2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı
25-27 Eylül 2013 – MKÜ – HATAY

KİLİS VE CİVARI İÇİN SİSMİK KAYNAK MOLELİ OLUŞTURULMASI VE ŞAHİNBEY İLÇESİ İÇİN ÖRNEK BİR SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ

S. Cambazoğlu[1], A.M. Eker[1], M.K. Koçkar[2] ve H. Akgün[3]

[1]*Doktora Öğrencisi, Jeoloji Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
[2]*Doktor, Deprem Müh. Uygulama ve Araştırma Merkezi, Gazi Üniversitesi, Ankara*
[3]*Profesör, Jeoteknoloji Birimi, Jeoloji Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara*
Email: e129007@metu.edu.tr

ÖZET:

Sismik aktivitenin yoğun olduğu alanlarda yapılan mühendislik projelerinde, depreme karşı dayanıklı yapı tasarımının amacı, ilgili mühendislik yapıları için söz konusu olan belirli bir düzeydeki sarsıntıyı, önemli miktarlarda hasar meydana gelmeden atlatabilecek yapı veya tesisi inşa etmektir. Sarsıntının düzeyi tasarım yer hareketi parametreleri ile temsil edilir. Sismik tehlike analizleri bu parametrelerin belirleme çalışmalarının temelini teşkil eder. Bu çalışma, Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nde yapılacak mühendislik yapıları için bir sismik tehlike değerlendirme analizlerini kapsamaktadır. Olasılıksal sismik tehlike analizlerinin gerçekleştirilmesinde (i) sismik kaynak modeli, (ii) deprem kataloğu ve (iii) yer hareketi tahmin denklemleri, üç temel bileşendir. Şahinbey İlçesi'ndeki bir nokta için gerçekleştirilmiş olan bu çalışma kapsamında Doğu Anadolu Fay Sistemi, Ölü Deniz Fay Sistemi ve diğer fay sistemlerine ait kapsamlı bir veri tabanı derlenerek bölge için genelleştirilmiş bir aktif fay haritası oluşturulmuştur. Bu çizgisel sismik kaynaklar 1900-2005 Türkiye Homojen Deprem Kataloğu'nda yer alan deprem verisi ile ilişkilendirilmiştir. Homojen deprem kataloğu üzerinde zamansal ve mekânsal bağımsızlığın sağlanması amacı ile öncü ve artçı şoklar temizlenmiş ve katalog tamlık analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler bölgenin tektonik yapısı göz önünde bulundurularak Abrahamson ve Silva (2008), Boore ve Atkinson (2008) yeni nesil azalım ilişkisi denklemleri ile Kalkan ve Gülkan (2005) ve Sadigh v.d. (1997) yer hareketi tahmin denklemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Olasılıksal sismik tehlike analizi İşletmeye Esas Deprem (İED) ve Oluşabilecek En Büyük Deprem (OEBD) senaryoları göz önünde bulundurularak Uluslararası Bina Koduna göre kaya alt sınırına yakın kayma dalgası hız değeri için gerçekleştirilmiştir. Olasılıksal sismik tehlike değerlendirmesinin sonuçları OEBD değeri için deterministik sismik tehlike analizi sonucu ile karşılaştırılarak bölgede inşa edilebilecek önemli bir mühendislik yapısına dair sismik tasarım parametreleri elde edilmiş ve gerekli değerlendirmeler yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Olasılıksal-deterministik sismik tehlike analizi, Doğu Anadolu Fay Sistemi, Ölü Deniz Fay Sistemi, Güney Doğu Anadolu Bölgesi, Kilis.

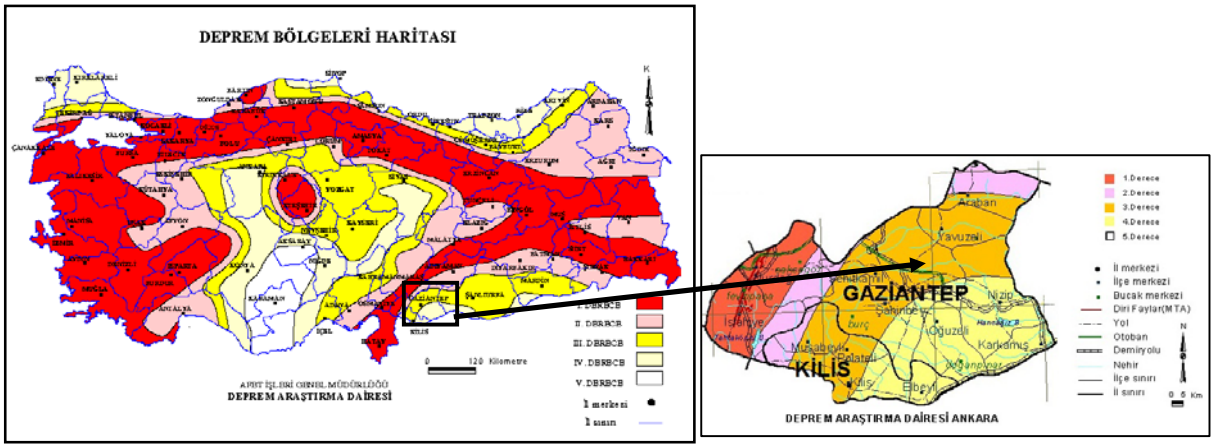
1. GİRİŞ

Yerküre üzerinde önemli bir deprem kuşağında yer alan Türkiye'de depremler sonucu ortaya çıkabilecek can ve mal kaybının asgariye indirilebilmesi için mühendislik yapılarının projelendirilmesinde deprem tehlike analizinin titizlikle yapılması gerekmektedir. Bunun için de zeminin maruz kalacağı deprem yükünü kestirmek gerekmektedir. Baraj, santral, fabrika, bina ve benzeri mühendislik yapılarını projelendirmede. önemli bir yer tutan deprem risk analizlerinin birinci aşamasını sismik tehlike analizi oluşturur. Bir depremin tekerrür aralığının hesaplanması, maksimum yer ivmesi dönüş periyodu ile yer ivmesinin aşılma ihtimalinin belirlenmesi, sismik tehlike analizinin ilk adımıdır. Sismik tehlike analizinin amacı zeminin ve o yerde yapılması tasarlanan mühendislik yapısının gelecekte maruz kalacağı depremden kaynaklı yer hareketi ile sismik (depremsel) yük hesabında gerekli olan ilgili parametrelerin (ivme, hız, deplasman, vb.) hesaplanmasıdır. Sismik tehlike

