



Conformity of Earthquake Magnitudes to Benford's Law: the Case of Kahramanmaraş Earthquakes

Nazif Ayyildiz¹, Erdinc Karadeniz² and Omer Iskenderoglu³

¹ Harran University, Suruc Vocational School, 63300 Suruc-Sanlıurfa, Türkiye

² Mersin University, Faculty of Tourism, Department of Management, 33340 Mersin, Türkiye

³ Omer Halisdemir University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, 51240 Nigde, Türkiye
ORCID: 0000-0002-7364-8436, 0000-0003-2658-8490, 0000-0002-3407-1259

Keywords

Benford's Law, Numerical analysis, Earthquake magnitudes, Kahramanmaraş Earthquakes, Seismic clusters

Highlights

- * Natural occurrence of earthquake magnitudes
- * Reliability of earthquake magnitude data
- * Conformity of earthquakes to Benford's Law

Aim

The aim of this study is to determine whether the earthquake magnitude data comply with Benford's Law

Location

This study has implemented in a field area in Türkiye

Methods

Benford's Law

Results

It has been determined that the earthquake magnitude digits conform to Benford's Law and closely follow Benford's Law with very small deviations

Supporting Institutions

The author(s) declared that this study has used no support data from other institutions

Financial Disclosure

The author(s) declared that this study has received no financial support

Peer-review

Externally peer-reviewed

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare

Manuscript

Research Article

Received: 17.04.2023

Revised: 01.05.2023

Accepted: 09.05.2023

Printed: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1284689



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author

Nazif Ayyildiz

Email: nazifayyildiz@harran.edu.tr

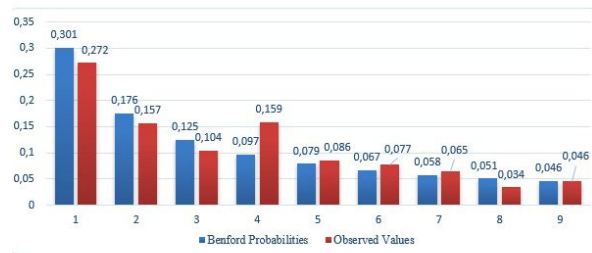


Figure
Observed Values of Earthquake Magnitudes and Benford Probabilities

How to cite:

Ayyildiz N., Karadeniz E., Iskenderoglu O., 2023. Conformity of Earthquake Magnitudes to Benford's Law: the Case of Kahramanmaraş Earthquakes, Turk Deprem Arastirma Dergisi 5(1), 22-32, <https://doi.org/10.46464/tdad.1284689>



Deprem Büyüklüklerinin Benford Yasası'na Uygunluğu: Kahramanmaraş Depremleri Örneği

Nazif Ayyıldız¹, Erdinç Karadeniz² ve Ömer İskenderoğlu³

¹ Harran Üniversitesi, Suruç Meslek Yüksekokulu, 63300 Suruç- Şanlıurfa, Türkiye
² Mersin Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Turizm İşletmeciliği Bölümü, 33340 Mersin, Türkiye
³ Ömer Halisdemir Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, 51240 Niğde, Türkiye
ORCID: 0000-0002-7364-8436, 0000-0003-2658-8490, 0000-0002-3407-1259

ÖZET

Bu çalışmada, deprem büyüklüklerinin Benford Yasası'na uygun olup olmadığının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri incelenmiş ve 01.01.2023–27.02.2023 dönemi boyunca Türkiye'de gerçekleşen 14.565 adet depremin büyüklük verisi Benford Yasası rakamsal dağılımıyla karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Analizden elde edilen sonuçlara göre, deprem büyüklüğü rakamlarının Benford Yasası'na uyum sağladığı ve çok küçük sapmalarla birlikte Benford Yasasını yakından takip ettiği belirlenmiştir. Söz konusu küçük sapmaların ise; büyüklük verilerinin tek ondalık basamağa yuvarlanarak açıklanmasından, yerin belirli derinliğinden daha ilerisinde oluşan çok küçük büyüklükteki depremlerin tespit edilememesinden veya mevcut verilerdeki çok küçük ölçüm hatalarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla, deprem oluşumlarının doğal süreçler sonucu ortaya çıktığı ve deprem büyüklüklerinin doğru olarak tespit edildiği söylenebilir.

