BURSA ŞEHRİ YEREL TASARIM SPEKTRUMUNUN OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ İLE ELDE EDİLMESİ

Hilal Yalçın[1] , Mustafa Kutanis[2] Gülçe Özbayraktar[3]

[1] *Araştırma Görevlisi, Jeofizik Müh. Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya*
[2] *Yardımcı Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya*
[3] *Yüksek Lisans Öğrencisi, Jeofizik Müh. Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya*
Email: hdomac@sakarya.edu.tr

ÖZET:

Çalışma kapsamında, güncel veriler kullanılarak Bursa Şehri'nin olasılıksal sismik tehlike analizi yapılmıştır. Bu bağlamda, bölgenin deprem katalog bilgileri derlenmiş, bölgeyi tehdit eden faylar, alansal deprem kaynağı olarak modellenmiş ve aşılma olasılığı 50 yılda %2, %10 ve %20 olan depremler için ivme spektrumları elde edilmiştir. Elde edilen bu spektrumlar, yer tepki analizleri ile, serbest zemin yüzeyine taşınmıştır. Yapılan bu çalışmalarda, Bursa Şehri için kullanılabilecek yerel tasarım spektrumları elde edilmiştir. Bursa şehrinin güncel deprem tehlike analizi yapılmış ve sonuçları tartışılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Sismik tehlike analizi, Tasarım spektrumu, Yer tepki analizi

1. GİRİŞ

Marmara Bölgesi gerek ekonomik, gerekse de jeopolitik önemi bakımından sadece Türkiye değil Dünya için de çok önemli bir yere sahiptir. Gittikçe artan sanayileşme ve endüstrileşme kentsel nüfusu da bir hayli arttırmaktadır. Kuzey Anadolu Fayı'nın batıdaki uzanımının kendini yoğun olarak hissettirdiği bu bölgede, bütün bu çevresel faktörlerin etkisiyle deprem tehlikesi de oldukça artmıştır. Özellikle geçmiş yıllarda yaşadığımız 1999 İzmit (Mw= 7.5) ve 12 Kasım 1999 Düzce (Mw= 7.2) depremleri büyük ölçüde can kayıplarına ve ekonomik kayıplara neden olmuştur. Giderek gelişmekte ve büyümekte olan Bursa ili için de Deprem Riski ve Sismik Tehlike dağılımının, günümüz yerbilimlerinin sağlayabileceği modern gözlem, ölçüm ve modellemeye dayalı veriler ile belirlenmesi gerekmektedir ve buna bağlı olarak da gereki tedbirlerin alınması sağlanmalıdır.

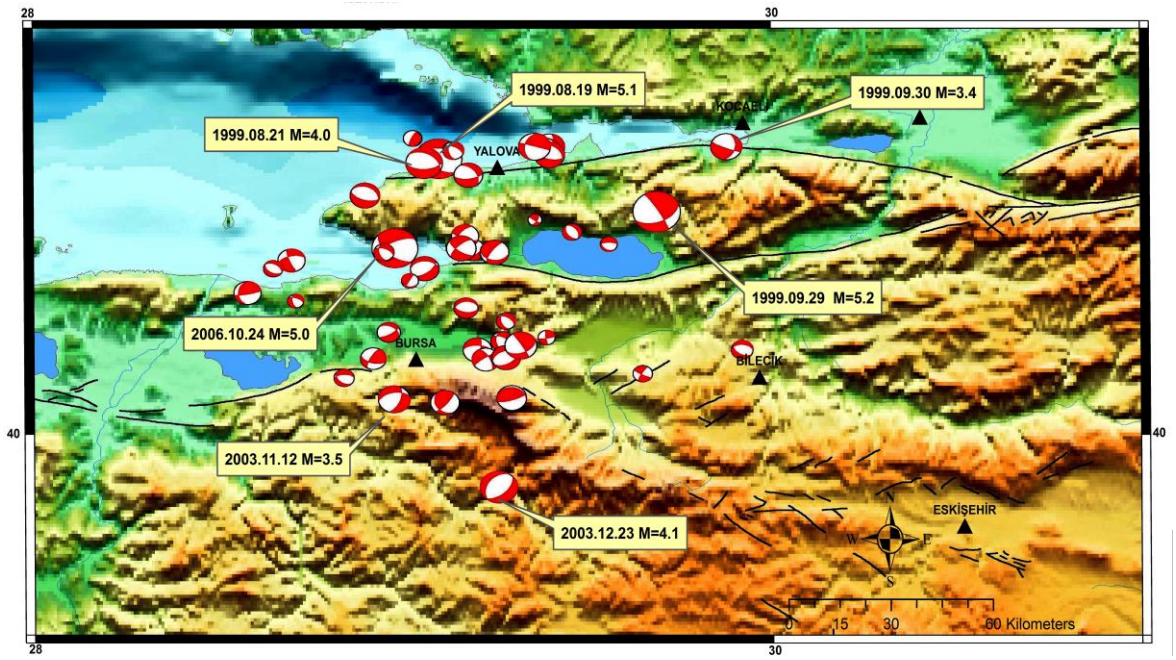
Bu çalışmada Bursa ili ve yakın çevresi için 1900-2010 yılları arasında göstermiş olduğu sismisite incelenmiştir. Bölge için kapsamlı ve homojen bir katalog oluşturulmuştur. Çalışılan bölgede Gutenberg – Richter parametreleri (a ve b değerleri) hesaplanmış ve b değerlerinin uzaysal ve zamansal ortamda değişimleri incelenmiş ve haritalanmıştır. Genel olarak magnitüd-frekans bağıntılarından elde edilen b değerlerinin kabuktaki gerilime bağlı ve ters orantılı olarak değiştiği belirlenmiştir. Marmara bölgesine bakıldığında Güney Marmara Bölgesi için b değerlerinin 0.5-1.1 arasında değiştiği elde edildiği görülmüş ve bu bölge en çok enerji açığa çıkaran bölgelerden biri olarak tespit edilmiştir.

