

ANTAKYA ve ÇEVRESİNİN DEPREMSELLİĞİ VE ODAK MEKANİZMASI ÇÖZÜMLERİ

Focal Mechanism Solutions and Seismicity for Antakya Region and Its Surrounding

Filiz ÖZTEMİR*, Altan NECLOĞLU** ve Günruh BAĞCI***

ÖZET

36.00-38.00° K enlemleri ve 35.00- 38.00° D boylamları arasında yer alan Antakya ve çevresi DAFZ (Doğu Anadolu Fay Zonu)'nun sismik bakımdan en etkin bölgesidir.

İnceleme bölgesinin sismisitesi ile tektoniği arasındaki ilişkinin kurulabilmesi için magnitüdüleri $M \geq 4$ olan 12 depremin P dalgası ilk hareket yönleri kullanılarak odak mekanizması çözümleri yapılmıştır. Yapılan mekanizma çözümlerinin bölgenin mevcut tektoniği ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Bölgenin sismik riskini belirlemede önemli parametreler olan depremlerin yıllara göre oluş sayıları, açığa çıkan enerji miktarları ve sismotektonik kat-sayı hesaplanmıştır.

Antakya ve çevresinin depremselliği, magnitüdü $M \geq 4$ olan depremlerden yararlanılarak incelenmiştir. En Küçük Kareler Yöntemi kullanılarak magnitüd-frekans ilişkisindeki a ve b parametreleri hesaplanmıştır. Bulunan bu değerlerden yararlanılarak saptanan, belirli büyüklükteki ve daha fazla olan depremlerin gelecekte oluşma ihtimalleri ve dönüş periyotları kullanılarak Antakya'nın deprem riski belirlenmiştir. Buna göre inceleme alanında büyük magnitüdümlü bir depremin oluşma olasılığının çok az olduğu fakat çevresindeki DAFZ gibi aktif zonlarda meydana gelebilecek büyük magnitüdümlü depremlerden önemli ölçüde etkilenileceği düşünülmektedir.

ABSTRACT

Antakya and provinces are located between 36.00- 38.00° N longitudes and 35.00- 38.00° E latitudes are the most effective area of the East Anatolian Fault Zone (EAFZ).

The focal mechanisms of 12 earthquakes with magnitudes $M \geq 4.0$ were obtained using the P wave first motion directions. These solutions were used to establish the relation between the seismicity and the tectonism of the region.

Some useful parameters for earthquake hazard of the region such as number of earthquakes per year, energy release and b value were calculated.

The seismicity of Antakya and its surrounding was investigated by using the earthquakes, which had magnitude larger than $M \geq 4.0$. The earthquake hazard of Antakya has been determined using a and b parameters that are calculated from the relation between magnitude and frequency of earthquakes by the use of least square method. Consequently, the probability of occurrence of large earthquakes seems to be very low. However, Antakya region may be affected by the large earthquakes generated by the big faults, such as the East Anatolian Fault.

* İller Bankası, Makina ve Sondaj Dairesi, Ankara

** Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Jeofizik Müh. Bölümü

*** Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü

GİRİŞ

Alp- Himalaya deprem kuşağı üzerinde bulunan Türkiye ve yakın çevresinin depremselliği ve tektoniği bugüne kadar birçok araştırmaya konu olmuş ve yer bilimcilerin dikkatini çekmiştir. 36.00°- 38.00° K enlemleri ve 35.00°-38.00° D boylamları arasında yer alan Antakya ve çevresinde bu kuşak üzerinde bulunmaktadır.

İnceleme bölgesi G-K yönlü ÖDFZ (Ölü Deniz Fay Zonu), GB'dan gelen ve İskenderun Körfezi'nden geçen Kıbrıs Yayısı ve B-D uzanımlı Bitlis Bindirme Kuşağının birleştikleri ve tektonik aktivitenin sürekli olarak meydana geldiği bir yöredir. Yörenin sismik aktivitesine Arap ve Afrika levhalarının kuzeye doğru olan bağlı hareketleri neden olmaktadır. Dolayısıyla Antakya ve çevresi bu kuşak üzerinde jeotektonik olarak oldukça önemli bir konumda bulunmaktadır.

İsrail-Lübnan-Suriye-Türkiye üzerinden geçen ÖDFZ, Antakya il sınırları içerisinde itibaren DAFZ adını almakta ve KD yönünde uzanarak KAFZ (Kuzey Anadolu Fay Zonu) ile Karlıova civarında birleşmektedir. Antakya ve çevresi yaklaşık 550 km uzunluğunda, sol yönlü doğrultu atılımı ve Karlıova-İskenderun arasında uzanan DAFZ'nun sismik bakımdan en etkin bölgeleridir.

Bölgede başlıca iki büyük fay hattı vardır. Bunlardan biri, Hassa-Kırıkhan-Antakya-Samandağı'nı izleyerek Akdeniz'e uzanır. Diğer ikinci fay ise, Antakya'nın doğusundan geçerek Reyhanlı üzerinden ÖDFZ ile birleşir.

Antakya İli coğrafik olarak Türkiye'nin en güneyinde yer almaktadır. Tarihsel dönemlerde bölgede yıkıcı ve çok fazla can kaybının olduğu şiddetli depremler meydana gelmiştir ve bölge tarihsel dönemde sismik bakımdan bugüne göre çok daha aktif olmuştur.

İNCELENEN BÖLGENİN TEKTONİK KONUMU ve SISMOTEKTONİĞİ

Antakya İlinin ortasında Antakya-İslahiye arasında yaklaşık K-G yönlü Amik Ovası yer alır. Amik Ovası'nın batısında Toros Sıradağları'nın doğu kolu olan Amanos Dağları ova ile sahili bir duvar gibi birbirinden ayırır (Şekil 1). Amanos Dağları'nda ve Amik Ovası'nın altında genç volkanitler ve bazaltlar bulunmaktadır. Bunlar iyi gelişmiş çatlak sistemlerine sahiptirler. Bazaltlar karadaki faylar genç boyunca ortaya çıkmışlardır (Bilgin 1959, Ardos 1984). Amik Ovası tektonizmaya bağlı olarak çok fazla faylanmıştır (D.S.İ. Asi Raporu 1975). Bölgede genel bir alçalmadan sonra meydana gele-

len yükselme sırasında oluşan tansiyon çatlaklarından Pleistosen yaşlı lavlar açığa çıkmıştır (Yüngül 1951). Antakya bölgesindeki bazaltik erüpsiyonlar horst-graben kırık sistemine bağlı olarak gelişmiştir (Brinkmann 1976). Karışık bir jeolojik ve tektonik yapıya sahip olan inceleme bölgesi Kretase ve Eosen sonu faylanmalarla çökmüş ve bu çökme yavaş bir biçimde devam etmiştir. Çöken kısma önce Miyosen sonra Pliyosen denizleri sokulmuştur.

Karlıova-Bingöl fayının GB doğrultusunda devam ederek Hazar Gölü kenarından, Gölbaşı'ndan ve K. Maraş'ın yaklaşık 15 km GD'sundan geçerek Amik Ovası'na ve oradan da Türkiye sınırlarını aşarak Teberya Gölü-Ürdün Nehri-Lut Gölü üzerinden Kızıldeniz'e kadar uzanan fay zonunun Türkiye sınırları içerisinde kalan kısmına DAFZ adı verilmiştir (Arpat ve Şaroğlu 1972, 1975). Eğim atımlı faylar Amanos Dağları doğu kenarında (Amik Ovası çevresinde), Antakya-K. Maraş arasında ve Mardin Derik güneyinde ve bunun kuzey ve güney yönündeki uzantılarında graben, Doğu Toroslarda ise KD ve G yönünde bindirmeler meydana gelmiştir.

Antakya-K. Maraş arası Türkiye'de yıkıcı depremlerin olduğu birinci derecede deprem bölgeleridir. Ayrıca, İskenderun Körfezi ve Amik Ovası kenarlarında da şiddetli depremler olmuştur (Ketin 1968).

ALETSEL ve TARİHSEL DÖNEM DEPREMLERİ

İnceleme bölgesinde M.Ö. 148-M.S. 1900 yılları arasında oluşmuş en şiddetli deprem Antakya'nın içinde 245 yılında meydana gelmiş olup şiddeti $I_0 = X(M = 7.5)$ 'dur (Çizelge 1) (Şekil 2). Aletsel dönemde (1900-1998) oluşmuş depremlerin en büyük magnitudü olanı ise Kıbrıs Adası'nın GD'da, 29. 09. 1981 tarihinde denizin içinde meydana gelmiş olup magnitudü $M = 6.5$ 'dir.

