

KUZHEY ANADOLU FAY ZONUNUN DOĞU KESİMİNİN DEPREM RİSKİNİN STEPP ANALİZİ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Determination of Earthquake Risk of Eastern Part of North Anatolian Fault Zone by Stepp Analysis Method

Günruh BAĞCI(*)

ÖZET

Kuzey Anadolu Fay zonunun doğu kesiminde 1900-1990 yılları arasında olmuş $M \geq 4.0$ olan depremlerin yersel ve zamana göre dağılımları bölgenin sismik bakımdan çok aktif olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, Kuzey Anadolu Fay zonunun doğu kesiminde, $36^{\circ} 42'D$ ve $39^{\circ} 41'K$ boylamları ile sınırlı olan alanda meydana gelen depremlerin verileri kullanılarak, bölgenin depremselliği ve Stepp analizi yöntemiyle deprem riski çalışılmıştır.

Deprem episantırlarının dağılımından, büyük depremlerin olduğu Kuzey Anadolu Fay zonu boyunca belirgin kümelenme gözlenmiştir. Deprem magnitüd gruplamasıyla, depremlerin zamana göre dağılımlarından her 10 senede kaydedilen magnitüdü 5.4'e kadar olan depremlerin sayılarında dalgalanmalar olmuş ve homojen sayı dağılımı olmadığı tesbit edilmiştir. Kuzey Anadolu Fay zonunun doğu kesiminde çalışılan zaman aralığında $5.0 \leq M \leq 5.4$ magnitüd gruplamasındaki deprem sayılarında 1950'ye kadar her 10 senede bir devamlı artış gözlenmiştir.

Analitik bir çözüm yöntemi olan Stepp analizi, belirli bir magnitüdde meydana gelmiş depremin belirlenmesinde ve aynı magnitüddeki depremin tekrarlanması için geçmesi gereken sürenin bulunmasında kullanılmaktadır. Stepp analiziyle, Kuzey Anadolu Fay zonunda, en büyük magnitüdüleri 5.4 olan depremlerin σ_x değerlerinde çok az bir sapma görülmesine rağmen diğer magnitüd değerlerinde tümüyle kaydedilmiş depremlerin kayıt periyodlarının artmadığı gözlenmiştir. Depremlerin tekrarlanmaları için gereken zaman periyodunda, en büyük magnitüdüleri 4.4 olan depremlerin tekrarlanması için 5-30 yıllık, 4.9 olan depremlerin tekrarlanması için 10-40 yıllık, 5.4 olan depremlerin tekrarlanması için 25-45 yıllık, 5.9 olan depremlerin tekrarlanması için 40-55 yıllık ve 6.0 olan depremlerin tekrarlanması için 25-60 yıllık homojen bir gözlemin yeterli olacağı tesbit edilmiştir.

ABSTRACT

The spatial and temporal distribution of earthquakes with magnitude of 4.0 and greater occurred in the eastern region of North Anatolian Fault zone between 1900-1990 was showed higher seismic activity. In this study, seismicity of region and seismic risk with Stepp Analysis method were studied using earthquakes which occurred in $36^{\circ} 42'E$ and $39^{\circ} 41'N$ longitudes in eastern region of North Anatolian Fault zone.

Higher seismic activity was observed throughout the region from the epicenter distributions of earthquakes. There was trend in the fluctuation in the number of earthquakes of magnitude 5.4 from magnitude classes and no homogeneous distribution of earthquakes with $5.0 \leq M \leq 5.4$ was increased in every 10 years period in eastern region of North Anatolian Fault zone. Stepp's Analysis was used to determine the recurrence rate of a particular magnitude of earthquake and the return period of a same magnitude of earthquake. The discrepancy was observed for earthquakes with a maximum magnitude of 5.4 throughout the North Anatolian Fault zone with Stepp's Analysis while the discrepancy for other magnitude classes was not observed.

It was concluded that, the recurrence of earthquakes with a maximum magnitude of 4.4, 5-30 years, the recurrence of earthquakes with a maximum magnitude of 4.9, 10-40 years, the recurrence of earthquakes with a maximum magnitude of 5.4, 25-45 years, the recurrence of earthquakes with a maximum magnitude of 5.9, 40-55 years and the recurrence of earthquakes with a maximum magnitude of 6.0, 25-60 years of homogeneous observations were sufficient to establish a stable mean rate.

