



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

WEİBULL-ÜSTEL KARMA MODELİ: DEPREM TEKRARLAMA
ARALIKLARININ HESAPLANMASI İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM

SÜMEYYE İSLAMOĞLU

DANIŞMAN

DOÇ. DR. EMRAH ALTUN

BARTIN-2024



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MATEMATİK ANABİLİM DALI**

**WEİBULL-ÜSTEL KARMA MODELİ: DEPREM TEKRARLAMA
ARALIKLARININ HESAPLANMASI İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sümeyye İslamoğlu

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman :
Üye :
Üye :

BARTIN-2024

KABUL VE ONAY



BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Doç. Dr. Emrah ALTUN danışmanlığında hazırlamış olduğum “WEİBULL-ÜSTEL KARMA MODELİ: DEPREM TEKRARLAMA ARALIKLARININ HESAPLANMASI İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

05.08.2024

Sümeyye
İSLAMOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

WEİBULL-ÜSTEL KARMA MODELİ: DEPREM TEKRARLAMA ARALIKLARININ HESAPLANMASI İÇİN YENİ BİR YAKLAŞIM

Sümeyye İSLAMOĞLU

Bartın Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Matematik Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Emrah ALTUN

Bartın-2024, sayfa: 31

Depremlerin tekerrür periyotlarının tahmin edilmesi yer bilimleri açısından oldukça önemlidir. Bu tekerrür periyotlarının hesaplanmasında olasılık dağılımlarından yararlanılmaktadır. Yıkıcı depremler nadir olaylar olarak tanımlandığından bu verileri modelleyecek dağılımların kalın kuyruklu yapıya sahip olması ilgili verinin doğru modellenmesi açısından önemlidir. Bu çalışmada, Weibull-Üstel karma modeli geliştirilmiş olup Marmara Bölgesi için uygulama çalışması yapılmıştır. Geliştirilen modelin istatistiksel özellikleri kapsamlı bir şekilde ele alınmış olup parametre tahminlerine ilişkin benzetim çalışmasına yer verilmiştir. Weibull-Üstel karma modeli altında tekrarlama periyotları hesaplanmış ve Weibull dağılımları ile karşılaştırılmıştır. Önerilen modelin, Weibull tipi diğer dağılımlara göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Deprem, kalın kuyruklu dağılımlar, karma dağılımlar, tekrarlama aralığı, Weibull.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

WEIBULL-EXPONENTIAL MIXTURE MODEL: A NOVEL APPROACH TO PREDICT THE EARTHQUAKE RECURRENCE INTERVALS

Sümeyye İSLAMOĞLU

**Bartın University
Graduate School
Department of Mathematics**

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Emrah ALTUN

Bartın-2024, pp: 31

Predicting the recurrence intervals of earthquakes is very important in terms of earth sciences. Probability distributions are used to calculate these recurrence intervals. Since destructive earthquakes are defined as rare events, it is important that the distributions to model these data sets have a thick-tailed structure in order to represent the relevant data correctly. In this study, the Weibull-Exponential mixture model is developed and an application study is conducted for the Marmara Region. The statistical properties of the developed model are discussed comprehensively and a simulation study regarding parameter estimates is included. Recurrence intervals are calculated under the Weibull-Exponential mixture model and compared with Weibull-type distributions. It has been observed that the proposed model gives better results than other Weibull type distributions.

Keywords: Earthquake, heavy-tailed distributions, mixture distributions, recurrence interval, Weibull.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	ii
BEYANNAME	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
TABLolar DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. TEKRARLAMA ARALIKLARI İÇİN OLASILIKSAL MODELLER.....	3
2.1. Weibull	4
2.2. Ters Weibull	6
2.3. Üstelleştirilmiş Weibull.....	8
3. WEİBULL-ÜSTEL KARMA MODELİ	11
3.2. Parametre Tahmini.....	15
3.3. Benzetim Çalışması	16
4. UYGULAMA	18
4.1. WÜ Dağılımı için Tekrarlama Aralıklarının Elde Edilmesi	21
5. WEİBULL-ÜSTEL DAĞILIMI İÇİN R SHINY WEB UYGULAMASI	26
6. SONUÇLAR.....	28
KAYNAKLAR.....	29
ÖZGEÇMİŞ	31

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
No	No
2.1: Weibull dağılımının OYF şekilleri.....	5
2.2: Weibull dağılımının HF şekilleri	5
2.3: TW dağılımının OYF şekilleri	7
2.4: TW dağılımının HF şekilleri	7
2.5: ÜW dağılımının HF şekilleri.....	9
2.6: ÜW dağılımının OYF şekilleri.....	9
3.1: WÜ dağılımının OYF.....	13
3.2: WÜ dağılımının HF.....	13
4.1: Belirlenen bölge için gerçekleşen depremlerin Türkiye haritası üzerinde gösterimi	18
4.2: Şiddeti ≥ 5 olan depremler.....	19
4.3: Dağılımların tahmin edilen olasılık yoğunluk fonksiyonları (≥ 5)	20
4.4: Weibull-Üstel dağılımının tahmin edilen fonksiyonları ve PP grafiği.....	21
4.5: WÜ dağılımının tahmin edilen parametre değerlerine göre hazard fonksiyonu.	23
4.6: Geçen zaman 0.5 yıl olarak belirlendiğinde Weibull ve WÜ dağılımları altında hesaplanan tekrarlama aralıkları.	24
4.7: Weibull ve WÜ dağılımlarının birikimli dağılım fonksiyonları ile deneysel dağılımının karşılaştırılması.....	25
5.1: Uygulama ara yüzü.....	26
5.2: Uygulamanın parametre tahmin paneli	27
5.3: Uygulamanın grafik paneli.....	27

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
3.1: WÜ dağılımı için benzetim sonuçları	17
4.1: Şiddeti 5 ve üzeri olan depremler için dağılımların parametre tahminleri ve standart hata değerleri	19
4.2: Şiddeti 5 ve üzeri olan depremler için dağılımların uyum iyiliği test sonuçları	20
4.3: Weibull ve WÜ dağılımları altında hesaplanan tekrarlama periyotları.....	22
4.4: Bazı yıllar için Weibull ve WÜ dağılımı altında hesaplanan koşullu olasılıklar	23
4.5: Weibull ve WÜ dağılımlarının bazı olasılık değerlerinin deneysel olasılık değerleri ile karşılaştırılması	25

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	Şekil parametresi
b	Ölçek parametresi
t_g	En son gerçekleşen depremin üzerinden geçen zaman
α	Üstelleştirilmiş Weibull şekil parametresi
w_k	Karma oranları

KISALTMALAR

Uç Değerler Teorisi	UDT
Ters Weibull	TW
Üstelleştirilmiş Weibull	ÜW
Olasılık Yoğunluk	OYF
Fonksiyonu	
Sağkalım Fonksiyonu	SF
Hazard Fonksiyonu	HF
Weibull-Üstel	WÜ
En Çok Olabilirlik	EÇO

1. GİRİŞ

İnsan hayatını en olumsuz etkileyen doğal afetlerden olan deprem, toplumların sosyal ve ekonomik hayatları için tehlike oluşturmaktadır. Tektonik hareketlere bağlı olarak yeryüzünün belirli bölgelerinde deprem gerçekleşme olasılıkları daha yüksektir. Bu bölgelerden bir tanesi de Türkiye'dir. Aktif fay hatları üzerinde olan Türkiye'de birçok büyük deprem gerçekleşmiştir. (Gökkaya, 2016).

6 Şubat 2023 tarihinde yaşanan Kahramanmaraş merkezli depremlerin etkileri ise hala devam etmektedir. Bu depremin sosyolojik etkileri ise araştırılmaktadır (Kasapoğlu, 2024). Ayrıca, deprem gibi büyük afetlerde sosyal medya ortamlarında meydana gelebilecek dezenformasyon süreçlerinin analizi ise yine araştırmacılar için ilgi odağı olmuştur (Aydın, 2023). Nazlı ve Soylu (2023) çalışmalarında farklı görüşlere sahip gazetelerin Kahramanmaraş depremi sonrası içerik analizlerini yapmış ve ideolojik farklılıkların haberler üzerindeki etkisini ayrıntılı bir şekilde incelemişlerdir.

Her ne kadar depremlerin oluş zamanlarını bilmek mümkün olmasa da kullanılan matematiksel ve istatistiksel modeller ile depremlerin tekrarlama aralıklarını tahmin etmek mümkün olmaktadır. Bu amaçla uç değerler teorisi (UDT), olasılık teorisi, stokastik süreçler gibi farklı modelleme yaklaşımları kullanılmaktadır. Ma vd. (2021) UDT'ye dayanan sağdan kesilmiş (right-truncated) eşik seviyesini aşan (peaks-over-threshold) modelinin bilinen UDT'ye göre getiri düzeyi tahminlerinin daha iyi olduğunu göstermişlerdir. Dutfoy (2019), Poisson süreci ve UDT'yi birlikte kullanarak geliştirdiği model ile genelleştirilmiş Pareto (GP) modelini karşılaştırmış ve Poisson modelinin daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Stockman vd. (2023) makine öğrenmesi temelli nokta süreci ile kısa dönemli artçı depremlerin oluş zamanlarını tahmin etmişlerdir. Berhich vd. (2023) uzun kısa dönemli bellek ağları ile yüksek meydana gelen büyük depremleri modellemişlerdir.

Depremlerin oluş zamanları arasında geçen zamanın olasılıksal modeller ile incelenmesi birçok araştırmacının ilgisini çeken bir konu olmuştur. McNally ve Minster (1981), Weibull modelinin en iyi model olduğunu göstermişlerdir. Choudhury ve Shukla (2011) Weibull, Rayleigh, Üstel, ve Pareto dağılımlarının birleşiminden oluşan bir model önermişlerdir. Sil vd. (2015) ise log-normal, gamma ve Weibull dağılımlarının birleşimini kullanmıştır. Karaca (2023) çalışmasında bazı olasılık dağılımlarını depremlerin oluş zamanları

arasındaki farkı modellemek için kullanmıştır. Paul vd. (2020), Hindistan'ın kuzeydoğu bölgesinde yer alan fay hatlarında gerçekleşen depremlerin olasılıksal tehlike analizini yapmak için olasılık dağılımlardan yararlanmış ve en yüksek koşullu olasılık değerini veren dağılımın Pareto dağılımı olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada, Weibull, ters Weibull, üstelleştirilmiş Weibull dağılımları ile depremlerin oluş zamanları arasında geçen zaman modellenmiştir. Beklenen İstanbul depremini de dikkat almak amacıyla Marmara Bölgesini kapsayan alan incelenmiştir. İlgili bölge, 39 °N ve 42 °N kuzey enlemleri ve 26 °E ve 31 °E doğu boylamları arasında kalan bölgedir. Çalışma kapsamında Weibull-Üstel karma modeli geliştirilmiştir. İstatistiksel özellikleri elde edilmiş, parametre tahminleri için en çok olabilirlik yöntemi kullanılmış ve benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Weibull-Üstel modeli, diğer modellere göre daha üstün başarı göstermiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde tekrarlama aralıkları için kullanılan olasılık modellerine yer verilmiştir. Üçüncü bölümde ise Weibull-Üstel modeli tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde uygulama çalışmasına yer verilmiştir. Çalışmasının beşinci bölümünde ise R Shiny uygulaması geliştirilmiştir. Önerilen modelin parametre tahminlerinin elde edilmesinde, grafiksel olarak model performansını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlar altıncı bölümde özetlenmiştir.