1900-1998 yılları arasında meydana gelmiş depremlerin yıllara göre dağılımına baktığımızda ise en fazla depremin 1971 ve 1986 yıllarında meydana geldiği görülmektedir (Şekil 3).

Tarihsel dönem deprem verilerinin gözlemsel dış merkezleri bölgenin kırık haritası üzerine işaretlendiğinde fay zonu boyunca düzgün bir dağılım göstermemekte ve Halep, Lazkiye, Kilis ve Antakya'da kümeler oluşturmaktadır (Şekil 4).

Aletsel dönem depremlerinin dış merkezleri bölgenin kırık haritası üzerine işaretlendiğinde ise aşırı kümelermelerin olmadığı ve bölgedeki tektonik yapılarla uyumlu olduğu görülmektedir (Şekil 5).

Çizelge 1. İnceleme alanında tarihsel depremler

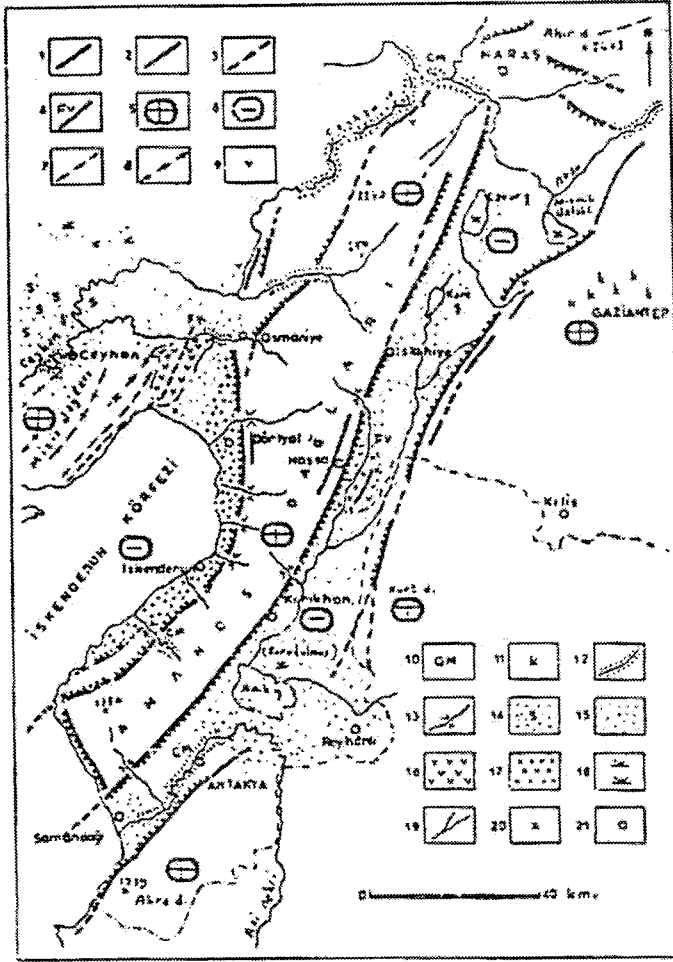
Table 1. Historical earthquakes.

NO	TARİH	AY ve GÜN	SAAT	ENLEM	BOYLAM	YER	ŞİDDET
1	MÖ 148			36,25	36,10	Antakya	(VIII)
2	MÖ 131			37,05	36,60	İslahiye	(VII)
3	MÖ 69			36,25	36,10	Antakya	(IX)
4	MÖ 37			36,25	36,10	Antakya	(VIII)
5	37			36,24	36,10	Antakya	(VIII)
6	79			36,25	36,10	Antakya	(VII)
7	110			36,25	36,10	Antakya, Samandağ	(VIII)
8	115	12 13		36,25	36,10	Antakya ve Yöresi	(IX)
9	117			36,25	36,10	Antakya	(VII)
10	128			37,30	36,80	İslahiye, Maraş	(VIII)
11	220			36,25	36,10	Antakya	(VIII)
12	245			36,25	36,10	Antakya	(X)
13	272			36,25	36,10	Antakya	(VIII)
14	290	05 14		37,06	35,80	Ceyhan,Tarsus,İçel	(VIII)
15	334			36,25	36,10	Antakya, Beyrut, Magosa	(IX)
16	341			36,25	36,10	Antakya	(VIII)
17	345			36,25	36,10	Antakya	(VII)
18	363			36,25	36,10	Antakya	(V)
19	387			36,25	36,10	Antakya	(VI)
20	396			36,25	36,10	Antakya	(VIII)
21	458	09 14		36,25	36,10	Antakya ve Kuzey Suriye	(IX)
22	506	09 10	4	36,25	36,10	Antakya,Samandağ	(IX)
23	517			37,20	35,90	Anazarba-Adana	(VIII)
24	518	05 ?		36,88	36,60	Antakya	(VIII)
25	524			37,20	35,90	Anazarba-Adana	(VIII)
26	526	05 29		36,25	36,10	Antakya, Samandağ	(IX)
27	526	10 04		36,25	36,10	Antakya	(VI)
28	527	03 ?		36,25	36,10	Antakya	(VI)
29	529	11 29		36,25	36,10	Antakya ve yöresi	(IX)
30	553			36,25	36,10	Antakya	(VII)
31	557			36,25	36,10	Antakya	(VII)
32	561			37,20	35,90	Anazarba,Antakya	(VIII)
33	579			36,25	36,10	Antakya ve yöresi	(VII)
34	581			36,25	36,10	Antakya	(VI)
35	583			36,25	36,10	Antakya	?
36	587	09 30		36,25	36,10	Antakya	(IX)
37	715			36,50	37,90	M'Ambiç-Suriye	(IX)
38	716			36,25	36,10	Antakya	(VII)
39	775			36,25	36,10	Antakya, Halep	(VII)
40	791			36,20	37,10	Halep	(VIII)
41	835			36,25	36,10	Antakya	(VII)
42	859	04 08		36,25	36,10	Antakya,Lazkiye,Şam,Hama	(IX)
43	867			36,25	36,10	Antakya	(IX)
44	963	07 22		36,60	37,00	Halep-Kuzey Suriye	(VIII)
45	972			36,25	36,10	Antakya	(VII)

Çizelge 1. İnceleme alanında tarihsel depremler (devam).

Table 1. Historical earthquakes.

NO	TARİH	AY ve GÜN	SAAT	ENLEM	BOYLAM	YER	ŞİDDET
46	1042			36,50	37,90	MÂmbiç-Suriye	(VIII)
47	1053			36,25	36,10	Antakya	(VIII)
48	1072			36,25	36,10	Antakya	(VIII)
49	1089			36,50	37,90	MÂmbiç-Suriye	(VIII)
50	1091	9		36,25	36,10	Antakya ve Urfa	(VII)
51	1109			36,50	37,90	MÂmbiç, Antakya	(VIII)
52	1114	08 10		36,50	35,50	Ceyhan, Antakya, Maraş	(IX)
53	1114	11 13		36,25	36,10	Antakya	?
54	1114	11 29		37,60	36,90	Maraş, Urfa, Harran	(VIII)
55	1138	09 08		36,30	37,20	Halep, Mezopotamya	(VIII)
56	1139			36,20	37,10	Halep	?
57	1190	9		36,25	36,10	Antakya ve geniş yöresi	(VIII)
58	1204			36,20	37,10	Halep, Tyr	(VIII)
59	1212			36,25	36,10	Antakya	(VI)
60	1222			36,74	37,10	Kilis	(VI)
61	1268			37,35	35,80	Kozan, Ceyhan ve yöresi	(IX)
62	1719	3		36,20	37,10	Halep ve Kuzey Suriye	(VIII)
63	1726			36,25	36,10	İskenderun ve yöresi	(VI)
64	1737			36,25	36,10	Antakya	(VII)
65	1759	06 10		36,20	37,10	Halep-Suriye	?
66	1759	11 26		36,20	37,10	Halep-Suriye	?
67	1759	11 28		36,20	37,10	Halep-Suriye	?
68	1764			36,20	37,10	Halep-Suriye	?
69	1778	05 05		36,20	37,10	Halep	?
70	1783	12 14		36,20	37,10	Halep	(V)
71	1795	12		36,20	37,10	Halep	(VII)
72	1822	08 13		36,40	36,20	Antakya, İskenderun, Kilis, Halep	(IX)
73	1822	09 02		36,20	37,10	Halep	?
74	1830			36,20	37,10	Halep	(V)
75	1831	02 22		36,20	37,10	Halep	(VII)
76	1844	09 19		36,20	37,10	Halep-Suriye	?
77	1844	09 30		36,20	37,10	Halep-Suriye	(V)
78	1846	12 03		36,20	37,10	Halep	(VI)
79	1847			36,60	36,10	İskenderun	(VII)
80	1854			36,20	36,60	Antakya, Samandağ, Halep	(VII)
81	1855			37,60	35,75	Ceyhan-Adana	(VI)
82	1872	04 02	07 45	36,25	36,10	Antakya, Samandağ	(IX)
83	1872	05 15	Gece	36,20	36,10	Antakya	(VII)
84	1873	06 02		36,50	37,20	Nisiros Ad.-Ege D.	(VII)
85	1873			36,10	35,90	Samandağ - Antakya	(VI)
86	1875	08 21		36,20	36,10	Antakya Yöresi	(VII)
87	1884	06 06		36,30	37,20	Halep ve Kuzey Suriye	(VII)
88	1894			36,20	36,10	Antakya Yöresi	(V)
89	1896	1		37,00	35,30	Adana ve Mersin Yöreleri	(VI)



