may likely occur in the future in the study area. In the second and last part of the study, firstly the

* ilgili yazar / Corresponding author: nazlianadolu@sdu.edu.tr; +90-246-2118403

possible earthquake faults (Karaova-Milas Fault, Muğla-Yatağan Fault and Ula-Ören Fault) and the earthquake parameters belonging to these faults were determined. Local design spectrums depending on obtained “ m_{max} ” values was determined by EZ-FRISK 7.52 program Acceleration values for the earthquake which is the 10% probability exceedance in 50 years were calculated as 0.40 g, 3.4 g ve 0.92 g respectively.

Alıntı / Cite

Kılıç, N.C.A., Kalyoncuoğlu, Ü.Y., (2017). Muğla İli ve Çevresi İçin Depremsellik ve Sismik Tehlike Analizi, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 5(3), 507-524.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

Nazlı Ceyla ANADOLU KILIÇ / 0000-0002-8769-3510

Ümit Yalçın KALYONCUOĞLU / 0000-0002-8745-5598

Başvuru Tarihi / Submission Date	02.11.2017
Revizyon Tarihi / Revision Date	14.11.2017
Kabul Tarihi / Accepted Date	21.11.2017
Yayın Tarihi / Published Date	18.12.2017

1. Giriş

Dünyanın sayılı deprem kuşaklarından biri üzerinde bulunan ülkemiz topraklarının geçmişte olduğu gibi gelecekte de büyük depremlere ev sahipliği yapacağı kaçınılmaz ve bilinen bir gerçektir. Bu nedenle deprem ile birlikte yaşamaya alışılmalı ve deprem zararlarının azaltılması çalışmalarına önem verilmelidir. Deprem zararlarının azaltılması yönünde yapılacak çalışmaların temelinde ise deprem tehlikesi ve deprem riski kavramlarının doğru tanımlanması ve elde edilen verilere göre deprem sonrası alınacak önlemlerin planlanmasını içeren çalışmalar yer almaktadır. Literatürde farklı ülkeler tarafından kullanılan deprem hasarlarını azaltıcı planlar (National Earthquake Hazards Reduction Program-NEHRP, California Earthquake Loss Reduction Plan-CELRP vb.) incelendiğinde de özellikle yerbilimleri ile ilgili araştırmaların bu planların temelini oluşturduğu görülmektedir.

Deprem tehlikesi; hasar ve can kaybı yaratabilecek büyüklükteki bir depremden kaynaklanan yer hareketinin belirli bir yerde ve belirli bir zaman periyodu içerisinde belirlenmesi olarak tanımlanır. Deprem riski ise; deprem nedeni ile meydana gelebilecek hasar, mal ve can kaybı ihtimali olarak tanımlanır (Erdik vd. 2000). Bu tanımlara dayanarak deprem tehlikesi ile deprem riski arasındaki ilişkiyi “Risk=Tehlike x Hasar görülebilirlik” olarak ifade etmek mümkündür.

Her ne kadar bir depremin oluşumunu önceden tanımlamak mümkün olmasa da sistemli ve birbirini tamamlayan nitelikteki yerbilim çalışmalarından elde edilecek veriler sayesinde belirli bir bölgeye ait deprem tehlikesinin ve riskinin tanımlanması mümkün olabilmektedir. Bu çalışmada ise ülke nüfusunun, sanayi tesislerinin ve turistik öneme sahip alanların önemli bir bölümüne ev sahipliği yapan yoğun deprem geçmişine sahip Batı

Anadolu'nun sınırları içerisinde yer alan Muğla ili ve çevresi çalışma alanı olarak ele alınmıştır.

Batı Anadolu'nun özellikle de kıyı şeridinin ülkemiz depremselliği üzerinde önemli bir role sahip olduğu bilinen bir gerçektir. Bu nedenle bu bölgede geçmişten günümüze çeşitli araştırmacılar tarafından birbirinden farklı yöntemler kullanılarak incelemeler yapılmıştır. Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü ile çeşitli kurumlar arasında yapılan işbirliği sonucunda oluşturulan Mavi Ağ Projesi ile 2004 yılından itibaren Muğla Bölgesi'nin deprem aktivitesi ve deprem üreten kaynakların fiziksel özellikleri incelenmeye başlanmıştır (Kalafat vd., 2005). Güllal vd. (2011) tarafından Güneybatı Anadolu Bölgesi'ndeki blok hareketleri ve gerilim alanlarının GNSS ölçümleri ile belirlenmesi amacıyla yapılan TÜBİTAK projesi sonuçlarına göre yerel bağlı hızlardaki ve gerilme alanlarındaki farklılıkların bölgede oldukça etkin olan karmaşık tektonik fazların oluşmasında önemli rol oynadığı görülmüştür. Bu nedenle çalışma alanı içerisindeki bölgesel ölçekte levha etkileşimlerinin detaylı bir şekilde incelenmesi gerektiği belirtilmiştir. Muğla Bölgesi'nin sismik aktivitesi ve yapay sarsıntıları ile ilgili olarak yapılan bir diğer çalışma sonucunda ise Ege Graben sistemi içerisinde yer alan Muğla Bölgesi'nin hem tarihsel hem de aletsel dönemde yıkıcı depremlere maruz kaldığı ve de Gökova Körfezi içerisindeki sismik çizgiselliğin dikkat çekici olduğu belirtilmiştir (Kartal vd., 2014).

Batı Anadolu'nun güncel depremselliğine bağlı olarak söz konusu çalışma alanının deprem tehlikesi ve riskinin tanımlanması için kullanılacak veriler 2 aşamalı bir çalışma ile ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasını depremsellik çalışmaları oluşturmaktadır. Bunun için öncelikle geçmişten günümüze kadar geçen sürede bölgede meydana gelen depremlerin zaman ve uzaya bağlı değişimleri

incelenmiş ve daha sonra çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen, birbirinden farklı istatistiksel yöntemler kullanılarak bölgeye ait depremsellik parametreleri belirlenmiştir.

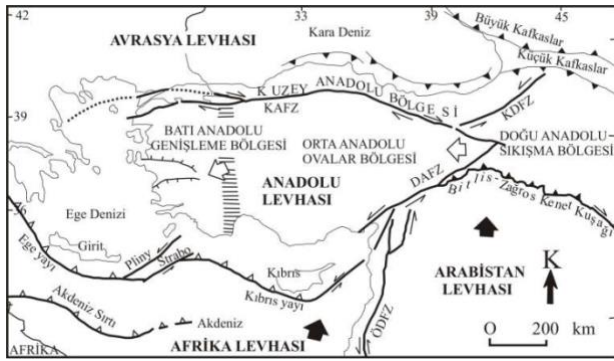
Bölgeye ait depremselliğin ve depremsellik parametrelerinin belirlenmesinden sonra ise bölgenin aktif tektonik durumuna uygun olarak belirlenen parametrik değerler, çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen birbirinden farklı azalım ilişkilerine göre değerlendirilmiştir. Böylece Muğla ili ve çevresinin olası bir depremden ne ölçüde etkileneceği belirlenmeye çalışılmış ve yine il merkezi için kullanılabilir yerel tasarım ivme spektrumları belirlenmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma ile ulaşılmak istenen amaç, deprem aktivitesinin son derece yoğun olduğu çalışma alanı içerisinde gerçekleşmesi muhtemel depremlerin zararlarının azaltılması için yapılacak olan çalışmalara altlık oluşturacak bulguların toparlanmasıdır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Muğla ili ve çevresinin tektonik yapısı ve depremselliği

Ülkemiz topraklarının da üzerinde yer aldığı ve Dünya'da en önemli deprem kuşaklarından birisi olarak kabul edilen Alp-Himalaya Deprem Kuşağı, Afrika/Arabistan ve Hindistan Levhalarının kuzeye doğru hareket etmeleri ve Avrasya Levhası ile çarpışmaları sonucu oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Türkiye'nin neotektonik dönemini şekillendiren ana yapılar ve bölgeler (KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu, ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu, KDFZ: Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu; Oklar hareketin yönünü göstermektedir.) (Şengör, 1980; Eren, 2009'dan değiştirilerek düzenlenmiştir.)

Bu jeolojik sürecin Doğu Akdeniz bölümünde Anadolu-Ege bloğu saatin tersi yönünde bir dönme hareketi ile Girit merkezli Ege yayına doğru kaçmaktadır (Ambraseys, 1975; Şengör vd., 1985; Ambraseys ve Jackson, 1998). Tanımlanan bu yanal kaçış hareketinin kuzey sınırını Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), güney sınırını ise doğuda Doğu Anadolu

Fay Zonu (DAFZ), Güney Anadolu'da ise Kıbrıs ve Ege Yayları oluşturmaktadır. Bu oluşumlar sonucunda Anadolu yarımadasının doğusunda sıkışma (Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi) batısında ise genişleme (Batı Anadolu Genişleme Bölgesi) rejiminin hakim olduğu oldukça karmaşık bir sistem meydana gelmiştir.

Muğla ve çevresi de bu karmaşık tektonizma içerisinde yer alan ve sismik açıdan dünyanın en aktif bölgelerinden biri olarak kabul edilen Batı Anadolu sınırları içerisinde yer almaktadır. Gerek konumu gerekse sahip olduğu aktif fay sistemlerine bağlı olarak Muğla ve çevresinin geçmişten günümüze çok sayıda depreme ev sahipliği yaptığı görülmektedir. MÖ 227, MÖ 199-198, 142-144, 155, 1493, 1741, 1851, 1863 ve 1869 depremlerini tarihsel dönem içerisinde bölgede meydana gelen bilinen önemli depremler arasında saymak mümkündür (Ergin vd., 1967; Soysal vd., 1981; Kartal vd., 2014; koeri.boun.edu.tr). Bu depremlerin incelenmesi sonucunda ise tarihsel dönemde deprem aktivitesinin özellikle Rodos, Muğla ve Fethiye Körfezi açıklarında yoğunlaştığı görülmektedir. Aletsel dönemde bölgede meydana gelen önemli depremleri ise 23 Mayıs 1941 Muğla (Ms=6.0), 13 Aralık 1941 Muğla (Ms=5.7), 24 ve 25 Nisan 1957 Fethiye-Rodos (Ms=6.8-Ms=7.1), 25 Nisan 1959 Köyceğiz (Ms=5.9), 23 Mayıs 1961 Fethiye-Rodos (Ms=6.3), 14 Ocak 1969 Fethiye (Ms=6.2) ve 10 Haziran 2012 Fethiye Körfezi (Mw=6.1) depremleri olarak sıralamak mümkündür. Aletsel dönem aktivitesinin incelenmesi sonucunda tıpkı tarihsel dönemde olduğu gibi Fethiye Körfezi ve açıklarının yoğun bir sismik aktiviteye maruz kaldığı görülmektedir.

