

## Antalya İli Yerleşim Alanının Depremselliğinin Araştırılması

*Investigation of Seismicity of Antalya City Metropolitan Area*

**Nihat DİPOVA, Bülent CANGİR**

*Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ANTALYA*

Geliş (received) : 28 Mart (March) 2011

Düzeltilme (revised) : 26 Temmuz (July) 2011

Kabul (accepted) : 7 Eylül (September) 2011

### ÖZ

Antalya'nın nüfusu iç göçlerle yüksek oranda artmakta, buna ek olarak da her yıl milyonlarca gezgin Antalya'yı ziyaret etmektedir. Antalya il merkezi 2. derece deprem bölgesi içindedir. Sismik etkinliğin yoğun olduğu batı kesimler ise 1. ve 2. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Bunlara yapı kalitesinin yetersizliği ve zayıf zeminlerin bulunması da eklendiğinde Antalya'nın depremselliği ilgi konusu olmaktadır. Bu çalışmada, Antalya il merkezinin depremselliğinin incelenmesi amacıyla Antalya çevresindeki sismotektonik bölgelerde 1900 - 2010 yılları arasında gerçekleşen depremler dikkate alınarak, istatistiksel yöntemlerle tehlike analizi gerçekleştirilmiştir. Antalya il merkezi "Isparta Açısı"nın iç kesiminde yer almakta ve bu tektonik yapının bileşenleri olan fayların neden oldukları depremlerden etkilenmektedir. Antalya çevresindeki sismotektonik bölgeler için "a" parametresi 5.61 – 6.77 arasında, "b" parametresi ise 0.86 – 1.06 arasında değişmektedir. Antalya'yı merkez kabul eden 100 km yarıçaplı dairesel alan içinde 5 büyüklüğünde bir depremin 10 yıl içinde meydana gelme olasılığı % 71'dir. En az 6.5 büyüklüğündeki bir depremin 50 yıl içinde % 15 olasılıkla meydana gelebileceği anlaşılmaktadır. Azalım ilişkileri uygulanarak Antalya ilinde ana kayada gerçekleşebilecek en büyük yatay yer ivmesinin 0.1g civarında olacağı tahmin edilmiştir. Yumuşak zeminler için büyütme sonucunda ise bu değer daha büyük değerlere ulaşabilecektir. Antalya'daki zayıf zeminli bölgeler için büyütme ve sıvılaşma hesaplarının, başka bir çalışmada ayrıntılı olarak çalışılması gereği ortaya çıkmıştır. Antalya'da mevcut yapıların depreme karşı dayanıklılıklarının incelenmesine dönük bir çalışma başlatılmadan önce, zeminlerin depremsellik davranışları ile ilgili tüm bilgilerin bir mikro-bölgelendirme çalışması hâlinde tamamlanmış olması gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Antalya, Azalım ilişkisi, Depremsellik, En büyük yatay yer ivmesi, Sismotektonik.

### ABSTRACT

*Population of Antalya is growing rapidly due to internal immigration. Moreover, millions of tourists are visiting Antalya every year. Antalya city center lies in the second degree earthquake zone of Turkey. Western part of Antalya, where seismic activity is more intense, lies in the first and second degree zones.*

N.Dipova

E-Posta: ndipova@akdeniz.edu.tr

*Taking into account the poor construction quality and the weak ground conditions, seismicity of Antalya becomes point of interest. In this study, to investigate the seismicity of Antalya city center, a seismic hazard analysis was carried out considering earthquakes occurred between 1900 - 2010 in the seismotectonic zones around Antalya, using statistical techniques. Antalya city center is located in the central part of "Isparta angle" and affected by earthquakes which are the products of components of this tectonic structure. "a" parameters lie in the range between 5.61 – 6.77, and "b" parameters in 0.86 – 1.06 for the seismotectonic zones around Antalya. For a circle having radius of 100 km and the centre is located in Antalya city center, probability of occurrence of an earthquake having magnitude 5 or more is 71 %. It is understood that probability of an earthquake having magnitude 6.5 or more is 15 % in 50 years. Applying attenuation relationships, the greatest horizontal ground acceleration is estimated as 0.1g. For soft soils it is obvious that this value will reach a higher value due to ground amplification. It is clear that in a different study, magnification and liquefaction studies should be studied for the weak soils. Before starting an investigation for safety of buildings against earthquake, a micro-zonation study related to dynamic behaviour of all the Antalya soils should be completed.*

**Key Words:** Antalya, Attenuation, Seismicity, Peak horizontal ground acceleration, Seismotectonic.

## GİRİŞ

Antalya 2010 yılında yapılan genel nüfus sayımına göre 1.978.330 il ve 1.001.318 merkez nüfusu ile nüfus büyüklüğü olarak bütün iller arasında 7. sıradadır. Nüfusun en fazla arttığı 1990 - 2000 döneminde Antalya, ortalama yıllık nüfus artış hızı binde 41.8 ile Türkiye’de birinci sıradadır. Buna ek olarak Türkiye'nin en çok turist alan ve iç göç çeken ilidir. Sadece havayolu ile bir yıl içinde Antalya’ya gelen turist sayısı 9 milyonun üzerindedir. Antalya ve yakın çevresi, 1996’da kabul edilen ve 1998’de yürürlüğe giren Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası’nda, sismik etkinliğin yoğun olduğu batı kesimlerde 1. ve 2., sismik etkinliğin az olduğu doğu kesimlerde ise 3. ve 4. derece deprem bölgeleri içerisinde yer almaktadır. Antalya il merkezi daha önce 4. derece deprem bölgesi’nde yer alırken 1998 haritasında 2. dereceye alınmıştır. Antalya’da bulunan turizm yatırımlarının önemli bir bölümü deprem kaynaklarına yakın alanlarda ve zayıf zeminler üzerine inşa edilmiştir. Özellikle 2000

yılı öncesindeki yapıların inşaat kalitesinin yetersizliği de eklendiğinde Antalya’nın depremselliği uzun zamandır önemli bir tartışma konusu haline gelmiştir.

Bir yörenin deprem tehlikesinin belirlenmesi için gerekli en önemli unsurlar; depremlerin tarihi, oluş sıklığı, konumu, kaynak parametreleri, yörenin jeolojik ve tektonik yapısıdır. Deprem tehlike çalışmalarında deterministik ve olasılıksal yaklaşımlar kullanılır. Deterministik yaklaşımın ilk aşamasında proje sahasını etkileyebilecek deprem kaynaklarında daha önce meydana gelmiş en büyük depremler belirlenir. İkinci aşamada ise, proje sahasının bulunduğu bölgenin karakteristiklerine en uygun azalım ilişkisi seçilerek, bu depremlerin proje sahasında ana kayada oluşturacağı en büyük yer ivmesi hesaplanır (Reiter, 1990; Kayabalı, 1995; Yeats vd., 1997). Olasılık esaslı sismik tehlike analizi ise, sismik kaynakların geometrisindeki, ilgilenilen sahaya uzaklıklarındaki, sönüm ilişkilerindeki ve beklenen depremlerin

büyükliklerindeki belirsizlik durumlarını hesaba katarak, belirli bir aşılma olasılığına sahip yer hareketi parametrelerinin tahmin edilebilmesini sağlamak amacıyla Cornell (1968) tarafından geliştirilmiştir. Olasılıksal sismik tehlike analizi; deprem kaynaklarının tanımlanması, deprem kaynaklarına ait tekrarlama parametrelerinin belirlenmesi, değişik zaman ve büyüklük aralıkları için olasılık hesabının yapılması ve azalım ilişkileri uygulanarak ivmelerin hesaplanması olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Bu bilgilere zemin büyütmesi ve sıvılaşma potansiyeli gibi yerel zemin koşullarının etkileri de eklendiğinde, imar alanlarındaki zeminlerin depremsellik davranışı hakkında önemli bilgiler elde edilmiştir. Yeni imar alanlarının planlanması ve mevcut yapıların depreme karşı

dayanıklılıklarının incelenmesine dönük çalışmalar başlatılmadan önce zeminlerin depremsellik davranışları ile ilgili tüm bilgilerin bir mikro-bölgelendirme çalışması halinde tamamlanmış olması gerekmektedir.

Bu çalışma, Antalya il merkezinin (Şekil 1) depremselliğinin incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla; Antalya'yı etkileyebilecek bir depremin 100 km yarıçapında bir alan içinde meydana geleceği kabul edilmiş ve bu alan içine giren sismotektonik bölgeler inceleme alanları olarak seçilmiştir. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi veri tabanından Antalya çevresindeki sismotektonik bölgelere ait ve 1900 - 2010 yılları arasında gerçekleşen depremler dikkate alınarak istatistiksel yöntemler kullanılıp deprem tehlike analizleri gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

## JEOLojİ

Antalya bölgesi Batı Toroslar'ın güney kenarında bulunmaktadır. Antalya'nın topoğrafik yapısı dar kıyı düzlükleri ve bunların gerisinde yüksek sıradağlardan oluşmaktadır. Güneybatı Akdeniz bölgesinin önemli sıradağlarının uzantıları Antalya Ovası'na kadar girmektedir. Konyaaltı Kumsalı'nın 1 km gerisinde yükselti 600 metreye, 20 km gerisinde ise 2500 metreye ulaşmaktadır. Antalya kentinin doğusunda Aksu ve Yamansaz düzlükleri, batısında ise, Boğaçay'ın oluşturduğu alüvyonal düzlükler yer almaktadır. Antalya'da deniz derinliği, kıyından 2 - 5 deniz mili uzaklığa kadar 0 - 200 metre arasında tatlı bir eğimle değişmekte olup, 200 metreden sonra eğim dikleşmekte ve körfez ortalarına doğru derinlik 1000 - 2000 metreye ulaşmaktadır.

