

## 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depreminin Şartlı Olasılığının Değerlendirilmesi

Kaan Hakan ÇOBAN\*<sup>1</sup>, Nilgün SAYIL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Trabzon

Geliş tarihi: 09.10.2020

Kabul tarihi: 30.12.2020

### Öz

Bu çalışmada dört farklı istatistiksel dağılım modeli (Weibull, Rayleigh, üstel ve log-normal dağılım modelleri) uygulanarak 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminin şartlı olasılığı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar için, bölgede 1900 yılı ile 2019 yılları arasında meydana gelmiş  $M \geq 4,7$  depremlerin tekrarlama periyotları kullanılmıştır. Modeller ile kullanılan veri arasındaki uyum ilişkisi üç farklı test kriteri (Olabilirlik değeri (lnL), Akaike ve Bayesian bilgi kriteri) ile değerlendirilmiştir. Log-normal model, çalışma verisini en iyi temsil eden model olarak belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre Sivrice (Elazığ) depreminin şartlı olasılık değerleri ( $t=0$  ve  $te=2$  için); Log-normal modele göre %80, üstel modele göre %72, Weibull modele göre %70, Rayleigh modele göre %36 olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sivrice (Elazığ) Depremi, Weibull, Rayleigh, Üstel, Log-normal

### Evaluation of the Conditional Probability of January 24, 2020 Sivrice (Elazığ) Earthquake

#### Abstract

In this study, the conditional probability of 24 January 2020 Sivrice (Elazığ) earthquake was calculated by applying four different statistical distribution models (Weibull, Rayleigh, exponential and log-normal distribution models). For these calculations, the recurrence periods of  $M \geq 4.7$  earthquakes that occurred between 1900 and 2019 in the region were used. The fitting between the models and the data was evaluated with three different test criteria (Likelihood value (lnL), Akaike and Bayesian information criteria). Log-normal model was determined as the model that best represents the study data. According to the results of the study, the conditional probability values of the Elazığ (Sivrice) earthquake (for  $t = 0$  and  $te = 2$ ) were calculated as 80% to the log-normal model, as 72% to the exponential model, as 70% to the Weibull model, and as 36% to the Rayleigh model.

**Keywords:** Sivrice (Elazığ) Earthquake, Weibull, Rayleigh, Exponential, Log-normal

---

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Kaan Hakan ÇOBAN, [h.coban@ktu.edu.tr](mailto:h.coban@ktu.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) üzerinde 24 Ocak 2020 günü saat 20:55'de Elazığ'ın Sivrice ilçesinde meydana gelen magnitudü (büyüklüğü)  $M_w=6,8$  olan deprem (T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine göre), bölgenin büyük deprem oluşturma potansiyelini bir kez daha göstermiştir. DAFS, Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde, Anadolu ve Afrika levha sınırı boyunca yaklaşık 600 km uzunluğunda sol yanal atımlı bir fay sistemidir. Bu levha hareketlerinin sonucunda [1-3] DAFS üzerinde meydana gelmiş büyük depremler nedeniyle, bu bölgede yer alan küçük ve büyük ölçekteki yerleşim alanları ve sanayi bölgeleri yüksek deprem riskine sahiptir. Bu nedenle bölgede farklı magnitudü depremler için tekrarlamaya periyotları incelenmeli ve deprem tehlikesi güncel verilerle değerlendirilmelidir. Deprem tehlikesini belirlemek için deterministik ve olasılıksal yöntemler kullanılmaktadır [4-18]. İstatistiksel dağılım modelleri farklı bölgelerdeki deprem tehlikesini belirlemek için olasılıksal yöntemler içerisinde kullanılmıştır [13-23]. Deprem tehlike değerlendirme çalışmalarının ilk ve en önemli basamağı, bir depremin olasılığının doğru ve güvenilir olarak belirlenmesidir. Ayrıca deprem olasılık hesaplamalarında, birden fazla istatistiksel model sonuçlarının karşılaştırılması daha güvenilir ve doğru sonuç verdiği literatürdeki çalışmalarda belirtilmiştir [13-17,21-23].

Bu çalışmada 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ)  $M_w=6,8$  depreminin şartlı olasılık değeri dört farklı istatistiksel model ile hesaplanması amaçlanmıştır. Çalışma verisi olarak, Elazığ-Sivrice depremin merkez üssüne yakın bölgelerde, bu depremi tetikleyebilecek 1900 ile 2019 yılları arasında meydana gelmiş magnitudü 4,7'den büyük olan depremlerin tekrarlamaya periyotları (oluş zaman aralıkları) kullanılmıştır. Bu hesaplamalar için literatürde farklı bölgelerde meydana gelmiş deprem verileriyle test edilmiş Weibull (WB), Rayleigh (RA), üstel(ÜS) ve log-normal (LG) dağılım modelleri kullanılmıştır. Model ile veri uyumu birçok çalışmada kullanılan

Olabilirlik değeri (lnL), Akaike ve Bayesian bilgi kriteriyle test edilmiştir. Böylece 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminin istatistiksel olarak şartlı olasılığının daha doğru ve güvenilir hesaplanması hedeflenmiştir. Ayrıca bölge için yapılacak deprem tehlike çalışmalarına altlık bilgiler sağlamak için yakın gelecekteki ( $t=0,10,20\dots,50$  ve  $t_e=2,4,6\dots,20$  yıl) şartlı deprem olasılık değerleri de hesaplanmıştır. Çalışmanın metodolojisi; öncü ve artçı depremlerin çalışma verisinden çıkarılması, meydana gelen depremlerin tekrarlamaya periyotlarının belirlenmesi, bu veriler kullanılarak istatistiksel modellerin parametrelerinin belirlenmesi, kullanılan istatistiksel modellere göre şartlı olasılıkların hesaplanması, veri-model uyumunun kullanılan test kriterlerine göre belirlenmesi ve dört farklı dağılım modeline göre sonuçların değerlendirilmesi şeklindedir.