2.2. Yöntem

2.2.1. Depremsellik ve depremsellik parametrelerinin belirlenmesi

Çalışma alanının depremselliğinin ve depremsellik parametrelerinin belirlenebilmesi için tarihsel ve aletsel dönem deprem ekinliklerinin net bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Bunun için de çalışma alanı içerisinde meydana gelen depremlerin zaman ve uzay içerisindeki dağılımını tanımlayan homojen ve belirli bir standartta hazırlanan deprem kataloglarına gereksinim vardır. Bu katalogların belirli standartlara uygun şekilde hazırlanıp homojen hale getirilmesi için de birtakım kurallara dikkat edilmelidir. Bu kuralları da;

- ✓ Depremlerin magnitüd hatalarından kaçınılabilmesi için mümkün olan en büyük zaman aralığı seçilmesi (Papazachos, 1974; Kijko ve Sellevol, 1989, 1992; Manakou ve Tsapanos, 2000).
- ✓ Seçilen zaman aralığı içerisinde kayıtlı olmayan yıl sayısının toplam yıl sayısının

%25'inden az olması (Burton, 1979; Papazachos, 1999).

- ✓ Günümüz teknolojisi ile kıyaslandığında tarihsel depremlerin büyük oranda magnitüd ve lokasyon hatası taşıdığı görülmektedir. Bu nedenle mümkün olduğunca tarihsel depremlerden kaçınılmalıdır. Ancak yapılan çalışma için tarihsel deprem verisi kullanılması gerekli ise seçilen zaman aralığı içerisinde kayıtlı olmayan yıl sayısının toplam yıl sayısının %25'inden az olması dikkate alınarak lokasyon hatasının 25 km'den az ve magnitüd hatasının ise 0.3'den küçük olması gerekliliği (Papazachos, 1999; Papazachos ve Papazachou, 1997; Kijko ve Sellevol, 1989, 1992).
- ✓ Deprem kataloglarında oluşmuş depremlerin magnitüdü farklı magnitüd ölçeklerinde (M_b , M_s , M_l , M_d , vb.) verilmektedir. Ancak yapılan depremsellik çalışmalarının bir bütünlük sağlaması amacıyla tüm depremlerin aynı magnitüd ölçeğinde olması ya da seçilecek magnitüd ölçeğine dönüştürülmesi
- ✓ Çalışmada kullanılacak deprem katalogunun bir alt magnitüd sınırına göre (M_c) tamamlanması

şeklinde sıralamak mümkündür.

Yapılan bu çalışmada deprem istatistiği için gerekli olan temel parametreler MATLAB tabanlı ZMAP 6.0 (Wiemer, 2001) paket programı kullanılarak elde edilmiştir. Yapılacak olan bu düzeltmelerden sonra çalışma alanı ile ilgili depremsellik ve depremsellik parametrelerinin belirlenmesinde kullanılacak deprem verilerinin lokasyon, derinlik ve magnitüd açısından doğru, homojen, alt sınıra göre tamamlanmış aynı magnitüd skalasında ve düzgün bir zaman aralığına göre seçilmiş bir katalog elde edilmiş olacaktır.

Yapılan bu çalışmada Muğla ili ve çevresine ait depremsellik ve depremsellik parametreleri Batı Anadolu'nun ($35.00^\circ-42.00^\circ K$ ve $26.00^\circ-32.00^\circ D$) güncel depremselliğine bağlı olarak belirlenmiştir. Bunun için de uluslararası veri merkezlerinden (International Seismological Centre-ISC ve National Earthquake International Centre-NEIC) elde edilen veriler kullanılmıştır. İlk olarak 1964-2015 yılları arasında bölgede meydana gelmiş olan cisim dalgası magnitüdü (M_b) $M \geq 3.5$ ve yüzey dalgası magnitüdü (M_s) $M \geq 3.0$ olan depremler ISC kataloglarından ve 1973-015 yılları arasında meydana gelmiş cisim dalgası magnitüdü (M_b) $M \geq 3.5$ ve yüzey dalgası magnitüdü (M_s) $M \geq 3.0$ olan depremler NEIC kataloglarından seçilerek tanımlanan kurallara bağlı olarak çalışmada kullanılacak yeni katalog elde edilmiştir. Oluşturulan bu yeni katalog homojen hale getirilirken Scordilis (2006) tarafından oluşturulan ampirik bağıntılar kullanılmıştır.

$$M_{s,ISC} = \frac{M_{s,NEIC} - 0.05(\pm 0.02)}{(0.99)(\pm 0.003)} \quad (1)$$

$$M_{b,ISC} = 1.02(\pm 0.003)M_{b,NEIC} - 0.18(\pm 0.01) \quad (2)$$

$$2.5 \leq M_{b,NEIC} \leq 7.3 \quad (2)$$

$$M_w = 0.67(\pm 0.005)M_s + 2.07(\pm 0.03) \quad (3)$$

$$3.0 \leq M_s \leq 6.1 \quad (3)$$

$$M_w = 0.99(\pm 0.02)M_s + 0.08(\pm 0.13) \quad (4)$$

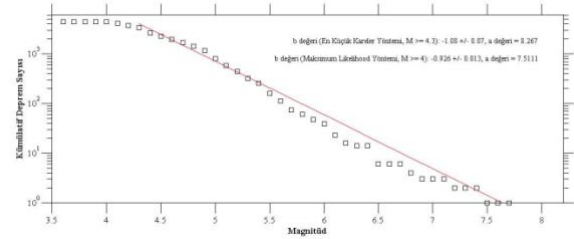
$$6.2 \leq M_s \leq 8.2 \quad (4)$$

$$M_w = 0.85(\pm 0.04)M_b + 1.03(\pm 0.13) \quad (5)$$

$$3.5 \leq M_b \leq 6.2 \quad (5)$$

Homojenize hale getirilen katalog için güvenilir alt magnitüd sınırını ifade eden M_c değeri depremsellik ile ilgili yapılan çalışmalar için önemli bir parametredir. M_c değerinin bölge ve zamanın bir fonksiyonu olarak değişim göstermesi göz önünde bulundurulduğunda bu değer yanlıştır yorumlanmasının depremsellik parametrelerinin de yanlıştır değerlendirilmesine yol açacağı unutulmamalıdır. Yapılan analiz sonucunda oluşturulan homojen katalog için M_c değerinin 1964-1998 yılları arasında 4.9 ve 1998-2015 yılları arasında ise 4.3 olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak homojenize hale getirilen uluslararası deprem katalogu minimum eğri yöntemi kullanılarak ZMAP programında tamamlılık analizi yapılarak $M_c=4.0$ 'a göre tamamlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Homojenize hale getirilen uluslararası katalog için ZMAP programı kullanılarak yapılan tamamlılık analizi (Kılıç, 2016)

Depremselliğin ve depremsellik parametrelerinin belirlenebilmesi için Gutenberg-Richter tarafından geliştirilen ve deprem istatistiğinin temel bağıntısı olarak kabul edilen depremlerin büyüklükleri ile oluş sayıları arasındaki ilişkiyi tanımlayan;

$$\log N = a - bM \quad (6)$$

bağıntısı kullanılır (Gutenberg ve Richter, 1944). Burada M deprem büyüklüğünü ve N ise büyüklüğü M veya daha büyük olan depremlerin sayısını ifade eder. "a" ve "b" ise sabit regresyon katsayılarıdır. İncelenen bölgenin genişliğine ve gözlem süresine bağlı olan "a" katsayısı deprem faaliyet düzeyi (kabuğun deprem üretkenliği) ile ilişkilidir. Kabuktaki gerilme ile ters orantılı olan "b" katsayısı ise deprem oluşumunun fiziği ile ilişkili bir parametre olarak tanımlanmaktadır (Scholz, 1968; Wiemer ve Wyss, 1997). "a" katsayısı için ortalama yıllık sismosite indeksi, "b" katsayısı için ise sismotektonik parametre terimleri de kullanılmaktadır (Tabban ve

Gencoğlu, 1975). “a” katsayısı değerinin büyük olması incelenen bölgedeki deprem sayısının dolayısı ile deprem aktivitesinin yüksek olduğunu ifade eder. “b” katsayısı ile ilgili literatürde farklı araştırmacılar tarafından yapılmış çok sayıda inceleme mevcuttur. Miyamura (1962) “b” parametresinin sismotektonik zon ve jeolojik yaş ile ilişkili olduğunu ifade etmiştir. Mogi (1967) yapmış olduğu laboratuvar çalışmasında “b” değerinin materyalin mekanik yapısına ve gerilme şartlarına bağlı olduğunu belirtmiştir. Scholoz (1968) tarafından yapılan çalışmada “b” katsayısının kayaç tipi, gerilme durumu ve kayaç duktilite artışı ile ilişkili olduğunu, gerilme artışının “b” değerinde düşüşe yol açtığını ileri sürmüştür. Frohlich ve Davis (1993) tarafından yapılan çalışmada ise büyük ölçekli çalışmalarda “b” değerleri arasında çok küçük değişimlerin olduğu ifade edilmiştir. Mori ve Abercrombie (1997) ise farklı tektonik bölgelerde bulunan “b” değerleri arasında önemli değişimler olduğunu belirtmişlerdir. Literatürde bu çalışmalar dışında da “b” değeri ve bölgenin tektonik karakteristiği arasındaki ilişkinin incelendiği çalışmalar da bulunmaktadır (Allen vd., 1965; Hatzidimitriou vd., 1985; Wang, 1988; Olsson, 1999; Tsapanos vd., 1994; Manakou ve Tsapanos, 2000). Yapılan çalışmalar sonucunda büyük bir “b” değerinin zayıf bir gerilme azalımını buna karşılık küçük bir “b” değerinin ise yüksek bir gerilme azalımını ifade ettiği sonucuna varılmıştır (Lomnitz ve Singh, 1976). Sonuç olarak “b” değerinin deprem oluşum fiziği ile olan doğrusal ilişkisi ve kabuktaki gerilme ile olan ters ilişkisi göz önüne alınarak deprem istatistiği çalışmaları sonucunda hesaplanan “b” değerinin bölgenin depremselliği ile ilgili yorum yapabilmek için oldukça önemli bir parametre olduğu gözlenmiştir (Alptekin, 1978; Wiemer ve Wyss, 1997; Kalafat, 2010; Utkucu vd., 2011; Yalçın vd., 2013).

Deprem istatistiğinin temel bağıntısı olarak tanımlanan magnitüd-frekans bağıntısı farklı yöntemler kullanılarak hesaplanmaktadır. Yapılan bu çalışmada ise Gutenberg-Richter bağıntısındaki regresyon katsayılarının belirlenmesinde En Büyük Olasılık Yöntemi (EBO) ve Kal-Tek Yöntemi (KT) kullanılmıştır.

