

## Ankara için Deprem Olasılığı Tahminleri

### *Probability of Earthquake Occurrences to Ankara*

**BÜLENT ÖZMEN\***

Gazi Üniversitesi, Deprem Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Merkezi, 06570, Maltepe-Ankara

Geliş (received) : 06 Eylül (September) 2012

Kabul (accepted) : 27 Mart March 2013

#### **ÖZ**

Ankara ili genel olarak depremsellik ve deprem tehlikesi açısından güvenli bir yer olarak bilinir. Fakat son yıllarda meydana gelmiş olan depremler bunun böyle olmayabileceğini göstermeye başlamıştır. Bu nedenle güncel verilerin ışığı altında bölgenin depremselliğinin, deprem tehlikesinin yeniden gözden geçirilmesi gerekmektedir. Çalışmanın amacı, Ankara kent merkezini 50, 100 ve 150 km çevreleyecek şekilde çizilen ve sismotektonik bölge olarak kabul edilen yerlerde meydana gelmiş  $M \geq 4.0$  olan deprem verilerinden yararlanarak her bölge için Gutenberg – Richter büyüklük – sıklık bağıntısındaki a ve b parametrelerini bulmak, bu parametrelerden yararlanarak ve Poisson yöntemini kullanarak farklı büyüklükteki depremlerin meydana gelme olasılıklarını ve dönüş periyotlarını tahmin ederek Ankara'nın deprem tehlikesini belirleme çalışmalarına katkı sağlamaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Ankara, depremsellik, büyüklük-sıklık ilişkisi, Poisson yöntemi

#### **ABSTRACT**

Ankara is generally known to be a safe place in terms of seismicity and earthquake hazard. But the earthquakes that have occurred in recent years has begun to show us it may not be. Therefore, using new and updated data, seismicity of the region, the seismic hazard should be revised. The aim of this study is to determine the a and b parameters in a Gutenberg-Richter magnitude-frequency relationship using data from earthquakes of  $M_w \geq 4.0$  that have occurred in regions with 50, 100 and 150 km radius between 1900–2011; and based on these parameters and a Poisson Model, to predict the probability of occurrence of further earthquakes of different magnitudes and their return periods and to contribute to the determination of earthquake hazard studies.

**Keywords:** Ankara, seismicity, magnitude-frequency relation, Poisson method

## GİRİŞ

Ankara, İç Anadolu bölgesinde yer alır ve dört tarafı kuzeyden Kuzey Anadolu fay zonu, güneydoğudan Seyfe fay zonu (Koçyiğit, 2000), güneyden Tuz Gölü fay zonu (Şaroğlu vd., 1987), doğudan Ezinepazarı fayı (Şaroğlu vd., 1987) ve güneybatıdan Eskişehir fay zonu (Şaroğlu vd., 1987) tarafından çevrelenmiş durumdadır. Ankara kent merkezi adı geçen bu faylara 60 - 80 km uzaklıktadır. Ankara'nın Çamlıdere ve Kızılcahamam ilçeleri Kuzey Anadolu fay zonuna, Elmadağ ve Kalecik gibi ilçeleri Ezinepazarı fayına, Şereflikoçhisar, Evren, Bala ve Haymana gibi ilçeleri de Tuz Gölü fay zonuna çok yakın 20 - 30 km uzaklıktadır. Adı geçen bu faylar yedi ( $M \geq 7.0$ ) den büyük deprem üretme potansiyeline sahiptir ve Ankara için önemli bir tehdit kaynağıdır. Bu faylara ilave olarak, Ankara kent merkezi de dahil olmak üzere, Ankara il sınırları içinde bir çok aktif fay bulunmaktadır. Ancak uzunlukları kısa olan bu faylar yukarıda sayılan faylara göre daha küçük orta büyüklükte ( $5.0 < M < 6.0$ ) fakat hasara neden olabilecek şiddette deprem üretme potansiyeline sahiptir. Ankara kent merkezi Mülga Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından 1996 yılında yayımlanan, bakanlar kurulu kararı ile yürürlüğe giren ve halen geçerli bulunan resmi deprem bölgeleri haritasına göre IV. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Yani 50 yılda %90 ihtimalle aşılacak yer ivmesi 0.1 g dir. Ankara il sınırlarının ise %8'i I. Derece, % 21'i II. Derece, %32'si III. Derece ve %38'i IV. Derece deprem bölgesinde yer almaktadır (Şekil 1).

Ankara'nın deprem tehlikesine yönelik bugüne kadar yapılan çalışmaların önemlileri aşağıdaki gibidir:

Tabban (1976), 1938 ve 1944 yıllarındaki şehir yerleşimi ile, bugünkü yerleşimin çok farklı olduğunu, Ankara'nın alüvyon sahalara doğru genişlediğini ve bu nedenle civarında oluşabilecek bir depremden geçmişe göre çok daha fazla hasar görebileceğini belirtmiştir.

Ergünay (1978)'a göre Ankara, kent merkezini 50 km çevreleyen bir alan içerisinde oluşacak küçük depremlerin ( $M \leq 5.0$ ) ve 70 - 100 km lik uzaklıklar arasında oluşacak büyük depremlerin ( $M \geq 7.0$ ) etkisinde kalan bir kenttir.

Çetinkaya vd., (1993), Ankara için sismotektonik bölge olarak;  $39^{\circ} - 41^{\circ}$  Kuzey enlemleri ile  $31.5^{\circ} - 34.5^{\circ}$  Doğu boylamları arasında kalan yaklaşık  $220 \times 250 \text{ km}^2$  lik bir alanı kabul etmiş, bu bölgeye düşen depremlerden yararlanarak ve Gumbel (1958) tarafından önerilen Yıllık Uç Değerler Yöntemini kullanarak Ankara bölgesi için 99 yıl içinde meydana gelebilecek maksimum deprem büyüklüğünü 7.8 olarak tahmin etmiştir.

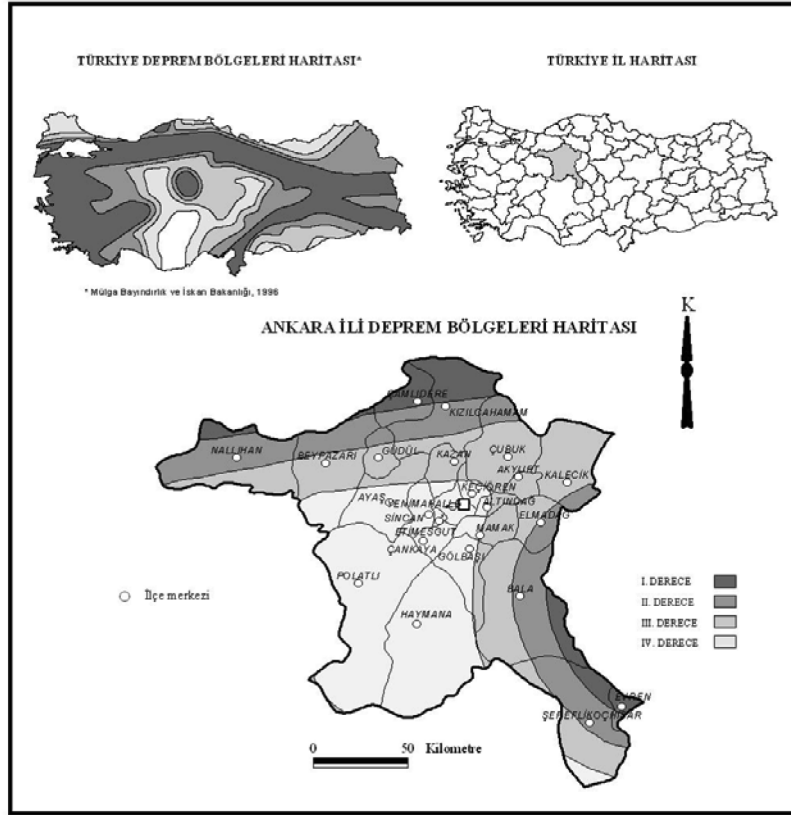
Pampal (2000), Ankara ve çevresinin tarihsel ve güncel deprem aktivitesi incelendiğinde bölgenin yüksek deprem tehlikesi altında olduğunu ve kent merkezinin jeolojik özellikleri bakımından da deprem hasarlarını artırıcı özelliklere sahip olduğunu vurgulamaktadır.