Ayrıca CMT-Harvard verileri ve diğer literatür çalışmalarından faydalanılarak elde edilen bu bölgede meydana gelen depremlerin çözümlerinden yararlanılarak bölgenin genel hakim sismotektonik karakteri incelenmeye çalışılmış ve elde edilen olasılıksal sismik tehlike analizleri ile ilişkilendirmeye çalışılmıştır.

2. BÖLGENİN TEKTONİĞİ

KAFZ, Marmara Bölgesi'ne girdikten sonra üç kola ayrılmaktadır (Şekil 1) (Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Şaroğlu vd., 1992). Kuzey Kol, Sapanca-Gölcük- Çınarcık- Marmara Denizi altından geçerek Saroz Körfezi'ne girmekte, Orta Kol Geyve- Mekece- İznik Gölü güneyi-Gemlik Körfezine uzanmakta ve Güney Kol Geyve-Yenişehir-Bursa-Biga Yarımadası hattını takip etmektedir. Orta kolu ise İznik gölü ve Gemlik Körfezi'ni Güney kolu da, orta kola göre daha güneyde olup Edremit Körfezi'ne kadar etkinliğini sürdürmektedir. Tarihsel ve aletsel dönemde birçok yıkıcı depremin meydana geldiği bu bölge yüksek sismik aktiviteye sahiptir. Odak mekanizması çözümlemelerinin normal ve doğrultu atımlı faylanmalar gösterdiği Marmara Bölgesinde büyük, sığ ve yıkıcı depremler meydana gelmektedir (Şekil 1).

KAFZ'nun gerek Marmara Bölgesi içinde gerekse daha batıda Ege denizi içinde devam ettiği deprem odak mekanizma çözümleri ile de desteklenmektedir (Taymaz vd., 1991; Pınar vd., 2003; Kalafat vd., 2009; Örgülü, 2011). GPS çalışmaları, Kuzey kol için diğer kollara göre çok daha büyük fay kayma hızı önermektedir (Flerit vd., 2003; Reilinger vd., 2006; Pondard vd., 2007). Kuzey, Orta ve Güney Kollar için hesaplanan fay kayma hızları sırasıyla 20, 3 ve 2 mm/yıl'dır (Gülen ve diğ., 2002; Utkucu ve diğ., 2011; Yalçın ve diğ., 2012).



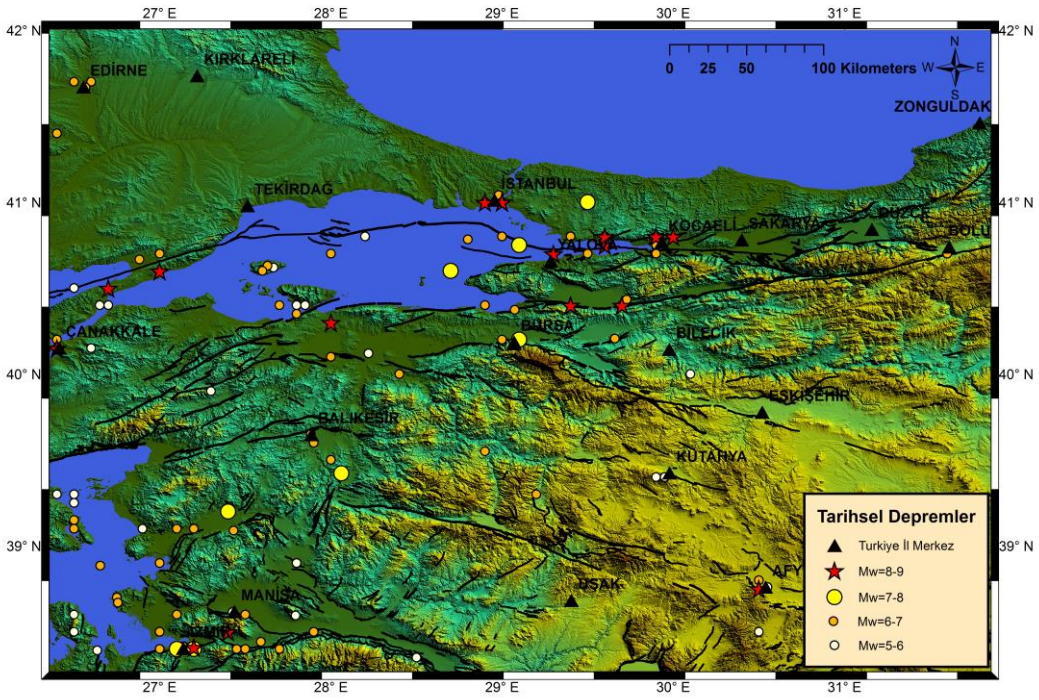
Şekil 1. Farklı literatür çalışmalarından (1995-2003- M≥3) yararlanılarak elde edilen depremlerin odak mekanizma çözümleri (CMT-Harvard; Gürbüz ve diğ., 2000; Gök ve diğ., 2011; Sellami ve diğ., 1997; Polat ve diğ., 2002)

Bursa ili aktif deprem üreten önemli bir tektonik kuşak bölgesinde ve Marmara Bölgesi'nin güneyinde yer almaktadır. 17 Ağustos 1999 İzmit depremi'ni izleyen jeolojik ve jeofizik çalışmalar KAF sisteminin Marmara Denizi içindeki konumu ve deprem üretebilecek aktif parçalarının belirlenmesi üzerine yoğunlaştırılmıştır. 1999 İzmit depremi ardından KAFZ'nun Marmara Denizi altındaki uzanımının nasıl olduğu konusunun aydınlatılması bağlamında yapılan birçok çalışma (örneğin; Okay vd., 2000; LePichon vd., 2001; Armijo vd., 2002 ve 2005; Kurtuluş ve Canbay, 2007; Kanbur vd., 2007; Laigle vd., 2008; Kanbur, 2009; Becel vd., 2010) yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda bazı ayrıntıların yorumlanmasında ortaya çıkan farklılıklar dışında KAFZ'nun Marmara Denizi altındaki uzanımı güvenilir olarak belirlenmiştir (Utkucu ve diğ., 2011). Marmara Denizi içinde yer alan