En Büyük Olasılık Yöntemi (EBO): Aki (1965) tarafından geliştirilen yöntem verdiği güvenilir sonuçlar nedeniyle depremsellik çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde olasılık ön kestiriminde kullanılan en önemli istatistik giriş parametresi $\log N = a - bM$ bağıntısındaki “b” parametresidir. “a” parametresi ise bölgenin aktivite seviyesini göstermektedir. En büyük olasılık yönteminde rasgele değişken $N_i (i = 1, 2, \dots, n)$ bir Poisson dağılımı gösterir, yani olasılık dağılım fonksiyonu;

$$P(a, b; N_i) = \exp(-\langle N_i \rangle) * \langle N_i \rangle^{N_i} * \langle N_i! \rangle^{-1} \quad (7)$$

ile verilir. Burada $\langle N_i \rangle = 10^{a-bM}$ ‘dir. Gözlemlerin bağımsız olduğu kabul edilirse;

$$a = \log \sum_{i=1}^n N_i - \log \sum_{i=1}^n 10^{-bM} \quad (8)$$

$$b = \frac{0.4343}{\frac{\sum_{i=1}^n M_i N_i}{\sum_{i=1}^n N_i} - M_{min}} \quad (9)$$

olarak elde edilir.

Kal-Tek Yöntemi (KT): Bu yöntemde sismisiteyi tanımlayan Gutenberg-Richter bağıntısındaki “b” değerinin hesaplanması için bir kabul bir de hipotez kullanılmaktadır.

Kabul: $\log N = a - bM$ bağıntısında “a” katsayısı $M=0$ magnitüdü depremlerin üstel dağılımını göstermektedir.

Hipotez: $M=0$ magnitüdü depremlerin bir bölge içerisindeki tüm alt bölgelerdeki üstel dağılımı sabit bir değer alınabilir.

Öncelikli olarak bölgenin tamamı için Gutenberg-Richter bağıntısından doğrudan elde edilen “a” parametrelerinin aritmetik ortalaması “a₀” hesaplanmaktadır. Daha sonra kabul ve hipotez doğrultusunda her bir alt bölge için yapılan hesaplamalarda $a = a_0$ alınmakta ve “b” değerleri aşağıdaki eşitlikte hesaplanmaktadır.

$$b = a * \frac{[\sum_{i=1}^{Nd} M_i * \sum_{i=1}^{Nd} \log(N_i) - Nd * \sum_{i=1}^{Nd} M_i * \log(N_i)]}{\sum_{i=1}^{Nd} \log(N_i) * \sum_{i=1}^{Nd} M_i^2 - \sum_{i=1}^{Nd} M_i * \sum_{i=1}^{Nd} M_i * \log(N_i)} \quad (10)$$

Burada; Nd: veri sayısını, Mi: magnitüdüleri, Ni: ise yığınsal frekansları temsil etmektedir (Kalyoncuoğlu, 2007).

Bir bölgenin depremselliğini yansıtan bir değer önemli parametre de en büyük bölgesel magnitüd “m_{max}” değeridir. En büyük bölgesel magnitüd “m_{max}” belirli bir bölge için magnitüd üst sınırı olarak tanımlanabildiği gibi olması muhtemel en büyük depremin büyüklüğünü belirtmek için de kullanılabilir. Günümüzde “m_{max}” değerini belirleyebilmek için kabul edilmiş bir yöntem bulunmamaktadır. Yapılan çalışmada “m_{max}” değeri Tate-Pisarenko Yöntemi (TP), Kijko-Sellevoll Yöntemi Cramer Yaklaşımı (KSC), Kijko-Sellevoll Yöntemi Kesin Çözüm (KSK), Tate-Pisarenko-Bayes Yöntemi (TPB), Kijko-Sellevoll-Bayes Yöntemi (KSB) tarafından geliştirilen istatistiksel bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır.

Tate-Pisarenko Yöntemi (TP): Yapılan çalışmada $y = F_M(m)$ dönüşümünden sonra, (Y_1, \dots, Y_2) değerleri arasında en büyük değer olan Y_n değerinin y^n değerine eşitliği kabul edilmiştir. Beklenen değer ise $E(Y_n) = n/(n+1)$ şeklinde ifade edilmiştir. “m_{max}” magnitüdünü belirlemek için giriş koşulu olarak $E(Y_n) = y_n$ eşitliğinden hareketle;

$$F_M(m_{max}^{obs}) = \frac{n}{n+1} \quad (11)$$

elde edilir. Gerekli düzeltmelerin yapılması sonucunda Tate-Pisarenko yöntemi (12) no'lu bağıntıda gösterildiği şekilde elde edilir:

$$VAR(\hat{m}_{max}) = \sigma_M^2 + \frac{n+1}{n} \left[\frac{1 - \exp[-\beta m_{max}^{obs} - m_{min}]}{\beta \exp[-\beta(m_{max}^{obs} - m_{min})]} \right]^2 \quad (12)$$

Burada; σ_M standart sapma olarak belirtilmiştir.

Kijko-Sellevoll Yöntemi (Cramer yaklaşımı) (KSC): m_n gözlenen en büyük magnitüd değeri olmak üzere (m_{max}^{obs});

$$F_{M_n}(m) = \begin{cases} 0 & \rightarrow m < m_{min} \\ [F_M(m)]^n & \rightarrow m_{min} \leq m \leq m_{max} \\ 1 & \rightarrow m > m_{max} \end{cases} \quad (13)$$

tanımlanır.

Sonuç olarak Kijko-Sellevoll yöntemi (Cramer Yaklaşımı) (KSC) yapılan düzeltmeler sonucunda (14) no'lu bağıntıda gösterildiği şekilde elde edilir:

$$VAR(\hat{m}_{max}) = \sigma_M^2 \left[\frac{E_1(n_2) - E_1(n_1)}{\beta \exp(-n_2)} + m_{min} \exp(-n) \right]^2 \quad (14)$$

Burada; σ_M standart sapma olarak belirtilmiştir.

Kijko-Sellevoll Yöntemi (Kesin çözüm) (KSK): m_{max} değerinin belirlenmesi için gerekli olan integral hesabının yapıldıktan sonra ve "n" değerinin pozitif bir tamsayı olması halinde Dwight (1961) tarafından yeni bir bağıntı geliştirilerek (15) no'lu bağıntı elde edilmiştir.

$$m_{max} = m_{max}^{obs} + \frac{m_{max} - m_{min} + \frac{1}{\beta} \sum_{i=1}^n \frac{(-1)^i}{i} \binom{n}{i} [1 - \exp(-i\beta(m_{max} - m_{min}))]}{[1 - \exp(-\beta(m_{max} - m_{min}))]^n} \quad (15)$$

Sonuç olarak Kijko-Sellevoll yöntemi (Kesin Çözüm) (KSK) yapılan düzeltmeler sonucunda (16) no'lu bağıntıda gösterildiği şekilde elde edilir:

$$VAR(\hat{m}_{max}) = \sigma_M^2 + \left[\frac{m_{max} - m_{min} + \frac{1}{\beta} \sum_{i=1}^n \frac{(-1)^i}{i} \binom{n}{i} [1 - \exp(-i\beta(m_{max} - m_{min}))]}{[1 - \exp(-\beta(m_{max} - m_{min}))]^n} \right]^2 \quad (16)$$

Burada; σ_M standart sapma olarak belirtilmiştir.

Tate-Pisarenko-Bayes Yöntemi (TPB): Gutenberg-Richter eşitliğindeki "b" parametresinin değişiminin Gama dağılımındaki "p" ve "q" parametreleri ile temsil edildiği varsayımından hareketle Campbell

(1982) tarafından (17) ve (18) no'lu bağıntılar geliştirilmiştir.

$$f(x) = \begin{cases} 0, & m < m_{min} \\ \beta C_\beta \left(\frac{p}{p+m-m_{min}} \right)^{q+1}, & m_{min} \leq m \leq m_{max} \\ 1, & m > m_{min} \end{cases} \quad (17)$$

$$F_M(m) = \begin{cases} 0, & m < m_{min} \\ C_\beta \left[1 - \left(\frac{p}{p+m-m_{min}} \right)^q \right], & m_{min} \leq m \leq m_{max} \\ 1, & m > m_{max} \end{cases} \quad (18)$$

Sonuç olarak Tate-Pisarenko-Bayes yöntemi (TPB) yapılan düzeltmeler sonucunda (19) no'lu bağıntıda gösterildiği şekilde elde edilir:

$$VAR(\hat{m}_{max}) = \sigma_M^2 + \left[\frac{n+1}{n^3} \frac{1}{(n\beta C_\beta)^2} \left(\frac{p}{p+m_{max}^{obs}-m_{min}} \right)^{-2(q+1)} \right] \quad (19)$$

Burada; σ_M standart sapma olarak belirtilmiştir.

Kijko-Sellevoll-Bayes Yöntemi (KSB): Daha önce yapılan çalışmalar sonucunda

$$\Delta = (C_\beta)^n \int_{m_{min}}^{m_{max}} \left[1 - \left(\frac{p}{p+m-m_{min}} \right)^q \right]^n dm \quad (20)$$

bağıntısı elde edilmiştir. Bu bağıntıya Cramer yaklaşımı uygulandıktan sonra ise (22) no'lu bağıntı elde edilir;

$$\Delta = \frac{\delta^{1/q+2} \exp[nr^q/(1-r^q)]}{\beta} [\Gamma(-1/q, \delta r^q) - \Gamma(-1/q, \delta)] \quad (22)$$

Sonuç olarak Kijko-Sellevoll-Bayes yöntemi (KSB) yapılan düzeltmeler sonucunda (23) no'lu bağıntıda gösterildiği şekilde elde edilir:

$$VAR(\hat{m}_{max}) = \sigma_M^2 + \left[\frac{\delta^{1/q+2} \exp[nr^q/(1-r^q)]}{\beta} [\Gamma(-1/q, \delta r^q) - \Gamma(-1/q, \delta)] \right]^2 \quad (23)$$

Burada; σ_M standart sapma olarak belirtilmiştir.

Çalışmada "m_{max}" değerlerinin belirlenmesinde kullanılan bu istatistiksel yöntemler Kalyoncuğlu (2010) tarafından geliştirilen Fortran tabanlı bir uygulama ile değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışmanın bu aşamasında hem Gutenberg-Richter bağıntısındaki "a" ve "b" parametrelerinin belirlenip haritalarının oluşturulabilmesi için hem de "m_{max}" değerinin belirlenip haritalarının oluşturulması için çalışma alanı 0.25°x0.25°lik aralıklarla gridlenmiştir. Her bir düğüm noktası merkez olmak üzere 0.25°lik yarıçap içerisinde

meydana gelmiş depremlerin yığmsal dağılımları dikkate alınarak belirlenen yöntemlere göre belirlenmek istenen parametrik değere ait hesaplamalar yapılmıştır. Ancak inceleme yapılan herhangi bir alt bölgede yeterli sayıda depremin (10 depremden daha az deprem bulunması durumu) bulunamaması durumunda gerekli hesaplamalar yapılamadığı için o alt bölge değerlendirme dışında bırakılmıştır.

