DOĞU ANADOLU'NUN DEPREMSELLİĞİNİN İNCELENMESİ

[1]

Nilgün SAYIL[1], İlhan OSMANŞAHİN[2]
sayil@ktu.edu.tr, isahin@istanbul.edu.tr

Özet: *Bu çalışmada, Doğu Anadolu'nun 36°-42°K ve 35°-45°D koordinatları arasında kalan kesimi için depremselliğin irdelenmesi amacıyla magnitüd-frekans ilişkisi, sismik risk ve tekrarlanma peryodu hesaplamaları yapılmıştır. Çözümlemelerde tarihsel ve aletsel dönem deprem verilerinden yararlanılmıştır. Tarihsel döneme ait veriler bazı kataloglardan yararlanarak derlenmiştir. Aletsel dönem verileri ise 1900-2002 yılları arasında kaydedilen depremleri içermektedir ve uluslararası veri merkezlerinden ve Bayındırlık Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Enstitüsü arşivlerinden sağlanmıştır. Böylece, 1881-2002 yılları arasındaki peryod için tarihsel ve aletsel dönem deprem verilerinden oluşan bir veri tabanı oluşturulmuştur. Depremlerin büyüklükleri yüzey dalgası magnitüdü (M_S) cinsinden alınmıştır. İnceleme alanında, aktif fay kesimleri dikkate alınarak yedi adet karakteristik alt bölge seçilmiş ve her bir alt bölge için magnitüd-frekans ilişkisi, sismik risk ve tekrarlanma peryodu hesaplanmıştır. Magnitüd-frekans ilişkisi hesaplamaları $M_S \geq 4.0$, sismik risk hesaplamaları ise $5.0 \leq M_S \leq 7.0$ sınırlamalarına göre yapılmıştır. Magnitüd-frekans ilişkisi hesaplamalarının sonuçlarına göre a değerleri 3.90-5.65 arasında, b değerleri ise 0.55-0.75 arasında değişmektedir. En yüksek b değerlerinin Erzincan-Erzurum (2.bölge) ve Hatay (7.bölge) illeri ve çevresi için elde edildiği (sırasıyla b=0.75 ve b=0.71) görülmüştür. En düşük b değerleri ise Van'ın kuzeyi (3.bölge) ve güneydoğusu (5.bölge) için elde edilmiştir(sırasıyla b=0.55 ve b=0.57). Hesaplanan a ve b değerlerinden yararlanarak yapılan sismik risk hesaplamasına göre riskin en yüksek olduğu bölge Erzincan-Erzurum illeri ve çevresi olarak belirlenmiştir. Hesaplanan tekrarlanma peryodu sonuçlarına göre, depremlerin en sık aralıklarla olması beklenen yer Erzincan-Erzurum illeri ile yakın çevresidir.*

Anahtar Kelimeler: Doğu Anadolu, depremsellik, sismik risk, tekrarlanma peryodu

Giriş

Bir bölgenin depremselliğinin ve sismik tehlikesinin araştırılmasında, geçmişte meydana gelen depremlerin zaman ve uzay dağılımlarından yararlanılarak geliştirilen çeşitli istatistiksel yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu tür çalışmalarda gelecekte oluşabilecek deprem etkinliğinin ve tekrarlanma peryodunun belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Türkiye ve çevresi dünya üzerindeki önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer aldığı için tarih boyunca büyük depremlere maruz kalmıştır. Özellikle Kuzey Anadolu Fayı ve Bitlis Bindirme Zonu'nun aktif oldukları uzun süredir bilinmektedir. Yakın zaman öncesine kadar durgun görünen Doğu Anadolu Fayı 1971 Bingöl depremi ile dikkat çekmiş ve bu bölgenin depremselliği ile ilgili çalışmaların önemi artmıştır. Bu bölge ile ilgili yapılan çalışmalardan bazıları şunlardır: Canıtez (1972), yeni kabuk hareketlerine ilişkin çalışmalar yapmış ve KAFZ'ı incelemiştir. Alptekin (1978), Türkiye ve çevresindeki depremlerde magnitüd-frekans bağıntıları ve deformasyon boşalımını incelemek amacıyla Türkiye ve çevresini 14 bölgeye ayırmış ve çeşitli yöntemler kullanarak magnitüd-frekans bağıntılarını hesaplamıştır. Osmanşahin (1983), Güneydoğu Anadolu, Özer (1983), Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) doğu kesiminin, Ekşi (1983), Kuzey Anadolu ve Kafkasya bölgesinin depremselliğini araştırmışlar ve magnitüd-frekans bağıntıları ile birlikte çeşitli depremler için odak mekanizması çözümleri belirlemişlerdir. Altınok (1984), Semi-Markov modelini kullanarak KAFZ'ın deprem riskini incelemiştir.

[1] *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeofizik Müh. Böl.,Trabzon*
[2] *İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeofizik Müh. Böl., İstanbul*

Öncel ve diğ. (1992), En Büyük Olasılık Yöntemi ile KAFZ'ın deprem riskini araştırmışlar; KAFZ'ın 31-41° D boylamları arasındaki bölgede büyük ve yıkıcı depremlerin olma riskinin diğer bölgelere oranla daha fazla olduğunu, küçük depremlerin ise daha az sayıda meydana geleceğini ve en büyük depremlerin geçmişte olduğu gibi yine bu bölgede olacağını ifade etmişlerdir. Ulutaş ve diğ. (2000), Markov modelini kullanarak Çukurova bölgesinin deprem tehlikesini araştırmışlardır. Papazachos ve diğ. (1997), Alp-Himalaya kuşağını 149 sismojenik bölgeye ayırarak bölgesel zaman ve magnitüd kestirilebilir model tanımlamışlardır.