2. TEKRARLAMA ARALIKLARI İÇİN OLASILIKSAL MODELLER

Deprem çalışmalarında tekrarlama aralıklarının hesaplanmasında sıklıkla olasılıksal modellerden yararlanılmaktadır. Öncelikle bazı fonksiyonların tanımlamalarının yapılması gerekmektedir. X raslantı değişkeni iki deprem arasında geçen zamanı (yıl) göstermek üzere, $f(x)$ olasılık yoğunluk fonksiyonu (OYF), $F(x)$ birikimli dağılım fonksiyonu (BDF), $S(x)$ sağkalım fonksiyonu (SF) ve $H(x)$ ise hazard fonksiyonunu (HF) ifade etmektedir. Burada, $f(x)$ fonksiyonu ile iki zaman dilimi arasında depremin meydana gelmesi olasılığı Eşitlik (1) ile hesaplanmaktadır.

$$\Pr(t_1 < X < t_2) = \int_{t_1}^{t_2} f(x) dx \quad (1)$$

$F(x) = \int_0^x f(t)dt$ şeklinde tanımlı olup belirlenen t zaman aralığından önce depremin ortaya çıkma olasılığını verir. $S(t) = 1 - F(t)$ şeklinde tanımlı olup t zaman aralığından sonra depremin ortaya çıkma olasılığını verir. $H(t) = f(t)/[1 - F(t)]$ şeklinde tanımlı olup monoton artan bir fonksiyon ise zaman arttıkça depremin meydana gelme olasılığının arttığını, monoton azalan bir fonksiyon ise zaman arttıkça depremin meydana gelme olasılığının azaldığını gösterir.

Tekrarlama aralıklarının elde edilmesinde koşullu olasılık dağılımdan yararlanılır. $\Pr(t|t_g)$, t_g en son gerçekleşen depremin üzerinden geçen zaman (yıl) olmak üzere, t zamanına dek depremin ortaya çıkma olasılığını verir. Eşitlik (2) ile bu koşullu olasılığın nasıl hesaplanacağını verilmiştir (Pasari ve Dikshit, 2014).

$$\begin{aligned} \Pr(t|t_g) &= \Pr(X < t_g + t | X > t_g) = \frac{\Pr(t_g < X < t_g + t)}{\Pr(X > t_g)}, \\ &= \frac{F(t_g + t) - F(t_g)}{1 - F(t_g)}. \end{aligned} \quad (2)$$

Bu bölümün devamında, Weibull, ters Weibull ve Üstelleştirilmiş Weibull dağılımlarının

olasılıksal özellikleri, ve bu dağılımlar altında koşullu olasılıkların nasıl hesaplanacağı incelenmiştir.

2.1. Weibull

Weibull dağılımı iki parametrelili bir dağılımdır. Bu parametrelerden $a > 0$ parametresi şekil parametresi, $b > 0$ parametresi ise ölçek parametresidir. Weibull dağılımı için OYF Eşitlik (3)'de verilmiştir.

$$f(x; a, b) = \frac{a}{b} \left(\frac{x}{b} \right)^{a-1} \exp \left(- \left(\frac{x}{b} \right)^a \right), x \geq 0 \quad (3)$$

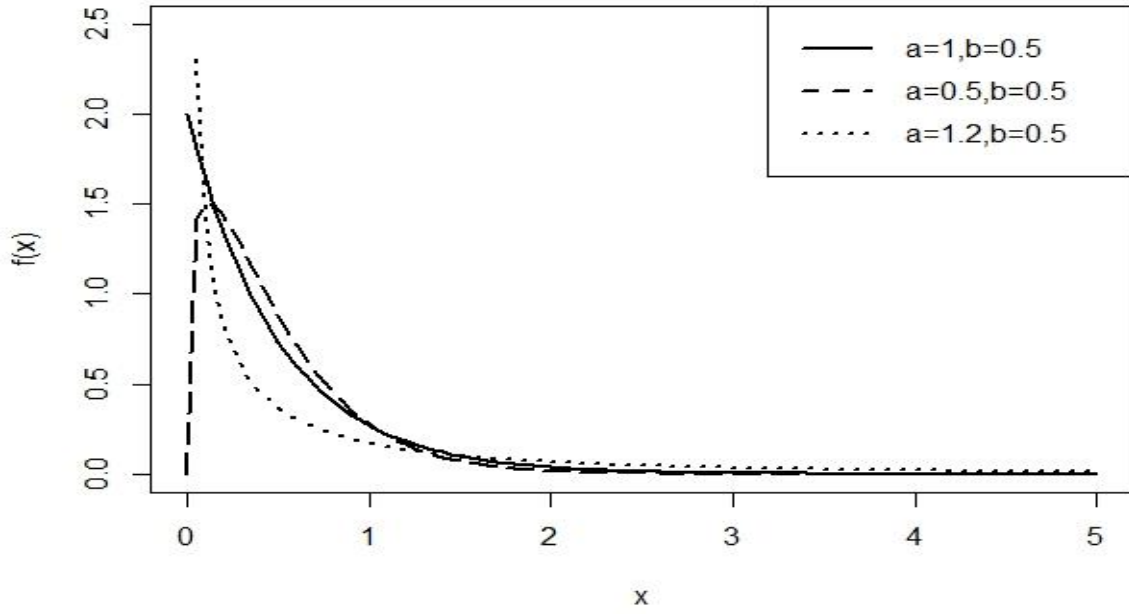
Weibull dağılımına ait BDF ise Eşitlik (4)'de verilmiştir.

$$F(x) = 1 - \exp \left(- \left(\frac{x}{b} \right)^a \right) \quad (4)$$

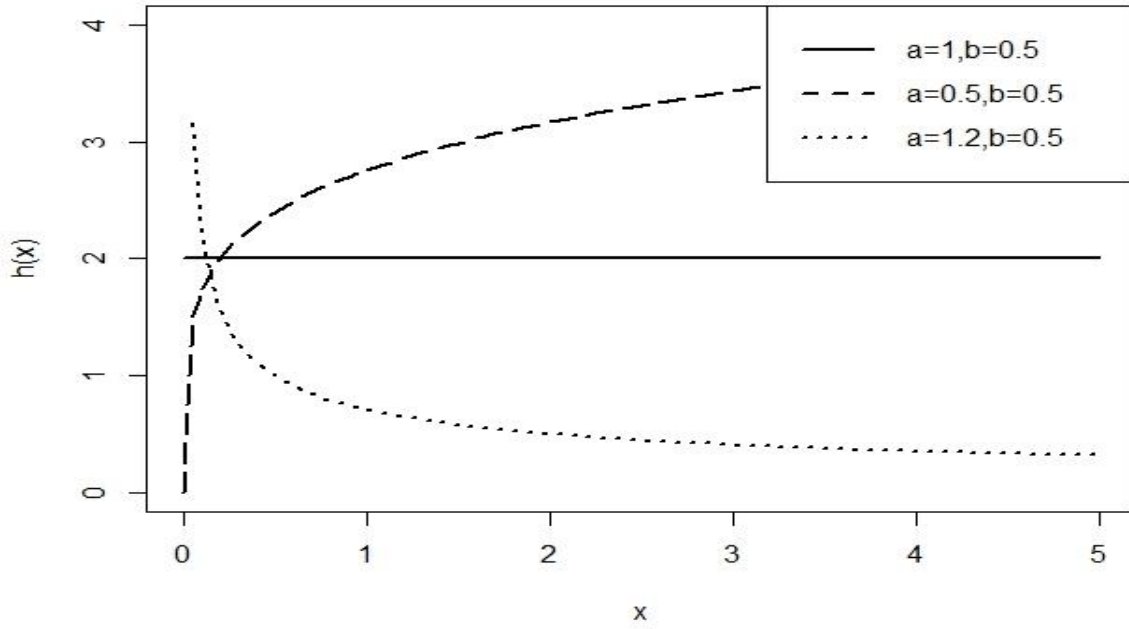
Eşitlik (3) ve (4) birlikte kullanılarak Weibull dağılımı için HF Eşitlik (5)'deki gibi yazılabilir.

$$H(x) = \frac{\frac{a}{b} \left(\frac{x}{b} \right)^{a-1} \exp \left(- \left(\frac{x}{b} \right)^a \right)}{\exp \left(- \left(\frac{x}{b} \right)^a \right)} = \frac{a}{b} \left(\frac{x}{b} \right)^{a-1} = \frac{a}{b^a} x^{a-1} \quad (5)$$

Şekil 2.1'de Weibull dağılımının farklı parametre değerleri için OYF fonksiyonu verilmiştir. Şekil 2.1 incelendiğinde Weibull dağılımının sağa çarpık olduğu görülmektedir. Şekil 2.2'de HF fonksiyonu verilmiştir. Şekil 2.2 incelendiğinde, HF fonksiyonunun azalan, artan ve sabit şekiller alabildiği görülmektedir. Bu nedenle Weibull dağılımı, farklı yapıdaki yaşam verilerinin analizinde esneklik tanıyan bir model olarak dikkat çekmektedir.



Şekil 2.1: Weibull dağılımının OYF şekilleri



Şekil 2.2: Weibull dağılımının HF şekilleri

Weibull dağılımı altında olasılıksal tehlike analizi için koşullu olasılık değerleri Eşitlik (6) ile hesaplanabilir.

$$\begin{aligned} \Pr_{\text{Weibull}}(t|t_g) &= \frac{\exp\left(-\left(\frac{t}{b}\right)^a\right) - \exp\left(-\left(\frac{t_g+t}{b}\right)^a\right)}{\exp\left(-\left(\frac{t}{b}\right)^a\right)}, \\ &= 1 - \frac{\exp\left(-\left(\frac{t_g+t}{b}\right)^a\right)}{\exp\left(-\left(\frac{t}{b}\right)^a\right)}. \end{aligned} \quad (6)$$

2.2. Ters Weibull

Ters Weibull (TW) dağılımı literatürde ilgi gören bir dağılımdır. TW dağılımının OYF ve HF yapıları Keller ve Kamath (1982) tarafından incelenmiştir. Aynı zamanda TW dağılımı en büyük sıralı istatistiğin limit dağılımıdır. TW dağılımının OYF fonksiyonu Eşitlik (7)'de verilmiştir.

$$f(x; a, b) = ba^b x^{-b-1} \exp\left(-\left(\frac{a}{x}\right)^b\right), x > 0. \quad (7)$$