analizleri deterministik (Tanımsal) (Krinitzsky, 1993) ve probabilistik (olasılıksal) (Cornell, 1968) olarak iki temel yaklaşımla gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, bahsedilen iki temel yöntem kullanılarak çalışma alanında yapılcan potansiyel mühendislik üst yapılarının depreme dayanıklı olarak dizayn edilmesi sırasında göz önünde bulundurulması gereken En büyük Tasarım Depremi [Maksimum Design Eartquake (MDE)], İşletmeye Esas Deprem [Operation Basis Earthquake (OBE)] ve Oluşabilecek En Büyük Deprem [Maximum Credible Earthquake (MCE)] ile ilgili sonuçlar verilmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda, bölge için hazırlamış sismotektonik veriler kullanılarak çalışma alanındaki sismik kaynaklar tayin edilmiştir. Hazırlanan bu verilerle, MCE'nin en büyük yer ivmesi hem deterministik hem de olasılıksal yaklaşımla hesaplanmıştır. Deterministik ve olasılıksal yaklaşımlarda karakteristik deprem büyükleri (medyan değeri, μ) kullanılmış, ancak ivme (PGA) hesabında; azalım ilişkilerinden gelen belirsizlikler standart sapma değeri medyanına eklenerek (μ+σ) hesaplamalara dahil edilmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI

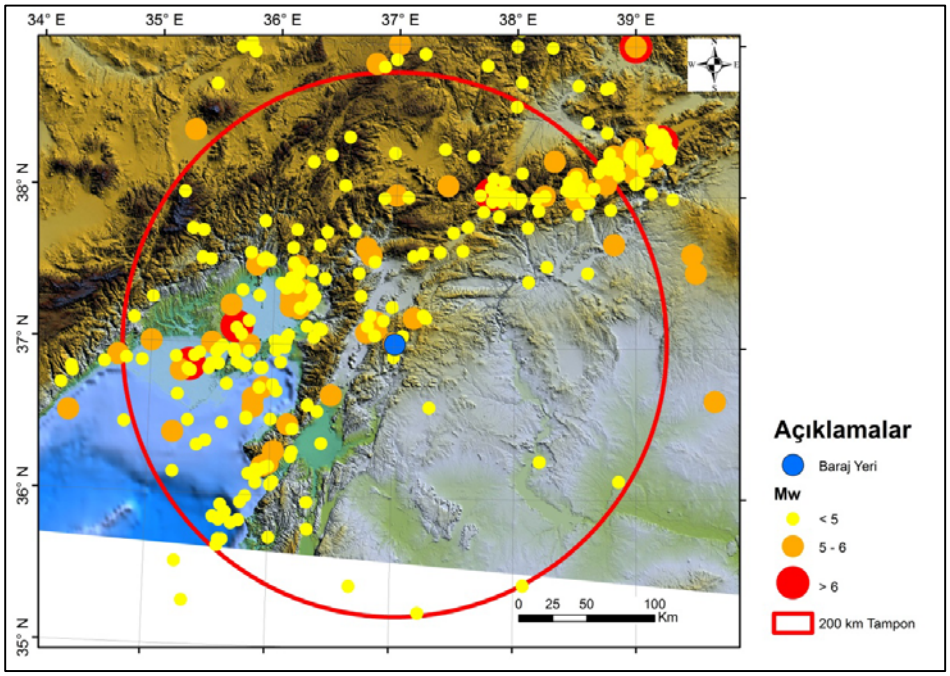
Çalışma alanı 37.016 kuzey enlemi, 37.006 doğu boylamında, Gaziantep İli'ne bağlı Şahinbey İlçesi sınırları içinde olan Akbayır Köyü'nün 2,5 km kadar Kuzeybatısında yer almaktadır. Baraj yerine, Gaziantep'in Güneybatısına doğru, Burç Kasabası üzerinden, 43 km uzunluğunda asfalt bir yol ile ulaşılmaktadır. Çalışma alanı, T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığının, Deprem Bölgeleri Haritasına (1997) göre orta riskli kuşak olan 3. Derece Deprem Bölgesi içerisinde kalmaktadır. Yalnız 2. dereceden deprem bölgesine olan yakınlığı da bu çalışmada göz önünde bulundurulmuştur (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre yeri (T.C. Başbakanlık, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı verilerinden alınmıştır; AFAD-DAD, 1997).

3. BÖLGESEL SİSMİSİTE VE DEPREM KAYNAKLARININ TAYİNİ

Proje alanı ve çevresindeki sismik aktiviteyi belirleyen bölgesel ölçekli sıkışma rejiminden kaynaklı Fay Zonları ve, bu Fay Zonlarının çalışma alanına olan uzaklıkları belirlenmiştir. Çalışma alanı ve yakın çevresinde 250 km yarıçaplı daire içerisinde 1900 – 2005 yılları arasında gerçekleşmiş büyüklükleri 4'ten yüksek toplam 337 adet deprem kaydı gözlemlenmektedir (Şekil 2). Çalışma alanı ve çevresindeki büyük depremlerin yoğunluğu incelenen alanın ve çevresinde sismik aktivitenin devamlılığını göstermektedir. Bölgenin bu özellikleri nedeniyle gelecek zaman dilimleri içersinde çalışma alanını etkilemesi muhtemel deprem yer hareketlerinin detaylı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