Bu çalışmanın amacı, Doğu Anadolu Bölgesini içine alan 36-42° K enlemleri ile 35-45° D boylamları arasındaki bölgenin depremselliğinin incelenmesidir. Bunun için koordinatları verilen bölgede 1881-2002 yılları arasında oluşmuş depremlerin episantr dağılımı ve bölgedeki fay zonları ile ilişkileri incelenerek yedi karakteristik fay segmenti belirlenmiş, her bir segment için depremlerin magnitüd-frekans ilişkileri saptanmış, bu ilişkilerden yaralanarak sismik risk ve tekrarlanma peryodu değerleri bulunmuştur.

Yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçların Doğu Anadolu Bölgesindeki deprem oluşumunun anlaşılmasına katkı sağlayacağı beklenmektedir.

Kullanılan Yöntem

Bu çalışmada 36-42° K ve 35-45° D koordinatları ile sınırlanan Doğu Anadolu Bölgesinin depremselliğini araştırmak için oluşturulan karakteristik alt bölgeler için magnitüd-frekans ilişkisi belirlenmiş, sismik risk değerleri ve tekrarlanma peryodu hesaplanmıştır.

Magnitüd-frekans bağıntıları deprem istatistiğinin temelini oluşturur ve günümüzde deprem etkinliğinin bir ölçütü olarak kullanılır. Magnitüdün fonksiyonu olarak depremlerin oluş frekansı incelendiğinde, genellikle doğrusal bir ilişki izlediği görülür ve bu ilişki

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

şeklinde ifade edilir (Gutenberg ve Richter, 1954). Burada N, birikimli (kümülatif) deprem sayısını, M ise magnitüdü göstermektedir. Magnitüd-frekans bağıntılarının hesaplanmasında normal ve yığınsal frekanslar arasında ayrım yapmak gerekir. Yığılma frekansı (kümülatif frekans) ile sismolojide, verilen bir M magnitüdüne eşit veya daha büyük olan depremlerin sayısı anlaşılabilir.

Gutenberg-Richter bağıntısı genellikle bütün magnitüdlerde doğrusal değildir. Bu nedenle logN(M)'nin doğrusal olduğu magnitüd aralığının (M_1, M_2) belirlenmesi gerekir. Büyük depremlere ait gözlemler az olduğundan bunlar için bağıntı belirsizdir. Küçük depremlerde ise gürültü düzeyinin yüksek olmasının çok duyarlı sismograflar kullanılmasını engellediği için deprem dizisinin tam olduğundan emin olmak gerekir.

Magnitüd-frekans bağıntısındaki a ve b sabit parametrelerdir: a parametresi gözlem peryoduna, inceleme alanının büyüklüğüne ve deprem etkinliğinin seviyesine bağlı olarak değişir. Ortalama yıllık sismik aktivite indeksi olarak da tanımlanır. Gutenberg ve Richter (1954), dünya ölçüsünde istatistik sonuçlara dayanarak, sığ depremler için $b=0.9\pm0.02$, orta ve derin depremler için $b=1.2\pm0.2$ değerlerini bulmuşlardır. Türkiye için ise $b=0.9\pm0.2$ değerini vermektedirler.

b parametresi depremlerin istatistik analizinde önemli bir parametre olup, doğrusal ilişkinin eğimini vermektedir. Kayaçların deformasyonu ve dolayısıyla deprem oluşumunun fiziği ile ilgili, b parametresinin bölgeye ve zamana göre değişimleri, sismotektonik bölgelendirme ve depremlerin önceden belirlenmesi problemlerinde kullanılmaktadır. Weeks ve diğ. (1978), kayaçlar üzerinde yaptıkları deneyler sonucu, b değerinin depremden önce azaldığını göstermişlerdir. b değeri sismik etkinliğin bir göstergesi olup bölgeden bölgeye değişmektedir. Karnik (1969), bu değişimi örneklemiştir. Normal olarak küçük bir b değeri yüksek bir gerilme düşümü ile, büyük bir b değeri ise düşük bir gerilme düşümü ile ilgilidir.

İstenen veri grubu için a ve b değerleri değişik yöntemlerle hesaplanabilir. Bu parametreler bölgeye ve zamana bağlı değişimlerinin yanı sıra, hesaplama yöntemine ve kullanılan veri grubuna bağlı olarak da değişmektedirler. Tüm yöntemler birbirine yakın da olsa farklı sonuçlar verir (Alptekin, 1978). Bu yöntemler özetlenerek, hangi koşullarda geçerli oldukları Alptekin (1978), Osmanşahin (1983) ve Özer (1983) tarafından açıklanmıştır. Magnitüd-frekans bağıntılarını belirleyen a ve b parametrelerinin hesaplanmasında

en yaygın olanı en küçük kareler yöntemidir (EKK). Bu yönteme göre a ve b parametrelerinin bulunmasında aşağıdaki bağıntılar kullanılmaktadır;

$$\sum_{i=1}^{n} LogN_i = an - b\sum_{i=1}^{n} M_i$$
$$\sum_{i=1}^{n} M_i . LogN_i = a\sum_{i=1}^{n} M_i - b\sum_{i=1}^{n} M_i^2 \quad (2)$$

