



Project funded by
EUROPEAN UNION



<https://www.redact-project.eu/>



KOCAELİ İLİ VE ÇEVRESİ İÇİN OPENQUAKE YAZILIMI İLE OLASILIKSAL DEPREM TEHLİKE ANALİZİ



Methiye GÜNDOĞDU GÖK^{1*}, Abdullah Can ZÜLFİKAR²



¹ Doktora Öğrencisi, Afet Yönetimi Enstitüsü/Deprem Mühendisliği/İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, gundoqduqok20@itu.edu.tr

²Doç. Dr.Öğretim Üyesi,İnşaat Mühendisliği / Gebze Teknik Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, aczulfikar@gtu.edu.tr

İçindekiler

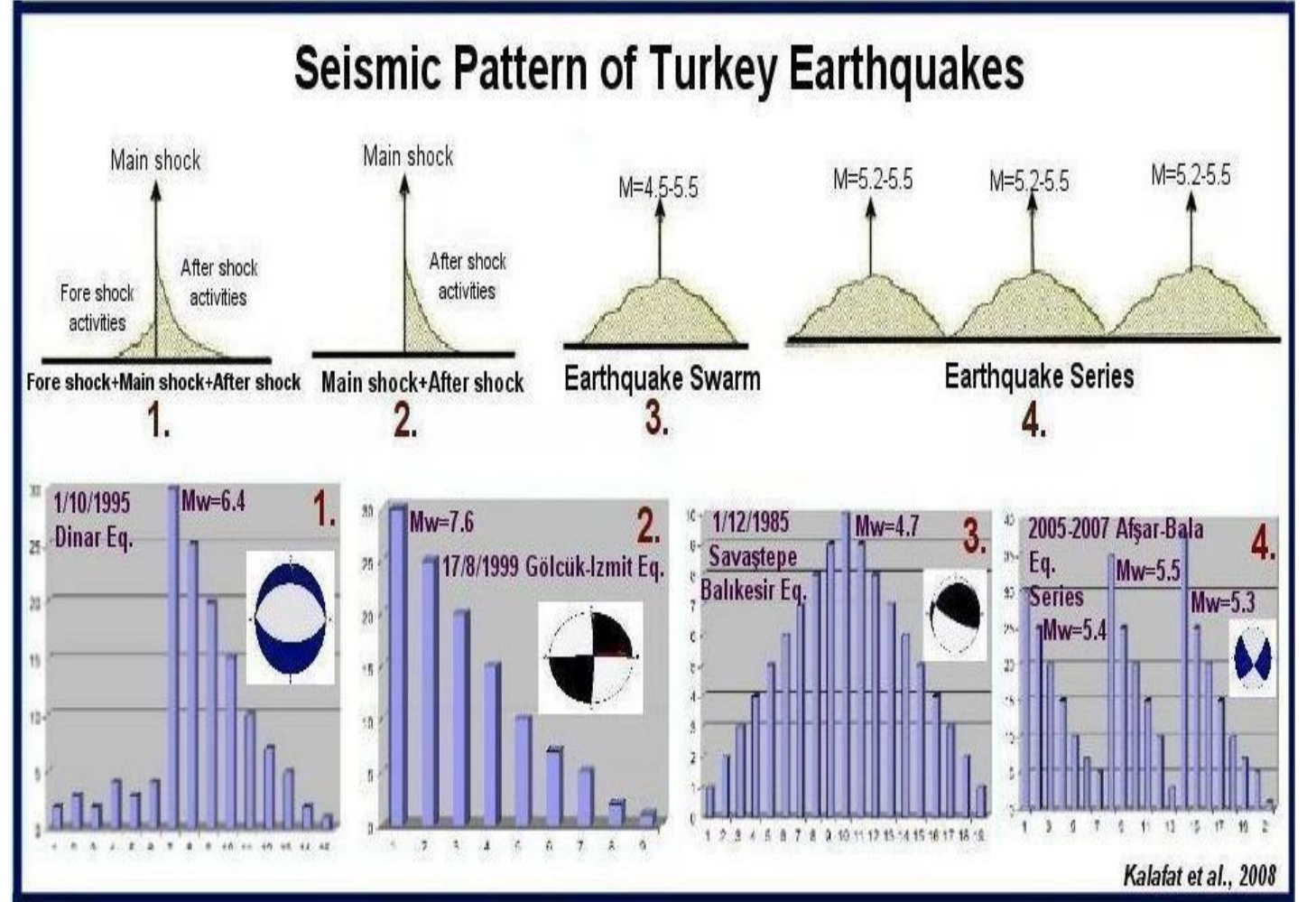
- Giriş
- Bölgenin Depremselliği
- Deprem Tehlikesi Nedir ?
- Deprem Magnitüd ve Tekerür Modeli
- Vs30 Zemin Bilgisi
- Yer Hareketi Tahmin Denklemi
- Openquake Tehlike Modülü
- Sonuçlar

Giriş

- **Deprem tehlikesi**, can kaybı ve hasarlar meydana getirebilecek büyüklükteki depremlerin oluşturduğu yer hareketlerinin sınırlı bir bölgede ve sınırlı bir zaman dilimi içinde oluşma ihtimali olarak açıklanabilir.
- Meydana gelecek depremlerin yeri, büyüklüğü, zamanı ve diğer başka özellikleri bilinmezlik içinde olduğundan deprem tehlikesinin belirlenmesi olasılık hesaplarına dayanarak tahmin edilmeye çalışılır.
- Jeolojik bilgiler, güncel diri fay bilgisi ve geoteknik bilgiler ile son zamanlarda hızla gelişen yeni yöntemler, deprem tehlikesinin değerlendirilmesine ve analizine oldukça katkı sağlamaktadır.

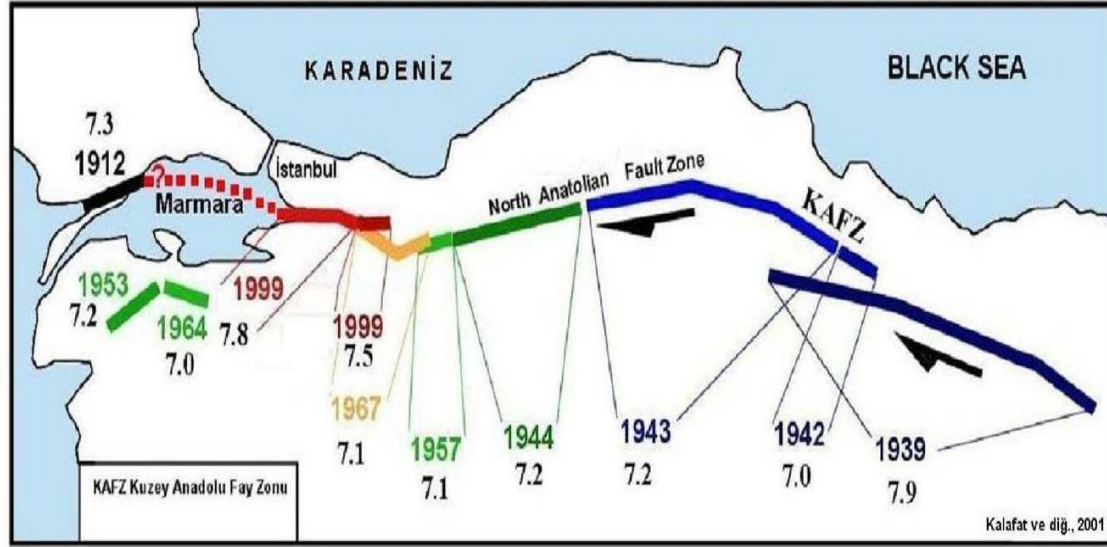
Bölgenin Depremselliği

İleride olabilecek depremlerin meydana getireceği hasar ve tehlikeleri kestirebilmek adına sismik tehlike alanındaki çalışmalar oldukça önem arz etmektedir. Marmara bölgesinde bulunan Kocaeli, ülkenin önemli kentleri arasındadır. Bu kent, aktif fayların fazla olduğu Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) segmentinde yer almaktadır. KAFZ’ndaki deprem oluş düzeni “Ana şok + Artçı şoklar” şeklindedir (Şekil 1) (Kalafat vd., 2011). KAFZ’deki ana fay segmentlerinde büyük kırılma öncesi öncü şok aktivitesi görülmemektedir, fakat bu bölgede deprem aktivitesinin olmadığı anlamına gelmemektir (Kalafat vd., 2011). Aksine KAFZ’da meydana gelecek büyük bir deprem öncesi yıllarca süre gelen yoğun deprem aktivitesi görülür, bunun anlamı ise fay segmentinin diri ve hazırlık evresinde olduğudur.



(Şekil 1) Kalafat vd., 2011

- KAFZ'nun ana segmentleri üzerinde belli periyotlar ile 1939 Erzincan Depremi sonrasında batıya doğru göç eden bir dizi büyük deprem oluşmuştur (Şekil 2, Tablo 1).



