



TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI
İSTANBUL ŞUBESİ



İnşaat Mühendisleri
Odası İstanbul Şubesi
Konferans Salonu



27 Nisan 2026 / Pazartesi Saat 19:00

2026 İLKBAHAR-YAZ MESLEK İÇİ EĞİTİM SEMİNERLERİ

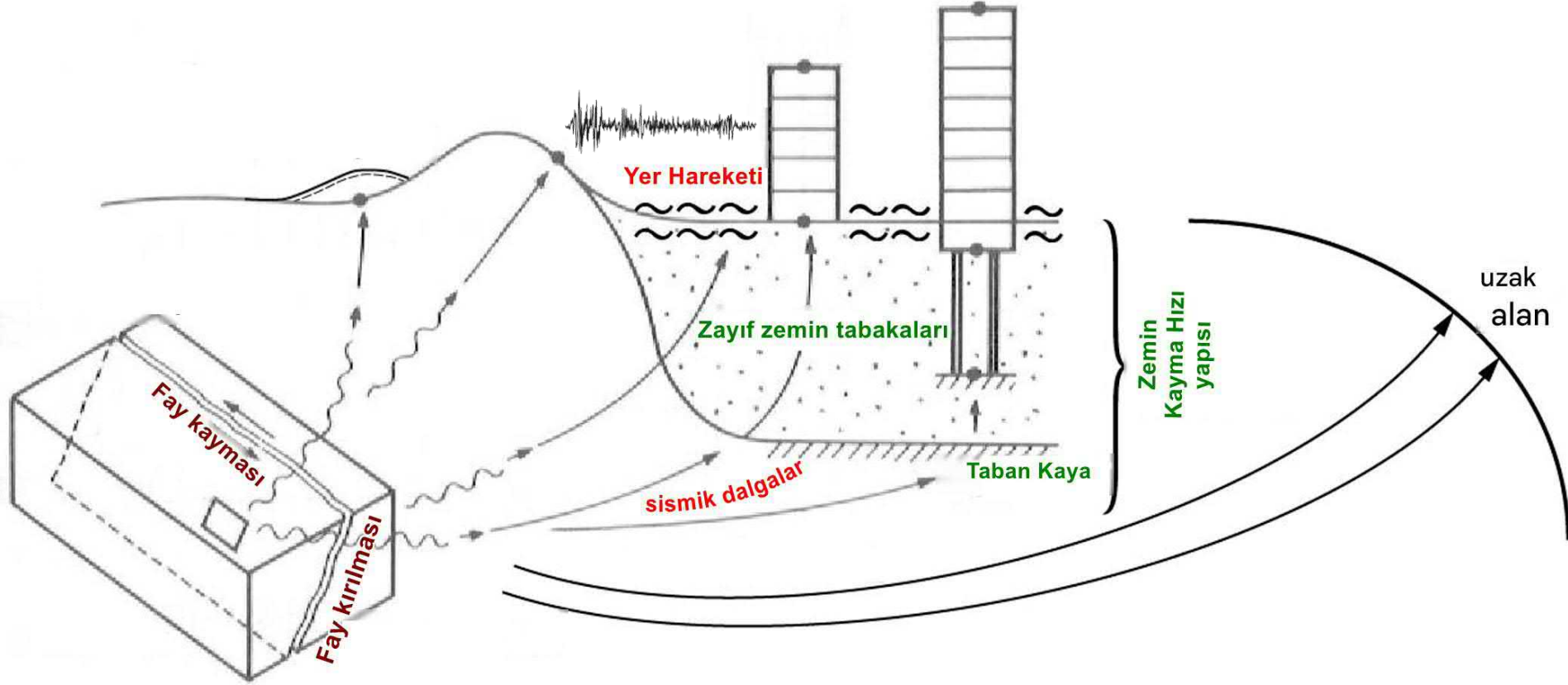
Deprem Mühendisliği: Kuvvetli Yer Hareketi Nasıl Değerlendirilir?

Dr. Yasin Fahjan
İnşaat Y. Müh
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Bu eğitim sunumlarındaki birçok görsel, kaynakça bilgileri açıkça verilmemekle beraber, çeşitli kaynaklardan derlenmiştir.

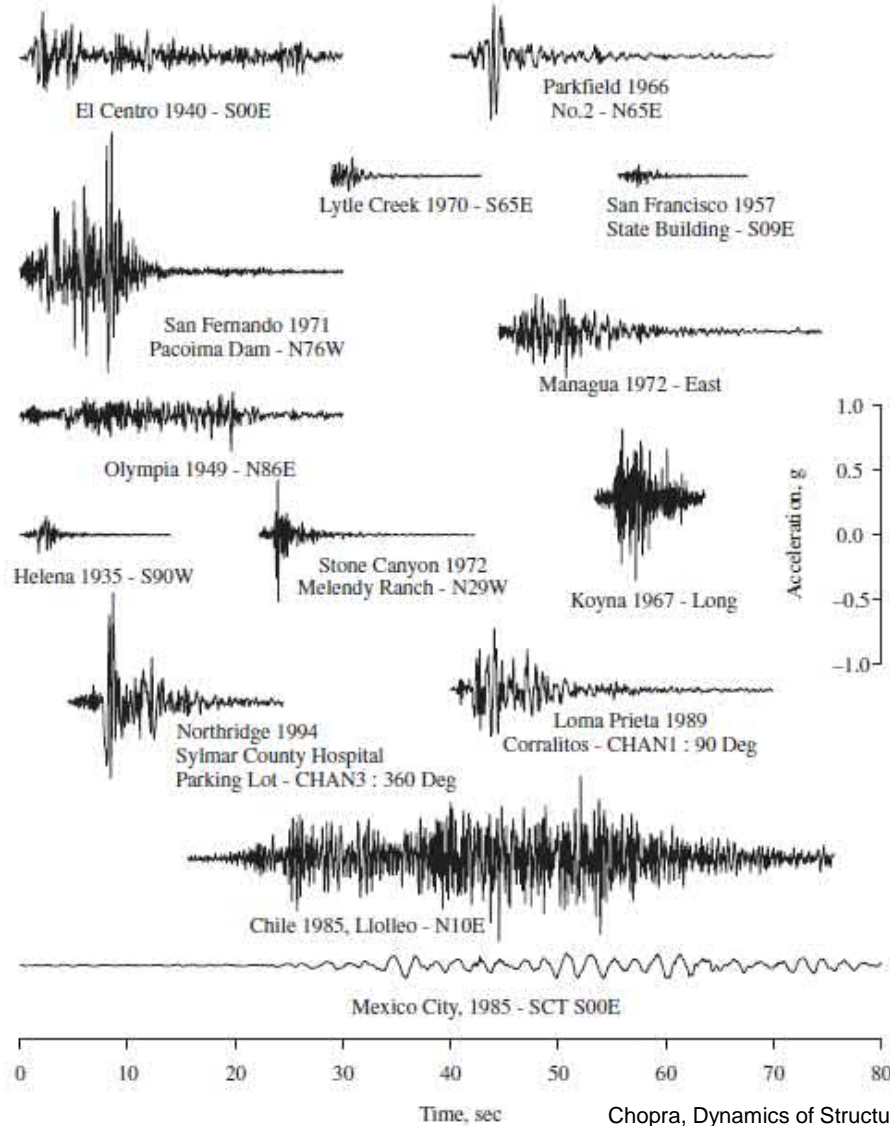
Some of the visuals in this training presentation are gathered from various literature although reference information is not stated explicitly

Sismik Sarsıntı Ve Sismik Zemin Hareketleri/Sismik Dalgalar

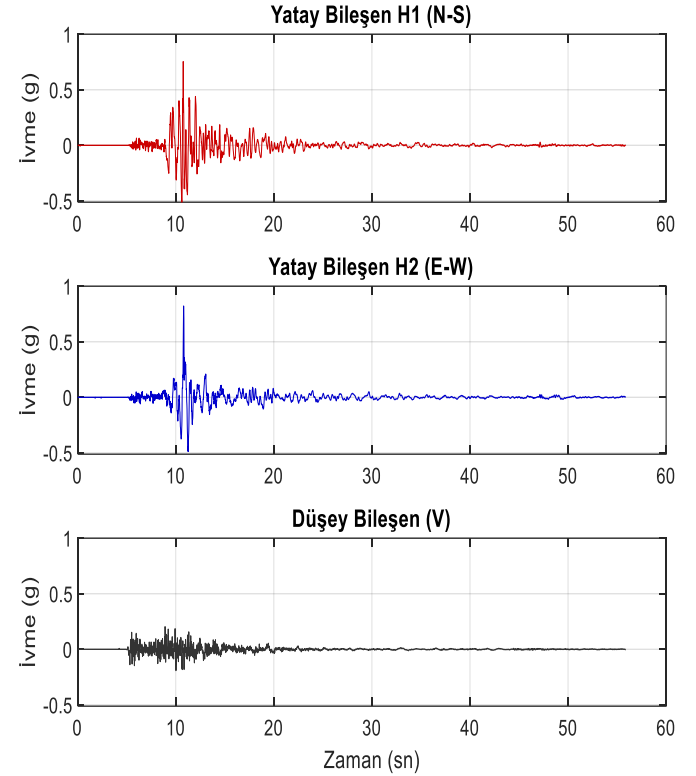


Sismik sarsıntı, fay kırılmasıyla açığa çıkan enerjinin dalgalar halinde yayılmasıdır. Bu sismik dalgalar (P, S ve Yüzey dalgaları), kaynaktan yapıya ulaşana kadar geçtikleri kaya ve zeminin özelliklerine göre değişime uğrayarak "yer hareketini" oluşturur. Mühendisler için esas olan, bu dalgaların zemin yapısıyla etkileşime girerek binaya aktardığı dinamik yüklerin ve frekans içeriğinin doğru analiz edilmesidir.

Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtları



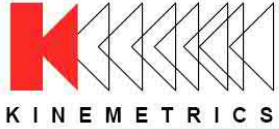
3 Bileşen Deprem İvme Kayıtları



12.11.1999 Düzce Depremi, İstasyon kodu 1401
(Bolu-Merkez), Kuzey (N) Bileşeni

Yer Hareketinin Ölçülmesi

Yer Hareketinin Ölçülmesi” için kullanılan temel cihazlar sismometre ve özellikle mühendislik uygulamalarında yaygın olan ivmeölçerlerdir (accelerometer)



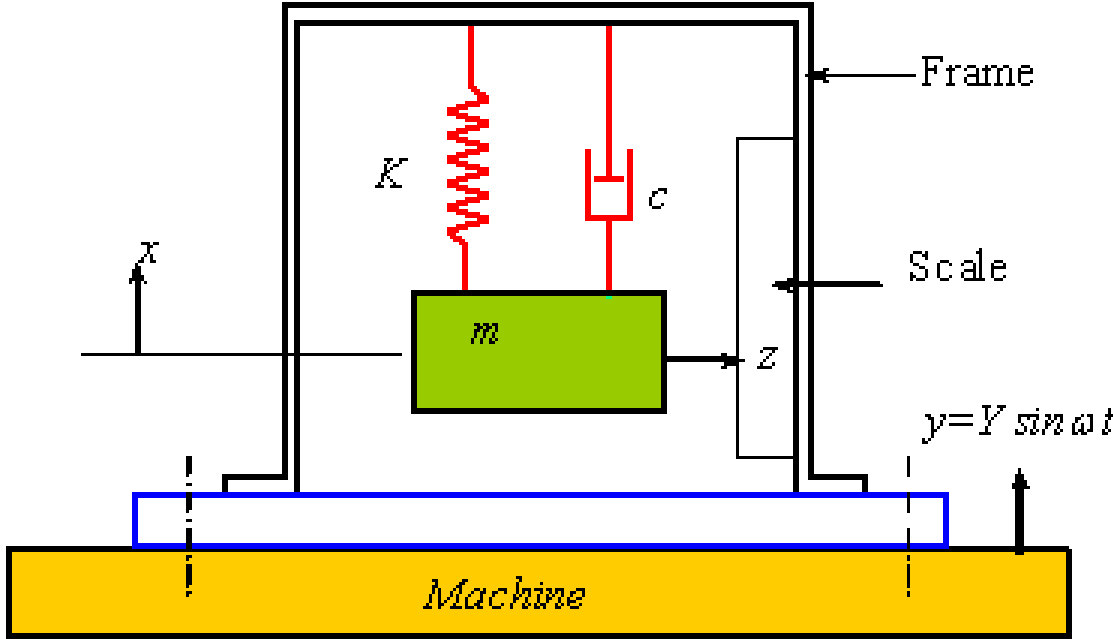
Etna

High Dynamic Range Strong Motion Accelerograph



Bu cihazlar genellikle üç bileşenli (iki yatay, bir dikey) ölçüm yaparak yer hareketinin tüm yönlerini yakalar.

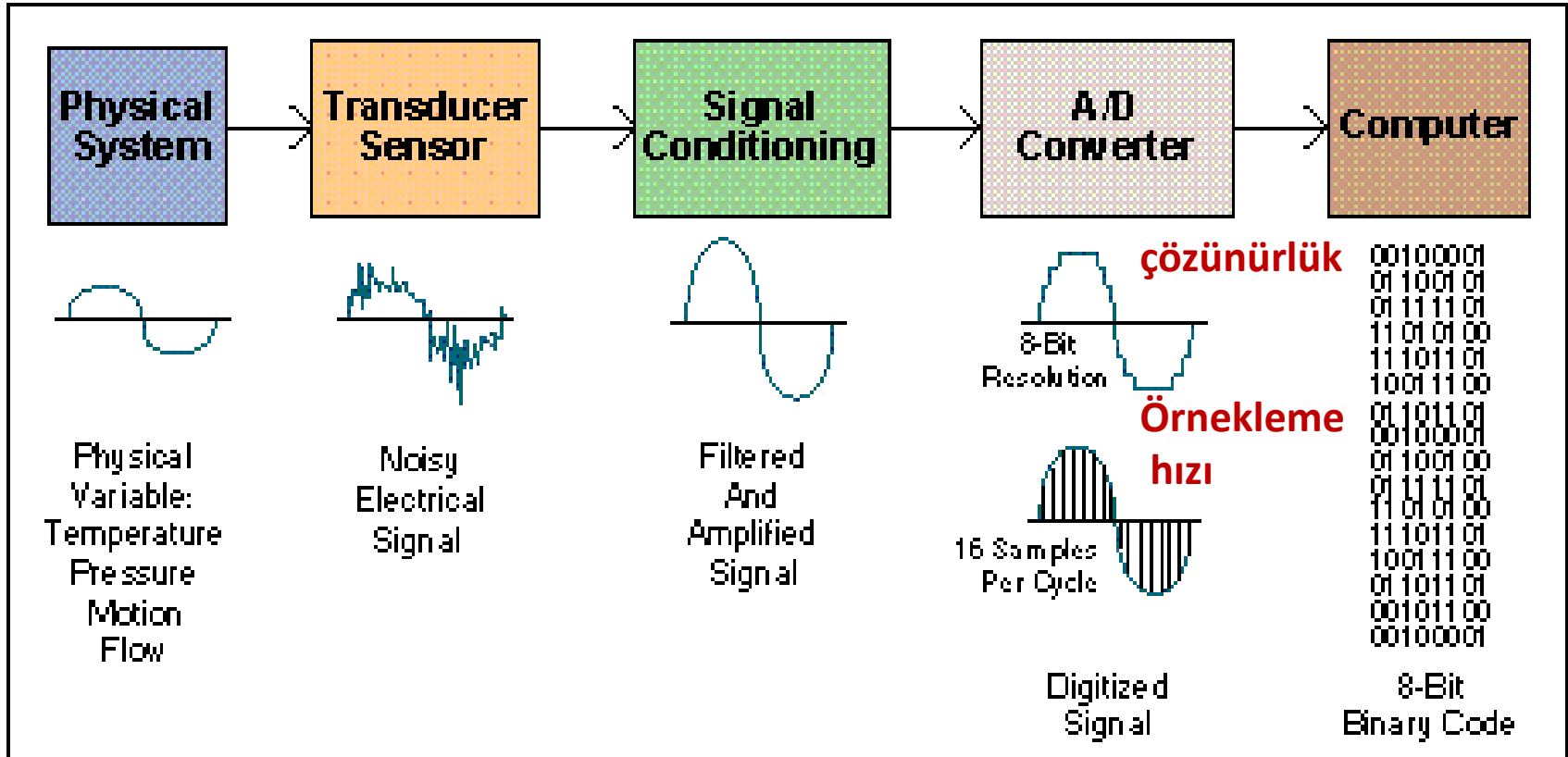
Titreşim ölçüm aletlerinin teorisi



m - Sismik kütle
 c - sismik birimin sönümlenme katsayısı
 K - sismik üniteye kullanılan yay rijitliği
 x - sismik kütle için mutlak yer değiştirmesi
 y - baz yer değiştirmesi
 $z=(x-y)$ sismik kütle için çerçeveye göre yer değiştirmesi

Sismometreler, yerin titreşimlerini hassas bir kütle–yay–sönümleyici sistemi aracılığıyla ölçerken; kuvvetli yer hareketi kayıtlarında tercih edilen ivmeölçerler doğrudan yer ivmesini kaydeder ve deprem mühendisliği analizleri için gerekli olan zaman tanım alanındaki ivme kayıtlarını sağlar.

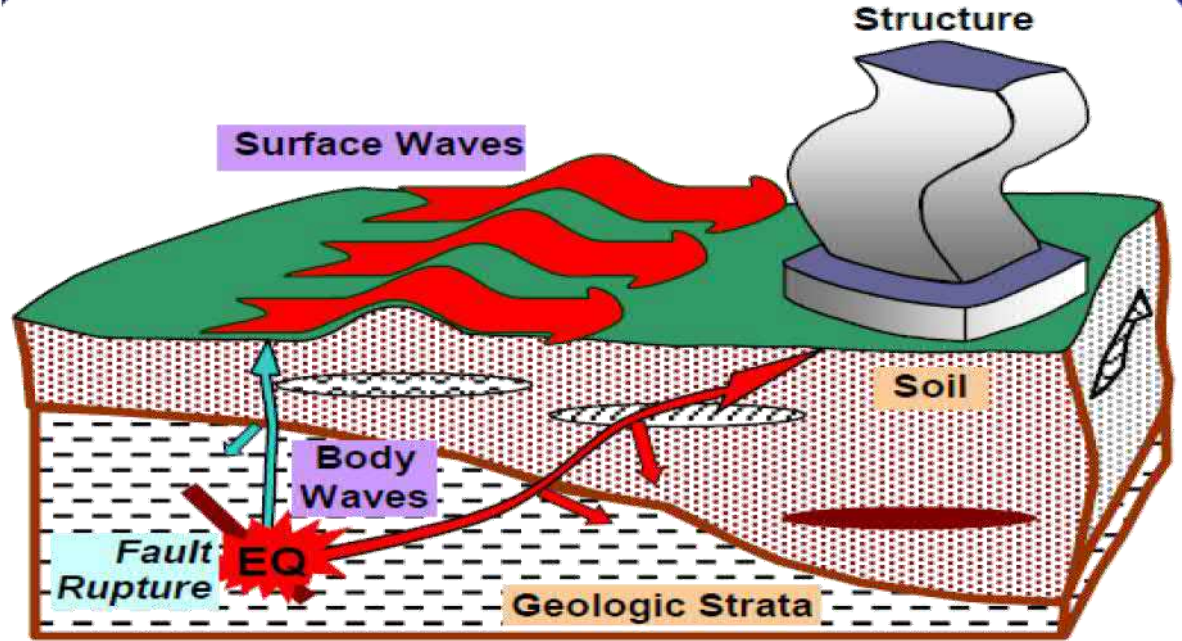
Veri Toplama Sistemi Blok Diyagramı



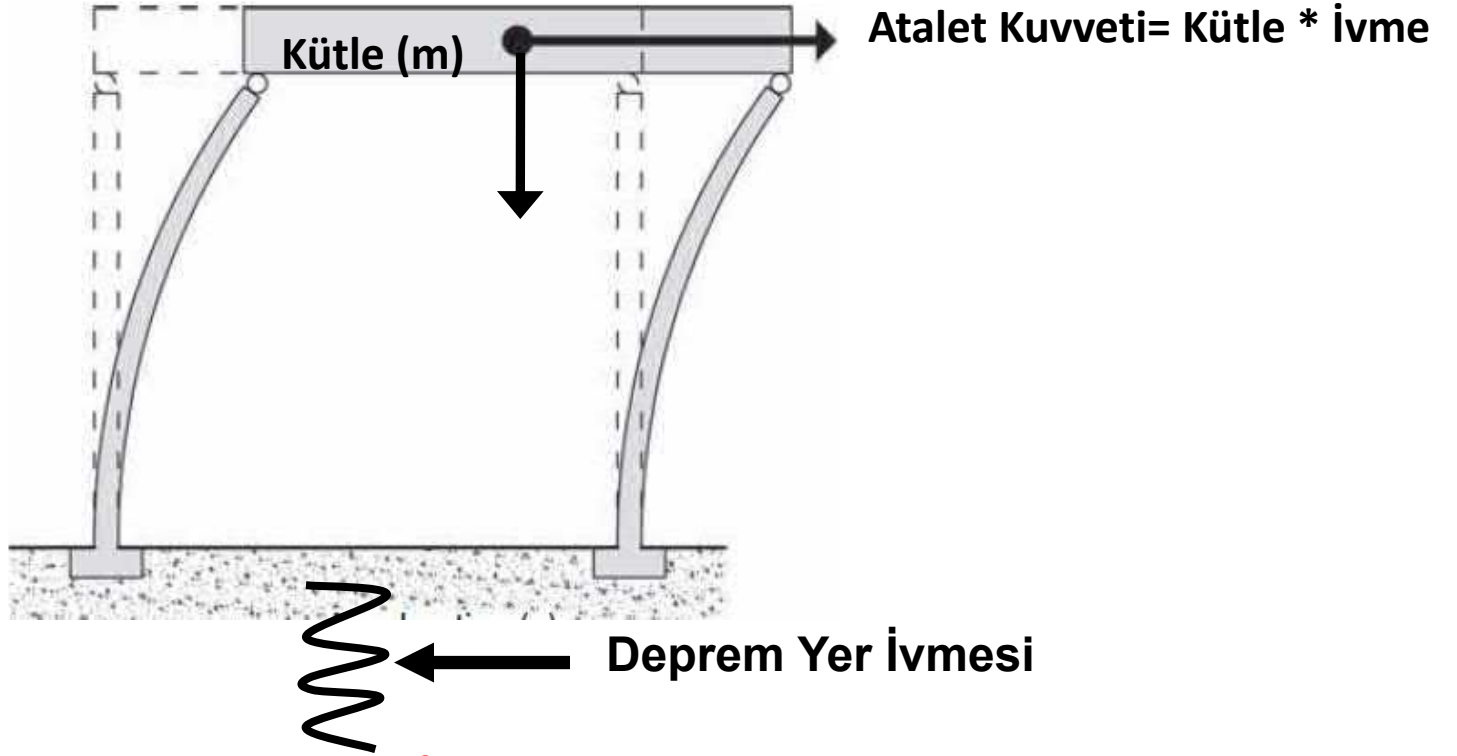
Ölçülen sinyaller dijital ortama aktarılır, filtreleme ve düzeltme işlemlerinden geçirilerek hız ve yer değiştirme kayıtları elde edilir.

Binaların Deprem Tasarımı

- Ölü (Zati) yükler
- Hareketli yükler
- Çevresel yükler
 - Rüzgâr
 - Kar
 - Isı (Sıcaklık)
 - **Deprem yükleri**
- Diğer yükler
- Patlama, Çarpışma, ..



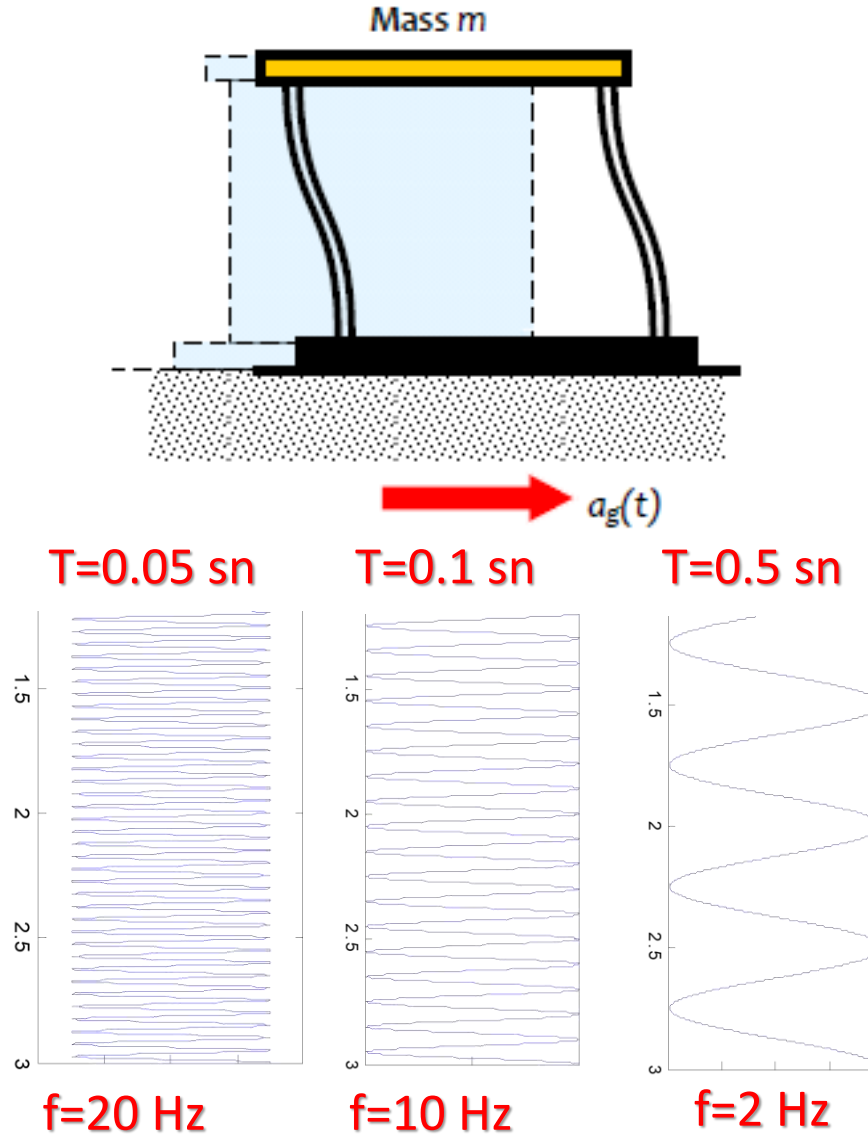
Deprem Kuvvetlerinin Niteliği



Newton'un İkinci Hareket Yasası

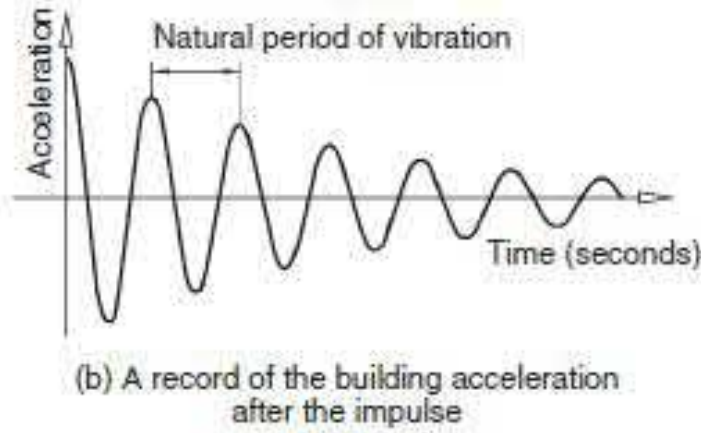
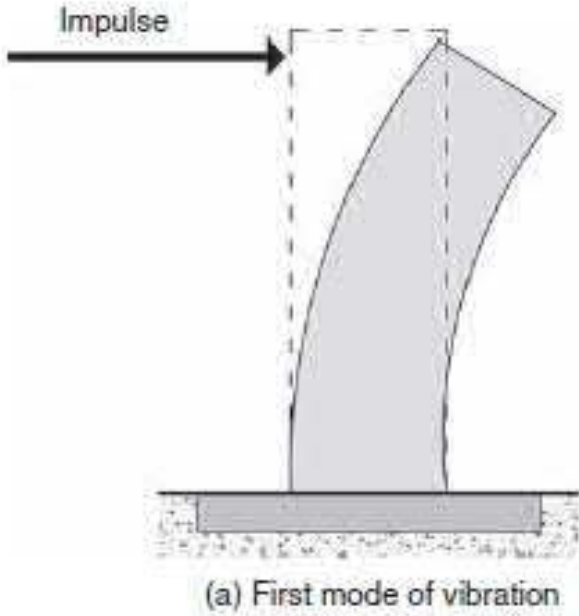
$$F = m * a_g \rightarrow F = m * Sa(T)$$

Deprem Kuvvetlerinin Niteliği



Yer hareketinin Farklı Frekans İçeriği

Doğal Titreşim Periyodu



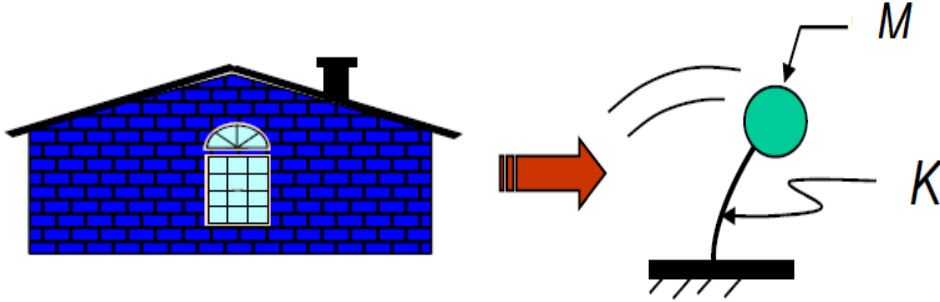
Doğal titreşim periyodu (T);

