

AFYONKARAHİSAR İLİ İÇİN POISSON VE GUMBEL DAĞILIM MODELLERİ İLE DEPREM TEHLİKE ANALİZİ

Murat HİÇYILMAZ *^{ID}
Soner SEZER **^{ID}

Alınma: 26.08.2019; düzeltme: 10.12.2019; kabul: 12.12.2019

Öz: Bu çalışmada 1900-2019 yılları arasında Afyonkarahisar ve çevresinde meydana gelen depremlere ait veriler dikkate alınarak deprem tehlike analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü veri tabanından temin edilen, büyüklüğü $M_w \geq 4.0$ olan 404 adet deprem verisi kullanılmıştır. Veriler Afyonkarahisar merkezli (38.75° Kuzey Enlemi ve 30.53° Doğu Boylamı) 130 km yarıçaplı dairesel bir alanı kapsamaktadır. Deprem tehlikesinin ortaya konulması amacıyla sismoloji literatüründe kabul gören Gutenberg-Richter Büyüklük-Frekans bağıntısı kullanılmıştır. Farklı büyüklükteki depremlere ait tekrarlanma periyotları ve her büyüklük değeri için deprem tehlikesi Poisson ve Gumbel Uç Değerler dağılım modelleri ile çözümlenmiştir. Farklı kabullere dayanan iki dağılım modelinden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Afyonkarahisar, Magnitüd, Tehlike Analizi, Gutenberg-Richter

Earthquake Hazard Analysis with Poisson and Gumbel Distribution Models for Afyonkarahisar Province

Abstract: In this study, earthquake hazard analysis were carried out by considering the data of earthquakes occurred in Afyonkarahisar and its around between 1900-2019. For this purpose, 404 earthquakes data of magnitude $M_w \geq 4.0$ were used which were taken from the database of Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute. The data were obtained from a circular area with 130 km radius, which is centred in Afyonkarahisar (38.75° North Latitude and 30.53° East Longitude). In order to determine earthquake hazard, Gutenberg-Richter Magnitude-Frequency Relation that is accepted in seismology literature was used. Repetition periods of earthquakes of different magnitudes and earthquake hazard for each magnitude value were solved with Poisson and Gumbel Extreme Values distribution models. The results obtained from two distribution models based on different assumptions were compared.

Keywords: Afyonkarahisar, Magnitude, Hazard Analysis, Gutenberg-Richter

1. GİRİŞ

Deprem en yıkıcı doğal afetlerden birisidir. Depremin yıkıcı etkileri, tarih boyunca canlılara direkt ya da dolaylı olarak zarar vermiştir. Günümüz teknolojisiyle bir depremin nerede, ne zaman, hangi büyüklükte ve hangi derinlikte olacağı henüz ortaya konulamamıştır. Bununla beraber araştırmacılar birtakım istatistiksel yöntemlere başvurarak, incelenen bölgenin tarihsel sismik aktivitelerini göz önünde bulundurmak suretiyle depremlerin oluşma olasılıkları ve dönüş periyotları hakkında tahminlerde bulunmaktadır. Bu tahminlerde kullanılan başlıca

* Afyon Kocatepe Üniversitesi Müh. Fak. İnş. Müh. Böl., A.N.S. Kampüsü 03200, Merkez /AFYONKARAHİSAR

** Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, A.N.S. Kampüsü 03200, Merkez /AFYONKARAHİSAR
İletişim Yazarı: Murat Hiçyılmaz (murathicyilmaz@aku.edu.tr)

parametreler depremin koordinatı, gerçekleşme zamanı, büyüklüğü ve odak derinliğidir (Gutenberg ve Richter, 1954).

Depremler için büyüklük-frekans ilişkisini belirlemekte en geniş ölçekte kullanılan formül Gutenberg-Richter formülüdür (Gutenberg ve Richter, 1944). Bu formülde yer alan parametrelerden yararlanılarak, Poisson, Gumbel vb. istatistiksel dağılım modelleri ile depremlerin oluşma olasılıkları ve dönüş periyotları tahmin edilebilmektedir. Mori ve Abercrombie (1997) tarafından yapılan bir çalışma neticesinde Gutenberg-Richter formülünde yer alan b değerleri arasındaki farkların tektonik bölgeler ile ilişkili olduğunu belirtilmiştir. Yapılan büyük ölçekli bir çalışmada b değerleri arasında çok küçük değişimlerin olduğu görülmüştür (Frohlich ve Davis, 1993). b parametresinin sismotektonik bölge ve jeolojik yaşla ilişkili olduğu Miyamura (1962) tarafından yapılan çalışmada belirtilmiştir. Gerilme artışının b değerinde düşüşe yol açacağı Scholz (1968) tarafından ileri sürülmüştür. Yurdumuzun farklı lokasyonları için birçok deprem tehlike analizi ortaya konmuştur. Yüksel (1986) tarafından Güneybatı Türkiye'nin deprem etkinliği ve deprem tehlike analizi üzerine bir çalışma yapılmıştır. 1900-1985 yılları arasında ilgili bölge için kaydedilen ve $M \geq 4$ büyüklüğündeki depremler kullanarak yapılan çalışma sonucunda 80 yıl içerisinde büyüklüğü $M=7$ olan bir depremin meydana gelme olasılığı %94.7, dönüş periyodu ise 25 yıl olarak bulunmuştur. Erguvanlı ve Özaydın (1978) tarafından Kuzey Anadolu Fay Hattının depremselliğini incelenmiştir. Önemli bir endüstriyel tesis sahasının deprem tehlikesinin değerlendirildiği çalışma sonucunda, Gutenberg-Richter formülü ile Gumbel dağılımında tanımlanan parametrelerin ilişkili olduğu ortaya konulmuştur. Kalyoncuoğlu ve diğ. (2006) tarafından yapılan çalışmada Güneybatı Türkiye'nin sismik tehlikesi ele alınmış, 1964-2002 yılları arasında ilgili bölgede meydana gelen $M \geq 4$ büyüklüğündeki 722 adet deprem verisi kullanılmıştır. Gutenberg-Richter büyüklük-frekans bağıntısındaki b parametresi en küçük kareler ve yeni bir alternatif yöntemle hesaplanarak karşılaştırılmış, elde edilen tehlike ve dönüş periyotları birbiri ile tamamen uyumlu olarak bulunmuştur. Antakya ve yakın çevresi için stokastik yöntemlerle yapılan deprem tehlike analizinde üç adet yer hareketi azalım ilişkisinden elde edilen sismik tehlike değerleri karşılaştırılmıştır (Topkara ve diğ., 2013). Doğu Anadolu Bölgesi ve civarının Poisson dağılımı kullanılarak yapılan deprem tehlike analizinde ise gelecek 100 yıl içerisinde $M_s=7.5$ büyüklüğünde bir depremin meydana gelme olasılığı %45, dönüş periyodu ise 167 yıl olarak hesaplanmıştır (Türker ve Bayrak, 2013). Çankırı İli için yapılan deprem olasılık tahmininde, Gutenberg Richter büyüklük sıklık bağıntısından itibaren Poisson yöntemi kullanılarak farklı büyüklüklerdeki depremlerin oluşma olasılıkları ve dönüş periyotları hesaplanmıştır. 100 yıllık dönemde, büyüklüğü (xM) 6.0, 6.5 ve 7.0 olan depremlerin ortaya çıkma olasılığı sırası ile %78, %45 ve %26 olarak hesaplanmıştır (Köle 2016). Akol ve Bekler (2013) tarafından yapılan çalışmada Gelibolu ve Biga Yarımadaı çevresindeki bölgede 1912 ve 2007 yılları arasında gerçekleşen $M \geq 3$ büyüklüğündeki 5130 adet deprem verisi kullanılarak yapılan analizler neticesinde Marmara Denizi'nin batı kesiminde büyük bir deprem riski olduğu, 100 yıllık bir süre içinde $M=7.3$ olan deprem oluşumunun Poisson dağılımına göre %46 olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada 1900-2019 yılları arasında (119 yıllık süre içinde) Afyonkarahisar il merkezi (38.75° Kuzey Enlemi ve 30.53° Doğu Boylamı) odaklı 130 km'lik dairesel bir alan içerisinde meydana gelen deprem verileri dikkate alınarak deprem tehlike analizleri gerçekleştirilmiştir. 130 km'lik bir yarıçap seçilmesinin temel nedeni Afyonkarahisar ili etrafında uzanan temel fay sistemlerini içine almasıdır. Bu faylar tarihte önemli depremlerin oluşumuna sebebiyet vermişlerdir. İlgili deprem kataloğu incelendiğinde, çalışma alanının sınırına yakın alan dışı bölgelerde Afyonkarahisar ilini etkileyecek büyüklükte bir depreme rastlanmamıştır. Literatür çalışmaları incelendiğinde genel olarak $M \geq 4.0$ büyüklüğündeki deprem verilerinin dikkate alındığı görülmüştür. $M < 4.0$ büyüklüğündeki depremlerin yıkıcılık etkileri düşük olduğundan, çalışmada büyüklüğü $M_w \geq 4.0$ olan 404 adet deprem verisi kullanılmıştır. Deprem verileri Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü veri tabanından

