

KAYSERİ KENTİNİN OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ

PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS FOR KAYSERİ

Mehmet ALPYÜRÜR¹, Musaffa Ayşen LAV²

ÖZET

Bu araştırmada Kayseri kentinin güncel bir sismik tehlike analizi gerçekleştirilmiştir. Bu doğrultuda, 1900'den 2022'e kadar olan sığ kabuk depremlerini içeren ve moment büyüklük ölçeğine dayalı bir deprem kataloğu oluşturulmuştur. Sismik kaynaklar, aktif fay zonları dikkate alınarak homojen alansal kaynak zonları olarak tanımlanmıştır. Her bir sismik kaynak için deprem tehlike parametreleri olarak Gutenberg-Richter parametreleri, Kijko-Smit maksimum olabilirlik tahmini yöntemi ile değerlendirilmiştir. Kayseri kenti için uygun yer hareketi tahmin denklemlerini (GMPE) bulmak için 17 aday denklem, ortalama log-olabilirlik değerleri (LLH) kullanılarak değerlendirilmiştir. Her bir sismik kaynağın maksimum deprem büyüklüğü (Mmaks), bölgesel kırılma özelliklerine ve Kijko-Sellevoll yöntemlerine göre hesaplanmıştır. Kayseri kenti için Coğrafi Bilgi Sistemi kullanılarak anakaya seviyesinde Deprem Düzeyi 1(DD1) ve Deprem Düzeyi 2(DD2) için pik yer ivmesi (PGA), 0.2 ve 1 sn periyotlarla spektral ivme (SA) değerleri hesaplanarak sismik tehlike haritaları geliştirilmiştir. Bu çalışmaya göre Kayseri kentinde anakaya üzerindeki PGA değerleri DD1 için 0.2052 ile 0.3035 g arasında, DD2 için ise 0.1068 ile 0.1441 g arasında değişmektedir. Ayrıca bu araştırma kapsamında, Kayseri kent merkezi için sismik tehlike eğrileri ve üniform tehlike spektrumları (UHS) oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kayseri, Sismik tehlike analizi, Pik yer ivmesi, Maksimum deprem magnitudü, Yer hareketi tahmin denklemi

ABSTRACT

In this research, a current seismic hazard analysis of the city of Kayseri was carried out. Accordingly, an earthquake catalog based on the moment magnitude scale was created, which includes shallow crustal earthquakes from 1900 to 2022. Seismic sources are defined as homogeneous area source zones, taking into account active fault zones. Gutenberg-Richter parameters as earthquake hazard parameters for each seismic source were evaluated using the Kijko-Smit maximum likelihood estimation method. To find the appropriate ground motion prediction equations (GMPE) for the city of Kayseri, 17 candidate equations were evaluated using average log-likelihood values (LLH). The

¹ MSc, İstanbul Teknik Üniversitesi, alpyurur@itu.edu.tr (Sorumlu yazar)

² Prof.Dr, İstanbul Teknik Üniversitesi, lavay@itu.edu.tr

maximum earthquake magnitude (Mmax) of each seismic source was calculated according to regional rupture characteristics and Kijko-Sellevoll methods. For the city of Kayseri, seismic hazard maps were developed by calculating the peak ground acceleration (PGA), spectral acceleration (SA) values at 0.2 and 1 sec periods for hazard levels of 2% (DD1) and 10%(DD2) probability of exceedance in 50 years at bedrock level, using the Geographical Information System. According to this study, PGA values on bedrock in Kayseri vary between 0.2052 and 0.3035 g for DD1 and between 0.1068 and 0.1441 g for DD2. In addition, within the scope of this research, seismic hazard curves and uniform hazard spectra (UHS) were created for the city center of Kayseri.

Keywords: *Kayseri, Seismic hazard analysis, Peak ground acceleration, Maximum earthquake magnitude, Ground motion prediction equation*

1. GİRİŞ

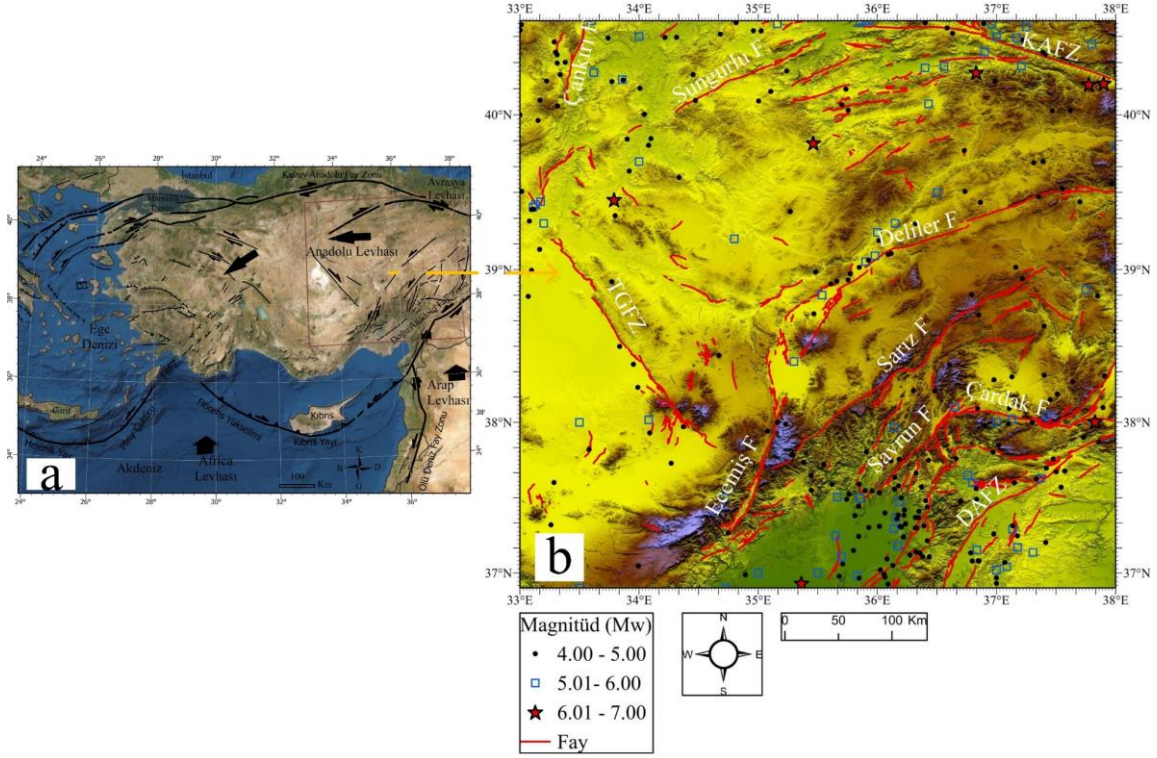
Dünyanın birçok bölgesinde meydana gelen yıkıcı depremlerin insanlığa yönelik gerçek tehdidi, yapı ve tesislerin yapımında depremlerin sismik risklerini dikkatle değerlendirmek için yeterli bir nedendir. Gelecekteki deprem etkileri tam olarak belirlenemez, ancak sismik tehlike değerlendirmesinin bir parçası olarak tahmin edilebilirler. Bir depremin olumsuz etkisini azaltmak için önlem almak mümkündür. Sismik tehlike analizi (STA), uygulanacak önlemleri tanımlamada kritik bir rol oynayan belirli bir konumdaki sismik tehlikenin nicel bir değerlendirmesidir. STA ve en yüksek yer ivmesinin (PGA) belirlenmesi, yeni bir yapı için depreme dayanıklı bir tasarım oluşturmak, mevcut önemli bir yapının (örneğin barajlar, köprüler ve nükleer santraller) güvenliğini değerlendirmek ve kentsel mikrobölgelemeyi planlamak için çok önemlidir ve gereklidir (Gupta, 2002).