Bir tam Çevrim için geçen süre (saniye cinsinden ölçülür)

Doğal frekans (f) = 1 / T

1 saniyedeki Çevrim Sayısı (Hz cinsinden ölçülür)

Binanın Doğal Titreşim Periyodu



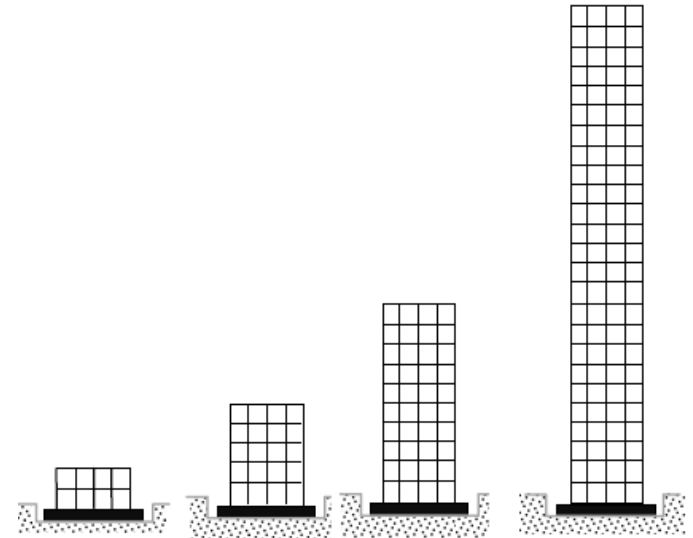
M (Bina Kütle)= Ağırlık / yerçekimi
K= Bina Yanal Sertlik

$$\text{Vibration Period } T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{K}}$$

$$T=0.1 \times N \text{ (Kat Sayısı)}$$

$$T = C_t H_N^{3/4} \quad \text{TBDY2018}$$

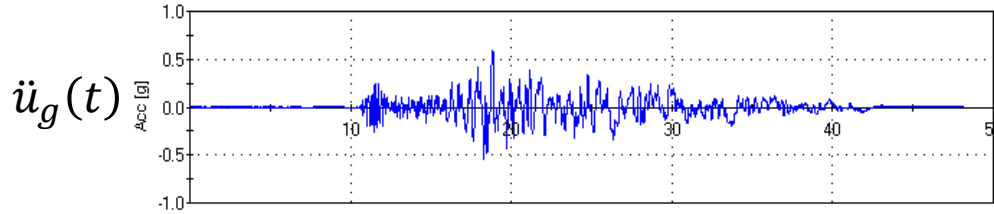
H_N binadır _ Yükseklik (m)
için $C_t = 0,07$ güçlendirilmiş beton çerçeveler
için $C_t = 0,08$ binalar yapılmış sadece çelikten _
çerçeveler
 $C_t = 0,05$ için Tümü diğer bina



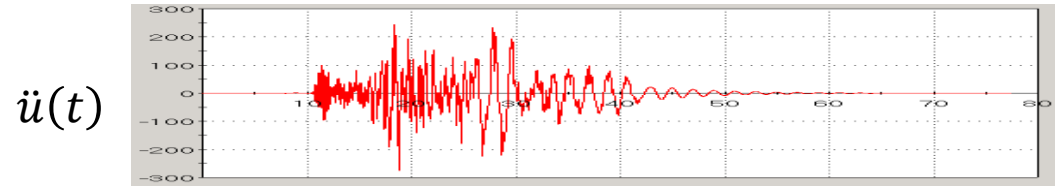
Deprem Hareketi Altında SDOF Sisteminin Davranışı

Atalet Kuvveti + Sönümlenme Kuvveti + Elastik Kuvvet=0

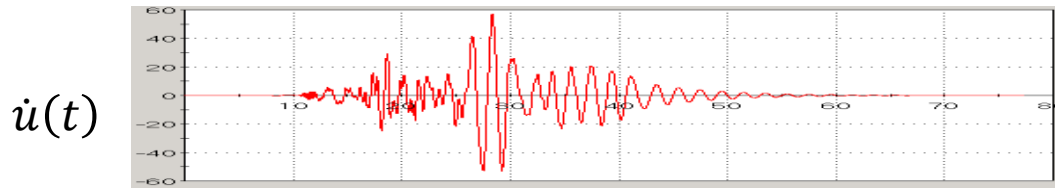
$$M\{\ddot{u}(t) + \ddot{u}_g(t)\} + c\dot{u}(t) + ku(t) = 0$$



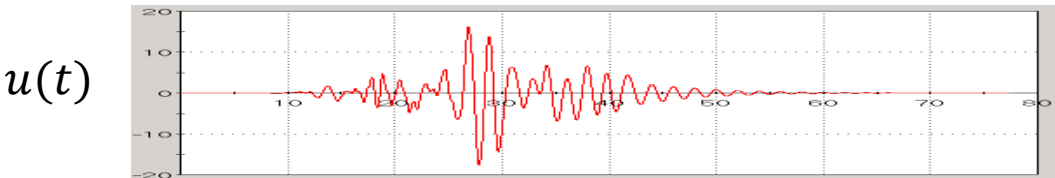
Giriş Hareketi



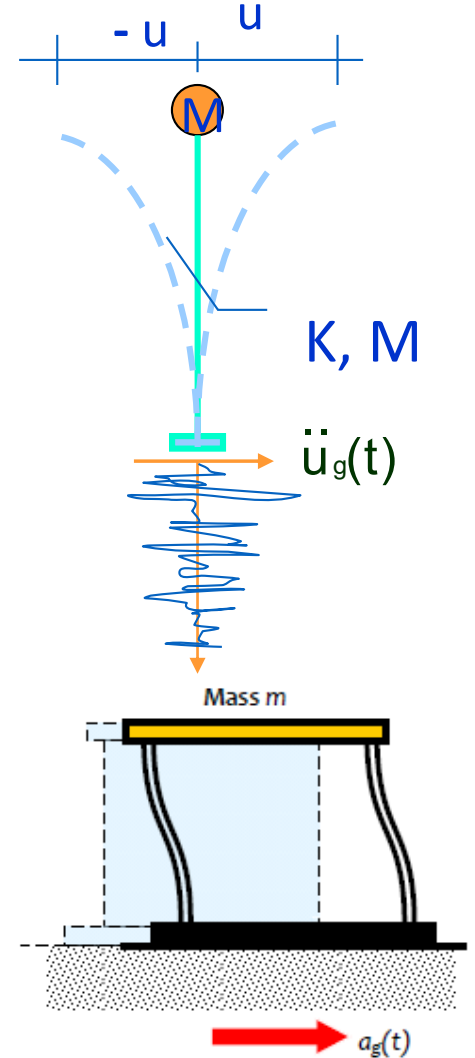
İvme Davranışı



Hız Davranışı



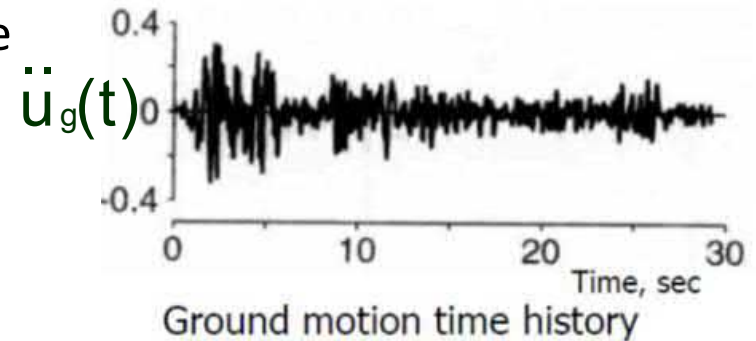
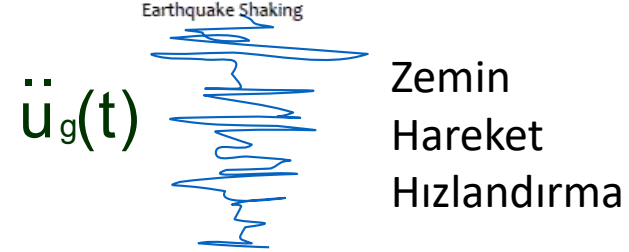
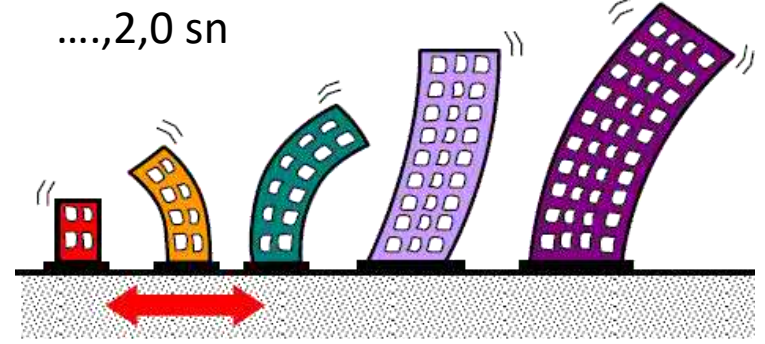
Yer değiştirme Davranışı



Deprem Tepki Spektrumu

- Zaman geçmişinin maksimum değerleri Önceden tanımlanmış periyot aralığı ve belirlenen sönüm ile deprem yer hareketi geçmişine maruz kalan SDOF sistemlerinin tepkileri hesaplanabilmektedir.
- Deprem tepki spektrumu, SDOF sistemlerinin maksimum tepkilerinin önceden tanımlanmış dönem aralığına göre grafiğidir.
- Maksimum tepkiler yer değiştirme, hız ve ivme cinsinden hesaplanabilir.

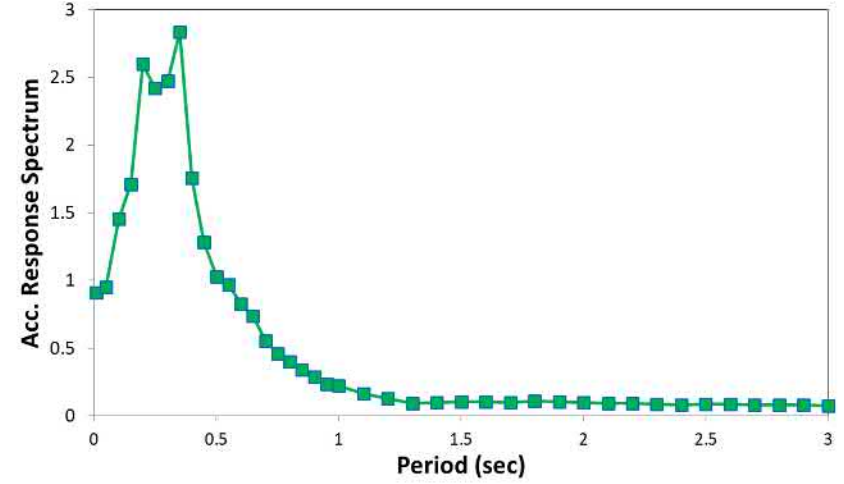
Sönümleme oranı $\zeta = \%5$
Sistem Dönemleri= 0,1,0,2,0,3,
...,2,0 sn



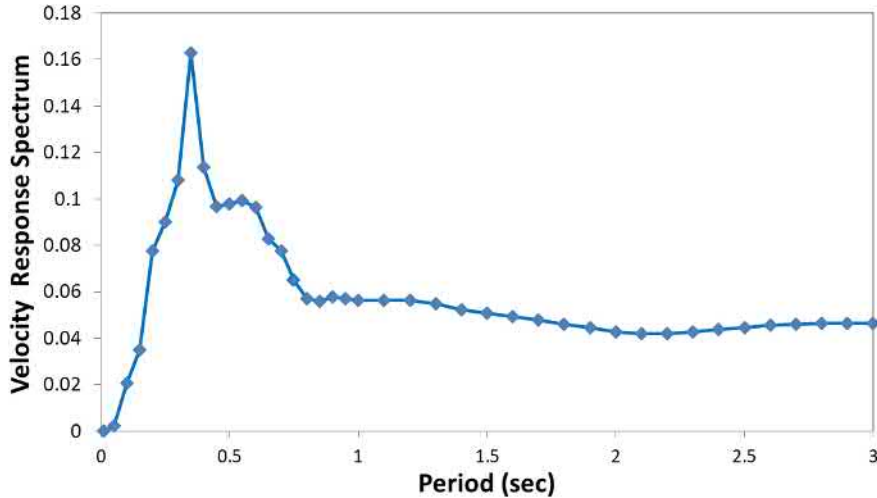
Deprem Davranış Spektrumu

Deprem Tepki Spektrumları, görelü yer değıştirme, görelü hız, görelü ve mutlak ivme terimleriyle hesaplanabilir ve çizilebilir.

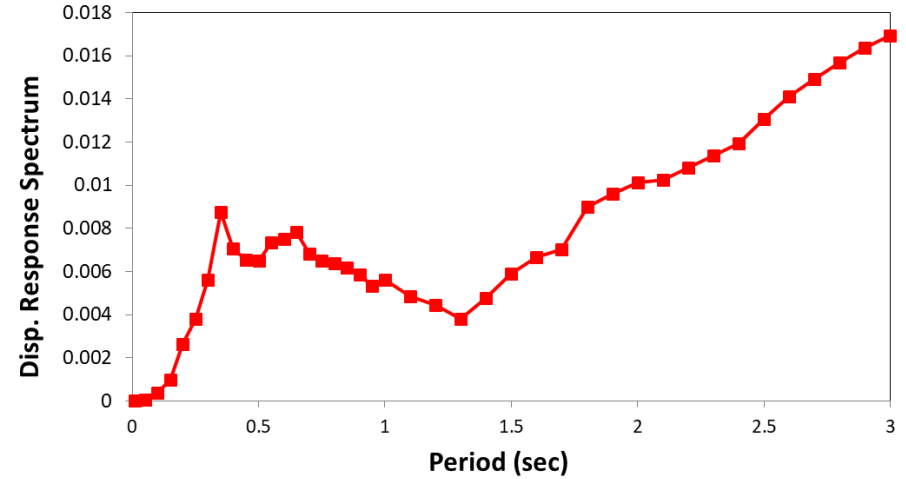
Mutlak (Toplam) İvme Spektrumu, uygulanan atalet kuvvetinin hesaplanması için kullanılır



Mutlak İvme Spektrumu, Sa

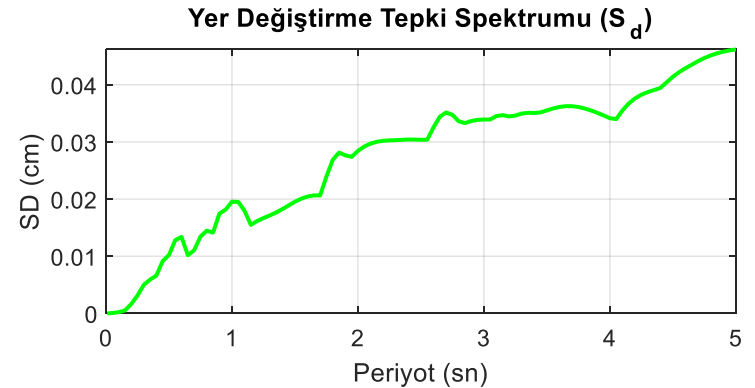
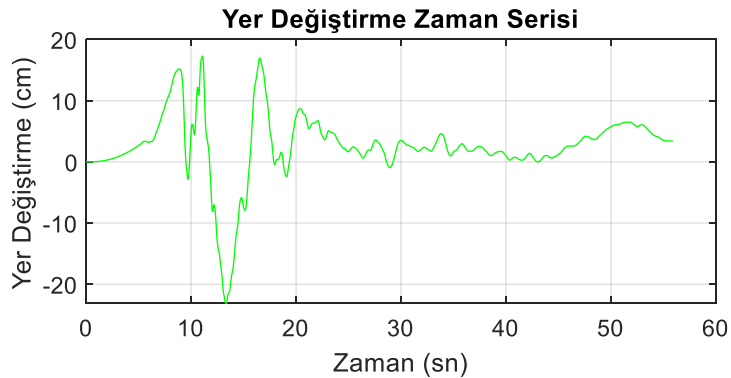
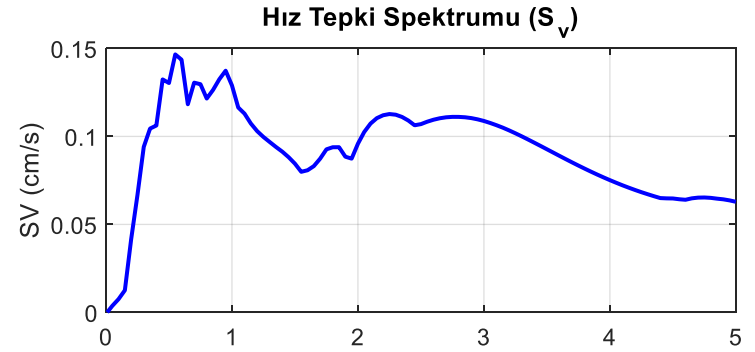
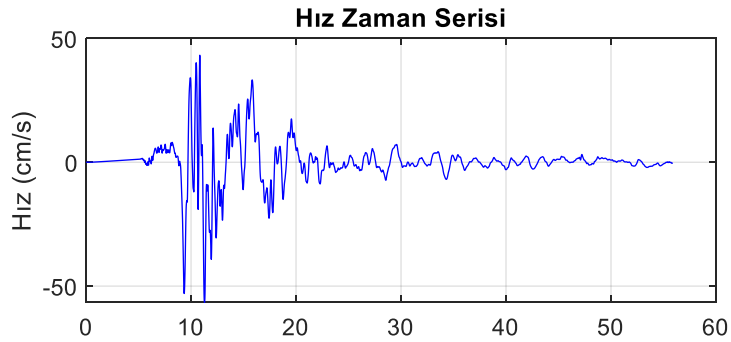
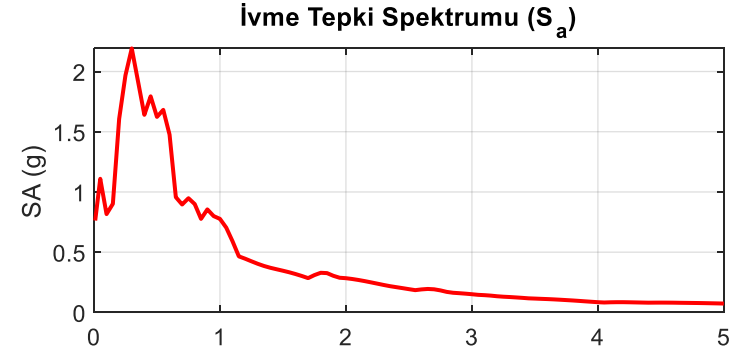
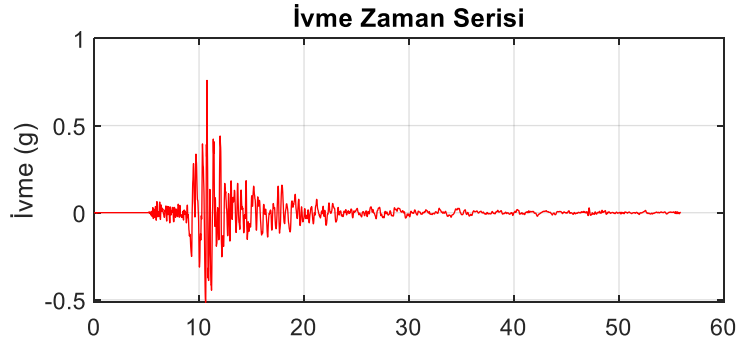


Görelü Hız Spektrumu, Sv

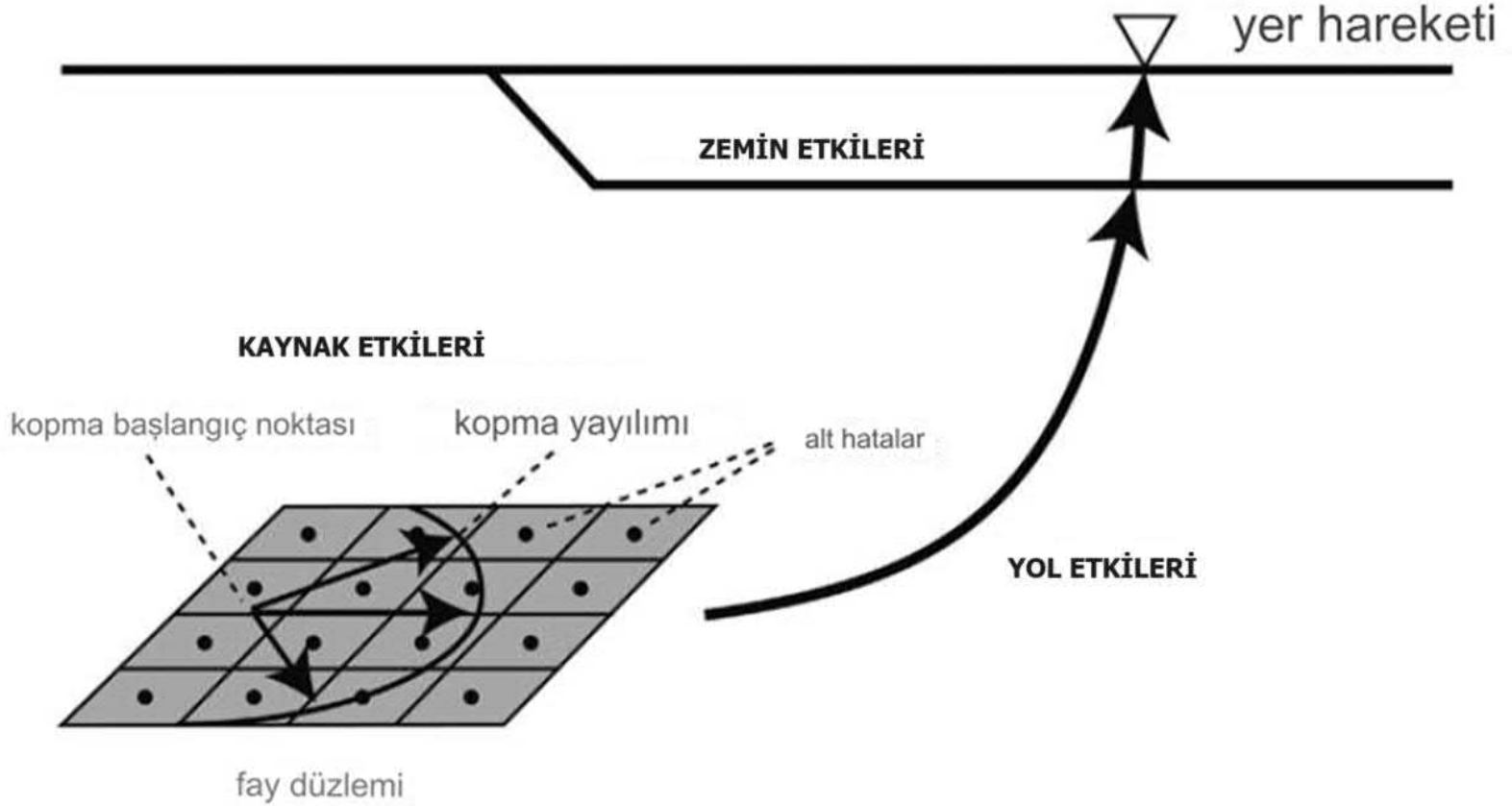


Görelü Yer Değıştirme Spektrumu, Sd

Deprem Davranış Spektrumu



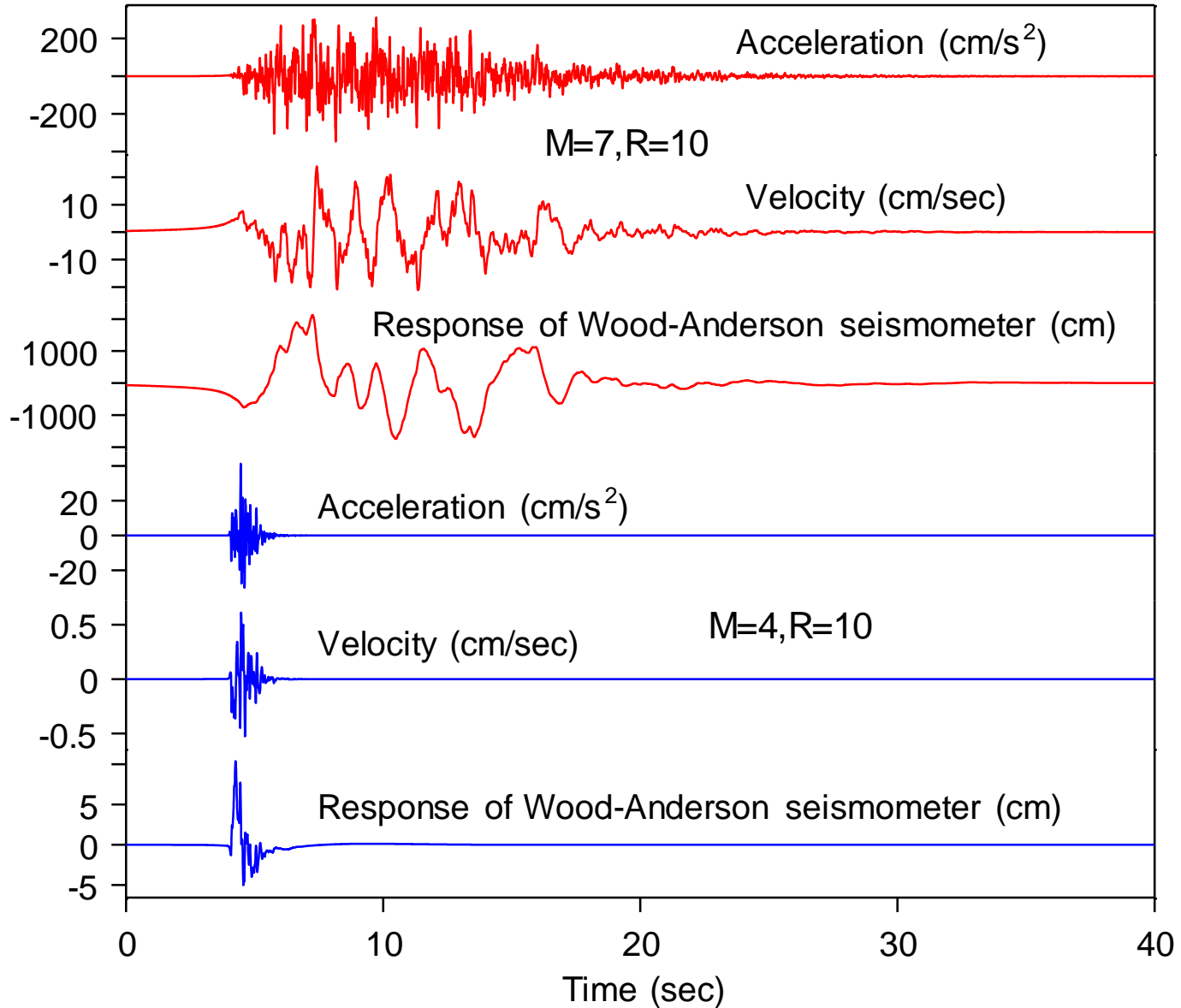
Kuvvetli Yer Hareketlerine Etkileyen Etkiler



Şiddetli depremler sırasında gözlemlenen kuvvetli yer hareketleri, kaynak, sismik dalga yayılma yolu (fault-site path) ve saha etkileri olmak üzere üç ana faktörden etkilenmektedir.