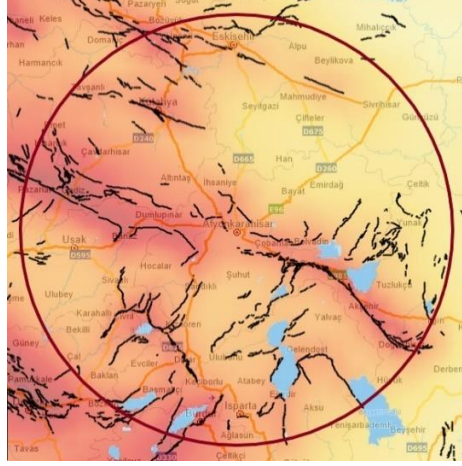
temin edilmiştir (http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/veri_bank/mainw.html). Deprem tehlikesinin ortaya konulması amacıyla sismoloji literatüründe kabul gören Gutenberg-Richter Büyüklük-Frekans bağıntısı kullanılmıştır. Farklı büyüklükteki depremlere ait tekrarlanma periyotları Poisson ve Gumbel Uç Değerler dağılım modelleri ile çözümlenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma il merkezi odaklı 130 km bir alanı kapsamaktadır. Bu sebeple sonuçlar değerlendirilirken gerçekleşme ihtimali olan depremlerin il merkezinde yaratacağı tahribatın depremin odak noktasındaki ile aynı olmayacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışma, Afyonkarahisar ili için geçmişteki deprem büyüklüklerini referans alarak, deprem büyüklüklerinin zamana bağlı olarak oluşma ihtimallerinin ve bu büyüklüklerin tekerrür periyotlarının istatistiksel modeller ile belirlenmesini kapsamaktadır. Afyonkarahisar ili için daha önceden yapılmış bir deprem tehlike analizi bulunmadığından, bu çalışma ilin güncel deprem tehlikesi potansiyelinin ortaya konması bakımından önem taşımaktadır. Çalışmada iki farklı istatistiksel model kullanılması, modellerin çalışma bölgesi için verdiği sonuçların karşılaştırılması, modellerin ilgili bölge için işlevselliklerinin karşılaştırılması çalışmanın bilime olan katkısını arttırmıştır.

2. AFYONKARAHİSAR VE ÇEVRESİNDE TEKTONİK YAPI

Afyonkarahisar ve çevresini içine alan bölgede Toros ve iç Toros tektonik kuşakları yer almaktadır. Bölgede birbirinden tektonik dokanakla ayrılmış iki temel kaya topluluğu mevcuttur. Bunlardan birisi Toros Kuşağına ait Toros Paleozoyik ve Mesozoyikbirimleri diğeri ise iç Toros Kuşağında yer alan ve Afyonkarahisar'ın kuzeydoğu, kuzey, kuzeybatı ve batısında Neojen örtüsü altında geniş alanlar kaplayan Afyon metamorfikleridir (Kibici ve diğ., 2001; Tolluoğlu ve diğ., 1997).

Afyonkarahisar ili ve yakın çevresi, AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından hazırlanan ve 01.01.2019 tarihinde yürürlüğe giren “Türkiye Deprem Tehlike Haritasında” (<https://www.turkiye.gov.tr/afad-turkiye-deprem-tehlike-haritalari>) orta derece yer ivmesi bölgesinde yer almaktadır. Makalenin çalışma konusunu oluşturan alan Akşehir-Simav fay sistemi (ASFS) içerisinde yer almakta olup, bu sistem ilk olarak Koçyiğit (1984) tarafından adlandırılmıştır. Güneydoğuda Karaman ile kuzeybatıda Balıkesir'in Sındırgı ilçeleri arasında uzanan ve BKB-DKD gidişli olan bu fay sistemi, sık aralıklı, birbirine paralel-yarı paralel uzanımlı ve çoğunlukla verrev atımlı çok sayıda normal faydan oluşan 420 km'lik bir uzunluğa sahiptir (Koçyiğit ve diğ. 2000; Atalay, 1975, Koçyiğit 1984; Koçyiğit ve Deveci 2007). ASFS'nin güneydoğu yarısı, İç Anadolu ile Isparta açısı arasındaki coğrafik sınırı oluştururken fay sisteminin kuzeybatı yarısı Batı Anadolu içinde uzanır ve en kuzeybatıda Akhisar Fay Zonu ile birleşerek sona erer. ASFS bir seri graben-horst ve onların kenarını sınırlayan verrev atımlı normal faylarla karakterize edilir. Birincil grabenler ASFS'nin genel gidişine paralel olup, güneydoğudan kuzeybatıya doğru Konya, Akşehir-Afyonkarahisar, Sinanpaşa (Sincanlı), Altıntaş, Ağaçköy, Gediz, Simav ve Sındırgı grabenleridir. İkincil grabenler ise ASFS'nin genel gidişine dik (yaklaşık KD-GB) olarak oluşan Karamık, Şuhut, Sivaslı-Banaz, Gölcük-Yeniköy, Emet, Kocaçay ve Bigadiç grabenleridir (Koçyiğit ve Deveci, 2007).

İnceleme alanındaki bir diğer önemli fay olan BKB-DGD gidişli İnönü-Eskişehir fay zonu ise batıda İnegöl'den doğuda Tuz Gölü'ne kadar uzanır (Koçyiğit, 2000; Bozkurt, 2001). Eskişehir fay zonu, doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay (KAF) zonu ile genelde normal faylarla temsil edilen Batı Anadolu açılma bölgesi arasındaki sınırı belirler (Barka ve diğ., 1995; Altunel ve Barka, 1998). Eskişehir fay zonunun sağ yönlü doğrultu atımlı ve normal bileşenli fay zonudur (Şengör ve diğ., 1985; Barka ve diğ., 1995; Altunel ve Barka 1998).



Şekil 1:

İnceleme alanı ve alan içerisinde kalan diri faylar (<https://www.turkiye.gov.tr/afad-turkiye-deprem-tehlike-haritalari>)

ASFS'yi karakterize eden KB-gidişli birincil yapılarla, KD-gidişli ikincil yapıların kesişme yerleri, genelde sismik boşluklardır. Bu nedenle ASFS bölgesel ölçekte aktif bir sismojenik kuşaktır. Tarihsel ve aletsel dönemlerde oluşan depremler de bu durumu doğrulamaktadır. Bölge genelinde tarihsel ve aletsel dönemlerde birçok hasar yapıcı deprem meydana gelmiştir (Tablo 1). Tarihsel dönemde aletsel verilerin olmaması nedeniyle deprem yeri ve büyüklüğünün belirlenmesinde, devlet arşivleri ve zamanın yerel gazeteleri, hasar durumları göz önünde tutularak depremin yeri ve şiddeti belirlenmekte ve buradan büyüklüğe dönüşüm yapılmaktadır. Bu nedenlerle tarihsel depremlerin yerleri ve büyüklükleri, günümüzde de tartışmalı konulardan biri olmaya devam etmektedir (Özmen, 2002).