1. Tekrar oynamış genç faylar
2. Fay diklikleri
3. Olası faylar
4. Volkanizmaya neden olmuş genç faylar
5. Genç yükselimler
6. Grabenler
7. Belirlenen antiklinal eksenleri
8. Belirlenen senklinal eksenleri
9. Fay vadileri
10. Gömük menderesler
11. Genç yükselimle oluşan karst alanı
12. Yarma vadiler
13. Genç faylanmayla oluşan asılı vadiler
14. Çukurova subsidans havzaları
15. Yeni alüvyonlar
16. Bazaltlar
17. Piedmont ovası
18. Bataklıklar
19. Akarsular
20. Doruklar
21. Yerleşim alanı

Şekil 1. Hatay İlinin morfotektonik haritası (Ardos 1984).

Figure 1. Morphotectonic map of Antakya (after Ardos 1984).

İNCELEME BÖLGESİNİN EPİSANTR DAĞILIMI

1900-1998 yılları arasında inceleme bölgesinde meydana gelmiş ve magnitüdüleri $M \geq 4$ olan depremlerin dağılımları Şekil 5'de gösterilmiştir. Bu depremlerden odak mekanizması çözümlü yapılmış olanların oluş zamanları, enlem ve boylamları, derinlikleri vb bilgileri International Seismological Center (ISC) tarafından yayınlanan Regional Catalogue of Earthquakes, U.S. Geological Survey'in Preliminary Determination of Epicenters (PDE) aylık listeleri ve Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi (IK) listelerinden derlenmiş ve Çizelge 2'de verilmiştir.

İnceleme bölgesi içerisindeki depremlerin dış merkezleri bölgenin kırık haritası üzerine işaretlendiğinde bunların bölgedeki tektonik yapılarla uyumlu oldukları görülmektedir. Bölge içindeki depremlerin çoğunluğunun DAFZ çevresinde olduğu görülmektedir. Deprem oluşumunun yoğun olduğu diğer yerler ise Karataş- Os-

maniye Fay Zonu, İskenderun Körfezi civarı ve Karasanti- Karaisalı Fay Zonu çevresidir.

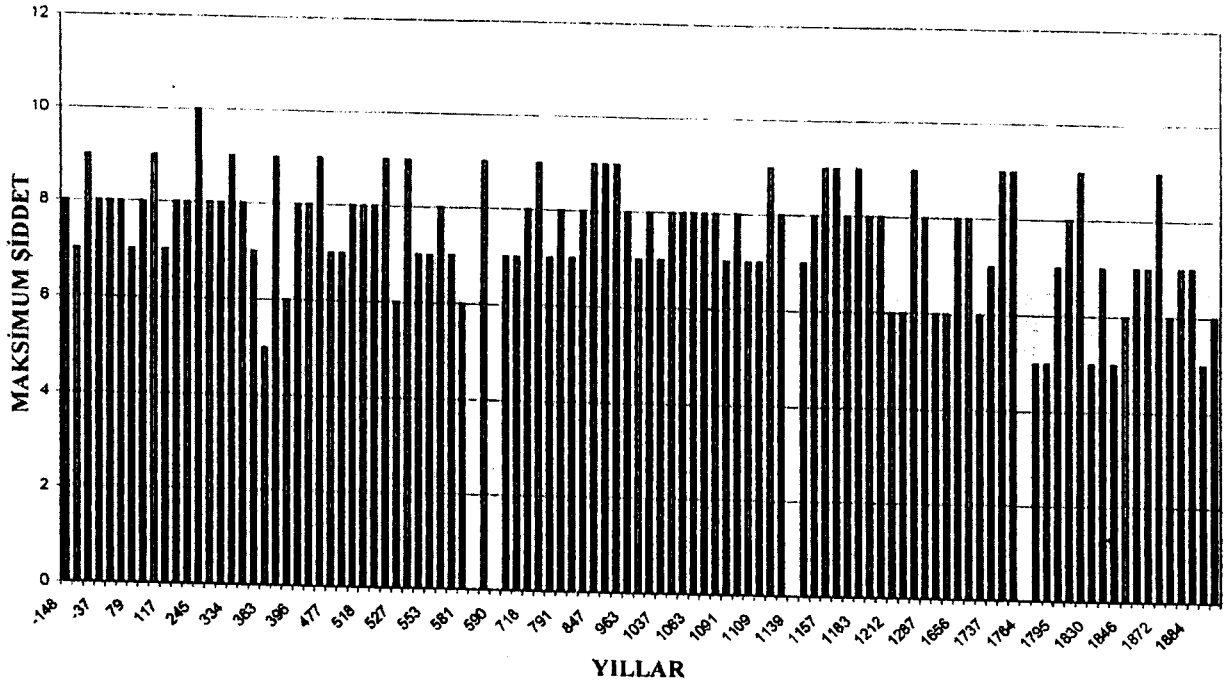
DEPREMLERLE AÇIĞA ÇIKAN ENERJİ

İnceleme alanında oluşan depremlerden açığa çıkan enerji miktarları Bath (1960) tarafından yüzey dalgası magnitüdü için geliştirilmiş

$$\text{Log}E = 1.44 M_s + 12.24$$

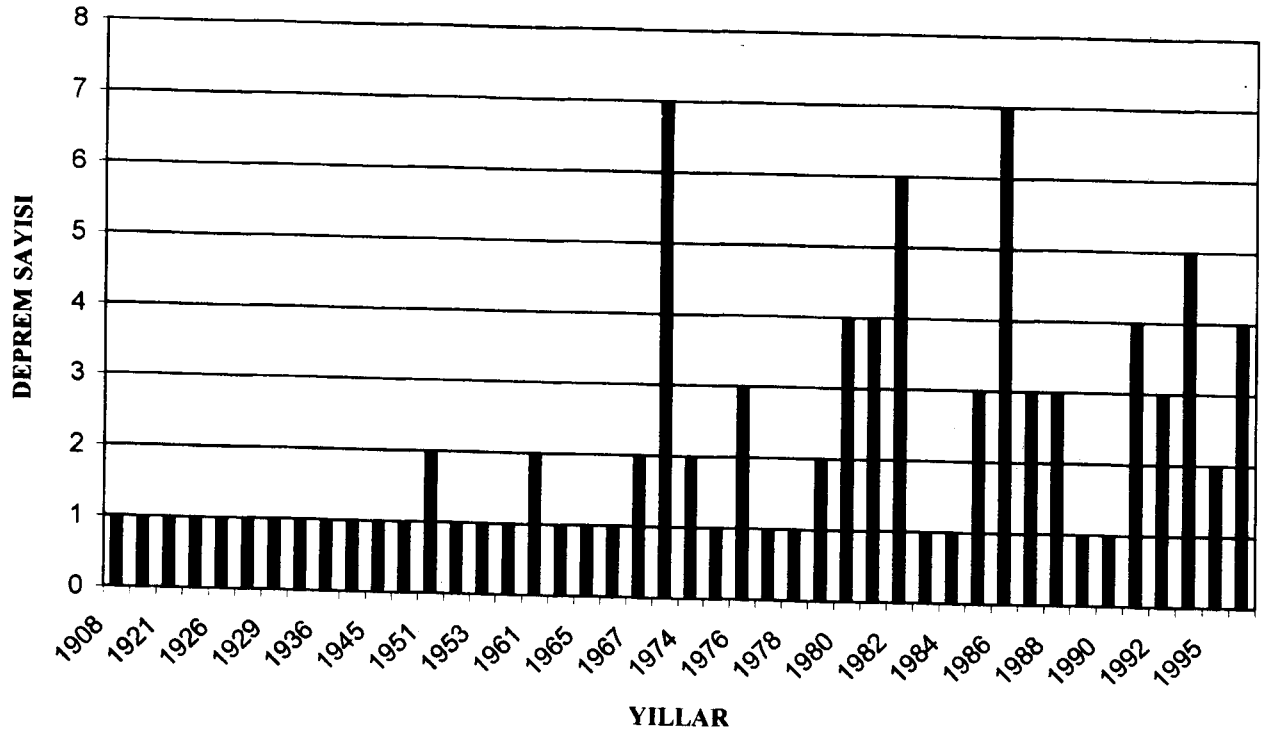
eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır (Bath 1960).