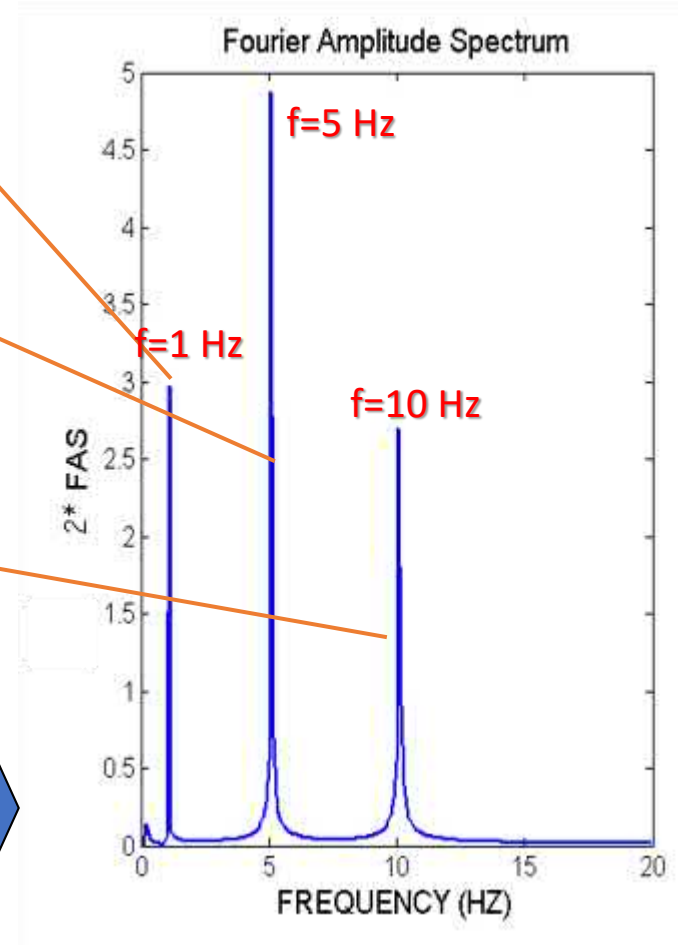
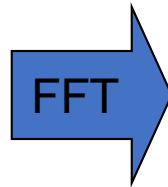
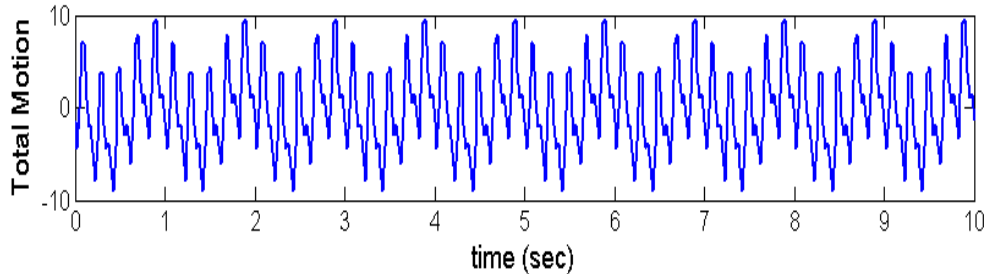
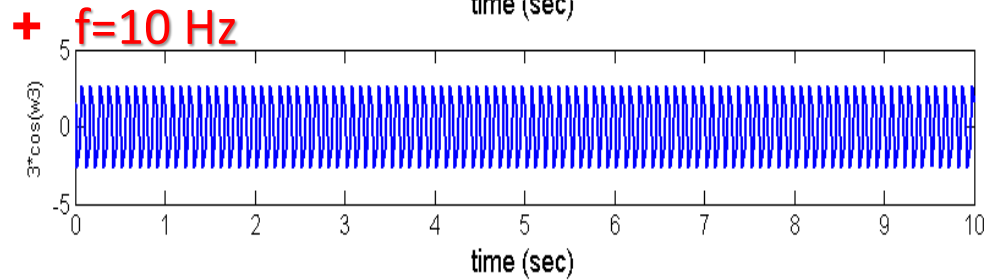
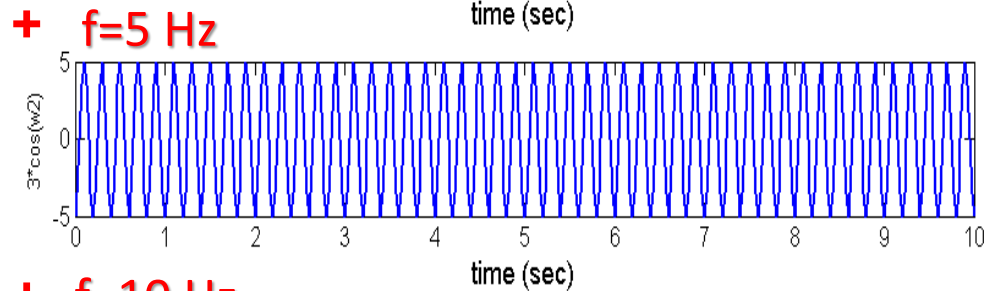
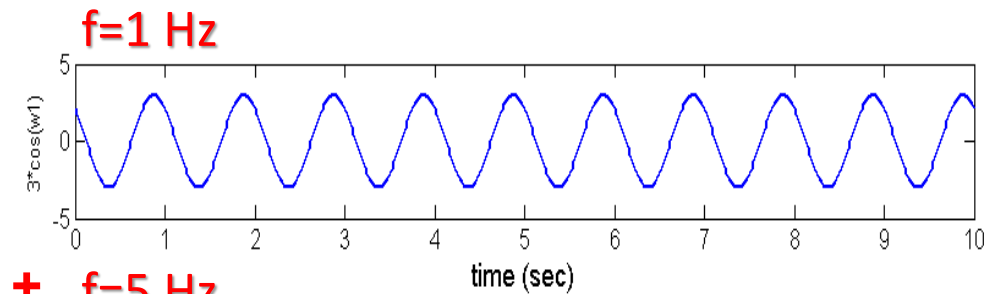
Deprem Büyüklüğünün İvme, Hız, Yer Değiştirme Süresine Etkisi

İki çok farklı büyüklük için ivme, hız, Deplasman tepkisi



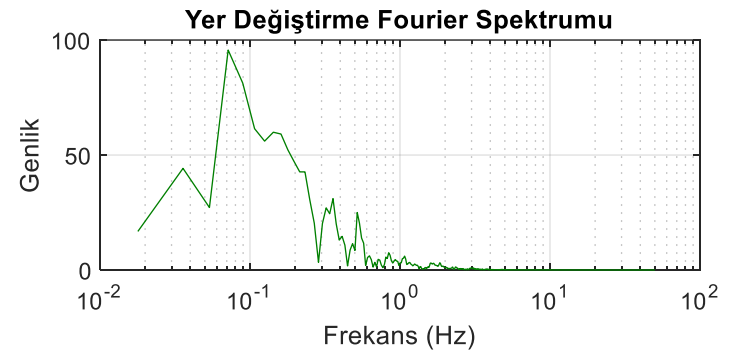
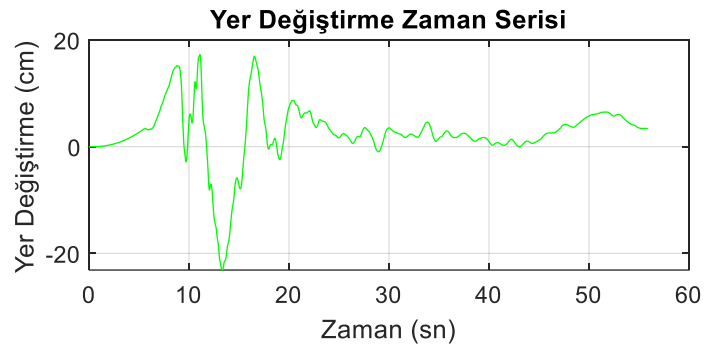
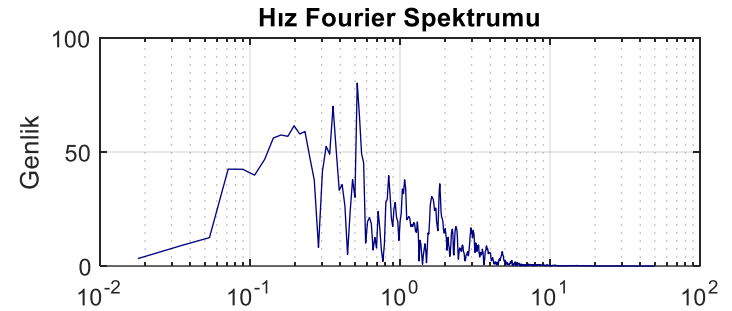
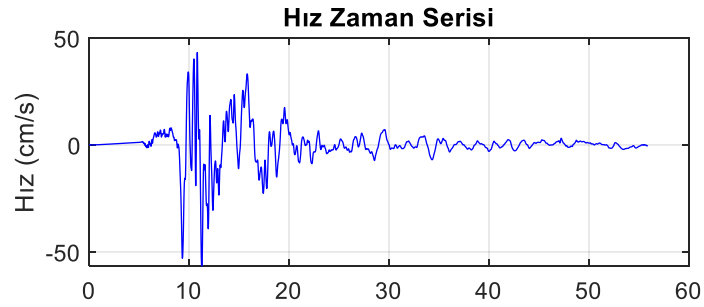
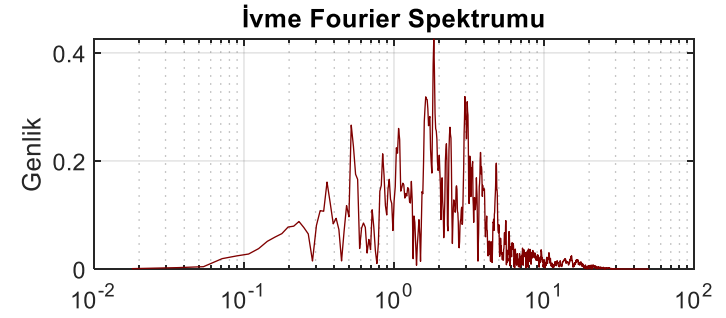
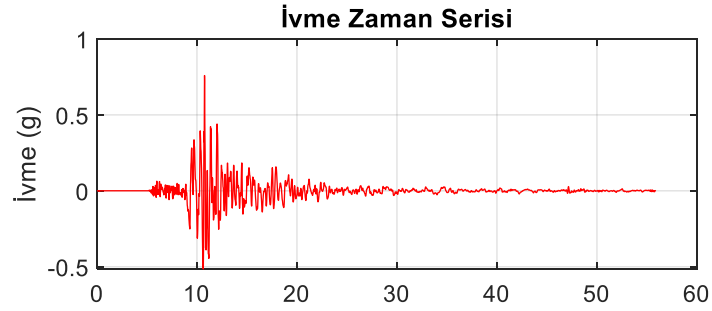
File: C:\metu_03\simulation\AS47WA_4ppt.draw; Date: 2003-09-18; Time: 22:16:44

Fourier Genlik Spektrumları Kavramı (FFT)



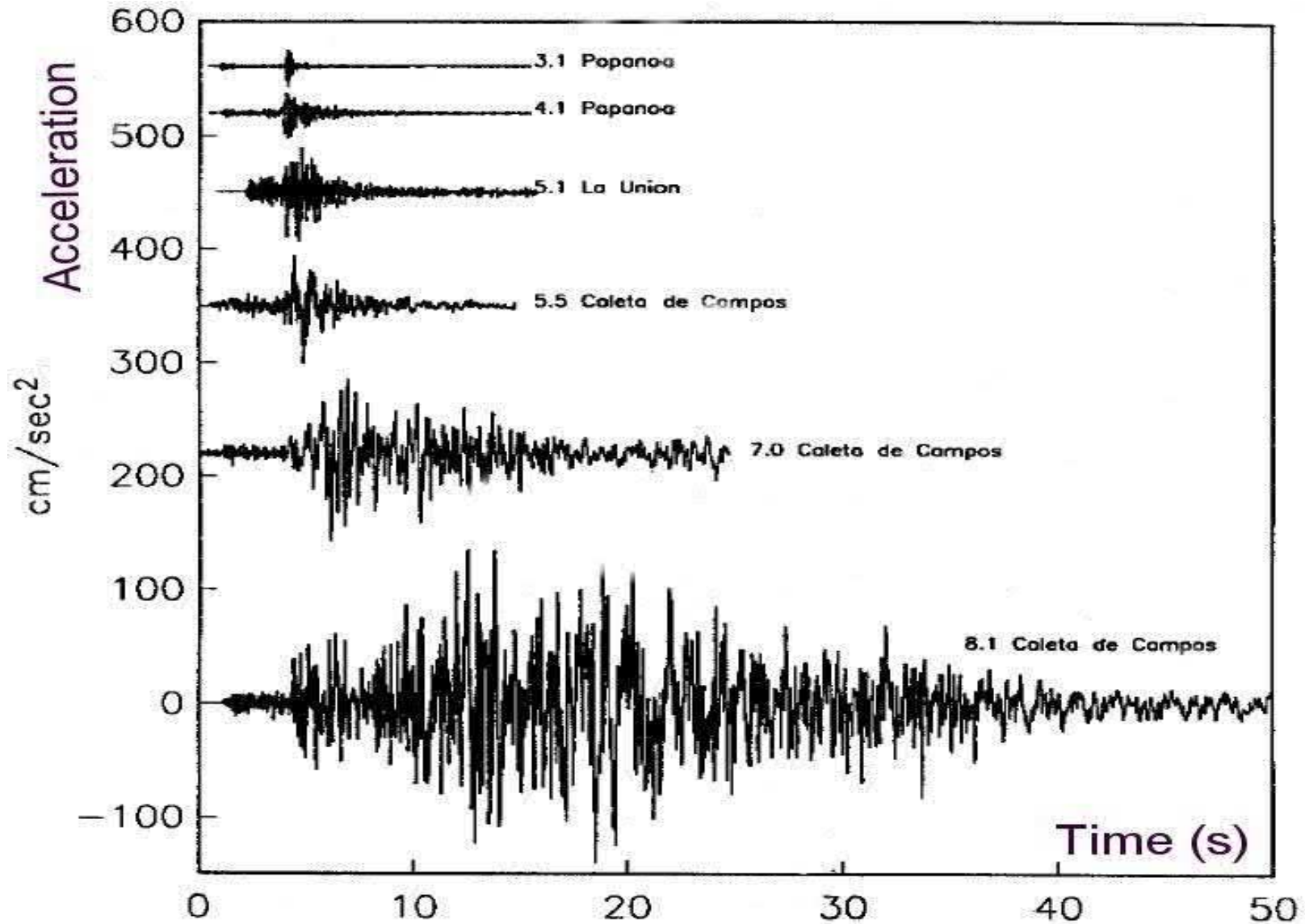
$$= a_1 \cdot \sin(2\pi f_1 t) + a_2 \cdot \sin(2\pi f_2 t) + a_3 \cdot \sin(2\pi f_3 t)$$

Yer Hareketi Frekansı İçeriği

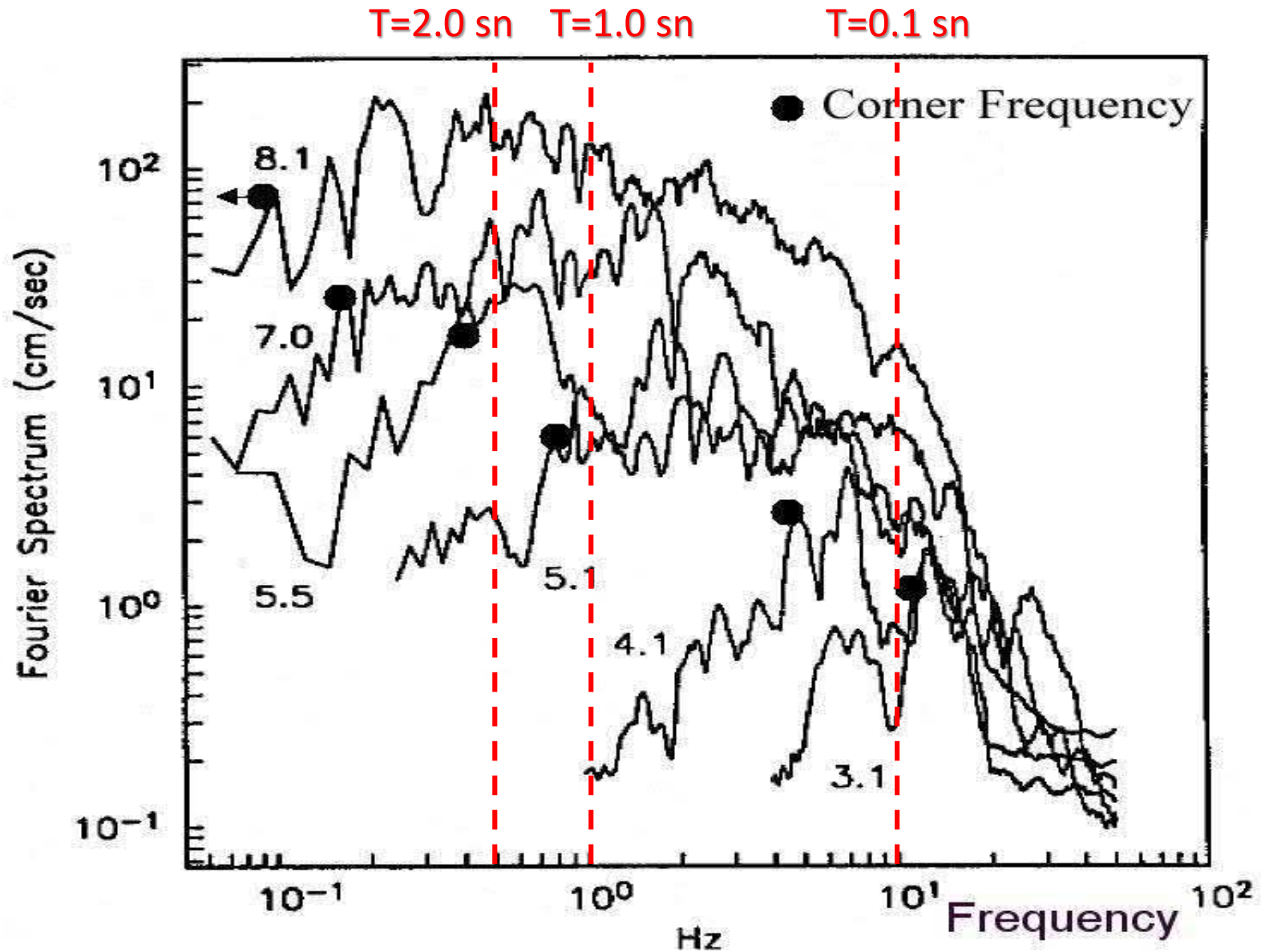


12.11.1999 Düzce Depremi, İstasyon kodu 1401 (Bolu-Merkez), Kuzey (N) Bileşeni

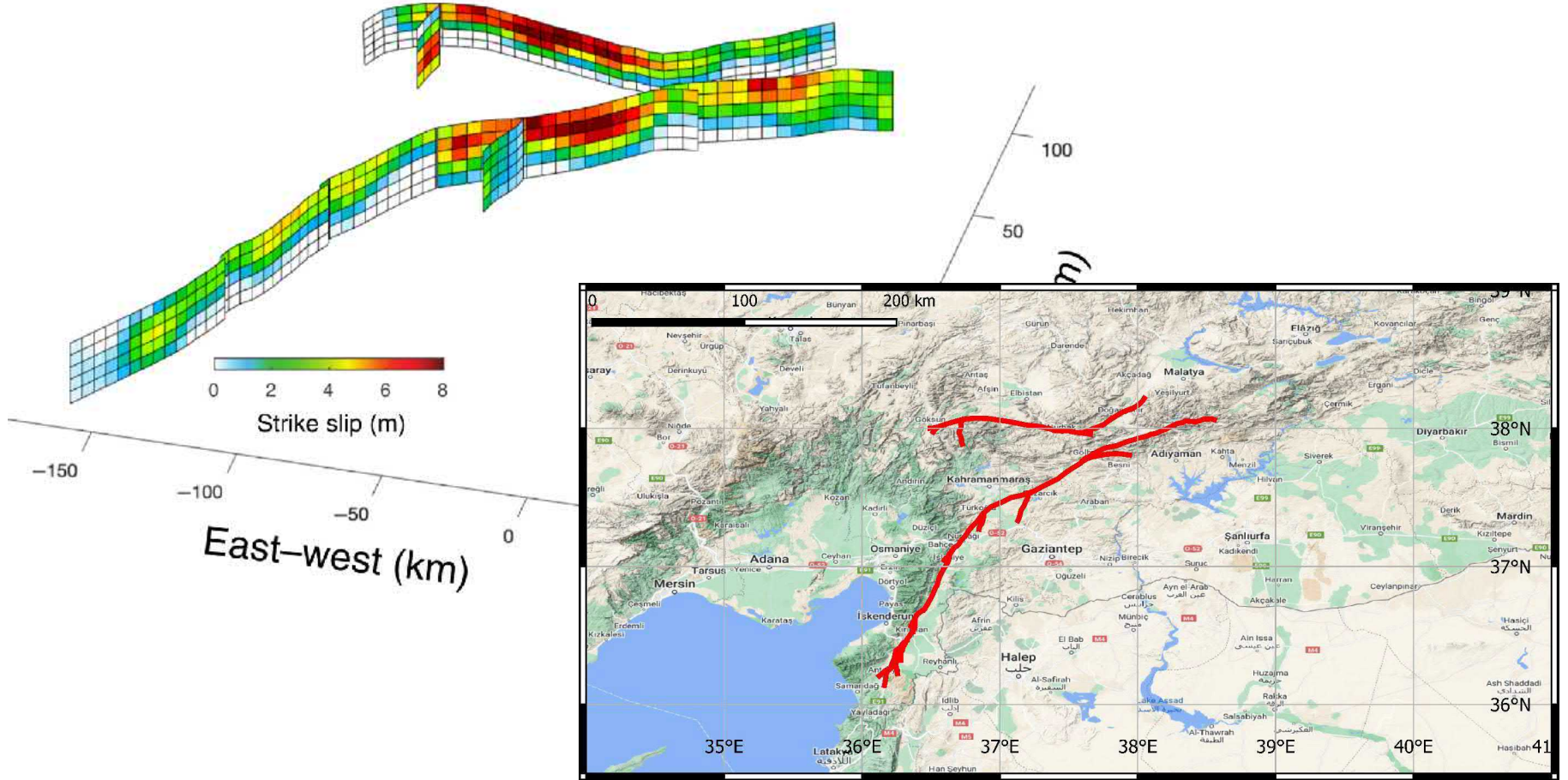
Deprem Büyüklüğünün Ivme, Hız, Yer Değiştirme Süresi Tarihine Etkisi



Deprem Büyüklüğünün Ivme Fourier Genlik Spektrumları Üzerindeki Etkisi



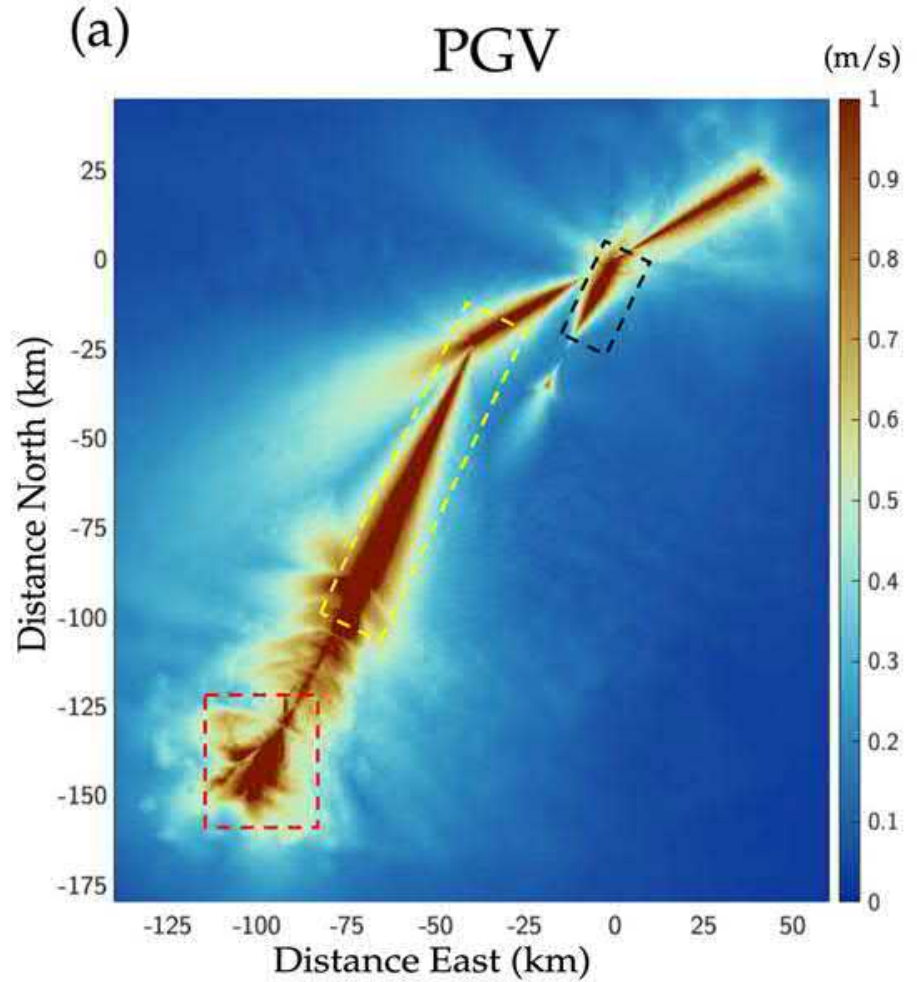
Kuvvetli Yer Hareketlerine Etkileyen Etkiler: KAYNAK



Kaynak etkileri, deprem büyüklüğü, kırılma süreci ve enerji salınım düzeyi gibi faktörleri içerir.

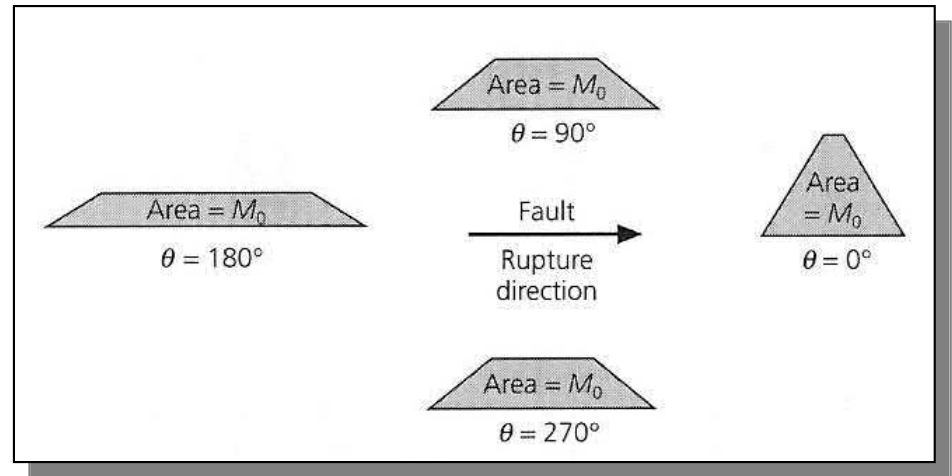
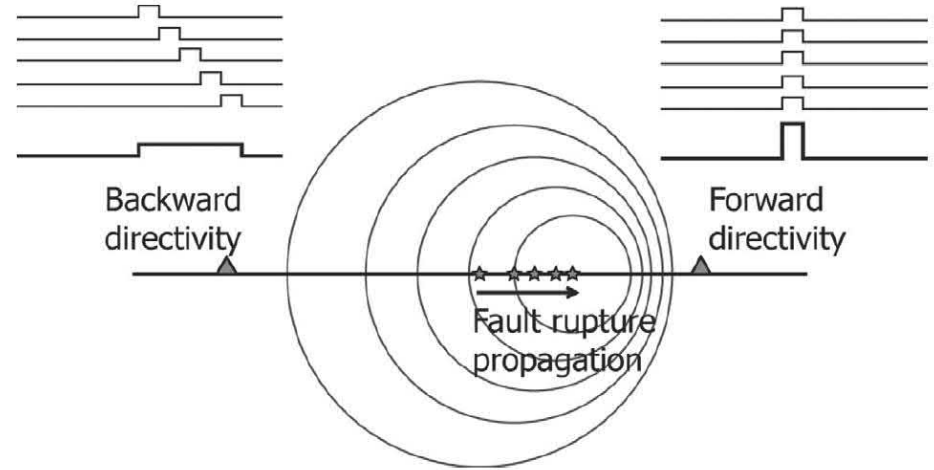
Kuvvetli Yer Hareketlerine Etkileyen Etkiler: KAYNAK

Kırılma hızı, sismik olay sırasında fay kaymasını, fay hattı boyunca yayılma hızını ifade etmektedir. Kırılma hızından etkilenen kaymanın mekânsal dağılımı ise, yer sarsıntısının modelini etkilemektedir; daha yüksek hızlar, daha geniş bir alanda daha yoğun yer hareketleri üretir. Bir fay hattı boyunca mevcut olan pürüzler (asperities), yüksek gerilime sahip lokalize alanlardır ve düzgün kaymayı engellerler.