Tablo 1. Tarihsel dönem deprem kayıtları (<https://deprem.afad.gov.tr/tarihseldepremler>)

Tarih	Yer	Enlem	Boylam	Şiddet
M.Ö 88	Dinar-Afyonkarahisar	-	-	-
M.S 94	Afyonkarahisar	39.00	31.00	VIII
M.S 1766	Şuhut-Afyonkarahisar	39.00	31.00	VII
M.S 1795	Afyonkarahisar			VIII
M.S 1862	Şuhut-Afyonkarahisar	39.00	31.00	VIII
M.S 1873	Afyonkarahisar	39.00	31.00	VI
M.S 1875	Dinar, Çivril, Denizli, Uşak	38.00	30.00	IX
M.S 1876	Afyonkarahisar	39.00	31.00	IX

3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada Afyonkarahisar ili için deprem tehlike analizleri yapılmıştır. İstatistiksel dağılım modellerinin oluşturulması için, belirlenen çalışma bölgesine ait deprem verileri dikkate alınmıştır. İlgili veriler üzerinde istatistiksel dağılım modelinin gerektirdiği sadeleştirmeler yapılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

3.1. Deprem Verileri ve Özellikleri

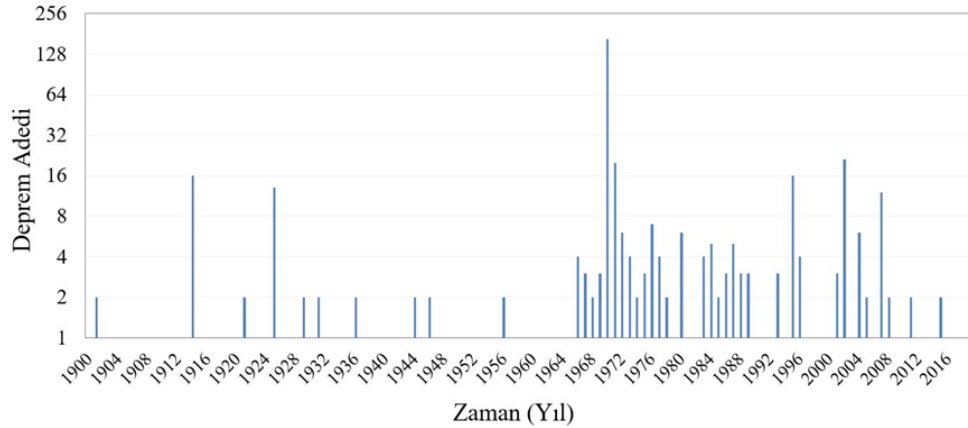
Bu çalışmada 1900-2019 yılları arasında Afyonkarahisar merkezli 130 km yarıçaplı dairesel bir alan içinde meydana gelen ve büyüklüğü $M_w \geq 4.0$ olan deprem kayıtları kullanılmıştır.

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü veri tabanından temin edilen deprem verileri, M_L (Richter yerel büyüklüğü), M_b (Cisim dalgası büyüklüğü), M_s (Yüzey dalgası büyüklüğü), M_d (Süreye bağlı büyüklük) ve M_w (Moment büyüklüğü) ölçeğindedir. Farklı magnitüd ölçekleri arasındaki ilişkileri tespit edebilmek ve tüm magnitüd verilerini, çalışmaya esas teşkil edecek M_w moment büyüklüğü ölçeği cinsinden yazabilmek için, yaygın olarak kullanılan standart en küçük kareler regresyonu kullanılmıştır. M_L , M_s , M_b , M_d ile M_w büyüklükleri arasında, standart en küçük kareler regresyonu ile belirlenen ilişkiler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. M_L , M_s , M_b , M_d ile M_w büyüklükleri arasındaki ilişkiler

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişken	İlişki	İlişki Katsayısı
M_w	M_L	$M_w = 0.8970 M_L + 0.4737$	$R^2 = 0.9224$
	M_d	$M_w = 0.8538 M_d + 0.4892$	$R^2 = 0.9252$
	M_s	$M_w = 0.8542 M_s + 0.4969$	$R^2 = 0.9036$
	M_b	$M_w = 0.7108 M_b + 1.376$	$R^2 = 0.9236$

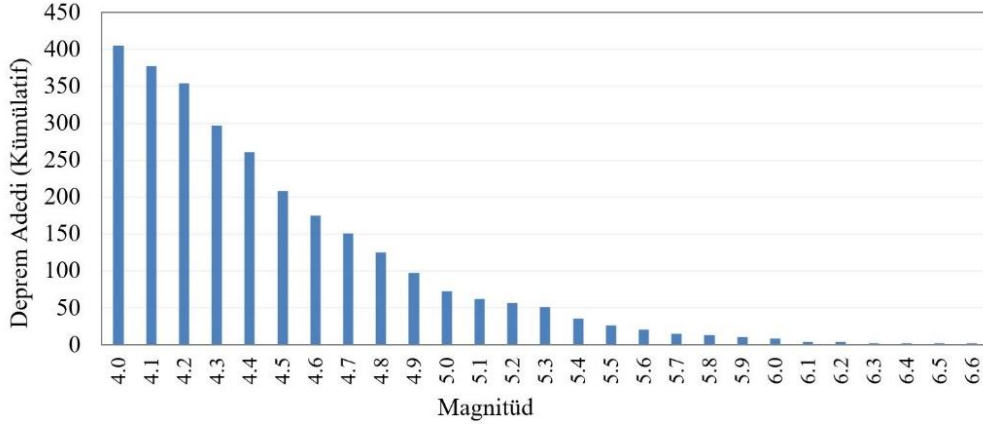
Yukarıdaki ilişkiler yardımıyla tüm büyüklük ölçekleri M_w moment büyüklüğü ölçeğine çevrildiğinde $M_w \geq 4.0$ olan 404 adet deprem kaydı bulunmaktadır. Bu depremlerin yıllara göre dağılımı Şekil 2’de verilmiştir



Şekil 2:

Büyüklüğü $M_w \geq 4$ olan depremler için Deprem adedi-Zaman dağılımı

Şekil 2’den görüleceği üzere deprem adedinin en fazla olduğu yıl 1970’dir. Bunun sebebi 28 Mart 1970’de meydana gelen $M_w=6.2$ büyüklüğündeki Gediz Depremi’dir. Bununla beraber 1914 Halıcılar-Burdur ($M_w=6.6$) ve Körkuyu-Afyonkarahisar ($M_w=5.4$), 1925 Bozdağ-Çivril ($M_w=5.9$) ve Körkuyu-Afyonkarahisar ($M_w=5.3$), 1971 Tokul-Kütahya ($M_w=6.0$), 1995 Dinar-Afyonkarahisar ($M_w=5.6$), 2002 Sultandağı-Afyonkarahisar ($M_w=6.0$), 2007 Esinyurt-Isparta ($M_w=4.9$) gibi görece büyük depremlerin öncü ve artçı sarsıntıları sebebiyle ilgili yıllardaki deprem sayılarında da ortalamaya göre belirgin bir artış gözlenmektedir. Şekil 3’te ise Afyonkarahisar ve çevresinde 1900-2019 yılları arasında meydana gelen büyüklüğü $M_w \geq 4$ olan depremler için Deprem adedi (Kümülatif)-Büyüklük grafiği verilmiştir. İncelenen zaman periyodu için $M_w=4$ ve $M_w=6$ büyüklüğü arasındaki depremlerin istatistiksel analizler için belirleyici olduğu görülmektedir. Bununla beraber büyüklüğü $M_w \geq 6$ olan deprem adedi sadece 7’dir.