Depremlerden açığa çıkan enerjinin yıllara göre dağılımı Şekil 6'da gösterilmiştir. Buna göre en fazla deprem oluşumunun 1971 ve 1986 yıllarında (Şekil 3) olmasına rağmen enerji boşalımının en fazla olduğu yıl 1945 yılı olup açığa çıkan enerji miktarı 7.6×10^{20} Erg'dir.



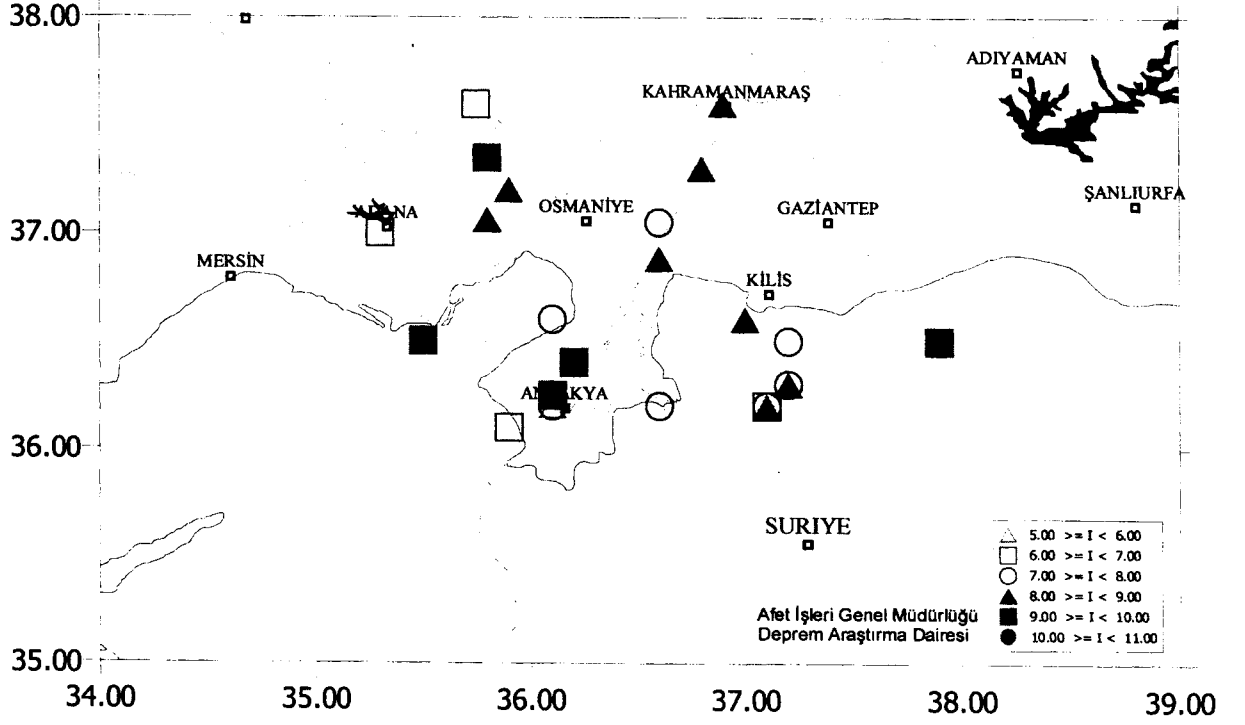
Şekil 2. Tarihsel depremlerin şiddet-yıl ilişkisi.

Figure 2. Intensity-year relationship.



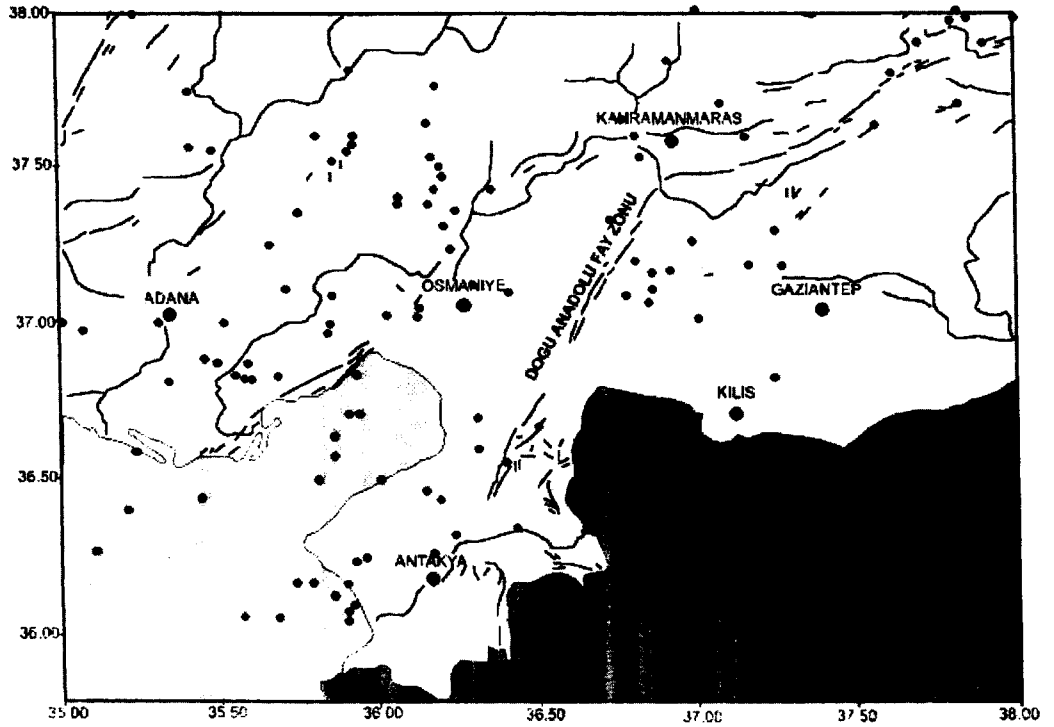
Şekil 3. Deprem sayılarının yıllara göre değişimi (1900-1998)

Figure 3. Number of earthquake in the years (1900-1998)



Şekil 4. Tarihsel depremlerin dış merkez haritası.