(*) Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, ANKARA

GİRİŞ

Türkiye'nin en aktif deprem kuşağını oluşturan Kuzey Anadolu Fayı yaklaşık 1200 km uzunluğunda olup Karadeniz kıyısına paralel uzanan birçok kırıktan oluşmuş, sağ yönlü doğrultu atımlı bir faydır (Ketin, 1966). Kuzey Anadolu Fayı'nın sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay zonu olduğu ilk kez 27 Aralık 1939 Erzincan depreminden ve onu izleyen 1942, 1943 ve 1944 depremlerinden sonra anlaşılmıştır (Ketin, 1968; McKenzie, 1972).

Kuzey Anadolu Fay zonu batıda Biga Yarımadası'ndan başlayıp Yenice, Gönen ve Manyas'tan geçerek Bursa ve Yenişehir üzerinden Kargı-Havza dolaylarına kadar uzanmaktadır. Buradan GD'ya kıvrılarak Erzincan üzerinden Karlıova yakınında sol yönlü Karlıova-Bingöl fayını 40°'lik bir açı ile kesmektedir (Ketin, 1969; 1976; 1983). Kuzey Anadolu Fayı tek bir kırık düzlemi olmayıp birbirine paralel veya kademeli faylardan oluşmuş bir fay zonu durumundadır ve belirli bir doğrultuda devam etmeyip bazı bölgelerde daha geniş açılar yaparak bükülmekte ve Van Gölü kuzey kenarından geçerek İran sınırına varmaktadır (Ketin, 1968). Kuzey Anadolu Fay zonu doğu kesiminde oluşan depremlerin odak mekanizmaları üzerinde yapılan çalışmalarda hareketlerin mekanizması sağ yönlü doğrultu atımlı faylanma şeklinde bulunmuştur (Öcal, 1968; Canitez, 1969; McKenzie, 1972; Alptekin, 1973).

Bu çalışmada, Kuzey Anadolu Fay Zonunun doğu kesiminde, 36°-42°D ve 39°-41° K boylamları ile sınırlı alanda 1900-1990 yılları arasında olmuş $M \geq 4.0$ olan depremlerin verileri kullanılarak, bölgenin depremselliği ve Stepp Analizi yöntemi ile deprem riski çalışılmıştır. Bunun için deprem parametreleri (oluş tarihi, enlem, boylam, derinlik, magnitüd) değişik kataloğlardan derlenmiştir. Bu kataloğlar; Türkiye ve Dolaylarının Deprem Kataloğu (Ergin ve diğ., 1967; 1971), Deprem Kataloğu (Shebalin ve diğ., 1974), Türkiye'nin Deprem Kataloğu (Alsan ve diğ., 1975), ISC (International Seismological Centre), ISS (International Seismological Summary), BISC (Bulletin of the International Seismological Centre) ve PDE (Preliminary Determination of Epicenters) dir.

DEPREMLERİN YEREL DAĞILIMLARI

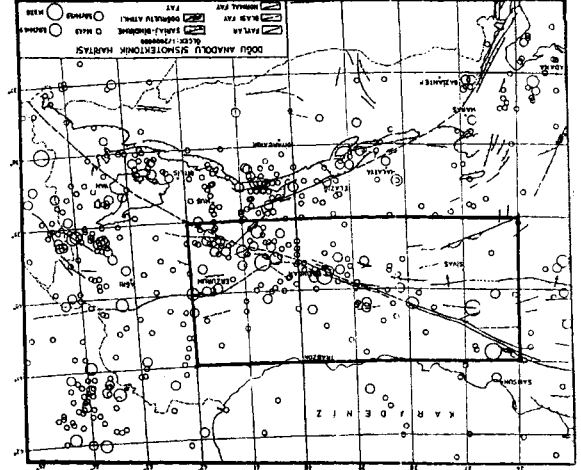
Burada belirtilen kaynaklardan derlenen 1900-1990 yılları arasında olmuş magnitüdü $M \geq 4.0$ depremlerin parametreleri kullanılarak magnitüde göre episantır haritası hazırlanmıştır. Şekil 1 de görüldüğü gibi, Kuzey Anadolu Fay zonu doğu kesiminde deprem etkinliğinin yoğun olduğu gözlenmektedir.

