

Sakarya İli Yoğun Yerleşim Alanlarına Ait Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi

¹Elif Toplu and ^{*2}Osman Kırtel

¹ Faculty of Tecnology, Department of Civil Engineering Sakarya University of Applied Sciened, Turkey

^{*1} Faculty of Tecnology, Department of Civil Engineering Sakarya University of Applied Sciened, Turkey

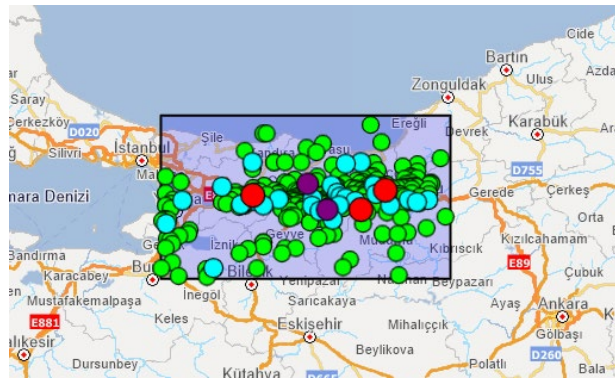
Özet

TBDY 2018 ile birlikte Türkiye’de deprem tehlike hesaplamalarında olasılıksal yöntemler kullanılmaya başlanmış ve AFAD Deprem Tehlike Haritaları interaktif olarak üretilebilmektedir. Sakarya ili Kuzeydoğu Anadolu Fay Hattı üzerinde yoğun deprem alan bir bölgede yer almaktadır. Son yıllarda, deprem tehlike hesaplamalarında yerel ölçekte haritalar üretilmeye başlanmış ve henüz Sakarya ili için yerel bir deprem tehlike haritası mevcut değildir. Bu çalışmada birçok akademik ve ticari projede kullanılmış olan R-CRISIS 2015 yazılımı kullanılarak Sakarya ilinin yoğun yerleşim alanlarına sahip merkez ilçeleri için Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi yapılmıştır. Tehlike analizi sonuçları, TBDY 2018’e göre hesap edilen AFAD Deprem Tehlike Haritalarından elde edilen spektrum eğrileri ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, AFAD Deprem Tehlike Haritaları verilerinin analiz sonuçları ile bazı bölgelerde örtüştüğü bazı bölgelerde ise güvenli tarafta kaldığı gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Olasılıksal Deprem Tehlike Analizi, Sakarya, R-CRISIS 2015, TBDY 2018

1. Giriş

Sakarya ili, Marmara bölgesinin Çatalca-Kocaeli bölümünde yer almakta ve Sakarya ili Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde bol alüvyonlu tektonik kökenli bir ova yapısına sahiptir. Bu nedenle geçmişten günümüze sürekli deprem etkilerine maruz kalmıştır [1]. Sakarya ili ve yakınında meydana gelmiş olan depremler için 1900-2021 yılı AFAD deprem kataloğunun görseli sunulmuştur [2].



Şekil 1. AFAD deprem kataloğu [3]

Türkiye için Ulusal Deprem Araştırma Programı kapsamında AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları 2018 yılında güncellenmiş olup olasılıksal yöntemler kullanılmaya başlanmıştır [2].

Türkiye için yapılan deprem çalışmalarında, ilk resmi olmayan sismik bölge haritası Sieberg (1932) tarafından yayınlanmıştır[4]. 1939 Erzincan Depremi ve 1944 Bolu Gerede Depremi sonrasında

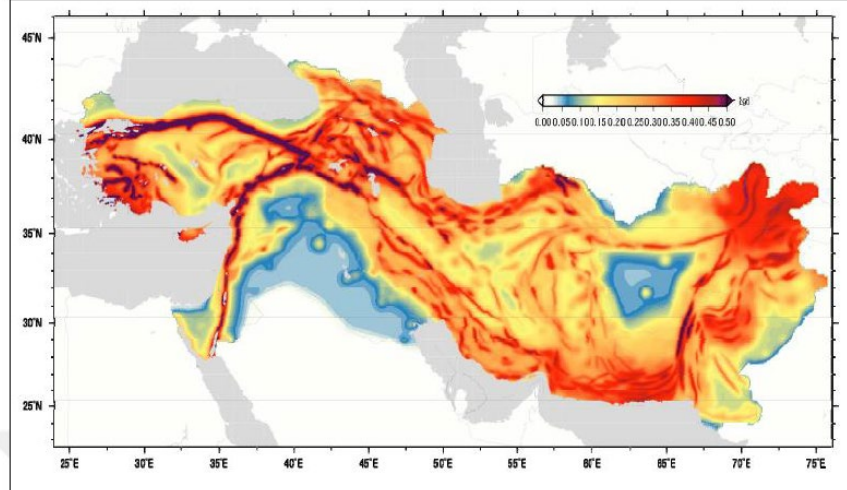
*Corresponding author: Address: Faculty of Tecnology, Department of Civil Engineering Sakarya University of Applied Sciences, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: okirtel@subu.edu.tr, Phone: +902646160230

ise Türkiye için ilk resmi sismik bölge haritası 1945 yılında yayınlanmıştır. 1963 yılında eş şiddet haritaları, tektonik haritalar, literatür çalışmaları, makro sismik yoğunluk gibi parametreler dikkate alınarak yenilenmiştir. 1992 yılında olasılıksal hesaplamaları dikkate alan deprem bölge haritası 100, 225, 475 ve 1000 yıllık dönüşüm periyodları ile maksimum yer ivmesi için geliştirilmiştir. 2018 yılında da en güncel hali UDAP projesi kapsamında geliştirilen deprem tehlike haritalarıdır [5].