Şekil 3:

Büyüklüğü $M_w \geq 4$ olan depremler için Deprem adedi (Kümülatif)-Büyüklik grafiği

3.2. Gutenberg-Richter Büyüklük-Frekans bağıntısı

Depremlerin oluş frekanslarını, büyüklüğün bir fonksiyonu olarak belirlemekte kullanılan temel bağıntı Gutenberg-Richter (1944) bağıntısıdır (Denklem 1).

$$\log N_{(M)} = a - bM \quad (1)$$

Burada; $N_{(M)}$, M büyüklüğüne eşit ya da daha büyük deprem adedi, M Richter büyüklüğü, \log ise 10 tabanına göre logaritmayı göstermektedir. a ve b regresyon katsayılarıdır. a katsayısı incelenen bölgenin alanına, gözlem süresine ve bu alanın deprem üretkenliğine bağlı olarak değişen bir katsayıdır. b katsayısı ise bölgenin tektonik özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir. b katsayısı Gutenberg ve Richter (1954) tarafından sığ depremler için 0.90 ± 0.02 , orta ve derin odaklı depremler için ise 1.2 ± 0.2 olarak verilmiştir. Gutenberg-Richter bağıntısının integrale edilmesi ile belirli bir değerden büyük deprem büyüklüğü değerleri için kümülatif frekans dağılımı elde edilebilir. $N_{c(M)}$ kümülatif frekans dağılımı olmak üzere;

$$\log N_{c(M)} = a' - bM \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Normal frekans ve yığınsal frekans arasında integral bağıntısı kurulur ise;

$$N_{(M)} = 10^{a-bM} \quad (3)$$

$$\int_M^\infty N_{(M)} = 10^{a-bM} dM$$

$$N_{c(M)} = \frac{10^{a-bM}}{b \ln 10} \quad (4)$$

Denklem (4) elde edilir. Her iki tarafının 10 tabanına göre logaritması alınır.

$$\log N_{c(M)} = a' - bM = a - bM - \log b \ln 10$$

$$a' = a - \log b \ln 10 \quad (5)$$

Denklem (5)'de bahsi geçen a ve a' parametreleri incelenen periyot aralığına bağlıdır fakat b sismoteknik bir parametre olup zamandan bağımsızdır. a ve a' parametrelerin yıllık ortalama karşılıkları olan a_1 ve a'_1 parametreleri bulunmak istenirse Denklem (3) incelenen zaman aralığına bölünür ve eşitliğin her iki tarafının 10 tabanına göre logaritması alınır.

$$\frac{N_{(M)}}{T} = \frac{10^{a-bM}}{T} \quad (6)$$

$$\log \left[\frac{N_{(M)}}{T} \right] = a - bM - \log T$$

$$n_{(M \geq M_1)} = 10^{a-bM-\log T} \quad (7)$$

ifadesi bulunmuş olur. Denklem (7)'de;

$$a_1 = a - \log T \quad \text{ya da} \quad a'_1 = a' - \log T$$

yazılır ise;

$$n_{(M)} = 10^{a'_1 - bM} \quad (8)$$

Denklem (8) elde edilmiş olur. Burada $n_{(M)}$ yıllık ortalama deprem oluşma adedidir.

3.3. Olasılıksal Deprem Tehlikesinin Belirlenmesi

3.3.1. Poisson Dağılım Modeli

Depremlerin oluşumu rastgele bir süreç olarak ele alınır ise, bir bölgede geçmişte olan depremlere dayanarak gelecekte oluşması muhtemel depremler hakkında tahminler yapmak mümkün olur. Tehlikenin belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemlerden biri Poisson dağılım modelidir. Bu dağılım modeli ilk defa S.D. Poisson (1838) tarafından ortaya atılmıştır. Belirlenen periyot içinde meydana gelen depremlerin birbirinden bağımsız oldukları kabulü ile deprem oluşumu bir Poisson dağılımı olarak görülebilir. Buna göre deprem oluşma olasılığı Denklem (9) ile ifade edilebilir.

$$F_{(N,t)} = \sum_{k=0}^N \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^k}{k!} \quad (9)$$

Denklem (9)'da; $F_{(N,t)}$: t sürede k adet deprem oluşma olasılığı ($M \geq M_1$), k: Deprem adedi, λ : Birim zamanda (Bir yıl için) oluşan deprem sayısıdır. Poisson dağılımında deprem oluşumları arasındaki zamanlar negatif üstel dağılımı gösterirler (Denklem (10)).

$$P_{(t)} = -\lambda e^{-\lambda t} dt \quad (10)$$

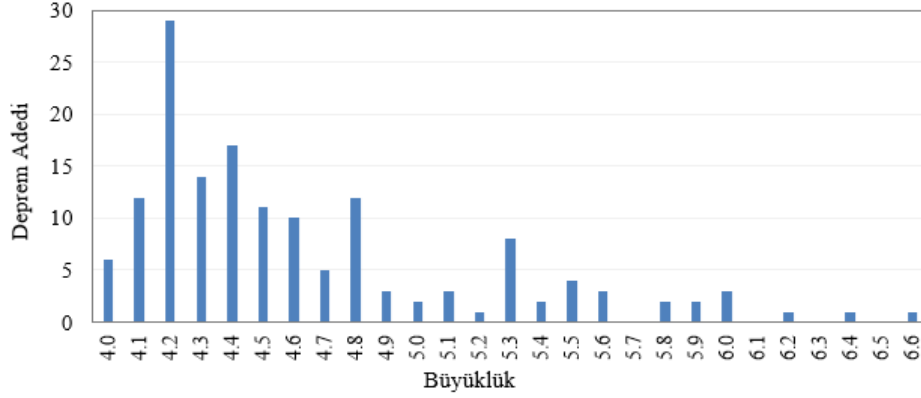
Denklem (10)'da $P_{(t)}$, iki deprem arasındaki verilen bir zaman aralığının (t, t+dt) zaman aralığı içerisine düşme olasılığıdır. Birim zaman diliminde M_1 'e eşit ve daha büyük depremlerin oluşma tehlikesi $n_{(M)}$, yıllık ortalama deprem oluşma adedi de dikkate alınarak Denklem (11) yardımcıyla hesaplanır.

$$R_t = 1 - e^{-n_{(M)}t} \quad (11)$$

Bu depremlerin dönüş periyodu ise Denklem (12)'de verilmiştir.

$$T_r = 1/n_{(M)} \quad (12)$$

Poisson dağılım modeli depremlerin oluşma olasılıklarının zamana ve mekâna bağlı olarak birbirinden bağımsız bir şekilde ortaya çıktığı varsayımına dayanır (Yüccemen, 1982). Bu sebeple bu modelin gerektirdiği bağımsızlık koşulunu sağlamak için deprem kataloğunda yer alan öncü ve artçı depremler (ikincil) ayıklanmıştır.



Şekil 4:
Deprem adedi -Büyüklik grafiği

İkincil depremlerin ayırt edilmesinde kullanılan uzaklık ve zaman pencerelerinin boyutları Deniz (2006) tarafından yapılan çalışmadan elde edilmiştir. İlgili uzaklık ve zaman pencereleri Tablo 3'te verilmiştir. İkincil depremlerin çıkarılmasıyla geriye kalan deprem adedi 152'dir. Bu depremlere ait Deprem adedi (kümülatif) -Büyüklik grafiği Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 3. İkincil depremlerin ayırt edilme kriterleri (Deniz, 2006)

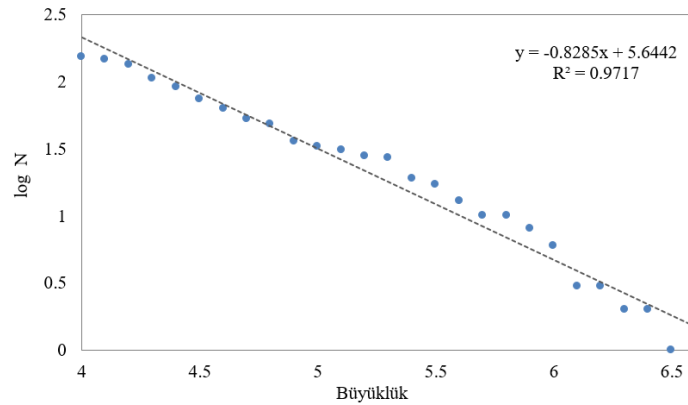
Büyüklik (M)	Uzaklık (km)	Zaman (Gün)
4.5	35.5	42
5.0	44.5	83
5.5	52.5	155
6.0	63.0	290
6.5	79.4	510
7.0	100.0	790
7.5	125.9	1326
8.0	151.4	1471

Tablo 4'te ikincil deprem verilerinden ayıklanmış olan 152 deprem verisi, 0.1 Büyüklük aralığında sınıflandırılmıştır. Burada N deprem adedini, N_k Kümülatif deprem adedini ifade etmektedir. Bununla beraber kümülatif deprem adedi ve log(N_k) değerleri de 4 ≤ Mw ≤ 7 aralığında aynı tabloda sunulmuştur. Tablo 4'ten alınan veriler Şekil 5'teki dağılımı meydana getirmiştir.