Koçyiğit (2000, 2008), Ankara ve bağlı yerleşim birimlerinin, Kuzey Anadolu fay sistemi gibi çok aktif ve plaka sınırı niteliğinde bir deprem kaynağı ile Çeltikçi, Ayaş, İnönü - Eskişehir, Tuzgölü, Seyfe, Salanda, Kesikköprü, Küredağ, Balaban ve Afşar fay zonları gibi aktif, yinelenme aralığı oldukça uzun fakat yıkıcı deprem üreten/üretme potansiyeli bulunan fay ve fay sistemlerinden dolayı deprem tehlikesine açık olduğu ve bu bağlamda, Ankara bölgesinin yeni deprem tehlike haritasının hazırlanması, ayrıntılı mikrobölgeleme çalışmalarının yapılması ve bunları baz alan deprem risk değerlendirmelerine geçilmesinin bir zorunluluk olduğunu belirtmiştir.

Kasapoğlu (2000) ise kenti etkileyebilecek deprem kaynak zonlarında meydana gelebilecek büyük bir depremde, 1938 ve 1944 yıllarında oluşan depremlerin neden olduğu hasarlardan çok daha farklı hasarlar olabileceğini vurgulamıştır.

Seyitoğlu vd., (2006), Ankara bölgesinin şimdiye kadar çok fazla hasar yapacak şekilde büyük depremlerin merkezi olmadığını, ancak bölgenin kuzeyinden geçen ve günümüzde aktif olan Kuzey Anadolu fayı ile güneyinde yer alan ve birbirini kesen genç fay zonları boyunca oluşan depremlerden önemli derecede etkilendiğini belirtmiştir.

Kalafat vd., (2008), Ankara ilinin gerek tarihsel, gerekse aletsel dönemde çok büyük bir sismik tehlike oluşturacak kaynaklara sahip olmadığını,



Şekil 1. Ankara'nın deprem bölgeleri haritası  
Figure 1. Earthquake zoning map of Ankara

fakat kentin çok hızlı ve denetimsiz büyümesi, yapıların kalitesinin deprem güvenli olmayışı, uygun yapı tarzının yer-zemin özelliklerini dikkate almadan yapılması ve yeni imara açılan alanlarda yerbilimleri kriterlerine dikkat edilmemesi nedeniyle kentin deprem riskinin yükseldiğini belirtmiştir.

Gökten ve Varol (2010), Ankara kenti ve dolayında çeşitli faylar bulunmakla birlikte bugüne kadar bunların üretebileceği depremin ne olacağı konusunda yapılan çalışmaların sınırlı olduğunu, kentin Orta Anadolu bölgesini çevreleyen tektonik unsurların etkisi altında olduğunu, bunların oluşturabileceği bir depremden de Ankara'nın kaçınılmaz bir şekilde etkileneceğini; bunun en belirgin örneğinin 12 Kasım 1999 depreminde görüldüğünü ve kentin özellikle batı kesiminde alüvyonlar üzerinde yer alan bazı yapılarda hasarlar meydana geldiğini belirtmiştir.

Yukarıdaki çalışmalara ilave olarak bu çalışmada, Ankara kent merkezini 50, 100 ve 150 km çevreleyecek şekilde çizilen ve sismotektonik bölge olarak kabul edilen yerlerde meydana gelmiş büyüklüğü  $M \geq 4.0$  olan deprem verilerinden yararlanarak her bölge için Gutenberg – Richter büyüklük – sıklık bağıntısındaki a ve b parametreleri bulunacak, bu parametrelerden yararlanarak ve Poisson yöntemi kullanılarak her sismotektonik bölge için değişik büyüklüklerdeki depremlerin meydana gelme olasılıkları ve bunların dönüş periyotları hesaplanacaktır.

Dünyanın değişik bölgelerinde depremlerin meydana gelme olasılıkları ve dönüş periyotlarını belirleyebilmek için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalara Türkiye'nin farklı bölgeleri için Sayıl ve Osmanşahin (2003); Kahraman vd., (2004); Sayıl ve Osmanşahin (2005); Bayrak vd., (2005); Çobanoğlu vd., (2006); Sayıl ve Osmanşahin (2008); Firuzan (2008); Kahraman

vd., (2008); Bayrak (2009); Sayıl (2009); Bayrak vd., (2009); Genç ve Yürür (2010), Çobanoğlu ve Alkaya (2011) ve Bayrak ve Bayrak (2011) tarafından yapılan çalışmalar ve diğer bölgeler içinde Manakou ve Tsapanos (2000); Lee ve Tsai (2005) ve Rafi (2005) tarafından yapılan çalışmalar örnek olarak verilebilir.

### **ANKARA ve YAKIN ÇEVRESİNİN DEPREM ETKİNLİĞİ ve AKTİF FAYLARI**

Ankara ve yakın civarının deprem etkinliği Ankara kent merkezini 150 km çevreleyecek şekilde çizilen bölge içine düşen ve 1900 - 2011 yılları arasında meydana gelmiş büyüklüğü  $M \geq 2.0$  olan deprem verilerinden yararlanarak belirlenmiştir (Şekil 2). Depremler, deprem verileri bölümünün de detayları verilen deprem kataloglarından alınmıştır. Şekil 2'deki aktif faylar ise Şaroğlu vd., (1992); Özsayın ve Dirik (2007); Koçyiğit (2008) ve Seyitoğlu (2007) dan derlenmiştir.

Depremlerin büyük bir çoğunluğunun Kuzey Anadolu fay zonu ve yakın çevresinde yer aldığı ve büyük depremlerin bu bölgede olduğu görülmektedir. Diğer bir yoğunlaşmada Ankara'nın GD' sında Tuzgölü ve Seyfe fay zonu civarındadır. Orta ve Bala civarındaki deprem kümelermeleri de 06.06.2000 tarihinde meydana gelen Orta - Çankırı ve 31.07.2005, 20.12.2007 ve 27.12.2007 tarihlerinde meydana gelen Bala depremleri nedeniyledir.