SYNER-G (2012) [6], GEM1 (2009-2010) (Global Earthquake Model) [7], SHARE (2013) (Seismic Hazard Harmonization in Europe) [8], EMME (2013) (Earthquake Model of the Middle East Region) [9], Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) (1999) [10] gibi büyük ölçekli projeler deprem tehlikesi ve riskinin küresel ölçekte belirlenmesine katkıda bulunmuşlardır.

2013 Avrupa-Akdeniz Sismik Tehlike Modeli (ESHM13), Avrupa-Akdeniz bölgesi için gerçekleştirilen olasılıksal bir sismik tehlike değerlendirmesinin sonucudur. ESHM13, Avrupa Birliği tarafından Yedinci Araştırma Çerçeve Programı kapsamında kurulan SHARE Projesi kapsamında geliştirilmiştir [9].

EMME (2013), Türkiye, Gürcistan, Ermenistan, Azerbaycan, Suriye, Lübnan, Ürdün, İran, Pakistan ve Afganistan gibi ülkeleri kapsayan deprem tehlikesinin değerlendirilmesini, yapısal hasarlar, can kayıpları ve ekonomik kayıplar açısından ilişkili riskin değerlendirilmesini amaçlayan bir Ortadoğu bölgesi projesidir (Şekil 2).



Şekil 2. EMME Projesi deprem tehlike haritası (Tekrarlanma periyodu 475 yıl)

UDAP (2012-2023) , İRAP, AFAD-RED, ELER gibi projeler de ülkemizde deprem tehlike ve risk çalışmalarına katkıda bulunan hâlihazırda mevcut olan proje ve yazılımlardır.

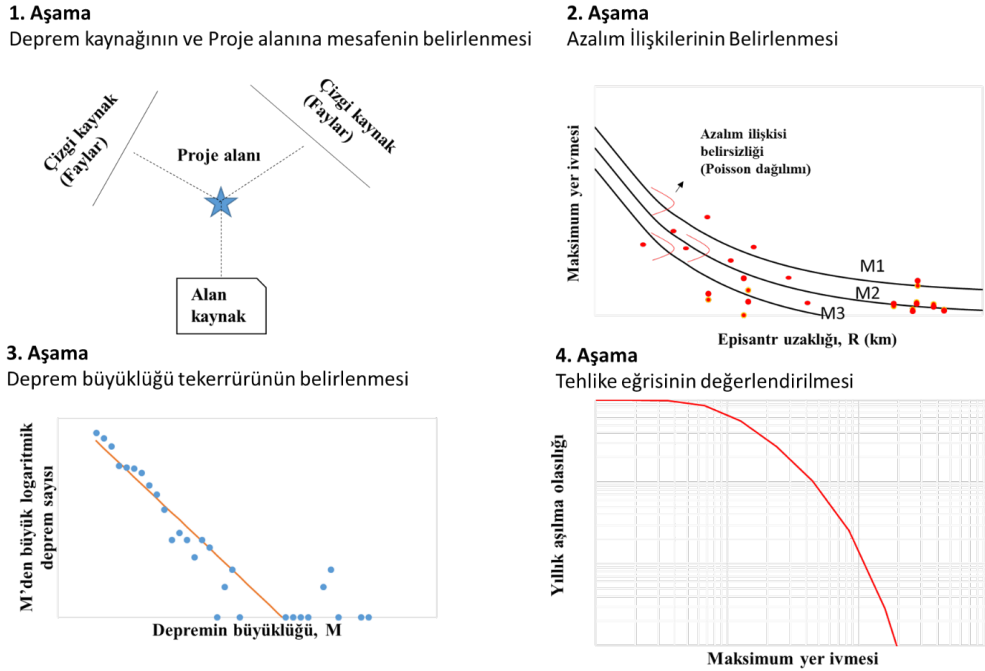
Ülkemizde yapılmış olan birçok olasılıksal sismik tehlike analizi çalışmaları bulunmaktadır [11–15]. Marmara bölgesi için literatürde rastlanılmış en güncel çalışma Kocaeli ve çevresi için yapılmış olup Sakarya'nın da bir bölümünü içermektedir [5].