Burada n grup sayısıdır. Diğer parametreler (1) bağıntısında tanımlanmıştır. Bu şekilde hesaplanan a ve b sabitleriyle istenen magnitüdlü bir depremin, istenen bir peryot aralığı içinde olma olasılığı hesaplanabilir. Kümülatif frekans ile normal frekans arasındaki bağıntıdan;

$$a' = a - Log(b\ln 10) \quad (3)$$

elde edilir. Gutenberg-Richter (1954) tarafından verilen magnitüd-frekans bağıntısı;

$$N(M) = 10^{a-bM} \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir. Bunun inceleme zaman peryodu T_1'e bölünmesiyle;

$$\frac{N(M)}{T_1} = \frac{10^{a-bM}}{T_1} \quad (5)$$

elde edilir. Her iki tarafın logaritması alınarak;

$$Log(N(M)T_1) = a - bM - LogT_1 \quad (6)$$

$$n(M \rangle M_1) = 10^{a-bM-LogT_1} \quad (7)$$

bulunur. Son ifadeden,

$$a_1^{'} = a' - LogT_1 \quad (8)$$

$$n(M) = 10^{a_1^{'}-bM} \quad (9)$$

elde edilir. Bu bağıntılar yardımıyla verilen bir zamanda magnitüdleri verilen bir M_1 değerinden büyük veya ona eşit depremlerin yıllık ortalama sayısı $n(M \geq M_1)$ hesaplanabilir (Tuksal, 1976). Herhangi bir bölgede, T_1 yıllık bir gözlem aralığı için verilen herhangi bir M magnitüdlü depremin T yıl içinde oluşma riski (Gencoğlu, 1972; Tabban ve Gencoğlu, 1975);

$$R(M) = 1 - e^{-n(M)T} \quad (10)$$

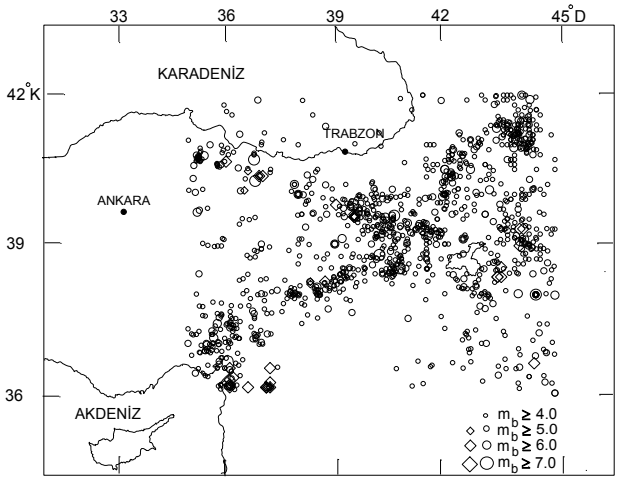
ve tekrarlanma peryodu ;

$$Q = \frac{1}{n(M)} \quad (11)$$

ilişkisiyle tanımlanır.

Kullanılan Veriler

Bu çalışmada kullanılan veriler 1900 yılından önceki tarihsel dönem ve 1900-2002 yılları arasında kaydedilmiş aletsel dönem deprem verilerini içermektedir ($M_S \geq 4.0$). Doğu Anadolu'da karakteristik fay segmentlerinin yer aldığı yedi alt bölge seçilmiştir (Şekil 4). Bu alt bölgeler birinci derece deprem bölgeleridir. Bu alt bölgelere ait deprem verilerini elde etmek için tarihsel dönemi kapsayan (Tablo 1) birkaç deprem kataloğundan ve aletsel dönemi içeren bazı veri merkezlerinin bültenlerinden (Tablo 2) yararlanılmıştır. Tarihsel ve aletsel döneme ait episantrları gösteren harita Şekil 1 de verilmiştir.



Şekil 1. Karakteristik deprem bölgelerinde meydana gelen tarihsel dönem (◇ sembolü ile) ve aletsel dönem (○ sembolü ile) depremlerinin episantr haritası.

Tablo 1. Türkiye ve çevresi için tarihsel dönemi kapsayan deprem kataloglarından bazıları.

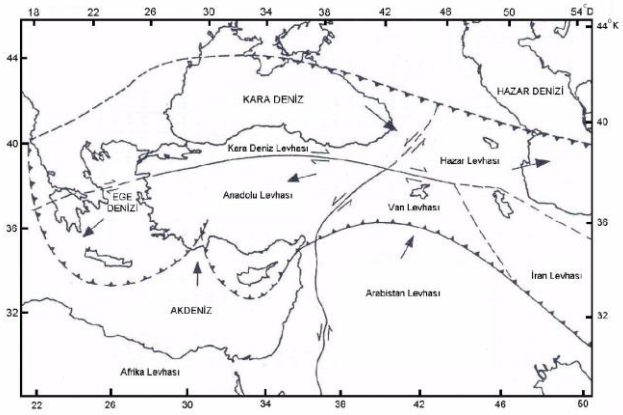
Araştırmacılar	Yıl	Sembol
Pınar ve Lahn	1952	PL
Ergin ve diğ.	1967	EGU
Karnik	1968	VKR
Öcal	1968	ON
Alsan ve diğ.	1975	ATB
Dewey	1976	DJW
Ayhan ve diğ.	1987	AASÜ
Papazachos ve Comminakis	1982	PC
Ambraseys ve Jackson	1981	AJ
Soysal ve diğ.	1981	SSKA
Gündoğdu ve Altınok	1986	GA

Tablo 2. Aletsel dönem için kataloglarından faydalanılan deprem veri merkezleri.