Bölgenin hâkim kaya birimleri otokton ve allokton olarak iki gruba ayrılabilir. Platform tipi karbonat çökellerden oluşan Anamas-Akseki görelî otoktonu (Kambriyen-Eosen) ve Beydağları görelî otoktonu (Jura-Miyosen), allokton birimlerin yerleşeceği ve genç otokton birimlerin çökeleceği ana kaya görevi görürler. Genç otokton birimler ise kumtaşı, çakıtaşı, kireçtaşı ve kiltaşından oluşan Antalya Miyosen havzası çökelleri, Üst Miyosen-Pliyosen havzası çökelleri ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı tufa (traverten) dir. Antalya napları bölgenin allokton birimlerini oluşturur (Şekil 2) (Akay vd., 1985).

İnceleme alanının tektonik yapısı, Miyosen sonrasında gelişen dönme (rotasyon) hareketlerinin etkisi altında gelişmiştir. Blumenthal (1963) tarafından "İsparta Açısı" olarak adlandırılan ve Antalya Körfezi'nin geometrisine uyan coğrafi yapı, Toroslar'ı oluşturan Mesozoyik karbonat ekseninin Neotektonik dönemde bükülmesi ile oluşmuştur.

İsparta Açısı doğuda Akşehir Fayı, batıda ise Fethiye-Burdur Fay Zonu ile sınırlanmaktadır. K-G uzanımlı Eğirdir-Kovada Grabeni İsparta Açısı'nı iki farklı simetrik bölgeye ayırır. Batıda Eğirdir-Kovada simetri hattına paralel gelişmiş K-G doğrultulu fay sistemleri Yağmurlu vd. (1997) tarafından "Antalya Fay Zonu" olarak, Glover ve Robertson (1998) tarafından ise "Kemer çizgiselliği" olarak tanımlanmıştır. Doğu kanat ise Kırkkavak Fayı, Aksu Bindirmesi ve açılma rejimine bağlı gelişmiş normal faylar ile karakterize edilmektedir (Şekil 3).

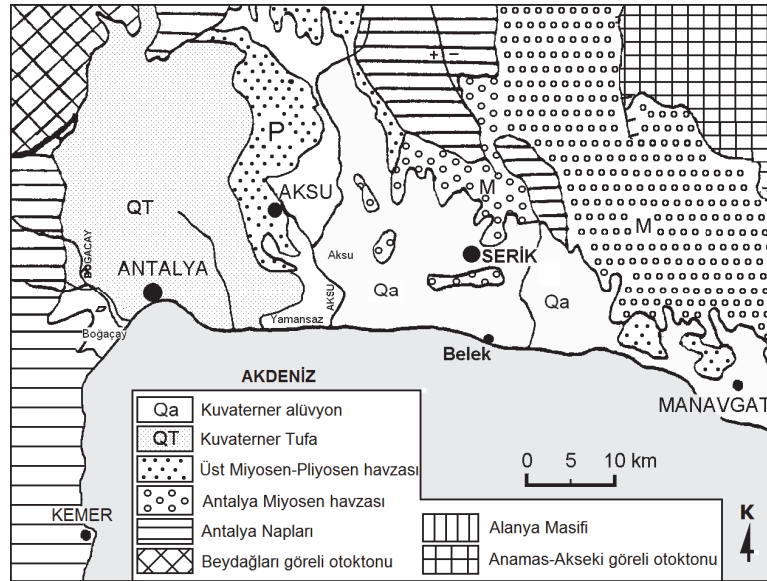
## SİSMOTEKTONİK BÖLGELER

Sismik tehlike analizinin en önemli aşamalarından birisi sismotektonik bölgelerin (STB) tanımlanmasıdır. Bu çalışma kapsamında sismotektonik bölgeler belirlenirken Erdik vd. (1999)'un Türkiye geneli için gerçekleştirdikleri çalışma temel alınmıştır (Şekil 4). Erdik vd. (1999)'da tanımlanan Bölge 11 (zone 11) bu çalışmada 3 ayrı bölgeye ayrılarak (Antalya, Aksu, Finike) ayrıntılı bir biçimde çalışılmıştır. Bölge 11'in batısında bulunan 10 ve 12 numaralı bölgeler çalışma alanının 100 km yakınında bulunduğundan, Fethiye-Burdur STB olarak birleştirilerek tek bir sismotektonik bölge olarak değerlendirilmiştir.

Antalya çevresinde bulunan ve deprem üreten fay kaynakları: (1) Fethiye-Burdur Fay Zonu (2) Helenik-Kıbrıs Fayı'nın Finike açıklarında uzanan bölümü (3) Kıbrıs Yayı'nın devamı kabul edilen Kırkkavak Fayı ve Aksu Fayı boyunca uzanan fay zonu (4) Kemer-İsparta ve Kemer-Korkuteli uzanımlı deprem aktivitelerinin birleşiminden oluşan Antalya Zonu'dur. Büyük depremler genellikle Fethiye-Burdur Fay Zonu ve Helenik-Kıbrıs Yayı

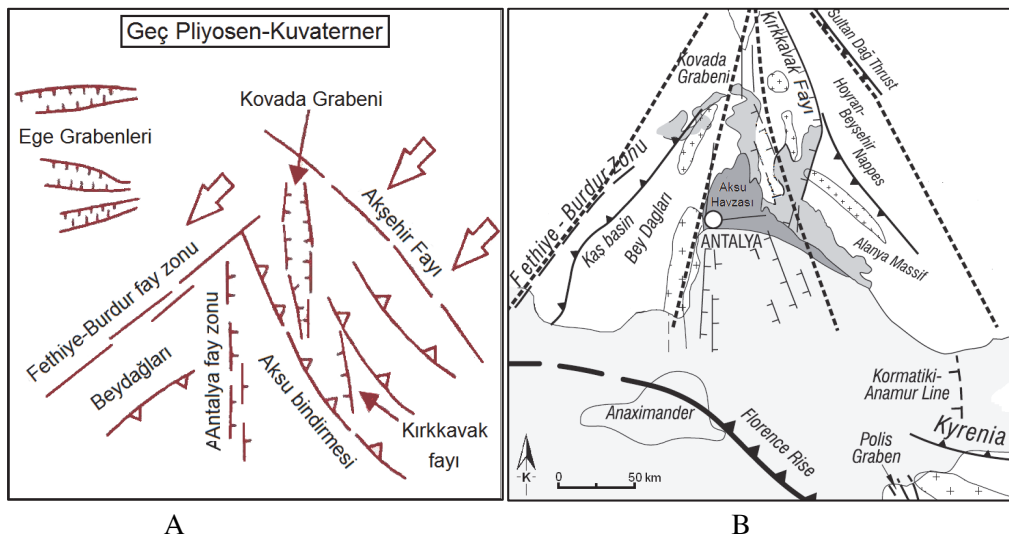
boyunca yoğunlaşmaktadır. Bununla birlikte Antalya Körfezi içerisinde ve Antalya imar alanını da içine alan karasal bölgede yoğun mikro deprem etkinliği gözlenmektedir. Antalya

yerleşim alanının bir bölümü Antalya ve bir bölümü ise Aksu sismotektonik bölgeleri içinde yer almaktadır.



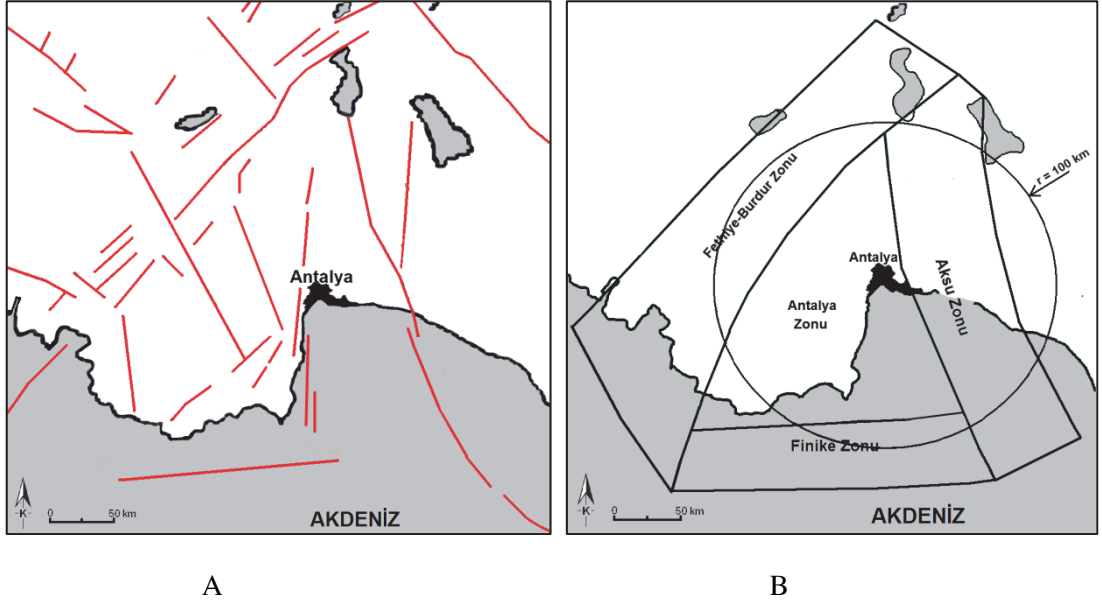
Şekil 2. Antalya ve civarının jeoloji haritası (Akay vd., 1985).