KAF'ın yaklaşık 120 km'lik parçasının büyük bir deprem (büyüklüğü 6.5 veya daha yüksek) üretmesi olasılığının yüksek olduğu ortaya çıkarılmıştır. Diğer taraftan KAF'ın güneyinde yer alan Gemlik Körfezi'nden Marmara Denizi'ne giren İznik-Gemlik branşının da benzer büyüklüklerde deprem üretme potansiyeli vardır. Bu durum Marmara Bölgesi'nde yer alan bir çok büyükşehir gibi Bursa ili için de önemli bir deprem potansiyeli oluşturmaktadır. Bu nedenle, Bursa'yı yerel ve bölgesel ölçekte tehdit edebilecek Marmara, İznik-Gemlik, Uluabat ve Bursa-Çalı gibi kırık sistemlerinin yaratacağı Sismik Tehlike'nin boyutlarının, potansiyel depremleri oluşturma olasılığının araştırılması çok büyük önem kazanmaktadır (Bursa İli İçin Zemin Siniflamasi Ve Sismik Tehlike Değerlendirme Projesi Proje 2. Ara Raporu)

3. BÖLGENİN DEPREMSELLİĞİ

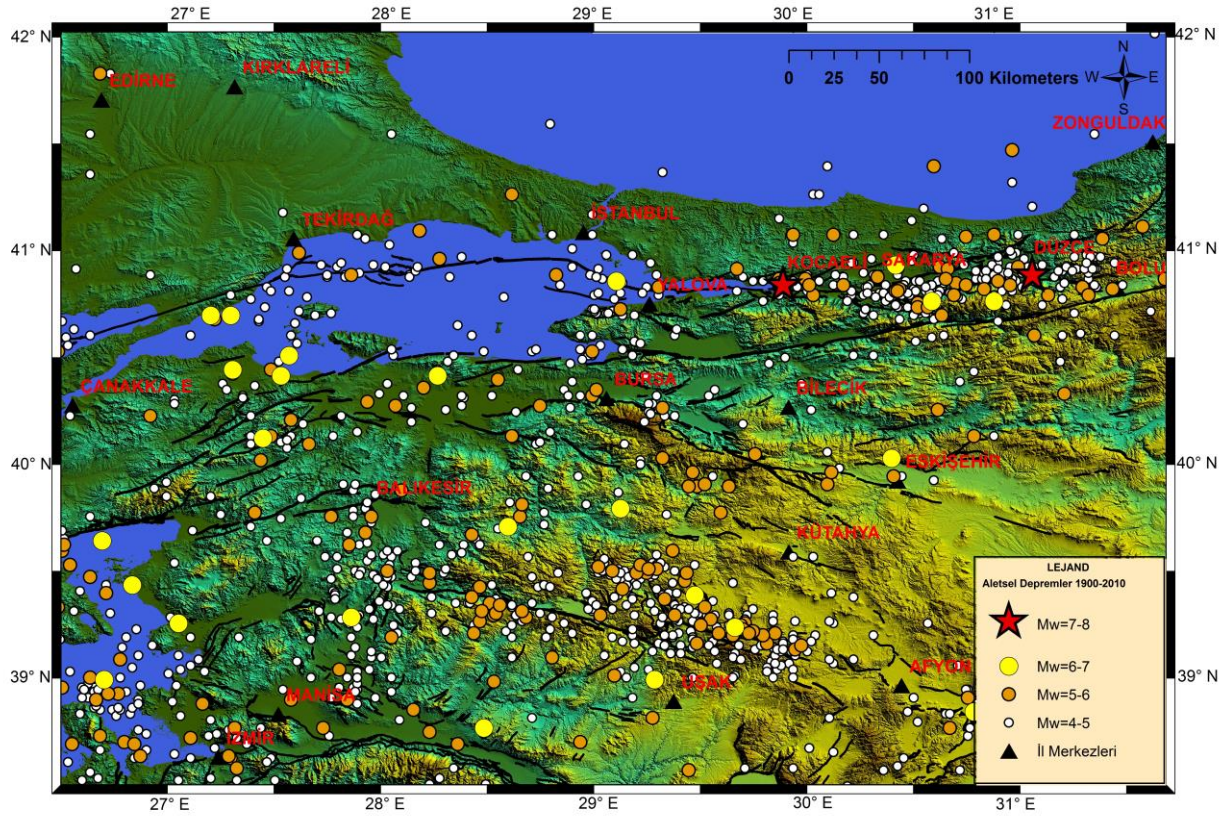
KAFZ'nun üç kol halinde uzanması ve önemli fay kayma hızlarına sahip olması Marmara Bölgesi'nde gerek aletsel gerekse tarihsel dönemde yüksek bir deprem etkinliğine neden olmuştur. Tarihi kaynakların araştırılmaları sonucunda bölgede MS 400 yılından sonra meydana gelmiş büyüklüğü MS $\geq$ 6.8 olan 42 deprem belirlenmiştir (Ambraseys, 2000, 2002; Utkucu, 2011). Özellikle Bursa şehrinde 1855'e kadar meydana gelen depremlerden Bursa ve çevresini etkisi altında alanlar tarih itibariyle; 1508, Mayıs 1556, Ağustos 1668, 1674, Ağustos 1705, Mayıs 1719, 1754, Mayıs-Ağustos 1766 ve 1794 depremleridir (Özcan, 1999)



Şekil 2. Uluslarası (EMME) Ortadoğu'nun Depremselliği Projesi kapsamında hazırlanan tarihsel depremler Kataloğundan yararlanılarak elde edilen Bursa ve çevresi için tarihsel depremler haritası (Zare ve diğ., 2012) (Faylar MTA Genel Müdürlüğü Yenilenmiş Diri Fay Haritaları, 2012 'den yararlanılarak çizilmiştir)

Bunlardan 1674 ve 8 Ağustos 1705 yıllarında meydana gelen zelzelelerin merkez üssü Bursa olup, bir hayli hasara sebep olmuştur. 1855 yılında meydana gelen iki şiddetli deprem, tarihı eserlerin yanı sıra birçok ev ve dükan gibi binalann büyük ölçüde hasar görmesine ve bir kısmının da tamamen yıkılmasına sebep olmuştur.

