

Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Zonu için Deprem Tekrarlanma Parametrelerinin Belirlenmesi

B. Güner¹, A. Menekşe², A. A. Özacar³ ve Z. Gülerce²

¹ Deprem Çalışmaları Ana Bilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

² İnşaat Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara

³ Jeoloji Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara
E-posta: baris.guner@taek.gov.tr

ÖZET:

Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi'nde (OSTA) alansal kaynaklar kullanılması durumunda deprem tekrarlanma parametrelerinin (özellikle b -değerinin) sonuç üzerindeki etkisi çok yüksek olmaktadır (Gülerce ve Vakilinezhad, 2015). Deprem tekrarlanma parametrelerinin belirlenmesi sırasında kullanılan deprem kataloğu, sınırlı veri içermesi sebebiyle, parametre belirsizliklerini arttıran en önemli etkenlerden biridir. Buna ek olarak, artçı-ana ok ayrı tırmasında kullanılan yöntemin seçimi, katalog tamamlılık aralıklarının belirlenmesi ve bunun istatistiksel analize doğru yansıtılması, kullanılan istatistiksel analiz yöntemi gibi etkenler hesaplanan b -değerini ve OSTA sonuçlarını çarpıcı bir biçimde değiştirebilmektedir. Bu çalışmada kapsamında, Kalafat ve diğ. (2011) tarafından hazırlanan Bütünleştirilmiş Homojen Türkiye Deprem Kataloğu kullanılarak Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Zonu için deprem tekrarlanma parametreleri hesaplanmıştır. Artçı-ana ok ayrı tırması için iki farklı yöntem (Gardner and Knopoff, 1974 ve Reasenberg, 1985) kullanılarak bu metodların sonuç üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Katalog tamamlılık zaman aralıkları ZMAP (Wiemer, 2001) programı kullanılarak belirlenmiş ve bu aralıklar Weichert (1980) tarafından önerilen en büyük olabilirlik yöntemine entegre edilerek bu tektonik yapılar için a ve b -değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada ayrıca ZMAP programı yoluyla değişik istatistiksel yöntemler kullanılarak deprem tekrarlanma parametreleri hesaplanmış, sonuçlar önerilen değerlerle karşılaştırılarak Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Zonu için OSTA analizinde kullanılacak parametrelerdeki belirsizlikler değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Deprem tekrarlanma parametreleri, deprem kataloğu, katalog tamamlılık aralığı, artçı-ana ok ayrı tırması, sismik kaynak modelleri, olasılıksal sismik tehlike analizi, Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Zonu.

1. GİRİŞ

Deprem büyüklüğü olasılıksal dağılım modeli, Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi'nin (OSTA) önemli girdilerinden birini oluşturmaktadır. OSTA çerçevesinde sıklıkla kullanılan üç değişik deprem büyüklüğü olasılıksal dağılım modeli bulunmaktadır: üstel (exponential) model, karakteristik model ve bunların bileşkesi olan kompozit model. OSTA analizinde alansal kaynakların kullanılması durumunda, bu kaynakların üretebileceği depremlerin relatif oranlarını belirlemek için genellikle üstel (veya Gutenberg-Richter, G-R) model tercih edilir (Ishimoto ve Ida, 1939; Gutenberg ve Richter, 1944) (Denklem 1).

$$\log N = a - bM \quad \text{veya} \quad N = 10^{a-bM} \quad (1)$$

Denklem 1'de verilen üstel model, kaynağın üretebileceği maksimum deprem büyüklüğü (M_{\max}) ve yapı üzerinde etkili olabilecek minimum deprem büyüklüğü (M_{\min}) göz önüne alınarak her iki uçtan kesilir ve Denklem 2'de verilen kesik üstel model halinde OSTA analizinde kullanılır:

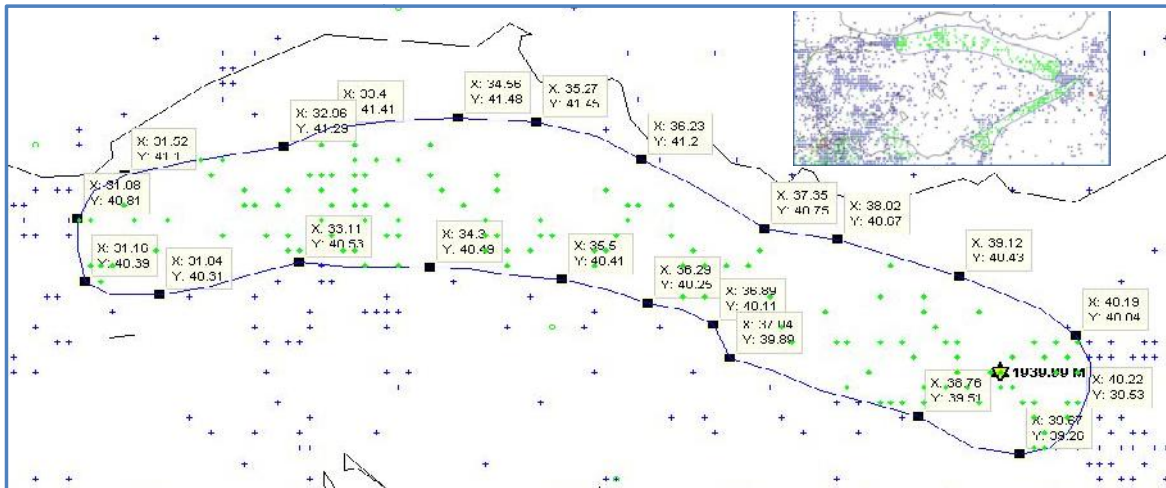
$$f_m^{TE}(M) = \frac{\beta \exp(-\beta(M - M_{min}))}{1 - \exp(-\beta(M_{max} - M_{min}))} \quad (2)$$

Denklem 1 ve 2’de verilen b parametresi (Denklem 2’de $-\ln 10xb$ olarak gösterilmiştir) magnitüd-deprem sayısı dağılımının eğimini tanımlarken, a parametresi ise depremsellik veya aktivite oranı olarak tanımlanır. b -değerleri, depremselliğin oluşma sıklığı ve ortaya çıkan enerjisi veya sismik moment gibi sismik ölçümlerle özelliklerini tanımlayan en önemli istatistiksel parametrelerden biridir ve bölgeden bölgeye kabaca 0.3 ile 2.0 arasında değişir (Öztürk, 2015). Öte yandan, b -değerinin bölgesel ölçekte değerlendirilmesi için ifade edilmiştir (Frohlich ve Davis, 1993).