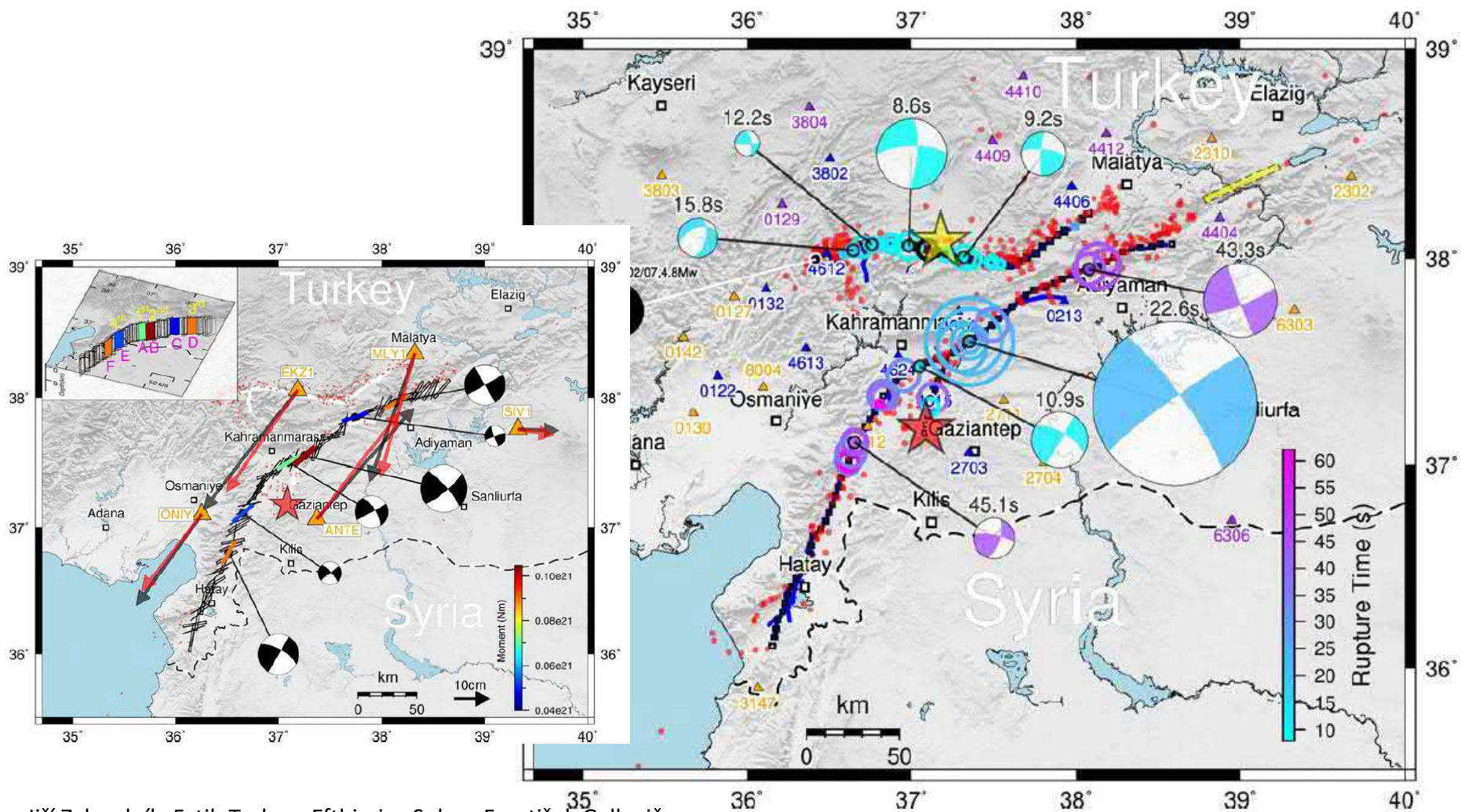


Kuvvetli Yer Hareketlerine Etkileyen Etkiler: Direktivite etkisi

Direktivite etkisi, bir fayın tek bir yönde veya belirli bir yönde kırılması durumunda güçlü yer hareketlerini belirgin şekilde etkiler. Bu tür bir kırılma, yer sarsıntısının şiddetinin artmasına sebep olur, çünkü sismik enerji belli bir yön doğrultusunda yoğunlaşır ve bu da o yönde daha güçlü yer hareketlerinin oluşmasına yol açabilmektedir.



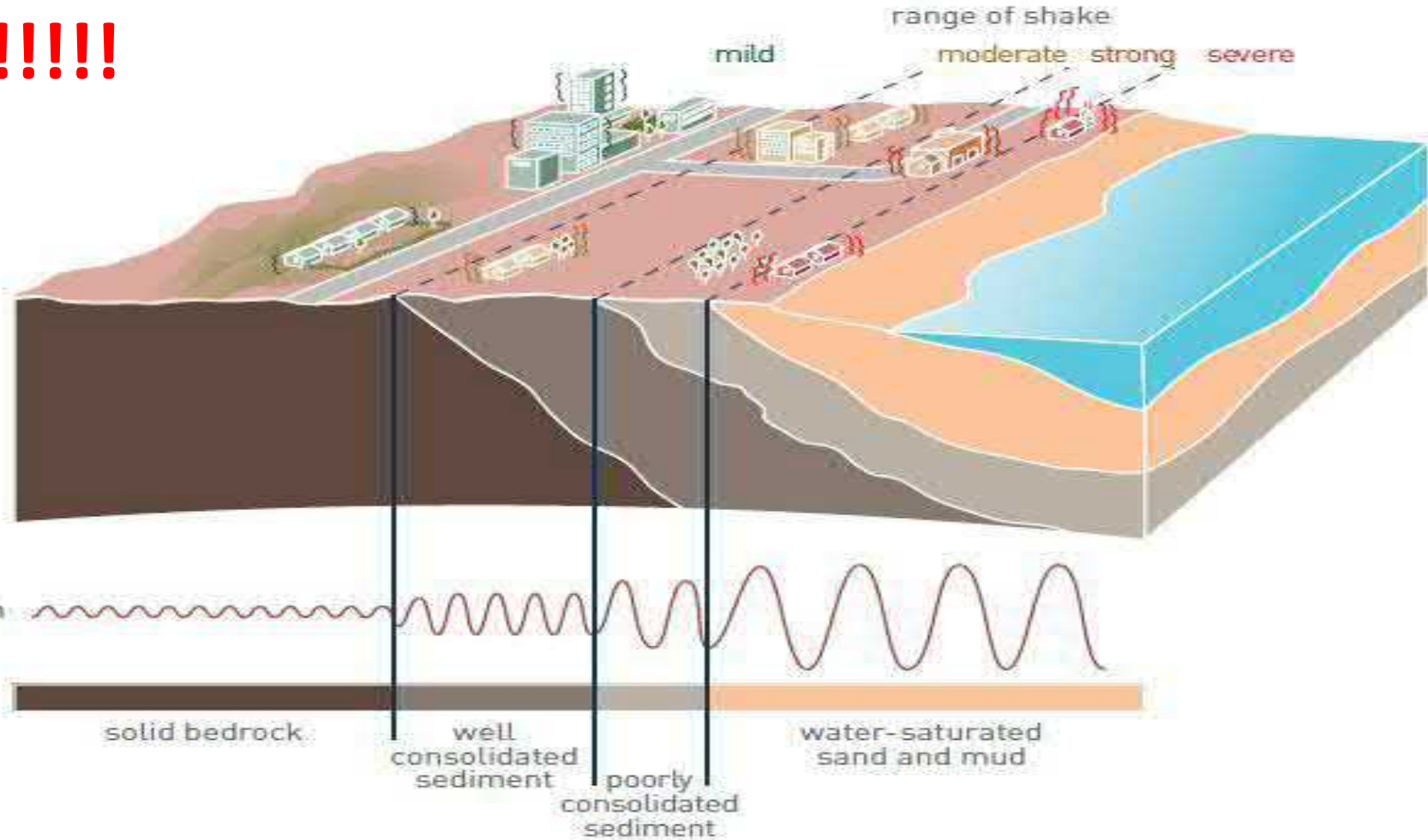
Asperity Benzeri (Bölümlü-Dilimli) Fay Kırılımı



Jiří Zahradník, Fatih Turhan, Efthimios Sokos, František Gallovič
 Asperity-like (segmented) structure of the 6 February 2023 Turkish earthquakes

Deprem Yer Hareketine Saha Etkileri (Zemin Büyütmesi)

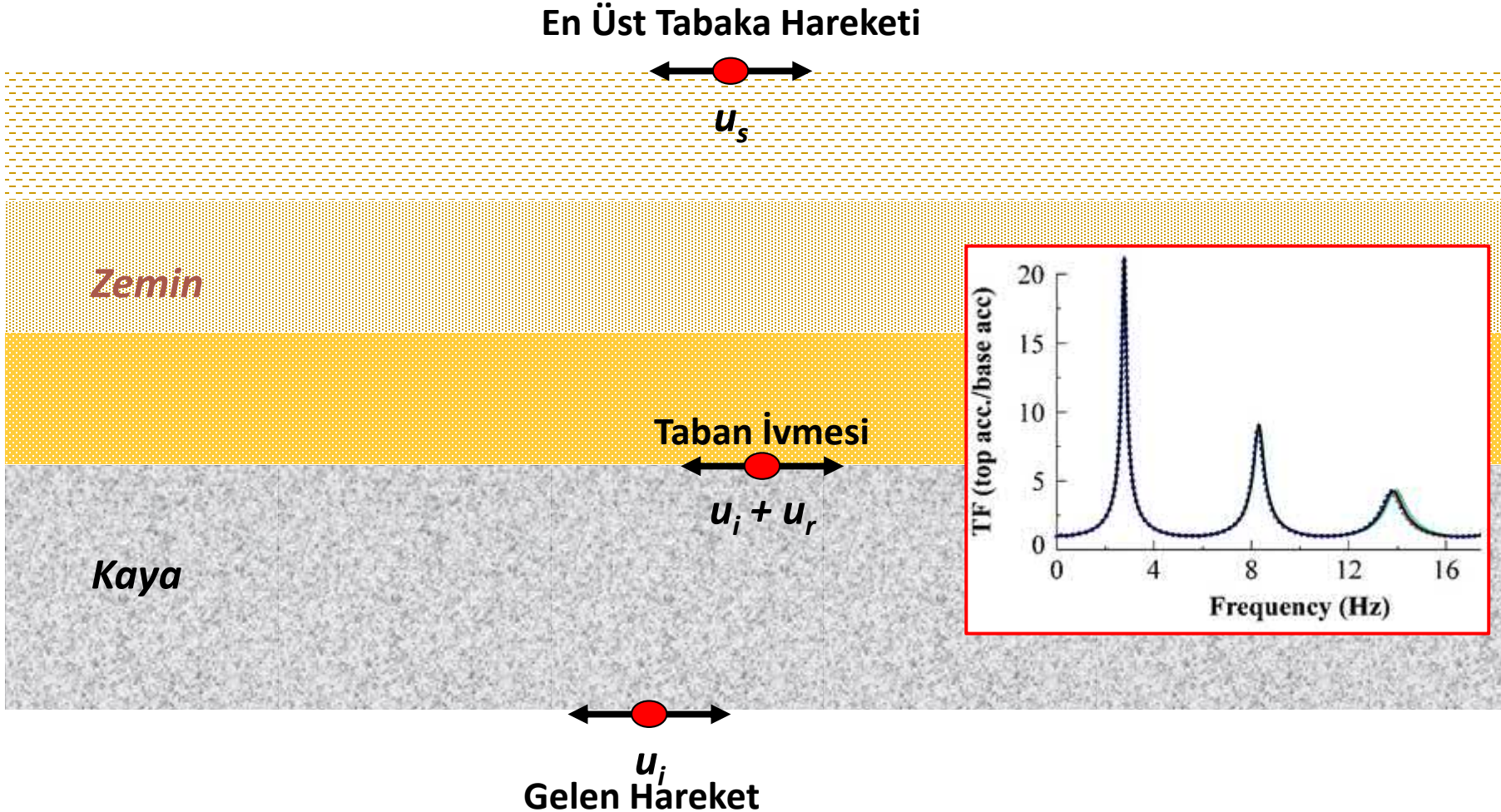
!!!!!!



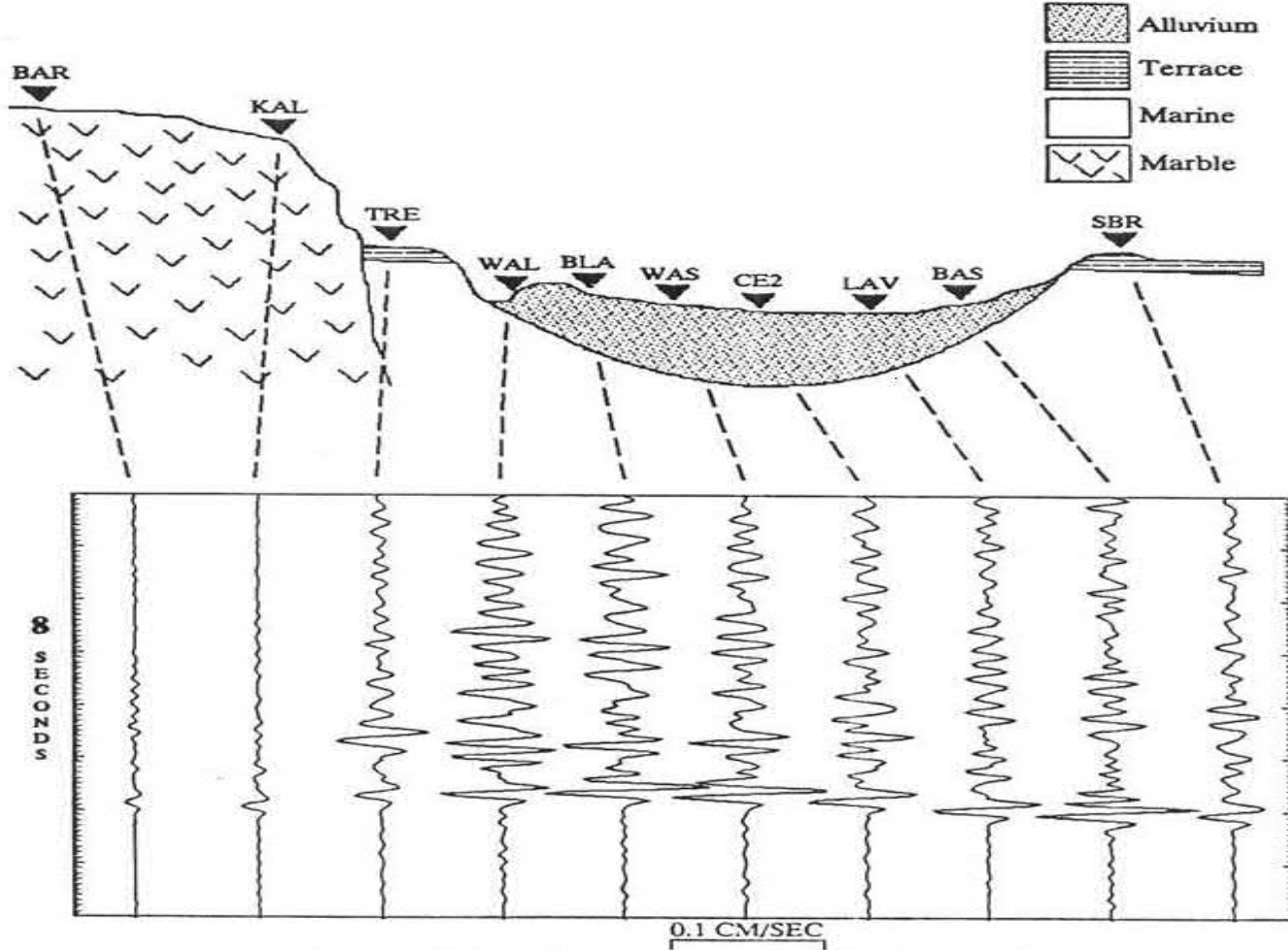
Zemin koşulları yer hareketinin frekans içeriğini artırabilir veya azaltabilir !!!!!

Kuvvetli Yer Hareketlerine Etkileyen Etkiler: Saha Koşulları

Zemin türü ve derinliği de dahil olmak üzere yerel zemin koşulları yer hareketinin frekans içeriğini artırabilir veya azaltabilir.

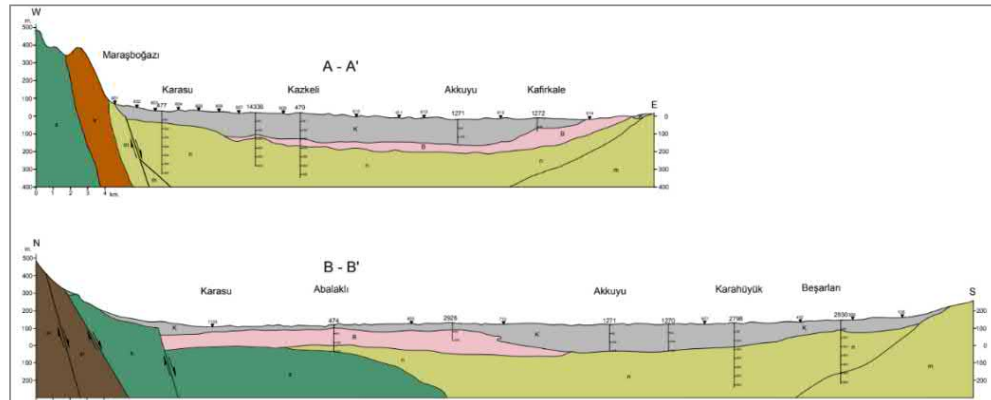


Kuvvetli Yer Hareketlerine Etkileyen Etkiler: Saha Koşulları



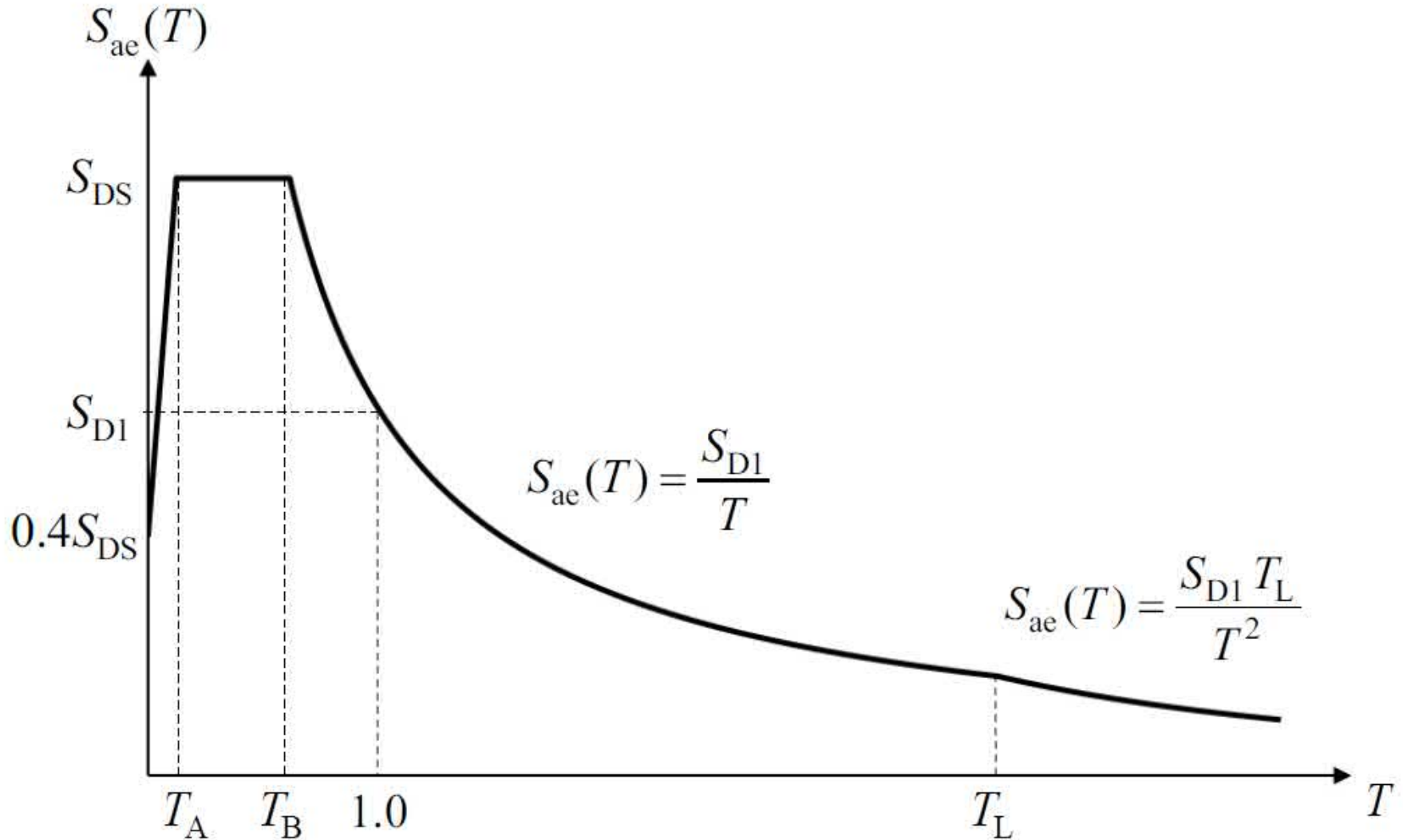
Vadiler, sismik dalgaların yoğunlaşmasına veya genişlemesine neden olur ve bu da vadideki yer sarsıntısının çevre bölgelere kıyasla daha şiddetli olmasına yol açar

Kuvvetli Yer Hareketlerine Etkileyen Etkiler: Saha Koşulları



Şekil 2.4. Asi Nehri Havzası'nı ve Amik Ovası'nı temsil eden jeoloji kesitleri (gri renkli birim alüvyonu temsil etmektedir) (DSİ, 1975)

TBDY2018 - Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



TBDY2018 Yerel Zemin Sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe /30 cm]	$(c_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	> 1500	–	–
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaştırılabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

TBDY2018 - Yerel Zemin Etki Katsayıları

Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Tablo 2.1 – Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

TBDY2018 - Yerel Zemin Etki Katsayıları

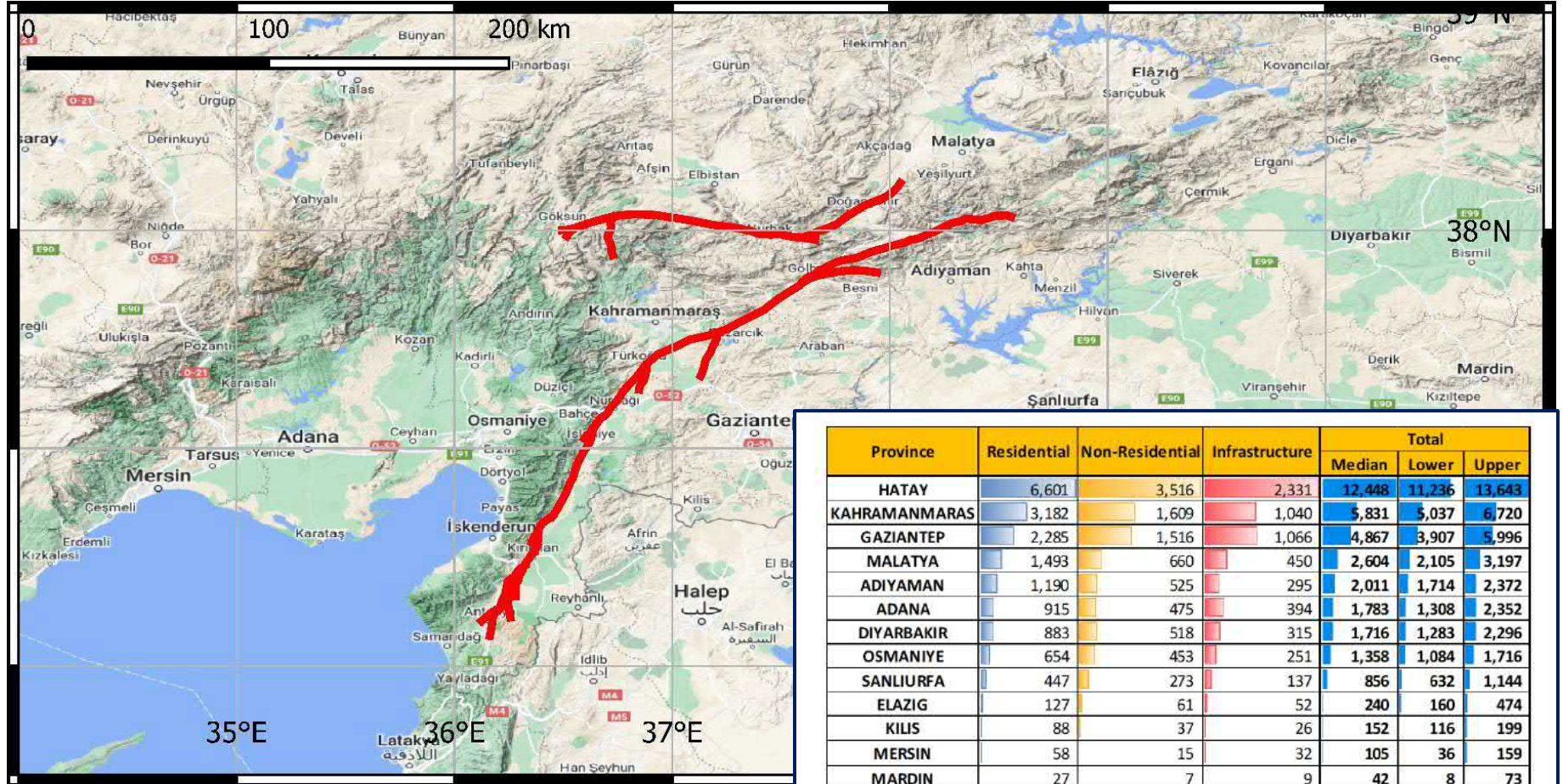
1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Tablo 2.2 – 1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
ZD	2.4	2.2	2.0	1.9	1.8	1.7
ZE	4.2	3.3	2.8	2.4	2.2	2.0
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).</i>					

Yapısal Hasar İncelenmesi

Yapısal Hasar Dağılımı

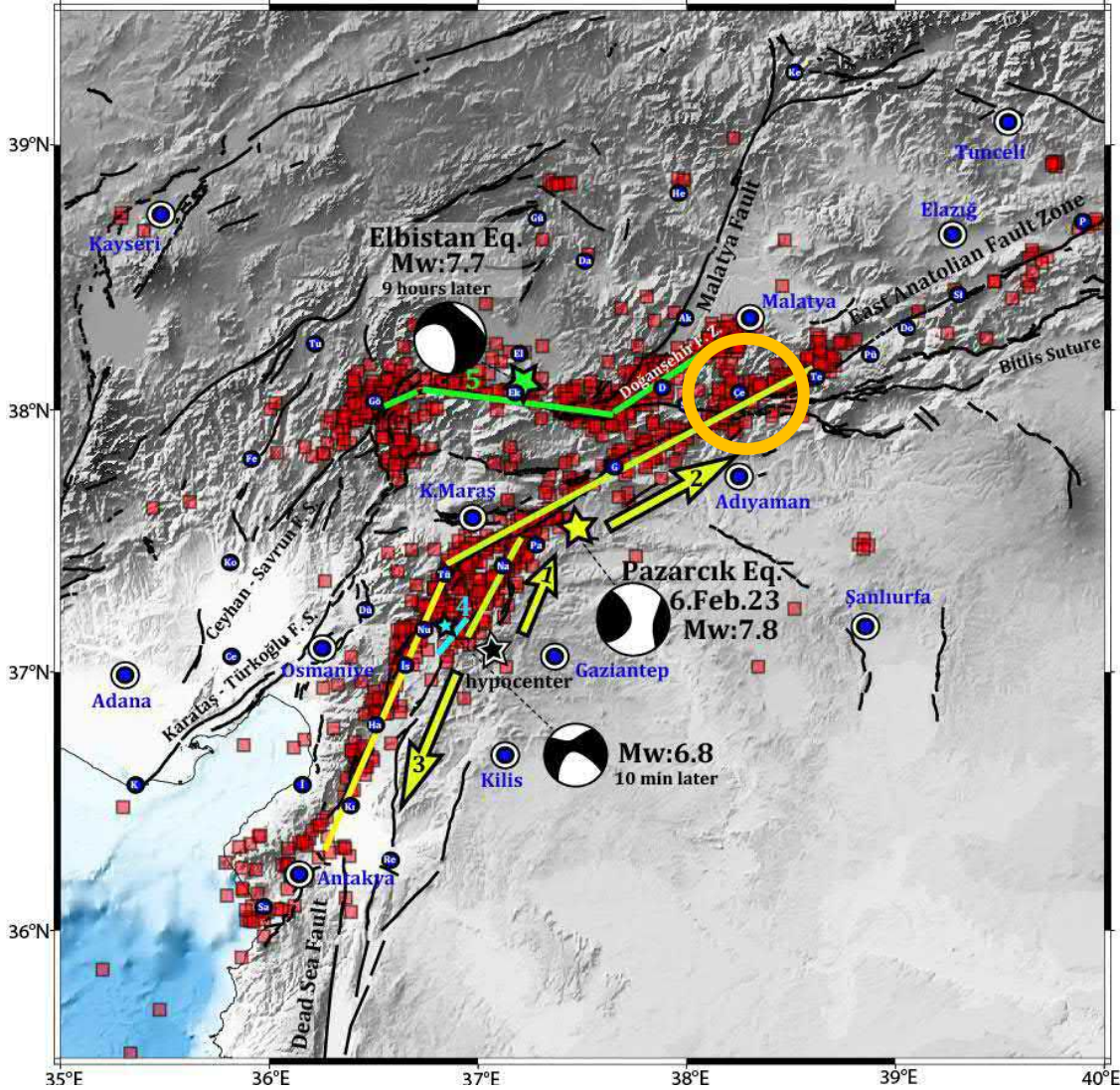


Province	Residential	Non-Residential	Infrastructure	Total		
				Median	Lower	Upper
HATAY	6,601	3,516	2,331	12,448	11,236	13,643
KAHRAMANMARAŞ	3,182	1,609	1,040	5,831	5,037	6,720
GAZİANTEP	2,285	1,516	1,066	4,867	3,907	5,996
MALATYA	1,493	660	450	2,604	2,105	3,197
ADİYAMAN	1,190	525	295	2,011	1,714	2,372
ADANA	915	475	394	1,783	1,308	2,352
DIYARBAKIR	883	518	315	1,716	1,283	2,296
OSMANIYE	654	453	251	1,358	1,084	1,716
SANLIURFA	447	273	137	856	632	1,144
ELAZIG	127	61	52	240	160	474
KILIS	88	37	26	152	116	199
MERSİN	58	15	32	105	36	159
MARDİN	27	7	9	42	8	73
KAYSERİ	22	10	7	40	13	104
SIVAS	23	9	5	37	22	50
NIGDE	23	4	9	37	-	66
BINGOL	15	2	5	23	1	40
OTHER	1	0	0	2	1	147
TOTAL	18,036	9,691	6,424	34,151	28,665	40,751

The World Bank

GFDRR: Global Rapid Post-Disaster Damage Estimation (GRADE) Report February 6, 2023 Kahramanmaraş Earthquakes