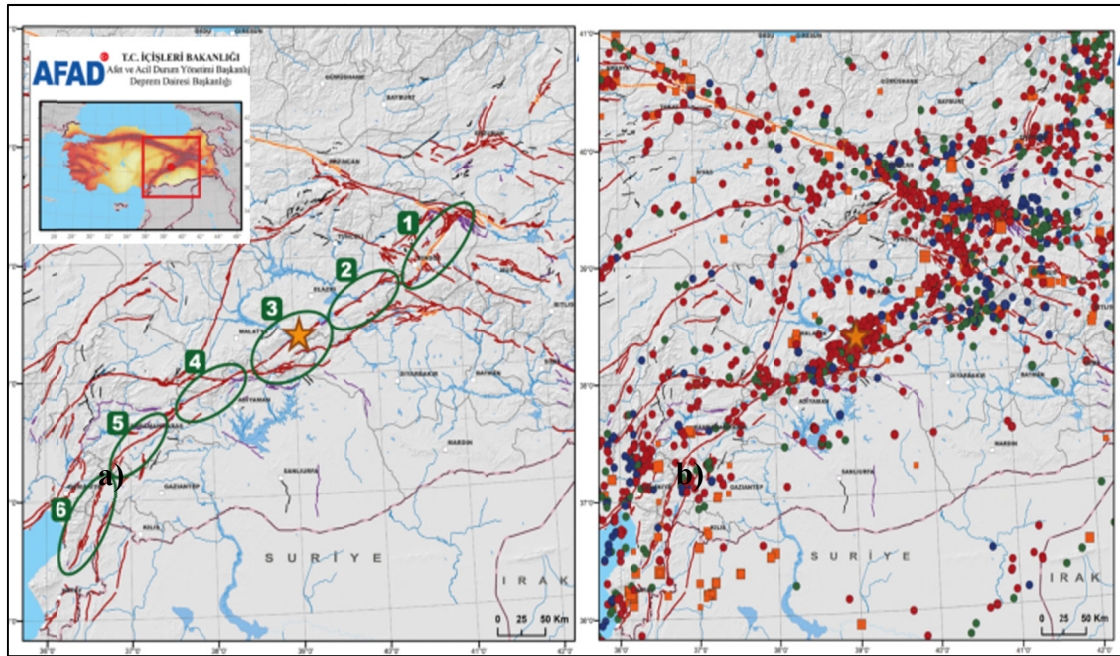
## 2. ÇALIŞMA ALANI VE TEKTONİĞİ

DAFS Arap levhasının kuzeye doğru hareketi ile Anadolu levhasının batıya doğru hareketi sonucunda, yaklaşık 600 km uzunluğunda ve 30 km genişliğinde Kuzeydoğu-Güneybatı yönlü sol yanal doğrultu atımlı bir transform levha sınırı oluşturmaktadır [24-26]. DAFS, Karlıova ile Bingöl arasında "Karlıova-Bingöl Segmenti (~65 km)", Palu ile Hazar Gölü arasında "Palu-Hazar Gölü Segmenti (~50 km)", Hazar Gölü ile Sincik arasında "Hazar-Sincik Segmenti (~85 km)", Çelikhhan ile Gölbaşı arasında "Çelikhhan-Gölbaşı Segmenti (~50 km)", Gölbaşı ile Türkoğlu arasında "Gölbaşı-Türkoğlu Segmenti (~90 km)" ve Türkoğlu ile Antakya arasında "Türkoğlu-Antakya Segmenti (~145 km)" yer alan 6 farklı yapısal segmentten (Şekil 1a) oluşmaktadır [27-32].

DAFS ve civarında aletsel dönemde meydana gelen magnitudü 6,0'dan büyük yıkıcı etki yaratmış depremler; 1905 Pütürge-Malatya ( $M_s=6,8$ ), 1908 Malatya ( $M_s=6,1$ ), 1964 Sincik-Adıyaman ( $M_s=6,0$ ), 1966 Varto-Muş ( $M_s=6,9$ ), 1966 Karlıova-Bingöl ( $M_s=6,2$ ), 1971 Bingöl ( $M_s=6,8$ ), 1975 Lice-Diyarbakır ( $M_s=6,6$ ), 1986 Doğanşehir-Malatya ( $M_w=6,0$ ), 2003

Pülümür-Tunceli (Mw=6,3) ve 2010 Kovancılar-Elazığ (Mw=6,1) depremleridir (Şekil 1b, AFAD verilerine göre). Ayrıca tarihsel dönem içerisinde bölgede birçok yıkıcı etki yaratmış depremler meydana gelmiştir. Bu depremlerden büyüklüğü 7'den büyük olarak tahmin edilen ve yıkıcı etkisi olanlar: 1114 yılında Gölbaşı-Türkoğlu segmentinde, 1513 yılında Malatya'dan Adana'ya kadar olan bölgeyi etkileyen, 1789 yılında Palu-Bingöl arasında, 1822 yılında Türkoğlu-Antakya segmentinde, Karlıova-