OSTA analizinde alansal kaynaklar ve kesik üstel deprem büyüklüğü olasılıksal dağılım modeli kullanılması durumunda b -değerinin sonuç üzerindeki etkisi çok yüksek olmaktadır. Gülerce ve Vakilinezhad (2015) tarafından yapılan analizlerde, b -değerinin %50 azalması durumunda tasarım yer hareketi parametrelerinin (kaynağa olan uzaklık ve tehlike seviyesinden bağımsız olarak) neredeyse aynı oranda artışı gösterilmiştir. Öte yandan b -değerleri, deprem kataloğundaki belirsizlikler, katalog tamamlılık aralıkları, artçı-ana ok ayrımı yöntemi gibi pek çok faktöre karşı hassastır. Ayrıca, b -değerinin hesaplanması için kullanılan istatistiksel yöntemin de sonuç üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Bu çalışmanın amacı, yukarıda bahsi geçen faktörlerin b -değerleri üzerindeki etkisini sayısal olarak örneklemek ve seçilen örnek bölgeler için kullanılacak deprem tekrarlanma parametrelerini ve bunların elde edilmesinde kullanılacak uygun yöntemleri irdelemektir.

2. DEPREM KATALOGU VE ÇALIŞMA ALANININ SEÇİMİ

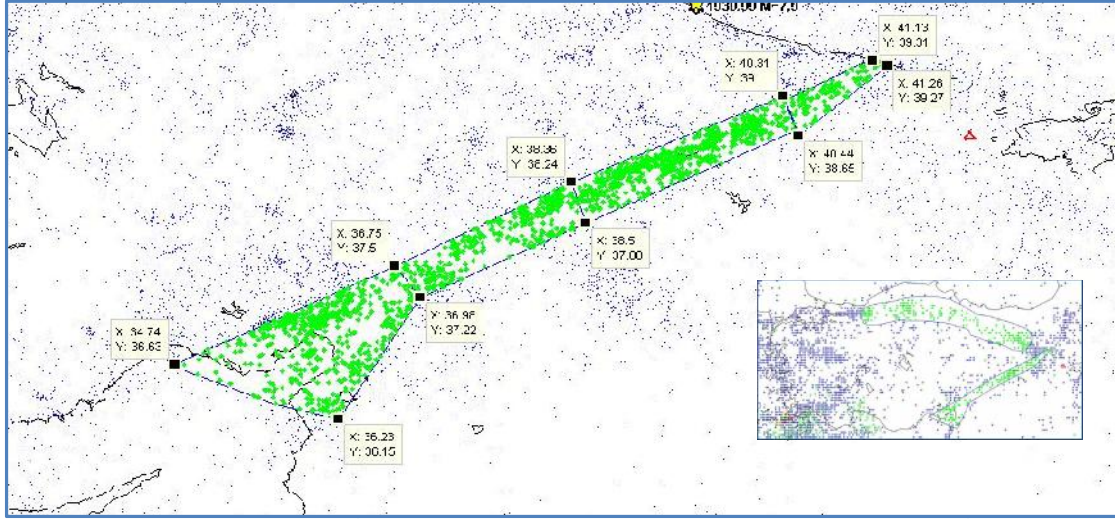
Bu çalışmada kapsamında, aletsel deprem kataloğu olarak Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından yayınlanan Bütünleştirilmiş Türkiye Aletsel Dönem Deprem Kataloğu tercih edilmiştir (Kalafat ve diğerleri, 2011). Yapılan analizlerin istatistiksel anlamda güvenilirliğini artırabilmek için, deprem aktivitesinin yoğun olduğu iki çalışma alanı (Kuzey Anadolu Fay Zonu Merkez Bölümü, KAFZM ve Doğu Anadolu Fay Zonu, DAFZ) tercih edilmiştir. KAFZM ve DAFZ alanlarının koordinatları ile yakın çevresindeki depremlerin merkez üssü dağılımları sırasıyla ekil-1 ve ekil-2’de görülmektedir. KAFZM örnek bölgesinin 1939 Erzincan, 1942 Niksar, 1943 Tosya ve 1944 Bolu Gerede depremlerinin yüzey kırığı alanlarını kapsayacak şekilde seçilmesine dikkat edilmiştir.



ekil- 1 Kuzey Anadolu Fay Zonu Merkez Bölümü için bu çalışmada kapsamındaki analizlerde kullanılan alan kaynak bölgesi ve yakın çevresindeki depremlerin merkez üssü dağılımı.