Yapısal Hasar İncelenmesi: Gölbaşı, Adıyaman



Yapısal Hasar İncelenmesi: Gölbaşı, Adıyaman



Yapısal Hasar İncelenmesi: Gölbaşı, Adıyaman



Yapısal Hasar İncelenmesi: Gölbaşı, Adıyaman



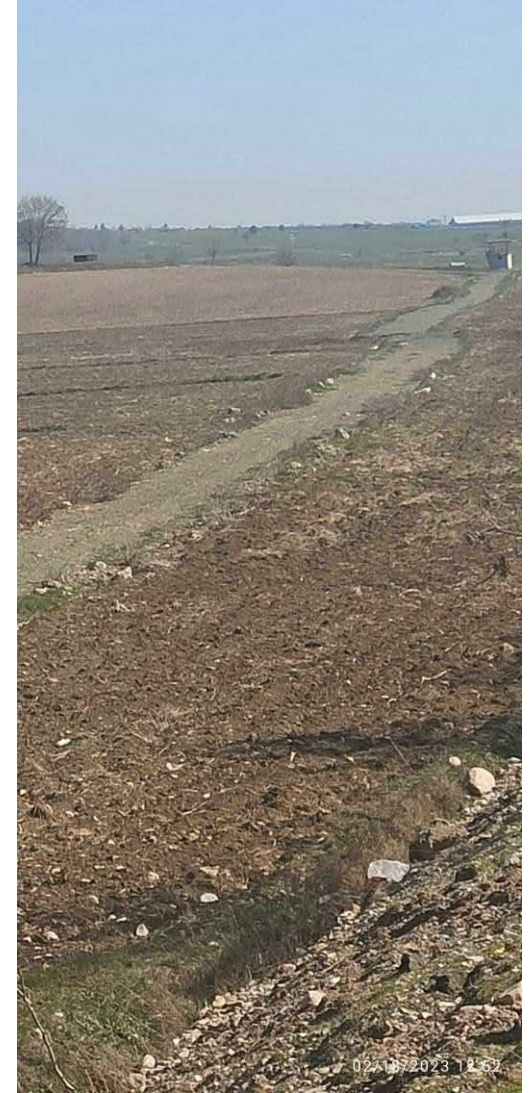
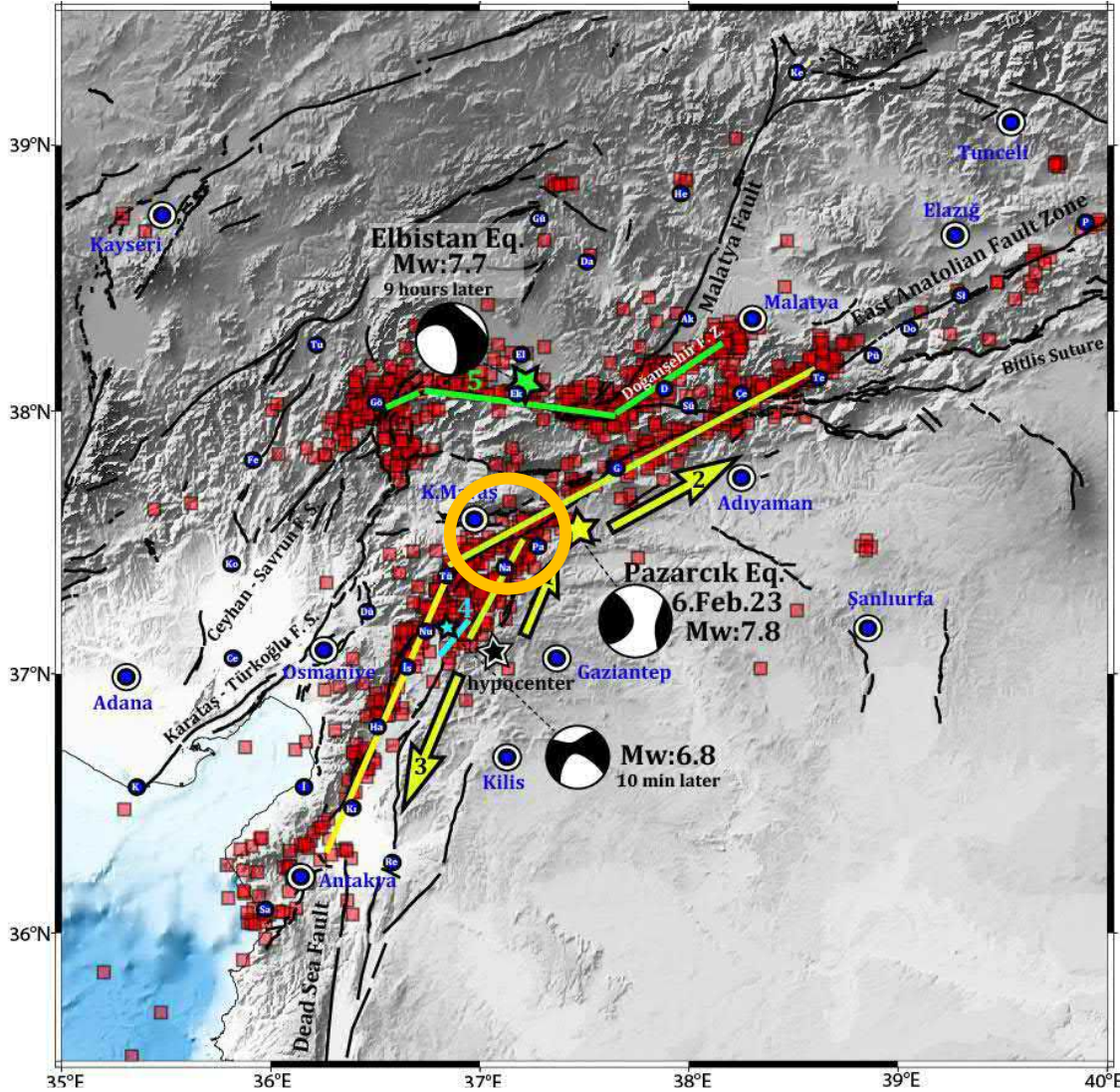
Yapısal Hasar İncelenmesi: Gölbaşı, Adıyaman



Yapısal Hasar İncelenmesi: Gölbaşı, Adıyaman



Yapısal Hasar İncelenmesi: Çiğli, Kahramanmaraş



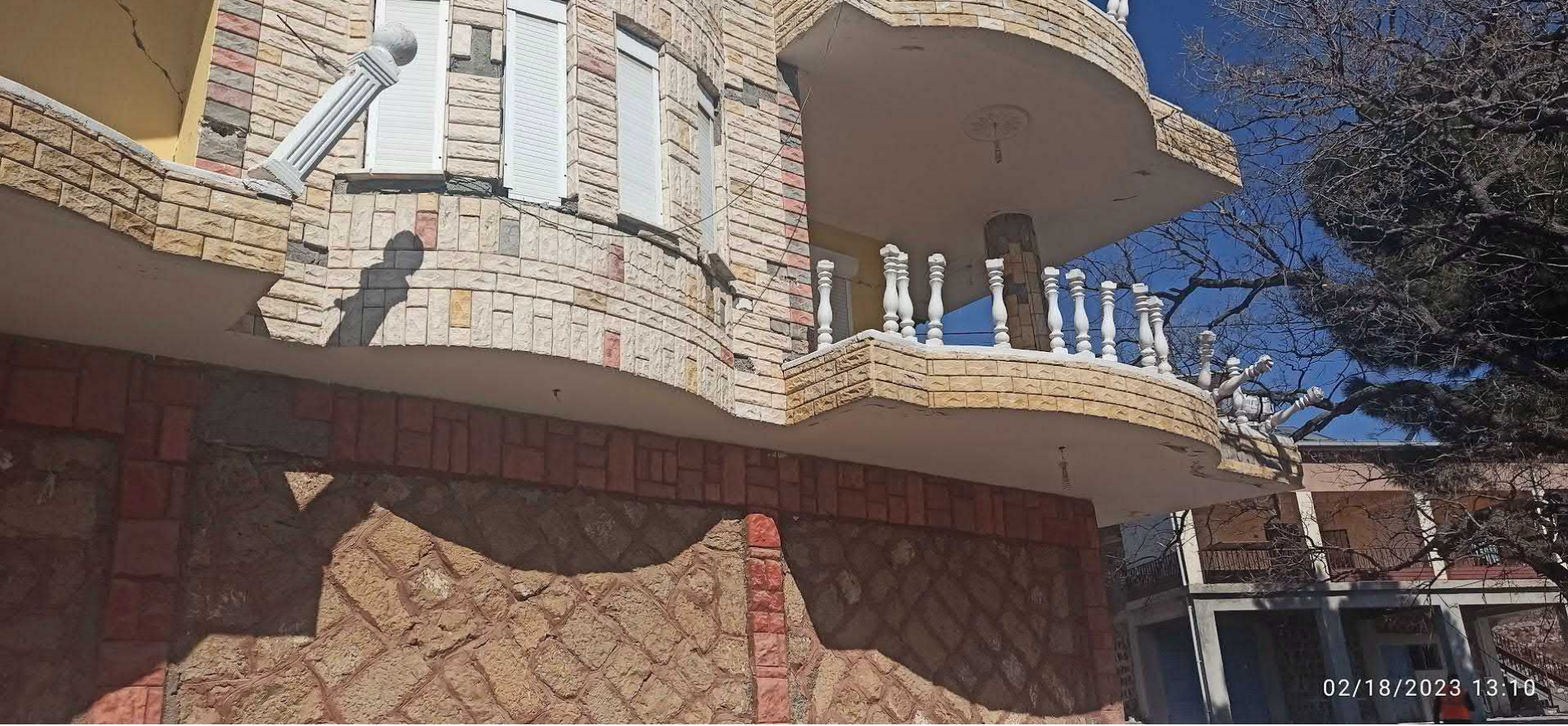
Yapısal Hasar İncelenmesi: Çiğli, Kahramanmaraş



Yapısal Hasar İncelenmesi: Çiğli, Kahramanmaraş



Yapısal Hasar İncelenmesi: Çiğli, Kahramanmaraş



Yapısal Hasar İncelenmesi: Çiğli, Kahramanmaraş



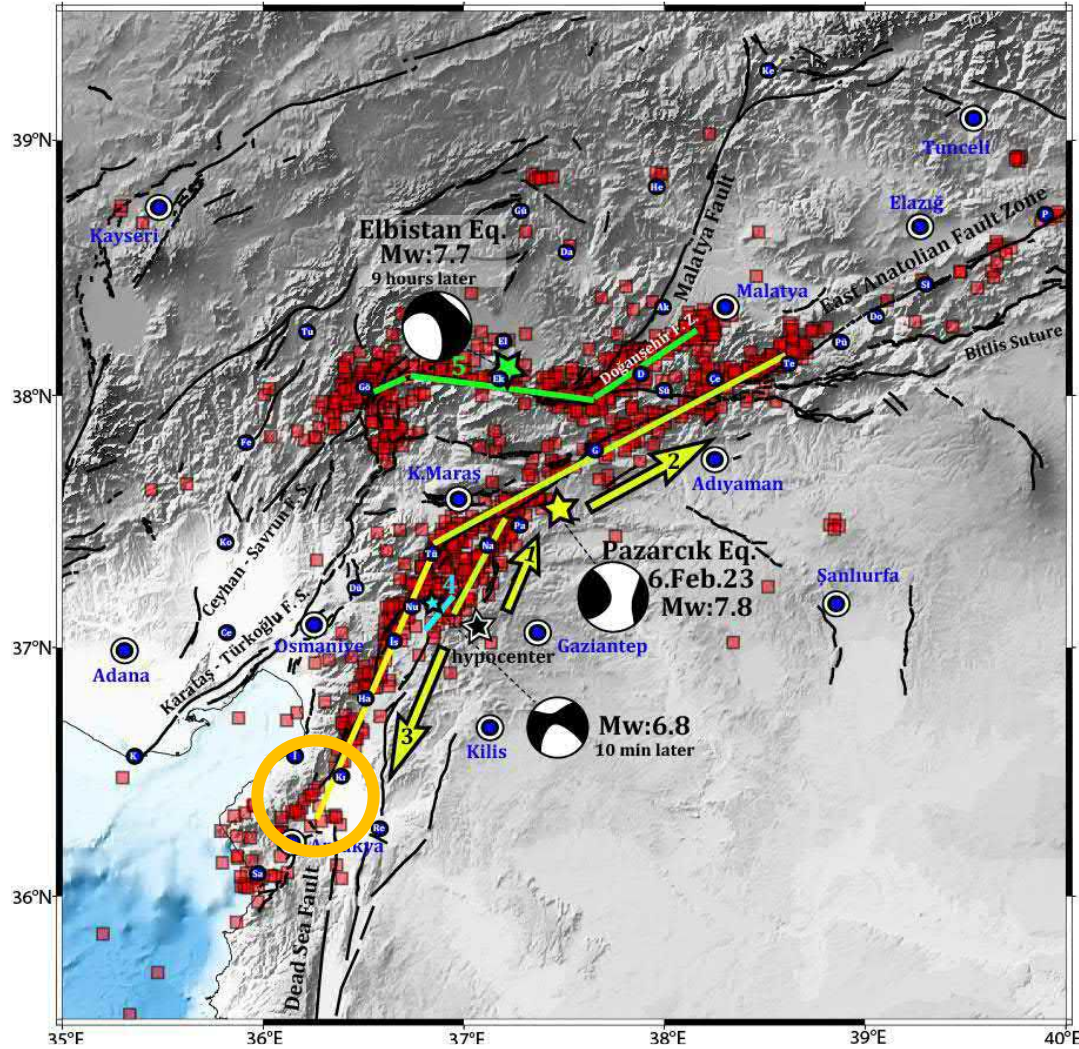
Yıl: 2020

Google Earth

Yıl: 2024



Yapısal Hasar İncelenmesi: Antakya



Yapısal Hasar İncelenmesi: Antakya



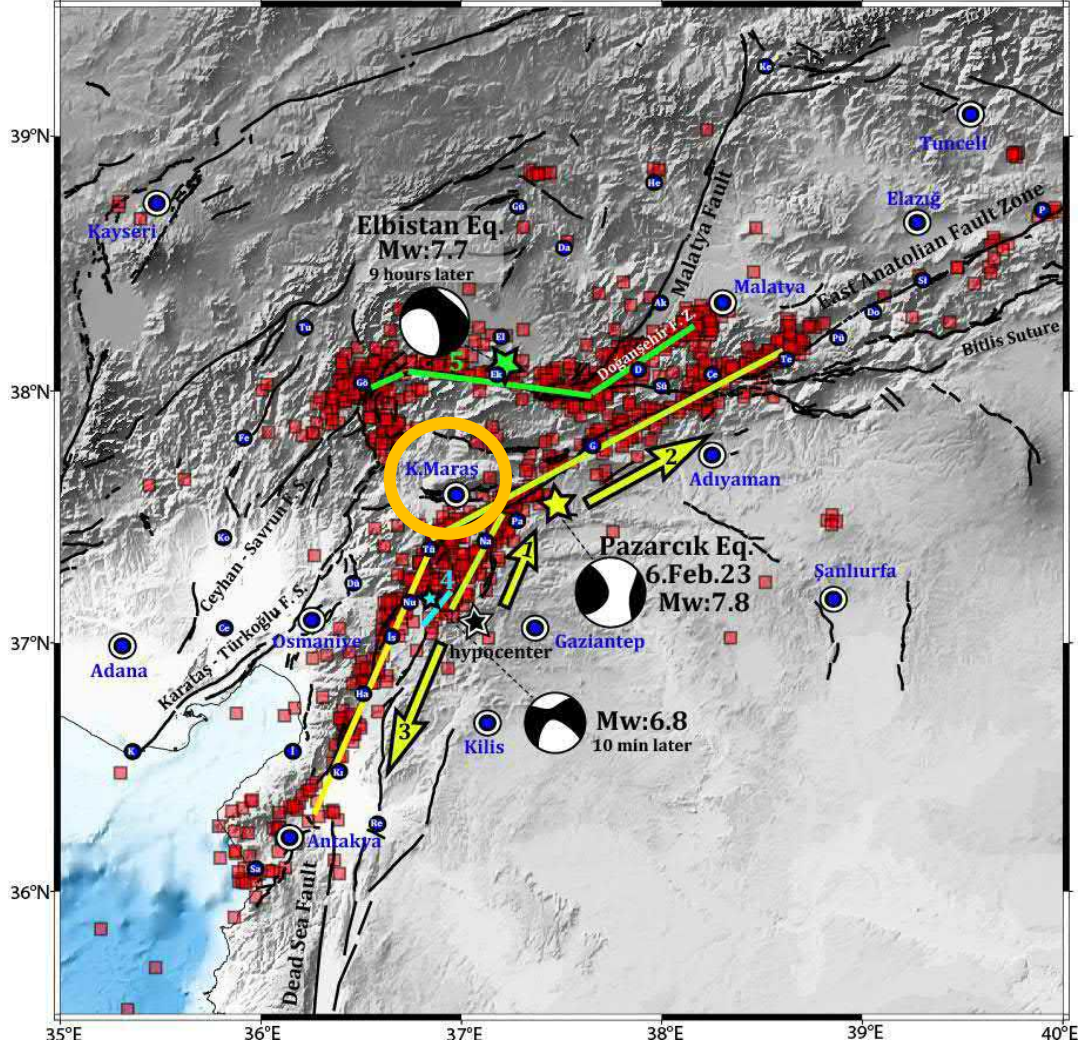
<https://www.bbc.com/news>

Yapısal Hasar İncelenmesi: Antakya



<https://www.eeri.org/>

Yapısal Hasar İncelenmesi: Kahramanmaraş, Merkez



Yapısal Hasar İncelenmesi: Kahramanmaraş, Merkez



Yıl: 2021

Yıl: 2023



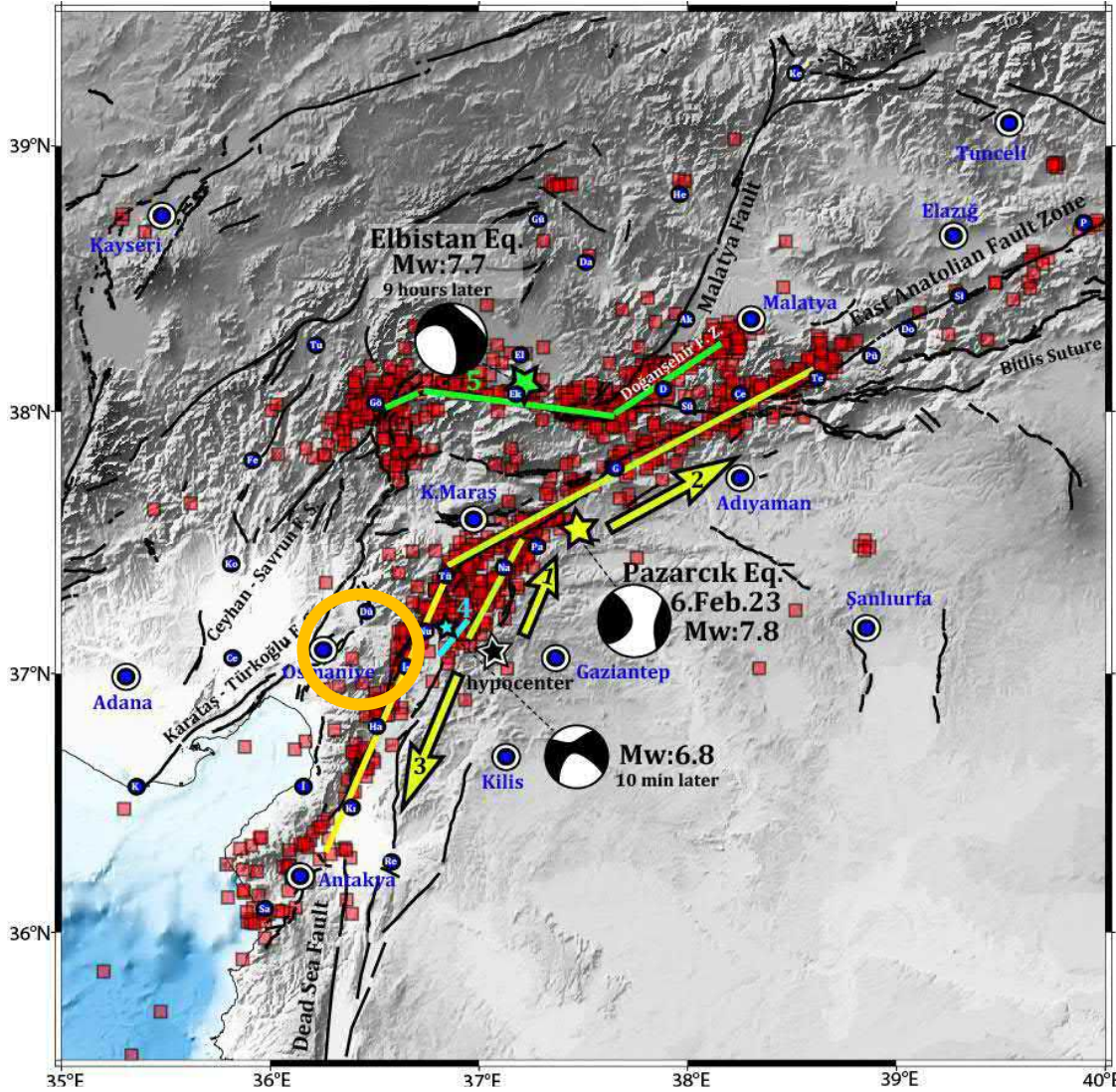
Google Earth

Yapısal Hasar İncelenmesi: Kahramanmaraş, Merkez



<https://www.nytimes.com/>

Yapısal Hasar İncelenmesi: Adana Merkez



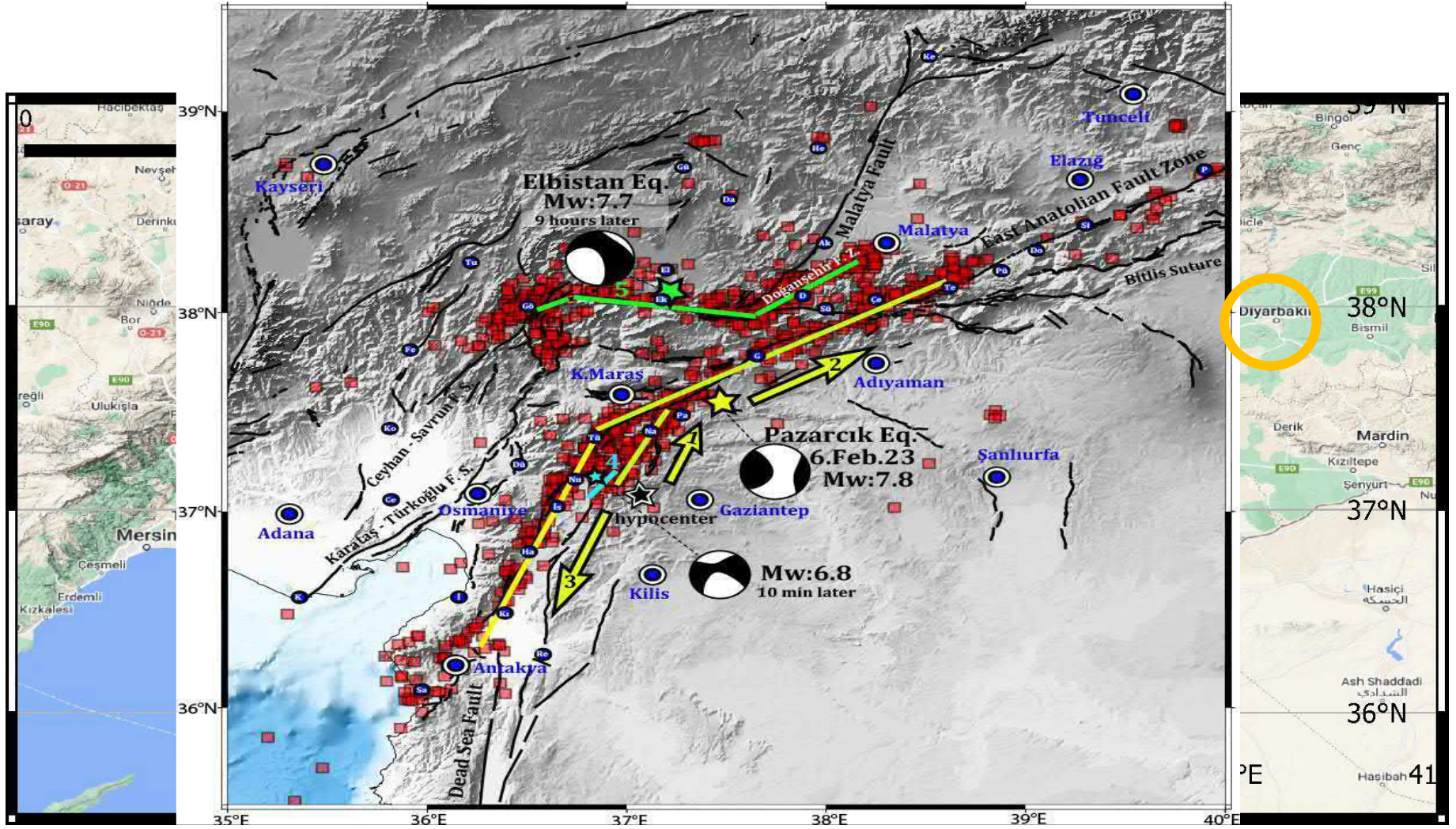
www.kucuksaat.com/

Yapısal Hasar İncelenmesi: Adana Merkez



<https://www.aa.com.tr/>

Yapısal Hasar İncelenmesi: Diyarbakir



Yapısal Hasar İncelenmesi: Diyarbakir



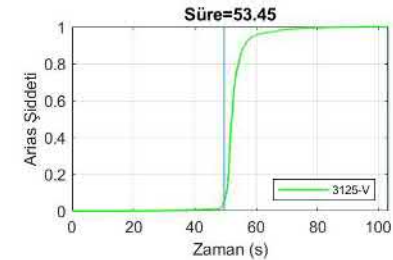
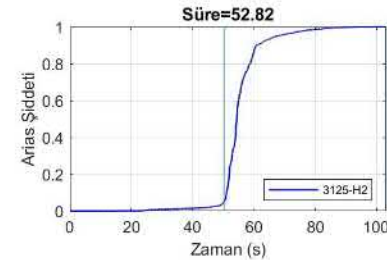
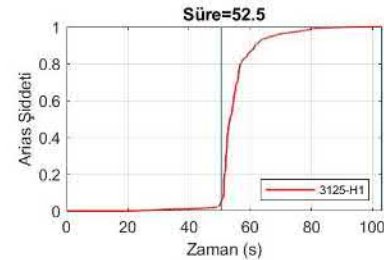
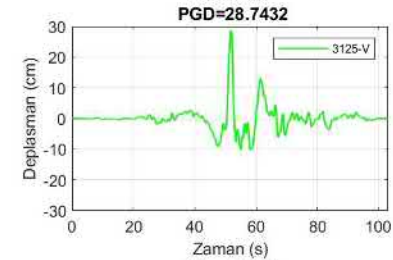
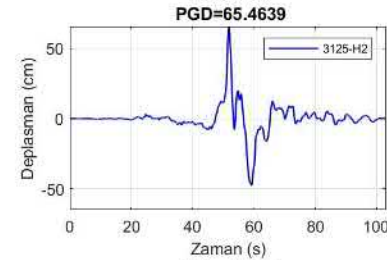
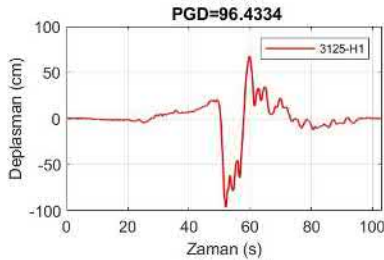
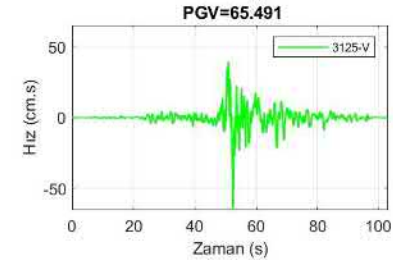
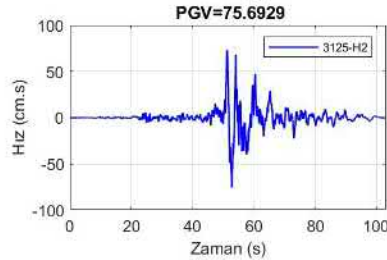
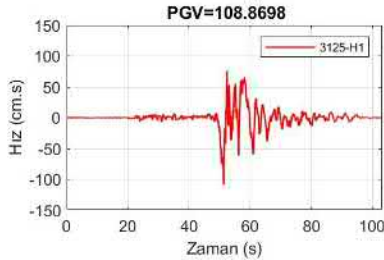
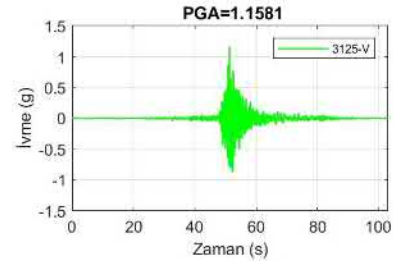
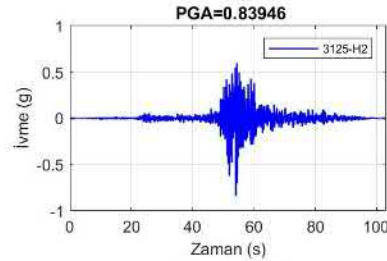
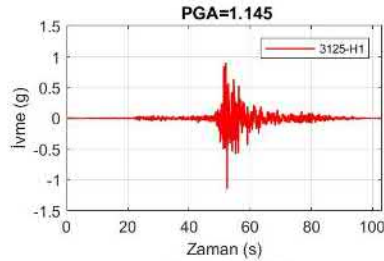
<https://www.aa.com.tr/>