2. Yöntem

Bu çalışmada ilk versiyonu 1986 yılında Profesör Mario Ordaz tarafından yayınlanan ve CRISIS, Risk-UE, SEISAN, CAPRA, USERISK gibi akademik ve ticari projelerde kullanılan R-CRISIS 2015 yazılımı [16] kullanılarak Sakarya ili yoğun yerleşim alanlarını kapsayan merkez ilçeler için sismik tehlike hesabı yapılmıştır. R-CRISIS 2015 yazılımında analizler 6 farklı aşamadan oluşmaktadır. Çalışılacak bölgenin şekil dosyasının oluşturulması, çalışılacak koordinatların şekil dosyası üzerine atanması, çalışma alanının koordinatlarının belirlenmesi ve gridlere ayrılması, kaynak belirlenmesi, azalım ilişkilerinin belirlenmesi ve deprem tehlike parametrelerinin belirlenmesi şeklindedir. Analizlerde şekil dosyasının hazırlanmasında QGIS [17] yazılımından faydalanılmıştır. Kaynaklar alan kaynak ve çizgi kaynak olarak belirlenmiş ve Gutenberg Richter ilişkilerinden faydalanılmıştır. Türkiye için uygun a ve b değerleri EMME projesi verilerinden alınmıştır. Bu çalışma için Kuzeydoğu Anadolu Fayı'nın Sakarya ilini kapsayan kaynakları hesaba katılmıştır [4]. Yer hareketi tahmin modeli olarak ASK14 [18] modeli kullanılmıştır.

2.1. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi

Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi, belli bir bölgede sismik kaynak özellikleri ve kaynağın sahaya olan mesafelerinin, deprem tekerrürünün, azalım ilişkilerinin ve yer ivmesinin aşılma ihtimalinin belirsizlikler dikkate alınarak hesap edildiği bir analiz yöntemidir (Şekil 3).



Şekil 3. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi aşamaları

2.2. Deprem Tekerrürü ve Olasılığının Belirlenmesi

Ulusal Deprem Araştırma Programı kapsamında Türkiye için geliştirilen tüm olasılıksal deprem tehlikesi çalışmalarında diğer modellere göre daha güvenli sonuçlar vermesi sebebiyle Poisson olasılık modeli kullanılmıştır [19]. Poisson modeline göre (denk.1) her bir olay birbirinden bağımsız gerçekleşmektedir. Böylece iki sismik olayın aynı yer ve zamanda oluşma ihtimali sıfıra yaklaşmaktadır. Böylece depremler artçı ve öncü şoklardan ayıklanarak belirsizliklerin giderilmesi sağlanmaktadır.

$$P(N>1)=1-e^{-\lambda t} \quad (1)$$

$$\lambda = -\frac{\ln(1-P)}{t} \quad (2)$$

Denk. 3'te λ bir olayın ortalama oluşma oranını ifade etmektedir (denk.2). Denklem 4'te Gutenberg ve Richter, (1954) tarafından önerilen ve bir olayın ortalama oluşma oranını logaritmik olarak ifade eden büyüklük frekans ilişkisi deprem tehlike çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

$$\text{Log } \lambda(M) = a - bM \quad (3)$$

$\lambda(M)$ = birim zaman içinde büyüklük değeri M 'ye eşit ya da M 'den büyük ortalama deprem sayısı;

a ve b = ilgili bölge için saptanan regresyon katsayıları;

“ a ” değerleri, seçilen bölgenin büyüklüğü ve incelenen zaman aralığı ile ilişkilidir. “ b ” değerleri ise bölgenin tektonik yapısı ile ilişkilidir.

2.3. Yer Hareketi Tahmin Denklemlerinin Seçilmesi

Sakarya ili, Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde yer almaktadır. Aktif sığ kabuk içi, dalma batma zonu ve dalan levha içi depremleri için oluşturulmuş yer hareketi tahmin denklemleri Türkiye'nin tektonik yapısı nedeniyle için en uygun seçim olmaktadır. UDAP projesi kapsamında Türkiye'nin tektonik yapısına uygun olan güncel azalım ilişkileri proje kapsamında kullanılan yazılımlarda tanımlı olmadığından (ASK14 [18], BSSA14 [20], CB14 [21], CY14 [22]) aynı araştırmacıların geliştirdiği (AS08 [23], BA08 [24], CB08 [25] ve CY08 [26]) daha eski denklemler analizler için seçilmiştir. Bu çalışmada da en çok veriyi kapsayan ASK14 modeli için R-CRISIS 2015 yazılımı kullanılarak sismik tehlike hesabı yapılmış ve AFAD Deprem Tehlike Haritalarından alınan veriler ile karşılaştırması yapılmıştır [4]. ASK14 modeli bağıntısı denk. 4'te verilmiştir [27].

$$\ln Sa(g) = f_1(M, R_{rup}) + F_{RV} f_7(M) + F_{NF} f_8(M) + F_{AS} f_{11}(C_{RJB}) + f_5(S_a 1100, V_s 30) + F_{HW} f_4(R_{JB}, R_{rup}, R_x, W, Dip, Z_{TOR}, M) + f_6(Z_{TOR}) + f_{10}(Z_{1.0}, V_s(30)) + R_{eg}(V_s(30), R_{rup}) \quad (4)$$

Denk. 4’te $f_1, f_4, f_5, f_6, f_7, f_8, f_{10}, f_{11}$, bölgeler için tanımlanmış fonksiyonlar dizisidir.