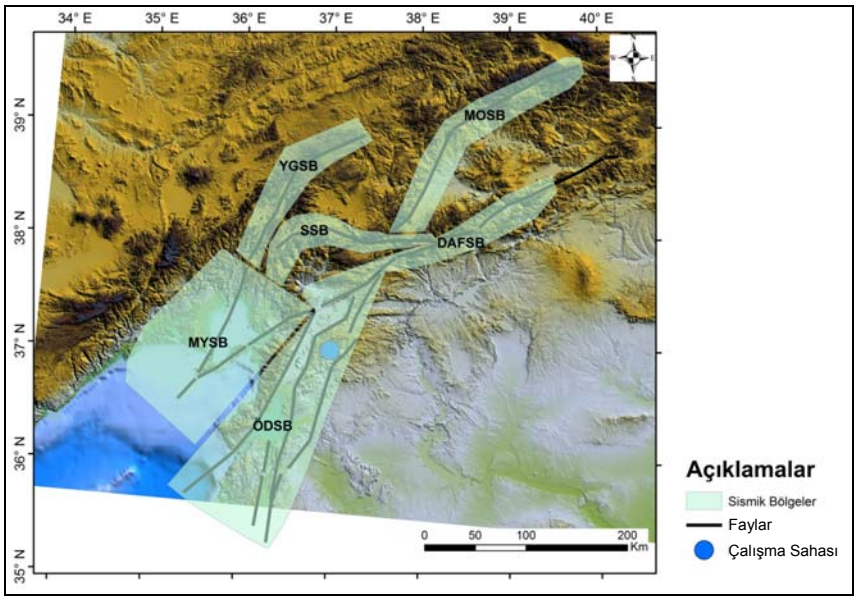


Şekil 2. Baraj Yeri Yakın Çevresindeki moment magnitüdü 4'ten Büyük Depremler

Bir deprem kaynağının özelliklerinin ve tipinin belirlenmesi için kaynağın alansal özelliklerine, söz konusu her kaynaktaki deprem büyüklüğünün dağılımına ve depremlerin zamana göre dağılımına gereksinim vardır. Bu özelliklerin her birinde az veya çok derecede belirsizlikler bulunmaktadır (Kramer, 1996). Bu bölgelerin tanımlanmasında Erdik ve diğ. (2006) kaynak bölgeleri sismik özellikleri mümkün olduğunca homojen sahalar şeklinde tanımlanmasını, farklı sismik potansiyele sahip kaynak bölgeleri arasındaki sınırın daha aktif olanına yakın bir şekilde belirlenmesini, istatistiksel olarak yeterli sayıda güvenilir depremlerin bulunduğu bölgelerde sınırların tektonik verilerle desteklenerek sismik veriler esasına göre belirlenmesini ve yeterli deprem kayıtlarının olmadığı ya da bu kayıtların güvenilirliği konusunda kuşku bulunması durumunda sınırların belirlenmesinde en belirgin tektonik verilere başvurulmasını önermişlerdir.

Yapılan bu çalışmada tanımlanan sismik bölgelerin tümü çizgisel kaynak olarak tanımlanmış olup, alan kaynak ve nokta kaynak tipleri kullanılmamıştır. Mevcut literatürdeki fay hattı haritalamaları yapılmış olan çalışmanın amacına göre farklı ölçeklerde hazırlanmıştır (örn: MTA 1/500.000 Diri Fay Haritası; MTA 1/25000 Jeoloji Haritası paftaları). Yapılan çalışmanın yerel, bölgesel veya ülke geneli olmasına bağlı olarak değişebilen bu ölçeklerden dolayı çıktı olarak verilen haritalardaki fayların hem geometrileri, hem yerleri (genelleştirilmeleri), hem de çıktıda verilen fay modellerinde ve adlandırmalarda (genelleştirmeden kaynaklı) farklılıklar doğabilmektedir. Bunun yanı sıra, yine yukarıda belirtildiği şekilde yapılan çalışmalarda farklı adlandırmalar ve/veya segmantasyonlar bulunabilmektedir. Bu nedenlerle yapılan çalışmada farklı kaynakların (örn. Çoşkun ve Çoşkun, 2000; Adıyaman ve Chorowich, 2002; Tatar v.d., 2004; Westaway, 2003; Westaway, 2004) inceleme alanı için olan fay haritalamaları (bölgesel veya yerel) jeo-referanslanarak (georeferencing) Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamına aktarılmış, haritalanmış olan faylar her çalışma için ayrı ayrı sayısallaştırılarak bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanı ilgili yazar tarafından eğer belirtilmişse, verilen fay adlandırılmasını ve fay mekanizmasını içermektedir. Fayların mekanizmasına bağlı olarak (bölgedeki fayların büyük çoğunluğunun normal faylardan meydana gelmesi sebebiyle) eğimleri belirlenmiştir. Daha sonra, bu çalışmalara uygun olacak şekilde yeni bir fay segmantasyonu belirlenmiş (Şekil 3) ve analizlerin kalan kısmında bu fay modeli kullanılmıştır.

Fayların geometrilerinin belirlenmesinin ardından gelen adım uygun kaynak bölgelerinin (sismik bölge) belirlenmesidir. Bu aşamada hem tanımlanan fay modeli hem de olasılıksal tehlike analizi için önemli diğer bir unsur olan deprem kataloğu kullanılmıştır (KOERI, 2007). Bu katalog 1900-2005 yılları arasında Türkiye ve yakın çevresinde gerçekleşen M_w=4.0'dan büyük depremleri listelemekte ve homojenleştirilmiş bir halde sunmaktadır. Katalog 2005 yılına kadar olan depremleri içermektedir ve 2005 yılından sonra gerçekleşmiş depremler farklı büyüklük tiplerine göre (M_l, M_d, M_s, M_w) verilmiş olduğundan ve bu katalog ile 2005 sonrası depremlerin arasındaki büyüklük dönüşümü ilişkisi halihazırda sağlıklı bir şekilde kurulmamış olduğundan, aşağıda da bahsedileceği üzere kataloğun tamlığının bozulmaması amacıyla 2005'ten sonraki depremler analizlere dahil edilmemiştir.



Şekil 3. Sismik Bölgelemeler (Şaroğlu v.d., 1992; Çoşkun ve Çoşkun, 2000, Bozkurt, 2001; Adiyaman ve Chorowicz, 2002; Gürsoy v.d., 2003; Özdemir ve İnceöz, 2003; Tatar v.d., 2004; Westaway, 2004; Koç, 2005'ten değiştirilerek alınmıştır).