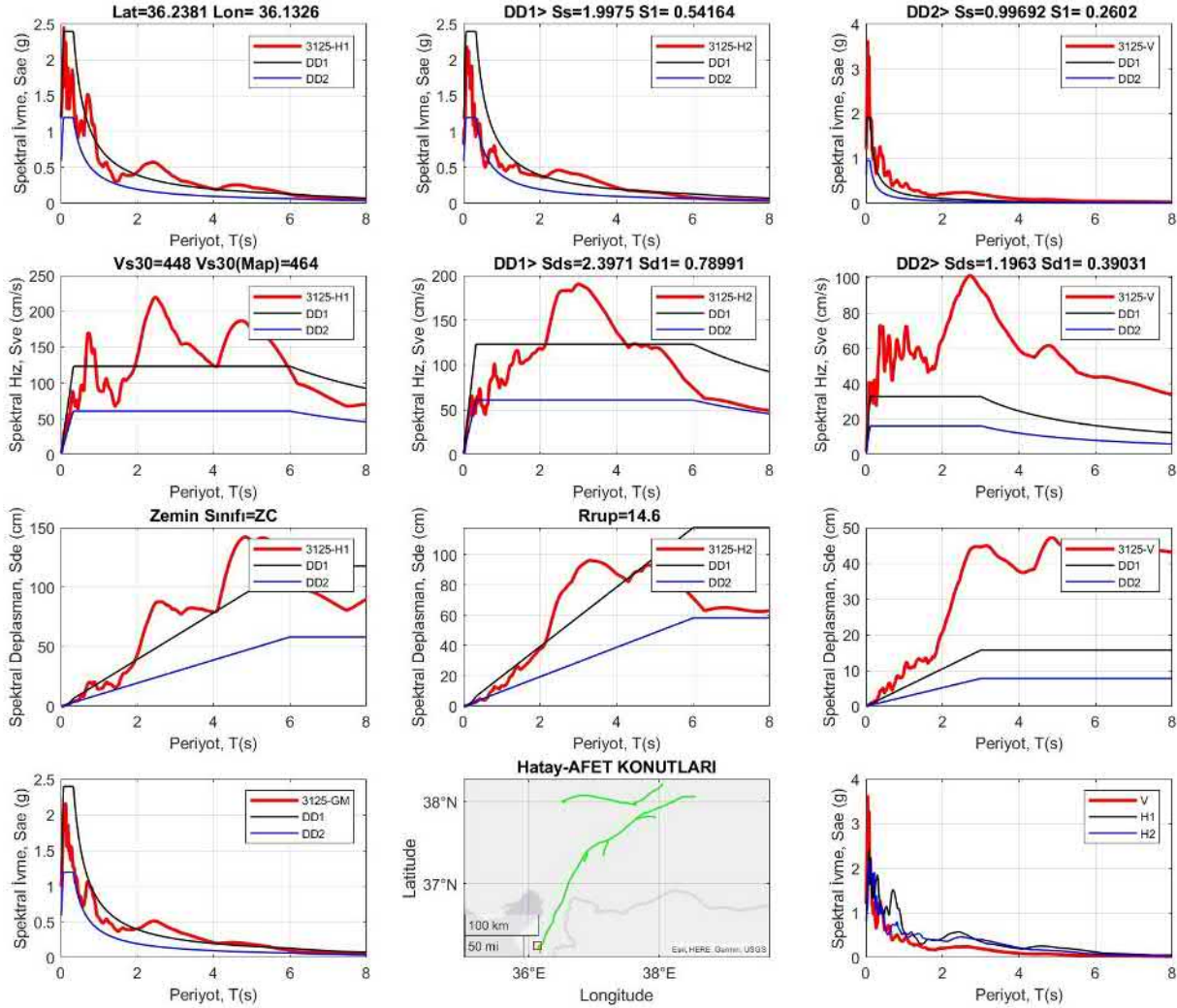
bianet.org/haber/

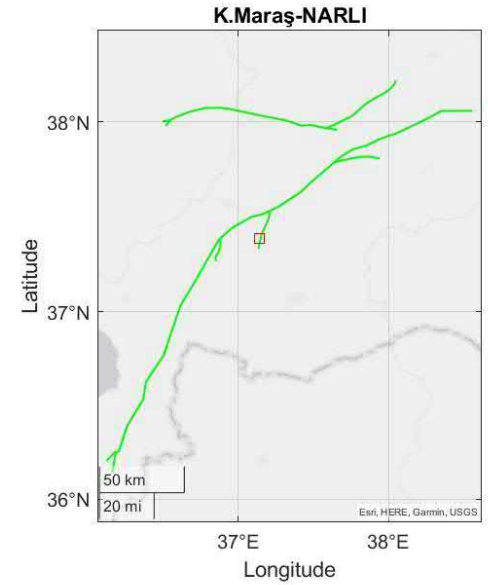
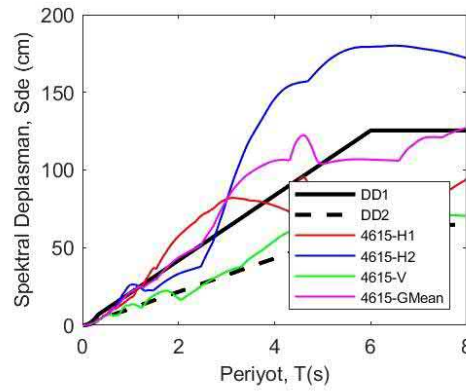
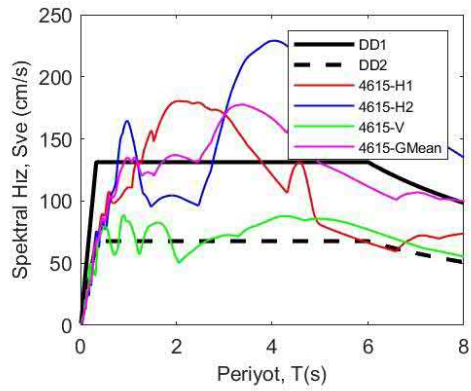
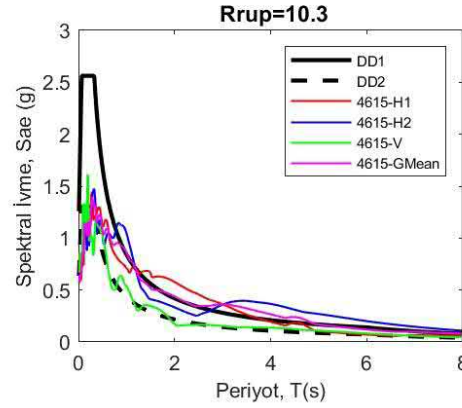
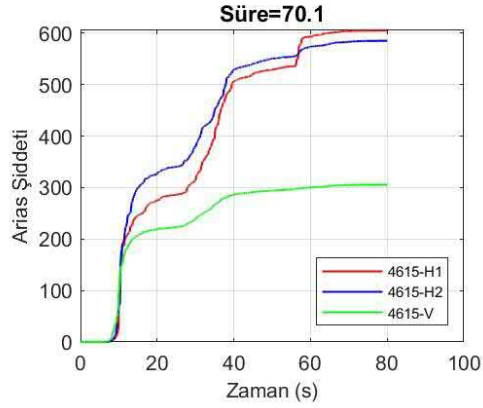
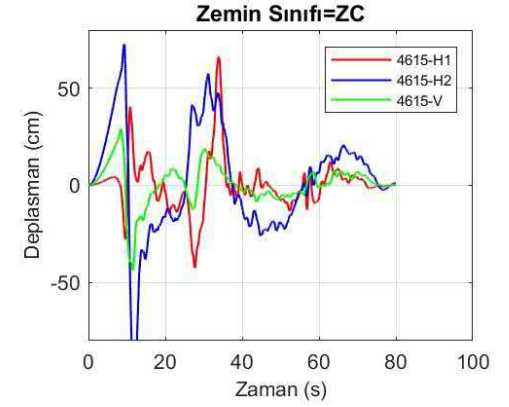
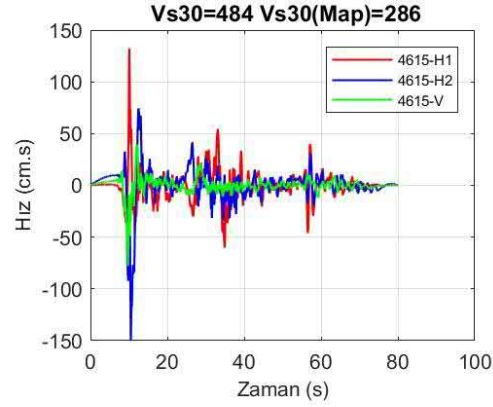
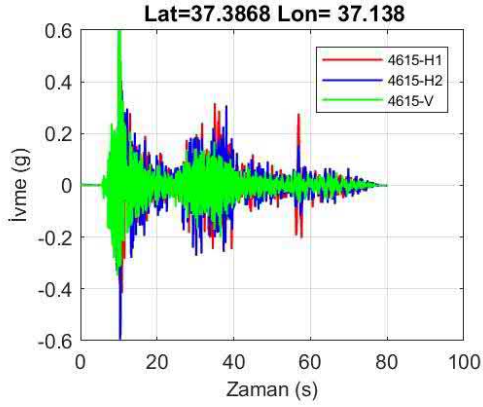
***Kuvvetli Yer Hareketinin
Değerlendirilmesi***

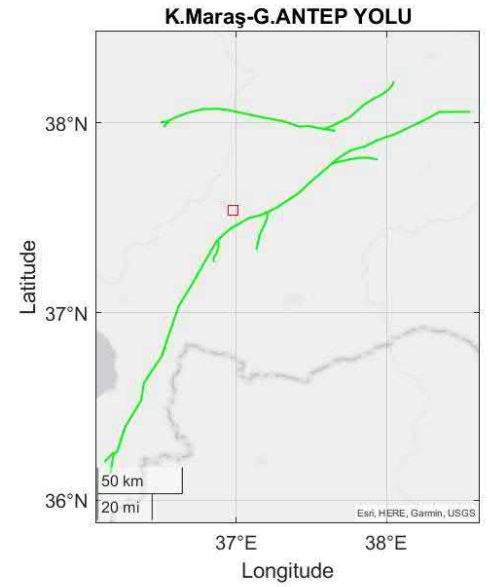
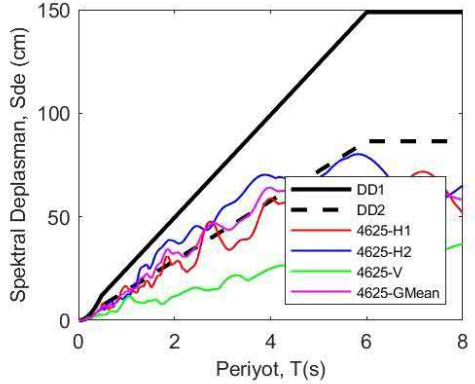
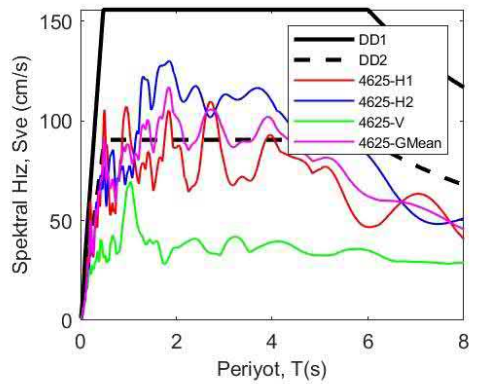
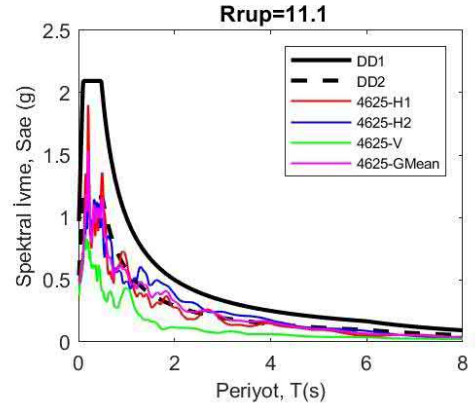
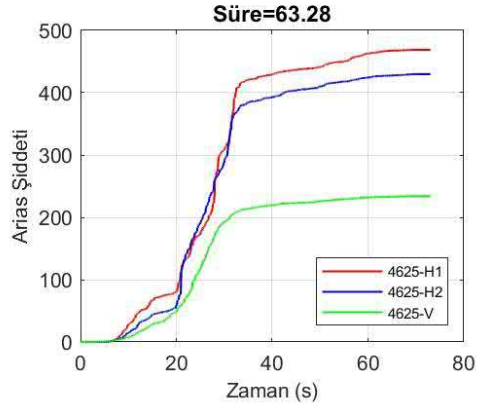
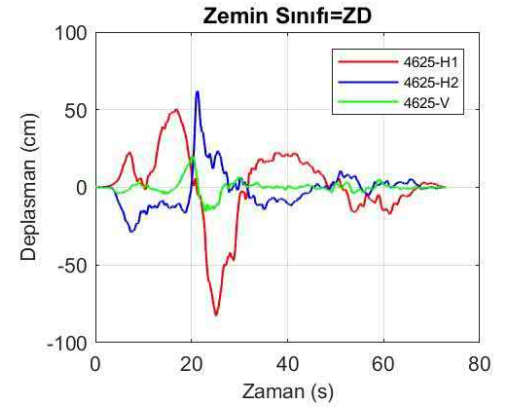
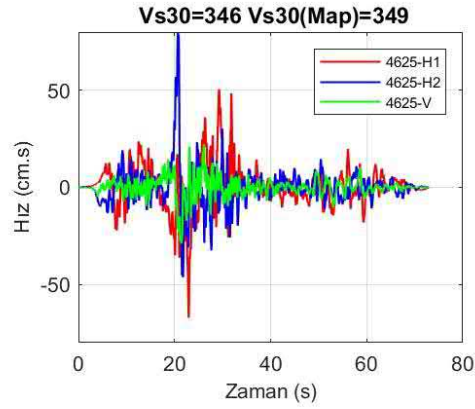
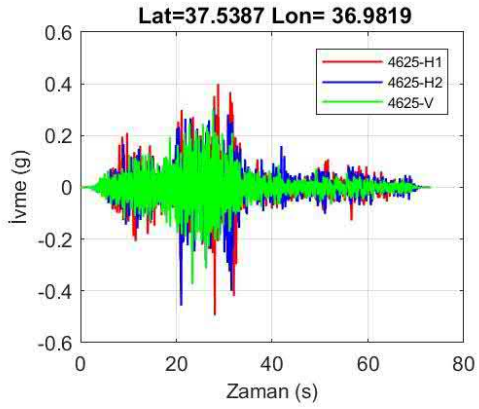
Zamana Bağlı Yer Hareket Parametreleri

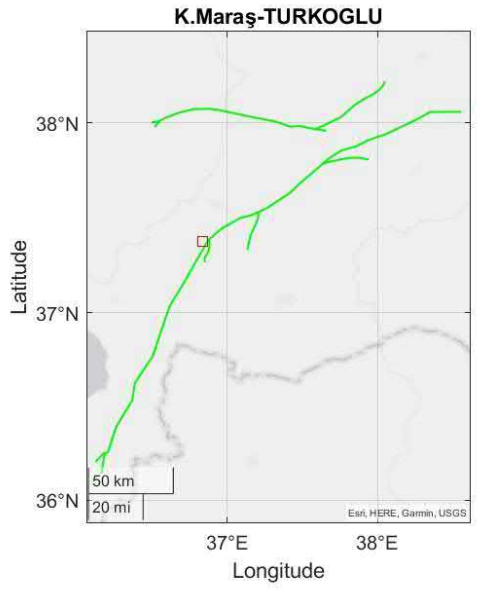
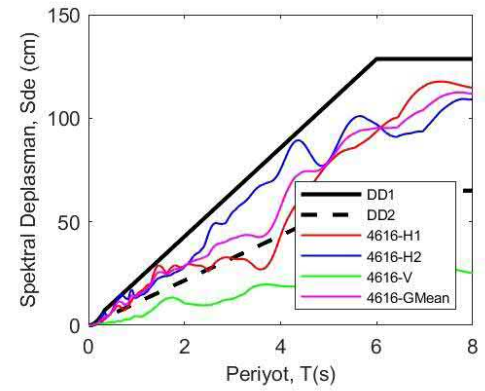
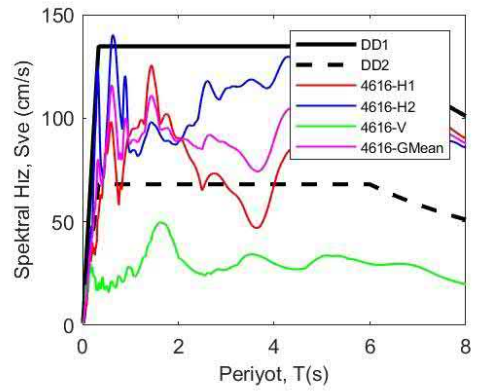
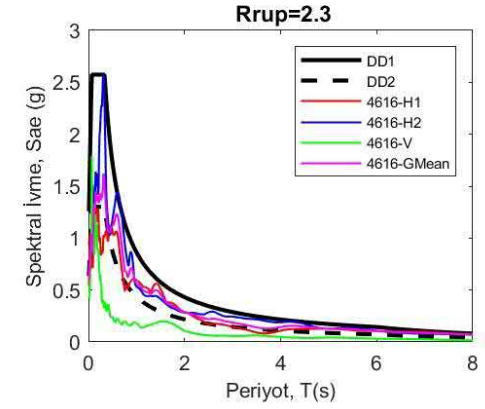
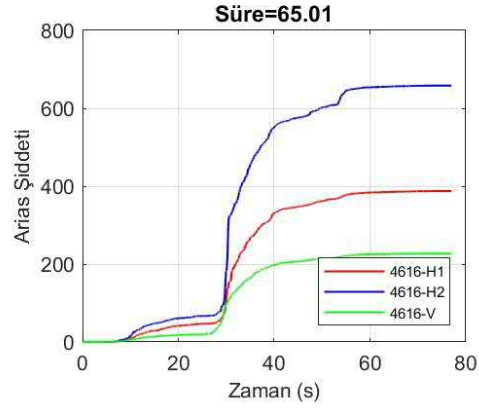
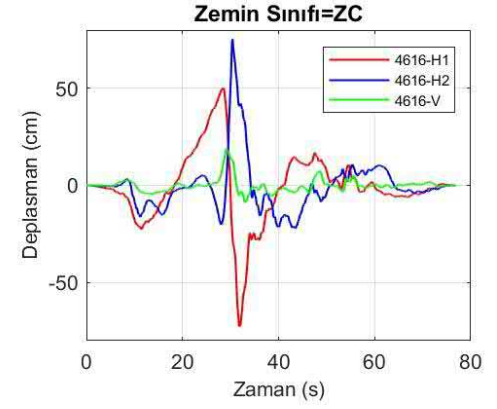
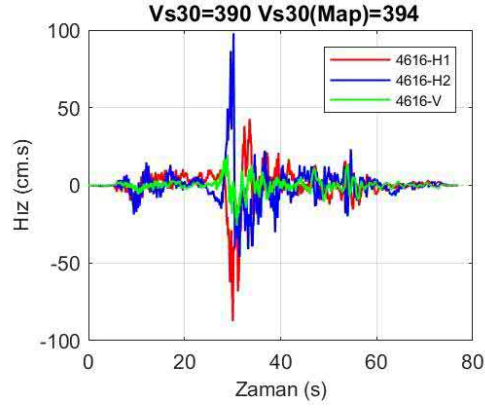
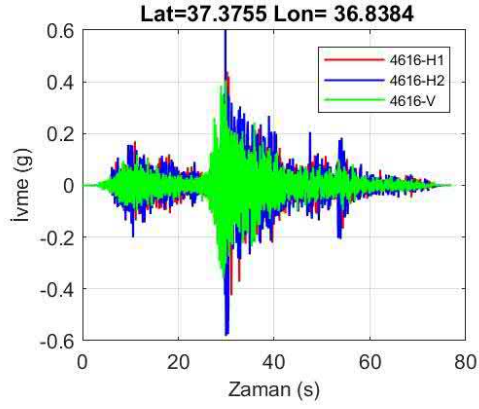


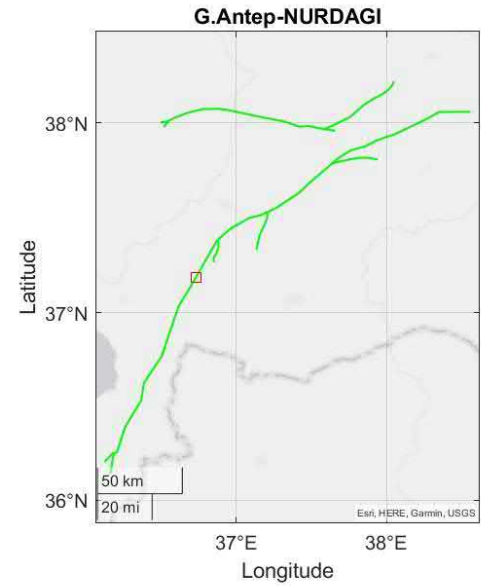
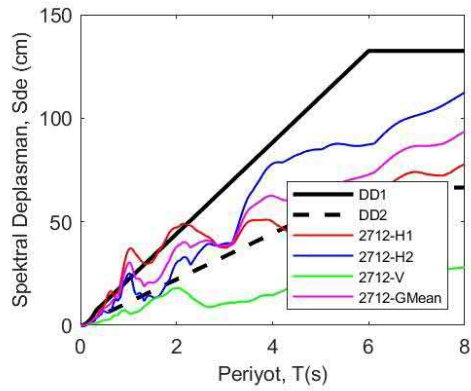
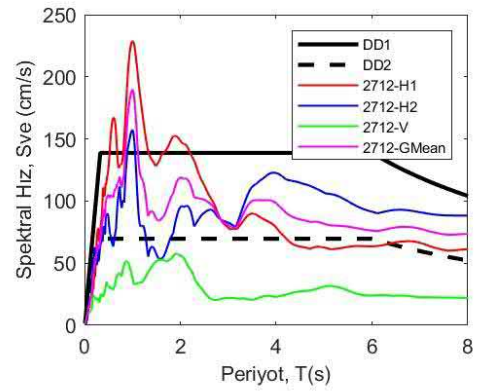
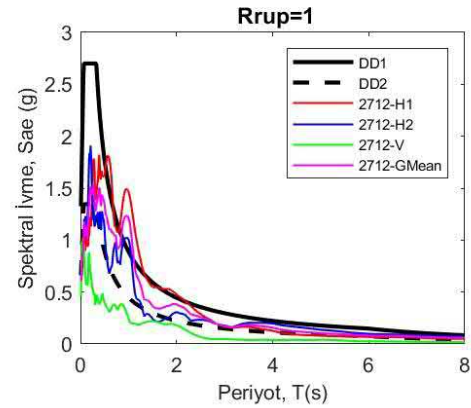
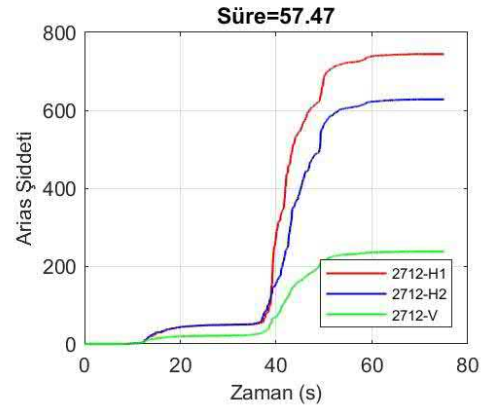
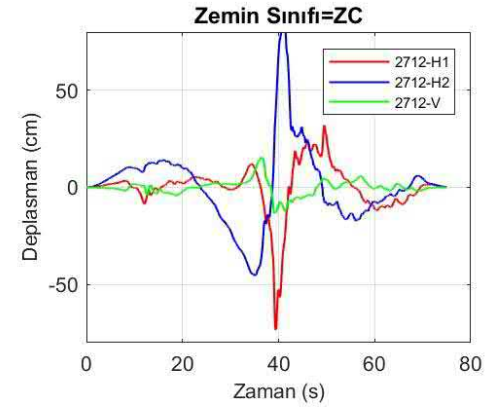
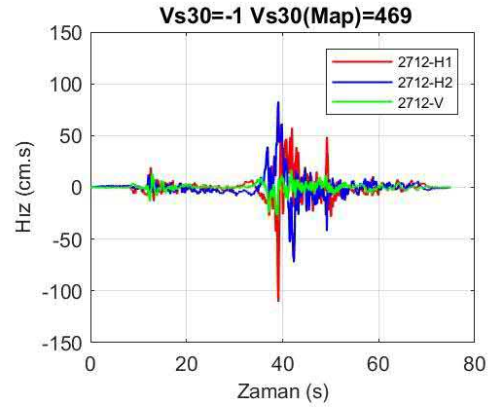
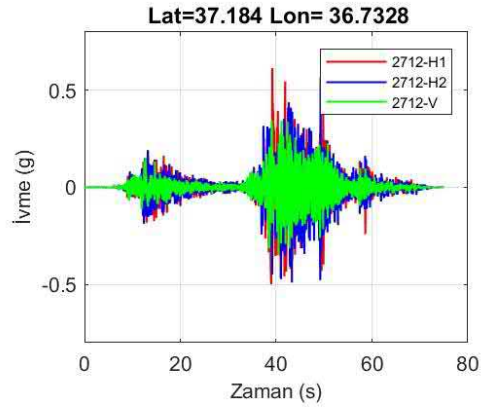
Spektral Yer Hareket Parametreleri

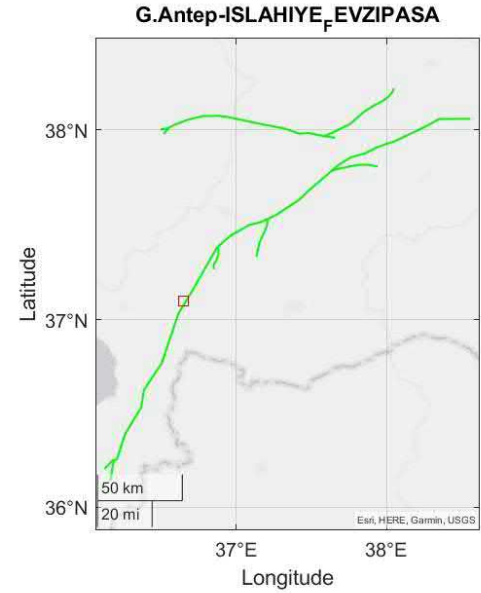
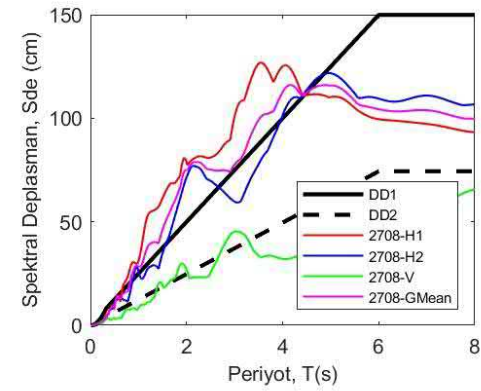
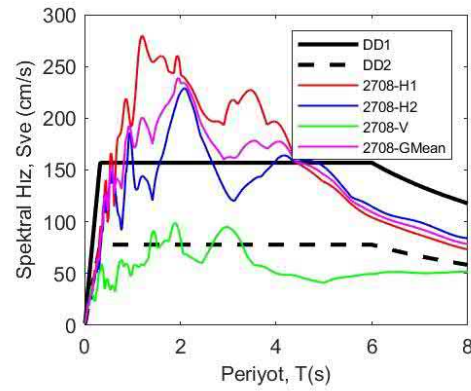
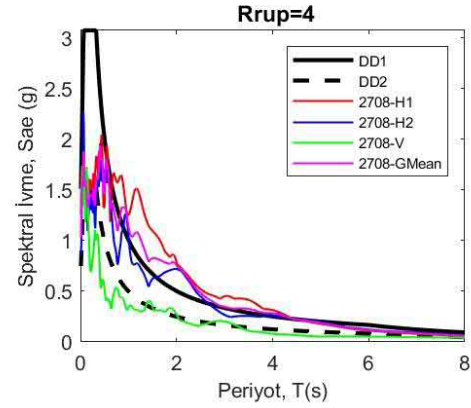
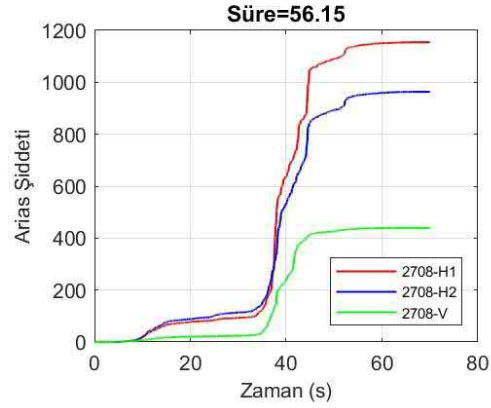
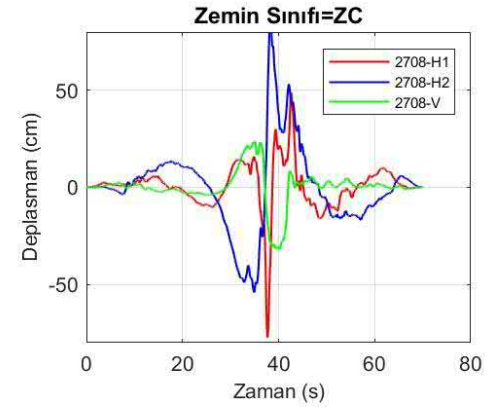
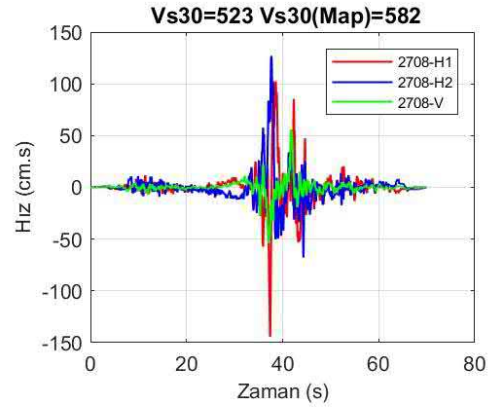
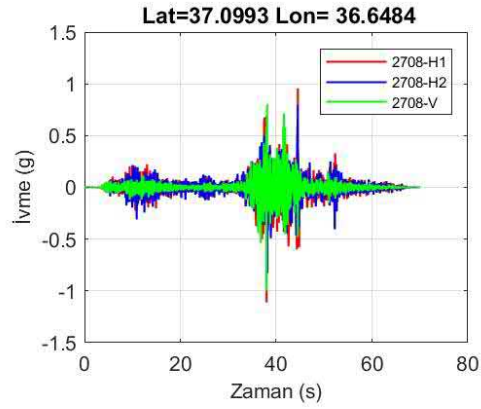