Aletsel dönemde ise 1900-2010 yılları arasındaki Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü kataloğu büyüklükleri Mw ≥ 4.0 olan büyük deprem etkinliğinin gösterildiği Şekil 3'den bölgedeki yüksek deprem etkinliği açıkça anlaşılabilir.



Şekil 3. 1900-2010 yılları arasında meydana gelen depremleri kapsayan Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nden elde edilen homojen deprem kataloğu kullanılarak oluşturulan Bursa ve yakın çevresinin depremselliği (Yıldızlar Mw≥7 büyüklüğündeki depremleri göstermektedir)(Faylar MTA Genel Müdürlüğü Yenilenmiş Diri Fay Haritaları, 2012 'den yararlanılarak çizilmiştir)

4. DEPREMSELLİK PARAMETRELERİ

Depremlerin oluş sayıları ile magnitüdleri arasındaki ilişkiyi belirleyen Gutenberg-Richter (GR) bağıntısı deprem istatistiğinin temel bağıntısıdır (Gutenberg ve Richter, 1944). Bu nedenle depremsellik çalışmalarında önemli bir yer tutar. Bu bağıntı;

$$\text{Log}N(M)=a-bM \qquad (1)$$

şeklindedir ve depremlerin oluş sayısının deprem magnitüdü arttıkça hızlı bir şekilde azaldığını ifade eder. Burada N belli bir magnitüdden büyük deprem sayısı, M magnitüd ve a ve b ise sabitlerdir. a sabiti deprem

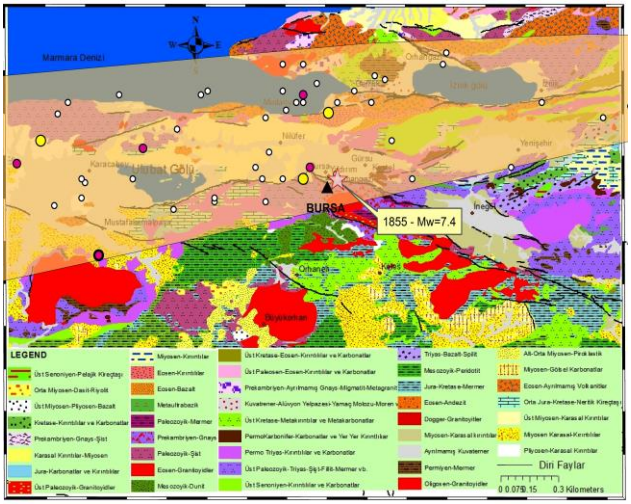
faaliyetinin düzeyi (kabuğun deprem üretkenliği) ile ilişkilidir ve incelenen bölgenin genişliğine ve gözlem süresine bağlıdır. b sabiti kabuktaki gerilme ile ters orantılı olup deprem oluşumun fiziği ile ilişkilidir (Scholz, 1968; Urbancic vd., 1992; Wiemer ve Wyss, 1997). Dünya üzerinde Gutenberg-Richter bağıntısından belirlenen b değeri ortalama 1 civarındadır (Frohlich ve Davis, 1993). G-R bağıntısındaki b değerini hesaplamak için En Büyük Olasılık Yöntemi (Aki, 1965) kullanılmış ve b değerleri

$$b = \frac{log_{10} e}{< m > - m_0} \qquad (2)$$

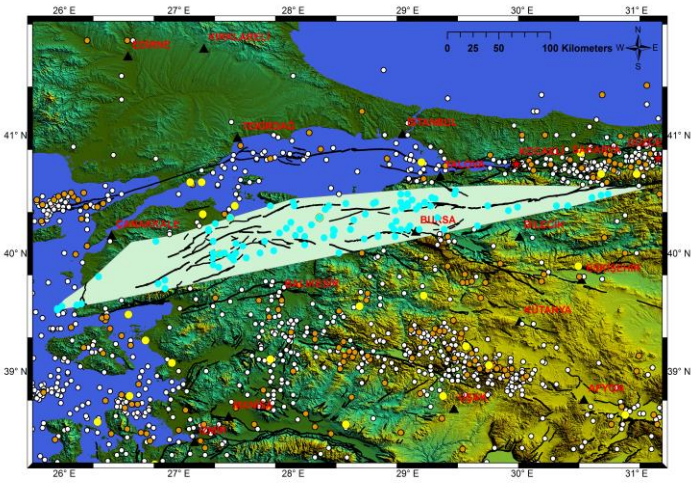
bağıntısı ile hesaplanmıştır. Bu çalışmada G-R bağıntısındaki b değerini hesaplamak için En Büyük Olasılık Yöntemi (Aki, 1965) ve ZMAP paket programı kullanılmıştır**.**