Tablo 4. Ayıklanmış deprem verilerinin sınıflandırılması

M_w	N	N_k	$\text{Log } N_k$	M_w	N	N_k	$\text{Log } N_k$
4	6	152	2.1818	5.4	2	19	1.2788
4.1	12	146	2.1644	5.5	4	17	1.2304
4.2	29	134	2.1271	5.6	3	13	1.1139
4.3	14	105	2.0212	5.7	0	10	1.0000
4.4	17	91	1.9590	5.8	2	10	1.0000
4.5	11	74	1.8692	5.9	2	8	0.9031
4.6	10	63	1.7993	6	3	6	0.7782
4.7	5	53	1.7243	6.1	0	3	0.4771
4.8	12	48	1.6812	6.2	1	3	0.4771
4.9	3	36	1.5563	6.3	0	2	0.3010
5	2	33	1.5185	6.4	1	2	0.3010
5.1	3	31	1.4914	6.5	0	1	0
5.2	1	28	1.4472	6.6	1	1	0
5.3	8	27	1.4314				

Deprem frekansı ve büyüklüğü arasındaki doğrusal ilişki basit regresyon analizi ile incelenmiştir. Doğrusal fonksiyonun bulunmasında SPSS (Statistical Package for Social Sciences) versiyon 20 paket programından yararlanılmıştır. Hesaplamalar sonucu regresyon katsayıları a ve b sırasıyla 5.6442 ve 0.8285 olarak bulunmuştur.



Şekil 5:
Deprem frekansı-Büyüklik grafiği

Afyonkarahisar ve çevresinde 119 yıllık bir gözlem aralığına dayanarak verilen herhangi bir M büyüklüğündeki depremin T yıl içinde oluşma tehlikesi ve bu depremin dönüş periyodu hesabında kullanılacak deprem tehlike parametreleri Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. Deprem tehlikesi parametreleri

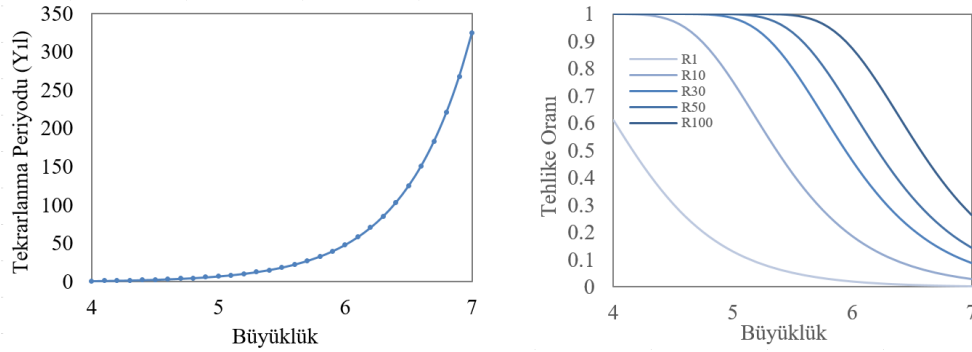
a	b	a'	a ₁	a' ₁
5.6442	0.8285	5.3636	3.5686	3.2881

Tablo 5’te hesaplanan parametreler kullanılarak Poisson dağılımı ile elde edilen sismik tehlike (R_t) ve tekrarlanma periyodu (T_r) değerleri Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. Poisson dağılımı ile elde edilen sismik tehlike R_t ve tekrarlanma periyodu T_r değerleri

M_w	$n_{(M)}$	R_1	R_{10}	R_{30}	R_{50}	R_{100}	T_r
4.0	0.9422	0.6102	0.9999	1	1	1	1.1
4.1	0.7786	0.5409	0.9996	1	1	1	1.3
4.2	0.6433	0.4745	0.9984	1	1	1	1.6
4.3	0.5316	0.4123	0.9951	1	1	1	1.9
4.4	0.4393	0.3555	0.9876	1	1	1	2.3
4.5	0.3630	0.3044	0.9735	1	1	1	2.8
4.6	0.2999	0.2591	0.9502	0.9999	1	1	3.3
4.7	0.2479	0.2195	0.9161	0.9994	1	1	4.0
4.8	0.2048	0.1852	0.8710	0.9979	1	1	4.9
4.9	0.1692	0.1557	0.8159	0.9938	0.9998	1	5.9
5.0	0.1398	0.1305	0.7530	0.9849	0.9991	1	7.2
5.1	0.1156	0.1091	0.6851	0.9688	0.9969	1	8.7
5.2	0.0955	0.0911	0.6151	0.9430	0.9916	0.9999	10.5
5.3	0.0789	0.0759	0.5457	0.9062	0.9807	0.9996	12.7
5.4	0.0652	0.0631	0.4790	0.8586	0.9616	0.9985	15.3
5.5	0.0539	0.0525	0.4165	0.8014	0.9324	0.9954	18.6
5.6	0.0445	0.0435	0.3593	0.7370	0.8920	0.9883	22.5
5.7	0.0368	0.0361	0.3078	0.6683	0.8411	0.9747	27.2
5.8	0.0304	0.0299	0.2621	0.5983	0.7813	0.9522	32.9
5.9	0.0251	0.0248	0.2221	0.5293	0.7152	0.9189	39.8
6.0	0.0208	0.0205	0.1874	0.4635	0.6458	0.8745	48.2
6.1	0.0172	0.0170	0.1576	0.4022	0.5758	0.8201	58.3
6.2	0.0142	0.0141	0.1321	0.3463	0.5077	0.7576	70.6
6.3	0.0117	0.0116	0.1105	0.2962	0.4432	0.6900	85.4
6.4	0.0097	0.0096	0.0922	0.2520	0.3836	0.6200	103.3
6.5	0.0080	0.0080	0.0769	0.2133	0.3296	0.5505	125.1
6.6	0.0066	0.0066	0.0639	0.1798	0.2814	0.4835	151.3
6.7	0.0055	0.0054	0.0531	0.1511	0.2389	0.4207	183.1
6.8	0.0045	0.0045	0.0441	0.1266	0.2020	0.3631	221.6
6.9	0.0037	0.0037	0.0366	0.1058	0.1701	0.3112	268.2
7.0	0.0031	0.0031	0.0303	0.0883	0.1428	0.2651	324.6

Şekil 6.a'da verilen bir M_w büyüklüğü için tekrarlanma periyodu görülmektedir. Buna göre örneğin $M_w=5.5$ büyüklüğündeki bir depremin tekrarlanma periyodu 18.6 yıl, $M_w=6.0$ büyüklüğündeki bir depremin tekrarlanma periyodu 48.2 yıl, $M_w=7.0$ büyüklüğündeki bir depremin tekrarlanma periyodu ise 324.6 yıldır. Şekil 6.b'de ise 1-10-30-50 ve 100 yıllık zaman zarfı içerisinde M_w büyüklüğündeki bir depremin oluşma tehlikesi görülmektedir.

**Şekil 6:**

Poisson Dağılımıyla elde edilen dağılımlar

a. Tekrarlanma Periyodu-Büyüklik b. Tehlike Oranı-Büyüklik

Buna göre örneğin 1 yıl içinde $M_w=5.0$ büyüklüğünde bir deprem oluşma tehlikesi % 13.05 iken, 30 yıl içinde $M_w=6.0$ büyüklüğünde bir deprem oluşma tehlikesi % 46.35'dir. Bununla beraber incelenen bölgede 100 yıl içinde $M_w=7.0$ büyüklüğünde bir deprem oluşma tehlikesi % 26.51 olarak hesaplanmıştır.