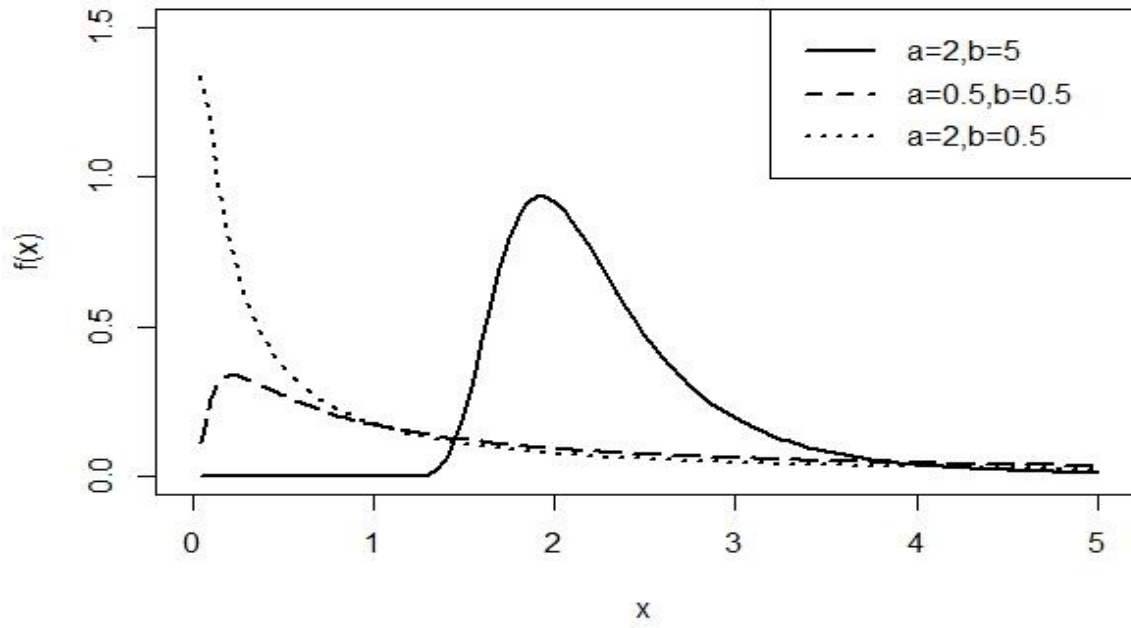
Eşitlik (7)'de $a > 0$ parametresi ölçek, $b > 0$ parametresi ise şekil parametresidir. TW dağılımının OYF şekilleri Şekil 2.3'de incelenmiştir. Şekil 2.3 incelendiğinde, TW dağılımının sadece sağa çarpık şekiller alabildiği görülmektedir. TW dağılımının BDF Eşitlik (8)'de verilmiştir.

$$F(x) = \exp\left(-\left(\frac{a}{x}\right)^b\right). \quad (8)$$

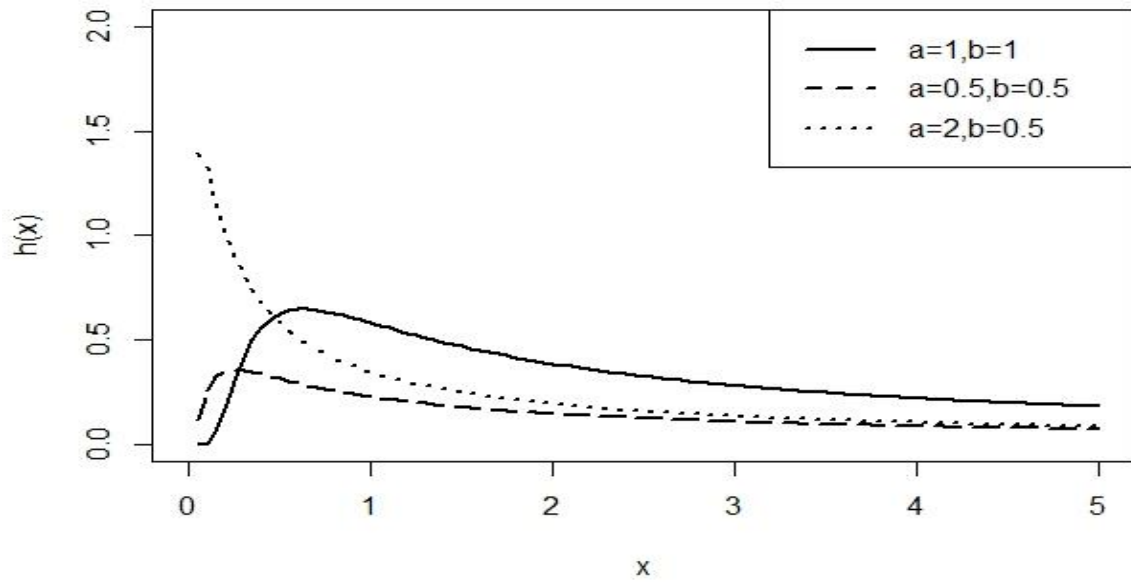
Eşitlik (7) ve (8) kullanılarak TW dağılımının HF Eşitlik (9)'da verilmiştir.

$$H(x) = \frac{ba^b x^{-b-1} \exp\left(-\left(\frac{a}{x}\right)^b\right)}{1 - \exp\left(-\left(\frac{a}{x}\right)^b\right)}. \quad (9)$$

HF fonksiyonunun alabileceği şekiller ise Şekil 2.4'de verilmiştir. Şekil 2.4 incelendiğinde, HF azalan ve artan-azalan yapıda olduğu görülmektedir.



Şekil 2.3: TW dağılımının OYF şekilleri



Şekil 2.4: TW dağılımının HF şekilleri

TW fonksiyonu kullanılarak deprem tekrarlaması aralıkları için koşullu olasılıklar Eşitlik (10) ile hesaplanabilir.

$$\Pr_{TW}(t|t_g) = \frac{\exp\left(-\left(\frac{a}{t_g + t}\right)^b\right) - \exp\left(-\left(\frac{a}{t}\right)^b\right)}{1 - \exp\left(-\left(\frac{a}{t}\right)^b\right)}. \quad (10)$$

2.3. Üstelleştirilmiş Weibull

Üstelleştirilmiş Weibull (ÜW) dağılımı Mudholkar ve Srivastava (1993) tarafından önerilmiştir. ÜW dağılımının standart Weibull dağılımına göre üstünlüğü ekstra olarak kullanılan şekil parametresinden gelmektedir. Bu şekil parametresi sayesinde ÜW dağılımı azalan-sabit-artan tipi hazard fonksiyonuna sahip olabilmektedir. Bu özelliği sayesinde ÜW dağılımı güvenilirlik ve yaşam çözümlemesi gibi farklı uygulama alanlarında esnek modelleme imkanları sağlamaktadır (Mudholkar vd., 1995). ÜW dağılımının BDF Eşitlik (11)'de verilmiştir.

$$F(x) = \left(1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right)\right)^\alpha. \quad (11)$$

Eşitlik (11)'de verilen fonksiyonun x değişkenine göre birinci türevi, ÜW dağılımının OYF fonksiyonunu verir. Bu fonksiyon Eşitlik (12)'de verilmiştir.

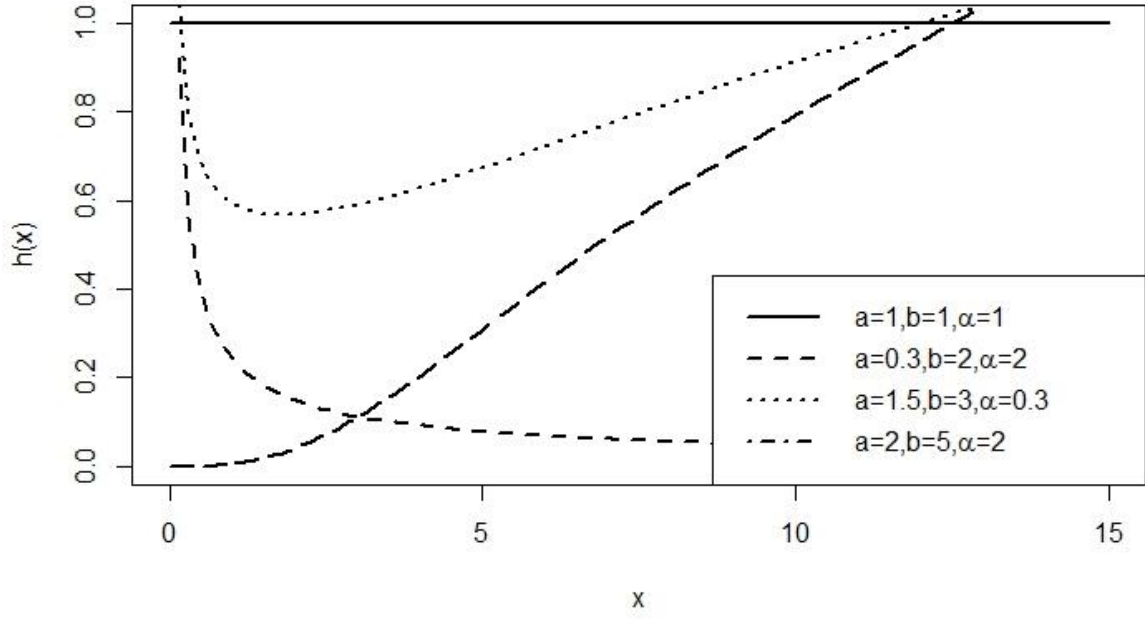
$$f(x; a, b, \alpha) = \frac{a\alpha}{b^a} x^{a-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right) \left(1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right)\right)^{\alpha-1}, x > 0. \quad (12)$$

Eşitlik (12)'de $a > 0$, $\alpha > 0$ parametreleri şekil, b parametresi ise ölçek parametresidir. Eşitlik (12) ve (13) kullanılarak, ÜW dağılımın HF, Eşitlik (13)'de verilmiştir.

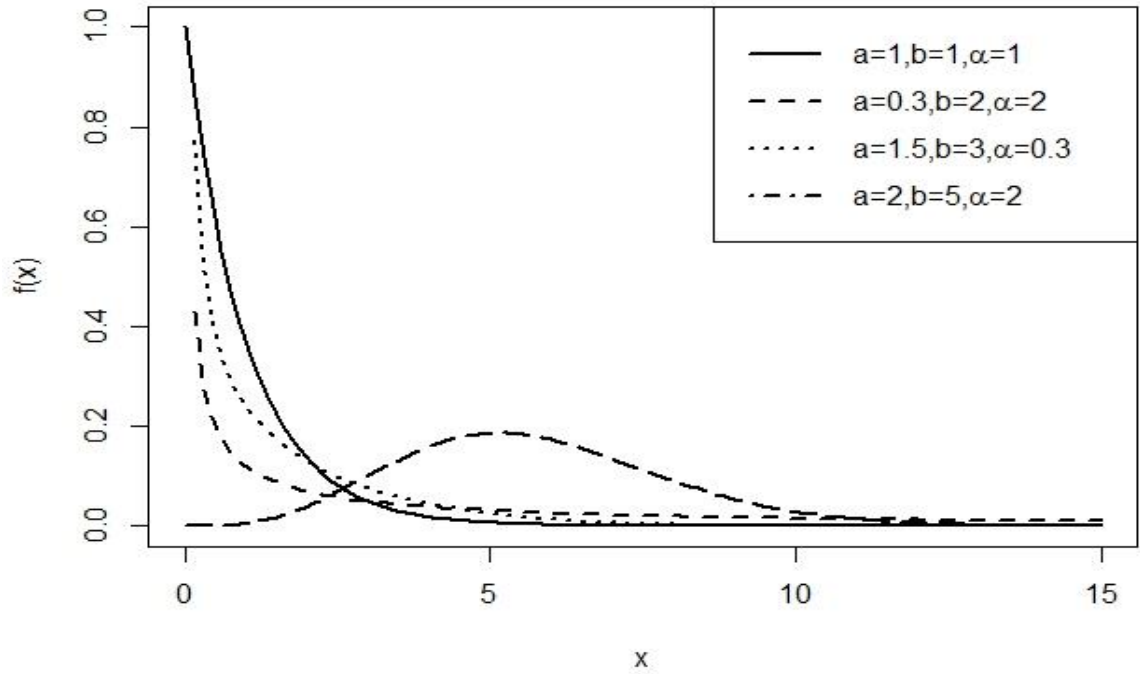
$$H(x) = \frac{\frac{a\alpha}{b^a} x^{a-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right) \left(1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right)\right)^{\alpha-1}}{1 - \left(1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right)\right)^\alpha}. \quad (13)$$

Şekil ve ölçek parametrelerinin ÜW dağılımının OYF ve HF üzerindeki etkisini incelemek için farklı parametre değerleri için grafikleri elde edilmiş ve Şekil 2.5 ve 2.6'da verilmiştir. Şekil 2.5'de ÜW dağılımının HF yapısı, sabit, azalan, artan, azalan-artan şeklindedir. Şekil

2.6’da ÜW dağılımının sadece sağa çarpık OYF yapısına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 2.5: ÜW dağılımının HF şekilleri.