2. BÖLGENİN TEKTONİK YAPISI VE DEPREMSELLİĞİ

Türkiye en yüksek sismik aktiviteye sahip ülkelerden biridir. Alp-Himalaya orojenik kuşağında yer alan Türkiye'de çok sayıda can ve mal kaybına neden olan yıkıcı depremler meydana gelmektedir. Türkiye ve çevresinin jeodinamik düzeninde önemli rol oynayan ana tektonik yapılar, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Ölü Deniz Fay Zonu (ÖDFZ) ve Helenik-Kıbrıs yitim zonudur (Bozkurt, 2001). Şekil 1a Türkiye'nin ana tektonik yapılarını göstermektedir (Över vd., 2013). Kayseri ili ve yakın çevresinde büyüklüğü hasar yapıcı büyüklükte deprem üretme kapasitesine sahip fay hatları bulunmaktadır. Bölgede bulunan faylar Şekil 1b'de gösterilmektedir.

3. OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ

Gelecekteki depremlerin yeri, büyüklüğü ve oluşma zamanı belirsizdir. Depremlerin zaman içindeki rastgele dağılımını temsil etmek için birçok stokastik model oluşturulmuştur. Homojen Poisson süreci, OSTA araştırmalarının çoğunda zaman içinde deprem oluşumunu temsil etmek için kullanılır. Poisson modelinde deprem oluşumlarının birbirinden bağımsız olduğu varsayılır. Bu çalışmada, Kayseri kentinin sismik tehlike analizini yapmak için Cornell (1968) tarafından sağlanan standart olasılık yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşıma göre, depremlerin zaman içindeki oluşumlarının, belleksiz Poisson sürecini izleyen bağımsız olaylar olduğu varsayılmaktadır.



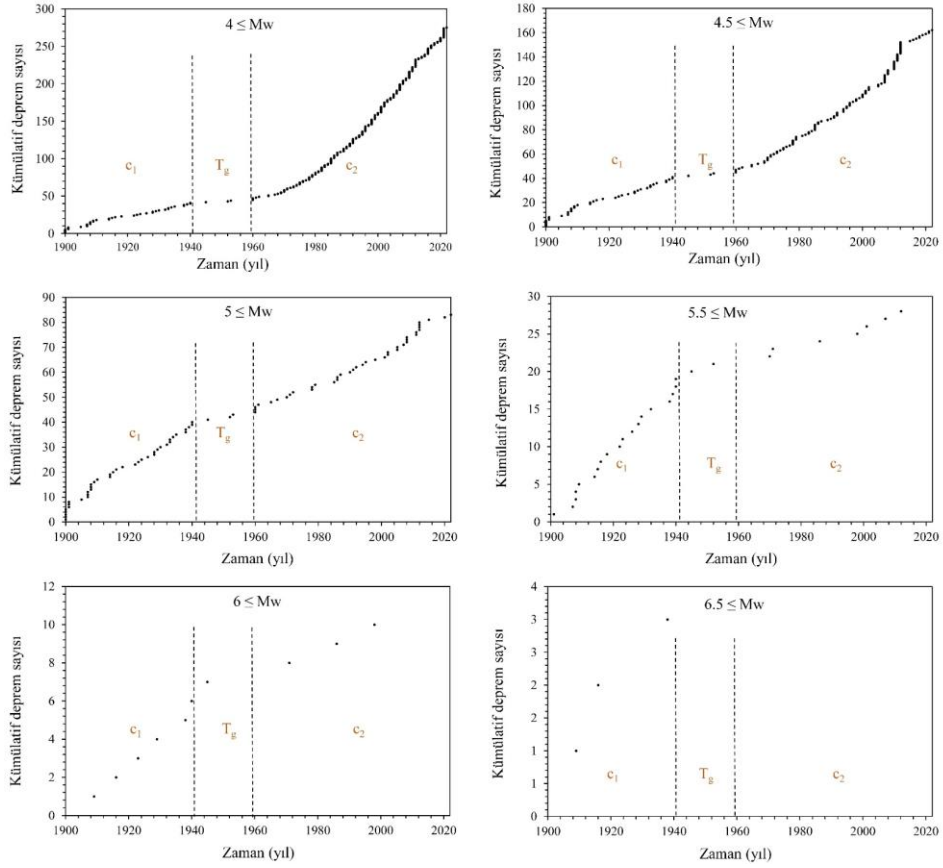
Şekil 1. a) Türkiye'nin ana tektonik yapıları b) Kayseri ili ve çevresindeki bölgede bulunan faylar (TGFZ: Tuz Gölü Fay Zonu)

