


Farklı İstatistiksel Dağılımlar ile Deprem Verilerinin Modellenmesi ve Performans Karşılaştırması

*Hayriye Esra Akyüz

Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, Bitlis, Türkiye, heakyuz@beu.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 05.03.2018

Kabul Tarihi: 13.11.2018

Öz

Bu çalışmada, deprem verilerinin modellenmesinde daha önce kullanılmamış olan Nakagami dağılımının performansı, bilinen Genelleştirilmiş uç değer değer, Gumbel, Weibull dağılımları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kriteri olarak belirleme katsayısı ve hata kareler ortalamasının karekökü ele alınmıştır. Deprem büyüklüğü verileri ayrı ayrı incelenerek her bir yıl için maksimum deprem büyüklükleri elde edilmiş ve blok maksima (yıllık maksimumlar) veri seti belirlenmiştir. Çalışmada uç değer teorisi ile kısa periyotlarda elde edilen veriler göz önünde bulundurularak, uzun periyotlarda deprem olma olasılıkları elde edilmiştir. Deprem verilerine uydurulan dağılımların parametre tahminleri ve bu parametre tahminlerinin varyans-kovaryans matrisleri belirlenmiştir. Belirleme katsayısı ve hata kareler ortalamasının karekökü değerlerine göre, deprem verilerinin modellenmesinde Nakagami dağılımının da bilinen diğer dağılımlar kadar başarılı olduğu görülmüştür. Diğer yandan; Gumbel dağılımının gözlenen deprem verilerine uyumu ortaya çıkarılarak bu dağılıma dayalı tekraralama seviyeleri tahmin edilmiştir. Böylece, önümüzdeki 10 yıl içinde 5.1 şiddetinde deprem olma olasılığının % 10 olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Deprem şiddeti, uç değer teorisi, Nakagami dağılımı, tekraralama seviyesi

Modelling and Performance Comparison of Siesmic Data with Different Statistical Distributions

*Hayriye Esra Akyüz

Bitlis Eren University, Faculty of Science and Arts, Department of Statistics, Bitlis, Turkey, heakyuz@beu.edu.tr

Abstract

In this study, the performance of Nakagami distribution which is previously not used in the model of siesmic data is compared with known Generalized extreme value, Gumbel, Weibull distributions. The comparison criterion is the coefficient of determination and root mean square error. The siesmic magnitude data are analyzed separately and maximum siesmic magnitudes are obtained for each year and also block maxima (annual maximums) data set is determined. Considering the data obtained in the short periods with extreme value theory in the study, long-term probability of an earthquake has been obtained. Parameter estimations of the distributions fitted to the siesmic data and the variance-covariance matrices of these parameter estimates were determined. According to the coefficient of determination and root mean square error, it is determined that Nakagami distribution is also as successful as other known distributions in the modelling of siesmic data. On the other hand; the fitting to the observed siesmic data of the Gumbel distribution is revealed and return levels based on this distribution is estimated. Thus, the probability of having an earthquake of 5.1 is determined as 10% in the next 10 years.

Keywords: Siesmic magnitude, extreme value theory, Nakagami distribution, return level

1. GİRİŞ

Ülkemiz deprem riskinin çok yüksek olduğu bir coğrafyada bulunmaktadır. Özellikle son yıllarda yaşanan depremlerin insan ve yerleşim yerlerinde oldukça büyük bir etkisi vardır. Bu durum, deprem verileri üzerinde doğru tahmin yapabilmenin önemini artırmaktadır.

Belirlenen bir zaman aralığında belirli bir büyüklüğün üzerinde deprem olma olasılığının, belli hata payı içerisinde tahmininin doğru yapılabilmesi önem arz etmektedir. Bu tahmin sürecinde genellikle uç değer teorisi kullanılmaktadır. Bu analizlerde maksimum değerler dikkate alınarak istatistiksel modellerden tahminler elde edilmektedir.