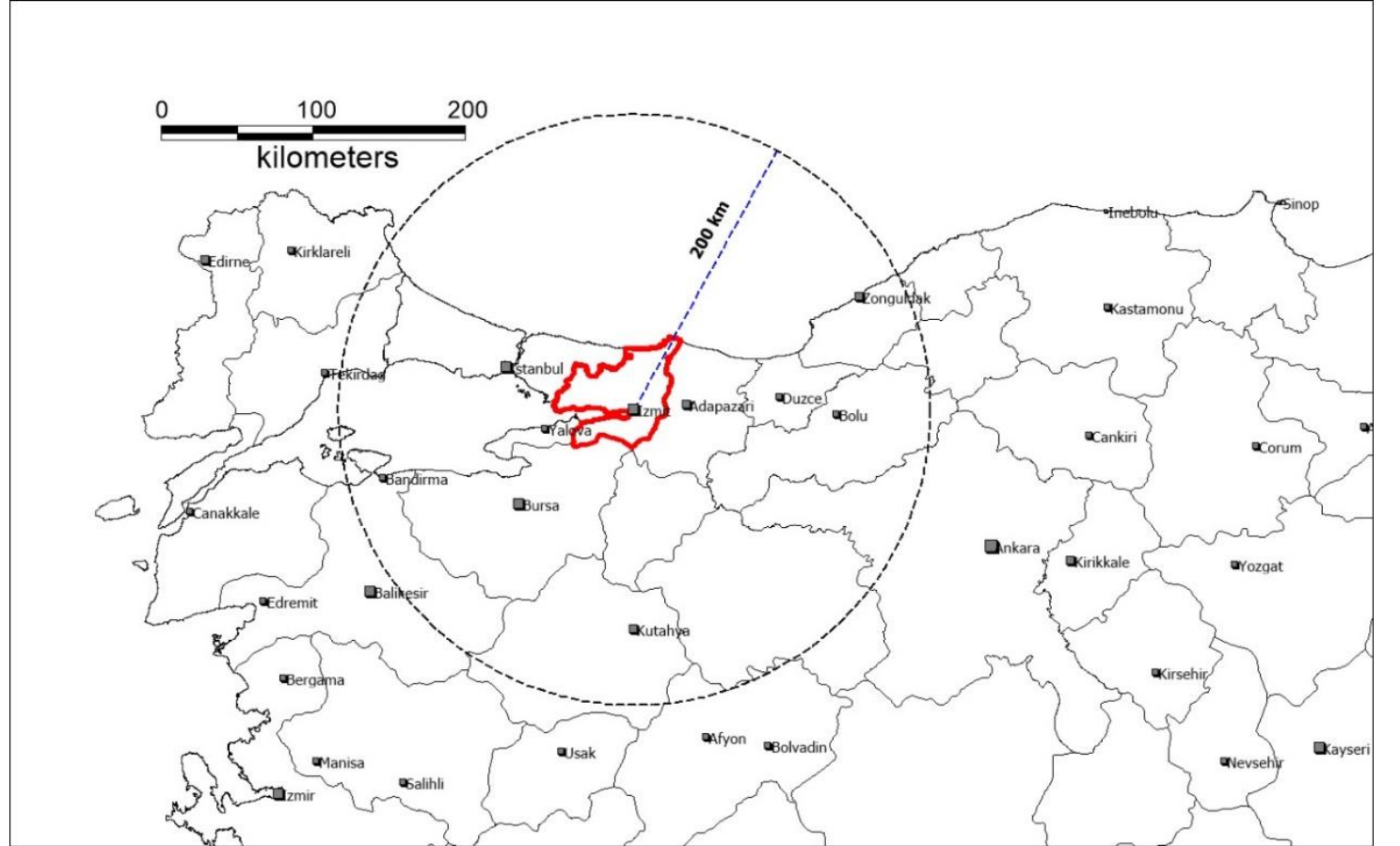
The westward migration earthquakes since 1939 along the North Anatolian Fault

Şekil 2. 1939 Depreminden sonra büyük depremlerin batıya göçü (Kalafat ve diğ., 2001)

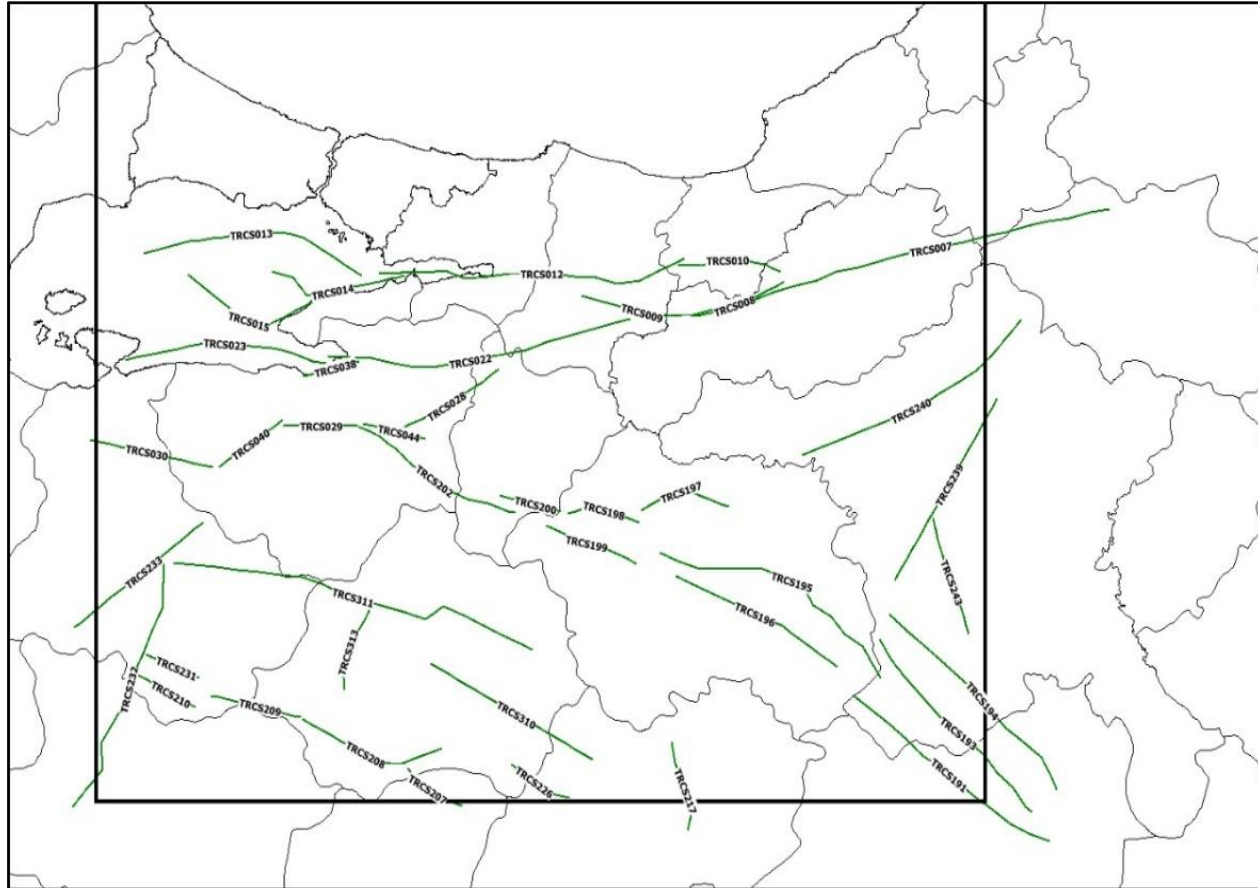
No	Tarih-Date			Zaman-Time			Koordinat-Coordinate			Derinlik-Depth		Magnitüd-Magnitude		Yer-Location
	Gün	Ay	Yıl	Saat	Dak.	Sn.	Enlem-K	Boylam-D	Ref	Km.	Ref	Ms	Ref	
1	12	12	1939	23	57	20.9	39.8	39.51	1	20	1	7.9	E	Erzincan
2	20	12	1942	14	3	40.87	40.87	36.47	1	10	1	7.0	E	Erbaa-Niksar-Tokat
3	26	11	1943	22	20	41.05	41.05	33.72	1	10	1	7.2	E	Ladik-Tosya-Samsun
4	1	2	1944	3	22	41.41	41.41	32.69	1	10	1	7.2	E	Gerede-Çerkeş-Bolu
5	26	5	1957	6	33	40.67	40.67	31.00	1	10	1	7.1	1	Abant-Bolu
6	22	7	1967	16	56	40.67	40.67	30.69	4	33	4	6.8	E	Adapazarı-Mudurnu Vadisi
7	17	8	1999	0	1	40.76	40.76	29.95	4	17	4	7.7	4	İzmit-Gölcük-Yalova-Adapazarı-D.Marmara
8	12	11	1999	16	57	40.81	40.81	31.19	4	10	4	7.4	4	Düzce-Kaynaşlı

Tablo 1-1939 Erzincan Depremi sonrasında KAFZ'da meydana gelen büyük depremler (1939-2010)(Kalafat ve diğ., 2011)