Anahtar kelimeler

Benford Yasası, Rakamsal analiz, Deprem büyüklükleri, Kahramanmaraş Depremleri, Sismik kümeler

Öne Çıkanlar

- * Deprem büyüklüklerinin doğal oluşumu
- * Deprem büyüklük verilerinin güvenilirliği
- * Depremlerin Benford Yasası'na uygunluğu

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 17.04.2023
Düzeltilme: 01.05.2023
Kabul: 09.05.2023
Basım: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1284689

Sorumlu yazar

Nazif Ayyıldız
Eposta:
nazifayyildiz@harran.edu.tr

Conformity of Earthquake Magnitudes to Benford's Law: the Case of Kahramanmaraş Earthquakes

Nazif Ayyıldız¹, Erdinç Karadeniz² and Omer Iskenderoglu³

¹ Harran University, Suruc Vocational School, 63300 Suruc-Sanlıurfa, Türkiye
² Mersin University, Faculty of Tourism, Department of Management, 33340 Mersin, Türkiye
³ Omer Halisdemir University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, 51240 Niğde, Türkiye
ORCID: 0000-0002-7364-8436, 0000-0003-2658-8490, 0000-0002-3407-1259

ABSTRACT

The aim of this study is to determine whether the earthquake magnitude data comply with Benford's Law. To this end, magnitude data of 14.565 earthquakes that occurred in Turkey between January 1, 2023, and February 27, 2023, were analyzed by comparing them with the numerical distribution of Benford's Law. According to the results obtained from the analysis, it has been determined that the earthquake magnitude digits conform to Benford's Law and closely follow Benford's Law with very small deviations. These small deviations are thought to arise from the rounding of magnitude data to a single decimal place, the inability to detect very small magnitude earthquakes occurring deeper than a certain depth, or very small measurement errors in the existing data. Therefore, it can be said that earthquake occurrences occur as a result of natural processes and earthquake magnitudes are determined correctly.

Keywords

Benford's Law, Numerical analysis, Earthquake magnitudes, Kahramanmaraş Earthquakes, Seismic clusters

Highlights

- * Natural occurrence of earthquake magnitudes
- * Reliability of earthquake magnitude data
- * Conformity of earthquakes to Benford's Law

Manuscript

Research Article

Received: 17.04.2023
Revised: 01.05.2023
Accepted: 10.05.2023
Printed: 30.06.2023

DOI

10.46464/tdad.1284689

Corresponding Author

Nazif Ayyıldız
Email:
nazifayyildiz@harran.edu.tr

1. GİRİŞ

Depremler, yer kabuğundaki kırılmalar sonucu meydana gelen doğal afetlerdir (Stein ve Wysession 2003). Yer kabuğundaki hareketlilik, dünya genelinde sıklıkla meydana gelmektedir ve özellikle deprem kuşakları boyunca yoğunlaşmaktadır (Kanamori 2005). Depremler, insanların hayatını, malını ve mülkünü etkileyen önemli bir doğal afet olarak karşımıza çıkmaktadır (Kanamori 2009). Bu nedenle, depremlerin nedenleri ve özellikleri üzerine yapılan araştırmalar, doğal afetlerin etkilerinin minimize edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bilim insanları tarafından uzun yıllardır depremler hakkındaki araştırmalar sürmektedir. Son yıllarda daha çok depremlerin tetikleyicilerine, depremlerin belirli bir bölgede neden daha sık meydana geldiğine ve depremlerin büyüklüklerinin tahmin edilmesini sağlayabilecek yöntemlere odaklanıldığı görülmektedir (National Research Council 2003). Depremlerin nedenleri ve özellikleri hakkındaki araştırmalar, depremlerin tesadüfi olarak meydana gelip gelmediği sorusunu da gündeme getirmiştir. Bu noktada bazı bilim insanları depremlerin tesadüfi olduğunu savunurken diğerleri ise deprem aktivitesinin belirli bir düzen içinde olduğunu savunmaktadır (Scholz 2002). Bu konudaki tartışmalar depremler hakkındaki araştırmaların önemini ve deprem aktivitesi hakkındaki bilgi birikimini artırmıştır (Turcotte ve Schubert 2002).

Depremlerin büyüklüklerine ilişkin doğru ve güvenilir veriler, sismik olayların tahmin edilmesi ve bunlara hazırlanılması açısından çok önemlidir. Bununla birlikte deprem büyüklükleri, bir deprem sırasında salınan sismik enerji miktarına bir sayı atayan Richter ölçeği ile ölçülmektedir (Richter 1935). Bir ondalık değere sahip olan bu sayı ondalık basamağa yuvarlanarak ifade edilmektedir. Bu veriler, deprem büyüklüğünün ölçülmesi, deprem sıklığının analiz edilmesi ve depremlerin olası etkilerinin tahmin edilmesi için kullanılmaktadır. Ayrıca, doğru ve güvenilir deprem büyüklüğü verileri, depremlerin etkilerinin saptanması ve depremlere yönelik acil müdahale ekiplerinin harekete geçirilmesi için de büyük önem arz etmektedir. Deprem büyüklüğü verileri, deprem kaynaklarından çıkan enerjinin miktarını ölçer ve depremin ne kadar şiddetli olabileceği hakkında önemli bilgiler sağlar. Kuzeydoğu Japonya'da 2011 Tohoku depremi öncesinde yapılan deprem büyüklüğü ölçümlerinin depremin büyüklüğünün doğru tahmin edilmesi için önemli olduğu belirlenmiştir (Morikawa ve diğ. 2012). Zhou ve Wu (2019) ise deprem büyüklüğü tahminindeki doğruluğun, deprem öncesi hazırlık çalışmalarının başarısı açısından kritik olduğunu belirtmektedirler.