Literatürde deprem verilerinin analizi ve modellenmesi ile ilgili birçok çalışma mevcuttur. Bir çalışmada, deprem verileri için lineer regresyon analizi kullanarak, risk tahmini yapılmaya çalışılmıştır [1]. Deprem verileri uç değerler ile analiz edilmiş [2] ve başka bir çalışmada ise maksimum şiddetteki depremlerin oluşumunun istatistiksel tahminini yapılmıştır [3]. Kagan ve Jackson [4], depremlerin olasılıksal tahminlerini incelemişlerdir. Kagan ve Schoenberg [5], genelleştirilmiş pareto dağılımının deprem sayılarını modellemede çok sık kullanıldığını fakat kesme (cutoff) parametre tahminlerinin yanlış olduğunu göstermişlerdir. Bu parametreler için alternatif tahminler sunmuşlardır. Pisarenko ve Sornette [6], deprem büyüklüğünün 8.0 ve daha büyük olması durumunda Gutenberg-Richter (karakteristik deprem dağılımı) dağılımından sapmanın ve istatistiksel tespitinin üzerinde çalışmışlardır. Apostol [7], logaritmik dağılımı kullanarak sismik tahminler için bir model önermiştir. Lombardi ve Marzocchi [8], Dünya çapındaki büyük depremlerin zaman dağılımında durağan poisson süreci kullanmışlardır. Kagan [9], deprem sayılarının modellenmesi için bazı kesikli istatistiksel dağılımlar üzerinde çalışmıştır. Bu dağılımlar; Poisson, geometrik, logaritmik ve negatif binom dağılımlarıdır. Pisarenko vd. [10], maksimum şiddetteki depremlerin dağılımları üzerinde çalışmışlardır. Bu amaçla genelleştirilmiş pareto dağılımı ve genelleştirilmiş uç değer dağılımını kullanmışlardır. Akyol vd. [11], Batı Anadolu Bölgesi'ndeki depremler için büyüklük-frekans ilişkisinin istatistiksel analizini yapmıştır. Toyganözü ve Balcı [12] deprem verilerini uç değer teorisi kullanarak modellemişlerdir. Pisarenko vd. [13], deprem büyüklüklerinin kuyruk dağılımlarının istatistiksel tahmini üzerine çalışmışlardır. Belirli bir t süresinin ardışık zaman aralıklarında meydana gelen maksimum büyüklükler için uç değer teorisini kullanmışlardır. Köle [14], Çankırı ili için tahmini deprem olasılıkları ve dönüş periyotlarını elde etmiştir.

Bu çalışmada deprem verilerinin modellenmesinde daha önce hiç kullanılmayan Nakagami dağılımının performansı çeşitli istatistiksel kriterler ile değerlendirilmiştir. Çalışmada ele alınan diğer dağılımlar ise Genelleştirilmiş uç değer dağılımı, Gumbel ve Weibull dağılımlarıdır.

2. İSTATİSTİKSEL MODELLEME

İstatistiksel modellemenin ana amacı, yığının olasılık yapısı üzerine çıkarımlar yapmak için örnekten elde edilen bilgileri kullanmaktır. n hacimli rasgele örnek X_1, X_2, \dots, X_n olsun. x_1, x_2, \dots, x_n verilerinin olasılık yoğunluk fonksiyonunun bir ailesi, $F = f(X, \theta)$, $\theta \in \Theta$ biçiminde yazılır. θ_0 , θ parametresinin doğru değerini belirtir. Sonuç çıkarımı, θ parametre uzayı içinde θ_0 parametre değerinin tahminine indirgenir. θ parametresi skaler olabilir, tek bir değer alabileceği gibi bir vektör olarak ifade edilebilir.

X_1, X_2, \dots, X_n bağımsız rasgele değişler olmak üzere uç değer teorisi için kullanılacak model aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$M_n = \max X_1, X_2, \dots, X_n \quad (1)$$

M_n , sürecin maksimum değerini gösterir. Eğer n , bir yıldaki gözlemlerin sayısı ise, M_n yıllık maksimumların bir z değerinden küçük olma olasılığı,

$$P(M_n \leq z) = (F(z))^n \quad (2)$$

olarak ifade edilir. F 'nin teorik dağılımının bilinmediği durumlarda, bu dağılım simülasyon yöntemleri ile örnek verilerinden tahmin edilmeye çalışılır [15].