3.1. Deprem Verisi, Altkataloglar ve Tamamlılık Magnitüdü

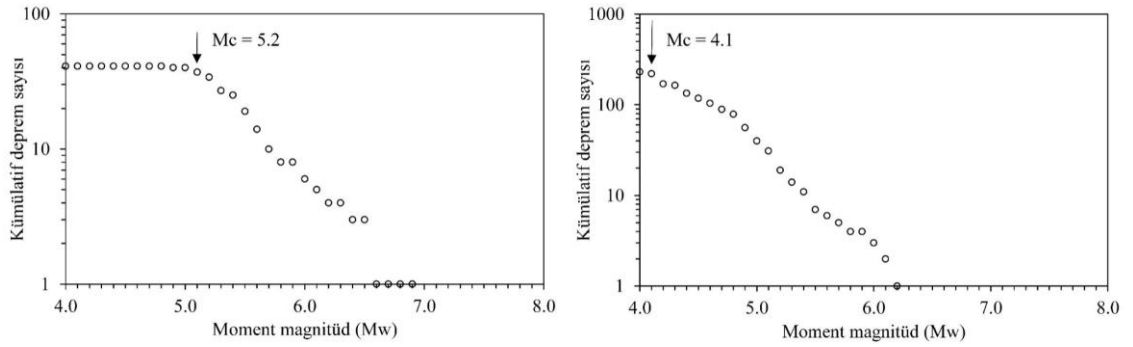
Bu çalışma kapsamında, 36.9° ile 40.6°K enlemleri ve 33° ile 38°D boylamları arasındaki bölgeyi kapsayan sığ ($h \leq 70$ km) depremlerin bir katalogu derlenmiştir. 1900'den 2012'ye kadar moment magnitüdü 4'e eşit ve büyük 232 depremi içeren aletsel dönem kayıtları, Kadirioğlu vd. (2018) tarafından hazırlanan homojen ve ayrıştırılmış katalogdan derlenmiştir. 2013-2022 periyodunda meydana gelmiş depremler ise Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü veri tabanından elde edildi. Orijinal deprem veritabanında, uzay ve zamanda bağımsız bir dağılım (belleksiz süreç) izleyen Poisson süreci ile çelişen birçok bağımlı oluşum (ön ve artçı) vardır. Bu oluşumlar Deniz (2006)'nın geliştirdiği ayrıştırma yöntemi kullanılarak katalogdan çıkarılmıştır. Sonuç olarak bu dönem için 43 deprem verisi elde edilmiştir. Tüm katalogun ayrıntılı bir incelemesinin ardından, katalog iki altkataloga ayrılmıştır (c1 ve c2). 1941 ve 1959 yılları arasında deprem kayıtları eksik olmasından dolayı bu 18 yıllık dönem bir 'zaman aralığı (time gap, Tg)' olarak kabul edilmiştir (Şekil 2). Tamamlılık magnitüdüleri ise c1 ve c2 altkatalogları için sırasıyla 5.2 ve 4.1 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3).

3.2. Sismik Kaynakların Belirlenmesi ve Sismisite Parametrelerinin Hesaplanması

Bölgede sismik olaylara neden olabilecek aktif sismik kaynaklar bu bölümde tespit edilmiştir. Bölgedeki tektonik yapılarının karmaşık doğası nedeniyle, farklı fay hatları açısından sismik kaynakları belirlemek zor olabilir. Bu nedenle, sismik kaynaklar bu araştırma bağlamında alan kaynakları olarak tanımlanmıştır. Sismik kaynakların belirlenmesi esas olarak araştırmacıların yargısına bağlıdır ve sismik kaynakların şekli ve sayısı çeşitli OSTA çalışmaları arasında değişebilir.

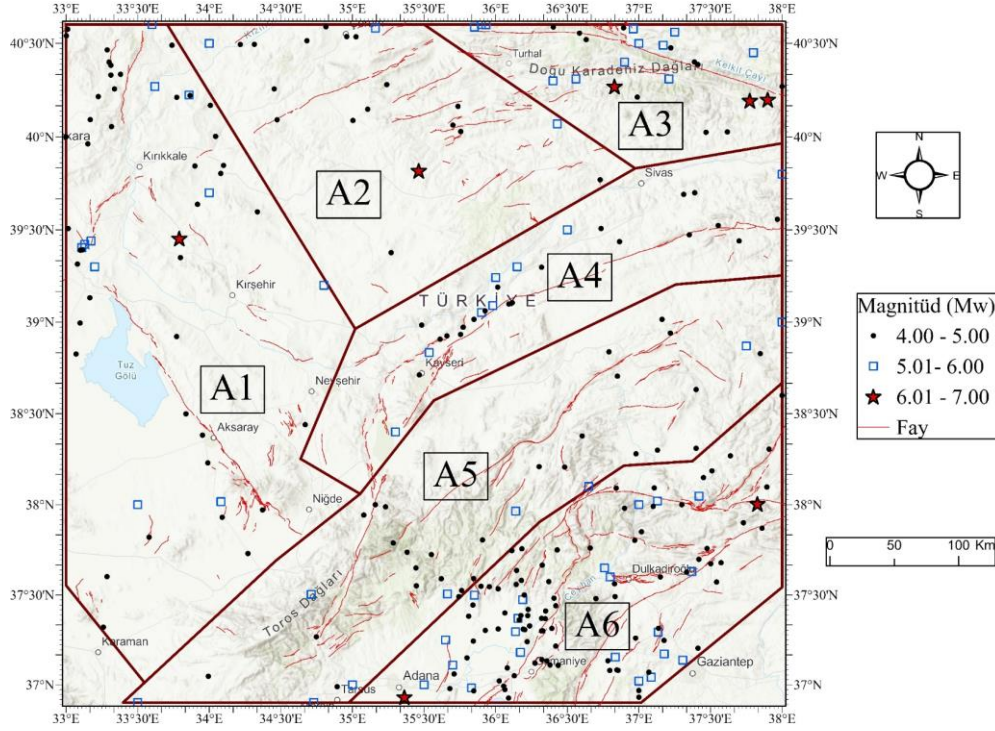


Şekil 2. Tüm katalogun farklı moment magnitüdləri dikkate alarak incelenmesi.