2.2.2. Azalım ilişkilerine bağlı olarak yer hareketinin belirlenmesi

Azalım ilişkileri; aletsel dönemde meydana gelen ve ivme kayıtları alınabilen depremlerden yararlanılarak farklı araştırmacılar tarafından farklı ülkeler için düzenlenen veri tabanları kullanılarak yapılan istatistiksel çalışmalar neticesinde yer hareketi tahmini yapmak amacı ile geliştirilen bağıntılardır (Koçyiğit vd., 2010).

Birçok araştırmacı tarafından yeryüzünün çeşitli bölgeleri için ivme azalım ilişkileri geliştirilmiştir (Campbell, 1989; Ambraseys vd., 1996; Abrahamson ve Silva, 1997; Boore vd., 1997; Fukushima ve Tanaka, 1990; Sadigh vd., 1997; Youngs, 1997; Atkinson ve Boore, 2003; Ambraseys vd., 2005).

Türkiye’de ise kuvvetli yer hareketi şebekelerinin kurulmaya başlandığı 1976 yılından itibaren ülkemizde meydana gelen depremlere ait verilerin kullanılması sonucunda farklı araştırmacılar tarafından ülkemizin tamamı ya da belirli bölgeleri için azalım ilişkileri geliştirilmektedir (İnan vd., 1996; Aydan vd., 1996, Aydan, 2001; Gülkan ve Kalkan, 2002; Özbey vd., 2004; Ulusay vd., 2004; Kalkan ve Gülkan, 2004; Beyaz, 2004).

Son olarak literatürde önemli yere sahip azalım ilişkilerinin geliştirilmesine katkı sağlayan araştırmacılar, Amerika Birleşik Devletleri’nin batı bölümü ve benzer tektonik yapıya sahip bölgelerde meydana gelen sığ kabuk depremleri için özel azalım ilişkileri geliştirmişlerdir. Yeni Nesil Azalım İlişkileri (Next Generation Attenuation) olarak tanımlanan bu azalım ilişkileri (Abrahamson ve Silva, 2008; Boore ve Atkinson, 2008; Campbell ve Bozorgnia, 2008; Chiou ve Youngs, 2008; Idriss, 2008) Earthquake Spectra adlı derginin bir özel sayısında yayınlanmıştır.

Bu çalışmada ise; Abrahamson ve Silva (2008-NGA), Boore ve Atkinson (2008-NGA), Boore vd., (1997), Campbell-Bozorgnia (2008-NGA) ve son olarak Chiou ve Youngs (2008-NGA) tarafından geliştirilen azalım ilişkileri kullanılmıştır.

Abrahamson ve Silva (A-S 2008) tarafından NGA (Next Generation Attenuation – Yeni Nesil Azalım İlişkileri) veri tabanı kullanılarak sığ depremler için bir azalım ilişkisi geliştirilmiştir.

$$\ln S_a(g) = f_1(M, R_{rup}) + a_{12}F_{RV} + a_{13}F_{NM} + a_{15}F_{AS} + f_5(\overline{PGA}_{1100}, V_{S30}) + F_{HW}f_4(R_{jb}, R_{rup}, R_x, W, \delta, Z_{TOR}, M) + f_6(Z_{TOR}) + f_8(R_{rup}, M) + f_{10}(Z_{1.0}, V_{S30}) \quad (24)$$

Bu bağıntıda;

S_a = Yer hareketi parametresi (g biriminde)

$PGA_{1100} = V_{S30} = 1100$ m/s için ortalama pik ivme değeri

σ_B ve $\tau_B (= \tau_0(M, T))$: Standart sapma değerleri

σ_0 ve τ_0 = Düşük düzeyde gözlenen zemin hareketleri için standart sapma değerleri

σ_{amp} : Zemin büyütme etkisi

R_{rup} : Kırılma boyu (km cinsinden)

R_{jb} : Kırılmanın düşey izdüşümüne en yakın mesafesi (km biriminde)

Kullanılan katsayı değerleri:

$c_1=6.75$	$c_4=4.5$	$a_3=0.265$	$a_4=-0.231$	$a_5=-0.398$
$N=1.18$	$c=1.88$	$c_2=50$	$V_{LIN}=865.1$	$b=-1.186$
$a_1=0.804$	$a_2=-0.9679$	$a_8=-0.0372$	$a_{10}=0.9445$	$a_{12}=0.0000$
$a_{13}=-0.0600$	$a_{14}=1.0800$	$a_{15}=-0.3500$	$a_{16}=0.9000$	$a_{18}=-0.0067$
$s_3=0.470$		$s_4=0.300$		$\rho(T,PGA)=1.000$

$s_1=0.590, s_2=0.470$ (Tahmin edilen V_{S30} değeri için)

$s_1=0.576, s_2=0.453$ (Ölçülen V_{S30} değeri için)

Faylanma türü parametreleri:

Ters, Faylanma	Ters/Oblik	$30^\circ < \text{Kayma A.} < 150^\circ$	$F_{RV}=1, F_{NM}=0$
Normal Faylanma		$-60^\circ < \text{Kayma A.} < -120^\circ$	$F_{RV}=0, F_{NM}=1$
Doğrultu Faylanma	Atımlı	Diğer bütün durumlar için	$F_{RV}=0, F_{NM}=0$

AS = Artçı şok $\rightarrow F_{AS} = 1$

FS = Öncü deprem ve fırtına $\rightarrow F_{AS} = 0$

$F_{HW} = 1$ olarak belirtilmiştir (Koçyiğit vd., 2010 ve Douglas, 2011).

Boore ve Atkinson (B-A 2008) tarafından geliştirilen azalım ilişkisinde (NGA (Next Generation Attenuation – Yeni Nesil Azalım İlişkileri), ortalama yatay yer hareketi parametresi; magnitüd, kaynak ile saha arasındaki uzaklık, yerel ortalama kayma dalgası (V_s) hızı ve fay türüne bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu eşitlikler pik yer ivmesi, pik yer hızı ve 0.01 saniye ile 10 saniye aralığında %5 sönümlü spektral ivme için geliştirilmiştir.

$$\ln Y = F_M(M) + F_D(R_{JB}, M) + F_S(V_{S30}, R_{JB}, M) \quad (25)$$

Bu bağıntıda;

Y = Yer hareketi parametresi (g biriminde)

R_{jb} = Kırılmanın düşey izdüşümüne en yakın mesafe (km biriminde)

$M_h = 6.75$ (Esas magnitüd değeri)

$V_{ref} = 760$ m/s (NEHRP B/C zemin sınırı için spesifik referans hız değeri)

$a_1 = 0.03$ g (Doğrusal büyütme değeri)
 $a_2 = 0.09$ g (Doğrusal olmayan büyütme değeri)

Kullanılan katsayı değerleri;

$F_S=0$	$V_1=180$ m/s	$V_2=300$ m/s	$b_{lin}=-0.360$	$b_1=-0.640$	$b_2=-0.14$
$M_{ref}=4.5$	$R_{ref}=1$ km	$c_1=-$ 0.66050	$c_2=0.1197$ 0	$c_3=-$ 0.01151	$h=1.35$
$e_1=-$ 0.5380 4	$e_2=-$ 0.50350	$e_3=-$ 0.75472	$e_4=-$ 0.50970	$e_5=0.2880$ 5	$e_6=-$ 0.10164
$e_7=0.0$	$\tau_0=0.26$ 5	$\sigma=0.50$ 2	$\tau_M=0.260$	$\sigma_{TU}=0.566$	$\sigma_{TM}=0.56$ 0

Faylanma türü parametreleri;

SS Atımlı	Doğrultu T-P < 40° 55° < Eğim < 90°	4.3 ≤ M ≤ 7.9	SS=1, U=0, NS=0, RS=0
RS Ters	T > 40° 12° < Eğim < 70°	5.6 ≤ M ≤ 7.6	SS=0, U=0, NS=0, RS=1
Normal	P > 40° 30° < Eğim < 70°	5.3 ≤ M ≤ 6.9	SS=0, U=0, NS=1, RS=0

Not: Tanımlanamayan durumlar için → SS=0, U=1, NS=1, RS=0 olarak kullanılır (Douglas, 2011).

Boore vd. (B-J-F 1997) tarafından geliştirilen En büyük ivme (PGA) ve Spektral İvme (SA) azalım ilişkisi bağıntıları için veri tabanı olarak Kuzey Amerika'da meydana gelen 20 sığ odaklı depreme ait 271 kuvvetli yer hareketi kaydı kullanılmıştır.

$$\ln Y = b_1 + b_2(M_W - 6) + b_3(M_W - 6)^2 + b_5 \ln r + b_V \ln(V_S/V_A) \quad (26)$$

Bu bağıntıda;

Y = Yer hareketi parametresi (PGA, SA) (g biriminde)

M_W = Moment büyüklüğü

r_{jb} = Kırılmanın düşey izdüşümüne en yakın mesafesi (km biriminde)

V_S = 30 m'deki ortalama kayma dalgası hızı (m/s biriminde) (NEHRP'e göre B Sınıfı Zemin → $V_S = 1070$ m/s; C Sınıfı Zemin → $V_S = 520$ m/s; D Sınıfı Zemin → $V_S = 250$ m/s)

V_A = Efektif kayma dalgası hızı (m/s)

ϵ = Belirsizliği açıklayan istatistiksel bir katsayı

Kullanılan katsayı değerleri;

b_2	b_3	b_5	b_V	V_A	h	ϵ
0.527	0	-0.778	-0.371	1396	5.57	0.226

b_1 = Fay mekanizması ile ilgili parametre (Doğrultu atımlı faylanma için → $b_1 = -0.313$; Ters faylanma için → $b_1 = -0.117$; Tüm faylanma türleri için → $b_1 = -0.242$) olarak belirtilmiştir (Çeken, 2007).