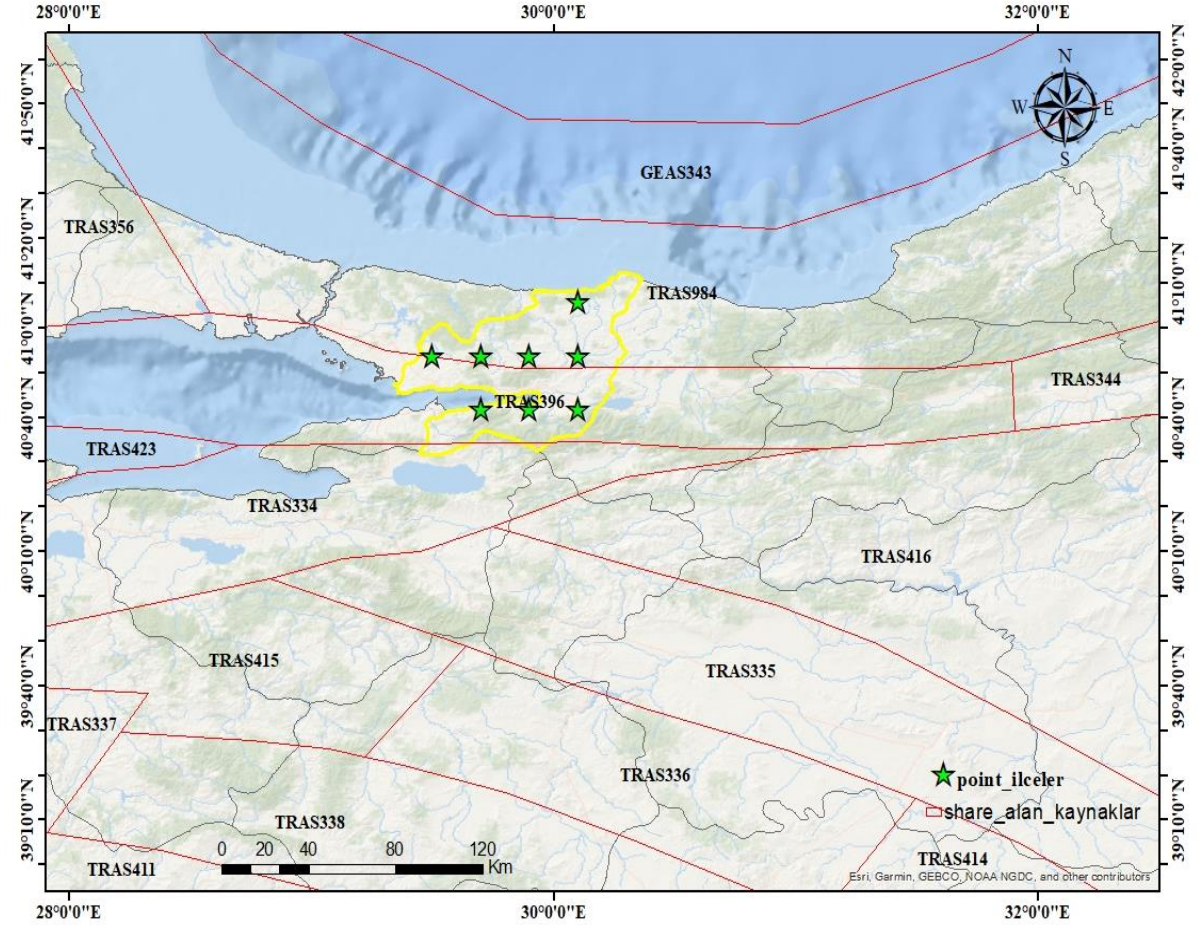
- **Çalışma Alanı:** Kocaeli ili merkezi referans alınarak 200 km'lik bir alan çalışma alanı olarak belirlenmiştir.



Çalışmanın amacı, Önemli sanayi kentlerimizden olan Kocaeli ilinin ve çevresinin sismik tehlike durumunu ortaya koymak adına SHARE (Woessner et al., 2015) kaynak verileri kullanılarak olasılıksal deprem tehlike analiz ile bölgenin tehlikesini belirlemektir. Alan kaynağa 0.5, çizgi kaynağa ise 0.5 ağırlık verilerek analizler yapılmıştır.



SHARE (Woessner et al., 2015) çizgi kaynak verileri



SHARE (Woessner et al., 2015) alan kaynak verileri

NOT:SHARE (Woessner vd., 2015) projesi orta Atlantik sırtından başlayıp Avrupa kıtasına kadar geniş bir alanında çalışma yürüten bir projedir.

Deprem Tehlikesi

Deprem tehlike analizlerinde çeşitli metodlar kullanılmaktadır, bunlardan en yaygın olanı **olasılıksal** yöntemlerdir. Bu yöntem Cornell (1968) 'in çalışmasında türetilmiş ve sonrasında geliştirilmiştir. Analiz için, bölgenin **geçmiş deprem verileri** (derinlik, fay mekanizması, yeri, büyüklük vs); **aktif fay bilgisi**, **jeolojik** ve **tektonik yapısı** bilgileri göz önüne alınarak fay modelleri oluşturulur. Daha sonra her olası deprem kaynağı için istatistiksel yöntemler kullanılarak deprem parametreleri belirlenir. Çalışma alanına uygun **yer hareketi tahmin denklemleri** kullanılarak deprem tehlike eğrileri ve deprem tehlike haritaları istenen dönüş periyotlarına veya aşılma olasılıklarına göre belirlenir.

Deprem Magnitüd ve Tekerür Modeli

Çalışmada kullanılan olasılıksal model Poisson modelidir. Depremlerin zamansal tanımını en fazla bu modelle yapılmaktadır. Poisson modelinde süreç rasgele oluşur ve önceden olan olayların boyutu, yeri ve zamanı konusunda hafızası yoktur. Ayrıca çalışmada, magnitüd ile depremlerin oluş sıklığı arasındaki ilişkiyi gösteren tekerrür modellinden en yaygın olan ilişki olan Gutenberg ve Richter, (1954) tarafından oluşturulan ilişkidir:

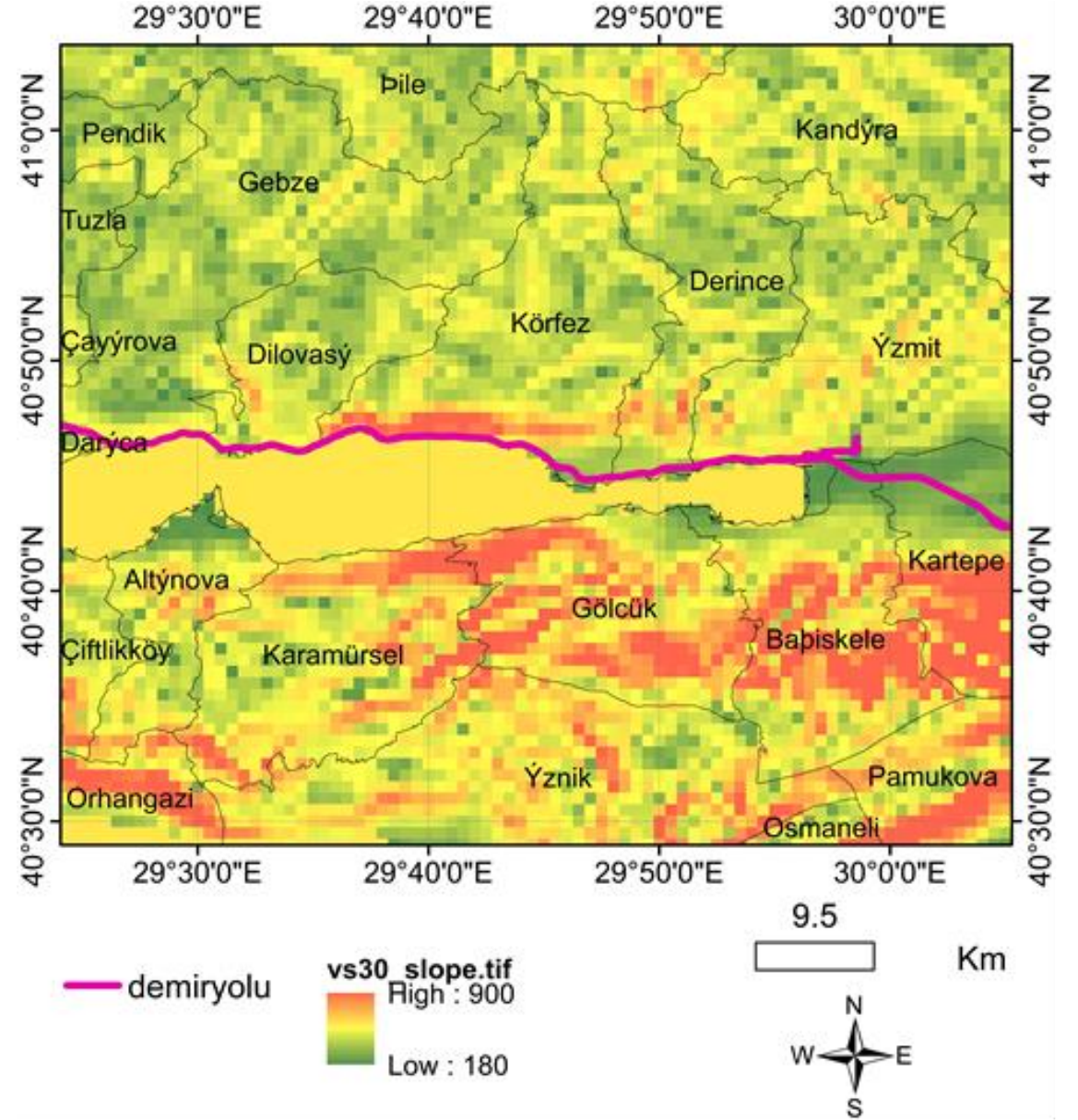
$$\text{Log}_{10}N(M)=a-bM \quad (1)$$

burada, $N(M)$ = birim zamanda magnitüd değeri M 'ye eşit veya daha büyük deprem sayısı, a değeri bölgede olabilecek depremlerin toplamı ile ilgili bilgi veren bir parametre ayrıca bölge ve zaman ile doğrudan ilgili iken b değeri bölgenin tektonik yapısı ve büyük depremlerin küçük depremlere olan göreceli oranı şeklindedir. M = Magnitüd (burada kullanılan magnitüd türü M_w 'dur).

