



## A New Method for the Evaluation of Interevent Time Distribution of Earthquakes, Case of Turkey

Hakan Karaca<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nigde Omer Halisdemir University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Nigde, Turkey  
ORCID: 0000-0003-3291-5822

### Keywords

Interevent Time Distribution (IET), MC algorithm, Synthetic catalogue

### Highlights

- \* Synthetic Catalogs can be Generated by Using Interevent Time Distribution of Earthquakes
- \* A New Evaluation Procedure is Required to Identify the Best Fitting Interevent Time Distribution Model which is to be Used in Generation of Synthetic Catalog
- \* Considering the Interevent Time Distribution of Earthquakes, the Validity of Poisson Distribution Assumption can be Questioned

### Acknowledgements

Data is provided by KOERI

### Aim

The purpose of the study is to identify best IET model by the evaluation of generated catalogues.

### Location

Entire Turkey

### Methods

Identification of best fitting IET model could be performed by putting these models at work; generating synthetic catalogues

### Results

Log-normal distribution was identified as the best fitting model, Poisson distribution assumption might not hold true at all, generation of synthetic catalogues without considering IET is futile

### Supporting Institutions

--

### Manuscript

Research Article

Received: 16.09.2021

Revised: 01.12.2021

Accepted: 06.12.2021

Printed: 31.12.2021

### DOI

10.46464/tdad.996642

### Corresponding Author

Hakan Karaca

Email: hakan.karaca@ohu.edu.tr

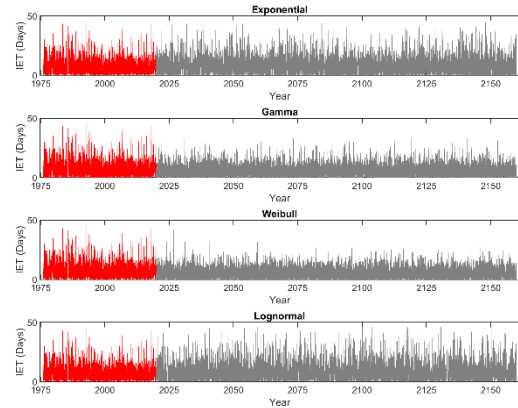


Figure  
IET Distribution of the Original and the Generated Catalogues

### How to cite

Karaca H., 2021. A New Method for the Evaluation of Interevent Time Distribution of Earthquakes, Case of Turkey, Turk. J. Earthq. Res. 3 (2), 193-207, <https://doi.org/10.46464/tdad.996642>



## Depremler Arası Sürelerin Dağılım Modelleriyle Değerlendirilmesinde Yeni Bir Yöntem, Türkiye Örneği

Hakan Karaca<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Niğde, Türkiye  
ORCID: 0000-0003-3291-5822

### ÖZET

Depremler arası sürelerin (DAS) dağılımlarını modellemek amacıyla birçok dağılım modeli kullanılmıştır. Kullanılan dağılım modellerinin başarı ölçütü olarak da, verilerin modellerle olan uyumu göz önüne alınmış ancak bu dağılım modellerinin uygulamadaki başarısı denenmemiştir. Ayrıca, hangi dağılım modelinin daha başarılı olduğu konusunda ise kesinlik derecesinde sonuç elde edilememiştir. Bu bağlamda, çalışmanın amacı Türkiye depremlerinin zaman alanında simülasyonunu gerçekleştirerek hangi modelin daha uyumlu veri ürettiğini test etmektir. Çalışma kapsamında, geçmiş depremlerin zamansal dağılımları kullanılarak DAS verileri elde edilmiş, Monte-Karlo (MK) yöntemi ile de yapay depremler üretilmiştir. Üretilen depremlerin zamansal dağılımları gözlemlenmiş, yıllık deprem sayılarının ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak, hem verilerin modellenmesi açısından hem de üretilen verilerin benzerliği göz önüne alındığında, log-normal dağılım modelinin en başarılı model olduğu görülmüştür.

### Anahtar kelimeler

Depremler Arası Sürelerin dağılımı, Monte-Carlo algoritması, Sentetik katalog

### Öne Çıkanlar

- \*Depremler Arası Sürelerin Dağılımı Kullanılarak Daha Güvenilir Sentetik Katalog Üretilbilir
- \*Sentetik Katalog Üretimine Yönelik Yeni Bir Depremler Arası Süre Dağılım Modelleri Değerlendirme Yöntemi Gereklidir
- \*Depremler Arası Süreleri Değerlendirildiğinde Poisson Dağılımının Geçerliliği Sorgulanabilir

### Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 16.09.2021  
Düzeltilme: 01.12.2021  
Kabul: 06.12.2021  
Basım: 31.12.2021

### DOI

10.46464/tdad.996642

### Sorumlu yazar

Hakan Karaca  
Eposta:  
hakan.karaca@ohu.edu.tr

## A New Method for the Evaluation of Interevent Time Distribution of Earthquakes, Case of Turkey

Hakan Karaca<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Niğde Omer Halisdemir University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, Niğde, Turkey  
ORCID: 0000-0003-3291-5822

### ABSTRACT

Several distribution models are used in order to model the distribution of the inter-event times of earthquakes. The performances of these models are mostly tested through goodness-of-fit tests but not through putting the models into application. Moreover, there is not a definitive conclusion about which model can be the best fitting one. Within this context, the objective of study is to test a number of distribution models in simulating the distribution of Turkish earthquakes in temporal domain. The earthquake time series are subjected to analysis for its IET distribution and future earthquakes are simulated by using Monte-Carlo techniques. The variation of number of earthquakes per unit time and the standard deviations are monitored for each IET model. Finally, log-normal distribution is identified as the most successful distribution model in modelling and simulating the earthquake time series.

### Keywords

Interevent Time Distribution, Monte-Carlo algorithm, Synthetic catalog

### Highlights

- \* Synthetic Catalogs can be Generated by Using Interevent Time Distribution of Earthquakes
- \* A New Evaluation Procedure is Required to Identify the Best Fitting Interevent Time Distribution Model which is to be Used in Generation of Synthetic Catalog
- \* Considering the Interevent Time Distribution of Earthquakes, the Validity of Poisson Distribution Assumption can be Questioned

### Manuscript

Research Article

Received: 16.09.2021  
Revised: 01.12.2021  
Accepted: 06.12.2021  
Printed: 31.12.2021

### DOI

10.46464/tdad.996642

### Corresponding Author

Hakan Karaca  
Email:  
hakan.karaca@ohu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Depremler arası süre (DAS) dağılımının doğru hesaplanması, depremlerin zaman boyutundaki dağılımının belirlenmesi ve geleceğe yönelik tahmin çalışmaları açısından önemlidir. Bu nedenle hâlihazırda uygulanan birçok dağılım modeli DAS dağılımlarının modellenmesinde denenmiş ancak hiçbir modelin bütün veriler için öne çıkamaması nedeniyle uygulama açısından kesin sonuca ulaşılamamıştır. Ayrıca, Poisson dağılımının deprem tehlike haritası, benzer veri üretimi ve tahmin içerikli uygulamalarında pratikliği ile ön plana çıkması da, başka dağılım modellerinin geliştirilmesini ve uygulanmasını da kısıtlamıştır.

Bu konuda gerçekleştirilen çalışmalarda farklı dağılım modelleri denenerek depremlerin zaman tanım alanında ne tür bir dağılım gösterdiği ile ilgili araştırmalar yapılmıştır. Depremlerin oluşum zamanlarının Poisson dağılımına göre olması demek, depremler arası sürelerin de üssel bir dağılım göstermesini gerektirdiğinden (Cornell 1968, Gardner ve Knopoff 1974) üssel dağılım DAS çalışmalarının hemen tamamında kaynak model olarak kullanılmıştır. Hemen hemen bütün ülkelerin farklı verileri kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmalarda üssel dağılımın yanı sıra Weibull, gama ve log-normal dağılım modelleri de kullanılmıştır (Utsu 1984, Anagnos ve Kiremidjian 1988, Parvez ve Ram 1997, Musson 2002, Hasumi vd. 2010, Yazdani ve Kowsari 2011, Chen vd. 2013, Pasari ve Dikshit 2015, Stallone ve Marzocchi 2019, Bountzis vd. 2018, Pasari 2018, Coban ve Sayil 2019).