Campbell-Bozorgnia (C-B 2008) tarafından geliştirilen (NGA (Next Generation Attenuation – Yeni Nesil Azalım İlişkileri), PGA (Pik Ground Acceleration – En Büyük Yer İvmesi), PGV (Peak Ground Velocity – En Büyük Yer Hızı), PGD (Peak Ground Displacement – En Büyük Yer Değiştirme) ve 0.01-10 s aralığında %5 sönümlü spektral ivme için bir azalım ilişkisi geliştirilmiştir.

$$\ln \hat{Y} = f_{mag} + f_{dis} + f_{flt} + f_{hng} + f_{site} + f_{sed} \quad (27)$$

Bu bağıntıda;

Y = Yer hareketi parametresi (g biriminde)

Kullanılan katsayı değerleri;

$c_0=-1.715$	$c_1=0.500$	$c_2=-0.530$	$c_3=-0.262$	$c_4=-2.118$
$c_5=0.170$	$c_6=5.60$	$c_7=0.280$	$c_8=-0.120$	$c_9=0.490$
$c_{10}=1.058$	$c_{11}=0.040$	$c_{12}=0.610$	$k_1=865$	$k_2=-1.186$
$k_3=1.839$	$\sigma_c=0.166$	$\sigma_T=0.526$ (toplam)	$\sigma_{Arb}=0.551$	$\rho=1.000$

$$\sigma_{\ln Y} = 0.478$$

$$\tau_{\ln Y} = 0.219$$

$$\sigma_{\ln YB} = (\sigma_{\ln Y}^2 - \sigma_{\ln AF}^2)^{1/2}$$

$\sigma_{\ln AF} \approx 0.3$ (önceki çalışmalara dayanarak derin toprak zemin için)

$$\sigma_{Arb} = \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_C^2} \text{ (yatay bileşen için belirsizlik hesabı)}$$

Faylanma türü parametreleri;

Ters, Faylanma	Ters/Oblik	30° < λ < 150°	$F_{RV}=1, F_{NM}=0$
Normal	Faylanma	-150° < λ < -30°	$F_{RV}=0, F_{NM}=1$
Doğrultu Faylanma	Atımlı	Diğer bütün durumlar için	$F_{RV}=0, F_{NM}=0$

olarak belirtilmiştir (Douglas, 2011).

Chiou ve Youngs (C-Y 2008) tarafından (NGA (Next Generation Attenuation – Yeni Nesil Azalım İlişkileri) PGA (Pik Ground Acceleration – Pik Yer İvmesi), PGV (Peak Ground Velocity – Pik Yer Hızı), 0.01 – 10 s aralığında %5 sönümlü spektral ivme için bir azalım ilişkisi geliştirilmiştir.

$$\ln(y) = \ln(y_{ref}) + \phi_1 \min \left[\ln \left(\frac{V_{S30}}{1130} \right), 0 \right] + \phi_2 \left\{ e^{\phi_3 [\min(V_{S30}, 1130) - 360]} - e^{\phi_3 (1130 - 360)} \right\} \ln \left(\frac{y_{ref} e^{\eta} + \phi_4}{\phi_4} \right) + \phi_5 \left\{ 1 - \frac{1}{\cosh[\phi_6 \max(0, Z_{1.0} - \phi_7)]} \right\} + \frac{\phi_8}{\cosh[0.15(0, Z_{1.0} - 15)]} \quad (48)$$

Bu bağıntıda;

Y = Yer hareketi parametresi (g biriminde)

R_{RUP} = Kırılma boyu (km cinsinden)

R_{JB} = Kırılma düzlemine olan en yakın mesafe (km biriminde)

Kullanılan katsayı değerleri;

$c_2=1.06$	$c_3=3.45$	$c_4=-2.1$	$c_{4a}=-0.5$	$c_{RB}=50$
$c_{HM}=3$	$c_{\gamma 3}=4$	$c_1=-1.2687$	$c_{1a}=0.1$	$c_{1b}=-0.2550$
$c_n=2.996$	$c_M=4.1840$	$c_5=6.1600$	$c_6=0.4893$	$c_7=0.0512$
$c_{7a}=0.0860$	$c_9=0.7900$	$c_{9a}=1.5005$	$c_{10}=-$ 0.3218	$c_{\gamma 1}=-0.00804$
$c_{\gamma 2}=-$ 0.00785	$\phi_1=-0.4417$	$\phi_2=-$ 0.1417	$\phi_3=-$ 0.007010	$\phi_4=0.102151$
$\phi_5=0.2289$	$\phi_6=0.014996$	$\phi_7=580.0$	$\phi_8=0.0700$	$\tau_1=0.3437$
$\tau_2=0.2637$	$\sigma_1=0.4458$	$\sigma_2=0.3459$	$\sigma_3=0.8$	$\sigma_4=0.0663$

V_{S30} = Zemin etkisini belirlemek için kullanılan 30 m'deki ortalama kayma dalgası hızı ($150 \leq V_{S30} \leq 1500$ m/s)

$F_{inferred} = 1 \rightarrow V_{S30}$ jeolojiden belirlenebiliyorsa, $F_{inferred} = 0 \rightarrow$ Diğer durumlarda

$F_{measured} = 1 \rightarrow V_{S30}$ ölçülebiliyorsa, $F_{measured} = 0 \rightarrow$ Diğer durumlarda

AS = 1 → Artçı şok, AS = 0 → Diğer durumlarda

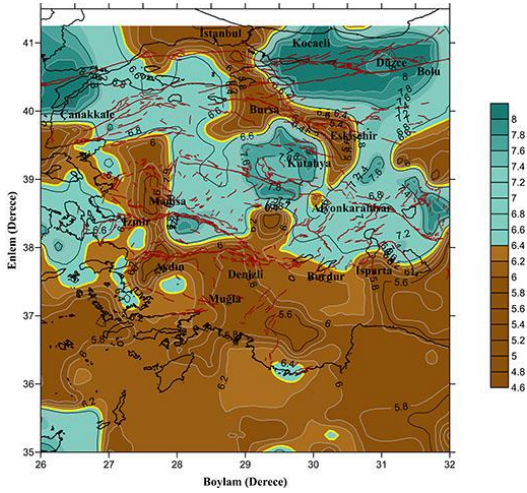
$F_{HW} = 1 \rightarrow R_X \geq 0, F_{HW} = 0 \rightarrow R_X < 0$

Şekil 6. KT yöntemine göre Batı Anadolu "b" değeri dağılım haritası (Kılıç, 2016)

Elde edilen "b" değeri dağılım haritasının incelenmesi sonucunda EBO yönteminde bir eksiklik olarak ortaya çıkan Fethiye Körfezi ve açıklarında gözlenen "b" değeri ile ilgili sıkıntılı durumun ortadan kalktığı görülmektedir. KT yöntemi kullanılarak oluşturulan "b" değeri dağılım haritasının Muğla ili ve çevresinde, Fethiye Körfezi ve açıklarında düşük "b" değerini yani yüksek gerilme birikimini yakalamış olması bölgenin bilinen geçmiş deprem etkinliğini net bir şekilde yakaladığını göstermektedir.

Muğla ili ve çevresi için beklenen en büyük bölgesel magnitüd " m_{max} " değerinin belirlenmesiyle bölge ile ilgili deprensellik çalışmaları tamamlanmış olacaktır. Bunun için bölgenin tektoniği ile ilgili daha uyumlu sonuçlar vermesi nedeniyle KT yönteminden elde edilen "b" değerleri kullanılarak bölge için " m_{max} " değeri belirlenmeye ve dağılım haritası oluşturulmaya çalışılmıştır.

KT yönteminden elde edilen "b" değerine bağlı olarak " m_{max} " değeri ilk olarak Tate-Pisarenko yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. 559 alt bölge için " m_{max} " değeri 8.2, en küçük " m_{max} " değeri 4.6 ve ortalama " m_{max} " değeri ise 6.4 olarak bulunmuştur (Kılıç, 2016). Elde edilen bu sonuçlara göre " m_{max} " değeri dağılım haritası oluşturulmuştur (Şekil 7).

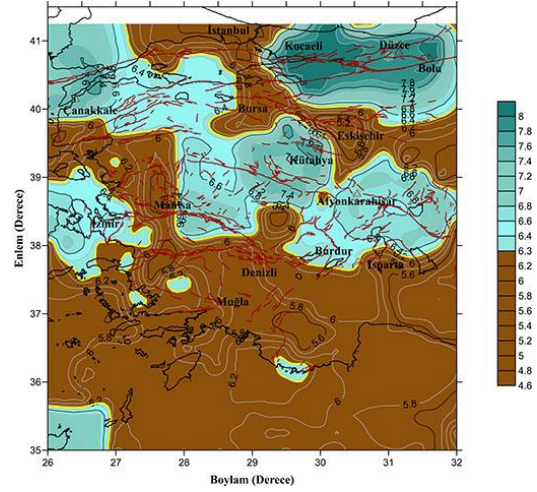


Şekil 7. Tate-Pisarenko yöntemine göre " m_{max} " değeri dağılım haritası (Kılıç, 2016)

Tate-Pisarenko yönteminden elde edilen " m_{max} " değerleri Muğla il merkezi ve çevresi için $M_w=5.8$; Fethiye Körfezi ve açıkları için ise $M_w=6.2$ 'lik depremlerin olağan büyüklükteki depremler olduğunu göstermektedir.

Batı Anadolu için " m_{max} " değerinin belirlenmesi için 559 alt bölgede kullanılan bir diğer yöntem ise Kijko-Sellevoll (Cramer yaklaşımı) yöntemidir. Yapılan hesaplamalar sonucunda " m_{max} " değeri 8.0, en küçük " m_{max} " değeri 4.6 ve ortalama " m_{max} " değeri ise 6.3

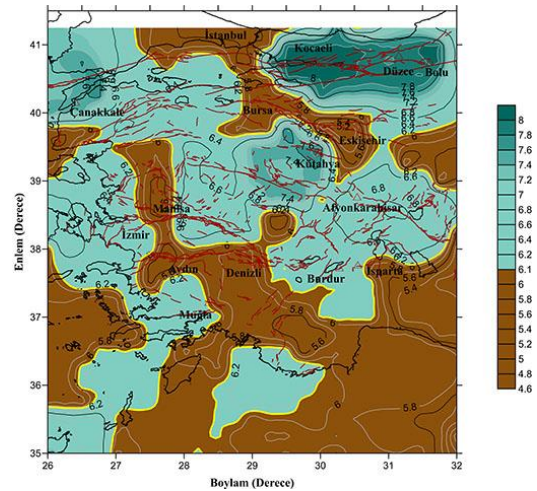
olarak bulunmuştur (Kılıç, 2016). Bu sonuçlara göre de " m_{max} " dağılım haritası oluşturulmuştur. (Şekil 8).



Şekil 8. Kijko-Sellevoll (Cramer) yöntemine göre " m_{max} " değeri dağılım haritası (Kılıç, 2016)

Batı Anadolu bölgesinde uygulanan Kijko-Sellevoll (Cramer) yaklaşımından elde edilen değerlerin Muğla ili ve çevresi için bölgenin tamamına göre değerlendirme yapıldığında ortalama değer in altında olduğu görülmektedir.

" m_{max} " değeri 559 alt bölge için Kijko-Sellevoll (Kesin çözüm) yöntemine göre hesaplandığı zaman ise 8.0 olarak bulunmuştur. Çalışma alanı içerisinde beklenen en küçük " m_{max} " değeri 4.6 olarak elde edilirken ortalama " m_{max} " değeri ise 6.1 olarak bulunmuştur (Kılıç, 2016). Elde edilen sonuçlara göre de " m_{max} " değeri dağılım haritası oluşturulmuştur (Şekil 9).