Şekil 3. Altkataloglar için tamamlılık magnitüdlərinin belirlenmesi

Birçok araştırmacı Türkiye için çeşitli sismik kaynak modellemesi önermiştir. Bu çalışmada, bölgenin sismisitesini değerlendirmek için 6 sismik alan kaynak, faylar ve deprem oluşumları dikkate alınarak oluşturulmuştur. 6 sismik alan kaynağının sismisite parametreleri, deprem büyüklüğü ile oluşma sıklığı arasında üstel bir dağılım öngören Gutenberg-Richter (1944) tekrarlanma kuralına göre belirlenmiştir. Kijko ve Smit (2012) klasik Aki-Utsu yöntemini değiştirerek hem eksik hem de tam deprem verilerinden Gutenberg-Richter b -değerinin yeni bir maksimum olabilirlik tahminini geliştirmiştir. 6 sismik alan kaynağının Gutenberg – Richter b değeri ve ortalama sismik aktivite oranının (λ) hesaplanması için Kijko-Smit yöntemi benimsenmiş ve Prof. Kijko tarafından oluşturulan MATLAB kodu(Kijko 2016) kullanılmıştır.



Şekil 4. OSTA için oluşturulan sismik alan kaynakları

OSTA için tanımlanan sismik kaynak bölgeleri ve bunların sismisite parametreleri Tablo 1'de listelenmiştir.

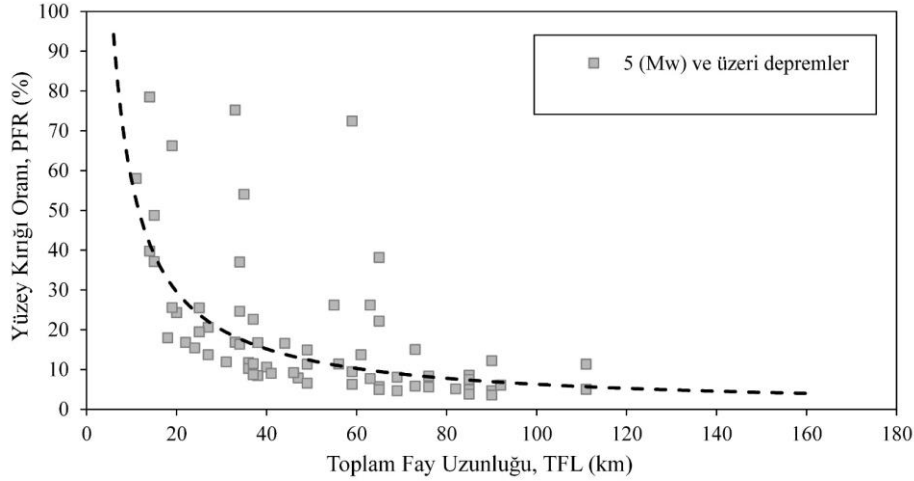
Tablo 1. Sismik kaynaklar ve sismisite parametreleri

Sismik kaynak	Tektonik	Mc	Lambda (λ) (Kijko-Smit)	Beta (β) (Kijko-Smit)
A1	Tuzgölü FZ, Karakeçili FZ, Çankırı F, Bala F, Akpınar F	4.1	0.837±0.222	2.26±0.27
A2	Merzifon- Esençay FZ, Sungurlu F, Kazankaya F, Çekerek F, Akmağdeni F	4.1	0.265±0.088	2.04±0.21
A3	KAFZ'nun Suşehri, Reşadiye ve Ezinepazar segmentleri, Almus F, Gökçe F	4.1	0.403±0.126	1.52±0.19
A4	Deliler F, Erciyes F, Ertiket FZ, Yuvalı F, Divriği F	4.1	0.383±0.116	1.35±0.21
A5	Ecemiş F, Sarız F, Aladağ F, Saimbeyli F, Beyyurdu F	4.1	0.563±0.154	1.35±0.2
A6	Ölüdeniz FZ'nun Narlı, Sakçagöz, ve Yesemek segmentleri, DAFZ'nun Erkenek ve Pazarcık segmentleri, Düziçi-İskenderun FZ, Karataş F, Yumurtalık F, Toprakkale F, Savrun F, Çardak F,	4.1	1.402±0.322	2.15±0.17

3.3. Maksimum Deprem Büyüklüğünün Belirlenmesi

Anbazhagan vd. (2015) bölgesel kırılma karakteristiğini dikkate alarak maksimum büyüklüğü (M_{maks}) tahmin etmek için bir yöntem geliştirmiştir. Moment büyüklükleri (M_w) 5 ve üzeri olan geçmiş hasarlı depremler ile ilişkili sismik kaynağın kırılma uzunlukları arasında parametrik çalışmalar yaparak bir bölgenin kırılma karakteristiğini belirlediler. Bölgesel kırılma karakteristiğini, kırılma uzunluğunun (RLD) toplam fay uzunluğuna (TFL) oranı olan fay kırılma yüzdesini (PFR) dikkate alarak tanımladılar. PFR'yi toplam fay uzunluğuna karşı çizdiklerinde, PFR'nin fayın toplam uzunluğu ile özgün bir trend izlediği ve bölgede farklı sismik kaynaklar için benzer olduğunu belirttiler. Bu çalışmada, her bir

deprem ve ilişkili kaynağı tanımlanmış ve önceki depremden kaynaklanan kırılma uzunluğu Wells ve Coppersmith (1994) bağıntısı kullanılarak tahmin edilmiştir. Bölgedeki toplam fay uzunlukları Emre vd. (2018) tarafından hazırlanan Türkiye Aktif Fay Veritabanından alınarak PFR-TFL karakteristik eğrisi şekil 5'teki gibi oluşturulmuştur. Her bir sismik kaynakta, en kötü senaryo depremi için PFR, ortalama PFR'nin beş katı olarak alınmış ve ilgili kaynağın maksimum büyüklüğü tahmin edilmiştir.