Her bir dağılımın bir diğerine olan üstün yönleri nedeniyle çalışmaların bir kısmında yukarıda sayılan modellerinden bir tanesi başarılı olurken, diğer çalışmalarda ise bir başkası ön plana çıkmıştır (Saichev ve Sornette 2007, Touati vd. 2009, Naylor vd. 2010). Günümüze kadar gerçekleştirilen çalışmalarda herhangi bir modelin başarılı olarak öne çıkamaması aslında sismik tehlike çalışmaları açısından çok önemli bir sonuca da ulaşılmasında yararlı olmuştur. Depremlerin evrensel bir DAS dağılımının olmadığı, özellikle Touati vd. (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da belirtildiği üzere farklı coğrafi bölgelerde farklı dağılım modellerinin öne çıktığı bir gerçek olarak karşımıza çıkmıştır.

Örnek vererek açıklamak gerekirse, log-normal dağılımın yüksek ve uzun kuyruğu depremlerin büyük zaman aralıklarının modellenmesinde (Nishenko ve Buland 1987, Davies vd. 1989, Sornette ve Knopoff 1997), ayrıca zıt eğiklik gerektiren küçük DAS değerlerinin de modellenmesinde daha başarılı olduğu gösterilmiştir. Ancak küçük DAS değerlerinin modellenmesinde yüksek eğrilik çapı gerektiren durumlarda da gama dağılımının tartışmasız daha başarılı olduğu ve böylelikle öncü ve artçı depremler elenmeden derlenmiş katalogların kullanıldığı çalışmalarda dağılım modelleri içerisinde gama dağılımının tartışmasız öne çıktığı da kaydedilmiştir (Bak vd. 2002, Corral 2003). Ayrıca üssel dağılımın tek eğrilik çapına sahip olmasının verilerin modellenmesinde bir eksiklik olduğu da anlaşılabilir bir durum olup, böyle durumlarda çift eğrilik yetisine sahip gama, Weibull ve log-normal modellerinin daha başarılı olduğu da görülmüştür. Bu çalışmaların aksine, üssel dağılımın diğer dağılım modellerine göre daha başarılı olduğu çalışmalar da mevcuttur. Stallone ve Marzocchi (2019), Pasari ve Dikshit (2015) ve Yazdani ve Kowsari (2011)'in çalışmalarında üssel dağılımın diğer dağılım modellerine göre daha üstün performans sergilediği görülmüştür.

Konu ile ilgili olarak sadece Türkiye'de meydana gelen depremlerin kullanıldığı çalışmaların sayısı göreceli olarak daha az olup (Yılmaz vd. 2011, Coban ve Sayil 2019; 2020a; 2020b) bu çalışmalar sadece DAS dağılımını en uygun modelleyen modellerin denenmesi üzerine olmuştur. Yılmaz vd. (2011) Kuzey Anadolu Fay hattı boyunca gerçekleşen depremlerin DAS değerlerinin Weibull dağılımına uyduğunu sadece Kolmogorov-Smirnov (KS) mesafesi değerlerine dayanarak ifade etmiş, Coban ve Sayil (2019) ise sadece Güneybatı Anadolu bölgesi için gerçekleştirdiği çalışmada moment büyüklükleri 5.5'ten büyük olan depremleri kullanmış ve log-normal dağılımın DAS değerlerini daha iyi modellediğini belirlemiştir. Ayrıca Coban ve Sayil (2020a) önemli fay hatları olarak öne çıkan Kuzey ve Doğu Anadolu fay hatları üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada log-normal ve gama dağılımlarının farklı kriterlere göre

öne çıktığını, 24 Ocak 2020 Elazığ depreminin geçmiş depremlere göre olma olasılığı üzerine gerçekleştirdikleri çalışmada da (Çoban ve Sayıl 2020b) log-normal dağılımın başarılı olduğunu belirlemişlerdir. Yerel deprem verilerinin kullanıldığı farklı çalışmalar da mevcuttur (Polat vd. 2008, Ozturk 2011; 2014, Sayıl, 2013, Bayrak vd. 2015; 2017).

Bu çalışmalardan da anlaşılacağı üzere, depremler arası sürelerin evrensel bir dağılım göstermediği, aksine hem zaman hem de çalışma alanına göre farklı dağılım gösterdiği görülmüştür. Bu durum bu tür çalışmaların daha da artmasını sağlamış, çalışılan bir bölgede başarılı olan dağılım modelleri ile bölgenin sismik davranışları arasında ilişki kurulması gerektiği dikkatlere sunulmuştur.

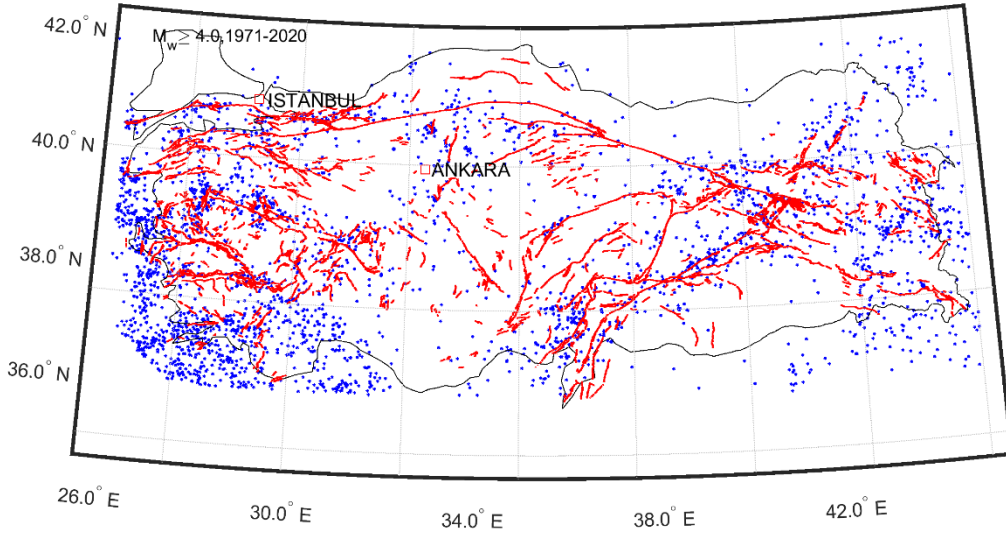
DAS verileri üzerine çalışmalar uzun zamandan beri devam etmekte ancak sadece çıkarımlar ile yetinilen bu çalışmaların çoğunda incelenen dağılım modellerinin uygulanabilirliği ile ilgili kesin sonuçlara ulaşılamamaktadır. Böylesi bir durumda, sismik tehlike çalışmalarında, Poisson dağılımının hala tek seçenek olarak karşımıza çıkması, bahsi geçen bu çalışmaların kesin sonuçlar sunmaktan uzak olması ile açıklanamaz. Aslında en önemli nedenlerden bir tanesi de farklı dağılım modellerinin uygulanmasına yönelik yöntem geliştirilmemesi olarak ileri sürülebilir.

Çalışmada bu bağlamda, Türkiye ve çevresinde meydana gelen depremlerin DAS verileri incelenerek üssel, gama, Weibull ve log-normal dağılımların uyumu araştırılmıştır. Bu noktada şunu da belirtmek gerekir ki sunulan yöntemin vurgulanması açısından çalışmanın daha sade ve öz olması planlanmış ve bu nedenle sınırlı sayıda dağılım modeli kullanılmıştır. Çalışma kapsamında seçilen dağılım modelleri ile üretilen yapay depremler kullanılarak deprem-zaman serileri üretilmiştir. Böylelikle geçmiş deprem verileri kullanarak elde edilen deprem zaman serisi ile yapay depremler kullanılarak elde edilen zaman serilerinin karşılaştırılması hedeflenmiştir.