Veri merkezi	Çalışma Yılı	Sembol
British Association for the Advancement of Science	1913-1917	BAS
International Seismological Summary	1918-1963	ISS
Bureau Central International	1953-1963	BCI
International Seismological Centre	Sürekli	ISC
U.S. Coast and Geodetic Survey	″	USCG
Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Gözlemevi	″	ISK

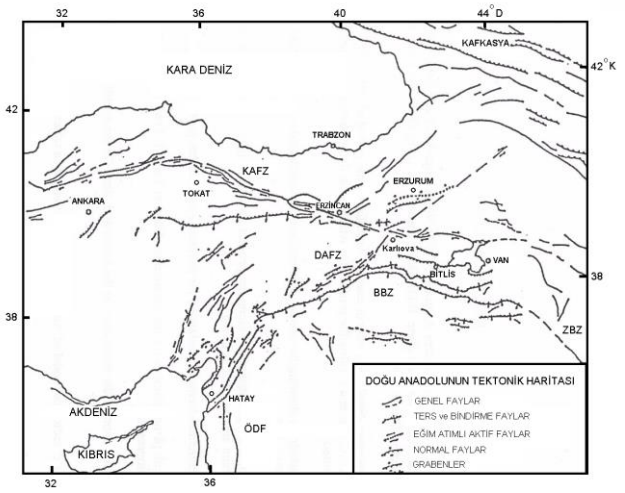
Uygulama Bölgesi

Bu çalışma 1881-2002 yılları arasında 36°-42°K enlemleri ile 35°-45°D boylamlarının sınırladığı Doğu Anadolu bölgesinde meydana gelmiş aletsel büyüklüğü $M_S \geq 4.0$ olan depremlerle ilgili bilgileri içermektedir. İnceleme alanı, Avrasya, Arabistan ve Anadolu levhalarının birleştiği bir üçlü birleşmenin yer aldığı hareketli ve karmaşık bir bölgedir. Burada McKenzie (1972), Alptekin (1973), Ketin (1977)' den yararlanılarak belirlenen levha tektoniği modeli benimsenmiştir (Şekil 2). Anadolu levhası sağ yönlü doğrultu atımlı KAFZ ile sol yönlü doğrultu atımlı DAFZ arasında batıya doğru hareket etmektedir.



Şekil 2. Anadolu ve çevresinin levha tektoniği modeli.

Kızıldeniz'deki açılma nedeniyle Arap Levhası kuzeydoğuya doğru hareket etmekte, Afrika Levhası ise kuzeye doğru kaymaktadır. Ölü Deniz Fayı'nın devamı olan DAFZ Karlıova civarında KAFZ ile kesişmektedir. Karlıova'dan sonra KAFZ'ın doğuya doğru, DAFZ'ın ise kuzeydoğuya doğru devam ettiği görülmektedir (Osmanşahin ve diğ., 1986; Kenar ve diğ., 1996). Arabistan Levhası ile Avrasya'nın bir parçası olan Van Bölgesi, Güneydoğu Anadolu'da BBZ ile sınırlanmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesindeki fayları gösteren tektonik harita Şekil 3'te verilmektedir.

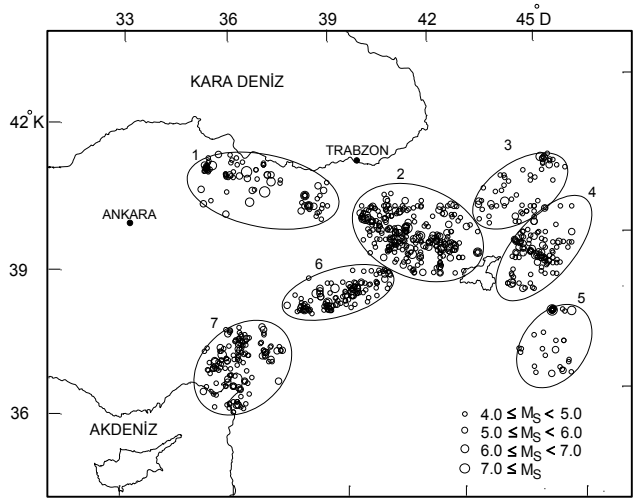


Şekil 3. Doğu Anadolu'nun tektonik birimleri.KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu,BBZ: Bitlis Bindirme Zonu, ÖDF: Ölü Deniz Fay Zonu, ZBZ: Zagros Bindirme Zonu.

Çalışmanın amacı gereği 7 alt bölge oluşturulmuştur. Tablo 3 de tanımlanıp Şekil 4 de gösterilmiş olan bu bölgeler sismik riskin yüksek olduğu birinci dereceden deprem bölgeleridir ve sık sık büyük depremlere maruz kalmaktadırlar.

Tablo 3. Magnitüd-frekans bağıntılarının ve sismik riskin hesaplandığı alt bölgeler.