2.1. Genelleştirilmiş Uç Değer Dağılımı

Eğer $a_n > 0$ ve b_n sabitlerinin bir dizisi mevcut ise F dağılım fonksiyonu olmak üzere $n \rightarrow \infty$ iken;

$$P\left\{\frac{M_n - b_n}{a_n} \leq z\right\} \rightarrow F(z) \quad (3)$$

olacak biçimde $F(z)$ aşağıdaki dağılım ailelerinden birine aittir:

$$(i) \quad F(z) = e^{-e^{-\left(\frac{z-b}{a}\right)}}, \quad -\infty < z < \infty \quad (4)$$

$$(ii) \quad F(z) = \begin{cases} 0 & z \leq b \\ e^{-\left(\frac{z-b}{a}\right)^{-a}} & z > b \end{cases} \quad (5)$$

$$(iii) \quad F(z) = \begin{cases} \left\{ \left[-\left(\frac{z-b}{a} \right)^a \right] \right\} & z < b \\ 1 & z \geq b \end{cases} \quad (6)$$

$\frac{M_n - b_n}{a_n}$ yukarıdaki üç dağılım ailelerinden birine yakınsar

[16]. Bu üç dağılım ailesi uç değer dağılımı olarak bilinir. *i*, *ii* ve *iii* ve sırasıyla; *a* ölçek parametresi, *b* konum parametresi ve *a* şekil parametresi ile Gumbel, Frechet ve Weibull dağılım aileleridir [15]. Genelleştirilmiş uç değer dağılımı ise bu üç dağılımın tek bir aile olarak birleştirilmesi ile elde edilir ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$F(z) = e^{-\left\{ \left[1 + \zeta \left(\frac{z-\mu}{\sigma} \right) \right]^{\frac{1}{\zeta}} \right\}}; \quad -\infty < \mu < \infty, -\infty < \zeta < \infty \quad (7)$$

$\zeta = 0$ ile Genelleştirilmiş uç değer dağılımının bir alt kümesi $\zeta \rightarrow 0$ iken Eşitlik 7'nin limiti Gumbel dağılımına yakınsar. Bu dağılımın ortalaması ve varyansı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$\hat{\mu} = \begin{cases} \mu + \sigma \frac{\Gamma(1-\zeta) - 1}{\zeta} & \zeta \neq 0, \zeta < 1 \\ \mu + \sigma \gamma & \zeta = 0 \\ \infty & \zeta \geq 1 \end{cases} \quad (8)$$

$$\hat{\sigma} = \begin{cases} \sigma^2 (g_2 - g_1^2) / \zeta^2 & \zeta \neq 0, \zeta < \frac{1}{2} \\ \sigma^2 \frac{\pi^2}{6} & \zeta = 0 \\ \infty & \zeta \geq \frac{1}{2} \end{cases} \quad (9)$$

Burada γ Euler sabiti ve $g_k = \Gamma(1 - k\zeta)$ biçimindedir. $\Gamma(\cdot)$ ise Gamma fonksiyonunu ifade etmektedir.

2.2. Weibull Dağılımı

2- parametrelili Weibull dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$f(x) = \left(\frac{k}{c} \right) \left(\frac{x}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{c} \right)^k} \quad (10)$$

Burada $f(x)$ olasılık yoğunluk fonksiyonu, *c* ölçek parametresi *k* ise şekil parametresidir. Kümülatif dağılım fonksiyonu ise

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{c} \right)^k} \quad (11)$$

biçiminde elde edilir. Bu dağılımın ortalaması ve varyansı sırasıyla aşağıdaki gibidir.

$$\hat{\mu} = c \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \quad (12)$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{c^2 \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{k} \right) - \left(\Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \right)^2 \right]} \quad (13)$$

Burada $\Gamma(\cdot)$ Gamma fonksiyonunu ifade etmektedir. Bu dağılım sağa çarpık bir dağılımdır [17].