Ayrıca dağılım modelleri ile veriler arasındaki farklar ya da artık değerler kullanılarak yeni bir performans ölçüğü geliştirilmiş ve dağılım modellerinin verilerle olan uyumu, geliştirilen bu yeni ölçükle değerlendirilmiştir. Kısaca özetlemek gerekirse, depremler arası sürelerin modellenmesinde kullanılan dağılım modellerinin performansının değerlendirilmesinde kullanılmak üzere hem yeni bir ölçük geliştirilmiş, hem de yeni bir yaklaşım sunulmuştur. Çalışma sonucunda, DAS verilerinin log-normal dağılım modeli ile daha uyumlu olduğu gözlemlenmiştir.

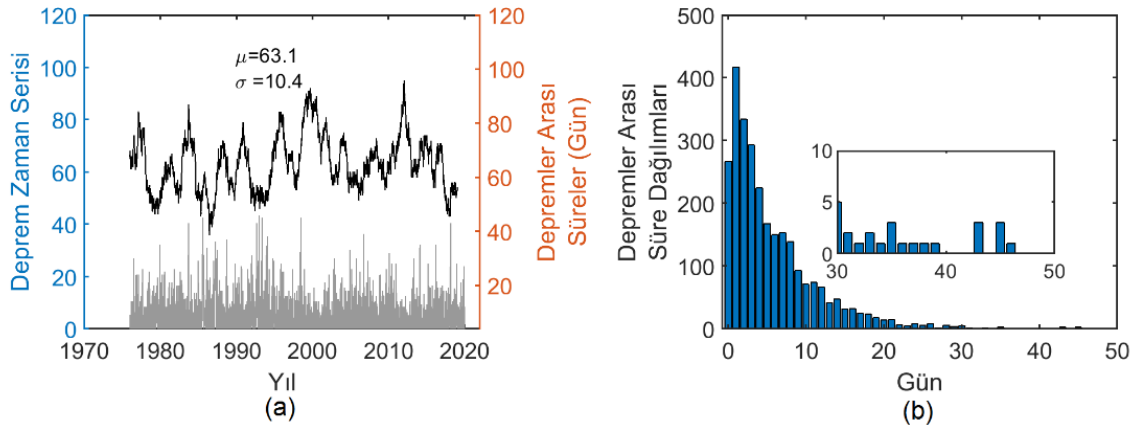
## 2. VERİ

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi'nin (KRDAE-BDTİM, 2020) anlık derlenen kataloğundan elde edilen deprem verileri, Ulusay vd. (2004), Akkar vd. (2010) tarafından geliştirilen dönüştürme denklemleri kullanılarak büyüklük açısından türdeşleştirilmiştir. Sonrasında, farklı büyüklükler moment büyüklüğüne dönüştürülmüş, Gardner ve Knopoff (1974) denklemleri kullanılarak öncü ve artçı depremler ayıklanmıştır. Ayıklama yönteminin belirlenmesinde Zare vd. (2014) tarafından yapılan değerlendirmeler göz önünde bulundurulmuş ve ayıklama kısıtları daha fazla öne çıkan Gardner ve Knopoff (1974) denklemlerinin uygulanması daha uygun görülmüştür. Böylelikle, çalışma alanında; 1971–2020 arası meydana gelen 6436 deprem öncü ve artçı depremlerden ayıklanmış ve moment büyüklüğü 4.0 ya da daha büyük olan 3675 adet deprem elde edilmiştir. Çalışmada moment büyüklüğü 4.0 ya da daha büyük depremler kullanıldığı için tamlik analizi yapılmasına gerek duyulmamıştır. Türdeşleştirilmiş ve ayıklanmış depremlerin dış merkezlerinin coğrafi dağılımını gösterir harita Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1: 1971-2020 Arası Türkiye'de Meydana Gelen Depremler  $M_w \geq 4.0$  (KRDAE-BDTİM, 2020), (Fay hatları Emre vd. (2013) verileri kullanılarak geliştirilmiştir)

Depremlerin zaman tanım alanındaki kayan pencere yöntemi ile elde edilen yıllık dağılımlarını ve aynı zamanda DAS dağılımını gösterir çizimler de Şekil 2'de sunulmuştur. Özellikle Şekil 2a incelenirse, yıllık deprem sayılarının çok değişken olduğu ve neredeyse periyodik artma ve azalmalara maruz kaldığı dikkat çekicidir. Aynı çizimde DAS değerlerinin de zamana göre nasıl değiştiği ve DAS değerlerinin azalıp arttığı dönemlere göre yıllık deprem sayılarının değişkenliği de izlenebilir. Özellikle düşük DAS değerlerinin gözlemlendiği dönemlerde depremlerin sıklaşmasına bağlı olarak deprem sayılarında artış olduğu ve aksi durumlarda da deprem sayılarında düşüş olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2: a) Deprem Zaman Serisi ve DAS Değerleri Dağılımı, b) DAS Değerlerinin Sıklık Dağılımı

Şekil 2b'de verilen DAS değerlerinin sıklık dağılımı da aslında depremlerin zaman tanım alanındaki dağılımı ile ilgili ipuçlarını barındırmaktadır. Özellikle 0 gün sıklık değerinin kendinden sonra gelen 1,2 ve 3 gün sıklık değerinden daha az olması DAS değerlerinin üssel olarak dağılım göstermediği, aynı şekilde DAS değerlerinin 30 günden sonraki sıklık değerlerinin değişiminin de üssel olmayan yüksek kuyruklu bir dağılımla modellenebileceği anlaşılabilir. Şekil 2b grafiklerinden de izlenebileceği üzere 40 gün üzeri DAS değerleri dağılımının 43, 45 ve 46 günlerde 0'da büyük olduğu ve bu değerlerin neredeyse 30 gün ve üzeri DAS değerleri büyüklükleri ile benzer olduğu görülmektedir.

### 3. YÖNTEM

Benzer deprem verilerinin zaman tanım alanında üretilmesi için geçmiş depremlerin bu alandaki dağılımının belirlenmesi gereklidir. Sırasıyla, DAS olasılık dağılımının belirlenmesi, dağılımın modellenmesi ve modellere bağlı olarak Monte-Karlo (MK) yönteminin yapay deprem üretiminde kullanılabilmesi için bu modellerin artımsal olarak hazırlanması gerekmektedir. Bu bağlamda DAS olasılık dağılımı ve artımsal olasılık dağılım fonksiyonu; üssel, gama, Weibull ve log-normal dağılım modelleri kullanılarak modellenmiş ve değerlendirilmiştir (Tablo 1).

Bu bağlamda seçilen dağılım modelleri kullanılarak geliştirilmiş modeller ile asıl veri arasındaki uyumun sayısallaştırılması ise belirtme katsayısı ( $R^2$ ) ile olabilirlik (LL), ki-kare ve Kolmogorov-Smirnov (KS) testleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MATLAB (2018) hazır fonksiyonlarından fitnlm kullanılarak elde edilen belirtme katsayıları ve olabilirlik değerleri doğrusal olmayan regresyon analizi sonucunda belirlenmiş, model katsayıları yinelemeli en küçük kareler yöntemi ile hesaplanmıştır (Tablo 1). Yinelemeli yöntem gereği, model katsayılarının başlangıç değerleri varsayılarak fitnlm fonksiyonuna veri olarak girilmiştir.