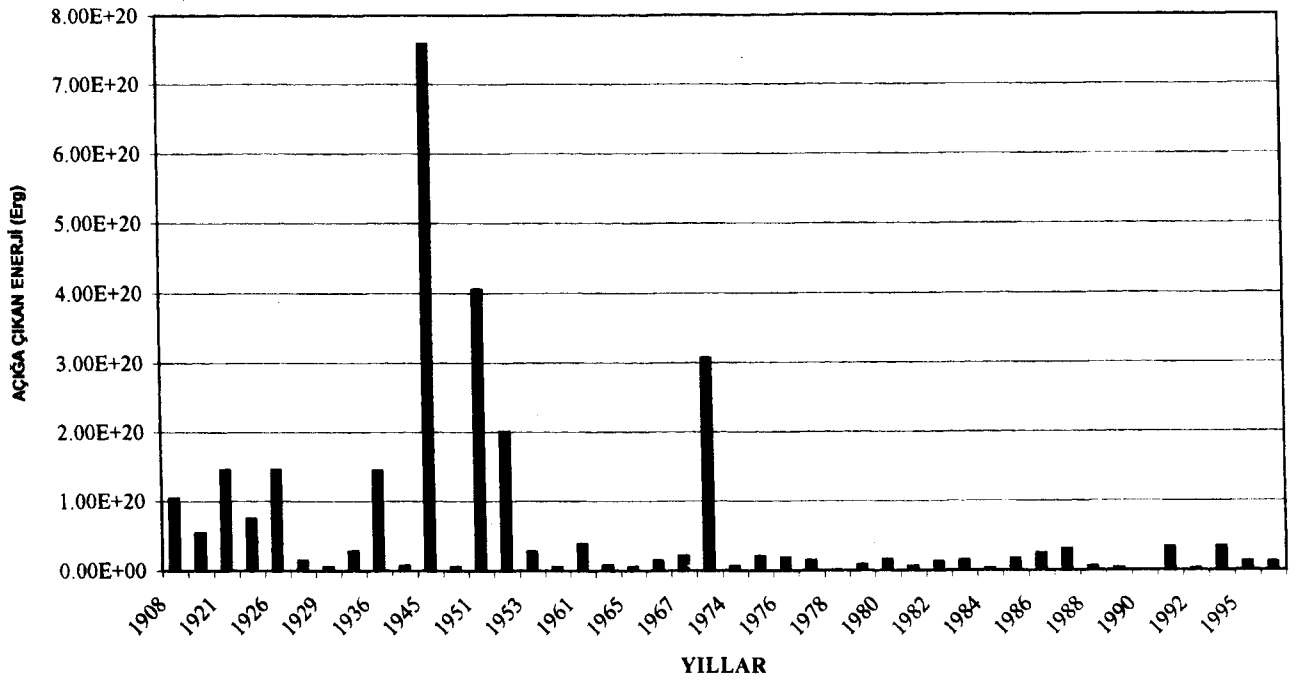
Figure 4. Epicenter map of the historical earthquakes.

Şekil 5. Bölgenin Depremselliği (1900-1998 $M \geq 4.0$).Figure 5. Seismicity in the region (1900-1998 $M \geq 4.0$).

Çizelge 2. Odak mekanizma çöztümleri için kullanılan depremler.

Table 2. Earthquakes for focal mechanism solutions data.

Sıra	Tarih	Saat	Enlem	Boylam	Derinlik	M _s
1	01 01 1975	00 30 01.3	36.67	36.49	35	4.9
2	26 04 1979	09 28 01.1	37.54	36.16	45	4.7
3	28 12 1979	03 09 08.1	37.52	35.85	47	5.2
4	02 01 1980	12 52 27.0	36.56	36.38	32	4.7
5	24 11 1983	00 14 08.9	37.05	36.12	37	4.7
6	21 12 1985	05 05 36.5	37.55	35.47	33	4.6
7	03 08 1986	01 33 24.5	37.19	37.16	39	5.1
8	24 06 1989	03 09 58.3	36.71	35.93	46	5.0
9	26 09 1991	20 24 04.0	37.43	36.35	10	4.9
10	03 01 1994	21 00 31.3	37.00	35.84	26	5.1
11	10 02 1994	06 15 18.2	36.97	35.83	17	5.0
12	30 07 1994	10 37 45.1	37.50	36.19	10	4.7



Şekil 6. 1900- 1998 yılları arasında oluşan depremlerden açığa çıkan enerjilerin yıllara göre değişimi.

Figure 6. Energie-frequency relationship in the period 1900-1998.

MAGNİTÜD- FREKANS İLİŞKİSİ

Depremlerin oluş sayıları magnitüdün fonksiyonu olarak incelendiğinde genellikle doğrusal bir ilişki olduğu görülür. Magnitüd-frekans ilişkisi olarak tanımlanan bu doğrusal ilişki,

$$\text{LogN} = a - bM$$

olarak geliştirilmiş olup, deprem oluşumunun fiziği ile doğrudan ilişkisi olması sebebiyle depremselliğin belirlenmesi çalışmalarında oldukça önemli bir yere sahiptir (Gutenberg ve Richter 1954).

Burada N birikimli deprem sayısını, M magnitüdü göstermektedir. a ve b ise sabit katsayılardır. a katsayısı, incelenen bölgenin büyüklüğüne, gözlem süresine ve gözlem süresindeki deprem etkinliğine bağlı olarak değişir. b katsayısı ise sismotektonik parametredir ve incelenen bölgenin tektonik özelliklerine bağlı olarak değişir. b değerindeki değişimler, sismotektonik bölgeleme ve depremlerin önceden belirlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır. Weeks ve diğ. (1978), tarafından kayalar üzerinde yapılmış çalışmalar b katsayısının değerinde depremlerden önce azalma kaydedildiğini göstermiştir. Yapılan araştırmalara göre büyük b katsayısı enerji birikimini, küçük b katsayısı ise enerji boşalmasını göstermektedir.

Antakya ve çevresindeki magnitüd-frekans ilişkisinin belirlenmesi için a ve b parametrelerinin hesaplanmasında En Küçük Kareler Yöntemi (EKKY) kullanılmıştır. Hesaplamalar için magnitüdü $M_s \geq 4$ olan depremler dikkate alınmıştır. 0.1 birim magnitüd aralıkları ile sıralanan depremlerin oluş sayıları ve normal frekans değerleri Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3'deki değerler kullanılarak, $\text{LogN} = 6.57 - 1.07M$ olarak bulunmuş ve ilişki Şekil 7'de gösterilmiştir.

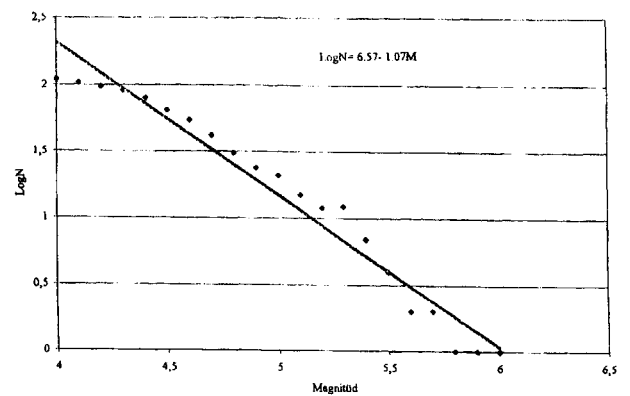
POISSON MODELİ

Deprem oluşumunu modellemekte en çok kullanılan model Poisson modelidir. Bu modelde, deprem oluşumunun bir Poisson dağılımı olduğu kabul edilmekte ve deprem olma olasılığı (1) nolu bağıntı ile ifade edilmektedir. Böyle bir modelde, kümülatif frekans dağılımı, yani t zaman aralığında N veya daha az deprem bulunma olasılığı,

Çizelge 3. Magnitüd-Deprem Sayıları.

Table 3. Magnitude-Number of Earthquake.

M (Magnitüd)	N	TopN	LogN
4.0	6	110	2.041
4.1	7	104	2.017
4.2	6	97	1.987
4.3	11	91	1.959
4.4	15	80	1.903
4.5	10	65	1.813
4.6	13	55	1.74
4.7	11	42	1.623
4.8	7	31	1.491
4.9	3	24	1.38
5.0	6	21	1.322
5.1	3	15	1.176
5.2	2	12	1.079
5.3	2	10	1.090
5.4	1	8	0.845
5.5	3	7	0.602
5.6	2	4	0.301
5.7	0	2	0.301
5.8	1	2	0
5.9	0	1	0
6.0	1	1	0



Şekil 7. Magnitüd- frekans ilişkisi ($M \geq 4.0$).

Figure 7. Magnitude-Frequency relationship ($M \geq 4.0$).

$$F(N, t) = \sum_{\lambda=0}^N \frac{t^\lambda}{k!} e^{-t\lambda} \quad (1)$$

ile verilir. Poisson dağılımında deprem oluşumları arasındaki zamanlar negatif üstel dağılımı gösterirler.

$$P(t) = -\lambda e^{-\lambda t} dt \quad (2)$$

Burada P, iki deprem arasındaki verilen bir zaman aralığının, (t, t+dt) zaman aralığı içerisinde düşme olasılığıdır. Buna karşılık gelen kümülatif dağılım fonksiyonu,

$$F(t) = 1 - e^{-t\lambda} \quad (3)$$

dir. F(t), iki deprem arasındaki verilen bir zaman aralığının t veya daha az olma olasılığıdır. Poisson modeline göre bir sonraki depremin oluşması için geçen bekleme zamanının dağılımı, bir önceki depremin oluşundan itibaren geçen zamandan etkilenmez ve istatistik veriler Poisson modelinin büyük depremler için geçerli olduğunu göstermektedir. Verilen bir zaman diliminde, magnitüdüleri M_1 değerinden büyük veya ona eşit olan depremlerin yıllık ortalama sayısı $n(M \geq M_1)$ (Tutsal 1976) ve sismik risk değerleri hesaplanabilmektedir (Gençoğlu 1972, Tabban ve Gençoğlu 1975). Hesaplanan depremsellik parametreleri Çizelge 4'de gösterilmiştir. Antakya

Çizelge 4. Depremsellik parametreleri.