Şekil 5. PFR vs TFL bağlamında bölgenin kırılma karakteristik eğrisi

Sismik kaynakların maksimum büyüklükleri Kijko ve Sellevoll (1989) yöntemi ile Denklem 1'de verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_{max} = m_{max}^{obs} + \frac{E_1(n_2) - E_1(n_1)}{\beta \exp(-n_2)} + m_{min} \exp(-n) \quad (1)$$

Ayrıca matlab kodu kullanılarak Kijko-Sellevoll-Bayes (2004) yöntemi ile M_{maks} değerleri hesaplanmıştır. Çeşitli yöntemler kullanılarak hesaplanan M_{max} değerleri, belirli bir yöntemle değerlerin doğru tahminindeki belirsizlik nedeniyle sismik tehlikenin değerlendirilmesi için bir mantık ağacı yapısı ile kullanıldı. Üç farklı yöntemden elde edilen M_{maks} değerleri, her üç yöntemin de eşit ağırlıkta olduğu bir mantık ağacı yapısı benimsenerek sismik tehlike analizinde kullanılmıştır. Kullanılan yöntemlerle tahmin edilen sismik kaynakların maksimum büyüklükleri (M_{maks}) Tablo 2'de verilmiştir.

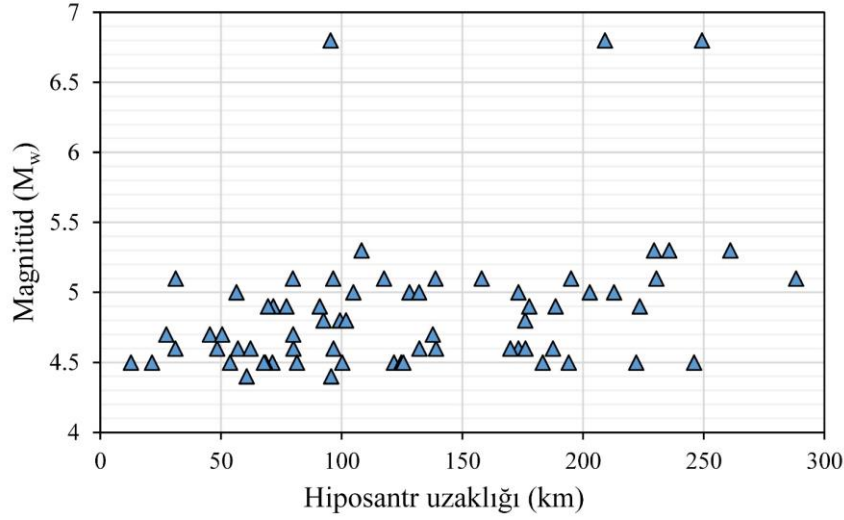
Tablo 2. Farklı yöntemler ile hesaplanan maksimum deprem (M_{maks}) büyüklükleri

Sismik kaynak	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Gözlemlenen en büyük magnitüd	6.5	6.3	6.9	5.7	5.7	6.2
Kijko-Sellevoll (1989)	6.6	6.5	7.0	5.7	5.7	6.2
Kijko-Sellevoll-Bayes (2004)	7.2	7.8	7.7	5.8	5.8	6.4
Bölgesel kırılma özelliğine dayalı	6.8	6.7	6.9	6.6	6.7	6.7

3.4. Bölge İçin Uygun Yer Hareketi Tahmin Denklemlerinin (YHTD) Seçilmesi

Bu çalışmada, Kayseri kenti ve civarı için en iyi performans gösteren GMPE'leri belirlemek amacıyla PGA değerlerine dayalı ortalama log olabilirlik değeri (LLH) yöntemi kullanılmıştır (Delavaud vd., 2009; Delavaud vd., 2012). Moment büyüklüğü 4.4'tan büyük 26 depreme ait 73 sismometre kaydı kullanılarak anakaya için hiposantr uzaklığı-PGA değeri verileri doğrudan AFAD veri tabanındaki (<https://tadas.afad.gov.tr/>) EuroCode A zemin sınıfı

($V_{s30} > 800$ m/s) üzerinde kurulu istasyonların ölçümlerinden elde edilmiştir. Şekil 6, uygun GMPE seçimi için kullanılan verilerin büyüklük-hiposantr uzaklık dağılımlarını göstermektedir.



Şekil 6. YHTD seçiminde kullanılan deprem verileri

Verilen magnitüd ve hiposantr mesafeleri için, her aday GMPE'den PGA değerleri tahmin edilmiştir. Ardından, tahmin edilen PGA verileri ve istasyon gözlemleri değerlendirilerek her GMPE için LLH değerleri, Veri Destek İndeksi (DSI), ağırlıkları(w) ve sıralaması belirlenmiştir(Tablo 3).

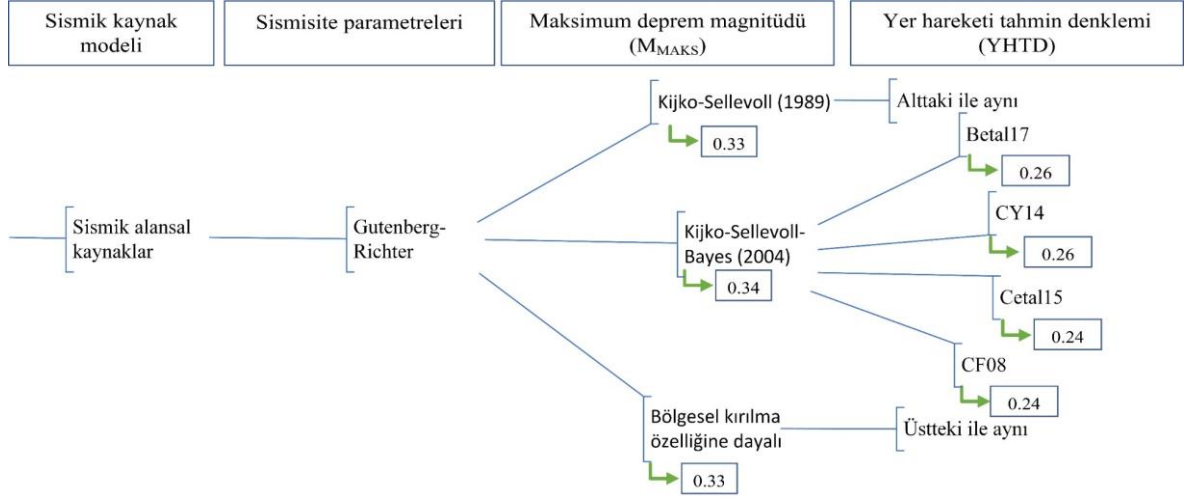
Tablo 3. Aday denklemlerin LLH, DSI, Ağırlık değerleri ve sıralaması