Frekans-büyüklik ilişkilerinde **deprem katalogları** kullanılır. Bu kataloglar artçı şok ve deprem fırtınaları gibi unsurlardan arındırılmalı çünkü Poisson modeli, temelinde depremlerin bağımsız kabul edilme mantığına dayanır. Katalogdaki depremlerin aynı tür magnitüd değerleri ile tanımlanmış olup **homojen** hale getirilmesi gerekmektedir. Bunun içinde geliştirilmiş farklı dönüşüm ilişkileri kullanılarak katalog tek bir magnitüd çeşidi ile homojen hale getirilir. Katalogtaki verilerin belirlenen zaman aralığı içerisinde ve her magnitüd düzeyi için eksiksiz olması gerekmektedir. Ancak geçmiş depremler incelendiğinde sadece büyük depremlerin kaydedildiği gözlenmiştir. Bu depremlerde iskân edilmiş yerlerde olduğu görülmüştür. Kataloglardaki bu eksiklikleri giderebilmek adına **tamamlılık analizleri** yapılarak bu sorun giderilmeye çalışılır. Ayrıca deprem boyutunun üst limiti olan M_{max} önemli deprem parametrelerdendir. Bu maksimum deprem büyüklüğü farklı tanımlara dayanarak, farklı şekilde belirlenir. M_{max} (1) **tarihi kayıtlar**, (2) **analog (benzer) tektonik özelliklerden** ve (3) **fay uzunluğu dönüşümlerinden** elde edilir.

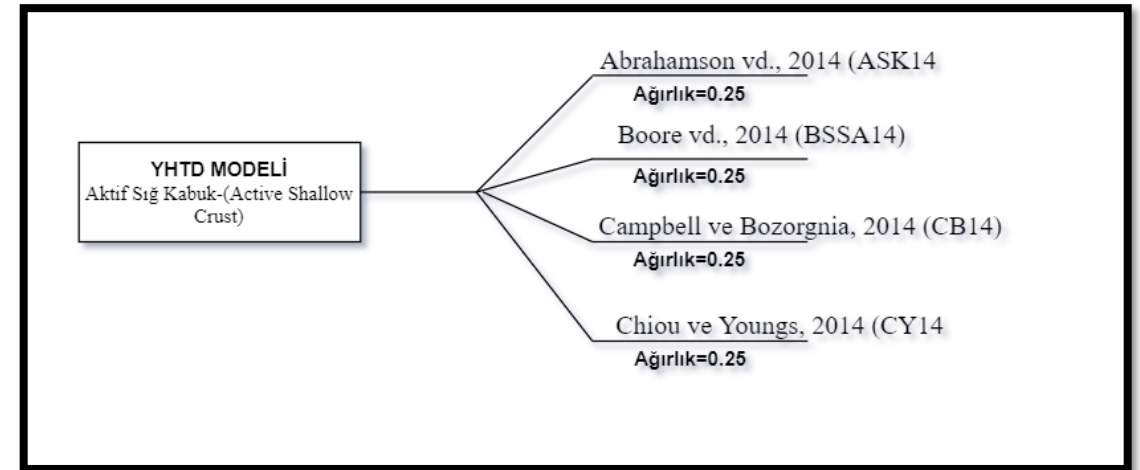
Zemin Bilgisi (V_{s30})

- Seçilen çalışma bölgesi için ortalama kayma dalgası hızı parametresi ($V_{s,30}$), USGS'den temin edilmiştir (<https://earthquake.usgs.gov/data/vs30/>)



Yer Hareketi Tahmin Denklemi

Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (The Pasific Earthquake Engineering Research Center-PEER) tarafından aktif tektonik bölgelerdeki sığ kabuk depremleri için 2011 yılında YHTD'leri geliştirmek için geniş bir çalışma başlatıldı. Bu çalışma doğrultusunda NGA-West1 Yer hareketi tahmin denklemleri NGA-West2 modelleri olarak güncellenmiştir. Güncellenen bu Yer Hareketi Tahmin Denklemlerinden (YHTD) **Abrahamson vd., 2014 (ASK14)**, **Boore vd., 2014 (BSSA14)**, **Chiou ve Youngs, 2014 (CY14)**, **Campbell ve Bozorgnia, 2014 (CB14)** modellerine eşit ağırlıklar verilerek bir mantık ağacı oluşturuldu ve analizde kullanıldı. Çalışmada kullanılan ASK14, BSSA14, CY2014, CB14 YHTD'inden yer hareketi parametrelerinin dağılımları (PGA, SA(T=0.2 sn), SA(T=1.0 sn)) elde edilmiştir. **Vs30 değerleri USGS'den** alınarak hesaplar yapılmıştır.