*M: Moment büyüklüğü

* C_{RJB} : Centroid RJB

* Z_{TOR} : Kopmanın tepesine kadar olan derinlik (km)

* $V_s(30)$: Üst 30 m (m/s) üzerindeki kesme dalgası hızı

* Z_1 : Sahada V_s 1.0 km/s 'ye kadar derinlik (m)

* F_{RV} : Ters faylanma depremleri için sembol

* F_{NF} : Normal faylanma depremleri için sembol

* F_{AS} : Artçı şoklar için sembol

* F_{hw} : Tavan bloğu sembolü (Hanging Wall)

* R_{JB} : Joyner-Boore mesafesi (km)

* R_x : Yırtılmanın üst kenarından yatay mesafe (km)

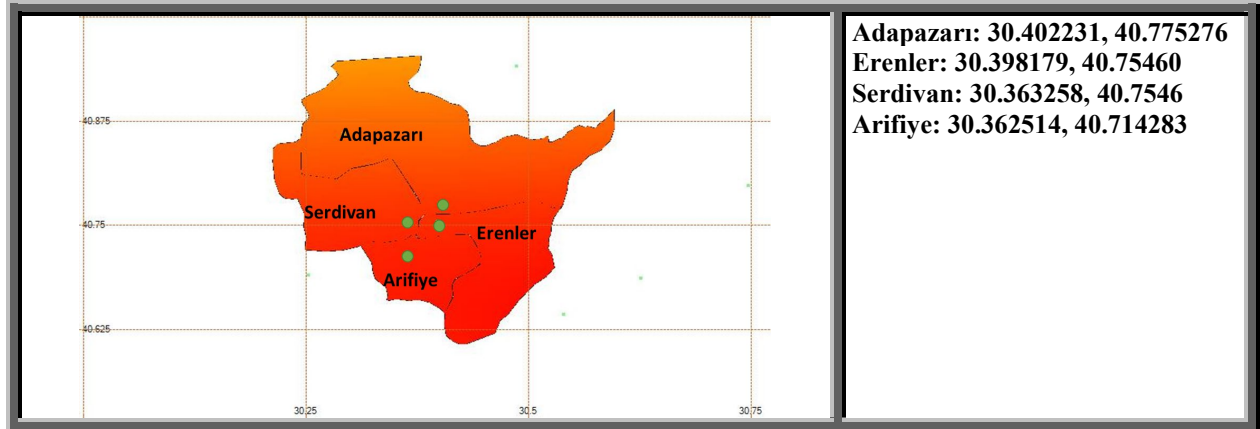
* R_{y0} : Çarpmaya paralel olarak ölçülen kopmanın sonundaki yatay mesafe

*W: Aşağı eğimli kopma genişliği

*Dip: Dip açısı

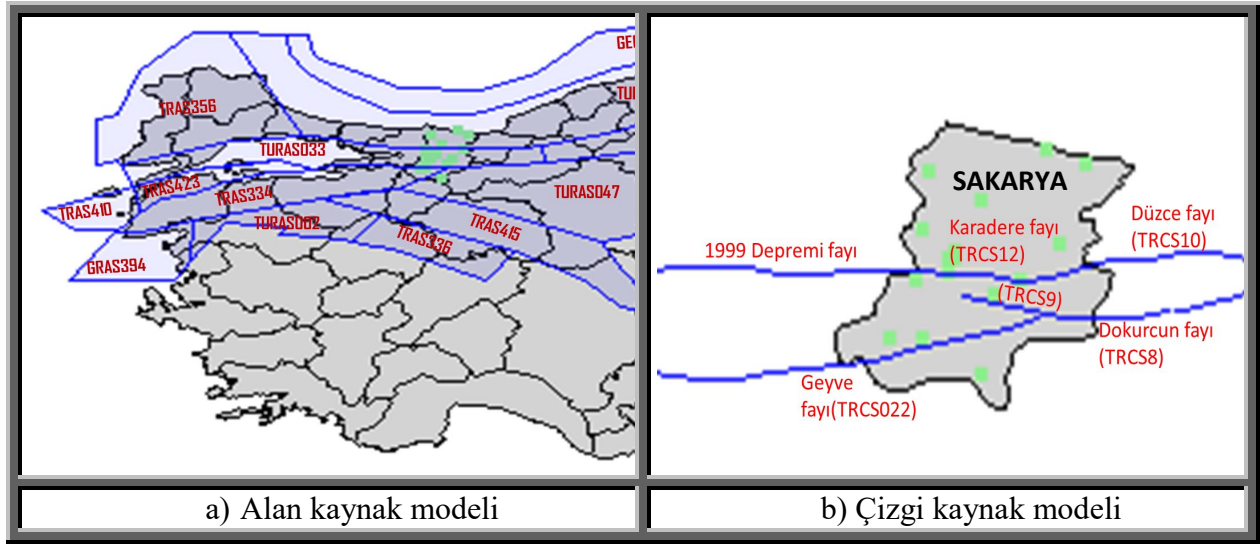
3. Sayısal Çalışma

Sayısal çalışma kapsamında Sakarya ili için her bir ilçeden alınan koordinatlar için 475 ve 2475 yıllık tekrarlanma periyodları için deprem tehlikeleri R-CRISIS 2015 yazılımı kullanılarak hesap edilmiştir. Çalışma alanı ve ilçelerden alınan koordinat bilgileri Şekil 4’ te verilmiştir.