### **Deprem verileri**

Bu çalışmada Ergin vd., (1967); Ergin vd., (1971); Öcal (1968a, b); Alsan vd., (1975); Pınar ve Lahn (1952); Gencoğlu ve Tabban (1988) ve Gencoğlu vd., (1990), Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü ve Gazi Üniversitesi Deprem Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Merkezi tarafından hazırlanmış olan 11 ayrı katalogdan yararlanılmıştır. Birçok katalogun detaylı bir şekilde incelenmesi, deprem verilerinin karşılaştırılması, birbirlerindeki eksiklikleri giderecek şekilde revize edilmesi gibi çalışmalar yapılarak inceleme bölgesi için mümkün olabilecek en kapsamlı ve en doğru deprem veri tabanı elde edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışmada kataloglardaki büyüklük değerleri olduğu gibi alınmış, sadece şiddet değeri ( $I_0$ ) verilen depremlerin büyüklüğü ( $M$ ) ise  $M = 0.592 I_0 + 1.63$  bağıntısı (İpek vd., (1965)) kullanılarak hesaplanmıştır. Katalogda yeknesaklık sağlamak için farklı büyüklük ölçeğindeki ( $M_s$ ,  $M_d$ ,  $M_b$ ) depremler  $M_w = 0.6798M_s + 2.0402$ ;  $M_w = 1.2413M_b - 0.8994$ ;  $M_w = 0.9495M_d + 0.4181$  ve  $M_w = 0.7768M_L + 1.5921$  ilişkiler kullanılarak  $M_w$ 'ye dönüştürülmüştür (Ulusay vd., 2004).

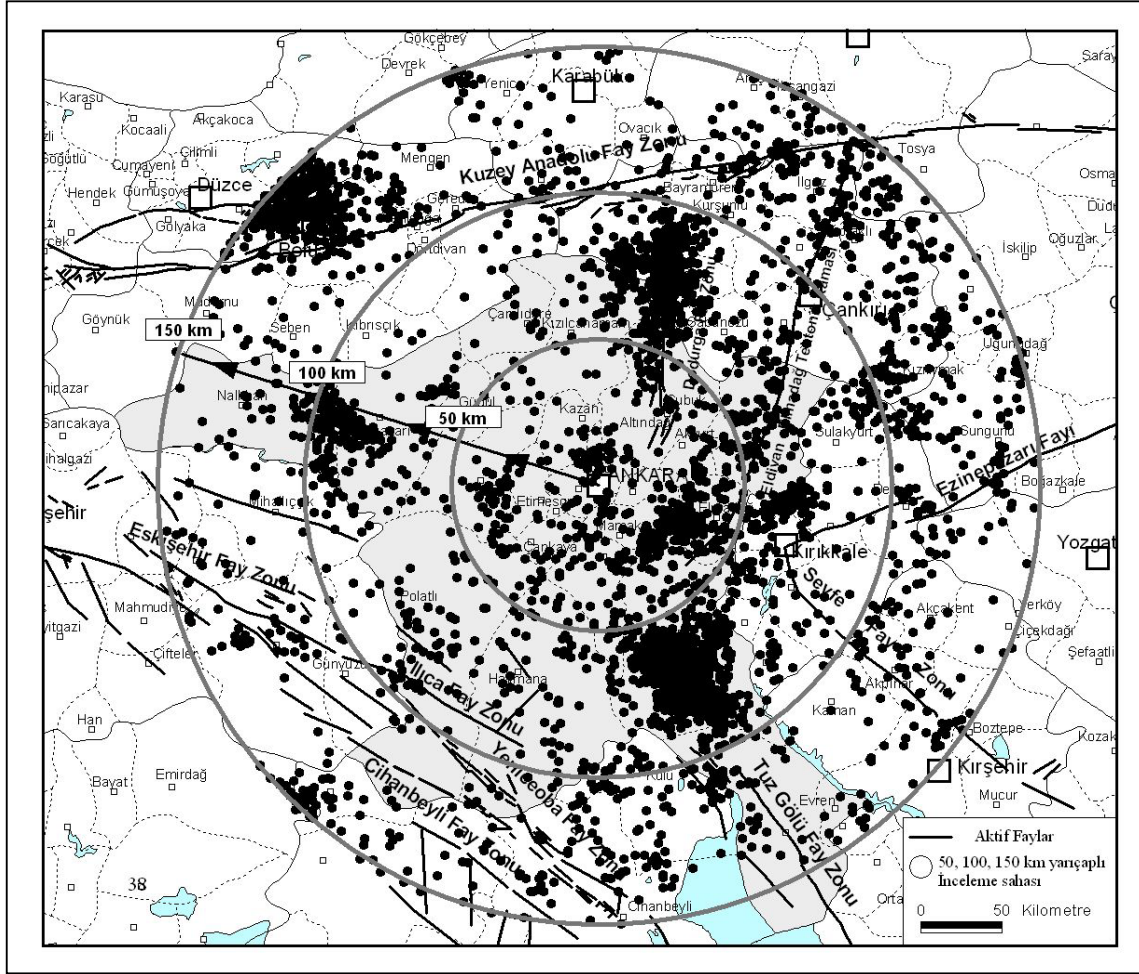
Poisson yönteminin bağımsızlık koşulunun sağlanması için öncü ve artçı depremlerin katalogdan ayıklanması gerekmektedir. 5.5 ve daha büyük depremlerin öncü ve artçı şoklarının olabileceği varsayılarak ve aktif fay haritalarından yararlanarak ana şoktan altı ay önce ve sonra fay doğrultusu boyunca meydana gelmiş depremler öncü ve/veya artçı şok kabul edilerek ayıklanmıştır.

### **Aktif Faylar**

İnceleme alanında Kuzey Anadolu, Eskişehir, Tuzgölü, Seyfe, Dodurga fay zonları, Ezinepazarı, Afşar ve Karakeçili fayları ve Eldivan Elmadağ tektonik kaması gibi aktif faylar yer almaktadır.

Kuzey Anadolu Fay Zonu: Yaklaşık 1700 km uzunlukta, 1-110 km genişlikte, kuzeyde Avrasya levhası ile güneyde Anadolu levhacığını ayıran sağ yanal doğrultu atımlı birkaç fay kuşağı, çok sayıda fay takımı ve tekil faylardan oluşur (Rojay ve Koçyiğit, 2009). Jeodezik veriler KAFS üzerinde yılda  $24 \pm 1$  mm sağ yanal harekete işaret eder (Erturaç ve Tüysüz, 2009). Türkiye'nin en önemli, en aktif diri faylarından biridir.