Alt Bölgeler	Koordinatlar	
	Enlem (°K)	Boylam (°D)
1	39.74-41.21	35.14-38.50
2	38.70-40.24	39.37-42.50
3	39.67-41.02	42.52-44.82
4	38.40-40.00	43.30-45.00
5	36.75-38.00	43.60-45.00
6	37.91-38.77	37.43-40.18
7	36.00-37.65	35.20-37.30



Şekil 4. Magnitüd-frekans ilişkisinin incelendiği alt bölgeleri gösteren harita.

Çözümleme

Tablo 3'de tanımlanan ve Şekil 4'te gösterilmiş olan alt bölgeler için magnitüd-frekans bağıntıları hesaplanmıştır. (1) bağıntısı ile verilen magnitüd-frekans bağıntısının hesaplanmasında, yani a ve b değerlerinin bulunmasında EKK yöntemi uygulanmıştır. Bu amaçla bölgede 1881-2002 yılları arasında oluşmuş depremler kullanılmıştır. Yüzey dalgası magnitüdünün alt sınırı M_S=4.0 olarak alınmıştır. Magnitüd gruplandırması 0.5 birim aralıklarla yapılarak alt bölgelerde depremlerin magnitüdlere göre dağılımı Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Oluşturulan alt bölgelerde depremlerin magnitüdlere göre dağılımı.

Magnitüd	Alt Bölgeler						
M_S	1	2	3	4	5	6	7
4.0-4.4	33	105	20	35	12	66	65
4.5-4.9	29	97	27	41	27	33	48
5.0-5.4	13	46	6	24	8	19	22
5.5-5.9	8	16	1	3	3	3	9
6.0-6.4	5	8	2	1	1	3	2
6.5-6.9	0	1	0	1	0	1	0
7.0.7.4	2	2	0	0	0	0	0
7.5-7.9	0	0	0	0	1	0	0

Her bir alt bölge için oluşan depremlerin 0.5 birim magnitüd aralığı içeren sınıflara göre dağılımları ve birikimli frekans değerleri Tablo 5'te verilmiş ve bu bölgeler için elde edilen a ve b değerleri Tablo 6'da gösterilmiştir. Elde edilen magnitüd-frekans ilişkilerine ait grafikler Şekil 5'te gösterilmiştir.

Tablo 5. Oluşturulan alt bölgeler için 1881-2002 yılları arasında oluşmuş depremlerin 0.5 birim magnitüd aralığı içeren sınıflara göre dağılımları ve birikimli frekans değerleri.

Alt Bölgeler	Magnitüd (M_S)	Frekans (N)	Birikimli Frekans (N_i)
1	4.0-4.4	33	90
	4.5-4.9	29	57
	5.0-5.4	13	28
	5.5-5.9	8	15
	6.0-6.4	5	7
	6.5-6.9	0	2
	7.0.7.4	2	2
	7.5-7.9	0	0
2		105	275
		97	170
		46	73
	″	16	27

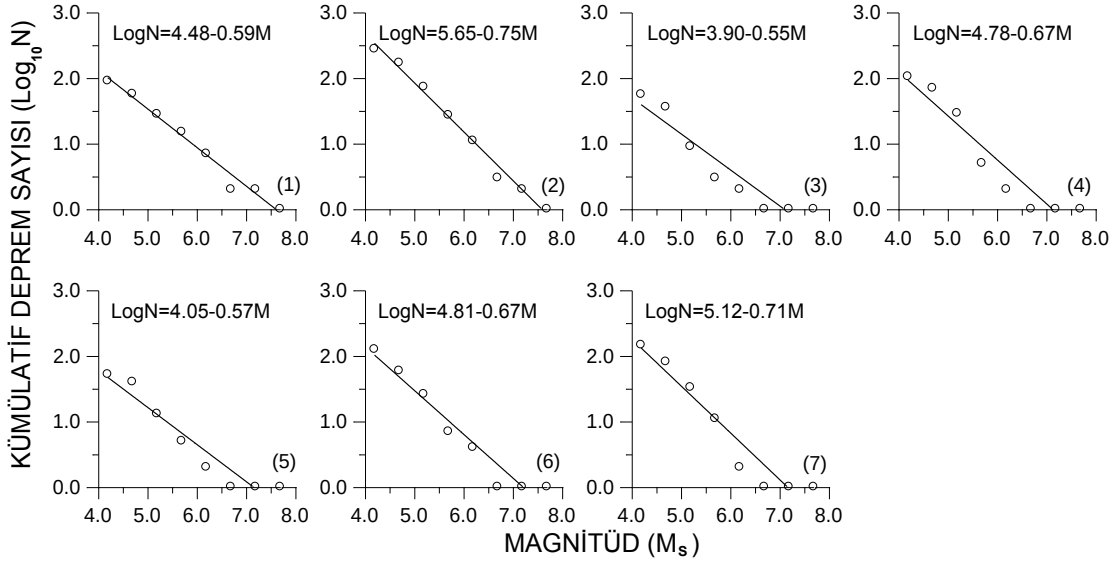
		8	11
		1	3
		2	2
		0	0
3		20	56
		27	36
		6	9
	″	1	3
		2	2
		0	0
		0	0
		0	0
4		35	105
		41	70
		24	29
	″	3	5
		1	2
		1	1
		0	0
		0	0
5		12	52
		27	40
		8	13
	″	3	5
		1	2
		0	1
		0	1
		1	1
6		66	125
		33	59
		19	26
	″	3	7
		3	4
		1	1
		0	0
		0	0
7		65	146
		48	81
		22	33
	″	9	11
		2	2
		0	0
		0	0
		0	0

Tablo 6. Oluşturulan alt bölgeler için birikimli frekanslardan EKK yöntemi ile hesaplanan a ve b değerleri.