Table 4. Seismicity parameters.

a	b	a'	a ₁	a ₁ '
6.57	1.07	6.178	4.583	4.196

ve çevresinin sismik risk değerleri,

$$RM) = 1 - e^{-n(M)T} \quad (4)$$

bağıntısından bulunabilmekte ve $n(M)$ değerlerinden dönüş periyodu yıl olarak aşağıdaki bağıntı kullanılarak hesaplanabilmektedir,

$$Q = \frac{1}{n(M)} \quad (5)$$

Hesaplanan sismik risk değerleri Çizelge 5'te verilmiştir. Bu çizelgeden, magnitüdü $M=5$ veya daha büyük olan bir depremin 30 yıllık bir süre içinde olma ihtimali % 88, dönüş periyodu ise 14 yıl olarak, $M=6$ veya daha büyük olan bir depremin 30 yıllık bir süre içinde olma ihtimali % 16 ve dönüş periyodu da 167 yıl olarak bulunmuştur.

Çizelge 5. Sismik risk değerleri.

Table 5. Seismic risk parameters.

M	N(M)	DEPREM OLUŞUM OLASILIKLARI							DÖNÜŞ PERİYODU
		10	20	30	40	50	75	100	
5	0.0702	0.50	0.75	0.88	0.94	0.97	0.99	1.00	14.3
5.5	0.0205	0.19	0.34	0.46	0.56	0.64	0.78	0.87	48.9
6	0.0060	0.06	0.11	0.16	0.21	0.26	0.36	0.45	167.4
6.5	0.0017	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.12	0.16	573.9
7	0.0005	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	1967.3
7.5	0.0001	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	6743.3

ODAK MEKANİZMASI ÇÖZÜMLERİ

Depremler ile tektonik olaylar arasında nasıl bir ilişkinin varolduğu içinde bulunduğumuz yüzyılın başlarından beri deprembilimcilerin en önemli uğraşlarından biri olmuştur.

İlk kez B. Koto tarafından 1891'de Japonya'da meydana gelen Mino-Owari depremi ile sismik etkinlik ile faylanmanın birbiri ile yakın ilişki içinde oldukları fikri ortaya konulmuştur (Richter 1958). Reid (1910), 1906 yılında San Francisco depreminden önce ve bu depremden sonra San Andreas Fay Zonunda yaptığı jeodezik ölçümlere dayanarak depremlerin ve fayların oluşum mekanizmalarını açıklayan "Elastik Rebound" teorisini ortaya atmıştır. Bu teoriye göre depremlere neden olan enerji kabukdaki bloklarda biriken elastik deformasyon enerjisidir. Eğer bloklarda daha önceden oluşmuş faylar yoksa enerji kabuğu oluşturan kayaçların makaslama stresini aşana kadar yer kabuğu içinde birikmeye devam eder. Biriken enerjinin makaslama stresini aştığı anda ise kopma ve ani bir yer değiştirme yani, faylanma oluşur. Eğer bu olay daha önce oluşmuş bir fayın üzerinde geliyorsa makaslama stresinin fayın iki kanadı arasındaki sürtünme kuvvetini aştığı anda ani bir yer değiştirme meydana gelir. Yırtılma sırasında, direncin yenildiği anda birikmiş olan elastik deformasyon enerjisi açığa çıkar ve fayın iki kanadı da deformasyonun olmadığı duruma geri döner. Açığa çıkan enerjinin bir kısmı ısıya dönüşürken bir kısmı da odak bölgesindeki kayaçların ezilme ve kırılması sırasında harcanır. Büyük bir kısmı da elastik deprem dalgaları halinde uzak mesafelere kadar yayılırlar. Bu nedenledir ki deprem dalgaları, depremin kaynağı hakkında önemli bilgiler taşırlar.

Deprem dalgalarının ışınım biçimlerini izlemek suretiyle depremin odak mekanizmasını çözümlenmek mümkündür. Odak mekanizması çözümlerinde sismik dalgaların ilk hareket bilgilerinden yararlanılır. Bu araştırmada depremlerin odak mekanizmalarının incelenmesinde P dalgası ilk hareket bilgisi kullanılmıştır.

Bir bölgede meydana gelen depremlerin odak mekanizmalarını tek tek çözümlenmek suretiyle bu depremlere ait elde edilecek dinamik odak parametreleri ile fay düzlemi çözümlerinin bir arada ele alınarak sistematik bir şekilde değerlendirilmesi ve korelasyonu o bölgenin güncel tektoniğinin ve bunun mekanizmasının aydınlatılması için son derece elverişli bir yöntem oluşturur.

İnceleme bölgesinde en son 22 Ocak 1997 tarihinde magnitüdü $M= 5.5$ olan bir deprem meydana gelmiştir.

Deprem Türkiye'de Adana, Malatya, Mersin ve Gaziantep'te kuvvetli şekilde hissedilirken, Suriye, Lübnan ve Kıbrıs Adası'nda da hissedilmiştir (Şekil 8). Bölgede oluşmuş ve magnitüdü $M_s \geq 4$ olan 12 ana depremin P-dalgası ilk hareket yönleri kullanılarak odak mekanizması çözümleri yapılmıştır (Şekil 8) (Çizelge 6). Şekil 9'da ise inceleme bölgesinde MSS görüntüsünde gözlemlenen tektonik hatlar görülmektedir.

01. 01. 1975 tarihinde Hassa- Kırıkhan arasında meydana gelmiş depremin odak mekanizması çözümü normal bileşene sahip sol yönlü doğrultu atımlı fay olarak bulunmuştur.

26. 04. 1979 tarihinde Kesiksuyu Barajı civarında meydana gelmiş olan bu depremin odak mekanizması çözümü normal bileşene sahip sağ yönlü doğrultu atımlı fay olarak bulunmuştur .

28. 12. 1979 Kozan-Adana' da meydana gelmiş olan depremin mekanizma çözümü ters faylanma olarak bulunmuştur.

02. 01. 1980 tarihinde DAFZ üzerinde meydana gelmiş olan bu depremin mekanizma çözümü ters bileşene sahip sol yönlü doğrultu atımlı faylanma olarak bulunmuştur.

24. 11 1983 Osmaniye-Ceyhan depremi için yapılmış olan mekanizma çözümü normal bileşene sahip sol yönlü doğrultu atımlı faylanma olarak bulunmuştur.

21. 12. 1985 tarihinde Karaisalı Fay Zonu civarında meydana gelmiş olan bu depremin odak mekanizması çözümü normal bileşene sahip sağ yönlü doğrultu atımlı faylanma olarak bulunmuştur.

03. 08. 1986 da Gaziantep depremi için yapılmış olan mekanizma çözümü normal bileşene sahip sol yönlü doğrultu atımlı faylanma olarak bulunmuştur.

24. 06. 1989 de İskenderun Körfezi' nde meydana gelmiş olan depremin mekanizma çözümü sol yönlü doğrultu atımlı faylanma olarak bulunmuştur.