Deprem büyüklükleri gibi birçok doğal olayın ölçümlerinde Benford Yasası'nın uygulanabilirliği incelenebilmektedir. Benford Yasası ilk kez 1881 yılında Amerikalı astronom Simon Newcomb tarafından keşfedilmiştir. Newcomb, bir astronomik tabloyu hazırlarken sayıların ilk rakamlarının dağılımını inceleyerek belirli bir düzenin olduğunu gözlemlemiştir (Newcomb 1881). Daha sonra bu düzen Frank Benford tarafından 1938 yılında tekrar keşfedilerek Benford Yasası geliştirilmiştir. Benford Yasası, bir doğal sayı dizisinde belirli bir sayının ilk rakamlarının olasılık dağılımını tanımlayan bir matematiksel yasadır. Diğer bir ifadeyle doğal olarak oluşan rakamların dağılımını açıklayan Benford Yasası 1 rakamının ilk hane olarak diğer herhangi bir rakamdan daha sık görüldüğü, ardından 2 rakamının geldiği ve bunun böyle devam ettiğini açıklamaktadır (Benford 1938, Karagün ve Taşdemir 2019). Benford Yasası'nın birçok farklı alanda kullanımı bulunmaktadır. Örneğin, finansal verilerde sahtecilik tespiti için kullanılabilir gibi nüfus istatistikleri gibi birçok doğal sayı dizilerinde de uygulanabilir. Bilimsel verilerde ise Benford Yasası özellikle veri doğruluğunu kontrol etmek için kullanılabilir. Bu dağılım modeli kullanılarak, doğal bir süreçle tutarlı olması beklenen deprem büyüklüklerinin yapay olarak manipüle edilip edilmediği veya üretilip üretilmediği de test edilebilmektedir. Eğer deprem büyüklükleri rastgele bir dağılım izliyorsa, her büyüklüğün ilk basamağın dağılımı Benford Yasası'na uyum göstermelidir. Ancak, veriler manipüle edilmiş veya hatalıysa, bu kalıptan sapabilir.

Bu çalışmanın amacı, deprem büyüklüklerinin Benford Yasası'na uygun olup olmadığının tespit edilmesidir. Bu amaç doğrultusunda 6 Şubat 2023 tarihinde, Kahramanmaraş (Türkiye) merkezli ana ve artçı depremlerin büyüklük verilerine ait rakamsal dağılımların Benford Yasası'na uygun olup olmadığı incelenmiştir. Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümde literatürde yer alan benzer çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde kullanılan veri seti ve yöntem açıklanmıştır. Dördüncü bölümde analizden elde edilen bulgular sunulmuştur. Sonuç bölümünde ise elde edilen bulgular yorumlanarak çeşitli değerlendirmeler yapılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür incelendiğinde, deprem büyüklüklerinde Benford Yasası'nın uygulanabilirliğinin araştırıldığı gözlemlenmiştir. Aşağıda söz konusu çalışmalar özetlenmiştir.

Sambridge ve diğ. (2010), 1989-2009 döneminde yerel küçük boyuttaki depremlerden ziyade daha büyük boyuttaki deprem verilerinin analize dahil edildiğinde rakamsal frekansların Benford Yasası'nın birinci basamak dağılımına uyumunun arttığını tespit etmişlerdir.

De ve Sen (2011) çalışmasında, kuantum manyetik alanındaki bir sistem üzerinde yapılan deneylerde, Benford Yasası'nın ilk rakam dağılımının sistemin kritik noktasında (faz geçişinde) değiştiği bulunmuştur. Bu bulgu, Benford Yasası'nın kuantum faz geçişleri gibi doğal olayları da tespit edebileceğini göstermektedir. Bu bulgu ayrıca, kuantum faz geçişlerini depremlerle benzer şekilde tespit edebileceğini göstermektedir.

Sottili ve diğ. (2012) çalışmasında, Nisan 2005–Nisan 2011 arasında, İtalya'nın farklı jeolojik bölgelerinde gerçekleşen yaklaşık 17.000 sismik olayın tekrarlanma sürelerinin Benford Yasası'na uygunluğu araştırılmıştır. Etna Dağı volkanik alanı ve 2009 yılındaki 6.3 büyüklüğündeki L'Aquila depremiyle ilişkili sismik seriler araştırmada veri seti olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, ilk basamakların dağılımının Benford Yasası tahmininden %0.02 ile %5.64 arasında sapma olduğu, dolayısıyla ardışık olayların yinelenme zamanlarının Benford Yasasına yakın bir uyum gösterdiği tespit edilmiştir.