Şekil 2.6: ÜW dağılımının OYF şekilleri.

ÜW dağılımı altında tekrarlama aralıklarına ilişkin koşullu olasılıkların hesaplanması için Eşitlik (14) kullanılmıştır.

$$\Pr(t|t_g) = \frac{\left(1 - \exp\left(-\left(\frac{t_g + t}{b}\right)^a\right)\right)^\alpha - \left(1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{b}\right)^a\right)\right)^\alpha}{1 - \left(1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{b}\right)^a\right)\right)^\alpha}. \quad (14)$$

Weibull, TW ve ÜW dağılımları altında verilen koşullu olasılıkların hesaplanabilmesi için dağılımların bilinmeyen parametrelerinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Parametre tahmin sürecinde en çok olabilirlik (EÇO) yöntemi kullanılmıştır. Olabilirlik fonksiyonunu maksimize etmek için R programında optim fonksiyonu kullanılmıştır.

3. WEİBULL-ÜSTEL KARMA MODELİ

İstatistiksel modellemede karma dağılımlar, mevcut dağılımların modelleme başarısını artırmak, iki tepeli verilerin veya daha karmaşık yapıdaki verilerin modellenmesi sürecinde etkin olarak kullanılmaktadır.

Karma dağılımlar, K tane dağılımın ağırlıklı toplamı olarak ifade edilmektedir. $g_1(x; \Theta_1), g_2(x; \Theta_2), \dots, g_k(x; \Theta_k)$ K tane bilinen dağılımların OYF olmak üzere, karma dağılımın OYF Eşitlik (15) ile ifade edilir.

$$f(x; \Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_K) = \sum_{k=1}^K w_k g_k(x; \Theta_k). \quad (15)$$

Eşitlik (15)'de Θ , parametre uzayını w ise karma oranını göstermektedir. Burada karma oranlarının toplamı $\sum_{k=1}^K w_k = 1$ şeklindedir (Everitt, 2013). Bu çalışmada Weibull ve üstel dağılım kullanılarak Weibull-Üstel (WÜ) karma dağılımı elde edilmiştir. Üstel dağılıma ilişkin OYF Eşitlik (16)'da verilmiştir.

$$f(x; a) = a \exp(-ax), x > 0. \quad (16)$$

Eşitlik (16)'da a parametresi ölçek parametresidir. Üstel dağılım olaylar arasında geçen zamanların modellenmesinde kullanılmaktadır. Deprem oluş zamanları arasında geçen zaman veya belirli bir lokasyonda gerçekleşen trafik kazaları arasında geçen zamanın modellenmesi gibi uygulama alanlarında sıklıkla tercih edilen bir dağılımdır. WÜ dağılımı Eşitlik (17) ile tanımlanmıştır.

$$f_{WÜ}(x; a, b) = w f_{Weibull}(x; a, b) + (1 - w) f_{Üstel}(x; a). \quad (17)$$

Karma oran parametresi $w = (b+1)/(b+3)$ olarak belirlenmiştir. Burada farklı karma oran parametreleri belirlemek mümkündür. Deprem verisi üzerinde yapılan ön çalışmalarda farklı

karma oranları denenmiş, en iyi sonucu veren karma oran parametresi bu şekilde belirlenmiştir. Eşitlik (3) ve (16), Eşitlik (17)'de yerine yazılırsa, WÜ dağılımı için OYF Eşitlik (18)'de verildiği gibi elde edilir.

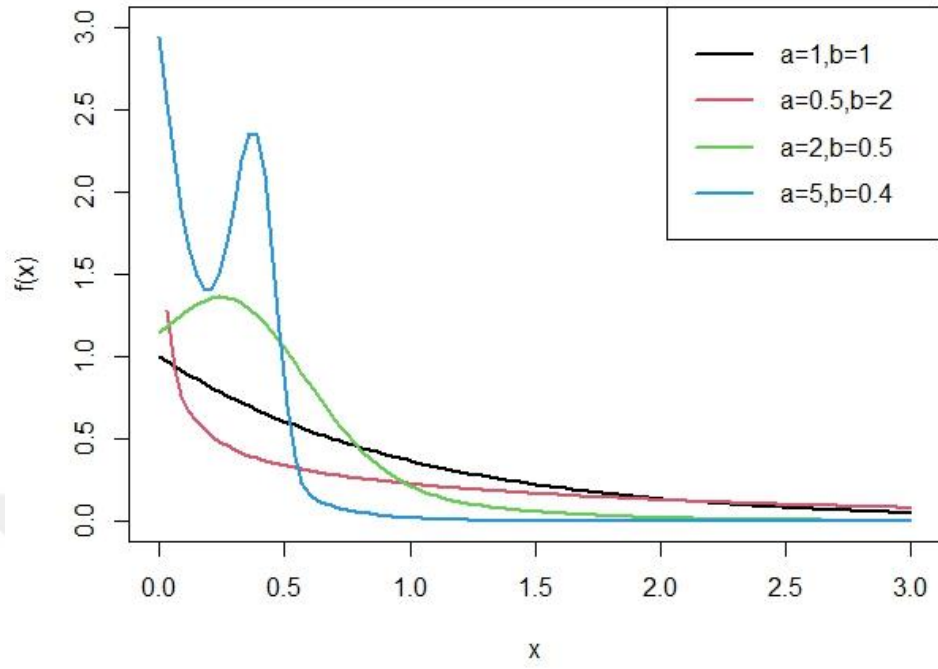
$$f_{w\ddot{u}}(x; a, b) = a(b(b+3))^{-1} \left((b+1) \exp \left(- \left(\frac{x}{b} \right)^a \right) \left(\frac{x}{b} \right)^{a-1} + 2b \exp(-ax) \right), x > 0. \quad (18)$$

Eşitlik (18)'de b parametresi ölçek, a parametresi ise şekil parametresidir. WÜ dağılımının BDF ise Eşitlik (19)'da verilmiştir.

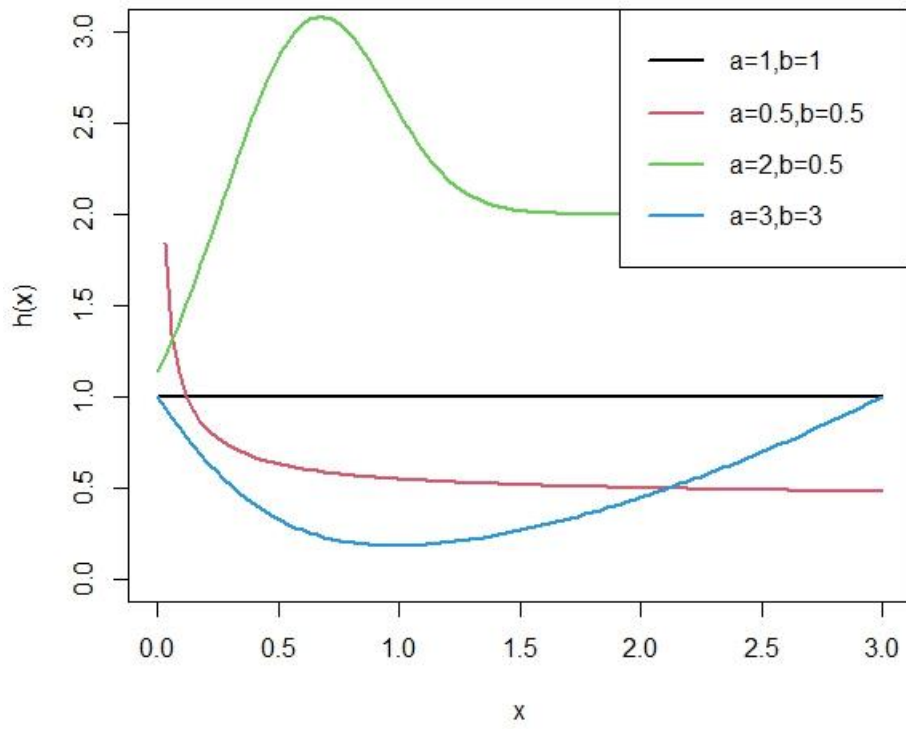
$$F_{w\ddot{u}}(x) = \frac{(b+1) \left(1 - \exp \left(- \left(\frac{x}{b} \right)^a \right) \right) - 2 \exp(-ax) + 2}{b+3}. \quad (19)$$

WÜ dağılımının HF Eşitlik (18) ve (19) aracılığıyla Eşitlik (20)'de verildiği gibi elde edilir.

$$H_{w\ddot{u}}(x) = \frac{a(b(b+3))^{-1} \left((b+1) \exp \left(- \left(\frac{x}{b} \right)^a \right) \left(\frac{x}{b} \right)^{a-1} + 2b \exp(-ax) \right)}{1 - (b+3)^{-1} \left[(b+1) \left(1 - \exp \left(- \left(\frac{x}{b} \right)^a \right) \right) - 2 \exp(-ax) + 2 \right]}. \quad (20)$$



Şekil 3.1: WÜ dağılımının OYF.



Şekil 3.2: WÜ dağılımının HF.

Şekil 3.1 ve 3.2’de WÜ dağılımının OYF ve HF şekilleri verilmiştir. OYF şekilleri incelendiğinde WÜ dağılımının iki tepeli ve sağa çarpık olduğu görülmüştür. HF şekilleri incelendiğinde, farklı yapıdaki hazard fonksiyonlarını modelleyebilme özelliği dikkat çekmektedir. HF fonksiyonu, artan, azalan, azalan-artan, artan-azalan-sabit, ve sabit şekillerini alabilmektedir. Bu da dağılımının HF açısından esnek yapıda olduğunu göstermektedir.

WÜ dağılımının istatistiksel özellikleri Weibull ve üstel dağılımının istatistiksel özellikleri kullanılarak elde edilebilir. WÜ dağılımının merkezsiz olmayan momentleri Eşitlik (21)’de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 E(X^k) &= \int_0^{\infty} x^k f_{WU}(x) dx, \\
 &= w \int_0^{\infty} x^k \frac{a}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{a-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right) dx + (1-w) \int_0^{\infty} x^k a \exp(ax) dx, \\
 &= \left(\frac{b+1}{b+3}\right) b^k \Gamma\left(1+\frac{k}{a}\right) + \left(1-\frac{b+1}{b+3}\right) k! \frac{1}{a^k}.
 \end{aligned} \tag{21}$$

Eşitlik (21)’de $k=1$ ve $k=2$ alınırsa, merkezsiz olmayan birinci ve ikinci momentler bulunur. Bu momentler Eşitlik (22) ve (23)’de verilmiştir.

$$E(X) = \frac{b(b+1)\Gamma\left(\frac{1}{a}\right) + 2}{a(b+3)} \tag{22}$$

$$E(X^2) = \frac{2a(b+1)b^2\Gamma\left(\frac{2}{a}\right) + 4}{a^2(b+3)} \tag{23}$$

Eşitlik (22) ve (23) birlikte kullanılarak WÜ dağılımının varyansı Eşitlik (24)’de verildiği gibi elde edilmiştir.

$$\text{Var}(X) = \frac{2a(b+1)b^2\Gamma\left(\frac{2}{a}\right) + 4}{a^2(b+3)} - \left(\frac{b(b+1)\Gamma\left(\frac{1}{a}\right) + 2}{a(b+3)} \right)^2. \quad (24)$$

WÜ dağılımından rastgele gözlemler üretmek için ters dönüşüm yöntemi kullanılmıştır. Bu yönteme ilişkin basit algoritma aşağıda verilmiştir.