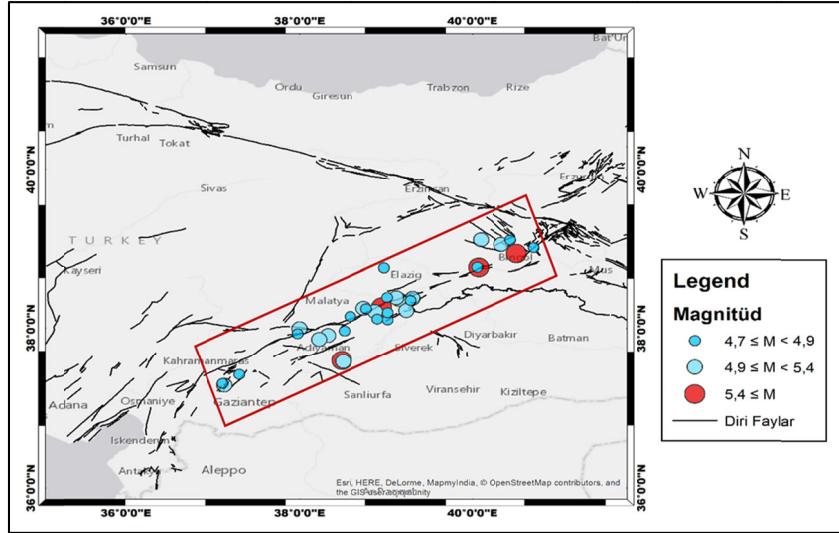
Bingöl segmenti üzerinde 1866 yılında, 3 Nisan 1872 Türkoğlu-Antakya segmenti üzerinde, 1874 ve 1875 yıllarında Palu-Hazar Gölü segmentinde, 1893 yılında Çelikhan-Gölbaşı segmentinde meydana gelen depremlerdir (Şekil 1b) [33]. Bu çalışmalarının yanı sıra, DAFS'ın paleosismolojisini, tektonik yapısını, GPS yardımıyla hareketini, deformasyonunu, deprem oluşum mekanizmasını inceleyen birçok araştırma yapılmıştır [3,34-42,48,49].



**Şekil 1.** a) DAFS üzerinde tanımlanan 6 farklı segment; Sarı kenarları kırmızı yıldız 24 Ocak 2020 Elazığ (Sivrice) Mw=6,8 depremini temsil etmektedir. Kırmızı çizgiler fay çizgilerini; Turuncu çizgiler deprem yüzey kırıklarını; Mor kesikli çizgiler ülke sınırlarını; Gri çizgiler il sınırlarını temsil etmektedir. Yeşil çizgiler ve numaralar fay segmentlerini belirtmektedir. b) DAFS üzerinde meydana gelen tarihsel ve aletsel dönem depremlerin konumları; Turuncu kareler şiddeti VI'dan büyük tarihsel depremleri; Kırmızı daireler derinliği 20 km ve magnitudü 4,0'dan büyük depremleri; Yeşil daireler derinliği 20-40 km arasında ve magnitudü 4,0'dan büyük depremleri; Mavi daireler derinliği 40km ve magnitudü 4,0'dan büyük depremleri belirtmektedir. Şekiller AFAD 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depremi Rapor'undan değiştirilerek alınmıştır [43]

Çalışma alanı olarak, 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Mw=6,8 depreminin meydana geldiği segment ile bu depremi tetikleyebilecek DAFS

üzerindeki yakın fay segmentlerini içeren bir bölge seçilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma alanı (dikdörtgenle gösterilen bölge) ve bu alanda 1900-2019 yıllarını kapsayan inceleme periyodunda meydana gelen depremlerin ( $M \geq 4,7$ ) merkez üslerinin dağılımları

### 3. VERİ VE METOT

Bu çalışmada 1900 ile 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depremine kadar inceleme alanında meydana gelen magnitüdü 4,7'den büyük olan depremlerin tekrarlama periyotları (oluş zaman

aralıkları) kullanılmıştır. Kullanılan deprem verileri AFAD tarafından oluşturulan deprem kataloglarından seçilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan depremlerin tarihleri, koordinatları ve büyüklükleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Hesaplamalarda kullanılan depremlere ait bilgiler

Tarih gg.aa.yy	Oluş zamanı sa:dak	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Magnitüd türü	Magnitüd değeri
27.12.2019	07:02	38.3898	39.0158	Mw	4,9
04.04.2019	17:31	38.3865	39.1205	Mw	5,2
24.04.2018	00:34	37.5836	38.5036	Mw	5,1
02.03.2017	11:07	37.5955	38.4866	Mw	5,5
08.01.2013	06:05	37.9360	37.9788	Ml	4,7
13.11.2012	23:55	37.3055	37.1200	Ml	4,7
19.09.2012	09:17	37.2838	37.1398	Ml	5,1
25.05.2012	11:22	38.1522	38.5873	Ml	4,8
17.09.2010	10:17	38.1092	39.0208	Ml	4,8
08.03.2010	02:32	38.7665	40.0712	Ml	5,8
07.07.2009	15:57	38.2547	38.7407	Ml	5,0
08.03.2007	12:35	39.1088	40.4412	Ml	4,8
28.02.2007	19:55	38.2267	39.2370	Ml	5,2
21.02.2007	11:05	38.3827	39.3082	Ml	5,4
26.01.2007	08:20	38.7706	40.0551	Md	4,7
26.11.2005	15:56	38.2143	38.8755	Md	5,2
11.08.2004	15:48	38.3680	39.1461	Md	5,3
03.03.2004	14:38	39.0535	40.3334	Md	5,0

26.02.2004	04:13	37.8624	38.2261	Md	5,1
06.01.2004	10:39	38.1200	38.9000	Md	4,7
13.07.2003	01:48	38.2700	38.9500	Md	5,7
01.05.2003	00:27	38.9400	40.5100	Md	6,1
02.04.2003	20:55	37.9137	38.3281	Md	5,2
19.11.2002	01:25	37.9700	38.5200	Md	4,7
02.04.2000	11:41	37.4200	37.3100	Md	4,8
07.05.1992	19:15	39.1100	40.1000	Md	5,2
18.07.1990	15:32	38.0000	38.0000	Md	5,1

Mw: Moment magnitüdü; Ml: Lokal magnitüdü; Md: Süre magnitüdü

Çalışma için oluşturulan deprem kataloğunda öncü ve artçı depremler belirlenmiştir. Her bir ana şokun öncü ve artçı depremlerinin belirlenmesinde, uzaklık ( $r$ ) ve zaman ( $t$ ) için geliştirilen Eşitlik 1 kullanılmıştır [44,45].

$$r=e(-1,024+0,804 Mw) \quad t=e(-2,87+1,235 Mw) \quad (1)$$

Oluşturulan deprem kataloğundan 14 deprem artçı ve öncü şok olarak değerlendirilmiş ve katalogdan çıkarılmıştır. Böylece daha güvenilir deprem olasılık değerleri hesaplanması amaçlanmıştır.