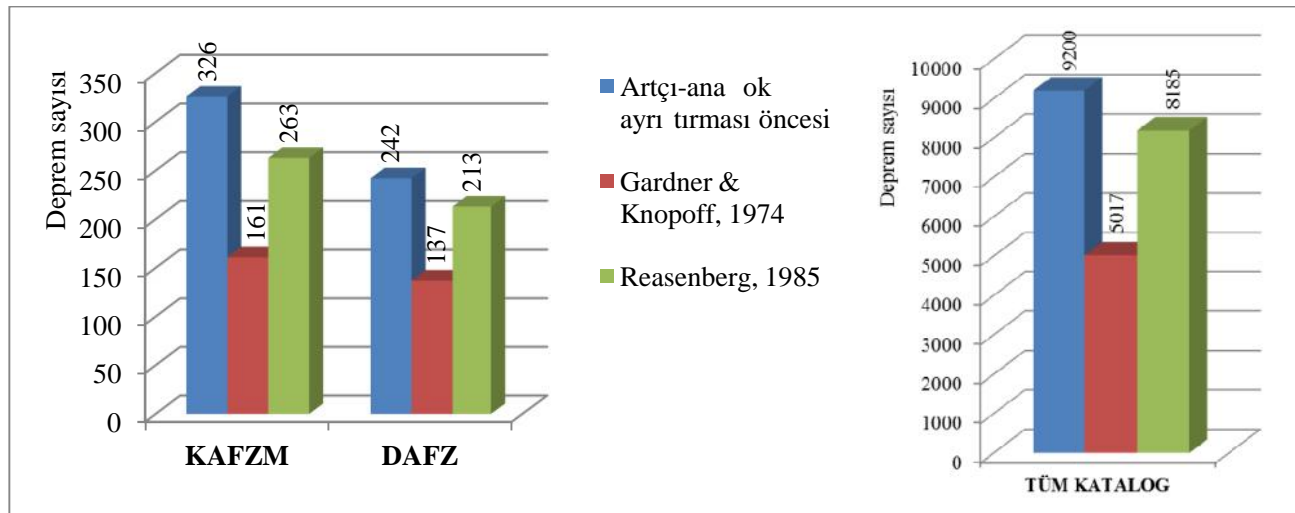
Çalışmada kullanılan katalogdaki depremlerin artçı-ana ok ayrımında, katalog verilerinin analizine yardımcı olmak için tasarlanmış, MATLAB altında çalıştırılan, açık kaynak kodlu ve son yıllarda ülkemizde de

kullanımı yaygınla an ZMAP (Wiemer, 2001) programı kullanılmı tır. Tüm katalogdaki ve seçilen çalı ma alanları içindeki deprem sayıları ile artçı-ana ok ayrırmasında kullanılan yöntemle göre ana- ok olarak belirlenen deprem sayısının de i imi ekil-3’de gösterilmektedir.



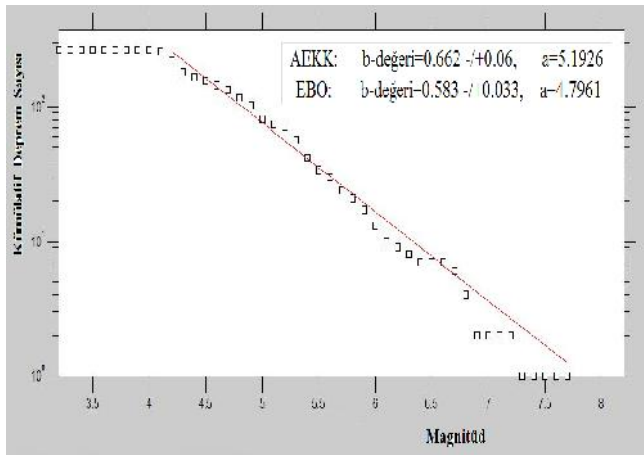
ekil- 2 Do u Anadolu Fayı için bu çalı ma kapsamındaki analizlerde kullanılan alan kaynak bölgeleri ve yakın çevresindeki depremlerin merkez üssü da ılımı.

Tüm katalog üzerinde çalı ılarak Gardner ve Knopoff (1974) yöntemine göre artçı-ana ok ayrırması yapıldı nda katalogdaki toplam 9200 depremin yakla ık %45.5’inin artçı ok olarak nitelendirildi i ve 5017 depremin ana- ok olarak belirlendi i görülmektedir. E er Reasenberg (1985) algoritması tercih edilirse depremlerin yakla ık %11’i artçı- ok olarak nitelendirilmektedir. ekil-3’te görüldü ü gibi, Gardner ve Knopoff (1974) yöntemine göre artçı-ana ok ayrırması yapılması durumunda, seçilen her iki bölge için de ana- ok olarak nitelendirilen ve deprem tekrarlanma parametrelerinin belirlenmesi için kullanılabilir veri sayısı oldukça azalmaktadır. Öte yandan, Reasenberg (1985) algoritması tercih edilirse regresyon analizinde kullanılabilir veri sayısı Gardner ve Knopoff (1974) yöntemine göre %50-75 arasında artı göstermektedir.

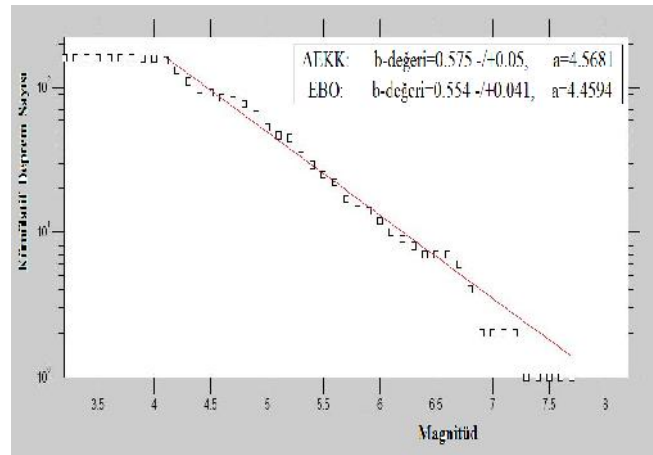


ekil- 3 Katalogdaki deprem sayıları ile artçı-ana ok ayrırmasında kullanılan yöntemle göre deprem sayısının de i imi.