YHTD	Kısaltması	LLH	DSI	w	Rank
Bindi vd. (2017)	Betal17	1.626	45.341	0.085	1
Chiou ve Youngs (2014)	CY14	1.637	44.237	0.085	2
Cauzzi vd. (2015)	Cetal15	1.721	36.078	0.080	3
Cauzzi ve Faccioli (2008)	CF08	1.728	35.420	0.080	4
Campbell ve Bozorgnia (2014)	CB14	1.813	27.672	0.075	5
Boore vd. (2014)	BSSA14	1.946	16.428	0.068	6
Derras vd. (2016)	Detal16	2.040	9.084	0.064	7
Idriss (2014)	I14	2.124	2.914	0.061	8
Bindi vd. (2011)	Betal11	2.169	-0.247	0.059	9
Abrahamson vd. (2014)	ASK14	2.211	-3.109	0.057	10
Chiou ve Youngs (2008)	CY08	2.274	-7.249	0.055	11
Boore ve Atkinson (2008)	BA08	2.391	-14.474	0.050	12
Idriss (2008)	I08	2.546	-23.186	0.045	13
Akkar ve Bommer (2007)	AB07	2.548	-23.293	0.045	14
Akkar ve Bommer (2010)	AB10	2.695	-30.724	0.041	15
Campbell ve Bozorgnia (2008)	CB08	3.335	-55.544	0.026	16
Yenier ve Atkinson (2015)	YA15	3.464	-59.347	0.024	17

Delavaud vd. (2012) yöntemi ile hesaplanan ağırlıklara dayalı olarak, Betal17, CY14, Cetal15 ve CF08 için sırasıyla 0.26, 0.26, 0.24 ve 0.24 dal ağırlıkları ile OSTA için Şekil 7'deki mantık ağacı yapısı oluşturulmuştur.

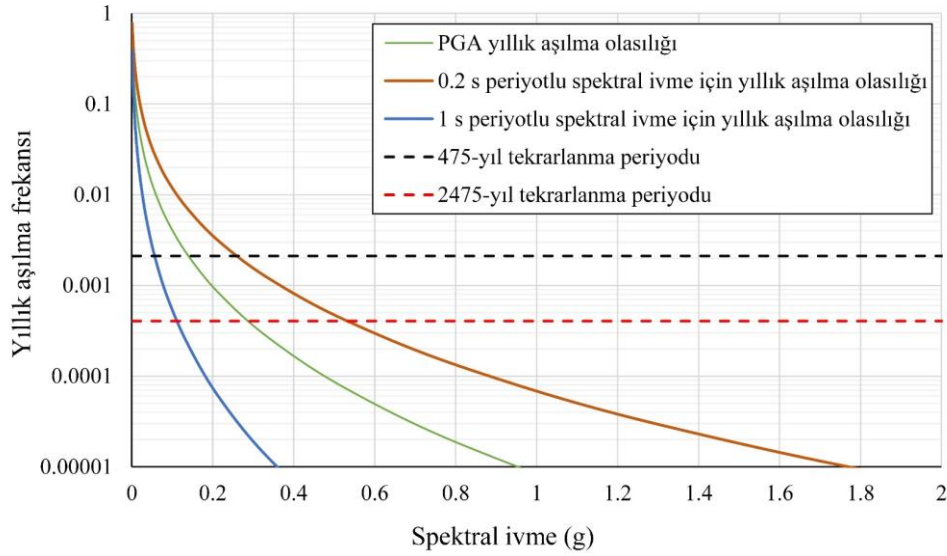
4. SONUÇLAR

Ordaz vd. (2017) tarafından geliştirilen R-CRISIS (V20.1.1) bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilen Kayseri kenti sismik tehlike analizleri sonucunda 50 yılda aşılma olasılığı %2 ve %10, tekrarlanma periyodu sırasıyla 2475 yıl ve 475 yıl, olan deprem tehlikesini ifade eden Deprem Düzeyi 1 ve Deprem Düzeyi 2 için çeşitli tehlike eğrileri ve haritaları hazırlanmıştır. Bu çalışmanın ilk sonucu olarak, Kayseri kent merkezinin anakaya seviyesi için PGA, $T=0.2s$ ve $T=1.0s$ periyotlu spektral ivmeler ile ilişkili, yıllık aşım sıklığı olarak tanımlanan sismik tehlike eğrileri Şekil 8'de gösterildiği gibi elde edilmiştir.



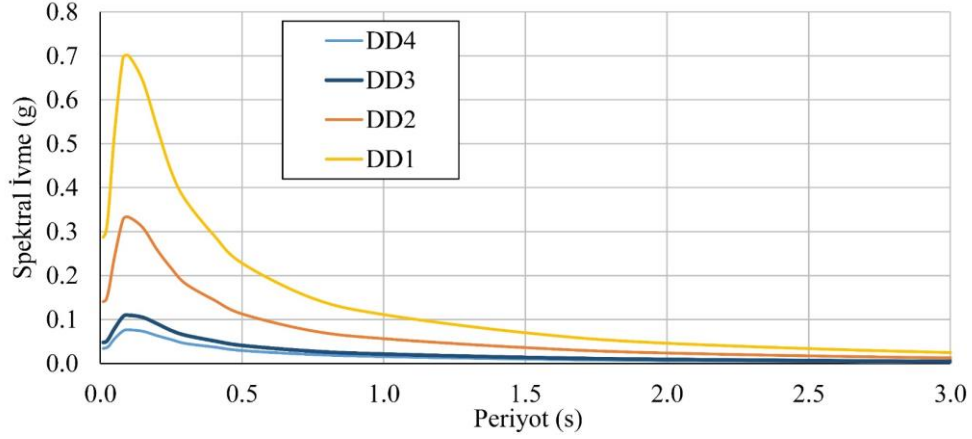
Şekil 7. Şekil açıklaması şeklin altında olmalı ve ortalananmalıdır

Kayseri kent merkezi için PGA, $T=0.2s$ ve $T=1s$ periyotlarındaki spektral ivmeler DD1 için sırasıyla 0.287g, 0.537g ve 0.111g olarak hesaplanırken DD2 için sırasıyla 0.141g, 0.259g ve 0.057g olarak elde edilmiştir.