Figure 2. Geology map of Antalya and its vicinity (Akay et al., 1985).



Şekil 3. Bölgenin ana neotektonik yapıları: a) Yağmurlu ve Şentürk (2005), b) Glover ve Robertson (1998)'a göre.

Figure 3. Main neotectonic structures of the area according to: a) Yağmurlu and Şentürk (2005), b) Glover and Robertson (1998).



Şekil 4. a) Antalya yöresinde aktif ve potansiyel aktif fay zonları (Erdik vd., 1999'den değiştirilerek), b) çalışmada baz alınan sismotektonik bölgeler.

Figure 4. a) Active and potential fault zones in Antalya region (modified from Erdik et al., 1999), b) Seismotectonic zones considered in this study.

### Fethiye-Burdur STB

Fethiye-Burdur Fay Zonu, Burdur ve Fethiye arasında yaklaşık 300 km boyunca uzanmakta olup, büyük depremler üretme potansiyeline sahiptir. Bu fay zonu, normal atım bileşeni olan sol-yanal doğrultulu atımlı bir fay olup, bazı araştırmacılar tarafından (Dumont vd., 1979; Şaroğlu vd., 1987) Helenik yayın doğu kanadını oluşturan Plini-Strabo sistemini KD'ye devamı olarak kabul edilmektedir. Fay zonu boyunca küçük ve orta büyüklükteki deprem aktivitesi yoğundur (Örneğin; 1914 yılında  $M_s = 6.9$ , 1957 yılında  $M_s = 7.1$ ).

### Finike-Burdur STB

Teke Yarımadası'nın güneyinde, Finike ile Anaximander denizaltı dağlarının arasında

çizgisel bir deprem aktivitesi dikkat çekmektedir. Bu bölgede Finike Çukuru olarak adlandırılan ve 3064 m derinliği ile Akdeniz'in en derin bölgelerinden biri olan bir çukurluk bulunmaktadır (IOC, 1981). Finike Çukurluğu'nda 2000 m'nin üzerinde Pliyosen-Kuvaterner çökeli bulunduğu dikkate alınırsa (Aksu vd., 2009), çukurluğun gerçek taban seviyesinin -5000 m'yi bulacağı ortaya çıkmaktadır. Glover ve Robertson (1998), bu kesimdeki tektonik aktivitenin Strabo Hendeği ve Florence Yükseltisi ile bağlantılı olabileceğini ifade etmiş ancak kesin bir tanımlama yapmamışlardır. Zitter vd. (2003) Finike Çukuru'nun Mesinyen sonrasında Helenik yay oluşumu ile bağlantılı olarak, tansiyon ve yanal atım fazları ile geliştiğini ifade etmişlerdir. Ten Veen vd. (2004) Finike Çukuru'nun sol atımlı fay bileşeni olan normal faylanma ile geliştiğini

ve Pliny Hendeği'nin devamı niteliğinde olduğunu belirtmiştir. Aksu vd. (2009) ise Anadolu ve Afrika plakaları arasındaki sıkışma rejimine bağlı olarak kuzeyden ve güneyden bindirmeler nedeniyle bölgede çökme oluştuğunu belirtmiştir. Mekanizma hakkında tam bir görüş birliği olmasa da bölgede önemli bir tektonik hareketlilik ve deprem etkinliği bulunduğu açıktır. Bu bilgiler ışığında Antalya zonunun güney kesiminde Finike STB adı altında bir sismotektonik bölge tanımlanmıştır. Bu bölge içinde 1926 yılında 6.8 büyüklüğünde sığ (10 km) bir deprem olmuştur.

### Aksu STB

Bu sismotektonik bölge Beyşehir-Eğirdir Gölleri'nden başlayıp İskenderun Körfezi'ne kadar uzanan bir fay zonu olan Kıbrıs Yayı'nın kuzey batı kesimidir. Bu bölgenin en büyük yapılarından biri olan sağ yanal doğrultu atımlı Kırkkavak Fayı (Dumont ve Kerey, 1975), Isparta Açısı'nın doğusunda Eğirdir-Kovada Grabeni'ne paralel olarak gelişmiştir. Diğer bir tektonik yapı olan ve Aksu Bindirmesi olarak bilinen (Poisson vd., 2003) ters fay sistemi Isparta ile Serik arasında KB yönünde yaklaşık olarak 200 km'lik uzanım gösterir. Anadolu'nun batıya kaçışı ile KD-GB doğrultulu sıkışma rejiminde gelişen Aksu Bindirmesi, Üst Pliyosen'de yerini KD-GB doğrultulu açılma rejimine bırakmıştır (Glover ve Robertson, 1998). Son yüzyıl içinde Aksu Fay Zonu üzerinde büyüklüğü 5.0 ve üzeri depremler meydana gelmesi Aksu Fay Zonu'nda, aktivitenin günümüzde de devam ettiği şeklinde yorumlanmıştır (Yağmurlu ve Şentürk 2005).

### Antalya Fay Zonu STB

Koçyiğit (1984), Şenel (1997), ve Glover ve Robertson (1998) Antalya Körfezi'nin batısını

blok faylanma ile açıklamaktadır. Yeni tektonik dönemde Isparta Büklümü'ndeki çekme rejimine bağlanan bu blok faylanmanın körfez içinde de devam ettiği sismik araştırmalarda belirlenmiştir (Özhan, 2004). Glover ve Robertson (1998) bu oluşumu Kemer Çizgiselliği olarak adlandırmıştır. Ana çizgilerde birbirine paralel gelişmiş ve K-G doğrultusunda kademeli (en-echelon) uzanım gösteren normal fay sistemlerinde yapılu bu fay zonu Yağmurlu vd. (1997) tarafından "Antalya Fay Zonu" olarak tanımlanmış ve Isparta-Antalya arasında yer alan hiper alkalın volkanik çıkış merkezlerinin bu fay sistemleri üzerinde yer aldığı ifade edilmiştir. Termesos ve Phaselis kalıntılardaki sütunlarda blok dönmeleri olduğu için, her iki antik kentin de Antalya Fay Zonu'nda oluşan tarihsel depremlerden yıkıldığı tahmin edilmektedir. 200 km uzunluğunda ve 50 km genişliğinde dar bir kuşakta gözlenen volkanik kayalar Yağmurlu vd. (1997) tarafından Antalya Fay Zonu ile ilintilenmiştir. Antalya zonu içinde Kemer-Korkuteli ve Elmalı-Acıpayam uzanımlı iki deprem etkinliği daha bulunmaktadır. Literatürde ayrıntılı bir çalışma bulunmaması ve uzanımlar arası mesafelerin kısa olması nedeniyle, bu üç etkinlik, ayrı ayrı kaynaklar olarak tanımlamak yerine birleştirilerek bir alansal kaynak olarak değerlendirilmiştir.

### ANTALYA VE ÇEVRESİNİN DEPREM ETKİNLİĞİ

Antalya ve çevresinin deprem etkinliği tarihsel dönem (1900 öncesi) ve aletsel dönem (1900 sonrası) olmak üzere ayrı ayrı incelenecektir. Bölgedeki 1900 yılı öncesinde meydana gelmiş tarihsel büyük depremler hakkındaki bilgiler Ambraseys ve Finkel (1995) ile Duggan (2011)'in çalışmalarında aşağıdaki şekilde verilmektedir.

1459 Antalya Depremi: Leonardo Da Vinci'nin yazılarında Antalya ve Rodos'ta denizi yaran bir deprem olduğu ve 3 saatten fazla süren bu olay nedeniyle deniz tabanının çıplak kaldığı sonrasında da büyük dalgalar (tsunami) oluştuğu belirtilmektedir.

1743 Antalya Depremi: Marsilya Ticaret Odası'nın arşivlerinden alınan bilgilere göre, 6 - 20 Mayıs 1743 tarihleri arasında Antalya'da etkili olabilecek derecede büyük bir deprem olmuş, limanın bir süre suyu çekilmiş, çok sayıda ev yıkılmış ve Fransız Konsolosluğu'nun üzerine sur duvarından kopan kayalar düşerek evi tahrip etmiştir. Deprem sonucu birçok köyün yok olduğu ve Sıçan Adası'nın batısında yer alan dağın tamamen suya gömüldüğü rapor edilmiştir.

1851 Fethiye Depremi: Merkez üssü Rodos ile Fethiye arasındaki denizaltı grabeninde bulunduğu tahmin edilen 1851 depreminde Fethiye ve Rodos sarsılmıştır. Fethiye, Muğla ve Rodos kıyılarında küçük boyutlu bir tsunami oluştuğu belirtilmiştir.

Antalya çevresindeki tarihsel büyük depremlere ait izlere arkeolojik kayıtlarda da rastlanmaktadır. Termessos, Rhodiapolis, Perge, Side, Selge ve Faselis gibi antik kentlerde işlenmiş büyük taş bloklardan yapılmış tapınak ve tiyatrolar gibi devasa yapıların yıkılması, yangınlar, zararlı gazların ortaya çıkması, su sistemlerinin çökmesi, tsunami dalgaları ve bazı yerleşim yerlerinin denize gömülmesi gibi olaylar, Duggan (2011) tarafından depremlerin etkisi olarak yorumlanmıştır. Deprem tehditlerine karşı bölgedeki yapıların inşasında çeşitli yapısal önlemler geliştirilmiştir. Ahşaptan, kiremitten ve tuğladan oluşan hatıl bunlardan en yaygın olmasına rağmen hatıllı yapılarda da yıkılmaların gözlenmesi deprem büyüklükleri hakkında ipuçları vermektedir.