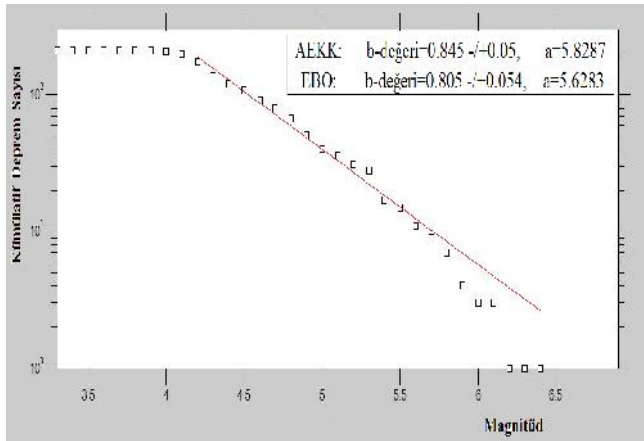
Artçı-ana ok ayrımı tamamlandıktan sonra, ana ok olarak nitelendirilen depremler ele alınarak deprem tekrarlanma parametreleri belirlenebilir. Günümüzde sıklıkla kullanılan ZMAP gibi paket programlar, regresyon analizi için en büyük olasılık ve a ırlıklı en küçük kareler gibi pek çok istatistiksel yöntemi kullanmaya olanak tanımaktadır. Seçilen artçı-ana ok ayrımı ve regresyon yöntemine göre, KAFZM ve DAFZ bölgeleri için hesaplanan b -değerlerinin de i imi ekil-4'de verilmektedir. ekil-4(a-b)'de görüldü ü gibi KAFZM için hesaplanan de er, kullanıcının tercihleri do rultusunda 0.55 ile 0.66 (%20) arasında de i ebilmektedir. DAFZ için hesaplanan b -de eri ise 0.73 ile 0.85 (%16.4) arasında de i im göstermektedir (ekil-4c-4d). Elde edilen sonuçlar, bu bölgeler için tanımlanan poligonlar ve hesaplanan b -de erleri kullanılarak yapılacak bir OSTA çalı masında, sadece tercih edilen artçı-ana ok ayrımı ve regresyon yönteminin, tasarım yer hareketi parametrelerini ortalama %15 de i tirebilece ini net bir biçimde göstermektedir.



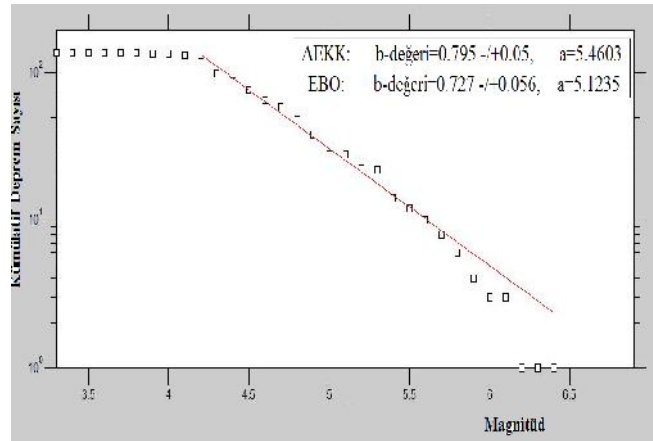
(a)



(b)



(c)



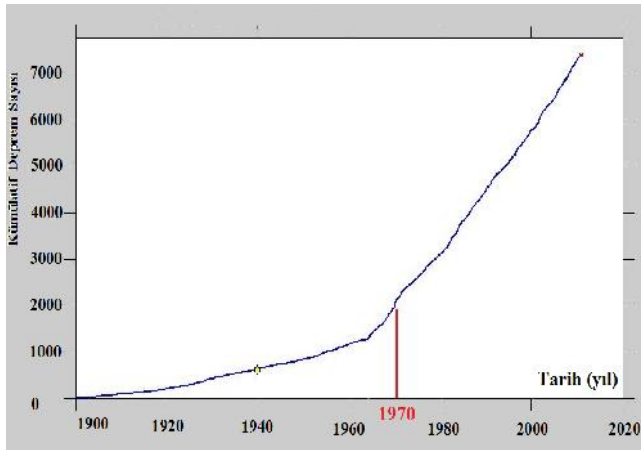
(d)

ekil- 4 ZMAP yazılımı kullanılarak en büyük olasılık (EBO) ve a ırlıklı en küçük kareler (AEKK) yöntemlerine göre (otomatik seçenkle) elde edilen magnitüd frekans dağılım grafikleri: (a) KAFZM için Reasenberg (1985) artçı-ana ok ayrırma yöntemi sonuçları (b) KAFZM için Gardner ve Knopoff (1974) artçı-ana ok ayrırma yöntemi sonuçları (c) DAFZ için Reasenberg (1985) artçı-ana ok ayrırma yöntemi sonuçları (d) DAFZ için Gardner ve Knopoff (1974) artçı-ana ok ayrırma yöntemi sonuçları.

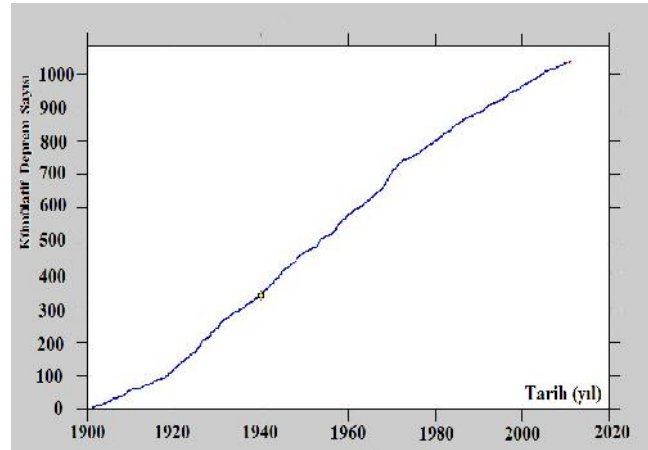
3. DEPREM TEKRARLANMA PARAMETRELERİNİN KATALOG TAMAMLILIK ARALIKLARI GÖZ ÖNÜNDE BULUNDURULARAK BELİRLENMESİ