Şekil 4. Çalışma alanı [4]

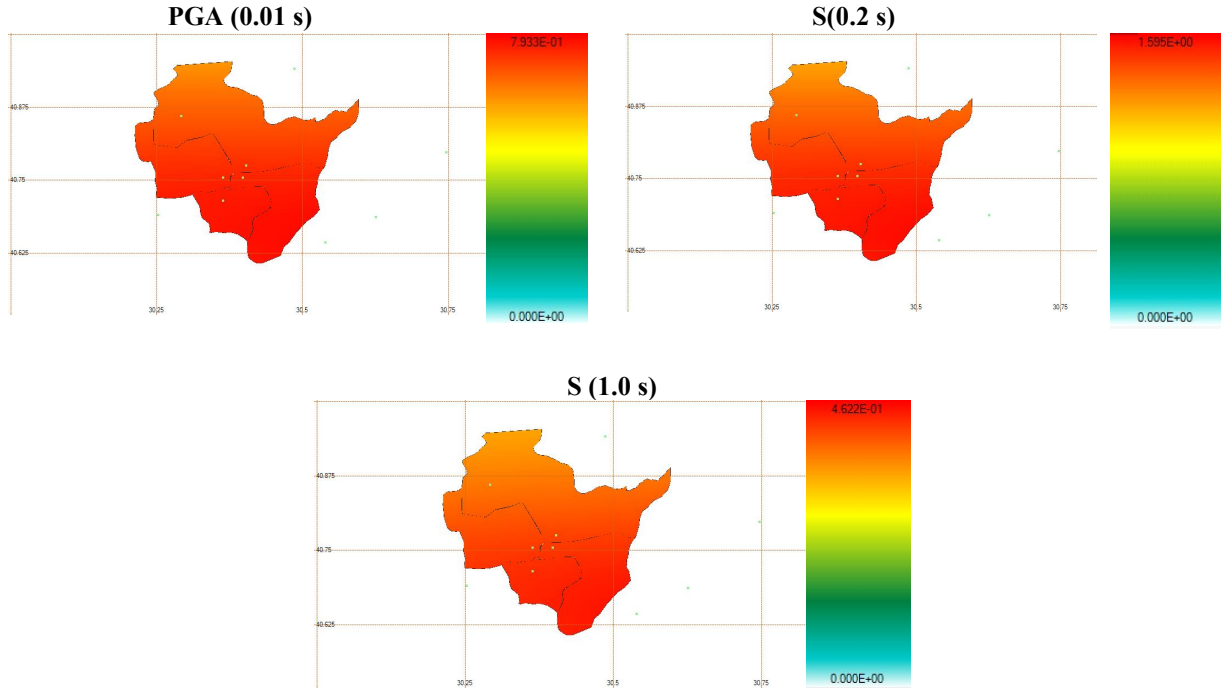
Analizde kullanılan kaynak özellikleri EMME14 modeli verilerinden yararlanılarak R-CRISIS’e aktarılmıştır. Bölgede alan ve çizgi kaynak özellikleri belirlenmiş ve Şekil 5’te görseli sunulmuştur. Sakarya ili üzerinde Karedere, Dokurcun, Düzce ve Geyve Fayları deprem yüzey kırığı olup 1900-günümüz arasında yüzey faylanması oluşturan diri faylardır (Şekil 5b).