Kuzey Anadolu Fay zonu doğu kesiminde deprem etkinliğini ortaya koymak için depremlerin zaman içerisindeki dağılımları ve enerji boşalmaları

incelenmiştir. Enerji boşalmalarının hesaplanmasında, Bath (1979) tarafından verilen

$$\text{Log}E = 12.24 + 1.44M \quad (1)$$

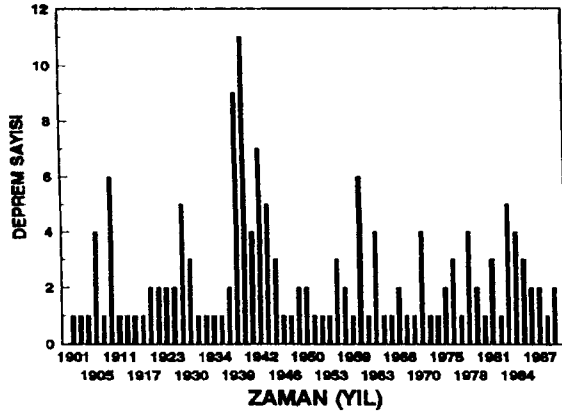
enerji formülü kullanılmıştır.



Şekil 1: Depremlerin magnitüdüne göre episantır haritası.

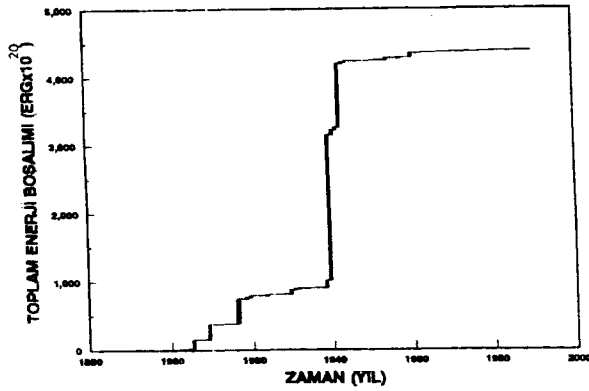
Figure 1: Epicenters of earthquakes and seismotectonic map of Eastern Anatolia and location of study region.

Kuzey Anadolu Fay zonu yıllara göre deprem sayıları grafiği Şekil 2 de gösterilmiştir. Bu grafik incelendiğinde bölgede sürekli bir deprem etkinliği görülmektedir. Bölge için etkinlik 1901 yılında ilk kez başlamış, bu etkinlik 9 Şubat 1909 depremiyle kendini göstermiş, 26 Aralık 1939 ve 2 Ocak 1940 depremleriyle maksimum değere ulaşmıştır. 26 Kasım 1942, 26 Ocak 1960 ve 18 Kasım 1983 depremleriyle deprem sayısı ve deprem etkinliği artmıştır. Bu tarihten itibaren 1990 yılına kadar kısmen durgun bir döneme girmiştir. Şekil 3 de verilen toplam enerji boşalımı grafiği incelendiğinde, belli zaman aralıklarında enerji birikimi olmuş ve bu birikim belli tarihlerde büyük magnitüdü depremlerle açığa çıkmıştır. Bu bölgede biriken enerji, sırasıyla 4 Aralık 1905 ($M=5.9$), 9 Şubat 1909 ($M=5.8$), 24 Ocak 1916 ($M=6.2$) ve 26 Aralık 1939 ($M=7.1$) Erzincan depremiyle açığa çıkmıştır. Daha sonra 2 Aralık 1942 ($M=6.3$) depremiyle tekrar enerji boşalımı olmuştur. Şekil 3'ün incelenmesiyle 24 Nisan 1960 ($M=5.5$) depremiyle yine enerji boşalımı olmuş ve daha sonra durgunluk dönemine girmiştir. Toplam enerji boşalımı 4379.38×10^{20} erg olarak hesaplanmış ve 1990 yılının sonuna kadar küçük magnitüdü depremlerle enerji boşalımı devam etmiştir.



Şekil 2: Kuzey Anadolu Fay zonunun doğu kesiminde yıllara göre deprem sayıları.

Figure 2: Annual numbers of all earthquakes in eastern part of North Anatolian Fault zone.



Şekil 3: Toplam enerji boşalımının zamanla değişimi.

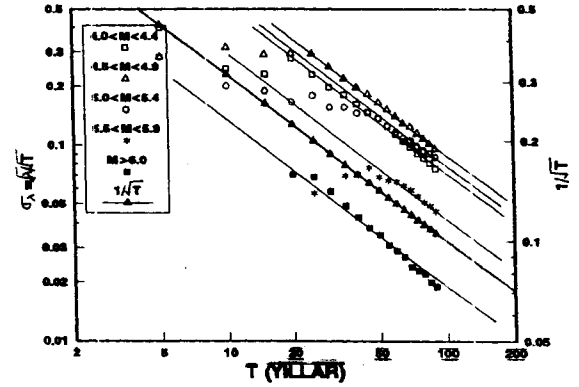
Figure 3: Release of accumulated energy with time.