Şekil 9. Kijko-Sellevoll (Kesin) yöntemine göre " m_{max} " değeri dağılım haritası (Kılıç, 2016)

Kijko-Sellevoll (Kesin) yönteminden elde edilen sonuçlara göre Muğla ili ve çevresinin Batı Anadolu içerisinde ortalama " m_{max} " değerinin üzerinde bir bölge olduğu sonucuna varılmıştır.

alanını etkilemesi muhtemel fay olarak Karaova-Milas Fayı, Muğla-Yatağan Fay Zonu ve Ula-Ören Fayı belirlenmiştir.

Kabuller:

- ✓ Muğla ili çeşitli derecelerde (I. ve II.) deprem tehlikesi ile karşı karşıyadır. Yapılan çalışmada Muğla ilinin I. derece deprem bölgesinde yer aldığı kabul edilmiştir.
- ✓ Kayma Dalgası hızı $V_{S30}=533$ m/s olarak belirlenmiştir. Buna göre çalışma alanı NEHRP zemin sınıflamasına göre D sınıfı olarak kabul edilmiştir.
- ✓ $R=100$ km olarak kabul edilmiştir.
- ✓ Aktivite olasılığı değeri 0 ile 1 arasında olmalıdır. Bu değer in büyümesi deprem olma olasılığının artması anlamına gelmektedir. Yapılan çalışmada da aktivite olasılığı 1 olarak kabul edilmiştir.

Karaova-Milas Fayı: Çalışmada ilk olarak yerel tasarım ivme spektrumlarının belirlenebilmesi için Karaova-Milas Fayı'na ait parametrik değerler belirlenmiştir (Tablo 2).

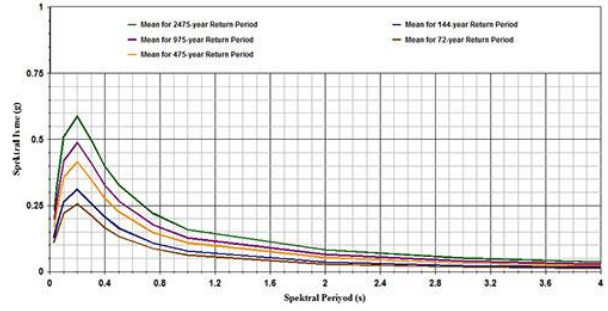
Tablo 2. Karaova-Milas Fayına ait parametrik değerler

b	β	λ	m_{min}	m_{max}	r
0.81	1.86	0.01	4.0	6.2	36.45 km

Elde edilen bu değerlere göre olası Karaova-Milas Fayı depremi sonuçlarına göre Muğla il merkezinde meydana gelecek ivme değerleri probabilistik olarak hesaplanmış ve grafik ile gösterilmiştir (Tablo 3 ve Şekil 12).

Tablo 3. Karaova-Milas Fayı olası depremi sonucunda Muğla il merkezinde elde edilen ivme değerleri (Kılıç, 2016)

Azalış ilişkileri	D.P. 2475 yıl (g)	D.P. 975 yıl (g)	D.P. 475 yıl (g)	D.P. 144 yıl (g)	D.P. 72 yıl (g)
A-S (2008)	0.48 g	0.40 g	0.34 g	0.25 g	0.21 g
B-A (2008)	0.67 g	0.55 g	0.47 g	0.35 g	0.29 g
B-J-F (1997)	0.48 g	0.41 g	0.36 g	0.28 g	0.24 g
C-B (2008)	0.66 g	0.55 g	0.48 g	0.36 g	0.29 g
C-Y (2008)	0.53 g	0.43 g	0.36 g	0.26 g	0.22 g
Ortalama	0.56 g	0.46 g	0.40 g	0.30 g	0.25 g



Şekil 12. Karaova-Milas Fayı olası depremi sonucunda Muğla il merkezi için elde edilen %5 sönümlü elastik spektral ivme spektrumu (Kılıç, 2016)

Çalışmada Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne (DBYBHY, 2007) göre $TD=0.40$ g alınarak gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. DBYBHY 2007'de tanımlanan deprem etkilerine göre Karaova-Milas Fayı olası depremi için Muğla il merkezinde elde edilen ivme değerlerinin karşılaştırılması (Kılıç, 2016)

Değerlendirme Kriteri	Dönüş Periyodu 2475 yıl (g)	Dönüş Periyodu 475 yıl (g)	Dönüş Periyodu 72 yıl (g)
DBYBHY 2007 tasarım deprem ilişkisi	$1.50 \times TD$	TD	$0.5 \times TD$
Probabilistik analiz ile elde edilen ortalama ivme değerleri	0.56 g	0.40 g	0.25 g
DBYBHY 2007'ye göre beklenen ivme değerleri	0.60 g	0.40 g	0.20 g

Tablo 4'de $TD=0.40$ alınarak TDY 2007'ye göre beklenen ivme değerleri hesaplanmıştır. Yapının 50 yıllık ekonomik ömrü içerisinde %2 aşılma olasılığı ile beklenen maksimum yatay yer hareketi ivmesi (2475 yıllık geri dönüş periyodu) 0.56 g beklenen değer in altında (0.60) g bir değer vermiştir. Yapının 50 yıllık ekonomik ömrü içerisinde %50 aşılma olasılığı ile beklenen maksimum yatay yer ivmesi (72 yıllık geri dönüş periyodu) 0.25 g beklenen değer in üstünde (0.20 g) bir değer vermiştir.

Muğla-Yatağan Fayı: Çalışmada Muğla-Yatağan Fayı'nda meydana gelebilecek bir depremin Muğla il merkezinde meydana getireceği ivme değerleri probabilistik olarak hesaplanması için öncelikle faya ait parametrik değerler belirlenmiştir (Tablo 5).

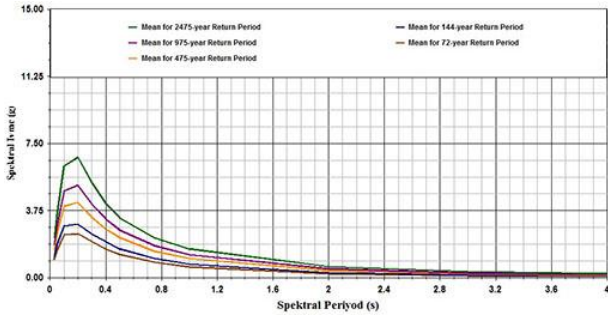
Tablo 5. Muğla-Yatağan Fayına ait parametrik değerler

b	β	λ	m_{min}	m_{max}	r
0.78	1.8	0.01	4.0	6.3	0.20 km

Elde edilen bu değerlere göre de hesaplanan probabilistik ivme değerleri tablo halinde sunulmuş ve grafik ile gösterilmiştir (Tablo 6 ve Şekil 13).

Tablo 6. Muğla-Yatağan Fayı olası depremi sonucunda Muğla il merkezinde elde edilen ivme değerleri (Kılıç, 2016)

Azalm İlişkileri	D.P. 2475 yıl (g)	D.P. 975 yıl (g)	D.P. 475 yıl (g)	D.P. 144 yıl (g)	D.P. 72 yıl (g)
A-S (2008)	7.6 g	6.0 g	4.9 g	3.6 g	3.0 g
B-A (2008)	4.0 g	3.19 g	2.7 g	2.10 g	1.75 g
B-J-F (1997)	2.45 g	2.10 g	1.80 g	1.35 g	1.15 g
C-B (2008)	4.0 g	3.25 g	2.80 g	2.15 g	1.81 g
C-Y (2008)	10.6 g	7.98 g	6.03 g	4.02 g	3.50 g
Ortalama	5.73 g	4.50 g	3.64 g	2.64 g	2.24 g



Şekil 13. Muğla-Yatağan Fayı olası depremi sonucunda Muğla il merkezi için elde edilen %5 sönümlü elastik spektral ivme spektrumu (Kılıç, 2016)

Çalışmada Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne (DBYBHY, 2007) göre TD=3.64 g alınarak gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır (Tablo 7).

Tablo 7. DBYBHY 2007'de tanımlanan deprem etkilerine göre Muğla-Yatağan Fayı olası depremi için Muğla il merkezinde elde edilen ivme değerlerinin karşılaştırılması (Kılıç, 2016)

Değerlendirme Kriteri	Dönüş Periyodu 2475 yıl (g)	Dönüş Periyodu 475 yıl (g)	Dönüş Periyodu 72 yıl (g)
DBYBHY 2007 tasarım deprem ilişkisi	1.50xTD	TD	0.5xTD
Probabilistik analiz ile elde edilen ortalama ivme değerleri	5.73 g	3.64 g	2.24 g
DBYBHY 2007'ye göre beklenen ivme değerleri	5.46 g	3.64 g	1.82 g

Tablo 7'de TD=3.64 alınarak DBYBHY 2007'ye göre beklenen ivme değerleri hesaplanmıştır. Yapının 50 yıllık ekonomik ömrü içerisinde %2 aşılma olasılığı ile beklenen maksimum yatay yer hareketi ivmesi (2475 yıllık geri dönüş periyodu) 5.73 g beklenen değer altında (5.46 g) bir değer vermiştir. Yapının 50 yıllık ekonomik ömrü içerisinde %50 aşılma olasılığı ile beklenen maksimum yatay yer ivmesi (72 yıllık geri dönüş periyodu) 2.24 g beklenen değer üstünde (1.82 g) bir değer vermiştir.

Ula-Ören Fayı: Çalışmada Ula-Ören Fayı'nda meydana gelebilecek bir depremin Muğla il

merkezinde meydana getireceği ivme değerleri probabilistik olarak hesaplanabilmesi için gerekli parametrik değerler tablo halinde sunulmuştur (Tablo 8).

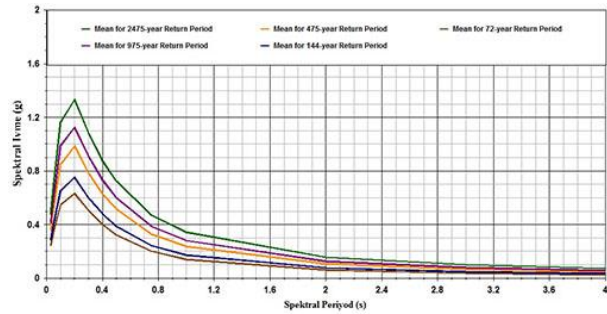
Tablo 8. Karaova-Milas Fayına ait parametrik değerler

b	β	λ	m _{min}	m _{max}	r
0.81	1.86	0.01	4.0	6.2	16.41 km

Elde edilen bu değerler yardımıyla hesaplanan probabilistik ivme değerleri belirlenmiş ve grafik ile gösterilmiştir (Tablo 9 ve Şekil 10).