ZMAP programının tüm katalog için tek bir tamamlılık magnitudü (completeness magnitude, M_c) de eri belirlenmesinin ve bunun tüm magnitud aralıkları için geçerli olduğunu varsayarak en büyük olasılık yönteminde kullanmasının sonuçlar üzerindeki etkili olduğu gözlenmektedir. Bu nedenle, ZMAP tarafından belirlenen deprem tekrarlanma parametrelerinin OSTA analizinde kullanılmaması gerekliliği özellikle son yıllarda tartışılan bir husustur (örnek olarak: SHARE projesi sismotektonik modeli, <http://www.efehr.org:8080/jetspeed/portal/hazard.psm>, son erişim tarihi: 10 Mart 2015). Bunun yerine katalog tamamlılık aralıklarını belirlemek için eğerlik magnitud aralıkları için eğerlik varsaymayan ve bu eğerlik tamamlılık aralıklarını en büyük olasılık yöntemine entegre eden modifiye Weichert (1980) yöntemi kullanılabilir. Bu yöntemin seçilen örnek bölgelere uygulanması, aşağıda detayları ile verilmiştir.

Tüm katalog ele alınarak ve ZMAP yoluyla Reasenberg (1985) algoritması kullanılarak artçı-ana ok ayrıştırması yapıldığında elde edilen veri tabanında katalogda 8185 adet ana- ok bulunmaktadır. Bu veri tabanı kullanılarak hazırlanan magnitudü 4'ten büyük depremlerin birikimli (kümülatif) deprem sayısı-yıl grafiği ekil-5a'da gösterilmektedir. Ekil-5a'ya göre, kümülatif deprem sayısı çizgisinin eğiminin 1970 yılı civarında değişim gösterdiği açıktır. Bu tarih, Türkiye'de ilk deprem kayıt istasyonlarının kurulmaya başladığı 1968-1970 yılları ile de tutarlılık göstermektedir. Bu bağlamda, Kalafat ve diğerleri (2011) tarafından hazırlanan katalogun, 4'ten büyük depremler için 1970-2010 yılları arasında (40 yıl boyunca) tamamlılık gösterdiği varsayılabilir. Aynı grafik bu veri tabanındaki 5.3'ten büyük depremler için çizilirse, grafiğin eğiminde herhangi bir değişim gözlenmez (ekil-5b). Eğimin sabit olduğu göz önünde bulundurularak, magnitudü 5.3 ve daha büyük depremler için elde edilen katalogun 1900-2010 yılları (110 yıl boyunca) için tamam olduğu varsayılabilir. Belirlenen katalog tamamlılık aralıklarının modifiye Weichert (1980) yönteminde nasıl kullanılacağı Tablo 1'de gösterilmektedir. Bu tablodaki (c) kolonuna, katalog tamamlılık aralığı magnitudü 5.3'ten büyük depremler için 110 yıl, magnitudü 4-5.3 arasındaki depremler için ise 40 yıl girilmiştir.



(a)



(b)

Ekil- 5 Magnitudü değerlerine karşılık gelen katalog tamamlılık aralıklarının ZMAP yazılımı kullanılarak elde edilmesi: (a) $M_w \geq 4$ için birikimli (kümülatif) deprem sayısı-tarih grafiği (b) $M_w \geq 5.3$ için birikimli (kümülatif) deprem sayısı-tarih grafiği.

Katalog tamamlılık aralıkları belirlendikten sonra, KAFZM poligonunun içine düşen ve artçı-ana ok ayıklanması yapılmış depremlerden oluşan veri tabanı kullanılarak modifiye Weichert (1980) yöntemi ile deprem tekrarlanma parametreleri belirlenmiştir. Hesaplama yapılırken katalogdaki en küçük deger olan 4'ten başlamak üzere, 0.2 artımlı olarak deprem magnitüd aralıkları belirlenerek, bu aralıklara düşen deprem sayıları bulunmuş ve Tablo 1'deki (b) kolonuna yerleştirilmiştir. Tablo 1'deki (a) kolonu, magnitüd aralıkları için ortalama magnitüd degerini gösterir (örneğin 4.0-4.2 magnitüd aralığı için ortalama magnitüd degeri 4.1 olarak alınmıştır). Tablodaki (d) kolonu, katalog tamamlılık aralıklarına göre ağırlıklandırılmış aktivite oranını temsil eder. Eldeki veri tabanı için pivot magnitüd degeri, (d) ve (e) kolonlarının toplamlarının hesaplanıp, (e) kolonunun toplamının (d) kolonunun toplamına bölünmesi sonucu elde edilir. KAFZM için pivot magnitüd degeri 4.63 olarak bulunmuştur.

Tablo 1. KAFZM için katalog tamamlılık aralığını da dikkate alarak modifiye Weichert (1980) yöntemine göre b-degerinin ve S_{hi} ve Bolt (1982) yönetimine göre b-degerinin standart sapmasının hesaplanması