STEPP ANALİZİ

Deprem oluşumlarının veya tekrar olma riskinin dönüşüm periyodlarının belirlenmesi, sismik çalışma yapılan veya sismik aktivitesi halen devam eden bölgeler için çok önemlidir. Dönüşüm periyodlarının belirlenmesinde kullanılan birçok istatistiksel çalışma neticesinde deprem oluşumları ve deprem olma riski ile ilgili farklı sonuçlar elde edilmiştir. Stepp analizi, analitik çözümlerdir (Stepp, 1971) ve belirli bir magnitüde meydana gelmiş depremin belirlenmesinde "oluşabilmeyi" tesbit etmek için kullanılmaktadır. Stepp(1971) bir depremin oluşabilme oranı $\lambda(M)=N(M)$ olarak modellenmiş (5 ayrı gruptaki M magnitüdü N tane depremin) ve T zaman periyodunda $\lambda(M)$ 'in varyansı $\sigma^2\lambda$, λ/T 'ye eşit olduğunu belirtmiştir. Burada, $\sigma\lambda$ ile $1/\sqrt{T}$ grafiksel anlatımda birbirlerine paraleldirler ve aralarında farklılıklar, eğer kısa zaman aralıkları $\lambda(M)$ ortalamasının iyi bir tahminini sağlayacak kadar uzun değilse veya bu kısa zaman

aralıklarında meydana gelmiş deprem verilerinde eksiklikler varsa, meydana gelmektedirler (Makropoulos ve Burton, 1981).

5 magnitüd gruplaması için elde edilen oluşabilme grafiği Şekil 4 de gösterilmiştir. Bu grafik için kullanılan $\sigma\lambda$ değerlerinin hesaplamaları Çizelge 1 de, Stepp analizinin neticesinde, çalışılan bölgede elde edilen sonuçlar Çizelge 2 de verilmiştir. 90 yıllık süre içerisinde 5'şer yıllık zaman aralıklarında $\sigma\lambda$ 'nın değerlerinden şunları çıkartabiliriz. En büyük magnitüdü 4.4 olan depremlerin oluşabilmesi için 5-30 yıllık bir gözlem yeterli olmaktadır. En büyük magnitüdü 4.9, 5.4, 5.9 ve 6.0 olan depremler için 10-40 yıllık, 25-45 yıllık, 40-55 yıllık ve 25-60 yıllık sürelerin geçmesi gerekmektedir.



Şekil 4: Oluşabilme testinde $\sigma\lambda$ ' in zamanla değişimi

Figure 4: Completeness test of $\sigma\lambda$ with time.

Zaman Periyodu (yıl)	$1/\sqrt{T}$	4.0<M<4.4	4.5<M<4.9	5.0<M<5.4	5.5<M<5.9	M>6.0											
N	λ	$\sigma\lambda$	N	λ	$\sigma\lambda$	N	λ	$\sigma\lambda$	N	λ	$\sigma\lambda$						
1990-1986	5	0.4472	4	0.80	0.40	2	0.40	0.28	2	0.40	0.28	0	0.00	0.00	0.00		
1990-1981	10	0.3162	6	0.60	0.25	10	1.00	0.32	4	0.40	0.20	0	0.00	0.00	0.00		
1990-1976	15	0.2580	12	0.60	0.23	19	1.27	0.29	8	0.53	0.19	0	0.00	0.00	0.00		
1990-1971	20	0.2236	31	1.55	0.28	35	1.75	0.30	11	0.55	0.17	0	0.00	0.00	0.00		
1990-1966	25	0.2000	33	1.32	0.23	54	2.16	0.29	20	0.80	0.18	2	0.09	0.06	3	0.12	0.07
1990-1961	30	0.1826	35	1.17	0.20	57	1.90	0.25	22	0.73	0.16	3	0.13	0.06	3	0.10	0.06
1990-1956	35	0.1690	40	1.14	0.18	59	1.68	0.22	30	0.86	0.16	6	0.17	0.17	3	0.09	0.05
1990-1951	40	0.1581	42	1.05	0.16	62	1.55	0.20	34	0.85	0.15	8	0.20	0.17	3	0.08	0.04
1990-1946	45	0.1491	44	0.99	0.15	67	1.49	0.18	44	0.98	0.15	12	0.27	0.18	3	0.07	0.04
1990-1941	50	0.1414	47	0.94	0.14	68	1.36	0.17	47	0.94	0.14	14	0.12	0.14	3	0.06	0.04
1990-1936	55	0.1348	47	0.85	0.13	70	1.27	0.15	48	0.87	0.13	13	0.24	0.17	3	0.05	0.03
1990-1931	60	0.1291	47	0.79	0.11	71	1.18	0.14	49	0.82	0.12	15	0.25	0.17	3	0.05	0.03
1990-1926	65	0.1240	47	0.72	0.11	72	1.08	0.13	50	0.77	0.11	16	0.25	0.16	3	0.05	0.03
1990-1921	70	0.1195	47	0.67	0.10	75	1.07	0.12	55	0.79	0.11	17	0.24	0.16	3	0.04	0.02
1990-1916	75	0.1155	47	0.63	0.09	75	1.00	0.12	55	0.73	0.10	17	0.23	0.15	3	0.04	0.02
1990-1911	80	0.1119	47	0.59	0.09	75	0.94	0.11	56	0.70	0.09	17	0.21	0.15	3	0.04	0.02
1990-1906	85	0.1085	47	0.55	0.08	75	0.88	0.10	60	0.71	0.09	17	0.20	0.15	3	0.04	0.02
1990-1901	90	0.1054	47	0.51	0.08	75	0.83	0.10	62	0.69	0.09	17	0.19	0.15	3	0.03	0.02