Deprem bilgisinin de CBS ortamına dahil edilmesi ile hem hazırlanmış fay modeli hem de depremlerin mekansal dağılımı görüntülenmiştir (Şekil 2). Böylece depremlerin faylara göre olan mekansal dağılımları ile veri tabanından incelemek sureti ile depremlerin geçmiş zamandaki dağılımları da incelenmiştir. Bu sayede hem fayların eğimleri hem de oluşmuş olan depremlerin zamana ve mekana bağlı olarak konumları karşılaştırılmış ve sismik bölgeler bu parametrelere uygun olarak belirlenmiştir. Özellikle depremlerin zamana bağlı olarak dağılımları, yakın zamanda gerçekleşen depremler incelenerek (ana şok, artçı şok ilişkisi) sismik bölgelerin belirlenmesine imkan tanınmıştır. Bölgede toplam 73 adet çizgisel kaynak belirlenmiştir. Bunların 11 adeti sismik bölgelendirme çalışmasında çalışma alanının içerisine düşen fay zonlarına ait fay segmanları olarak analizlere dahil edilmiş olmasına rağmen sismik tehlike analizi için uygun görülen 200 km'lik zonun dışında yer almaktadır. Bu bölgede, birbirini etkileyen bölgeler hem zamana bağlı deprem dağılımları göz önünde bulundurularak hem de literatürde önerilen sismik bölgelemeler değerlendirilerek (Erdik ve diğ., 1999; Bommer ve diğ., 2002; Deniz, 2006; Erdik ve diğ, 2006) çalışma alanı toplam 6 bölgeye bölünmüştür (Şekil 3). Şekildeki kısaltmalar MYSB: Misis-Yumurtalık Sismik Bölgesi, ÖDSB: Ölü Deniz Sismik Bölgesi, DAFSB: Doğu Anadolu Fayı Sismik Bölgesi, SSB: Sürgü Fayı Sismik Bölgesi, MOSB: Malatya Ovacık Sismik Bölgesi, YGSB: Yakapınar-Göksün Sismik Bölgesi şeklinde kullanılmıştır.

4. AZALIM İLİŞKİLERİNİN ÇALIŞMA ALANI İÇİN TAYİNİ

Sönüm ilişkilerinin depremin doğasından kaynaklanan belirsizliği temsil eden standart sapma değerinin de ayrıca iki temel analizde kullanılması söz konusu olabilmektedir. Bu önemli belirsizlik. sismik tehlike hesaplarında mutlaka hesaba katılmalıdır (Kramer, 1996). Bununla birlikte farklı araştırmacıların sundukları sönüm ilişkilerinin de kullanımı ve "mantık-ağaç" çerçevesinde çok sayıda olasılıksal senaryonun farklı ağırlıklarla denenip çözüme ulaşılması yöntemi de azalım ilişkilerinden elde edilen PGA değerinin bilgiye dayalı belirsizlikleri (epistemic uncertainity) modellemek ve göz önüne almak için önemlidir (Çetin ve diğ., 2004; Yücemen, 2008). Olasılıksal Sismik Tehlike Analizinde gerekli görülen tüm etkenlerin belirsizlikleri modellenebilmektedir. Deterministik Sismik Tehlike Analizinde ise bu, azalım ilişkisinin standart sapma oranın dikkate alınması ile mümkündür ve hesaba katılmalıdır (Kramer, 1996). Bu çalışmada yapılan olasılıksal analizlerin hepsinde PGA değerleri medyan değerine bir standart sapma eklenerek bulunmuştur. Deterministik yaklaşımda ise PGA değerleri medyan değerlerine eşit olarak alınmıştır.

Sismik tehlike analizinde hangi azalım ilişkisinin kullanılacağı önemli bir araştırma konusudur. Göz önünde bulundurulması gereken önemli bir nokta ise proje sahasına uygulanacak en uygun azalım ilişkisinin seçilmesidir. Eğer çalışma sahasını kuşatan alan için bir azalım ilişkisi geliştirilmemişse sismotektonik açıdan sahanın özelliklerine benzer bölgeler için geliştirilmiş azalım ilişkileri kullanılmalıdır (Kayabalı. 1995). Sunulan bu projede çalışmaları epistemik belirsizliğin azaltılması için değişik ağırlıklarla 4 farklı azalım ilişkisi kullanılmıştır ve özellikleriyle birlikte Tablo 1'de listelenmiştir.

Tablo 1. Kullanılan azalım ilişkileri ve özellikleri

Sönümlenme Modeli	**Alan**	**M_{min}**	**M_{max}**	**M_{scale}**	**r_{min} (km)**	**r_{max} (km)**	**r_{scale}**	**Odak derinliği (km)**	**Standart Sapma**
Abrahamson ve Silva 2008 NGA Model	Dünya geneli – sığ kabuksal har.	4.27	7.9	M_w	0.06	200	r_{rup}	<100	Büyüklük ve Uzaklığın fonksiyonu
Boore ve Atkinson 2008 NGA Model	Dünya geneli – sığ kabuksal har.	4.27	8	M_w	0.00	280	r_{jb}	2-31	0.56
Kalkan ve Gülkan 2005	Türkiye	4.0	7.4	M_w	1.20	250	r_{jb}. r_{epi} (Küçük ölçekli depremler için)	< 111	0.612
Sadigh ve diğ. (1997)	Kaliforniya	3,8	7,4	M_w	0,10	305	r_{rup}	< 25	0.59 ortalama değerler

5. SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ

Baraj, santral, fabrika, bina ve benzeri mühendislik yapılarını projelendirmede. önemli bir yer tutan deprem risk analizlerinin birinci aşamasını sismik tehlike analizi oluşturur. Belirli büyüklükteki bir depremin tekerrür aralığının hesaplanması, maksimum yer ivmesi dönüş periyodu ile yer ivmesinin aşılma ihtimalinin belirlenmesi, sismik tehlike analizinin ilk adımıdır. Sismik tehlike analizinin amacı zeminin ve o yerde yapılması tasarlanan mühendislik yapısının gelecekte maruz kalacağı depremden kaynaklı yer hareketi ile sismik (depremsel) yük hesabında gerekli olan ilgili parametrelerin (ivme, hız, deplasman, vb.) hesaplanmasıdır. Sismik tehlike analizleri deterministik (Tanımsal) (Krinitzsky, 1993) ve probabilistik (olasılıksal) (Cornell, 1968) olarak iki temel yaklaşımla gerçekleştirilmektedir.