Bir depremin şartlı olasılığı gelecek  $t$  yılda ve son depremden sonra geçen  $te$  aralık zaman içerisinde Eşitlik 2 ile tanımlanmıştır.

$$P(t|te)=(F(te+t)-F(te))/(1-F(te)) \quad (2)$$

Burada,  $F$  dağılım modelinin kümülatif dağılım fonksiyonudur. Şartlı olasılık değerleri  $t$  ve  $te$  zaman parametrelerinin kontrol ettiği iki kademeli bir hesaplama metoduna dayanmaktadır. İnceleme periyodundaki son depremin yılı (2019) şartlı olasılık hesabında baz yıl olarak belirlenir ve  $t=0$  olarak kabul edilir.

Literatürde dünyanın farklı bölgelerinde meydana gelmiş depremlerin tekrarlama periyotlarını kullanan araştırmacılar, o bölgedeki depremlerin şartlı olasılıklarını farklı dağılım modellerine göre hesaplamış ve bölgenin deprem tehlikesini değerlendirmişlerdir [13-23]. Bu çalışmada kullanılan dört istatistiksel dağılım modelinin (WB, RA, ÜS ve LG dağılım modelleri) kümülatif dağılım fonksiyonları, şartlı olasılık denklemleri ve maksimum olabilirlik yöntemiyle hesaplanan model parametreleri Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Kullanılan dört farklı istatistiksel modelin kümülatif dağılım fonksiyonları, şartlı olasılık denklemleri ve model parametreleri

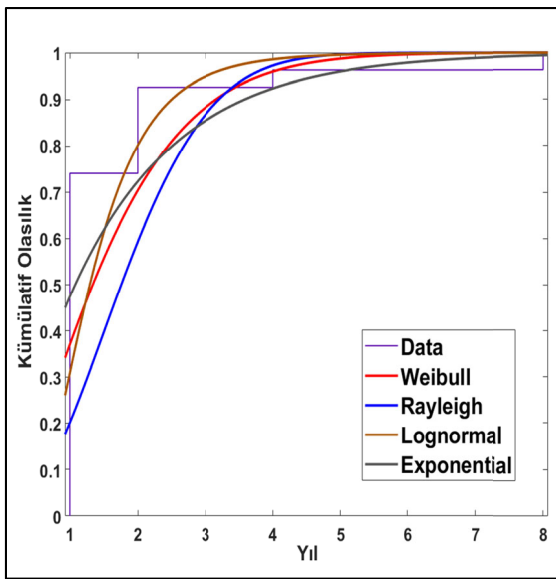
İstatistiksel Model	Kümülatif dağılım fonksiyonu	Şartlı olasılık denklemleri	Model parametreleri
WB	$\varphi(t)=1-\exp\left[-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta\right]$	$P(t te)=1-\exp\left[\left(\frac{te}{\alpha}\right)^\beta-\left(\frac{te+t}{\alpha}\right)^\beta\right]$	$\alpha=1,736$ $\beta=1,397$
RA	$\varphi(t)=1-\exp\left[-\frac{t^2}{(2a^2)}\right]$	$P(t te)=1-\exp\left[\frac{te^2}{(2a^2)}-\frac{(te+t)^2}{(2a^2)}\right]$	$a=1,490$
ÜS	$\varphi(t)=1-\exp\left[-\frac{t}{\alpha}\right]$	$P(t te)=1-\exp\left[\frac{te}{a}-\frac{te+t}{a}\right]$	$\alpha=1,555$
LG	$\varphi(t)=1-\Phi\left(\frac{\ln t-m}{\sigma}\right)$	$P(t te)=1-\frac{\left\{1-\Phi\left(\frac{\ln(te+t)-m}{\sigma}\right)\right\}}{\left\{1-\Phi\left(\frac{\ln(te)-m}{\sigma}\right)\right\}}$ $\Phi(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_x^\infty \exp\left[-\frac{u^2}{2}\right] du$	$m=0,256$ $\sigma=0,513$

$t$ , zaman;  $te$ , geçen zaman;  $\alpha$ , ölçek parametresi;  $\beta$  biçim parametresi;  $m$  and  $\sigma$  log-normal model yer ve ölçek parametresi;  $\Phi(x)$ , hata integrali;  $t>0$ ,  $a>0$ ,  $\beta>0$ ,  $m>0$ ,  $\sigma>0$ , WB, Weibull; RA, Rayleigh; ÜS, üstel; LG, log-normal model

#### 4. SONUÇLAR

Bu bölümde çalışmada kullanılan modeller ile veri uyumu, hesaplanan şartlı olasılık değerlerinin ve test kriterlerinin sonuçları verilmiştir.

Çalışma verisine uygulanan dört farklı istatistiksel modelin (WB, RA, ÜS ve LG) kümülatif dağılım fonksiyonları ile veri-model uyum grafiği Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Kullanılan modeller ile kullanılan verinin kümülatif (birikimli) dağılım fonksiyonuna göre olasılıkların uyumu (Model-Veri uyumu)

Model-veri uyumu aynı zamanda literatürde kullanılan istatistiksel test kriterleri olan Olabilirlik değeri ( $lnL$ ), Akaike ve Bayesian bilgi kriteriyle test edilmiştir. Test sonuçlarına göre model-veri uyumu Çizelge 3'de verilmiştir.