Bölge	Deprem Sayısı	a	b
1	90	4.48	0.59
2	275	5.65	0.75
3	56	3.90	0.55
4	105	4.78	0.67
5	52	4.05	0.57
6	125	4.81	0.67
7	146	5.12	0.71

Hesaplanan ve Tablo 6'da verilen a ve b değerleri kullanılarak sismik risk ve tekrarlanma peryodu değerleri hesaplanmıştır. Risk hesabı için (3), (8), (9) ve (10) bağıntıları ve tekrarlanma peryodu hesabı için (11) bağıntısı kullanılmıştır. $5 \leq M \leq 7$ aralığında 0.5 birim aralıklar için yapılan bu hesaplar 121 yıllık gözlem

aralığını kapsamaktadır. Hesaplamalarda gelecek 100 yıl için 10'ar yıllık peryod aralıkları kullanılmıştır. Sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir.



Şekil 5. Oluşturulan alt bölgeler için EKK yöntemi kullanılarak kümülatif frekanslardan hesaplanan magnitüd-frekans bağıntıları (Lineer eğri hesaplanmış değerleri göstermektedir).

Tablo 7. Oluşturulan alt bölgeler için EKK yöntemi ile hesaplanan a ve b değerleri kullanılarak 121 yıllık (1881-2002) gözlem aralığında 5≤M≤7 için hesaplanan sismik risk ve tekrarlanma peryodu değerleri.

Alt Bölgeler	Magnitüd M_S	Dönem (yıl) 10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	Tekrarlanma Peryodu Q (yıl)
1	5.0	87.3	98.4	99.8	100	100	100	100	100	100	100	4.85
	5.5	64.8	87.6	94.9	95.7	98.3	99.5	99.8	99.9	100	100	9.57
	6.0	41.1	65.3	79.6	88.0	92.9	95.8	97.5	98.6	99.2	99.5	18.87
	6.5	23.6	41.6	55.3	65.9	73.9	80.0	84.7	88.3	91.1	93.2	37.23
	7.0	12.7	23.8	33.5	42.0	49.4	55.8	61.5	66.4	70.6	74.4	73.43
2		97.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	2.63
		79.9	95.9	99.2	99.8	100	100	100	100	100	100	6.24
	″	49.1	74.1	86.8	93.3	96.6	98.3	99.1	99.6	99.8	99.9	14.79
		24.8	43.5	57.5	68.0	76.0	81.9	86.4	89.8	92.3	94.2	35.08
		11.3	21.4	30.3	38.2	45.2	51.4	56.9	61.8	66.1	69.9	83.19
3		60.2	84.2	93.7	97.5	99.0	99.6	99.8	99.9	100	100	10.85
		38.7	62.4	77.0	85.9	91.3	94.7	96.7	98.0	98.8	99.3	20.43
	″	22.9	40.5	54.1	64.6	72.7	79.0	83.8	87.5	90.3	92.6	38.49
		12.9	24.1	33.9	42.4	49.8	56.3	61.9	66.8	71.1	74.8	72.50
		07.1	13.6	19.7	25.4	30.7	35.6	40.1	44.3	48.3	51.9	136.57
4		76.4	94.4	98.7	99.7	99.9	100	100	100	100	100	6.94
		48.7	73.6	86.5	93.1	96.4	98.2	99.1	99.5	99.8	99.9	15.00
	″	26.5	46.0	60.3	70.9	78.6	84.3	88.4	91.5	93.8	95.4	32.44
		13.3	24.8	34.8	43.5	51.0	57.5	63.1	68.0	72.3	76.0	70.16
		06.4	12.3	17.9	23.2	28.1	32.7	37.0	41.0	44.7	48.3	151.73
5		63.1	86.4	95.0	98.2	99.3	99.7	99.9	100	100	100	10.02
		40.4	64.5	78.8	87.4	92.5	95.5	97.3	98.4	99.1	99.4	19.31
	″	23.6	41.6	55.3	65.9	73.9	80.0	84.7	88.3	91.1	93.2	37.23
		13.0	24.3	34.2	42.7	50.2	56.7	62.3	67.2	71.5	75.2	71.76
		07.0	13.5	19.5	25.1	30.3	35.2	39.7	43.9	47.8	51.5	138.32
6		78.7	95.4	99.0	99.8	100	100	100	100	100	100	6.47
		51.1	76.0	88.3	94.3	97.2	98.6	99.3	99.7	99.8	99.9	14.00