Çizelge 1: Stepp analizinde hesaplanan parametreler.

Table 1: Calculated parameters in Stepp's Analysis.

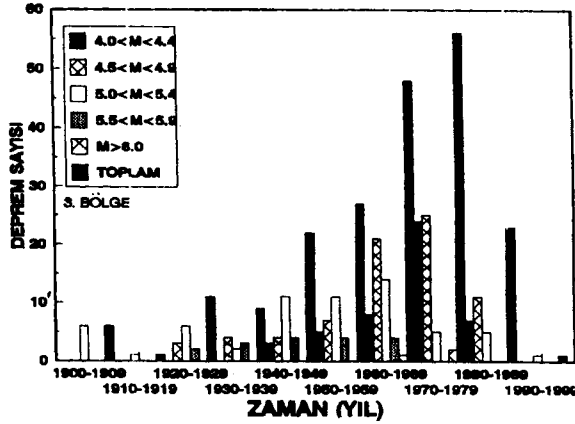
Magnitüd grupları	Kararlı ortalama tekrarlama hızı için gereken zaman (yıl)	Tamamıyla rapor edilen depremlerin periyodu
4.0<M<4.4	5-30	45 (1990-1946)
4.5<M<4.9	10-40	55 (1990-1936)
5.0<M<5.4	25-45	65 (1990-1926)
5.5<M<5.9	40-55	70 (1990-1921)
M>6.0	25-60	90 (1990-1901)

Çizelge 2: Oluşabilme testinin sonuçları.

Table 2: Result of a test of completeness.

Şekil 4 den görüldüğü gibi oluşabilme grafiği incelendiğinde σ_x değerlerinin, $1/\sqrt{T}$ davranışından sapmaları en büyük deprem magnitüdü 5.4 olan magnitüd gruplamasında gözlenmektedir. En büyük magnitüdü 5.4 olan depremlerin yetersiz veriden, σ_x değerlerinin $1/\sqrt{T}$ davranışından sapmasında, her magnitüd gruplamasında aynı zamanda meydana gelmesi gereklidir. Bu durum farklı zamanlarda meydana geldiği için, bu sapmanın nedeninin eksik veriden olduğu kolayca gözlenmektedir.

Deprem magnitüd gruplamasında depremlerin zamana göre dağılımları Şekil 5 de gösterilmiştir. Bu şekil incelendiğinde, her 10 senede kaydedilen magnitüdü 5.4'e kadar olan depremlerin sayılarında dalgalanmalar mevcuttur ve homojen sayı dağılımı yoktur. Bu nedenle bu gruptaki depremlerin kataloglarda yeterli miktarda kayıtlarının olmadığı gözlenmiştir.



Şekil 5: Magnitüd gruplamasıyla depremlerin zamana göre dağılımları.

Figure 5: Distribution of earthquakes with grouped of magnitude.

SONUÇLAR

Kuzey Anadolu Fay zonunun doğu kesiminde, deprem etkinliğinin sürekli olarak devam ettiği ve büyük magnitüdü depremlerle enerji boşalımının olduğu, sismik aktivitenin büyük magnitüdü depremlerden sonra azaldığı tesbit edilmiştir.