Bouzoubaa ve diğ. (2013) tarafından yapılan çalışmada, deprem büyüklüklerinin doğruluğunu kontrol etmek için Benford Yasası'nın nasıl kullanılabileceği incelenmiştir. Bu amaçla, Fas'ta meydana gelen depremlerin büyüklük verileri analiz edilmiştir. Benford Yasası'nın uygulanması sonucunda, bazı deprem büyüklüklerinin yanlış olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar, Benford Yasası'nın deprem büyüklükleri için uygulanabileceğini göstermiştir.

Deveci ve diğ. (2013), Benford Yasası'nın Türkiye sismik verilerine uygulanmasını araştırmışlardır. Bu amaçla çalışmada Türkiye'nin farklı bölgelerinden sismik veri değerlerinin ilk rakamları incelenmiş ve Benford Yasası'na uygun olup olmadığı analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda sismik veri setlerinin, verilerin bir şekilde manipüle edilebileceğini veya değiştirilebileceğini öne süren Benford Yasası'na tam olarak uymadığı saptanmıştır.

Diaz ve diğ. (2015) çalışmasında sismik verilerin Benford Yasası'na uygunluğu, Merkezi Şili olan 8.2 ve 7.7 büyüklüğündeki deprem kayıtlarını da içeren, 01 Nisan 2014- 04 Nisan 2014 arasındaki üç günlük sismik veri seti kullanılarak araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, yaklaşık 30 dakikalık zaman penceresi uzunluklarından ziyade 20 saat civarındaki zaman uzunluklarının yerel olayları tanımlamak için daha uygun olduğu, zayıf frekans sinyallerinin lineer bir ilerlemeye sahip olduğundan Benford Yasası'na uymadığı; buna karşın daha zengin sinyallerin geometrik bir ilerleme göstererek Benford Yasası'na uyduğu tespit edilmiştir.

Toledo ve diğ. (2015) çalışmasında, depremlerin ana parametrelerinin Benford Yasası'na uyumu incelenmiştir. 2011 Tohoku depreminin öncesi ve sonrasındaki süreçlerdeki fiziksel parametreler veri seti olarak kullanılmıştır. Söz konusu veriler; fay üzerindeki kayma ve moment dağılımı, jeodezik verilerden ters çevrilmiş yüzey deformasyonu, incelenen tsunami

yükseklikleri ve artçı şok serisinin bırakma ve bekleme sürelerinden oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre, faydaki kosismik atım dağılımları ve iç yer değiştirmeler gibi kaynak parametrelerin birinci basamak anomalisi gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca sismik hareketlerin ve sismik bekleme sürelerinin de bir anormallik gösterdiği tespit edilmiştir.

Nastos ve diğ. (2017), Benford Yasası'nın deprem büyüklüklerinin dağılımına uygulanabilirliği araştırılmışlardır. Araştırmacılar, 1900-2015 yılları arasında dünya genelinde meydana gelen depremlerin büyüklük verilerini toplamış ve Benford Yasası'nın uygulanabilirliğini test etmişlerdir. Çalışmada, deprem büyüklüklerinin birinci basamak rakamlarının Benford Yasası tarafından öngörülen olasılık dağılımına yakın bir şekilde dağıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, deprem büyüklüklerinin dağılımını tanımlamak için kullanılan farklı dağılım fonksiyonlarının (normal dağılım, Poisson dağılımı) Benford Yasası'na uygun olup olmadığı da incelenmiştir. Sonuçlar, bazı dağılım fonksiyonlarının Benford Yasası'na daha uygun olduğunu göstermiştir. Bu çalışmanın sonuçları, Benford Yasası'nın doğal felaketler gibi farklı alanlarda kullanılabilmesi ve doğal verilerin incelenmesinde faydalı bir araç olabileceğini göstermektedir.

Zeng ve diğ. (2019) yaptıkları çalışmada, Benford Yasası'nın deprem büyüklük verilerinde uygulanabilirliğini incelemişlerdir. Çalışmada, 2008 Wenchuan Depremi'nin deprem büyüklük verileri kullanılarak Benford Yasası'nın geçerliliği test edilmiştir. Bu amaçla, deprem büyüklük verileri farklı istatistiksel testlerle analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda, Benford Yasası'nın deprem büyüklük verilerinde uygulanabilir olduğu ve bu verilerin Benford Yasası'na uyduğu bulunmuştur. Ayrıca Benford Yasası'nın, deprem büyüklük verilerindeki anomali ve hataları tespit etmede etkili bir yöntem olduğu da belirtilmiştir.