	″	28.1	48.3	62.9	73.3	80.8	86.2	90.1	92.9	94.9	96.3	30.27
		14.2	26.3	36.8	45.7	53.4	60.0	65.7	70.5	74.7	78.3	65.48
		06.8	13.2	19.1	24.6	29.7	34.5	39.0	43.2	47.0	50.6	141.60
7		84.7	97.7	99.6	99.9	100	100	100	100	100	100	5.32
		56.4	81.0	91.7	96.4	98.4	99.3	99.7	99.9	99.9	100	12.06
	″	30.7	51.9	66.7	76.9	84.0	88.9	92.3	94.7	96.3	97.4	27.31
		14.9	27.6	38.4	47.6	55.4	62.1	67.8	72.6	76.7	80.2	61.84
		06.9	13.3	19.3	24.8	30.0	34.8	39.3	43.5	47.4	51.0	140.04

Sonuçlar

Bu çalışmada 36°-42°K enlemleri ve 35°-45°D boylamları ile sınırlanmış alanı kapsayan Doğu Anadolu Bölgesi'nin depremselliği incelenerek elde edilen sonuçların bölgenin aktif tektoniği ile ilişkileri açıklanmaya çalışılmıştır. Bölgedeki başlıca fayların (Şekil 3) ve yaklaşık 120 yıllık dönemde oluşmuş depremlerin episantr dağılımlarının (Şekil 1) gösterildiği haritalar bu bölgede sismik aktivitenin oldukça yüksek olduğuna işaret etmektedir. Tüm bu gözlemler sonucu inceleme alanı 7 karakteristik alt bölgeye ayrılmıştır (Şekil 4). 1881-2002 yılları arasında oluşmuş depremlere ait veriler kullanılarak oluşturulan her bir alt bölge için magnitüd-frekans bağıntıları belirlenmiş, sismik risk ve tekrarlanma peryodu hesapları yapılmıştır. Magnitüd-frekans hesabında $M_S \geq 4.0$ olan depremler ele alınmıştır. Sismik risk ve tekrarlanma peryotları ise $5.0 \leq M_S \leq 7.0$ magnitüd aralığında gelecek yüz yılda onar yıllık zaman peryotları için hesaplanmıştır.

Oluşturulan 7 karakteristik deprem bölgesi için magnitüd-frekans ilişkilerinin incelenmesi sonucunda elde edilen a değerleri 3.90-5.65 arasında, b değerleri ise 0.55-0.75 arasında değişmektedir. Bu çalışmada incelenen bölgeler içerisinde en yüksek b değerinin Erzincan-Erzurum (2.bölge) ve Hatay (7.bölge) illeri ve çevresi için elde edildiği görülmüştür. Bu değerler sırasıyla b=0.75 ve b=0.71 dir. Van (4.bölge) ve Malatya (6.bölge) illeri ve yakın çevreleri için b=0.67'lik değer bulunmuştur (Şekil 4). Erzincan ve çevresi için belirlenen büyük b değeri bu bölgedeki sismik etkinliğin bir göstergesidir ve 27.01.2003 tarihinde Tunceli-Pülümür'de meydana gelen 6.2 büyüklüğündeki deprem bunu en iyi şekilde doğrulamaktadır. İnceleme alanındaki en düşük b değerleri ise b=0.55 ve b=0.57 dir. Bu değerler sırasıyla Van'ın kuzeyi (3.bölge) ve Van'ın güneydoğusuna (5.bölge) aittir. Doğu Anadolu'da 1881-2002 yılları arasında magnitüdü $5.0 \leq M_S \leq 7.0$ olan depremler kullanılarak 0.5 birim magnitüd aralığı seçilerek yapılan sismik risk tahminine göre, 1.bölgede, 100 yıl içerisinde magnitüdü $M_S \geq 7.0$ olan bir depremin oluşma olasılığı %74.4, 2.bölgede %69.9, 3.bölgede %51.9, 4.bölgede %48.3, 5.bölgede %51.5, 6.bölgede %50.6 ve 7.bölgede %51.0 olarak bulunmuştur. Aynı magnitüdteki depremlerin tekrarlanması için geçmesi gereken zaman 1.bölgede 73.43, 2.bölgede 83.19, 3.bölgede 136.57, 4.bölgede 151.73, 5.bölgede 138.32, 6.bölgede 141.60 ve 7.bölgede 140.04 yıl olarak bulunmuştur.

Sonuç olarak, Doğu Anadolu'nun karmaşık tektonizması sonucu bölgede olması muhtemel büyük bir depremin çok önemli boyutlarda can ve mal kaybına neden olabileceği açıktır. Dolayısıyla, bölgenin tektonik özelliklerinin ve olası aktif fayların iyi bir şekilde tanımlanması ve depremselliğin sürekli bir şekilde izlenmesi gerekir. Bu bölgede çok sayıda deprem potansiyeli yüksek aktif fayın yer alması Doğu Anadolu bölgesinde deprem ile ilgili çalışmaların arttırılmasını zorunlu hale getirmektedir.

KAYNAKLAR

1. ALSAN, E., TEZUÇAN, L. and BATH, M., 1975. An Earthquake Catalogue for Turkey for The Interval 1913-1970, Report Kandilli Obs., İstanbul and Uppsala Univ., Sweden.
2. ALPTEKİN, Ö., 1973. Focal Mechanism of Earthquakes in Western Turkey and Their Tectonic Implications, Ph.D. Thesis, New Mexico Inst. of Mining and Tech., Soccoro, New Mexico.
3. ALPTEKİN, Ö., 1978. Türkiye ve Çevresindeki Depremlerde Magnitüd-Frekans Bağıntıları ve Deformasyon Boşalımı, Doçentlik Tezi, K.T.Ü., Trabzon.
4. ALTINOK, Y., 1984. Semi-Markov Modelinin Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda Deprem Riskine Uygulanması, Jeofizik, 2, 44-58.
5. AMBRASEYS, N.N. and JACSON, J.A., 1981. Earthquake Hazard and Vulnerability in the Northeastern Mediterranean: The Corinth Earthquake Sequence of February-March 1981, Disaster 5, 355-368.