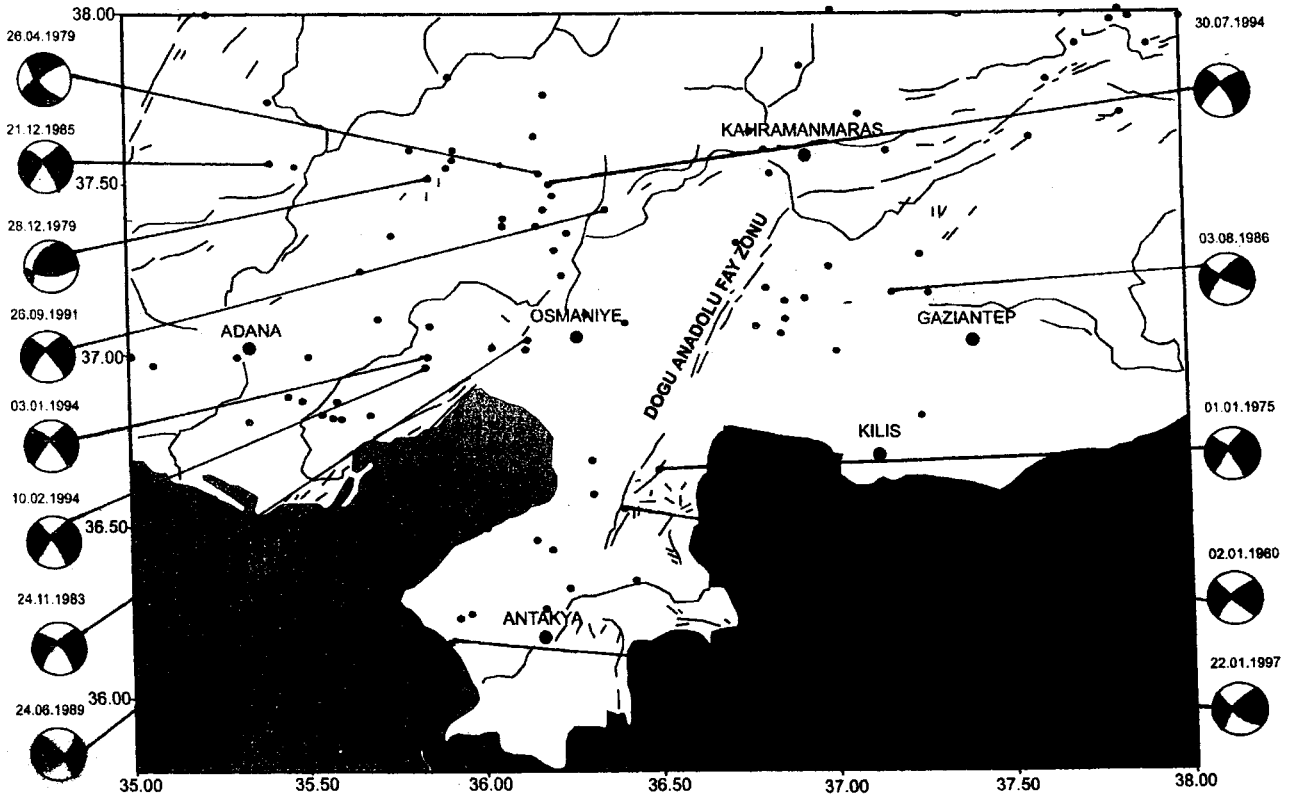
26. 09. 1991 tarihinde Aslantaş Barajı civarında meydana gelmiş olan bu depremin odak mekanizması çözümü normal bileşene sahip sağ yönlü doğrultu atımlı faylanma olarak bulunmuştur.

10. 02. 1994 tarihinde Adana-Ceyhan' da meydana gelmiş olan depremin mekanizma çözümü normal bileşene sahip sol yönlü doğrultu atımlı faylanma olarak bulunmuştur.

Çizelge 6. Odak mekanizma çözümleri.

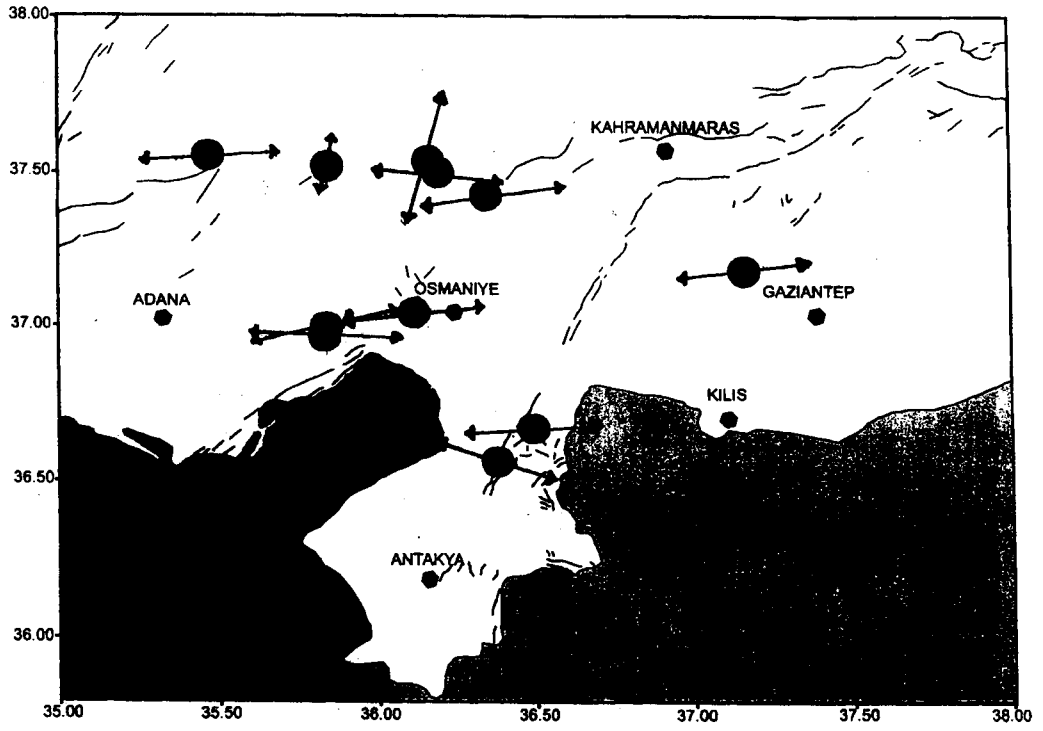
Table 6. Focal mechanism solutions.

SIRA	TARİH	I. DÜZLEM		II. DÜZLEM		P- EKSRENİ		T- EKSENİ	
		Doğ.	Eğim	Doğ.	Eğim	Azimet	Dalım	Azimet	Dalım
1	01.01.1975	219	86	310	82	174	8	-95	2
2	26.04.1979	233	80	140	76	97	17	6	2
3	28.12.1979	89	76	226	18	169	30	15	57
4	02.01.1980	233	83	143	88	188	4	98	6
5	24.11.1983	215	78	309	72	171	21	-97	5
6	21.12.1985	223	82	314	83	178	11	88	1
7	03.08.1986	217	80	307	89	172	8	81	6
8	24.06.1989	314	83	46	77	0	4	269	14
9	26.09.1991	218	76	309	84	174	14	83	5
10	03.01.1994	216	81	308	81	172	13	82	0
11	10.02.1994	224	84	315	81	179	10	-90	2
12	30.07.1994	224	75	319	72	181	224	-88	2



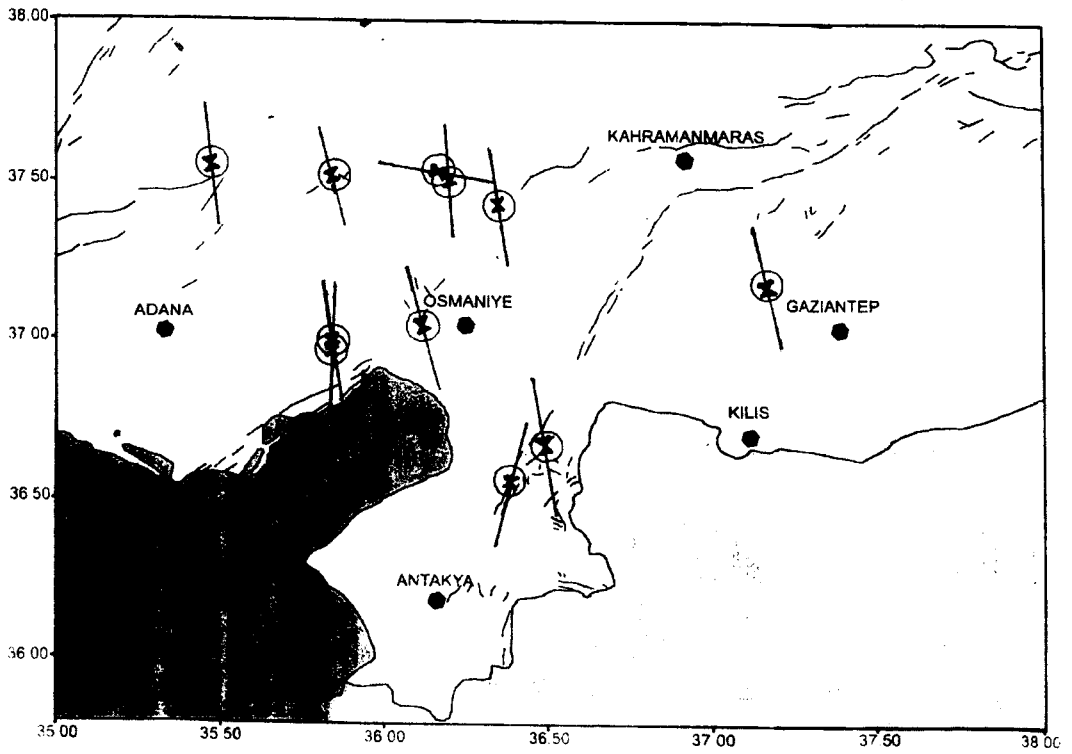
Şekil 8. Odak mekanizma çözümleri yapılan depremler.