Akaike bilgi kriteri  $2k-2lnL$  ve Bayesian bilgi kriteri  $kln(n)-2lnL$  formülü ile hesaplanmaktadır. Bu formüllerde  $k$ ; model parametre sayısı,  $n$ ; veri sayısını (27 deprem),  $lnL$ ; Olabilirlik değerini ifade etmektedir. Yüksek olabilirlik değeri ( $lnL$ ) [46] ile düşük Akaike ve Bayesian bilgi kriteri

değeri, model ile verinin daha iyi uyum sağladığını belirtmektedir.

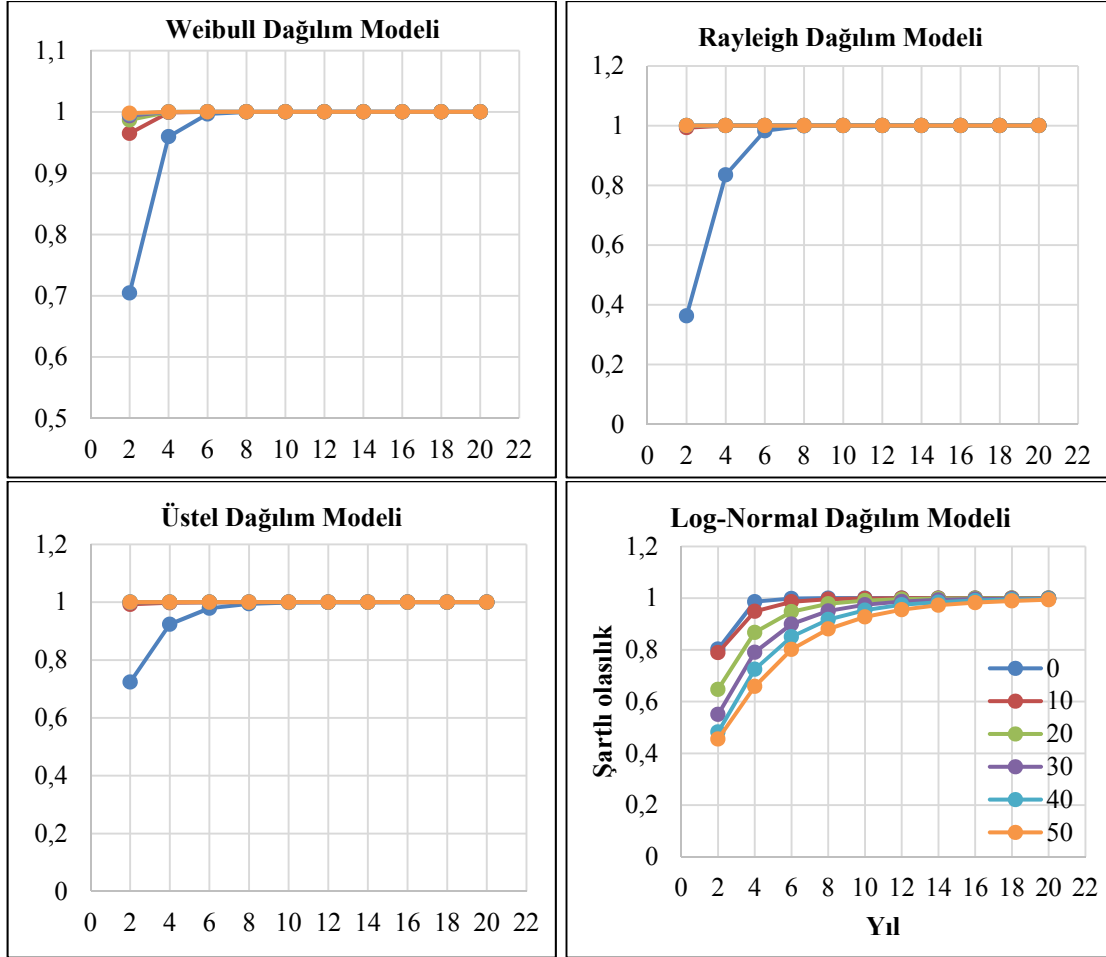
Çizelge 3. İstatistiksel dağılım modellerinin (Weibull, Rayleigh, Üstel ve Log-normal) test kriterlerinin (Olabilirlik değeri, Akaike ve Bayesian bilgi kriterleri) sonuçları ve model sıralaması (1; en iyi uyum gösteren model, 4; en kötü uyum gösteren model)

Test Kriteri	WB	RA	ÜS	LG
$lnL$	36,036	41,628	-38,929	-26,772
AIC	74,072	84,256	78,858	55,544
BIC	79,003	86,722	81,324	60,475
Model Sıralaması	2	4	3	1

WB, Weibull; RA, Rayleigh; ÜS, üstel; LG, log-normal model;  $lnL$ , Olabilirlik değeri; AIC, Akaike; BIC Bayesian bilgi kriteri.

Bayesian bilgi kriteri değerleri arasındaki fark 10'dan büyük ise çok güçlü, 2-4 arasında ise pozitif ve 0-2 arasında ise model ile veri arasında zayıf ayrım olduğu belirtilmiştir [47]. Birden fazla test kriteri uygulanarak daha güvenilir ve veriye daha uyumlu modelin belirlenmesi amaçlanmıştır. Test kriterleri sonuçlarına göre en iyi model-veri uyumu sağlayan istatistiksel dağılım modeli olarak LG dağılım modeli, en kötü uyum sağlayan olarak RA dağılımı modeli seçilmiştir. WB ve ÜS dağılım modelleri ise orta uyum sağlayan modeller olarak belirlenmiştir.

Ayrıca bu çalışmada Sivrice (Elazığ) depreminin şartlı olasılığını hesaplamak için yapılan değerlendirmenin yanı sıra bölgede meydana gelebilecek bir deprem ( $M \geq 4,7$ ) için farklı  $t$  (0,10,20,...,50 yıl) ve  $t_e$  (2,4,6,...,20 yıl) zamanları için şartlı olasılık değerleri de hesaplanmıştır. Baz yıl olarak katalogdaki son deprem yılı 2019 ele alındığında bu yıldan sonrası için hesaplanan şartlı olasılık değerleri Şekil 4'te verilmiştir.