Deterministik analizde, sismik kaynak bölgelerinin tayinin de elde edilen fay kaynak bölgelerindeki ilgili fay segmanlarının uzunlukları belirlenip, Wells ve Coppersmith'in (1994) yüzey kırığı uzunluğu ve oluşabilecek en büyük deprem ile ilgili geliştirdiği eşitliklerden yararlanılmıştır. Bu denklemler bölgede görülen normal ve yanal

atımlı faylar için sırasıyla Denklemler 1 ve 2'de verilmiştir (Wells ve Coppersmith, 1994). Bu ampirik ilişkiden yararlanılarak her bir segman uzunluğuna göre belirlenen çalışma sahası ve çevresinde olabilecek en büyük deprem büyüklükleri hesaplanmıştır.

$$M_w = 4.86 + 1.32 * \log(SRL) \quad \text{Normal Faylar için} \qquad (1)$$

$$M_w = 5.16 + 1.12* \log(SRL) \quad \text{Yanal Atımlı Faylar için} \qquad (2)$$

Bu eşitliklerde; M_w : İnanılır Enbüyük Depremin magnitüdü (M_w); SRL (surface rupture length) ise fayın yüzeyde kırılma uzunluğudur (Km). Yapılan analizler sonucunda, çalışma alanına en büyük deprem etkisi yaratma olasılığı olan Fay Zonu proje alınana en yakın olan (12.6 km) ve 6.5 büyüklüğünde deprem üretme kapasitesine sahip Ölü Deniz Fay Zonuna ait Logan Fay segmanıdır. Ancak, proje alanına 15.5 km'lik mesafede olan yine Ölü Deniz Fay Zonuna ait Afrin Fay segmanının da 6.9 büyüklüğünde deprem üretebilme potansiyeli olduğundan, deterministik analizde değerlendirmeye alınmıştır. Bu segmanların alanda neden olabilecekleri en büyük yer ivmeleri Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca, bu tabloda mantık ağcı yöntemiyle ayrışmış kaya noktasıdaki azalım ilişkilerinden elde edilen PGA değerleri de verilmiştir.

Deterministik yöntemlere nazaran olasılıksal (ihtimal hesaplarına dayalı) deprem tehlikesi analizleri jeolojik, jeofizik, sismolojik ve tarihsel verilerin daha uyumlu ve akılcı bir şekilde göz önüne alınmasını sağlar (Erdik ve diğ., 2006). Olasılıksal sismik tehlike analizi, gerek sismik kaynakların geometrisinde, ilgilenilen sahaya uzaklıklarında, sönüm ilişkilerinde, gerekse beklenen depremlerin büyüklüklerindeki belirsizlik durumlarında, ilgilenilen sahaya için seçilen tasarım periyodu içinde gelebilecek ve belli bir aşılma olasılığına sahip yer hareketi parametrelerinin sistematik bir şekilde modellenip tahmin edilebilmesini sağlar. Jeolojik parametrelerden başlayarak Kaynaktan, uzaklığa kadar uzanan birçok öğenin belirsizliğe sahip olabildiği bu doğa olayı karsısında sahanın maruz kalacağı yer hareketi parametrelerinin tahmininin deterministik analiz yaklaşımıyla karşılaştırıldığında daha fazla başarılı olduğu bu yöntemin Cornell (1968) tarafından ortaya atıldığı tarihten beri uygulama alanlarının genişlemesiyle karşımıza çıkmaktadır. Cornell (1968)'in geliştirdiği olasılıksal sismik tehlike belirlemesi yöntemi daha çok parametrenin rastlantısallaştırılması gibi değişikliklere uğradıysa da günümüze kadar esas olarak aynı çerçeve üzerinde seyretmiştir (Çetin ve diğ. 2004).

Genellikle, sismik tehlike analizlerinde büyüklük için M_0 gibi bir alt sınır saptanır. Alt sınır değerinden daha küçük büyüklüklü depremler mühendislik yapılarında bir hasar yaratamayacaklarından bunlar sismik tehlike analizine katılmazlar. Ayrıca. M_0'dan daha küçük depremler için istatistiksel veriler çoğu kez güvenilir değildir (Yücemen, 2008). Bu nedenle, bu çalışmada, moment büyüklüğü 4'ün altında olan depremler kullanılan katalogdan ayıklanmıştır.

Tablo 2. Çalışma alanını etkilemesi en olası deprem senaryosunun (Afrin Fayı) yaratacağı PGA değerleri

Sönümlenme Modeli	PGA (g) (μ)	PGA (g) (μ+σ)	PGA (g) (μ)	PGA (g) (μ+σ)
Abrahamson ve Silva 2008 NGA Model	0.16	0.27	0.20	0.33
Boore ve Atkinson 2008 NGA Model	0.19	0.33		
Kalkan ve Gülkan 2005	0.20	0.36		
Sadigh ve diğ (1997)	0.24	0.35		

Üstel olasılık yoğunluk işlevinin parametrelerinin tahmini için kullanılacak deprem katalog verilerinin her büyüklük düzeyinde eksiksiz olması gerekmektedir. Zaman içinde geriye doğru gidildikçe kataloglardaki deprem kayıtlarının hem kalitesi düşmekte hem de sayısı azalmaktadır. Ayrıca kaydedilmiş depremler daima iskan edilmiş bölgelerde olup insan yaşamından çok uzak yerlerde olan büyükçe depremler bile kayda geçmeyebilmektedir. Dolayısı ile deprem kataloglarındaki bu eksiklikler veri tabanında hem zamanda hem de mekanda yanlılıklara sebep olmaktadır (Deniz ve Yücemen, 2010). Buna bağlı olarak da bulunan tekerrür ilişkileri uzun süreli oluş sıklıklarını gerçekçi bir biçimde veremeyebilmektedir. Bu yüzden, bir kaynak bölgesindeki frekans-deprem büyüklüğü bağlantısını belirlemek için; küçük depremleri tam olarak içeren kısa süreli yakın bir zaman aralığının ve büyük depremleri tam olarak içeren uzun süreli bir zaman aralığının kullanılması gerekir (Erdik ve diğ. 2006). Bu hususta. deprem oluşumlarının Poisson sürecine uyduğu kabulüyle, Stepp (1973) tarafından önerilmiş homojenleştirme ve tamlık analizi yaklaşımı kullanılmıştır.