2.3. Nakagami Dağılımı

Nakagami dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu,

$$f(x) = \frac{2k^k}{\Gamma(k)c^k} x^{2k-1} e^{-\left(\frac{kx^2}{c} \right)}, \quad x > 0 \quad (14)$$

şeklinde. Kümülatif dağılım fonksiyonu ise

$$F(x) = \frac{\gamma \left(k, \frac{kx^2}{c} \right)}{\Gamma(k)} \quad (15)$$

olarak ifade edilir. Burada γ Euler sabitidir. Weibull dağılımı gibi sağa çarpık bir dağılımdır. Bu dağılımın ortalaması ve varyansı ise;

$$\hat{\mu} = \frac{\Gamma \left(k + \frac{1}{2} \right)}{\Gamma(k)} \left(\frac{c}{k} \right)^{1/2} \quad (16)$$

$$\hat{\sigma} = c \left(1 - \frac{1}{k} \left(\frac{\Gamma\left(k + \frac{1}{2}\right)}{\Gamma(k)} \right)^2 \right) \quad (17)$$

şeklindedir [17].

2.4. Dağılımların İstatistiksel Analizi

Bu çalışmada verilerin Genelleştirilmiş uç değer, Weibull ve Nakagami dağılımlarına uygunluk gösterip göstermediğini incelemek için Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testi kullanılmıştır. Bu uyum iyiliği testine ait test istatistiği değeri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$KS = \max_{1 \leq i \leq n} \left(F(x_i) - (i-1)/n, i/n - F(x_i) \right) \quad (18)$$

En uygun dağılımı belirleyebilmek ve deprem verilerini modelleme için model seçim kriterleri olarak belirleme katsayısı (R^2) ve hata kareler ortalamasının karekökü tercih edilmiştir. Bu istatistiksel değerler

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \left(\hat{F}(X_{(i)}) - \frac{i}{n+1} \right)^2}{\sum_{i=1}^n \left(\hat{F}(X_i) - \bar{\hat{F}}(X_i) \right)^2} \quad (19)$$

ve

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\hat{F}(X_{(i)}) - \frac{i}{n+1} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (20)$$

olarak ifade edilir [18,19]. Burada n örnek hacmi, \hat{F} kümülatif dağılım fonksiyonunun tahminidir ve $\bar{\hat{F}}$ ise aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\bar{\hat{F}} = (1/n) \sum_{i=1}^n \hat{F} \quad (21)$$

R^2 'si büyük, RMSE ve KS test istatistiği değeri küçük olan dağılımlar, verilerin modellenmesinde en uygun dağılım olarak seçilir.

2.5. Tekrarlama Periyotları

n hacimli gözlemlerin blok maksima verisi $M_{n,1}, M_{n,2}, \dots, M_{n,m}$ olsun. Bu değerler yıllık maksimum değerlerdir. Ekstrem değer modelini tekrarlama seviyeleri ve yüzdeler açısından yorumlamak parametre değerleri açısından yorumlamaktan daha uygundur. Yıllık maksimum dağılımın ekstrem yüzdelerinin tahmini aşağıdaki gibidir [15].

$$z_p = \begin{cases} \mu - \frac{\sigma}{\zeta} \left[1 - \{-\log(1-p)\}^{-\zeta} \right], & \zeta \neq 0 \\ \mu - \sigma \log\{-\log(1-p)\}, & \zeta = 0 \end{cases} \quad (22)$$

Burada z_p tekrarlar aralığı $1/p$ olan tekrarlar seviyesidir. z_p seviyesinin her $1/p$ yılda ortalama bir kez aşılması beklenir.