Figure 8. Focal mechanism solutions and their distribution in the study region.



Şekil 10. İnceleme bölgesinde T-eksenlerinin dağılımı.

Figure 10. T-axes in the study region.



Şekil 11. İnceleme bölgesinde p-eksenlerinin dağılımı.

Figure 11. P-axes in the study region.

İnceleme bölgesinde oluşmuş ve magnitudü $M_s \geq 4$ olan 12 ana depremin, P-dalgası ilk hareket yönleri kullanılarak odak mekanizması çözümleri yapılmıştır. Yapılmış olan odak mekanizması çözümleri sonucunda, genelde bölgenin tektoniği ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Depremlerden açığa çıkan enerjilerin yıllara göre dağılımları Şekil 6' da görülmektedir. 1945 yılında maksimum olan enerji boşalımı 1967 yılına kadar azalmış ve 1971 yılında tekrar artış göstermiştir. Açığa çıkan enerjinin 1945 yılında yüksek olmasının nedeni, bu dönemde kaydedilmiş olan depremin magnitudünün büyük ($M_s = 6$) olmasıdır. 1971 yılında açığa çıkan enerjinin yüksek olma nedeni de yine bu yılda meydana gelmiş depremin magnitudünün büyük ($M_s = 5.6$) olmasından kaynaklanmaktadır.

İnceleme bölgesinde magnitud-frekans ilişkisini belirlemek için, Gençoğlu ve diğ. (1990) tarafından 1881- 1986 zaman aralığı için yapılan çalışma ile En Küçük Kareler Yöntemi kullanılıp $a = 3.60$ ve $b = 0.54$ olarak bulunmuştur. Bu çalışmada ise 1900- 1997 zaman aralığı için En Küçük Kareler Yöntemi kullanılarak, $a = 3.60$ ve $b = 1.07$ olarak bulunmuştur (Şekil 7). b değeri bölgede sismik faaliyetin yüksek olduğunu ve enerjinin sürekli olarak boşaldığını göstermektedir.

Magnitudü $M \geq 4$ olan depremler kullanılarak inceleme bölgesinin deprem riski belirlenmiştir. Magnitudü $M = 5.0$ veya daha büyük olan bir depremin 10 yıllık bir süre içinde olma ihtimali %50, dönüş periyodu ise 14 yıl olarak, $M = 7.0$ veya daha büyük olan bir depremin 10 yıllık bir süre içinde olma ihtimali % 1 ve dönüş periyodu da olarak bulunmuştur. Buda inceleme alanında büyük magnitudlü bir depremin oluşma olasılığının çok az olduğunu fakat çevresindeki DAFZ gibi aktif zonlarda meydana gelebilecek büyük magnitudlü depremlerden önemli ölçüde etkilenebileceğini göstermektedir.

İnceleme bölgesi tarihsel dönemlerde sismik bakımdan bugüne göre çok daha aktif olmuştur. Tarihsel dönem deprem verilerinin gözlemsel dış merkezleri bölgenin kırık haritası üzerine işaretlendiğinde fay zonu boyunca düzgün bir dağılım göstermemekte ve Halep, Lazkiye, Kilis ve Antakya üzerinde kümelenmektedir (Şekil 4). Aletsel dönem deprem verileri bölgenin kırık haritası üzerine işaretlendiğinde ise aşırı kümelenmelerin olmadığı ve bölgedeki tektonik yapılarla uyumlu oldukları görülmektedir (Şekil 5).

Antakya ve yakın çevresi yaklaşık 550 km uzunlu-

ğunda, sol yönlü doğrultu atımlı DAFZ'nun sismik olarak etkin bölgesidir. Adana baseni ile İskenderun baseni arasında kalan bölge, Doğu Anadolu Fay sisteminin doğrultu atımlı hareketlerinden etkilenecek deformasyona uğramaktadır. Bu deformasyon bindirme ve doğrultu atımlı faylanmalar şeklinde görülmektedir. DAFZ'nun uç notalarından birinde yeralan Antakya ve çevresine ait düzenli çalışmalar DAFZ ve dolayısıyla KAFZ hakkında önemli bilgiler sağlayacaktır. Bölgede jeofizik, sismolojik ve jeodezik ölçümlerin sürekli yapılması, gözlem istasyonlarının kurulması, uzaktan algılama görüntülerinin değerlendirilmesi ve belirli hatlar boyunca belli sürelerde sürekli alınan hava fotoğraflarının değerlendirilmesi bölgedeki yatay ve düşey hareketlerin daha duyarlılıkla belirlenmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Arpat, E. ve Şaroğlu, F. 1972. Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlemler ve Düşünceler, M.T.A. Dergisi, 78, 44-50.
- Arpat, E. ve Şaroğlu, F. 1975. Türkiye' de bazı genç tektonik olaylar. T.J.K. Bülteni, 18, 91-100.
- Ardos, M. 1984, Türkiye Ovalarının Jeomorfolojisi I, İstanbul Üniversitesi Edeb. Fak. Yay., İstanbul.
- Bath, M. 1979, Introduction to Seismology, Basel, Boston, Stuttgart.
- Bilgin, T. 1959, Ceyhan' ın doğusunda volkanik şekiller ve Hassa İlçesi, İ.Ü. Coğ. Ens. Yayını, İstanbul.
- Brinkmann, R. 1976, Türkiye Jeolojisine Giriş, Ege Üniv. Fen Fak., İzmir.
- D.S.İ. 1975. Asi havzası hidrojeolojik etüt raporu, Devlet Su İşleri Yayını, Ankara.
- Gencoğlu, S. 1972, Kuzey Anadolu Fay hattının sismisitesi ve bu zon üzerinde sismik risk çalışmaları, Kuzey Anadolu Fayı ve Deprem Kuşağı Sempozyumu, M.T.A. Enstitüsü, Ankara.
- Gençoğlu, S., İnan, E. ve Güler, H. 1990, Türkiye' nin Deprem Tehlikesi, TMOOB Jeofizik Müh. Odası Yayını, Ankara.
- Gutenberg, B. and Richter, C. F. 1954, Seismicity of Earth and Related Phenomena, 2nd. ed. Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey.
- Ketin, İ. 1968, Türkiye' nin genel tektonik durumu ile başlıca deprem bölgeleri arasındaki ilişki-

- ler, M.T.A. Enst. Bült., 71, 129-134.
- Reid, H. F. 1910, The mechanics of the earthquake of April 18, 1906, Rept. Stateninues. Commit., Carnige Ins., San Francisco.
- Richter, C. F. 1958, Elemantary Seismology, W. H. Fremand Co., San Francisco.
- Tabban, A. ve Gençoğlu, S. 1975, Deprem ve parametreleri, Deprem Arařtırma Enstits Blteni, 11, 7-93.
- Tutsal, İ. 1976, Seismicity of the North Anatolian Fault system in the domain of space, time and magnitude, M. S. Thesis, Saint- Louis University, Saint- Louis, Missouri.
- Weeks, J., Lockner, D. and Byerlee, J. 1978, Change in b- values during movement on cut surfaces in granite, Bull. Seismol. Soc. Am., 68, 333- 341.
- Yüksel, F. A. ve Esnaf, Ő. 1993, Antakya' nın tarihsel ve aletsel dönem deprenselliği ve sismotektoniği, TUJJB Genel Kurulu Bildiri Kitabı, Ankara.
- Yüngül, S. 1951, "Rift vadileri" ve Hatay gravimetre etüdünün bazı tektonik neticeleri, TJK Bült., 1, 1-17.