Sismik kaynak bölgelerinin belirlenmesinin ardından her bölge için gerekli Gutenberg-Richter (1954) parametresinin belirlenmesi işleminin gerçekletirmeden önce literatürde belirtildiği üzere ilk aşamada; öncü ve artçı şokların katalogdan elenmesi ardından da katalog tamlığının kontrol edilmesi gerekmektedir. Öncü ve artçı şokların elenmesinin gerekliliği olasılıksal sismik tehlike değerlendirmesinin Poisson modeline göre kullanılması ve bu modelin, depremlerin mekan ve zamanda bağımsız olaylar olmasını varsaymasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, Poisson dağılımında bu varsayımlarının karşılanması için ana şoklara bağımlı olaylar olan öncü ve artçı şok depremlerinin tanımlanarak deprem kataloğundan elenmesi gerekmektedir (Yücemen, 2008). Bu amaçla literatürde verilmiş farklı yaklaşımlar mevcuttur (örn. Gardner ve Knopoff, 1974; Kagan, 2002). Öncü ve artçı şokların zaman ve mekanda benzer davranışlar göstermesi ve bu ikincil depremlerin sismik kaynak/bölge, fayın tipi ve uzunluğundan bağımsız olması nedeni ile bu yaklaşımlar benzer özellik göstermektedir. Her büyüklük seviyesi için; ana şoktan sonra gerçekleşen daha düşük büyüklüğe sahip, belirli bir zaman ve mekan aralığındaki depremlerin tamamının artçı şok olduğu varsayılır. Bir depremin öncü şok olarak değerlendirilmesi için büyüklük seviyesinde belirlenen zaman ve mekan penceresi dahilinde daha sonra gerçekleşmiş daha büyük bir depremin olması gerekmektedir. Bu değerlendirmelerdeki tek istisna ise büyüklüğü 6'dan yüksek olan depremlerin tamamının ana şok olarak kabul edilmesidir. Bu çalışmada, Gardner ve Knopoff (1974) tarafından belirtilen değerler kullanılmıştır. Bu çalışma esnasında katalog temizleme işlemi gerçekleştirilirken depremlerin zaman ve mekana bağlı olan dağılımı CBS ortamında ayrıntılı incelenmiş ve fay sistemleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu analiz sonucunda ilk aşamada 337 olan depren sayısı 268'e düşmüştür.

Bahsedildiği üzere çalışma alanında toplam 6 fay kaynak belirlenmiştir (Şekil 3). Bu şekilde uygun bir sismik kaynak bölgelemesi yapılmış ve bu bölgelerdeki sismik aktivitelerin bölgesel bir aktivite değerinin hesaplanması ile genelleştirilmesinin önüne geçilmiş ve böylece tanımlanmış olan fay kaynaklarının Gutenberg-Richter a-b parametrelerinin uygun bir şekilde alınması sağlanmış, yani bir fay kaynağına aslında sahip olmadığı bir aktivite değerinin verilmesinin önüne geçilmiştir. Bahsi geçen işlemlerin ardından, 6 sismik bölge için hesaplanan Gutenberg-Richter parametreleri (Tablo 3) incelendiğinde değerlerin, Erdik ve diğ. (2006) ile tarafından bölge için önerdiği değerler ile paralellik göstermektedir.

Tablo 3. Sismik Bölgeler için Gutenberg-Richter a ve b parametreleri.

Sismik Bölgeler	**Gutenberg – Richter Parametreleri**	
	a	**b**
ÖDSB	5,43	1,29
MYSB	4,39	0,99
YGSB	3,55	0,97
DAFSB	5,24	1,2
MOFSB	1,61	0,55

Bu çalışmada, mühendislik yapısı için seçilen ekonomik ömür süresince maruz kalabileceği etkiler ve alınabilecek riske karşılık gelen ivmeleri belirlemek için hafızasız Poisson modeli kullanılmıştır. Olasılıksal

analiz yukarıda bahsedilen OBE ve MCE parametrelerinin hesabında kullanılmıştır. OBE 100 yıllık bir periyot içerisinde % 50 olasılıkla aşılamayacak olan yer hareketini ve geri dönüş periyodu (return period) ise 144 yıla karşılık gelmektedir. MCE'de ise; bu çalışmada, mühendislik yapısının ekonomik ömrü 50 yıl olarak alınıp bu süre zarfında olabilecek en büyük depremin yaratacağı etki incelenmiştir. Söz konusu çalışmada, ivmelerin dönüş periyodları Slemmons ve arkadaşları (1989) tarafından önerilen kayma hızı temel alınarak tekerrür periyodlarına karşı gelen maksimum büyüklükleri gösteren abak kullanılarak hesaplanmıştır Abakta kullanılmak üzere alınan kayma hızı değeri güvenli bölgede kalacak şekilde belirlenmiştir. Westaway (2004) Mcclusky ve arkadaşları (2000) ve Reilinger ve arkadaşları (2006) farklı değerler öne sürmüş, bütün çalışmalar göz önüne alınarak 7 mm/yıl olarak alınmıştır ve bölgede en büyük depremi yaratma potansiyeline sahip Amanos Fay Zonu (M_S = 7.6) ile tekerrür periyodu hesaplanmıştır. Bölge için bu period 390 yıl olarak hesaplanmıştır Bundan dolayı olasılıksal sismik analizi tehlike MCE parametresinin bulunmasında 50 yılda %12 aşılma olasılığına sahip maksimum yer ivmeleri için yapılmıştır. Bu da, Slemmons ve arkadaşlarına (1989) göre kabaca 390 yıl olan tekerrür periyoduna tekabül etmektedir.

Bu çalışmada, olasılıksal sismik tehlike analizinde hafızasız Poisson modeli kabullerini kullanan SEISRISK III sismik tehlike analiz yazılımı (Bender ve Perkins, 1987) kullanılmıştır. İki farklı deprem kavramının üretebileceği PGA için üç farklı tekerrür periyodu (144, 390 ve 2475 yıl) kullanılarak olasılıksal sismik tehlike analizleri 4 farklı azalım ilişkisinden yararlanılarak gerçekleştirilmiştir. Bunlardan OBE deprem kavramının yaratacağı yer etkisini belirlemede 100 yıl ve %50 aşılma olasılığı (Tablo 4), MCE için 50 yıllık ekonomik ömür için %12 aşılma olasılığı ve 50 yıllık ekonomik ömür için %2 aşma kullanılmıştır (Tablo 5 ve 6). Bunlardan OBE için ivme değerleri doğrudan olasılık analizinden elde edilen veriler doğrultusunda farklı azalım ilişkilerine göre eşit ağırlıklı olarak değerlendirilip Tablo 4'de sunulmuştur.