3.3.2. Gumbel Uç Değerler Dağılımı

Depremlerin oluşumu stokastik bir süreç olarak düşünüldüğünde, incelenen periyot aralığında her yıl meydana gelen en büyük deprem büyüklükleri dikkate alınarak depremlerin dağılımı bir uç değer dağılımı şeklinde ifade edilebilir. En büyük depremlerin toplam dağılımı Gumbel uç Değerler Tip I dağılımı Denklem (13) ile hesaplanabilir (Gumbel 1958).

$$G_{(M)} = e^{-\alpha e^{-\beta M}} \quad (13)$$

Bu denklemde M deprem büyüklüğü α ve β ise bölgenin sismisitesine bağlı katsayılarıdır. Gutenberg-Richter bağıntısındaki (Denklem (1)) a ve b katsayıları ile ilişkili olarak;

$$\alpha = 10^a \quad (14)$$

$$\beta = b \ln(10) \quad (15)$$

şeklinde yazılabilirler. Bir yıl içinde oluşan M ve üzeri büyüklükteki deprem sayısı $N_{(M)}$, geri dönüş periyodu T_r ve t yıl için hesaplanacak deprem tehlikesi için aşağıda verilen denklemlerden yararlanılabilir (Tezcan 1996; Akol 2009).

$$N_{(M)} = \alpha e^{-\beta M} = -\ln G_{(M)} \quad (16)$$

$$T_r = 1/N_{(M)} \quad (17)$$

$$R_t = 1 - e^{-N_{(M)}t} \quad (18)$$

1900-2019 yılları arasında her yıl meydana gelen en büyük depremler Tablo 7'de görülmektedir.

Tablo 7. 1900- 2019 yılları arasında oluşan en büyük depremler

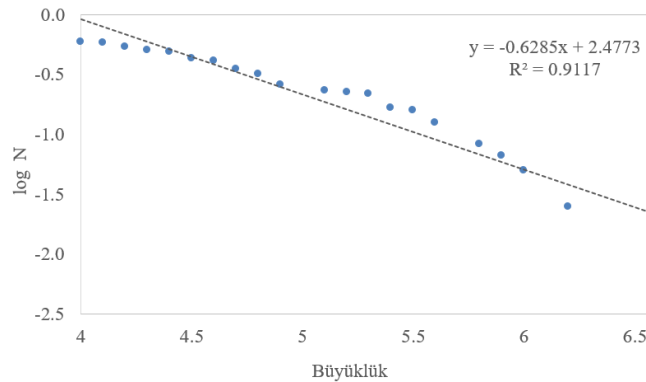
No	Yıl	M_w^{\max}	No	Yıl	M_w^{\max}	No	Yıl	M_w^{\max}	No	Yıl	M_w^{\max}	No	Yıl	M_w^{\max}
1	1901	5.3	15	1933	5.8	29	1970	6.2	43	1986	4.6	57	2000	5.6
2	1905	5.5	16	1934	5.5	30	1971	6	44	1987	4.6	58	2001	4.1
3	1914	6.6	17	1936	4.9	31	1972	5.6	45	1988	4.7	59	2002	6.0
4	1918	5.8	18	1943	5.3	32	1973	4.5	46	1989	4.5	60	2003	4.2
5	1919	5.5	19	1944	6	33	1974	4.3	47	1990	4.4	61	2004	4.4
6	1921	5.5	20	1946	5.6	34	1975	4.6	48	1991	4.8	62	2005	4.5
7	1923	4.8	21	1956	6.2	35	1976	4.4	49	1992	4.4	63	2007	4.9
8	1924	5.9	22	1960	4.9	36	1977	4.8	50	1993	4.7	64	2008	4.6
9	1925	5.9	23	1961	5.3	37	1978	5.6	51	1994	4.1	65	2009	4.1
10	1926	5.2	24	1964	4.7	38	1980	4.6	52	1995	5.6	66	2011	4.8
11	1927	5.4	25	1966	5.1	39	1982	4.4	53	1996	4.3	67	2012	4.2
12	1928	5.3	26	1967	4.8	40	1983	4.6	54	1997	4.1	68	2013	4.2
13	1929	4.7	27	1968	5.3	41	1984	4.4	55	1998	4.4	69	2014	4.8
14	1931	5.3	28	1969	4.8	42	1985	4.6	56	1999	4.0	70	2015	4.2
												71	2017	4.1

Buna göre 119 yıllık periyot için doğrusal regresyon analizinde kullanılacak deprem verisi adedi 71 olarak bulunmuştur. Deprem büyüklüğüne bağlı olarak en büyük deprem adetleri Tablo 8’de verilmiştir. İlgili tabloda depremin büyüklüğü (M_w), en büyük depremlerin adedi (N), kümülatif adedi (N_k), M ve M' den büyük deprem adedi oranı (N_s) ve 10 tabanına göre logaritma ($\log N_s$) değerleri görülmektedir. Tabloda yer alan N_s değeri hesaplanırken ilgili satırdaki kümülatif deprem adedi (N_k), incelenen zaman periyoduna 1 eklenmesi ile (119+1=120) bulunan sayıya bölünmüştür.

Tablo 8. En büyük deprem adetleri

M_w	N	N_k	N_s	$\log N_s$
4	1	71	0.5917	-0.2279
4.1	5	70	0.5833	-0.2341
4.2	4	65	0.5417	-0.2663
4.3	2	61	0.5083	-0.2939
4.4	7	59	0.4917	-0.3083
4.5	3	52	0.4333	-0.3632
4.6	7	49	0.4083	-0.3890
4.7	4	42	0.3500	-0.4559
4.8	7	38	0.3167	-0.4994
4.9	3	31	0.2583	-0.5878
5.1	1	28	0.2333	-0.6320
5.2	1	27	0.2250	-0.6478
5.3	6	26	0.2167	-0.6642
5.4	1	20	0.1667	-0.7782
5.5	4	19	0.1583	-0.8004
5.6	5	15	0.1250	-0.9031
5.8	2	10	0.0833	-1.0792
5.9	2	8	0.0667	-1.1761
6	3	6	0.0500	-1.3010
6.2	2	3	0.0250	-1.6021
6.6	1	1	0.0083	-2.0792

Tablo 8’den alınan veriler Şekil 7’deki dağılımı meydana getirmiştir. Deprem frekansı ve büyüklüğü arasındaki doğrusal ilişki basit regresyon analizi ile incelenmiştir. Hesaplamalar sonucu regresyon katsayıları a ve b sırasıyla 2.4773 ve 0.6285 olarak bulunmuştur.



Şekil 7:

Deprem frekansı-Büyüklik grafiği

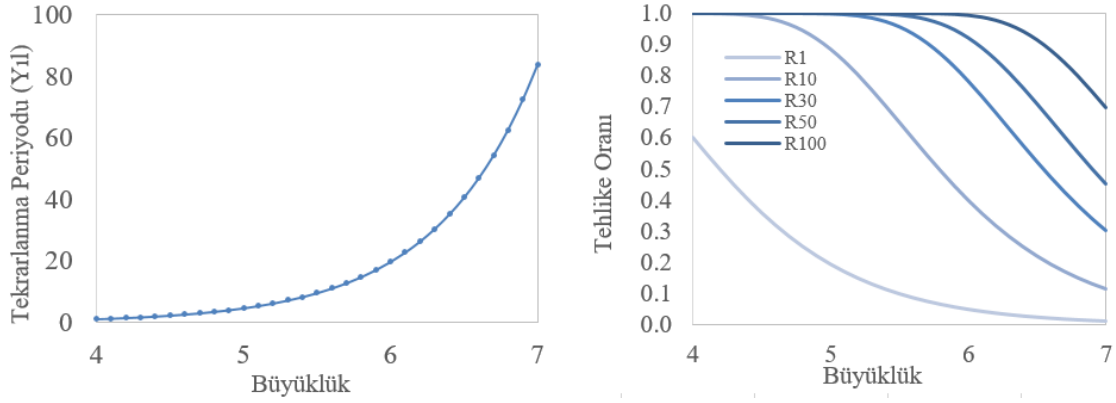
Denklem (14) ve (15) yardımıyla α ve β katsayıları sırasıyla 300.1235 ve 1.4472 olarak hesaplanmıştır. Gumbel Uç Değerler Tip I dağılımı $G_{(M)}$, bir yıl içinde oluşan M_w ve üzeri

büyüklerdeki deprem sayısı $N_{(M)}$, 1-10-30-50 ve 100 yıllık zaman zarfı içerisinde M_w büyüklüğündeki bir depremin oluşması tehlikesi $R_1 - R_{10} - R_{30} - R_{50} - R_{100}$ ve tekrarlanma periyodu T_r değerleri Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Gumbel dağılımı ile elde edilen sismik tehlike R_t ve tekrarlanma periyodu T_r değerleri