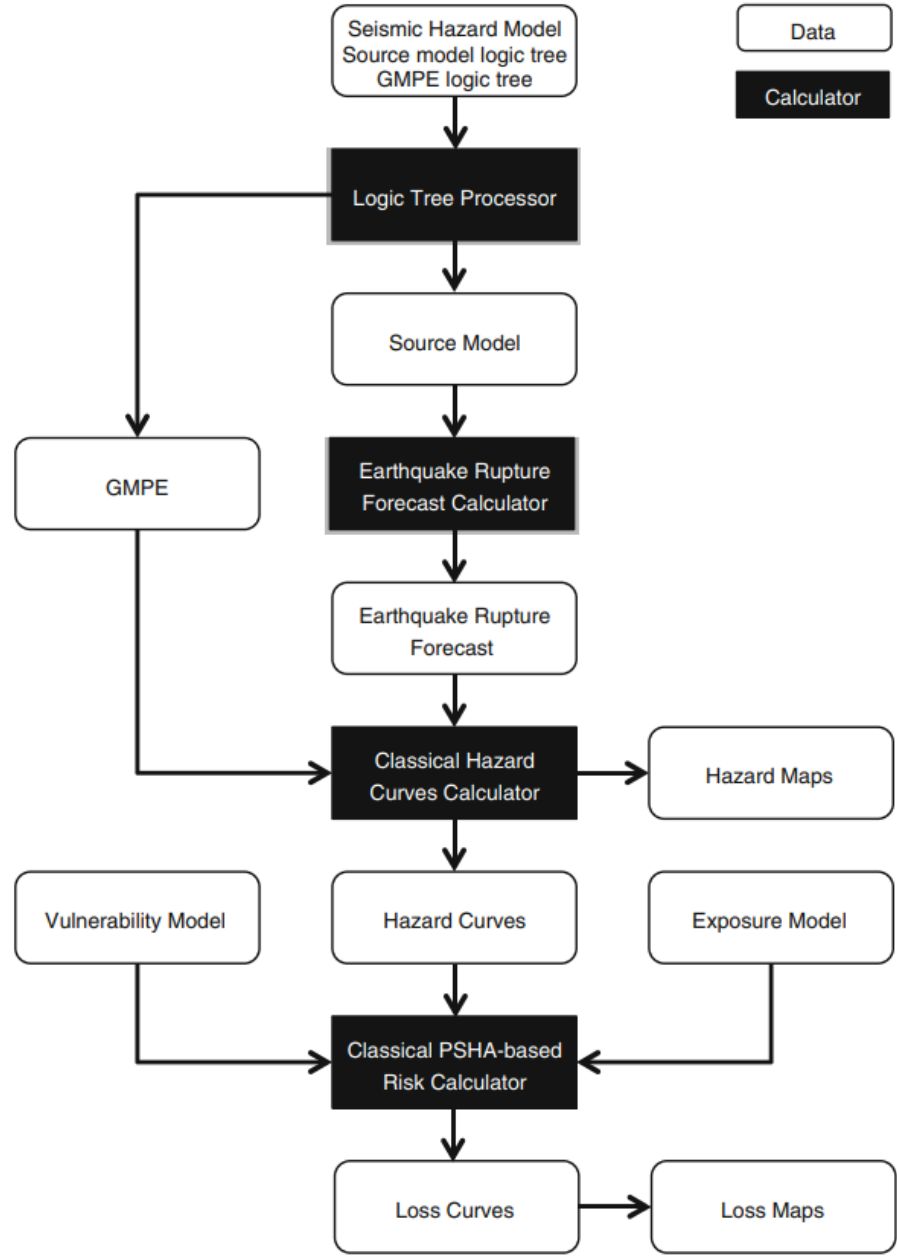
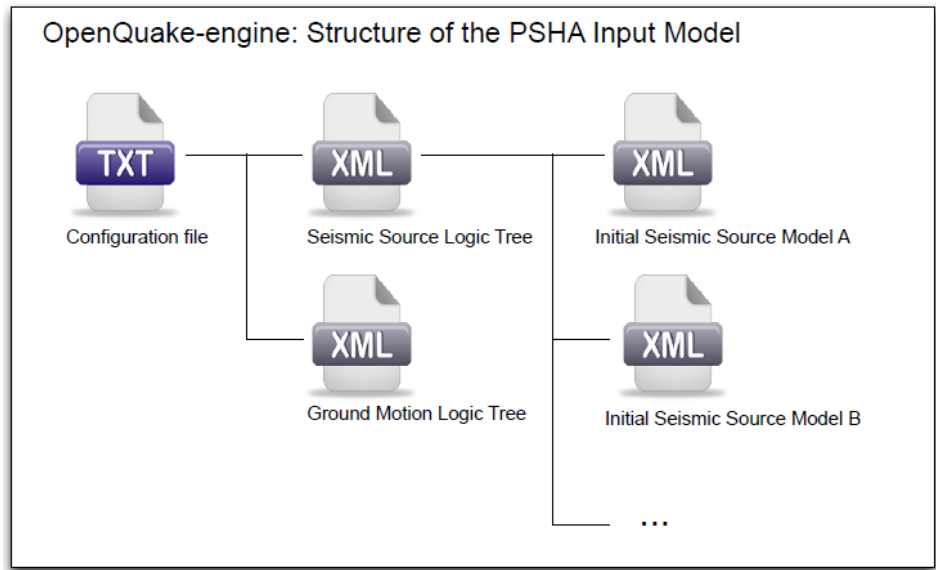
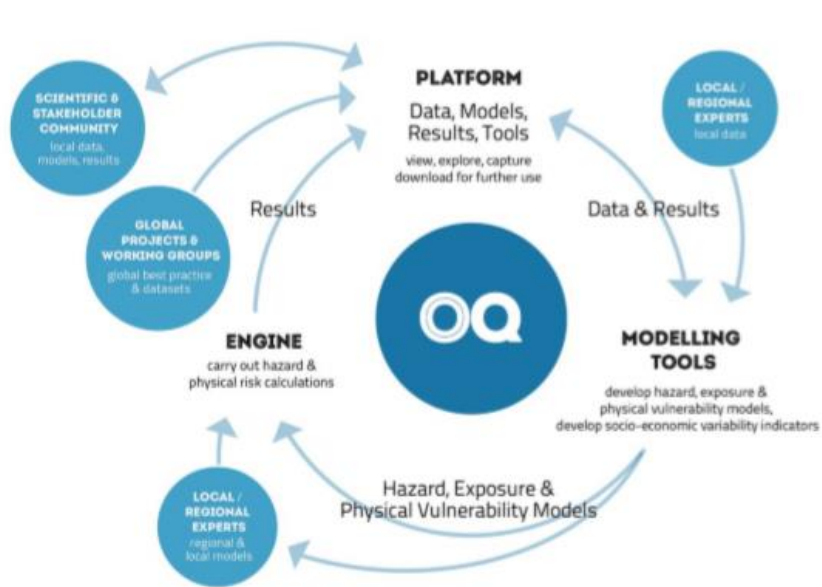


OPENQUAKE TEHLIKE MODULU

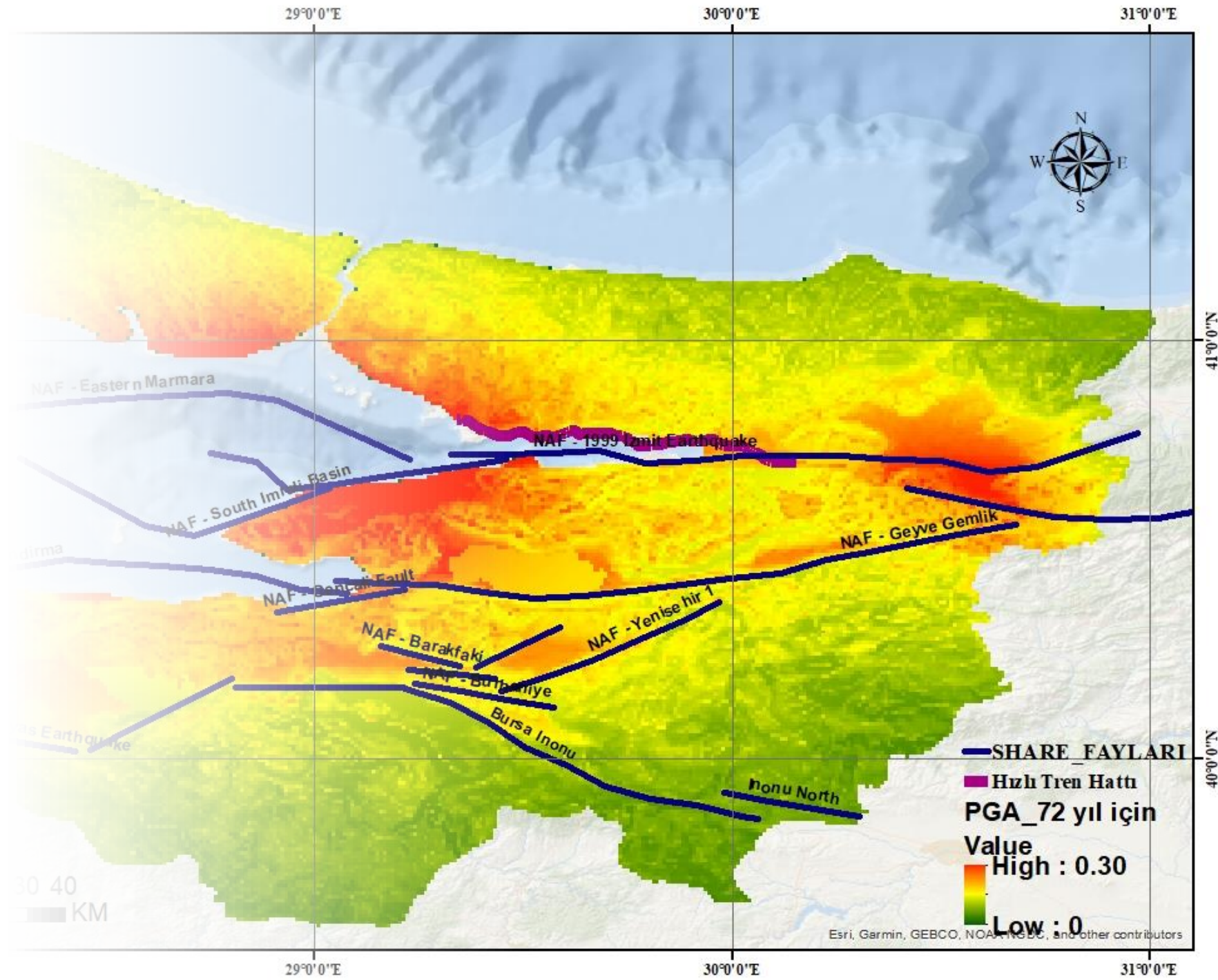
- ❑ Classical PSHA: hazard curves, hazard maps, uniform hazard spectra (UHS), disaggregation
- ❑ Event-based hazard: stochastic earthquake event sets and ground motion fields, hazard curves, hazard maps
- ❑ Scenario hazard: single event - stochastically generated ground motion fields

Additional features:

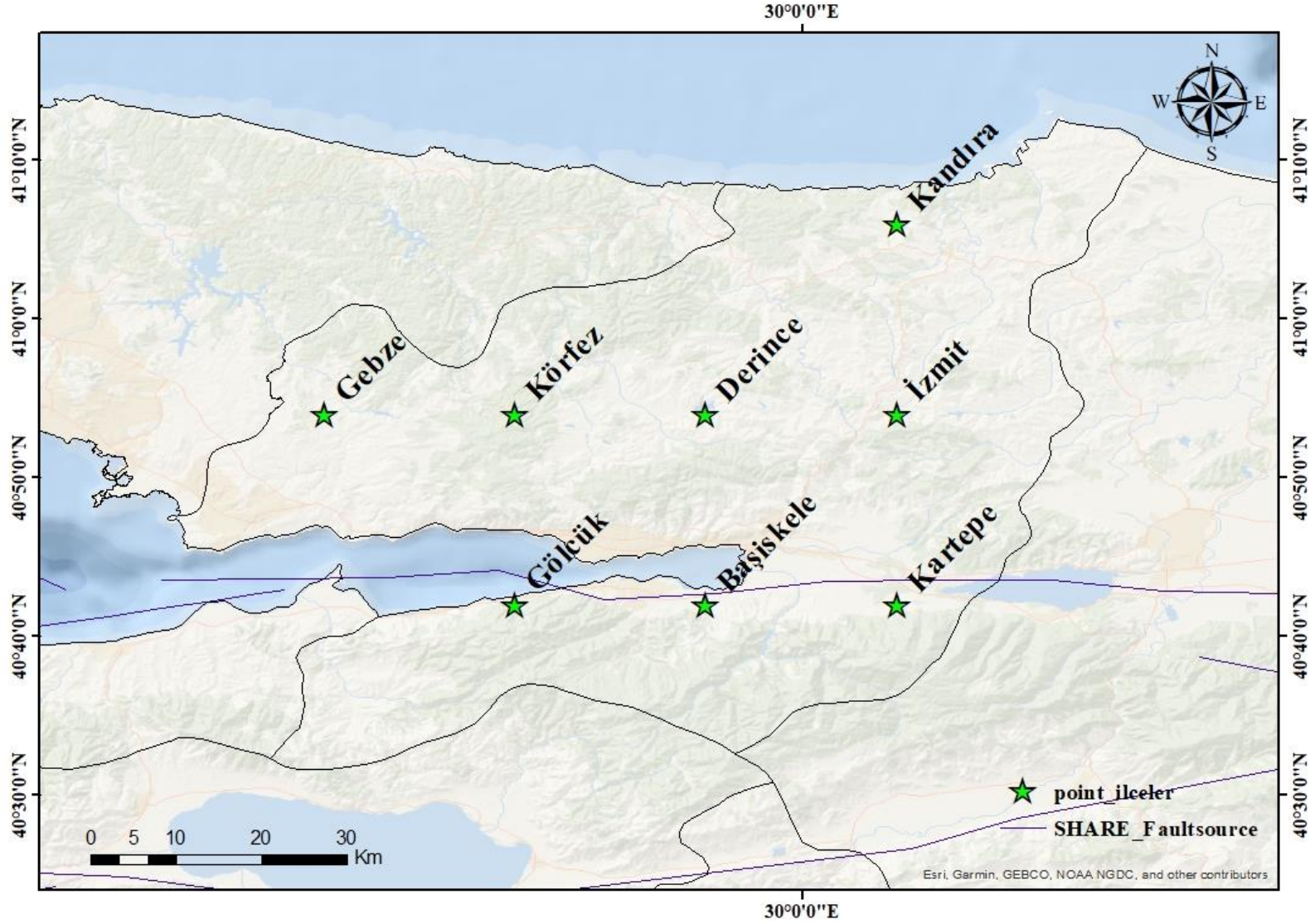
- ❑ 5 typologies for modeling seismic sources
- ❑ 100+ GMPEs implemented and tested
- ❑ Tools for harmonizing catalogs, creating seismogenic input files, analyzing strong motions and GMPEs

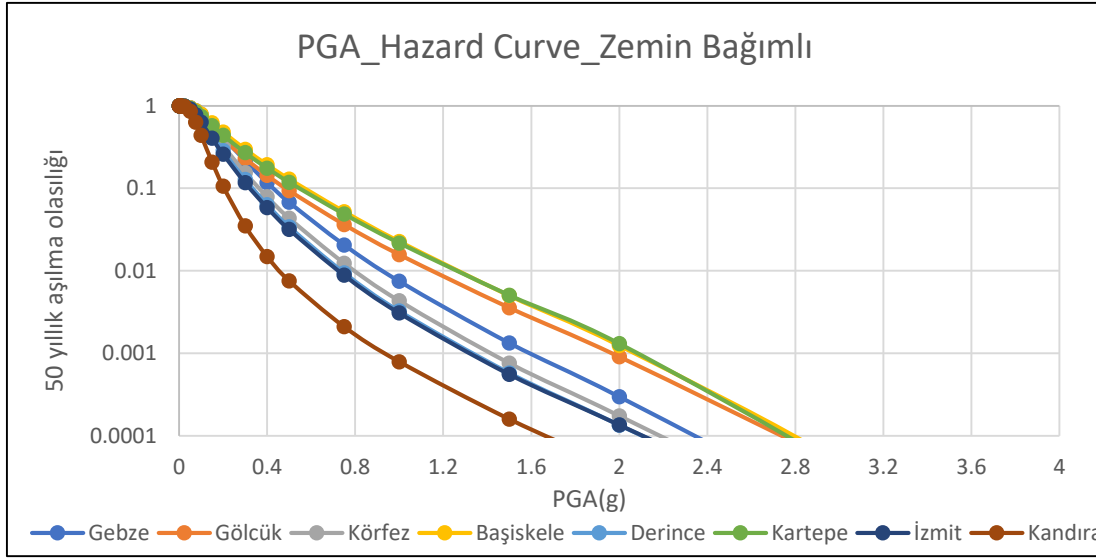


• SONUÇLAR

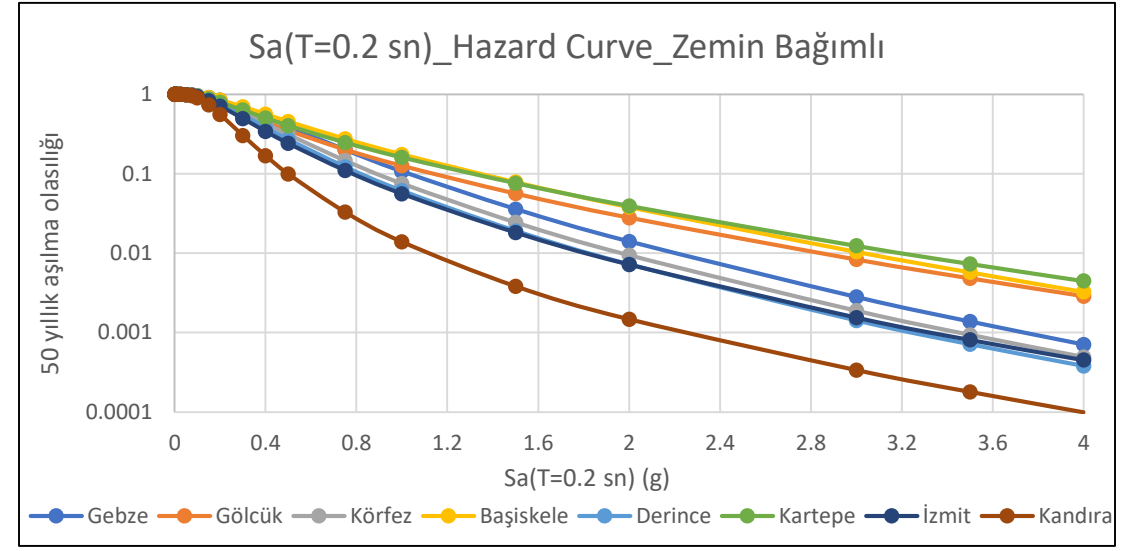


İncelemek İçin Seçilen Noktalar:

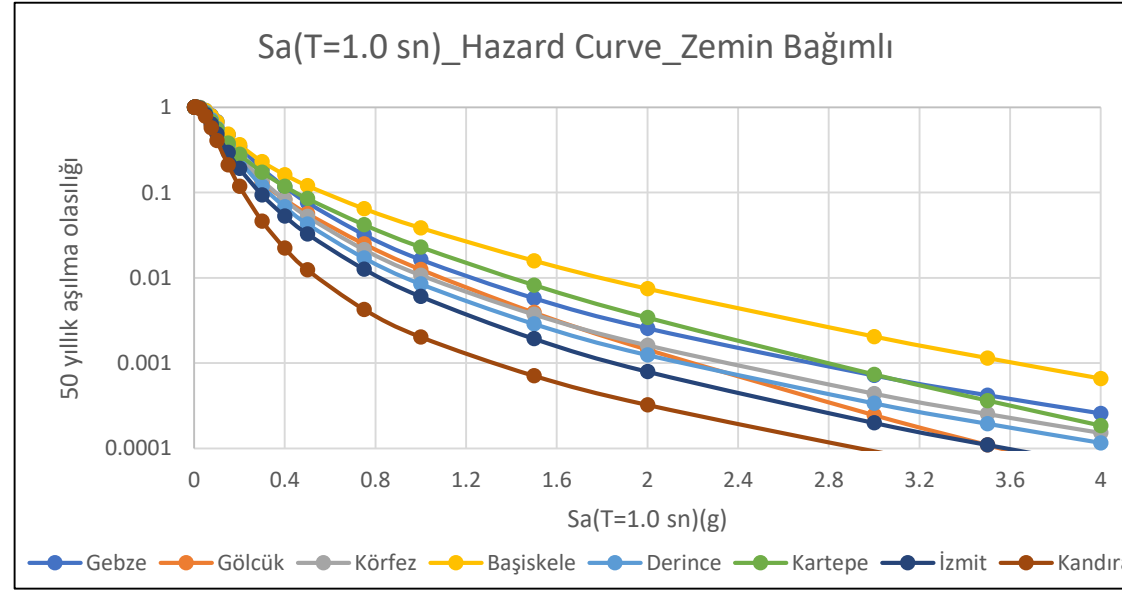




(a)