Ki-kare testi, sadece dağılım modeli ile DAS değerleri arasındaki uyumun belirlenmesi açısından değil, benzer verilerin üretilmesi bağlamında da önemli bilgiler sunabilir. DAS değerleri ile model değerleri arasındaki farkların karelerinin toplamı olan ki-kare değerleri, eğer model ile modellenen değer arasındaki fark büyükse, değerlendirilen dağılım modelinin başarısızlığını belirginleştirmekte ancak farklar küçükse modeli öne çıkartmaktadır. Böylesi bir uyum ölçüğü, benzer verilerin üretilmesi sırasında, üretilen verilerin hâlihazırdaki veriler ile uyumu hakkında da ipuçları verebilir. Şöyle ki, eğer DAS değerleri ile model değerleri arasındaki fark büyükse, üretilen benzer depremlerin zaman dağılımı özellikle uzun vadede çok fazla etkilenir, çünkü üretilen çok büyük sayıda ki yapay depremlerin DAS aralıkları da gerçek değerlerden sapsmış olur. Ancak ve ancak DAS değerleri ile model değerleri arasındaki farklar bütün DAS değerleri boyunca az ise, üretilen yapay depremlerden elde edilen deprem sayısı zaman serileri gerçeğe daha yakın olabilir.

Tablo 1: Olasılık Dağılım İşlevleri ile Yığılımlı Olasılık Dağılım Modelleri

Dağılım Modeli	Olasılık Dağılım Fonksiyonu	Yığılımlı Olasılık Dağılım Fonksiyonu
Üssel	$\alpha e^{-\alpha t}$	$1 - e^{-\alpha t}$
Gama	$\frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} t^{(\alpha-1)} e^{-\beta t}$	$\frac{\Gamma(\alpha, \beta t)}{\Gamma(\alpha)}$
Weibull	$\frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$	$1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta}$
Log-normal	$\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}t} e^{-(\log(t)-\mu)^2/2\sigma^2}$	$1 - \Phi\left(\frac{\ln t - \mu}{\sigma}\right)$

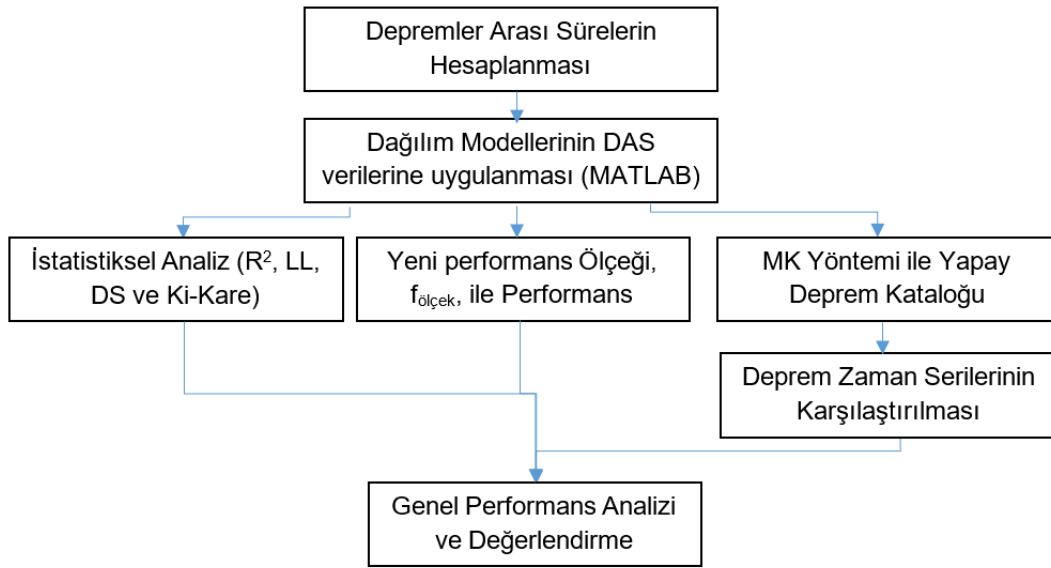
Aynı şekilde KS mesafesi de modellerin uyum oranlarının değerlendirilmesi açısından önemli bir ölçektir. Modellenen DAS değerleri ile model değerleri arasındaki en büyük mesafe olan KS mesafesi de aynı ki-kare yönteminde olduğu gibi, özellikle zaman-tanım alanında üretilen yapay depremler kullanılarak elde edilen deprem-zaman serilerinin uyumu hakkında ipucu verebilir ancak KS mesafesinin bilinmesi tek başına yeterli değildir. İşte tam bu nokta da bütün DAS değerleri boyunca modellenen değerler ile model değerleri arasındaki farkın bilinmesinin önemi ortaya çıkar. Yani KS mesafesi gibi sadece bir artık değerinin hesaplanması yerine,

bütün DAS aralıkları için artık değerlerin bilinmesi, üretilecek yapay depremler kullanılarak oluşturulacak deprem-zaman serisinin ne kadar uyumlu olduğu hakkında çok daha fazla bilgi sunabilir.

Bu artık verileri ve MK yöntemi uygulandığında, bu verilerin değerlerin gerçekleşme olasılığı kullanılarak bir fark ölçeği geliştirilebilir. Bu fark ölçeği geçmiş deprem verileri kullanılarak türetilen deprem-zaman serisi ile yapay deprem serilerinin arasındaki uyumu ölçer. Denklem 1 ile ifade edilen bu ölçekte

$$f_{ölçek} = \int_t a(t) dt \quad (1)$$

t, yığılımlı olasılık değerleri olmak üzere, a(t) her bir t için artık değer olarak ifade edilir. Kısaca belirtmek gerekirse  $f_{ölçek}$ , verilerden elde edilen DAS değerleri ile dağılım modelleri kullanılarak geliştirilen DAS değerleri arasındaki farklar kullanılarak geliştirilen fark eğrisinin altında kalan alan olarak ifade edilebilir. Elde edilen  $f_{ölçek}$  değerleri KS değerleri ile karşılaştırılarak artıkların nasıl bir seyir izlediği ve sadece KS mesafesi ile modellerin uyumunun değerlendirilip değerlendirilemeyeceği de ayrıca irdelenebilir.



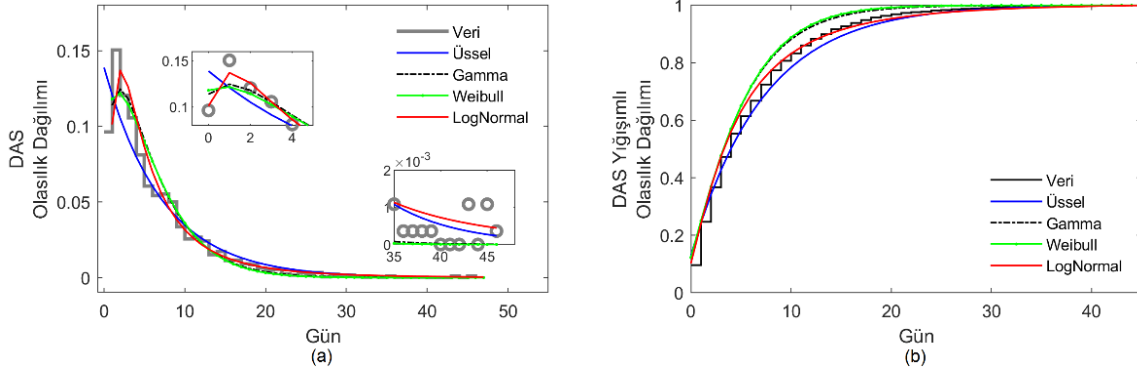
Şekil 3: Çalışma Kapsamında Gerçekleştirilen Analizleri Özetler Şema

Kullanılan dağılım modellerinin sadece gerçek verilerle uyum derecesini belirlemek dağılım modellerinin performanslarını değerlendirmek açısından çok da etkili bir yöntem olmayabilir. Daha detaylı değerlendirmek için, kullanılan dağılım modelleri ve parametrelerinin uygulama performanslarının da ölçülmesi gerekir. Bu bağlamda MK yöntemi kullanılmış, DAS değerlerinin olasılık dağılımları kullanılarak üretilen yapay depremin bir önceki depreme göre ne kadar süre sonra olacağı tahmin edilmiştir. Böylelikle yapay depremler türetilmiş ve bu depremlerin olması muhtemel zamanları kullanılarak deprem-zaman serileri türetilmiştir. Üretilen deprem-zaman serilerinin hâlihazırdaki deprem-zaman serisi ile olan benzerliği değerlendirilerek hangi dağılım modelinin daha başarılı olduğu belirlenmiştir (Şekil. 3).