1. WÜ dağılımının parametrelerini belirle.
2. Standart uniform dağılımdan sayı üret, $U \in (0,1)$

$$3. \frac{(b+1)\left(1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right)\right) - 2\exp(-ax) + 2}{b+3} - u = 0 \text{ eşitliğini çöz.}$$

4. 2. ve 3. adımları n kez tekrar et.

Yukarıda verilen algoritma adımları ile n tane bağımsız gözlem WÜ dağılımdan üretilebilir. Burada, 3. Adımda verilen eşitliği çözmek için R programında uniroot fonksiyonu tercih edilmiştir.

WÜ dağılımı altında tekrarlama aralıklarına ilişkin koşullu olasılık değerlerini hesaplamak için Eşitlik (25) kullanılmıştır.

$$\Pr_{WÜ}(t|t_g) = \frac{(b+1)\left[\left(1 - \exp\left(-\left(\frac{t_g+t}{b}\right)^a\right)\right) - \left(1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{b}\right)^a\right)\right)\right] - 2\left[\exp(-a(t_g+t)) - \exp(-at)\right]}{(b+1)\left(1 - \exp\left(-\left(\frac{t}{b}\right)^a\right)\right) - 2\exp(-at) + 2}. \quad (25)$$

3.2. Parametre Tahmini

WÜ dağılımının parametreleri EÇO yöntemi ile elde edilmiştir. WÜ dağılımının log-olabilirlik fonksiyonu Eşitlik (26)'da verilmiştir.

$$\begin{aligned} \ell(a, b) = & n \log(a) - \log(b(b+3)) \\ & + \sum_{i=1}^n \log \left((b+1) \exp \left(- \left(\frac{x_i}{b} \right)^a \right) \left(\frac{x_i}{b} \right)^{a-1} + 2b \exp(-ax_i) \right) \end{aligned} \quad (26)$$

Log-olabilirlik fonksiyonun a ve b parametrelerine göre kısmi türevleri alınıp bu eşitliklerin 0 için eşanlı çözümleri a ve parametrelerinin EÇO tahminlerini verir. Fakat bu eşitliklerin kapalı formda ortak çözümleri bulunmamaktadır. Bu nedenle Eşitlik (26)'da verilen fonksiyon maksimize edilerek a ve b parametrelerinin EÇO tahminleri elde edilmiştir. R programında optim fonksiyonu bu amaçla kullanılmıştır.

3.3. Benzetim Çalışması

EÇO parametre tahmin yönteminin etkinliğini değerlendirmek için benzetim çalışması yapılmıştır. Benzetim tekrar sayısı 1000 olarak belirlenmiştir. WÜ dağılımından veri üretmek için ters dönüşüm yöntemi kullanılmıştır. 3 farklı parametre vektörü kullanılmıştır. Bu vektörler aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} \text{I) } & a = 0.5, b = 2 \\ \text{II) } & a = 2, b = 0.5 \\ \text{III) } & a = 2, b = 2 \end{aligned} \quad (27)$$

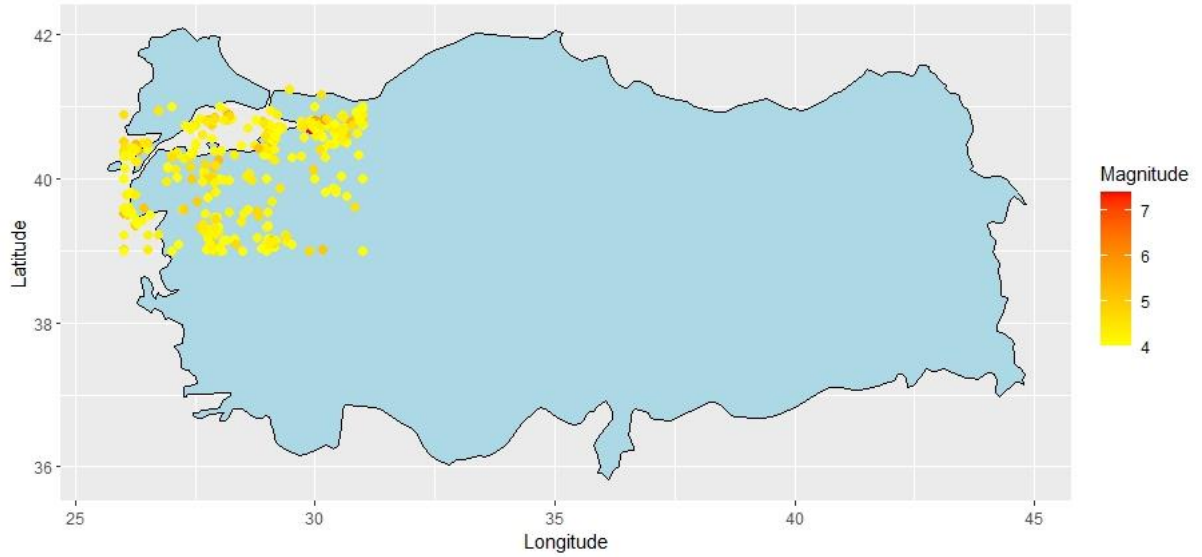
Örneklem büyüklükleri ise 50, 100, 500 ve 1000 olarak belirlenmiştir. Benzetim çalışmasının sonuçları tahmin edilen yan, ortalama kare hata (OKH) ve ortalama göreceli hata (OGH) değerlerine göre yorumlanmıştır. Benzetim çalışmasında beklenti, örneklem büyüklüğü arttıkça, yan ve OKH değerlerinin 0 değerine yaklaşması ve OGH değerlerinin ise 1 değerine yaklaşmasıdır. Tablo 3.1'de verilen sonuçlara göre, örneklem büyüklüğü arttıkça yan ve OKH değerleri 0'a yaklaşmakta ve OGH değerleri ise 1 değerine yaklaşmaktadır. Bu durum elde edilen EÇO tahmin edicilerinin asimptotik olarak yansız olduklarını göstermektedir.

Tablo 3.1: WÜ dağılımı için benzetim sonuçları

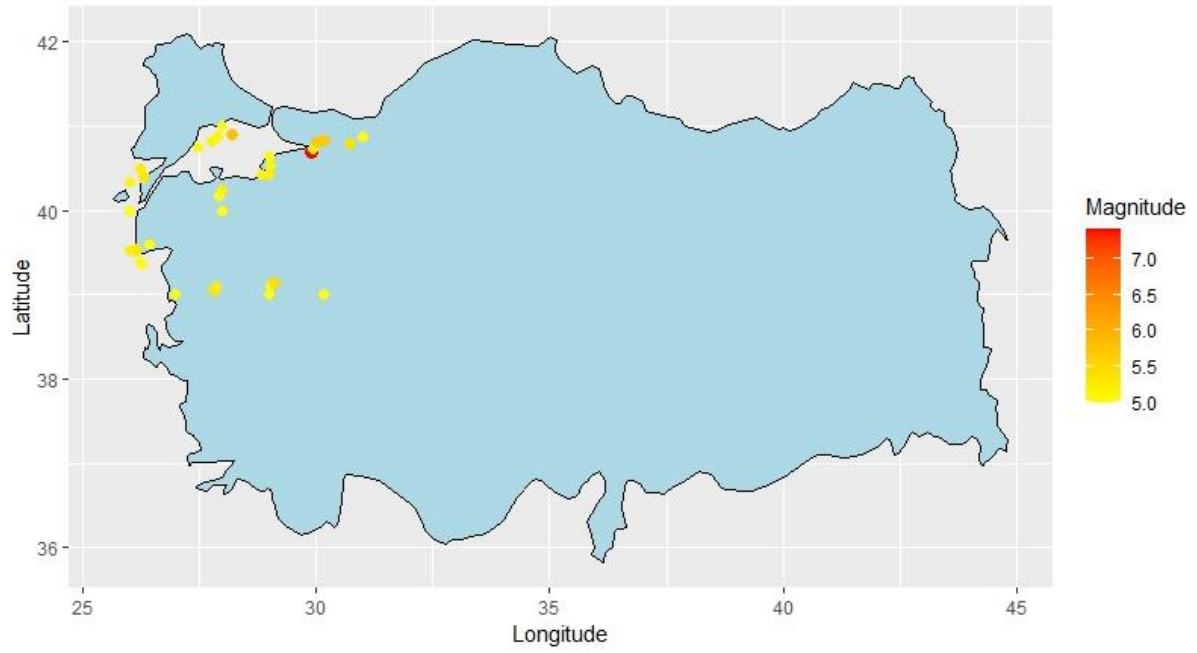
Örneklem Büyüküğü	Değerlendirme Kriterleri	I		II		III	
		a=0.5	b=2	a=2	b=0.5	a=2	b=2
50	Yan	0.0327	0.0690	0.1851	0.0201	0.0555	-0.0382
	OKH	0.0151	0.8430	0.2750	0.0139	0.1592	0.0662
	OGH	1.0655	1.0345	1.0926	1.0402	1.0278	0.9809
100	Yan	0.0188	0.0484	0.0849	0.0033	0.0199	-0.0184
	OKH	0.0053	0.4126	0.0855	0.0057	0.0806	0.0285
	OGH	1.0376	1.0242	1.0424	1.0066	1.0099	0.9908
500	Yan	0.0071	0.0387	0.0235	0.0033	0.0095	-0.0028
	OKH	0.0009	0.0796	0.0142	0.0011	0.0162	0.0050
	OGH	1.0143	1.0193	1.0118	1.0066	1.0048	0.9986
1000	Yan	0.0040	0.0224	0.0112	0.0009	0.0038	-0.0032
	OKH	0.0004	0.0426	0.0079	0.0006	0.0083	0.0024
	OGH	1.0079	1.0112	1.0056	1.0018	1.0019	0.9984

4. UYGULAMA

Deprem verileri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının deprem kataloğundan temin edilmiştir (<https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog>). Beklenen İstanbul depremini de değerlendirmek açısından çalışma bölgesi olarak Marmara Bölgesi seçilmiştir. Bu bölge 39 °N ve 42 °N kuzey enlemleri ve 26 °E ve 31 °E doğu boylamları arasında yer almaktadır. Büyüklüğü 4 ve üzeri olan depremler filtrelenmiştir. 1990 yılı ve sonrası gerçekleşen depremler dikkate alınmıştır. 1990 yılından sonra ilgili bölgede gerçekleşen en büyük deprem 17 Ağustos 1999 yılında gerçekleşmiş olup büyüklüğü 7.4 olarak kayıtlara geçmiştir. Şekil 4.1’de ilgilenilen bölgede gerçekleşen depremler verilmiştir. Şiddeti 4 ve üzeri olan depremlerin sayısı 487’dir. Bu depremlerin 462’sinin şiddeti < 5 olarak kayıtlara geçmiştir. Sadece 41 depremin şiddeti ise ≥ 5 olarak kayıtlara geçmiştir. Bu depremler ise Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1: Belirlenen bölge için gerçekleşen depremlerin Türkiye haritası üzerinde gösterimi