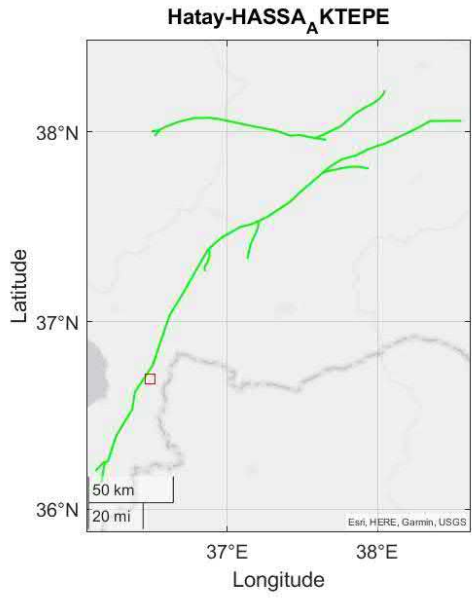
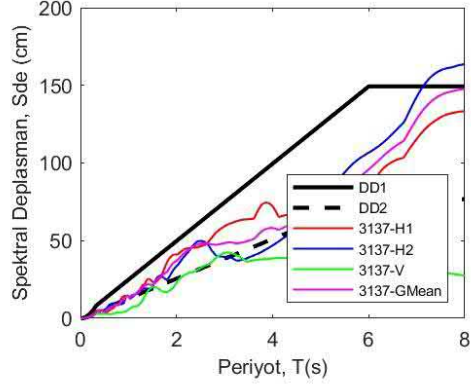
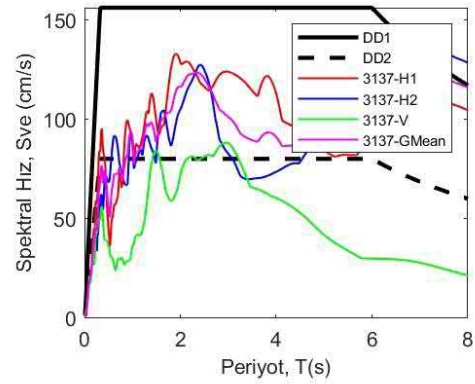
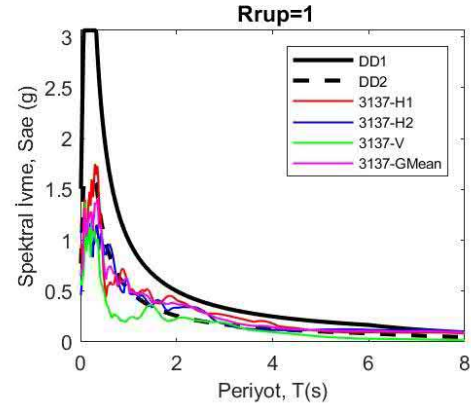
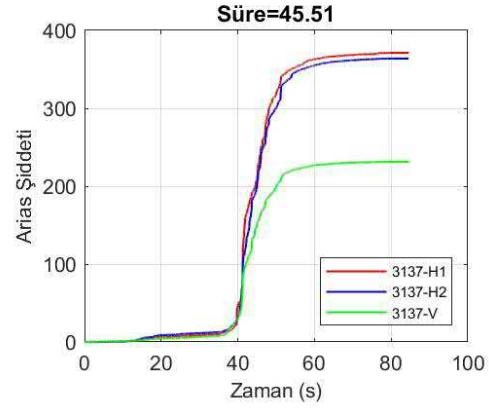
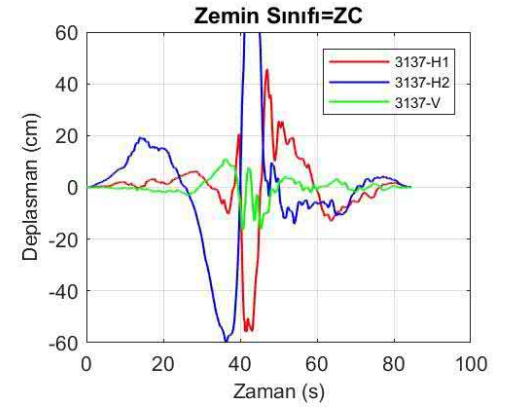
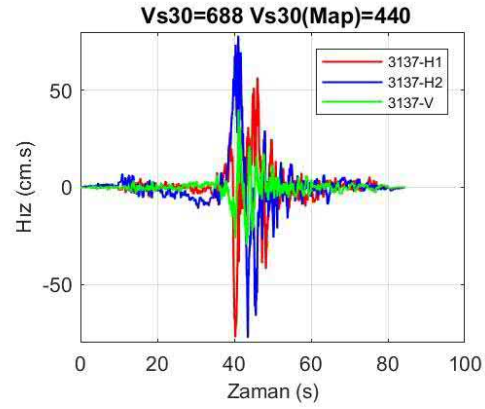
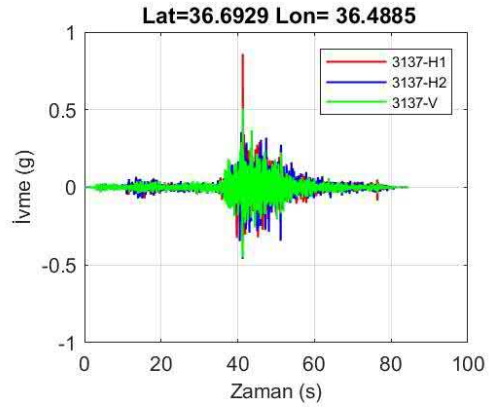


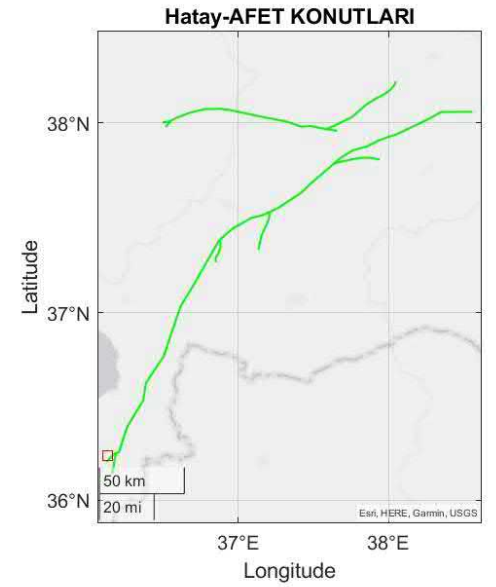
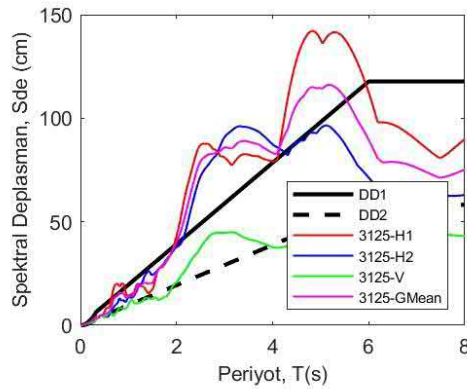
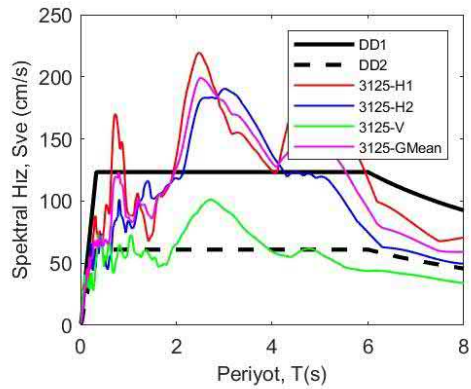
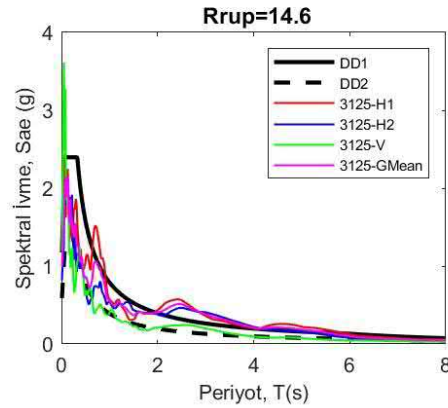
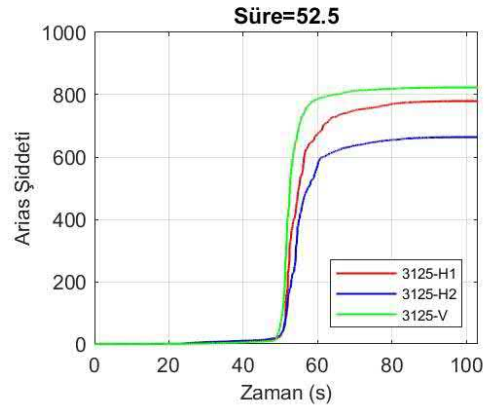
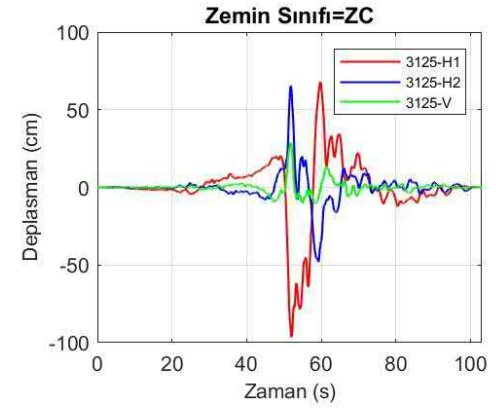
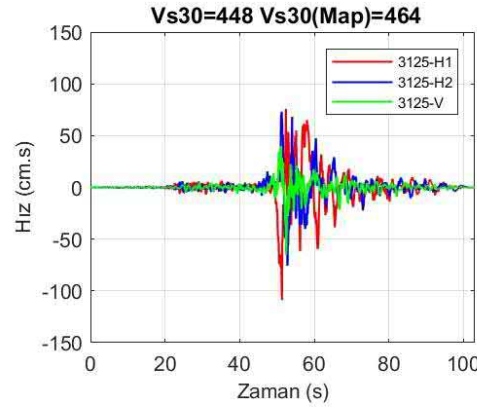
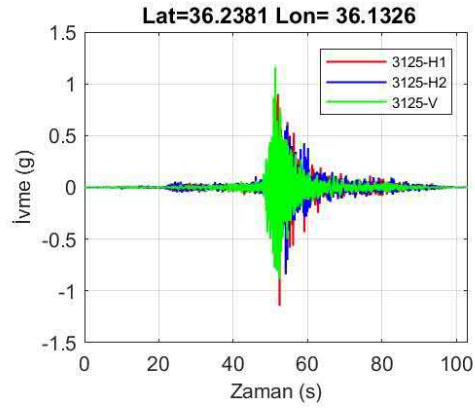


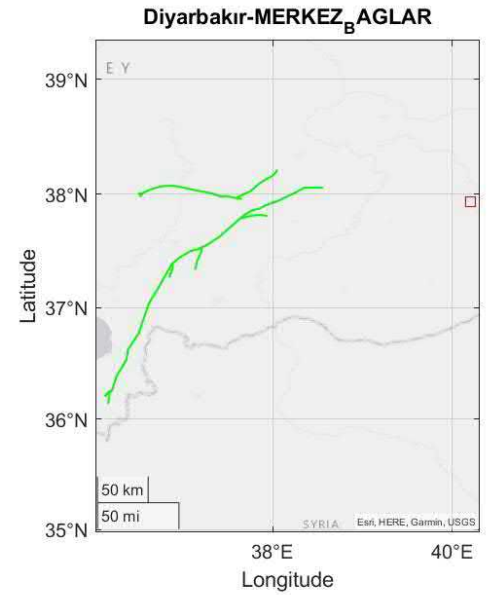
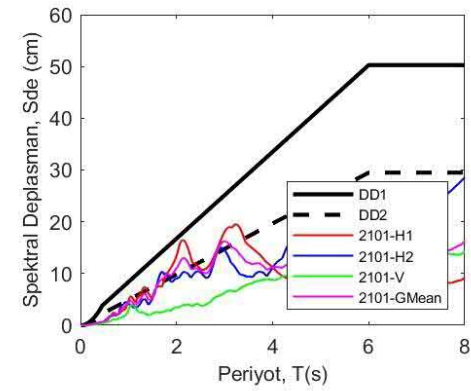
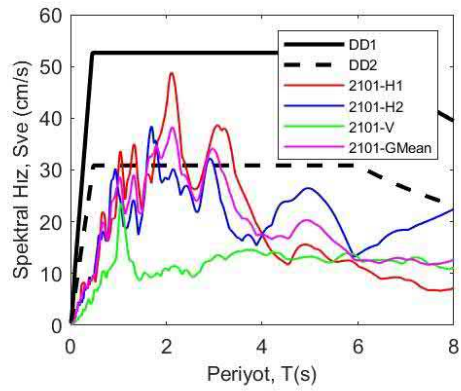
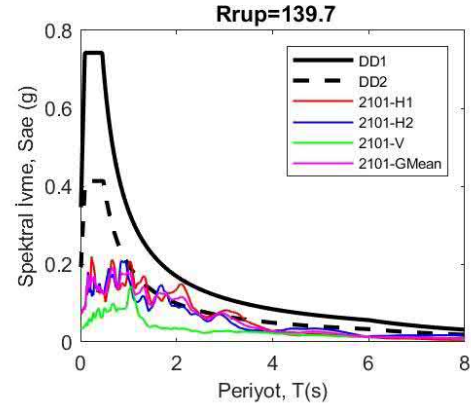
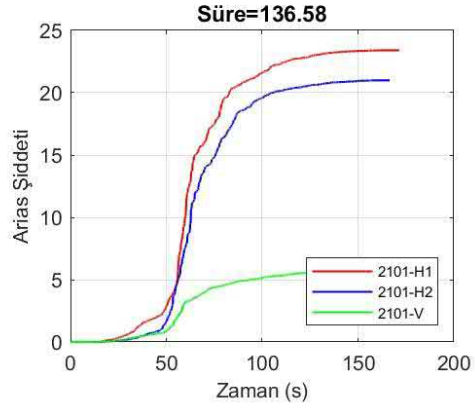
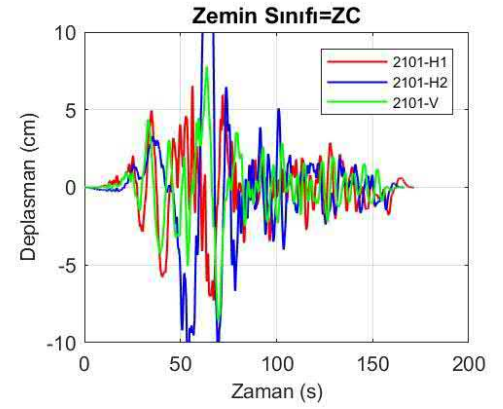
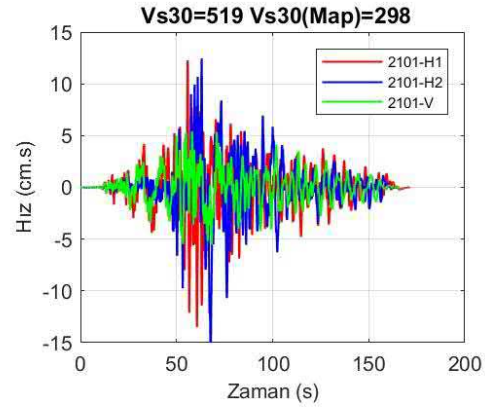
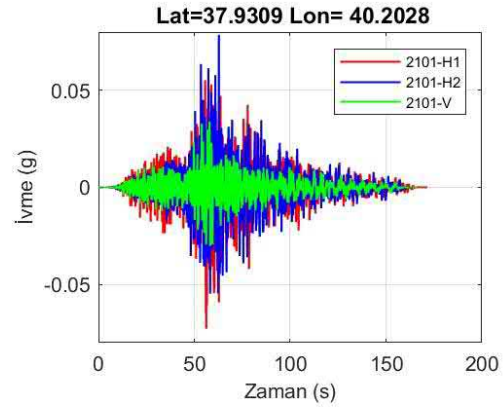


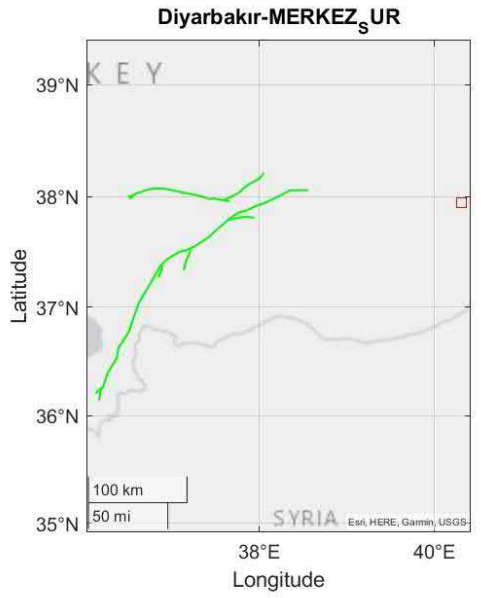
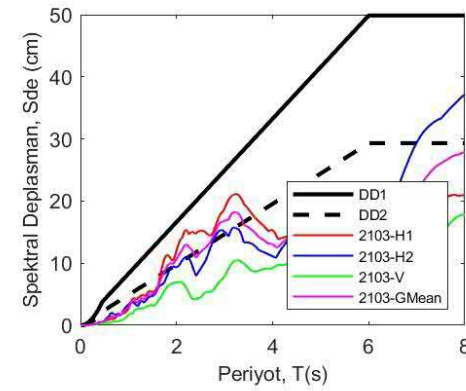
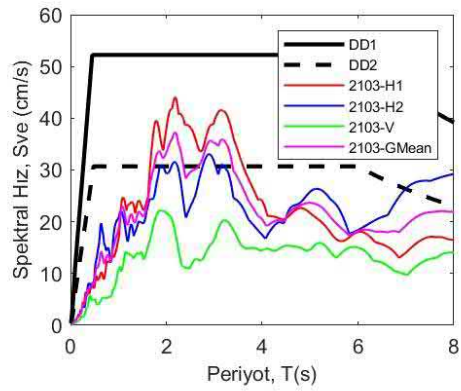
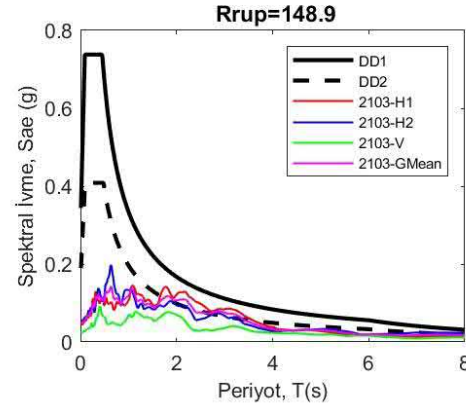
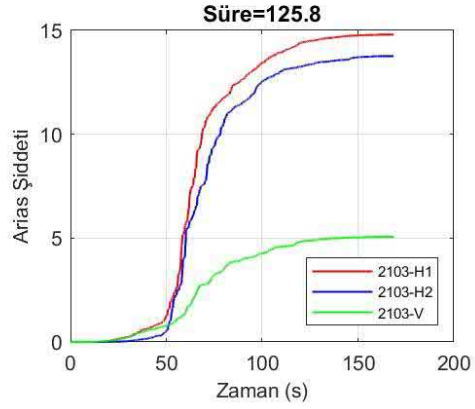
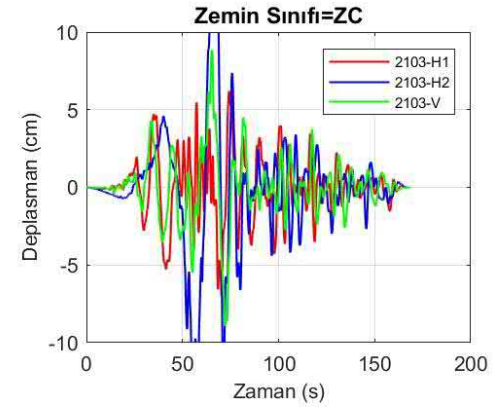
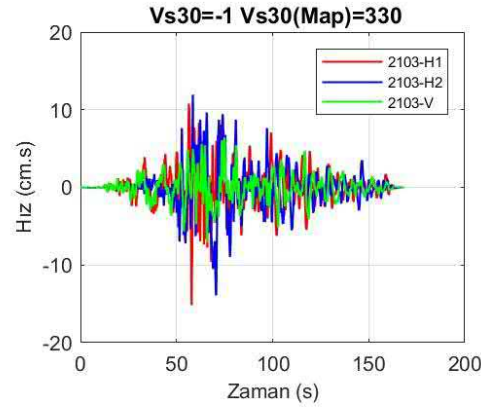
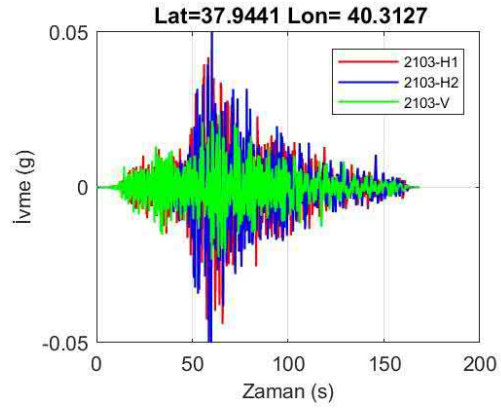


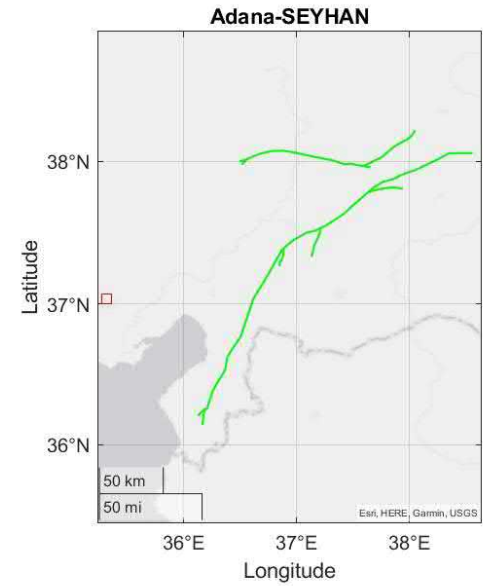
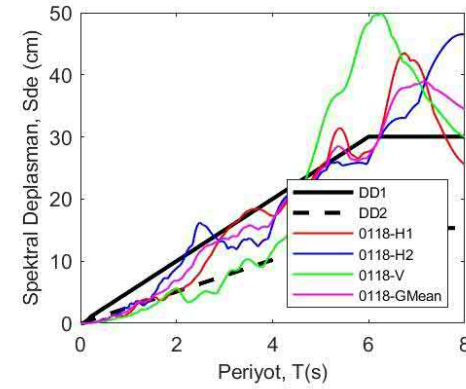
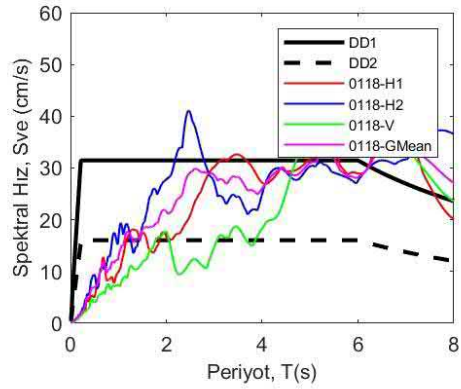
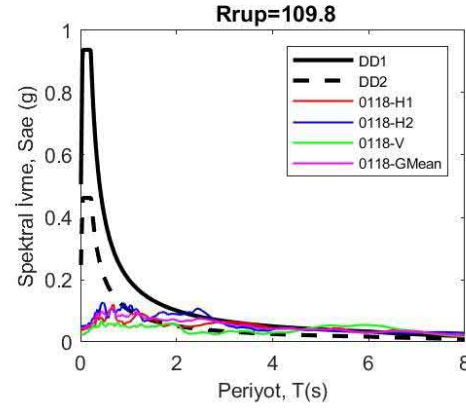
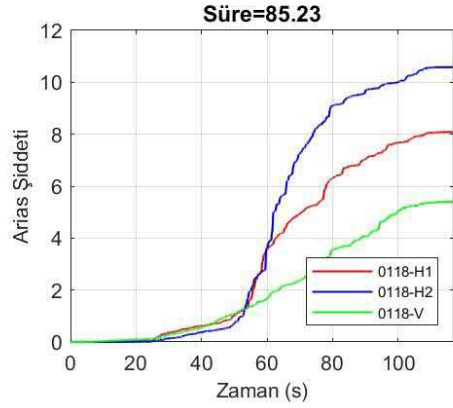
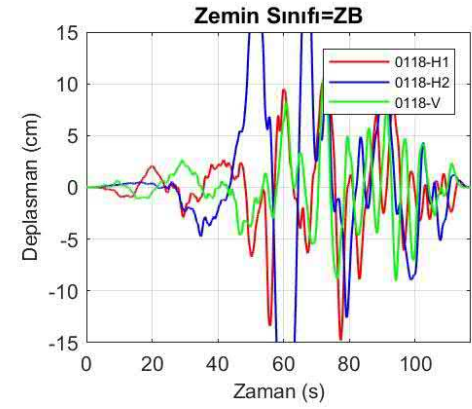
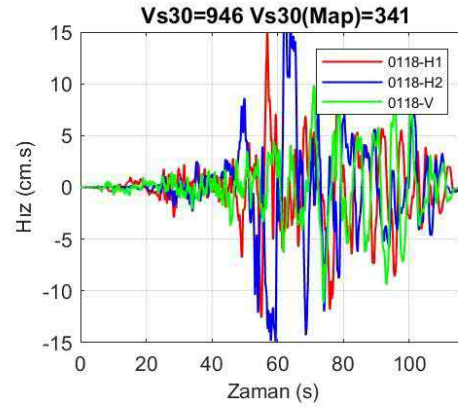
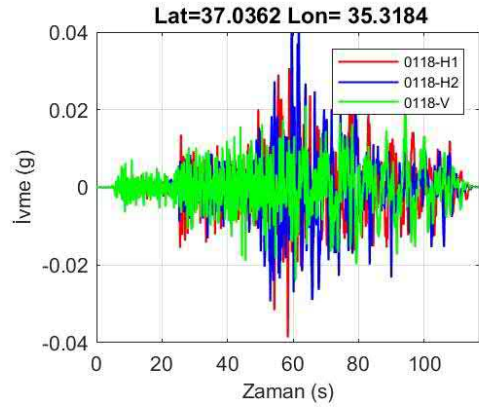