Tablo 4. OBE deprem kavramının yaratacağı yer etkisinin ivme değerleri

Sönümlenme Modeli	**Abrahamson ve Silva 2008**	**Boore ve Atkinson 2008**	**Kalkan ve Gülkan 2005**	**Sadigh ve diğ. 1997**	**Ağırlıklı Ortalama (g)**
(μ) (g)	0,082	0,124	0,116	0,135	0,11
(μ+σ) (g)	0,153	0,211	0,239	0,243	0,21
Ağırlıklı Oranı	0,25	0,25	0,25	0,25	

Tablo 5. MCE deprem kavramının yaratacağı yer etkisinin ivme değerleri (tekerrür periodu 390 yıl)

Sönümlenme Modeli	**Abrahamson ve Silva 2008**	**Boore ve Atkinson 2008**	**Kalkan ve Gülkan 2005**	**Sadigh ve diğ. 1997**	**Ağırlıklı Ortalama (g)**
(μ) (g)	0,10	0,15	0,14	0,17	0,14
(μ+σ) (g)	0,20	0,28	0,31	0,32	0,28
Ağırlıklı Oranı	0,25	0,25	0,25	0,25	

Tablo 6. MCE deprem kavramının yaratacağı yer etkisinin ivme değerleri (tekerrür periodu 2475 yıl)

Sönümlenme Modeli	**Abrahamson ve Silva 2008**	**Boore ve Atkinson 2008**	**Kalkan ve Gülkan 2005**	**Sadigh ve diğ. 1997**	**Ağırlıklı Ortalama (g)**
(μ) (g)	0,15	0,21	0,19	0,25	0,20
(μ+σ) (g)	0,32	0,44	0,47	0,51	0,44
Ağırlıklı Oranı	0,25	0,25	0,25	0,25	

6. SİSMİK ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

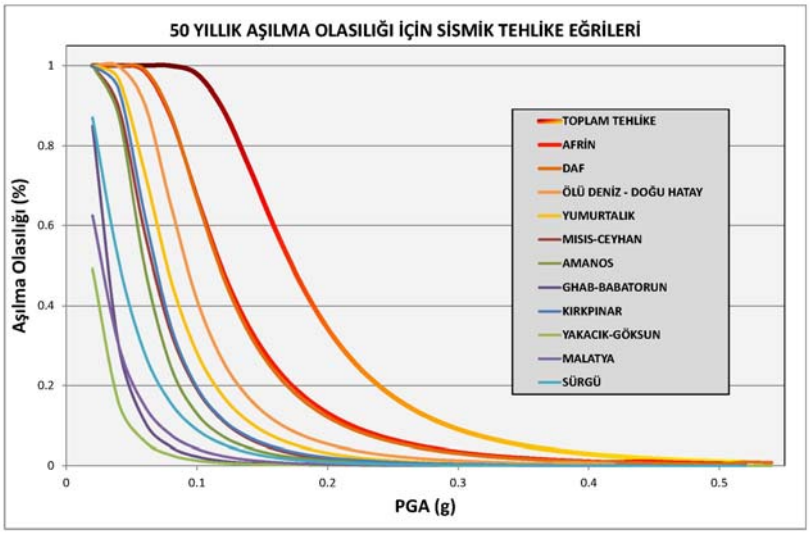
Tablolarda görüldüğü gibi, 2475 yıllık tekerrür periyodu için yapılan olasılıksal sismik tehlike analizinden elde edilen sonuçlar, 390 yıllık tekerrür periyodu göz önüne alınarak elde edilen olasılıksal sismik tehlike analizi

sonuçları ile bunların deterministik analizlerinden elde edilen sonuçlar karşılatırıldığında, 50 yıllık ekonomik ömür için %12 aşılma olasılığına (Tablo 7) göre yapılan olasılıksal sismik tehlike analizinin sonuçları MCE için verilen PGA değerlerinin alt sınırını vermekte olduğu görülmektedir. 50 yıllık ekonomik ömür için %2 aşılma olasılığı için yapılmış diğer analiz (Tablo 6) sonuçları ise bu değerin üst sınırını vermektedir. Değerler, bölgenin tektonik konumuna göre incelendiğinde 50 yıllık ekonomik ömür için %12 aşılma olasılığına göre hesaplanan MCE deprem kavramının yaratacağı yer etkisinin daha rasyonel olduğu görülmektedir. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre, çalışma alanı orta riskli kuşak olan 3. Derece Deprem Bölgesi içerisinde kalmaktadır. Yalnız 2. dereceden deprem bölgesine olan yakınlığı düşünülürse MCE deprem kavramının yaratacağı yer etkisinin olasılıksal yaklaşımla belirlenen ve 50 yıllık ekonomik ömür için %12 aşılma olasılığına göre hesaplanan değer olarak alınması tutarlı olacaktır ayrıca tasarımdaki maliyetide güvenli tarafta kalarak daha makul seviyede tutacaktır.

Tablo 7. Sismik tehlike analizi sonucunda bulunan sonuçlar

Sismik Tehlike Analizi	**Deterministik**	**Olasılıksal (OBE)**	**Olasılıksal (50 yıl %12 aşılma olasılığı)**	**Olasılıksal (50 yıl %2 aşılma olasılığı)**
(μ) (g)	0.20	0.11	0.14	0,20
(μ+σ) (g)	0.33	0.21	0.28	0,44