6. AYHAN, E., ALSAN, E., SANCAKLI, N. ve ÜÇER, S.B., 1987. Türkiye ve Dolayları Deprem Kataloğu 1881-1980, B.Ü. Kandilli Rasathanesi Gök ve Yer Bilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi, İstanbul.
7. CANITEZ, N., 1972. Yeni Kabuk Hareketlerine İlişkin Çalışmalar ve Kuzey Anadolu Fay Problemi, Kuzey Anadolu Fayı ve Deprem Kuşağı Sempozyumu, M.T.A. Enstitüsü, Ankara, 35-58.
8. DEWEY, J.W., 1976. Seismicity of Northern Anatolia, Bull. Seism. Soc. Am., 66, 843-868.
9. ERGİN, K., GÜÇLÜ, U. ve UZ, Z., 1967. Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (M.S. 11 yılından 1964 sonuna kadar), İ.T.Ü. Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü, 24, İstanbul.
10. EKŞİ, F., 1983. Kuzey Doğu Anadolu ve Kafkasya Bölgesinin Depremselliği, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
11. GENCOĞLU, S., 1972. Kuzey Anadolu Fay Hattının Sismisitesi ve Bu Zon Üzerindeki Sismik Risk Çalışmaları, Kuzey Anadolu Fayı ve Deprem Kuşağı Sempozyumu, M.T.A. Enstitüsü, Ankara.
12. GÜNDOĞDU, O. ve ALTINOK, Y., 1986. Türkiye ve Çevresi Deprem Veri Seti 1900-1986, İ.Ü. Mühendislik Fak., Jeofizik Müh.Bl. İstanbul.
13. GUTENBERG, B. and RICHTER, C.F., 1954. Seismicity of the Earth and Related Phenomena, Second Printed, Princeton University Press, Princeton.
14. KARNIK, V., 1968. Seismicity of the European Area, D. Reidel Publ. Com., Dordreed, Holland.
15. KARNIK, V., 1969. Seismicity of the European Area, Part 1, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Holland.
16. KENAR, Ö., OSMANŞAHİN, İ. and ÖZER, M.F., 1996. Seismicity and Tectonics of Eastern Anatolia, Bulletin of IISEE, 30, 59-76.
17. KETİN, İ., 1977. Genel Jeoloji, Cilt-1, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Yayını, İstanbul.
18. McKENZIE, D., 1972. Active Tectonics of the Mediterranean Region, Geophys. J.R. Astr. Soc., 30, 109-185.
19. OSMANŞAHİN, İ., 1983. Güneydoğu Anadolu'nun Depremselliği, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
20. OSMANŞAHİN, İ., EKŞİ, F. ve ALPTEKİN, Ö., 1986. Doğu Anadolu ve Kafkasya Bölgesinin Depremselliği ve Aktif Tektoniği, Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, 52, 5-41.
21. ÖCAL, N., 1968. Türkiyenin Sismisitesi ve zelzele Coğrafyası (1950-1960 yılları için Türkiye Zelzele Kataloğu), M.E.B. İst. Kandilli Rasathanesi, Sismoloji Yayınları, İstanbul.
22. ÖNCEL, A.O., ALPTEKİN, Ö. ve YÖRÜK, A., 1992. En Büyük Olasılık Yöntemi ile Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda Deprem Riskinin Belirlenmesi, Jeofizik, 6, 35-53.
23. ÖZER, M.F., 1983. Kuzey Anadolu Fayı'nın Doğu Kesiminin Depremselliği, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
24. PAPAZACHOS, B.C. and COMMINAKIS, P.E., 1982. A Catalogue of Earthquake in Greece and Surrounding Area for The Period 1901-1980, Univ. Of Thessaloniki, Geophys. Lab., 5, Greece.
25. PAPAZACHOS, B.C., KARAKAISIS, G.F., PAPADIMITRIOU, E.E. and PAPAIOANNOU, CH.A. 1997. The Regional Time and Magnitude Predictable Model and its Application to the Alpine-Himalayan Belt, Tectonophysics, 271, 295-323.
26. PINAR, N. ve LAHN, E., 1952. Türkiye Depremleri İzahlı Kataloğu, Bayındırlık Bakanlığı, 96.
27. SOYSAL, H., SİPAHİOĞLU, S., KOLÇAK, D. ve ALTINOK, Y., 1981. Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Kataloğu, Tübitak, TBAG 341, Ankara.
28. TABBAN, A. ve GENCOĞLU, S., 1975. Deprem ve parametreleri, Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, 11, 7-83.
29. 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.
30. ULUTAŞ, E. ve ÖZER, M.F., 2000. Markov Modeli Kullanılarak Çukurova Bölgesinin Deprem Tehlikesinin Belirlenmesi, Jeofizik, 14, 103-112,
31. WEEKS, J., LOCKNER, D. and BYERLEE, J., 1978. Change in b-values During Movement on Cut Surfaces in Granite, Bull. Seism. Soc. Am., 68, 333-341.