Eskişehir Fay Zonu: Şaroğlu vd., (1987 ve 1992), Eskişehir - Bursa arasında genel gidişi KB-GD olan ve birbirinden kopuk birçok fayı; doğrultularının birbirlerinin devamı olacak şekilde uyumluluk göstermeleri, Kuzey Anadolu fay zonu ve Ege grabenlerinin tektonik rejimi arasında bir ara zon oluşturmaları nedeniyle Eskişehir - Bursa fay zonu altında toplamış ve bunları İnönü - Dodurga fay zonu, Eskişehir fay zonu ve Kaymaz fayı olarak isimlendirerek alt bölümler halinde incelemiştir. Aynı yazarlar bu fayların diri olduğunu vurgulamış ve KB gidişli olan fay segmentlerini doğrultu atımlı, D-B ve BKB gidişli fayları da normal faylar olarak



Şekil 2. Bölgede meydana gelmiş depremlerin dağılımı  
Figure 2. Spatial distribution of earthquakes in the region

yorumlamışlardır. Özsayın ve Dirik (2007) tarafından bu fay zonu; tip lokalitesinin İnönü ilçesi olması, geniş makaslama zonunun özelliklerinin batıdan doğuya doğru değişmesi ve farklı birçok fay zonundan oluşması nedeniyle yeniden değerlendirilmiş ve İnönü – Eskişehir fay sistemi olarak isimlendirilmiştir. Aynı yazarlar bu sistemin Batı’da Uludağ’dan (Bursa) güneydoğu’da Sultanhanı’na (Konya) kadar yaklaşık KB-GD yönünde uzandığını ve bu sistemin Eskişehir, İliça, Yeniceoba, Cihanbeyli ve Sultanhanı fay zonlarından oluştuğunu belirtmişlerdir.

**Tuz Gölü Fay Zonu:** Tuz Gölü fay zonu Paşadağ ile Bor arasında uzanır ve genel gidişi KB - GD dur. Yaklaşık 220 km uzunluğunda, 5-25 km ge-

nişliğindedir ve Orta Anadolu’nun en önemli kıta içi aktif fay zonlarından birisidir.

**Eziñepazarı Fayı:** Niksar’ın 10 km güneyinde, Kuzey Anadolu Fayından ayrılarak GB’ya doğru uzanan Eziñepazarı, Amasya, Sungurlu yörelerinden geçen ve Delice güneyinde söñümlenen, yaklaşık 250 km uzunluğunda sağ yönlü doğrultu atımlı bir faydır (Şaroğlu vd., 1987).

**Seyfe Fay Zonu:** Yaklaşık 120 km uzunluğunda, KB - GD uzanımlı ve bir kaç km genişliğinde sağ yanal doğrultu atımlı bir fay zonedir, güneydoğuda Hasanlar beldesi ile kuzeybatıda Kırkkale arasında uzanır ve bir kaç yüz metre ile 20 km uzunluğunda, birbirine koşut uzanımlı faylardan oluşur (Koçyiğit, 2000).

Eldivan – Elmadağ Tektonik Kaması: Seyitoğlu vd., (2006 ve 2007)'na göre Eldivan – Elmadağ tektonik kaması Ankara ile Çankırı arasında KKD gidişli doğu kenarı bindirmeli, batı kenarı ise normal faylı, Kuzey Anadolu fayı ve onun bir kolu olan Kırıkkale – Erbaa fayı arasındaki KB-GD sıkışma sonucu ortaya çıkmış bir neoteknik yapıdır.

Dodurga Fayı: Emre vd., (2001), Orta ilçesinin 10 km. batısında yer alan fayın toplam uzunluğunun 22 km., genel doğrultusunun K10°D olduğunu, kuzeye doğru gidildikçe diri faylara özgü morfolojik bulguların arttığını ve Dodurga'nın yaklaşık 750 metre kuzeyindeki küçük bir sel kanalında ölçtükleri 12-15 metrelik sol yönlü ötelenmeye dayanarak fayın sol yönlü doğrultu atımlı bir fay olduğunu belirtmişlerdir.

Afşar ve Karakeçili Fayları: Kasapoğlu (2008) tarafından bu fayların genelde düşey hareketlerin egemen olduğu normal fay karakterinde olmakla birlikte hemen hepsinde, çok küçük de olsa doğrultu atımlı harekete neden olan bir yatay bileşenin de söz konusu olduğu ve bu fayların üretebileceği maksimum deprem büyüklüğünün  $M = 6.0$  olacağı belirtilmiştir. Bu fayların aktif olduğu Şaroğlu vd., (1987) tarafından da belirtilmiştir.

## YÖNTEM

Olasılık tahminlerinde en yaygın olarak Poisson yöntemi kullanılır. Bu yöntem deprem oluşumlarının hafızasız olduğunu ve bir kaynak bölgesi içinde depremlerin gerek konum ve gerekse zaman açısından birbirinden bağımsız olarak meydana geldiğini kabul eder.

Deprem oluşumunun Poisson yöntemine uygun olabilmesi için şu varsayımların geçerli olması gerekir (Gülkan ve Gürpınar (1977)): (1) Depremler zamanda bağımsızdır, yani bu yıl olacak bir deprem gelecek yıl olabilecek bir depremin oluşunu önceden etkilemez, (2) Depremler uzayda bağımsızdır, yani belirli bir kaynaktan oluşacak deprem başka bir kaynaktan meydana gelecek bir depremi etkilemez, (3) Aynı an ve aynı yerde iki ayrı depremin olma olasılığı sıfırdır.

İncelenilen bir bölgede, t zaman süresinde, mühendislik yapılarını etkileyebilecek büyüklükte

( $M > M_0$ ), n sayıda deprem olma olasılığı Poisson yöntemine göre şöyledir:

$$P_x(t) = \frac{e^{-vt} (vt)^x}{x!}$$

Burada;  $P_x(t)$  = t zaman süresinde x adet deprem olma olasılığı, x = olay sayısı, v = birim zaman süresinde (genellikle bir yıl) meydana gelen büyüklüğü  $M_0$ 'a eşit veya  $M_0$ 'dan büyük depremlerin ortalama sayısıdır.

Yüccemen ve Akkaya (1995), Kuzey Anadolu fay zonu için stokastik modellerden en yaygın kullanımı olan Poisson, Uç Değer ve Markov modellerini kullanarak elde ettikleri sonuçların karşılaştırmalı bir incelemesini yapmış ve Poisson yönteminin yeterli olacağı sonucuna varmıştır.

## Büyüklik – Sıklık ilişkisi

Deprem istatistiğinin temel bağıntısı olan ve Gutenberg-Richter tarafından geliştirilen deprem büyüklüğü M'yi, bir yıldaki tüm depremlerin adedi N'ye bağlayan  $\log N = a - bM$  (1) bağıntısı deprensellik ve deprem büyüklüklerinin olasılık dağılımlarını belirlemek için kullanılmaktadır (Gutenberg ve Richter (1956)). Bu bağıntıdaki a ve b parametreleri, her bölgenin birbirinden farklı tektonik özellikler göstermesi nedeniyle farklı değerler almaktadır. İncelenilen bölgenin büyüklüğüne, gözlem süresine ve gözlem süresindeki deprem etkinliğine bağlı olan a parametresi "*Ortalama Yıllık Sismik Aktivite İndeksi*", incelenilen bölgenin tektonik özelliklerine göre farklılık gösteren b parametresi ise "*Sismotektonik Parametre*" olarak tanımlanmaktadır (Tabban ve Gencoğlu (1975)). Yapılan incelemelerle büyük b değerinin zayıf bir gerilim düşmesini, küçük b değerinin ise büyük bir gerilim düşmesini gösterdiği saptanmıştır.