**Şekil 4.** Kullanılan dağılım modellerine göre farklı  $t$  (0,10,20,...50) ve  $t_e$  (2,4,6,...20) yılları için hesaplanan şartlı olasılık değerleri (x-ekseni  $t_e$  yıllarını, farklı renklerdeki noktalı çizgiler  $t$  yıllarını temsil etmektedir)

Çalışma sonuçları incelendiğinde her dört model için de olasılık değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Özellikle baz yıl olarak  $t=0$  (2019) ve  $t_e=4$  (2023) için olasılık değerleri dört modele göre 0,83'den yüksektir. Ayrıca  $t$  ve  $t_e$  değerleri arttıkça olasılık değerleri 1'e yaklaşmıştır. Bu yüksek olasılık değerleri bölgenin yoğun sismik aktivitesiyle örtüşmektedir.

## 5. TARTIŞMA

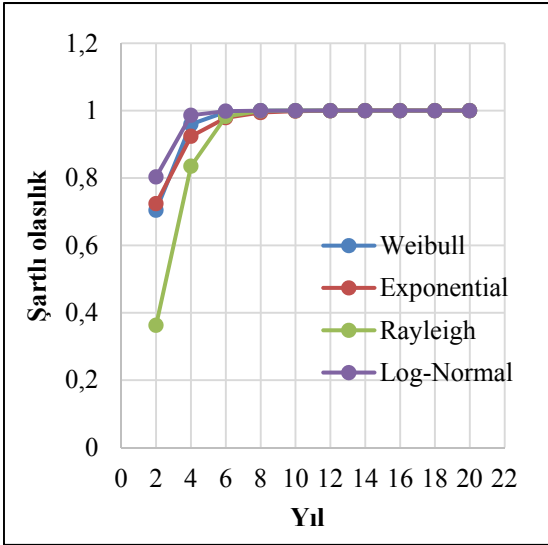
Bu çalışmada 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Mw=6.8 depreminin şartlı olasılık değerleri dört

farklı istatistiksel dağılım modeli (WB, RA, ÜS ve LG) kullanılarak hesaplanmıştır. Model ve veri uyumları Olabilirlik değeri ( $lnL$ ), Akaike ve Bayesian bilgi kriterleriyle test edilmiştir. Hesaplanan şartlı olasılık değerlerinin daha güvenilir ve doğru elde edilmesi için farklı modeller karşılaştırılmış ve farklı test kriterleri uygulanmıştır. Bu hesaplamalar için çalışma alanı içerisinde meydana gelmiş magnitüdü 4,7'e eşit veya büyük olan depremlerin tekrarlama periyotları (oluş zaman aralıkları) kullanılmıştır. Kullanılan modeller ve test kriterleri birçok araştırmacı tarafından farklı çalışma alanlarında

farklı deprem kataloglarıyla kullanılmış ve şartlı olasılık değerleri hesaplanmıştır [13-23].

Bu çalışmada en iyi model-veri uyumu gösteren LG dağılım modeli literatürdeki bazı çalışmalarda da veriyi en iyi temsil eden model olarak seçilmiştir [5,16]. RA dağılım modeli çalışma verisini kötü temsil eden model olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde RA modeli bazı çalışmalarda da kötü model-veri uyum gösterdiği belirtilmiştir [14,16].

24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depremin uygulanan dört farklı istatistiksel dağılım modeline göre şartlı olasılık değerleri, baz yılı  $t=0$  (2019) ve  $te=2,4,6...20$  yıl için Şekil 5'te verilmiştir. Böylece bu depremin istatistiksel olarak gerçekleşme olasılığı değerlendirilmiştir.



Şekil 5. Kullanılan dört farklı istatistiksel modele göre hesaplanan şartlı olasılık değerlerinin  $t=0$  için karşılaştırması ( $t=0$  baz yıl 2019,  $t=2$  ise 2021 yılını temsil etmektedir)

Sonuçlar incelendiğinde, en iyi model-veri uyumu sağlayan LG modele göre olasılık değeri %80, en kötü uyum sağlayan RA modeli için  $te=2$  zamanında %36'dan başlayan ve  $te=4$  zamanında %83 çıkan yüksek olasılık değerleri hesaplanmıştır. Diğer modeller göre bu depremin %70'den yüksek olasılık değerlerine sahip olduğu

gözlenmiştir. Bu sonuçlar ışığında meydana gelen 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) depreminin şartlı olasılığının %70'den yüksek bir değere sahip olması, bu modeller ile hesaplanan şartlı olasılık değerlerinin tutarlı olduğunu göstermektedir.

Ayrıca bölgenin deprem tehlikesi açısından değerlendirilmesi amacıyla farklı  $t$  (0,10,20...,50 yıl) ve  $te$  (2,4,6...20 yıl) zamanları için de şartlı olasılık değerleri de hesaplanmıştır (Şekil 4). Kullanılan dört modelin sonuçları incelendiğinde  $t=0$  ve  $te\geq 6$  zamanları için şartlı olasılık değerleri %96'dan yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4). Bu sonuçlara ek olarak daha düşük  $te=4$  zamanında WB, ÜS ve LG dağılım modelleri için bir depremin ( $M\geq 4,7$ ) şartlı olasılık değeri %92'den yüksek olarak hesaplanmıştır (Şekil 4). Baz yıl  $t=10$  zamanı için şartlı olasılık değerlerinin %78'den yüksek olduğu gözlenmiştir (Şekil 4). Bu olasılık değerleri bölgenin yakın gelecekteki deprem tehlikesinin yüksek olduğuna işaret etmektedir.