5. KULLANILAN VERİ ve YAPILAN ANALİZLER

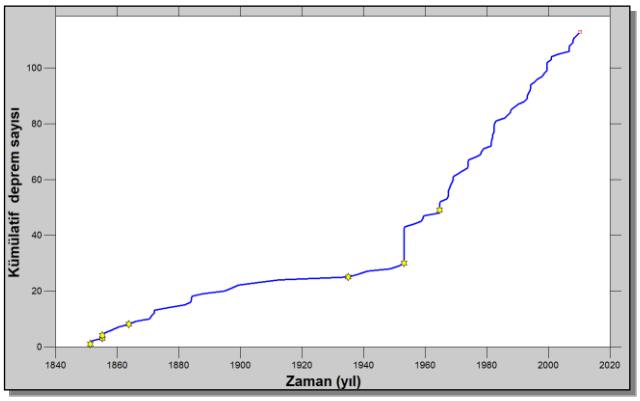
Bu çalışmada Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsünden alınan 1900-2010 yılları arasındaki tüm sismisite verileri (Kalafat ve diğ., 2011) ve Uluslararası EMME (Ortadoğu'nun Depremsellik Projesi) kapsamında hazırlanan (Zare ve diğ., 2011) katalogtan alınan 1850-1900 yılları arasındaki Mw>5 toplam 22 adet tarisel dönem depremlerinin analizi yapılmıştır. Şekilde gösterilen (Şekil 4 ve 5) çalışma zonu için b ve a değeri değişimi haritalanmış ve depremsellik analizleri yapılmıştır. Haritalama işleminin yapıldığı zonun içine düşen depremlerin 50 km çevresi 0.02*0.02 grid alanı oluşturularak b ve a değerleri elde edilmiştir. Yapılan analizlere göre;



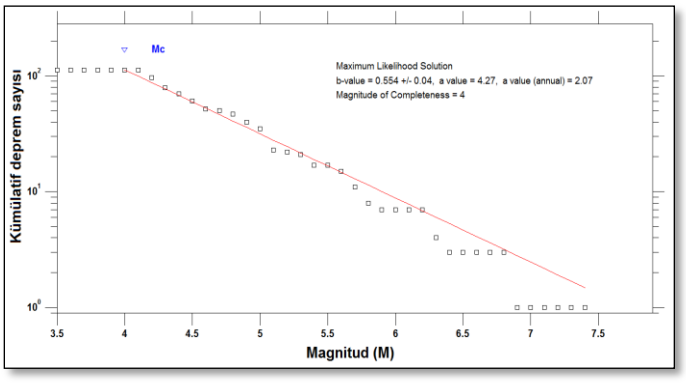
Şekil 4. Bursa ili jeolojisi ve çalışılan kaynak zona düşen depremlerle bölgenin jeolojisinin karşılaştırılması (Bölgenin jeoloji haritası MTA Genel Müdürlüğü Yerbilimleri Portalı Jeoloji Haritası'ndan faydalanılarak oluşturulmuştur)



Şekil 5. Kaf'ın Güney kolunu ve Bursa ilini içine alan kaynak zonuna düşen depremlerin dağılımı.



Şekil 6. 1850-2010 yıları arasındaki kümülatif deprem dağılımının zamana göre dağılımı grafiği

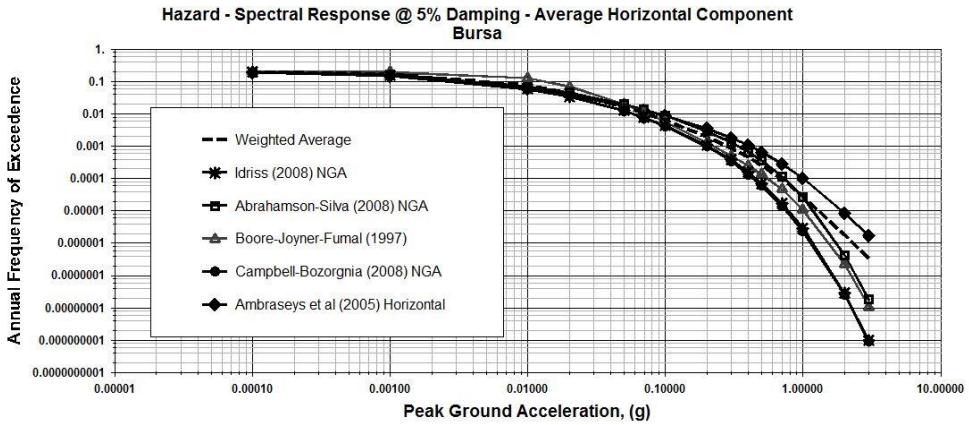


Şekil 7. En büyük olasılık yöntemine göre çalışılan kaynakta hesaplanan Mc, a ve b parametreleri

6. BURSA ŞEHRİ İÇİN SAHAYA ÖZEL TASARIM SPEKTRUMU

Bursa Şehri ve çevresi için sismik tehlike analizleri ve bunun bir sonucu olarak yerel tasarım spektrumları pek çok araştırmacı tarafından elde edilmiştir (Eyidoğan, 2003; Yunatçı ve Öztürk, 2006). Çalışmada Bursa ve çevresini içine alan 16,880 km^2'lik alan içinde kalan 160 yıllık depremler alansal deprem kaynağı oluşturulmasında kullanılmış ve deprem tehlike analizler gerçekleştirilmiştir.

Analizler, McGuire tarafından Cornell metodu algoritması esas alınarak geliştirilen EZ-FRISK yazılımı kullanılmıştır. Idriss, 2008, Abrahamson-Silva (2008), Boore-Joyner-Fumal (1997) ve Campbell-Bozorgnia (2008) azalım ilişkileri birbirine yakın ve uyumlu sonuçlar üretmiş olmasına karşın Ambraseys et al (2005) azalım ilişkisi ile diğer azalım ilişkilerine oranla yaklaşık 1.5 kat daha yüksek ivme değerleri hesaplanmıştır (Şekil 8, Tablo 1).