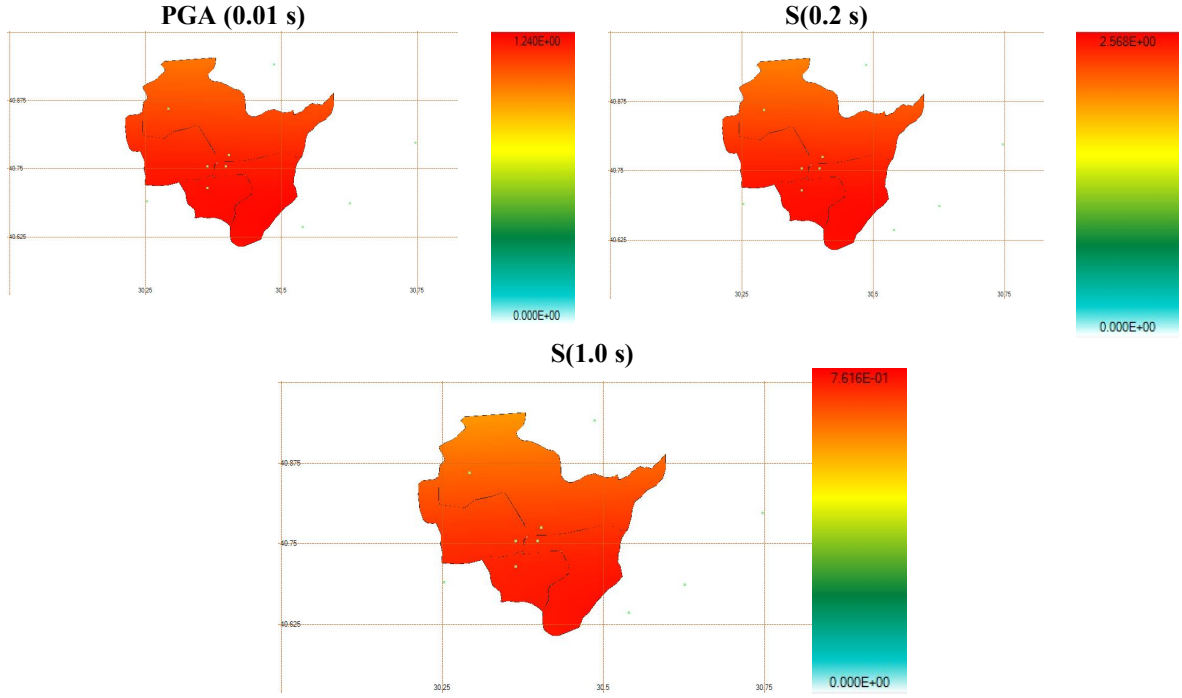
Şekil 5. Analizlerde kullanılan alan kaynak modeli [4]

4. Sonuçlar

Referans Zemin koşulu Z_B , $V_s(30)=760$ m/s için yapılan analizler sonucunda 50 yılda aşılma olasılığı %10 ve %2 olan deprem düzeyleri için (Tekrarlanma periyodu 475 yıl ve 2475 yıl) elde edilen deprem tehlike haritaları Şekil 6 ve Şekil 7’ de verilmiştir.

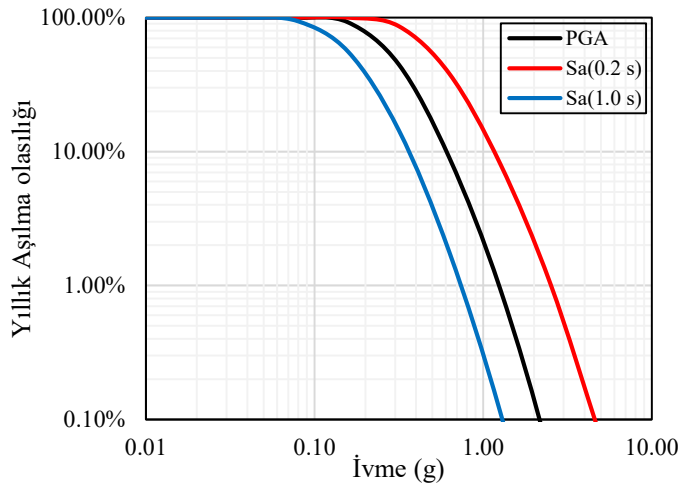


Şekil 6. Referans zemin koşulu için ASK14 tehlike haritaları (Tekrarlanma periyodu 475 yıl)



Şekil 7. Referans zemin koşulu için ASK14 tehlike haritaları (Tekrarlanma periyodu 2475 yıl)

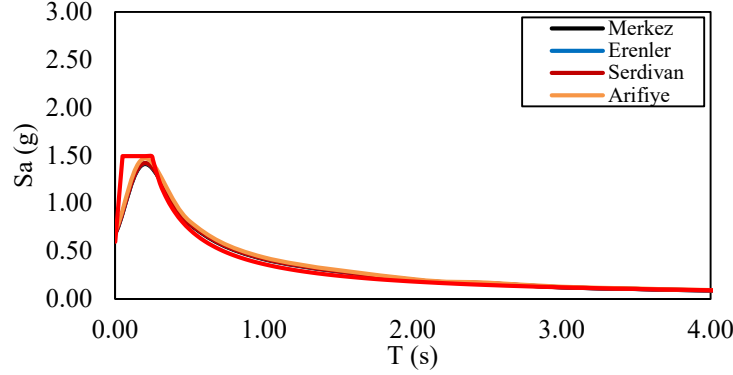
Şekil 8’de maksimum yer ivmesi ve 0.2 s ve 1 s kısa ve uzun periyod bölgeleri için sismik tehlike eğrilerinin grafiği sunulmuştur. Analiz sonucunda bölgenin kısa periyodlu bölgede daha tehlikeli olduğu görülmektedir.