#### 4. BULGULAR

Çözümleme için MATLAB (2018) programı kullanılmış olup Tablo 1’de verilen modellerin modellenmesi, ki-kare katsayıları ve KS mesafesi ile  $\alpha$  katsayıları da belirlenmiştir. Çözümleme sonucu elde edilen olasılık dağılım modelleri hem normal hem de artımsal biçimiyle Şekil 4’te verilmiş, ayrıca Tablo 2’de de DAS değerleri ve dağılım modelleri kullanılarak elde edilen değerler arasındaki uyumun derecesini gösterir katsayılar sunulmuştur.



Şekil 4: a) DAS Olasılık Dağılımı, b) Yığılımlı Olasılık Dağılımı ile Uygulanan Dağılım Modelleri

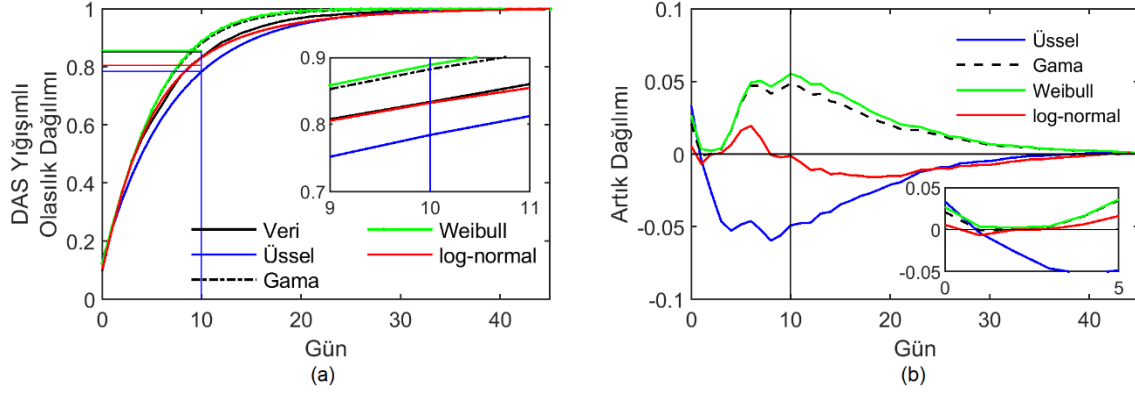
Elde edilen olasılık dağılımları incelendiğinde ise, özellikle Şekil 4a’da eğriler incelendiğinde; katalog verileri kullanılarak elde edilen DAS olasılık dağılımı ile dağılım modelleri kullanılarak türetilen eğriler arasındaki uyumun düşük DAS değerleri için değişkenlik gösterdiği anlaşılabilir. Özellikle üssel dağılımın tek eğrilikli olmasının küçük DAS değerlerinin bu dağılımla modellenebilmesini zorlaştırmakta, verilerle model değerleri arasında önemli sapmalar görülmektedir. Böylesi bir DAS dağılımının, log-normal dağılım modeli ile modellenebilmesi şaşırtıcı olmamakla birlikte, özellikle yüksek DAS değerlerindeki dağılımının da log-normal dağılım modeli ile daha başarılı modellenebileceği (Nishenko ve Buland 1987, Davies vd. 1989, Sornette ve Knopoff 1997) ifade edilmelidir. Tablo 2’de çözümleme sonucunda elde edilen  $R^2$ , LL, KS ve ki-kare test değerleri listelenmiştir. Tablodaki performans ölçütlerinden anlaşılacağı üzere, özellikle başlangıç DAS değerinin bir sonraki değere göre daha küçük olması, log-normal dağılım modelini öne çıkartırken, üssel dağılım modelinin performansını da büyük ölçüde etkilemiştir. Üssel dağılım modeli bütün uyum değerlerine göre en zayıf model olmuş, log-normal model ise en başarılı model olarak ön plana çıkmıştır.

Tablo 2: Çözümleme Sonucu Elde Edilen Uyum Katsayıları ve Değerleri

Dağılım Modeli	$R^2$	LL	KS	ki-kare
Üssel	0.94	157.26	0.07	0.127
Gama	0.97	174.50	0.03	0.023
Weibull	0.96	170.19	0.04	0.039
Log-normal	0.99	195.59	0.02	0.010

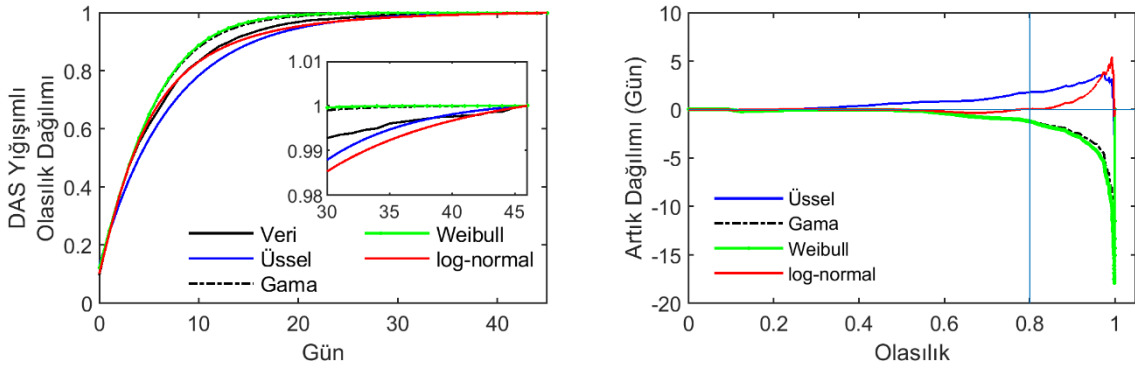
Böylelikle, doğal olarak log-normal dağılım modeli kullanılarak elde edilen DAS değerleri ile gözlemlenen DAS değerleri arasındaki farkın da (artık değer) en az olması beklenir. Bu bağlamda Şekil 5b incelendiğinde, özellikle küçük değerlerde log-normal dağılımı kullanılarak geliştirilen model değerleri ile DAS değerleri arasındaki artıkların diğer dağılım modellerinden elde edilen artıklara göre çok daha az olduğu görülmüştür.





Şekil 5: a) DAS'ın Yığışım Olasılık Dağılımı ve Dağılım Modelleri Uygulaması, b) Uygulanan Dağılım Modellerinin Artık Dağılımları

Şekil 5a'da sunulan yığışım olasılık dağılımı eğrilerinden de anlaşılacağı üzere, MK yöntemi ile yapay deprem aralıkları için düşük DAS değerleri atanmasının daha olası olduğu anlaşılır. Yapay depremlerin zaman alanındaki dağılımını şekillendirmede düşük DAS değerlerinin artıkları çok daha fazla önemlidir. Böylesi bir durumda ise, Şekil 5b'de gösterildiği üzere, log-normal dağılımın daha gerçeğe yakın sonuçlar üretebileceği beklenmelidir. Ancak şunu belirtmek gerekir ki KS mesafesi verileri, MK yöntemi kullanılarak üretilen yapay depremler arası sürelerin nasıl seyredeceği hakkında herhangi bir bilgi sağlayamaz. Ancak  $f_{ölçek}$  verilerine ve artık DAS dağılımına bakarak bu hususta çıkarımlarda bulunulabilir. Dolayısıyla KS mesafesi yerine önerilen  $f_{ölçek}$  değerinin kullanılması uygulama açısından daha uygun olabilir.