Deprem verilerinin rakamsal analizine odaklanan sınırlı sayıda çalışmada büyüklük, derinlik, tekrarlanma süresi, fay üzerindeki kayma, yüzey deformasyonu, tsunami yükseklikleri ve artçı şok serisinin bırakma ve bekleme süreleri ile konunun incelendiği görülmüştür. Doğrudan deprem büyüklüğü verilerinin Benford Yasası'na uygun olup olmadığının araştırıldığı geniş bir literatürün olmadığı, bununla birlikte mevcut çalışmaların çoğunda dünya genelinde yaşanan büyük depremlere odaklanıldığı görülmüştür. Bu çalışmada ise son yüzyılda karada yaşanan en büyük depremlerden 6 Şubat 2023 tarihindeki Kahramanmaraş depremleri incelenmektedir. Çalışmanın bu yönüyle literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. VERİ SETİ VE YÖNTEM

Deprem büyüklüklerinin Benford Yasası'na uygun olup olmadığının tespit edilmesi için öncelikle uygun inceleme dönemi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu noktada öncelikle incelenen 6 Şubat 2023 döneminin öncesindeki, 1999 yılına kadar olan ve depremin sonrasındaki iki aylık veri analize dahil edilerek farklı dönem aralıkları incelenmiştir. Benzer çalışmalar olan Sambridge ve diğ. (2010) ve Diaz ve diğ.(2015) çalışmalarında da ifade edildiği üzere, küçük magnitudlü depremlerin gerçekleştiği zaman aralıklarında Benford Yasası'na uyumun azaldığı; buna karşın daha büyük magnitudlü depremlerin yaşandığı zaman aralıklarında Benford Yasası'na uyumun arttığı görülmüştür. Bu bağlamda yapılan gözlem ve incelemeler sonucunda 6 Şubat 2023 depremlerinin hemen öncesi ve sonrasını kapsayan 01.01.2023–27.02.2023 dönemi araştırma dönemi olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla 01.01.2023–27.02.2023 dönemine ait deprem büyüklük verileri çalışmanın veri setini oluşturmaktadır. Veriler AFAD (2023) kataloğu kullanılarak elde edilmiştir. Analizde toplam gözlem sayısı 14.565'dir. Ayrıca, Benford Yasası ile karşılaştırma yapılabilmesi için sayıların yeniden üretilmesi gerekmektedir. Benford Yasası'na uyan bir sayı grubunda tüm sayılar sıfırdan farklı sabit bir sayı ile çarpıldığında, ortaya çıkan veri setinin Benford Yasası'nı izlemeye devam edeceği bilinmektedir (Pinkham 1961). Literatürde, deprem büyüklük kataloğundaki ilk hanelerin karesi alınarak genelleştirilme yapılabileceği de ifade edilmektedir (Pietronero 2001). Bu bağlamda, veri setindeki deprem büyüklüklerinin dağılımında 8 ve 9 büyüklüğünde depremler olmadığından deprem büyüklük verilerinin karesi alınarak normalizasyon işlemi yapılmıştır.

Benford Yasası ile ilgili rakamsal analiz konusunun temelini oluşturan öncü çalışmalar Simon Newcomb (1881) ve Frank Benford (1938) tarafından yapılmıştır. Newcomb (1881) çalışmasında, rakamların kullanılma olasılıklarını inceleyerek çeşitli gözlemler yapmış ve elde ettiği sonuçları açıklamıştır. Newcomb, çeşitli hesaplamalarda kullanılan logaritma cetvellerinin son sayfalara göre başlangıç sayfalarının daha çok kirlili ve yıpranmış olduğunu fark etmiştir. Logaritma cetvelinde, "1" ile başlayan sayıların "2" ile başlayan sayılardan, "2" ile başlayan sayıların "3" ile başlayan sayılardan daha fazla kullanıldığını göstermiştir. Benzer şekilde küçük rakamların kendinden büyük rakamlara oranla daha sık kullanıldığını açıklamıştır. Newcomb'un çalışmasının konunun matematiksel olarak alt yapısının oluşturduğu söylenebilir. 1938 yılına gelindiğinde fizikçi Frank Benford da Newcomb'a benzer şekilde diğerlerinden daha fazla yıpranmış logaritma tablolarının yer aldığı sayfaları incelemiştir. Bununla birlikte Benford (1938) çalışmasında, farklı veri tabanlarından seçilen 20.229 örneğin frekans dağılımı incelenerek veri tabanlarının ortalamaları hesaplanmıştır. Rakamların basamaklarda olma ihtimallerinin farklı olduğunu ifade eden teori Benford Yasası olarak literatüre girmiştir. Benford Yasası'nda sayıların ilk basamağında rakamların olabilme olasılıkları (1) no'lu denklem ile hesaplanmaktadır (Benford 1938);

Sayıların ilk rakamı için;

$$\text{Olasılık } (d_1) = \log \left(1 + \frac{1}{d_1} \right); d_1 = (1,2,3 \dots 9) \quad (1)$$

Rakamların sayı basamaklarında olma olasılıklarını gösteren örnekler (2)-(10) no'lu bağıntılarda verilmiştir;