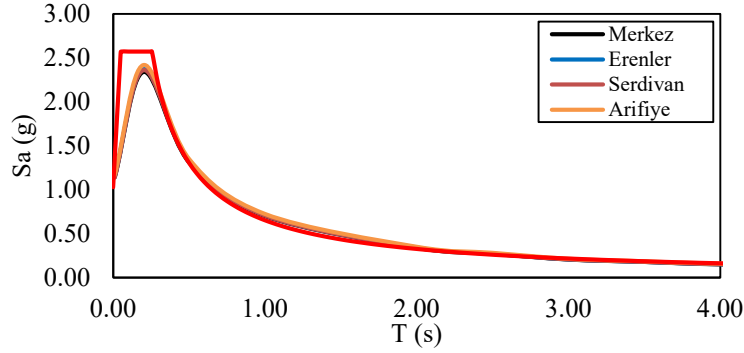
Şekil 8. Referans zemin koşulu için ASK14 tehlike eğrileri

Sakarya ili yoğun yerleşim alanlarına sahip merkez ilçeler için ASK14 yer hareketi tahmin

denklemlerine göre hesap edilen spektrum eğrileri ile TBDY 2018'e göre hesaplanan spektrum eğrileri karşılaştırılmıştır. Tekrarlanma periyodu 475 yıl olan deprem TBDY 2018'de 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan tasarım depremi seviyesini (DD-2) , tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan deprem ise 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan en büyük deprem seviyesini (DD-1) ifade etmektedir (Şekil 9-10).



Şekil 9. Tekrarlanma periyodu 475 yıl olan deprem için spektrum grafikleri karşılaştırılması



Şekil 10. Tekrarlanma periyodu 2475 yıl olan deprem için spektrum grafikleri karşılaştırılması

Çalışma sonucunda TBDY 2018' de tanımlanan DD-2 tasarım depremi ve DD-1 en büyük deprem düzeyi için karşılaştırma yapıldığında ASK14 analiz sonuçlarının uzun periyod bölgesinde örtüştüğü görülmektedir. Kısa periyod bölgesinde ise, $T=0.1$ s ve $T=0.2$ s için sırasıyla Şekil 9'a göre ASK14 modeli ve TBDY 2018 sonuçları arasında % 39.53 ve % 4.41, Şekil 10'a göre ise % 46.08 ve % 8.48'lik fark gözlemlenmiştir. Çalışma sonuçları geçmiş verilerle karşılaştırıldığında sonuçların maksimum yer ivmesi için birbirine yakın olduğu ancak kısa uzun periyod bölgeleri için sonuçlarda farklılık gözlemlenmiştir (Tablo 1).

Harman (2016)'nın çalışmasında azalım ilişkilerinin ortalaması alınarak hesaplamalar yapılmış ve kaynak tanımlamalarında sadece çizgi kaynak kullanılmıştır. Gök (2020)'nin çalışmasında da sadece çizgi kaynak için analizler gerçekleştirilmiştir. Gök (2020), EMME proje verilerinden faydalanılmış ayrıca 1999 Marmara depremine esas alan senaryo depremine göre ASK14, BS14, CY14, IDRİSS14 yer hareketi denklemlerine göre de analiz yapmıştır. Bu çalışmada da Sakarya ilini esas aldığı sonuç verileri kullanılmıştır.

Tablo 1. Çalışma sonuçlarının literatürle karşılaştırılması

	PGA		T=0.2 s		T=1.0 s	
	%2	%10	%2	%10	%2	%10
Adapazarı	1.14	0.708	2.34	1.41	0.701	0.415
Erenler	1.15	0.716	2.37	1.42	0.710	0.421
Serdivan	1.14	0.715	2.36	1.42	0.706	0.420
Arifiye	1.17	0.735	2.42	1.47	0.714	0.434
TBDY 2018	1.028	0.597	2.571	1.473	0.653	0.363
Harman,2016	0.95	0.68	2.49	1.73	0.93	0.63
Gök,2020 (EMME14)	1.12	0.939	2.52	2.22	0.78	0.584
Gök,2020 (*ASK14)	-	0.5	-	1.21	-	0.3
Gök,2020 (*BS14)	-	0.474	-	1.10	-	0.386
Gök,2020 (*CY14)	-	0.54	-	1.30	-	0.447
Gök,2020 (*IDRISS14)	-	0.71	-	1.26	-	0.29

*Senaryo depremi

Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma kapsamında ilçe bazında bir deprem tehlike hesabı yapılmış sonuçlar literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. 475 ve 2745 yıllık tekrarlanma periyodu bulunan deprem için deprem tehlike haritaları üretilmiştir. Kaynak modeli, çizgi kaynak ve alan kaynak R-CRISIS 2015 yazılımında kullanılarak analiz yapılmış olup kaynak modelleri için en kötü senaryo durumu dikkate alınarak analiz çerçevesi daralmış Sakarya'nın merkez ilçeleri için hesap yapılmıştır. Analiz sonuçlarındaki farklılıkların kullanılan azalım ilişkilerinin farklılıklarından, kaynak tanımlamalarındaki farklılıklardan olabileceği düşünülmektedir. Literatüre bakıldığında kısa periyod bölgesinde TBDY 2018'e göre hesap edilen AFAD Deprem Tehlike Haritalarından alınan verilerin güvenli tarafta kaldığı görülmektedir. Bölge için önerilen diğer yeni nesil yer hareketi denklemlerinin de uygulanarak, karşılaştırmalı ele alınması, bölgenin depremselliğinin değerlendirilmesi bakımından önem arz etmektedir.