Bölge için yapılan farklı bir istatistiksel çalışmada, Poisson ve Üstel dağılım modellerine göre bir depremin ( $M_s\geq 5,0$ ) yüzyıllık zaman periyodu içinde olma olasılığının yüksek olduğu belirtilmiştir [18]. DAFS üzerinde yapılan bir sismik tehlike değerlendirme çalışmasında ise magnitudü 6,0'dan büyük bir depremin olasılık değerinin %90'a ulaştığı ve bu depremin tekrarlama periyodunun 43 yıl olduğu belirtilmiştir [11]. Bu çalışmada hesaplanan yüksek şartlı olasılık değerlerinin, literatürdeki bazı çalışmalarda desteklendiği görülmüştür [11,18].

Yapılan bu çalışmanın bölgenin deprem tehlikesini değerlendirmek için gelecekte yapılacak farklı istatistiksel çalışmalar için altlık veri sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca bölgede yapılacak multi-disipliner (jeofizik, jeolojik, paleosismolojik, jeodezik ve yapı incelemeleri) deprem çalışmalarına da istatistiksel olarak önemli bilgiler sağlayacaktır.

## 6. TEŞEKKÜR

Yazar, AFAD ve KRDAE kurumlarına deprem verilerini ve raporlarını paylaştığı için teşekkür



eder. Ayrıca makaleye katkılarından dolayı hakemlere ve editöre teşekkür eder.

## 7. KAYNAKLAR

1. Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliyev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Karam, G., 2006. GPS Constraints on Continental Deformation in the Africa-Arabia-Eurasia Continental Collision Zone and Implications for the Dynamics of Plate Interactions. *J. Geophys. Res. Atmosph.* 111, B05411.
2. McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H.G., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Veis, G., 2000. Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus. *J. Geophys. Res.* 105, 5695–5719.
3. Aktuğ, B., Özener, H., Doğru, A., Sabuncu, A., Turgut, B., Halicioğlu, K., Yılmaz, O., Havazlı, E., 2016. Slip Rates and Seismic Potential on the East Anatolian Fault System Using an Improved GPS Velocity Field. *J. Geodynamics* 94(95), 1-12.
4. Parvez, I.A., Ram, A., 1999. Probabilistic Assessment of Earthquake Hazards in the Indian Subcontinent. *Pure Appl. Geophys.* 154, 23–40.
5. Tripathi, J.N., 2006. Probabilistic Assessment of Earthquake Recurrence in the January 26, 2001 Earthquake Region of Gujarat. *India J. Seismol.* 10, 119–130.
6. Polat, O., Yılmaz, E., 2008. Earthquake Hazard of the Aegean Extension Region (West Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences.* 17(3), 593-614.
7. Yadav, R.B.S., Tripathi, J.N., Rastogi, B.K., Das, M.C., Chopra, S., 2010. Probabilistic Assessment of Earthquake Recurrence in Northeast India and Adjoining Region. *Pure Appl. Geophys.* 167(11), 1331–1342.
8. Öztürk, S., 2011. Characteristics of Seismic Activity in the Western, Central and Eastern Parts of the North Anatolian Fault Zone, Turkey: Temporal and Spatial Analysis. *Acta Geophys.* 59(2), 209–238.
9. Öztürk, S., 2020. A Study on the Variations of Recent Seismicity in and Around the Central Anatolian Region of Turkey. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 301, 106453.
10. Sayıl, N., 2014. Evaluation of the Seismicity for the Marmara Region with Statistical Approaches. *Acta Geophys.* 49 (3), 265-281.
11. Bayrak, E., Yılmaz, Ş., Softa, M., Turker, T., Bayrak, Y., 2015. Earthquake Hazard Analysis for East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Nat Hazards* 76, 1063-1077.
12. Bayrak, E., Yılmaz, Ş., Bayrak, Y., 2017. Temporal and Spatial Variations of Gutenberg-Richter Parameter and Fractal Dimension in Western Anatolia. *Turkey Journal of Asian Earth Sciences.* 138, 1-11.
13. Sil, A., Sitharam, T.G., Haider, S.T., 2015. Probabilistic Models for Forecasting Earthquakes in the Northeast Region of India. *Bull. Seism. Soc. Am.* 105(6), 2910-2927.
14. Pasari, S., 2018. Stochastic Modelling of Earthquake Interoccurrence Times in Northwest Himalaya and Adjoining Regions. *Geomatics, Natural Hazards and Risk.* 9(1), 568-588.
15. Pasari, S., Dikshit, O., 2014. Impact of Three-parameter Weibull Models in Probabilistic Assessment of Earthquake Hazards. *Pure Appl Geophys* 171(7), 1251–1281.
16. Pasari, S., Dikshit, O., 2015. Earthquake Interevent Time Distribution in Kachchh, Northwestern India. *Earth Planets Space.* 67, 129.
17. Pasari, S., Dikshit, O., 2018. Stochastic Earthquake Interevent Time Modeling from Exponentiated Weibull Distributions. *Nat Hazards.* 90(2), 823–842.
18. Coban, K.H., Sayıl, N., 2018. Investigation of the Seismicity of East Anatolian Fault Zone (EAFZ) According to Poisson and Exponential Distribution Models. *Duzce University Journal of Science and Technology.* 6 (2), 491-500.