3. VERİ ve YÖNTEM

Bu çalışmada, Bitlis ili merkezli (38Enlem, 42Boylam) 100 km. yarıçaplı bölge için 1907-2016 yılları arasındaki deprem büyüklüğü verileri kullanılmıştır. Bu 100 km. yarıçaplı bölge için bazı il ve ilçelere ait değerler ele alınmıştır. Elde edilen her yıl için veriler ayrı ayrı incelenerek her bir yıl için maksimum deprem büyüklüğü bulunmuştur. Bu bilgi ile yıllık maksimumlar oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan deprem büyüklüğü verileri Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsünün resmi web sitesinde bulunan deprem sorgulama sisteminden elde edilmiştir. Deprem verilerinin analizinde MATLAB'da yazılan program kullanılmıştır. MATLAB'da olasılık dağılımlarını oluşturabilmek için ProbDistUnivParam fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyona bağlı olarak Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testi değerleri elde edilmiştir. Dağılımlara uydurulan (fitted) eğrilerin çiziminde Distribution Fitting Tool araç kutusu kullanılmıştır. Son olarak programda yazılan kodlar ile parametre tahmin değerleri, belirleme katsayıları ve hata kareler ortalamasının karekökü değerleri elde edilmiştir. Parametre tahminleri en çok olabilirlik yöntemi ile elde edilmiştir. Ayrıca dağılım parametrelerine bağlı olarak ortalama deprem şiddeti tahmin edilmiştir.

4. BULGULAR

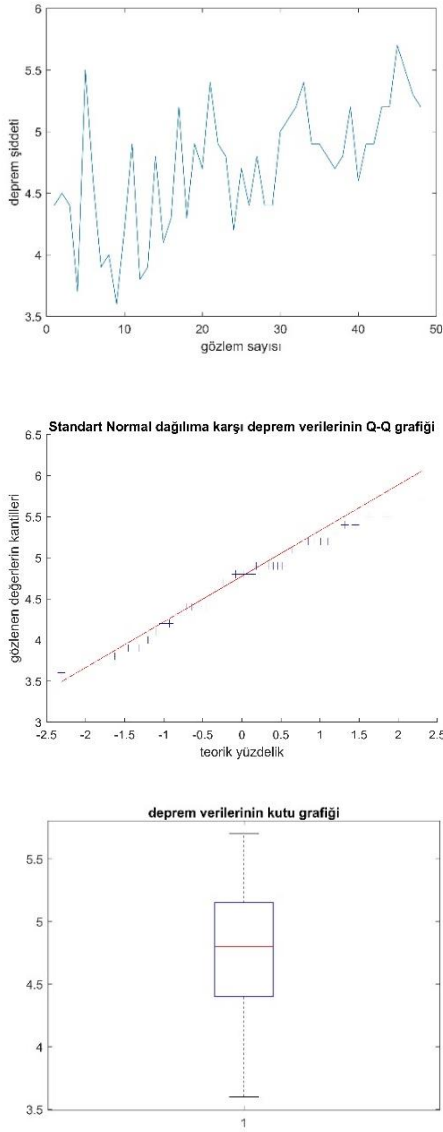
Çalışmada ilk olarak yıllık maksimum deprem verilerine ait tanımlayıcı istatistikler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara Tablo 1'de yer verilmiştir.

Tablo 1. Yıllık maksimum deprem verilerine ait bazı tanımlayıcı istatistikler

Tanımlayıcı istatistikler	Değeri
Örnek hacmi	48
Ortalama	4.7125
Standart sapma	0.5089
Varyans	0.2590
Basıklık	2.4152
Çarpıklık	-0.2928
Minimum değer	3.6000
Maksimum değer	5.7000

Tablo 1 incelendiğinde; 1907- 2016 yılları arasında yıllık maksimum deprem sayısının toplamda 48 olduğu görülmüştür. Ortalama deprem şiddetinin ise 4.7 olduğu belirlenmiştir. Bu yıllar arasında ortaya çıkan minimum

deprem şiddetinin 3.6, maksimum deprem şiddetinin ise 5.7 olduğu elde edilmiştir. Tablo 1'e ait sonuçları destekleyen grafikler Şekil 1'de sunulmuştur.