Kaynakça

- [1] Burucu ÖNT. Serdivan / Sakarya Bölgesinin Yerbilimleri Verilerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Kullanılarak Yorumlanması Yüksek Lisans Tezi. 2019;
- [2] AFAD. Deprem Tehlike Haritası [Internet]. Available from: <https://tdth.afad.gov.tr/>
- [3] AFAD. AFAD Deprem Kataloğu. 2022; Available from: <https://deprem.afad.gov.tr/ddakatalogu>
- [4] Akkar S, Duman T, Ergintav S, Tuba F, Kartal RF, Tekin S. Türkiye Sismik Tehlike Haritası Proje Dokümanı. 2014;
- [5] Gök MG. Monte Carlo Yöntemi İle Kocaeli İli Ve Çevresi İçin Olasılıksal Deprem Tehlike Analizi. 2020.
- [6] Syner-G [Internet]. [cited 2022 Jun 4]. Available from: <http://www.vce.at/SYNER-G/files/project/proj-overview.html>
- [7] GEM Products | GEM Foundation, (n.d.). <https://www.globalquakemodel.org/products> (accessed May 31, 2022).
- [8] SHARE, (n.d.). <http://www.share-eu.org/> (accessed August 5, 2022).
- [9] EFEHR | ESHM2013'e Genel Bakış [Internet]. [cited 2022 Jun 24]. Available from:

- <http://hazard.efehr.org/en/Documentation/specific-hazard-models/europe/overview/>
- [10] Index [Internet]. [cited 2022 Jun 24]. Available from: <http://static.seismo.ethz.ch/GSHAP/index.html>
- [11] Harman E, Küyük HS. Sakarya İli İçin Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi. SAÜ Fen Bilim Enstitüsü Derg. 2016 Apr 24;20(1):23.
- [12] İnce Y. Kahramanmaraş ve Çevresinin Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi. Yüksek Lisans Tezi. 2016.
- [13] Harman E, Küyük HS. Sakarya İli için Olasılığa Dayalı Sismik Tehlike Analizi. 2014.
- [14] Karaca H. Güncel veriler ve olasılıksal sismik tehlike analizi kullanarak Eskişehir için sismik tehlike haritası ve ivme eğrileri elde edilmesi. J Fac Eng Archit Gazi Univ. 2017;32(1):265–73.
- [15] Işık E, Sağıroğlu Ç, Tozlu Z, Ustaoglu ÜS. Farklı Deprem Senaryolarına Göre Kırşehir İli Kayıp Tahmin Analizleri. Doğal Afetler ve Çevre Derg. 2018;90(434):80–93.
- [16] Ordaz M, Aguilar A, Arboleda J. Crisis 2007. 2007;
- [17] Ekibi QG. QGIS Coğrafi Bilgi Sistemi [Internet]. 2022. Available from: <https://www.qgis.org>
- [18] Abrahamson NA, Silva WJ, Kamai R. Summary of the ASK14 ground motion relation for active crustal regions. Earthq Spectra. 2014;30(3):1025–55.
- [19] Poisson SD. Recherches Sur la Probabilitedes Jugements en Matieres Criminelles et Matiere Civile. 1838;
- [20] Boore DM, Stewart JP, Seyhan E, Atkinson GM. NGA-West2 equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PSA for shallow crustal earthquakes. Earthq Spectra. 2014;30(3):1057–85.
- [21] Bozorgnia Y, Abrahamson NA, Al Atik L, Ancheta TD, Atkinson GM, Baker JW, et al. NGA-West2 research project. Earthq Spectra. 2014;30(3):973–87.
- [22] Chiou BSJ, Youngs RR. Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. Earthq Spectra. 2014;30(3):1117–53.
- [23] Abrahamson N, Silva W. Summary of the Abrahamson & Silva NGA ground-motion relations. Earthq Spectra. 2008;24(1):67–97.
- [24] Boore DM, Atkinson GM. 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. Earthq Spectra. 2008;24(1):99–138.
- [25] Campbell KW, Bozorgnia Y. 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: <https://doi.org/10.1193/1.2857546> [Internet]. 2019 Dec 3 [cited 2022 Jun 24];24(1):139–71. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1193/1.2857546>
- [26] Chiou BSJ, Youngs RR. An NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. Earthq Spectra. 2008;24(1):173–215.
- [27] Abrahamson NA, Silva WJ, Kamai R. Update of the AS08 Ground-Motion Prediction equations based on the NGA-west2 data set. Pacific Eng Res Cent Rep [Internet]. 2013;(May):174.[#0](http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Update+of+the+AS08+Ground-Motion+Prediction+Equations+Based+on+the+NGA+West+2+Data+Set)