Tablo 9. Ula-Ören Fayı olası depremi sonucunda Muğla il merkezinde elde edilen ivme değerleri (Kılıç, 2016)

Azalm İlişkileri	D.P. 2475 yıl (g)	D.P. 975 yıl (g)	D.P. 475 yıl (g)	D.P. 144 yıl (g)	D.P. 72 yıl (g)
A-S (2008)	1.27 g	1.06 g	0.93 g	0.71 g	0.60 g
B-A (2008)	1.09 g	0.90 g	0.78 g	0.60 g	0.50 g
B-J-F (1997)	1.08 g	0.95 g	0.83 g	0.66 g	0.56 g
C-B (2008)	1.64 g	1.37 g	1.20 g	0.95 g	0.80 g
C-Y (2008)	1.26 g	1.05 g	0.90 g	0.68 g	0.55 g
Ortalama	1.26 g	1.06 g	0.92 g	0.72 g	0.60 g



Şekil 15. Ula-Ören Fayı olası depremi sonucunda Muğla il merkezi için elde edilen %5 sönümlü elastik spektral ivme spektrumu

Çalışmada Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne (DBYBHY, 2007) göre TD=0.92 g alınarak gerekli karşılaştırmalar yapılmıştır (Tablo 10).

Tablo 10. DBYBHY 2007'de tanımlanan deprem etkilerine göre Ula-Ören Fayı olası depremi için Muğla il merkezinde elde edilen ivme değerlerinin karşılaştırılması (Kılıç, 2016)

Değerlendirme Kriteri	Dönüş Periyodu 2475 yıl (g)	Dönüş Periyodu 475 yıl (g)	Dönüş Periyodu 72 yıl (g)
DBYBHY 2007 tasarım deprem ilişkisi	1.50xTD	TD	0.5xTD
Probabilistik analiz ile elde edilen ortalama ivme değerleri	1.26 g	0.92 g	0.60 g
DBYBHY 2007'ye göre beklenen ivme değerleri	1.38 g	0.92 g	0.46 g

Tablo 10'da TD=0.92 alınarak DBYBHY 2007'ye göre beklenen ivme değerleri hesaplanmıştır. Yapının 50

yıllık ekonomik ömrü içerisinde %2 aşılma olasılığı ile beklenen maksimum yatay yer hareketi ivmesi (2475 yıllık geri dönüş periyodu) 1.26 g beklenen değer altında (1.38 g) bir değer vermiştir. Yapının 50 yıllık ekonomik ömrü içerisinde %50 aşılma olasılığı ile beklenen maksimum yatay yer ivmesi (72 yıllık geri dönüş periyodu) 0.60 g beklenen değer üstünde (0.46 g) bir değer vermiştir.

4. Sonuç ve Tartışma

Yapılan bu çalışmada Batı Anadolu'nun güncel depremselliğine bağlı olarak Muğla ili ve çevresine ait depremsellik, depremsellik parametreleri, olası bir deprem senaryosu ve bu senaryoya bağlı oluşacak deprem sonucunda yerel tepki spektrumları belirlenmiştir.

Çalışmada ilk olarak çalışma alanının depremselliğinin ve depremsellik parametrelerinin belirlenmesi için homojen bir kataloğa ihtiyaç duyulmaktadır. Bu katalog da 1964-2015 yılları arasındaki deprem verilerinin ISC ve NEIC kataloglarından alınması ve gerekli işlemlerin uygulanması sonucunda homojen hale getirilerek oluşturulmuştur. Katalogun homojen hale getirilmesiyle depremlerin zamana ve uzaya göre dağılımları incelenmiş ve daha sonra gerekli depremsellik parametrelerinin hesaplanabilmesi için inceleme alanı $0.25^{\circ}K \times 0.25^{\circ}D$ $r=0.25$ alt bölgelere ayrılmıştır. Bir bölgenin depremselliğini yansıtan en önemli parametreler olarak kabul edilen deprem aktivite oranı " λ ", Gutenberg-Richter bağıntısındaki " b " parametresi ve en büyük bölgesel magnitüd " m_{max} " değeri bütün alt bölgelerde hesaplanmıştır. Ancak inceleme yapılan alt bölgelerde yeterli sayıda deprem bulunmadığı durumlarda gerekli hesaplamalar yapılamadığı için o alt bölgeler değerlendirme dışında tutulmuştur. Bu hesaplamalar doğrultusunda elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- ✓ Çalışmada " b " parametresi sırası ile En Büyük Olasılık (EBO) ve Kal-Tek (KT) yöntemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Muğla ili ve çevresi için b değerinin EBO yöntemine göre $0.7 < b < 0.9$ ve KT yöntemine göre ise $0.8 < b < 0.84$ aralığında değiştiği belirlenmiştir.
- ✓ Elde edilen " b " değerleri Türkiye geneli için literatürde verilen ortalama " b " değeri ($b_{ort}=0.90$) ile karşılaştırıldığında çalışma alanının yüksek gerilme birikimine sahip olduğu görülmektedir. Ancak " b " değeri kullanılarak yapılan çalışmalarda önemli olan matematiksel sonuç değil bölgenin sismisitenin uzaysal dağılımının yakalanıp yakalanamamasıdır. Kullanılan yöntemlerden elde edilen dağılımların incelenmesi sonucunda; doğrudan elde edilen " b " değerlerinin uzaysal dağılımından

bölge içi sismisite hakkında yorum yapmanın belirli eksikliklere yol açtığı, sismisite haritalarının oluşturulmasında " a " parametresinin sabit olarak kabul edildiği KT yönteminin daha uygun sonuçlar verdiği görülmüştür.

- ✓ KT yönteminden elde edilen " b " değeri dağılımının bölge için daha uygun olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle çalışmada son olarak bölge için beklenen en büyük magnitüd değerini temsil eden " m_{max} " parametresinin belirlenebilmesi için bu yöntemden elde edilen " b " değerleri kullanılarak farklı araştırmacılar için geliştirilen " m_{max} " belirleme metodlarından yararlanılmıştır. Böylelikle farklı " b " değerlerinin " m_{max} " değerleri ve dağılımları üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.
- ✓ Muğla ili ve çevresi için KT yönteminden elde edilen " b " değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda en büyük bölgesel magnitüd " m_{max} " değerinin $6.0 \leq M_w \leq 6.5$ aralığında olduğu görülmüştür. Buna ilaveten yapılan çalışmada Batı Anadolu için en büyük bölgesel magnitüd " m_{max} " değerinin $M_w=8.0-8.2$ aralığında değişim gösteren oldukça büyük değerler vermiş olması da göz ardı edilmemelidir. Çünkü bu büyüklükte bir depremin Batı Anadolu'nun büyük çoğunluğunu etkileyebilecek sosyo-ekonomik sorunların oluşmasına neden olacağı kaçınılmaz bir gerçektir.

Çalışmanın ikinci ve son aşamasında ise olası bir deprem sonrasında Muğla il merkezi için yerel tasarım spektrumları belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için öncelikle çalışma alanının depremselliği ve tektonik özellikleri incelenerek çalışma alanında deprem üretmesi muhtemel olan fayların, bu faylara ait depremsellik parametrelerinin ve fiziksel parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Elde edilen bu parametrelere bağlı olarak literatürde yer alan farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen azalım ilişkileri kullanılarak probabilistik analizlerle il merkezi için yerel tasarım ivme spektrumları belirlenmiştir. Bu hesaplamalar doğrultusunda elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- ✓ Çalışmada Muğla ve çevresi için 2475 yıl, 975 yıl, 475 yıl, 144 yıl ve 72 yıl tekrarlama süreleri için spektral ivme değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre de aşılma olasılığı %2, %10 ve %50 olan depremler için elde edilen modellemenin çalışma alanı için uygun spektral ivme değerleri olup olmadığı incelenmiştir. 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremler (dönüş periyodu 475 yıl) için ivme değerleri sırası ile 0.40 g, 3.64 g ve 0.92 g olarak hesaplanmıştır.

Yoğun deprem aktivitesine sahip ülkemizde can kayıplarının ve ekonomik kayıpların en az seviyeye indirilmesini sağlamak için ülke genelinde öncelikli bölgeler ve çalışma alanları belirleyerek bu tür çalışmaların yaygınlaşmasını desteklemek son derece önemlidir. Çünkü bu tür çalışmalardan elde edilecek sonuçların diğer yer bilimleri ve deprem mühendisliği araştırmalarında elde edilecek bulgularla birleştirilmesiyle, yerel ölçekte bir veri merkezi oluşturarak deprem zararlarının en az seviyeye indirilmesini sağlamak mümkündür.

Teşekkür

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 3983-D1-14 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- Abrahamson, N.A. ve Silva, W.J., 1997. Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes. *Seismological Research Letters*, 68: 94-127.
- Abrahamson, N.A. ve Silva, W.J., 2008. Summary of the Abrahamson and Silva Ground-Motion Relations Earthquake Spectra, 24, I, 67-97.
- Aki, K., 1965. Maximum Likelihood Estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits. *Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo*, 43, 237-239.
- Allen, C.R., Amanp, P., Richter, C.F., Nordquist, J.M., 1965. Relation Between Seismicity and Geological Structure in the S. California Region. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 55, 752-797.
- Alptekin, Ö., 1978. Magnitude-Frequency Relationships and Deformation Release for the Earthquakes in and around Turkey. Thesis for Promoting to Associate Professor Level, Karadeniz Technical University, 107s., Trabzon.
- Ambraseys, N.N. ve Jackson, J.A., 1998. Faulting Associated with Historical and Recent Earthquakes in the Eastern Mediterranean

Region, *Geophysical Journal International*, 133, 390-406.

- Ambraseys, N.N., 1975. Trends in Engineering Seismology in European Conference on Earthquake Engineering, Volume 3.
- Ambraseys, N.N., Douglas, J., Sarma, S.K., Smith, P.M., 2005. Equations for the Estimation of Strong Ground Motions from Shallow Crustal Earthquakes Using Data from Europe and the Middle East: Horizontal Peak Ground Acceleration and Spectral Acceleration. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 3:1-53.
- Ambraseys, N.N., Simpson, K.A., Bommer, J.J., 1996. Prediction of Horizontal Response in Europe. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25, 371-400.
- Atkinson, G.M. ve Boore, D.M., 2003. Empirical Ground-Motion Relations for Subduction Zone Earthquakes and their Application to Cascadia and other Regions. *Bulletin of the Geological Society of America*, 93(4).
- Aydan, Ö., 2001. İstanbul Boğazı Denizaltı Geçişi İçin Tip Tünel ile Kalkan Tünelin Uygunluğunun Karşılaştırılması. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 25(1),1-17.
- Aydan, Ö., Sedaki, M. ve Yarar, R., 1996. The Seismic Characteristic of Turkish Earthquakes. Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, 23-28 June, Acapulco, Mexico.
- Beyaz, T., 2004. Zemin Etkisinden Arındırılmış Deprem Kayıtlarına Göre Türkiye İçin Yeni Bir Deprem Enerjisi Azalım Bağıntısının Geliştirilmesi. Ankara Üniversite Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 224s., Ankara.
- Boore, D.M. ve Atkinson, G., 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.
- Boore, D.M., Joyner, W.B. ve 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.
- Burton, P. W., 1979. Seismic Risk In Southern Europe Through India Examined Gumbel's Third Distribution of Extreme Values. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 59, 259-280.