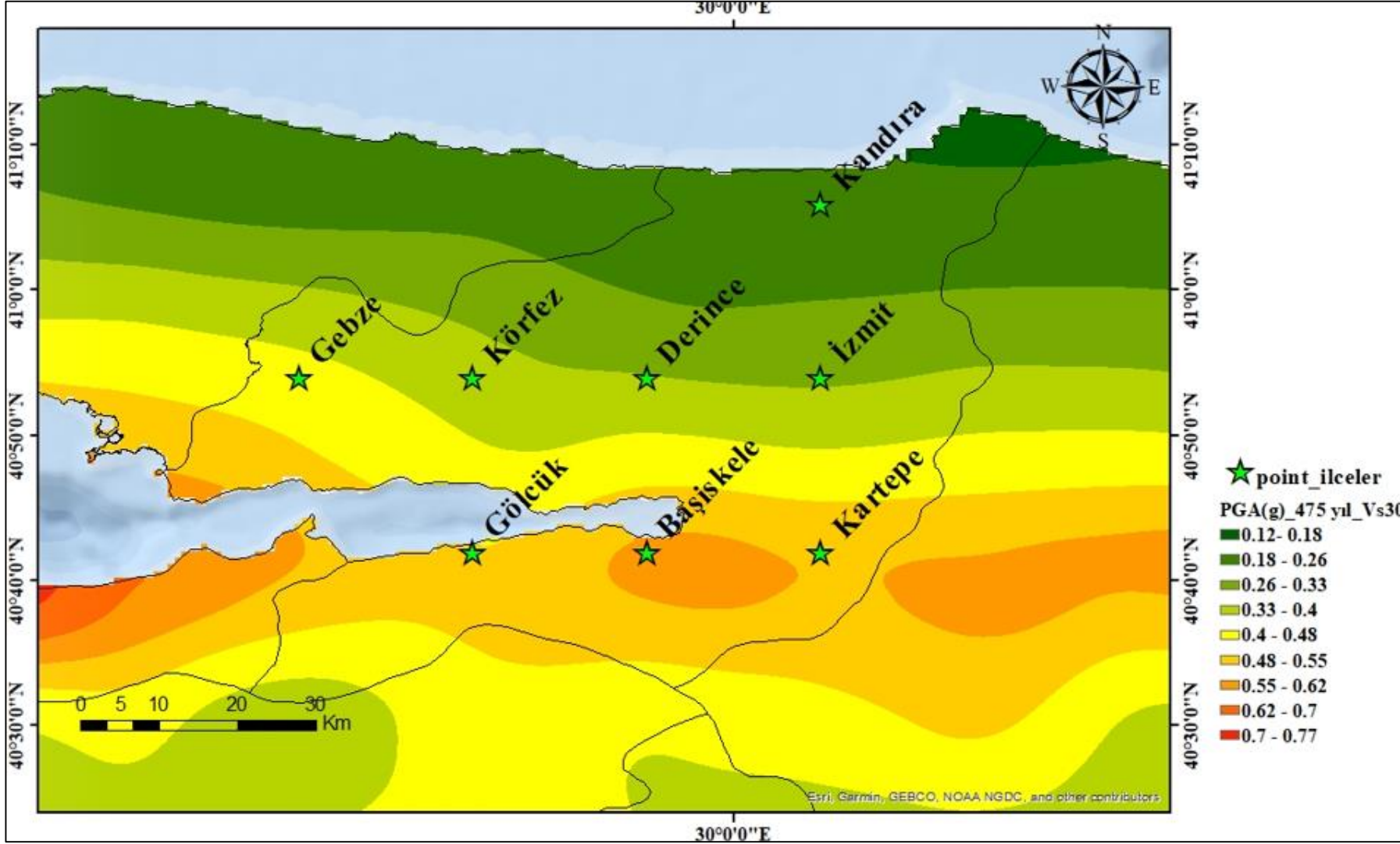


(b)



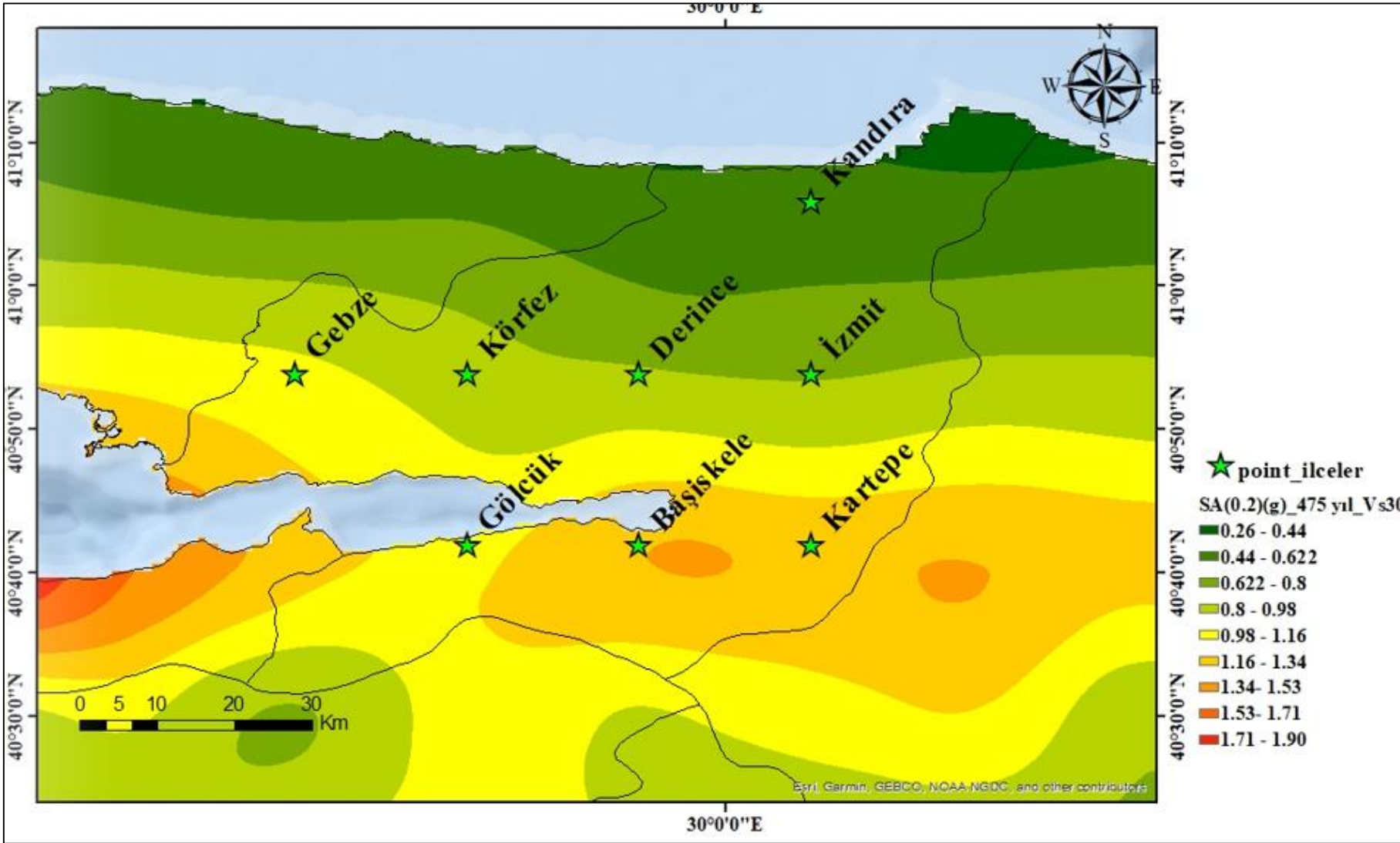
(c)

Şekil 8: Seçilen 8 noktanın (a) PGA yer hareketi parametresi, (b) Sa(T=0.2 sn) yer hareketi parametresi, (c) Sa(T=1.0 sn) yer hareketi parametresi için Klasik Olasılıksal yöntemle oluşturulan Tehlike Eğrileri