Şekil 6: a) Yığışım Olasılık Değerlerine Göre DAS Dağılımının Değişimi, b) Yığışım Olasılık Değerlerine Göre Artık Dağılımı

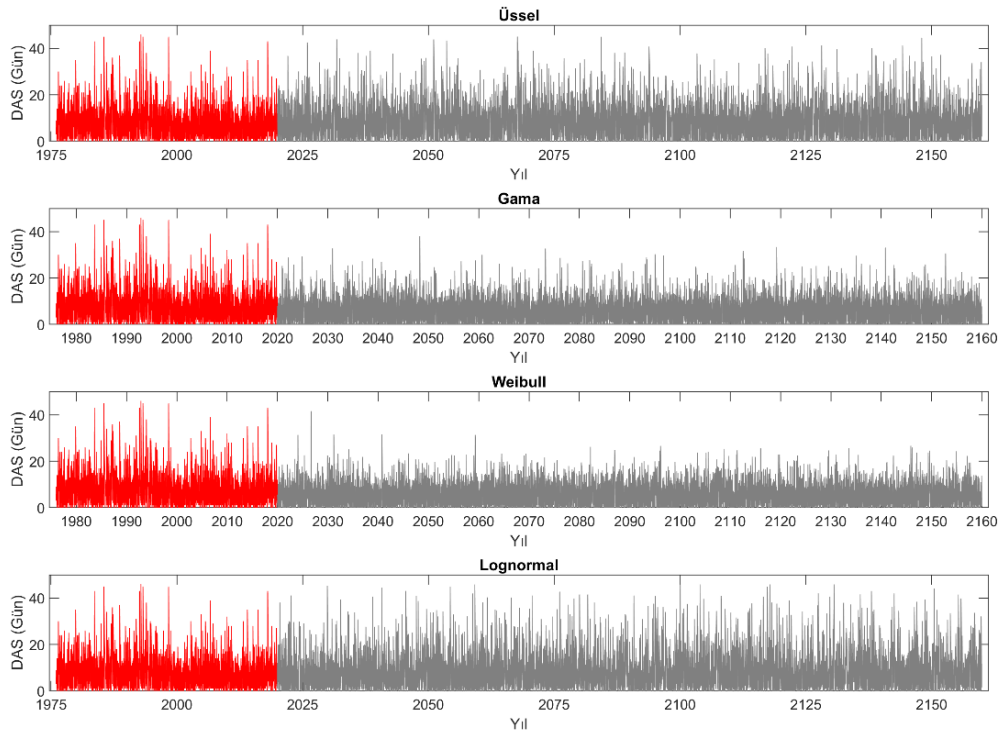
Şekil 6b'de gösterildiği üzere artık değerleri DAS ekseninde değerlendirilmiş, herhangi bir olasılık değerinde; dağılım modelleri kullanılarak üretilen eğrilerin veriler kullanılarak oluşturulan eğri ile olan farkı artık değeri olarak kabul edilmiştir. Böyle bir yaklaşım, olasılık değerlerine karşılık gelen dağılım değerlerinin gözlemlenen değerlerden ne kadar uzak olduğunu ve dolayısıyla yapay olarak üretilecek depremlerin de DAS değerlerinin ne kadar sapma göstereceği hakkında ipucu verir. Şekilden de anlaşılacağı üzere üssel ve log-normal dağılım kullanılarak geliştirilen dağılım modellerinin artık değerleri pozitif seyrederken, Weibull ve gama dağılımı artık değerleri negatif seyretmektedir. Bu durum üretilen yapay depremlerin DAS değerlerinin üssel dağılım için uzayacağı Weibull ve gama dağılımı modelleri için ise kısalmaya gelmektedir. Özellikle Weibull ve gama dağılımları artık eğrilerinin yüksek olasılıklardaki değişimi izlendiğinde, yapay DAS değerlerinin asla çok daha düşük

olmayacağı ve Şekil 5a'da küçük pencerede sunulan eğrilerden de anlaşılacağı üzere 30 gün ve üzeri DAS atanmasının neredeyse olası olmadığı anlaşılmaktadır. Bu durumun da, üretilecek yapay depremlerin DAS değerlerinin daha kısa tutulmasına neden olacağı ve birim zaman için üretilen deprem sayısının daha fazla olmasına neden olacağı da belirtilmelidir. Log-normal dağılımın DAS artık değerleri incelendiğinde ise hem pozitif hem de negatif artık değerlerinin gözlemlendiği belirtilmeli, özellikle 0.8 olasılık değerine kadar göreceli olarak küçük artık değerlerinin bu değerden sonra pozitif olduğunu ve daha yüksek seyrettiğini belirtmek gerekir. Böyle bir durumda 0.8 olasılık değerine kadar yapay deprem DAS değerlerinde kısalma ve daha büyük olasılık değerleri için ise uzama beklenmelidir.

Tablo 3: Dağılım Modelleri için Hesaplanan  $f_{ölçek}$  Değerleri

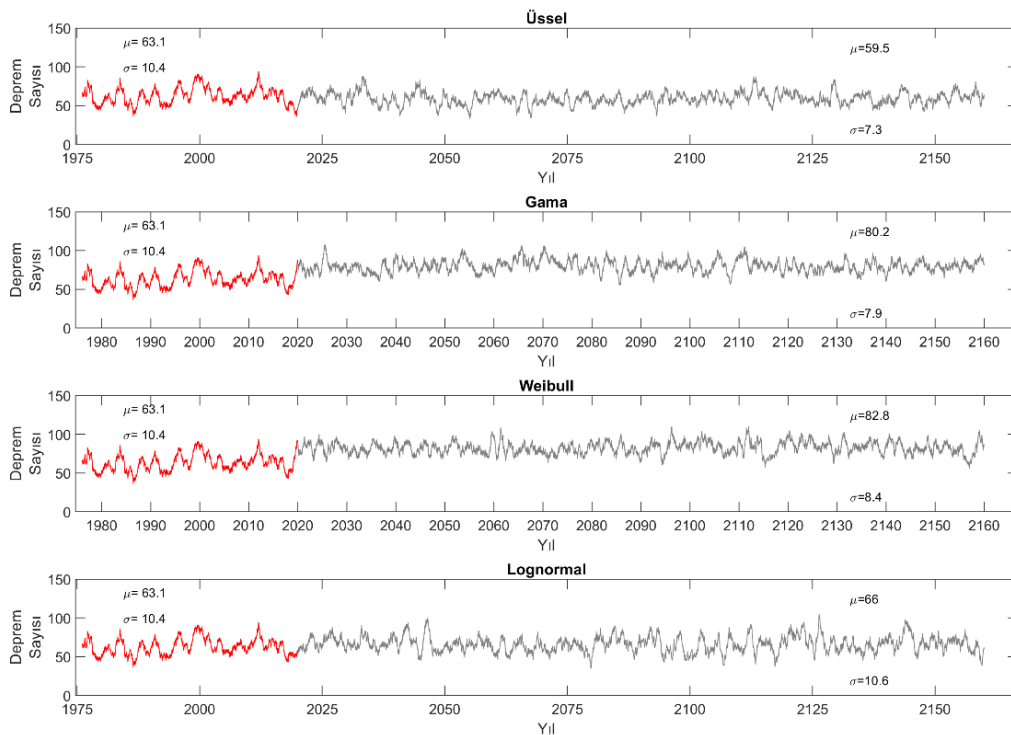
Model	KS Mesafesi	$f_{ölçek}$
Üssel	0.070	0.88
Gama	0.030	-0.73
Weibull	0.042	-0.82
Log-normal	0.020	0.21

Şekil 6b'de yer alan artık eğrileri, Tablo 3'te sunulan ve sapma miktarının ölçeklendirilmesinde kullanılabilecek  $f_{ölçek}$  değerlerinin hesaplanması için kullanılmıştır.  $f_{ölçek}$  değeri, denklem 1'de  $a(t)$  olarak ifade edilen artık dağılımı ile olasılık ekseninde kalan alan olarak ifade edilebilir. Tablo 3'ten de anlaşılacağı üzere, her bir dağılım modeli için hesaplanan  $f_{ölçek}$  değerleri, KS mesafesi ile bir açıdan benzeşmektedir. Her ne kadar KS mesafesi DAS-Yığılımlı olasılık dağılımı eğrilerinin olasılık değerleri arasındaki farkı ölçmekte iken,  $f_{ölçek}$  değerleri bütün olasılık değerlerine denk gelen süreler arasındaki farkı belirtiyorsa da, bu iki ölçek arasındaki benzerlik de çok şaşırtıcı değildir.