Ortalama Magnitüd (M_i) (a)	Aralıktaki Deprem Sayısı (b)	Katalog Tamamlılık Aralığı (c)	Aktivite Oranı ($d=b/c$)	Aktivite Oranı x Ortalama Magnitüd ($e=dx_a$)	$(M_i - M_{pivot})^2$ (f)	\sum (g)
4.1	42	40	1.05	4.31	0.294	0.054
4.3	56	40	1.40	6.02	0.152	0.028
4.5	21	40	0.53	2.36	0.009	0.002
4.7	27	40	0.68	3.17	0.003	0.001
4.9	36	40	0.90	4.41	0.066	0.012
5.1	11	40	0.28	1.40	0.061	0.011
5.3	29	110	0.26	1.40	0.119	0.022
5.5	12	110	0.11	0.60	0.083	0.015
5.7	9	110	0.08	0.47	0.094	0.017
5.9	8	110	0.07	0.43	0.117	0.022
6.1	4	110	0.04	0.22	0.079	0.014
6.3	2	110	0.02	0.11	0.051	0.009
6.5	0	110	0.00	0.00	0.000	0.000
6.7	3	110	0.03	0.18	0.117	0.021
6.9	1	110	0.01	0.06	0.047	0.009
7.1	0	110	0.00	0.00	0.000	0.000
7.45	2	110	0.02	0.14	0.145	0.026
	263	Toplam	5.46	25.28	Toplam	0.263
		M_{pivot}	4.63		Standart sapma (M_{pivot})	0.032
		b-degeri [$= \log_{10} e / (M_{pivot} - M_{min}^1)$]	0.69	b degerinin standart sapması	0.035	

¹ Katalogla uyumlu olarak $M_{min}=4$ olarak kabul edilmiştir.

Modifiye Weichert (1980) yöntemine göre, b deeri deprem kataloğundaki maksimum magnitüd deeri minimum magnitüd deeriine çok yakın deilse (KAFZM ve DAFZ bölgeleri için böyle bir durum söz konusu deildir), b -deeri, minimum magnitüd ile pivot magnitüd arasındaki do runun deerimi olarak Denklem 3'teki gibi hesaplanabilir (Aki, 1965 ve Utsu,1965).

$$b = \log_{10} e / (M_{pivot} - M_{min}) \quad (3)$$

Tablo 2'de görüldü ü gibi, modifiye Weichert (1980) yöntemi ile ortalama b -deeri KAFZM için 0.69, DAFZ için 0.8 olarak bulunmu tur. OSTA çalı malarında bazen b -deerinin standart sapmasının da hesaplanması gerekir. Standart sapma (% 95 güven aralı ı içerisinde), Aki (1965) tarafından önerilen yöntemle Denklem 4 kullanılarak hesaplanabilir:

$$\pm 1.96 b / n \quad (4)$$

Bu ifadede n -deeri, ayıklanmı katalogdaki depremlerin sayısıdır. Ayrıca, b -deerinin standart sapmasını hesaplamak için Shi ve Bolt (1982) tarafından önerilen yöntem Denklem 5 ve 6'da gösterilmektedir. Bu çalı ma kapsamında Shi ve Bolt (1982) yöntemi tercih edilmi olup, standart sapmanın hesaplanması da Tablo 1'de açıklanmaktadır.

$$u_b = 2.30 b^2 u(M_{pivot}) \quad (5)$$

$$u(M_{pivot}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (M_i - M_{pivot})^2 / n(n-1)} \quad (6)$$

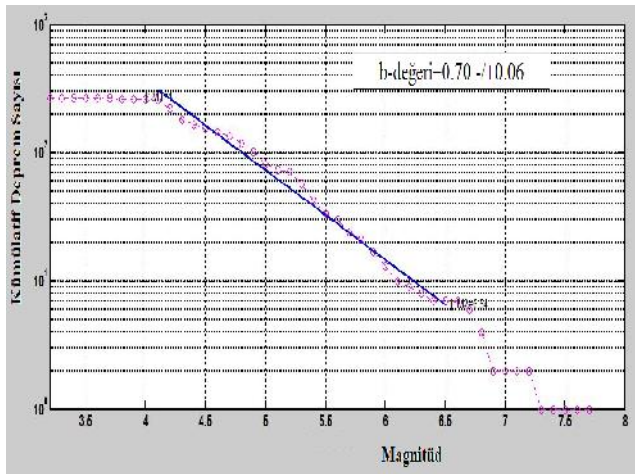
Denklem 5'deki $u(M_{pivot})$ ifadesi, pivot magnitüd deerinin standart sapmasını, Denklem 6'daki n deeri ise her bir magnitüd aralı ına dü en depremlerin sayısını ifade etmektedir. Shi ve Bolt (1982) tarafından önerilen yöntemde, katalog tamamlılık aralıkları göz önünde bulundurulmamaktadır. Katalog tamamlılık deerlerinin de sonuca etkisini göz önüne almak için, Denklem 6'da verilen ifade a a ıdaki gibi de i tirilmelidir:

$$u(M_{pivot}) = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (M_i - M_{pivot})^2 \times \frac{n}{P}\right) / (n \times n - 1)} \quad (7)$$

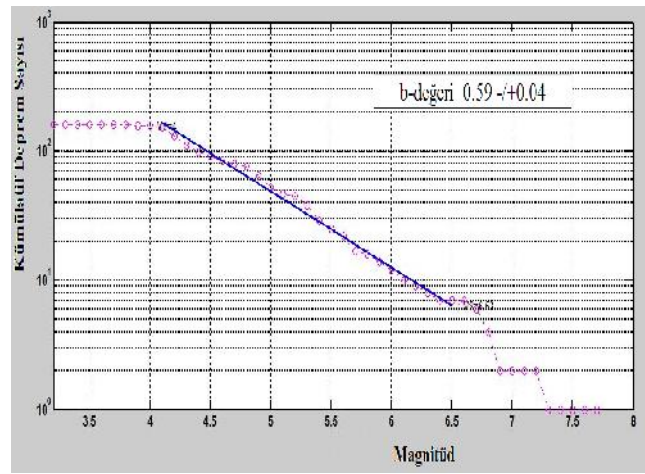
Tablo 1'de gösterildi i gibi, b -deerinin standart sapması oldukça küçüktür (0.035). Burada göz önünde bulundurulması gereken en önemli husus, hesaplanan standart sapma deerinin sadece istatistiksel belirsizli i temsil etti idir. Deprem tekrarlanma parametrelerini etkileyen regresyon yöntemi, artçı-ana ok ayrı tırma yöntemi, katalogda yer alan parametrelerdeki muhtemel hatalar (deprem lokasyonu ve deprem büyüklü ü belirsizlikleri vs.) gibi di er faktörler, hesaplanan bu standart sapma deeri içinde temsil edilmemektedir. Tablo 2'de görüldü ü üzere, aynı veriyi kullanarak ve sadece regresyon yöntemi de i tirilerek b -deerinin bu standart sapma deerinin yüzlerce katı büyüklü ünde de i tirilmesi mümkündür. Bu nedenle OSTA analizlerinde kullanılacak mantık a acı uygulamalarında, yalnızca istatistiksel belirsizli in göz önünde bulundurulması b -deerindeki belirsizli in do ru temsil edilememesine neden olmaktadır.