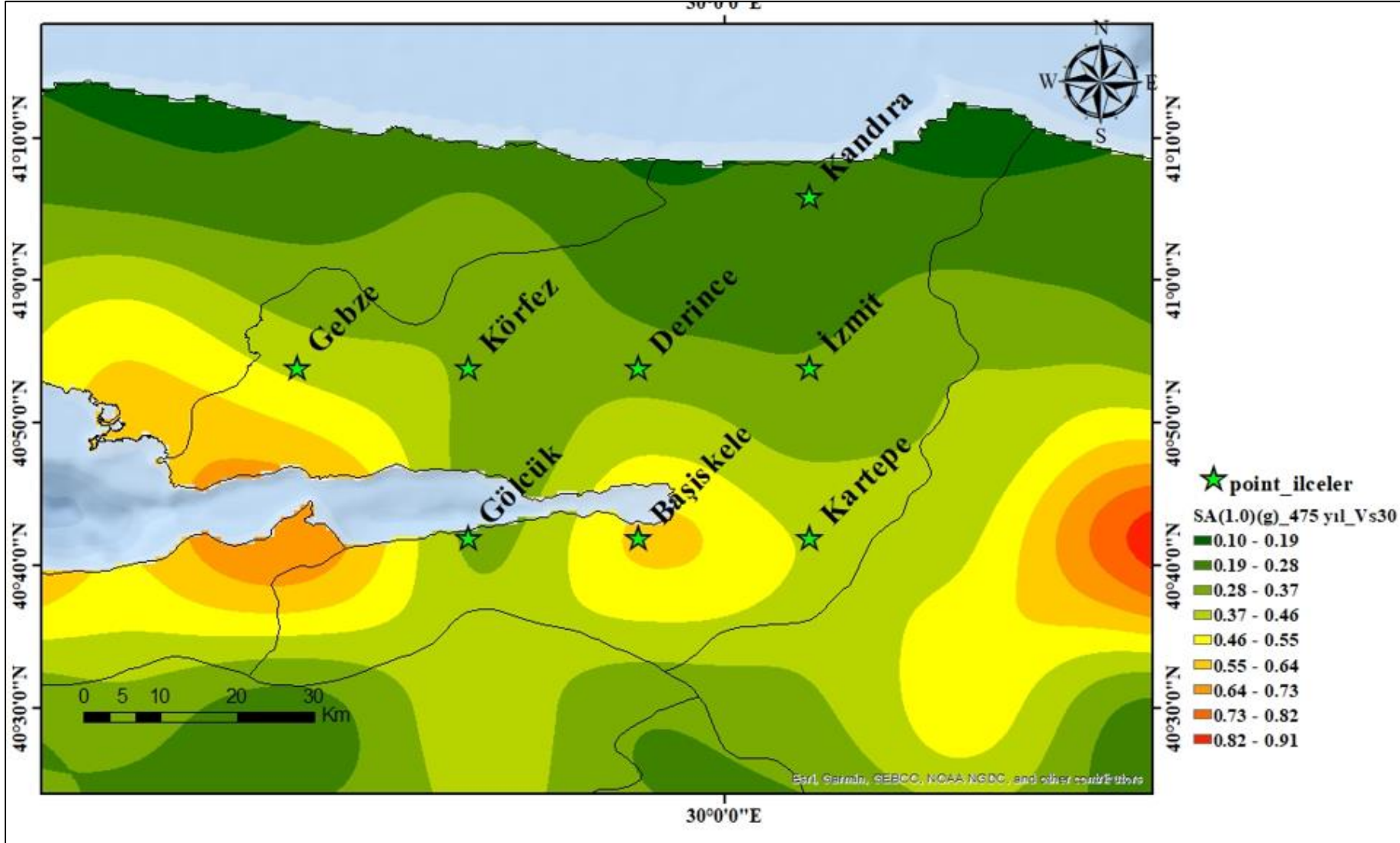
Haritalarda da görüleceği gibi KAFZ'nun bulunduğu yerde değerler daha yüksek gözlenmiştir. **PGA** en yüksek değeri **0.7-0.77 (g)**'ler arasındadır.

Şekil 9. 475 yıllık dönüşüm periyodu PGA için Tehlike Haritası



Haritalarda da görüleceği gibi KAFZ'nun bulunduğu yerde değerler daha yüksek gözlenmiştir. $SA(T=0.2 \text{ sn})$ en yüksek değeri 1.71- 1.90 (g)'ler arasındadır.

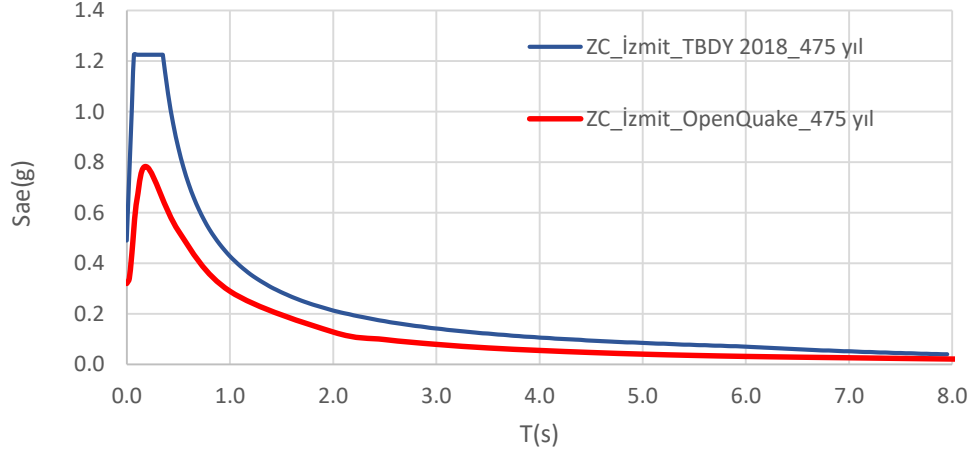
Şekil 10. 475 yıllık dönüşüm periyodu SA (T=0.2 sn) için Tehlike Haritası



Haritalarda da görüleceği gibi KAFZ'nun bulunduğu yerde değerler daha yüksek gözlenmiştir. $SA(T=1.0 \text{ sn})$ en yüksek değeri $0.82-0.91$ (g)'ler arasındadır.

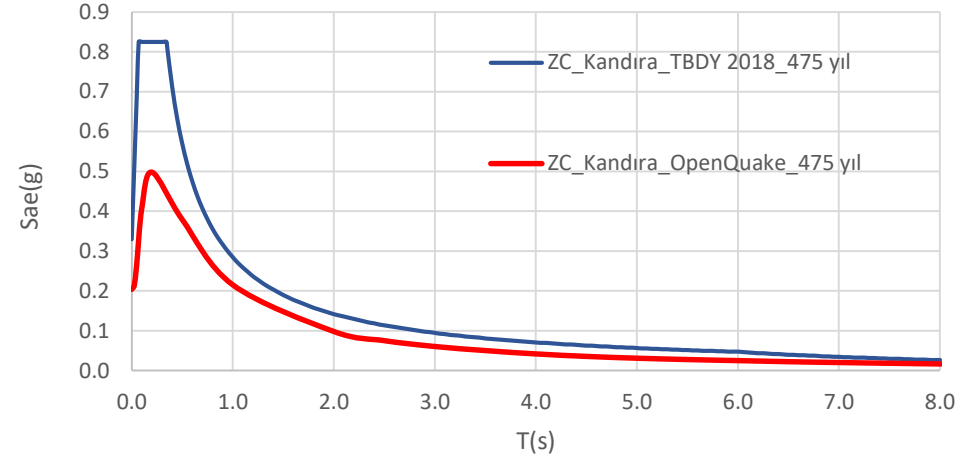
Şekil 11. 475 yıllık dönüşüm periyodu $SA(T=1.0 \text{ sn})$ için Tehlike Haritası

İzmit_475 yıl_TBDY2019 & OQ UHS



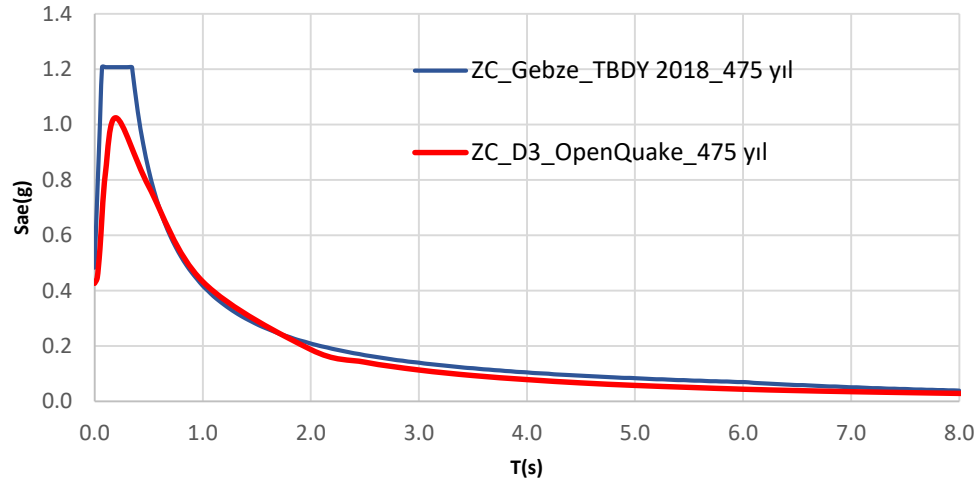
(a)

Kandıra_475 yıl_TBDY2019 & OQ UHS



(b)

Gebze_475 yıl_TBDY2019 & OQ UHS



(c)

Seçilen 8 noktadan örnek olması açısından 3 noktanın UHS'ları şekil 12'de görülmektedir. Burada TBDY 2018 ile karşılaştırılmaları yapılmıştır. Değerler arasındaki farkın kullanılan azalım ilişkisi ve Vs30 değerinden olduğu düşünülmektedir.

İlçe	Boylam	Enlem	Vs30_USGS (m/s)	TBDY_ZC (m/s)
Kandıra	30.10	41.10	435.849	360-760 aralığı
Gebze	29.50	40.90	391.688	
İzmit	30.10	40.90	507.565	

Şekil 12. 475 yıllık dönüşüm periyodu için (a), (b), (c) de seçilen noktaların UHS

Teşekkürler...