1900 yılı sonrası aletsel dönem depremleri Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi kayıtlarından derlenmiştir. Bu dönemde Antalya'yı merkez alan 100 km yarıçaplı dairesel alan içinde 6.4'ün üzeri büyüklüğe sahip bir deprem kaydedilmemiştir. Ancak Antalya'yı etkisi altına alan Fethiye-Burdur sismotektonik bölgesinde can ve mal kaybına neden olan depremler olmuştur (Çizelge 1). Şekil 5'te Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi kayıtlarından derlenen aletsel döneme ait (1900-2010) ve Tan vd. (2008) tarafından tarihsel depremlerin şiddet verilerinden türetilerek elde edilen  $M > 4$  depremler gösterilmektedir. Büyüklüğü 4.0 ve altında olan depremlerin genellikle hasara neden olmaması ve sadece bu büyüklüğün üzerindeki depremler için moment büyüklüğünün hesaplanabilir olması nedeniyle, analizlerde  $M > 4$  depremler değerlendirmeye alınmıştır.

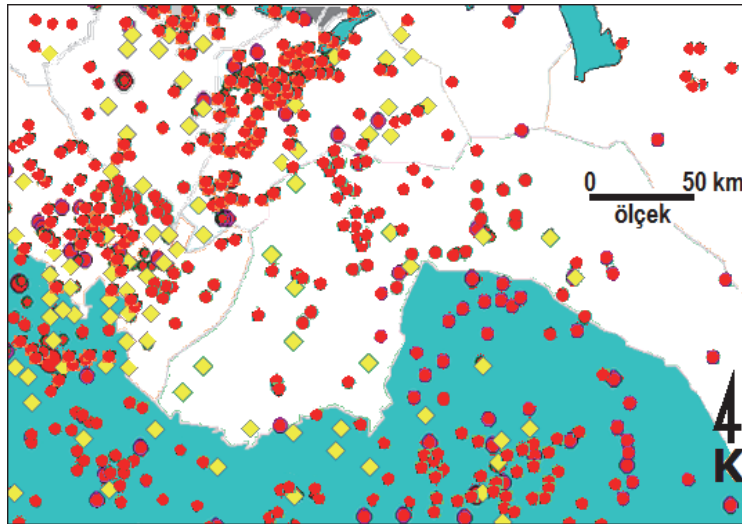
Bölgedeki deprem etkinliğini belirlemek amacıyla depremlerin zaman içindeki dağılımları incelenerek, Antalya civarındaki sismotektonik bölgeler için, yıllara ve deprem büyüklüklerine göre deprem sayılarının dağılım grafikleri hazırlanmıştır (Şekil 6). Şekil 6 incelendiğinde bölgede gözlenen deprem sayısının 1960'tan sonra arttığı gözlenmektedir. Ancak bunun sismik hareketlilikte bir artıştan mı yoksa sismik ölçüm ağının gelişmesinden mi kaynaklandığını anlamak zordur. Büyüklüğü 6'dan fazla olan deprem sayısı Fethiye-Burdur Zonu'nda 5 iken, bu sayı Antalya'ya 100 km yakınlıkta bir dairesel alan için 2 adettir. Çizelge 2'de ise, depremler büyüklüklerine göre sıralanmıştır. İncelenen sismotektonik bölgelerde en sık meydana gelen depremlerin  $3 < M < 3.9$  aralığında yoğunlaştığı görülmektedir.



Çizelge 1. Aletsel dönemde Antalya yakınlarında oluşan büyük depremler ( $M > 5.5$ ).

Table 1. Earthquakes ( $M > 5.5$ ) occurred around Antalya in the instrumental period.

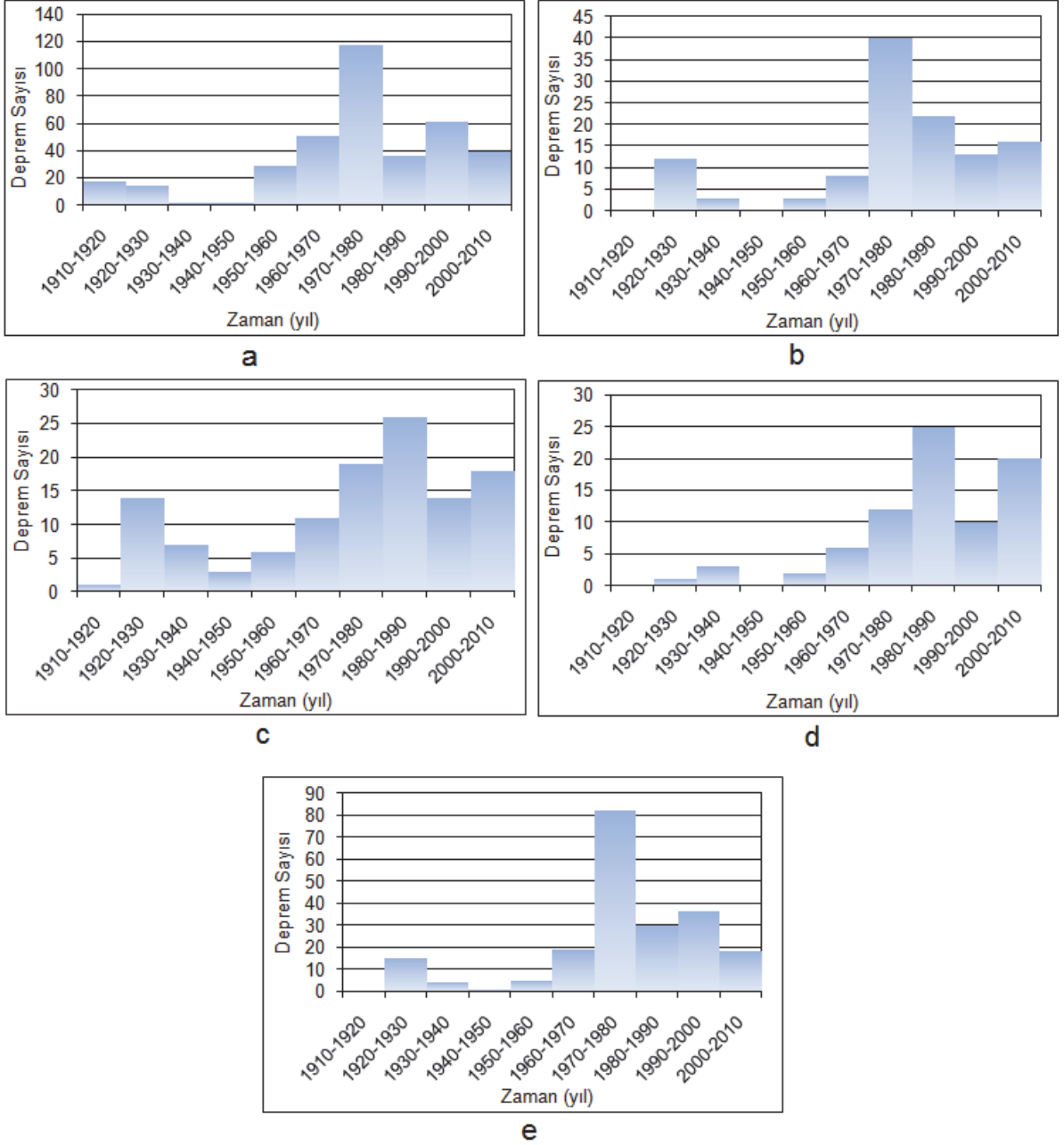
Sismotektonik Bölge	Tarih	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Büyüklik	Büyüklik $M_w$
Fethiye-Burdur	25.04.1957	36.42	28.68	80	7.1 ( $M_s$ )	6.7
	03.10.1914	38	30	14	6.9 ( $M_s$ )	6.6
	24.04.1957	36.43	28.63	80	6.8 ( $M_s$ )	6.5
	23.05.1961	36.7	28.49	70	6.3 ( $M_s$ )	6.2
	01.10.1995	38.11	30.05	5	6.2 ( $M_s$ )	6.1
	01.03.1926	37.15	29.61	5	6.1 ( $M_s$ )	6.0
Finike	18.03.1926	35.99	30.13	10	6.8 ( $M_s$ )	6.5
	05.06.1927	36	31	0	6.2 ( $M_s$ )	6.1
	30.04.1911	36	30	180	6.1 ( $M_s$ )	6.0
Antalya	30.04.1975	36.19	30.74	61	5.6 ( $M_b$ )	5.9
	12.05.1971	37.56	30.09	15	5.9 ( $M_s$ )	5.8
Aksu	28.05.1979	36.46	31.72	111	5.8 ( $M_b$ )	6.0
	11.09.1930	37.39	31.18	80	5.9 ( $M_w$ )	5.9



Şekil 5. Bölgede meydana gelmiş  $M \geq 4$  depremlerin episantr dağılımı; sarı kareler tarihsel dönem depremlerini (Tan vd., 2008), kırmızı daireler ise aletsel dönem depremlerini (Kaynak: Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi) simgelemektedir.

Figure 5. Epicenter distribution of  $M \geq 4$  earthquakes occurred in the region; yellow squares symbolize historical period earthquakes (Tan et al., 2008), red circles symbolize instrumental period earthquakes (Source: Boğaziçi University Kandilli Observatory).