- Campbell, K. ve 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 s to 10 s, , Earthquake Spectra, 24, 1, 139-171.
- Campbell, K., 1982. Bayesian Analysis of Extreme Earthquake Occurrences. Part I. Probabilistic Hazard Model, Bulletin of Seismological Society of America, 72, 1689-1705.
- Campbell, K., 1989. The Dependence of Peak Horizontal Acceleration on Magnitude, Distance and Site Effects for Small-Magnitude Earthquakes in California and Eastern America. Bulletin of the Geological Society of America, 79 (5), 1311-1346.
- Chiou, B. ve Youngs, R., 2008. An NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra. Earthquake Spectra, 24(1), 173-215.
- Çeken, U., 2007. Marmara Bölgesinin Kuvvetli Yer Hareketi Azalım İlişkisi Modeli, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 213 s., Sakarya.
- Douglas, J., 2011. Ground-Motion Prediction Equations 1964-2010. Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).
- Dwight, H.B., 1961. Tables of Integrals and Other Mathematical Data, 3d edition, The Macmillan Co., New York.
- Erdik, M., Ansal, A., Aydınoglu, N., Barka, A., Işıkara, A.M., Yüzügüllü, Ö., Avcı, J., Özel, O., Alpaya, Y., Birgören, G., 2000. İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı, İzmir Büyükşehir Belediyesi, (<http://www.izmir-bld.gov.tr/eski/izmirdeprem/izmirrapor.htm>), İzmir.
- Eren, Y. 2009. Neotektonik Ders Notları, Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 124s., Konya.
- Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z., 1967. Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (M.S. 11-1964). İstanbul Teknik Üniversitesi, Arz Fiziği Enstitüsü Yayınları, 24, İstanbul.
- Frohlick, C. Ve Davis, S., 1993. Telesismic b-Values: or, Much About 1.0. Journal of Geophysical Research, 98, 631-644.
- Fukushima, Y. ve Tanaka, T., 1990. A New Attenuation Relation for Peak Horizontal Acceleration of Strong Earthquake Ground motion in Japan. Bulletin of the Seismological Society of America, 84p., 757-783.
- Gutenberg, B. ve Richter, C.F., 1944. Frequency of Earthquakes in California. Bulletin of the Seismological Society of America, 34, 185-188.
- Gülal, E., Soyca, M., Dolmaz, N., Erdoğan, S., Kalyoncuoğlu, Y., Yılmaz, İ., Erdoğan, H., Baybura, T., Elitok, Ö., Aykut, O., Ata, E., Akpınar, B., Tiryakioğlu, İ., Gümüş, K., Anadolu, N., Öcalan, T., Telli, A. K., Taktak, F. 2011. Güneybatı Anadolu Bölgesindeki Blok Hareketleri ve Gerilim Alanlarının GNNS Ölçümleri İle Belirlenmesi. TÜBİTAK, Proje No: 108Y298.
- Gülkan, P. ve Kalkan, E., 2002. Attenuation Modeling of Recent Earthquakes in Turkey. Journal of Seismology, 6, 397-409.
- Hazidimitriou, P.M., Papadimitriou, E.E., Mountrakis, D.M., Papazachos, B.C., 1985. The Seismic Parameter b of the Frequency-Magnitude Relation and its Association with the Geological Zones in the Area of Greece. Tectonophysics, 120, 141-151.
- Idriss, I.M., 2008. A NGA Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated by Shallow Crustal Earthquakes. , Earthquake Spectra, 24, 217-242.
- İnan, E., Çolakoğlu, Z., Koç, N., Bayülke, N. ve Çoruh, E., 1996. 1976-1996 Yılları Arası İvme Kayıtları Olan Deprem Kataloğu. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, 98s., Ankara.
- Kalafat, D., Güneş, Y., Kekovalı, K., 2005. Mavi Ağ Projesi ve Muğla Bölgesi'nin Depremselliklerinin Eş-Zamanlı Takibi, Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitapçığı, 158-160, 23-25 Mart 2005, Kocaeli.
- Kalafat, D., 2010. Türkiye Deprem Kataloğunun İstatistik Açısından Değerlendirilmesi: Örnek Çalışma-Statistical Evaluation of Turkey Earthquake Catalog: Case Study, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, 1039, 87s., İstanbul.
- Kalkan, E. ve Gülkan, P., 2004. Site-Dependent Spectra Derived from Ground Motion Records in Turkey. Earthquake Spectra, 20, 4.
- Kalyoncuoğlu, Ü.Y., 2007. Evaluation of Seismicity and Seismic Hazard Parameters in Turkey and Surrounding Area Using a New Approach to the Gutenberg-Richter Relation. Journal of Seismology, 11/2, 131-148.
- Kartal, R.F., Kadiroğlu, F.T., Kılıç, T., 2014. Muğla Bölgesinin Sismik Aktivitesi ve Yapay Sarsıntılar, 18. Aktif Tektonik Araştırma Grubu Çalıştayı, 5-7 Kasım 2014, Muğla.

- Kılıç, N.C.A., 2016. Batı Anadolu'da Depremsellik, Gerilme Dağılımı ve Sismik Tehlike Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 333s., Isparta.
- Kijko, A. ve Sellevoll, M. A., 1989. Estimation of Earthquake Hazard Parameters from Incomplete Data Files, Part I, Utilization of Extreme and Complete Catalogues with Different Threshold Magnitudes. Bulletin of the Seismological Society of America, 79, 645-654.
- Kijko, A. ve Sellevoll, M. A., 1992. Estimation of Earthquake Hazard Parameters From Incomplete Data Files, Part II, Incorporation of Magnitude Heterogeneity. Bulletin of the Seismological Society of America, 82, 120-134.
- Koçyiğit, A., Yüceci, M.S., Ulusay, R., Yakut, A., Erdik, M., Emre, Ö., Erkmen, C., Yılmaz, N., 2010. Deprem Tehlike Analizleri ve Haritaları Çalışma Grubu Strateji Raporu, 56s.
- Lomnitz, C., Sing, S. K., 1976. Earthquake and Earthquake Prediction in Seismic Risk and Engineering Decisions, Elsevier Scientific Pub. Co., Amsterdam, : 3-30.
- Manakou, M.V. ve Tsapanos, T.M., 2000. Seismicity and Seismic Hazard Parameters Evaluation in the Island of Crete and Surrounding Area Inferred from Mixed Data Files. Tectonophysics, 321, 157-178.
- Miyamura, S., 1962. Magnitude-Frequency Relations and its Bearing to Geotectonics. Proceedins of the Japan. Academy, 38, 27-30.
- Mori, J. ve Abercrombie, R.E., 1997. Depth Dependence of Earthquake Frequency Magnitude Distributions in California, Journal of Geophysical Research, 102, 15081-15090.
- Olsson, R., 1999. An Estimation of Maximum b-Value in the Gutenberg-Richter Relation. Journal of Geodynamics, 27, 547-552.
- Özbey, C., Sarı, A., Manuel, L., Erdik, M., Fahjan, Y., 2004. An Empirical Attenuation Relationship for Northwestern Turkey Ground Motion Using a Random Approach. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24, 115-125.
- Papazachos, B. C., 1974. Dependence of the Seismic Parameter b on the Magnitude Range. Pure and Applied Geophysics, 112, 1059-1065.
- Papazachos, B. C., 1999. An Alternative Method for a Reliable Estimation of Seismicity with an Application In Greece And The Surrounding Area. Bulletin of Seismology Society of America 89, 111-119.
- Papazachos, B.C. ve C.B., Papazachou, 1997. The Earthquakes of Greece, Ziti Publication Thessaloniki, 304p, Greece.
- Sadigh, K., Chang, C.Y., Egan, J.A., Makdisi, F., Youngs, R.R. 1997. Attenuation Relationship for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data. Seismological Research Letters, 68 (1), 180-189.
- Scholz, C.H., 1968. The Frequency-Magnitude Relation of Microfracturing in Rocks and its Relation to Earthquakes. Bulletin of the Seismological Society of America, 58, 399-415.
- Scordilis, E.M., 2006. Empirical Global Relations Converting M_s And M_b To Moment Magnitude. Journal of Seismology 10, 225-236.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D. ve Altınok, Y., 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu, M.Ö. 2100-M.S. 1900. TÜBİTAK Temel Bilimler Araştırma Grubu 341, 87s, İstanbul.
- Şengör, A.M.C., 1980. Türkiye'nin Neotektoniğinin esasları, Türkiye Jeoloji Kurumu Konferans Serisi, 2.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. ve Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: Biddle, K. T. And Christie-Blick, N. (Eds.), Strike-slip deformation, Basin Formation and Sedimentation. Society of Economic Mineralogist and Paleontologists Special Publication 37, 227-264.
- Tabban, A. ve Gencoğlu, S., 1975. Deprem ve Parametreleri, Deprem Araştırma Bülteni, 11:7-83.
- Tsapanos, T.M., Galanopoulos, D.G., Burton, P.W., 1994. Seismicity in the Hellenic Volcanic Arc:Relation Between Seismic Parameters and the Geophysics Fields in the Reion, Geophysical Journal International, 117, 1677-1687.
- Ulusay, R., Tuncay, E., Sonmez, H. ve Gökceoğlu, C., 2004. An Attenuation Relationship Based on Turkish Strong Motion Data and Iso-Acceleration Map of Turkey. Engineering Geology, 74, 265-291.
- Utkucu, M., Budakoğlu, E., Durmuş, H., 2011. Marmara Bölgesinde (KB Türkiye) Depremsellik ve Deprem Tehlikesi Üzerine Bir Tartışma. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 32 (3), 187-212.

Wang, J.H., 1988. B-Values of Shallow Earthquakes in Taiwan. Bulletin of the Seismological Society of America, 78, 1243-1254.

Wiemer, S. Ve Wyss, M., 1997. Mapping the Frequency-Magnitude Distribution in Asperities: An improved Technique to calculate recurrence times. Journal of Geophysical Research, 102, 15115-15128.

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

www.koeri.boun.edu.tr

Yalçın, H., Özaltan, İ., Kurnazi T.F., 2013. Gediz Fayı ve Yakın Çevresinin Deprem Tehlike Analizi. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 25-27 Eylül, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay.

Youngs, R.R., Chiou, S.J., Silva, W.J., Humperry, J.R., 1997. Strong Ground Motion Attenuation Relationship for Subduction Zone Earthquakes. Bulletin of the Geological Society of America 68 (1), 58-73.