Modifiye Weichert (1980) yöntemi kullanılarak belirlenen pivot magnitüd deeri göz önüne alınarak ZMAP yazılımı ile elle çözüm (manuel fit) yapılırsa, hesaplanan b -deerindeki belirsizli in azaldı ı gözlemlenebilir. Analizlerde KAFZM için pivot magnitüd deeri 4.63 iken DAFZ için bu deeri daha dü üktür (4.55). Ayrıca KAFZM'de magnitüdü 5.5'e e it ya da büyük deprem sayısı 33, 6.5'e e it yada büyük deprem sayısı ise 6 iken,

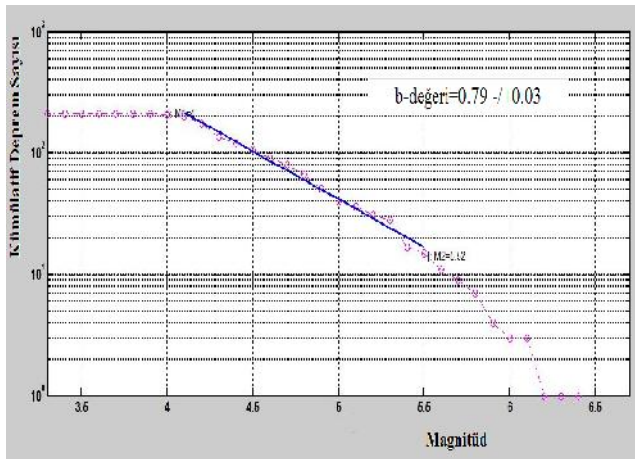
DAFZ’de magnitüdü 5.5’e e it ya da büyük deprem sayısı yalnızca 15’ tir, 6.5’e e it yada büyük deprem deprem ise bulunmamaktadır. Bu nedenle, manuel fit yapılırken, KAFZM için daha yüksek, DAFZ için daha düşük bir M_{max} de eri kullanmak daha do ru sonuç verecektir. ekil-6’da gösterilen b -de erleri bulunurken, ZMAP programı ile yapılan manuel çözümde KAFZM için maksimum magnitüd de eri 6.5 olarak seçilmi , DAFZ için ise bu de er 5.5 olarak alınmıştır. Elle çözüme ili kin sonuçlar Tablo 2’de di er sonuçlar ile kar ıla tılmaktadır. ekil-6a’da görüldü ü gibi, uygun bir M_{max} de eri seçilmesi ile, elle çözüm ile KAFZM için bulunan b -de eri (0.7), modifiye Weichert (1980) yöntemi ile neredeyse aynı sonucu vermektedir. Benzer ekilde, elle çözüm ile DAFZ için bulunan b -de eri (0.79), modifiye Weichert (1980) yöntemi çok yakındır (ekil-6c). Ancak, DAFZ için maksimum magnitüd de erinin 6.5 olarak alınması durumunda, 5.5 ile 6.5 arasındaki deprem sayısının azlığı sebebiyle, b -de eri dramatik bir ekilde %20’den fazla büyümektedir ($b=1.01$, Tablo 2).



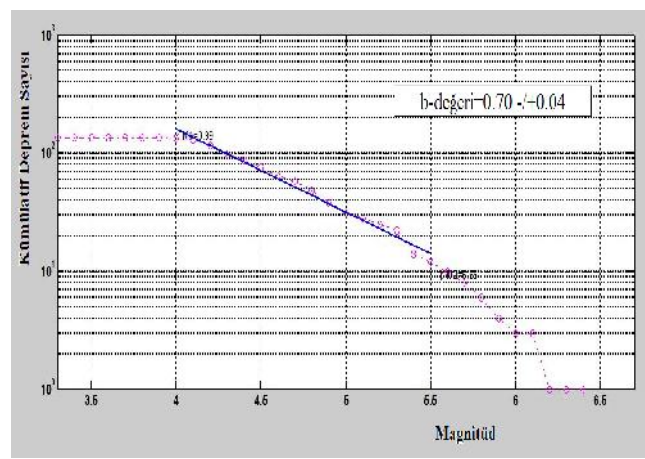
(a)



(b)



(c)



(d)

ekil- 6 ZMAP yazılımı kullanılarak elle çözümlerle elde edilen magnitüd frekans dağılım grafikleri (a) KAFZ için Reasenberg, 1985 artçı-ana ok ayırma yöntemi sonuçları ($M_{max} = 6.5$) (b) KAFZ için Gardner ve Knopoff, 1974 artçı-ana ok ayırma yöntemi sonuçları ($M_{max} = 6.5$) (c) DAFZ için Reasenberg, 1985 artçı-ana ok ayırma yöntemi sonuçları ($M_{max} = 5.5$) (d) DAFZ için Gardner ve Knopoff, 1974 artçı-ana ok ayırma yöntemi sonuçları ($M_{max} = 5.5$).