Dipova ve Cangir



Şekil 6. Antalya ve çevresinde 20. yüzyılda oluşan depremlerin ( $M \geq 4$ ) zamana göre değişimi: a) Fethiye-Burdur STB, b) Antalya STB, c) Finike STB, d) Aksu STB, e) Antalya 100 km

Figure 6. Distribution of earthquakes, ( $M \geq 4$ ) in time, occurred in 20<sup>th</sup> century in Antalya and its vicinity: a) Fethiye-Burdur STB, b) Antalya STB, c) Finike STB, d) Aksu STB, e) Antalya 100 km.

Çizelge 2. Aletsel dönemde Antalya civarında oluşan deprem büyüklükleri ve sayıları.

Table 2. Magnitudes and numbers of earthquakes occurred around Antalya in the instrumental period.

Deprem Büyüklükleri	Deprem Sayısı				
	Fethiye-Burdur S.T.B	Finike S.T.B	Antalya S.T.B	Aksu S.T.B	Antalya 100 km
2.0 - 2.9	1847	49	150	105	226
3.0 - 3.9	4225	486	642	529	1105
4.0 - 4.9	331	88	104	70	186
5.0 - 5.9	31	28	13	9	22
6.0 - 6.9	5	3	-	-	2
7.0 - 9.9	1	-	-	-	-
Toplam	6440	654	909	713	1541

Sismik tehlike analizlerinde her bir sismotektonik bölgede oluşabilecek en büyük deprem büyüklüğünün belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu, genellikle bir sismotektonik bölgede gözlenen en büyük değere ve uzman görüşüne bağlı olarak belirlenmektedir. Ancak aletsel ölçüm yapılan 1900 - 2010 zaman aralığında bir sismik boşluk yaşanması veya bölgede deprem tekrarlanma aralıklarının fazla olması durumunda deprem büyüklük tahminleri gerçeği yansıtmayacaktır. Demirtaş ve Yılmaz (1996) yaptıkları çalışmada, Aksu sismotektonik bölgesi olarak adlandırılan bölge için bir sismik boşluk uyarısında bulunmaktadır. Son 100 yıl içinde bu bölgede sadece bir adet yıkıcı deprem gözlenmiştir. Bununla birlikte 712 adet küçük deprem oluşmuştur. Koçyiğit vd. (1997) ile Glover ve Robertson (1998), Aksu bölgesinde günümüzde sıkışma rejiminin (bindirme) yerini açılma (tansiyon) rejimine bıraktığını ifade etmektedir. Schwartz ve Coppersmith (1984), bir fay segmentinde maksimum yer değiştirmelerden hareketle deprem büyüklüklerini hesaplamışlar ve buna “karakteristik deprem” adını vermişlerdir. Bu yolla kısa dönem sismik kayıtlara girmeyen büyüklükler de elde

edilebilmektedir. Ancak bölgede geçmişte daha büyük bir deprem olduğunu kanıtlayan paleosismik bir veri de bulunmamaktadır. Deprem kayıt tarihçesinin yeterince eski olmadığı veya deprem kayıtlarında bazı eksikliklerin söz konusu olduğu durumlar için en büyük deprem değerinin 0.5 birim kadar artırılabilceği ifade edilmektedir (Kayabalı, 1995; Yeats vd., 1997; Garcia-Mayordomo vd., 2004). Bu nedenlerden ötürü deprem tehlike hesaplamalarında aletsel dönem verilerinin analizinden ortaya çıkan büyüklükler 0.5 birim artırılarak kullanılmıştır.

## DEPREM TEHLİKE HESABI

### Büyüklük-Frekans Bağıntısı

Deprem yinelenme ilişkilerini belirlemek için Gutenberg ve Richter (1944) tarafından önerilen ampirik büyüklük-frekans bağıntısı aşağıda verilmektedir. Bu doğrusal tekrarlamalı ilişkisi, küçük ve orta büyüklükteki depremlerin sıklığının tahmininde yeterli olmakla birlikte, büyük ( $M \geq 7$ ) depremlerin oluş sıklığını abartmaktadır (Yüçemen, 2008).

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

Burada N, verilen bir bölge ve periyot için, büyüklüğü M'ye eşit veya daha büyük olan depremlerin sayısını, *a* ve *b* ise regresyon katsayılarını göstermektedir. "*a*" parametresi gözlem dönemine ve inceleme alanı genişliğine, "*b*" parametresi ise deprem oluşumunun fiziği ile tektoniğine bağlı olarak değerler almaktadır. Aynı zamanda "*a*" parametresi sismik aktivite düzeyini, "*b*" parametresi ise eğrinin eğimini ifade etmektedir.

Diğer büyüklük ölçeklerine göre ( $M_b$ ,  $M_d$ ,  $M_L$  ve  $M_s$ ) daha güvenilir olması bakımından ve depremleri tek bir büyüklük birimi ile ifade etme amacıyla, bu çalışmada moment büyüklüğünün ( $M_w$ ) kullanılmasına karar verilmiş ve Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi veri tabanındaki  $M_w$  büyüklükleri kullanılmıştır. Antalya için büyüklük-frekans ilişkisi büyüklük aralığı  $\Delta M = 0.1$  alınarak en küçük kareler yöntemiyle incelenmiştir. Bölgede 1900 - 2010 yılları arasında meydana gelen depremlere ait büyüklüklerin oluş sıklıklarının geçmişe dayalı kuralını ortaya koyan bu ilişki, sismotektonik kaynak bölgeleri için çalışılmış ve her bir sismotektonik bölge için ilişkiler Şekil 7'deki grafiklerde, "*a*" ve "*b*" parametreleri ise Çizelge 3'de verilmiştir.

### Deprem Olasılığı Tahminleri

Herhangi bir M veya daha fazla büyüklüğe sahip bir depremin; herhangi bir yıl içinde meydana gelebilme olasılığına, o büyüklüğe ait 'Yıllık Risk' denir. Lomnitz (1966) deprem olasılığı hesaplarında Poisson Modeli'ni

kullanmıştır. Bu modele göre belirli bir T periyodunda büyüklüğü verilen bir M değerinden daha büyük bir ya da daha fazla depremin meydana gelme olasılığı eşitlik 2'deki gibi hesaplanır:

$$R(M) = 1 - e^{-n(M)T} \quad (2)$$

Burada; R(M) : Yıllık Risk

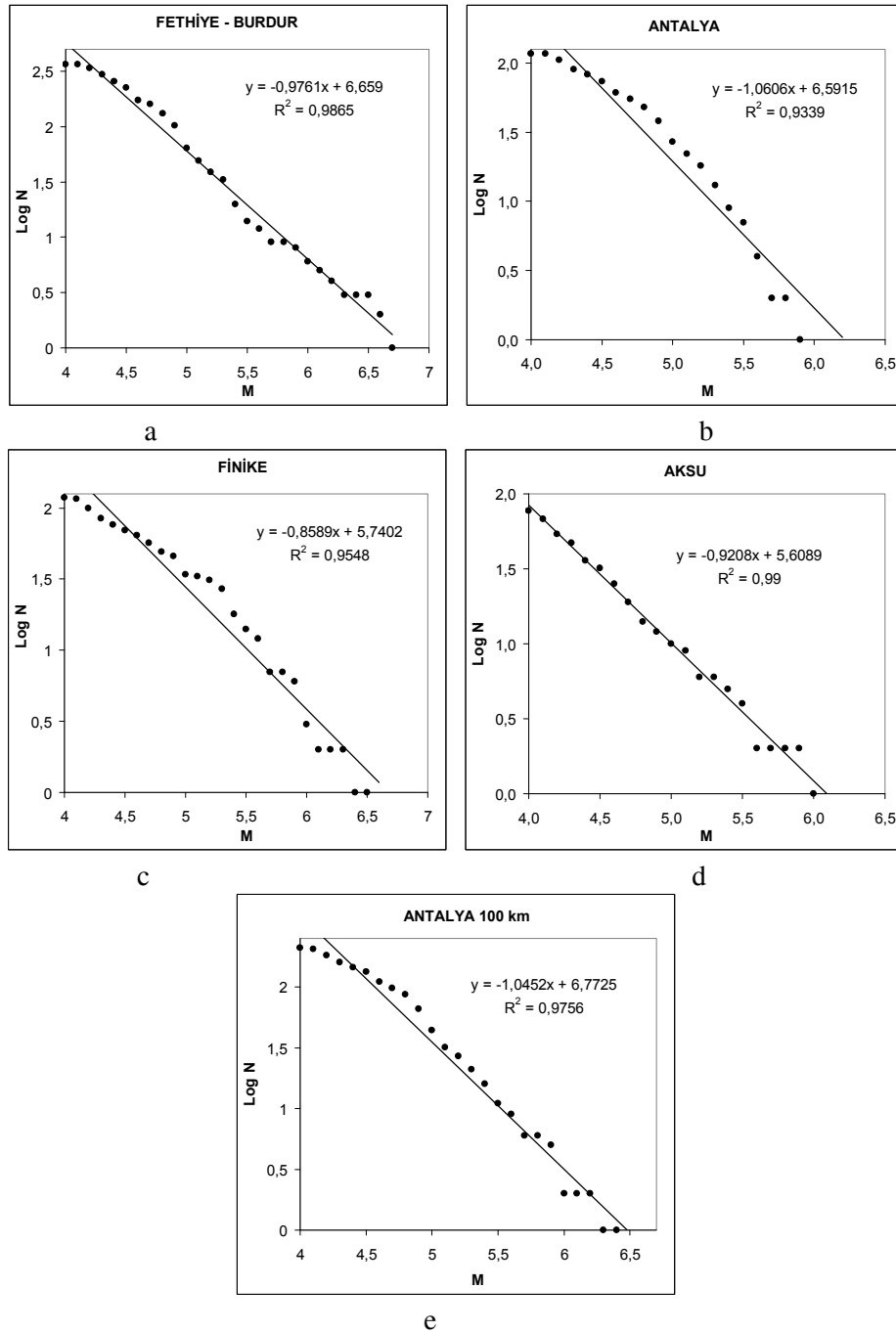
n(M) : Yılda deprem olma sayısı

T : Gelecekte göz önüne alınacak

periyot

Antalya ve çevresi için büyüklük-frekans ilişkisinden elde edilen a-b sismotektonik parametreleri kullanılarak bölgede oluşan  $M_w > 4$  büyüklüğündeki depremler göz önüne alınarak, bölgede 1900 – 2010 yılları arasında oluşan depremlerin geri dönüş periyotları ve 110 yıllık bir gözlem aralığı için verilen herhangi bir M büyüklüğündeki bir depremin T yıl içinde oluşma riski hesaplanmıştır. Depremlerin büyüklük değerleriyle geri dönüş periyotları arasındaki ilişki Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Elde edilen verilere göre Antalya'yı merkez kabul eden 100 km yarıçaplı dairesel alan içinde 4 ve daha küçük bir depremin 1 yıl içinde meydana gelme olasılığı % 100'dür. 5 büyüklüğünde bir depremin 10 yıl içinde meydana gelme olasılığı %71'dir. En az 6.5 büyüklüğündeki bir depremin 30 yıl içinde %9, 50 yıl içinde ise %15 olasılıkla meydana gelebileceği görülmektedir. Tüm sismotektonik bölgeler için olasılık hesap sonuçları Çizelge 4'te sunulmaktadır.



Şekil 7. Deprem büyüklüğü-frekans ilişkisi: a) Fethiye-Burdur Zonu, b) Antalya zonu, c) Finike zonu, d) Aksu Zonu, e) Antalya 100 km.

Figure 7. Earthquake magnitude – frequency relationship: a) Fethiye-Burdur Zone, b) Antalya zone, c) Finike zone, d) Aksu Zone, e) Antalya 100 km.

Dipova ve Cangir

Çizelge 3. Antalya ve civarındaki sismotektonik bölgelerin  $a$  ve  $b$  parametreleri.Table 3.  $a$  and  $b$  parameters of the seismotectonic zones around Antalya.

SİSMOTEKTONİK BÖLGE	$a$	$b$	$M_w(\min) - M_w(\max)$
Fethiye-Burdur	6.65	0.98	4.0-6.7
Antalya	6.59	1.06	4.0-5.9
Finike	5.74	0.86	4.0-6.5
Aksu	5.61	0.92	4.0-6.0
Antalya 100 km	6.77	1.05	4.0-6.4

Çizelge 4. Antalya çevresindeki sismotektonik bölgeler için depremlerin büyüklükleri, aşılma olasılıkları ve geri dönüş periyotları arasındaki ilişki.

Table 4. Relationships among earthquake magnitude, probability of exceedance and return periods for seismotectonic zones around Antalya.

Fethiye - Burdur STB											
M	Zaman (Yıl)										Tekarlanma periyodu (Yıl)
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
4.00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0.46
4.50	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	1.43
5.00	90%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	4.41
5.50	52%	77%	89%	95%	97%	99%	99%	100%	100%	100%	13.64
6.00	21%	38%	51%	61%	69%	76%	81%	85%	88%	91%	42.15
6.50	7%	14%	21%	26%	32%	37%	42%	46%	50%	54%	130.27
7.00	2%	5%	7%	9%	12%	14%	16%	18%	20%	22%	402.56
7.20	2%	3%	5%	6%	8%	9%	10%	12%	13%	15%	632.17
Finike STB											
M	Zaman (Yıl)										Tekarlanma periyodu (Yıl)
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
4.00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	1.09
4.50	97%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	2.94
5.00	72%	92%	98%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	7.91
5.50	37%	61%	76%	85%	90%	94%	96%	98%	99%	99%	21.29
6.00	16%	29%	41%	50%	58%	65%	71%	75%	79%	83%	57.29
6.50	6%	12%	18%	23%	28%	32%	36%	40%	44%	48%	154.21
7.00	2%	5%	7%	9%	11%	13%	16%	18%	19%	21%	415.06

Çizelge 4. (devamı)

Table 4. (cont'd.)

Antalya STB												
M	Zaman (Yıl)										Tekarlanma periyodu (Yıl)	
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100		
4.00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	1.20
4.50	91%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	4.06
5.00	52%	77%	89%	95%	97%	99%	99%	100%	100%	100%	100%	13.77
5.50	19%	35%	47%	58%	66%	72%	78%	82%	85%	88%	88%	46.66
6.00	6%	12%	17%	22%	27%	32%	36%	40%	43%	47%	47%	158.09
6.40	2%	5%	7%	9%	11%	13%	15%	17%	19%	21%	21%	419.68
Aksu STB												
M	Zaman (Yıl)										Tekarlanma periyodu (Yıl)	
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100		
4.00	97%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	2.74
4.50	72%	92%	98%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	7.90
5.00	36%	58%	73%	83%	89%	93%	95%	97%	98%	99%	99%	22.77
5.50	14%	26%	37%	46%	53%	60%	66%	70%	75%	78%	78%	65.67
6.00	5%	10%	15%	19%	23%	27%	31%	34%	38%	41%	41%	189.41
6.50	2%	4%	5%	7%	9%	10%	12%	14%	15%	17%	17%	546.26
Antalya 100 km												
M	Zaman (Yıl)										Tekarlanma periyodu (Yıl)	
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100		
4.00	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0.72
4.50	98%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	2.40
5.00	71%	92%	98%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	8.03
5.50	31%	52%	67%	77%	84%	89%	93%	95%	96%	98%	98%	26.90
6.00	11%	20%	28%	36%	43%	49%	54%	59%	63%	67%	67%	90.12
6.50	3%	6%	9%	12%	15%	18%	21%	23%	26%	28%	28%	301.85
6.90	1%	2%	4%	5%	6%	7%	8%	10%	11%	12%	12%	793.96

Çizelge 4'te verilen hesaplar 50 yılda %10 aşılma olasılığı ve 475 yıllık tekerrür süresi için tekrarlandığında Antalya çevresindeki kaynak bölgelerinde beklenecek en büyük deprem büyüklükleri sırasıyla Fethiye-Burdur S.T.B.

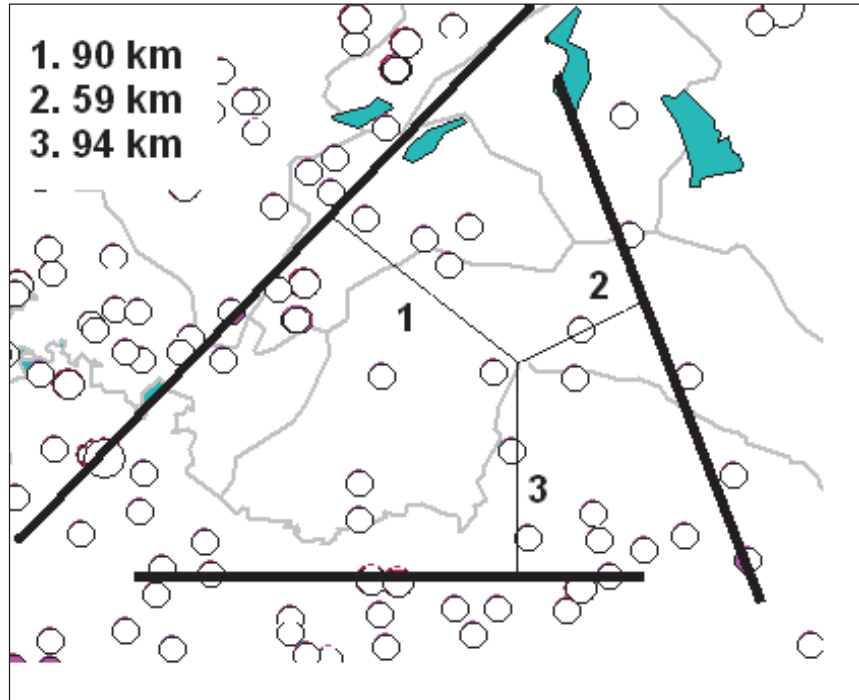
için  $M = 7.2$ , Finike STB için  $M = 7.0$ , Antalya STB için  $M = 6.5$  ve Aksu STB için  $M = 6.4$  olarak tahmin edilmiştir.

### Deprem İvmesi ve Azalım İlişkileri

Deprem ivmesi deprem hasarlarını etkileyen en önemli parametrelerden birisidir. Deprem dalgaları yayılım yönlerinde kat ettikleri ortamların yapısal, jeolojik ve fiziksel özelliklerinden de etkilenirler ve bu sırada başlangıçta ortaya çıkan ivme de değişikliğe uğrar. Deprem ivmesi, azalım ilişkilerinde, maksimum yer ivmesi, büyüklük (M), uzaklık (R) ve yerel zemin koşullarına bağlı eşitliklerle verilmektedir. Azalım ilişkilerinde kullanılan uzaklık parametresi (R), odak noktasına, merkez üstüne, fay yüzeyine ve fay uzantısına olan uzaklık olarak alınmaktadır.