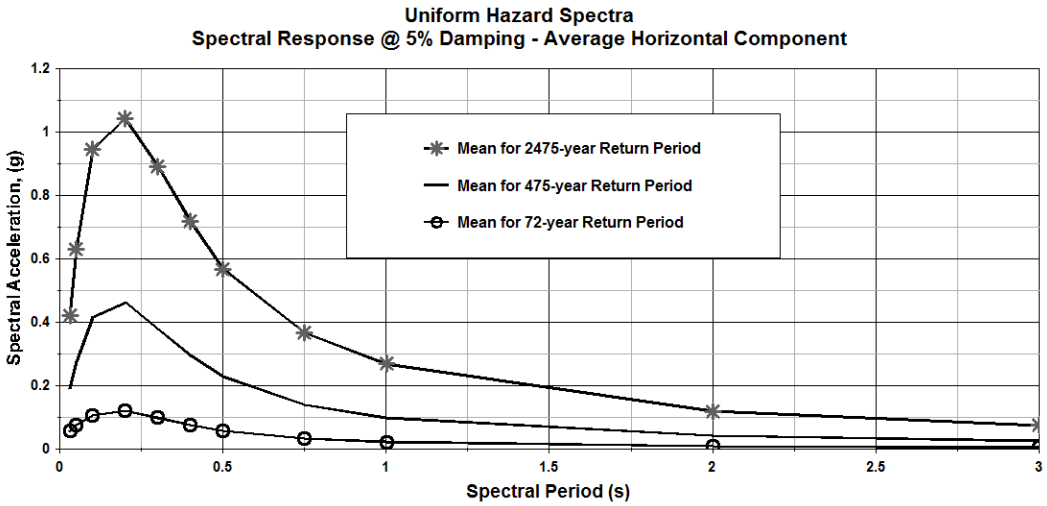


Şekil 8. Idriss (2008), Abrahamson-Silva (2008), Boore-Joyner-Fumal (1997), Campbell-Bozorgnia (2008) ve Ambraseys et al (2005) azalım ilişkileri

Tablo 1. Bursa Şehri sismik tehlike analizi ile elde edilen maksimum spektral ivmeler

Azalım İlişkileri	Dönüş Periyodu 2475 yıl (g)	Dönüş Periyodu 475 yıl (g)	Dönüş Periyodu 72 yıl (g)
Idriss (2008) NGA	0.749	0.342	0.096
Abrahamson-Silva (2008) NGA	1.164	0.565	0.157
Boore-Joyner-Fumal (1997)	0.793	0.341	0.1014
Campbell-Bozorgnia (2008) NGA	0.73	0.355	0.1068
Ambraseys et al (2005) Horiz.	1.54	0.68	0.159
Azalım İlişkileri Ortalaması	***1.041***	***0.462***	***0.12***
TDY 2007	1.50	1	0.5

Idriss (2008), Abrahamson-Silva (2008), Boore-Joyner-Fumal (1997), Campbell-Bozorgnia (2008) ve Ambraseys et al (2005) azalım ilişkileri kullanılarak elde edilen %5 sönüm oranına sahip elastik spektral ivme spektrumu Şekil 9'de gösterilmiştir. Elde edilen bu değerler Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde (DBYBHY, 2007) tanımlanan deprem tehlike düzeylerinin çok altındadır. Ancak bu durum bir tezat teşkil etmemektedir. Çünkü, Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde dönüş periyotları 2475 yıl ve 72 yıl olan deprem tehlikeleri, dönüş periyodu 475 yıl olan depremin, sırasıyla,1.5 ve 0.5 katsayıları ile çarpılarak elde edilmiştir. Dönüş periyodu 475 yıl olan deprem spektrumu ise tüm Türkiye katalog verileri derlenerek elde edilmiştir.



Şekil 9. Bursa Şehri %5 sönümlü elastik spektral ivme spektrumu

Eyidoğan tarafından, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan depremler (dönüş periyodu 475 yıl) için ivme değeri 0.36g hesaplanmıştır. Bu değer 1976-1995 yılları arasında derlenen katalog bilgilerine dayanmaktadır (Tablo 2). Bu çalışmada, 475 yıllık depremler için ortalama 0.462g hesaplanmıştır.

Tablo 2. Bursa için serbest yüzeyde sağlam bir zemin üzerinde, 475 yıllık dönüş periyodu içinde 10, 50 ve100 yılda %10 aşılma olasılığı için yapılan hesaplamalar sonucunda beklenen maksimum yatay ivmeler (Eyidoğan, 2003)

İstatistiksel Olarak Kaya Üzerinde Beklenen İvmeler (1976-1995)	
Bursa (40.2K-29.1E Koordinatları Merkez) %10 Aşılma Olasılığı	
10 yıl	0.24g
50Yıl	0.36g
100 yıl	0.43g

7. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yapılan analizler sonucunda çalışılan bölge için b değerinin oldukça düşük değerde; 0.5 ile 0.7 arasında değiştiğini görmekteyiz. Geçmişteki laboratuar çalışmaları ve diğer literatür çalışmalarına bakıldığında kabukta biriken gerilme değeri ile b değerinin ters orantılı olarak değiştiğini görmekteyiz (Scholz, 1968; Urbancic ve diğ., 1992). Buna göre en çok enerji açığa çıkaran bölgeler Orta Marmara Baseni, Kaf'ın orta kolunun uzandığı Gemlik ve çevresi Kaf'ın güney kolu, Bursa ve çevresi olarak tespit edilmiştir. Bölgenin genel olarak deprem üretme potansiyelinin özellikle Güney Marmara ve çevresinde yoğunlaştığı gözlenmiştir. Yapılan b değeri hesaplamalarının bölgenin hakim tektonik rejimine doğrudan bağlı olduğu ve dolayısıyla dünya standartlarında b=1 değerinden sapmalar olacağı ve yapılan çalışmanın çoğu yerlerde km bazında incelendiği unutulmaması gereken bir gerçektir. Dolayısıyla b değerinin haritalanmasıyla elde edilen 0.5 ile 0.7 b değeri aralığı; hakim olan tektonik yapı, kabuğun reolojisi, malzemenin heterojenitesi gibi parametrelere bağlı olarak değişebilir. Bunun sebebini öğrenebilmek için bu bölgenin kabuk yapısı ile ilgili ayrıntılı çalışmalar yapmak gerekmektedir. b değeri hesaplamalarını önemli ölçüde etkileyecek diğer faktörler sismik katalogların tamamlılığı, b değerinin odak derinliğine bağlılığı, b değeri hesabında kullanılan teknikler, belirgin kaynak bölgelerindeki b değerlerinin hâkimiyeti olarak sayılabilir. Hesaplamalarda verinin fazla ve güvenilir olması elbette b değeri hesaplamalarının güvenilirliğini arttıracaktır.