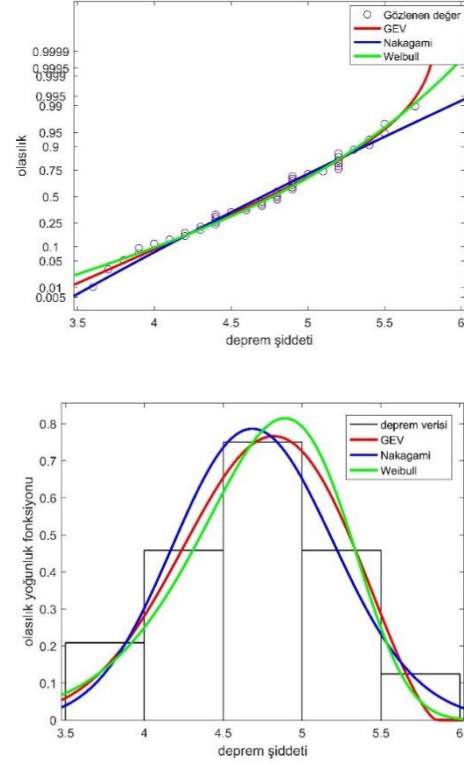


Şekil 1. Deprem şiddetinin dağılımı, Q-Q ve kutu grafiği

Elde edilen yıllık blok maksima deprem verilerinin dağılımı, bu verilerin Q-Q grafiği ve kutu grafiği Şekil 1'deki gibidir. Bu grafikler incelendiğinde yıllık blok maksima verilerinin herhangi bir uç değer içermediği ve ortalama etrafında dağıldığı görülmüştür.

Şekil 2'de yıllık maksimum deprem verilerinin olasılık grafiği (probability plot) ve deprem verilerine uydurulan (fitted) dağılımlara ait grafiğe yer verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde; verilerin deneysel dağılımının kabaca Genelleştirilmiş Uç Değer, Nakagami ve Weibull dağılımlarına uyum gösterdiği anlaşılmıştır.

Deprem verilerine uydurulan dağılımlar hakkında yalnızca grafiksel olarak karar vermek uygun değildir. Yine de bu uygunluk için istatistiksel bir uyum iyiliği testi kullanmak gereklidir. Verilerin bu dağılımlara uygunluk gösterip göstermediğini belirlemek için Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testi kullanılmıştır. Bu teste ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Deprem verilerine uydurulan (fitted) dağılımlar

Tablo 2. Kolmogorov-Smirnov uyum iyiliği testi sonuçları

	GEV	Nakagami	Weibull
Kritik değer	0.0915	0.1172	0.1045
p-değeri	0.7829	0.4883	0.6330

Tablo 2'ye göre çalışmada kullanılan deprem verilerinin her üç dağılıma da uygunluk gösterdiği belirlenmiştir (p-değeri>0.05).

Tablo 3. Dağılımların karakteristikleri ve ortalama deprem şiddeti tahminleri

	GEV	Weibull	Nakagami
Şekil parametresi	-0.4131	10.8816	21.7336
Ölçek parametresi	0.5307	4.9347	22.4612
Konum parametresi	4.5664	-	-
Ortalama	4.7121	4.7110	4.7121
Standart Sapma	0.5017	0.5233	0.5068
Log-olabilirlik	-34.0616	-34.7094	-35.4400

Tablo 3'de dağılımlara ait parametre tahmin değerleri elde edilmiştir. Buna göre Genelleştirilmiş uç değer dağılımının şekil, ölçek ve konum parametrelerinin tahminlerinin

sırasıyla -0.4131, 0.5307 ve 4.5664 olduğu belirlenmiştir. Benzer biçimde Weibull ve Nakagami dağılımları için de şekil ve ölçek parametre tahminlerine yer verilmiştir. Bu dağılımlara ait ortalama değerler incelendiğinde ortalama deprem şiddetini tahmin etmede her üç dağılımında başarılı olduğu söylenebilir. Fakat Genelleştirilmiş uç değer dağılımı daha düşük standart sapma ile daha tutarlı bir sonuç vermiştir. Log-olabilirlik değeri bakımından ise en düşük değere sahip olması sebebiyle Nakagami dağılımının bu verileri modellemede kullanılabileceği söylenebilir.