Büyüklik - Sıklık ilişkisi ve Poisson yönteminden yararlanarak farklı büyüklükteki depremlerin gelecekte belirli zaman aralıklarında meydana gelme olasılıkları, diğer bir deyişle deprem tehlikesinin belirlenmesine yönelik hesaplamalar, olasılık yöntemleriyle yapılabilmektedir.

Aşağıdaki bağıntılar yardımıyla verilen bir zamanda  $M_1$  değerinden büyük veya ona eşit

depremlerin yıllık ortalama oluş sayısı  $n(M \geq M_1)$  hesaplanabilir (Tuksal (1976); Alptekin (1978), Sayıl ve Osmanşahin (2008)). Yığınsal (kümülatif) frekans ile normal frekans arasındaki bağıntıdan  $a' = a - \text{Log} (b \text{Ln} 10)$  elde edilir. Gutenberg-Richter büyüklük-sıklık bağıntısı (1);  $N(M) = 10^{a-bM}$  şeklinde yazılabilir. Bunun inceleme zaman periyodu  $T_1$ 'e bölünmesi ile  $N(M)/T_1 = 10^{a-bM}/(T_1)$  elde edilir. Her iki tarafın logaritması alınarak;  $\text{Log}(N(M)/T_1) = a-bM - \text{Log} T_1$  ve  $n(M > M_1) = 10^{a-bM - \text{Log} T_1}$  bulunur. Son ifadeden,  $a_1' = a' - \text{Log} T_1$  ve  $n(M) = 10^{a_1' - bM}$  elde edilir.

Yıllık ortalama oluş sayıları  $n(M)$  ve Poisson yöntemi kullanılarak  $R(M) = 1 - e^{-n(M)T}$  eşitliğinden belirli yıllar için depremlerin meydana gelme olasılıkları ve  $Q = 1/n(M)$  eşitliğinden de dönüş periyotları hesaplanır (Gencoğlu, (1972)).

## BULGULAR

Büyüklik – Sıklık ilişkisi, Ankara kenti merkez olmak üzere çizilen 50, 100 ve 150 km yarıçaplı bölgeler içinde meydana gelmiş büyüklüğü  $M_w \geq 4.0$  olan ve öncü-artçı depremlerden ayrılarak hazırlanmış deprem katalogu kullanılarak bulunmuştur. Deprem büyüklükleri 0.5 birim aralık içeren sınıflara ayrılarak her bir aralığa karşılık gelen normal ve yığınsal frekanslar,  $\text{Log} N$  değerleri belirlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1 deki değerlerden yararlanarak ve en küçük kareler yöntemi kullanılarak  $M - \text{Log} N$  eğrilerinden her bölge için  $\text{Log} N = a - bM$  bağıntısındaki  $a$  ve  $b$  parametreleri bulunmuştur (Şekil 3).

Büyüklik – Sıklık ilişkisi 50, 100 ve 150 km lik bölgeler için sırasıyla  $\text{Log} N = 9.09 - 1.6902M$ ,  $\text{Log} N = 6.9386 - 1.0426M$  ve  $\text{Log} N = 6.2909 - 0.8322M$  olarak bulunmuştur. Küçük  $b$  katsayısı, bölgede sismik faaliyetin yüksek olduğunu, gerilimin sürekli olarak boşaldığını göstermektedir.

Ankara için yukarıda verilmiş olan bağıntılardan yararlanarak 50, 100 ve 150 km. yarıçaplı bölgeler için farklı büyüklükteki depremlerin değişik yıllarda meydana gelme olasılıkları ve dönüş periyotları hesaplanarak Çizelge 2'de gösterilmiştir.

## SONUÇLAR

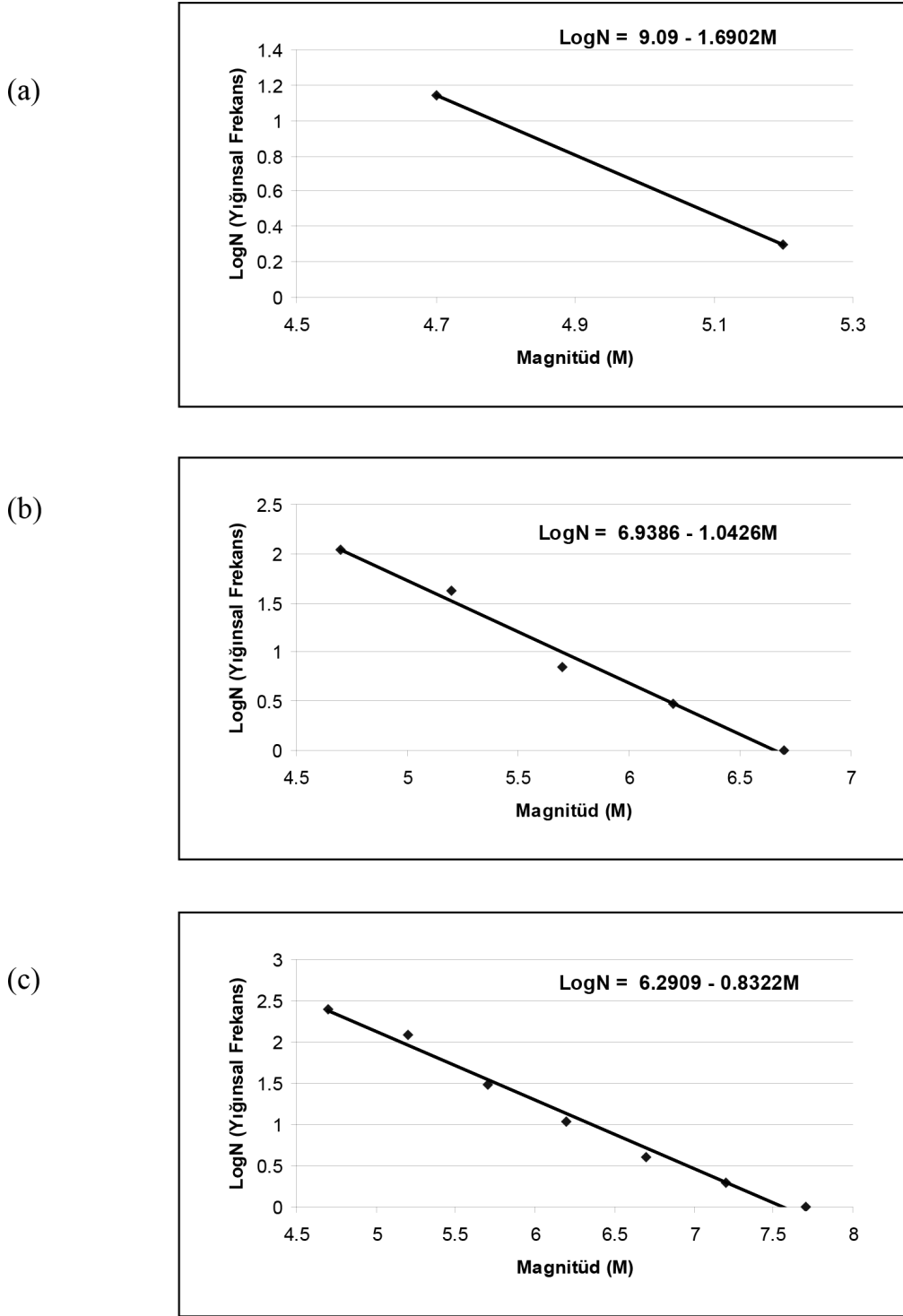
Deprem istatistiğinin temel bağıntısı olan ve büyüklüğü bir yıldaki tüm depremlerin adedi  $N$ 'ye bağlayan büyüklük-sıklık ilişkisinden “ $a$ ” parametresi ve incelenilen bölgenin tektonik özelliklerine bağlı olarak farklılıklar gösteren “ $b$ ” parametresi 50, 100 ve 150 km yarıçaplı bölgeler için hesaplanmış ve “ $a$ ” parametresinin 6.29 – 9.09 arasında, “ $b$ ” parametresinin ise 0.83 – 1.69 arasında değiştiği saptanmıştır. Küçük “ $b$ ” değeri bölgede sismik faaliyetin yüksek olduğunu, gerilimin sürekli olarak boşaldığını göstermektedir.