Ülkemizde, yeni yapıların tasarımında ve mevcut yapıların deprem riskinin belirlenmesinde 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik esas alınmaktadır. Bu Yönetmelikte verilen tasarım spektrumu 1990'lı yıllarda yapılan çalışmalara dayanmaktadır. Bu çalışmada, tüm Türkiye için kullanılan bu spektrumun Bursa Şehri için sahaya özel hesaplanan spektrumla uyuşmadığı görülmüştür.

Çalışmada azalım ilişkileri ortalaması olarak dönüş periyodu 475 yıl veya 50 yılda aşılma olasılığı % 10 olan tasarım spektrumu değeri 0.462g olarak hesaplanmıştır. Ancak bu değerin kaya üzerinde hesaplanan değer olduğu, zemin büyütme etkisinin mutlaka dikkate alınması gerektiği unutulmamalıdır.

7. KAYNAKLAR

Abrahamson, N., and Silva, W., 2008. Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations Earthquake Spectra, Volume 24, No. 1, pages 67–97, Engineering Research Institute.

Aki, K., 1965. Maximum likelihood estimate of b in the formula logN =a−bM and its confidence limits. Bulletin of the Earthquake Research Institute, Tokyo Univ., 43, 237-239.

Ambraseys, N.N., 2000. The seismicity of the Marmara Sea Area 1800-1899. Journal of Earthquake Engineering, 4, 377-401.

Ambraseys, N.N., 2002. The seismic activity of the Marmara Sea Region over the last 2000 years. Bulletin of the Seismological Society of America, 92, 1-18.

Ambraseys, N. N., J. Douglas, S. K. Sarma and Smit, 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, DOI 10.1007/s10518-005-0183-0.

Armijo, R., Meyer, B., Hubert, A. & Barka, A., 1999. Westward propagation of the North Anatolian Fault into the northern Aegean: timing andkinematics, Geology, 27, 267–270.

Armijo, R., Meyer, B., Navarro, S., King., G. and Barka, A., 2002. Asymetric slip partitioning in the Sea of Marmara pull-apart: a clue to propogation processes of the North Anatolian Fault? Terra Nova, 14, 80-86.

Barka, A. and Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. Tectonics, 7, 663-684.

Becel, A., Laigle, M., Voogd, B., Him, A., Taymaz, T., Yolsal-Çevikbilen, S. and Shimamura, H., 2010. North Marmara Trough architecture of basin infill, basement and faults, from PSDM reflection and OBS refraction seismics. Tectonophysics, 490, 1-14.

Boore, D.M. Joyner, W.B. Joyner and 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, no. 1, pp 128-153.

Bursa ili için zemin sınıflaması ve sismik tehlike değerlendirme projesi-Proje 2. Ara raporu.

Campbell, K.W., Bozorgnia, Y., 2008. "NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 s", Earthquake Spectra, Volume 24, No. 1, pages 139–171, Earthquake Engineering Research Institute

Eyidoğan, H., 2003. Tektonik ve deprem tehlikesi, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul Fifth National Conference on Earthquake Engineering, 26-30 May 2003, Istanbul, Turkey.

Ez-Frisk 7.52 Risk Engineering.

Flerit, F., Armijo, R., King, G.C.P., Meyer, B. and Barka, A., 2003. Slip partitioning in the Sea of Marmara pull-apart determined from GPS velocity vectors. Geophysical Journal International, 154, 1-7.

Frohlich, C. and Davis, S.D., 1993. Teleseismic b Values; Or, Much Ado About 1.0. Journal of Geophysical Research, 98, B1, 631-644.

Gök, E., Polat, O., 2011. An Assessment of the Seismicity of the Bursa Region from a Temporary Seismic Network, Pure Appl. Geophys. Springer Basel AG DOI 10.1007/s00024-011-0347-6.

Gutenberg, R. and Richter, C. F., 1944. Frequency of earthquakes in California. Bulletin of the Seismological Society of America, 34, 185-188.

Gülen, L., Pınar A., Kalafat, D., Özel, N., Horasan, G., Yılmazer, M., Işıkara A.M., 2002. Surface Fault Breaks, Aftershock Distribution, and Rupture Process of the August 17, 1999 Izmit, Turkey Eart- hquake, Bulletin of the Society of America, 92, 230-244.

Gürbüz, C., Aktar, M., Eyidoğan, H., Cisternas, A., Haessler, H., Barka, A., Ergın, M., Turkelli, N., Polat, O., Ucer, S.B., Kuleli, S., Barıs, S., Kaypak, B., Bekler, T., Zor, E., Bıcmen, F., And Yoruk, A. (2000), On seismotectonics of the Marmara region (Turkey): Results from a microseismic experiment, Tectonophysics. 316, 1–17.

Idriss, I. M., 2008. An NGA Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated By Shallow Crustal Earthquake, Earthquake Spectra, Volume 24, No. 1, pages 217-242, Earthquake Engineering Research Institute.

Kalafat, D., 2010. Türkiye Deprem Kataloğunun İstatistik Açıdan Değerledirilmesi: Örnek Çalışma-Statistical Evaluation of Turkey earthquake Catalog: Case Study, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 1039, 87s., Bebek-İstanbul.