Bir sayının ilk basamağının;

$$1 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{1} \right) = 0,30103 \quad (2)$$

$$2 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{2} \right) = 0,17609 \quad (3)$$

$$3 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{3} \right) = 0,12493 \quad (4)$$

$$4 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{4} \right) = 0,09691 \quad (5)$$

$$5 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{5} \right) = 0,07989 \quad (6)$$

$$6 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{6} \right) = 0,06695 \quad (7)$$

$$7 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{7} \right) = 0,05799 \quad (8)$$

$$8 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{8} \right) = 0,05115 \quad (9)$$

$$9 \text{ olabilme olasılığı için; } \log \left(1 + \frac{1}{9} \right) = 0,04576 \quad (10)$$

Sayıların ikinci rakamı için denklem (11):

$$\text{Olasılık } (d_2) = \log (1 + (d_1 d_2)) - \log ((d_1 d_2)); d_2 = (1,2,3 \dots 9) \quad (11)$$

Benford Yasası ile yalnız sayıların ilk basamağındaki dağılım olasılıkları değil, sayıda bulunan bütün basamaklar analiz edilebilmektedir. Yasaya göre, sayı basamaklarında soldan sağa doğru ilerledikçe rakamların dağılım olasılıkları birbirine yaklaşmaktadır.

Doğal olarak oluşan deprem büyüklüklerinin, Benford Yasası referans dağılımına uygunluk gösterip göstermediğinin araştırılmasında aşağıdaki hipotezler oluşturulmuştur.

H0: Gözlenen değerler Benford Yasası referans dağılımı ile aynıdır.

H1: Gözlenen değerler Benford Yasası referans dağılımı ile aynı değildir.

H0 hipotezinin kabul edilmesi; deprem oluşumlarında açıklanan verilerin doğal süreçler sonucu ortaya çıktığını ve deprem büyüklüklerinin doğru tespit edildiğini gösterecektir. H1 hipotezinin kabul edilmesi ise, depremlerin tesadüfi olarak ortaya çıkmadığı veya rakamların doğru tespit edilemediği anlamına gelecektir.

4. BULGULAR

Çalışma kapsamında, Türkiye’de 01.01.2023–27.02.2023 tarihleri arasındaki deprem büyüklüklerine ait rakamsal dağılımların Benford Yasası’na uygun olup olmadığı incelenmiştir. Analizde kullanılan deprem büyüklüklerine ait gözlenen verilerin dağılım oranları ile Benford Yasası referans dağılımı arasındaki durum Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1: Deprem Büyüklüklerine ait Gözlenen Değerler ve Benford Olasılıkları
Figure 1: Observed Values of Earthquake Magnitudes and Benford Probabilities

Şekil 1 incelendiğinde, deprem büyüklüklerine ait gözlenen değerlerden 5,6,7 ve 9 rakamlarının Benford Yasası rakamsal olasılıklarına yakından uyum gösterdiği; 1,2,3 ve 8 rakamlarında ise çok yakın bir uyumun olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte 9 rakamının olması gereken değeri çok yakından izlediği 1,2,3 ve 8 rakamlarının olması gereken değerlerin biraz altında; 4,5,6 ve 7 rakamlarının ise olması gereken değerlerin biraz üzerinde olduğu görülmektedir. Gözlenen ve beklenen değerlerin uyumunun ölçülmesi amacıyla rakamsal bazda sapmalar hesaplanmıştır. 01.01.2023–27.02.2023 dönemi boyunca deprem büyüklüklerine ait gözlenen verilerin Benford Yasası referans dağılımına uyumunu gösteren test sonuçları Tablo 1’de yer almaktadır.

Tablo 1: Deprem Büyüklüklerinin Benford Yasasına Uyumu
 Table 1: Conformity of Earthquake Magnitudes to Benford's Law

Birinci Basamak	Gözlenen Değerler	Sıklık Oranı	Beklenen Değerler	Benford Olasılıkları	Oransal Fark
1	3962	0.272	4384	0.301	0.029
2	2287	0.157	2563	0.176	0.019
3	1510	0.104	1821	0.125	0.021
4	2322	0.159	1413	0.097	0.062
5	1247	0.086	1151	0.079	0.007
6	1119	0.077	976	0.067	0.010
7	947	0.065	845	0.058	0.007
8	494	0.034	743	0.051	0.017
9	677	0.046	670	0.046	0.000
Toplam	14565	1	14565	1	0.173

Tablo 1 incelendiğinde, Benford Yasası frekans dağılımına en yakın uyumu gösteren rakamın 9 olduğu, söz konusu rakamda sapmanın yok denecek kadar az olduğu görülmektedir. Bununla birlikte 5 ve 7 rakamlarında %0.7 gibi çok düşük bir sapma ile Benford Yasası'na yakın bir uyumun olduğu görülmektedir. En uzak uyumun sağlandığı 4 rakamında ise beklenenden %6.2 bir sapma olduğu görülmektedir. Ayrıca, analizden elde edilen bulgular doğrultusunda, gözlemlenen verilerle yasanın oransal mutlak farkı 0.173'tür. Genel toplamı oluşturan bu farkın ortalamasını bulmak için söz konusu değeri 9 olan rakam sayısına bölmek gerekmektedir. Buna göre, gözlemlenen oran Benford oranından ($0.173/9=0.019$) yüzde 1.9 oranında sapma göstermektedir. Ancak 14565 veriden oluşan veri tabanındaki yaklaşık olarak yüzde iki oranındaki sapmanın düşük bir oran olduğu düşünülmektedir. Söz konusu 9 rakamdaki sapma ortalamasının düşük olması verilerin küçük sapmalarla birlikte Benford Yasası'nı takip ettiğini göstermektedir. Dolayısıyla, gerçekleştirilen analiz sonucunda, H0 hipotezi kabul edilmiştir. Bu bağlamda, deprem büyüklükleri frekansları ile Benford Yasası kuramsal olasılıkları arasındaki farkın rassal ve kabul edilebilir seviyede olduğu düşünülmektedir.