Şekil 4.2: Şiddeti ≥ 5 olan depremler

Şiddeti 5'in altında yer alan depremlerin yıkıcı etkisi bulunmadığı için sadece şiddeti 5 ve üzeri olan depremler dikkate alınmış, olasılıksal tehlike analizi bu depremler için yapılmıştır. Weibull, TW, ÜW ve WÜ dağılımlarının parametre tahminleri EÇO yöntemi ile elde edilmiş ve sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Şiddeti 5 ve üzeri olan depremler için dağılımların parametre tahminleri ve standart hata değerleri

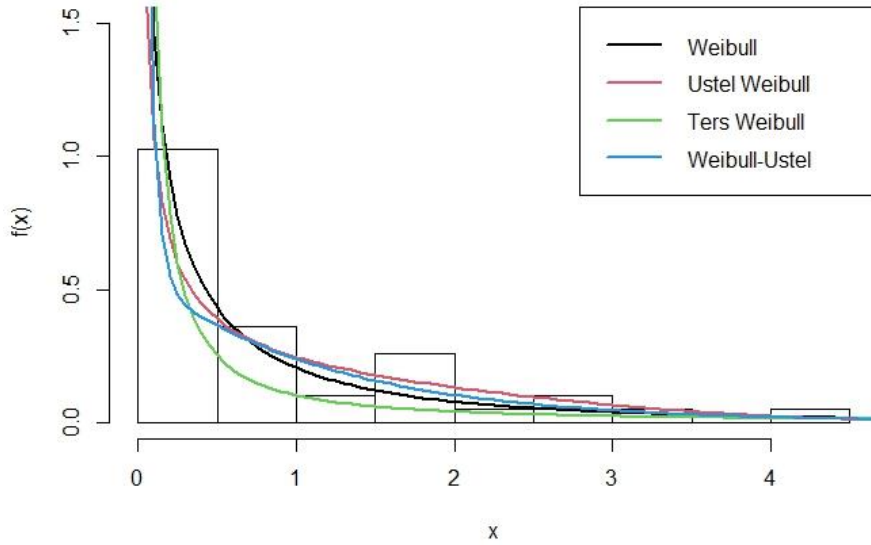
Dağılım	Parametre	Tahmin	Standart Hata
Weibull	a	0.588	0.077
	b	0.591	0.170
Ters Weibull	a	0.071	0.026
	b	0.471	0.056
Üstelleştirilmiş Weibull	a	2.571	1.871
	b	2.858	0.984
	α	0.148	0.124
Weibull-Üstel	a	0.840	0.130
	b	0.035	0.014

Tablo 4.2'de ise parametre tahminleri elde edilen dağılımlardan ilgili veri için en uygun

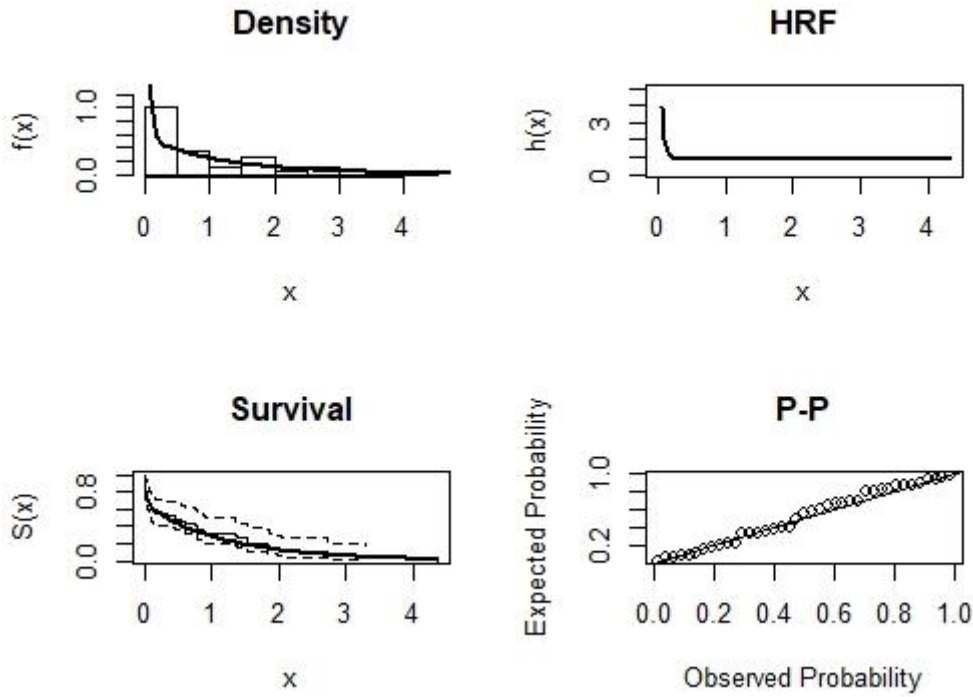
olanını seçmek için model seçim ölçütleri ve değerleri verilmiştir. AIC, BIC, CAIC ve HQIC değerleri incelendiğinde, önerilen dağılım olan WÜ dağılımının, bu değerlerinin en küçüğüne sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, KS testi ve bu teste ilişkin p-değerinin 0.05 değerinden büyük olması ve WÜ dağılımının en yüksek p-değerine sahip olması nedeniyle ilgi veri için en uygun dağılım olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.2: Şiddeti 5 ve üzeri olan depremler için dağılımların uyum iyiliği test sonuçları

Dağılım	$-\ell$	AIC	BIC	CAIC	HQIC	KS	p-değeri
Weibull	22.934	49.869	53.196	50.202	51.063	0.123	0.600
Ters Weibull	28.671	61.342	64.669	61.675	62.535	0.176	0.180
Üstleştirilmiş Weibull	21.466	48.933	53.923	49.618	50.723	0.138	0.451
Weibull-Üstel	18.331	40.661	43.989	40.995	41.855	0.096	0.862



Şekil 4.3: Dağılımların tahmin edilen olasılık yoğunluk fonksiyonları (≥ 5)



Şekil 4.4: Weibull-Üstel dağılımının tahmin edilen fonksiyonları ve PP grafiği

Dağılımların tahmin edilen OYF'leri Şekil 4.3'de verilmiştir. Şekil 4.4'de ise WÜ dağılımının bazı tahmin edilen fonksiyonlarına yer verilmiştir. Şekil 4.4, WÜ dağılımının ilgili veriye olan mükemmel uyumunu göstermektedir.

4.1. WÜ Dağılımı için Tekrarlama Aralıklarının Elde Edilmesi

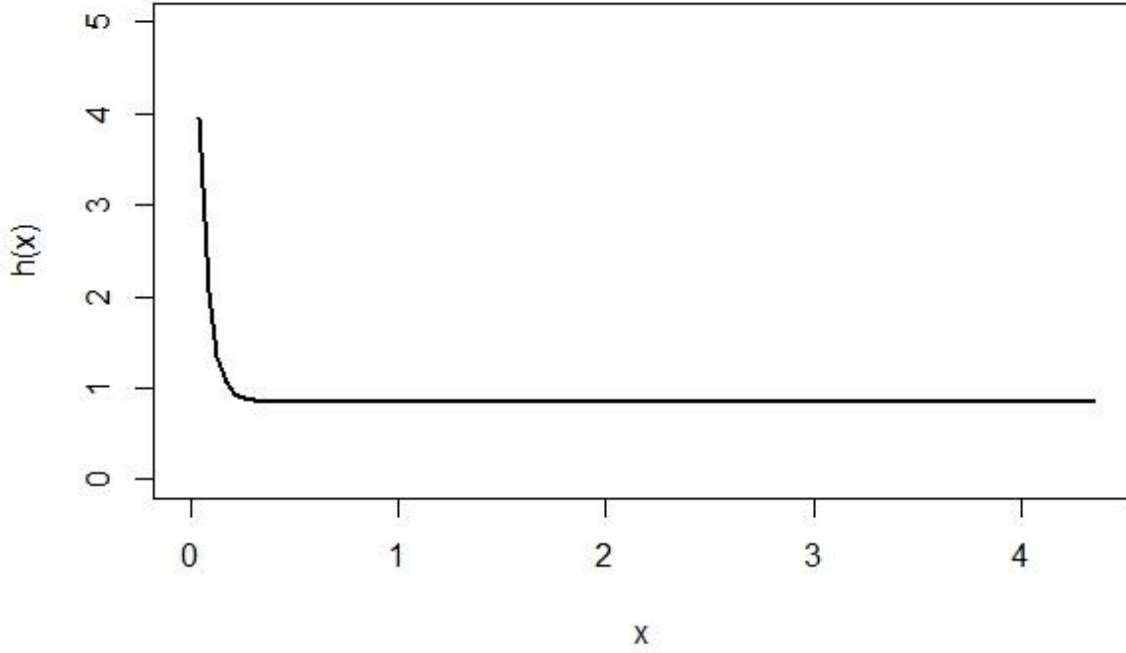
Olasılıksal tehlike analizi için şiddeti 5 ve üzeri olan depremlerin tekrarlama aralıkları hesaplanmıştır. Burada Weibull ve WÜ dağılımlarının her ikisi de sonuçlar elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.3'de verilmiştir. Tablo 4.3'de verilen değerler aşağıdaki gibi yorumlanabilir. Yorumlar WÜ modeli için verilmiştir.

- 5 yıldır 5 ve üzeri deprem olmadığı bilindiğinde 1 yıl içerisinde 5 ve üzeri deprem olma olasılığı 0.56849,
- 5 yıldır 5 ve üzeri deprem olmadığı bilindiğinde 3 yıl içerisinde 5 ve üzeri deprem olma olasılığı 0.91965,
- 5 yıldır 5 ve üzeri deprem olmadığı bilindiğinde 5 yıl içerisinde 5 ve üzeri deprem olma olasılığı 0.985'dir.

Tablo 4.3: Weibull ve WÜ dağılımları altında hesaplanan tekrarlama aralıkları

Dağılımlar	t	t_g				
		5	15	20	25	30
Weibull	1	0.32773	0.22812	0.20605	0.19014	0.17789
	3	0.67274	0.53119	0.49290	0.46361	0.44011
	5	0.82891	0.70881	0.67095	0.64046	0.61505
	10	0.95865	0.90419	0.88169	0.86160	0.84347
	15	0.98796	0.96555	0.95445	0.94372	0.93340
	30	0.99945	0.99771	0.99652	0.99516	0.99367
WÜ	1	0.56849	0.56849	0.56848	0.56849	0.56847
	3	0.91965	0.91965	0.91965	0.91965	0.91965
	5	0.98500	0.98504	0.98500	0.98504	0.98504
	10	0.99978	0.99977	0.99970	0.99978	0.99970
	15	0.99999	0.99999	0.99999	1	1
	30	1	1	1	1	1

Tablo 4.3 incelendiğinde, Weibull dağılımında geçen zaman arttıkça deprem olma olasılıklarının azaldığını, WÜ dağılımı için ise sabit kaldığını görmekteyiz. Bunun nedeni, WÜ dağılımının hazard fonksiyonunun azalan-sabit yapıda olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 4.5’de görüldüğü üzere, belirli bir değerden sonra WÜ dağılımının hazard fonksiyonu sabittir. Bu durum, geçen zamanın belirli değerden sonra koşullu olasılığı etkilemediğini göstermektedir. Diğer bir ifadeyle, en son depremin üzerinden belirli bir zaman geçtikten sonra meydana gelecek deprem, geçen zamandan bağımsızdır.