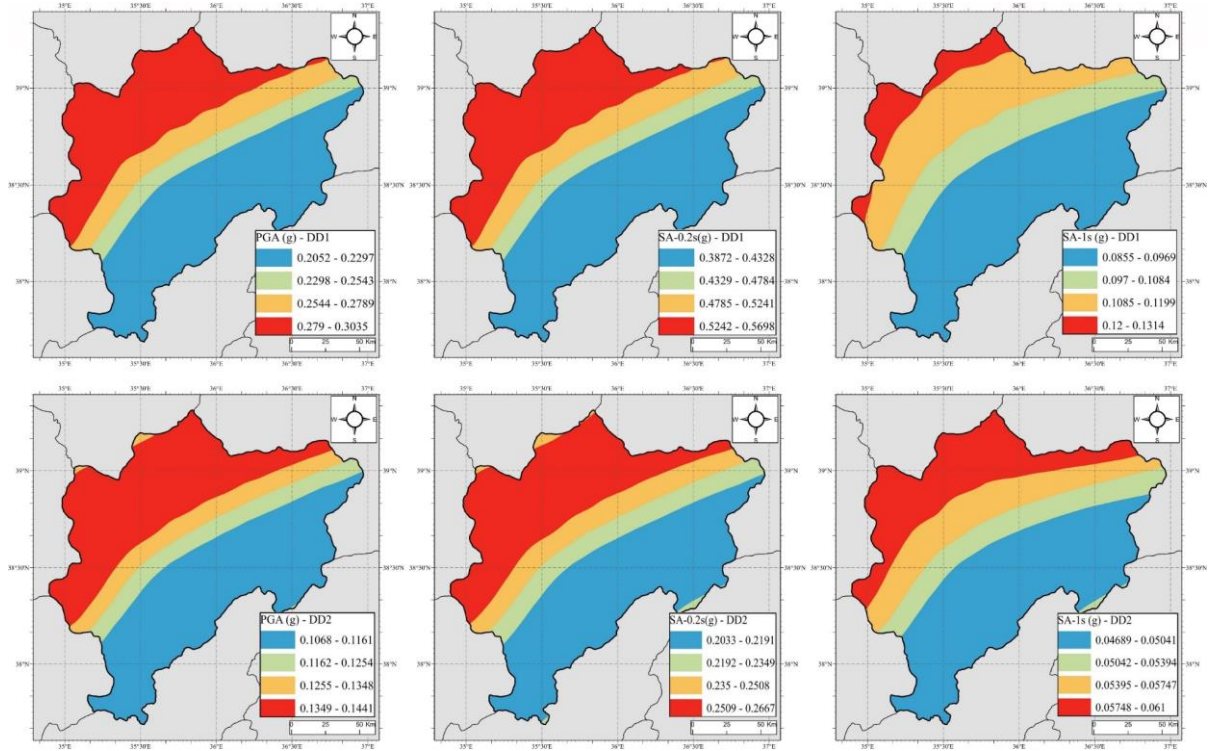
Şekil 8. Kayseri kent merkezi ana kaya seviyesi PGA, $T=0.2s$ ve $T=1s$ spektral periyotları için sismik tehlike eğrileri

Tekrarlanma periyodu sırasıyla 2475, 475, 72 ve 43 yıl olan DD1, DD2, DD3 ve DD4 deprem tehlike düzeyleri için Kayseri kent merkezi anakaya seviyesinde elde edilen üniform tehlike spektrumları Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Kayseri kent merkezi anakaya seviyesi için geliştirilen sahaya özel tehlike tepki spektrumları

DD1 ve DD2 için, ana kaya seviyesi için geliştirilen PGA, $T=0.2s$ ve $T=1.0s$ periyotlu spektral ivmeler ile ilişkili sismik tehlike haritaları Şekil 10'da gösterilmektedir. Şekilde Kayseri kentinin kuzeybatı kısmının, güneydoğu kısmına göre daha yüksek PGA ve spektral ivme değerlerine sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 10. Kayseri kentinin anakaya seviyesi için bu çalışmada geliştirilen PGA, $T=0.2s$ ve $T=1.0s$ periyotlu spektral ivme haritaları

KAYNAKLAR

- Abrahamson, N.A., Silva, W.J. ve Kamai, R. (2014), "Summary of the ASK14 Ground Motion Relation for Active Crustal Regions", Earthquake Spectra, 30:1025–1055. <https://doi.org/10.1193/070913eqs198m>.
- Akkar, S. ve Bommer, J.J. (2010), "Empirical Equations for the Prediction of PGA, PGV, and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East", Seismological Research Letters, 81:195–206. <https://doi.org/10.1785/gssrl.81.2.195>.
- Akkar, S., Bommer, J.J. (2007), "Empirical prediction equations for peak ground velocity derived from strong-motion records from Europe and the Middle East", Bulletin of the Seismological Society of America, 97:511–530. <https://doi.org/10.1785/0120060141>
- Anbazhagan, P., Bajaj, K., Moustafa, S.S.R. ve Al-Arifi, N.S.N. (2015), "Maximum magnitude estimation considering the regional rupture character", Journal of Seismology, 19:695–719.
- Bindi, D., Cotton, F., Kotha, S.R., vd. (2017), "Application-driven ground motion prediction equation for seismic hazard assessments in non-cratonic moderate-seismicity areas" Journal of Seismology, 21:1201–1218. <https://doi.org/10.1007/s10950-017-9661-5>.
- Bindi, D., Pacor, F., Luzi, L., vd. (2011), "Ground motion prediction equations derived from the Italian strong motion database", Bulletin of Earthquake Engineering, 9:1899–1920. <https://doi.org/10.1007/s10518-011-9313-z>.
- Boore, D.M., Atkinson, G.M. (2008), "Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s", Earthquake Spectra, 24:99–138. <https://doi.org/10.1193/1.2830434>.
- Boore, D.M., Stewart, J.P., Seyhan, E., Atkinson, G.M. (2014), "NGA-West2 Equations for Predicting PGA, PGV, and 5% Damped PSA for Shallow Crustal Earthquakes." Earthquake Spectra, 30:1057–1085. <https://doi.org/10.1193/070113eqs184m>.
- Bozkurt, E. (2001), "Neotectonics of Turkey—a synthesis." Geodinamica acta, 14:3–30. <https://doi.org/10.1080/09853111.2001.11432432>.
- Campbell, K.W. ve Bozorgnia, Y. (2014), "NGA-West2 Ground Motion Model for the Average Horizontal Components of PGA, PGV, and 5% Damped Linear Acceleration Response Spectra." Earthquake Spectra, 30:1087–1115. <https://doi.org/10.1193/062913eqs175m>.
- Campbell, K.W. ve Bozorgnia, Y. (2008), "NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 s." Earthquake Spectra, 24:139–171. <https://doi.org/10.1193/1.2857546>.
- Cauzzi, C. ve Faccioli, E. (2008), "Broadband (0.05 to 20 s) prediction of displacement response spectra based on worldwide digital records." Journal of Seismology, 12:453–