5. SONUÇLAR

Depremler, tektonik plakaların hareketinden veya volkanik aktivitelerden kaynaklanabilecek doğal olarak meydana gelen jeolojik olaylardır. Yeraltı nükleer testi veya hidrolik kırılma gibi faaliyetlerle yapay olarak bir deprem başlatmak teorik olarak mümkün olsa da bu tür olaylar yine de doğal afet olarak kabul edilmektedir. Depremlerin büyük çoğunluğu, mükemmel bir doğrulukla tahmin edilemeyen doğal olaylardır. Bununla birlikte, deprem anında hesaplanan deprem büyüklük verileri, ondalık basamağa yuvarlanan ondalık bir sayı olarak ifade edilmektedir. Bu veriler, deprem büyüklüğünün ölçülmesi, deprem sıklığının analiz edilmesi ve depremlerin olası etkilerinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca, doğru ve güvenilir deprem büyüklüğü verileri, depremlerin etkilerinin saptanması ve depremlere yönelik acil müdahale ekiplerinin harekete geçirilmesi için de hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda deprem büyüklüğü tahminindeki doğruluğun farklı yöntem ve tekniklerle incelenmesinin önemli bir konu olduğu düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında, deprem büyüklüklerinin Benford Yasası'na uygun olup olmadığının tespit edilmesi amacıyla, Türkiye'de 01.01.2023 – 27.02.2023 dönemi boyunca gerçekleşen 14.565 adet depreme ait büyüklük verisi Benford Yasası rakamsal dağılımıyla karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Analizden elde edilen sonuçlara göre, deprem büyüklük rakamlarının Benford Yasası'na uyum sağladığı ve çok küçük sapmalarla birlikte Benford Yasası'nı yakından takip ettiği belirlenmiştir. Söz konusu küçük sapmaların ise; büyüklük verilerinin tek ondalık basamağa yuvarlanarak açıklanmasından, yerin belirli derinliğinden daha ilerisinde oluşan çok küçük büyüklükteki depremlerin tespit edilememesinden veya mevcut verilerdeki çok küçük ölçüm hatalarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla, deprem oluşumlarının

doğal süreçler sonucu ortaya çıktığı ve deprem büyüklüklerinin doğru olarak tespit edildiği söylenebilir. Elde edilen bu sonuç, deprem büyüklük verilerinin Benford Yasası'na uyumunun araştırıldığı Nastos ve diğ. (2017) ve Zeng ve diğ. (2019) çalışmalarıyla paralellik gösterirken; Bouzoubaa ve diğ. (2013) çalışmasıyla ters düşmektedir. Benzer sonuca ulaşan Nastos ve diğ. (2017) çalışmasında, 1900-2015 yılları arasında dünya genelinde meydana gelen depremlerin; Zeng ve diğ. (2019) çalışmasında ise 2008 Wenchuan Depremi'nin deprem büyüklük verilerinin Benford Yasası'na uyduğu tespit edilmiştir. Farklı sonuca ulaşan Bouzoubaa ve diğ. (2013) çalışmasında ise, Fas'ta meydana gelen depremlerin büyüklük verilerinin Benford Yasası'na uymadığı, bununla birlikte bazı büyüklük verilerinin ise yanlış olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmanın kısıtları olarak; belirli bir bölgede meydana gelen depremlerin ele alınması, depremle ilgili verilerden sadece büyüklük verisinin kullanılması ve yalnızca bir yöntem ile incelemenin yapılmış olması sayılabilir. Gelecekte yapılacak çalışmalar için ise, büyüklük dışında derinlik, şiddet gibi farklı deprem verilerinin araştırmalarda kullanılması, farklı bölgelerde oluşan büyük depremlerin veya deprem dışındaki doğal afet verilerinin Benford Yasası'na uygunluğunun incelenmesi önerilmektedir. Son olarak, deprem kuşağında yer alan ülkemiz için, deprem büyüklük verilerindeki yuvarlama hatalarını minimize edebilecek teknoloji ve hesaplamaların geliştirilmesi ve yıkıcı depremler öncesindeki depremlere ait büyüklük frekans dağılımlarındaki değişimler izlenerek deprem erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

AFAD, 2023. Deprem Kataloğu, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı, Erişim adresi: <https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog>

Benford F., 1938. The law of anomalous numbers, American Philosophical Society, 78/4, 551-572.