Şekil 7: 1971-2020 arası Meydana Gelen Depremlerin DAS Dağılımı ile MK Yöntemi Kullanılarak Elde Edilen Yapay Depremlerin DAS Değerleri Dağılımı

MK yöntemi uygulanarak üretilen yapay depremlerin DAS değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 7’de sunulmuştur. Bu DAS değerleri, deprem serilerinin üretilmesinde kullanılmış ve Şekil 8’de gösterilen yıllık deprem sayılarını gösterir deprem zaman eğrileri elde edilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, beklenildiği gibi Weibull ve gama dağılımı kullanılarak elde edilen DAS değerleri için 30 gün ve üzeri değerleri neredeyse hiç atanmadığı ve değerlerin asıl değerlere göre çok daha düşük seyrettiği anlaşılabilir. Bu değerlerin üssel ve log-normal dağılımlarda asıl DAS dağılımları ile daha uyumlu ve benzeş dağılım gösterdiği de belirtilmelidir. Tabi sadece DAS dağılımının incelenmesi dağılım modellerinin performansları ile ilgili olarak yeterli bilgi vermez. DAS değerleri kullanılarak üretilen deprem zaman serilerinin de asıl deprem zaman serisi ile olan uyumu da incelenmelidir.



Şekil 8: Gözlemlenen ve MK Yöntemi ile Türetilen Deprem Zaman Serileri (Hâlihazırdaki Verilerin Ortalama ( $\mu$ ) ve Standart Sapma ( $\sigma$ ) değerleri ile Yapay Serilerin Ortalama ( $\mu$ ) ve Standart Sapma ( $\sigma$ ) değerleri de verilmiştir)

Hem asıl hem de yapay depremler kullanılarak türetilen deprem zaman serileri Şekil 8’de sunulmuştur. Bu seriler incelendiğinde; Weibull ve gama dağılımları ile oluşturulan modellerin artık değerlerinin özellikle yüksek olasılıklarda yüksek olmasının etkisi hemen görülebilir. Bu iki dağılım kullanılarak üretilen yapay depremlerin DAS değerleri için, 30 gün ve üzeri değerlerin neredeyse hiç atanmaması bu değerlerde kısalmaya neden olmuş ve birim zamanda çok daha fazla yapay deprem üretilmesine yol açarak yıllık ortalama deprem sayılarında artışa neden olmuştur. Bu durum üssel ve log-normal dağılım kullanılarak üretilen deprem zaman serilerinde gözlemlenmemiş ancak bu iki dağılım kullanılarak elde edilen zaman serilerinin de asıl deprem zaman serisinin verilerine göre bir miktar uzakta olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 8’den de izlenebileceği üzere, 1971–2020 arası yıllık ortalama deprem sayısı ( $\mu$ ) 63.1 iken, bu değer, üssel dağılımla elde edilen yapay deprem zaman serisi için 59.5 ve log-normal dağılım için ise 66.0 olarak hesaplanmıştır. Üssel dağılımla elde edilen deprem zaman serisinin ortalama değerinin, gözlemlenen depremlerin yıllık ortalama sayısına daha yakın olduğu görülmüştür. Ancak standart sapma değerleri ( $\sigma$ ) incelendiğinde ise bütün

dağılım modellerinin gözlemlenen değerden daha düşük olduğu ve en yakın değer ise log-normal dağılım kullanılarak üretilen deprem zaman serisi ile gözlemlendiğini de belirtmek gerekir. Böyle bir durumda log-normal dağılımın gerçeğe daha yakın veri ürettiğini söylemek yanlış olmaz. Standard sapma değerinin, daha yakın ortalama değeri elde edilen üssel dağılımda daha düşük seyretmesinin nedeni olarak ise, üretilen yapay depremlerin tek yönde yanlı olarak üretilmesi, başka bir deyişle artık değerlerinin sürekli artı yönde olması nedeniyle gerçeğinden daha büyük DAS üretilmesi olduğu anlaşılmıştır. Artık değerlerin dağılımı, üretilen yapay depremlerin sürekli olarak daha büyük sürelerle sahip olmasına ve DAS spektrumunun kısıtlanmasına neden olmuştur. Hâlbuki log-normal dağılım kullanılarak elde edilen hem artı yönlü hem de eksi yönlü artık değerleri, DAS verilerinin çeşitliliğini korumuş ve böylelikle standart sapma değerlerinin de asıl deprem zaman serisi standart sapma değerine daha yakın olması sağlanmıştır.

## 5. SONUÇLAR

Poisson modeli istatistiksel sismik çalışmaların hemen bütününde kullanılan tek model olarak öne çıkmıştır. Sismik tehlike analizlerinde, deprem tahminlerinde ve benzer veri üretiminde geçerli olan bu modelin geçerliliği de uzun zamandır sorgulanmaktadır. Bu bağlamda, çalışmada zaman tanım alanındaki DAS verileri incelenerek dağılım modellerinin performansları karşılaştırılmaktadır. Ayrıca sadece dağılım modellerinin DAS verileri ile uyumu değil, uygulamadaki uyum yetenekleri de değerlendirilmiştir.

Depremlerin zaman tanım alanındaki dağılımı da depremlerin hangi dağılım model ile daha gerçekçi ifade edilebildiği hakkında veri sunar. Sadece ortalama deprem sayısı ve standart sapma değerleri ile de zaman tanım alanındaki dağılım hakkında önemli bilgiler verir. Bu bağlamda Türkiye ve yakın çevresinde meydana gelen depremlerin zaman tanım alanındaki dağılımı değerlendirilmiş, DAS dağılımını en iyi modelleyecek dağılım modelleri ile uyumu incelenmiş ve elde edilen dağılım model katsayıları kullanılarak yapay depremler üretilmiştir. Sonuç olarak:

- 1) Log-normal dağılım modellerinin depremler arası sürenin dağılımını daha başarılı şekilde modellediği görülmüştür. Özellikle depremlerin zaman tanım alanında Poisson dağılımını izlediği ve dolayısıyla DAS değerlerinin üssel dağılım izlemesi gerektiği varsayımının irdelenmesi gerektiği anlaşılmıştır (Pasari 2018). Böyle bir durumda, çalışmaların daha fazla detaylandırılması ve bu durumun çalışılan alana özgü olup olmadığının ve jeolojik ve jeofiziksel arka planının olup olmadığının belirlenmesinin sismik tehlike çalışmaları açısından önemi görülmüştür. Bu ve benzeri çalışmalarda elde edilen istatistiksel bulguların jeolojik ve jeofiziksel olarak anlamlandırılması durumunda da, sismik tehlike ve deprem tahmini uygulamalarının buna göre şekilleneceği de öngörülmektedir.
- 2) Deprem verilerinin simülasyonu kapsamında zaman tanım alanında DAS verilerinin değerlendirilebilmesi için geliştirilen  $f_{ölçek}$  göstergesinin, dağılım modellerinin yapay deprem zaman aralığı eğilimlerini açıklayıcı olduğu görülmüş ve dağılım modellerinin gözlemlenen verilerle uyumunu önceden anlayabilmek için iyi bir gösterge olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca bu değerlerin belirtme katsayısı, olabilirlik değerleri, KS mesafesi ve ki-kare değerlendirme yöntemlerinin sonuçları ile tutarlı olduğu görülmüştür.
- 3) Dağılım modelleri kullanılarak geliştirilen DAS dağılımının özellikle büyük depremler arası süre verilerini modellemedeki başarısının, yapay deprem üretilmesi işleminde çok etkili olduğu görülmüştür. Buna ek olarak büyük süreleri modellemedeki farkları yapay depremler arası sürelerde büyük farklılıklara neden olduğu görülmüştür. Dolayısıyla herhangi bir dağılım modelinin, DAS verilerini modellemedeki başarısını ölçmek için yüksek DAS verileri ile uyumunun daha öncelikli olması gerektiği ortaya çıkmıştır.