Bu çalışmada azalım ilişkisi hesaplamalarında Ulusay vd. (2004) ve Kalkan ve Gülkan (2004)'e ait eşitlikler kullanılmıştır.

Bu azalım ilişkileri, Türkiye deprem verileri esas alınarak geliştirildiği için tercih edilmiştir. Komşu sismotektonik bölgelerdeki en büyük deprem büyüklükleri deprem kaynağına olan en kısa mesafe kullanılarak Antalya merkezine taşınmıştır (Şekil 8). Deprem derinlikleri alınırken bugüne kadar meydana gelmiş depremler içerisinde yüzeye en yakın deprem dikkate alınmıştır. Antalya şehir merkezinin içinde bulunduğu bölgedeki büyük depremler de nokta kaynak kabul edilerek Antalya merkezine taşınmıştır (Çizelge 5). Elde edilen azaltılmış ivmeler kaya zemin için olup, elde edilen bu ivme değerinin yumuşak zeminler için büyütme hesabı yapılarak yüzeye taşınması gerekecektir.



Şekil 8. Yerleşim alanının çizgisel deprem kaynaklarına uzaklıkları.

Figure 8. Distances of line earthquake sources to the metropolitan area.



Çizelge 5. Antalya yöresinde kaydedilen büyük depremlerin Antalya merkezinde oluşturacağı tahmini en büyük yer ivmesi (PGA) değerleri; a) Nokta kaynak, b) Çizgisel kaynak.

Table 5. Estimated peak ground acceleration (PGA) values from the great earthquakes around Antalya; a) Point source, b) Line source.

a)

Tarih	Derinlik (km)	Büyüklik ( $M_w$ )	Uzaklık (km)	R (km)	PGA (Ulusay vd. 2004)	PGA (Kalkan ve Gülkan 2004)
12.05.1971	15	5.8	84	85	0.0233 g	0.025 g
11.09.1930	80	5.9	72	108	0.0154 g	0.031 g
30.04.1975	61	5.9	77	98	0.0189 g	0.029 g
30.04.1911	180	6	116	214	0.0016 g	0.021 g
28.05.1979	111	6	104	152	0.0063 g	0.023 g
01.03.1926	5	6	101	101	0.0191 g	0.024 g
05.06.1927	0	6.1	105	105	0.0189 g	0.025 g
01.10.1995	5	6.1	147	147	0.0075 g	0.018 g
23.05.1961	70	6.2	195	207	0.0022 g	0.015 g
18.03.1926	10	6.5	112	112	0.0214 g	0.028 g
24.04.1957	80	6.5	187	203	0.0030 g	0.018 g
03.10.1914	14	6.6	136	137	0.0136 g	0.025 g
25.04.1957	80	6.7	187	203	0.0034 g	0.020 g
26.03.1965	11	5.2	26	28	0.0523 g	0.046 g
11.03.1991	113	5.4	27	116	0.0089 g	0.052 g
02.02.1951	20	5.4	11	23	0.0681 g	0.103 g

b)

STB	Büyüklik ( $M_w$ )	R (km)	PGA (Ulusay vd. 2004)	PGA (Kalkan ve Gülkan 2004)
Fethiye-Burdur	7.2	90	0.0581 g	0.045 g
Aksu	6.4	54	0.0767 g	0.054 g
Finike	7.0	94	0.0461 g	0.041 g

Çizelge 5'te sunulan sonuçlara göre Antalya şehir merkezinde ana kayada hissedilecek en büyük yatay yer ivmesinin 0.1 g civarında olacağı anlaşılmaktadır. Ulusay vd. (2004)'ün Türkiye geneli için üretmiş oldukları eş ivme

haritasında ve Yıldırım (2008) tarafından topoğrafik faktörleri de hesaba katarak hazırlanan eş ivme haritasında da Antalya merkez için 0.1g civarında en büyük yer ivmesi öngörülmektedir. Deniz ve Yüçemen (2005)

çalışmasında, Antalya merkez için 0.24g gibi yüksek bir ivme verilmektedir. Ancak, bu değer yüksek oluşunun 475 yıllık tekerrür süresi için ve farklı bir sismotektonik bölgelemeye dayalı olarak hesaplanmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

## TARTIŞMA

Çizelge 5'te sunulan değerler ana kaya için olup yerel zemin koşulları hesaba katılmamıştır. Deprem hasarları yerel zemin koşullarından da etkilenmektedir. Bu etkiler genel olarak büyütme, sıvılaşma, taşıma gücü kaybı ve aşırı yer değiştirmeler nedeni ile oluşabilecek olumsuzluklardır. Bu nedenle imar alanlarında temel zeminini oluşturan jeolojik birimlerin olası bir deprem sırasında göstereceği davranışın da incelenmesi gerekmektedir.

Oluşan bir depremden sonra deprem dalgaları odaktan yayılırken, yol üzerindeki sert birimlerden göreceli olarak daha yumuşak birimlere geçen dalgaların genlikleri büyür. Dolayısı ile ivme de büyür. Bir önceki bölümde elde edilen taşınmış ivme değerlerinden, Antalya

imar alanı içindeki kaya olmayan zeminler için büyütme hesabı yapılarak nihai ivme değerlerinin elde edilmesi gerekecektir. Bu işlemler için tüm imar alanını temsil edecek düzeyde zemin özellikleri bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu aşamada, iki ayrı nokta için örnek hesaplar yapılarak konu tartışılmaya çalışılacaktır. Antalya'nın batı kesiminde bulunan Konyaaltı yumuşak kili doğu kesiminde bulunan Lara gevşek kumunda birer temsili nokta seçilerek arazi SPT-N değerlerinden görgül yolla kayma dalgası hızları belirlenmiş ve bu değerler görgül büyütme hesaplarında kullanılmıştır. Çizelge 6'da görüleceği gibi büyütme sonucu zemin yüzeyinde oluşan ivme önemli oranda artmaktadır. Hesaplanan yöntemlere göre farklılıklar olmasına rağmen büyütme sonrası ivmenin 0.3g değerlerine kadar çıkabileceği anlaşılmaktadır. Bu sonuç Antalya'nın mevcut deprem bölgeleri haritasında 2. bölgede bulunması ile uyumludur. Tüm araziye temsil edecek zemin verileri elde edildiğinde daha ayrıntılı bir şekilde analiz edilerek, zemin ivme ve zemin büyütme haritaları yapılacaktır.

Çizelge 6. Örnek olarak alınan 2 nokta için hesaplanan kayma dalgası hızına bağlı zemin büyütmesi (A) ilişkileri.

Table 6. Ground amplification (A) relationships based on shear wave velocity calculated for 2 sample locations.

Yöntem	Konyaaltı Yumuşak kili ( $V_s = 192$ m/s)		Lara Gevşek Kumu ( $V_s = 158$ m/s)	
	A	PGA (g)	A	PGA (g)
Midorikawa (1987) $A = 68 * V_s^{-0.6}$	2.9	0.29	3.23	0.32
Joyner and Fumal (1984) $A = 23 * V_s^{-0.45}$	2.16	0.22	2.34	0.23
Borcherdt vd. (1991) $A = 600/V_s$	3.13	0.31	3.75	0.38

Dikkate alınması gereken diğer bir yerel zemin koşulu etkisi ise sıvılaşmadır. Özellikle, kil bulunmayan kum ve silt ve bazen çakıl tabakaları sıvılaşma potansiyeline sahiptirler. Antalya yerleşim alanının batı kesiminde bulunan Lara-Yamansaz bölgesi, kıyı kumulları ve bunun gerisindeki suya doygun kum, silt ve turbadan oluşmaktadır. Bölge Aksu fay zonuna ortalama 20 km uzaklıktadır. Bu bağlamda bölge zeminlerinin sıvılaşma potansiyelinin araştırılması gerekmektedir.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1) Antalya il merkezinin depremselliğinin incelenmesi amacıyla Antalya çevresinde sismotektonik bölgeler tanımlanmış ve bu bölgeler içinde 1900 - 2010 yılları arasında gerçekleşen depremler dikkate alınarak, istatistiksel yöntemlerle tehlike analizi gerçekleştirilmiştir. Antalya il merkezi "Isparta Açısı"nın iç kesiminde yer almakta ve bu tektonik yapının bileşenleri olan fayların deprem etkinliklerinden etkilenmektedir. Antalya çevresinde bulunan deprem üreten fay kaynakları, (1) Fethiye-Burdur fay zonu, (2) Helenik-Kıbrıs Fayı'nın Finike açıklarında uzanan bölümü, (3) Kıbrıs Yayı'nın devamı kabul edilen Kırkkavak Fayı ve Aksu Fayı boyunca uzanan fay zonu, (4) Kemer - Isparta ve Kemer-Korkuteli uzanımlı deprem aktivitelerinin birleşiminden oluşan Antalya zonu'dur.

2) Antalya il merkezi 2. derece deprem bölgesi içindedir. İl geneli düşünüldüğünde sismik etkinliğin yoğun olduğu batı kesimler 1. ve 2., sismik etkinliğin az olduğu doğu kesimler ise 3. ve 4. derece deprem bölgeleri içerisinde yer almaktadır. Büyüklüğü 6'dan büyük olan deprem sayısı Antalya merkezden 100 km yarıçaplı bir

dairesel alan için 2 adettir. En sık meydana gelen depremlerin  $3 < M < 3.9$  aralığında yoğunlaştığı görülmektedir.