19. Rikitake, T., 1991. Assessment of Earthquake Hazard in the Tokyo Area, Japan. *Tectonophysics*. 199, 121–131.
20. Ferraes, S.G., 2003. The Conditional Probability of Earthquake Occurrence and the Next Large Earthquake in Tokyo. *Jpn. J. Seismol.* 7, 145–153.
21. Coban, K.H., Sayil, N., 2019. Evaluation of Earthquake Recurrences with Different Distribution Models in Western Anatolia. *J. Seismol.* 23, 1405–1422.
22. Coban, K.H., Sayil, N., 2020. Conditional Probabilities of Hellenic Arc Earthquakes Based on Different Distribution Models. *Pure Appl. Geophys.* <https://doi.org/10.1007/s00024-020-02576-z>
23. Coban, K.H., Sayil, N., 2020. Different Probabilistic Models for Earthquake Occurrences Along the North and East Anatolian Fault Zones. *Arab. J. Geosci.* 13, 971. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05945-z>
24. McKenzie, D., 1976. The East Anatolian Fault: A Major Structure in Eastern Turkey. *Earth and Planetary Science Letters*. 29, 1.
25. Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroğlu, F., Şengör, A.M.C., 1986. Shortening of Continental Lithosphere: the Neotectonics of Eastern Anatolia—a Young Collision Zone. *Geological Society London Special Publications* 19, 1-36.
26. Yönlü, O., Altunel, E., Karabacak, V., 2017. Geological and Geomorphological Evidence for the Southwestern Extension of the East Anatolian Fault Zone, Turkey. *Earth Planet Sci. Lett.* 469, 1-14.
27. Jackson, J., McKenzie, D., 1984. Active Tectonics of the Alpine-Himalayan Belt Between Western Turkey and Pakistan. *Geophysics J.R. Ast.Soc.*, 185,264.
28. Şengör, A., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape; Turkey as a Case Study in; Biddle K.T., Christie-Blick N. (Eds). *Strike-slip Faulting and Basin Formation. Soc. Econ. Paleontol. Mineral.Sp. Pub.*, 37, 227-264.
29. Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ., 1992. The East Anatolian Fault Zone of Turkey. *Annales Tectonicae*.6, 99-125.
30. Demirtaş, R., 2003. DAFZ’nda Deprem Üreten Diri Faylar; 1900-2003 Yılları Arasında Doğu Anadolu Fay Zonunda Olmuş Hasar Yapıcı Depremler. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları*. 78, 3.
31. Westaway, R., 2003. Kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean Updated. *Turkish Journal of Earth Sciences*. 12(1), 5-46
32. Aksoy, E., İnceöz, M., Koçyiğit, A., 2007. Lake Hazar Basin: A Negative Flower Structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*. 16, 1. Ambraseys, N. N., Jackson, J. A., 1998. Faulting Associated with Historical and Recent Earthquakes in the Eastern Mediterranean Region. *Geophysical Journal International*, 133(2), 390-406.
33. Ambraseys, N.N., Jackson, J.A., 1998. Faulting Associated with Historical and Recent Earthquakes in the Eastern Mediterranean Region. *Geophysical Journal International*, 133(2), 390-406.
34. Taymaz, T., Eyidoğan, H., Jackson, J., 1991. Source Parameters of Large Earthquakes in the East Anatolian Fault Zone (Turkey). *Geophysical Journal International*. 106(3), 537–550.
35. Zor, E., Gurbuz, C., Turkelli, N., Sandvol, E., Seber, D., Barazangi, M., 2003. The Crustal Structure of the East Anatolian Plateau from Receiver Functions. *Geophys. Res. Lett.* 30 (24), 8044.
36. Pamukçu, O., Akçığ, Z., Demirbaş, Ş., Zor, E., 2007. Investigation of Crustal Thickness in Eastern Anatolia Using Gravity, Magnetic and Topographic Data. *Pure appl. Geophys.* 164, 2345–2358.
37. Sertçelik, F., 2012. Estimation of Coda Wave Attenuation in the East Anatolia Fault Zone, Turkey. *Pure Appl. Geophys.* 169(7), 1189-1204.
38. Bektaş, Ö., 2013. Thermal Structure of the Crust in Inner East Anatolia from Aeromagnetic and Gravity Data. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 221, 27-37.
39. Oruç, B., Gomez-Ortiz, D., Petit, C., 2017. Lithospheric Flexural Strength and Effective Elastic Thicknesses of the Eastern Anatolia

- (Turkey) and Surrounding Region. Journal of Asian Earth Sciences. 150, 1-13.
40. Kaypak, B., 2008. Three-dimensional VP and VP/VS Structure of the Upper Crust in the Erzincan Basin (Eastern Turkey). Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 113(7), 20.
  41. Özer, C., Özyazıcıoğlu, M., Gök, E., Polat, O., 2019. Imaging the Crustal Structure Throughout the East Anatolian Fault Zone, Turkey, by Local Earthquake Tomography. Pure. Appl. Geophys. 176(6), 2235–2261.
  42. Konakoğlu, B., Akar, A., 2020. Elazığ ve Çevresindeki İllerde Meydana Gelen Tektonik Hareketlerin TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Konumlarına Etkisinin Statik Deformasyon Modeller Kullanılarak İncelenmesi. Geomatik. 6(2), 165-178.
  43. AFAD, 2020. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depremi Rapor.
  44. Gardner, J.K., Knopoff, L., 1974. Is the Sequence of Earthquakes in Southern California, with Aftershocks Removed, Poissonian? Bull. Seismol. Soc. Am. 64(5), 1363–1367.
  45. Urhammer, R.A., 1986. Characteristics of Northern and Central California Seismicity. Earthq Notes. 1, 21.
  46. Johnson, N.L., Kotz, S., Balakrishnan, N., 1995. Continuous Univariate Distributions. New York: Wiley.
  47. Raftery, A.E., 1995. Bayesian Model Selection in Social Research. Sociological Methodology. 25, 11-163.
  48. Cetin, H., Guneyli, H., Mayer, L., 2003. Paleoseismology of the Palu-Lake Hazar Segment of the East Anatolian Fault Zone, Turkey. Tectonophysics. 374, 163-197.
  49. Güneşli, H., 2002. Doğu Anadolu Fay Sistemi, Palu-Hazar Gölü Segmentinin Neotektoniği ve Paleosismolojisi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 142, Adana.