Her bir dağılım için parametre tahminlerinin varyans-kovaryans matrisleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir. Genelleştirilmiş uç değer dağılımı için parametre tahminlerinin varyans-kovaryans matrisi;

$$\begin{bmatrix} 0.00821 & -0.00365 & -0.00289 \\ -0.00365 & 0.00379 & -0.00079 \\ -0.00289 & -0.00079 & 0.00699 \end{bmatrix}$$

Weibull dağılımı için parametre tahminlerinin varyans-kovaryans matrisi;

$$\begin{bmatrix} 0.00477 & 0.02699 \\ 0.02699 & 1.49191 \end{bmatrix}$$

Nakagami dağılımı için parametre tahminlerinin varyans-kovaryans matrisi;

$$\begin{bmatrix} 19.3841 & 1.64823e-07 \\ 1.64823e-07 & 0.48361 \end{bmatrix}$$

Tablo 4. Dağılımlar için R² ve RMSE değerleri

	Nakagami	Weibull	GEV	Gumbel
R2	0.9699	0.9566	0.9999	0.9998
RMSE	0.0927	0.1356	0.0021	0.0014

Tablo 4 incelendiğinde Nakagami, Weibull ve Genelleştirilmiş uç değer dağılımlarının deprem verilerini modellemede kullanılabileceği elde edilmiştir. Fakat en yüksek R² ve en düşük RMSE değerlerinin Genelleştirilmiş uç değer dağılımı için ortaya çıktığı belirlenmiştir.

Genelleştirilmiş uç değer dağılımının parametre tahminleri $\hat{\mu} = 4.5664$, $\hat{\sigma} = 0.5307$ ve $\hat{\zeta} = -0.4131$ olarak elde edilmişti (Tablo 3). Şekil parametresinin tahmini olan $\hat{\zeta} > -0.5$ olduğundan maksimum olabilirlik tahminleri düzenlidir. Bu, verilerin Gumbel dağılımına (Genelleştirilmiş uç değer dağılımı-Tip I) indirgenerek modellenebileceği anlamına gelir. Gumbel dağılımı için $\hat{\mu} = 4.4541$ ve $\hat{\sigma} = 0.5067$ olarak elde edilmiştir. Deprem verilerinin Gumbel dağılımına uyumunun testinde yani modelin uygunluğunun testinde ise Kolmogorov-

Smirnov uyum iyiliği testine ait p-değeri=0.3936, KS test istatistiği=0.9750 olarak belirlenmiştir.

Tablo 5. Gumbel modeli için tekrarlamaya seviyeleri

Yıl	Deprem şiddeti	Olasılık
2	4.6	% 50
10	5.1	% 10
20	5.9	% 5
100	6.7	% 1

Tablo 5'te, çalışmada ele alınan bölge için gelecekte deprem olma olasılıkları verilmiştir. Önümüzdeki 10 yıl içinde 5.1 şiddetinde deprem olma olasılığının % 10 olduğu belirlenmiştir.

5. SONUÇLAR

Literatürde deprem verilerinin modellenmesinde en sık kullanılan dağılımlar Genelleştirilmiş uç değer ve Weibull dağılımlarıdır. Bu çalışmada ilk kez Nakagami dağılımının deprem verilerinin modellenmesi için kullanılabileceği ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte yapılan istatistiksel analizler sonucunda, GEV dağılımının diğer dağılımlardan daha yüksek R² ve daha düşük RMSE değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca şekil parametresinin değeri itibarı ile bu verilerin Gumbel dağılımı ile de modellenebileceği görülmüştür.