3) Antalya çevresindeki sismotektonik bölgeler için "a" parametresi 5.61 – 6.77 arasında, "b" parametresi ise 0.86 – 1.06 arasında değişmektedir.

4) Antalya'yı merkez kabul eden 100 km yarıçaplı dairesel alan içinde 4 ve daha küçük bir depremin 1 yıl içinde meydana gelme olasılığı %100'dür. 5 büyüklüğünde bir depremin 10 yıl içinde meydana gelme olasılığı %71'dir. En az 6.5 büyüklüğündeki bir depremin 50 yıl içinde %15 olasılıkla meydana gelebileceği tahmin edilmiştir.

5) Antalya'yı etkileyebilecek depremlerin büyüklükleri ve kaynaktan uzaklıklar dikkate alınarak azalım ilişkileri uygulandığında, Antalya ilinde ana kayada hissedilecek en büyük yatay deprem ivmesi 0.1g civarında beklenmektedir. Bu değer, iki ayrı zayıf zemin profili için örnek olarak ampirik yöntemlerle büyütme hesabına tabi tutulduğunda 0.3g değerine kadar büyüdüğü görülmüştür. Antalya zayıf zeminleri içinde, sıvılaşma potansiyeline sahip olabilecek zemin türleri de bulunmaktadır.

6) Bu çalışmadan elde edilen bilgiler ışığında ve Antalya imar alanında tüm araziye temsil edecek düzeyde zemin verileri elde edildiğinde, zemin büyütme ve sıvılaşma potansiyeli haritaları hazırlanmalıdır. Antalya'da mevcut yapıların depreme karşı dayanıklılıklarının incelenmesine dönük bir çalışma başlatılmadan önce, zeminlerin depremsellik davranışları ile ilgili tüm bilgilerin bir mikro-bölgelendirme çalışması halinde tamamlanmış olması gerekmektedir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar taslağı inceleyip değerli önerilerde bulunan Prof. Dr. Reşat Ulusay'a (Hacettepe Üniversitesi) ve tartışmaları ile katkılarını esirgemeyen Doç. Dr. Nihat S. Işık'a (Gazi Üniversitesi) teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- Akay, E., Uysal S., Poisson, A., Cravatte, J., Muller, C., 1985. Antalya neojen havzasının stratigrafisi. TJK Bülteni, 28, 105-119.
- Aksu, A. E., Hall, J., Yalıtırak, C., 2009. Miocene-recent evolution of Anaximander Mountains and Finike Basin at the junction of Hellenic and Cyprus Arcs, Eastern Mediterranean. *Marine Geology*, 258 (1-4), 24-47.
- Ambraseys, N.N., Finkel, C.F., 1995. The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas, a Historical Review. Eren Yayıncılık, İstanbul, 1500-1800.
- Blumenthal, M.M., 1963. Le systeme structural du Taurus sud Anatolies. *Bulletin De La Societe Geologique De France*, In: Livre a Memoire de Professor P. Fallot. Mem. Soc. Geol. Fr. 1, 2, 611-662.
- Borcherdt, R.D., Wentworth, C.M., Janssen, A., Fumal, T., Gibbs, J., 1991. Methodology for predictive GIS mapping of special study zones for strong ground shaking in the San Francisco Bay region. *Proc. 4th International Conference On Seismic Zonation*, 3, 545-552.
- Cornell, C. A., 1968. Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58, 1583-1606.
- Demirtaş, R., Yılmaz, R., 1996. Türkiye'nin Sismotektoniği. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Yayınları, Ankara, 915 s.
- Deniz, A., Yüçemen, M.S., 2005. Antalya yöresi için deprem tehlikesinin stokastik yöntemler ile tahmini. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, 22-25 Eylül 2005, Antalya
- Duggan, P.M.T., 2011. Antalya'nın Gizli Tarihi, 2300 Yıl İçerisinde Bölgede Yaşanan Depremlerin ve Vebaların Kronolojisi. Odin Yayıncılık, İstanbul.
- Dumont, J.F., Kerey, E., 1975. Kırkkavak fayı: Batı Toroslar ile Köprüçay baseni sınırında kuzey-güney doğrultu atımlı fay. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 18 (1), 59-62.
- Dumont, J. F., Uysal, Ş., Şimşek, S., Karamanderesi, H., Letouzey, J., 1979. Güney batı Anadolu'daki grabenlerin oluşumu. *MTA Enstitüsü Dergisi*, 92, 7-17.
- Erdik, M., Biro, Y., Onur, T., Sesetyan, K., Birgören, G., 1999. Assessment of earthquake hazard in Turkey and neighboring regions - GSHAP, *Annali di Geofisica*, 42, 6.
- Garcia-Mayordomo, J., Faccioli, E., Paolucci, R., 2004. Comparative study of the seismic hazard assessments in european national seismic codes. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2, 51-73.
- Glover, C., Robertson, A.H.F., 1998. Neogen intersection of the Aegean and Cyprus arcs: extensional and strike-slip faulting in the Isparta Angle, SW Turkey. *Tectonophysics* 298, 103-132.
- Gutenberg, B., Richter, C.F., 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34, 185-188.
- IOC International Oceanographic Commission, 1981. International bathymetric chart of the Mediterranean (1:1.000.000 scale). Head Department of Navigation and Oceanography, Leningrad, USSR.
- Joyner, W.B., Fumal, T.E., 1984. Use of measured shearwave velocity for predicting geologic and

- site effects on strong ground motion. Proceedings of 8th World Conference on Earthquake Engineering, 2, 777-783.
- Kalkan, E., Gülkan, P., 2004. Site-dependent spectra derived from ground motion records in Turkey, Earthquake Spectra, Volume 20, Number 4, November 2004.
- Kayabalı, K., 1995. Sismik tehlike analizi: Teori ve uygulama, Jeoloji Mühendisliği, 46, 28-43.
- Koçyiğit, A., 1984. Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 27, 1-16.
- Koçyiğit, A., Akyol, E., Bozkurt, B., Beyhan, A., 1997. Antalya Körfezi karasal çöküntüsünün neotektonik özellikleri, depremselliği ve daha önceki denizaltı çalışmaları ile karşılaştırılması. Tübitak Proje No: YDABÇAG-437/G
- Lomnitz, C., 1966. Statistical prediction of earthquakes. Reviews of Geophysics, 4, 377-393.
- Midorikawa, S., 1987. Prediction of isoseismal map in the Kanto plain due to hypothetical earthquake. Journal of Structural Engineering, 33 (B), 43-48.
- Özhan, G., 2004. Antalya Körfezi jeolojik ve tektonik özellikleri. Antalya'nın Jeolojisi ve Doğal Afet Konferansları, 2-3 Aralık 2004, Antalya.
- Poisson, A., Yağmurlu, F., Bozcu, M., Şentürk, M., 2003. New insights on the tectonic setting and evolution around the apex of the Isparta Angle (SW Turkey). Geol. J. 38: 257-282.
- Reiter, L., 1990. Earthquake hazard analysis. Columbia University Press, New York, 245 p.
- Schwartz, D. P., Coppersmith, K. J., 1984. Fault behavior and characteristic earthquakes: Examples from Wasatch and San Andreas fault zones. Journal of Geophysical Research, 89, 5681-5698.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A., 1987. Türkiye'nin aktif fayları ve depremsellikleri. MTA Rapor no: 8174, 394 s (yayınlanmamış).
- Şenel, M., 1997. 1:100.000 Türkiye Jeoloji Haritası, Antalya L11 Paftası. MTA Yayınları, Ankara.
- Tan, O., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A., 2008. The earthquake catalogues for Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 17, 405-418.
- Ten Veen, J.H., Woodside, J., Zitter, T.A.C., Dumont, J., Mascle, J., Volkonskaia, A., 2004. Neotectonic evolution of the Anaximander Mountains at the junction of the Hellenic and Cyprus arcs. Tectonophysics. 391 (1-4), 35-65.
- Ulusay, R., Tuncay., E., Sönmez, H., Gökçeoğlu, C., 2004. An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and isoacceleration map of Turkey. Engineering Geology, 74, 265-291
- Yağmurlu, F., Savaşın, Y., Ergun, M., 1997. Relation of alkaline volcanism and active tectonism within the evolution of Isparta Angle, SW-Turkey. The Journal of Geology, 105, 717-728.
- Yağmurlu, F., Şentürk, M., 2005. Güneybatı Anadolu'nun güncel tektonik yapısı. Türkiye Kuvaterner Sempozyumu V, İTÜ Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 02-03 Haziran 2005, 55-61, İstanbul.
- Yeats, R.S., Sieh, K., Allen, C.R., 1997. The geology of earthquakes. Oxford University Press.
- Yıldırım, Ç., 2008. Türkiye için topoğrafik etkiyi de içeren eş ivme haritasının geliştirilmesi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Yüksek lisans tezi.
- Yücemen, M. S., 2008. Deprem tehlikesinin tahmininde olasılıksal yöntemler (14. Bölüm), binalar için deprem mühendisliği temel ilkeleri. (Editörler: Erdem Canbay, Uğur Ersoy, Güney

Dipova ve Cangir

Özcebe, Haluk Sucuoğlu, S. Tanvir Wasti)  
Bizim Büro Basımevi, Ankara.

Zitter, T., Woodside, J., Mascle, J., 2003. The Anaximander Mountains: a clue to the tectonics of southwest Anatolia. *Geological Journal* 38, 375–394