50 km yarıçaplı bölge için Büyüklik – sıklık ilişkisi,  $\text{Log} N = 9.09 - 1.6902M$  olarak bulunmuştur. Bu bölge için gelecek 100 yıl içerisinde 5.0 büyüklüğünde bir depremin meydana gelme olasılığı %68, dönüş periyodu ise 87 yıl olarak hesaplanmıştır. Ayrıca bu bölgede 5.5 tan daha büyük bir depremin meydana gelme olasılığının yok denecek kadar az olduğu bulunmuştur.

100 km yarıçaplı bölge için Büyüklik – sıklık ilişkisi,  $\text{Log} N = 6.9386 - 1.0426M$  olarak bulunmuştur. Bu bölge için gelecek 100 yıl içerisinde 6.0 büyüklüğünde bir depremin meydana gelme olasılığı %88, dönüş periyodu ise 48 yıl olarak, 6.5 büyüklüğünde bir depremin meydana gelme olasılığı %47, dönüş periyodu ise 159 yıl ve 7.0 büyüklüğünde bir depremin meydana gelme olasılığı %17, dönüş periyodu ise 528 yıl olarak hesaplanmıştır.

150 km yarıçaplı bölge için Büyüklik – sıklık ilişkisi,  $\text{Log} N = 6.2909 - 0.8322M$  olarak bulunmuştur. Bu bölge için gelecek 100 yıl içerisinde 7.0 büyüklüğünde bir depremin meydana gelme olasılığı %79, dönüş periyodu ise 64 yıl, 6.5 büyüklüğünde bir depremin meydana gelme olasılığı %98, dönüş periyodu ise 24 yıl ve 7.0 büyüklüğünde bir depremin meydana gelme olasılığı %79, dönüş periyodu ise 64 yıl olarak hesaplanmıştır.

Halen yürürlükte olan 1996 tarihli resmi Türkiye Deprem Bölgeleri haritasına göre Ankara ilinin %38'inde 50 yılda %10 aşılma olasılığına sahip maksimum yer ivmesi değerleri 0.1 g – 0.2 g, %33'ünde 0.2 g – 0.3 g, %21'inde 0.3 g – 0.4 g ve %8'inde  $\geq 0.4$  arasında değişmektedir.



Şekil 3. Büyüklük-Sıklık ilişkisi: a) 50 km yarıçaplı bölge için, b) 100 km yarıçaplı bölge için, c) 150 km yarıçaplı bölge için

Figure 3. Magnitude-frequency relations: a) for a region with 50 km radius, b) for a region with 100 km radius, c) for a region with 150 km radius



Çizelge 1. 50, 100 ve 150 km yarıçaplı bölge içinde 0.5 birim büyüklük aralıkları ile sıralanan depremlerin LogN, normal ve yığınsal frekans değerleri

Table 1. Normal and cumulative frequency values and LogN with the 0.5 magnitude increment of earthquakes that occurred in a region with 50, 100 and 150 km radius

50 km yarı çaplı bölge için					
M=0.5	Ortalama Aralık	Frekans	LogN	Yığınsal Frekans	LogN
4.5-5.0	4.7	12	1.07918	14	1.14613
5.0-5.5	5.2	2	0.30103	2	0.30103

100 km yarıçaplı bölge için					
M=0.5	Ortalama Aralık	Frekans	LogN	Yığınsal Frekans	LogN
4.5-5.0	4.7	66	1.81954	108	2.03342
5.0-5.5	5.2	35	1.54407	42	1.62325
5.5-6.0	5.7	4	0.60206	7	0.8451
6.0-6.5	6.2	2	0.30103	3	0.47712
6.5-7.0	6.7	1	0	1	0

150 km yarıçaplı bölge için					
M=0.5	Ortalama Aralık	Frekans	LogN	Yığınsal Frekans	LogN
4.5-5.0	4.7	125	2.09691	248	2.39445
5.0-5.5	5.2	92	1.96379	123	2.08991
5.5-6.0	5.7	20	1.30103	31	1.49136
6.0-6.5	6.2	7	0.8451	11	1.04139
6.5-7.0	6.7	2	0.30103	4	0.60206
7.0-7.5	7.2	1	0	2	0.30103
7.5-8.0	7.7	1	0	1	0

Ankara ili ve yakın civarında gelecek 100 yıl içinde 6.5 veya daha büyük bir depremin meydana gelme ihtimalinin çok yüksek olması, olası depremlerin Ankara'yı haritanın öngörülerinden daha şiddetli derecede etkileyebileceğini düşündürmektedir.

Poisson yöntemine göre hesaplanan depremlerin meydana gelme olasılıklarından ve inceleme bölgesindeki aktif faylardan yararlanarak; 50 km yarıçaplı bölgede 5.5 büyüklüğe kadar oluşabilecek depremlerin küçük boyutlu faylardan, 100 km yarıçaplı bölgede gelecek 100

yıl içinde olma olasılığı %47 olan 6.5 büyüklüğündeki depremin Dodurga, Afşar ve Karakeçili faylarından, olma olasılığı %17 olan 7.0 büyüklüğündeki depremin Eldivan Elmadağ Tektonik kamasından, 150 km yarıçaplı bölgede gelecek 100 yıl içinde olma olasılığı %79 olan 7.0 büyüklüğündeki depremin Eskişehir, Tuzgölü, Seyfe ve Ezinepazarı faylarından, olma olasılığı %45 olan 7.5 büyüklüğündeki depreminde Kuzey Anadolu fay zonundan kaynaklanabileceği düşünülmüştür.