Sonuç olarak deprem verilerinin modellenmesinde Nakagami dağılımının da bilinen diğer dağılımlar kadar başarılı olduğu söylenir. Bununla birlikte çalışmada elde edilen sonuçlara göre, deprem verilerinin modellenmesinde Nakagami dağılımının Gumbel dağılımına bir alternatif olabileceği ortaya çıkmıştır.

KAYNAKÇA

- [1] N. Duru, M. Canbay, Veri Madenciliği ile Deprem Verilerinin Analizi, Kocaeli, 2007.
- [2] L. Knopoff, Y. Kagan, "Analysis of the theory of extremes as applied to earthquake problems", J. Geophys. Res., 82(36), 5647-5657, 1977.
- [3] T.M. Yegulalp, J.T. Kuo, "Statistical prediction of the occurrence of maximum magnitude earthquakes", Bull. Seismol. Soc. Amer., 64, 393-414, 1974.
- [4] Y. Y. Kagan, D. D. Jackson, "Probabilistic forecasting of earthquakes", Geophys. J. Int., 143(2):438-453, 2000.
- [5] Y.Y. Kagan, F. Schoenberg, "Estimation of the upper cutoff parameter for the tapered Distribution", J. Appl. Probab. 38A:901-918, 2001.
- [6] V.F. Pisarenko, D.Sornette, "Statistical Detection and Characterization of a Deviation from the Gutenberg-Richter Distribution above Magnitude 8", Pure Appl. Geophys., 161: 839-864, 2004.
- [7] B. F. Apostol, "A model of seismic focus and related statistical distributions of earthquakes", Phys. Letters A, 357(6):462-466, 2006.
- [8] A. M. Lombardi, W. Marzocchi, "Evidence of clustering and nonstationarity in the time distribution of large worldwide earthquakes", J. Geophys. Res., 112:1-15, 2007.

- [9] Y.Y. Kagan, “Statistical distributions of earthquake numbers: consequence of branching process”, *Geophys. J. Int.*, 180(3):1313-1328, 2010.
- [10] V.F. Pisarenko, D. Sornette, M.V. Rodkin, “Distribution of maximum earthquake magnitudes in future time intervals: application to the seismicity of Japan (1923–2007)”, *Earth, Planets Space*, 62(7), 567-578, 2010.
- [11] N. Akyol, F. Palas, P. Sındırgı, “Türkiye batı Anadolu depremleri için büyüklük- frekans ilişkisinin istatistiksel analizi”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 39-54, 2012.
- [12] C. Toyganözü, Ç. Balcı, Ç, “Deprem verilerinin ekstrem değer teorisi ile istatistiksel analizi: göller bölgesi örneği”. *Anadolu Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, 15(2), 105-112, 2014.
- [13] V. F. Pisarenko, A. Sornette, D. Sornette, & M.V. Rodkin, “Characterization of the tail of the distribution of earthquake magnitudes by combining the GEV and GPD descriptions of extreme value theory”, *Pure Appl. Geophys.*, 171(8):1599-1624, 2014.
- [14] M. M. Köle, “Çankırı İli için Deprem Olasılık Tahmini”, *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(1):455-470, 2016.
- [15] S. Coles, *An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values*, Springer- Verlag, London, 2001.
- [16] R.A. Fisher, L.H.C. Tippett, “Limiting forms of the frequency distributions of the largest or smallest member of a sample”, *Math. Proc. Camb. Phil. Soc.*, 24(2), 180-190, 1928.
- [17] G. Casella, R.L. Berger, *Statistical Inference*, 2nd ed., Duxbury Thomson Learning, USA, 2001.
- [18] Y.M. Kantar, I. Usta, “Analysis of the upper-truncated weibull distribution for wind speed”, *Energ. Convers. Manag.*, 96:81–88, 2015.
- [19] F.G. Akgül, B. Şenoğlu, T. Arslan, “An alternative distribution to Weibull for modeling the wind speed data: inverse weibull distribution”, *Energ. Convers. Manag.*, 114:234-240, 2016.