4. BULGULARIN ÖZET VE SONUÇLAR

Bu çalışmada kapsamında uygulanan tüm alternatif yöntemler sonucunda KAFZM ve DAFZ bölgeleri için hesaplanan deprem tekrarlanma parametreleri Tablo 2’de gösterilmektedir. Eer deprem tekrarlanma parametreleri pratikte sıkça yapıldığı gibi ZMAP programı kullanılarak hesaplanırsa, seçilen istatistiksel yöntem ve artçı-ana ok ayrırma yöntemine göre b -de eri yaklaşık olarak %15-20 oranında de i ebilmektedir. b -de erindeki bu belirsizlik, OSTA analizinde alansal kaynakların tercih edilmesi durumunda belirlenen kuvvetli yer hareketi tasarım parametrelerini aynı oranda etkileyecektir (Gülerce ve Vakilinezhad, 2015). Ayrıca, ZMAP paket programı istatistiksel analizi yaparken tüm katalog için tek bir tamamlılık magnitüdü belirler ve bunun tüm magnitüd aralıkları için geçerli olduğunu varsayar. Bu nedenle, ZMAP programının OSTA için deprem tekrarlanma parametrelerinin belirlenmesinde sadece yardımcı bir araç olarak kullanılması daha uygundur. Bu çalışmada, OSTA analizi için alansal kaynaklar belirlenmeden önce, eldeki tüm katalog kullanılarak ve ZMAP yardımıyla artçı-ana ok ayrırması önerilmektedir. Daha sonra, ana ok olarak belirlenen depremler kullanılarak, de i ik magnitüd aralıkları için örnek i ekil 4’de verilen grafikler çizilmeli ve katalog tamamlılık aralıkları belirlenmelidir. Alansal kaynakların geometrileri belirlendikten sonra, koordinatları ZMAP programına girilerek kaynak içine dü en ayıklanmış depremler seçilmeli ve Tablo 1’de gösterildi i ekilde ortalama b -de eri hesaplanmalıdır. Modifiye Weichert (1980) yöntemi için istatistiksel belirsizli in hesaplanması da yukarıda verilmektedir. Ancak bu de erin sadece istatistiksel yöntemdeki belirsizli i temsil etti i ve b -de erini etkileyen regresyon yöntemi, artçı-ana ok ayrırma yöntemi, v.b. di er faktörleri göz önüne almadığı mantık a acı uygulamasında göz önünde bulundurulmalıdır.

Tablo 2. KAFZ ve DAFZ için farklı artçı-ana ok ayrırma yöntemleri, farklı istatistiksel yaklaşımlar ve yazılımlarla elde edilen sonuçların özeti

Yöntem	KUZEY ANADOLU FAY ZONU (KAFZM)				DO U ANADOLU FAY ZONU (DAFZ)			
	Reasenberg (1985)		Gardner and Knopoff (1974)		Reasenberg (1985)		Gardner and Knopoff (1974)	
	a	b de eri	a	b de eri	a	b de eri	a	b de eri
ZMAP A ırlıklı En Küçük Kareler (AEKK)	5.1926	0.662	4.5681	0.575	5.8287	0.845	5.4603	0.795
ZMAP En Büyük Olabilirlik (EBO)	4.7961	0.583	4.4594	0.554	5.6283	0.805	5.1235	0.727
ZMAP Elle Çözüm M_{max} 6.5 (M_{max} 5.5)	-	0.7	-	0.59	-	1.01 (0.79)	-	0.94 (0.7)
Modifiye Weichert (1980) (önerilen)	5.4614	0.69	-	-	4.73	0.8	-	-

KAYNAKLAR

- Aki, K. (1965). Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits, *Bull. Earthquake Res. Inst., Tokyo Univ.* 43, 237-239.
- Frohlich, C., and S.D. Davis (1993), Teleseismic b values; or, much ado about 1.0, *Journal of Geophysical Research*, 98, B1, 631-644, DOI: 10.1029/92JB01891.
- Gardner, J. K., and L. Knopoff (1974), Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 64(5), 1363-1367.
- Gutenberg, R. ve Richter, C. F. (1954). Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 32 163-191.
- Gülerce, Z. and Vakilinezhad, M., (2015). Effect of Seismic Source Model Parameters on the Probabilistic Seismic Hazard Assessment Results: A Case Study for North Anatolian Fault Zone. *Bulletin of Seismological Society of America*, 105(5).
- Ishimoto, M. and Iida, K., (1939). Observations sur les seismes enregistres par le microsismographe construit dernièrement (1). *Bulletin of the Earthquake Research Institute, Univ. Tokyo* 17: 443-478
- Kalafat, D., Güne , Y., Kekovalı, K., Kara, M., Deniz, P., Yılmaz, M. (2011) Bütünle tirilmi Homojen Türkiye Deprem Katalo u (1900-2010; $M \geq 4.0$), Bo aziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Ara tırma Enstitüsü.
- Öztürk, S. (2015) Depremselli in Fraktal Boyutu ve Beklenen Güçlü Depremlerin Orta Vadede Bölgesel Olarak Tahmini Üzerine Bir Modelleme: Do u Anadolu Bölgesi, Türkiye, *Gümü hane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5 (1): 1-23
- Reasenberg, P. (1985), Second-order moment of central California seismicity, 1969-82, *J. Geophys. Res.*, 90, 5479-5495.
- Shi, Y., and B.A. Bolt (1982), The standard error of the magnitude-frequency b value, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 72, 1677-1687.
- Utsu, T., (1965). A method for determining the value of b in the formula $\log N = a - bM$ showing the magnitude-frequency relation for earthquakes. *Geophys. Bull. Hokkaido Univ.*, 13: 99-103 (in Japanese with English abstract).
- Wiemer, S., and M. Wyss (1997). Mapping the frequency-magnitude distribution in asperities: An improved technique to calculate recurrence times, *J. Geophys. Res.*, 102, 15115-15128
- Weichert, D. H. (1980). Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 4, 1337-1346.
- Wiemer, S. (2001), A software package to analyze seismicity: ZMAP, *Seismological Research Letters* Volume 72, Number 2 March/April 2001, 373-382.