Çizelge 2. 50, 100 ve 150 km yarıçaplı bölge için farklı büyüklükteki depremlerin meydana gelme olasılıkları ve dönüş periyotları

Table 2. The probability of occurrence of earthquakes of different magnitude and return periods for a region with 50, 100 and 150 km radius

50 km yarıçaplı bölge için										
Yıllar										
M	n(M)	1	10	20	30	40	50	75	100	Dönüş Periyodu
5.0	0.0115	1%	11%	21%	29%	37%	44%	58%	68%	86.7
5.5	0.0016	0%	2%	3%	5%	6%	8%	12%	15%	606.8
6.0	0.0002	0%	0%	0%	1%	1%	1%	2%	2%	4247.4
6.5	0.0000	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	29732.1
7.0	0.0344	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	208125.6
7.5	0.0182	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1456885.8

100 km yarıçaplı bölge için										
Yıllar										
M	n(M)	1	10	20	30	40	50	75	100	Dönüş Periyodu
5.0	0.2300	21%	90%	99%	100%	100%	100%	100%	100%	4.3
5.5	0.0693	7%	50%	75%	87%	94%	97%	99%	100%	14.4
6.0	0.0209	2%	19%	34%	47%	57%	65%	79%	88%	47.9
6.5	0.0063	1%	6%	12%	17%	22%	27%	38%	47%	158.9
7.0	0.0019	0%	2%	4%	6%	7%	9%	13%	17%	527.5
7.5	0.0006	0%	1%	1%	2%	2%	3%	4%	6%	1750.9

150 km yarıçaplı bölge için										
Yıllar										
M	N(M)	1	10	20	30	40	50	75	100	Dönüş Periyodu
5.0	0.7256	52%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	1.4
5.5	0.2783	24%	94%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	3.6
6.0	0.1068	10%	66%	88%	96%	99%	100%	100%	100%	9.4
6.5	0.0410	4%	34%	56%	71%	81%	87%	95%	98%	24.4
7.0	0.0157	2%	15%	27%	38%	47%	54%	69%	79%	63.6
7.5	0.0060	1%	6%	11%	17%	21%	26%	36%	45%	165.9

**KAYNAKLAR**

- Alptekin, Ö., 1978. Türkiye ve Çevresindeki Depremlerde Manyitüd-Frekans Bağlılıkları ve Deformasyon Boşalımı. Doçentlik Tezi, Karadeniz Üniversitesi, Trabzon.
- Alsın, E., Tezuçan, L., and Bath, M., 1975. An Earthquake Catalogue for Turkey for the Interval 1913-1970. Kandilli Observatory Seismological Department and Sweden Seismological Institute, Report No 7-75, İstanbul.
- Bayrak, Y., Yılmaztürk, A., ve Öztürk, S., 2005. Relationships Between Fundamental Seismic Hazard Parameters for the Different Source Regions in Turkey. *Natural Hazards*, 36, 445-462.
- Bayrak, Y., 2009. Comments on "Investigation of Seismicity for Western Anatolia" by Sayıl and Osmanşahin. *Natural Hazards*, 48:137-143.
- Bayrak, Y., Öztürk, S., Çınar, H., Kalafat, D., Tsapanos, T.M., Koravos, G.C., and Leventakis, G.A., 2009. Estimating Earthquake Hazard Parameters from Instrumental Data for Different Regions in and around Turkey. *Engineering Geology*, 105, 200-210.
- Bayrak, Y., and Bayrak, E., 2011. An Evaluation of Earthquake Hazard Potential for Different Regions in Western Anatolia Using the Historical and Instrumental earthquake Data. *Pure Appl., Geophys.*, DOI 10.1007/s00024-011-0439-3.
- Çetinkaya, N.N., Durgunoğlu, H.T., Kulaç, H.F., ve Karadayılar, T., 1993. Ankara, İstanbul ve İzmir Bölgeleri Deprem Riski Analizi Karşılaştırmaları. İkinci Uusal Deprem Mühendisliği Konferansı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Bildiriler Kitabı, sayfa 539-546.
- Çobanoğlu, İ., Bozdağ, Ş., Dinçer, İ., and Erol, H., 2006. Statistical Approaches to Estimating the Recurrence of Earthquakes in the Eastern Mediterranean Region. *İstanbul Univ. Eng. Fac. Earth Sciences Journal*, 19(1), 91-100.
- Çobanoğlu, İ., and Alkaya, D., 2011. Seismic Risk Analysis of Denizli (Southwest Turkey) Region Using Different Statistical Models. *International Journal of the Physical Sciences*, 6(11), 2662-2670.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Doğan, A., Özalp, S., 2001. 06 Haziran 2000 Orta (Çankırı) Depremi: Kaynak Fay ve Hasar Dağılımına Etki Eden Jeolojik Faktörler. 54. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara.
- Ergin, K., Güçlü, U., ve Uz, Z., 1967. Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (Milattan Sonra 11 yılından 1964 sonuna kadar). İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü Yayınları No:24, İstanbul.
- Ergin, K., Güçlü, U., ve Aksay, G., 1971. Türkiye ve Dolaylarının Deprem Kataloğu (1965-1970). İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü Yayınları No:28, 93 sayfa, İstanbul.
- Ergünay, O., 1978. Sismik Tehlike Açısından Ankara'ya Genel Bakış, Yerbilimleri Açısından Ankara'nın Sorunları Simpozyumu. Türkiye Jeoloji Kurumu, 88-94.
- Erturaç, M.K., Tüysüz, O., 2009. Amasya ve Çevresinin Neojen Stratigrafisi ve Neotektonik Evrimi: Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nin Orta Kesimi. 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 13-17 Nisan, Bildiri Özleri Kitabı, II: 824-825.
- Firuzan, E., 2008. Statistical Earthquake Frequency Analysis for Western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 741-762.
- Gencoğlu, S., Tabban, A., 1988. A Catalog of Earthquakes in Turkey 1881 – 1986 (Yayınlanmamış).
- Gencoğlu, S., İnan, E., ve Güler, H., 1990. Türkiye'nin Deprem Tehlikesi. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara.
- Gencoğlu, S., 1972. Kuzey Anadolu Fay Hattının Sismisitesi ve Bu Zon Üzerinde Sismik Risk Çalışmaları. Kuzey Anadolu Fayı ve Deprem Kuşağı Simpozyumu, MTA, Ankara.
- Genç, Y., Yürür, T., 2010. Coeval Extension and Compression in Late Mesozoic-Recent thin-skinned Extensional Tectonics in Central Anatolia, Turkey. *Journal*