M_w	$n_{(M)}$	R_1	R_{10}	R_{30}	R_{50}	R_{100}	T_r
4.0	0.3989	0.9190	0.6011	0.9999	1	1	1.09
4.1	0.4515	0.7952	0.5485	0.9996	1	1	1.26
4.2	0.5026	0.6880	0.4974	0.9990	1	1	1.45
4.3	0.5514	0.5953	0.4486	0.9974	1	1	1.68
4.4	0.5974	0.5151	0.4026	0.9942	1	1	1.94
4.5	0.6404	0.4457	0.3596	0.9884	1	1	2.24
4.6	0.6800	0.3857	0.3200	0.9789	1	1	2.59
4.7	0.7163	0.3337	0.2837	0.9645	1	1	3.00
4.8	0.7492	0.2887	0.2508	0.9443	0.9998	1	3.46
4.9	0.7789	0.2498	0.2211	0.9178	0.9994	1	4.00
5.0	0.8056	0.2162	0.1944	0.8849	0.9985	1	4.63
5.1	0.8294	0.1870	0.1706	0.8459	0.9963	0.9999	5.35
5.2	0.8506	0.1618	0.1494	0.8018	0.9922	0.9997	6.18
5.3	0.8693	0.1400	0.1307	0.7535	0.9850	0.9991	7.14
5.4	0.8859	0.1212	0.1141	0.7023	0.9736	0.9977	8.25
5.5	0.9005	0.1048	0.0995	0.6495	0.9569	0.9947	9.54
5.6	0.9133	0.0907	0.0867	0.5963	0.9342	0.9893	11.02
5.7	0.9245	0.0785	0.0755	0.5439	0.9051	0.9803	12.74
5.8	0.9343	0.0679	0.0657	0.4930	0.8697	0.9665	14.72
5.9	0.9429	0.0588	0.0571	0.4444	0.8285	0.9471	17.02
6.0	0.9504	0.0509	0.0496	0.3986	0.7825	0.9213	19.67
6.1	0.9570	0.0440	0.0430	0.3560	0.7329	0.8892	22.73
6.2	0.9626	0.0381	0.0374	0.3166	0.6809	0.8510	26.27
6.3	0.9676	0.0329	0.0324	0.2807	0.6278	0.8074	30.36
6.4	0.9719	0.0285	0.0281	0.2480	0.5748	0.7595	35.08
6.5	0.9756	0.0247	0.0244	0.2186	0.5228	0.7086	40.55
6.6	0.9789	0.0213	0.0211	0.1922	0.4728	0.6560	46.86
6.7	0.9817	0.0185	0.0183	0.1686	0.4253	0.6028	54.16
6.8	0.9841	0.0160	0.0159	0.1477	0.3808	0.5502	62.59
6.9	0.9863	0.0138	0.0137	0.1291	0.3395	0.4990	72.34
7.0	0.9881	0.0120	0.0119	0.1127	0.3015	0.4501	83.60

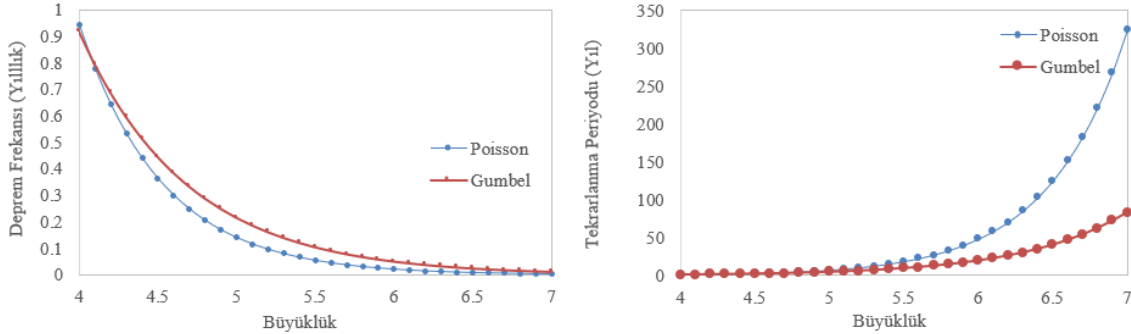
Şekil 8.a’da, verilen bir M büyüklüğü için tekrarlanma periyodu görülmektedir. Buna göre örneğin $M_w=5.5$ büyüklüğündeki bir depremin tekrarlanma periyodu 9.54 yıl, $M_w=6.0$ büyüklüğündeki bir depremin tekrarlanma periyodu 19.67 yıl, $M_w=7.0$ büyüklüğündeki bir depremin tekrarlanma periyodu ise 83.60 yıldır. Şekil 8.b’de ise 1-10-30-50 ve 100 yıllık zaman zarfı içerisinde M büyüklüğündeki bir depremin oluşması tehlikesi görülmektedir. Buna göre örneğin 1 yıl içinde $M_w=5.1$ büyüklüğünde bir deprem oluşması tehlikesi % 18.70 iken, 30 yıl içinde $M_w=6.0$ büyüklüğünde bir deprem oluşması tehlikesi % 39.86’dır. Bununla beraber incelenen bölgede 100 yıl içinde $M_w=7.0$ büyüklüğünde bir deprem oluşması tehlikesi % 45.01 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 8:
Gumbel Dağılımıyla elde edilen dağılımlar
a. Tekrarlanma Periyodu-Büyüklik b. Tehlike Oranı-Büyüklik

3.3.3. İki Dağılım Modelinin Karşılaştırılması

Şekil 9’da Poisson ve Gumbel uç değerler dağılımlarında M_w büyüklüğündeki depremlerin tekrarlanma adedi ve periyodu görülmektedir. Şekillerden görüldüğü üzere büyüklüğü $M_w < 5.5$ olan depremler için sonuçlar birbirine oldukça yakın çıkmıştır. $M_w \geq 5.5$ için sonuçların farklılaşmasının sebebi $M_w \geq 5.5$ deprem sayısının toplam deprem verisi sayısına oranının oldukça küçük olmasıdır (% 6.19). Poisson dağılımı sürekli ortamlarda kesikli sonuçlar verme prensibinde çalışırken Gumbel dağılımı bir uç değer dağılım modelidir.



Şekil 9:
Poisson ve Gumbel Uç Değerler Dağılımlarının Karşılaştırılması
a. Deprem Frekans-Büyüklik b. Tekrarlanma Periyodu-Büyüklik

Veri sayısındaki azalma Poisson dağılım modelinde dikkate alınırken Gumbel dağılım modelinin teorisi gereği sadece uç değer (yıllık maksimum deprem büyüklüğü) dikkate alınmaktadır. Bu durum veri sayısının azaldığı bölgelerde iki dağılım modelinin vermiş olduğu sonuçlarda farklılıklara neden olmuştur. Ayrıca Gumbel uç değerler dağılım modeli, aynı yıl içerisinde çalışma alanının farklı bölümlerinde olmuş bağımsız iki depremden sadece birini (uç değeri) esas aldığı için farklı deprem kaynaklarının etkisi altındaki bölgelerde veri kayıplarına neden olmaktadır. Farklı kabullere dayanan iki dağılım modelinin veri sayısının görece daha çok olduğu kısımda birbirine yakın sonuçlar vermesi çalışmanın güvenilirliğini arttırmıştır.