Çalışılan bölgede, $1/\sqrt{T}$ nin grafiksel davranışında paralellik elde edilmiş ve σ_x değerlerinin $1/\sqrt{T}$ 'ye göre çizilen grafiğinde paralel olan davranış bazı magnitüd gruplamaları için sapmalar göstermiştir. En büyük magnitüdüleri 4.4 olan depremlerin tekrarlanması için 5-30 yıllık bir gözlemin yeterli olacağı tesbit edilmiştir. Aynı şekilde, magnitüdüleri 4.9, 5.4, 5.9 ve 6.0 olan

depremler için 10-40 yıllık, 25-45 yıllık, 40-55 yıllık ve 25-60 yıllık sürelerde kayıt yapılması gerekmektedir. En büyük magnitüdüleri 5.4 olan depremlerin, her büyüklüğünde, rapor edilen depremlerin periyodu fazlalaştıkça σ_x değerlerinin, $1/\sqrt{T}$ davranışından saptığı gözlenmiştir. Bu sapma olayının nedeni ise depremlerin yüksek frekanslarda kaydedilmesidir.

Deprem magnitüd gruplamasıyla, her 10 senede kaydedilen magnitüdü 5.4'e kadar olan depremlerin sayılarında dalgalanmalar olmuş ve bu gruptaki depremlerin kataloglarda yeterli miktarda kayıtlarının olmadığı tesbit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Alptekin, Ö., 1973, Focal mechanism of earthquakes in Western Turkey and their tectonic implications: Ph.D. Thesis, Mew Mexico Inst. of Mining and Tech., Socorro, New Mexico.
- Alsan, E., Tezuçan, L. and Bath, M., 1975, An earthquake catalogue for Turkey for the interval 1913-1970, Report No. 7-75, Kandilli Rasathanesi, İstanbul.
- Bath, M., 1979, Introduction to Seismology, 428 sayfa.
- Cantek, N., 1969, Türkiye ve civarında deprem odak hareketleri gerilme dağılımları: İ.T.Ü. Maden Fak. yayını. İstanbul.
- Erdik, M.Ö. ve Marthur, S.K., 1980, M.E.T.U. Report No:4.
- Ergin, K., Uz, Z. ve Güçlü, U., 1967, Türkiye ve civarının deprem kataloğu (M.S. 11 yılından 1964 sonuna kadar), İ.T.Ü. Maden Fak. Arz Fiziği Enst. Yayını, 24.
- Ergin, K., Güçlü, U. ve Aksay, G., 1971, Türkiye ve dolaylarının deprem kataloğu (1965-1970): İ.T.Ü. Maden Fak. Arz Fiziği Ens. Yayını, 28, 939s.
- Ketin, İ., 1966, Anadolu'nun tektonik birlikleri: M.T.A. Dergisi, 66, 20-34.
- Ketin, İ., 1968, Türkiye'nin tektonik durumu ile başlıca deprem bölgeleri arasındaki ilişkiler: M.T.A. Dergisi, 71, 129-134.
- Ketin, İ., 1969, Kuzey Anadolu Fayı hakkında: M.T.A. Dergisi, 72, 1-25.
- Ketin, İ., 1976, San Andreas ve Kuzey Anadolu faylarının karşılaştırılması: T.J.K. Bül., 19, 149-154.
- Ketin, 1983, Türkiye jeolojisine genel bakış: İ.T.Ü. yayını.
- Makropoulos, K.C. and Burton, P.W., 1981, A catalogue of seismicity in greece and adjacent areas: Geophys. J. R. Astr. Soc., 65, 741-762.
- McKenzie, D.P., 1972, Active tectonics of Mediterranean region: Geophysics, 18, 1-32.
- Öcal, N., 1968, 1938-1955 yılları arasında Anadolu'da vukubulan bazı şiddetli zelzelelerde faylanma doğrultuları, M.E.H. Kandilli Rasathanesi, Sismoloji Yayınları, No.12, İstanbul.
- Shebalin, N.V., Karnik, V. and Hadzievski, D., 1974, Editors Catalogue of earthquakes. Part I, 1901-1970, and Part Ü. prior to 1901, UNESCO Publ., Skopje.
- Stepp, J.C., 1971, An investigation of earthquake risk in the Puget Sound area by use of the type I distribution of largest extremes. Ph.D. Thesis, Pennsylvania State University, 131 pp.