- of Structural Geology, Volume 32, Issue 5, pages 623-640. DOI:10.1016/j.jsg.2010.03.011.
- Gökten, E., ve Varol, B., 2010. Bölgenin Genel Jeolojisi ve Sismik Kaynakları, Ankara Kenti Batısındaki Zeminlerin Jeolojik-Jeofizik-Jeoteknik Özellikleri ve Dinamik Davranışı. Ankara Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi, Yayın No:270, (Editör: Ahmet Tuğrul Başokur), sayfa 12-32.
- Gumbel, E.J., 1958. Statistics of Extremes. Columbia University Pres, N.Y., U.S.A.
- Gutenberg, B., and Richter, C.F., 1956. Magnitude and Energy of Earthquakes, Ann. Geofis., 9, 1-15, 1956.
- Gülkan, P., ve Gürpınar, A., 1977. Kuzeybatı Anadolu Deprem Riski. T.C.Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Türkiye Elektrik Kurumu Nükleer Enerji Dairesi Başkanlığına Sunulan rapor, ODTÜ Rapor No.77-05, Ankara.
- İpek, M., Uz, Z., ve Güçlü, U., 1965. Sismolojik Donelere Göre Türkiye Deprem Bölgeleri. Deprem Yönetmeliği Toplantısına Takdim Edilen Rapor, Ankara (Yayınlanmamış).
- Kahraman, S., Baran, T., and Şalk, M., 2004. Frequency and Risk Analyses for İzmir and its Surrounding Region Earthquake (in Turkish). İstanbul VI th International Conference on Advances in Civil Engineering.
- Kahraman, S., Baran, T., Saatçı, İ.A., and Şalk, M., 2008. The Effect of Regional Borders when Using the Gutenberg-Richter Model, Case Study: Western Anatolia. Pure Appl. Geophys., 165, 331-347.
- Kalafat, D., Kekovalı, D., Deniz, P., Güneş, Y., Pınar, A., ve Horosan, G., 2008. 31 Temmuz 2005 – 1 Ağustos 2005 ve 20 - 27 Aralık 2007 Afşar-Bala (Ankara) Deprem Dizisi. İstanbul Yerbilimleri Dergisi, C.21, S.2, SS.47-60.
- Kasapoğlu, K.E., 2000. Ankara Kenti Zeminlerinin Jeoteknik Özellikleri ve Depremselliği. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları:54, ISBN:975-96975-1-3, Ankara.
- Kasapoğlu, K.E., 2008. Bala Depremleri ve Yapılar Üzerindeki Etkileri. Yapı Dünyası Aylık Mesleki Bilim Teknik Haber Dergisi, Mart(144): 48 – 53.
- Koçyiğit, A., 2000. Orta Anadolu'nun Genel Neotektonik Özellikleri ve Depremselliği. Haymana-Tuzgölü-Ulukışla Basenleri Uygulamalı Çalışma (Workshop), Türkiye Petrol Jeologları Özel Sayı 5, 1-26.
- Koçyiğit, A., 2008. Ankara ve Çevresinin Deprem Kaynakları. Ankara'nın Deprem Tehlikesi ve Riskleri Çalıştay Bildiriler Kitabı (Editörler: Prof.Dr.Süleyman PAMPAL, Bülent ÖZMEN), 33-53, Ankara.
- Koçyiğit, A., 2008. Ankara'nın Depremselliği ve 2005-2007 Afşar (Bala-Ankara) Depremlerinin Kaynağı. MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 6, 1-7.
- Lee, C.P., and Tsai, Y.B., 2005. A Study of Recurrence Models of Earthquakes in Taiwan. TAO, 16(1), 251-271.
- Manakou, M.V., and Tsapanos, T.M., 2000. Seismicity and Seismic Hazard Parameters Evaluation in the Island of Crete and the Surrounding Area Inferred from Mixed Data Files. Tectonophysics, 321, 157-178.
- Öcal, N., 1968(a). Türkiye'nin Sismisitesi ve Zلزele Coğrafyası 1850 – 1960 Yılları İçin Türkiye Zلزele Kataloğu. Milli Eğitim Bakanlığı İstanbul Kandilli Rasathanesi Sismoloji Yayınları:8, İstanbul.
- Öcal, N., 1968(b). Beş Yıllık Türkiye Zلزeleleri Kataloğu 1960 – 1964. Milli Eğitim Bakanlığı İstanbul Kandilli Rasathanesi Sismoloji Yayınları:9, İstanbul.
- Özsayın, E., ve Dirik, K., 2007. Quaternary Activity of the Cihanbeyli and Yeniceoba Fault Zones: İnönü – Eskişehir Fault System, Central Anatolia. Turkish Journal of Earth Sciences, Vol.16, pp. 471-492.
- Pampal, S., ve Kozlu, B., 2000. Ankara'nın Depremselliği. Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı:409, 25-31.
- Pınar, N., ve Lahn, E., 1952. Türkiye Depremleri İzahlı Kataloğu. Bayındırlık Bakanlığı

- Yapı ve İmar İşleri Reisliği Yayınlarından seri:6, sayı:36, Ankara.
- Poisson, S.D., 1838. Recherches Sur la Probabilité des Jugements en Matieres Criminelles et Matiere Civile, Elibron Classic Series, Paris, 55.
- Rafi, Z., 2005. Analysis of Seismicity in Arabian Sea Based on Statistical Model. *Pakistan Journal of Meteorology*, 2(4), 109-119.
- Rojay, B., Koçyiğit, A., 2009. Kuzey Anadolu Fay Sistemi'nin Orta Kesimi İçinde Aktif Bir Birleşik Çek-Ayrır Havza: Merzifon-Suluova Havzası, Türkiye. 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı II, 822-823, Ankara.
- Sayıllı, N., ve Osmanşahin, İ., 2003. Doğu Anadolu'nun Depremselliğinin İncelenmesi. Kocaeli 2003 Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 580-589.
- Sayıllı, N., ve Osmanşahin, İ., 2005. Marmara Bölgesinin Depremselliğinin İncelenmesi. Kocaeli 2005 Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 1417-1426.
- Sayıllı, N., and Osmanşahin, İ., 2008. An Investigation of Seismicity for Western Anatolia. *Natural Hazards*, 44, 51-64.
- Sayıllı, N., 2009. An Investigation of Seismicity for the Aegean and Mediterranean Regions. *International Journal of Geology*, 2(3), 44-47.
- Seyitoğlu, G., Işık, V., Kırman, E., ve İleri, İ., 2006. Gölbaşı – Elmadağ Güneyinin Neotektonik Özellikleri. Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Raporu, Ankara.
- Seyitoğlu, G., 2007. Ankara Civarındaki Neotektonik Yapılar: Eldivan – Elmadağ Tektonik Kaması ve Kırıkkale – Erbaa Fayı. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Teknik Geziler Serisi – 4.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A., 1987. Türkiye Diri Fayları ve Depremsellikleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi Rapor No:8174, Ankara.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Kuşçu, İ., 1992. Türkiye Diri Fay Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Tabban, A., 1976. Ankara'nın Deprem Bölgesinde Bulunmasının Nedenleri. Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, Sayı 14, 1-33, Ankara.
- Tabban, A., ve Gencoğlu, S., 1975. Deprem ve Parametreleri. Deprem Araştırma Bülteni, 11:7-83.
- Tuksal, İ., 1976. Seismicity of the North Anatolia Fault System in the Domain of Space, Time and Magnitude. M.S.Thesis, Saint-Louis University, Saint-Louis, Missouri.
- Ulusay, R., Tuncay, E., Sönmez, H., and Gökçeoğlu, C., 2004. An Attenuation Relationship Based on Turkish Strong Motion Data and Iso-Acceleration Map of Turkey. *Engineering Geology*, Science Direct, Elsevier, 74, 265-291.
- Yücemen, S., and Akkaya, A., 1995. A Comparative Study of Stochastic Models for Seismic Hazard Estimation. *Natural Hazards*, 5-24.