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Afyonkarahisar ili odaklı 130 km'lik dairesel bir alan içerisinde meydana gelen deprem verileri dikkate alınarak deprem tehlike analizleri gerçekleştirilmiştir. Afyonkarahisar ili Akşehir-Simav fay sistemi (ASFS) ve BKB-DGD gidişli İnönü-Eskişehir fay sistemi etkisi altındadır. İl merkezi tarihte çok büyük yıkıcı bir depreme şahitlik etmese de etrafında bulunan fay hatlarında meydana gelen büyük depremlerin görece etkisi her zaman bir tehdit oluşturmaktadır. $4 \leq M_w \leq 6$ büyüklüğündeki depremler incelenen bölge için yaygın depremselliği ifade etmektedir. Sismoloji literatüründe kabul gören Gutenberg-Richter Büyüklük-Frekans bağıntısı kullanılarak, farklı büyüklükteki depremlere ait tekrarlanma periyotları Poisson ve Gumbel uç değerler dağılım modelleri ile çözümlenmiştir. Buna göre 50 yılda ve 100 yılda bir $M_w=7$ büyüklüğündeki bir deprem olma ihtimali sırasıyla Poisson dağılımına göre % 14.27 ve % 26.51 Gumbel uç değerler dağılımına göre ise % 45.01 ve % 69.77 olarak bulunmuştur. İncelenen bölge için, Gumbel uç değerler dağılım modelinin Poisson dağılım modelinden daha büyük tehlike sonuçları verdiği tespit edilmiştir. Veri sayısının azaldığı deprem büyüklüğü aralığında, Poisson dağılım modelinin Gumbel uç değerler dağılım modeline göre veri sayısındaki azalmaya daha duyarlı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Stokastik yöntemlerle yapılan deprem tehlike analizlerinin sonuçları, analizin yapıldığı zamana bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bunun sebebi deprem kataloglarına eklenen yeni depremlerin verileridir. Dolayısıyla bir bölgenin deprem tehlikesinin öğrenilmesi amacıyla hesapların güncel veriler ile yapılması gerekmektedir. Bu çalışma Afyonkarahisar ili için güncel deprem tehlikesini ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

1. Akol, B. and Bekler, T. (2013) Assessment of the statistical earthquake hazard parameters for NW Turkey, *Nat Hazards*, 68(2). doi:10.1007/s11069-013-0659-1
2. Altunel, E. ve Barka, A. (1998) Eskişehir fay zonunun İnönü-Sultandere arasında neotektonik aktivitesi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 41, 2, 41-52.
3. Atalay, İ. (1975) Tektonik hareketlerin Sultandağları'nın jeomorfolojisine olan etkileri, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 18/1, 21-26.
4. Barka, A., Reilinger, R., Şaroğlu, F. ve Şengör, A.M.C. (1995) The Isparta angle: its importance in the neotectonics of the eastern Mediterranean region, Pişkin, Ö., Ergün, M., Savaşçın, M.Y. ve Tarcan, G. (ed.), *IIESCA-1995 Proceedings*, 3-17.
5. Bozkurt, E. (2001) Neotectonics of Turkey-a synthesis, *Geodinamica Acta*, 14, 3-30. doi:10.1080/09853111.2001.11432432
6. Deniz, A. (2006) Estimation of earthquake insurance premium rates for Turkey, *M.Sc. Thesis*, Dept. of Civil Engineering, M.E.T.U.
7. Doğaner, A. ve Çalık, S. (2014) Elazığ ve çevresindeki sismik aktivitelerin deprem parametreleri ilişkisinin incelenmesi, *Fırat Üniv. Fen Bilimleri Dergisi*, 26(1), 73-77.
8. Erguvanlı, A. ve Özyayın, K. (1978) Kuzey Anadolu fay hattının depremselliği, *Türkiye İnşaat Mühendisliği 7. Teknik Kongresi*, 25-27 Ekim, Ankara.
9. Frohlich, C. and Davis, S. (1993) Teleseismic b-values: or much about 1.0, *J. Geophys. Res.*, 98: 631- 644. doi:10.1029/92JB01891
10. Gumbel, E.J. (1958) Statistics of extremes, *Columbia University Press*, N.Y., U.S.A.

11. Gutenberg, B. and Richter, C.F. (1944) Frequency of earthquakes in California, *Bull. Seismol.Soc.Am.*, 34, 185-188.
12. Gutenberg, B., Richter, C.F. (1954) Seismicity of earth and related phenomna, *2nd ed. Princeton Univ. Pres, Princeton, New Jersey.*
13. <https://www.deprem.afad.gov.tr/tarihseldepremler>, Erişim tarihi: 01.06.2019, Konu: AFAD
14. http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/veri_bank/mainw.html, Erişim tarihi: 01.06.2019, Konu: Deprem kataloğu
15. <https://www.turkiye.gov.tr/afad-turkiye-deprem-tehlike-haritalari>, Erişim tarihi: 01.06.2019, Konu: Deprem tehlike haritaları
16. IBM SPSS Statistics (2019) Version 20. Armonk, NY: IBM Analytics.
17. Kalyoncuoğlu, Y., Uyanık, O., Altuncu, S. ve Geçim, E. (2006) Gutenberg-Richter bağıntısındaki b değerinin tespiti için alternatif bir metot ve güneybatı Türkiye’de bir uygulaması, *D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt 8, Sayı 2, S. 67-78.
18. Kibici, Y., Yıldız, A. ve Bağcı, M., (2001) Afyon kuzeyinin jeolojisi ve mermer potansiyelinin araştırılması, *Türkiye III. Mermer Sempozyumu*, 73-84.
19. Koçyiğit A., Ünay, E. ve Saraç, G. (2000) Episodic graben formation and extensional neotectonic regime in west Central Anatolia and the Isparta Angle: a key study in the Akşehir-Afyon graben, Turkey, *Geological Society, London, Special Publication 173*, 405-421. doi:10.1144/GSL.SP.2000.173.01.19
20. Koçyiğit, A. (1984) Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim, *Bulletin of the Geological Society of Turkey*, 27, 1-16.
21. Koçyiğit, A. (2000) Güneybatı Türkiye'nin depremselliği, *BADSEM 2000-Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu*, 24-27, 30-39, İzmir.
22. Koçyiğit, A. ve Deveci, Ş. (2007) Çukurören- Çobanlar (Afyon) arasındaki deprem kaynaklarının (Aktif fayların) belirlenmesi, *TÜBİTAK, Proje No: 106Y209*, 71s., Ankara.
23. Köle, M.M. (2016) Çankırı İli için Deprem Olasılık Tahmini, *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(1): 455-470.
24. Miyamura, S. (1962) Magnitude-frequency relations and its bearing to geotectonics, *Proc. Japan. Acad.*, 38, 27-30.
25. Mori, J. and Abercrombie, R.E. (1997) Depth dependence of earthquake frequency-magnitude distributions in California, *J. Geophys. Res.*, 102: 15081-15090. doi:10.1029/97JB01356
26. Özmen, B. (2002) 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) depreminin eşşiddet haritası ve hasar durumu (rakamsal verilerle), *Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi*, Rapor No: 4083.1, Ankara.
27. Poisson, S.D. (1838) Recherches Sur la Probabilitedes Jugements en Matieres Criminelles et Matiere Civile, Paris: Elibron Classic Series.
28. Scholz, C.H. (1968) The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquakes, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 58, 399-415.
29. Şengör, A.M.C., Görür, N. ve Şaroğlu, F. (1985) Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, Biddle, K.T. ve Christie-

- Blick, N. (ed.). Strike-Slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation, *Soc. of Eco. Paleo. and Min. Spec. Publ.*, 37, 227-264. doi:10.2110/pec.85.37.0211
30. Tezcan, S.S. (1996) Probability analysis of earthquake magnitudes, *Turkish Earthquake Foundation*, 26.
 31. Tollluoğlu, Ü.A., Erkan, Y. ve Yavaş, F., (1997) Afyon metasedimenter grubunun mesozoyik öncesi metamorfik evrimi, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 40-2, 1-17.
 32. Topkara, N., Yüccemen M.S., Yılmaz, N. ve Deniz, A. (2013) Antakya ve yakın çevresi için deprem tehlikesinin stokastik yöntemler ile tahmini, *2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 25-27 Eylül, Hatay.
 33. Türker, T. ve Bayrak, Y. (2015) Doğu Anadolu Bölgesi ve civarının poisson yöntemi ile deprem tehlike tahmini, *3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, 14-16 Ekim, İzmir.
 34. Yüccemen, M.S. (1982) Sismik Risk Analizi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Yayınları, 160s, Ankara.
 35. Yüksel, F.A. (1986) Güneybatı Türkiye'nin deprem etkinliği ve deprem risk analizi, *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, C.5 , S. 1-2, 169-184.