MCE deprem kavramının yaratacağı yer etkilerinin belirlenmesinde, deterministik ve olasılıksal yöntemlerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak inanılabilir en büyük depremin alanda meydana getireceği en büyük ivme değeri hesaplanmıştır. Bu değer için, iki yöntemle elde edilen ivme değeri (olasılıksal analiz için: 50 yıllık ekonomik ömür için %12 aşılma olasılığına tekabül eden PGA değeri) analiz noktasında birbirine yakın sonuç vermektedir. Ancak deterministik analiz sonucu çalışma alanı için rasyonel olmayan daha büyük bir değer vermektedir. Bunun en büyük nedeni özellikle sismik aktivitesi az olan Ölü Deniz Fay Zonunun Kuzey segmanlarının alana yakınlığıdır. Deterministik yaklaşım bu kaynaklarının üzerinde gerçekleşen depremlerin sıklığını ve büyüklüğünü göz önüne almayan temelde sadece fay uzunluğu ve sahaya yakınlık parametrelerine bağlı ampirik bir yaklaşımdır. Bu nedenle alandaki PGA değerleri olasılıksal analizden daha büyük çıkmıştır. Bu yüzden, alan için seçilen MCE deprem kavramının etkisi olasılıksal analizin sonuçlarına göre belirlenmiştir. Ayrıca, örnek olarak kullanılan azalım ilişkilerinden Abrahamson ve Boore (2008) azalım ilişkisi ile elde edilen olasılıksal sismik tehlike sonuçları kullanılarak (sismik tehlike eğrileri her fay kaynak için ayrı ayrı belirlenerek) çalışma alanına 50 yıllık periyotta (% 12 aşılma olasılığı için) en çok etki eden deprem kaynağı Ölü Deniz Fay Zonu olarak belirlenmiştir (Şekil 4). Bu da deterministik yaklaşımda alan için muhtemel en büyük sismik tehlikeyi yaratacak fay zonu olarak alınan segmanın ait olduğu fay sistemidir. İki temel yaklaşımla elde edilen sonuçların belirli seviyelerde örtüşmesi yapılan analizlerde epistemik ya da öznellikten kaynaklanabilecek yanlılıkların önüne geçildiğinin göstergesidir.



Şekil 4. Boore ve Atkinson (2008) azalım ilişkisi ile elde edilen olasılıksal sismik tehlike sonuçlarında her Fay Zonu sismik tehlike eğrileri

KAYNAKLAR

Abrahamson, N. ve Silva, W., 2008, "Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations". Earthquake Spectra, Vol.24, No.1, pp.67-97.

Bender B., and D.M. Perkins, 1987, "Seisrisk III: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation", U.S. Geological Survey Bulletin 1772, Washington.

Boore, D. M., ve Atkinson, G. M. 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.

Bozkurt, E., 2001, Neotectonics of Turkey-a synthesis. Geodinamica Acta, 14, 3-30.

Cornell, C. (1968). Engineering seismic risk analysis, Bull. Seism.Soc. Am. 58, 1583-1606.

Coskun, B., Coskun, B., 2000. The Dead Sea Fault and related subsurface structures Gaziantep Basin southeast Turkey. Geol. Mag. 137, 175– 192.

Çetin, K.Ö., v.d., Bursa Şehri için CBS Destekli Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi ve Sıvılaşma Risk Haritalarının Oluşturulması, ZMTM 10. Ulusal Kongresi, 16-17 Eylül, İTÜ (2004), pp.479-88.

Deniz, A. ve Yücemen, M. S., 2010, Magnitude conversion problem for the Turkish earthquake data, Nat. Hazards v.55 pp. 333–352.

Erdik, M., Şeşetyan, K. Demircioğlu, M.B. ve Durukal, E., 2006, DLH İnşaatı Genel Müdürlüğü Kıyı Yapıları, Demiryolları ve Havameydanları İnşaatları Deprem Teknik Yönetmeliği için Deprem Tehlikesi Belirlemesi, BÜ-KRDAE, İstanbul.

Gardner, J. K. ve Knopoff, L., 1974, Is the Sequence of Earthquakes in Southern California, with Aftershocks Removed, Poissonian?, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 64, 1363-1367.

Gutenberg, B., Richter, C.F., 1954. Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration . Bull. Seism. Soc. Amer., Vol. 63, pp. 501-516.
Kagan, Y. Y., (2002). Aftershock Zone Scaling, BSSA, Vol. 92, No. 2, 641-655.

Kalkan, E., ve Gülkan, P. 2005. Erratum: Site-dependent spectra derived from ground motion records in Turkey. Earthquake Spectra, 21(1), 283.

Koç, A., 2005, Remote Sensing Study of Sürgü Fault Zone (Malatya, Turkey), M.Sc. Thesis, METU.

Kramer, S.L., 1996, "Geotechinal Earthquake Engineering. ed. William J. H., Prentice-Hall International Series in Civil Engineering and Engineering Mechanics". New Jersey. USA.

Krinitizsky, E. L.: 1993a, Earthquake probability in engineering – Part 1: the use and misuse of expert opinion, Engineering Geology 33, 257–288.

McClusky, S. C., v.d.., 2000, Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterreanen Caucasus, Journal of Geophysical Research, 105, 5695-5719.

Özdemir, M.A., İnceöz, M, 2003, *Comparison of the Offsets in Dreinage Network with Some Tectonic Data between Karlıova-Türkoglu in the East Anatoliıan Fault Zone,* Sosyal Bilimler Dergisi pp. 89-114

Reilinger, R., v.d., 2006. *GPS constraints on continental deformation in the Africa–Arabia–Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions*, J. Geophys. Res. 111 B05411.

Sadigh, K., Chang, C.-Y., Egan, J. A., Makdisi, F., & Youngs, R. R. 1997. Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data. *Seismological Research Letters*, 68(1), 180–189.

Slemmons, D. B., P. Bodin, and X. Zang (1989). Determination of earthquake size from surface faulting events, Proc. of the International Seminar on Seismic Zonation, Guangzhou, China, State Seismological Bureau, Beijing, 13.

Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Kuşçu, İ., 1992, Türkiye Diri Fay Haritası, 1:2,000,000 ölçekli, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Wells, D.L.; Coppersmith, K. J., 1994, "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, pp. 974-1002.

Westaway, R., 2003, Kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean Updated, Turkish J. Earth Sci., 12, 5-46.

Westaway, R., 2004, Kinematic consistency between the Dead Sea Fault Zone and the Neogene and Quaternary left-lateral faulting in SE Turkey, Tectonophysics, 391, 203-237.

Yücemen M.S., 2008, "Deprem Tehlikesinin Tahmininde Olasılıksal Yöntemler", 14. Bölüm, Binalar için Deprem Mühendisliği Temel Đlkeleri, editörler, E. Canbay v.d., Bizim Büro Basımevi, Ankara, Mayıs 2008.