Kalafat, D., Güneş , Y., Kekovalı , K., Kara, M., Deniz, M., ve Yılmazer, M., 2011. Bütünleştirilmiş Homojen Türkiye Deprem Kataloğu (1900-2010; M≥4.0).

Kanbur, Z., 2009. Interpretation of ambiguous reflection data by imaging processes: An example profile crossing steep submarine valley at the sea bottom. Journal of Asian Earth Sciences, 35, 516–523.

Kurtuluş, C. and Canbay, M. M, 2007. Tracing the middle strand of the North Anatolian Fault Zone through the southern Sea of Marmara based on seismic reflection studies. Geo-Marine Letters, 27, 27-40.

Laigle, M., Becel, A., Voogd B., Hırn, A., Taymaz, Leg1 Team, 2008. A first deep seismic survey in the Sea of Marmara: Deep basins and whole crust architecture and evolution. Earth and Panetary Science Letters, 270, 168-179.

Le Pichon, X., Chamot-Rooke, N., Rangın, C. & Şengör, A.M.C., 2003. The North Anatolian fault in the sea of marmara, J. geophys. Res., 108, doi:1029/2002JB001862.

Le Pichon, X., Şengör, A.M.C., Demirbağ, E., Rangın, C., İmren, C., Armıjo, R., Görür, N., Çağatay, N., Mercier De Lepinay, B., Meyer, B., Saatçılar, R. And Tok, B., 2001. The active Main Marmara Fault. Earth and Planetary Science Letters, 192, 595-616.

Zare, M., Earthquake Model of the Middle East Region The Final Report of Working Group 1: "The Middle East Earthquake Catalog" Draft of Final Report, as of 27 March 2012, IIEES, Tehran, Iran.

Zare, M., Kişisel Görüşme, IIEES, Tahran, IRAN, 2011.

Okay, A., Demirbağ, E., Kurt, H., Okay, N. & Kuşçu, I., 1999. An active, deep marine strike-slip basin along the North Anatolian Fault in Turkey. Tectonics, 18, 129–147.

Okay, A.I., Kaşlılar-Özcan, A., İmren, C., Boztepe-Güney, A., Demirbağ, E. and Kuşçu, I., 2000. Active faults and evolving strike-slip basins in the Marmara Sea, Northwest Turkey: A multi channel seismic reflection study. Tectonophysics, 321, 189-218.

Örgülü, G., 2011. Seismicity and source parameters for small-scale earthquakes along the splays of the North Anatolian Fault (NAF) in the Marmara Sea. Geophysical Journal International, 184, 385-404.

Özcan B., (2 Mart - 12 Nisan 1855). Bursa depremleri, Atatürk Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Dergisi, Erzurum 1999, sayı: 5, s. 73-118. 15.

Pınar, A., Kuge, K. and Honkura, Y., 2003. Moment tensor inversion of recent small to moderate sized earthquakes: implications for seismic hazard and active tectonics beneath the Sea of Marmara. Geophys. J. Int., 153, 133–145.

Polat, O., Haessler, H., Cisternas, A., Philip, H., Eyidoğan, H., Aktar, M., Frogneux, M., Comte, D., And Gürbüz, C. 2002. The Izmit (Kocaeli) Turkish earthquake of August 17, 1999: Previous seismicity, aftershocks and seismotectonics, Bulletin of the Seismological Society of America. 92, 361–375.

Sellami, S., Pavoni, N., Mayer-Rosa, D., Müeller, S., Eyidoğan, H., Aktar, M., Gürbüz, C., Barıs, S., Polat, O., And Yalcın, N., 1997. Seismicity and Seismotectonics of the bursa Region, In: Active Tectonics of Northwestern Anatolia-The Marmara Poly-Project, (eds. Shindler, C. and Pfister, M.) (Hochschulverlag AG an der ETH Zurich-Swiss) p. 449–486.

Scholz C.H., 1968. Experimental Study of the Fracturing Process in Brittle Rock. Journal of Geophysical Research, 73, 4, 1447-1454.

Şaroğlu, F., Emre, Ö. and Kuşçu, İ., 1992. Active fault map of Turkey. Publ. Miner. Res. Explor. Ins. Turk., Ankara, Turkey Michael, A. J. (1987). Use of focal mechanisms to determine stress: a control study. J. Geophys. Res. 92, 357–368.

Taymaz, T., Jackson, J. and McKenzie, D., 1991. Active tectonics of the North and Central Aegean Sea. Geophys. J. Int., 106, pp. 433– 490.

T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYYHY).

Urbancic, T.I., Trifu, C-I., Long, J.M. And Young, R.P., 1992. Space-time correlations of b values with stress release. Pure and Applied Geophysics, 139, 3/4, 449-462.

Utkucu, M., Budakoğlu, E., Durmuş, H., 2011. Marmara Bölgesinde (KB Türkiye) Depremsellik ve Deprem Tehlikesi Üzerine Bir Tartışma. Hacettepe Yerbilimleri Dergisi.

Wiemer, S. and Wyss, M., 1997. Mapping the frequency-magnitude distribution in asperities: an improved technique to calculate recurrence times? Journal of Geophysiscal Research, 102, 15115- 15128.

Yalçın, H., Gülen, L., Utkucu, M., Kalafat, D., 2012. "Marmara ve çevresinin depremselliği ve depremlerin stres tensör analizleri", 9 ağustos 1912 Mürefte depreminin (mw=7.4) 100. yıldönümü sempozyumu.

Yunatcı, A. A., Çetin, K.Ö., 2006. Impact of attenuation models on probabilistic seismic hazard analysis: A case study for Bursa City, Turkey. Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, April 18-22, San Francisco, California, USA.

http://yerbilimleri.mta.gov.tr/- MTA Genel Müdürlüğü.

http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=yeni_diri_fay_haritalari MTA Genel Müdürlüğü Yenilenmiş Diri Fay Haritaları, 2012.

http://www.globalcmt.org/CMTsearch.html - Global CMT Catalog Search.