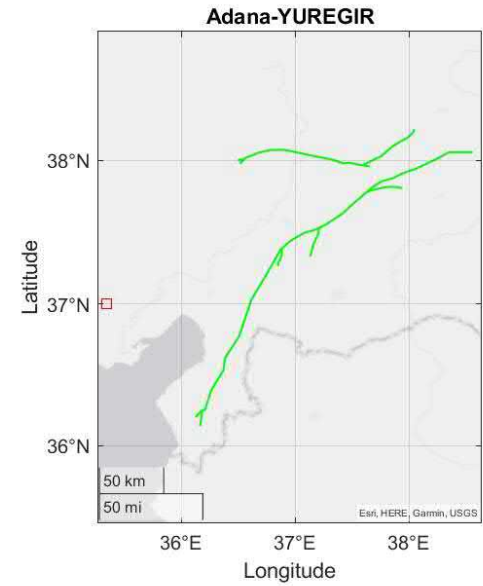
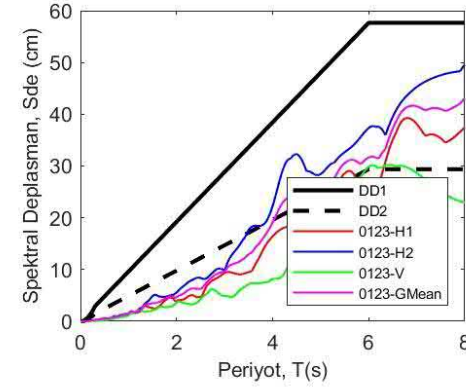
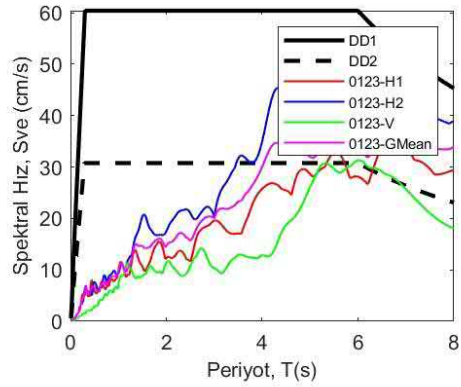
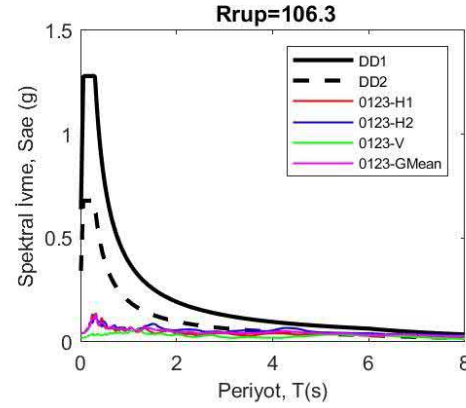
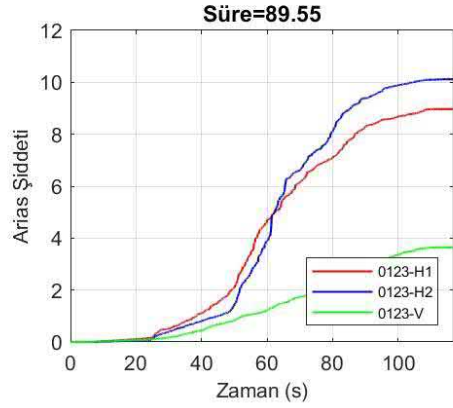
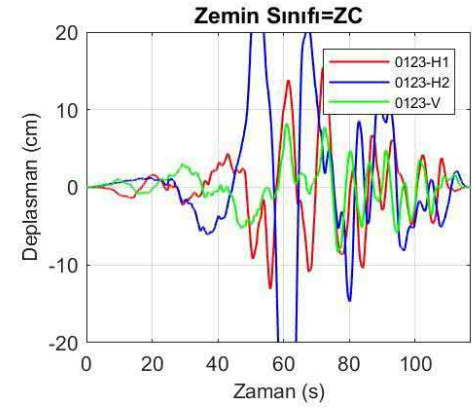
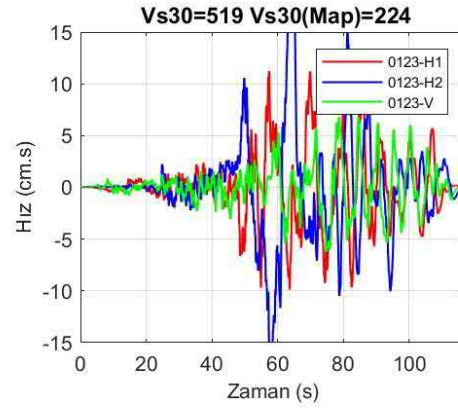
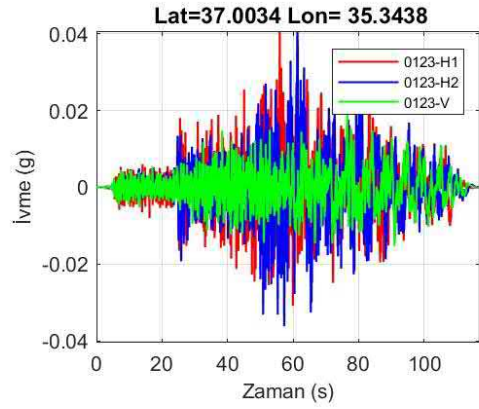




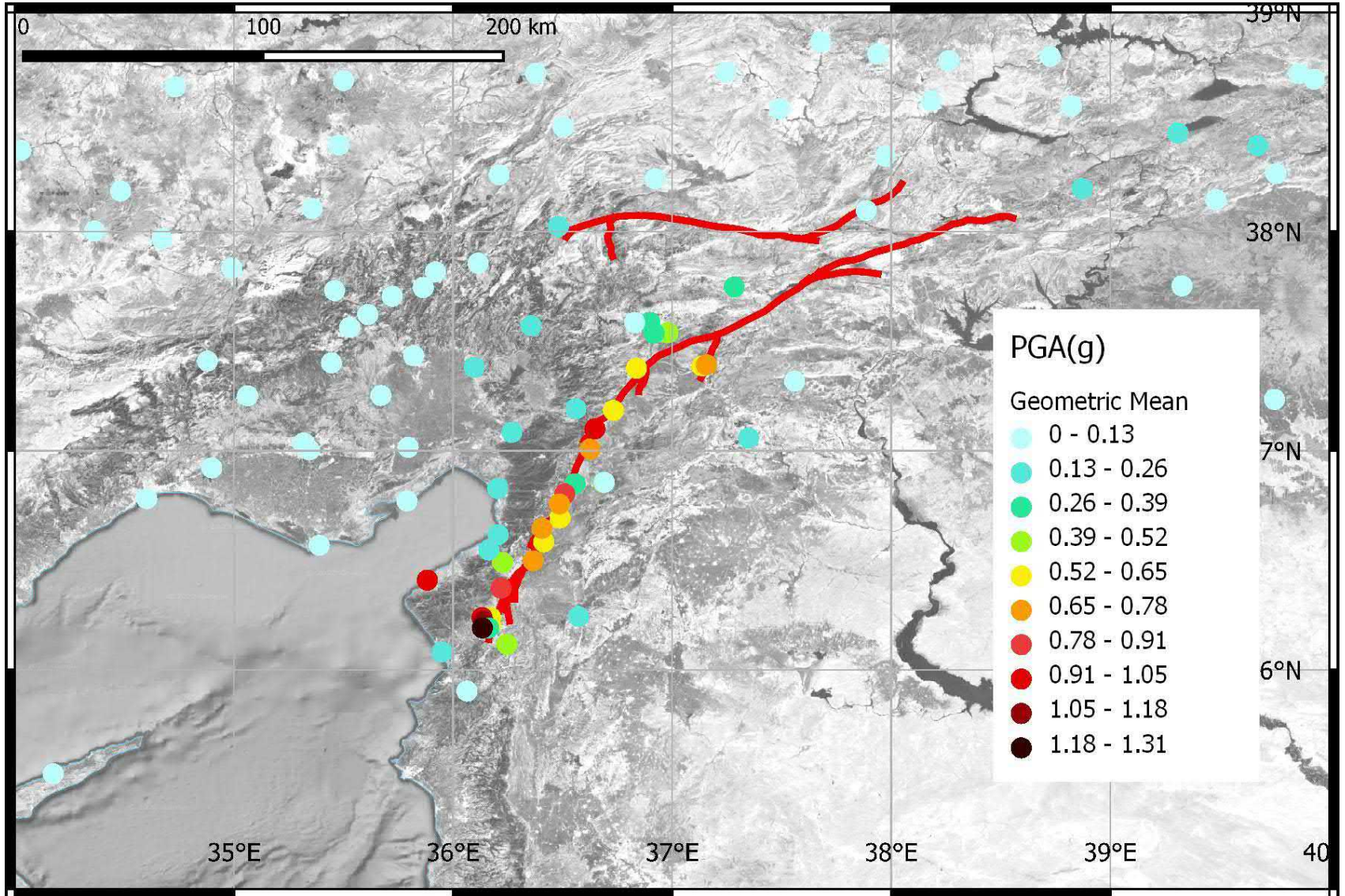




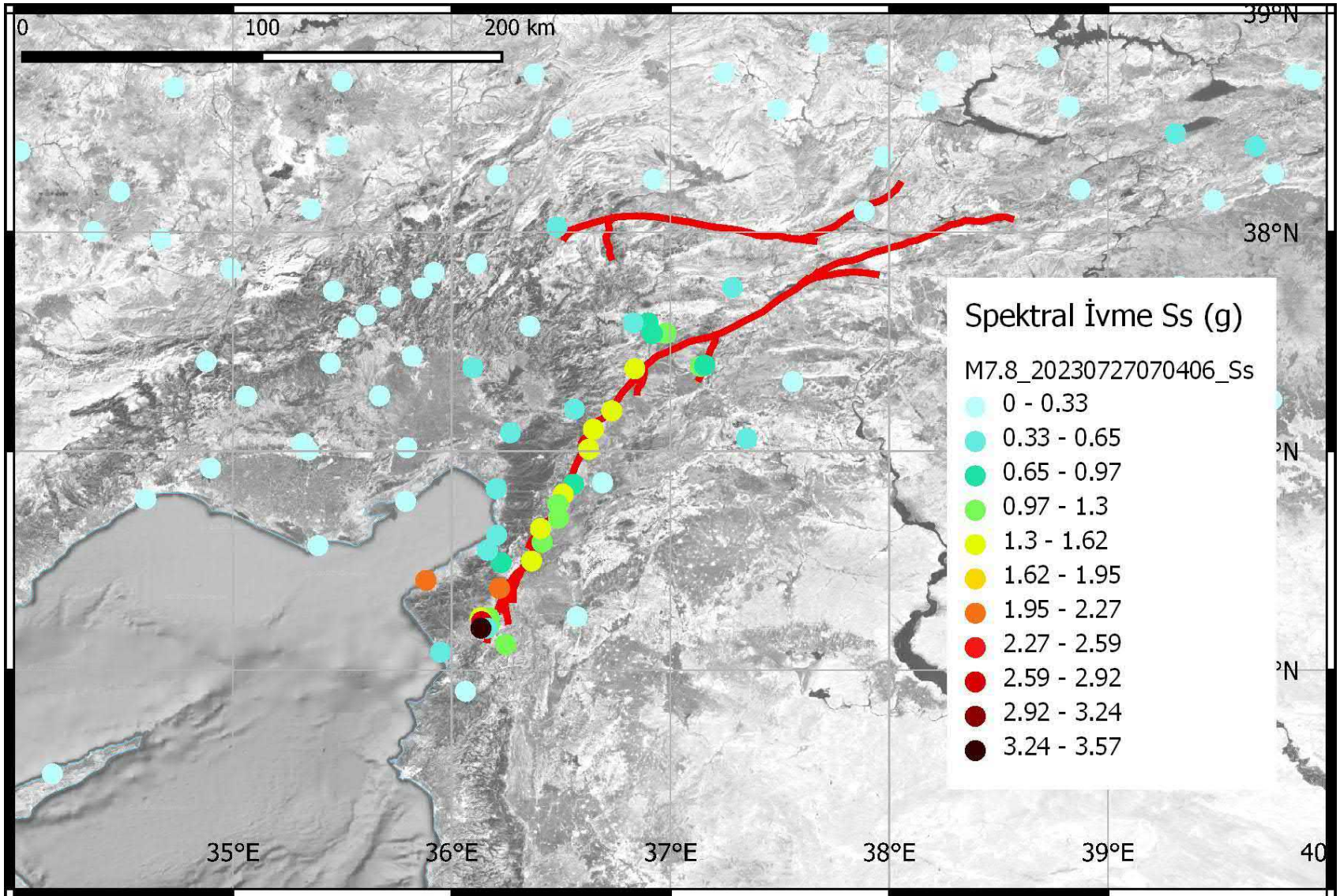




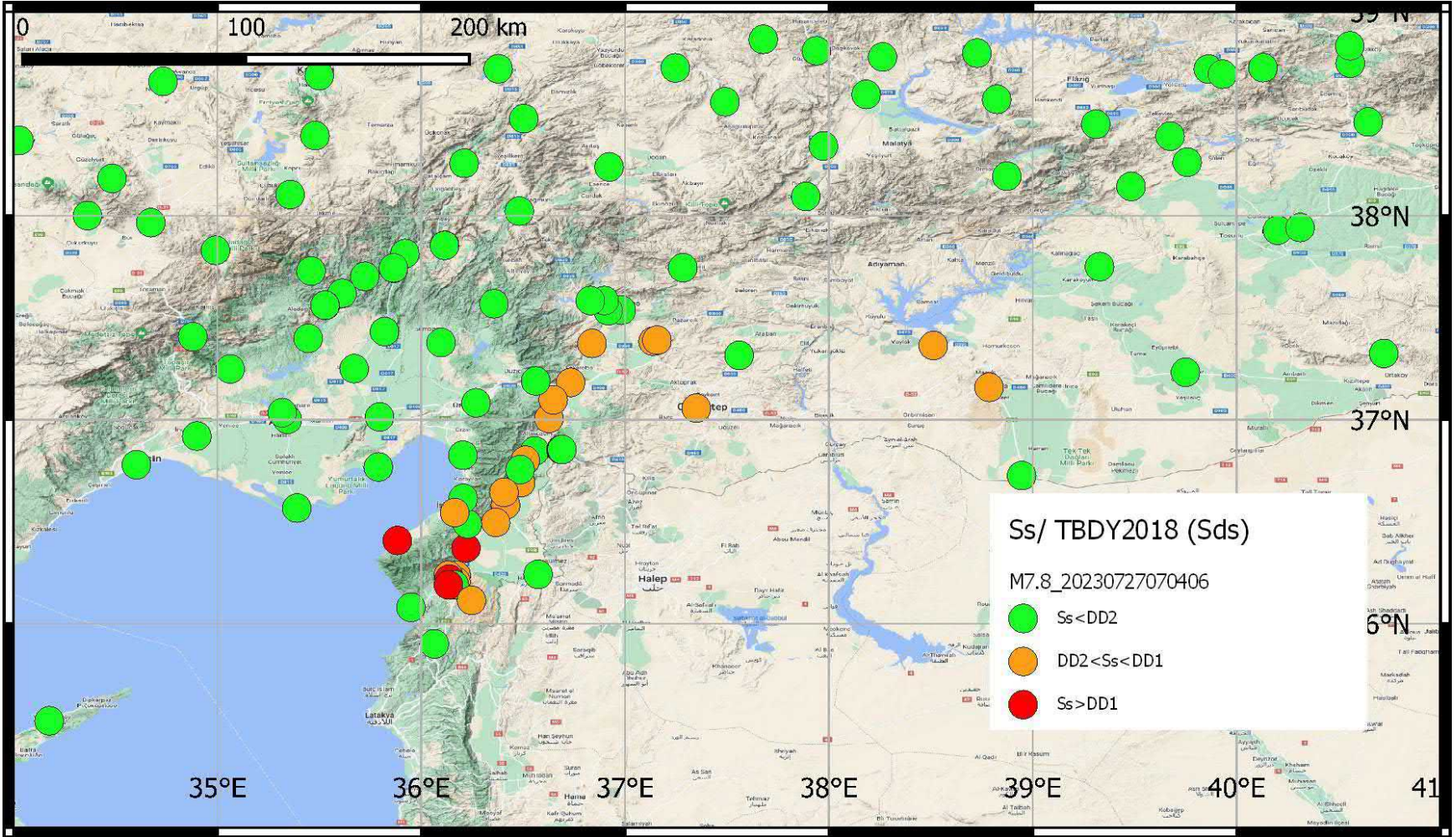
Kuvvetli Yer Hareketlerinin Dağılımı >> Maks Yer İvmesi



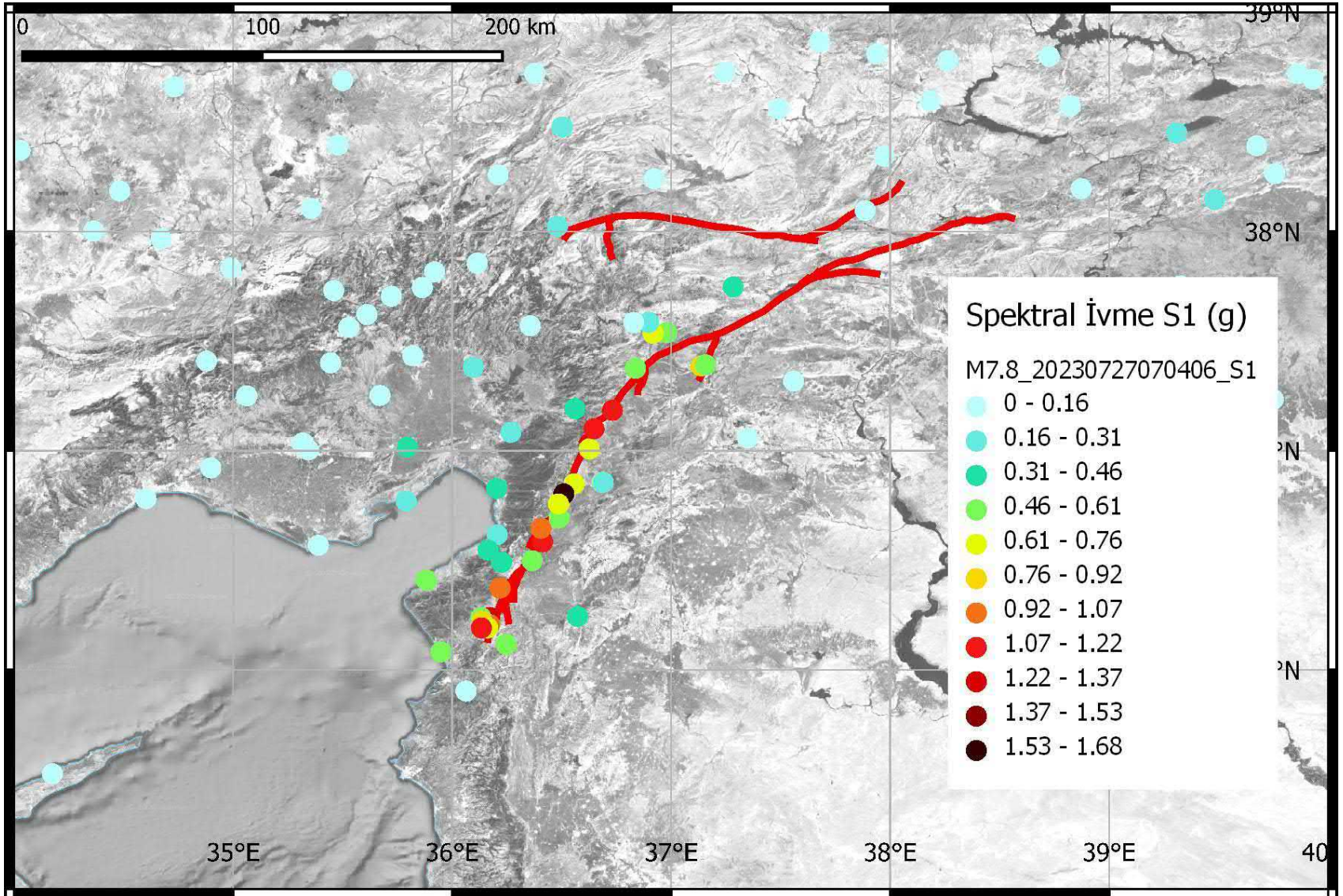
Kuvvetli Yer Hareketlerinin Dağılımı >> Spektral İvme (Ss)



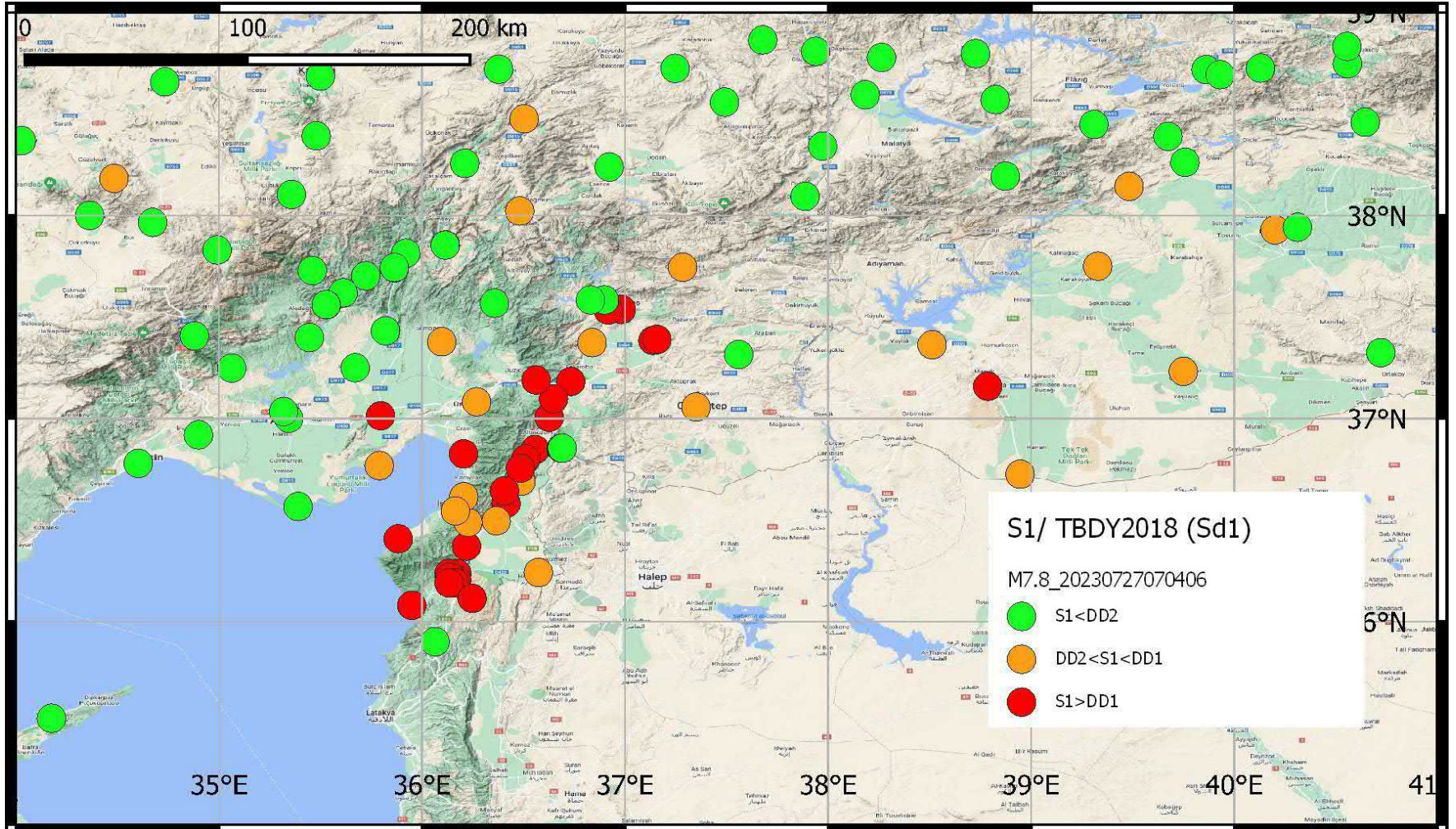
TBDY2018 Tasarım Spektrumu ile Karşılaştırması (Sds)



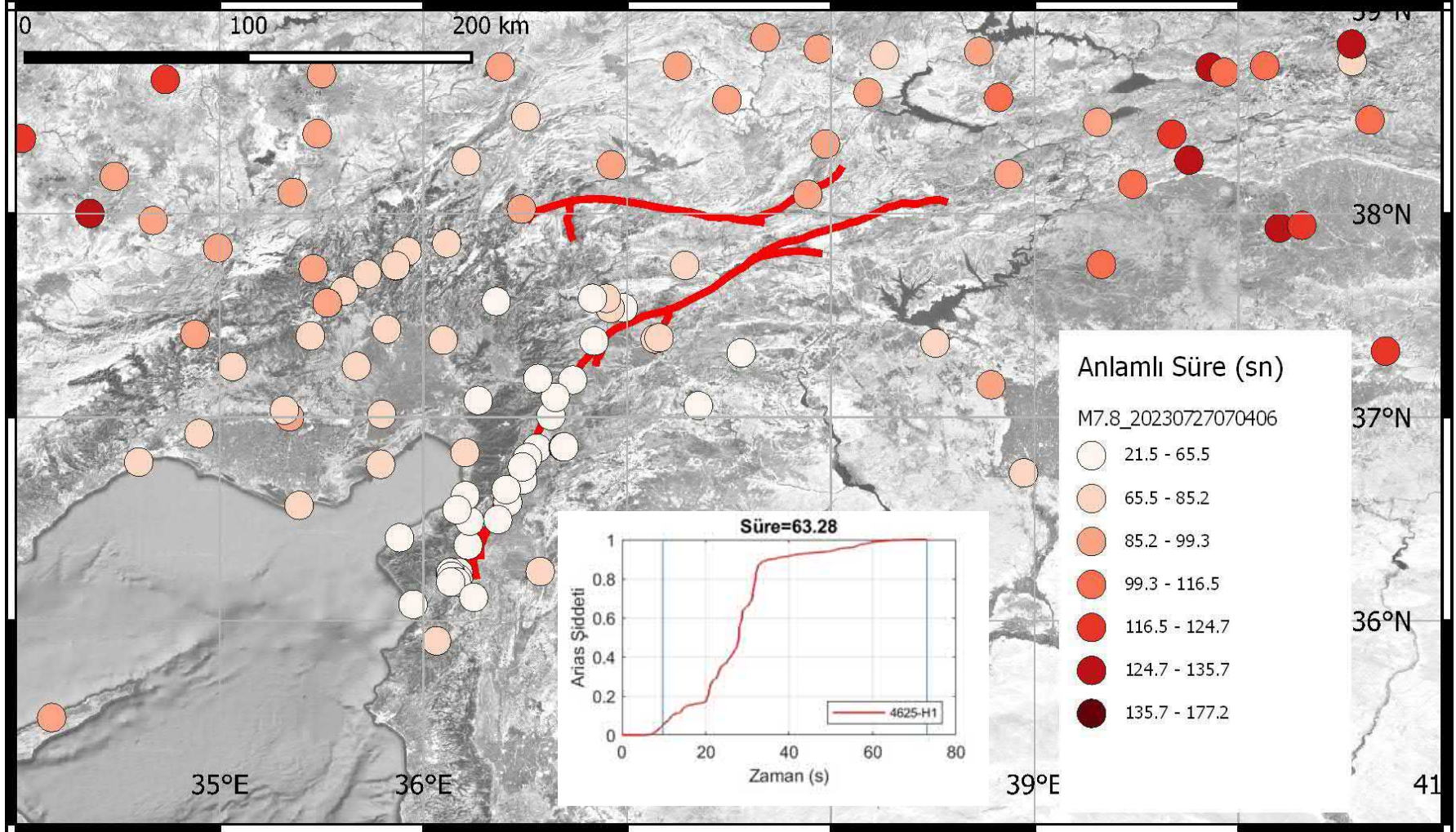
Kuvvetli Yer Hareketlerinin Dağılımı Spektral İvme (S1)



TBDY2018 Tasarım Spektrumu ile Karşılaştırması (Sd1)

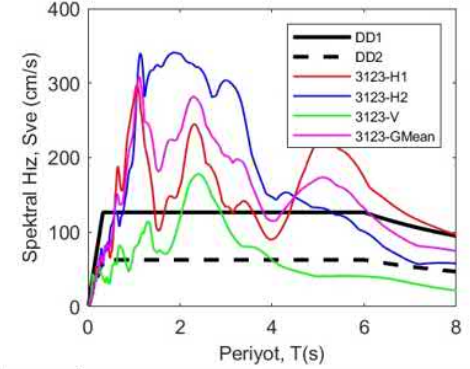
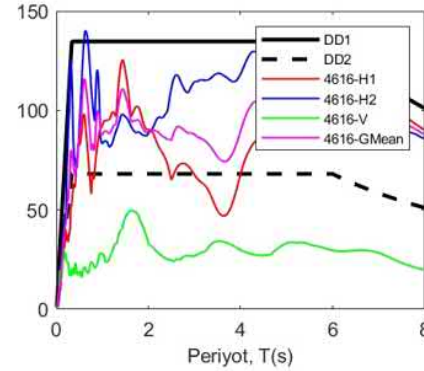
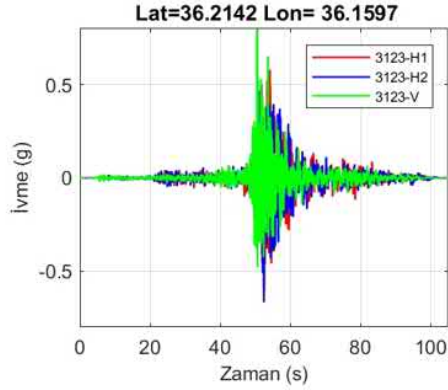
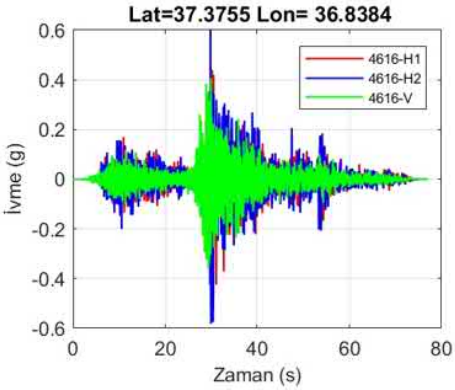


Yer hareket ivmesinin Anlamalı Süresi



SONUÇ

Şiddetli depremlerde kaynak etkileri, kırılma özellikleri, saha koşulları ve deprem kaynağına yakınlık gibi faktörlerin karmaşık etkileşimini anlamak, şiddetli depremler sırasında kuvvetli yer hareketi üzerindeki çeşitli etkileri anlamak ve azaltmak için büyük önem taşımaktadır.



Katılımınız İçin Teşekkür Ederim