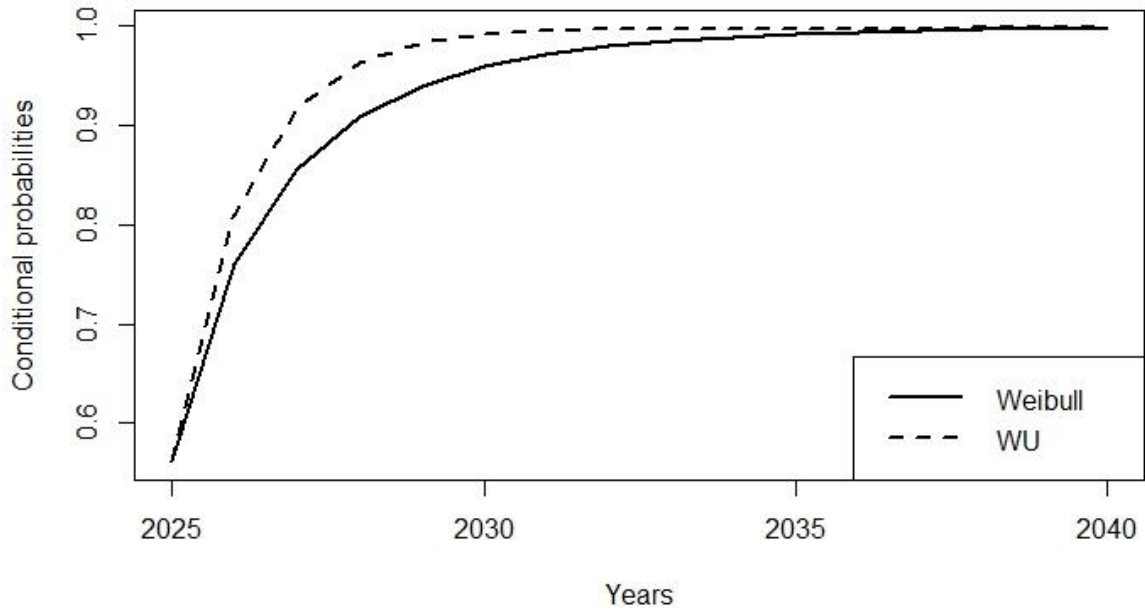


Şekil 4.5: WÜ dağılımının tahmin edilen parametre değerlerine göre hazard fonksiyonu.

Şiddeti 5 ve üzeri olan son depremin gerçekleşme zamanı 04.12.2023 tarihidir. Bu tarihten sonra geçen süre 0.5 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu nedenle $t_e = 0.5$ alınmıştır. Farklı τ değerlerine göre olasılıklar hesaplanmış ve grafiksel olarak Şekil 4.6’da verilmiştir. Tablo 4.4’de ise bazı spesifik yıllar için hesaplanan olasılık değerleri verilmiştir. WÜ dağılımı altında, 0.5 yıldır 5 ve üzeri deprem olmadığı bilindiğinde, 2025 yılına kadar 5 ve üzeri deprem olması olasılığı 0.56852, 2030 yılına kadar olması olasılığı ise 0.99354 olarak hesaplanmıştır. Burada hesaplanan olasılık değerleri, bölgenin 5 ve üzeri deprem üretme kapasitesinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Tablo 4.4: Bazı yıllar için Weibull ve WÜ dağılımı altında hesaplanan koşullu olasılıklar

Yıl	Weibull	WÜ
2025	0.56076	0.56852
2030	0.95876	0.99354
2035	0.99194	0.99990
2040	0.99792	1



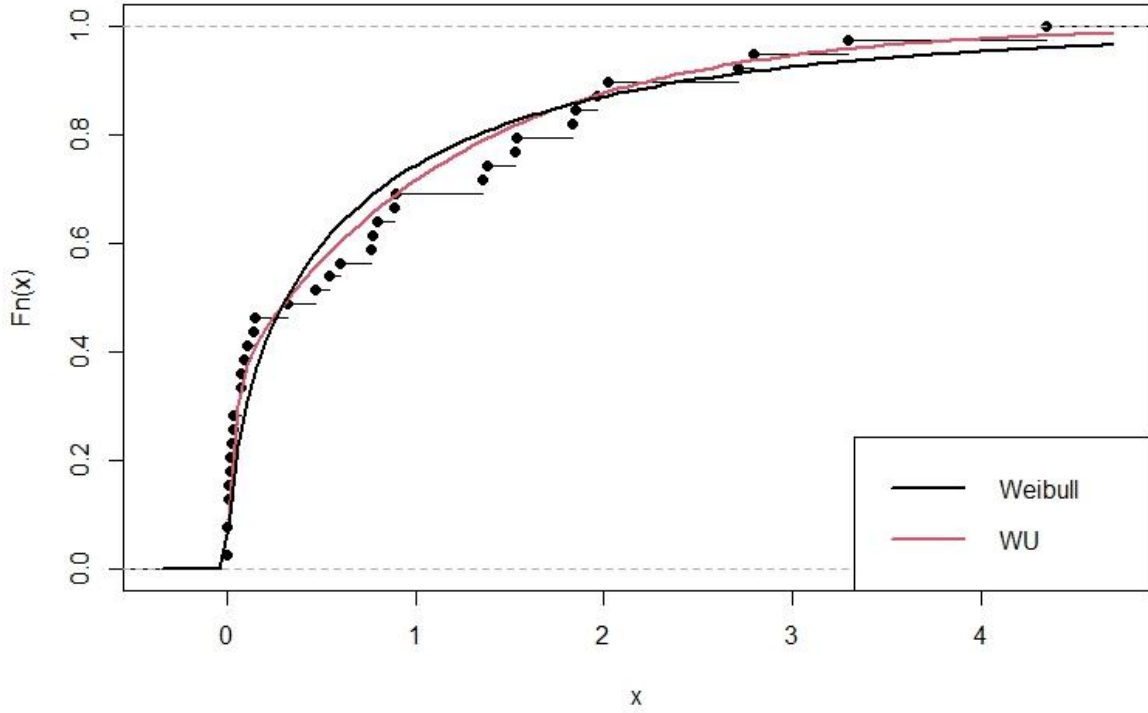
Şekil 4.6: Geçen zaman 0.5 yıl olarak belirlendiğinde Weibull ve WÜ dağılımları altında hesaplanan tekrarlama aralıkları

Weibull ve WÜ dağılımlarından elde edilen sonuçlar incelendiğinde, WÜ modelinden elde edilen olasılık değerlerinin Weibull dağılımına göre daha yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Bu durumu daha iyi anlamak için her iki dağılım kuyruk davranışları incelenmiştir. WÜ dağılımının Weibull dağılımına göre daha kalın kuyruklu yapıya sahiptir. Bu nedenle, kuyruklarda yer alan olasılıkları temsil etme gücü Weibull dağılımına göre daha yüksektir. Bu durumu göstermek adına bazı değerler için deneysel olasılıklar ve teorik olasılıklar hesaplanmış Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5’de verilen değerler incelendiğinde, WÜ dağılımının deneysel olasılıkları temsil etme gücünün Weibull dağılımına göre yüksek olduğu görülmüştür. WÜ dağılımı altında elde edilen olasılık değerleri, Weibull dağılımına göre, deneysel olasılıklara daha yakındır. Bu durum Şekil 4.7’de grafiksel olarak gösterilmiştir.

Tablo 4.5: Weibull ve WÜ dağılımlarının bazı olasılık değerlerinin deneysel olasılık değerleri ile karşılaştırılması

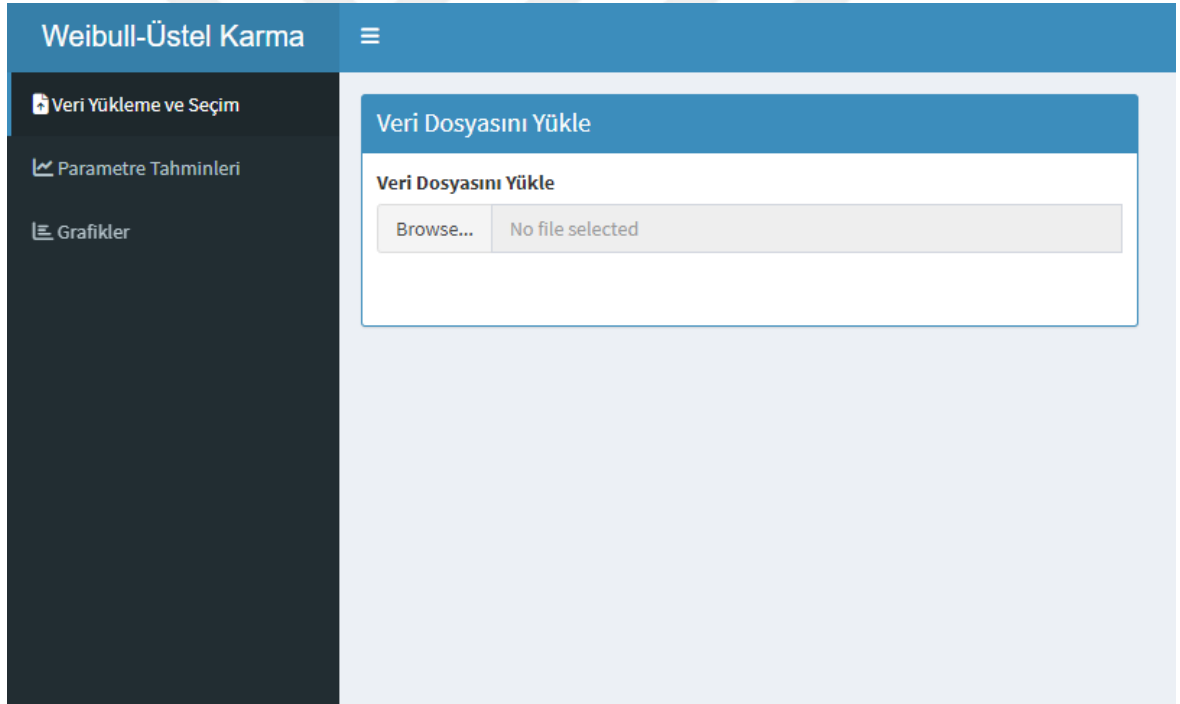
Değer	Deneysel Olasılıklar	Teorik Olasılıklar	
		Weibull	WÜ
$X > 0.1$	0.61538	0.63619	0.70340
$X > 0.5$	0.48718	0.43292	0.40400
$X > 1$	0.30769	0.28436	0.25607
$X > 3$	0.05128	0.05295	0.07435
$X > 4$	0.02564	0.02285	0.04606