## TEŞEKKÜR

Çalışma kapsamında Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi'nin deprem verileri kullanılmıştır.

## KAYNAKLAR

Akkar S., Cagnan Z., Yenier E., Erdogan O., Sandikkaya M.A., Gulkan P., 2010. The recently compiled Turkish strong motion database: preliminary investigation for seismological parameters, *J. Seismol.* 14, 457-479.

Anagnos T., Kiremidjian A.S., 1988. A review of earthquake occurrence models for seismic hazard analysis, *Probabilist Eng. Mech.* 3(1), 3-11.

Bak P., Christensen K., Danon L., Scanlon T., 2002. Unified scaling law for earthquakes, *Phys Rev Lett.* 88(17), 178501,1-178501,4

Bayrak E., Yılmaz S., Bayrak Y., 2017. Temporal and spatial variations of Gutenberg-Richter parameter and fractal dimension in Western Anatolia, Turkey, *J. Asian Earth Sci.* 138, 1-11.

Bayrak E., Yılmaz S., Softa M., Türker T., Bayrak Y. 2015. Earthquake hazard analysis for East Anatolian Fault Zone, Turkey, *Natural Hazards*, 76(2) 1063-1077.

Bountzis P., Papadimitriou E., Tsaklidis G., 2018. Estimating the earthquake occurrence rates in Corinth Gulf (Greece) through Markovian arrival process modeling, *J. Appl. Stat.* 46(6), 995-1020.

Chen C., Wang J.P., Wu Y.M., Chan C.H., 2013. A study of earthquake interoccurrence distribution models in Taiwan, *Natural Hazards* 69(3),1335-1350.

Coban K.H., Sayıl N., 2019. Evaluation of earthquake recurrences with different distribution models in western Anatolia, *J. Seismol.* 23(5), 1405-1422.

Coban K.H., Sayıl N.L., 2020a. Different probabilistic models for earthquake occurrences along the North and East Anatolian fault zones, *Arab. J. Geosci.* 13, 971.

Çoban K.H., Sayıl N.L., 2020b. 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Depreminin Şartlı Olasılığının Değerlendirilmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 35(4), 1009-1019.

Cornell A., 1968. Engineering Seismic Risk Analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.* 58(5), 1583-1606.

Corral A., 2003. Local distributions and rate fluctuations in a unified scaling law for earthquakes, *Phys. Rev. E* 68, 035102(R).

Davies P.M., Jackson D.D., Kagan Y.Y., 1989. The longer it has been since the last earthquake, the longer the expected time till the next?, *Bull. Seism. Soc. Am.* 79,1439-1456.

Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası, Ölçek 1:1.250.000. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara. ISBN: 978-605-5310-56-1.

Gardner J.K., Knopoff L., 1974. Is the sequence of earthquakes in Southern California, with aftershocks removed, Poissonian?, *Bull. Seism. Soc. Am.* 64(5),1363-1367.

Hasumi T., Chen C.C., Akimoto T., Aizawa Y., 2010. The Weibull-log Weibull transition of interoccurrence time for synthetic and natural earthquakes, *Tectonophysics* 485(1-4), 9-16.

KRDAE-BDTİM, 2020. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi Deprem Kataloğu, Erişim adresi: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb>

Musson R.M.W., 2002. A Power-Law Function for Earthquake Interarrival Time and Magnitude, *Bull. Seism. Soc. Am.* 92(5), 1783-1794.

Naylor M., Touati S., Main I.G., Bell, A.F., 2010. Earthquake inter-event time distributions reflect the proportion of dependent and independent events pairs and are therefore not universal, EGU General Assembly, May 2010, Austria.

Nishenko S.P., Buland R., 1987. A generic recurrence interval distribution for earthquake forecasting, *Bull. Seism. Soc. Am.* 77(4), 1382-1399.

Ozturk 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, 209-238.

Ozturk S., 2014. Türkiye'nin Batı Anadolu Bölgesi için Deprem İstatistiği ve Olası Güçlü Depremlerin Orta Vadede Bölgesel Olarak Tahmini Üzerine Bir Çalışma, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 4(1) , 75-93.

Pasari S., Dikshit O., 2015. Earthquake interevent time distribution in Kachchh, Northwestern India, *Earth Planets Space* 67, article no. 129.

Pasari S., 2018. Stochastic modelling of earthquake interoccurrence times in Northwest Himalaya and adjoining regions, *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 9(1), 568-588.

Parvez I.A., Ram A., 1997. Probabilistic Assessment of earthquake hazards in the north-east Indian Peninsula and Hindukush regions, *Pure Appl. Geophys.* 149, 731-746.

Polat O., Gok E., Yilmaz D., 2008. Earthquake hazard of Aegean Extension Region, Turkey, *Turk, J, Earth Sci,* 17, 593-614.

Sayil N.L., 2013. Long-term earthquake prediction in the Marmara region based on the regional time- and magnitude-predictable model, *Acta Geophys.* 61(2), 338-356.

Saichev A., Sornette D., 2007. Theory of earthquake recurrence times, *J. Geophys. Res.* 112, B04.

Sornette D., Knopoff L., 1997. The paradox of the expected time until the next earthquake, *Bull. Seism. Soc. Am.* 87, 789-798.

Stallone F., Marzocchi W., 2019. Features of Seismic Sequences Are Similar in Different Crustal Tectonic Regions, *Bull. Seism. Soc. Am.* 109(5), 1594-1604.

Touati S., Naylor M., Main I.G., 2009. Origin and Nonuniversality of the Earthquake Inter-event Time Distribution, *Phys. Rev. Lett.* 102(16), 168501.

Ulusay R., Tuncay, E., Sonmez H., Gokceoglu C., 2004. An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey, *Eng. Geol.* 74(3-4), 265-291.

Utsu T., 1984. Estimation of parameters for recurrence models of earthquakes, *Bulletin of Earthquake Research Institute, University of Tokyo* 59, 3-66.

Yazdani A., Kowsari M., 2011. Statistical prediction of the sequence of large earthquakes in Iran, *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications* 24(4), 325-336.

Yılmaz V., Erişoğlu M., Çelik H.E., 2011. Probabilistic prediction of the next earthquake in the NAFZ (North Anatolian fault zone), Turkey. *Doğuş Üniversitesi Dergisi* 5 (2), 243-250.

Zare M., Amini H., Yazdi P., Sesetyan K., Demircioğlu M.B., Kalafat, D. vd., 2014. Recent developments of the Middle East catalog, *J. Seismol.* 18, 749-772.

## ARAŞTIRMA VERİSİ

Çalışma kapsamında kullanılan Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi'nin deprem verileri kullanılmıştır. Erişim adresi: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>

## ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ

Araştırma kapsamında herhangi bir kişiyle ve/veya kurumla çıkar çatışması/ilişkisi bulunmamaktadır.

## YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI

Katkı Türü	Yazarlar
Çalışmanın tasarlanması	H.K.
Literatür araştırma	H.K.
Saha çalışması, veri temini/derleme	H.K.
Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi	H.K.
Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması	H.K.
Bulguların yorumlanması	H.K.
Makale yazımı, düzenleme, kontrol	H.K.