Bouzoubaa M., El Qadi A., Razzouk A., 2013. Benford's law and its application to the detection of earthquake magnitude falsification, *Journal of Seismology*, 17(2), 367-378.

De A.S., Sen U., 2011. Benford's law detects quantum phase transitions similarly as earthquakes, *Europhysics Letters*, 95(5), 5008.

Deveci A., Kilcarslan Z., Ates A., 2013. Benford's law and its application on Turkish seismic data, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(2), 371-378.

Diaz J., Gallart J., Ruiz M., 2015. On the ability of the Benford's law to detect earthquakes and discriminate seismic signals, *Seismological Research Letters*, 86(1), 192-201, doi: 10.1785/0220140131.

Kanamori H., 2005. The nature of seismicity patterns before large earthquakes. *Proceedings of the Japan Academy, Series B*, 81(9), 271-283.

Kanamori H., 2009. Historical perspective on the 1960 Chilean earthquake. *Earthquake Spectra*, 25(1), 1-13.

Karagün V., Taşdemir E., 2019. Benford Yasası'nın Denetimde Kullanımı ve Bir Uygulama. *Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 120-137.

Morikawa N., Fujimoto M., Koketsu K., Abe K., 2012. Importance of accurate and rapid determination of earthquake magnitude for prompt tsunami warning: the 2011 Tohoku earthquake case, *Earthquake Spectra*, 28(S1), S369-S383.

Nastos P.T., Kazantzidou-Firtinidou D., Kassaras I.A., 2017. Benford's law and distribution functions of earthquake magnitude, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 465, 263-270.

National Research Council, 2003. Living on an active earth: Perspectives on earthquake science, National Academies Press.

Newcomb S., 1881. Note on the frequency of the use of digits in natural numbers, *American Journal of Mathematics*, 4, 39-40.

Pietronero L., Tosatti E., Tosatti V., Vespignani A., 2001. Explaining the uneven distribution of numbers in nature: the laws of Benford and Zipf, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 293, 297-304, Erişim adresi: [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(00\)00633-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(00)00633-6).

Pinkham R.S., 1961. On the distribution of first significant digits. *Ann Math Stat*, 32(4):1223–1230.

Richter C.F., 1935. An instrumental earthquake magnitude scale. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 25: 1-32.

Sambridge M., Tkalčić H., Jackson A., 2010. Benford's law in natural sciences, *Geophys. Res. Lettonya*, 37, DOI: 10.1029/2010GL044830.

Scholz C.H., 2002. The mechanics of earthquakes and faulting, Cambridge University Press.

Sottili G., Palladino D.M., Giaccio B., 2012. Benford's law in time series analysis of seismic clusters, *Math Geosci* 44, 619–634. Erişim adresi: <https://doi.org/10.1007/s11004-012-9398-1>

Stein S., Wysession M., 2003. An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure. Blackwell Publishing.

Toledo P., Riquelme S., Campos J., 2015. Earthquake source parameters which display first digit phenomenon, *Nonlinear Processes in Geophysics Discussions*, 2. 811-832. DOI: 10.5194/npgd-2-811-2015.

Turcotte D.L., Schubert G., 2002. Geodynamics, Cambridge University Press, 2.

Zeng Z., Yang C., Zhou Z., Chen W., 2019. The Application of Benford's law in earthquake magnitude data: A Comparative Study on the 2008 Wenchuan Earthquake in China, *Mathematical Geosciences*, 51(1), 119-134.

Zhou Y., Wu Y., 2019. Seismic magnitude estimation with convolutional neural network, *Geophysical Research Letters*, 46(2), 798-807.

ARAŞTIRMA VERİSİ (Research Data)

Çalışma kapsamında 14565 *afet (deprem) verisi kullanılmıştır*. Söz konusu veri seti 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin hemen öncesi ve sonrasını kapsayan 01.01.2023–27.02.2023 dönemine ait deprem büyüklük verilerinden oluşmaktadır. Veriler Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı'nın <https://deprem.afad.gov.tr> uzantılı internet sitesinde yer alan deprem kataloğu kullanılarak elde edilmiştir.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (*Author Contributions*)

- Çalışmanın tasarlanması (*Designing of the study*): N.A., Ö.İ.
- Literatür araştırması (*Literature research*): N.A., E.K.
- Saha çalışması, veri temini/derleme (*Fieldwork, collection/compilation of data*): N.A.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (*Processing/analysis of data*): N.A.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (*Preparation of figures/tables/software*): N.A., E.K., Ö.İ.
- Bulguların yorumlanması (*Interpretation of findings*): N.A., E.K., Ö.İ.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (*Writing, editing and checking of manuscript*): N.A., E.K., Ö.İ.