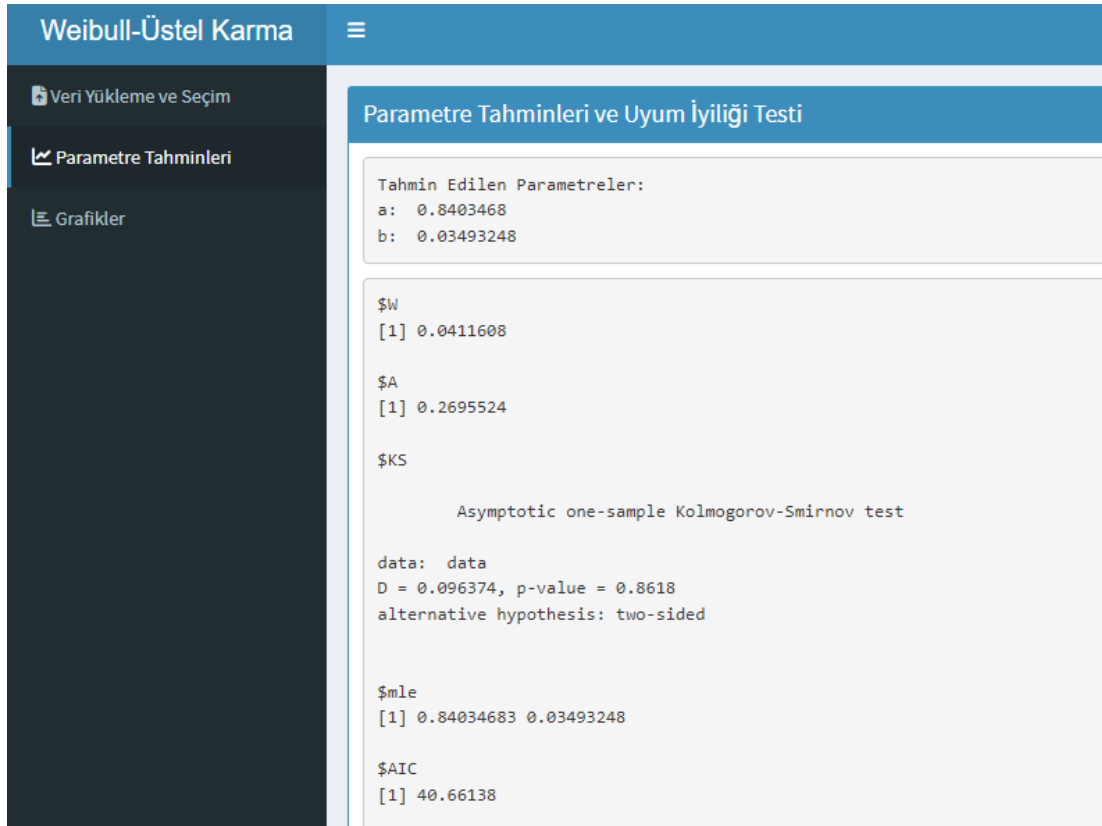
Şekil 4.7: Weibull ve WÜ dağılımlarının birikimli dağılım fonksiyonları ile deneysel dağılımının karşılaştırılması

5. WEIBULL-ÜSTEL DAĞILIMI İÇİN R SHINY WEB UYGULAMASI

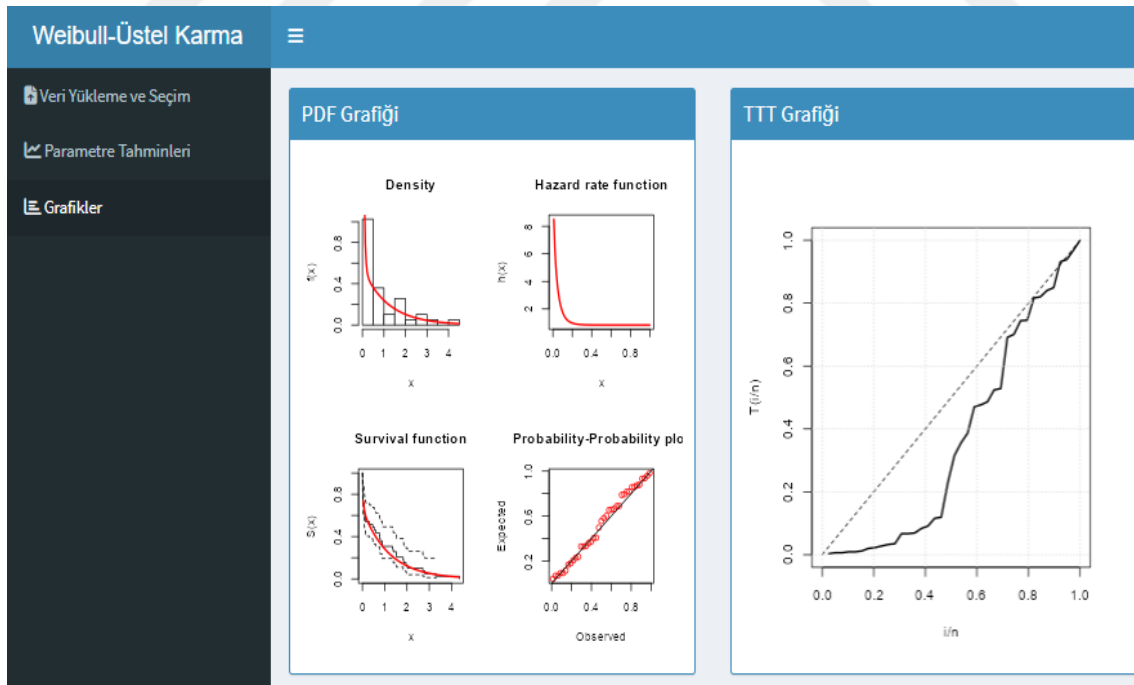
WÜ modelinin araştırmacılar tarafından yaygın kullanımının sağlanması için R Shiny programında web uygulaması geliştirilmiştir. Uygulamaya verilen link üzerinden erişilebilmektedir: <https://bartinuni.shinyapps.io/weibull-exp/>. Şekil 5.1’de uygulamanın kullanıcı arayüzü verilmiştir. Uygulamada veri yükleme ve seçim, parametre tahminleri ve grafikler panelleri bulunmaktadır. Veri dosyası yükleme ekranından excel ya da CSV formatında veri yükleme işlemi gerçekleştirilebilir. Parametre tahminleri paneli ise Şekil 5.2’de verilmiştir. Bu panelde WÜ modelinin parametre tahminlerini ve uyum iyiliği test sonuçları yer almaktadır. Şekil 5.3’de ise grafikler paneli verilmiştir. Burada TTT grafiği analiz edilen verinin deneysel hazard yapısını incelemek için verilmiştir. TTT grafiği Aarset (1987) tarafından geliştirilmiştir.



Şekil 5.1: Uygulama ara yüzü



Şekil 5.2: Uygulamanın parametre tahmin paneli



Şekil 5.3: Uygulamanın grafik paneli

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada Weibull-Üstel modeli geliştirilmiştir. Modelin istatistiksel özellikleri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Geliştirilen modelin uygulama alanındaki etkinliği deprem verileri üzerinde değerlendirilmiştir. Weibull-Üstel modelinin, tekrarlama aralıklarının elde edilmesindeki başarısı, Weibull, TW ve ÜW modellerinden daha üstün bulunmuştur. WÜ modeli için elde edilen hazard fonksiyonu azalan-sabit şeklinde tahmin edilmiştir. Bu durumun nedeni oluşturulan deprem katalog verisidir. Bu çalışmada sadece 1990 ve sonrası gerçekleşen depremler dikkate alınmıştır. Daha kapsamlı deprem katalogları kullanıldığında elde edilen hazard fonksiyonu yapısı değişecektir. Çalışma kapsamında, ilgilenilen bölgede 1990 yılından itibaren, 17 Ağustos 1999 depremi hariç, büyük bir deprem gerçekleşmemiş, gerçekleşen depremlerin büyük çoğunluğunun ise şiddeti 5 değerinin altında kaydedilmiştir. Önerilen modelinin etkinliğinin daha kapsamlı deprem katalog verilerinde değerlendirilmesi, pratik uygulamada kullanılabilirliğinin test edilmesi, bu çalışmanın devamı niteliğinde planlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Aarset, M. V. (1987). How to identify a bathtub hazard rate. *IEEE Transactions on Reliability*, 36(1), 106-108.
- Aydın, A. F. (2023). Sosyal Medyada Dezenformasyon ve Manipülasyon: 2023 Kahramanmaraş Depremi Örneği. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 12(5), 2603-2624.
- Berhich, A., Belouadha, F. Z. ve Kabbaj, M. I. (2023). An attention-based LSTM network for large earthquake prediction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 165, 107663.
- Deepankar, C. ve Jaykumar, S. (2011). Probability of occurrence and study of earthquake recurrence models for Gujarat state in India. *Disaster Advances*, 4(2), 47-59.
- Dutfoy, A. (2019). Estimation of tail distribution of the annual maximum earthquake magnitude using extreme value theory. *Pure and Applied Geophysics*, 176(2), 527-540.
- Everitt, B. (2013). *Finite mixture distributions*. Springer Science & Business Media.
- Gökkaya, K. (2016). Geographic analysis of earthquake damage in Turkey between 1900 and 2012. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(6), 1948-1961.
- Karaca, H. (2023). Hazard functions and conditional probability of earthquake occurrences in major fault zones in Turkey. *Iranian Journal of Earth Sciences*, 15(2), 67-76.
- Kasapoğlu, M. A. (2024). Afetlerin İlişkisel Sosyolojik İncelenmesi: Şubat 2023 Kahramanmaraş Merkezli Deprem Örneği. *Habitus Toplumbilim Dergisi*, 5(5), 1-36.
- Keller, A. Z., Kamath, A. R. R. ve Perera, U. D. (1982). Reliability analysis of CNC machine tools. *Reliability engineering*, 3(6), 449-473.
- Ma, N., Bai, Y. ve Meng, S. (2021). Return period evaluation of the largest possible earthquake magnitudes in mainland China based on extreme value theory. *Sensors*, 21(10), 3519.
- McNally, K. C. ve Minster, J. B. (1981). Nonuniform seismic slip rates along the Middle America Trench. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 86(B6), 4949-4959.
- Mudholkar, G. S. ve Srivastava, D. K. (1993). Exponentiated Weibull family for analyzing bathtub failure-rate data. *IEEE transactions on reliability*, 42(2), 299-302.
- Mudholkar, G. S., Srivastava, D. K. ve Freimer, M. (1995). The exponentiated Weibull family: A reanalysis of the bus-motor-failure data. *Technometrics*, 37(4), 436-445.
- Nassar, M. M. ve Eissa, F. H. (2003). On the exponentiated Weibull

- distribution. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 32(7), 1317-1336.
- Nazlı, R. S. ve Soylu, B. (2023). Doğal Afet Haberlerinin Medyada Sunumu: 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri Örneği. *Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 16(2), 44-57.
- Pasari, S. ve Dikshit, O. (2014). Impact of three-parameter Weibull models in probabilistic assessment of earthquake hazards. *Pure and Applied Geophysics*, 171, 1251-1281.
- Paul, A., Gupta, S., Ghosh, S. ve Choudhury, D. (2020). Probabilistic assessment and study of earthquake recurrence models for entire Northeast region of India. *Natural Hazards*, 102, 15-45.
- Sil, A., Sitharam, T. G. ve Haider, S. T. (2015). Probabilistic models for forecasting earthquakes in the northeast region of India. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105(6), 2910-2927.
- Stockman, S., Lawson, D. J. ve Werner, M. J. (2023). Forecasting the 2016–2017 Central Apennines earthquake sequence with a neural point process. *Earth's Future*, 11(9), e2023EF003777.

ÖZGEÇMİŞ