475. <https://doi.org/10.1007/s10950-008-9098-y>.
- Cauzzi, C., Faccioli, E., Vanini, M. ve Bianchini, A. (2015), "Updated predictive equations for broadband (0.01–10 s) horizontal response spectra and peak ground motions, based on a global dataset of digital acceleration records", Bulletin of Earthquake Engineering, 13:1587–1612. <https://doi.org/10.1007/s10518-014-9685-y>.
- Chiou, B.S.J. ve Youngs, R.R. (2014), "Update of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra", Earthquake Spectra, 30:1117–1153. <https://doi.org/10.1193/072813eqs219m>.
- Chiou, B.S.J.J. ve Youngs, R.R. (2008), "An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra", Earthquake Spectra, 24:173–215. <https://doi.org/10.1193/1.2894832>.
- Cornell, C.A. (1968), "Engineering seismic risk analysis", Bulletin of the seismological society of America, 58:1583–1606.
- Delavaud, E., Scherbaum, F., Kuehn, N. ve Allen, T. (2012), "Testing the global applicability of ground-motion prediction equations for active shallow crustal regions", Bulletin of the Seismological Society of America, 102:707–721. <https://doi.org/10.1785/0120110113>
- Delavaud, E., Scherbaum, F., Kuehn, N. ve Riggelsen, C. (2009), "Information-theoretic selection of ground-motion prediction equations for seismic hazard analysis: An applicability study using californian data", Bulletin of the Seismological Society of America, 99:3248–3263. <https://doi.org/10.1785/0120090055>.
- Deniz, A. (2006), "Estimation of earthquake insurance premium rates based on stochastic methods", Middle East Technical University (METU), Department of Civil Engineering M Sc Thesis.
- Derras, B., Bard, P.Y. ve Cotton, F. (2016), "Site-condition proxies, ground motion variability, and data-driven GMPEs: Insights from the NGA-West2 and RESORCE data sets", Earthquake Spectra, 32:2027–2056. <https://doi.org/10.1193/060215EQS082M>.
- Emre, O., Duman, T.Y., Ozalp, S. vd. (2018), "Active fault database of Turkey", Bulletin of Earthquake Engineering, 16:3229–3275. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2>.
- Gupta, I.D. (2002), "The state of the art in seismic hazard analysis", ISET Journal of Earthquake Technology, 39:311–346.
- Idriss, I.M. (2014), "An NGA-West2 Empirical Model for Estimating the Horizontal Spectral Values Generated by Shallow Crustal Earthquakes", Earthquake Spectra, 30:1155–1177. <https://doi.org/10.1193/070613eqs195m>.
- Idriss, I.M. (2008), "An NGA empirical model for estimating the horizontal spectral values generated by shallow crustal earthquakes", Earthquake Spectra, 24:217–242. <https://doi.org/10.1193/1.2924362>.
- Kadirioğlu, F.T., Kartal, R.F., Kılıç, T., vd. (2018), "An improved earthquake catalogue ($M \geq$

- 4.0) for Turkey and its near vicinity (1900–2012)”, Bulletin of Earthquake Engineering, 16:3317–3338. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0064-8>.
- Kijko, A. (2016), “Ha3 Matlab code, released 3.01. Seismic hazard assessment for selected area”, e-mail: Andrzej.kijko@up.ac.za University of Pretoria, South Africa.
- Kijko, A. (2004), “Estimation of the maximum earthquake magnitude, m_{max} ”, Pure and Applied Geophysics, 161:1655–1681. <https://doi.org/10.1007/s00024-004-2531-4>.
- Kijko, A. ve Sellevoll, M.A. (1989), “Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files. Part I. Utilization of extreme and complete catalogs with different threshold magnitudes”, Bulletin of the Seismological Society of America, 79:645–654.
- Kijko, A. ve Smit, A. (2012), “Extension of the Aki-Utsu b-Value estimator for incomplete catalogs”, Bulletin of the Seismological Society of America, 102:1283–1287. <https://doi.org/10.1785/0120110226>.
- Ordaz, M., Martinelli, F., Aguilar, A., vd. (2017), “R-CRISIS. Program and platform for computing seismic hazard”.
- Över, S., Yilmaz, H., Pinar, A., vd. (2013), “Plio-Quaternary Stress State in the Burdur Basin, SW-Turkey”, Tectonophysics, 588:56–68.
- Wells, D.L. ve Coppersmith, K.J. (1994), “New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement”, Bulletin of the Seismological Society of America, 84:974–1002.
- Yenier, E. ve Atkinson, G.M. (2015), “Regionally adjustable generic ground-motion prediction equation based on equivalent point-source simulations: Application to central and eastern North America”, Bulletin of the Seismological Society of America, 105:1989–2009.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı	OSTA	Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi
DD1	Deprem Düzeyi 1	PGA	Pik Yer İvmesi
DD2	Deprem Düzeyi 2	SA	Spektral İvme
GMPE	Yer Hareketi Tahmin Denklemi	STA	Sismik Tehlike Analizi
Mmaks	Maksimum deprem magnitudü	TBDY2018	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği