

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**06 ŞUBAT 2023 KAHRAMANMARAŞ (PAZARCIK-ELBİSTAN)
DEPREMLERİNİN İVME KAYITLARININ SPEKTRAL ANALİZİ VE
TASARIM İVME SPEKTRUMLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhammet Serdar ŞAHİN

KASIM 2025
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**06 ŞUBAT 2023 KAHRAMANMARAŞ (PAZARCIK-ELBİSTAN)
DEPREMLERİNİN İVME KAYITLARININ SPEKTRAL ANALİZİ VE
TASARIM İVME SPEKTRUMLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

Muhammet Serdar ŞAHİN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"YÜKSEK LİSANS (JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ)"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 / 10 / 2025

Tezin Savunma Tarihi : 14 / 11 / 2025

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hakan KARSLI

Trabzon 2025

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalında

Muhammet Serdar ŞAHİN Tarafından Hazırlanan

06 ŞUBAT 2023 KAHRAMANMARAŞ (PAZARCIK-ELBİSTAN)
DEPREMLERİNİN İVME KAYITLARININ SPEKTRAL ANALİZİ VE
TASARIM İVME SPEKTRUMLARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 21/10/2025 gün ve 2125 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Hakan KARSLI

Üye : Prof. Dr. Serkan ÖZTÜRK

Üye : Doç. Dr. Ali Erden BABACAN

Prof. Dr. Asim KADIOGLU
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“06 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık-Elbistan) Depremlerinin İvme Kayıtlarının Spektral Analizi ve Tasarım İvme Spektrumları ile Karşılaştırılması” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen, kıymetli bilgileriyle ve tecrübesiyle yoluma ışık tutan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hakan KARSLI’ya teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam sürecinde Jeofizik Mühendisliği Bölümünde aldığım derslerde bana her türlü anlayışı ve sabrı gösteren Jeofizik Anabilim Dalı hocalarıma ve tez çalışmamın tüm aşamalarında hiçbir yardımdan kaçınmayan Arş. Gör. Ebru ÖZCAN’a teşekkür ederim.

Tez çalışmam sürecinde İnşaat Mühendisliği Bölümü, Harita Mühendisliği Bölümü ve Jeoloji Mühendisliği Bölümlerinde aldığım derslerde bana her türlü anlayışı ve sabrı gösteren tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Son olarak, ‘Yüksek Lisans Tezi’ yapmamı teşvik eden, süreçte bana her türlü desteği ve anlayışı gösteren hayat arkadaşım Prof. Dr. Kader ŞAHİN’e, hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen annem Sema ŞAHİN, babam Bilal ŞAHİN ve ablam Şule ŞAHİN’e, bu hayattaki en değerli iki hazinem kızım Şevval Gül ŞAHİN ve oğlum Ali ŞAHİN’e teşekkür eder, minnettarlığımı sunarım.

Bu tez çalışmamın bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Muhammet Serdar ŞAHİN

Trabzon 2025

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “06 Şubat 2023 Kahramanmaraş (Pazarcık-Elbistan) Depremlerinin İvme Kayıtlarının Spektral Analizi ve Tasarım İvme Spektrumları ile Karşılaştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Hakan KARSLI’nın sorumluluğunda tamamladığımı, tezde kullandığım verileri Türkiye Afet ve Acil Durum (AFAD) Başkanlığı’ndan temin ettiğimi, tüm analizleri kendim yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 14.11.2025

Muhammet Serdar ŞAHİN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Bölgenin Genel Jeolojisi ve Sismotektoniği	4
1.2. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremlerinin Etkilediği Yerlerin Genel Jeolojik Özellikleri.....	8
1.3. Deprem ve Tanımlayıcı Parametreler	8
1.4. Türkiye’de Deprem Kayıt İstasyon Ağı Bilgisi, Türkiye Deprem Tehlike Haritalamasının Tarihsel Süreci.....	11
1.5. Deprem Yer Hareketi Parametreleri ve İvme Spektrumları	13
1.5.1. Deprem İvmesi ve Özellikleri	13
1.5.2. İvme Spektrum Hesaplamaları	16
1.5.3. Arias Şiddeti ve Süre.....	30
1.6. TBDY-2018 Deprem Yönetmeliğine Göre Yerel Zemin Sınıfları ve Tasarım İvme Spektrum Hesaplaması	32
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	37
2.1. Veri ve Değerlendirme	37
2.2. Veri Kontrolü.....	41
2.3. İvme Zaman Serilerinin Ön İşlenmesi	46
2.4. Ölçülen Pik Yer İvme (PGA) Değerlerinin Analizi.....	47
2.4.1. Pazarcık ve Elbistan Depremlerinin İvme Dağılımının Genel Değerlendirilmesi	47
2.4.2. Pazarcık $M_w=7.7$ Depreminin Episantr-PGA Dağılımının Genel Değerlendirilmesi	50
2.4.3. Elbistan $M_w=7.6$ Depreminin Episantr-PGA Dağılımının Genel Değerlendirilmesi	53

2.4.4. Pazarcık ve Elbistan Depremlerinin İstasyon Konumları, R_{epi} , PGA ve V_{s30} Dağılımlarının Analizi	55
2.5. Spektrum ve Arias Şiddeti İçin Örnek Hesaplamalar	62
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	67
3.1. Seçilmiş İstasyonlarda Kaydedilen İvme Zaman Serilerinin Spektral Analizleri.....	67
3.1.1. Pazarcık $M_w=7.7$ Depreminin İvme Zaman Serileri	68
3.1.2. Elbistan $M_w=7.6$ Depreminin İvme Zaman Serileri	99
3.2. Tartışma.....	113
4. SONUÇLAR	120
5. KAYNAKLAR	124
6. EKLER	132
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

06 ŞUBAT 2023 KAHRAMANMARAŞ (PAZARCIK-ELBİSTAN) DEPREMLERİNİN İVME
KAYITLARININ SPEKTRAL ANALİZİ VE TASARIM İVME SPEKTRUMLARI İLE
KARŞILAŞTIRILMASI

Muhammet Serdar ŞAHİN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hakan KARSLI
2025, 131 Sayfa, 6 Sayfa Ek

Bu çalışmada, 6 Şubat 2023'te Kahramanmaraş-Pazarcık ($M_w=7.7$) ve Elbistan ($M_w=7.6$) merkezli iki büyük depremin sarsıntı güçlerini ve hasar oluşturma nedenlerini anlamak ve açıklamak için kuvvetli yer hareketi (KYH) kayıtları, uzaysal ve spektral olarak karşılaştırmalı analiz edilmiştir. Bu kapsamda, pik yer ivmelerin (PGA) uzaklığa ve V_{s30} 'a göre değişimleri incelenmiş ve ivme zaman serilerinden Arias şiddeti, %5-95 etkin süre, ortalama periyot, sözde elastik (PSA) ve tasarım (DSA) tepki spektrumları hesaplanarak değerlendirilmiştir. Fayın hareket doğrultusu boyunca ölçülen PGA değerleri, eşdeğer uzaklıklarda olmalarına rağmen, dik veya dike yakın doğrultulardaki istasyonlarda ölçülenlerden daha büyük olduğu gözlenmiştir. PGA ve PSA değerlerinin büyüklüğü ile istasyonların zemin sınıfları arasında uyumlu bir ilişki görülememiştir. Arias şiddeti, etkin süre ve ortalama periyot değerleri, $M_w=7.7$ depreminin enerjisinin fayın yırtılma yüzeyi boyunca kısa sürede yüksek frekanslı güçlü-çok güçlü sarsıntılarla, dik veya açılı mesafelerde ise, görece daha uzun sürede daha düşük frekanslı orta güçte sarsıntılarla boşaldığını, buna karşılık $M_w=7.6$ deprem enerjisinin ise, fay zonu boyunca uzun sürelerde düşük frekanslı sarsıntılarla boşaldığını göstermiştir. Bu durum ileri yönelim etkisi ile ilişkilendirilmiştir. Her iki deprem için hesaplanan PSA değerleri fay zonları boyunca yerleşen istasyonlarda DSA değerlerini plato (çoğunlukla, $M_w=7.7$ için 0.15-0.4 s, $M_w=7.6$ için 0.05-1.0 s), sönüm ve yüksek periyot bölgesinde ise, 1.0 g'yi de aştığı gözlenmiştir. Ayrıca, $M_w=7.7$ depreminde fay zonları boyunca düşey PSA değerlerinin kısa periyotlarda pik değerlere ulaştığı ve yakın çevredeki yapıların ve zeminin düşey yönde çok güçlü sarsılmasına ve ileri deformasyonlara neden olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuvvetli Yer hareketi ve Parametreleri, Fourier Spektrumu, Sözde Elastik ve Tasarım Tepki Spektrumları

Master Thesis

SUMMARY

06 FEBRUARY 2023 KAHRAMANMARAŞ (PAZARCIK-ELBİSTAN) ACCELERATION RECORDS OF EARTHQUAKES SPECTRAL ANALYSIS AND DESIGN ACCELERATION COMPARISON WITH SPECTRA

Muhammet Serdar ŞAHİN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geophysical Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Hakan KARSLI
2025, 131 Pages, 6 Pages Appendix

In this study, strong ground motion (SGM) records were analyzed spatially and spectrally to understand and explain the shaking intensities and the causes of damage generated by the two major earthquakes that occurred on February 6, 2023, centered in Kahramanmaraş–Pazarcık ($M_w=7.7$) and Elbistan ($M_w=7.6$). In this scope, variations of peak ground accelerations (PGA) with distance and V_{S30} were examined, and Arias intensity, 5–95% significant duration, mean period, pseudo-elastic (PSA) and design (DSA) response spectra were calculated and evaluated from acceleration time series. It was observed that PGA values measured along the fault-rupture direction were greater than those measured at stations located perpendicular or oblique to the rupture, even at equivalent distances. No consistent relationship could be identified between the magnitudes of PGA and PSA values and the soil classes of the stations. The Arias intensity, significant duration, and mean period values indicated that the energy of the $M_w=7.7$ earthquake was released as high-frequency strong to very strong shaking over a short duration along the rupture surface, and as relatively lower-frequency moderate shaking over longer durations at perpendicular or oblique distances. In contrast, the energy of the $M_w=7.6$ earthquake was released as low-frequency shaking over longer durations along the fault zone. This situation was associated with forward-directivity effects. For both earthquakes, the PSA values calculated for stations located along the fault zones exceeded the DSA values in the plateau range (predominantly 0.15–0.4 s for $M_w=7.7$ and 0.05–1.0 s for $M_w=7.6$), in the damping region, and at high periods, even exceeding 1.0 g. Additionally, it was evaluated that during the $M_w=7.7$ earthquake, vertical PSA values along the fault zones reached peak levels at short periods, causing very strong vertical shaking and advanced deformations in nearby structures and soil.

Key Words: Strong ground motion and parameters, Fourier spectrum, PSA and DSA

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Doğu anadolu fay zone'na ait sismik parçalar.....	4
Şekil 2. Bölgenin tarihsel ve aletsel dönem deprem aktivitesi.....	5
Şekil 3. Deprem parametreleri	9
Şekil 4. Kuvvetli yer hareketi azalım ilişkilerinde kullanılan farklı uzaklık tanımları	10
Şekil 5. Türkiye deprem tehlike haritalarının tarihsel süreci.....	12
Şekil 6. TDBY (2018)'de yayınlanan Türkiye deprem tehlike haritası.....	12
Şekil 7. İvme kayıtları ve elastik tepki spektrumlarının tanımı. Tepki spektrumlarının prensibini gösteren farklı periyotlara sahip SDOF titreştirici serisi. İvme zaman serisi tarafından temelden uyarıldığında pik zaman alanındaki ivmeleri farklı sönümlendirme değerleri için (%2, %5, %10, %15 ve %20) periyodun bir fonksiyonu olarak gösterilir	18
Şekil 8. TBDY (2018)'e göre yatay elastik tasarım ivme spektrumunun hesaplanması için kriterler ve katsayılar. Yatay eksen doğal titreşim periyotunu (saniye), düşey eksen $S_{ae}(T)$ spektral ivmeleri (birimler; g, gal= cm/s^2 , m/s^2) göstermektedir. T_A - T_B arası spektrumunun "plato", T_B - T_L arası sönüm, $T > 1.0$ s uzun periyot bölgeleri olarak temsil eder. Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş için $T_L=6$ s alınır.....	23
Şekil 9. 'Plato benzeri' bir şekil sergileyen tipik Fourier ivme spektrumları. Farklı eğriler, 3-7 arasında değişen farklı deprem büyüklüklerine karşılık gelir	29
Şekil 10. Spektral ve zemin etki katsayılarını belirlemek için URL-8 adresinden açılan pencere ve girilen bilgiler.....	34
Şekil 11. Tasarım spektrumunun katsayılarının belirlenmesi örneği: Hatay-Defne'de bulunan 3125 nolu istasyon için spektral katsayılar, PGA ve PGV değerleri	35
Şekil 12. Pazarcık depreminin kaydedildiği AFAD kuvvetli yer hareketi istasyonları ve PGA değerlerinin istasyonlara göre dağılımları. Kesikli siyah çizgiler Pazarcık depreminin hasar yapıcı etkin olduğu ~ 300 km'lik dairesel alanı göstermektedir.....	37
Şekil 13. Elbistan depreminin kaydedildiği AFAD kuvvetli yer hareketi istasyonları ve PGA değerlerinin istasyonlara göre dağılımları. Kesikli siyah çizgiler Elbistan depremi için ~200 km'lik dairesel alanları göstermektedir.....	38
Şekil 14. PGA değerlerinin analizi için oluşturulan excel formatındaki veri tablosu.....	39

Şekil 15. Örnek bir ivme zaman serisi dosyası. Depreme, istasyona ve kaydedilen veriye ait bilgileri (depremin episantr noktası ve istasyon koordinatları, tarih ve zaman, episantr uzaklığı, derinlik, büyüklük, V_{s30} ve PGA değerleri, örnekleme zamanı, örnek sayısı vd.) içeren dosya başlığı (solda) ve ivme değerleri (sağda).....	41
Şekil 16. Pazarcık $M_w=7.7$ depreminin $R_{epi} \sim 300$ km uzaklığa kadar olan 82 adet istasyondaki ivme zaman serileri. Kırmızı çerçeveler kesilmiş, mavi çerçeveler tamamlanamamış ivme zaman serilerini göstermektedir	42
Şekil 17. Elbistan $M_w=7.6$ depreminin $R_{epi} \sim 200$ km uzaklığa kadar olan 68 adet istasyondaki ivme zaman serileri. Kırmızı çerçeveler kesilmiş, mavi çerçeveler tamamlanamamış ivme zaman serilerini göstermektedir	43
Şekil 18. Pazarcık $M_w=7.7$ depremi için kesilmiş ve tamamlayıcı kayıt örnekleri. Kırmızı çerçeveler 4632 ve 4629 nolu istasyon kayıtlarının 4616 nolu istasyon kaydının giriş bölümüne olan benzerliklerini göstermektedir. (a) ve (c) episantr uzaklıkları 24.09 km ve 22.5 km olan kesilmiş kayıt örneklerinin olduğu 4632 ve 4629 nolu istasyonlar. (b) ve (d) episantr uzaklığı 20.54 km olan 4616 nolu istasyonun D-B ve Z bileşenleri.....	45
Şekil 19. Pazarcık $M_w=7.7$ depremi için tamamlanamamış kayıt örnekleri. (a) 2703 (b) 2705 (c) 2711 ve (d) 3146 nolu istasyonların D-B bileşenleri. Kırmızı çerçeveler kayıtların son bölümlerindeki kesilme bölümlerini göstermektedir.....	45
Şekil 20. Ham ivme zaman serilerine uygulanan trend analizi ve bant geçişli süzgeçleme uygulamaları. (a) 4632 nolu istasyon verisi (siyah) ve trend uygulama sonucu (kırmızı), (b) orijinal (siyah) ve trend (kırmızı) uygulanmış ivme zaman serilerinin Fourier genlik spektrumları, (a ve d)'daki mavi renkli eliptik alan ivme zaman serisindeki trend etkisini, (c) ve (d) trend (siyah) ve süzgeç (kırmızı) uygulanmış ivme zaman serilerini ve karşılık gelen spektrumları göstermektedir. Düşük ve yüksek kesme frekansları $f_c=0.025$ Hz. $f_{max}=40$ Hz olan dördüncü dereceden Butterworth süzgeci uygulanmıştır	47
Şekil 21. $M_w=7.7$ Pazarcık depreminin ivme-episantr uzaklığı dağılımı. (a) Her bir bileşendeki (D-B, K-G, Z) en büyük ivme değerlerinin ve (b) bu ivme değerleri içindeki en büyük ivme değerlerinin dağılımı. PGA, pik yer ivmesini ve R_{epi} episantr (deprem odağının dış merkezi-yeryüzündeki izdüşüm yeri ile istasyon arasındaki uzaklık) uzaklığını göstermektedir.....	48
Şekil 22. $M_w=7.6$ Elbistan depreminin ivme-episantr uzaklığı dağılımı. (a) Her bir bileşendeki (D-B, K-G, Z) en büyük ivme değerlerinin ve (b) bu ivme değerleri içindeki en büyük ivme değerlerinin dağılımı. PGA, pik yer ivmesini ve R_{epi} episantr (deprem odağının dış merkezi-yeryüzündeki izdüşüm yeri ile istasyon arasındaki uzaklık) uzaklığını göstermektedir.....	49
Şekil 23. Pazarcık $M_w=7.7$ depremi için episantr-PGA dağılımının belirli uzaklık aralıklarına göre gruplandırılması. YP_1 , YP_2 ve YP_3 azalım eğrileri temsili olarak çizilmiştir	51

Şekil 24.	Pazarcık depreminin ana şokundan sonra kısa zaman aralıklarında ardışık kırılmaların $R_{epi}=31.42$ km uzaklığında 4614 nolu istasyondaki D-B bileşeni ivme kaydı	53
Şekil 25.	Elbistan $M_w=7.6$ depremi için episantr-PGA dağılımı. Azalım eğrisi (kırmızı çizgi). YE temsili olarak çizilmiştir	54
Şekil 26.	Elbistan depreminin ana şokundan sonra kısa zaman aralığında ardışık kırılmanın $R_{epi} =21.42$ km episantr uzaklığında 4631 nolu istasyondaki Z bileşeni ivme kaydı.....	55
Şekil 27.	Pazarcık $M_w=7.7$ depremi için episantr, faylar, etkilenen iller ve en büyük yatay PGA değerlerinin istasyon konumlarına göre dağılımı	57
Şekil 28.	PGA değerlerinin istasyon konumlarına göre dağılımı.....	57
Şekil 29.	V_{s30} -PGA değişimi. (a) Pazarcık. $M_w=7.7$ ve (b) Elbistan $M_w=7.6$ depremleri için değişimler	59
Şekil 30.	Pazarcık $M_w=7.7$ depremi için episantr uzaklığı- V_{s30} -PGA dağılımı	61
Şekil 31.	Elbistan $M_w=7.6$ depremi için episantr uzaklığı- V_{s30} -PGA dağılımı	61
Şekil 32.	%5 (güçlü hareket evresinin başlangıcı), %75 ve %95 (güçlü hareket evrelerinin sonu) etkin sarsıntı süreleri ilkesi. 6 Şubat 2023 Pazarcık depremi ($M_w=7.7$) sırasında Hatay-Altınözü istasyonundaki ivme kaydı (üstte) ve Arias şiddeti (veya Hsuid grafiği) eğrisi (altta). Bu veri için, T_{5-75} için $\varepsilon_1=65.71$ s ve $\varepsilon_2=81.69$ s, T_{5-95} için $\varepsilon_1=65.71$ s ve $\varepsilon_2=98.67$ s olarak belirlenmiştir. Buna göre, $D_{5-75}(\varepsilon_1.\varepsilon_2)=15.98$ s ve $D_{5-95}(\varepsilon_1.\varepsilon_2)=32.96$ s'dir	63
Şekil 33.	Örnek bir ivme kaydından hesaplanan spektrumlar ve Arias şiddeti eğrisi. (a) 4616 nolu istasyonda kaydedilen ivme kaydı. (b) Arias şiddeti ve etkin süre. Etkin sürenin hesaplandığı %5 ve %95 sınırları küçük kırmızı renkli dairelerle gösterilmiştir. (c) Fourier genlik spektrumu ve (d) ivme tepki (mavi) ve TBDY (2018)'e göre tasarım spektrumu (kırmızı)	66
Şekil 34.	TK-0125 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	69
Şekil 35.	TK-2103 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	70
Şekil 36.	TK-2310 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	71
Şekil 37.	TK-2703 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	73
Şekil 38.	TK-2712 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	73
Şekil 39.	TK-2718 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	74
Şekil 40.	TK-3116 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	75
Şekil 41.	TK-3133 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	76
Şekil 42.	TK-3123 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	78
Şekil 43.	TK-3124 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	78
Şekil 44.	TK-3125 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	79
Şekil 45.	TK-3126 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	79

Şekil 46.	TK-3141 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	80
Şekil 47.	TK-3129 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	81
Şekil 48.	TK-3135 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	82
Şekil 49.	TK-3137 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	83
Şekil 50.	TK-3138 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	84
Şekil 51.	TK-3143 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	84
Şekil 52.	TK-3136 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	85
Şekil 53.	TK-3147 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	86
Şekil 54.	TK-4404 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	87
Şekil 55.	TK-4406 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	88
Şekil 56.	TK-4611 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	89
Şekil 57.	TK-4612 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	89
Şekil 58.	TK-4614 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	92
Şekil 59.	TK-4615 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	93
Şekil 60.	TK-4616 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	93
Şekil 61.	TK-NAR0 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	94
Şekil 62.	TK-4618 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	95
Şekil 63.	TK-4619 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	96
Şekil 64.	TK-6304 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	98
Şekil 65.	TK-8002 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	98
Şekil 66.	TK-8003 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	99
Şekil 67.	TK-0129 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	100
Şekil 68.	TK-0213 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	101
Şekil 69.	TK-2703 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	102
Şekil 70.	TK-3802 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	103
Şekil 71.	TK-4406 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	104
Şekil 72.	TK-4409 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	105
Şekil 73.	TK-4611 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	106
Şekil 74.	TK-4612 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	107
Şekil 75.	TK-4614 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	109
Şekil 76.	TK-4615 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	109
Şekil 77.	TK-4616 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	110
Şekil 78.	TK-4631 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	110
Şekil 79.	TK-5807 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	112

Şekil 80.	TK-8002 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	112
Şekil 81.	TK-3138 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi	113
Şekil 82.	$M_w=7.7$ depremi için episantr uzaklıklarına göre yırtılma uzaklıklarının dağılımı	114
Şekil 83.	$M_w=7.6$ depremi için episantr uzaklıklarına göre yırtılma uzaklıklarının dağılımı	114
Şekil 84.	$M_w=7.7$ depremi için kuvvetli yer hareketi parametrelerinin ilişkileri. (a) episantr uzaklığına göre en büyük ölçülen yatay PGA (mavi) ve TDTH'ndan elde edilen PGA (kırmızı) değerleri, (b) etkin süre (%5-95)'ye karşılık Arias şiddetinin değişimi, (c) ortalama periyota karşılık spektral periyotun değişimi ve (d) spektral periyota karşılık sözde spektral (SPA, mavi) ve tasarım spektral (TSA, kırmızı) ivmenin değişimi.....	117
Şekil 85.	$M_w=7.6$ depremi için kuvvetli yer hareketi parametrelerinin ilişkileri. (a) episantr uzaklığına göre en büyük ölçülen yatay PGA (mavi) ve TDTH'ndan elde edilen PGA (kırmızı) değerleri, (b) etkin süre (%5-95)'ye karşılık Arias şiddetinin değişimi, (c) ortalama periyota karşılık spektral periyotun değişimi ve (d) spektral periyota karşılık sözde spektral (SPA, mavi) ve tasarım spektral (TSA, kırmızı) ivmenin değişimi.....	117
Şekil 86.	$M_w=7.7$ depremi için hesaplanan kuvvetli yer hareketi parametrelerinin deprem episantrları ve fay zonlarına (DAFZ ve NFZ) göre özet sunumu. (a) en büyük yatay PGA, (b) etkin süre (%5-95), (c) Arias şiddeti, (d) ortalama periyot, (e) spektral periyot ve (f) spektral ivme.....	118
Şekil 87.	$M_w=7.6$ depremi için hesaplanan kuvvetli yer hareketi parametrelerinin deprem episantrları ve fay zonlarına (DAFZ ve NFZ) göre özet sunumu. (a) en büyük yatay PGA, (b) etkin süre (%5-95), (c) Arias şiddeti, (d) ortalama periyot, (e) spektral periyot ve (f) spektral ivme.....	119

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Tarihsel dönem DAFZ üzerinde MS 17 ile 1900 yılları arasında meydana gelmiş büyük depremler	6
Tablo 2. 1900-2023 yılları arasında aletsel dönem DAFZ ve çevresinde meydana gelmiş hasar yapıcı depremler	7
Tablo 3. Mercalli şiddet ölçeği ile ivme, hız, sarsıntı hissetme ve olası hasar ilişkileri için değer aralıkları	16
Tablo 4. Ortalama periyot T_m ' nin değişim aralıkları ve anlamı	26
Tablo 5. Arias şiddetinin değişimi ve anlamı.....	31
Tablo 6. Etkin süre değişim aralıkları ve anlamı.....	32
Tablo 7. Zemin sınıflandırma tablosu	32
Tablo 8. Kısa periyot bölgesi için (F_s) yerel zemin etki katsayıları	35
Tablo 9. 1.0 s periyot bölgesi için (F_1) yerel zemin etki katsayıları.....	36
Tablo 10. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık ve Elbistan depremlerine ait tanımlayıcı temel bilgiler	38
Tablo 11. Spektral ve Arias şiddeti-süre analizlerinde kullanılmayacak kesilmiş ve tamamlanmamış kayıtların listesi.....	44
Tablo 12. 4614 nolu istasyondan daha yakın istasyonların episantr ve en büyük PGA değerleri	52
Tablo 13. TK-4614, 4615, 4616 ve NAR istasyonları için istasyon bilgileri ve hesaplanan kuvvetli yer hareketi parametreleri. PGA istasyonlarda ölçülen yer ivmesini, H_{PGA} , TDTH'ndan okunan tahmini yer ivmesini göstermektedir.....	90

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AFAD	: T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
D – B	: Doğu – Batı
DSA	: Sözde Tasarım Spektrum İvmesi
ERS	: Elastic Response Spectrum (Elastik Tepki Spektrumu)
IDA	: Incremental Dynamic Analysis (Artırılmalı Dinamik Analiz)
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
K – G	: Kuzey – Güney
KYHP	: Kuvvetli Yer Hareketi Parametreleri
MS	: Milattan Sonra
NEHRP	: National Earthquake Hazard Reduction Program (Ulusal Deprem Tehlikesi Azaltma Programı)
NEIC	: National Earthquake Information Center (Ulusal Deprem Bilgi Merkezi)
NFZ	: Narlı Fayı Zonu
URL	: Uniform Resource Locater (Tekdüzen Kaynak Bulucu)
USGS	: United States of Geological Survey (Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu)
UTM	: Universal Transverse Mercator (Evrensel Enine Merkatör)
PE	: Probability of Exceedance (Aşılma Olasılığı)
PGA	: Peak Ground Acceleration (Pik Yer İvmesi)
PGD	: Peak Ground Displacement (Pik Yer Değiştirme)
PGV	: Peak Ground Velocity (Pik Yer Hızı)
PHA	: Peak Horizontal Acceleration (Pik Yatay İvme)
SDOF	: Single Degree of Freedom Oscillator (Tek Serbestlik Dereceli Osilatör)
SF	: Sürgü Fayı
ÇF	: Çardak Fayı
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
T. C. C. SBB	: Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı
TDTH	: AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritası (=tdth)
TDVM	: AFAD Türkiye Deprem Veri Merkezi
TS	: Türkiye Saati

TSD	: Tek Serbestlik Dereceli
Z	: Düşey
E	: Depremden Yayılan Enerji
g	: Dünyanın Yer Çekiminden Kaynaklanan Standart İvme
M _w	: Moment Büyüklüğü
R _{hyp}	: Hiposantr'a En Yakın Mesafe
R _{epi}	: Episantr'a En Yakın Mesafe
R _{rup}	: Yırtılma İzine En Yakın Mesafe
R _{jb}	: Kırılmanın Düşey İzdüşümüne En Yakın Mesafe
V _s	: S Dalgası Hızı
V _{s30}	: Kayma Dalgası Hızının Yerin İlk 30 Metresine Kadar Ortalama Değeri
S _d	: Spektral Yer Değiştirme
S _v	: Spektral Hız
S _a	: Spektral İvme
u(t)	: Bağlı Yer Değiştirme
u'(t)	: Bağlı Hız
u''(t)	: Mutlak İvme
''	: İkinci Türev
f	: Doğal Frekans
ξ	: Kritik Sönümlleme Yüzdesi
Max _t	: En Büyük İvme
a _g (t)	: Giriş İvme Dalga Biçimi
a _{max}	: Pik İvme
k	: Yay sabiti
m	: Kütle
ω	: Açısal Frekans
u _{max}	: En Büyük Yerdeğiştirme
c	: Vizkoz Parametresi
ω ₀	: Sönümsüz Titreştiricinin Doğal Frekansı
ω ₁	: Sönümlü Titreştiricinin Doğal Frekansı
U(ω)	: Bağlı Yer Değiştirmenin (u(t)) Fourier Dönüşümü
H(ω)	: SDOF Titreştiricisinin Transfer Fonksiyonu
PSA=S' _a	: Pseudo Spektral Acceleration (Sözde Elastik Tepki Spektrumu)

$PSV=S'_v$	: Pseudo Spektral Velocity (Sözde Spektral Hız)
T	: N Katlı Bina Periyodu
$S_{ae}(T)$	: Yatay Elastik Tasarım Spektral İvmesi
$F_a(f)$	: Fourier İvme Spektrumu
D	: İvmeölçer Kaydının Toplam Süresi
$A(f)$	: Fourier Genlik Spektrumu
A_0	: Katsayı
$\phi(f)$	: Fourier Faz Spektrumu
$F_v(f)$	: Yer Hareketi Hızının Fourier Spektrumu
$F_d(f)$	: Yer Değiştirmenin Fourier Spektrumu
f_N	: Nyquist Frekansı
T_m	: Ortalama Periyot (Mean Period)
C_i	: Fourier Genlikleri
f_i	: 0,25 ve 20 Hz Arasındaki frekanslar
f_c	: Büyük Depremlerde Düşük Frekans Bölgesindeki Köşe Frekansı
f_{max}	: Yüksek Kesme Frekansı
N	: Örnek Sayısı
Δt	: Zaman Örnekleme Aralığı
Δf	: Fourier Dönüşümü Hesaplamasında Kullanılan Frekans Aralığı
Ω_0	: Spektral Yer Değiştirme Değeri
M_0	: Sismik Moment
$R_{\theta\theta}$	: 0 ile 1 Arasında Değişen Katsayı
R	: Odak Uzaklığı
c	: Dalga Hızı
I_a	: Arias Şiddeti
AI_a	: Yığınsal Arias Şiddeti
T_d	: Sinyal veya Kayıt Süresi
ε_1	: %5 Genliğe Karşılık Gelen Değer
ε_2	: %95 Genliğe Karşılık Gelen Değer
S_{DS}	: Kısa periyod Tasarım Spektral İvme Katsayısı
S_{D1}	: 1.0 saniye Periyod İçin Tasarım Spektral İvme katsayısı
T	: Doğal Titreşim Periyodu
T_L	: Spektral Periyod
T_A, T_B	: Yatay Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyotları

$TSaG$	: Hesaplanan en büyük spektral ivme değerine karşılık gelen tasarım spektral ivme değeri
$S_{aeD}(T)$	: Düşey Elastik Tasarım Spektral İvmesi
T_{AD}, T_{BD}	: Düşey Elastik Tasarım Spektrumu Köşe Periyotları
S_s	: Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı
S_1	: 1.0 Saniye Periyot İçin Harita Spektral İvme Katsayısı
F_s	: Kısa Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı
F_1	: 1.0 Saniye Periyot Bölgesi İçin Yerel Zemin Etki Katsayısı
$\sim$	: Yaklaşık



1. GENEL BİLGİLER

6 Şubat 2023 tarihinde Türkiye'nin güney doğusundaki Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)'nda birincisi Türkiye Saati (TS) ile 04.17.32'de (UTM: 01.17.32'de 37.288°K ve 37.042°D koordinatlarında) odak derinliği 8.6 km, moment magnitüd'ü $M_w=7.7$ olan Kahramanmaraş-Pazarcık'ta ve ikincisi bu depremden 9 saat sonra TS ile 13.24.47'de (UTM: 10.24.42'de 38.089°K ve 37.239°D koordinatlarında) odak derinliği 7.0 km, moment magnitüdü $M_w=7.6$ olan Elbistan'da olmak üzere yıkıcı depremler meydana gelmiştir. Bu depremler birçok araştırmacı tarafından deprem çifti (doublet) olarak adlandırılmış ve kısa süre içerisinde bu depremin karakterini ve etkilerini anlamak için raporlar (AFAD, 2023; KRDAE, 2023; TMMOB, 2023; ODTÜ, 2023) ve bilimsel makaleler (Baltzopoulos vd., 2023; Duan vd., 2023; Goldberg vd., 2023; Gülerce vd., 2023; Jiang vd., 2023; Melgar vd., 2023; Papazafeiropoulos & Plevris, 2023; Zlio & Ampuero, 2023; Wu vd., 2023; Wan vd., 2023; Karslı vd., 2024; Polat vd., 2025) olmak üzere birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu depremler, Türkiye'de son yüzyıl içerisinde gerçekleşen depremlerle karşılaştırıldığında, en fazla can ve ekonomik kayıplara neden olan büyük bir felaket olarak kayıtlara geçmiştir. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı (T.C.C.SBB) raporuna göre, 6 Şubat depremleri 11 ili (Kahramanmaraş, Hatay, Gaziantep, Adıyaman, Malatya, Kilis, Şanlıurfa, Adana, Osmaniye, Diyarbakır, Elazığ) can, mal ve ekonomik kayıplara neden olan değişik seviyelerde (az hasardan-ileri derece hasara, yapıların göçmesi ve ölüm) etkisi altına almıştır. Saha gözlemleri ve ilgili kurumların raporlarına göre depremlerden, ~14 milyon insan etkilendiği, 53.537 kişinin öldüğü, 107.213 kişinin yaralandığı bildirilmektedir. Depremin yapılar ile ilgili bilançosu, yıkılmış-ağır hasarlı-acil yıkılacak olmak üzere ~311.440 yapı/bina (~810.902 bağımsız bölüm) olarak açıklamıştır. Depremin yol açtığı felaketin Türkiye ekonomisi üzerindeki toplam yükünün >~2 trilyon TL (>~104 milyar dolar)'dan daha fazla olduğu tahmin edilmektedir. Raporda, ortaya çıkan bu maliyetin 2023 yılı millî gelirinin ~%9'una karşılık geldiği belirtilmiştir. Maliyetin ~%54.9'u konutlara, ~%12.4'ü kamu altyapısı ve hizmet binalarına, ~%11,4'ü imalat sanayi, enerji, haberleşme, turizm, sağlık ve eğitim sektörleri, küçük esnaf ve ibadethanelere ve geri kalan ise özel tasarruflara (sigortacılık sektörü kayıpları ve esnafın gelir kayıpları ile makroekonomik etkiler) ilişkin hasarları içermektedir.

Depremlerden sonra, birçok araştırmacı depremlerin etkisini ve özelliklerini analiz etmiştir. Depremlerin ana şokun büyüklüğü ve toplam yırtılma ve/veya kırılma (rupture) uzunlukları, DAFZ 'in karakteristik özellikleri (mesela, ~10-11 mm/yıl kayma miktarı) (Ambraseys, 1989; Reilinger vd., 2006; Aktuğ vd., 2013, 2016) göz önüne alındığında bu tektonik ortam için beklenenden çok daha büyük olduğu ifade edilmektedir (Melgar vd., 2023; Goldberg vd., 2023). İki güçlü depremin üst üste gelmesi, mühendislik yapılarının yanı sıra altyapıya verilen hasarı da artırmıştır. Özellikle, Pazarcık $M_w=7.7$ depreminin ana şokunun episantırdan (dış merkez veya merkez üssü) ~100 km'den daha fazla uzakta bulunan Hatay ilinin Antakya, Defne, Altınözü, Hassa gibi ilçelerinde, çok sayıda binanın tamamen yıkıldığı ve ileri derecede hasar gördüğü, ulaşım yollarının bozulduğu, çok fazla moloz birikintilerinin olduğu saha gözlemleri ile raporlanmıştır (AFAD, 2023; ODTÜ, 2023; KRDAE, 2023; TMMOB, 2023).

Goldberg vd., (2023), USGS (United States Geological Survey)'in veri tabanı olan NEIC (National Earthquake Information Center) tarafından elde ettiği deprem verileri ile depremlerin karakterizasyonunu açıklamış, bölgesel sismotektoniği, tehlikeleri analiz etmiştir. Dal Zilio & Ampuero (2023), meydana gelen depremin beklenenden daha yıkıcı olduğunu özetlemiş, bu kadar ciddi bir hasarı tekrar önlemek için öneriler sunmuş ve bölgedeki deprem riskinin yeniden değerlendirilmesi gerektiğini önermiştir.

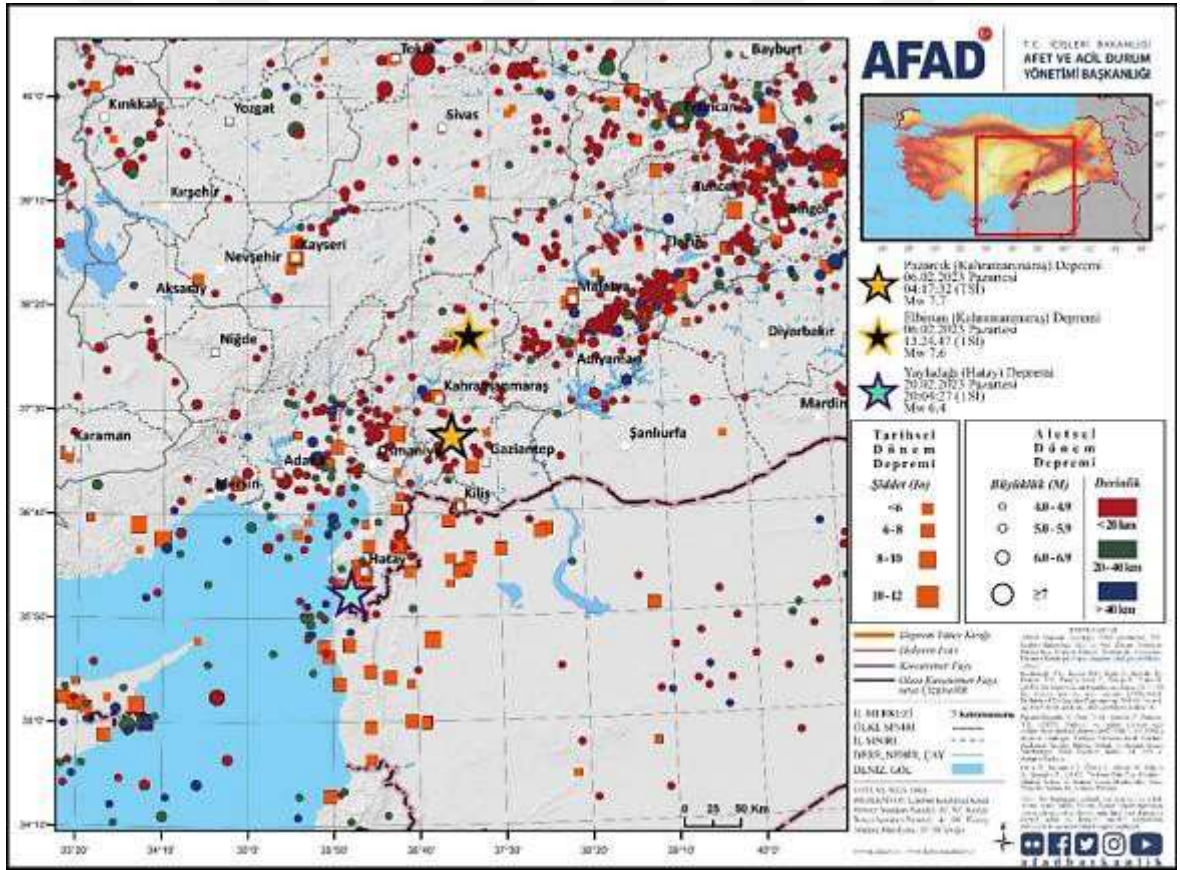
Jiang vd., (2023), bu iki büyük depremin hız kayıtlarında koda dalga sürelerini (litosferdeki büyük heterojenitelerden dolayı oluşan saçılmış dalgaların oluşturduğu dalga paketi) analiz ederek deprem büyüklüğünün (magnitüdünün) şimdiye kadar bildirilen sonuçlardan biraz daha büyük olduğunu, bunun koda süresi, gürültü ve odak mekanizmasından kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Baltzopoulos vd., (2023) ve Gülerce vd., (2023), kaydedilen ivme zaman serisi ve tepki spektrumu özellikleri, yer hareketi modellerinin uygulanabilirliği, puls özellikleri ve zemin büyütmesi dahil olmak üzere bu iki depremin ilk analizlerini yapmışlardır. Wan vd., (2023) çalışmalarında, 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık $M_w=7.7$ depreminin PGA değerlerini kullanarak DAFZ için PGA tahmin denklemlerini elde etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçların, Türkiye'nin güneydoğu bölgesi için sismik tehlike ve risk değerlendirmeleri ve önemli mühendislik projelerinin sismik dayanım tasarımı için değerli olabileceğini belirtmişlerdir. Duan vd., (2023), fay zoneu yakınında önemli bir yoğunlaşma etkisi gözlemlemiş ve $M_w=7.7$ depreminde büyük düşey ve pozitif ivmelerin negatif ivmelerden daha büyük olduğunu açıklayan sıçrama (trampolin) etkisinin (deprem sırasında yer hareketi yukarı doğru ivmelendiğinde, özellikle esnek veya

zayıf zeminlerde (örneğin alüvyal dolgu, gevşek toprak, yumuşak kil) zeminin bir süreliğine bastırılıp/sıkışıp, sonra yay gibi yukarı doğru sıçrama yapması (Aoi vd., 2008)) oluştuğunu belirtmişlerdir. Karasin (2023), Diyarbakır'da hasar gören ve yıkılan binaların yapısal analizleri sonucunda mevcut sismik tasarım özelliklerinin güvenilir kaldığını göstermekle birlikte, ortaya çıkan ciddi hasarların, öngörülen sismik performans ile gerçek sismik performans arasında dikkate değer bir tutarsızlığa işaret ettiğine dikkat çekmiştir. Papazafeiropoulos & Plevris (2023), depremlerden açığa çıkan enerjinin bina hasarıyla yakından ilişkili olduğunu düşünmüşler ve $M_w=7.7$ depreminin önemli özelliklerini vurgulamak için kümülatif enerji, Arias şiddeti ve etkin (significant) süre, elastik ve eşit süneklik tepki spektrumları ve IDA (Incremental dynamic analysis-Artırılmalı dinamik analiz) eğrileri gibi parametreleri hesaplamışlardır. Elde ettikleri sonuçlar, daha geniş periyot aralığındaki ivme spektrumlarının TBDY (2018)'in belirlediği tasarım spektrumundan önemli ölçüde daha yüksek olduğunu belirlemiş ve bu depremde çok sayıda binanın çökmesinin, alçak katlı betonarme yapıların düşük yanal katılık ve akma deformasyonu ile ilişkili olabileceğini ileri sürmüştür. Dolayısıyla, Papazafeiropoulos & Plevris (2023) 'in bu çalışması, binalarda görülen ciddi hasarların yalnızca güçlü depremlerden açığa çıkan enerjiden kaynaklanmadığını, aynı zamanda yerel yapı tasarımlarının yetersiz sismik performansı ile da önemli ölçüde ilişkili olduğunu göstermektedir.

Bu tez çalışmasında, Türkiye Afet ve Acil Durum (AFAD) Yönetimi Başkanlığı tarafından işletilen kuvvetli yer hareketi verileri incelenmiştir. Bu kapsamda PGA değerlerinin uzaysal dağılımı ve V_{s30} değer değişimlerini analiz etmek için ilk olarak $M_w=7.7$ depremi için 360 adet, $M_w=7.6$ depremi için 370 adet istasyonda ölçülen PGA değeri kullanılmıştır. Daha sonra istasyonlarda kaydedilen ivme zaman serilerinin spektral (Fourier genlik spektrumu, sözde elastik tepki spektrumu) eğrileri, Arias şiddeti ve etkin süre değerleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda $M_w=7.7$ depremi için episantr uzaklığı $R_{epi} \leq \sim 200$ km uzaklığa kadar olan 73 adet, $M_w=7.6$ depremi için $R_{epi} \leq \sim 100$ km uzaklığa kadar olan 67 adet istasyon verisi kullanılmıştır. Seçilen istasyon verilerinin tepki spektrumlarının, Arias şiddetlerinin ve etkin sürelerinin dikkat çekici özellikleri hem depremlerin karakteristik davranışları hem de meydana gelen hasar olgularıyla birlikte değerlendirilmiştir.

1.1. Bölgenin Genel Jeolojisi ve Sismotektoniği

zon içerisinde farklı uzunluklarda fay parçalarından oluşan Bingöl-Karlıova gibi parçalardan bazılarında birbirine yakın zaman aralıklarında hasar yapıcı depremler olmuştur. 135 km uzunluğundaki Sincik-Palu ve 145 km uzunluğundaki Antakya-Türkoğlu gibi uzun parçalar ise, bazen tek bir deprem ile kırılırken, bazen de 50-100 yıl gibi kısa zaman aralıklarında iki deprem ile kırılmışlardır. Türkoğlu-Gölbaşı parçası ise, 495 yıl ya da 894 yıldır büyük bir deprem üretmeyen sismik boşluk konumunda bulunan bir parça olup, üzerinde 6 Şubat 2023 $M_w=7.7$ depremi meydana gelmiştir. Ayrıca Palu-Bingöl arasında kalan kesim ise diğer bir sismik boşluk olarak görünmektedir. Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde, genç alüvyon çökeller üzerinde Bingöl, Elazığ, Malatya, Kahramanmaraş ve Antakya gibi büyük kentler ile ilçeler bulunur ve fay üzerinde ya da yakınında büyük barajlar yer almaktadır.



Şekil 2. Bölgenin tarihsel ve aletsel dönem deprem aktivitesi (URL-1)

DAFZ’nda Milattan Sonra (MS) 17 sonrası ile 1900 yılları öncesi tarihsel dönemde 3 ana deprem serisi meydana gelmiş ve tüm parçalar kırılmıştır. DAFZ üzerinde MS 17 ile 1900 yılları arasında meydana gelmiş büyük depremler Tablo-1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Tarihsel dönem DAFZ üzerinde MS 17 ile 1900 yılları arasında meydana gelmiş büyük depremler (Demirtaş & Erkmen, 2019'dan düzenlenerek)

TARİH	ENLEM	BOYLAM	Ms	L, H, V (km),(cm),(cm)	YER
37	36	36	$6.0 \leq M_s \leq 7.0$		Antakya
	37,3	36,5	$6.0 \leq M_s \leq 7.0$		Doğu Anadolu
4.601	37	36,5			Doğu Anadolu
995	38,7	40	$7.0 \leq M_s \leq 7.8$		Palu
29.11.1114	37,5	37,5	$7.8 \leq M_s$		Maraş
22.01.1544	38	37	$6.0 \leq M_s \leq 7.0$		Elbistan
28.05.1789	38,8	39,5	$7.0 \leq M_s \leq 7.8$		Elazığ
13.08.1822	36,7	36,5	7.5	200	Antakya
12.05.1866	39,2	41	7.2	45	Göynük
03.04.1872	36,4	36,4	7.2	20	Amik Gölü
03.05.1874	38,5	39,5	7.1	45-?-200	Hazar G. 1
27.03.1875	38,5	39,5	6.7	20-?-200	Hazar G. 2
02.03.1893	38	38,3	7.1		Malatya
L= Toplam yüzey kırığı uzunluğu (km)					
V= max. Düşey atım (cm)					
H= max. Yanal atım (cm)					

Depremlerin episantrları Karlıova, Hazar Gölü, Gölbaşı-Çelikhan ve Hatay olmak üzere 4 ana bölgede yoğunlaşmıştır. Bu yoğunlaşma yerlerinden Karlıova bölgesi, DAFZ ile KAFZ'nun birleşim bölgesine karşılık gelir. Hazar Gölü bölgesi, Karlıova-Bingöl segmenti ile Hazar-Palu arasındaki büyük bir sıkışma-tipi sıçrama bölgesine karşılık gelir. Çelikhan-Gölbaşı bölgesi, Bitlis Bindirme Kuşağı ile DAFZ'nun kesişim bölgesi ve DAFZ'nun K60D'dan K20D'ya ani yön değiştirdiği kesime ve Hatay bölgesinde DAFZ ile Ölü Deniz Fay Zonu ile birleşim bölgesine karşılık gelmektedir. Aletsel dönemde de depremler bu bölgelerde yoğunlaşmıştır.

Aletsel dönemde 1900-2023 yılları arasında DAFZ ve çevresinde meydana gelmiş hasar yapıcı depremler Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. 1900-2023 yılları arasında aletsel dönem DAFZ ve çevresinde meydana gelmiş hasar yapıcı depremler (Demirtaş & Erkmn, 2019 ve URL-8’den düzenlenerek)

No	Yer	Tarih	Enlem	Boylam	Ms	Can Kaybı	Yıkık veya Ağır Hasar
1	Pütürge-Malatya	12.04.1905	39,0000	39,0000	6.8		15
2	Bingöl	15.12.1934	38,8500	40,5500	4.9	12	200
3	Ceyhan-Adana	20.03.1945	37,1100	35,7000	6.0	10	650
4	Kığı-Bingöl	02.04.1950	39,5000	40,6000	4.6	20	100
5	İskenderun-Hatay	04.08.1951	36,5800	35,8500	5.7	6	13
6	Misis	22.10.1952	37,2500	35,1500	5.5	10	511
7	Malatya	14.06.1964	38,1300	38,5100	6.0	8	678
8	Karlıova	31.08.1965	39,3000	40,7900	5.6		1.500
9	Bingöl-Elazığ	24.09.1968	39,2000	40,2000	5.1	2	
10	Bingöl	22.05.1971	38,8500	40,5200	6.7	878	5.617
11	Antakya	30.06.1981	36,1700	35,8900	4.4		2
12	Malatya-Sürgü	05.05.1986	37,9500	37,8000	5.8	8	824
13	Sürgü-Malatya	06.06.1986	38,0100	37,9100	5.6	1	1.174
14	Antakya	22.01.1997	36,2500	36,0000	5.5		
15	Karlıova	13.04.1998	39,3200	41,0500	5.0		69
16	Adana-Ceyhan	27.06.1998	36,8500	35,5500	5.9		10.675
17	Merkez-Bingöl	01.05.2003	38,9400	40,5100	6.1	184	7.800
18	Doğanyol-Malatya	13.07.2003	38,2700	38,9500	5.7		
19	Merkez-Adıyaman	26.02.2004	37,8624	38,2261	5.1		
20	Merkez-Bingöl	03.03.2004	39,0535	40,3334	5.0		
21	Sivrice-Elazığ	11.08.2004	38,3680	39,1461	5.3		
22	Karlıova-Bingöl	12.03.2005	39,4165	40,8672	5.6		760
23	Karlıova-Bingöl	14.03.2005	39,4186	40,8183	5.9		
24	Pütürge-Malatya	26.11.2005	38,2143	38,8755	5.2		
25	Sivrice-Elazığ	21.02.2007	38,3600	39,2900	5.4		
26	Elazığ	09.02.2007	38,4600	39,1300	4.7		
27	Yayladağı-Hayat	23.10.2011	36,0296	36,0201	6.4	6	
28	Elbistan-Kahramanmaraş	24.01.2020	38,0780	37,2310	7.6	53.537	518.009
29	Nurdağı-Gaziantep	06.02.2023	37,2941	36,9161	6.6		
30	Pazarcık-Kahramanmaraş	06.02.2023	37,2773	37,0400	7.7		
31	Sivrice-Elazığ	06.02.2023	38,3593	39,6063	6.8	44	721
32	Tuşba-Van	20.02.2023	38,6890	43,4657	6.7	604	6017

1.2. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremlerinin Etkilediği Yerlerin Genel Jeolojik Özellikleri

$M_w=7.7$ ve $M_w=7.6$ depremlerinin etkisi temelde 11 ili kapsayan çok geniş bir alana yayılmıştır. Her bir il kendi özel jeolojik özelliklerine sahip olmaları ile birlikte bölgesel benzer özelliklere sahiptir. Dolayısıyla bu bölümde etkilenen illerin genel bir jeoloji bilgisi Mertol vd., (2023)'den yararlanılarak özet olarak sunulmuştur.

Hatay, Adıyaman ve Osmaniye illerinin genelinde alüvyonlu topraklar hakimdir ve bu durum deprem büyüklüğünü ve süresini artırmıştır. Antakya, Samandağ, İskenderun ve Dört Yol'un bir kesimi olmak üzere Hatay'ın genelinde yıkım büyük olmuştur. Bölgenin alüvyonlu toprak olması buna büyük etkindir. Bu yapı Kahramanmaraş'ın güneyine de hakimdir. Kahramanmaraş'ın diğer bölgelerinde kireçtaşı, kırıntılı ve karbonatlar bulunmaktadır. Kireçtaşı, Gaziantep şehir merkezinin büyük kısmına hakimdir.

Depremde ağır hasar alan Gaziantep ili, İslahiye ve Nurdağı ilçelerinde bazalt tipi volkanik kayalar ile farklılaşmamış harzburjit, dünit ve serpartin tipi ofiyolitik kayalar bulunmaktadır. İslahiye ve Kilis kent merkezlerinde bazalt bulunur. İslahiye ve Kilis aynı toprak yapısına sahip olmasına rağmen, Kilis'teki binalar deprem yönü etkisinden dolayı (İlk deprem merkez üssüne İslahiye 24 km uzaklıkta ve güneybatı yönünde bulunurken, Kilis 55 km mesafede ve güneydoğu yönündedir) nispeten daha az zarar görmüştür.

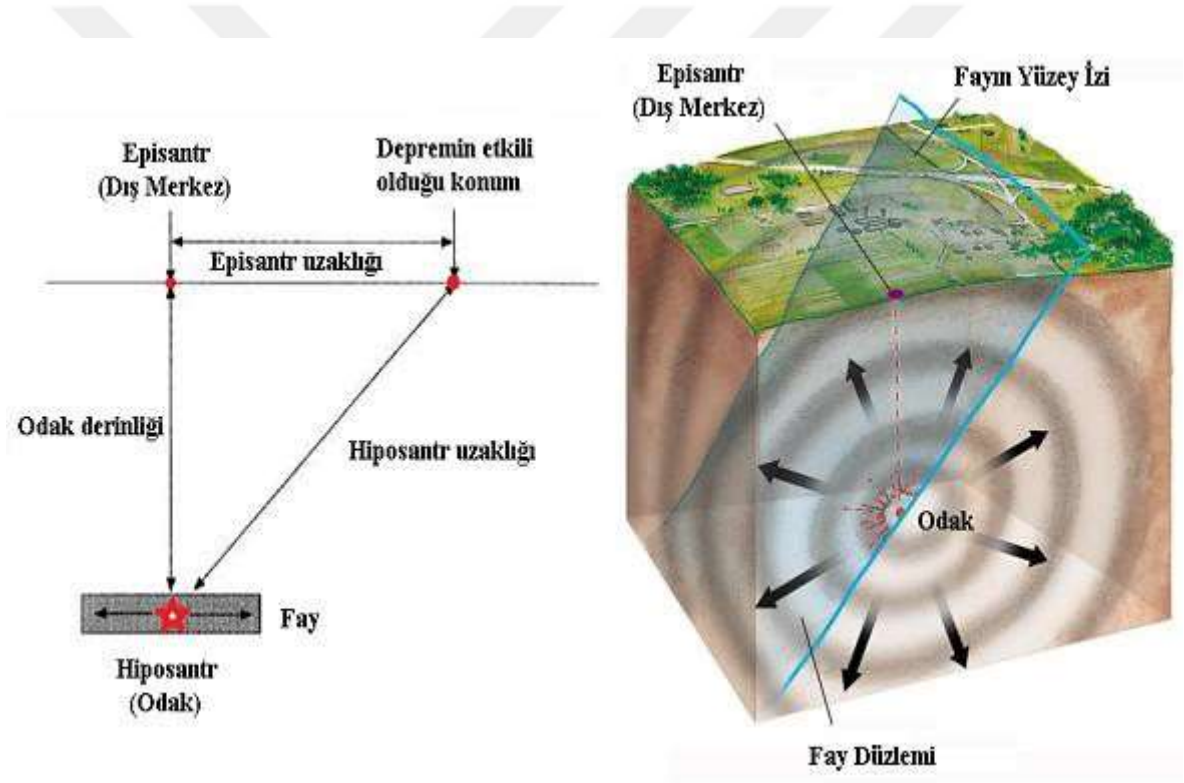
Şanlıurfa'nın doğu, kuzeydoğu ve güneydoğu bölgelerinde alüvyon toprak hakimdir. Aynı ilde batı, kuzeybatı ve güneybatı kısımlarına ise kireçtaşı hakimdir. Diyarbakır'da doğuda ve kuzey-güney ekseninde farklılaşmamış kıtasal kırıntılı kaya ve batıda bazalt tipi volkanik kaya bulunmaktadır. Malatya kent merkezinin batı ve kuzey yönlerinde alüvyonlu toprak bulunurken, doğu ve güney yönlerinde kireçtaşı mevcuttur. Deprem merkezi Elbistan'ın doğu-batı ve kuzey yönlerine farklılaşmamış kıtasal kırıntılı kaya hakim iken, güneyinde kireçtaşı bulunmaktadır. Adana şehir merkezinin büyük bölümü alüvyon toprak ile kaplıdır. Kentin kuzey kesimlerinde traverten jeolojik oluşuma rastlanmaktadır. Elazığ, diğer illere göre en çok toprak türüne sahip ildir. Kentin genelinde alüvyon, kırıntılı ve karbonat kaya ve kireçtaşı mevcuttur.

1.3. Deprem ve Tanımlayıcı Parametreler

Deprem, yer kabuğunu oluşturan kayaların bir yüzey boyunca kırılmasıyla açığa çıkan enerjinin sismik dalgalar halinde yayılırken, geçtikleri ortamları ve yer yüzeyini sarsması

olayıdır. Yerkabuğunu oluşturan levhaların birbirine sürtündükleri, birbirlerini sıkıştırdıkları, birbirlerinin üstüne bindikleri ya da altına daldıkları levhaların sınırları depremlerin oluştuğu yerlerdir. Dünyada gerçekleşen depremlerin büyük çoğunluğu levhaların birbirlerini zorladıkları levha sınırlarında dar kuşaklar üzerinde oluşmaktadır.

Oluşumuna göre depremler tektonik deprem, volkanik deprem ve çöküntü deprem olmak üzere üç grupta toplanır. Depremin oluş yeri (Hiposantr, Episantr), depremin oluş zamanı, odak derinliği, şiddeti, magnitüd'ü (Büyüklik) depremin kinematik parametreleridir. Fayın atımı (Dislokasyon), fay düzleminin konumu, kaynak-zaman fonksiyonu, odaktaki kuvvetlerin geometrisi ve sismik moment ise depremin dinamik parametreleridir.



Şekil 3. Deprem parametreleri (URL-2'den düzenlenerek)

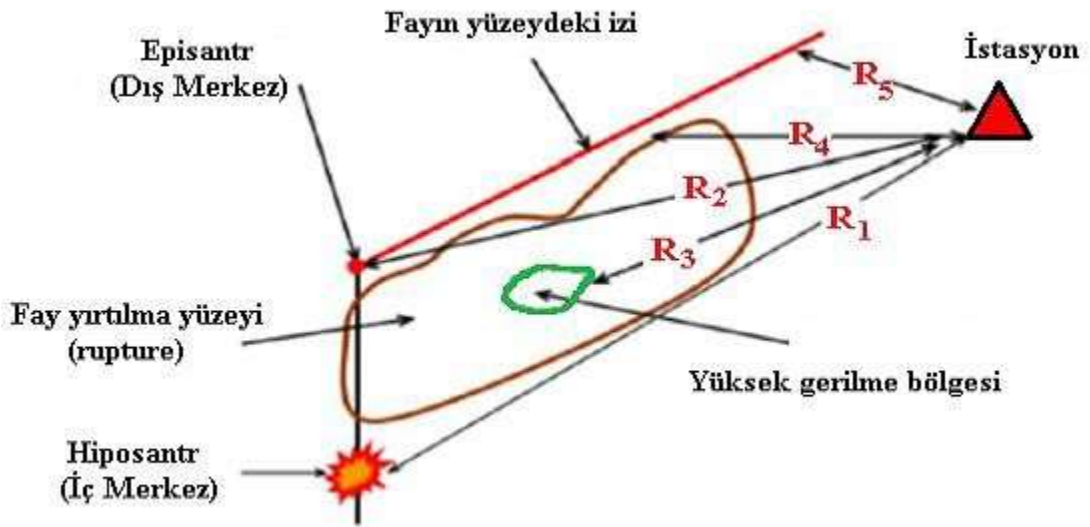
Şekil 3 depremin odak ve episantr kavramlarını açıklamaktadır. Yerin içinde depremin enerjisinin ortaya çıktığı noktaya Hiposantr (Odak Noktası) denir. Gerçekte enerjinin ortaya çıktığı bir nokta olmayıp bir alandır, pratikte nokta olarak kabul edilmektedir. Odak noktasına en yakın olan yer üzerindeki noktaya Episantr (Dış Merkez veya Merkez Üssü) denir. Episantr aynı zamanda depremin en çok hasar yaptığı veya en kuvvetli olarak hissedildiği noktadır. Aslında episantr bir noktadan ziyade alandır. Depremde enerjinin açığa

çıktığı noktanın yeryüzünden en kısa uzaklığı Odak Derinliği olarak adlandırılır. Depremler odak derinliklerine göre sınıflandırılır. Bu sınıflandırma tektonik depremler için geçerlidir. Yerin 0-60 km derinliğinde olan depremler sığ depremler, yerin 70-300 km derinliklerinde olan depremler orta derinlikte olan depremler, yerin 300 km den fazla derinliğinde olan depremler derin depremlerdir.

Şiddet, herhangi bir yerde oluşan depremin, yeryüzünde hissedildiği noktadaki hasar etkisinin gözlemsel bir ölçüsüdür. Kısaca, depremin şiddeti, yapılar, doğa ve insanlar üzerindeki etkilerinin bir ölçüsüdür.

Magnitüd (büyüklük) ise, deprem sırasında açığa çıkan enerjinin bir ölçüsüdür. Magnitüd, standart bir sismografla kaydedilen deprem hareketinin maksimum genlik ve periyod değeri ve alet ölçümleme fonksiyonlarının kullanılması ile yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilmektedir. Aletsel magnitüd değeri, gerek cisim dalgaları ve gerekse yüzey dalgalarından hesaplanabilmektedir (Edemen vd., 2023).

Bilindiği üzere deprem odağının ve episantrının istasyona uzaklığı yanında, iki önemli uzaklık kavramı, istasyon ile fay yırtılma yüzeyine ve fay yüzey izine olan uzaklıklardır (Şekil 4).



Şekil 4. Kuvvetli yer hareketi azalım ilişkilerinde kullanılan farklı uzaklık tanımları (Vural, 2023'ten düzenlenerek)

R_1 : Deprem odağına (Hiposantr'a) en yakın mesafe (R_{hyp}): Deprem kaydını ölçen istasyonun, depremin Hiposantr'ına (İç Merkez) olan en yakın uzaklığı.

R_2 : Episantr'a en yakın mesafe (R_{epi}): Deprem kaydını ölçen istasyonun, depremin Episantr'ına (Dış merkez) olan en yakın uzaklığı.

R_3 : İstasyonun yüksek gerilim bölgesine olan uzaklığı.

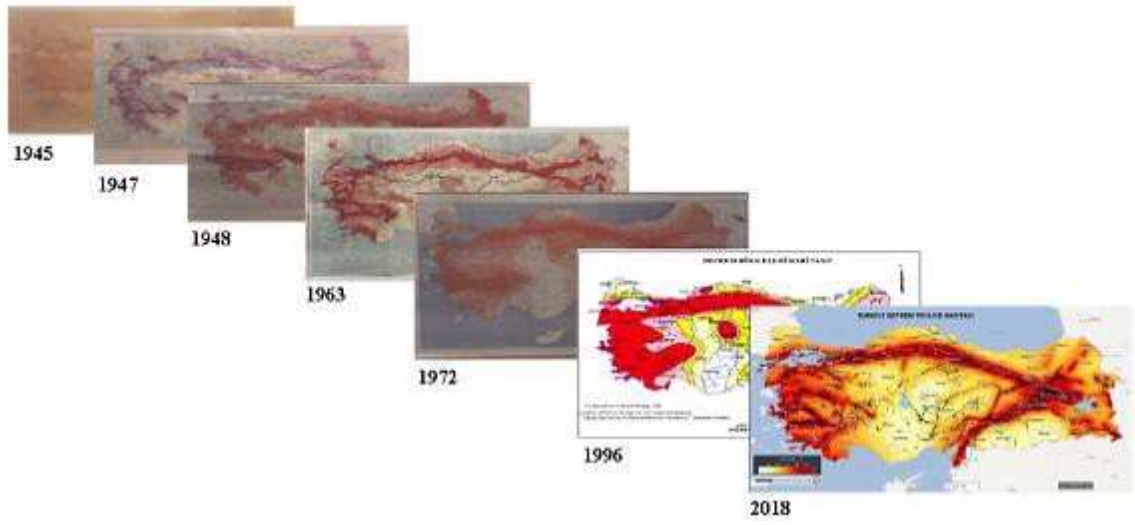
R_4 : Yırtılma yüzeyine en yakın mesafe (R_{rup}): Deprem kaydını ölçen istasyonun, depremi oluşturan fayın yırtılma yüzeyine en yakın uzaklığı.

R_5 : Kırılmanın düşey izdüşümüne en yakın mesafe (R_{jb}): Joyner-Boore mesafesi, fay kırığının yüzeydeki projeksiyonu ile kuvvetli yer hareketi istasyonu arasındaki en yakın yatay mesafe (Vural, 2023).

1.4. Türkiye’de Deprem Kayıt İstasyon Ağı Bilgisi, Türkiye Deprem Tehlike Haritalamasının Tarihsel Süreci

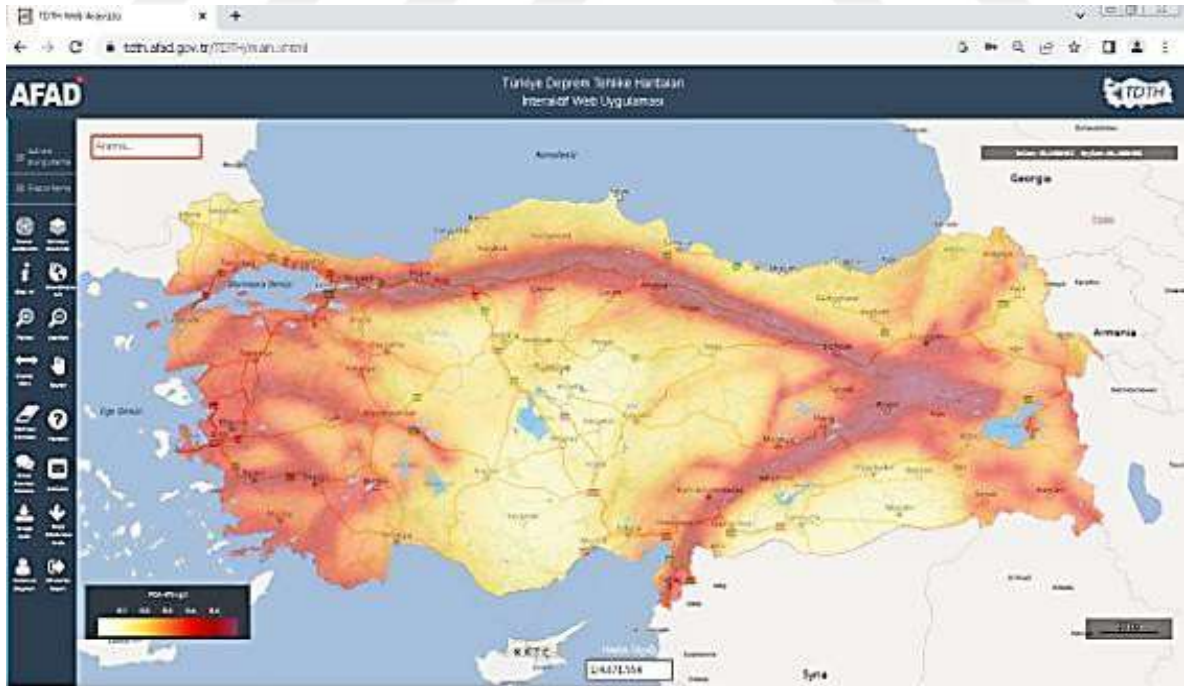
Türkiye’de deprem kayıtları AFAD-Türkiye Deprem Veri Merkezi (TDVM), Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından anlık ve detaylı olarak kayıt edilmektedir. AFAD Deprem Dairesi bünyesinde 299 hız, 757 ivmeölçer olmak üzere toplam 1056 deprem gözlem istasyonu bulunmaktadır. Kandilli bünyesinde 160 hız, 134 ivme ölçer ve 14 kısa periyot olmak üzere 308 deprem gözlem istasyonu bulunmaktadır.

Türkiye’nin ilk resmi deprem bölgeleri haritası 1945 yılında “Yersarsıntısı Bölgeleri Haritası” adı altında hazırlanmıştır. Haritaya göre Türkiye, ‘Tehlikesiz Bölgeler’, ‘Tehlikeli Yersarsıntısı Bölgeleri’ ve ‘Büyük Hasara Uğramış Bölgeler’ olmak üzere üç bölgeye ayrılmıştır. Bu harita zaman içinde bilimsel ve teknolojik gelişmeler ile birlikte birçok kez değişime uğramıştır. 1945, 1947, 1948, 1963, 1972, 1996 ve en son 2018 yılında yayımlanarak yürürlüğe girmiş bulunan resmi deprem bölgeleri haritaları bulunmaktadır (Özmen, 2012).



Şekil 5. Türkiye deprem tehlike haritalarının tarihsel süreci (URL-3'den düzenlenerek)

Günümüzde kullanılan Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH) İnteraktif Web Uygulaması sayfasına, URL-3 (<https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>) AFAD sayfasında URL-4 (<https://tdth.afad.gov.tr/>) sayfasına girerek 'e-Devlet Kapısı' kısmından e-Devlet şifresiyle ulaşılabilmektedir.



Şekil 6. TDBY (2018)'de yayınlanan Türkiye deprem tehlike haritası (URL-4)

Türkiye Deprem Tehlike Haritası İnteraktif Web Uygulaması sayfası, TBDY-2018 yönetmeliği çerçevesinde coğrafi bilgi sistemleri tabanlı interaktif bir web uygulamasıdır. Uygulamanın temel amacı, tüm Türkiye'yi kapsayacak şekilde Tasarım spektrumu hesabı için gereken en hassas veri bilgisini ve hesaplamaları sunmasıdır. Bu uygulamada adrese veya koordinatlara göre yer seçimi yapılabilmektedir. Burada 4 farklı yer hareketi parametresi (PGA, PGV, S_s , S_1) cinsinden hazırlanan 16 farklı deprem tehlike haritasına ulaşılabilmektedir.

Raporlama kısmında deprem yer hareketi düzeyi ve yerel zemin sınıfına göre yer seçimi yapılarak (koordinat girerek ya da harita üstünü işaretleyerek) hesaplama yaptırılabilir. Bu hesaplama sonucundaki raporda PGA, PGV, S_s , S_1 verileri ile birlikte TBDY-2018'de yayınlanan formüller ve tablolara göre F_s , F_1 ve sonrasında S_{DS} , S_{D1} verileri elde edilir. Elde edilen bu verilerden sonra Yatay ve Düşey Elastik Tasarım Spektrumları hesaplanır.

1.5. Deprem Yer Hareketi Parametreleri ve İvme Spektrumları

1.5.1. Deprem İvmesi ve Özellikleri

Yapısal hasarlar temel olarak güçlü sarsıntı hareketinden kaynaklanır ve bu hareket eş zamanlı olarak yerel zemin deformasyonlarını (sıvılaşma, yamaç duraysızlığı) doğrudan etkiler ve dolayısıyla büyük, kontrolsüz temel yer değiştirmeler yoluyla önemli hasarlar oluşabilir. Bu sarsıntı hareketi, ivmeölçer cihazları ile zamana karşılık genliğin (yani yer ivmesinin) ölçüldüğü zaman serisi kayıtlarıdır. Kayıtlar, sarsıntı süresince (birkaç saniyeden birkaç on saniyeye hatta birkaç dakikaya kadar) zeminin ve dolayısıyla insan yapımı veya doğal yapıların ne kadar (etkiyen en büyük kuvvet ve pik yer ivmesi) ve nasıl (hangi periyot ve frekanslarda) etkilendiğini de gösterir. Bu tür ivme kayıtları, bir olaydan diğerine ve aynı olay sırasında bir yerden diğerine büyük değişkenlik gösterebilmektedir. Dolayısıyla bu tür zaman serilerinde yer alan bilgilerin, bunların potansiyel "zarar verici güçlerini" mümkün olduğunca temsil eden az sayıda sayısal (skaler) parametre aracılığıyla özetlenmesi gerekmektedir. Bu tür "afet göstergelerinin" araştırılması kapsamlı bir çalışmanın konusudur. Ancak olayların karmaşıklığı ve mühendislik yapılarının (binalar, barajlar, köprüler, setler, rıhtımlar vb.) çok çeşitli olması, en azından şimdiye kadar evrensel olarak geçerli tek bir göstergenin tanımlanamadığının önemli bir nedenidir (Bard, 2016).

PGA niceliği ivme kayıtlarından okunan en temel parametredir ve sismik sinyalin hasar verici gücüyle oldukça zayıf bir korelasyona sahiptir. Dolayısıyla, PGA değeri tek başına, inşaat mühendisliği yapılarının en gelişmiş modellerinin temelini oluşturan doğrusal olmayan titreşimlerin tepkisini hesaplamak için gerekli parametreler olan, ne sinyal süresi ne de sinyalin spektral içeriği hakkında hiçbir bilgi taşımaz. En büyük değer kavramını koruyarak spektral içeriği yaklaşık olarak hesaplamak için, zaman serilerinde iki önemli pik değeri olan, pik yer hızı (Peak Ground Velocity-PGV) ve pik yer değiştirmenin (Peak Ground Displacement-PGD) dikkate alınması önerilmektedir. PGA esasen yüksek frekans içeriğiyle (5 Hz'in üzerinde) ilişkiliyken, PGV ara frekanslarla (yani 0.5 ile birkaç Hz arasında) ve PGD düşük frekanslarla (0.5-1 Hz'in altında) ilişkilidir. Yıkıcı bir deprem için, PGV değerleri genellikle birkaç cm/s ile 1 m/s arasında, PGD değerleri ise, birkaç milimetre ile birkaç metre arasında değişir. En büyük değerler, büyük fay atımı sağlayan büyük depremlerde, fayın (kırılmanın) hemen yakınında gözlenir. Bu alternatif pik değerleri (PGV ve PGD), depremin büyüklüğüne PGA'dan çok daha fazla duyarlılık gösterir. Çünkü deprem büyüklüğü düşük frekanslı içeriğini yüksek frekanslı içerikten çok daha fazla etkiler (Bard, 2016).

Deprem enerjisi, merkez üssünden dalgalar halinde her yöne yayılır, ancak genellikle yatay (iki yönde) ve düşey olarak modellenir. PGA bu hareketlerin ivmesini (hız değişim oranını) tanımlarken PGV yerin ulaştığı en yüksek hızdır (hareket oranı) ve PGD ise, kat edilen mesafedir. Bu değerler, farklı depremlerde ve farklı yerlerde, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Bunlar arasında, fayın uzunluğu veya fay yüzeyinin boyutu, depremin büyüklüğü (veya enerjisi), depremin odak derinliği, episantr uzaklığı, süre (sarsıntı süresi) ve yerin jeolojisi (yapısal ve fiziksel özellikler) bulunur. Sığ odaklı depremlerde enerji yüzeye daha yakın bir yerde açığa çıktığı için, orta ve derin depremlere göre daha güçlü sarsıntı (yer ivmesi) üretir.

PGA, bir yerde deprem sarsıntısı sırasında oluşan maksimum yer ivmesine eşittir ve istasyonda kaydedilen ivme kaydında ölçülen en büyük mutlak genliğe eşittir. Deprem sarsıntısı genellikle yatayda iki (Doğu-Batı, Kuzey-Güney) ve bir düşey bileşen olmak üzere üç bileşenli olarak kaydedilir. Yatay PGA'lar genellikle düşey yöndekilerden daha büyüktür. Yatay PGA'ların bu özelliği büyük depremlerin yakınında her zaman geçerli değildir (Douglas, 2003). PGA, deprem mühendisliği için önemli bir parametredir (aynı zamanda şiddet veya depremin yıkım gücünün ölçüsü olarak da bilinir). Yapı inşası kapsamında tasarım bazlı deprem yer hareketi genellikle PGA cinsinden tanımlanır.

PGA, Richter ve moment büyüklük ölçeklerinin aksine, bir depremin toplam enerjisinin (büyüklüğü) bir ölçüsü değil, herhangi bir noktada yerin ne kadar sarsıldığının bir ölçüsüdür. Mercalli şiddet ölçeği, deprem şiddetini ölçmek için deprem sonrası arazide yapılar, insanlar ve çevredeki hasarları içeren kişisel raporları ve gözlemleri kullanır. Ancak, PGA ivmeölçerlerle (kuvvetli yer hareketi ölçüm cihazları) sayısal bir değer olarak ölçülür. Mercalli şiddet ölçeğindeki makro sismik şiddetlerle ilişkilendirilebilir, ancak bu korelasyonlar önemli belirsizlikler içerir (Cua vd., 2010).

Pik Yatay İvme (PHA), mühendislik uygulamalarında en yaygın kullanılan yer ivmesi türüdür (PGA'nın yatay bileşeni veya bileşenlerin ortalaması). Deprem mühendisliğinde (sismik yapı yönetmelikleri dahil) ve sismik tehlike haritalarında sıklıkla kullanılır. Bir depremde, binalara ve altyapıya verilen hasar, depremin büyüklüğünden ziyade, PGA'nın bir ölçüsü olduğu yer hareketiyle daha yakından ilişkilidir. Orta şiddetteki depremlerde PGA, hasarın makul derecede iyi bir belirleyicisidir, şiddetli depremlerde ise hasar genellikle pik yer hızıyla ilişkilidir (URL-5). PGA, g'nin (Dünya'nın yer çekiminden kaynaklanan standart ivme g kuvvetine eşdeğer) kesirleri olarak ondalık veya yüzde olarak; m/s^2 ($1 g = 9.81 m/s^2$) veya 1 Gal'in $0.01 m/s^2$ 'ye eşit olduğu Gal'in katları ($1 g=981 Gal=981 cm/s^2$, $1Gal=1 cm/s^2$) şeklinde ifade edilebilir.

Yeraltı jeolojik birimlerin yapısal ve fiziksel özellikleri, yer ivmesini önemli ölçüde etkileyebileceğinden, PGA değerleri, özellikle orta ila büyük depremlerde birkaç kilometrelik mesafelerde aşırı değişkenlik gösterebilir. Bir depremden kaynaklanan değişken PGA sonuçları, bir sarsıntı haritasında görüntülenebilir. PGA'yı etkileyen karmaşık koşullar nedeniyle, benzer büyüklükteki depremler farklı sonuçlar verebilir ve birçok orta büyüklükteki deprem, daha büyük depremlerden önemli ölçüde daha büyük PGA değerleri üretebilir. Bir deprem sırasında üç bileşen (iki yatay ve bir düşey) olarak kaydedilen ivme kayıtlarından her birindeki en yüksek ivme kaydedilir ve genellikle en yüksek ivme değeri raporlanır. Alternatif olarak en yüksek PGA değeri, yaygın olarak iki yatay bileşenin aritmetik veya geometrik ortalaması ya da vektörel toplamı hesaplanarak elde edilebilir. Bununla birlikte, düşey bileşen de dikkate alınarak üç bileşenli bir hesaplamada yapılabilir.

Tarihsel depremlerin değerlendirilmesi ile coğrafi alanların incelenmesi, sismik riskin belirlenmesine ve bir deprem sırasında bir bölgede yaşanabilecek olası PGA değerlerini, aşılma olasılığı (Probability of Exceedance-PE) ile birlikte gösteren sismik tehlike haritalarının oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Deprem bilimciler ve devlet planlama birimleri, her bölgedeki binalar için uygun deprem yükünü belirlemek için PGA değerlerini

kullanır. Binalardaki hasarlar, hem PGV hem de depremin süresiyle de ilişkilidir; yüksek seviyeli sarsıntı ne kadar uzun sürerse, hasar olasılığı da o kadar artar. PGA, aletsel ölçüme dayalı olarak yer sarsıntısının şiddetinin bir ölçümünü sağlar. Diğer şiddet ölçekleri, görgü tanığı ifadelerine, hissedilen sarsıntıya ve gözlenen hasara dayanarak hissedilen şiddeti ölçer. Genel olarak, bu ölçekler arasında bir korelasyon vardır ancak her zaman mutlak bir uyum olmayabilir. Deneyimler ve gözlenen hasarlar deprem mühendisliğinin kalitesini de içeren birçok başka faktörden etkilenmektedir. Genel olarak,

1.1 g (0.01 m/s^2 , 1 cm/s^2) ivmeli sarsıntılar insanlar tarafından algılanabilir.

1.2 g (0.2 m/s^2 , 20 cm/s^2) ivmeli sarsıntılarda insanlar dengesini kaybeder.

0.50 g (5 m/s^2 , 500 cm/s^2) çok yüksek; iyi tasarlanmış binalar, kısa sarsıntı süresinde ayakta kalabilir (URL-5).

Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (United States of Geological Survey- USGS), en yüksek yer ivmesini ve en yüksek yer hızını, hissedilme ölçeği olan Mercalli ölçeğine benzer bir şiddet ölçeğinde haritalayan bir aletsel şiddet ölçeği geliştirmiştir (Tablo 3, URL-6). Bu değerler, tüm dünyada sismologlar tarafından sarsıntı haritaları (veya deprem tehlike haritaları) oluşturmak için kullanılmaktadır.

Tablo 3. Mercalli şiddet ölçeği ile ivme, hız, sarsıntı hissetme ve olası hasar ilişkileri için değer aralıkları (URL-5’den düzenlenerek)

Mercalli Şiddeti	İvme (g)	Hız (cm/s)	Algılanan Sarsıntı	Potansiyel Hasar
I	<0.000464	<0.0215	Hissedilmez	Yok
II-III	0.000464-0.00297	0.135-1.141	Zayıf	Yok
IV	0.00297-0.0276	1.41-4.65	Hafif	Yok
V	0.0276-0.115	4.65-9.64	Orta	Çok hafif
VI	0.115-0.215	9.64-20	Güçlü	Hafif
VII	0.215-0.401	20-41.4	Çok güçlü	Orta
VIII	0.401-0.747	41.4-85.8	Şiddetli	Orta ağır
IX	0.747-1.39	85.8-178	Çok şiddetli	Ağır
X+	>1.39	>178	Son derece şiddetli	Çok ağır

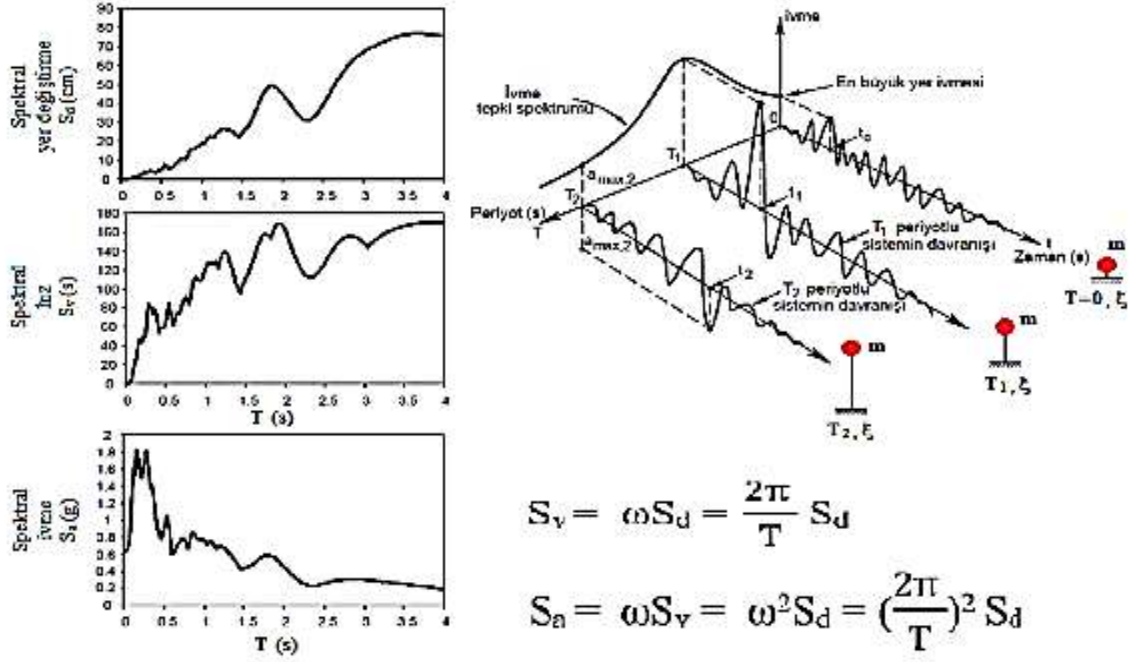
1.5.2. İvme Spektrum Hesaplamaları

Deprem sarsıntılarının yeterli bir şekilde karakterize edilmesi genlik, süre, kümülatif enerji ve frekans içeriğine dayalı parametreler gibi birçok parametrenin dikkate alınmasını gerektirir. Deprem kaynaklı yer sarsıntısına maruz kalan jeoteknik ve yapısal sistemlerin dinamik tepkisi, deprem yer hareketinin frekans içeriğinden önemli ölçüde etkilenir. Bir

deprem yer hareketinin frekans içeriği, bir jeoteknik sistemin (zemin, kaya) veya yapısal sistemin (bina, köprü) doğal periyoduyla değişik seviyelerde eşleştiğinde rezonans etkisi nedeniyle dinamik tepki artar, sisteme daha büyük kuvvetler uygulanır ve önemli hasarlar meydana gelebilir (Kramer, 1996; Chopra, 2007). Dolayısıyla, deprem yer hareketinin frekans içeriğinin değerlendirilmesi ve yapının dinamik tepkisi üzerindeki etkisinin göz önünde bulundurulması son derece önemlidir. Bunun için deprem kayıtlarının spektral içeriği analiz edilir. Özellikle, bir kuvvetli yer hareketinin, yani ivme zaman serisinin, frekans içeriği, mühendislik sistemlerinin sismik tepkileri için deprem yüklerinin önemli bir özelliği olarak kabul edilmektedir (Kramer, 1996; Rathje vd., 2004; Green & Cameron, 2003; Chopra, 2007; Du, 2017; Lashgari & Jafarian, 2022). Spektral karakterizasyonlar yapıların mühendislik davranışlarını anlayabilmek ve tasarlayabilmek için önemlidir (Newmark & Hall, 1982). Birçok mühendislik yapısı sönümlü titreştiricilere benzetilebildiğinden bunlar gerçekten de çok fazla fiziksel anlam taşır. Temelde yaygın olarak iki tür spektrum kullanılmaktadır. Bunlar elastik ivme tepki spektrumu ve Fourier genlik spektrumu olarak bilinirler. Bu spektrumlar yer hareketlerinin frekans içeriği hakkında önemli ve yeterli bilgi sağlarlar. Elastik ivme tepki spektrumları, basit bina ve inşaat mühendisliği yapılarının davranışlarını modellemeye uygun olmaları nedeniyle deprem mühendisliğinde en çok kullanılan bilgilerdir. Fourier spektrumları ise, sismologların spektral parametreleri, kırılma geçmişi ve dalga yayılımı ile bağlantılı temel fiziksel olaylarla ilişkilendirmek için en çok kullandıkları bilgidir ve oldukça kullanışlı matematiksel özellikler sunarlar (Vanmarcke, 1976; Ambraseys & Menu, 1988; Trifunac, 1993, 1994; Kramer, 1996).

- Tepki Spektrumu (Response Spectrum)

İlk olarak, çok kaba bir yaklaşımla bir bina veya yapı, tek serbestlik dereceli (TSD; Single Degree of Freedom Oscillator-SDOF) bir titreştiriciye benzetilebilir. Tepki spektrumu, binanın kütle merkezindeki zaman ortamı hareketinin pik değerine kolay ve hızlı bir erişim sağlamak için tanıtılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. İvme kayıtları ve elastik tepki spektrumlarının tanımı. Tepki spektrumlarının prensibini gösteren farklı periyotlara sahip SDOF titreştirici serisi. İvme zaman serisi tarafından temelden uyarıldığında pik zaman alanındaki ivmeleri farklı sönümlleme değerleri için (%2, %5, %10, %15 ve %20) periyodun bir fonksiyonu olarak gösterilir (URL-7’den düzenlenerek)

Elastik bir sistemin tepki spektrumu, elastik ve sözde (pseudo) elastik olmak üzere iki şekilde tanıflenebilir.

1- Elastik Tepki Spektrumu (Elastic Response Spectrum-ERS)

Gerçekte TSD sisteminin hareket denklemi çözülerek zamanla değişen yer değiştirme, hız ve ivme değerleri bulunur. Buradan her periyot için maksimum mutlak ivme, hız ve yer değiştirme alınarak “elastik tepki spektrumu” elde edilir. Yani bu spektrum, sistemin doğrudan ivme, hız, yer değiştirmesini içerir. Sözde ivme yerine, gerçek ivmeyi verdiği için “elastik tepki spektrumu” ifadesi kullanılır.

2- Sözde Elastik Tepki Spektrumu (Pseudo-Spectral Acceleration, PSA)

Bir kütle-yay-sönüm sisteminin (tek serbestlik dereceli sistem-TSD) belirli bir doğal periyot ve sönüm oranı için maksimum yerdeğiştirmesi hesaplanır. Bu yerdeğiştirme aşağıdaki gibi elastik yay kuvvetine dönüştürölür;

$$F = k \cdot u_{max} = m \cdot \omega^2 \cdot u_{max} \quad (1)$$

(k: yay sabiti, m: kütle, u_{max} : en büyük yerdeğiştirme, ω : açısal frekans)

Buna göre, “sözde ivme (pseudo acceleration)”

$$PSA = \omega^2 \cdot u_{max} \quad (2)$$

olarak tanımlanır. Burada açısal frekans, $\omega=2\pi/T$ (T: Sistemin doğal periyodu)’dır. Sözde ifadesi hesaplanan ivmenin doğrudan sistemin ivmesi değil, yer değiştirmeden türetilmiş eşdeğer ivme olmasındandır. Bu değer kütle ile çarpıldığında doğrudan iç kuvvetleri verdiğinden mühendislik tasarım uygulamalarında en çok ve yaygın kullanılan spektrum türüdür.

Doğal frekansı $f=1/T$ ve sönümlemesi ξ olan doğrusal viskoelastik bir titreştirici göz önüne alınsın. Bu titreştirici sistem temelinden $a_g(t)$ ivme zaman serisi ile uyarıldığında, $u(t)$ olarak adlandırılan (tabanına göre) bir görelî yer değiştirmeye ve $u''(t)+a_g(t)$ mutlak bir ivmeye maruz kalır. (") ikinci türevi temsil etmektedir. Yer değiştirme, hız ve ivme tepki spektrumları daha sonra sırasıyla, titreştirici hareketinin tüm süresi boyunca bağıl yer değiştirme $u(t)$, bağıl hız $u'(t)$ ve mutlak ivme $u''(t)+a_g(t)$ 'nin zaman pik değerleri olarak aşağıdaki denklemlerle tanımlanırlar.

$$u(\xi) = \max_t \{u(t)\} \quad (3)$$

$$\dot{u}(\xi) = \max_t \{\dot{u}(t)\} \quad (4)$$

$$a(\xi) = \max_t \{u''(t) + a_g(t)\} \quad (5)$$

Sönümleme, ξ , için sabit bir değerken titreştirici frekansı değiştirildiğinde, sırasıyla pik yer değiştirmesi, hız ve ivmenin yapısal frekansa (veya periyoda) bağılı değişimini tanımlayan u_a , $\dot{u}_a$, a_a olmak üzere üç eğri elde edilir. Bu tür eğriler genellikle ayırık bir sönümleme değerleri kümesi için (yani %0, %2, %5, %10, %20) hesaplanır. Uygulamada

%5 sönüm değeri en yaygın kullanılan değerdir.

Gerçek bir mekanik titreştirici (ve gerçek bir inşaat mühendisliği yapısı) başlangıçta sertliği k , kütlesi m ve viskoz parametresi c ile karakterize edilir ve bu kullanışlı bir SDOF temel hareket denklemi ile temsil edilir.

$$m[u''(t) + \frac{c}{m}u'(t)] = -k[u(t) - u_g(t)] \quad (6)$$

$$\omega_0 = \sqrt{k/m}; \xi = c / (2\sqrt{km}) \quad (7)$$

$$\omega_1 = \omega_0(1 - \xi^2)^{1/2} \quad (8)$$

ω_0 titreştiricinin doğal sönümsüz frekansını, ω_1 sönümlü titreştiricinin doğal frekansını ve ξ kritik sönümleme yüzdesini gösterir. Bağlı yer değiştirmenin $x(t)$ zaman serisi daha sonra klasik Duhamel integrali ile elde edilebilir.

$$x(t) = -1/\omega_1 \int_0^t a_g(\tau) \exp[-\xi \omega_0(t - \tau)] \sin[\omega_1(t - \tau)] d\tau \quad (9)$$

Alternatif olarak denklemin Fourier dönüşümü yoluyla aşağıdaki formüllerle türetilir.

$$X(\omega) = U(\omega) \cdot A(\omega) \quad (10)$$

$$A(\omega) = (1/\omega_0)^2 / [\{(\omega/\omega_0)^2 - 1\} - 2i\xi(\omega/\omega_0)] \quad (11)$$

Burada $U(\omega)$ ve $A(\omega)$ sırasıyla bağlı yer değiştirme $u(t)$ ve giriş ivme dalga biçimi $a_g(t)$ 'nin Fourier dönüşümüdür. $H(\omega)$ ise SDOF titreştiricisinin transfer fonksiyonudur. Bu formüller ilerletilerek, deprem mühendisliği uygulamalarında çok değerli olan bir dizi önemli denklemler elde edilmiştir.

$$a_t(\infty, \xi) = \text{Max}_t\{a_t(t)\} = a_{max} = \frac{1}{\omega_0^2} \quad (12)$$

Bunlardan birincisi, en yüksek yer ivmesinin, sönümlleme değeri ne olursa olsun, ivme tepki spektrumunun sıfır periyodu veya sonsuz frekans değeridir. İkincisi ise, çok uzun periyotlarda veya düşük frekanslarda simetrik olanıdır. En yüksek PGD, sönümlleme değeri ne olursa olsun, yer değiştirme spektrumunun sonsuz periyodu veya sıfır frekans değerini temsil eder.

Yer değiştirme, hız ve ivme spektrumları, yalnızca sıfır olmayan sönümlleme titreştiricileri için yaklaşık olan aşağıdaki denklemler aracılığıyla birbirleriyle ilişkilidir.

$$\Phi_a(\omega) = 4\pi^2 \omega^2 \cdot \Phi_d(\omega) \quad (13)$$

$$\Phi_v(\omega) \approx 2\pi \cdot \Phi_d(\omega) \quad (14)$$

$$\Phi_a(\omega) \approx 4\pi^2 \omega^2 \cdot \Phi_d(\omega) \quad (15)$$

Bu nedenle, sönümlleme değeri ne olursa olsun uygulanacak olan aşağıdaki formüller aracılığıyla ‘sözde (pseudo)’ hız ve ivme tepki spektrumları S'_v ve S'_a ’yı tanımlayan iki yeni nicelik tanıtılmıştır.

$$\Phi'_v(\omega) = P_{\Phi_v}(\omega) = 2\pi \cdot \Phi_d(\omega) \quad (16)$$

$$\Phi'_a(\omega) = P_{\Phi_a}(\omega) = 4\pi^2 \omega^2 \cdot \Phi_d(\omega) = 2\pi \cdot P_{\Phi_v}(\omega) \quad (17)$$

Uygulamada, bu ilişkilerin basitliği, bu ‘sözde spektrumların’ çok daha sık kullanılmasına yol açar ve ‘sözde’ ön eki günlük adlandırmada genellikle kullanılmaz. Örneğin, tüm yapı yönetmelikleri ivme tepki spektrumlarını sözde tepki spektrumları cinsinden verir.

Denklem (16) ve (17), sözde spektrumları logaritmik olarak gösterilebilir: yatay eksen, periyodunun logaritması, dikey eksen ise sözde hız spektrumunun logaritmasıdır. Sabit yer değiştirme veya ivme bu köşegenlere paralel olduğundan, ivme ve yer değiştirme değerleri köşegen eksenine göre otomatik olarak sunulabilir:

$$\log \Phi'_a = \log \Phi'_v + \log(2\pi) + \log(\omega) = \log \Phi'_v + \log(2\pi) - \log(\omega) \quad (18)$$

ve uygun olarak,

$$\log(S_a) = \log(S_{a0}) - \log(2\pi) - \log(\omega) = \log(S_{a0}) - \log(2\pi) + \log(\omega) \quad (19)$$

elde edilir.

Elastik tepki spektrumları, binalar gibi basit mühendislik yapıları ile belirli periyot ve sönümlmeli tek serbestlik dereceli titreştiriciler arasındaki kabaca benzetme nedeniyle deprem mühendisliğinde yaygın olarak kullanılır (Chopra, 1995). Bu gibi durumlarda, yapının kütle merkezindeki hareket elastik tepki spektrumları kullanılarak çok basit bir şekilde tahmin edilebilir. Ancak, kullanımları hakkında iki konuda dikkat edilmelidir (Bard, 2016).

1- N katlı bir binanın periyodu T'yi tahmin eden alışılmış $T=N/10$ formülünün yalnızca iskeletli binalar için geçerli olduğunu ve duvarların yanal dirence önemli ölçüde katkıda bulunduğu (Avrupa'da çok sık görülen bir durum) binalar için tamamen yanlış olduğunu ve $T=N/25$ veya $T=N/20$ gibi bir formüle daha iyi uyan çok daha kısa periyotlara yol açtığını unutmamak gerekir. Ayrıca, yapı yönetmeliklerinde dikkate alınan sönümlleme değerlerinin (genellikle %5 civarında) tamamen geleneksel olduğu ve gerçek sönümlleme değerlerinin oldukça farklı olabileceği unutulmamalıdır. En son ölçümler, yüksek katlı yapılar için daha düşük sönümlleme değerleri (30 katın üzerindeki binalar için %1 veya daha düşük), çok küçük yapılar (bir veya iki katlı) için ise daha yüksek sönümlleme değerleri göstermektedir.

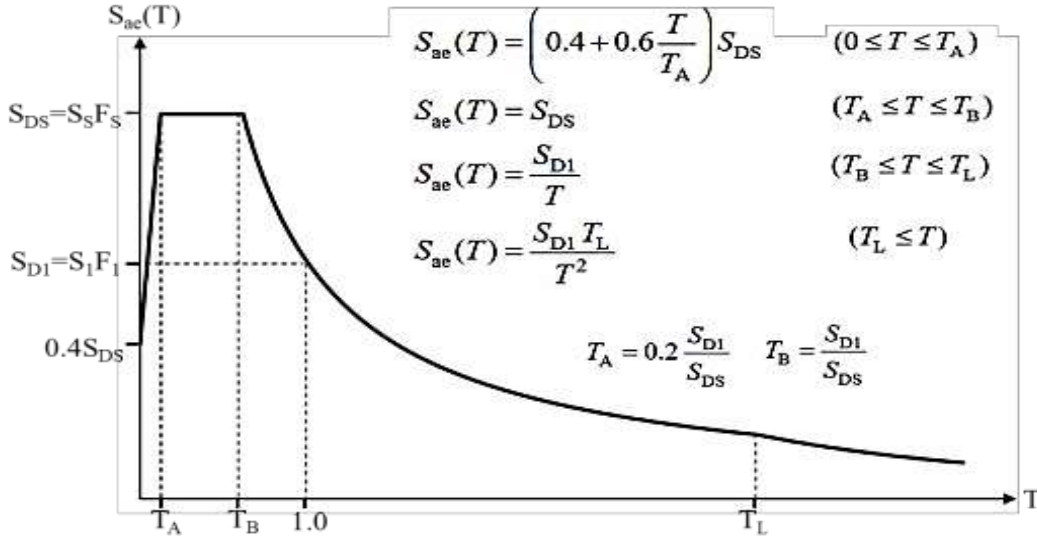
2- Elastik tepki spektrumları yaklaşımı, yapı neredeyse elastik davrandığı, yani elastik sınırını aşmadığı sürece geçerlidir. Bu durum, yani yapının herhangi bir yerinde hasar oluştuğunda artık geçerli değildir. Bu nedenle başka tepki spektrumu türleri de geliştirilmiştir. Bu spektrumların en basitleri mükemmel elasto-plastik bir davranışı ele alırken, diğerleri çift doğrusal gerilme-şekil değiştirme ilişkilerini ele alır. Bunların hepsi ilave parametrelere ihtiyaç duyar. En yaygın olanı, gerçek doğrusal olmayan yapının maksimum bağıl yer değiştirmesi ile aynı düşük şekil değiştirme sertliğine ve sönümllemeye sahip ilişkili elastik yapının yer değiştirmesi arasındaki oran olarak tanımlanan 'süneklik talebi' dir. Böyle bir oran elbette hem yapının elastik limitiyle hem de deprem talebiyle ilişkilidir. Doğrusal olmayan sistemlerin dinamik tepkisinin kesin olarak hesaplanması hâlâ zor ve "rutin dışı" olduğundan, genellikle kabaca tahmin edilir. Tarihsel olarak ilk yöntem, indirgeme faktörünün (aynı zamanda "davranış faktörü" olarak da adlandırılır) süneklik faktörüne eşit olduğu indirgenmiş elastik spektrumlar kullanmak olmuştur. Daha yeni bir

eğilim ise, doğrusal olmayan zaman alanlı analizin yerine "itme" analizi adı verilen daha basit bir doğrusal olmayan statik analiz kullanmaktır.

- Tasarım Spektrumu (Design Response Spectrum)

İvme tepki spektrumları genellikle yapı yönetmeliklerinde yaygın olarak kullanılan Şekil 8’de gösterilen tipik bir şekle sahip, yönetmeliklerde doğrudan kullanılmak üzere tanımlanmış standartlaştırılmış spektrumlardır. Genellikle belirli bir sönüm oranı için (yaygın olarak %5) elastik sözde ivme spektrumundan türetilir. Hesaplama, yerel zemin sınıfı ve tasarım deprem yer hareketi düzeyi (DD-1, DD-2, DD-3, DD-4) dikkate alınır. Bu spektrumu hesaplama, mühendislerin farklı deprem kayıtlarıyla uğraşmadan doğrudan kullanılabilecek tasarım ivme spektrumu elde etmesini sağlamaktır.

Sıfır periyot değeri PGA’ya eşit olduğundan, $PSA(T)$, T_A ve T_B periyotları arasında yaklaşık olarak sabit bir değere ("plato") ulaşacak şekilde artar ve bu değerin ötesinde değişen hızlarda azalır. Plato seviyesi genellikle 2 ile 3 PGA arasında değişmektedir. Bu nedenle deprem yönetmeliklerinin çoğunda plato seviyesi 2.5 PGA olarak alınmaktadır. Sert kaya sahalarında kaydedilen orta büyüklükteki olaylar için T_B değeri yaklaşık 0.2 saniyeden, çok büyük büyüklükteki olaylar ve/veya çok yumuşak zemine sahip sahalar için 1 saniyenin ötesine kadar çıkabilir.



Şekil 8. TBDY (2018)'e göre yatay elastik tasarım ivme spektrumunun hesaplanması için kriterler ve katsayılar. Yatay eksen doğal titreşim periyotunu (saniye), dikey eksen $S_{ac}(T)$ spektral ivmeleri (birimler; g, gal=cm/s², m/s²) göstermektedir. T_A - T_B arası spektrumunun "plato", T_B - T_L arası sönüm, $T > 1.0$ s uzun periyot bölgeleri olarak temsil eder. Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş için $T_L = 6$ s alınır

T_B 'nin ötesindeki periyotlarda azalım oranı bir kayıttan diğerine oldukça değişkendir ancak, yapı yönetmeliklerinde geleneksel olarak iki ana bölümle temsil edilmiştir: T_B ve T_L arasındaki ilk bölüm $1/T$ olarak değişirken, T_L 'nin ötesindeki ikinci bölüm $1/T^2$ olarak azalır. T_L değerleri genellikle 1-6 saniye arasında değişir. Bu nedenle bu ikinci bölüm sabit bir spektral yer değiştirmeye karşılık gelir ancak, bu yer değiştirme, çok uzun periyot değerlerine (tipik olarak 10 saniyenin ötesinde) karşılık gelen PGD'den de daha büyük olabilir. TBDY (2018), NEHRP (National Earthquake Hazard Reduction Program) Amerikan şartnamesi (BSSC, 2009) ve EuroCode-8 Avrupa Standardı-EC8 (CEN, 2004) gibi en son yapı yönetmelikleri yer değiştirme tepki spektrumunu gösteren büyük boyutlu veya uzun periyotlu yapıların tasarımında kullanılacak tasarımları sunmaktadır (Kale & Akkar, 2015). Uygulamada, mühendislerden genellikle tasarımları gereken yapı için (kritik tesisler veya özel çalışmalar hariç), standart ve basitleştirilmiş spektral şekiller kullanmaları istenir. Sonuç olarak, mevcut yönetmeliklerin neredeyse tamamı sismik hareketi, bir pik yer ivmesi a_{max} ve normalleştirilmiş elastik spektrum $S'_a(T, \xi)/a_{max}$ 'tan oluşan bilgi paketi olarak belirtir. Bu tür birçok 'normalleştirilmiş spektral şeklin' analizi, Şekil 8'de gösterilen ve çoğu yapı yönetmeliğinde dikkate alınan tipik bir genel formu ifade eder.

Plato seviyeleri, farklı sınırlayıcı periyotların değerleri olarak depremin özelliklerine (özellikle büyüklüğüne) ve saha koşullarına bağlı olarak bir ivme kaydından diğerine değişiklik gösterir. Mevcut düzenlemelerde deprem büyüklüklerinin sınırlı olduğu bir ülkede spektrumun şeklinin yalnızca sahanın jeolojik koşullarına bağlı olduğu ve dolayısıyla kayaya göre normalize edilen spektral şeklin her yerde aynı olduğu varsayılmaktadır (basitlik açısından) ancak, platonun genişliğinin beklenen büyüklüklerle birlikte arttığı unutulmamalıdır (Miranda & Berbet, 1994). Orta düzeyde sismik aktiviteye sahip bir ülke, yalnızca kısa periyotlarla sınırlı dar bir platoyu dikkate alırken, aktif sismik bölgelerde daha geniş spektrumlar dikkate alınmalıdır (Rathje vd., 1998). Uygulamada, yapı yönetmelikleri, saha konumunun bir fonksiyonu olarak PGA değerleri sağlayan ve normalize edilmiş spektral değerler için sismik bölgeleme haritaları kullanır (Kale vd., 2015).

Böylece, belirli bir ivme kaydından tepki spektrumlarını hesaplamak çok basittir (Boomer & Pereira, 2000; Boore & Boomer, 2005). Bununla birlikte, belirli bir sönümlemeyle aynı tepki spektrumunu sağlayabilecek sonsuz sayıda zaman serisi olabilir. Ancak hepsi aynı pik ivmesine ve yer değiştirmesine sahip olmakla birlikte, oldukça farklı faz ve süre özelliklerine sahiptirler. Sinyal enerjisinin zaman içindeki dağılımı, tepki

spektrumunun şekliyle hiçbir şekilde sınırlandırılmamıştır. Zaman-frekans eşdeğerliğinin bu eksikliği, doğrusal olmayan zaman alanı analizlerinin yapılması gerektiğinde gerçekten de büyük bir dezavantajdır. Bu gibi durumlarda, ‘spektrum uyumlu’ ivme zaman serilerinin oluşturulması, ortaya çıkan dalga formlarının gerçekçi olduğundan emin olmak için sismologlar tarafından son zamanlarda ilgilenilen önemli ve zor bir konudur (Anderson & Bertero, 1987; Guaman, 2010; Akkar vd., 2014).

- Fourier Spektrumu

Sismologlar genellikle Fourier dönüşüm temelli bir spektral karakterizasyonu tercih ederler. Bir ivme kaydı, $a(t)$, için Fourier spektrumu aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$F_a(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} a(t) \exp(-i2\pi f t) dt = \int_0^T a(t) \exp(-i2\pi f t) dt \quad (20)$$

Burada T ivmeölçer kaydının toplam süresidir. Fourier spektrumu $F_a(f)$, modülü veya genlik spektrumu $A(f)$ ve faz spektrumu $\phi(f)$ olan karmaşık bir sayıdır. $F_a(f) = A(f) \exp(j\phi(f))$ olarak üssel formda yazılabilir.

Benzer şekilde yer hareketi hızı ve yer değiştirmenin Fourier spektrumları sırasıyla $F_v(f)$ ve $F_d(f)$ yazılabilir. Fourier gösteriminin temel ilgi odağı, ivme, hız ve yer değiştirme spektrumları ile zaman ve frekans alanları arasında aşağıdaki gibi kolay köprüler kurulmasını sağlayan çok sayıda matematiksel ilişkiden kaynaklanmaktadır.

$$F_a(f) = i \cdot 2\pi \cdot F_v(f) = -4\pi^2 f^2 \cdot F_d(f) \quad (21)$$

$$a(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} F_a(f) \exp(+i2\pi f t) df = 2 \int_0^{\infty} F_a(f) \exp(+i2\pi f t) df \quad (22)$$

Nyquist frekansı f_N , zaman serisinin örnekleme aralığı dikkate alındığında mevcut maksimum frekanstır: $f_N = 0.5/\Delta t$.

Zaman ve frekans alanı enerji tahminlerini ilişkilendiren temel ilişki (Parseval's teoremi), mühendislik zaman alanı parametrelerini frekans alanında geliştirilen fiziksel modellerle ilişkilendirmek açısından gerçekten çok değerlidir ve bu bilgi, yer hareketine sismik kaynağın, kabuktaki yayılımının ve saha etkilerinin katkılarını tanımlama imkân sağlar.

Bununla birlikte, denklem (22)'de görülen mükemmel zaman-frekans eşdeğerliği, yalnızca Fourier spektrumu tam olarak biliniyorsa, yani yalnızca modülü $A(f)$ ile değil, aynı zamanda fazı $\phi(f)$ ile de karakterize edilebiliyorsa uygulanabilir. Ayrıca, şu anda mevcut olan fiziksel modeller, modülü $A(f)$ 'yi yalnızca kaynak, yayılma ve yer özellikleriyle ilişkilendirir. Dolayısıyla, sismik dalga formlarının durağan olmayışının tanımlanması ve karakterizasyonunun iyileştirilmesi ve bunların insan yapımı yapıların davranışları üzerindeki sonuçlarının daha iyi anlaşılması için hâlâ yapılması gereken çok iş vardır. Çalışma süresi pencereleri boyunca baskın frekanslar (birinci dereceden moment), grup gecikmesi ve faz türevleri üzerinden birkaç umut verici yöntem önerilmiş olsa da, bunlar henüz günlük uygulama için basit araçlara dönüştürülmemiştir.

Fourier spektrumu üzerinden hesaplanan önemli bir nicelik spektrumunun kullanışlı spektral genliklerin yer aldığı frekansların tersinin (yani periyot) Fourier genliklerinin karesi (güç veya enerji spektrumu) ile ağırlıklandırılarak hesaplanan ortalama periyot T_m (mean period) parametresidir. Ortalama periyot, deprem ivme kaydının baskın frekans içeriğini tanımlamada son derece yararlıdır. Arias yoğunluğu ve etkin süreyle birlikte deprem kaydının karakterizasyonunda önemlidir. Deprem mühendisliğinde yapı ile zemin uyumunu değerlendirmede kullanılır. Literatürde (Rathje vd., 1998; Bora vd., 2014, 2015, 2016) T_m , deprem büyüklüğü ve zeminler arasındaki değişim aralıkları aşağıdaki Tablo 4'de özetlenmiştir.

Tablo 4. Ortalama periyot T_m 'nin değişim aralıkları ve anlamı (Kotte & Rathje, 2013 ve Bora vd., 2015'den derlenmiştir.)

T_m (s)	Genel anlamı (Deprem kaydının baskın frekans içeriği hakkında bilgi verir)	Mühendislikte anlamı
0.1-0.3	Küçük depremler/sert zeminler: Yüksek frekanslı titreşimler baskındır	Kısa Periyot; 0.1-0.7 s (Az katlı yapılar ve sert zeminler için tehlikeli)
0.3-0.7	Orta büyüklükte depremler: Daha geniş frekans dağılımı vardır	
0.7-1.5	Büyük depremler/yumuşak zeminler: Düşük frekanslı bileşenler baskındır	Uzun Periyot; >0.7 s (Yüksek katlı binalar, köprüler ve yumuşak zeminler için tehlikeli)
>1.5	Çok büyük ($M_w>8$) dalma-batma zonu depremleri: Çok düşük frekanslı bileşenler baskındır (özellikle alüvyonal zeminlerde daha da artabilir)	
Notlar: - Deprem mühendisliğinde zemin-yapı uyumunu değerlendirmede kullanılır - Arias şiddeti ve etkin süre ile birlikte deprem kaydının karakterizasyonunda önemlidir.		

Bu parametre Rathje vd., (1998) tarafından önerildiği şekliyle, 0.25-20 Hz frekansları aralığında Fourier genlik spektrumundan aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$C_i = \frac{\sum_i \frac{1}{f_i^2}}{\sum_i \frac{1}{f_i^2}} \quad 0.25 \text{ Hz} \leq f_i \leq 20 \text{ Hz} \quad , \quad \Delta f \leq 0.05 \text{ Hz} \quad (23)$$

Burada, C_i Fourier genlikleri, f_i 0,25 ile 20 Hz arasındaki frekansları ve Δf Fourier dönüşümü hesaplamasında kullanılan frekans aralığıdır (veya frekans örnekleme aralığı) ($=1/N \cdot \Delta t$, N : örnek sayısıdır, Δt : zaman örnekleme aralığı). Brune (1971), bir deprem yer hareketinin Fourier genlik spektrumu için teorik bir model kullanılarak, T_m değerinin $\Delta f \leq 0.05$ Hz olan frekans aralıkları için daha kararlı ve güvenilir olarak (yani, modelle aynı T_m değeri hesaplanır) elde edildiğini tespit etmiştir. Rathje vd., (2004) tarafından açıklandığı gibi, büyük depremlerde düşük frekans bölgesindeki köşe frekansı f_c genellikle T_m 'nin hesaplandığı frekans aralığının dışındadır, yani f_c genellikle 0.25'den düşük olabilir. Bu nedenle büyük depremler için fazladan düşük frekans enerjisi T_m 'nin büyüklüğünü etkilemez.

Bu parametre, depremin büyüklüğünden, uzaklıktan, odak mekanizmasından ve yer kayma dalgası hızından etkilenebilir (Lashgari & Jafarian, 2022; Ramos-Cruz & Ruiz-Garcia, 2024). Dolayısıyla, ivme zaman serisinin frekans içeriğini güvenilir olarak doğrudan temsil ettiği için, yer hareketini tanımlayıcı bir parametre olarak deprem mühendisliğinde tercih edilmektedir (Rathje vd., 2004). T_m 'nin yapısal ve jeoteknik sistemlerin sismik tepkileri üzerindeki etkisi kapsamlı bir şekilde birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Dimitrakopoulos vd., 2009; Elghazouli vd., 2014; Rathje vd., 2014; Song vd., 2014; Hickey & Brodrick, 2019). Song vd., (2014), T_m 'nin ana şok sonrası binaların çökme kapasitesinde önemli bir rol oynadığı sonucuna varmıştır.

Fayın hareket (veya yırtılma) doğrultusu (veya yönelim), yer hareketlerinin frekans özelliklerini de etkileyebilir (Somerville vd., 1997; Rathje vd., 2004). İleri (forward) yönelim etkileri, fay hareketi bir yerleşim yerine (siteye) doğru yöneldiğinde ve kayma yönü bu site ile hizalandığında ortaya çıkar ve genellikle yer hareketinin çok daha düşük frekanslı bileşenlerine neden olur. İleri yönlülüğün oluşumu genellikle yırtılmanın mesafesi, azimut açısı ve boy oranı (fayın siteye doğru yırtılan kısmı) ile ilişkilidir (Somerville vd., 1997).

Sonuç olarak, ortalama periyot T_m , mevcut sismik tehlike analizinde birincil şiddet ölçümlerinden biri olarak kabul edilmeyebilir. Ancak T_m , yaygın olarak kullanılan genlik

tabanlı şiddet ölçümlerine (örneğin, pik yer ivmesi, spektral ivme) kıyasla yer hareketi özelliklerini temsil eden ek bir parametre olarak kullanılabilir. Ayrıca son yıllarda T_m , yamaçların sismik kaynaklı yer değiştirmesini tahmin etmek için kullanılmaktadır (Rathje & Bray, 1999; Saygılı & Rathje, 2008; Jafarian & Lashgari, 2016; Tsai & Chien, 2016; Lashgari vd., 2021). Genel olarak, daha yüksek frekanslı (kısa periyot) dalgalar sığ heyelanlara yol açabilirken, daha düşük frekanslı (uzun periyot) sarsıntılar yamaçların daha derin bölümlerini etkileyebilir (Bourdeau vd., 2004; Jibson & Tanyaş, 2020). Jibson & Tanyaş (2020), ortalama periyodun, deprem kaynaklı heyelan boyut dağılımlarını tahmin etmede oldukça iyi olduğunu belirtmiştir.

- Tepki ve Fourier Spektrumları Arasındaki İlişki

Her iki spektral karakterizasyon da, giriş sinyali enerjisinin frekansa bağlı dağılımı hakkında fikir verir. Nitel bir bakış açısından, aynı bilgiyi taşırlar ve bazı ortak özellikleri paylaşırlar (örneğin, yer değiştirme, hız ve ivme spektrumları arasındaki ilişkiler). Ancak, tepki ve Fourier spektrumları arasında ilişkiyi sağlayan açık ve kesin bir matematiksel formül bulunmamaktadır. Bunun sebebi, tepki ve Fourier spektrumlarının zaman alanındaki pik değerleri kullanılarak yapılan tanımları yüksek derecede doğrusal olmayan bir yapıyı ifade etmektedir. Özellikle, tepki spektrumlarını kullanan mühendisler, (sözde) tepki spektrumlarının kısa periyotlu (yani PGA) ve uzun periyotlu (yani PGD) değerlerinin klasik Fourier yaklaşımıyla tanımlanan kısa ve uzun periyotlu içeriklerin içsel özellikleri olmadığını, ancak sinyalin tüm spektrumdaki enerji dağılımıyla yakından ilişkili olduğunu bilmelidir (Bard, 2016).

Fourier ile tepki spektrumları arasındaki mevcut tek ilişki aslında bir eşitsizlik ilişkisidir ve bu da Fourier ivme spektrumunun modülünün her zaman sıfır sönümlü hız tepki spektrumundan küçük veya ona eşit olduğunu gösterir.

$$F_a(\omega) \geq |F_d(\omega)| \quad (24)$$

- Tipik Fourier Spektrumları

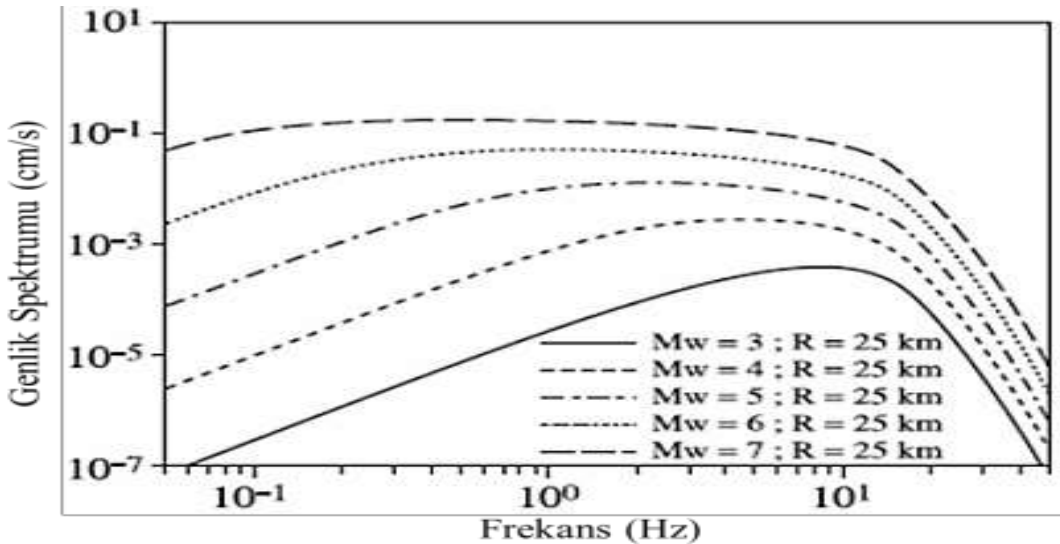
Gerçek kuvvetli hareket kayıtlarının Fourier spektrumları özellikle log-log ölçeğinde gösterildiğinde, genellikle görece basit ve karakteristik şekiller sergiler (Şekil 9). İvme spektrumunun Fourier modülü (genlik spektrumu), $A(f)$, genellikle iki karakteristik frekans (düşük ve yüksek kesme frekansları) olan f_c ve f_{max} arasında yaklaşık olarak sabit bir değer olan A_0 ile karakterize edilebilir (Akkar vd., 2011; Bard, 2016).

Köşe frekansı olarak adlandırılan f_c , öncelikle fayın büyüklüğü tarafından kontrol edilir (deprem ve fay ne kadar büyükse, f_c o kadar küçüktür). Aynı zamanda kırılma cephesinin yayılma yönüne (sadece büyük boyutlu depremler için: yönelim veya ‘Doppler’ etkisi) ve fay hareketi ile ilişkili gerilim düşüşüne göre konuma da duyarlıdır. Yıkıcı depremlerde f_c değerleri genellikle 1 Hz’in altındadır (ve deprem büyüklüğü arttıkça küçülür: Endonezya’daki Sumatra 2004, Şili’deki Maule 2010 ve Japonya’daki Tohoku-Oki 2011 gibi büyük depremlerde 0.01 Hz kadar düşük değerlerde gözlenmiştir) (Douglas & Boore, 2011; Bard, 2016).

“Plato”nun üst sınırı olan f_{max} , esas olarak sismik dalgaları yayılma yolları boyunca, bölgesel ölçekte geniş derinliklerde ve kayıt alanının hemen altında yerel ölçekte etkileyen anelastik sönümlemeyle ilişkilidir. Yakın kaynak bölgesinde, kırılma cephesinin sürtünme koşullarının ayrıntılarıyla da ilişkili olabilir. Genellikle 4-5 Hz ile 20 Hz arasında değişir. Ancak, küçük büyüklükteki depremlerin yakın kayıtlarında daha büyük olabilir (Douglas & Boore, 2011).

Düşük frekans alanı (yani f_c ’nin altında), Fourier yer değiştirme spektrumunun genellikle Ω_0 olarak gösterilen sabit bir değerine karşılık gelir. Denklem (21)’den, Fourier ivme spektrumu f^2 ile orantılıdır.

$$A(\omega) = 4\pi^2 \omega^2 \cdot \phi(\omega) = 4\pi^2 \omega^2 \cdot \Omega_0 \quad (25)$$



Şekil 9. ‘Plato benzeri’ bir şekil sergileyen tipik Fourier ivme spektrumları. Farklı eğriler, 3-7 arasında değişen farklı deprem büyüklüklerine karşılık gelir (Bard, 2016’dan düzenlenerek)

Bu düşük frekanslı spektral yer değiştirme değeri Ω_0 , aşağıdaki formülle verildiği gibi depremin büyüklüğüyle doğrudan ilişkilidir.

$$\Omega_0 = M_0 \cdot R_{0\phi} / (4\pi c^3) \quad (26)$$

Burada M_0 sismik momenttir. $R_{0\phi}$, 0 ile 1 arasında değişen, fay düzlemi yönelimi ve kayma yönüne göre kayıt alanının dönmesi ile ilgili azimut bağımlı bir katsayıdır. R odak uzaklığıdır ve c dalga hızıdır (genellikle yer hareketinin en güçlü kısmı dikkate alındığında S dalgası hızıdır). Bununla birlikte, $f_{\max}$ 'dan daha büyük frekanslarda, Fourier ivme spektrumunun modülü $f^{-\alpha}$ formunda azalmaktadır. Ancak, α değeri farklı depremlere ve farklı yerlere göre oldukça değişim göstermektedir (Douglas & Boore, 2011).

1.5.3. Arias Şiddeti ve Süre

Arias şiddeti, I_a , birim zamandaki yer hareketinin gücünün ölçümüdür (Arias, 1970). Sinyalin süresi ve genliğini içerdiği için yer hareketinin enerjisini ve diğer karakterlerini yansıtır (Sarma & Yang, 1987; Boomer & Pereira, 1999). Yapının dinamik özelliklerinden bağımsız olarak, depremin tüm süresi boyunca yer hareketi ile birim kütle başına zemine aktarılan toplam enerji hakkında bilgi verir. Dolayısıyla, deprem mühendisliğinde sarsıntının şiddetini ve yıkım potansiyelini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bununla birlikte, heyelan tetiklenmesi, sıvılaşma (liquefaction) ve yapı hasarları gibi etkilerin incelenmesinde de önemli bir parametre olarak kullanılmaktadır (Travasarou vd., 2003; Abrahamson vd., 2016). Arias şiddeti yer ivmesinin karesinin zaman integrali olarak tanımlanır.

$$I_a = \frac{\pi}{2} T_d \int_0^{T_d} a^2(\tau) d\tau \quad (27)$$

Burada g yer çekimi ivmesi ve T_d sinyal veya kayıt süresidir. Arias şiddeti maksimum büyüklükle artar ve faya yakın bir noktada maksimumdur. Arias şiddeti değerleri ile sarsıntı ilişkisi Tablo 5'te verildiği gibi değerlendirilebilir (Wilson, 1993; Travasarou vd., 2003; Abrahamson vd., 2016).

Tablo 5. Arias şiddetinin değişimi ve anlamı (Travasarou vd., 2003; Abrahamson vd., 2016'dan derlenmiştir)

Arias Şiddeti I_a (m/s)	Anlamı (Deprem sarsıntı ve/veya enerjisinin boşalma şiddetini tanımlar)
<0.1	Çok zayıf sarsıntı, genelde hissedilmez
0.1-1.0	Zayıf-orta güçte sarsıntı, hafif hissedilebilir
1.0-10	Güçlü sarsıntı, hasara yol açabilir
10-50	Çok güçlü sarsıntı, ileri derecede yapısal hasar riski
>50	Aşırı güçlü sarsıntı, yıkıcı düzeyde

Bir deprem sadece büyük ivmeli olması ile değil, aynı zamanda uzun süreli titreşimle de önemli hasarlara neden olur. Kısa ama çok güçlü sarsıntılar ile daha uzun ancak orta şiddette sarsıntıların etkileri farklılık gösterir. Dolayısıyla, fonksiyon $W(t) = \int_0^{T_d} a(\tau)^2 d\tau$ Trifunac & Brady, (1975) tarafından 'etkin veya güçlü hareket süresi (significant duration) $D(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$ 'yi tanımlamak için kullanmıştır. 'Etkin faz'ın başlangıcı, geleneksel olarak $W(t_1)$ fonksiyonunun son değerinin %1'lik küçük bir yüzdesine ulaştığı t_1 zamanı olarak alınırken, simetrik olarak sonu, son değerinin %2'lik büyük bir değere karşılık gelen t_2 zamanına eşit alınır. Etkin süre, toplam deprem enerjisinin önemli kısmının ne kadar sürede yayıldığını gösterir. Etkin hareket fazının süresi aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$D(\varepsilon_1, \varepsilon_2) = D(\varepsilon_2) - D(\varepsilon_1) \quad (28)$$

ε_1 hemen hemen sistematik olarak %5'e eşit alınırken, ε_2 için olağan değerler ya %95'tir (oldukça uzun süre) ya da %75'tir (daha kısa süre). Seçilen ε_2 değeri ne olursa olsun, bu süre büyüklükle ve merkez üssü mesafesiyle artar. Çünkü sinyal, çeşitli dalgalar ve yayılma hızları nedeniyle daha uzun bir zaman dilimine yayılır. Sinyalin 'koda' kısmındaki genliğinin yavaş azalması (genellikle azalan bir üstel değer olarak gösterilir) göz önüne alındığında, T_{5-75} süresi, gerçek güçlü yer çekimi kısmını T_{5-95} 'ten daha iyi temsil edebilir. Bu değer, zemin sıvılaşması, heyelanlar ve yapı yorgunluğu (cumulative damage) için kritik parametredir. Araştırmacılar (Trifunac & Brady, 1975; Bommer & Martinez-Pereira, 1999), deprem büyüklükleri ile etkin süre arasında genel ilişkileri aşağıdaki gibi vermektedirler.

- Küçük – orta büyüklükte depremler ($M_w < 6$): $D_{5-95} \approx 5-15$ s
- Orta – büyük depremler ($6 \leq M_w \leq 7.5$): $D_{5-95} \approx 10-30$ s

- Büyük dalma-batma zonu depremleri ($M_w > 8$): $D_{5-95} \approx 50-200$ s

Bununla birlikte, etkin süre değerleri mühendislik uygulamaları açısından aşağıdaki gibi değerlendirilebilir (Tablo 6).

Tablo 6. Etkin süre değişim aralıkları ve anlamı (Travasarou vd., 2003; Abrahamson vd., 2016'dan derlenmiştir)

Etkin süre, D_{5-95} (s)	Anlamı (Enerjinin yayıldığı etkin süreyi gösterir)
Kısa süre <10	Yüksek frekanslı, ani hasar (özellikle sert zeminlerde)
Orta süre 10-30	Hem yapılar hem de zeminler için kritiktir
Uzun süre >30	Büyük enerji birikimi, uzun periyotlu yapıların (köprü, yüksek bina) zorlanması, sıvılaşma, heyelan

1.6. TBDY-2018 Deprem Yönetmeliğine Göre Yerel Zemin Sınıfları ve Tasarım İvme Spektrum Hesaplaması

TDBY (2018)'de verilen ve yüzeyden 30 m derinliğe kadar kayma dalgası (S-dalgası) hızının zaman ve/veya kalınlık ağırlıklandırılmış ortalaması olan V_{s30} değerine göre yapılan yerel zemin sınıflama tablosu Tablo 7'de verilmiştir. Bu tablo NEHRP (BSSC, 2009)'dan uyarlanarak hazırlanmıştır. Bu tabloya göre 30 m derinlik kolonu boyunca V_{s30} hızlarının değişiminin hangi nitelikte bir yer yapısını (kum, kil, çakıl ve bunların karışımından oluşan zemin, kaya tanımlaması ve sıklık-katılık özellikleri) temsil ettiği belirlenir.

Tablo 7. Zemin sınıflandırma tablosu (TBDY, 2018)

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

Tablo 7'nin devamı

ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir 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.
----	---

Şekil 8’de verilen tasarım ivme spektrum eğrilerinin hesaplanması için gerekli olan spektral ve zemin etki katsayıları, ilgili yer (bu çalışmada istasyon yerleri) için belirlenen V_{s30} değeri kullanılarak belirlenir. Bu işlemin adımları aşağıdaki sıra ile gerçekleştirilir.

1. e-devlet üzerinden URL-8 bağlantısı ile raporlama sistemine, TDTH’na giriş yapılır (Şekil 10).

2. Şekil 10’daki “Raporlama” işlemi seçilir (1 nolu adım) ve açılan pencerede istenilen bilgiler ilgili yerlere yazılır (eliptik alandaki 2 nolu adım). Zemin sınıfı, V_{s30} değerine göre belirlenir. Bu örnek için $V_{s30}=448$ m/s’dir. Dolayısıyla bu yerin zemin sınıfı Tablo 7’e göre ZC’dir. Deprem yer hareketi düzeyi (DD) olarak bölgesel depremsellik (depremlerin tekrarlama aralığı, büyüklüğü vb. bilgileri içerir) ve tasarlanacak yapı türüne (kargas, yığma, betonarme vb. bina, yol, istinat duvarı, altyapı, baraj, köprü vb.) göre belirlenir. DD, dört grupta toplanmıştır (DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4). Genel olarak bina ve bina türü yapılarda, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu ve standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılan seyrek deprem yer hareketini niteleyen DD-2 düzeyi seçilir. DD seçimi için detaylar TDBY-2018’de bulunabilir. Burada özet bir bilgi sunulmuştur.

DD-1: En şiddetli deprem yer hareketini (olma olasılığı en düşük, periyodu en uzun) temsil eder. Afet sonrası kullanılacak yapılar (hastane, itfaiye, polis, köprü vb.) için kullanılır.

DD-2: Tasarım depremini (en yaygın kullanılan) temsil eder. Normal yapılar (konut, ticari, endüstriyel) için kullanılır.

DD-3: Orta büyüklükte deprem yer hareketini (daha sık tekrarlanan) temsil eder. Düşük önem taşıyan yapılar (depo, tarımsal, geçici yapılar) için kullanılır.

DD-4: En küçük deprem yer hareketini (çok sık tekrarlanan, en kısa periyot) temsil eder. Çok önemsiz yapılar (özel durumlarda) için kullanılır.

3. Adım 2’den sonra “Değerleri Hesaplama” seçeneği (3 nolu adım) ile rapor oluşturulur.

4. Girilen bilgilere göre elde edilen bilgiler (kısa periyot, S_s ve 1.0 s periyot S_1 katsayıları, harita üzerinde tahmin edilen PGA ve PGV) Şekil 11’de özetlenmiştir.

5. Bu aşamada $S_{DS}=S_1 \cdot F_s$ ve $S_{D1}=S_1 \cdot F_1$ spektral ivme katsayılarının hesaplanabilmesi için F_s ve F_1 zemin etki katsayıları “Detaylı Rapor” seçeneğinden elde edilir. Bu değerlerin zemin sınıfı ve spektral katsayılar göre değişimi Tablo 8 ve 9’da verilmiştir. Ara değerler doğrusal aradeğer hesaplama ile belirlenir. Buna göre, $F_s=1.2$ ve $F_1=1.5$ olarak hesaplanır.

The screenshot shows the 'Raporlama' (Reporting) window in the URL-8 software. The window has a dark background with white text. On the left, there is a sidebar with various icons and labels: 'Adres Sorgulama', 'Raporlama', 'Genel Görünüm', 'Katman Kontrolü', 'Bilgi Al', 'Koordinata Git', 'Yaklaş', 'Uzaklaş', 'Ölçme Aracı', and 'Kaydır'. The main area of the window contains a map of the Marmara region in Turkey. Overlaid on the map is a 'Raporlama' form with the following fields and values:

Rapor Boşluğu:	3125
Deprem Yer Hareketi Düzeyi:	DD-2
Yerel Zemin Sınıfı:	ZC
Enlem:	36.235080
Boylam:	36.13264

At the bottom of the form, there are two buttons: 'Hattodan Nokta Seç' and 'Değerleri Hesapla'. A red circle highlights the 'Yerel Zemin Sınıfı' field, and a red arrow points to the 'Değerleri Hesapla' button.

Şekil 10. Spektral ve zemin etki katsayılarını belirlemek için URL-8 adresinden açılan pencere ve girilen bilgiler

Rapor Başlığı:	S3125P	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı:	ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar
Enlem:	36.23808°	
Boylam	36.13264°	

Çıktılar

$$S_s = 1.004 \quad S_1 = 0.261 \quad PGA = 0.426 \quad PGV = 26.224$$

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Şekil 11. Tasarım spektrumunun katsayılarının belirlenmesi örneği: Hatay-Defne’de bulunan 3125 nolu istasyon için spektral katsayılar, PGA ve PGV değerleri

Tablo 8. Kısa periyot bölgesi için (F_s) yerel zemin etki katsayıları (TBDY, 2018)

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					

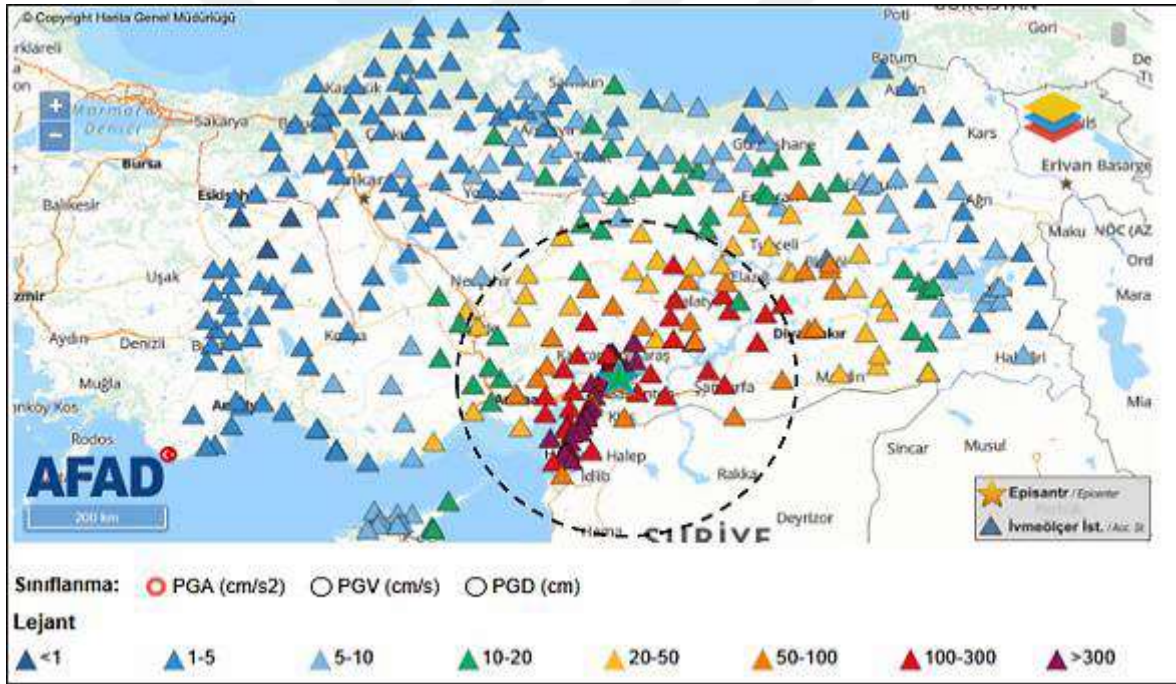
Tablo 9. 1.0 s periyot bölgesi için (F_1) yerel zemin etki katsayıları (TBDY, 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 periyot bölgesi için <i>Yerel Zemin Etki Katsayısı F_1</i>					
	$S_1 \leq 0.10$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.30$	$S_1 = 0.40$	$S_1 = 0.50$	$S_1 \geq 0.60$
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</i>					

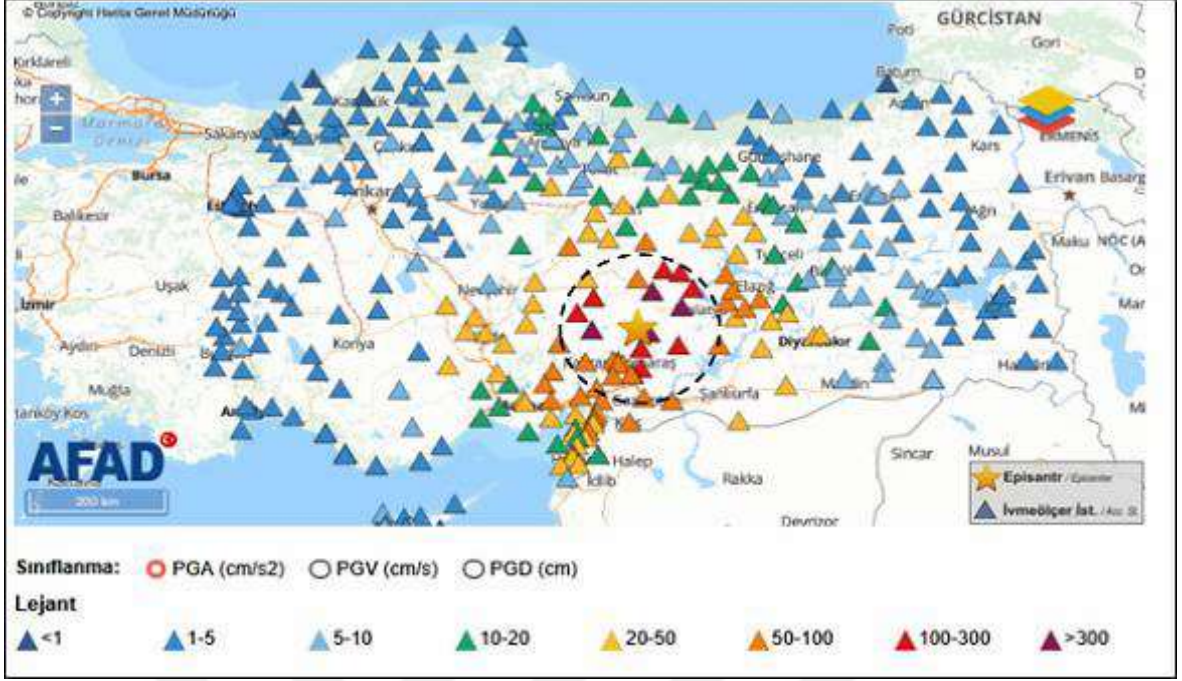
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Veri ve Değerlendirme

Şekil 12 ve 13’de episantr noktaları merkez olmak üzere ~300 km ve ~200 km’lik iki dairesel alan, depremlerin en etkin hissedildiği ve hasar seviyelerinin yüksek olduğu alanlardaki istasyonları göstermektedir. Kırmızı renkli üçgenler PGA değerlerinin 100 cm/s²’den büyük ölçüldüğü istasyonları temsil etmektedir. Şekil 12’deki kırmızı renkli istasyonların çoğunluğu KD-GB doğrultusunda, Şekil 13’dekilerin ise daha çok D-B doğrultusunda sıralandığı görülmektedir. Bu durum daha sonrada irdeleneceği üzere, depremlere kaynaklık eden DAF’ın ve ÇF+SF’in hareket yönleri ile ilişkili olduğu açıktır.



Şekil 12. Pazarcık depreminin kaydedildiği AFAD kuvvetli yer hareketi istasyonları ve PGA değerlerinin istasyonlara göre dağılımları. Kesikli siyah çizgiler Pazarcık depreminin hasar yapıcı etkin olduğu ~ 300 km’lik dairesel alanı göstermektedir (URL-9’den düzenlenerek)



Şekil 13. Elbistan depreminin kaydedildiği AFAD kuvvetli yer hareketi istasyonları ve PGA değerlerinin istasyonlara göre dağılımları. Kesikli siyah çizgiler Elbistan depremi için ~200 km’lik dairesel alanları göstermektedir (URL-9’den düzenlenerek)

Her iki depreme ait kuvvetli yer hareketi kayıtları ve istasyonlara ait bilgiler AFAD web sitesi aracılığıyla yayınlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında kullanılacak her iki depreme ait tüm bilgiler AFAD’ın web sitesi <https://tadas.afad.gov.tr>’den depremlere ait tanımlayıcı bilgiler (Tablo 10) girilerek ulaşılabilmektedir. Tez kapsamında aşağıda sıralanan veri altlıkları oluşturulmuştur.

Tablo 10. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık ve Elbistan depremlerine ait tanımlayıcı temel bilgiler

Dep ID	Tarih ve Saat	Enlem (°)	Boylam (°)	Büyüklik	Derinlik (km)	Yer
543428	06.02.2023 UTM:01.17.32 TS: 04.17.32	37.288	37.042	M _w =7.7	8.6	Kahramanmaraş-Pazarcık
543593	06.02.2023 UTM:10.24.42 TS: 13.24.47	38.089	37.239	M _w =7.6	7.0	Kahramanmaraş-Elbistan

Her iki deprem verisinin kaydedildiği istasyon kodları ve koordinatları, ölçülen PGA ve uzaysal konum verileri. Bu veriler (Şekil 2’de A’den L’ye sütunlar) Tablo 10’daki deprem bilgileri URL-9 adresinde tanımlanarak excel formatında (*.xlsx) alınabilmektedir.

Her istasyonun V_{s30} bilgisi URL-9’da istasyon numarası girilerek temin edilmiş ve Madde-1’deki veri dosyasına eklenmiştir (Şekil 14, M sütunu). V_{s30} bilgisi ivme zaman serilerinin dosya başlıklarından da (header) okunabilir (Şekil 15’de soldaki başlıklardaki $V_{s30_M/S}$ bilgisi).

Tasarım spektrumlarının hesaplanması için gerekli olan spektral ve zemin etki katsayıları URL-8’de yayınlanan TDTH’na her bir istasyonun koordinat bilgileri, V_{s30} ’a göre belirlenen zemin sınıfı ve deprem yer hareketi düzeyi girilerek elde edilmiş ve Madde-1 deki veri dosyasına eklenmiştir (N’den R’ye sütunlar).

Spektral, Arias şiddeti ve etkin süre hesaplamaları için ivme zaman serileri (dalga formları) URL-9’dan her iki deprem bilgisi tanımlanarak ASCII formatta (*.asc) elde edilmiştir. Her bir istasyondaki ivme zaman serileri üç bileşen (Doğu-Batı, Kuzey-Güney ve Düşey) dalga formları ham (yani herhangi bir işleme tabi tutulmamış) haliyle URL-9’dan kaydedilmiştir. URL-9’daki verilerin bileşenlere göre isimlendirmelerinde Doğu-Batı bileşeni için E, Kuzey-Güney bileşeni için N ve Düşey bileşen için U harfleri kullanılmaktadır (Şekil 15’de (sağda) E bileşeni için örnek veri gösterilmiştir).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Code	Longitude	Latitude	Province	District	PGA_NS	PGA_EW	PGA_UD	Rjb	Rrup	Repl	Rhyp	Vs30	Ss	S1	Fs	F1	H PGA(g)
2	0120	35,79005	36,77006	Adana	Yumurtalık	112,4618	115,9806	103,6836	50,5301	53,92994	125,2494	125,5443	439	0,739	0,186	1,204	1,5	0,321
3	0125	35,79577	37,01519	Adana	Ceyhan	128,551	83,12265	35,14937	49,09372	55,13158	114,6239	114,9461	208	0,644	0,163	1,285	2,274	0,281
4	0127	35,92044	37,81618	Adana	Feke	54,98741	50,81184	39,24223	102,1236	107,1042	115,0741	115,395	583	0,554	0,142	1,278	1,5	0,238
5	0129	36,21086	38,2592	Adana	Tufanbeyli	49,91854	42,1567	30,41298	125,5337	129,653	130,4268	130,71	965	0,394	0,12	0,9	0,8	0,169
6	0201	38,26742	37,76121	Adıyaman	Adıyaman Merkez	478,0715	911,3042	309,8126	45,76055	48,06106	120,1158	120,4233	391	0,584	0,185	1,266	1,5	0,245
7	0208	37,65275	37,78694	Adıyaman	Gölbasi	30,19949	14,00124	16,96652	7,397721	16,04488	77,25548	77,73268	469	1,218	0,327	1,2	1,5	0,51
8	0210	38,2866	37,7672	Adıyaman	Adıyaman Merkez	65,90985	61,3746	42,13258	47,55926	51,762	121,9241	122,2271	1248	0,586	0,185	0,9	0,8	0,246

Şekil 14. PGA değerlerinin analizi için oluşturulan excel formatındaki veri tablosu

Şekil 14’te ekran görüntüsü verilen Excel tablosundaki A’den L’ye kadar olan sütunlar tamamen URL-9’dan alınmıştır. M’den R’ye sütunlar URL-8 ve URL-9’dan her bir istasyon için okunarak tabloya eklenmiştir. Sütunlardan A, bulundukları illerin trafik kodlarına göre istasyon kodlarını, B ve C, derece cinsinden istasyonun boylam ve enlemini, D ve E, istasyonun bulunduğu ili ve ilçesini, F, G ve H, Kuzey-Güney, Doğu-Batı ve Düşey bileşenlerde okunan en büyük PGA değerlerini (cm/s^2 biriminde) göstermektedir. I, J, K ve

L, istasyon noktasından farklı türde hesaplanan episantral uzaklıkları gösterir. Bunlar sırasıyla, istasyonun fayın yüzey izine en yakın uzaklığı olan Joyner-Boore- R_{jb} , fay yırtılma yüzeyine dik (en yakın) uzaklığı olan- R_{rup} , odağın yüzeydeki izdüşümüne, dış merkezine olan uzaklığı olan- R_{epi} ve deprem odağına olan uzaklığı gösteren- R_{hyp} 'dir. M, istasyonun bulunduğu zemin sınıfını tanımlamak için V_{s30} değerini, N, O, P ve Q, deprem düzeyi DD-2 olan ve V_{s30} değerine göre ilgili istasyon için hesaplanan spektral katsayılar olan, sırasıyla kısa ve 1.0 saniye periyot için spektral ve zemin etki katsayıları, R, URL-8'deki TDTH 'da ilgili istasyon için tahmini harita PGA değerini (g biriminde) içermektedir.



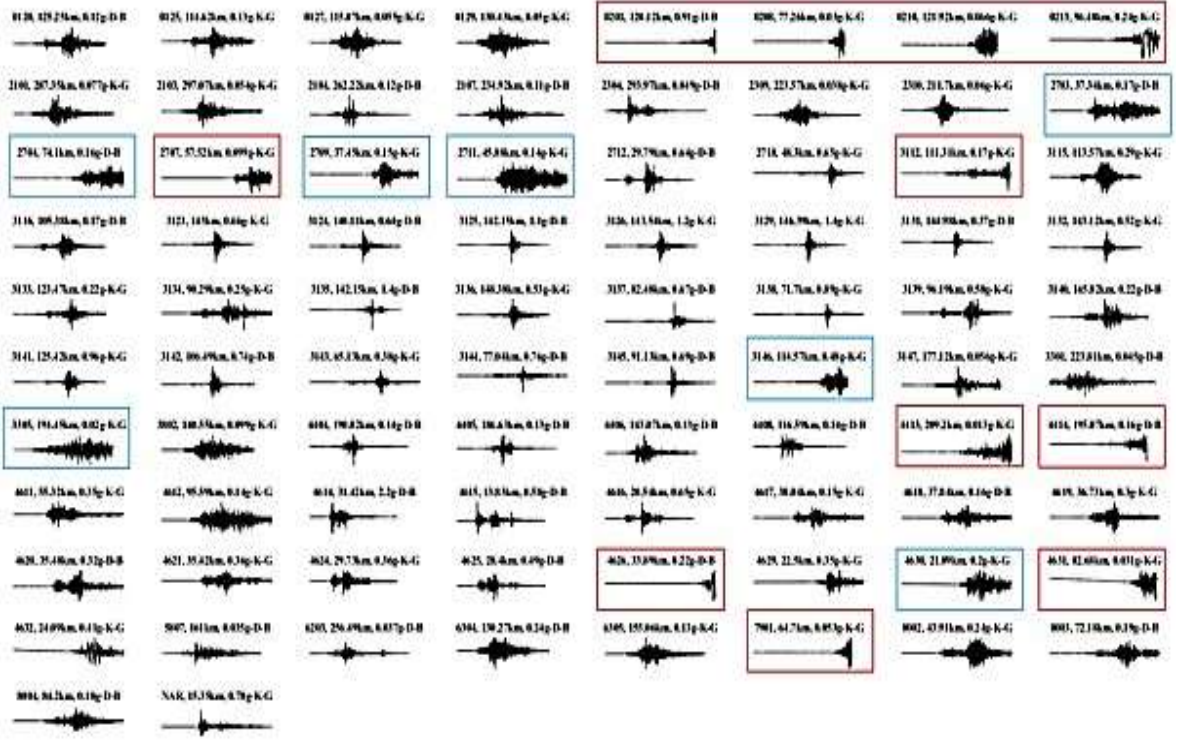
2.2. Veri Kontrolü

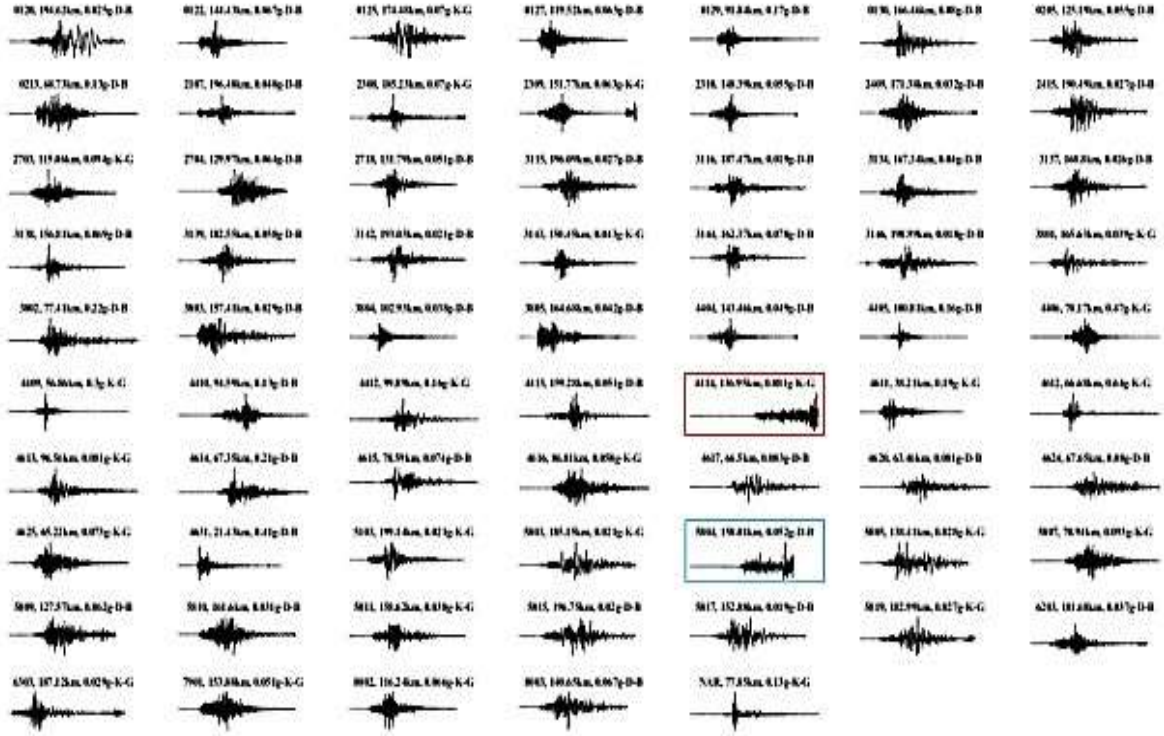
20230206011732_4614_ap_Acc_E - Not Defteri	
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım	
EVENT_NAME: 202302060117	
EVENT_ID: -1	
EVENT_DATE_YYYYMMDD: 2023/02/06	
EVENT_TIME_HMMSS: 01:17:32.00000	
EVENT_LATITUDE_DEGREE: 37.288	
EVENT_LONGITUDE_DEGREE: 37.043	
EVENT_DEPTH_KM: 8.6	
HYPOCENTER_REFERENCE: AFAD	
MAGNITUDE_M: 7.7	
MAGNITUDE_M_REFERENCE: AFAD	
MAGNITUDE_L:	
MAGNITUDE_L_REFERENCE:	
FOCAL_MECHANISM:	
NETWORK: TK	
STATION_CODE: 4614	
STATION_NAME:	
STATION_LATITUDE_DEGREE: 37.48513	
STATION_LONGITUDE_DEGREE: 37.29775	
STATION_ELEVATION_M: 771.0	
LOCATION: Pazarcık_Kahramanmaraş_Türkiye	
SENSOR_DEPTH_M:	
V530 M/S: 541	
SITE_CLASSIFICATION_EC8: B	
MORPHOLOGIC_CLASSIFICATION:	
EPICENTRAL_DISTANCE_KM: 31.42	
EARTHQUAKE_BACKAZIMUTH_DEGREE:	
DATE_TIME_FIRST_SAMPLE_YYYYMMDD_HMMSS: 2023/02/06 01:17:17.000000	
DATE_TIME_FIRST_SAMPLE_PRECISION: millisecond	
SAMPLING_INTERVAL_S: 0.01	
NOISE: 12001	
DURATION_S:	
STREAM: HNE	
UNITS: cm/s^2	
INSTRUMENT: sensor = GMSPLUS/GEOSIG digitizer =	
INSTRUMENT_ANALOG/DIGITAL:	
INSTRUMENTAL_FREQUENCY_HZ:	
INSTRUMENTAL_DAMPING:	
FULL_SCALE_G:	
N_BIT_DIGITAL_CONVERTER:	
PGA CM/S^2: 2175.077	
TIME_PGA_S:	
BASLINE_CORRECTION: -	
FILTER_TYPE: BUTTERWORTH	
FILTER_ORDER:	
LOW_CUT_FREQUENCY_HZ:	
HIGH_CUT_FREQUENCY_HZ:	
LATE/NORMAL_TRIGGERED:	
DATABASE_VERSION:	
HEADER_FORMAT: DYNA 1.2	
DATA_TYPE: Acceleration	
PROCESSING: Unprocessed	
DATA_TIMESTAMP_YYYYMMDD_HMMSS:	
	USER1: GuestUser
	USER2:
	USER3:
	USER4:
	USER5:
	0.000000
	-0.000182
	0.003272
	0.005687
	0.009661
	0.008440
	0.008517
	0.008335
	0.007373
	0.011866
	0.011424
	0.016697
	0.018852
	0.015812
	0.023683
	0.022721
	0.017603
	0.022356
	0.024512
	0.028436
	0.030901
	0.030978
	0.033653
	0.031653
	0.030951
	0.033106
	0.034742

Şekil 15. Örnek bir ivme zaman serisi dosyası. Depreme, istasyona ve kaydedilen veriye ait bilgileri (depremin episantr noktası ve istasyon koordinatları, tarih ve zaman, episantr uzaklığı, derinlik, büyüklük, V_{530} ve PGA değerleri, örnekleme zamanı, örnek sayısı vd.) içeren dosya başlığı (solda) ve ivme değerleri (sağda)

Veri kontrolleri kapsamında, excel dosyasındaki bilgiler ile ivme zaman serilerinin *.asc dosyalarının başlıklarında yazan bilgiler (deprem tanımı, istasyon kodu, büyüklük, PGA,

koordinatlar, episantr, V_{s30} gibi temel bilgiler) karşılaştırılmış, eşleşmeyen bilgiler tespit edilerek düzeltilmiştir. Pazarcık $M_w=7.7$ depremi için $R_{epi}=\sim 300$ km ve Elbistan $M_w=7.6$ depremi için $R_{epi}=\sim 200$ km yarıçaplı dairesel alan içine düşen istasyonların zaman serileri görüntülenmiştir (Şekil 16 ve Şekil 17).





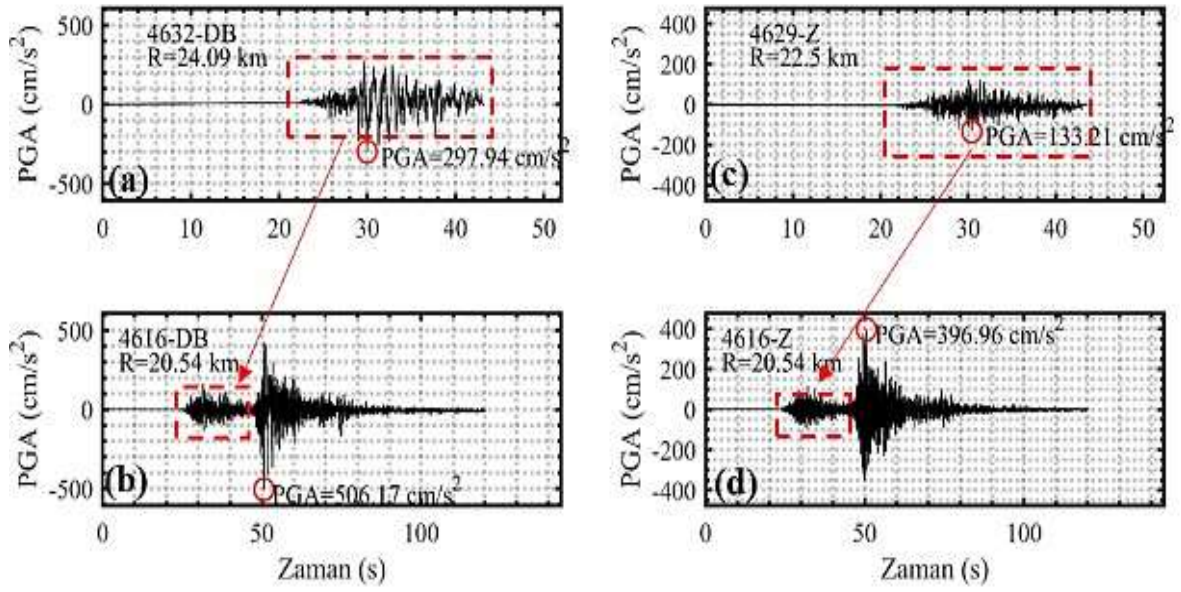
Şekil 17. Elbistan $M_w=7.6$ depreminin $R_{epi} \sim 200$ km uzaklığa kadar olan 68 adet istasyondaki ivme zaman serileri. Kırmızı çerçeveler kesilmiş, mavi çerçeveler tamamlanamamış ivme zaman serilerini göstermektedir

İstasyonlar 24 saat sürekli kayıt yapmaktadırlar ve çoğunlukla okullarda, kırsal alanlardaki sağlık ocaklarında, devlet kurumlarının binalarında ve üniversitelerde bulunmaktadır. Dolayısıyla, özellikle Pazarcık $M_w=7.7$ depremi sırasında ve deprem sonrasında çevredeki binalarda meydana gelen ciddi hasar nedeniyle bazı istasyonlarda elektrik kesintileri yaşanmış, cihazlar çalışamaz hale gelmiştir. Bu sorunlardan dolayı bazı istasyonlarda kayıtlar henüz yeni başlamışken ya kesilmiş (recording interruption) (Şekil 16 ve 17’de kırmızı renkli çerçeveler) ya da bir süre kayıt yapıldıktan sonra kayıt tamamlanamayarak sonlanmış (incomplete record) (Şekil 16 ve 17’de mavi renkli çerçeveler). “Kesilmiş kayıt” PGA gibi özelliklerin tam olarak kaydedilmediği kayıtların sadece giriş kısmının kaydedildiği ivme zaman serisini ifade eder. Buna karşılık “Tamamlanamamış kayıt”, ivme zaman serisinin büyük bir kısmının kaydedildiği sadece son bölümün tamamlanamamış olduğunu ifade eder. Kaydı kesilmiş ve tamamlanamamış istasyonların listesi Tablo 11’de listelenmiştir ve istasyon kayıtları spektral, Arias şiddeti ve süre analizlerinde kullanılmamıştır. Kesilmiş kayıtlara örnek ivme zaman serileri 4632 ve 4629 nolu istasyonlar için Şekil 18a ve 18c’de verilmiştir. Kayıtlar devam edebilseydi bu iki

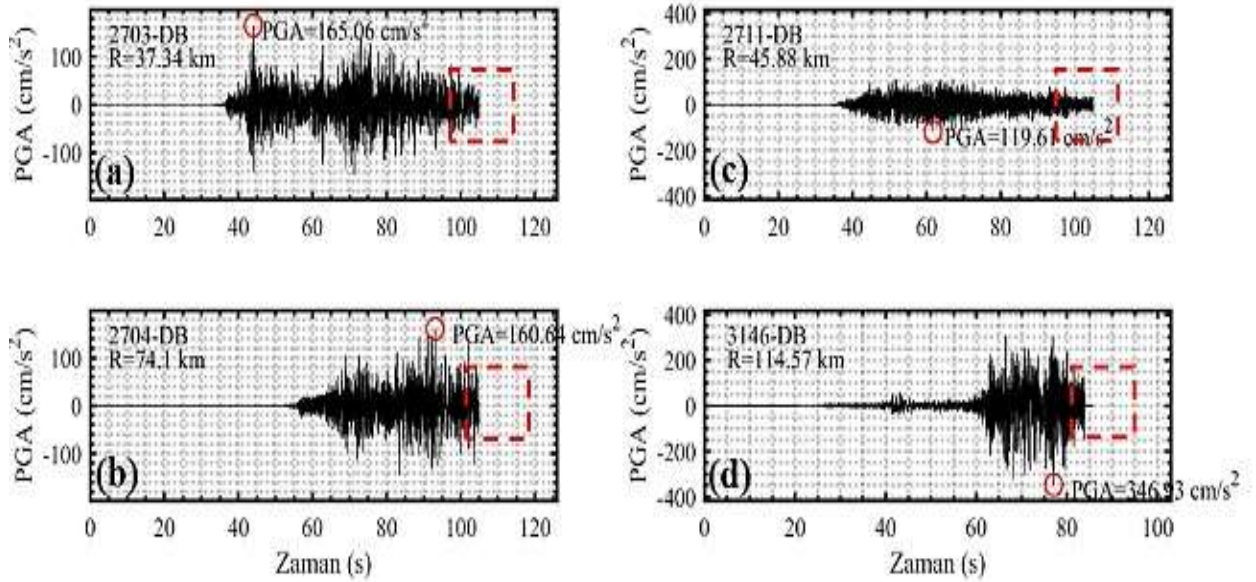
istasyona yakın olan Şekil 18b ve Şekil 18d’de verilen 4616 nolu istasyon kaydı formunda bir kayıt elde edileceği açıktır. Hem 4632 hem de 4629 nolu istasyon kayıtları depremin 40-45’inci saniyeleri arasında büyük ihtimalle elektrik devresinin arızalanması veya kullanılamaz hale gelmesinden dolayı kesilmiştir. Bu sorunların özellikle faya yakın istasyonlarda gözlemlendiği söylenebilir. Tamamlanamamış kayıtlara örnek Şekil 19’da gösterilen 2703, 2704, 2711 ve 3146 nolu istasyonlardaki ivme zaman serileri verilebilir. Görüldüğü üzere, kayıtlar görece tamamlanmak üzereyken bu istasyonlara sağlanan elektrik güç kesintisi nedeniyle sonlanmıştır. Genel olarak istasyonlarda meydana gelen bozulmalar Pazarcık $M_w=7.7$ depremi sırasında ve sonrasında meydana geldiği görülmektedir. Bu depremden 9 saat sonra meydana gelen ikinci depremde iki istasyon dışında sorun oluşmadığı anlaşılmaktadır. Ancak Malatya-Kale ilçesindeki 4414 nolu istasyon her iki deprem anında kayıt kesilmesine maruz kalmıştır.

Tablo 11. Spektral ve Arias şiddeti-süre analizlerinde kullanılmayacak kesilmiş ve tamamlanamamış kayıtların listesi

Pazarcık $M_w=7.7$ depremi							
Kesilmiş kayıtlar				Tamamlanamamış kayıtlar			
Kod	Boylam (°)	Enlem (°)	R_{epi} (km)	Kod	Boylam (°)	Enlem (°)	R_{epi} (km)
0201	38.26742	37.76121	120.116	2703	37.35	37.058	37.336
0208	37.65275	37.78694	77.255	2704	37.80215	37.00879	74.101
0210	38.2866	37.7672	121.924	2707	36.573771	36.930889	57.516
0213	37.92957	37.79667	96.483	2709	36.670482	37.128525	37.454
3112	36.14766	36.58801	111.311	2711	37.56036	37.31736	45.876
4413	39.039342	38.313533	209.201	3146	36.226952	36.490758	114.57
4414	38.754133	38.406947	195.068	3305	34.89897	36.92142	194.451
4626	36.91505	37.57532	33.887	4630	36.806037	37.344912	21.890
4631	37.427653	37.966325	82.684				
7901	37.1123	36.7088	64.697				
Elbistan $M_w=7.6$ depremi							
Kod	Boylam (°)	Enlem (°)	R_{epi} (km)	Kod	Boylam (°)	Enlem (°)	R_{epi} (km)
4414	38.754133	38.406947	136.950	5804	36.08072	39.18482	158.011



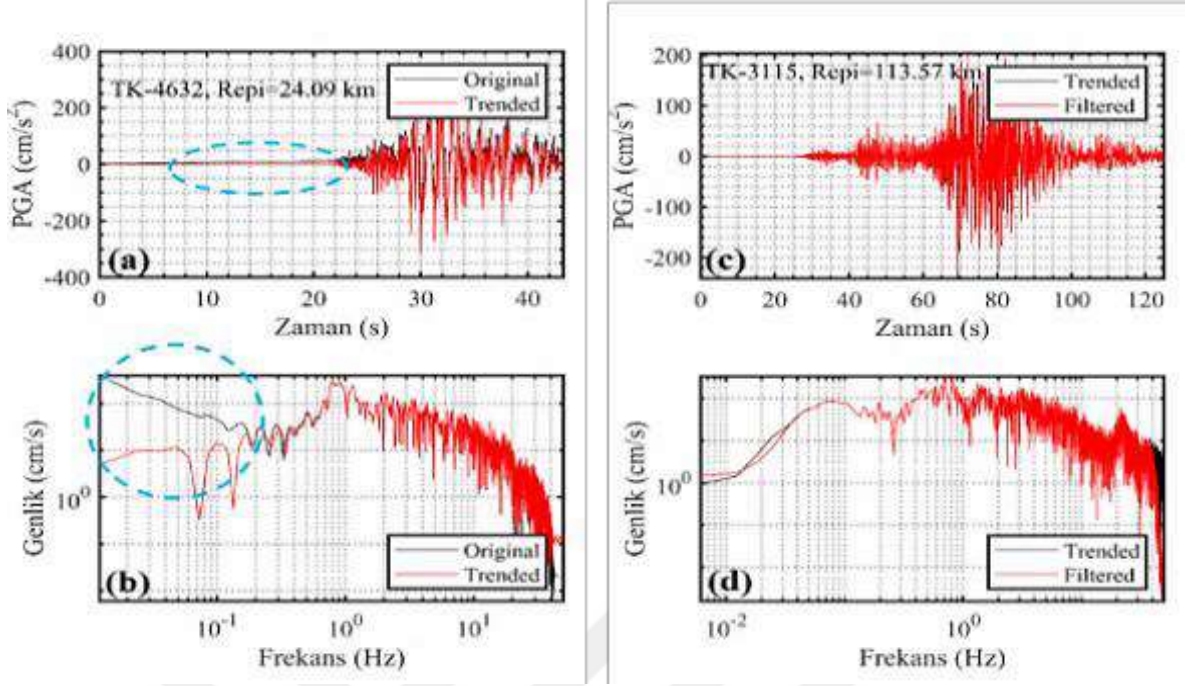
Şekil 18. Pazarcık $M_w=7.7$ depremi için kesilmiş ve tamamlayıcı kayıt örnekleri. Kırmızı çerçeveler 4632 ve 4629 nolu istasyon kayıtlarının 4616 nolu istasyon kaydının giriş bölümüne olan benzerliklerini göstermektedir. (a) ve (c) episantr uzaklıkları 24.09 km ve 22.5 km olan kesilmiş kayıt örneklerinin olduğu 4632 ve 4629 nolu istasyonlar. (b) ve (d) episantr uzaklığı 20.54 km olan 4616 nolu istasyonun D-B ve Z bileşenleri



Şekil 19. Pazarcık $M_w=7.7$ depremi için tamamlanamamış kayıt örnekleri. (a) 2703 (b) 2705 (c) 2711 ve (d) 3146 nolu istasyonların D-B bileşenleri. Kırmızı çerçeveler kayıtların son bölümlerindeki kesilme bölümlerini göstermektedir

2.3. İvme Zaman Serilerinin Ön İşlenmesi

Ham verilerin ön işlenmesi için Boore vd., (2002, 2012), Boore & Bommer (2005)'de belirtildiği gibi ivme zaman serilerine standart olarak trend etkisini giderme (baseline correction) ve bant geçişli süzgeçleme uygulanmıştır. İstasyonda kayıt başlamadan, yani yer hareketi istasyona ulaşmadan önce kayıttaki genlik seviyesi sıfır olmalıdır. Ancak, cihazın dengesinin bozulması, ısınması ve çevresel faktörler nedeniyle küçük titreşimli genlikler kaydedilir. Dolayısıyla, bu etki ivme zaman serisinden çıkarılmalıdır. Trend etkisini gidermek için zaman serilerinden doğrusal bileşen çıkarılmıştır. Şekil 20a, trend etkisi olan bir istasyon verisinden bu etkinin çıkarılmasını ve Şekil 20b trendden önce ve sonraki Fourier genlik spektrumlarını göstermektedir. Trend etkisi verinin en düşük frekans bileşenine (doğrusal trend sıfır frekansına karşılık gelir) karşılık geldiğinden, trend giderildikten sonra verinin düşük frekans bölgesi güncellenmiştir. Süzgeçleme ile, yer hareketinin önemli özelliklerini değiştirmeden, yer hareketinin frekans içeriğindeki düşük ve yüksek frekanslı gürültü bileşenleri veriden uzaklaştırılmalıdır. Böylece tüm ivme zaman serileri için birçok testten sonra, verinin genel spektral içeriğine müdahil olmamak için alçak ve yüksek kesme frekansları $[f_c, f_{max}] = 0.025\text{-}40$ Hz aralığında olan dördüncü dereceden bant geçişli Butterworth süzgeci kullanılmıştır. Şekil 20c trend etkisi giderildikten sonra süzgeç uygulanmış ivme zaman serilerini ve Şekil 20d karşılık gelen Fourier genlik spektrumlarını göstermektedir. Her ne kadar zaman ve frekans ortamı görüntülerinde süzgeçlemenin çok fazla bir etkisi olmamış gibi görünüyorsa de, süzgeçlemeden önce en büyük $PGA = 241.5 \text{ cm/s}^2$ iken süzgeçlemeden sonra bu değer $PGA = 229.81 \text{ cm/s}^2$ 'ye düşmüştür. Bu sonuç, ivme zaman serilerinin süzgeçlenmesinde, eğer aşırı gürültü durumu söz konusu değilse, frekans bandının geniş tutulmasının gerekliliğini desteklemektedir.



Şekil 20. Ham ivme zaman serilerine uygulanan trend analizi ve bant geçişli süzgeçleme uygulamaları. (a) 4632 nolu istasyon verisi (siyah) ve trend uygulama sonucu (kırmızı), (b) orijinal (siyah) ve trend (kırmızı) uygulanmış ivme zaman serilerinin Fourier genlik spektrumları, (a ve d)'daki mavi renkli eliptik alan ivme zaman serisindeki trend etkisini, (c) ve (d) trend (siyah) ve süzgeç (kırmızı) uygulanmış ivme zaman serilerini ve karşılık gelen spektrumları göstermektedir. Düşük ve yüksek kesme frekansları $f_c=0.025$ Hz.

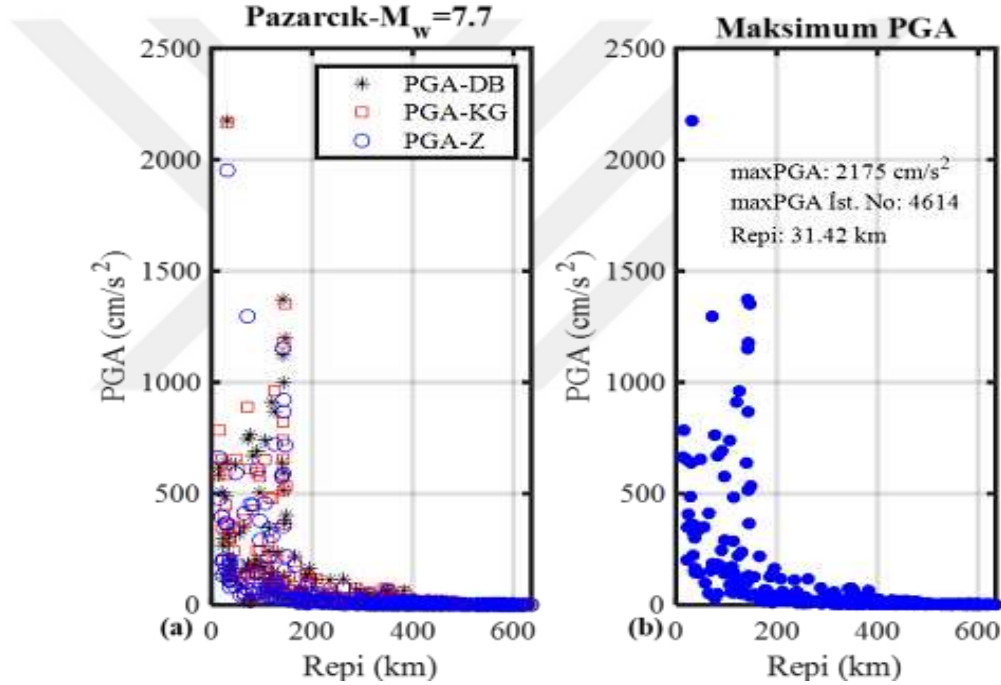
$f_{max}=40$ Hz olan dördüncü dereceden Butterworth süzgeci uygulanmıştır

2.4. Ölçülen Pik Yer İvme (PGA) Değerlerinin Analizi

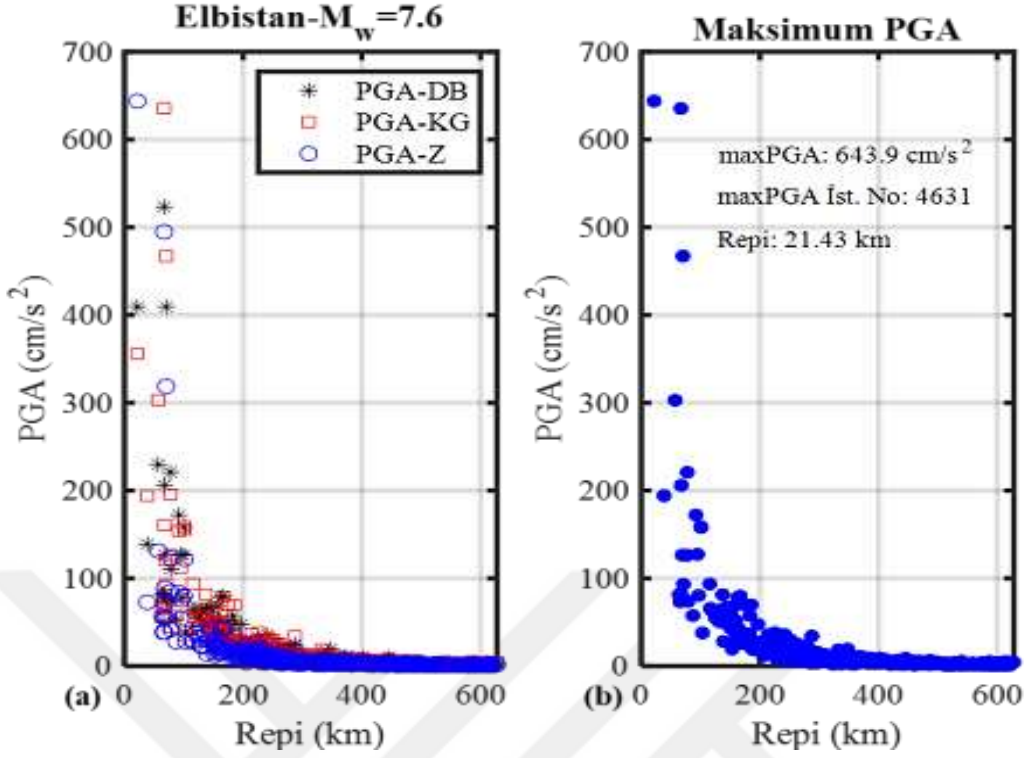
2.4.1. Pazarcık ve Elbistan Depremlerinin İvme Dağılımının Genel Değerlendirilmesi

Şekil 21 ve 22 sırasıyla 6 Şubat 2023 günü meydana gelen Pazarcık $M_w=7.7$ ve Elbistan $M_w=7.6$ büyüklüklerindeki depremlerin ivme kayıtlarının üç bileşeni (D-B, K-G ve Z) arasında en büyük yer ivme PGA değerlerinin dağılımını göstermektedir. Şekil 21a 360 adet, Şekil 22a 370 adet 3 bileşen (Doğu-Batı: D-B, Kuzey-Güney: K-G ve Düşey: Z) istasyonda her bir bileşendeki en büyük PGA değerlerini gösterirken, Şekil 21b ve 22b sırasıyla, bileşenler arasında en büyük PGA değerlerini göstermektedir. Pazarcık depreminde en büyük PGA değeri $R_{epi}=31.42$ km uzaklıktaki Pazarcık ilçesindeki 4614 nolu istasyonda, Elbistan depreminde en büyük PGA değeri $R_{epi}=21.43$ km uzaklıktaki Nurhak ilçesindeki 4631 nolu istasyonda ölçülmüştür.

Bu kapsamda değerlendirildiğinde, Pazarcık depreminin yaklaşık 170 km'ye kadar 0.2 g'den daha büyük ivme değerleri (Tablo 3'de verilen Mercalli şiddet ölçeğine göre çok güçlüden son derece şiddetliye değişen hissedilme ve ortadan çok ağıra değişen hasarlar, Mercalli şiddeti>VII) ölçülmüştür. Bununla birlikte, yaklaşık 170 km'den 270 km'ye kadar 0.1-0.2 g arasında (Tablo 3'e göre, güçlü hissedilme ve hafif hasarlar, Mercalli şiddeti=VI) ve 270 km'den daha uzaklarda ise, 0.1 g'nin (Tablo 3'e göre orta seviye ve daha düşük seviyede hissedilme ve çok hafif hasarlardan hasarsız durumlar, Mercalli şiddeti<VI) altında ivmeler gerçekleşmiştir. Elbistan depreminde ise, 80 km'ye kadar uzaklıklarda ölçülen ivme değerleri 0.2 g'den büyük ve 100 km'den sonra 0.1 g'nin altına düşmüştür.



Şekil 21. $M_w=7.7$ Pazarcık depreminin ivme-episantr uzaklığı dağılımı. (a) Her bir bileşendeki (D-B, K-G, Z) en büyük ivme değerlerinin ve (b) bu ivme değerleri içindeki en büyük ivme değerlerinin dağılımı. PGA, pik yer ivmesini ve R_{epi} episantr (deprem odağının dış merkezi- yeryüzündeki izdüşüm yeri ile istasyon arasındaki uzaklık) uzaklığını göstermektedir



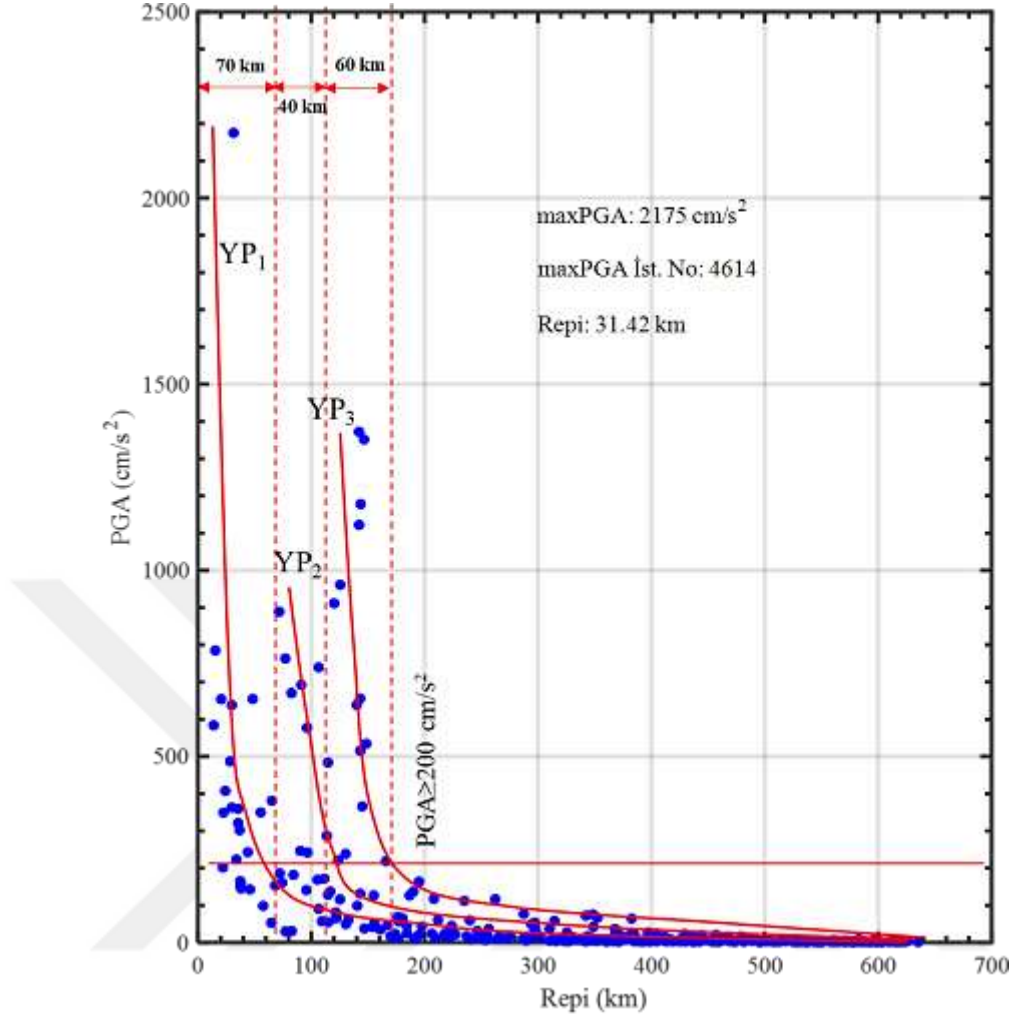
Şekil 22. $M_w=7.6$ Elbistan depreminin ivme-episantr uzaklığı dağılımı. (a) Her bir bileşendeki (D-B, K-G, Z) en büyük ivme değerlerinin ve (b) bu ivme değerleri içindeki en büyük ivme değerlerinin dağılımı. PGA, pik yer ivmesini ve R_{epi} episantr (deprem odağının dış merkezi-yeryüzündeki izdüşüm yeri ile istasyon arasındaki uzaklık) uzaklığını göstermektedir

AFAD kayıtlarına göre, Pazarcık ($M_w=7.7$) ve Elbistan ($M_w=7.6$) depremlerinin büyüklükleri arasındaki fark $\Delta M_w=0.1$ 'dir. Buna göre, moment büyüklüğü (M_w) ile deprem enerjisi ilişkisine göre ($\log_{10}E=5.24+1.44*M_w$, URL-6), Pazarcık depreminden yayılan enerjinin (E_1), Elbistan depreminden yayılan enerjiden (E_2), $E_1/E_2 \approx 1.4$ kat daha fazla olduğu anlaşılmaktadır. Doğal olarak yeraltı özelliklerinden bağımsız, sadece episantr uzaklığına bağlı olarak Pazarcık depreminin aynı uzaklıkta ölçülen ivme değerleri Elbistan depremine göre büyük olacaktır. Ancak, Pazarcık ve Elbistan depremlerinin ivme-uzaklık değişimleri genel olarak değerlendirildiğinde (Şekil 21b ve Şekil 22b), Pazarcık depreminden sonra $R_{epi} \leq 170$ km olan episantr uzaklıklarındaki birçok ivme istasyonunda ölçülen PGA değerlerinin özellikle $PGA \geq 0.2$ g (200 cm/s^2) hasar yapıcı-yıkıcı olan ivmeler olduğu gözlenmektedir. Buna karşılık, Elbistan depreminden sonra ölçülen ivme değerlerinin $R_{epi} \leq 70$ km olan birkaç istasyonda $PGA \geq 0.2$ g iken, bu mesafeden sonra $PGA < 0.2$ g olarak ölçülmüştür. Normal olarak PGA değerlerinin uzaklıkla üssel olarak azalım gösterdiği göz önüne alındığında, Elbistan depreminin ivmeleri bu genel trende uyumlu olurken, Pazarcık

depremi ivmelerinin değişiminin aynı episantr uzaklıklarında bu genel trende pek uymadığı gözlenmektedir. Öyle ki, gerçekleşen ivmeler ~70 km'ye kadar bir azalım göstermesinden daha çok artış göstermiştir. Her deprem için ölçülen PGA değerlerinin episantr uzaklığı ile azalım davranışındaki farklılık, iki depremin büyüklüğü ile ilişkili olmaktan ziyade, Pazarcık depreminde gerçekleşen kırılmanın (faylanmanın) tek bir defada değil, ardışık birkaç kez gerçekleşmesi ile ilişkili olabileceğini göstermektedir.

2.4.2. Pazarcık $M_w=7.7$ Depreminin Episantr-PGA Dağılımının Genel Değerlendirilmesi

Pazarcık depreminin episantr-ivme dağılımı Şekil 23'de görüldüğü üzere üç uzaklık mesafesi için değerlendirilebilir. Deprem sonrası yapılar üzerinde yıkıcı kuvveti oluşturan yatay kuvvetler olduğu için Şekil 23'de, Şekil 21b ve 22b'den farklı olarak yatay bileşenler (D-B ve K-G) arasındaki en büyük PGA değerleri dikkat alınmıştır. 70 km'ye kadar olan istasyonlarda ölçülen yatay bileşen PGA değerlerinin çoğunluğu 200 cm/s^2 'den büyüktür. Buna karşılık 70-110 km uzaklık aralığındaki istasyonlarda PGA değerlerinde azalım beklenirken, çoğunluğu 200 cm/s^2 'den büyük yatay PGA değerleri yanı sıra, episantr uzaklığı $R_{epi}=71.69 \text{ km}$ olan 3138 nolu Hatay-Hassa istasyonunda 888.73 cm/s^2 'lik (K-G bileşeni) oldukça büyük yatay ivme değeri ölçülmüştür. Diğer yandan 110-170 km arasında benzer şekilde yüksek PGA değerleri ölçülmüş olup bu değerin, episantr uzaklığı $R_{epi}=142.15 \text{ km}$ olan Hatay-Arsuz istasyonunda en büyük yatay PGA değeri 1.372 cm/s^2 'lik (D-B bileşeni) değere ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla, Şekil 9'daki dağılım, tek bir ivme azalım ilişkisi yerine, temsilen çizilen üç eğri YP_1 , YP_2 ve YP_3 ile temsil edilebilecek üç farklı ivme azalım ilişkisi ile tanımlanabilir.



Şekil 23. Pazarcık $M_w=7.7$ depremi için episantr-PGA dağılımının belirli uzaklık aralıklarına göre gruplandırılması. YP_1 , YP_2 ve YP_3 azalım eğrileri temsili olarak çizilmiştir

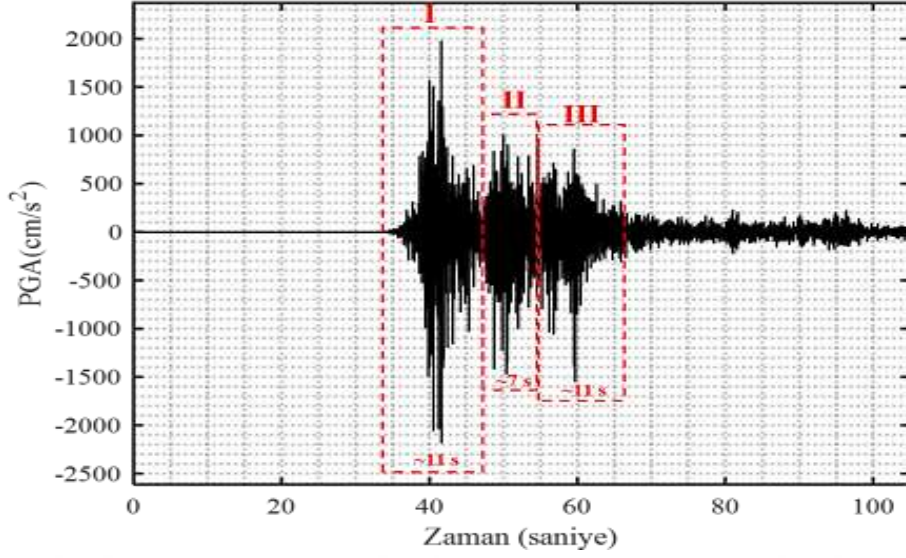
Şekil 23'te görülen episantr-PGA değerlerinin dağılımının genel ivme azalım ilişkilerine olan uyumsuzluğunun nedeni, hem deprem merkez üssüne yakınlığı hem de en büyük PGA değerinin kaydedildiği 4614 nolu istasyonun D-B bileşeninin ivme zaman serisi (sismogramı) üzerinde açıklanabilir (Şekil 24). Görüldüğü üzere bir sismogram üzerinde ardışık depremleri temsil eden üç ana dalga paketi işaretlenmiştir (I, II ve III nolu kırmızı kesikli çizgili dikdörtgen çerçeveler). Her bir paket sırasıyla yaklaşık 11, 7 ve 11 saniyelik sürelerde gerçekleşmiş olup, toplamda 29 saniyelik etkin bir süreye karşılık gelmektedir. Bu durum aynı fay zonunda çok kısa aralıklarla ardışık gerçekleşen depremlerden kaynaklı olan ivme kayıtlarının aynı istasyonda üst üste binmesi olarak değerlendirilebilir. Bu durum, Pazarcık depreminin ana şokunun (I nolu dalga paketi) sarsıntı etkisi zayıflamadan diğer depremlerin (II ve III nolu dalga paketleri) gerçekleşmesi olarak da yorumlanabilir. Şekil

24'deki sismogram üzerinde her bir dalga paketi içinde en büyük PGA değerleri sırasıyla, 2.175 cm/s^2 , 1.469 cm/s^2 ve 1.546 cm/s^2 olarak ölçülmektedir. Bu değerler, Şekil 23'deki 0-70 km, 70-110 km ve 110-170 km aralıklarındaki istasyonlarda ölçülen en büyük ivme PGA değerleri ile tam olarak uyumludur.

Şekil 23'de dikkat çeken diğer bir durum ise, Pazarcık depremin episantr noktasına 4614 nolu ($R_{\text{epi}}=31.42 \text{ km}$, PGA (D-B bileşeni)= 2.175 cm/s^2) istasyondan daha yakın olan istasyonlarda, daha düşük PGA değerlerinin ölçülmüş olmasıdır (Tablo 12). Bu duruma neden olabilecek yerel zemin koşulları, yeraltı geometrisi ve fayın doğrultusu ile istasyonun konumlanma açısı (yönelim etkisi) gibi etkenler ilerleyen bölümlerde tartışılacaktır.

Tablo 12. 4614 nolu istasyondan daha yakın istasyonların episantr ve en büyük PGA değerleri

İstasyon No	Boylam (°)	Enlem (°)	R_{epi} (km)	PGA (cm/s^2) ve Bileşeni	İstasyon Yeri
4614	37.29775	37.48513	31.42	2175.077 (DB)	Pazarcık
NAR	37.15740	37.39190	15.35	784.56 (KG)	Pazarcık
4615	37.13803	37.38676	13.83	663.60 (Z)	Pazarcık
4616	36.83836	37.37547	20.54	654.08 (KG)	Türkoğlu
4624	36.91765	37.53610	29.73	362.64 (KG)	Onikişubat
4625	36.98187	37.53872	28.39	486.75 (DB)	Dulkadiroğlu
4629	36.78870	37.28737	22.49	349.34 (KG)	Türkoğlu
4630	36.80603	37.34491	21.89	201.92 (KG)	Türkoğlu
4632	36.77369	37.25602	24.09	407.45 (KG)	Türkoğlu
2712	36.73283	37.18400	29.79	638.29 (DB)	Nurdağı



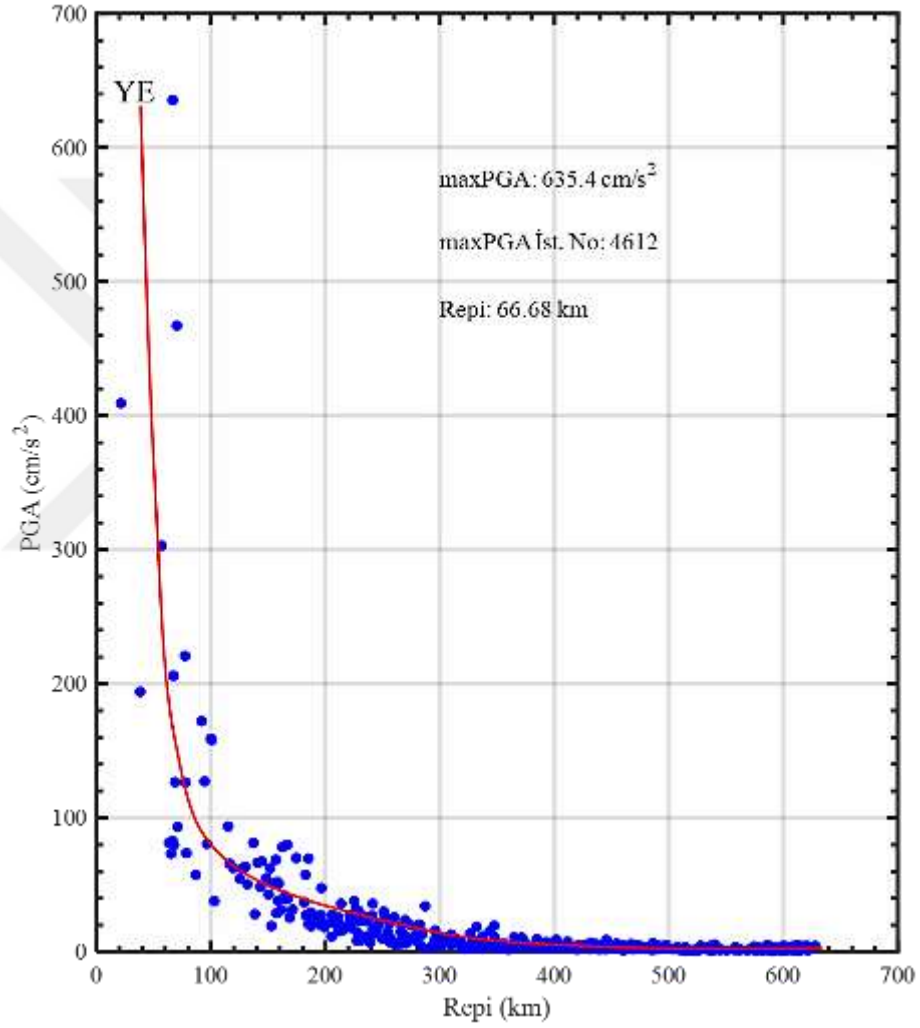
Şekil 24. Pazarcık depreminin ana şokundan sonra kısa zaman aralıklarında ardışık kırılmaların $R_{epi}=31.42$ km uzaklığında 4614 nolu istasyondaki D-B bileşeni ivme kaydı

Şekil 23'teki episantr-PGA dağılımları ve Şekil 24'deki sismogram birlikte değerlendirildiğinde, sismogram üzerindeki I nolu dalga paketinin etkisinin 70 km'ye kadar olan uzaklıklarda, II nolu paketin 70-110 km mesafelerinde ve III paketin ise, 110-170 km mesafelerde etkin olduğu ve yüksek ivmelere neden olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum fayın yırtılma yüzeyinin istasyonlara yaklaşması olarak değerlendirebilir.

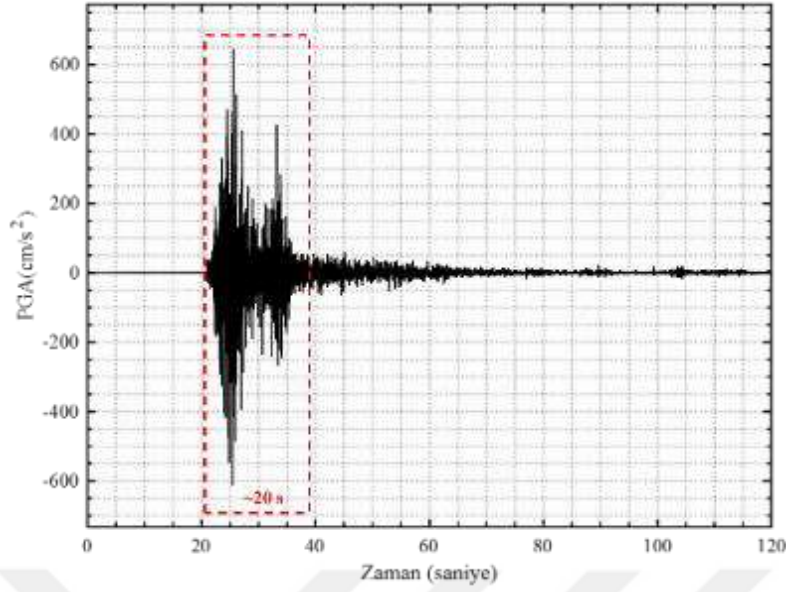
2.4.3. Elbistan $M_w=7.6$ Depreminin Episantr-PGA Dağılımının Genel Değerlendirilmesi

Şekil 25'de görüldüğü üzere Elbistan $M_w=7.6$ depreminin episantr uzaklığı-PGA dağılımı (yatay bileşenlerden en büyük olanlar) ivme azalım ilişkisi, Pazarcık $M_w=7.7$ depremine göre genel olarak normal bir davranış göstermektedir. Elbistan $M_w=7.6$ depreminin en yakın ($R_{epi}=21.43$ km) kaydedildiği Kahramanmaraş-Nurhak'taki 4631 nolu istasyonda en büyük yatay PGA değeri (409.3 cm/s^2 D-B bileşeni) ölçülmüştür. Diğer yandan, $R_{epi}=38.21$ km mesafede olan Kahramanmaraş-Çağlayancerit 4611 nolu istasyonda ölçülen en büyük yatay $PGA=194.14 \text{ cm/s}^2$ (K-G bileşeni)'dir. Buna karşılık, Elbistan depremi için en büyük yatay PGA değeri, episantr uzaklığı $R_{epi}=66.68$ km olan Kahramanmaraş-Göksun 4612 nolu istasyonda $PGA=635.44 \text{ cm/s}^2$ (K-G bileşeni) ölçülmüştür. Şekil 25'de görüldüğü üzere episantr uzaklığı $R_{epi}>80$ km'den sonra PGA değerleri 200 cm/s^2 'den ve $R_{epi}>100$ km'den sonra ise 100 cm/s^2 'den daha küçüktür. Her ne

kadar en büyük yatay PGA değeri, 4611 ve 4631 istasyonlarına göre merkez üssüne daha uzak olan 4612 nolu istasyonda ölçülmüş olsada, bu deprem için ivme azalım ilişkisi genel olarak normal bir davranış (uzaklıkla ivmenin düzeli olarak azalması), göstermektedir (Şekil 25, YE temsili eğri). Bu kapsamda değerlendirildiğinde Şekil 26’da depremin merkez üssüne en yakın 4631 nolu istasyonda kaydedilen ivme kaydıda yaklaşık 20 s’lik düzenli bir dalga formuna sahiptir.



Şekil 25. Elbistan $M_w=7.6$ depremi için episantr-PGA dağılımı. Azalım eğrisi (kırmızı çizgi). YE temsili olarak çizilmiştir



Şekil 26. Elbistan depreminin ana şokundan sonra kısa zaman aralığında ardışık kırılmanın $R_{epi} = 21.42$ km episantr uzaklığında 4631 nolu istasyondaki Z bileşeni ivme kaydı

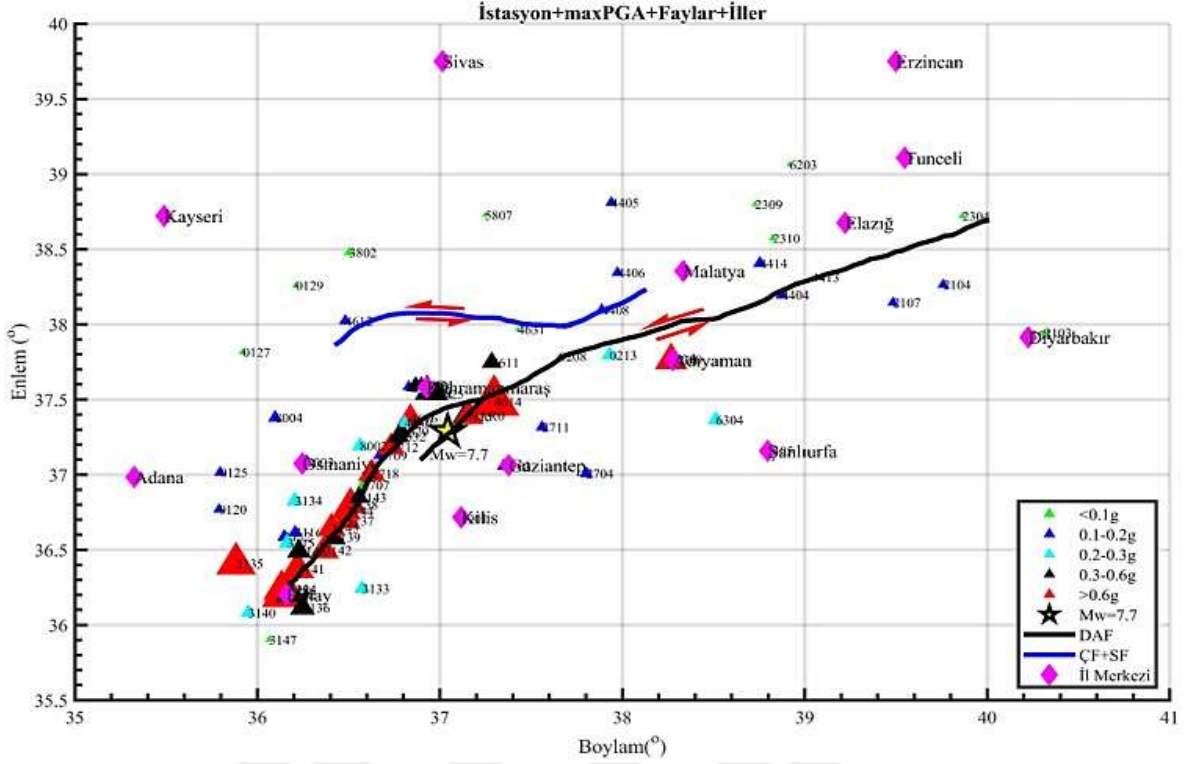
2.4.4. Pazarcık ve Elbistan Depremlerinin İstasyon Konumları, R_{epi} , PGA ve V_{s30} Dağılımlarının Analizi

- İstasyon Konumları-PGA Dağılımı

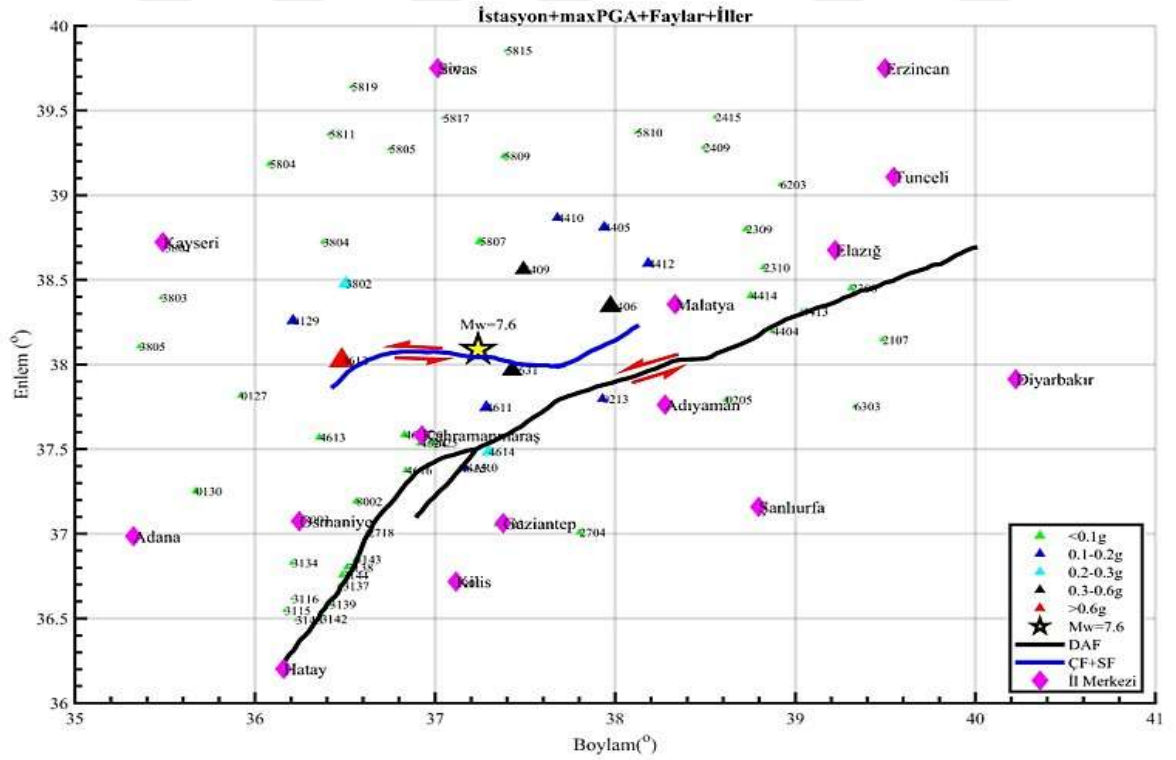
Önceki bölümlerde her iki deprem için episantr uzaklıklarına göre ölçülen PGA değerlerinin değişimi ve bu değişimin istasyonlarda kaydedilen ivme sismogramları ile ilişkilendirilmesi incelenmiştir. Şekil 27 ve 28, her iki depremin oluşturduğu sarsıntının etkin hissedildiği ve çok fazla yıkımların/hasarın gözlemlendiği illerin, fayların hareket doğrultularına ve deprem episantr konumlarına göre (Pazarcık, $M_w=7.7$ için $N=129$ adet istasyon, $R_{epi}=300$ km'ye~kadar) (Elbistan, $M_w=7.6$ için $N=68$ adet istasyon, $R_{epi} \sim 200$ km'ye kadar) kuvvetli yer hareketi istasyonlarında kaydedilen en büyük yatay PGA değerlerinin dağılımını göstermektedir. $M_w=7.7$ depremi için 300 cm/s^2 (0.3 g)'den daha büyük PGA değerlerinin hemen hemen Doğu Anadolu Fay (DAF) zonu boyunca (KD-GB) ve $M_w=7.6$ depremi için ise, ÇF+SF zonu boyunca kaydedildiği görülmektedir. Şekil 27'den de açık olarak görüldüğü üzere 300 cm/s^2 ve özellikle 600 cm/s^2 ve daha büyük yatay PGA değerleri 4614 nolu istasyondan başlamak üzere GB doğrultusunda Hatay iline doğru olan istasyonlarda ölçülmüştür. Deprem episantr uzaklıkları artmasına rağmen Hatay iline doğru ölçülen ivme değerlerinin artması ve 600 cm/s^2 'nin üzerine çıkması, önceki bölümlerde ifade edilen ardışık kırılma, dolayısıyla yırtılma yüzeyinin istasyonlara yaklaşması olayını desteklemektedir. Bununla birlikte, bu büyük PGA değerlerinin

ölçüldüğü istasyonlara yakın olan birçok istasyonda da oldukça düşük ivmeler ölçülmüştür. Bu düşük ivmelerin özellikle fayın hareket doğrultusuna dik ve/veya açılı doğrultulardaki istasyonlarda ölçülmüş olması oldukça dikkat çekicidir. Diğer dikkat çeken bir durum ise, episantr uzaklığı $R_{epi} \sim 120.11$ km olan Adıyaman il merkezindeki 0201 nolu istasyonda kayıt kesintiye uğramış olsa da, en büyük $PGA = 911.3 \text{ cm/s}^2$ (D-B bileşeni) ölçülürken, bu istasyona yakın olan ($R_{epi} = 121.92$ km) 0210 nolu istasyonda (kayıt kesintiye uğramış) en büyük $PGA = 65.90 \text{ cm/s}^2$ ölçülmüş olmasıdır.

Elbistan $M_w = 7.6$ depreminin ölçülen ivme değerlerinin 600 cm/s^2 'den daha büyük olduğu istasyonlar oldukça sınırlıdır. En yüksek yatay PGA değeri SF+ÇF'nın batı ucuna doğru episantr uzaklığı $R_{epi} = 66.68$ km olan 4612 nolu Kahramanmaraş-Göksun İlçesi'ndeki istasyonda $PGA = 635.44 \text{ cm/s}^2$ (K-G) olarak ölçülmüştür. Bununla birlikte, episantr noktasının doğu tarafına doğru Kahramanmaraş-Nurhak 4631 ($R_{epi} = 21.42$ km, $PGA = 409.29 \text{ cm/s}^2$ (D-B)) ve Malatya-Akçadağ 4406 ($R_{epi} = 70.17$ km, $PGA = 467.20 \text{ cm/s}^2$ (K-G)) nolu istasyonlarda 300 cm/s^2 'lik yatay ivme değerleri ölçülmüştür. Fayın hareket doğrultusuna yaklaşık dik bir konumda yer alan $R_{epi} = 56.85$ km uzaklıktaki Malatya-Darende 4409 nolu istasyonda $PGA = 303.05 \text{ cm/s}^2$ (D-B) ölçülmüştür. Elbistan depreminin Kahramanmaraş-Pazarcık 4614 nolu istasyonu ($R_{epi} = 67.34$ km, $PGA = 206.04 \text{ cm/s}^2$ (D-B)) hariç, Hatay iline doğru olan istasyonlarda ölçülen ivme değerlerinin hemen hepsi 100 cm/s^2 'den (0.1 g) düşüktür. 4612 nolu Göksun istasyonunun hemen kuzeyinde yer alan $R_{epi} = 77.40$ km olan Kayseri-Sarız 3802 nolu istasyonda $PGA = 220.88 \text{ cm/s}^2$ (D-B) ölçülürken, deprem episantr noktasının hemen güneyindeki $R_{epi} = 38.11$ km 4611 nolu Kahramanmaraş-Çağlayancerit istasyonunda $PGA = 194.13 \text{ cm/s}^2$ (K-G) ölçülmesi oldukça dikkat çekicidir.



Şekil 27. Pazarlık $M_w=7.7$ depremi için episantr, faylar, etkilenen iller ve en büyük yatay PGA değerlerinin istasyon konumlarına göre dağılımı

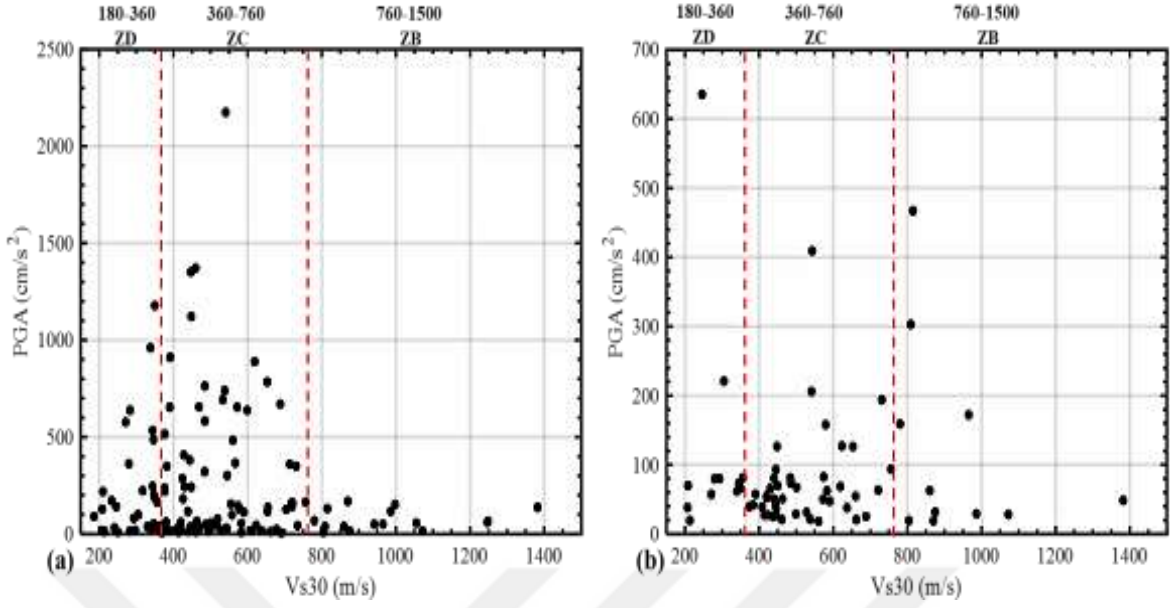


Şekil 28. PGA değerlerinin istasyon konumlarına göre dağılımı

- V_{s30} -PGA Dağılımı

Kayma dalgası hızının (S-dalgası hızı, V_s) yerin ilk 30 metresine kadar ortalama değeri (V_{s30}) mühendislik uygulamalarında depremin yatay kuvvetlerine karşı yapı dayanımlarını belirlemek için son derece önemli bir parametredir. S-dalga hızının derinlikle değişimi sayesinde zeminin sıklık-katılık profili çıkarılır ve V_{s30} ile de zeminin sınıfı belirlenir. V_{s30} değeri kayma gerilmesinin, zemin büyütmesinin, zemin hakim titreşim periyotunun ve herhangi bir yapı için statik projeye esas olan tasarım spektral eğrilerinin hesaplanmasında kullanılır. İvme istasyonlarının ne tür zeminlerde bulundukları V_{s30} değerleri ile ilişkilidir. Genel olarak zayıf, yani V_{s30} 'u düşük olan zeminler deprem dalgalarının genliklerini büyütür ve o zeminlerdeki yayılma sürelerini artırır. Diğer yandan düşük kayma dalgası hızı olan zeminlerde ölçülen ivmeler yüksek kayma dalga hızlı ortamlara göre daha yüksek beklenir. Şekil 29, her iki depremin ölçülen en büyük yatay PGA değerleri ile o istasyonlara ait V_{s30} değerleri arasındaki dağılımı göstermektedir. Ülkemizde kullanılan zemin sınıflama tablosu TBDY (2018) yönetmeliği ile belirlenmiş ve Tablo 7 ile verilmiştir.

Şekil 29'daki V_{s30} -PGA dağılımları bu Tablo 7'e göre sınıflandırılmıştır. Buna göre, istasyonların çoğunluğunun ZC sınıfında yer aldığı görülmektedir ve her iki deprem için ölçülen ivmelerin V_{s30} değerleri ile kararlı bir ilişkisi gözlenmemektedir. Pazarcık $M_w=7.7$ depremi ivmelerinin ZC sınıfı aralığında ZD sınıfı aralığındaki istasyonlara göre daha büyük olduğu gözlenmektedir (Şekil 29a). Benzer durum, Elbistan $M_w=7.6$ depremi için gözlenmekle birlikte, en büyük ivme değeri ZD zemin sınıfı olan istasyonda ölçülürken, oldukça sağlam olan ZB sınıfı zeminde de yüksek ivme değerinin ölçülmüştür (Şekil 29b). Bununla birlikte, her iki deprem ivmelerinin az sıkı nitelikli ZD sınıfı zeminlerde düşük değerli ($PGA < 200 \text{ cm/s}^2$) oldukları görülmektedir. Diğer yandan her iki deprem için yüksek V_{s30} değerli (ZB sınıfı) istasyonlarda da düşük ivme değerleri ölçülmüştür. Dolayısıyla, salt olarak V_{s30} -PGA değişimi ivme değerlerindeki artışı ya da azalışı tanımlamak için yeterli değildir.



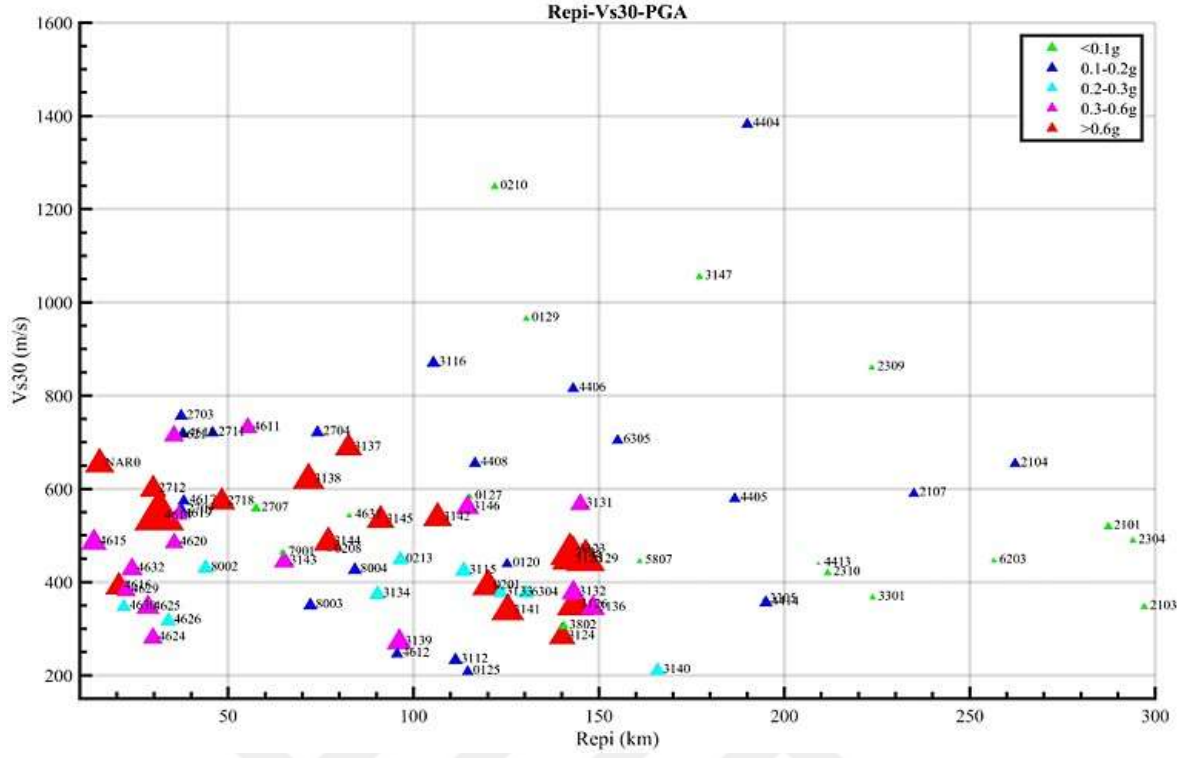
Şekil 29. V_{s30} -PGA değişimi. (a) Pazarcık. $M_w=7.7$ ve (b) Elbistan $M_w=7.6$ depremleri için değişimler

- Episantr- V_{s30} -PGA Dağılımı

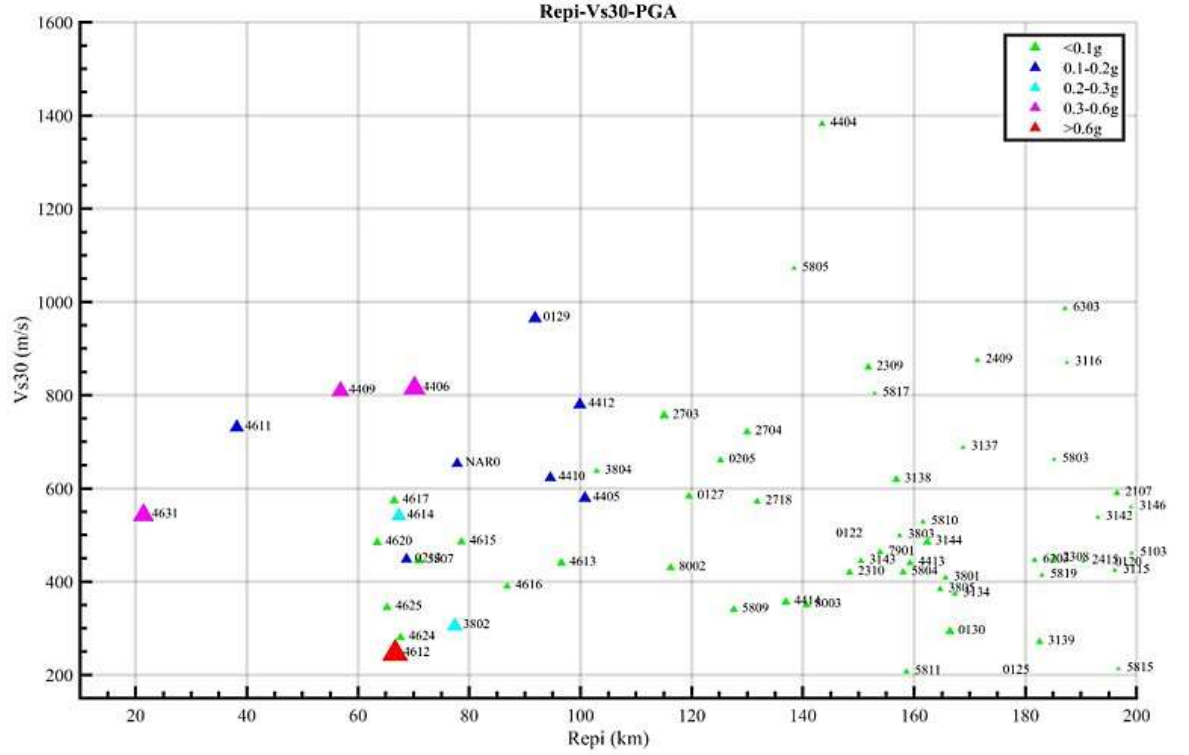
Şekil 30 ve 31, PGA değerlerinin episantr uzaklığı ve V_{s30} değerlerine göre dağılımını göstermektedir. Pazarcık $M_w=7.7$ depremi için ~ 150 km uzaklığa ve $V_{s30} < 800$ m/s değerine kadar genel olarak oldukça yüksek ivmeler ölçülürken, Elbistan $M_w=7.6$ depreminde ise ~ 80 km uzaklığa ve $V_{s30} < 900$ m/s değerine kadar yüksek ivmeler ölçülmüştür. Şekil 30'daki dağılıma göre ivme değerlerinin ~ 150 km'den sonra ve Şekil 31'deki dağılıma göre ise ~ 80 km'den sonra ivme değerlerinin 200 cm/s^2 değerinin altına düşmesi, ivme değerinin azalmasının episantr uzaklığına yüksek oranda bağlı olduğunu göstermektedir. Şekil 30'da 3140 nolu Hatay-Samandağ istasyonu $R_{epi}=166.04$ km uzakta olmasına rağmen, en büyük yatay ivme değerinin $PGA=218.71 \text{ cm/s}^2$ (D-B) olması dikkat çekmektedir. Bu istasyonun V_{s30} değeri 210 m/s olduğu göz önüne alındığında, bu uzaklıkta ölçülen ivme değerinin orta yüksek seviyede olması V_{s30} değeri ile doğrudan ilişkili olduğunu düşündürmektedir. Diğer yandan, $0-150$ km aralığında yaklaşık aynı uzaklıktaki istasyonlarda birbirinden oldukça farklı ivmeler ölçüldüğü görülmektedir. Mesela, Gaziantep-Nizip 2704 ($R_{epi}=72.18$ km, $V_{s30}=721 \text{ m/s}$, $PGA=185.73 \text{ cm/s}^2$ (D-B)) ve Osmaniye-Merkez 8003 ($R_{epi}=74.18$ km, $V_{s30}=350 \text{ m/s}$, $PGA=160.63 \text{ cm/s}^2$ (D-B)) nolu istasyonlar arasında ~ 2 km mesafe olmasına karşılık, V_{s30} değerlerine göre ölçülen ivme değerleri ters bir davranış göstermektedir. Normal olarak aynı uzaklık için düşük V_{s30} değerine sahip istasyonda daha yüksek ivme beklentisi olmasına karşılık, V_{s30} değeri yüksek olan 2704 nolu istasyonda 8003 istasyonuna

göre daha yüksek ivme değeri ölçülmüştür. Diğer yandan 3138 Hatay-Hassa istasyonu 2704 istasyonu ile aynı episantr uzaklığına ($R_{epi}=71.69$ km) ve yakın V_{s30} değerlerine ($V_{s30}=619$ m/s) sahiptir. Ancak, Hassa istasyonunda ölçülen en büyük yatay $PGA=888.73$ cm/s²'dir. Bu değer 2704'de ölçülen ivme değerinin ~4.8 katıdır. Benzer karşılaştırmalar birçok istasyon çifti için yapılabilir.

Elbistan $M_w=7.6$ depreminin ivme dağılımının gösterildiği Şekil 31'de ilginç bir farklılık, Malatya-Akçadağ 4406 ($R_{epi}=70.17$ km, $V_{s30}=815$ m/s, $PGA=467.20$ cm/s² (K-G)) ve Sivas-Gürün 5807 ($R_{epi}=70.93$ km, $V_{s30}=445$ m/s, $PGA=93.26$ cm/s² (K-G)) arasında görülmektedir. Hemen hemen aynı episantr uzaklıklarına sahip olmalarına ve 5807 nolu istasyonun V_{s30} değeri daha düşük olmasına rağmen, 4406 istasyonunda daha yüksek ivme değeri ölçülmüştür. Diğer yandan Kahramanmaraş-Göksun 4612 ($R_{epi}=66.68$ km, $V_{s30}=246$ m/s, $PGA=635.44$ cm/s² (K-G)) ve Kahramanmaraş-Onikişubat 4624 ($R_{epi}=67.65$ km, $V_{s30}=280$ m/s, $PGA=79.74$ cm/s² (K-G)) nolu istasyonlarda ölçülen ivme değeri arasındaki büyük farklılık son derece dikkat çekicidir. Hemen hemen tüm tanımlayıcı değerleri birbirine oldukça yakın olan bu iki istasyonda ivme değerlerindeki bu farklılıklar episantr uzaklığı ve V_{s30} değerleri ile açıklanamadığına göre başka parametrelere ihtiyaç olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, her iki fayın türü aynı olduğuna göre (sol yönlü doğrultu atımlı faylar), istasyonların fayın hareket doğrultusuna göre konumları ve yeraltı ana kaya topoğrafyası ölçülen ivme değerleri üzerinde etkili olabilecek parametreler olarak incelenmelidir.



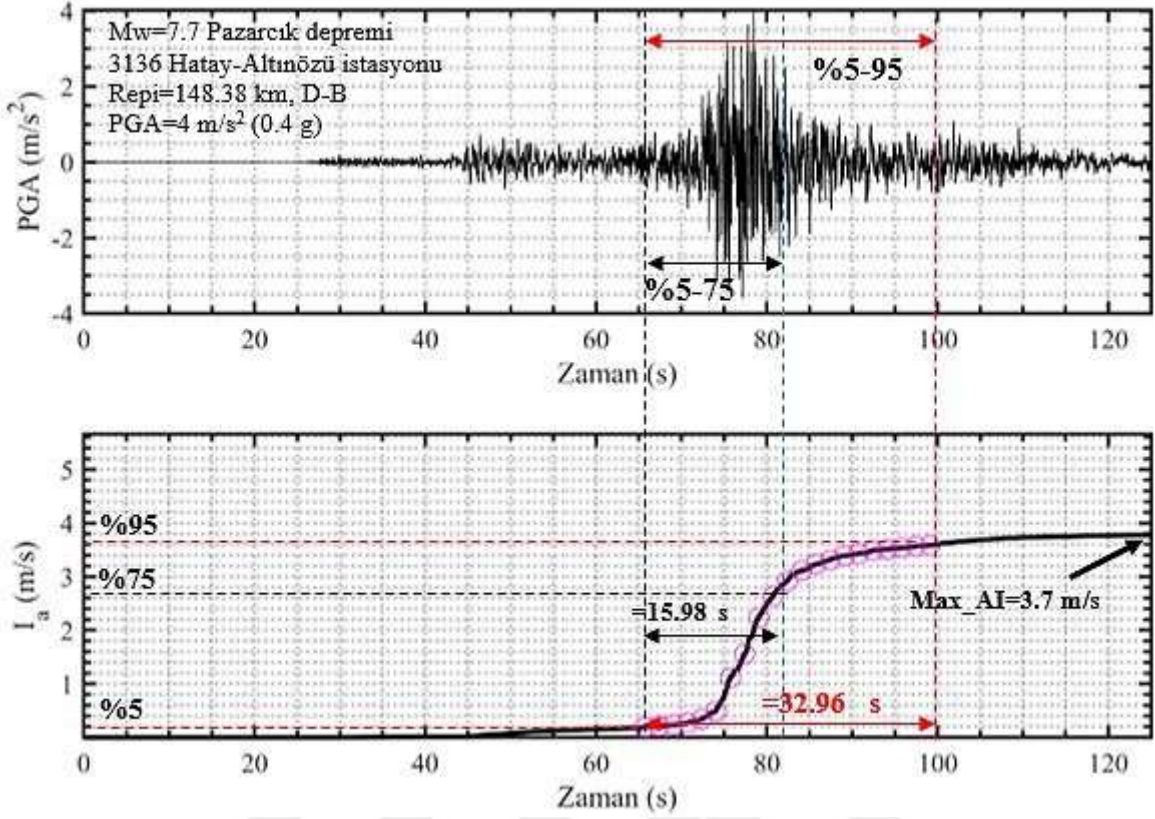
Şekil 30. Pazarcık $M_w=7.7$ depremi için episantr uzaklığı- V_{s30} -PGA dağılımı



Şekil 31. Elbistan $M_w=7.6$ depremi için episantr uzaklığı- V_{s30} -PGA dağılımı

2.5. Spektrum ve Arias Şiddeti İçin Örnek Hesaplamalar

Teorik temelleri ve fiziksel özellikleri önceki bölümlerde anlatılan Fourier ve sözde elastik tepki spektrumları ve Arias şiddeti kavramları için örnek hesaplamalar yapılmıştır. Bunun için iki farklı istasyon verisi kullanılmıştır. İlk olarak 3136 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisi için Arias şiddeti, daha sonra 2703 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisi için spektrumlar hesaplanarak açıklanmıştır. Şekil 32, Arias şiddeti için belirtilen süre ve kümülatif şiddet (enerji yoğunluğu) değerinin bir örnek hesaplamasını ve süre sınırlarını göstermektedir. Örnek veri olarak 6 Şubat 2023 Pazarcık $M_w=7.7$ depreminin Hatay-Altınözü 3136 nolu istasyonunda kaydedilen ivme kaydı kullanılmıştır. Belirtilen yüzde oranlarda hesaplanan süreler ‘etkin (veya önemli) süre (significant duration)’ olarak tanımlanır. Buna göre, %5-95 aralığında depremin etkin süresi 32,96 s iken, %5-75 aralığında 15.98 s olarak hesaplanmıştır. Bu ivme kaydı için en büyük Arias şiddeti 3.7 m/s olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, istasyonun bulunduğu çevrenin güçlü bir sarsıntıya maruz kaldığını ve uzun periyotlu yapıların (yüksek kat binalar, köprüler) zorlandığı anlamına gelir. Arias şiddeti depremin zemine aktardığı enerji yoğunluğunu, dolayısıyla bir nevi yıkıcı gücünü ve depremin etkin olarak hangi zamanda başlayıp hangi zamanda zayıfladığını göstermektedir. Hesaplanan Arias şiddeti değeri 3.7 m/s’dir. Bu değer, depremin kinetik enerjisinin bu istasyon ve civarında 3.7 m/s’lik bir yer değiştirme hızı ile boşaldığı ya da saniyede 3.7 m yer değiştirmeye neden olacak bir iş yapıldığı şeklinde de düşünülebilir.



Şekil 32. %5 (güçlü hareket evresinin başlangıcı), %75 ve %95 (güçlü hareket evrelerinin sonu) etkin sarsıntı süreleri ilkesi. 6 Şubat 2023 Pazarcık depremi ($M_w=7.7$) sırasında Hatay-Altınözü istasyonundaki ivme kaydı (üstte) ve Arias şiddeti (veya Hsuid grafiği) eğrisi (altta). Bu veri için, T_{5-75} için $\varepsilon_1=65.71$ s ve $\varepsilon_2=81.69$ s, T_{5-95} için $\varepsilon_1=65.71$ s ve $\varepsilon_2=98.67$ s olarak belirlenmiştir. Buna göre, $D_{5-75}(\varepsilon_1,\varepsilon_2)=15.98$ s ve $D_{5-95}(\varepsilon_1,\varepsilon_2)=32.96$ s'dir

Şekil 33, Pazarcık $M_w=7.7$ büyüklüğündeki depreminin Kahramanmaraş-Pazarcık'daki 4616 nolu istasyonunda kaydedilen ivme kaydı için hesaplanan Fourier ve sözde elastik tepki spektrumlarını ve Arias şiddeti eğrilerini göstermektedir. Şekil 33a episantr uzaklığı 20.54 km olan 4616 nolu istasyonda kaydedilen ivme kaydının K-G bileşenine göre istasyon civarındaki yapıların $PGA=0.65$ g'lık bir ivme kuvveti ve Şekil 33b'deki Arias şiddeti eğrisine göre 41.78 s kadar süreyle etkin olarak sarsıldığı anlaşılmaktadır. Ayrıca, en büyük Arias şiddeti değeri $I_a=6.97$ m/s elde edilmiştir. Bu değer, depremin kinetik enerjisinin bu istasyon ve civarında 6.97 m/s'lik bir yer değiştirme hızı ile boşaldığı ya da saniyede 6.97 m yer değiştirmeye neden olacak bir iş yapıldığı şeklinde değerlendirilebilir. Şekil 33c ivme kaydının Fourier spektrum genliğinin frekansa göre değişimi göstermektedir. Bu spektrum iki temel bilgiyi taşımaktadır.

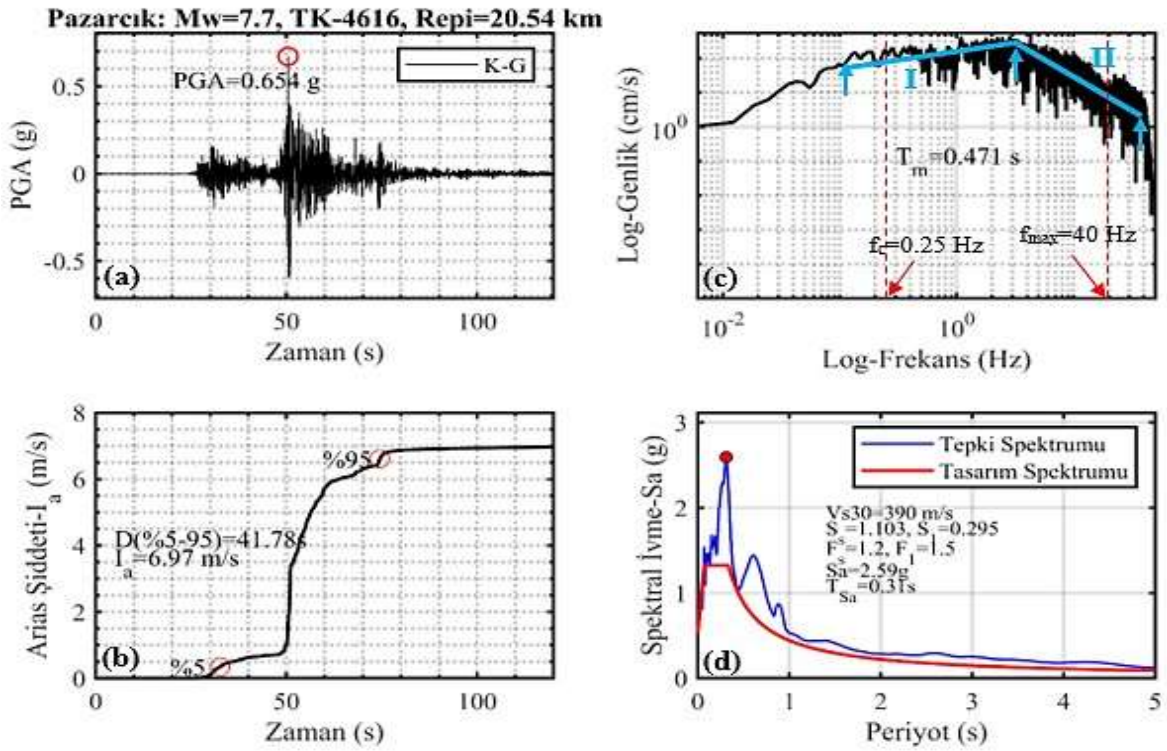
(1) Spektrumun genel şeklinin değerlendirilmesi: Şekil 9'daki karakteristik spektrumlara göre küçük magnitüdü ($M_w \leq 4.0$) depremlerin ivme zaman serilerinin spektral

genlikleri düşük frekanslardan yüksek frekanslara doğru artarken, orta ve büyük magnitüdlü depremlerde ($M_w > 4.0$) düşük frekanslardaki genlikler güçlenerek belirli bir frekans bandına azalma eğilimli plato oluşturmaktadır. Buna göre Şekil 33c'deki spektrum değerlendirildiğinde, spektral eğrinin genel şekli iki parçalı bir görünüm sunmaktadır. 0.1-2.8 Hz aralığında (I nolu parça) spektral genliğin artma, 2.8-40 Hz aralığında (II nolu parça) ise azalan bir eğilimde olduğu görülmektedir. Şekil 9'daki karakteristik eğrilerle karşılaştırıldığında $M_w=7.7$ büyüklüğündeki bir deprem için frekans içeriğinin düz (plato) veya anelastik soğurulmadan dolayı azalan bir eğilimde olması beklenirken, 0.1 Hz'den 2.8 Hz'e artma eğiliminde olması anlamlıdır. Bu durum depremin büyüklüğünün yanında episantr uzaklığının yakın olmasıyla da ilişkilendirilebilir. Ayrıca, Pazarcık $M_w=7.7$ depreminde kırılmanın aşamalı olduğu göz önüne alındığında bir önceki kırılmanın yüksek frekans enerjisi sönmelenirken, ardışık kırılmada yeni bir yüksek frekans enerjisi bir öncekinin üzerine binerek yüksek frekanslara doğru genliğin artmasına neden olmuş olabilir. Bununla birlikte, genel olarak güçlü genlikler 3 Hz'in altında olmakla birlikte, özellikle 1.0 Hz'in altındaki frekanslarda güçlü genliklerin gözlenmesi, artan eğilimli plato şeklinde olması ve yüksek frekanslarda genliklerin hızla azalması, Şekil 9'daki karakteristik eğrilerle karşılaştırıldığında büyük depremlerin karakteristik davranışları ile uyumludur.

(2) Ortalama periyotun, T_m 'in değerlendirilmesi: Fourier genlik spektrumu, bir sinyalin frekans ortamındaki harmonik dalgalarının genliklerini temsil ettiğinden, bir kuvvetli yer hareketinin ivme zaman serisi kaydının frekans içeriğini doğrudan temsil edebilir. Bununla birlikte, depremin magnitüdü, episantr uzaklığı, yerel zemin koşulları ve fayın hareket (veya yırtılma) doğrultusunun (yönelim-directivity etkisi) T_m değeri üzerinde etkisi vardır. 4616 nolu istasyon kaydı için, $T_m=0.471$ s olarak hesaplanmıştır. Bu istasyonun konumu DAFZ içindedir, faya yakındır, fayın yırtılma doğrultusundadır (fayın yüzey izine göre batı tarafında, yani hareket eden sol blok üzerinde ve ileri yönelim-forward directivity) ve zemin grubu ZC olmakla birlikte az sıkı olan ZD zemin ($V_{s30}=390$ m/s) özelliklerine yakındır. Tüm bu özellikler ve depremin büyüklüğü ($M_w=7.7$) göz önüne alındığında $T_m=0.471$ s değeri, kuvvetli yer hareketinin geniş frekans içeriğini karakterize etmektedir. Yani hem alçak hem de yüksek katlı yapıların etkilenebileceği anlaşılabılır.

Şekil 33d, ivme kaydından hesaplanan %5 sönmümlü sözde elastik tepki spektrumunu (mavi renkli eğri) ve bu istasyon için belirlenen spektral katsayılara göre hesaplanan tasarım spektrumunu (kırmızı renkli eğri) göstermektedir. Sözde elastik tepki spektrumu Newmark (1982) eşdeğer yer değiştirme kavramına (doğrusal ivme yöntemi) göre hesaplanmıştır.

Tepki spektrumu, TBDY (2018) yönetmeliğinde belirtilen hesaplama kriterleri ve spektral katsayılar kullanılarak hesaplanmıştır (TDBY (2018)'de Tablo 2.1 ve 2.2). İvme kaydının yapıldığı 4616 nolu istasyonun zemin sınıfı, TBDY (2018) zemin sınıflamasına göre ZC'dir ($V_{s30}=390$ m/s) (nicel olarak ZC'yi temsil etse de 390 m/s değerinin niteliksel olarak az sıkı zemini temsil eden ZD sınıfının üst sınırı 360 m/s'ye çok yakın olduğu dikkate alınmalıdır). Buna göre, hesaplanan ivme tepki spektrumunun (Şekil 33d mavi renkli çizgi) 0.07-0.33 s arasında tasarım spektrumunun (Şekil 33d kırmızı renkli çizgi) platosunu aştığı görülmektedir. İvme tepki spektrumu en büyük değerine, $S_a=2.59$ g'ye $T_{sa}=0.31$ s'de ulaşmıştır ve tasarım spektrumunun plato değeri 1.32 g olduğu dikkate alındığında bu aşımın ~ 2 kat daha fazla ($2.59/1.32=2$) gerçekleştiği, dolayısıyla yapıların oldukça büyük bir kuvvetle sarsıldığı anlaşılmaktadır. Böylece, genel bir yaklaşımla binalarda kat başına periyot değeri 0.1 s göz önüne alındığında, 0.07-0.33 periyot aralığında 3-4 kat veya daha az katlı iskelet yapıları (kolon ve kiriş sistemli) binalar ileri derecede hasar görür. Bununla birlikte ivme tepki spektrumu 0.33-1.0 s arasında tasarım spektrumunun soğurma bölgesinde de aşıldığı, dolayısıyla 3-10 katlı binaların önemli hasarlar aldığı, 1.0-5.0 s arasında bile 10 kattan daha fazla katlı binaların da zarar görebileceği değerlendirilmektedir. Hu vd. (2025) yerinde yaptıkları incelemelerde, 4614, 4615 ve 4616 istasyonlarının bulunduğu çevrelerdeki binaların çoğunun betonarme karkas yapılar olduğunu ve çoğunluğu 2-7 katlı olan binalarda ciddi hasarlar meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Yapılarda kiriş-kolon düğüm noktalarının hasar gördüğü, betonda bölgesel soyulmaların ve donatıların açıkta kaldığı görülmüştür. Bu gözlemler, 4616 nolu istasyon için hesaplanan tepki spektrumlarının gösterdiği kısa süreli (yüksek frekanslı) hasar durumları ile tutarlıdır.



Şekil 33. Örnek bir ivme kaydından hesaplanan spektrumlar ve Arias şiddeti eğrisi. (a) 4616 nolu istasyonda kaydedilen ivme kaydı. (b) Arias şiddeti ve etkin süre. Etkin sürenin hesaplandığı %5 ve %95 sınırları küçük kırmızı renkli dairelerle gösterilmiştir. (c) Fourier genlik spektrumu ve (d) ivme tepki (mavi) ve TBDY (2018)'e göre tasarım spektrumu (kırmızı)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Seçilmiş İstasyonlarda Kaydedilen İvme Zaman Serilerinin Spektral Analizleri

Yer hareketi kayıtlarının analizi, yer hareketinin özelliklerini anlamamanın temelini oluşturur. Bu bölüm, her iki depremin etkin hissedildiği ve önemli hasarlara neden olduğu il ve ilçelerde bulunan, orta ve büyük PGA değerlerine sahip istasyon verilerinin analizlerinden örnekler içermektedir. Göz önüne alınan istasyonlar mümkün olduğunca etkilenen illeri örnekleyecek şekilde olmakla birlikte, burada analizlerine ait şekilleri sunulan istasyonların çoğunluğu hasarın ve can kaybının en fazla olduğu Kahramanmaraş, Hatay, Malatya, Gaziantep, Osmaniye ve Adıyaman illerinde yer almaktadır. Hesaplanan tüm parametreler “Kuvvetli Yer Hareketi Parametreleri-KYHP” olarak isimlendirilecektir. Böylece, bu istasyonların ivme zaman serilerinden elde edilen KYHP arasında neden yüksek ve düşük olduğuna dair bir karşılaştırma yapılarak tartışılmıştır. Her iki deprem için bu çalışmada göz önüne alınan tüm KYHP Ek Tablo 1’de (Pazarcık) ve Ek Tablo 2’de (Elbistan) listelenmiştir. İzleyen şekiller her bir kuvvetli yer hareketinin ilgili istasyonda kaydedilen ivme zaman serisine ait aşağıdaki bilgileri içermektedir.

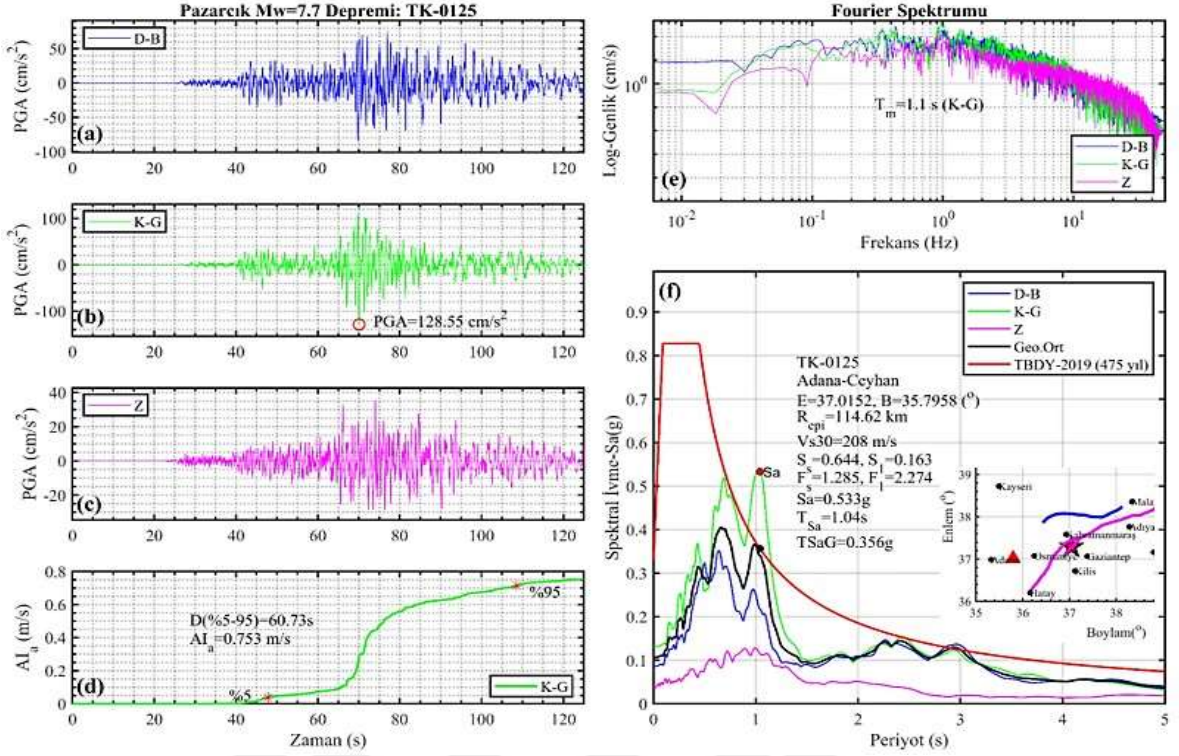
- a) İstasyonda kaydedilen her bir bileşenin ivme zaman serisi.
- b) En büyük PGA değeri hangi bileşende ölçüldüyse o bileşene ait ivme zaman serisinde belirtilmiştir.
- c) En büyük PGA’nın ölçüldüğü bileşen için hesaplanan Arias şiddeti eğrisi: yığinsal Arias şiddeti değeri (AI_a) ve %5-95 etkin süre ($D(\%5-95)$).
- d) Üç bileşene ait Fourier genlik spektrumu ve en büyük PGA’nın ölçüldüğü bileşenin Fourier spektrumundan hesaplanan ortalama periyot, T_m .
- e) Her üç bileşen için hesaplanan sözde elastik tepki spektrumları:
 - İstasyonun kodu, ili ve ilçesi,
 - İstasyonun episantr uzaklığı ve V_{s30} değeri,
 - İstasyonun zemin sınıfı (V_{s30} değerine göre) ve DD-2 deprem düzeyi için TBDY (2018) TDTH’den elde edilen spektral ve zemin etki katsayıları kullanılarak hesaplanan tasarım tepki spektrumu,
 - Hesaplanan en büyük spektral ivme değeri (S_a) ve periyodu (T_{sa}),

- Hesaplanan en büyük spektral ivme değerine karşılık gelen tasarım spektral ivme değeri (TSaG),
- Yatay bileşenlerin (D-B ve K-G) geometrik ortalama eğrisi (siyah),
- İstasyonun fayın uzanımına ve depremin episantr noktasına göre konumu.

Sunulan her bir şekil, altı alt şekli içermektedir. Bu alt şekiller, sırasıyla “(a) D-B, (b) K-G, (c) Z-bileşenler, (d) en büyük PGA’nın ölçüldüğü zaman serisi için hesaplanan Arias şiddeti eğrisi: yığınal Arias şiddeti, AI_a ve D(%5-95) etkin süresi, (e) bileşenlere ait Fourier genlik spektrumları: En büyük PGA’nın ölçüldüğü zaman serisi için hesaplanan ortalama periyot, T_m , (f) sözde elastik tepki ve tasarım spektrumları: yatay bileşenler (D-B ve K-G) için hesaplanan geometrik ortalama (siyah), hesaplanan en büyük spektral ivme (S_a) ve istasyonun (kırmızı üçgen) fayın uzanımına ve episantr noktasına göre konumunu” göstermektedir.

3.1.1. Pazarcık $M_w=7.7$ Depreminin İvme Zaman Serileri

Pazarcık $M_w=7.7$ depremi için tüm KYHP (AFAD’dan temin edilen ve bu çalışmada hesaplananlar) Ek Tablo 1’de sunulmuştur. Şekil 34, depremin merkez üssünün güneybatısında kalan ve episantr uzaklığı $R_{epi}=114.62$ km olan Adana-Ceyhan ilçesindeki TK-0125 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serilerinin analizlerini göstermektedir. İstasyon ZD ($V_{s30}=208$ m/s) zemin (orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları) sınıfındadır. TDTH’nda bu istasyon için tahmin edilen pik ivme değeri 281 cm/s^2 olduğu göz önüne alındığında, K-G bileşeninde ölçülen en büyük ivme değeri ($PGA=128.55 \text{ cm/s}^2$) beklenen ivme değerinden düşüktür. Hesaplanan ivme tepki spektrum (sözde elastik tepki spektrumu) değerleri genel olarak tasarım spektrum değerlerinden düşüktür. En büyük spektral ivme değeri K-G bileşeni için $T_{sa}=1.04$ s’de $S_a=0.533$ g olarak hesaplanmıştır. Ancak sadece yatay K-G bileşeni için eğrinin sönüm tarafında 0.9-1.1 s periyot aralığında tasarım spektral değerler aşılmıştır. PGA ve spektral ivmeler düşük olsa da etkin sarsıntı süresinin, $D(\%5-95)=60.73$ s uzun olması sarsıntının etkin hissedilmesinin önemli bir nedenidir ve özellikle 9-11 katlı binaların sarsıntıdan etkilenmiş olduğuna işaret etmektedir.

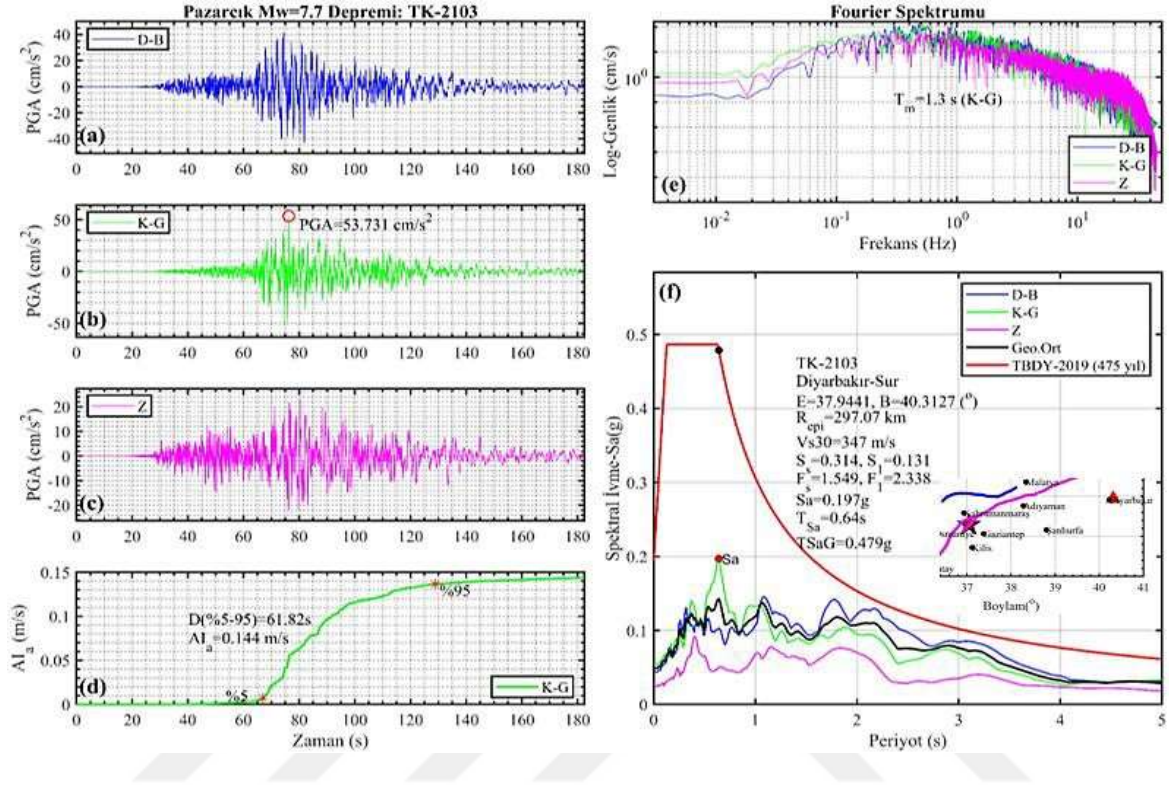


Şekil 34. TK-0125 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

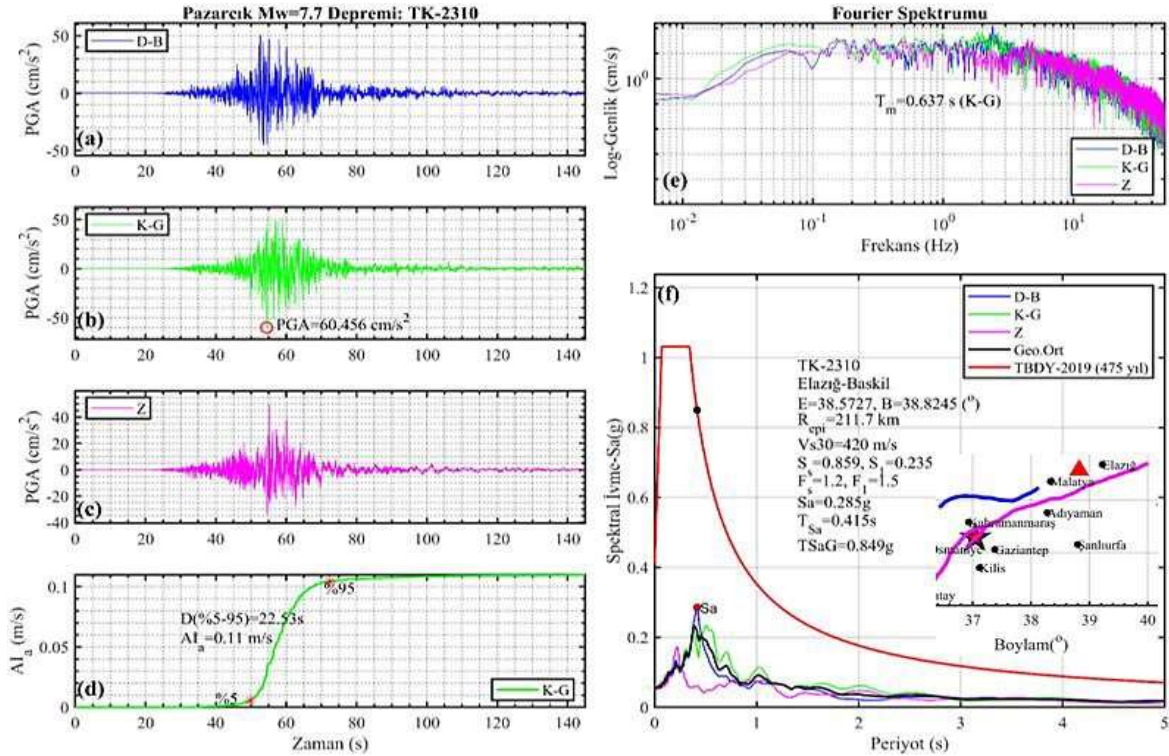
Şekil 35, depremin merkez üssünün kuzeydoğusunda kalan ve episantr uzaklığı $R_{epi}=297.07$ km olan Diyarbakır-Sur ilçesindeki TK-2103 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serilerinin analizlerini göstermektedir. İstasyon ZD ($V_{s30}=347$ m/s) zemin (orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları) sınıfındadır. En büyük PGA K-G bileşeninde 53.731 cm/s^2 ölçülmüş olup, TDTH üzerindeki tahmin edilen değeri olan 140 cm/s^2 'den düşüktür. İvme tepki spektrum değerleri tasarım tepki spektrum değerlerinden oldukça düşük olmakla birlikte, depremin etkin süresi $D(\%5-95)=61.82$ s (~ 1.0 dakika) ölçülmüştür. Bu değerlere göre depremin etkisi istasyonun bulunduğu yerin yakın çevresinde yönetmeliklere göre imal edilmiş betonarme binalarda uzun süreli hissedilmiş olabilir, ancak hasara neden olma ihtimali çok zayıftır.

Şekil 36, depremin merkez üssünün kuzeydoğusunda kalan ve episantr uzaklığı $R_{epi}=211.7$ km olan Elazığ-Baskil ilçesindeki TK-2310 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serilerinin analizlerini göstermektedir. İstasyon ZC ($V_{s30}=420$ m/s) zemin (çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar) sınıfındadır. En büyük PGA K-G bileşeninde 60.456 cm/s^2 ölçülmüş olup, TDTH üzerindeki tahmin edilen değeri olan 360 cm/s^2 'den oldukça düşüktür. İvme tepki spektrum değerleri tasarım tepki spektrum değerlerinin altında kalmış olup, istasyon depremin etkin süresi nispeten kısadır.

$D(5-95)=22.53$ s yönetmeliklere göre inşaa edilmiş yapılarda hasar yapıcı bir etkisi oldukça zayıftır.



Şekil 35. TK-2103 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



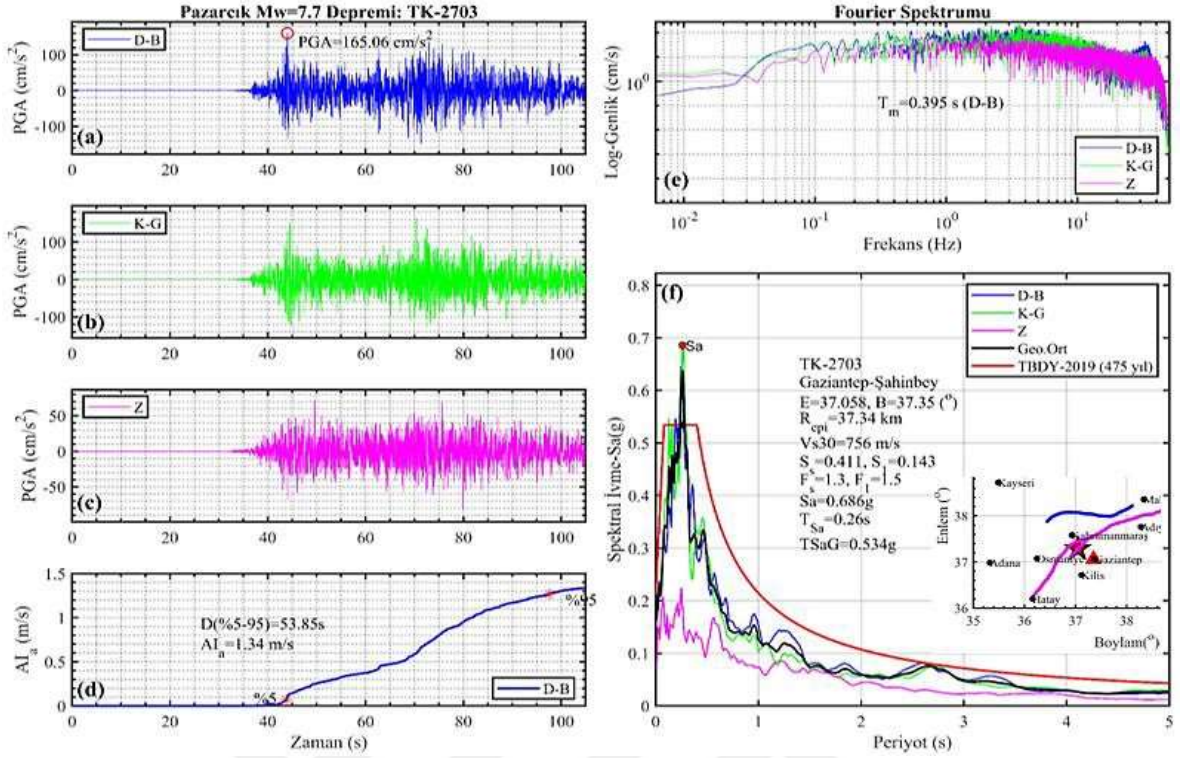
Şekil 36. TK-2310 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

Şekil 37, 38 ve 39 sırasıyla, depremin episantr noktasının güneydoğusunda, $R_{epi}=37.34$ km'deki Gaziantep-Şahinbey ilçesindeki TK-2703 nolu, güneybatısında fay zone içinde $R_{epi}=29.79$ km'deki Gaziantep-Nurdağı ilçesindeki TK-2712 nolu ve güneybatısında fay zone içinde $R_{epi}=48.3$ km'deki Gaziantep-Nurdağı TK-2718 nolu istasyonunda kaydedilen ivme zaman serilerinin analizlerini göstermektedir. Üç istasyonunun bulunduğu zemin ZC (sırasıyla, $V_{s30}=756$ m/s, 599 m/s, 562 m/s) (çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar) sınıfındadır. Hesaplanan KYHP Şekil 37, 38, 39'da verilmiştir. En büyük PGA değerleri, TK-2703 nolu istasyonda D-B (165.06 cm/s²), TK-2712 nolu istasyonda D-B (638.29 cm/s²) ve TK-2718 nolu istasyonda K-G bileşeninde (654.43 cm/s²) ölçülmüştür. Bu istasyonlar için TDTH'nda tahmin edilen ivme değerleri 175 cm/s² (TK-2703), 496 cm/s² (TK-2712) ve 563 cm/s² (TK-2718) olarak verilmiştir. Her üç istasyon için tahmin edilen PGA değerlerinin gerçekleşen PGA değerlerinden küçük olduğu görülmektedir. TK-2712 ve TK-2718 nolu istasyonlar DAF'ın hareket (yırılma) doğrultusunda (KD-GB Sol yönlü) yer alırken, TK-2703 nolu istasyon güneydoğuda yer almaktadır. TK-2703 nolu istasyon TK-2718 istasyonuna göre depremin episantrına daha yakinken, gerçekleşen ivme değeri ~ 4 kat daha düşüktür. Bu durumun nedeninin ileri yönelim (forward directivity) etkisi ve episantr uzaklıklarına göre fayın yırılma düzlemine

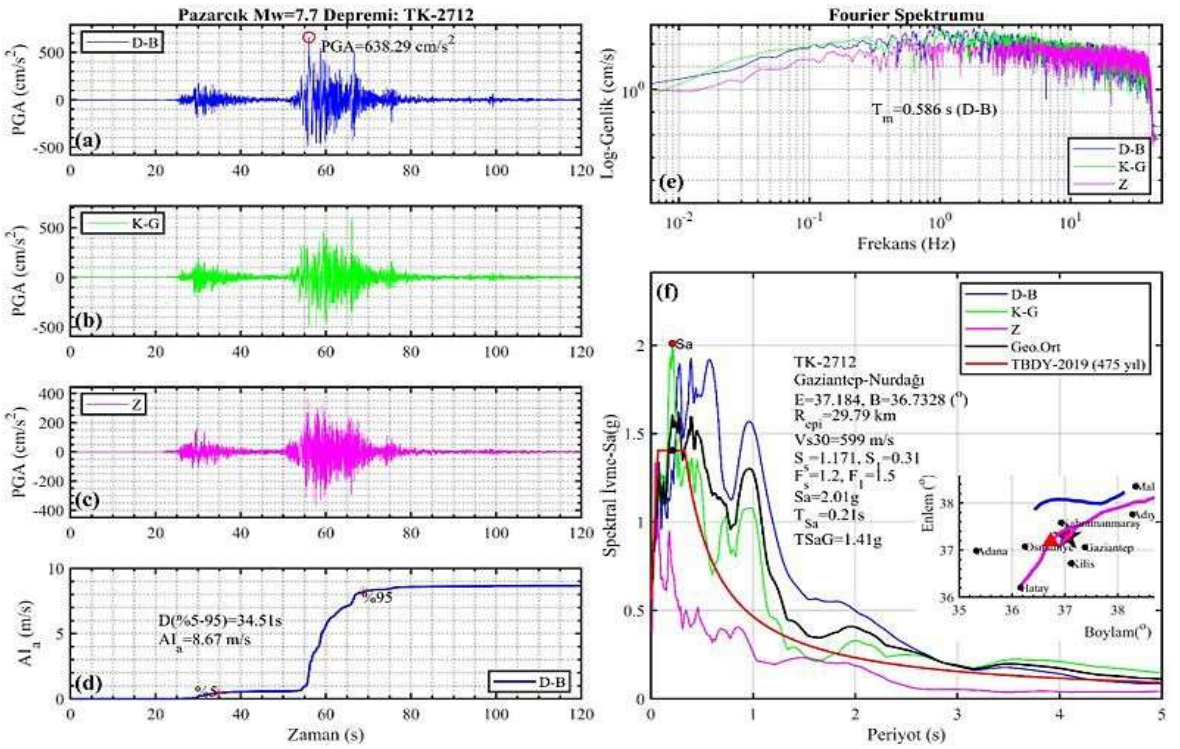
olan yakınlıkla (TK-2703 için $R_{rup}=32.44$ km, TK-2712 için $R_{rup}=11.58$ km ve TK-2718 için $R_{rup}=2.1$ km) doğrudan ilişkili olduğu düşünülmektedir. TK-2703 istasyonu konum olarak TK-2712 ve TK-2718 istasyonlarından farklı olarak fay izinden 37.34 km doğu tarafındandır.

Gerçekleşen spektral ivmeler açısından değerlendirildiğinde, 2703 nolu istasyonda ivme tepki spektrumu sadece plato bölgesinde $T_{sa}=0.25$ s civarında $S_a=0.686$ g (K-G bileşeninde) değerine ulaşarak tasarım spektral ivme değerlerini aşmıştır. 2712 nolu istasyonda ivme spektrumu tasarım spektrumunu plato bölgesinde 0.16-0.32 s aralığında, plato bölgesi dışında ise tüm periyotlarda aşmıştır. 2718 nolu istasyonda ise, 2712 nolu istasyondaki duruma benzer bir davranış gözlenmekle birlikte, plato dışında uzun periyot bölgesinde tasarım spektral değerlerin aşımı daha düşüktür. Her üç istasyonda düşey spektral ivmelerin yataylara göre düşük olduğu dikkat çekmektedir. Bununla birlikte, 2703 nolu istasyonda spektral ivmeler dar bir periyot aralığında etkin iken, 2712 ve 2718 nolu istasyonlarda tasarım değerlerini aşmalarının ötesinde geniş bir periyot aralığında oldukları gözlenmektedir. Özellikle 2718 nolu istasyondaki ivme zaman serisindeki çoklu dalga paketleri dikkat çekmektedir. Zemin sınıfı ZC (sıkı ve katı zeminler) olmasına rağmen, 2712 nolu istasyonun D-B bileşenin tepki spektrumu 0.5-2.5 s arasında uzun periyotlarda açık bir şekilde, havza yapısına-temel kaya topoğrafyasına bağlı olabilecek bir zemin büyütmesine işaret etmektedir.

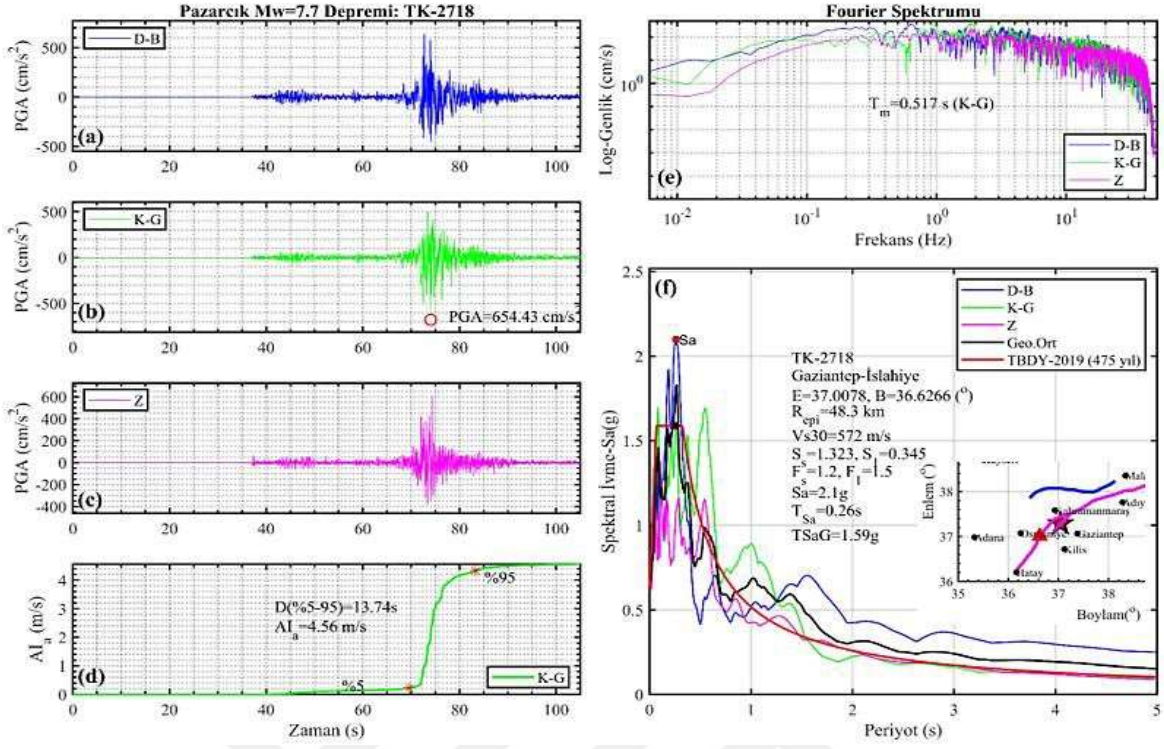
Arias şiddeti eğrileri açısından değerlendirildiğinde 2703 nolu istasyonda etkin sürenin 2712 ve 2718 nolu istasyonlara göre uzun olduğu, ancak Arias şiddetinin düşük olduğu görülmektedir. Özellikle 2712 nolu istasyonda hesaplanan Arias şiddetinin 8.67 m/s gibi bir değer olması depremin kısa sürede (34.51 s) ancak çok yüksek bir enerji ile sarstığını açıklamaktadır ve bu da bölgedeki yıkımların en açık nedeni olabilir. Öyle ki, arazideki ilk gözlemler çok fazla yıkımın bu bölgede yoğunlaştığını göstermektedir. Ortalama periyot T_m , 2703, 2712 ve 2718 nolu istasyonların zaman serisinden, sırasıyla 0.395 s, 0.586 s ve 0.517 s olarak hesaplanmıştır. Bu değerlere göre, her üç istasyonda görece düşük-orta frekanslı dalgalar daha etkin olmuştur.



Şekil 37. TK-2703 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



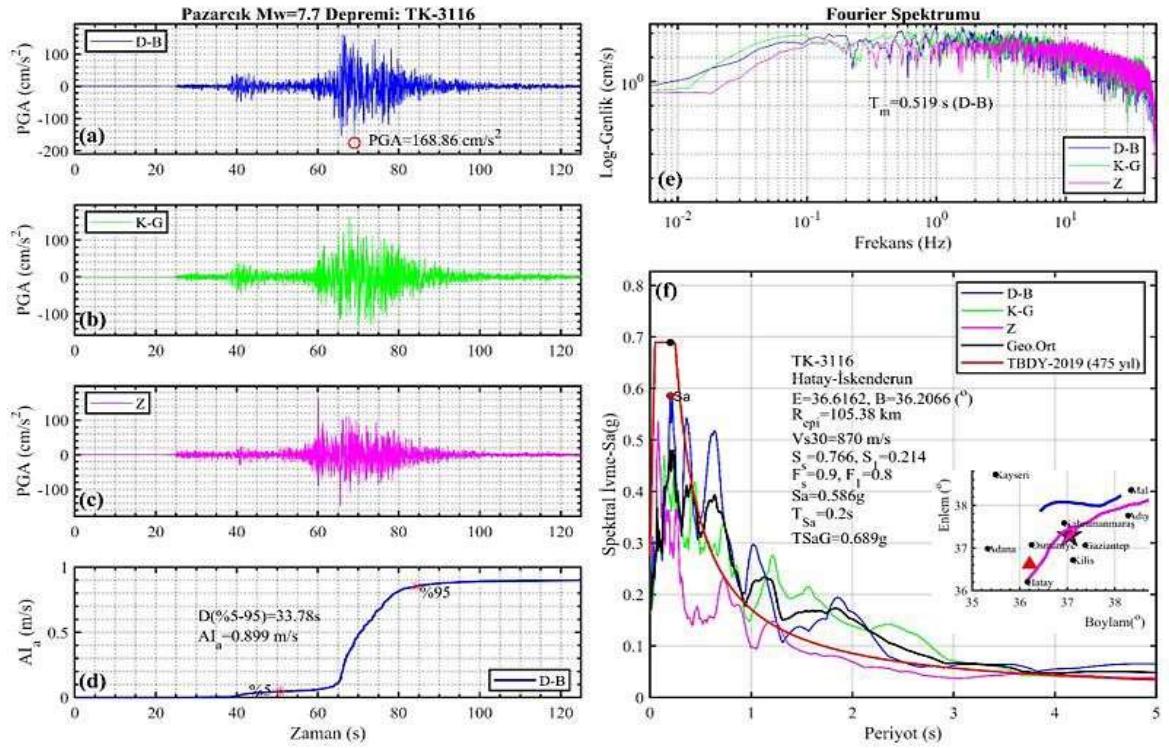
Şekil 38. TK-2712 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



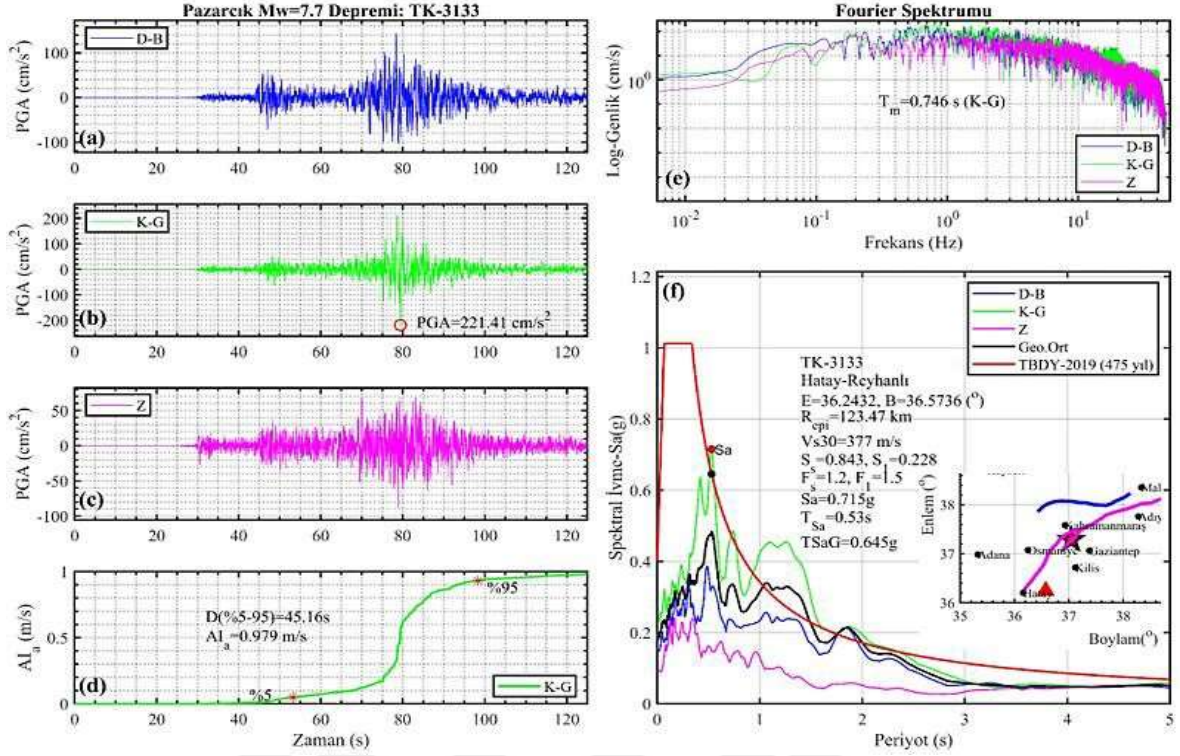
Şekil 39. TK-2718 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

Şekil 40 ve 41 sırasıyla $R_{epi}=105.38$ km'deki Hatay-İskenderun ilçesindeki TK-3116 ve $R_{epi}=123.47$ km'deki Hatay-Reyhanlı İlçesindeki TK-3133 nolu istasyonlarda kaydedilmiş ivme zaman serilerinin analizlerini göstermektedir. TK-3116 nolu istasyon fay uzanımına göre batı, TK-3133 nolu istasyon ise doğu tarafında konumlanmıştır. TK-3116 nolu istasyonun bulunduğu zemin sınıfı ZB (az ayrılmış, orta sağlam kayalar) iken, TK-3133 nolu istasyonun ZC'dir. Her iki istasyondaki zaman serileri benzer dalga formlarına sahiptir. Daha yakın olan TK-3116 nolu istasyonda $PGA=168.86$ cm/s² (D-B), ~18 km daha uzakta olan TK-3133 nolu istasyonda $PGA=221.41$ cm/s² (K-G) olarak ölçülmüştür. Her iki istasyon için hesaplanan ivme tepki spektral değerlerin tasarım spektral değerleri plato bölgesinde aşmadığı, tasarım eğrisinin sönüm bölgesinde, TK-3116'da 0.5-3.0 s arasında, TK-3133'de 0.5-2.0 s arasında aştığı görülmektedir. Her iki istasyonda uzun periyotların tasarım spektral değerleri aşması zemin büyütmesini işaret etmektedir. Bununla birlikte, en büyük spektral ivmeler daha uzak olan TK-3133'de K-G bileşeninde $S_a=0.715$ g ($T_{sa}=0.53$ s'de) hesaplanırken, TK-3116'da D-B bileşeninde $S_a=0.586$ g ($T_{sa}=0.2$ s'de) hesaplanmıştır. Böylece, daha uzakta olan ve zemin sınıfı ZC olan TK-3133 nolu istasyonda PGA ve S_a değerlerinin, daha yakın ve zemin sınıfı ZB olan TK-3116'daki aynı değerlerinden büyük olması, görece daha az dayanımlı zayıf zeminlerin büyütme özelliklerini göstermektedir.

Arias şiddeti, etkin süre ve ortalama periyot açısından da TK-3133 nolu istasyon için hesaplanan değerlerin ($D(5-95)=45.16$ s, $AI_a=0.979$ m/s, $T_m=0.746$ s) TK-3116'dakilerden ($D(5-95)=45.16$ s, $AI_a=0.979$ m/s, 0.519 s) büyük olması TK-3133 nolu istasyon çevresinin zemin karakterinin daha zayıf ve nispeten daha kalın olabileceğini vurgulamaktadır. TK-3116 çevresinde yüksek frekanslı dalgalar daha etkin hissedilirken, TK-3133 çevresinde görece daha düşük frekanslı sismik dalgalar etkin hissedilmiştir. Her iki istasyonun yakın çevresinde ≥ 5 katlı yapıların sarsıntıdan değişik seviyelerde (sarsılma, hasar alma, yıkılma gibi) etkilendiği açıktır.



Şekil 40. TK-3116 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



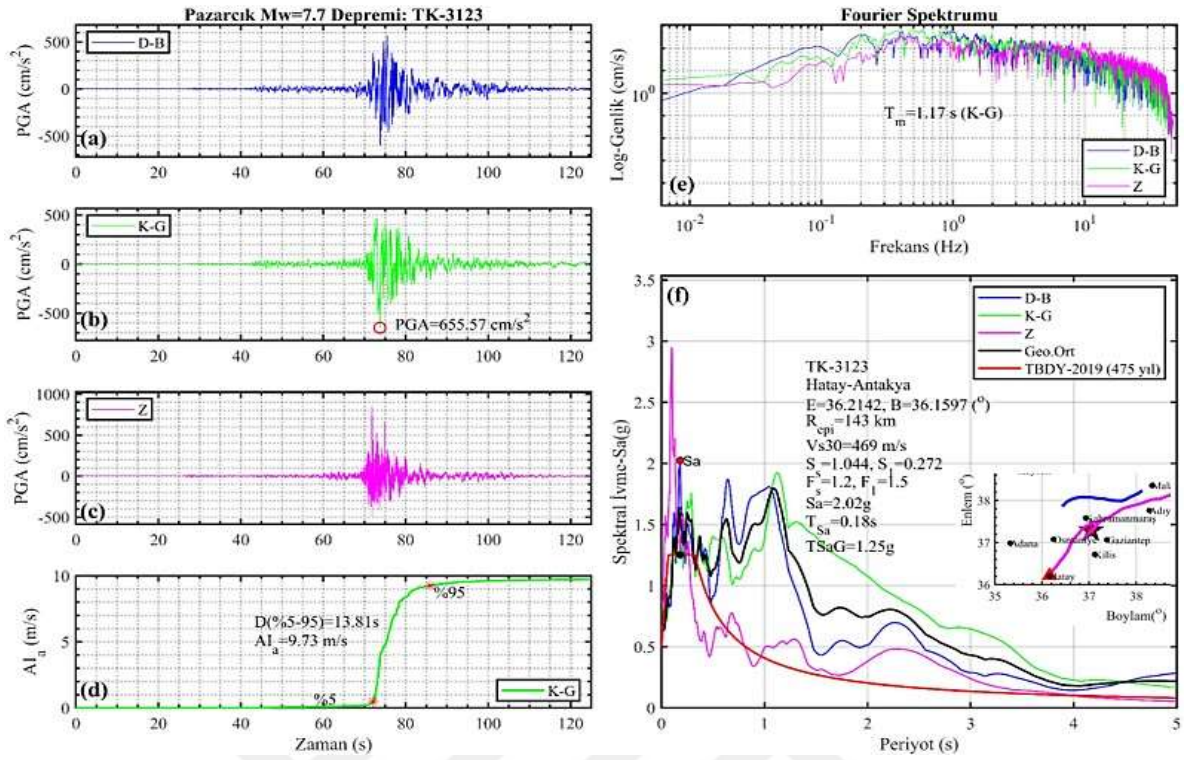
Şekil 41. TK-3133 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

Pazarcık $M_w=7.7$ depreminin en fazla etkili olduğu ve bu kapsamda yapılarda ileri derecede hasarlara, yıkımlara ve ölümlere neden olduğu yerlerden biri Hatay ili ve ilçeleridir. Hatay il sınırları içinde bulunan 31 kodlu 25 adet istasyondan depremin kuvvetli yer hareketini kaydeden tüm istasyonlardaki ivme zaman serileri analiz edilmiştir. Ancak burada örnekleme için bazıları sunulmuştur.

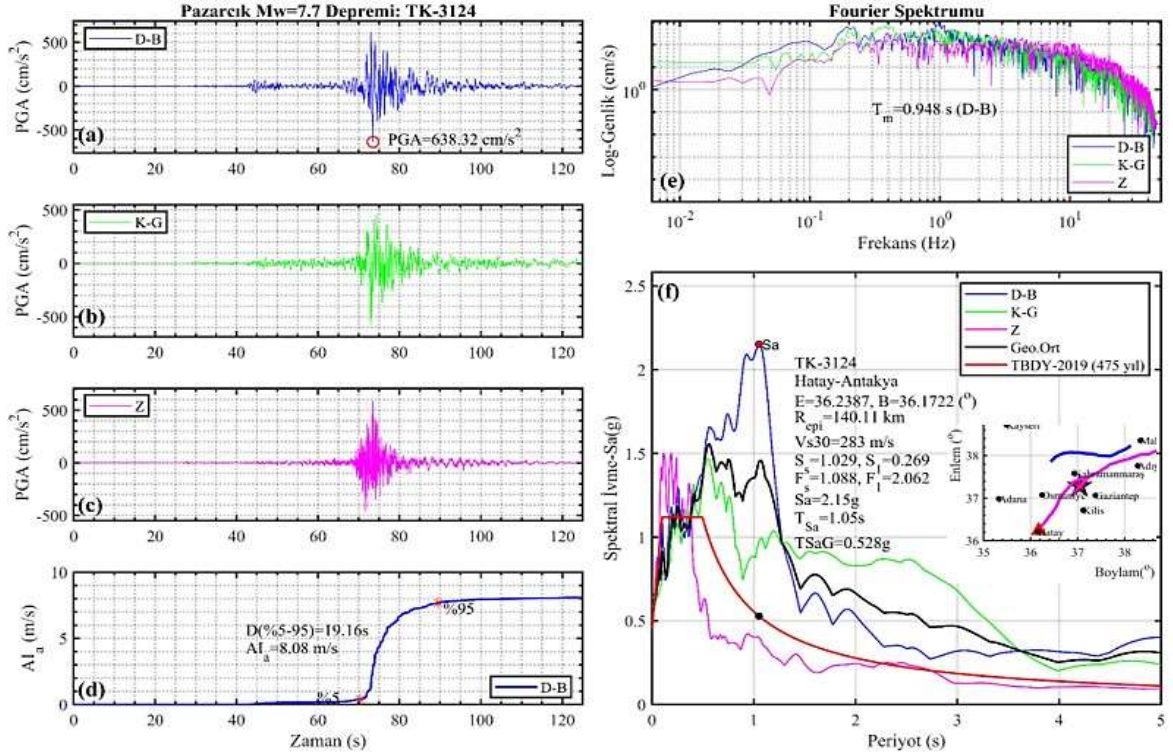
Şekil 42'den 46'ya sunulan şekiller, Hatay-Antakya'da bulunan, TK-3123 ($R_{epi}=143$ km, $PGA=655.57$ cm/s² (K-G), $V_{s30}=469$ m/s), 3124 ($R_{epi}=140.11$ km, $PGA=638.32$ cm/s² (D-B), $V_{s30}=283$ m/s), 3125 ($R_{epi}=142.15$ km, $PGA=1121.9$ cm/s² (D-B), $V_{s30}=448$ m/s), 3126 ($R_{epi}=143.54$ km, $PGA=1178.1$ cm/s² (K-G), $V_{s30}=350$ m/s) ve 3141 ($R_{epi}=125.42$ km, $PGA=961.12$ cm/s² (K-G), $V_{s30}=338$ m/s) nolu istasyonlarda kaydedilen ivme zaman serilerinin analizini göstermektedir. TK-3124, 3126 ve 3141'in zemin sınıfları ZD, TK-3123 ve 3125'in ZC'dir. TK-3123, 3124, 3125 ve 3126 nolu istasyonların episantr uzaklıklarının birbirine ± 3 km kadar yakın ve TK-3141'in episantr uzaklığının ise 125.42 km olduğu görülmektedir. Dolayısıyla TK-3141 nolu istasyon deprem episantr noktasına diğerlerine göre ~ 18 km daha yakındır. Tüm istasyonlarda ölçülen yer ivmesi değerleri 600 cm/s²'den daha fazladır ve TK-3125 ile 3126'da 1000 cm/s²'in üzerinde değerler ölçülmüştür. Gerçekleşen spektral ivme eğrileri ile tasarım ivme eğrileri karşılaştırıldığında, tüm

istasyonlarda tasarım ivmelerinin hem plato bölgesinde hem de sönüm kısmında çok fazla aşıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, TK-3123 ve 3124 nolu istasyonlarda ivme tepki spektrumunun plato bölgesinin dışındaki 1.0 s'den daha büyük periyotlarda yüksek değerlerde olması oldukça dikkat çekicidir. Buna karşılık TK-3125, 3126 ve 3141 nolu istasyonlarda ivme tepki spektrumlarının plato bölgesinde oldukça yüksek, sönüm bölgesinde ise ivmelerin hızla azaldığı gözlenmektedir. Bütün istasyonlarda düşey ivme tepki spektrumlarının düşük periyotlarda (genellikle <0.2 s) (yani yüksek frekans bölgesinde, >5 Hz) yatay ivme tepki spektrumlarından daha büyüktür, hatta TK-3123 ve 3125'de yatay tepki spektrumlarından da daha büyüktür. Bu durum yüksek frekanslı sismik dalgaların bu istasyonların yakın çevresini düşey yönde çok güçlü şekilde (veya zıplattığı şeklinde de değerlendirilebilir) sarstığını açıklamaktadır.

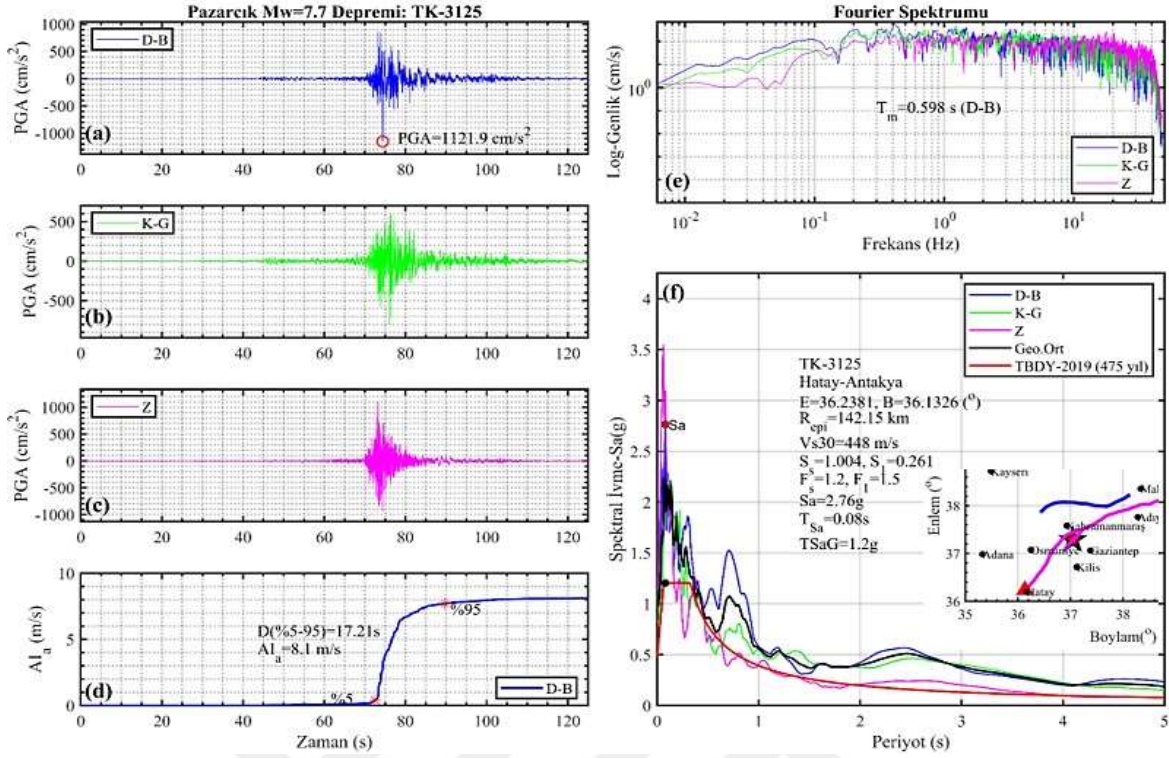
Arias şiddeti ve etkin süreler bakımıldığında, depremin kısa sürelerde (hemen hepsi için <20 s) çok güçlü bir enerji yaydığı ya da zemine aktardığı anlaşılmaktadır. TK-3123, 3124 ve 3125 nolu istasyonlarda hesaplanan Arias şiddeti değerleri (sırasıyla, 9.73 m/s, 8.08 m/s, 8.1 m/s) güçlü ve hasara neden olacak sarsıntıları gösterirken, TK-3126 ve 3141 nolu istasyonlarda hesaplanan AI_a değerleri (sırasıyla 21.8 m/s ve 14.1 m/s), özellikle zayıf zemin koşullarında ve dayanıksız binalarda ciddi hasara yol açabilecek büyüklükte bir enerjinin zemine aktarıldığını işaret etmektedir. Pazarcık $M_w=7.7$ depremi sonrası arazi gözlemlerinde en büyük hasar bölgelerinden birinin de deprem episantr noktasından ~ 140 km uzak olan Antakya ilçesi göz önüne alındığında, hesaplanan bu değerler bu kadar uzakta neden büyük yıkımlara neden olduğunu teyit etmektedir.



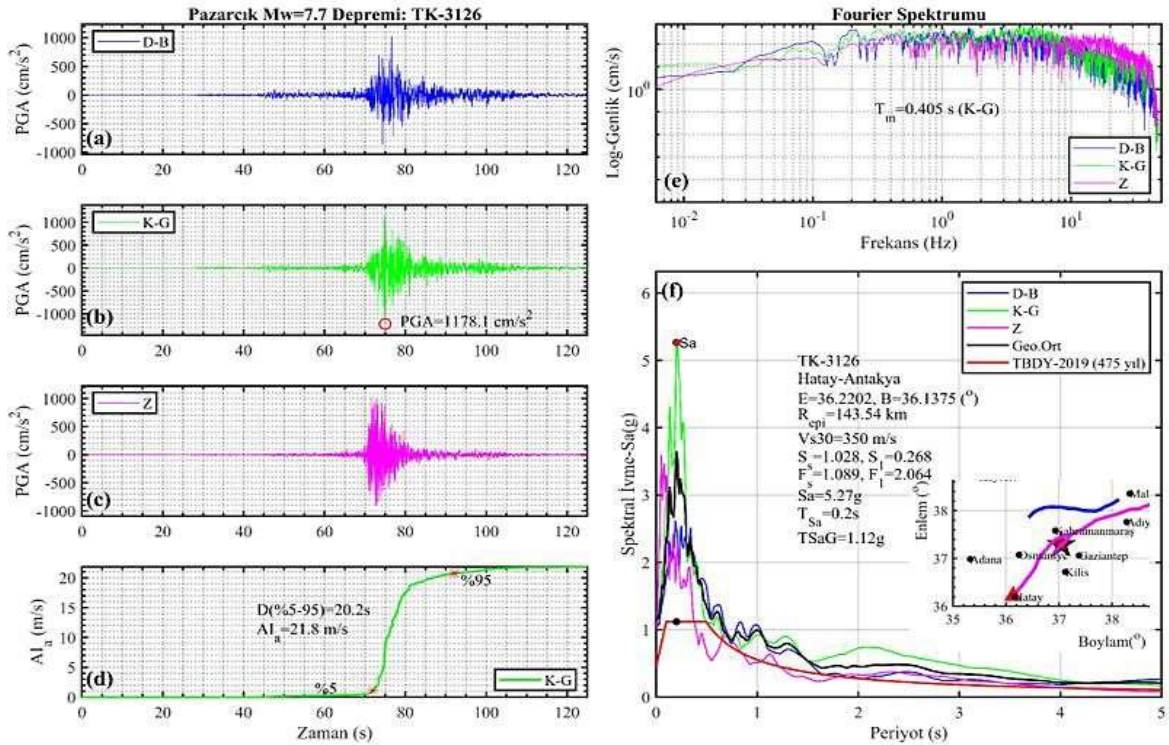
Şekil 42. TK-3123 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



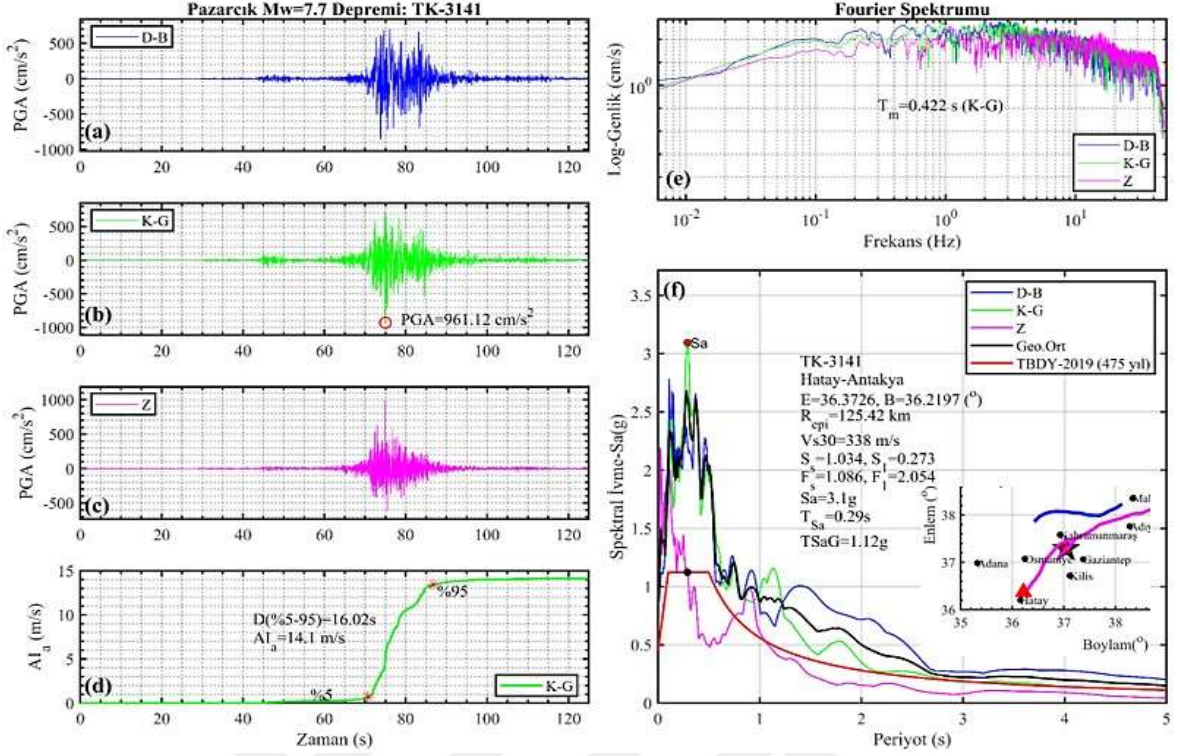
Şekil 43. TK-3124 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



Şekil 44. TK-3125 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



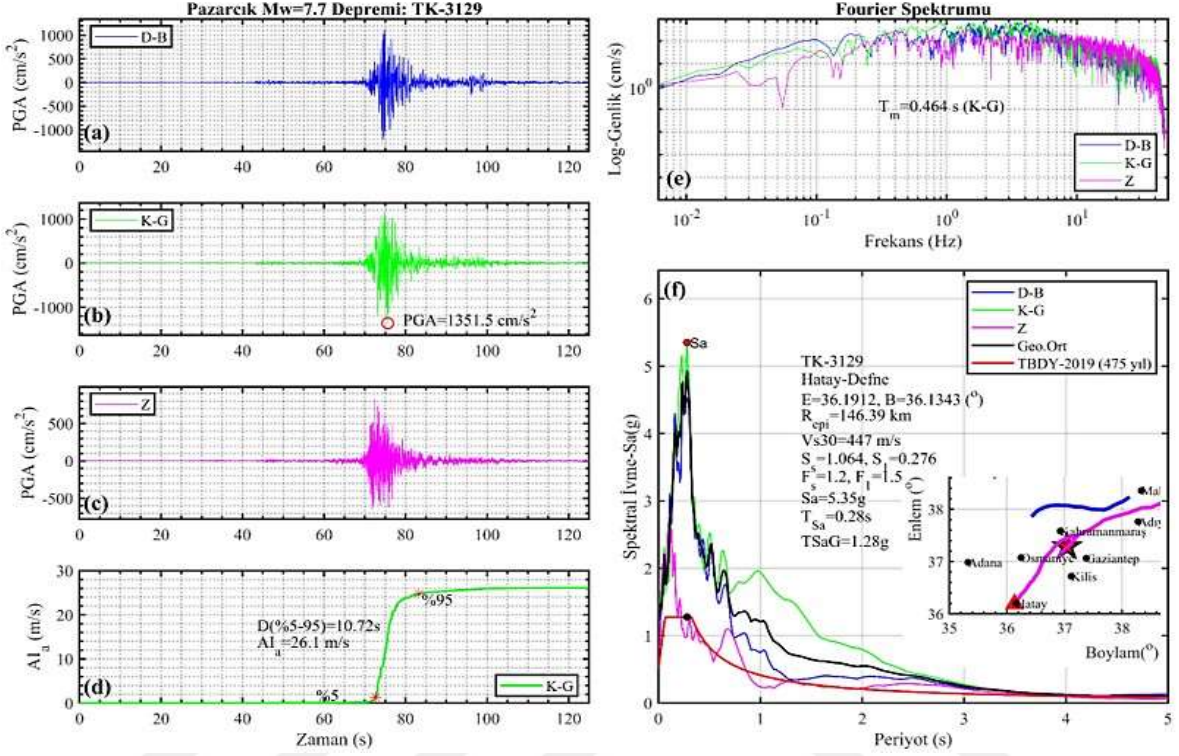
Şekil 45. TK-3126 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



Şekil 46. TK-3141 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

Şekil 47 Hatay-Defne ilçesinde bulunan ve zemin sınıfı ZC ve $R_{epi} = 146.39$ km olan TK-3129 nolu istasyon verisinin analizini göstermektedir. En büyük PGA değeri K-G bileşeninde $1.351.5 \text{ cm/s}^2$ ölçülmüştür. Gerçekleşen spektral ivmeler tasarım spektrum ivmelerini tüm periyotlarda aşmıştır. Özellikle tasarım spektrumunun plato bölgesine göre gerçekleşen en büyük yatay spektral ivme ($S_a = 5.36 \text{ g}$), tasarım spektral ivmenin ~ 5 katıdır ve bu değere 0.28 s periyotunda ulaşmıştır. Depremi etkin süresi $D(\%5-95) = 10.72 \text{ s}$ olup, $AI_a = 26.1 \text{ m/s}$ gibi büyük bir değerdir. Bu değerler, depremin enerjisinin çok güçlü sarsıntı ile hem yapılarda hasarlara hem de zeminlerde yüksek deformasyonlara neden olduğunu açıklamaktadır. Bu durum deprem sonrası arazi gözlemleri ile de teyit edilmiştir. Pazarcık depremi magnitüdü ve gerçekleşen ivme değerleri açısından büyük depremler sınıfında olmasına karşılık, TK-3129 istasyonu için hesaplanan ortalama periyot T_m değeri (0.464 s) literatürdeki sınıflamaya göre orta büyüklükteki bir depremi tariflemesi aslında istasyonun fayın yırtılma yüzeyine yakın ve fayın hareket doğrultusunda olması yüksek frekanslı sismik dalgaların etkin olduğunu da açıklamaktadır. Böylece bu depremin kısa periyotlu (alçak katlı ve sert zeminler) yapılarda oldukça hasar yapıcı olduğu söylenebilir. TK-3129 istasyonu için hesaplanan tüm kuvvetli yer hareketi parametreleri depremin kısa ve uzun periyotlu güçlü sarsıntılar oluşturduğunu ve bunun sonucu olarak ta TK-3129 nolu istasyonun yakın

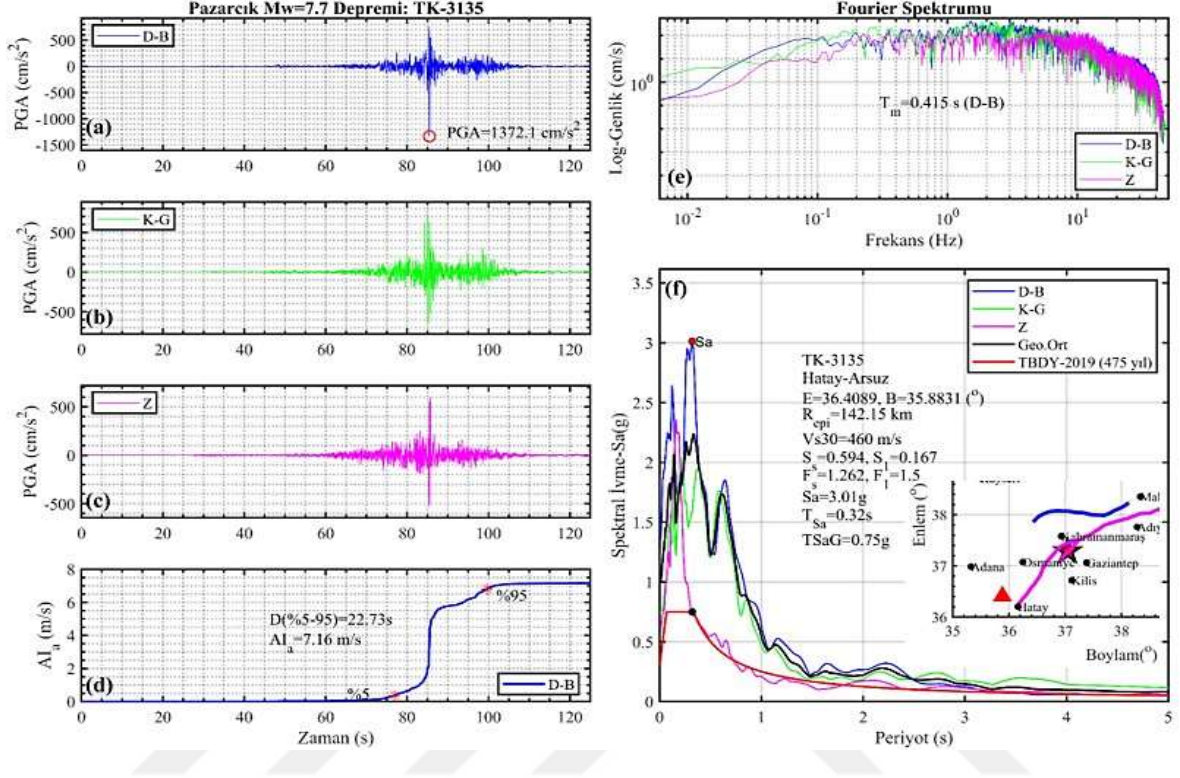
civarındaki birinci kattan başlayarak çok yüksek katlara kadar tüm yapılarda yıkıcı olduğunu göstermektedir.



Şekil 47. TK-3129 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

Şekil 48 Hatay-Arsuz ilçesinde bulunan ve zemin sınıfı ZC ve $R_{epi}=142.15$ km olan TK-3135 nolu istasyon verisinin analizini göstermektedir. En büyük PGA değeri D-B bileşeninde $1.372.1 \text{ cm/s}^2$ ölçülmüştür. Gerçekleşen spektral ivmeler tasarım spektrum ivmelerini tüm periyotlarda aşmıştır. Özellikle tasarım spektrumunun plato bölgesine göre, gerçekleşen en büyük yatay spektral ivme ($S_a=3.01 \text{ g}$), tasarım spektral ivmenin ~5 katıdır ve bu değere 0.32 s periyotunda ulaşmıştır. Yatay tepki spektrumları değerleri geniş bir frekans aralığında ($\sim 0-1.0 \text{ s}$) çok yüksek gözlenirken, düşey tepki spektrumu tasarım spektrumunun plato bölgesinde yüksek değerine ulaşmıştır. Bu istasyon deprem merkez üssüne 142.15 km uzakta olmasına karşılık fayın hareket doğrultusunda olup, yırtılma yüzeyine uzaklığı $R_{rup}=66.18 \text{ km}$ 'dir ve fayın batı tarafında yer almaktadır. Depremin etkin süresi $D(5-95)=22.73 \text{ s}$ olup, $AI_a=7.16 \text{ m/s}$ ve ortalama periyot değeri, $T_m=0.415 \text{ s}$ 'dir. TK-3129 nolu istasyon ile karşılaştırıldığında birçok parametre açısından benzerlik görülmesine rağmen, etkin süre ve AI_a değerleri farklılık göstermektedir. TK-3135 nolu

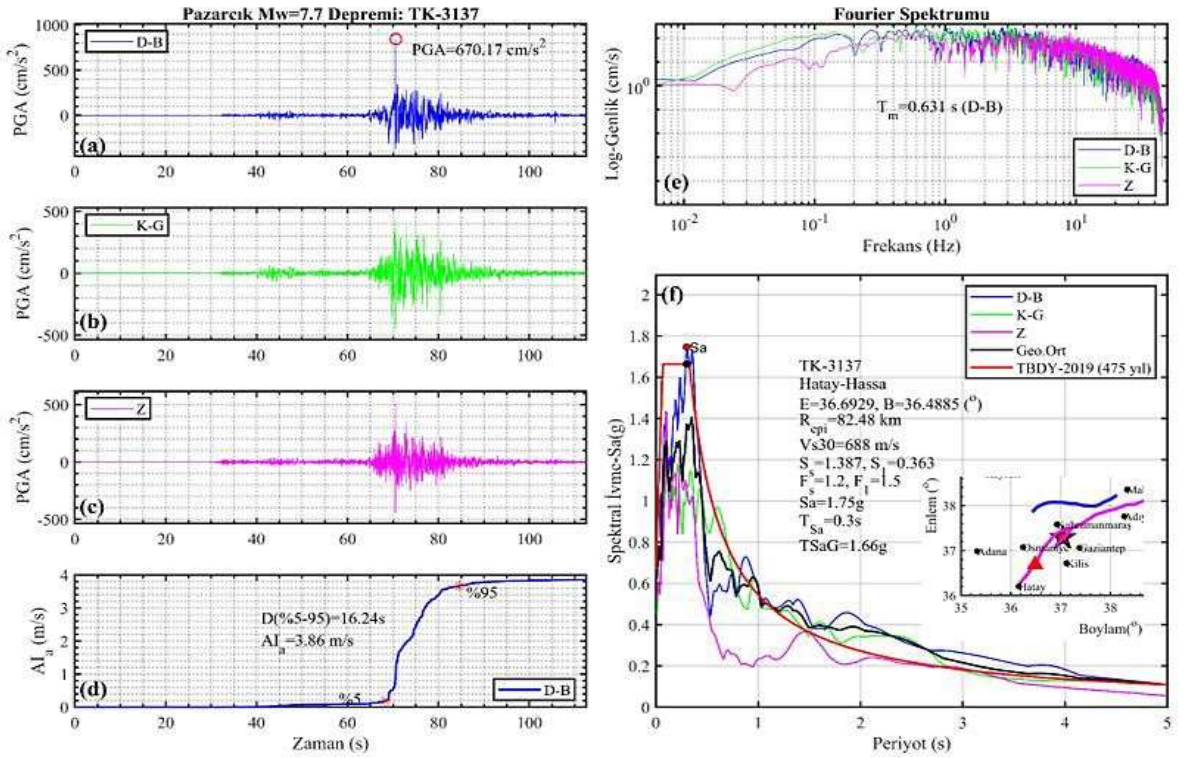
istasyonda etkin süre $D(\%5-95)=22.73$ s ve $AI_a=7.16$ m/s iken, TK-3129'da $D(\%5-95)=10.72$ s ve $AI_a=26.1$ m/s dir.



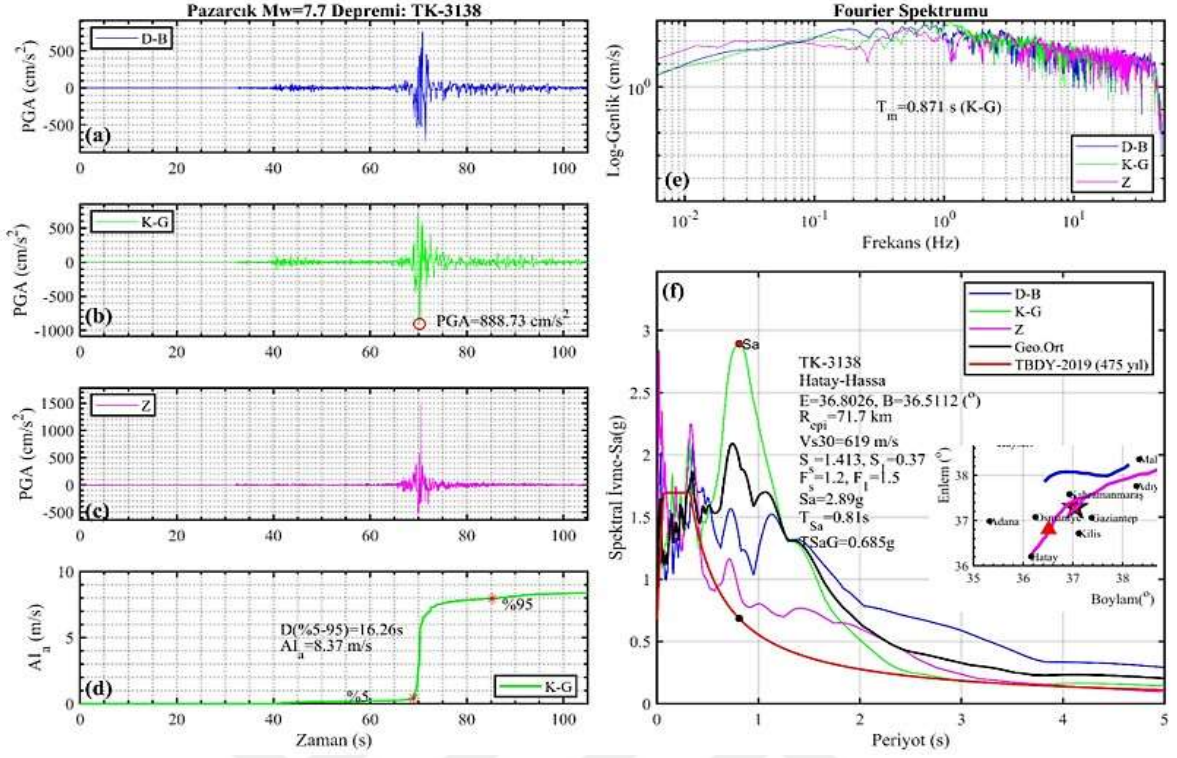
Şekil 48. TK-3135 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

Her iki istasyon için bu değerler, güçlü-çok güçlü sarsıntıyı tariflemekle birlikte, ani hasar yapıcı yüksek frekanslı deprem enerjisinin TK-3135 istasyonu yakın civarında görece daha uzun sürede boşaldığı ve en alçak katlı yapılar ile en yüksek katlı yapıların ileri derecede hasar gördüğü ve yıkımların gerçekleşmesinin nedeni olarak yorumlanabilir. Şekil 49, 50 ve 51 Hatay-Hassa ilçesindeki TK-3137 ($R_{epi}=82.48 \text{ km}$, $PGA=670.17 \text{ cm/s}^2$ (D-B)), 3138 ($R_{epi}=71.7 \text{ km}$, $PGA=888.73 \text{ cm/s}^2$ (K-G)) ve 3143 ($R_{epi}=65.13 \text{ km}$, $PGA=381.09 \text{ cm/s}^2$ (K-G)) nolu istasyonlarda kaydedilen ivme zaman serilerinin analizini göstermektedir. Her üç istasyonda fayın hareket doğrultusunda ve fayın yırtılma zonu içerisindeydir. Her üç istasyonun bulunduğu zemin ZC sınıfındadır. TK-3137 istasyonunda D-B yatay ivme tepki spektrumu tasarım ivme spektrumunu plato bölgesinde 0.3 s civarında çok dar bir periyotta ve 0.1 g kadar aşmıştır. Bununla birlikte, her iki yatay spektrumu yüksek periyot bölgesinde ($\sim 1.2-4.2 \text{ s}$) azda olsa tasarım spektral değerler aşılmıştır. TK-3138 nolu istasyon için hesaplanan yatay tepki spektrum değerleri tasarım tepki spektrum değerlerini plato bölgesinde 0.38 s civarında aşarken daha büyük periyotlarda özellikle 0.3-3.0 s aralığında

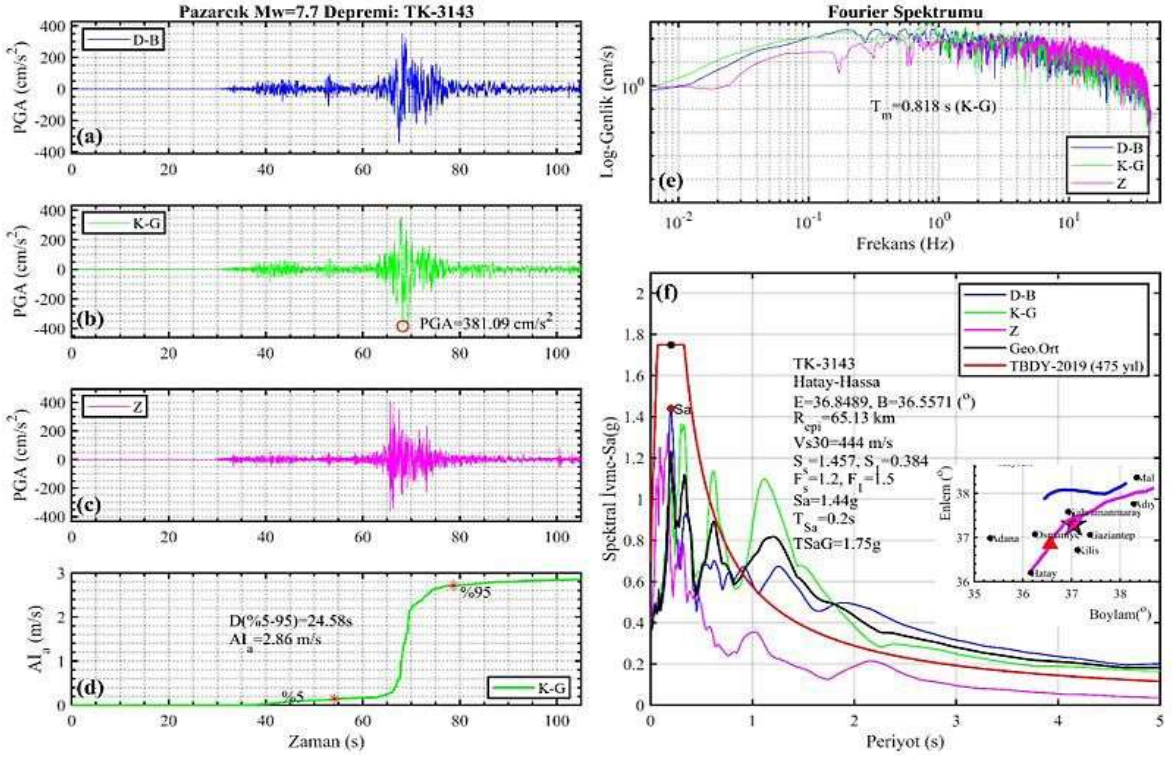
oldukça aşmış ve plato değerlerinin de üstüne çıkmıştır. TK-3143 nolu istasyon episantr uzaklığı en yakın olan istasyon olmasına karşılık ölçülen PGA değeri diğerlerine göre düşük ve yatay ivme tepki spektral değerler plato bölgesinde tasarım ivme spektral değerlerin altında kalmıştır. Ancak tasarım eğrisinin sönüm tarafında $\sim 1.0-2.5$ s arasında özellikle K-G bileşeni ivme teki spektrumu tasarım değerlerini aşmıştır. TK-3138 nolu istasyonda hesaplanan düşey ivme tepki spektrumunun çok kısa periyotlarda ($< \sim 0.08$ s) (yüksek frekanslarda) oldukça yüksek değerlerde olması deprem dalgalarının geçişi sırasında zeminin düşey yönde çok güçlü sarsılmış olduğunu göstermektedir. Diğer yandan, her üç istasyon için hesaplanan etkin süre, Arias şiddeti ve ortalama periyot değerleri, istasyonların yakın civarının geniş bir frekans aralığında hasar yapıcı ve zeminin deforme olacağı güçlü şekilde sarsıldığını ve bundan hem alçak hem de yüksek katlı yapıların ileri derecede etkilendiğini göstermektedir. Bununla birlikte, her üç istasyon zemin sınıfının ZC olmasına karşılık yüksek periyot bölgelerindeki yüksek spektral değerlerin zemin büyütmesinin etkisine işaret etmektedir. Ancak bu zemin büyütmesi empedans oranlarından (yüksek hızdan düşük hıza geçişle ilişkili) ziyade, taban kaya topoğrafyası ile ilişkili olma ihtimali oldukça yüksektir.



Şekil 49. TK-3137 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

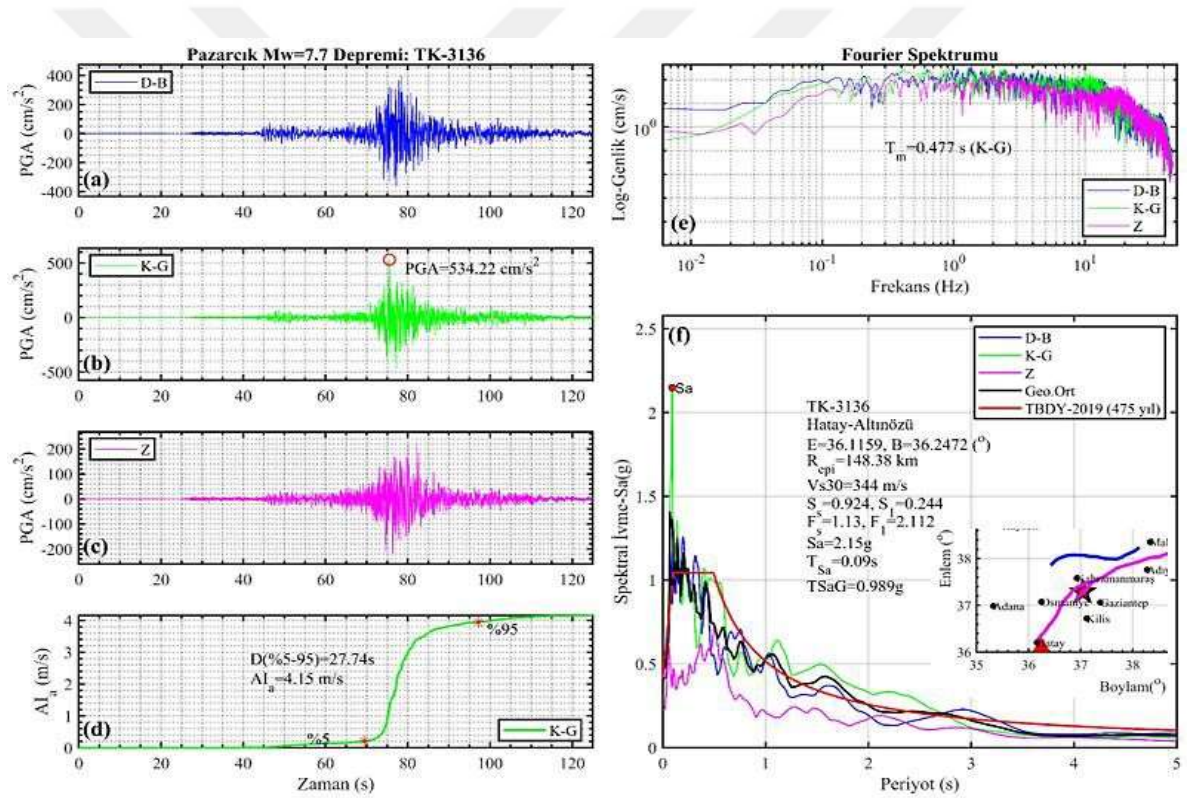


Şekil 50. TK-3138 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



Şekil 51. TK-3143 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

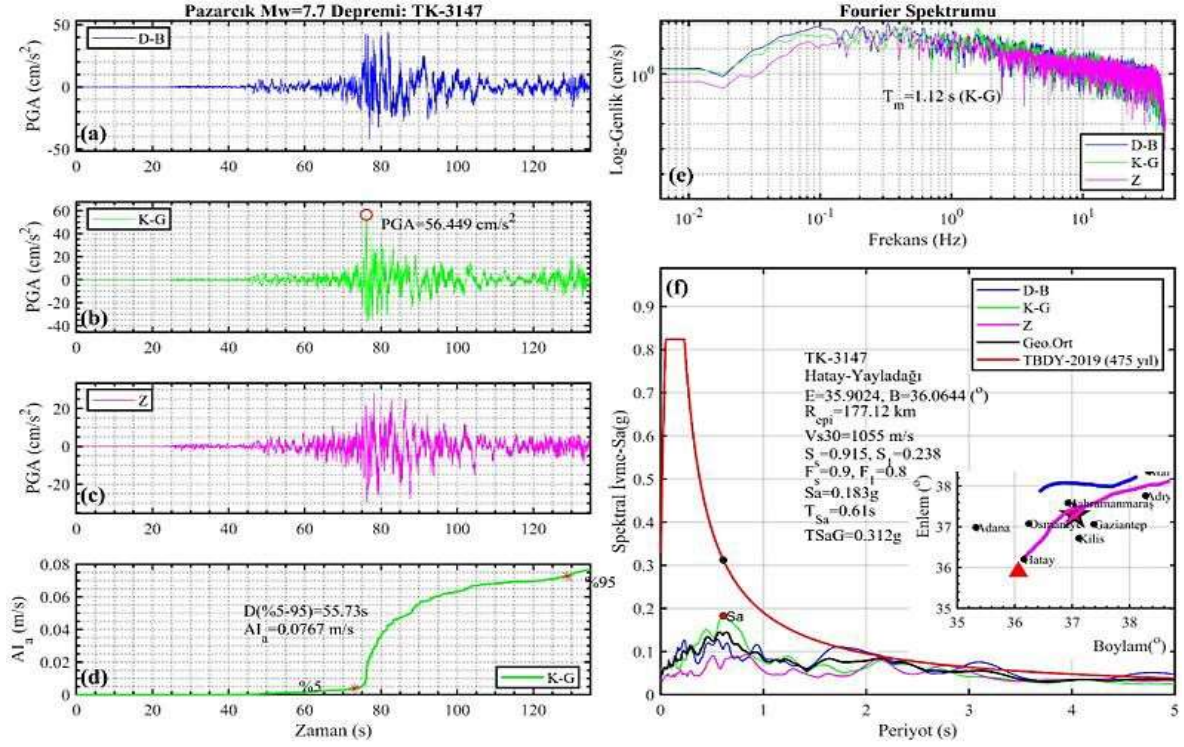
Şekil 52 episantr uzaklığı 148.38 km olan Hatay-Altınözü'deki TK-3136 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizini göstermektedir. İstasyon ZD zemin sınıfında bulunmaktadır. En büyük ivme değeri K-G bileşeninde $PGA=534.22 \text{ cm/s}^2$ olarak ölçülmüştür. Bu istasyon için tasarım ivme spektral değerler plato bölgesinin özellikle 0.2 s'den daha düşük periyotlarda aşılmıştır ve yüksek periyot bölgesinde çok az miktarda aşılımlar gözlenmektedir. Arias şiddeti, etkin süre ve ortalama periyot değerleri hem yapılarda hem de zeminde hasarlara neden olacak güçlü bir sarsıntının etkin olduğunu göstermektedir. Yatay ivme tepki spektrumunun (K-G bileşeni) tasarım ivme spektral değerlerini düşük periyotlarda ($<0.1 \text{ s}$) yaklaşık 2 kat aşmış olması, çok alçak katlı yapılarda önemli hasarlara neden olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 52. TK-3136 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

Şekil 53 Hatay'ın en güneyinde ve episantr uzaklığı en fazla, $R_{epi}=177.12 \text{ km}$ olan Hatay-Yayladağı'ndaki TK-3147 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizini göstermektedir. Bu istasyonda en büyük yatay ivme K-G bileşeninde $PGA=56.449 \text{ cm/s}^2$ olarak ölçülmüştür. Hesaplanan ivme spektral değerler tasarım ivme spektrumunun plato bölgesinin altında kalmıştır ve oldukça düşüktür. Ancak, uzun periyot bölgesinde ($\sim 1.7-3.4 \text{ s}$ aralığında) tasarım değerleri seviyesine ulaşmıştır. Etkin süre uzun olsa da Arias şiddeti

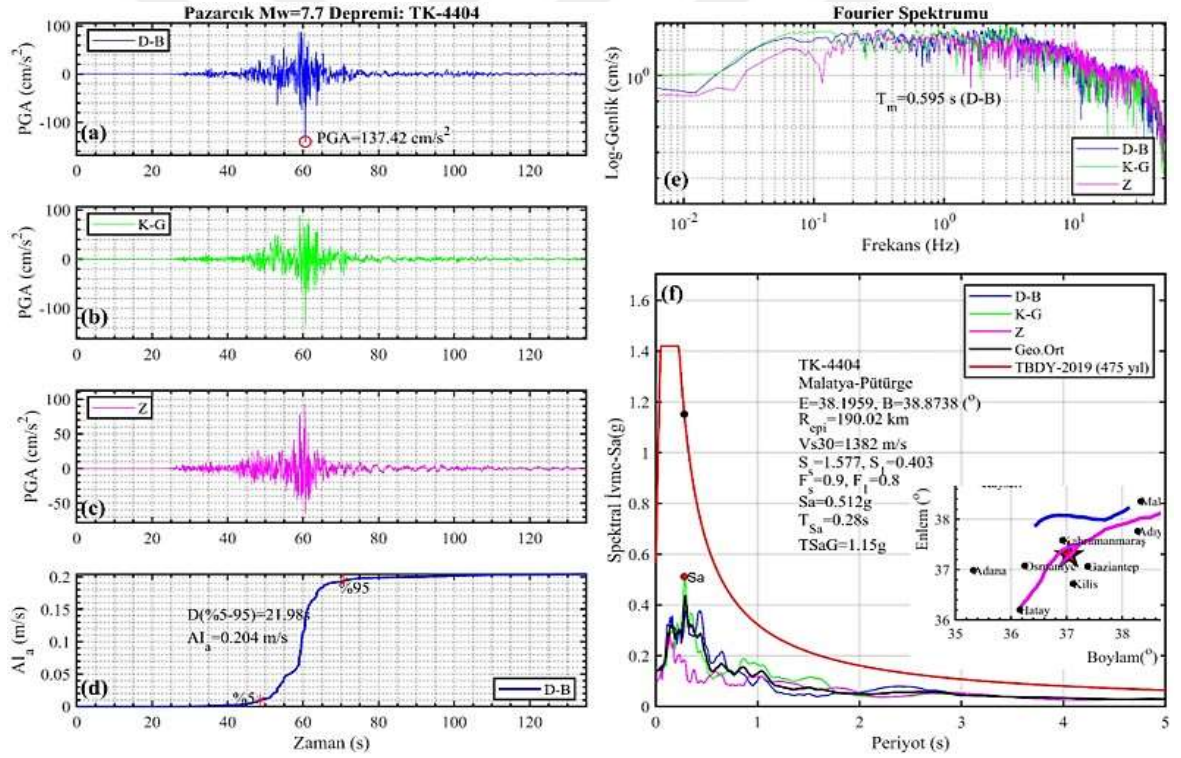
değeri oldukça düşüktür. Bu değerler çok zayıf bir sarsıntıyı ifade etmektedir. Bununla birlikte, ortalama periyot değeri, uzun periyotlu dalgaların etkisini göstermektedir ve istasyon civarında çok yüksek katlı yapıların ve köprülerin uzun süreli sarsılmış olduğuna işaret etmektedir.



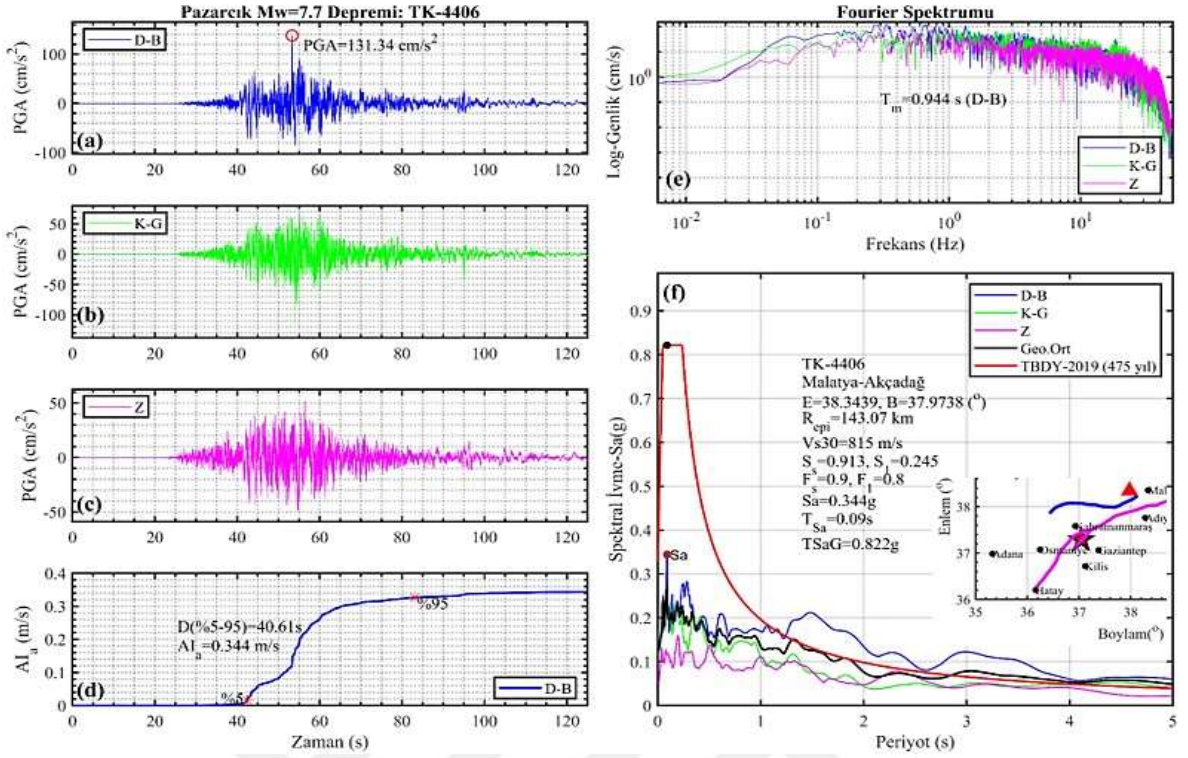
Şekil 53. TK-3147 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

Şekil 54 ve 55 sırasıyla Malatya-Pütürge’de TK-4404 ($R_{epi}=190.02$ km, $PGA=137.42$ cm/s² (D-B)) ve Malatya-Akçadağ’da TK-4406 ($R_{epi}=143.07$ km, $PGA=131.34$ cm/s² (D-B)) nolu istasyonlarda kaydedilen ivme zaman serilerinin analizlerini sunmaktadır. Her iki istasyon fayın kuzey doğuya uzanım tarafında olup, TK-4404 istasyonu faya çok yakın iken, TK-4406 faydan ~80 km kuzeyde yer almaktadır. Bununla birlikte, TK-4406 nolu istasyonun episantr uzaklığı TK-4404’e göre 46.95 km daha yakındır. Her iki istasyon ZB zemin sınıfında olmakla birlikte, TK-4404 V_{s30} değeri itibarıyla (1.382 m/s) ZA zemin sınıfına, TK-4406 ise ZC sınıfına (815 m/s) daha yakın bir karakterdedirler. İstasyonlar için hesaplanan ivme tepki spektrumları tasarım ivme spektrumlarının plato bölgesinin çok altında kalmıştır. Bununla birlikte, TK-4406 istasyonunda yatay (D-B) ivme tepki spektral değerleri, tasarım ivme spektral değerlerini ~1.2-4 s aralığında aştığı dikkat çekmektedir. Her iki istasyon için hesaplanan etkin süreler (sırasıyla, 21.98 s ve 40.61 s) orta-uzun sürelerle

karşılık gelirken, Arias şiddeti değerleri (sırasıyla, 0.204 m/s ve 0.344 m/s) zayıf-orta şiddette hafif hissedilen bir depremi tariflemektedir. Ortalama periyot T_m değerleri orta-uzun periyotlu sismik dalgaların etkin olduğuna işaret etmektedir. Bu değerlere göre, TK-4404 istasyonunun fayın yırtılma zonu içinde kalmış olmasına rağmen, tasarım spektral değerlerin TK-4406 istasyonunda uzun periyotlarda aşmış olması episantr uzaklığı veya faya yakınlığı ile (TK-4404 için $R_{rup}=117.71$ km, TK-4406 için $R_{rup}=76.42$ km) ve uzun periyot enerjisinin çok azda olsa empedans oranlarından ziyade ana kaya topoğrafyası (veya havza yapısı) ile ilişkili büyümeye maruz kaldığı şeklinde yorumlanabilir. Bununla birlikte, daha uzakta olmasına rağmen TK-4404 nolu istasyonda ölçülen PGA değerinin TK-4406'ya göre bir miktar daha büyük olması ise, istasyonun fayın yırtılma zonu içinde yer almasından kaynaklı olarak sismik dalgaların yönelim etkisiyle ilişkilendirilebilir.

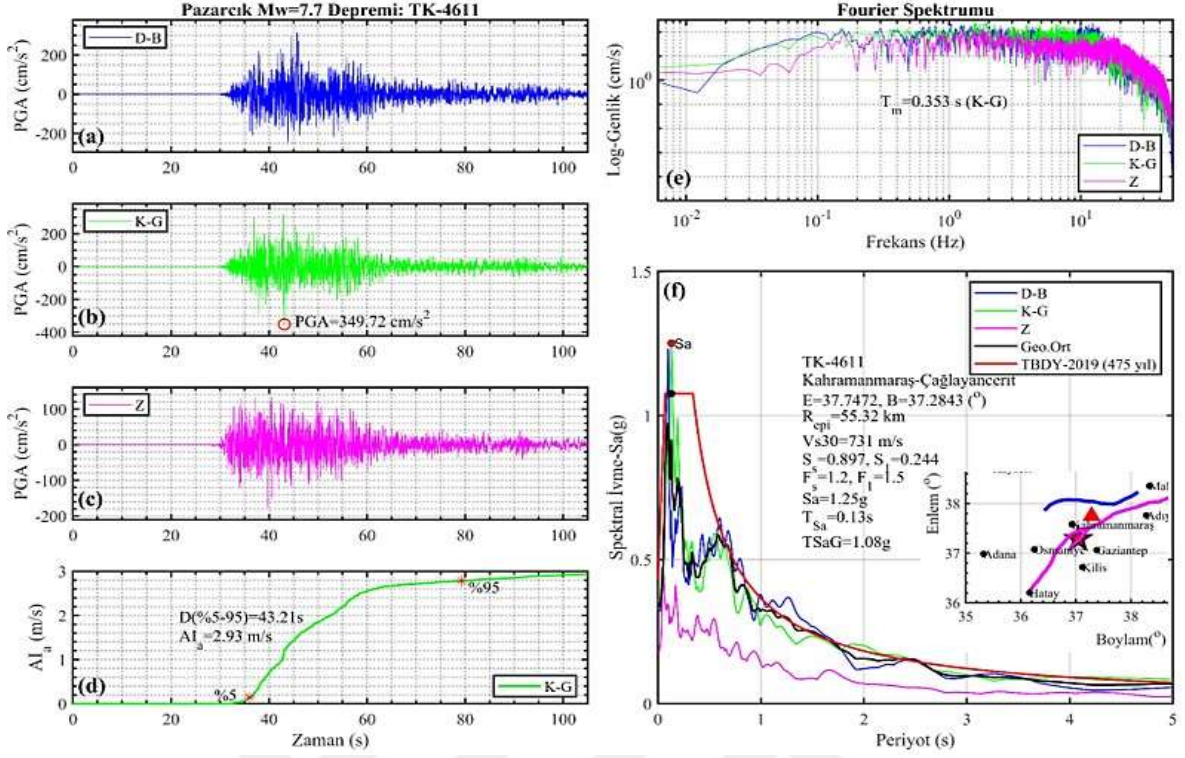


Şekil 54. TK-4404 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

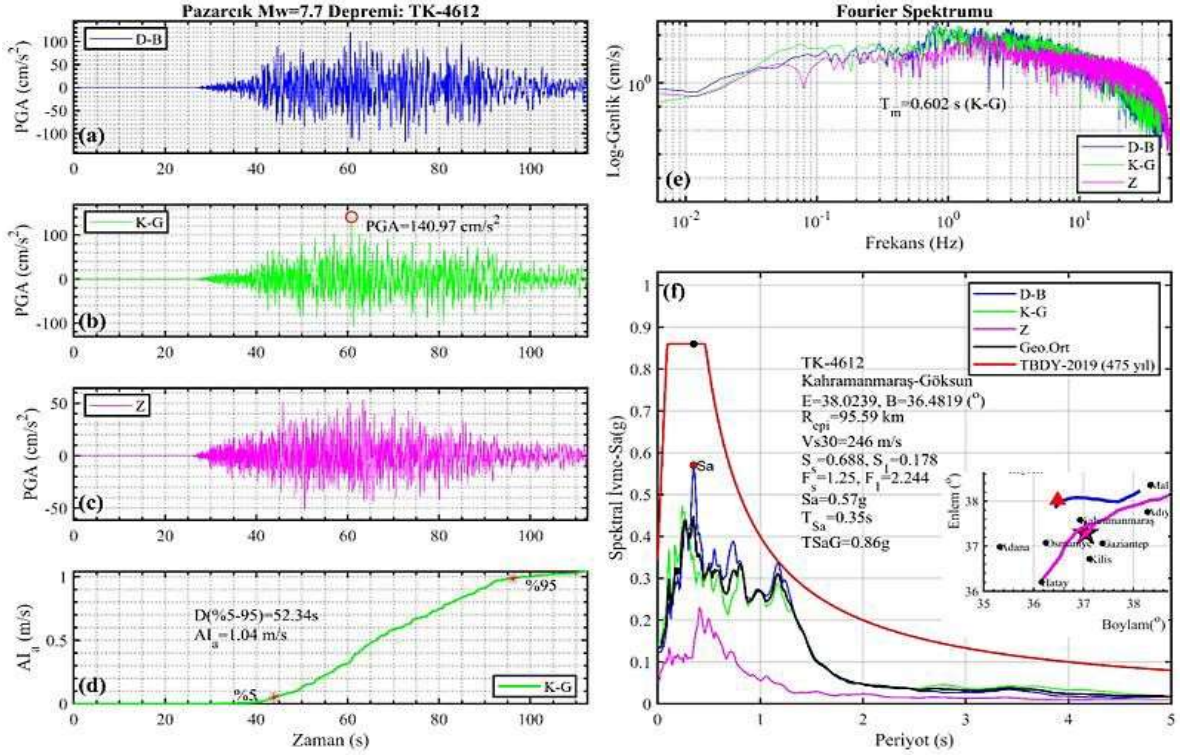


Şekil 55. TK-4406 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

Pazarcık $M_w=7.7$ depreminden en ciddi etkilenen, hasar, yıkım ve ölümlerin en fazla olduğu yerlerden biride Kahramanmaraş il merkezi ve ilçeleridir. Şekil 56 ve 57 sırasıyla, Çağlayancerit ilçesindeki TK-4611 ($R_{epi}=55.32$ km, $PGA=349.72$ cm/s² (K-G)) ve Göksun ilçesindeki TK-4612 ($R_{epi}=95.59$ km, $PGA=140.97$ cm/s² (K-G)) nolu istasyonlarda kaydedilen ivme zaman serilerinin analizini sunmaktadır. TK-4611 istasyonu fayın kuzey-doğu doğrultusunda iken TK-4612 istasyonu yaklaşık faya dik bir doğrultuda kuzey-batıda yer almaktadır. İstasyonlardan TK-4611 ZC zemin sınıfında iken, TK-4612 ZD sınıfındadır. Her iki istasyonda etkin süreler sırasıyla, 43.21 s ve 52.34 s ve Arias şiddetleri sırasıyla, 2.93 m/s ve 1.04 m/s ve ortalama periyotlar sırasıyla 0.353 s ve 0.602 s olarak hesaplanmıştır. TK-4611 nolu istasyonda yatay ivme tepki spektral değerler tasarım spektral değerleri plato bölgesinin kısa periyot bölümünde ($T_{sa}=0.13$ civarında, $S_a=1.25$ (K-G)) aşmıştır, ancak uzun periyot bölgesinde tasarım değerleri seviyesinde kalmıştır. Ortalama periyotla birlikte değerlendirildiğinde, TK-4611 istasyonunun yakın civarının yüksek frekanslı deprem dalgalarının etkisinde kaldığı anlaşılmaktadır. TK-4612 istasyonunda tüm ivme tepki spektral değerler tasarım spektral değerlerin altında kalmakla birlikte, yatay ivme tepki spektrum eğrilerinin geniş bir periyot aralığında (~ 0.15 -1.25 s) olduğu dikkat çekmektedir.



Şekil 56. TK-4611 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



Şekil 57. TK-4612 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

Her iki istasyonda etkin sürelerin uzun (>30 s) ve Arias şiddetlerinin 1-10 m/s aralığında olması, özellikle yüksek frekanslı deprem enerjisinin bu istasyonların yakın civarında uzun süreli olarak yapılara (özellikle TK-4611'in yakın civarında genellikle 2-3 katlı olanlar) hasar verici güçlü sarsıntı oluşturacak şekilde boşaldığına işaret etmektedir. Şekil 58'den 61'e kadar Pazarcık $M_w=7.7$ depreminin merkez üssü olarak belirtilen Pazarcık ilçesi ve ona yakın olan Türkoğlu ve Narlı ilçelerindeki TK-4614, 4615, 4616 ve NAR kodlu istasyonlarda kaydedilen ivme zaman serilerinin analizleri sunulmuştur. Saha gözlemleri en fazla hasar, yıkım ve ölümler bu istasyonların bulunduğu çevrelerde gerçekleştiğini göstermektedir. İstasyonlar için temel bilgiler ve hesaplanan kuvvetli yer hareket parametreleri aşağıdaki Tablo 13'de özetlenmiştir. İstasyonların konumlarına bakıldığında, TK-4614, 4615 ve NAR istasyonları Pazarcık depreminin başladığı Narlı Fay'ının (şekillerde deprem episantrının konumlandığı kısa fay parçası) yırtılma zonu içinde ve episantr noktasına göre kuzey-doğu doğrultuda, TK-4616 nolu istasyon ise DAFZ'nin yırtılma zonu içinde episantr noktasına göre kuzey-batı doğrultudadır.

Tablo 13. TK-4614, 4615, 4616 ve NAR istasyonları için istasyon bilgileri ve hesaplanan kuvvetli yer hareketi parametreleri. PGA istasyonlarda ölçülen yer ivmesini, H_{PGA} , TDTTH'ndan okunan tahmini yer ivmesini göstermektedir

Kod	Yer	R_{epi} (km)	R_{rup} (km)	PGA (cm/s^2)	V_{s30} (m/s) ve Zemin Sınıfı	H_{PGA} (cm/s^2)	$D(\%5-95)$ (s)	AI_a (m/s)	T_m (s)	T_{sa} (s)	S_a (g)
4614	Pazarcık	31.42	8.25	2175.1-DB	541-ZC	470	24.15	63.6	0.188	0.14	7.45
4615	Pazarcık	13.83	8.01	583.70-DB	485-ZC	448	47.56	6.33	0.848	0.33	1.5
4616	Türkoğlu	20.56	22.42	654.08-KG	390-ZC	462	41.78	6.97	0.471	0.31	2.59
NAR	Narlı	15.35	7.46	784.57-KG	653-ZC	443	38.75	4.09	0.505	0.16	2.02

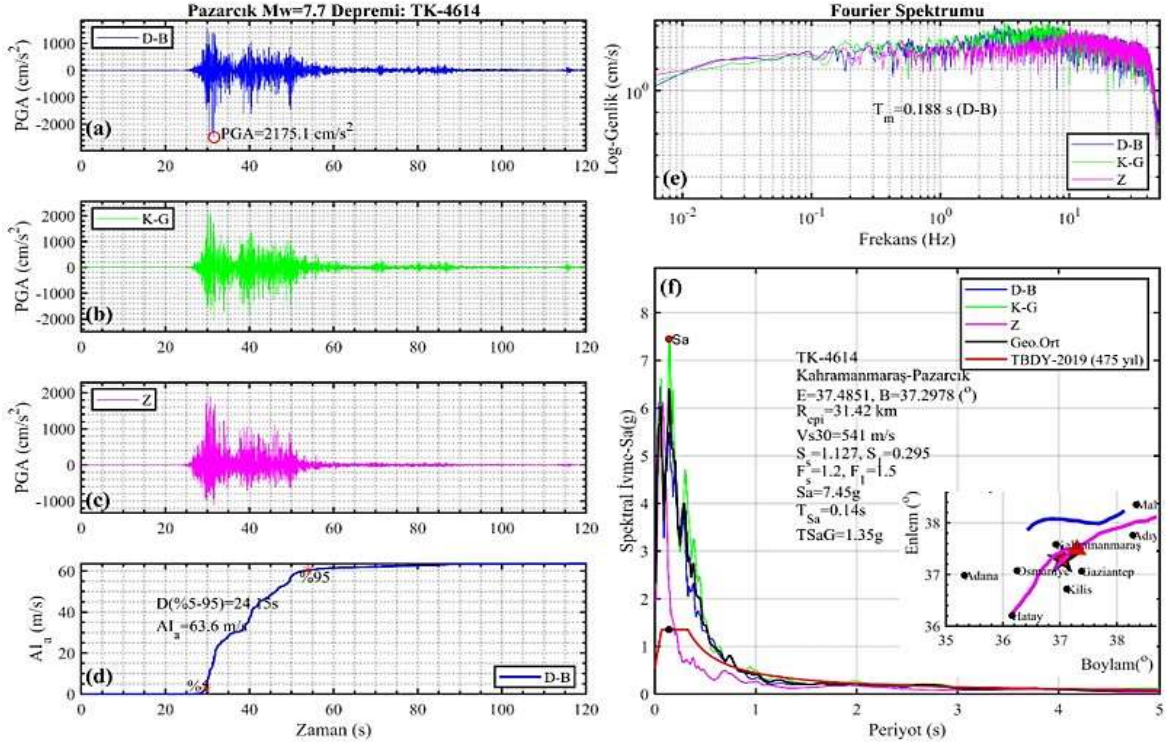
İstasyonlarda kaydedilen ivme zaman serilerinin genel dalga formlarına bakıldığında, çoklu kırılmayı karakterize eden dalga formları görülmekle birlikte, TK-4616 nolu istasyondaki kayıt diğerlerine göre farklılık göstermektedir. TK-4616 nolu istasyon fayın yüzey izine göre konum olarak diğerlerinden farklı olarak dik doğrultuda kuzey-doğuda yer alırken, diğerleri Narlı Fayı'nın hareket doğrultusundadır. Dolayısıyla, Narlı Fay'ının hareketi ile başlayan depremden açığa çıkan büyük enerji fayın hareket doğrultusunda bulunan TK-4614, 4615 ve NAR istasyonlarının çevresinde çok güçlü sarsıntılar oluştururken, bu sarsıntı TK-4616 istasyonun çevresinde daha zayıf kaydedilmiştir. Ancak,

deprem yer hareketi DAFZ üzerine aktarıldıktan sonra bu kez salınan büyük enerjinin oluşturduğu çok güçlü sarsıntı kaydı TK-4616 istasyonunda da kaydedilmiştir. Bu durum çok açık olarak sismik dalgaların ileri yönelim etkisini göstermektedir. Tablodaki dört istasyonun zemin sınıfı ZC 'dir. İstasyonlar arasında en büyük yatay yer ivmesi episantr uzaklığı en fazla olan TK-4614 nolu istasyonda ölçülürken, en düşük yer ivmesi episantr uzaklığı en kısa olan TK-4615 nolu istasyonda ölçülmüştür. Diğer yandan, Türkoğlu'ndaki TK-4616 nolu istasyonun hem episantr (R_{epi}) hem de faya uzaklığı (R_{rup}), TK-4615'e göre daha büyük olmasına karşılık TK-4615'de en büyük yatay yer ivmesinden daha büyük ölçülmüştür. Ölçülen yer ivmelerin tahmin edilenlerden oldukça büyük olduğu ve özellikle TK-4614 istasyonu için bunun 4.6 kat olduğu görülmektedir.

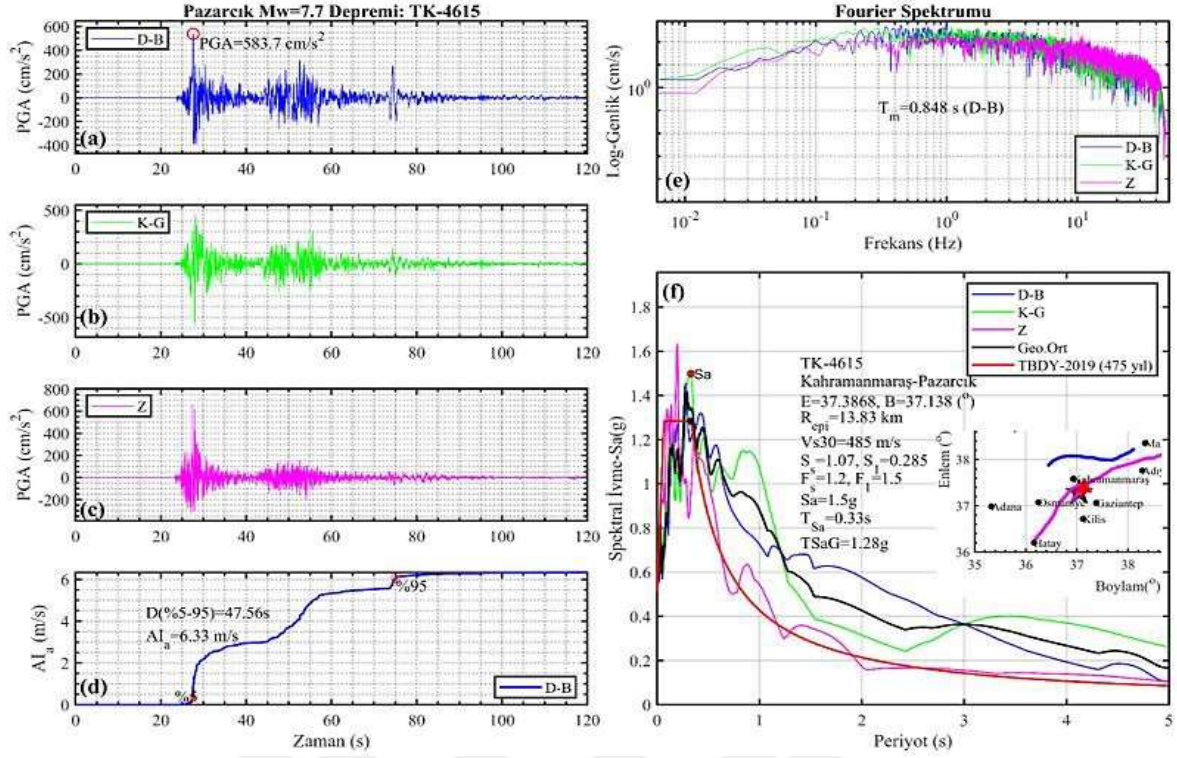
Arias şiddeti ve etkin süreler bakımından, TK-4614 nolu istasyon çevresinde diğer istasyonlara görece daha kısa sürede çok büyük bir enerjinin boşaldığını göstermektedir. Boşalan bu enerji çevrede aşırı güçlü hissedilmiş olmakla birlikte, yıkıcı düzeyde sarsıntıları oluşturmuş olup, hem yapılarda hasarlar hem de zeminlerde büyük deformasyonlara neden olmuştur. Diğer istasyonlar (TK-4615, 4616, NAR) için hesaplanan Arias şiddeti ve etkin süreler göre, deprem enerjisinin çok uzun süreli boşaldığı ve bu enerji boşalımının bu istasyon çevrelerinde çok güçlü sarsıntılar oluşturması sivilaşmaya, heyelanların tetiklenmesine ve uzun periyotlu yapıların (köprü ve yüksek kat binalar) çok zorlanmasına ve dolayısıyla ciddi yapısal hasarların oluşmasına neden olmuştur.

Tasarım spektral ivmeler tüm istasyonlarda plato bölgesinde tamamen aşılmıştır. TK-4614 nolu istasyonda bu aşım ~6 kattır ve yatay ivme tepki spektral değerler ~0.0-1.0 s aralığında yüksek iken, düşey ivme tepki spektrumu ~0-0.25 s aralığında yüksek, ancak 0.25 s'den sonra tasarım değerlerinin altındadır. Düşey ivme spektral değerlerin kısa periyot (yüksek frekans) bölgesinde veya dar periyot aralığında yüksek olması, faya yakınlıkla ilişkili olup, düşey yönde önemli zemin deformasyonlarına ve yapıların düşey yönde güçlü sarsılmasına neden olur. Bu istasyon için hesaplanan ortalama periyot değeri de yüksek frekansların etkinliğini desteklemektedir. TK-4615 nolu istasyonda yatay ivme tepki spektral değerlerin tasarım ivme spektral değerleri plato bölgesinden daha ziyade eğrinin sönüm bölgesine karşılık gelen yüksek periyot bölgesinde aştığı görülmektedir. Bu durum ortalama periyotun görece yüksek çıkması ile de desteklenmektedir. Dolayısıyla bu istasyon çevresindeki uzun periyotlu yüksek katlı binaların ve köprülerin oldukça ciddi bir kuvvete maruz kaldığı anlaşılmaktadır. Bu istasyonda da düşey ivme tepki spektral değerler ~0.0-0.25 s aralığında etkin olduğu anlaşılmaktadır. TK-4616 nolu istasyonda özellikle yatay

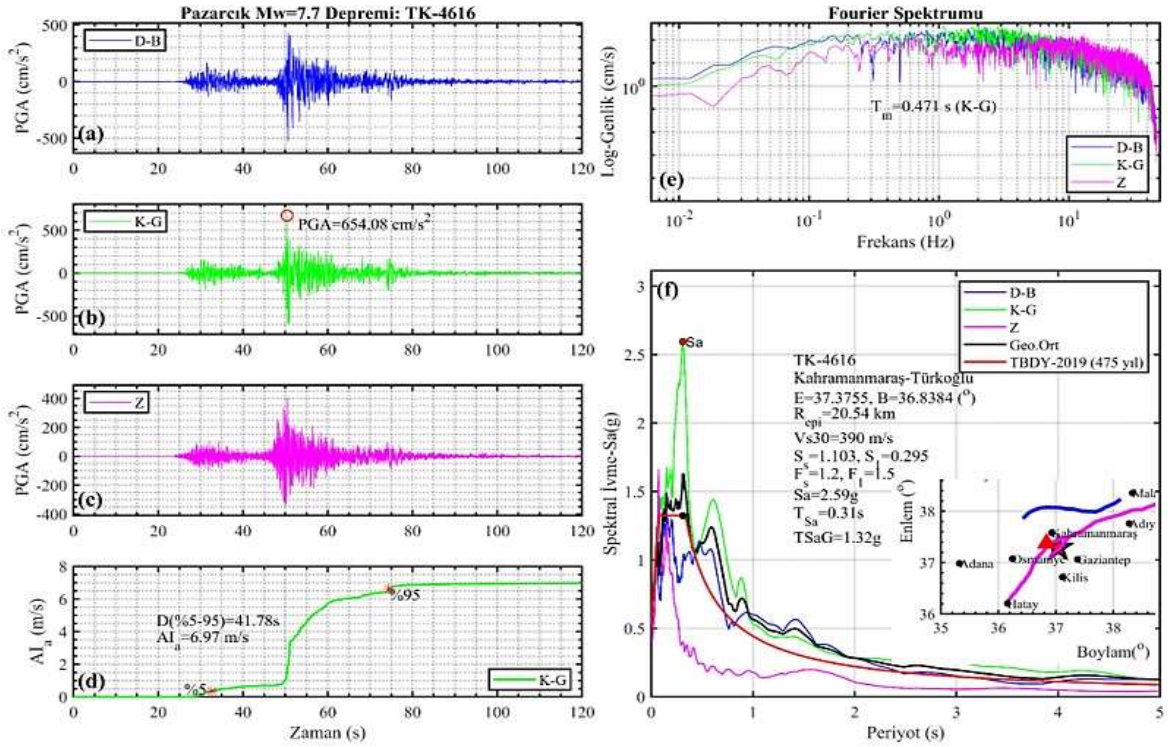
ivme (K-G) tepki spektrumunun diğer yatay ivme (D-B) bileşenine göre $\sim 0.25-0.4$ s aralığında çok yüksek çıkması oldukça dikkat çekmektedir. Düşey ivme tepki spektrumu TK-4614 ve 4615 istasyonlardakine benzer davranış göstermektedir. TK-NAR istasyonu çok ilginç bir şekilde, tasarım spektral değeri plato bölgesinin $\sim 0.0-0.3$ s aralığında aşmış olup $0.3-0.5$ s arasında altında kalmıştır. Ancak her iki yatay ivme tepki spektral değerleri tasarım değerlerini 0.5 s'den sonra aştığı görülmektedir. Burada düşük periyotlarda (yüksek frekanslarda) güçlenme, orta periyotlarda (frekanslarda) kısmen sönümlenme ve daha sonra uzun periyotlarda (düşük frekanslarda) görece güçlenmenin gerçekleştiği özel bir davranış durumu gerçekleşmiştir. Bu durumun ardışık kırılma hareketinden, dalga yayılım yolu özelliklerinden ve yeraltı jeolojik yapısından kaynaklı olabileceği değerlendirilmiştir.



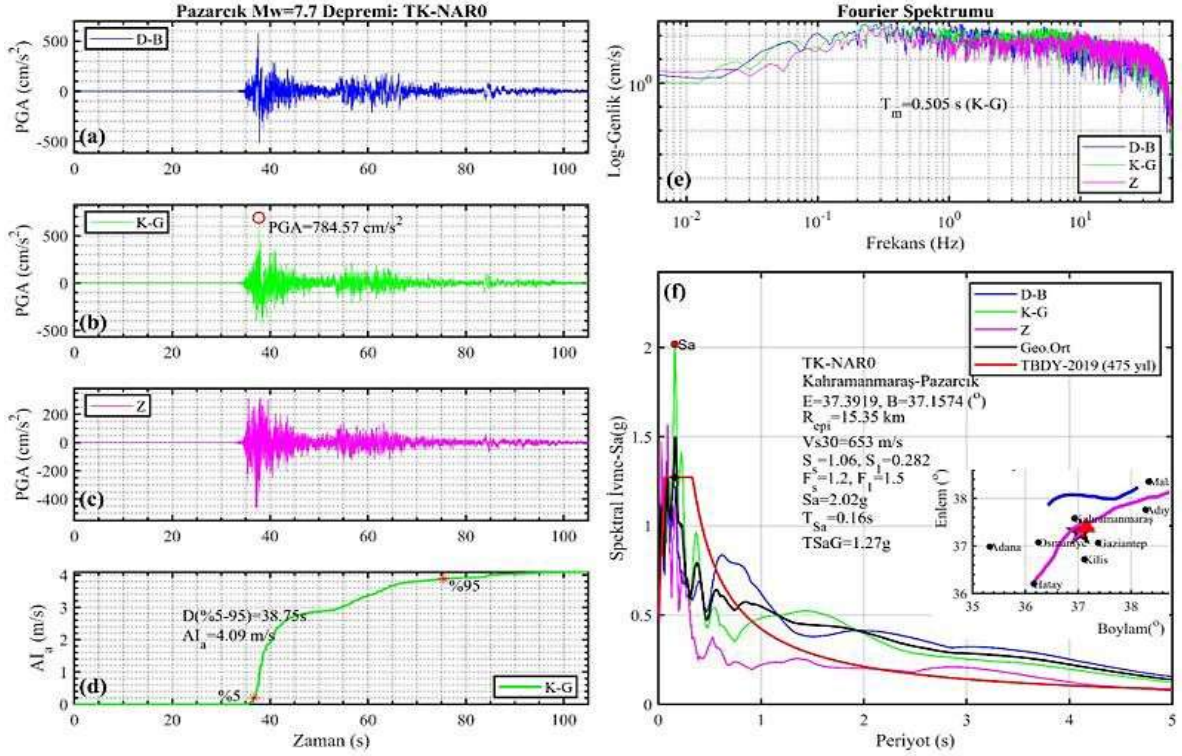
Şekil 58. TK-4614 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



Şekil 59. TK-4615 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



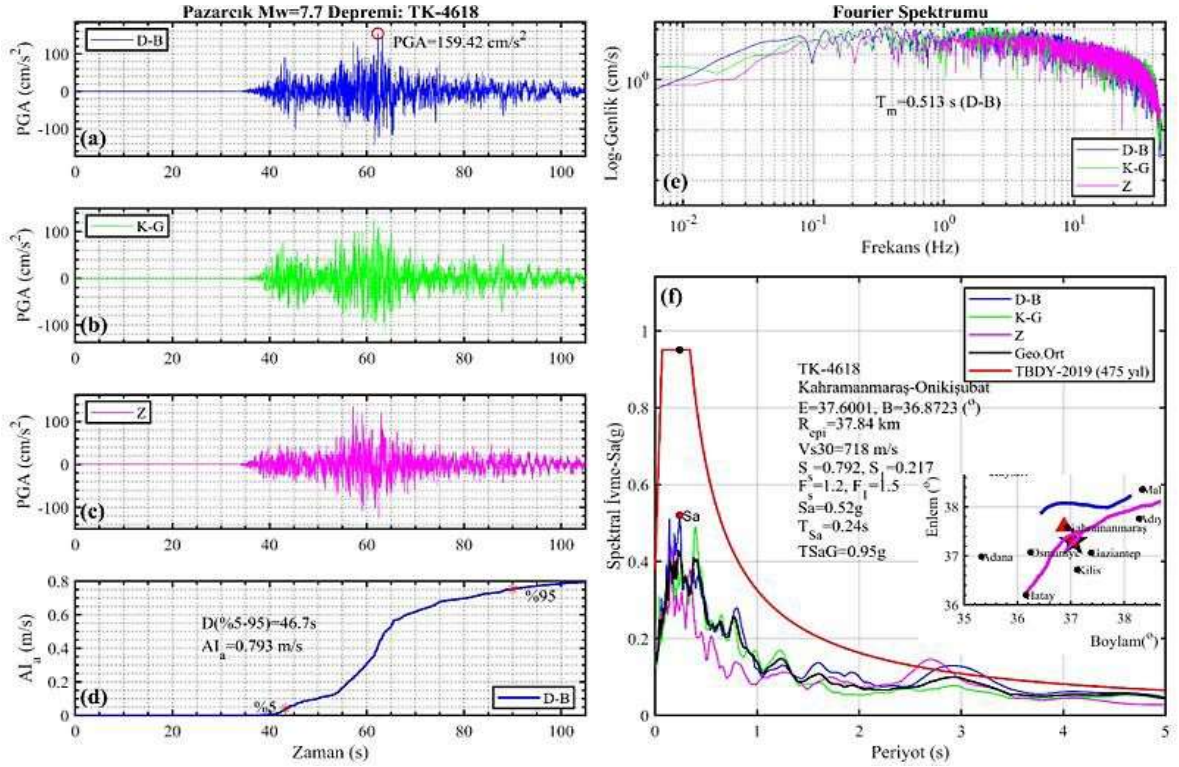
Şekil 60. TK-4616 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



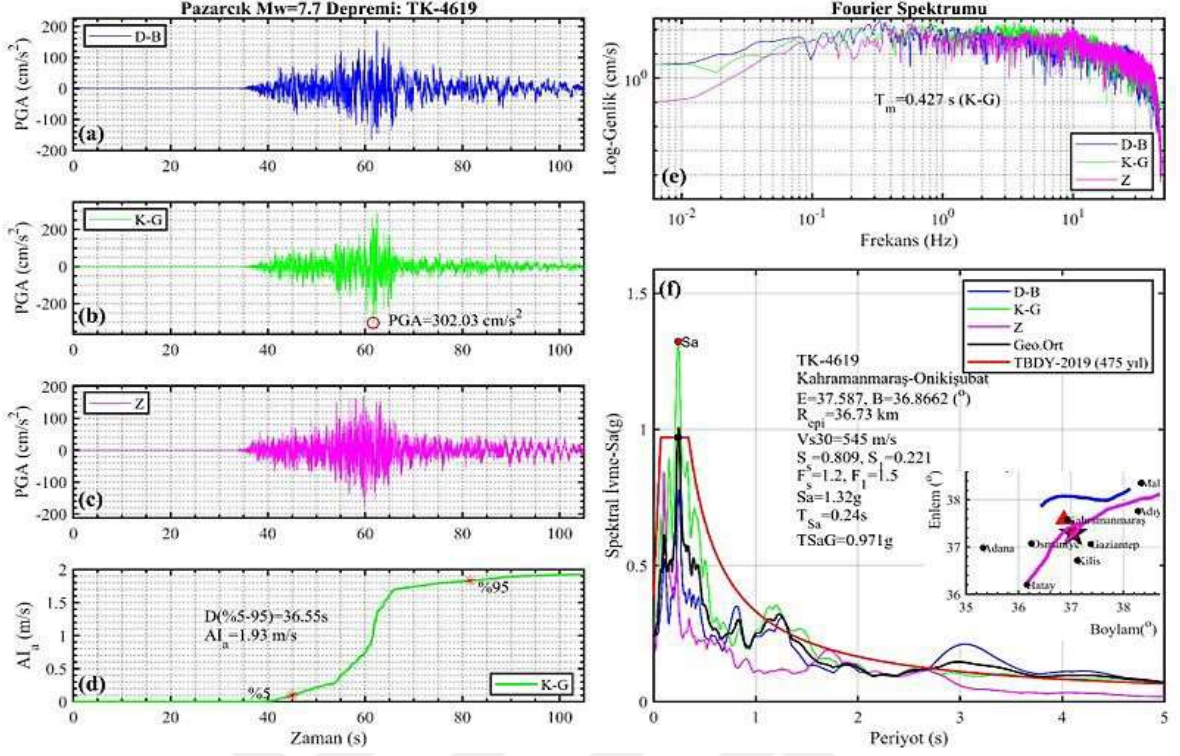
Şekil 61. TK-NAR0 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

Şekil 62 ve 63 Kahramanmaraş İli merkez ilçesi Onikişubat'taki TK-4618 ve 4619 nolu istasyonlarda kaydedilen kuvvetli yer hareketi kayıtlarının analizini göstermektedir. İstasyonların bulunduğu zemin ZC sınıfındadır. İstasyonların episantr uzaklıkları arasında 1.11 km'lik bir fark bulunmaktadır. İstasyonların konumları DAFZ ve Narlı Fay zonuna göre kuzeydedir. İstasyonlar birbirine çok yakın olmalarına karşılık, ölçülen en büyük yatay ivmeler TK-4618'de $PGA=159.42 \text{ cm/s}^2$ (D-B) ve TK-4619'da $PGA=302.03 \text{ cm/s}^2$ (K-G) ölçülmüştür. Arias şiddeti (sırasıyla, 0.793 m/s ve 1.93 m/s) ve etkin süreler (46.7 s ve 36.55 s) göre, deprem enerjisinin, TK-4618 istasyonu civarında uzun süreli zayıf-orta şiddette sarsıntıya, TK-4619 istasyonu civarında ise, uzun süreli ancak hasar oluşturacak güçlü sarsıntıya neden olacak şekilde boşaldığı anlaşılmaktadır. TK-4618 istasyonunda yatay ivme tepki spektral değerler tasarım ivme spektral ivmelerin altında kalmıştır, sadece uzun periyot bölgesinde $\sim 2.7\text{-}3.2$ s aralığında çok az miktarda bir aşım görülmektedir. Buna karşılık, TK-4619 istasyonunda tasarım spektral değerler plato bölgesinde $T_{sa}=0.24$ s civarında çok dar bir periyot aralığında ~ 1.4 kat aşılmıştır. Benzer şekilde bu istasyonda da uzun periyot bölgesinde $\sim 1.2\text{-}1.3$ s ve $\sim 2.7\text{-}3.2$ s'de tasarım değerlerinin çok azda olsa aşıldığı görülmektedir. TK-4629 istasyonunda düşey ivme tepki spektrumunun kısa periyotta (yüksek frekansta) düşey yönde sarsıntı oluşturduğu anlaşılmaktadır. Birbirine çok yakın

olan bu iki istasyondan birinde ölçülen ivme ve spektral ivmeler tasarım değerlerini aşmazken, diğerinde çok dar bir periyot aralığında aşmış olması dikkat çekicidir. Her iki istasyon için episantr uzaklığı, faya göre konum ve uzaklıkları (TK-4618 için $R_{rup}=39.79$ km ve TK-4619 için $R_{rup}=38.99$ km) oldukça yakın olduğundan, bu durum ancak TK-4619 nolu istasyon civarında 0.24 s'li periyottaki sismik dalgaların empedans oranları veya taban kaya topoğrafyası ile ilişkili bir büyötmeye maruz kalması ile açıklanabilir.



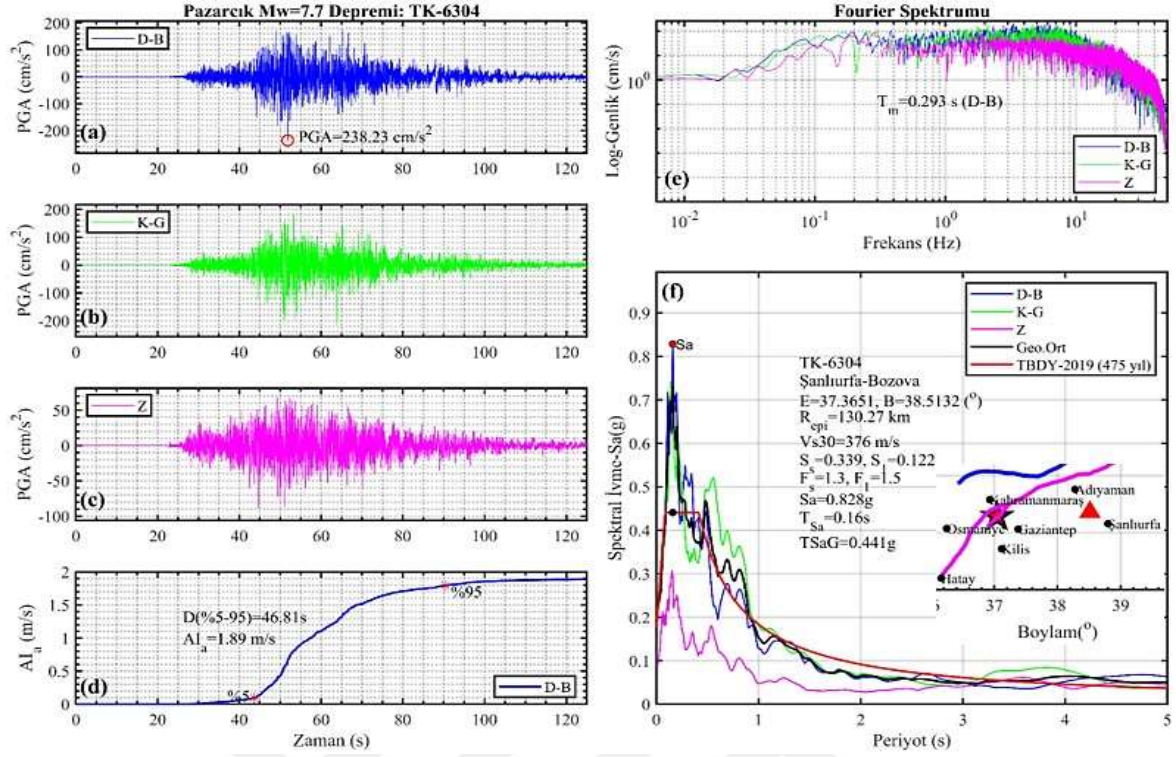
Şekil 62. TK-4618 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



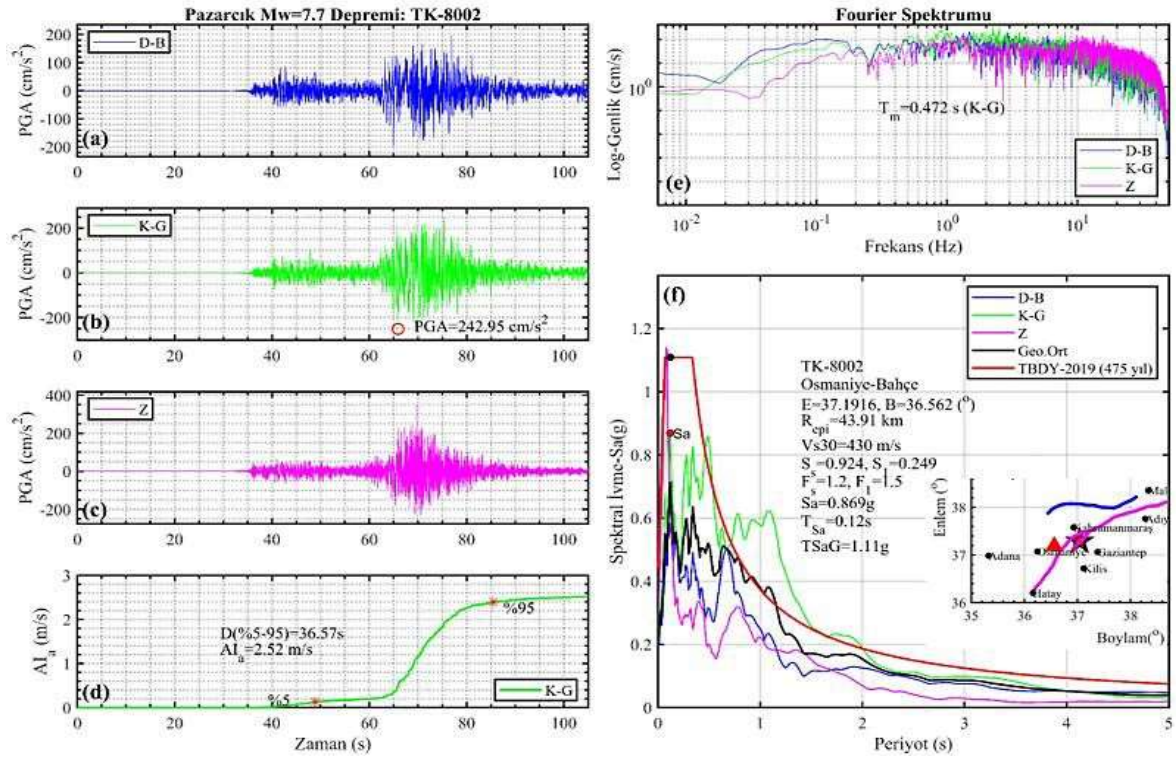
Şekil 63. TK-4619 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

Şekil 64 episantr uzaklığı $R_{epi} = 130.27$ km olan Şanlıurfa-Bozova'daki TK-6304 nolu istasyonda kaydedilen kuvvetli yer hareketi kaydının analizini sunmaktadır. İstasyon deprem episantrına ve fayın doğrultusuna göre hemen hemen doğuda konumlanmıştır. İstasyonun zemin sınıfı ZC'dir ($V_{s30} = 376$ m/s) ancak ZD zemin sınıfına ($180 \leq V_{s30} \leq 360$ m/s) oldukça yakın bir değerdir. Deprem enerjisinin (veya sismik dalgaların) bu istasyon civarında uzun süreli önemli hasara neden olabilecek güçlü bir sarsıntı ile boşaldığı anlaşılmaktadır. Sarsıntı süresinin uzun (>30 s) olması bu istasyon civarında sıvılaşmaya, heyelanlara ve uzun periyotlu (yüksek katlı binalar ve köprüler) yapılarda önemli zorlanmalara ve kısmen hasarlara neden olduğu anlaşılmaktadır. Ortalama periyot değerine ($T_m = 0.293$ s) göre uzakta olmasına karşın bu istasyon civarında yüksek frekanslı titreşimlerin zemin büyütme etkisinden dolayı etkin olduğu söylenebilir. Hesaplanan yatay ivme tepki spektral değerlerin tasarım ivme spektral değerleri hem plato bölgesinde hem de $\sim 0.36-0.93$ s aralığında aştığı görülmektedir. Özellikle plato bölgesinin $0.09-0.25$ s aralığında tasarım değerlerinin yaklaşık 2 kat aşılmış olması, istasyon civarındaki 3 katlı yapıların hasar alacak derecede, 3-9 katlı binaların ise önemli derecede etkilendiğini göstermektedir.

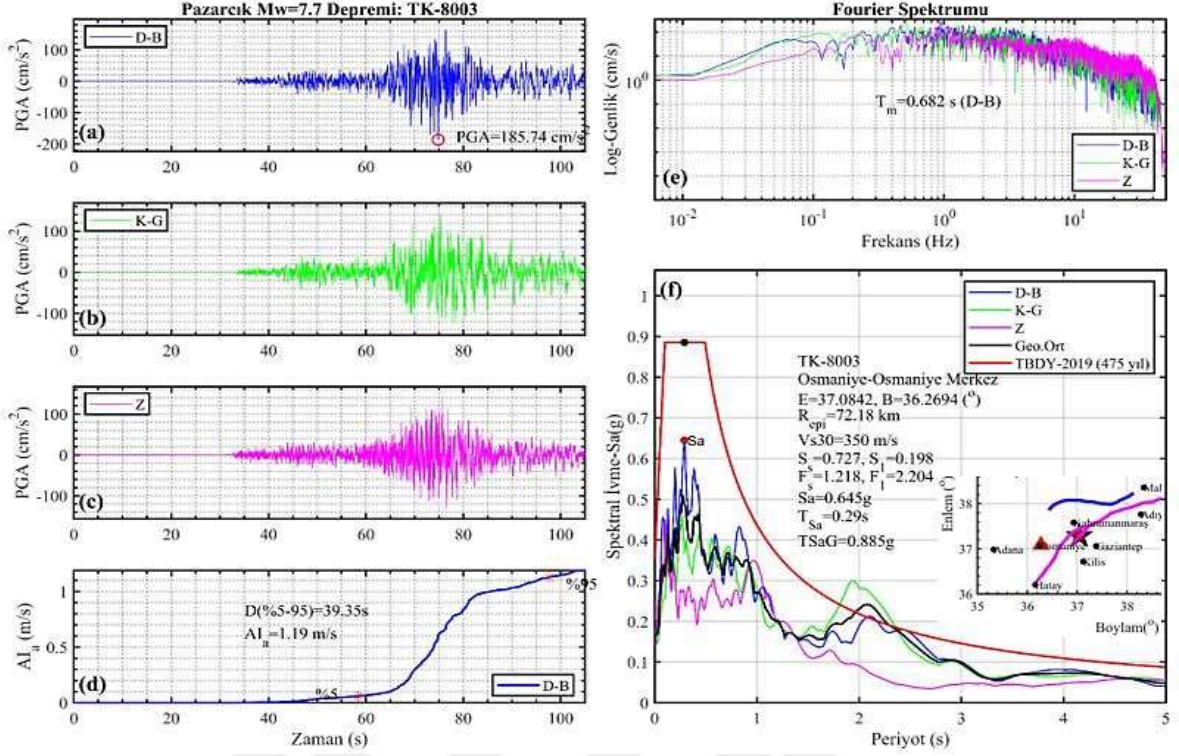
Şekil 65 ve 66, $R_{epi}= 43.91$ km, $PGA=242.95$ cm/s² (K-G), zemin sınıfı ZC olan Osmaniye-Bahçe (TK-8002) ve $R_{epi}=72.18$ km, $PGA=185.74$ cm/s² (D-B), zemin sınıfı ZD olan Osmaniye-Merkez (TK-8003) istasyonlarında kaydedilen kuvvetli yer hareketinin analizlerini sunmaktadır. Her iki istasyon DAFZ'na ve deprem episantırına göre doğru konumlanmıştır ve istasyondaki zaman serilerinin dalga formları TK-4616 nolu istasyondakine benzerlik göstermektedir. TK-8002 istasyonu episantra ~30 km daha yakın olmasına karşılık, her iki istasyonun faya yakınlıkları (TK-8002 için $R_{rup}=21.04$ km, TK-8003 için $R_{rup}=27.11$ km) arasında ~6 km fark vardır. Deprem etkin süresi ve Arias şiddeti TK-8002 istasyonunda 36.57 s ve 2.52 m/s iken, TK-8003 istasyonunda 39.55 s ve 1.19 m/s'dir. Buna göre, deprem enerjisi bu istasyonların civarında uzun sürede hasara neden olabilecek güçlü bir sarsıntıya neden olduğu anlaşılmaktadır. Tasarım spektral ivmeler TK-8002 nolu istasyonunda tasarım eğrisinin sönüm bölgesinde ~0.5 s civarında çok dar bir periyot aralığında ve ~0.7-1.5 s arasında aşılmıştır. Bununla birlikte, plato bölgesinde tasarım değerleri aşılmamış olsa da, özellikle K-G bileşeni yatay ivme spektral değerlerin çok geniş bir periyot aralığında olduğu görülmektedir. Düşey ivme tepki spektrumu bu istasyonda da kısa periyot bölgesinde yüksek bir değere ulaşmıştır. Yani TK-8002 istasyonun yakın civarı düşey yönde önemli bir sarsıntıya maruz kaldığı anlaşılmaktadır. TK-8003 istasyonunda tasarım ivme spektral değerlerin sadece uzun periyot bölgesinde ~1.8-2.25 s arasında kısmen aşıldığı görülmekle birlikte, ivme tepki spektral değerlerin plato bölgesi altında geniş bir periyot aralığında olduğu dikkat çekmektedir.



Şekil 64. TK-6304 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



Şekil 65. TK-8002 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



Şekil 66. TK-8003 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

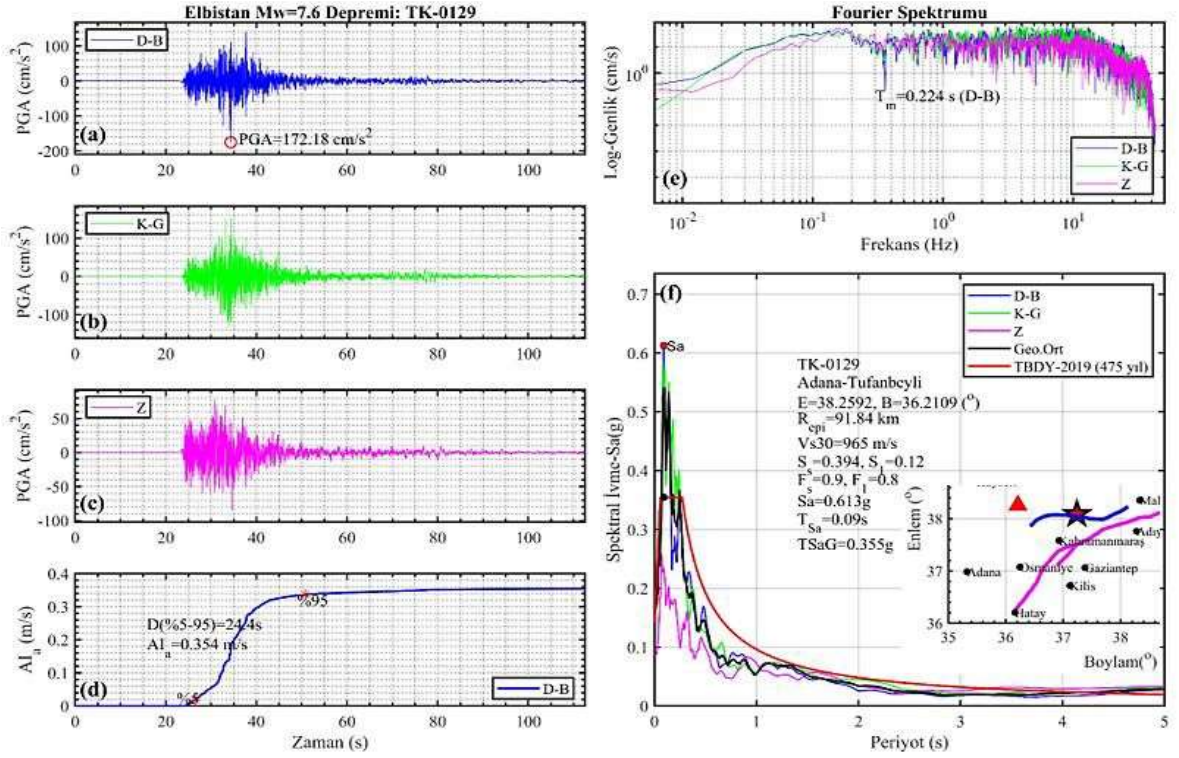
3.1.2. Elbistan $M_w=7.6$ Depreminin İvme Zaman Serileri

Elbistan $M_w=7.6$ depremi, Pazarcık $M_w=7.7$ depremine göre sınırlı sayıda yerde hasara neden olmuştur. Özellikle Kahramanmaraş, Malatya illeri ve ilçelerinde etkili olan bu deprem için, seçilen bazı istasyonlarda kaydedilen kuvvetli yer hareketi kayıtları analiz edilmiştir. Bu depremi için tüm KYHP (AFAD'dan temin edilen ve bu çalışmada hesaplananlar) Ek Tablo 2'de sunulmuştur.

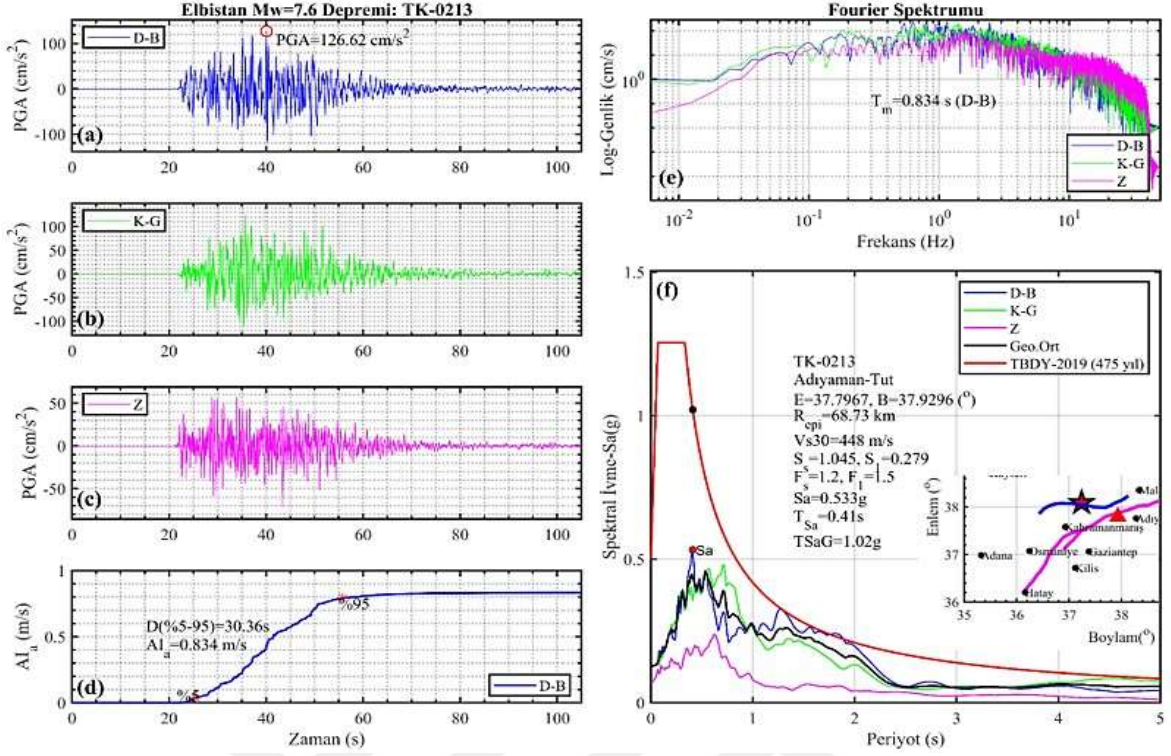
Şekil 67 Adana-Tufanbeyli'de $R_{epi}=91.84$ km, $PGA=172.18$ cm/s² (D-B), zemin sınıfı ZB olan TK-0129 nolu istasyonda kaydedilen kuvvetli yer hareketinin analizini göstermektedir. İstasyon episantrın ve SF+ÇF Fay'ının batı tarafında konumlanmıştır. Etkin süre ve Arias şiddetine göre, deprem etkin olarak 24.4 s süreyle bu istasyonun civarında zayıf-orta şiddette hissedilmiştir. Ortalama periyot değerine göre kısa periyotlu (yüksek frekanslı) titreşimlerin baskın olduğu ve alçak katlı yapılar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Tasarım spektral değerler plato bölgesinde (0.06-0.27 s aralığında) yaklaşık 2 kat aşılmıştır.

Şekil 68 Adıyaman-Tut'da $R_{epi}=68.73$ km, $PGA=126.62$ cm/s² (D-B), zemin sınıfı ZC olan TK-0213 nolu istasyonda kaydedilen kuvvetli yer hareketinin analizini göstermektedir.

İstasyon episantrın ve Sürgü+Çardak (SF+ÇF) Fay'ının güney-doğu tarafında konumlanmıştır. Etkin süre ve Arias şiddetine göre, deprem etkin olarak 30.36 s süreyle bu istasyonun civarında zayıf-orta şiddette hissedilmiştir. Ortalama periyot değerine göre görece uzun periyotlu (düşük frekanslı) titreşimlerin baskın olduğu, özellikle yumuşak zeminlerdeki uzun periyotlu yapılar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Tasarım spektral değerler plato bölgesinde aşılmamış olup, uzun periyot bölgesinde 1.3-1.9 s aralığında tasarım değerlerine teğet olmuştur.

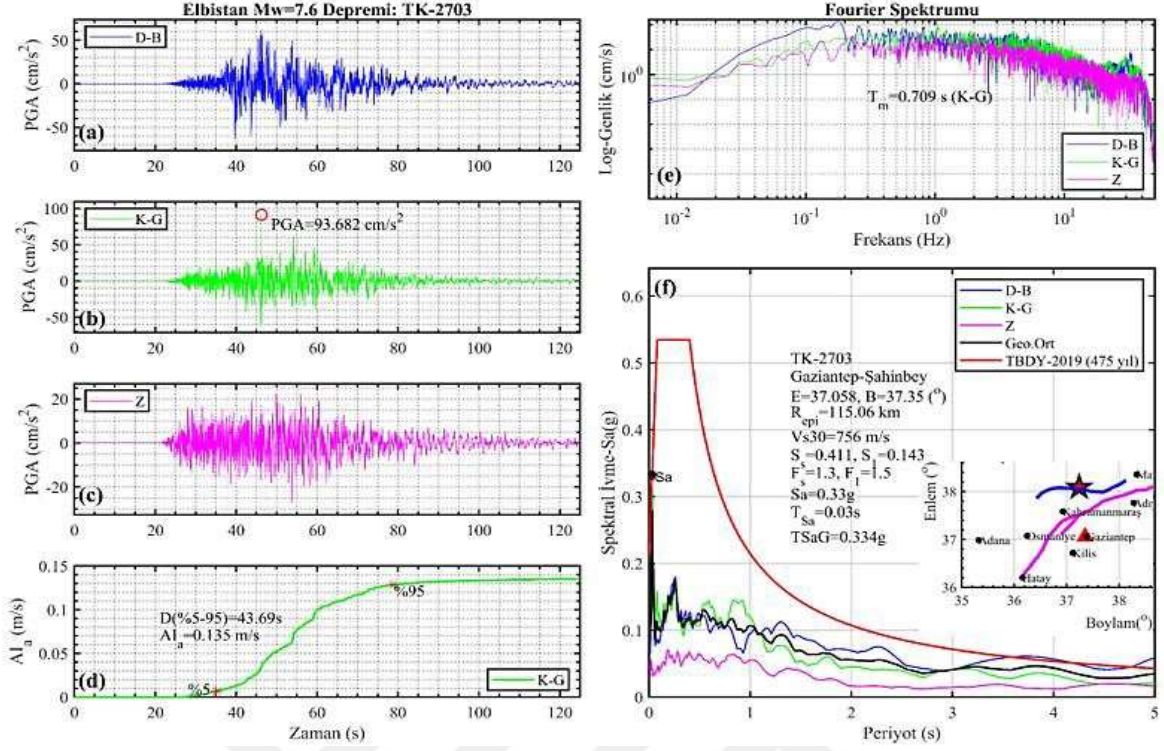


Şekil 67. TK-0129 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



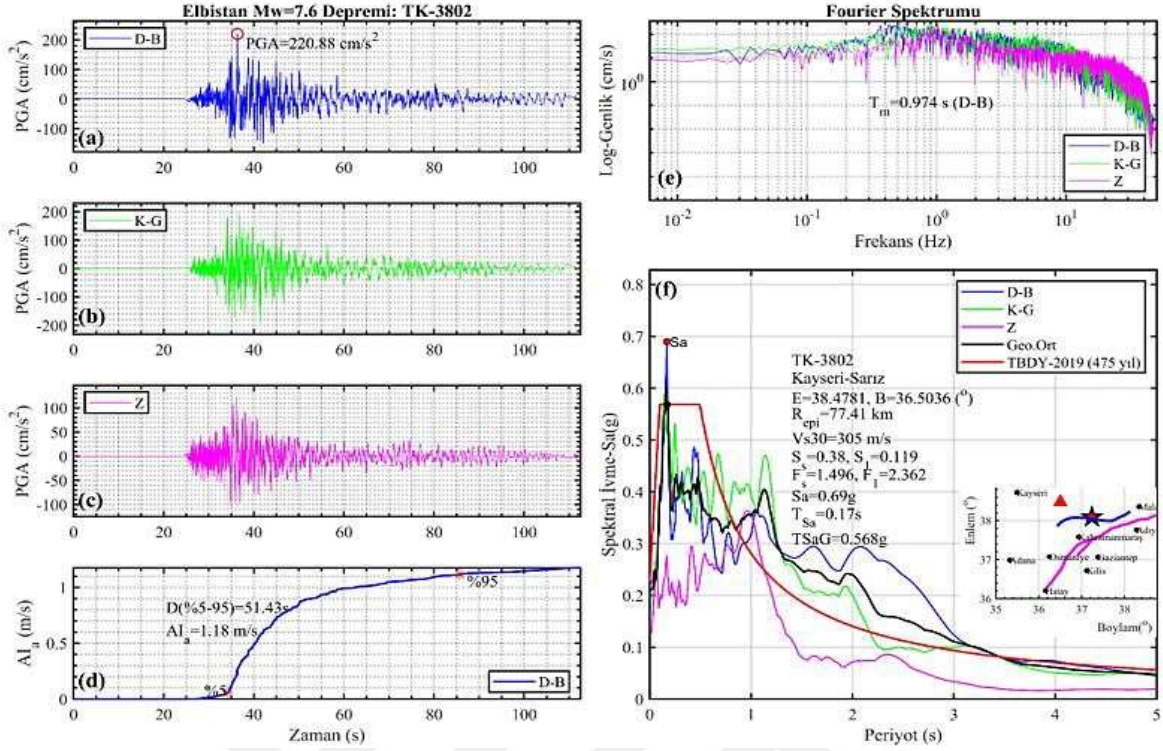
Şekil 68. TK-0213 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

Şekil 69 Gaziantep-Şahinbey’de $R_{epi}=115.06$ km, $PGA=93.682$ cm/s² (K-G), zemin sınıfı ZC olan TK-2703 nolu istasyonda kaydedilen kuvvetli yer hareketinin analizini göstermektedir. İstasyon episantrın ve Sürgü+Çardak (SF+ÇF) Fay’ının tam olarak güney tarafında konumlanmıştır. Etkin süre ve Arias şiddetine göre, deprem etkin olarak 30.36 s süreyle bu istasyonun civarında zayıf-orta şiddette hissedilmiştir. Ortalama periyot değerine göre görece uzun periyotlu (düşük frekanslı) titreşimlerin baskın olduğu, özellikle yumuşak zeminlerdeki uzun periyotlu yapılar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Tasarım spektral değerler plato bölgesinde aşılmamış olup, uzun periyot bölgesinde 3.1-4.3 s aralığında tasarım değerlerine teğet olmuştur.



Şekil 69. TK-2703 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

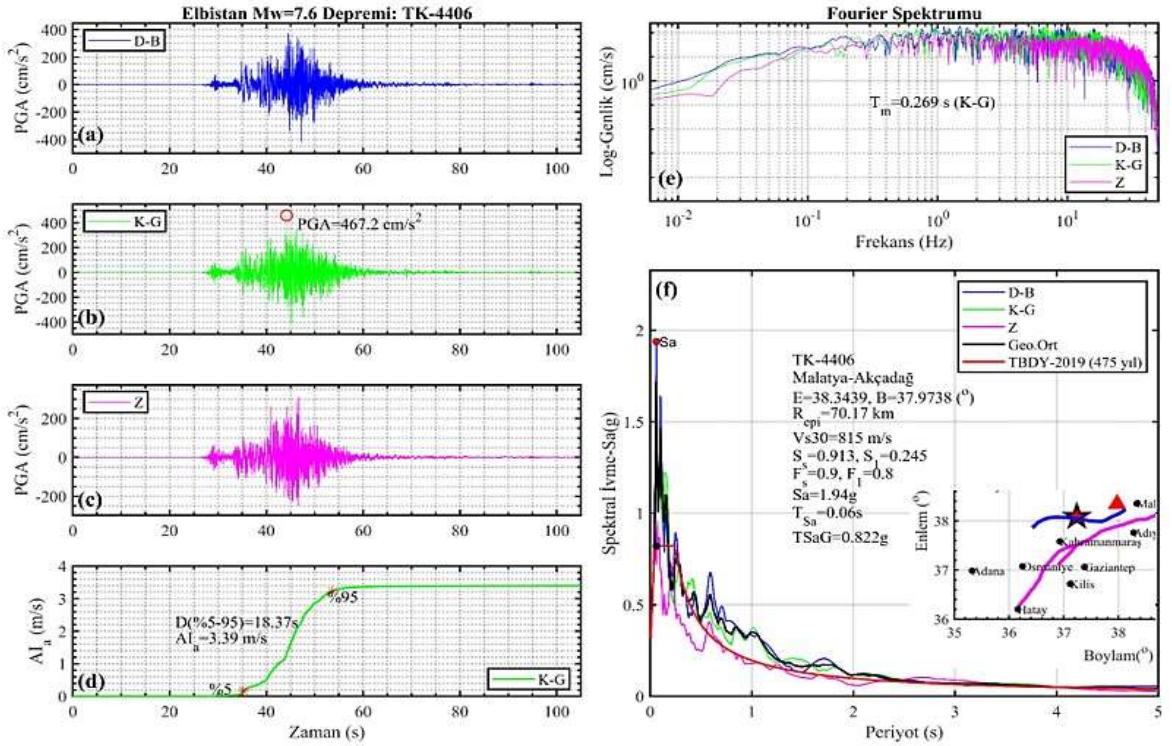
Şekil 70 Kayseri-Sarız'da $R_{epi}=91.84$ km, $PGA=172.18$ cm/s² (D-B), zemin sınıfı ZB olan TK-0129 nolu istasyonda kaydedilen kuvvetli yer hareketinin analizini göstermektedir. İstasyon episantrın ve Sürgü+Çardak (SF+ÇF) Fay'ının batı tarafında konumlanmıştır. Etkin süre ve Arias şiddetine göre, deprem enerjisinin etkin olarak 51.43 s süreyle bu istasyonun civarında hasara neden olabilecek güçlü bir sarsıntı oluşturduğunu açıklamaktadır. Ortalama periyot değerine göre, görece uzun periyotlu (düşük frekanslı) titreşimlerin baskın olduğu, özellikle yumuşak zeminlerdeki uzun periyotlu yapılar üzerinde etkili olduğu söylenebilir. Tasarım spektral değerler plato bölgesinde 0.17 s'de, sönüm ve uzun periyot bölgesinde 0.65-3.4 s arasında aşılmıştır. Zemin sınıfının ZD olduğu göz önüne alındığında, istasyon bölgesinin zeminin 0.17 s'lik periyottaki sismik dalgaların ve özellikle uzun periyot deprem dalgaların enerjisini büyüttüğü (zemin büyütmesi) anlaşılmaktadır. Etkin süreye göre, deprem enerjisi çok uzun sürede boşaldığından, bu istasyonun bulunduğu civarda sıvılaşma ve heyelan gibi olaylara neden olmasının yanında yüksek katlı binaların ve köprülerin zorlandığı söylenebilir.



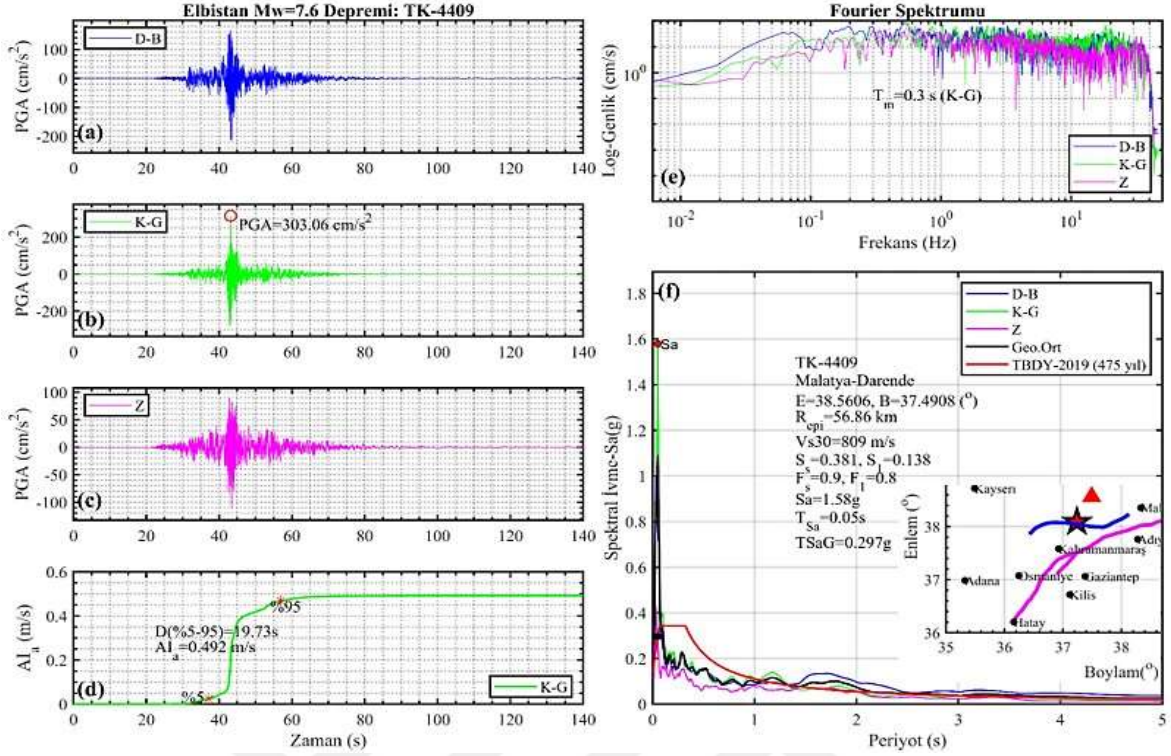
Şekil 70. TK-3802 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

Şekil 71 ve 72 Malatya-Akçadağ'daki TK-4406 ($R_{epi}=70.17$ km, $PGA=467.2$ cm/s² (K-G), zemin sınıfı ZB) ve Malatya-Darende'deki TK-4409 ($R_{epi}=56.86$ km, $PGA=303.06$ cm/s² (K-G), zemin sınıfı ZB) nolu istasyonlarda kaydedilen kuvvetli yer hareket kayıtlarının analizlerini sunmaktadır. TK-4406 nolu istasyon episantr noktasına ve SF+ÇF'nin uzanım doğrultusuna göre doğuda, TK-4409 nolu istasyon kuzey-doğuda konumlanmıştır. TK-4406 nolu istasyon TK-4409 nolu istasyona göre daha uzakta olmasına rağmen daha yüksek ivme değeri ölçülmüştür. Arias şiddeti ve etkin süre değerlerinden, sismik dalgalar halinde yayılan deprem enerjisi, TK-4406 istasyonun yakın civarında yapılarda hasara ve zeminlerde deformasyona neden olacak güçlü sarsıntı oluştururken, TK-4409 civarında yapı ve zeminlerde risk oluşturabilecek orta şiddette sarsıntılara neden olduğu anlaşılmaktadır. Her iki istasyon için ortalama periyot değerleri yüksek frekanslı titreşimlerin hakim olduğunu gösterdiğinden, özellikle sert zeminlerdeki alçak katlı binalar diğerlerine göre daha fazla etkilenmiş olabilir. Tasarım ivme spektral değerleri her iki istasyonda da plato bölgesinde aşılmıştır ve her ikisinde de çok kısa periyotlarda (yüksek frekanslarda) en büyük spektral ivmeler hesaplanmıştır. Bununla birlikte, TK-4406 istasyonunda ~0.5-2.5 s ve TK-4409 istasyonunda ~1.5-2.25 s arası periyotlarda tasarım değerleri bir miktar aşılmıştır. Diğer yandan her iki istasyonda, 0-0.1 s periyot aralığında

ivme tepki spektral değerlerin tasarım değerlerinin ~ 4.6 katı olması oldukça dikkat çekicidir. Bu durum, TK-4406 istasyonu için yönelim etkisiyle açıklanabilir, ancak TK-4409 istasyonu için bu yönelim etkisi yeterli bir gerekçe olmayabilir. Bunun iki nedeni olabilir; (1) yüksek frekanslı sismik dalgaların empedans oranı ilişkili büyütmeden ziyade taban kaya topoğrafyası ile ilişkili bir büyütme etkisinde kalmıştır, (2) TK-4409 nolu istasyonun episantr uzaklığı $R_{epi}=56.86$ km iken, faya uzaklığı $R_{rup}=27.02$ km olması nedeniyle yüksek frekanslı sismik dalga enerjisi bu istasyon civarında oldukça etkili olmuştur. TK-4406 istasyonunun episantr uzaklığı $R_{epi}=70.17$ km iken faya uzaklığı $R_{rup}=66$ km'dir. Her iki mesafe birbirine yakındır. Dolayısıyla TK-4406 nolu istasyonda düşük periyotlarda yüksek spektral ivmelerin faya uzaklıktan daha çok ana kaya topoğrafyası ile ilişkili olabileceği düşüncesini güçlendirmektedir.



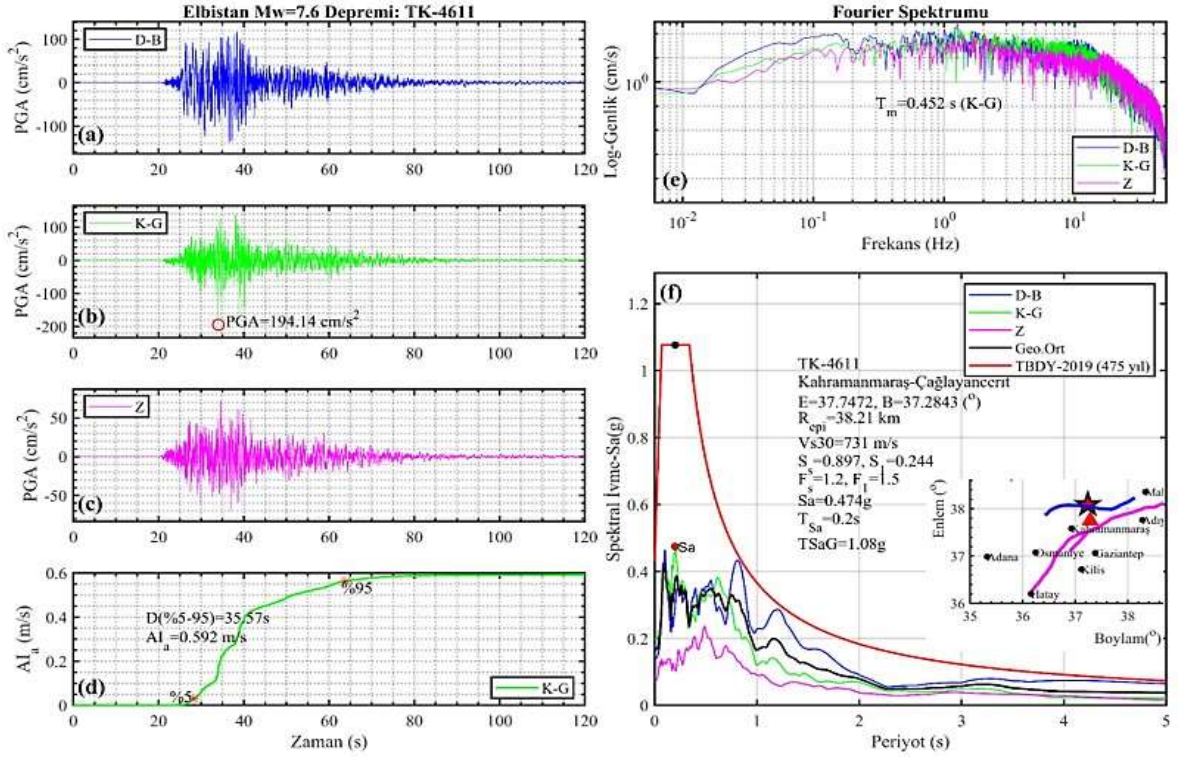
Şekil 71. TK-4406 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



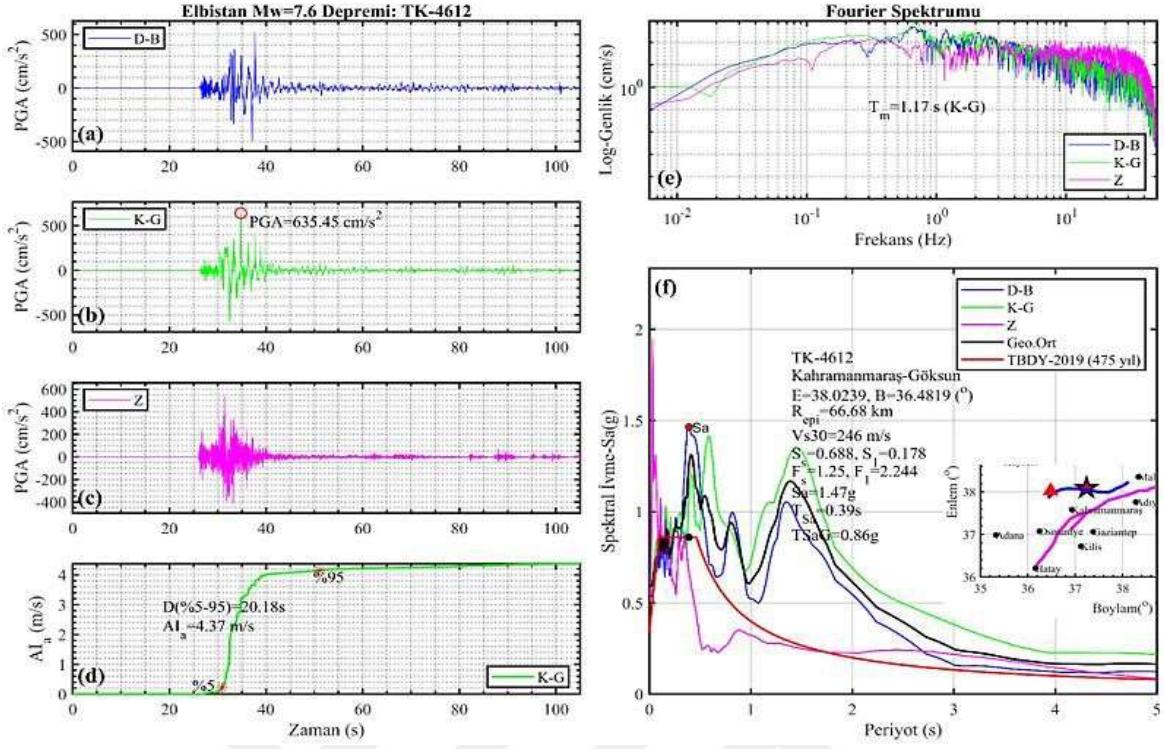
Şekil 72. TK-4409 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

Şekil 73 ve 74 Kahramanmaraş-Çağlayancerit'teki TK-4611 ($R_{epi}=38.21$ km, $PGA=194.14$ cm/s² (K-G), zemin sınıfı ZC) ve Kahramanmaraş-Göksun'daki TK-4612 ($R_{epi}=66.68$ km, $PGA=635.45$ cm/s², zemin sınıfı ZD) nolu istasyonlarda kaydedilen kuvvetli yer hareket kayıtlarının analizlerini sunmaktadır. TK-4611 nolu istasyon episantr noktasına ve SF+ÇF'nin uzanım doğrultusuna göre güneyde, TK-4612 nolu istasyon ise batı tarafında konumlanmıştır. TK-4612 nolu istasyon TK-4611 nolu istasyona göre daha uzakta olmasına rağmen daha yüksek ivme değeri ölçülmüştür. TK-4611 istasyonu için hesaplanan kuvvetli yer hareketi parametrelerine göre, istasyonun civarının yapı ve zeminlerde risk oluşturabilecek orta şiddette sarsıntılara maruz kaldığı ve sismik dalgaların geniş frekans bandında (veya periyot aralığında) etkin olduğu anlaşılmaktadır. Tasarım spektral ivmeler bu istasyonda aşılmıştır, ancak ivme tepki spektral değerlerin geniş bir periyot aralığına dağıldığı görülmektedir. TK-4612 nolu istasyonda hesaplanan kuvvetli yer hareket parametreleri, bu istasyon civarının yapılarda ve zeminlerde ileri hasara neden olabilecek çok şiddetli sarsıldığını ve uzun periyotlu titreşimlerin etkin olduğunu göstermektedir. Bu durum, istasyon zeminin ZD sınıfında olması ile de uyumludur. Tasarım spektral değerlerin plato bölgesinde özellikle ~0.3-0.46 s arasında ve 0.46 s'den daha uzun periyotlarda yüksek oranda aşıldığı görülmektedir. Düşey ivme tepki spektrumunun düşük periyot bölgesinde 0-

0.1 s arasında çok yüksek değere olması, bu istasyon çevresinin düşey yönde ciddi şekilde sarsıldığı ve muhtemelen yapılarda ve zeminlerde deformasyonlara neden olduğu anlaşılmaktadır. Yatay ivme tepki spektrum değerlerinin çok geniş bir periyot aralığına dağılması ve uzun periyot değerlerinde yüksek değerlerde olması, hem yönelim hem de zemin büyütme etkisinin (empedans oranları+ taban kaya topoğrafyası) olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 73. TK-4611 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

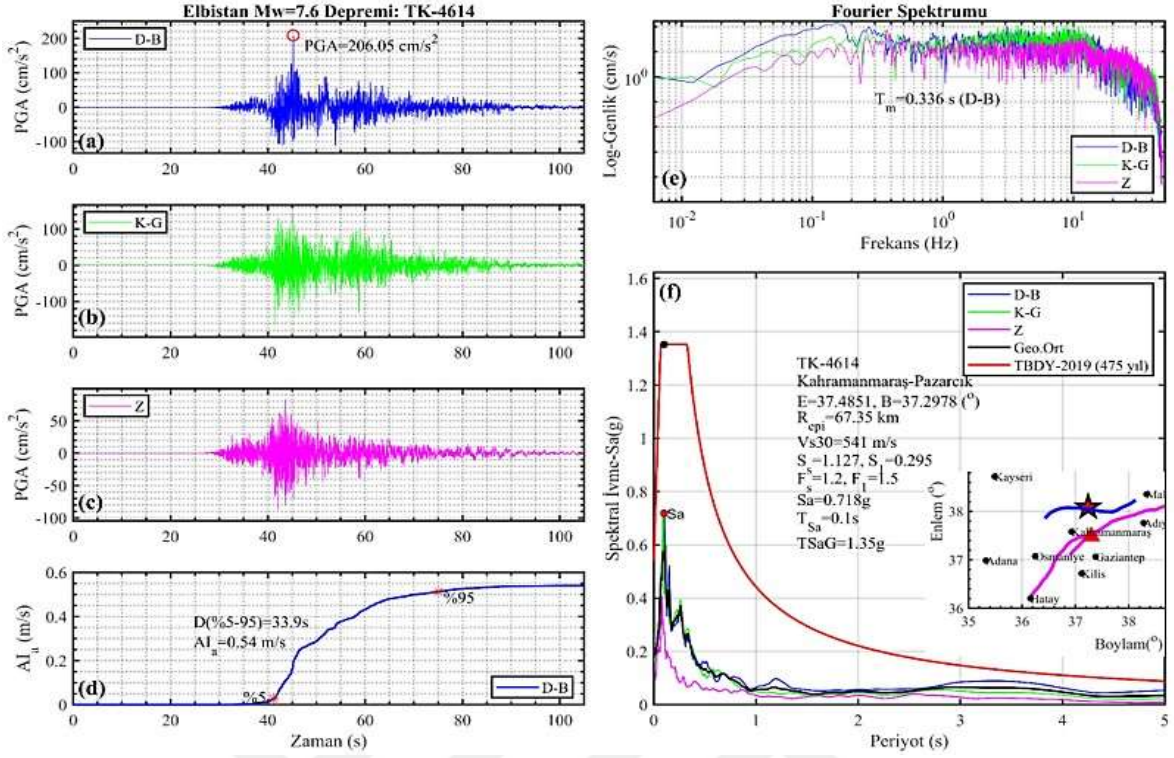


Şekil 74. TK-4612 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

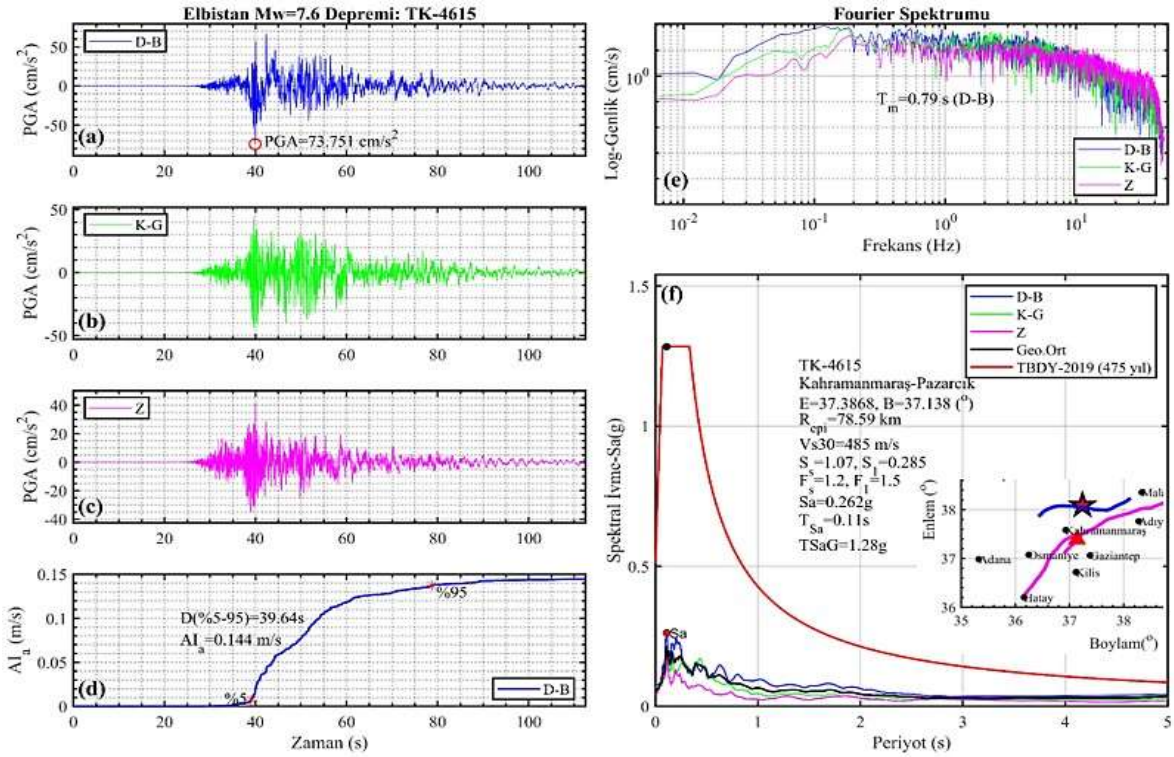
Şekil 75’den 78’e Kahramanmaraş-Pazarcık’taki TK-4614 ($R_{epi}=67.35$ km, $PGA=206.05$ cm/s² (K-G), zemin sınıfı ZC) ve TK-4615 ($R_{epi}=78.59$ km, $PGA=73.751$ cm/s² (D-B), zemin sınıfı ZC), Kahramanmaraş-Türkoğlu’ndaki TK-4616 ($R_{epi}=86.81$ km, $PGA=57.546$ cm/s² (K-G), zemin sınıfı ZC) ve Kahramanmaraş-Nurhak’taki TK-4631 ($R_{epi}=21.43$ km, $PGA=409.3$ cm/s² (D-B), zemin sınıfı ZC) nolu istasyonların kuvvetli yer hareketi kayıtlarının analizlerini sunmaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde, Pazarcık $M_w=7.7$ depreminin TK-4614, 4615 ve 4616 nolu istasyonları için hesaplanan kuvvetli yer hareketi parametrelerinin çok yüksek değerlere ulaştığı ve yakın civarlarında en fazla yapısal ve zemin hasarların gözlenmiş olduğu dikkate alındığında, Elbistan $M_w=7.6$ depreminin bu istasyonlar için hesaplanan kuvvetli yer hareketi parametrelerinin oldukça düşük değerlerde olduğu görülmüştür. Bu üç istasyon Elbistan $M_w=7.6$ depreminin episantr noktasına ve SF+ÇF fayının uzanım doğrultusuna göre ~60-90 km ofsetli olarak hemen hemen güney-güneybatısında konumlanmıştır. Bu üç istasyon için hesaplanan etkin süre, Arias şiddeti ve ortalama periyot parametrelerine göre, deprem enerjisi istasyon civarındaki yerleşim yerlerinde uzun süreli ancak zayıf şiddette hissedilen sarsıntılara neden olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, her üç istasyon için hesaplanan ivme tepki spektral değerler tamamen spektral değerlerin çok altında kalmıştır. En büyük PGA değeri TK-4614

nolu istasyonun D-B bileşeninde ölçülmüş olmakla birlikte, dar bir periyot aralığına dağılan yatay spektral ivmeler hemen hemen üst üste binmiştir ve en büyük değeri $T_{sa}=0.1$ s'de ($=10$ Hz) $S_a=0.718$ g olarak hesaplanmıştır. Buna göre, bu istasyonun yakın civarındaki yapıların ve zeminin yüksek frekanslı titreşimlerin etkisi altında kaldığı anlaşılmaktadır.

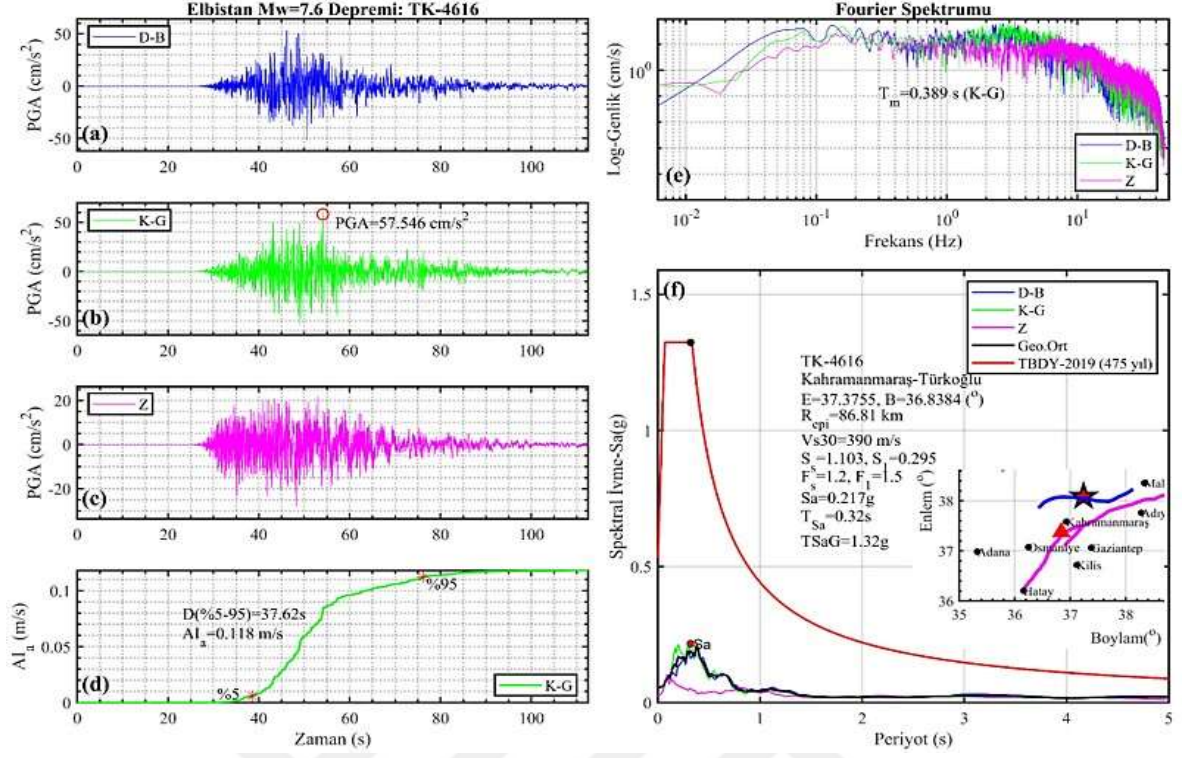
TK-4631 istasyonu diğerlerine göre episantr noktasına oldukça yakındır ve fayın yırtılma zonu içindedir. Bu dört istasyon içinde en büyük yer ivmesi $PGA=409.3$ cm/s² ile TK-4631 istasyonunda ölçülmüştür. Bu istasyon için hesaplanan etkin süre, Arias şiddeti ve ortalama periyot parametrelerine göre, deprem enerjisi istasyon civarındaki yerleşim yerlerinde uzun süreli ve hasara yapıcı oldukça şiddetli hissedilen sarsıntılara neden olduğu anlaşılmaktadır. Hesaplanan ivme tepki spektral değerler geniş bir periyot aralığına etkin olmakla birlikte, tasarım ivmelerini plato bölgesi dışındaki sönüm bölgesinde $\sim 0.36-1.28$ s arasında hemen hemen ~ 2 kat, $\sim 1.28-2.24$ s arasında ise ~ 1.7 kat kadar aşmıştır. Düşey ivme tepki spektrumunun düşük periyot bölgesinde (0-0.12 s aralığı) çok yüksek değerlerde olması, istasyon civarındaki yapıların ve zeminin düşey yönde önemli güçlü bir sarsıntıya maruz kaldığını göstermektedir. TK-4631 nolu istasyonda dikkat çekici bir durum ise, ivme zaman serilerindeki iki dalga paketinin (Z bileşeninden ve Arias şiddeti eğrisinden çok net olarak görülmektedir; I. paket 20-30 s aralığı, II. paket 30 s'den sonrası) varlığıdır. Bu durum Pazarcık $M_w=7.7$ depremi sonrası yakın episantr uzaklıklarındaki istasyonlarda gözlenen çoklu dalga paketlerine benzerlik göstermektedir. Dolayısıyla, TK-4631 istasyonunda gözlenen bu iki dalga grubu, Elbistan $M_w=7.6$ depreminin de ardışık bir kırılma ile oluşmuş olduğuna dair bir işaret vermektedir.



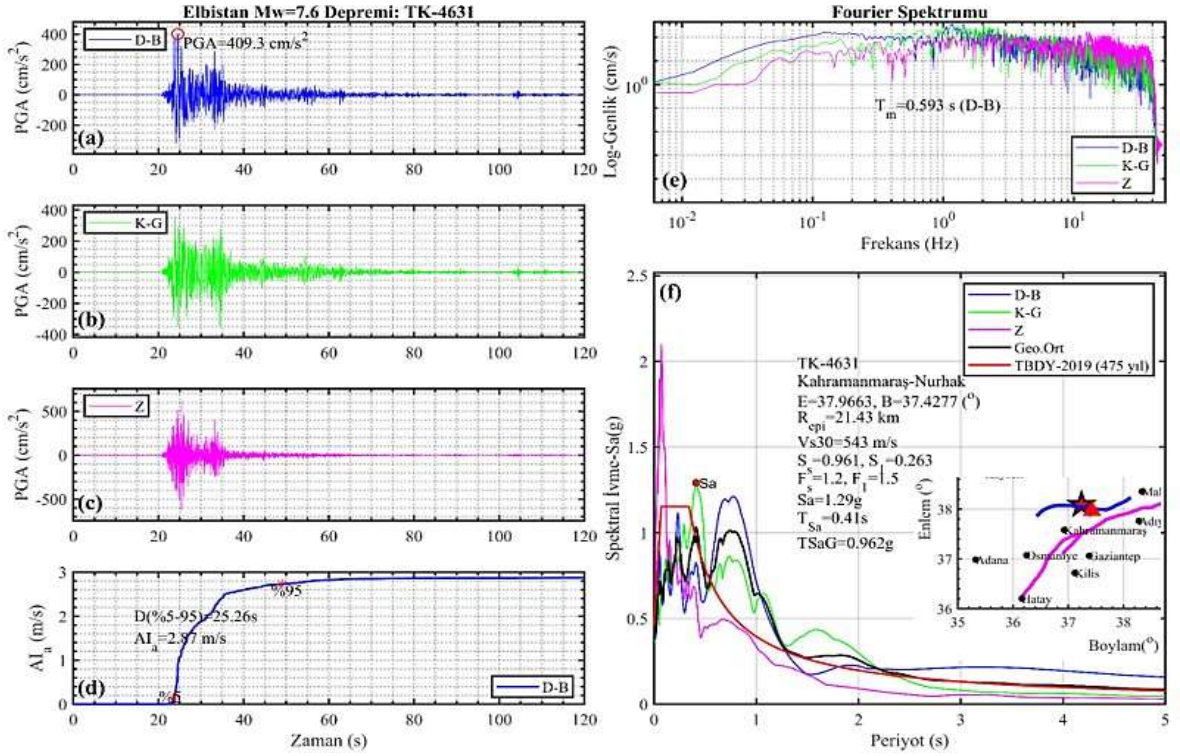
Şekil 75. TK-4614 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



Şekil 76. TK-4615 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



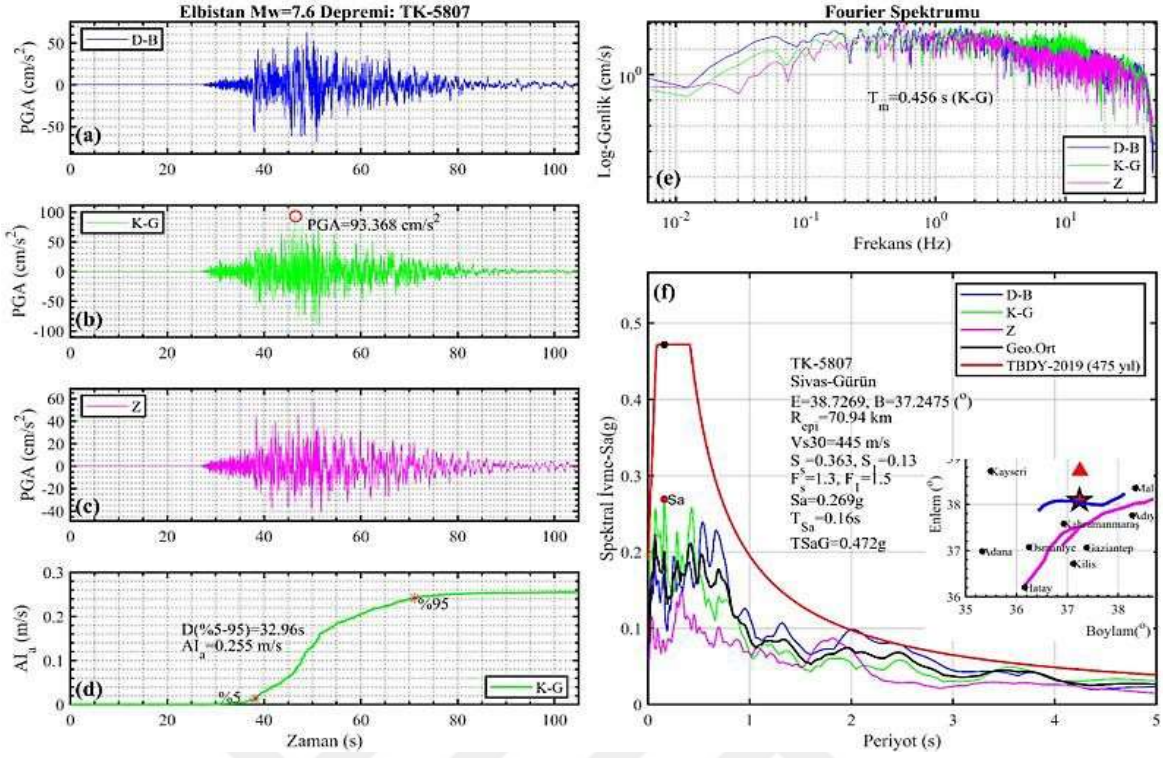
Şekil 77. TK-4616 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



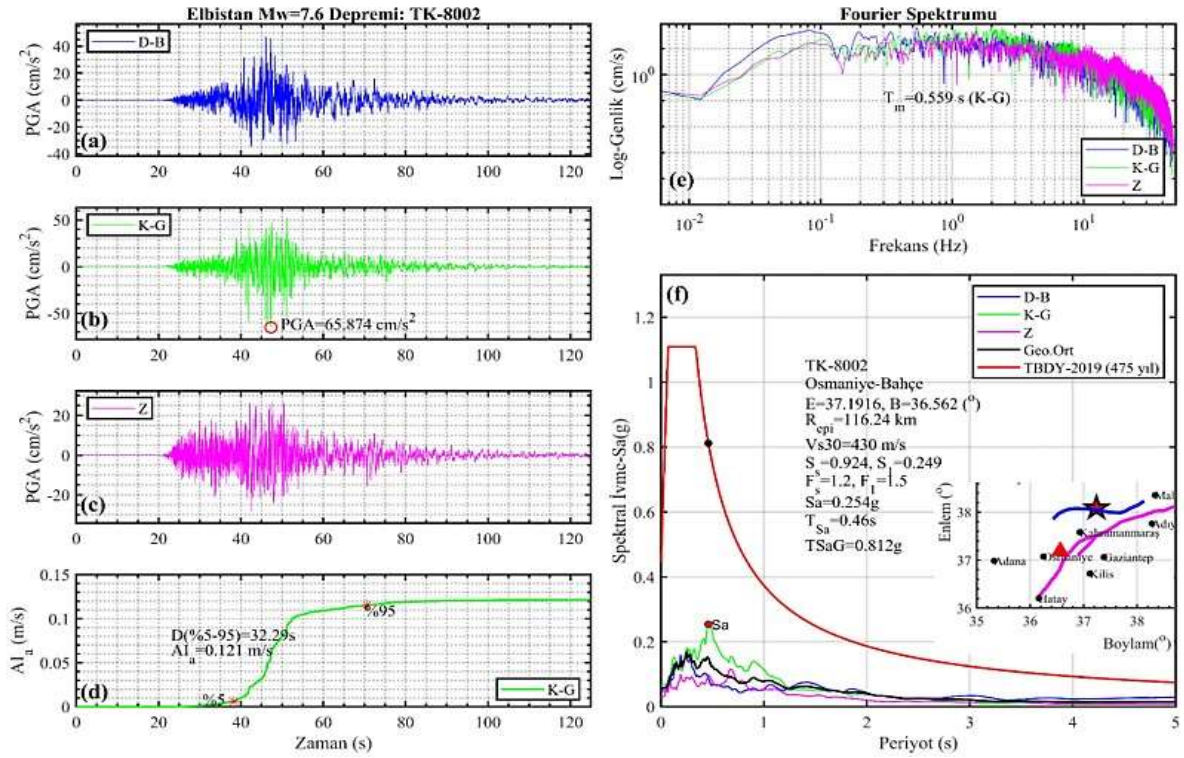
Şekil 78. TK-4631 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

Şekil 79 ve 80 Sivas-Gürün'deki TK-5807 ($R_{epi}=70.94$ km, $PGA=93.368$ cm/s² (K-G), zemin sınıfı ZC) ve Osmaniye-Bahçe'deki TK-8002 ($R_{epi}=116.24$ km, $PGA=65.874$ cm/s² (K-G), zemin sınıfı ZC) nolu istasyonlarda kaydedilen kuvvetli yer hareketi kayıtlarının analizini sunmaktadır. TK-5807 nolu istasyon deprem episantr noktasına ve SF+ÇF uzanımına göre tam güneyde konumlanırken, TK-8002 istasyonu güney-batıda konumlanmıştır. Her iki istasyon için hesaplanan kuvvetli yer hareketi parametreleri benzerlik göstermektedir. Buna göre deprem enerjisi bu istasyonların civarındaki yerleşim yerlerinde uzun süreli, geniş bir periyot (veya frekans) aralığında ancak zayıf şiddette hissedilen sarsıntılara neden olduğu anlaşılmaktadır. Tasarım spektral değeri her iki istasyonda da aşılmamıştır, ivme tepki spektral değerleri geniş periyot aralığına (0-1.0 s) dağılmıştır. Bununla birlikte TK-5807 nolu istasyonda 1.0 s'den sonraki uzun periyot bölgesinde ivme tepki spektral değerlerin tasarım ivme spektral değerlere yaklaştığı görülmektedir. Bu durum depremin bu istasyona yakın civarındaki uzun periyotlu yapılarda (yüksek katlı binalarda ve köprülerde) tedirgin edici olarak hissedilmiş olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, TK-8002 nolu istasyon çevresindeki uzun periyotlu yapılar da sarsıntının hissedilme seviyesi oldukça düşük olduğu anlaşılmaktadır.

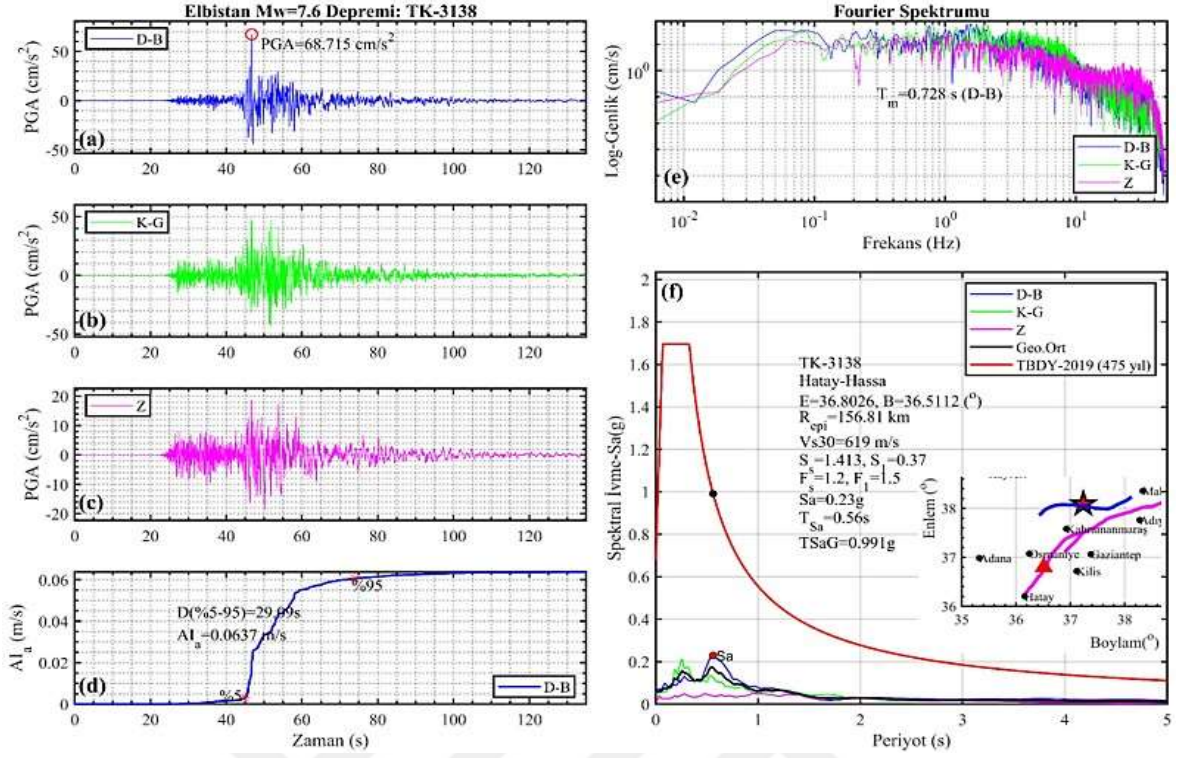
Şekil 81 Pazarcık $M_w=7.7$ depreminde Kahramanmaraş ili ile birlikte en fazla yıkımın ve ölümün yaşandığı Hatay ilinde, Elbistan $M_w=7.6$ depreminin episantr noktasına en yakın olan Hatay-Hassa'daki TK-3138 nolu istasyonda kaydedilen kuvvetli yer hareketi kaydının analizini sunmaktadır. İstasyonun episantr uzaklığı $R_{epi}=156.81$ km, ölçülen en büyük $PGA=68.715$ cm/s² (D-B) ve zemin sınıfı ZC ($V_{s30}=619$ m/s)'dir. Görüldüğü üzere ölçülen en büyük $PGA<100$ cm/s²'dir. Bununla birlikte, istasyon için hesaplanan kuvvetli yer hareketi parametrelerine göre, istasyonun yakın çevresinde çok zayıf ve deprem sarsıntısının genelde hissedilmeyecek seviyede olduğu anlaşılmaktadır. İvme tepki spektral değerlerin 0.23 g'den düşük olduğu ve tüm periyot bölgesinde tasarım ivme spektral değerlerin altında kaldığı görülmektedir.



Şekil 79. TK-5807 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



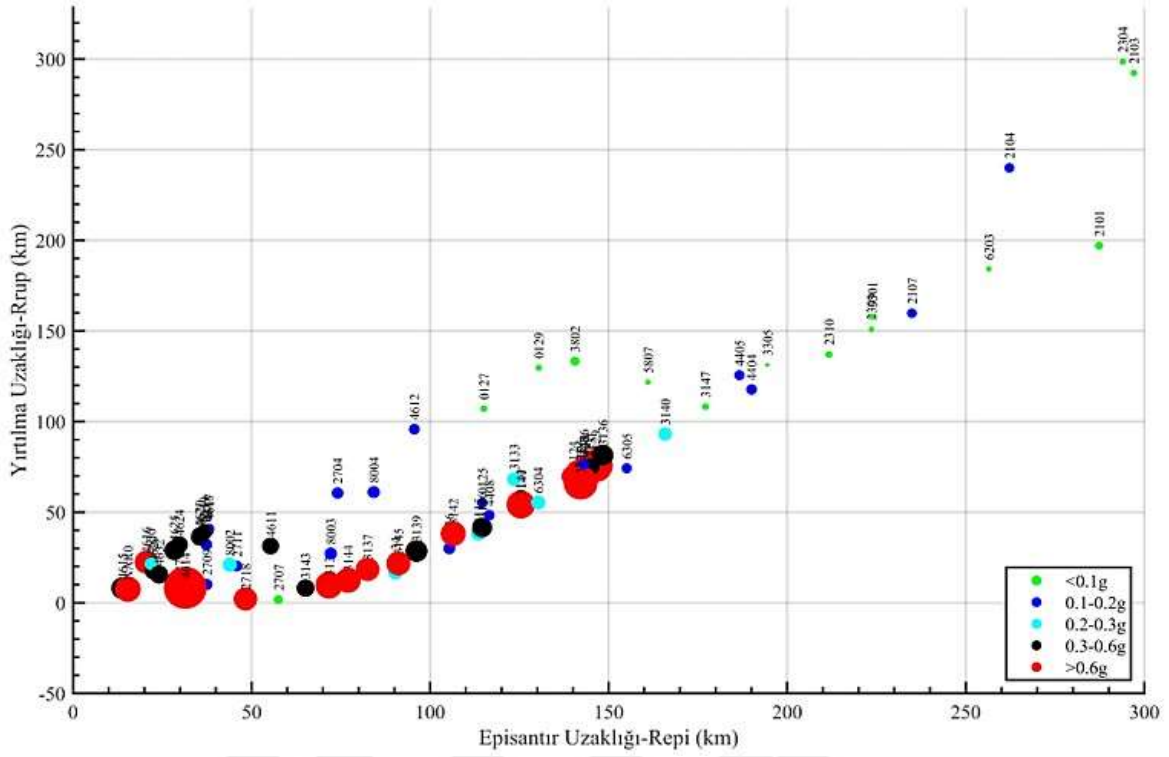
Şekil 80. TK-8002 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi



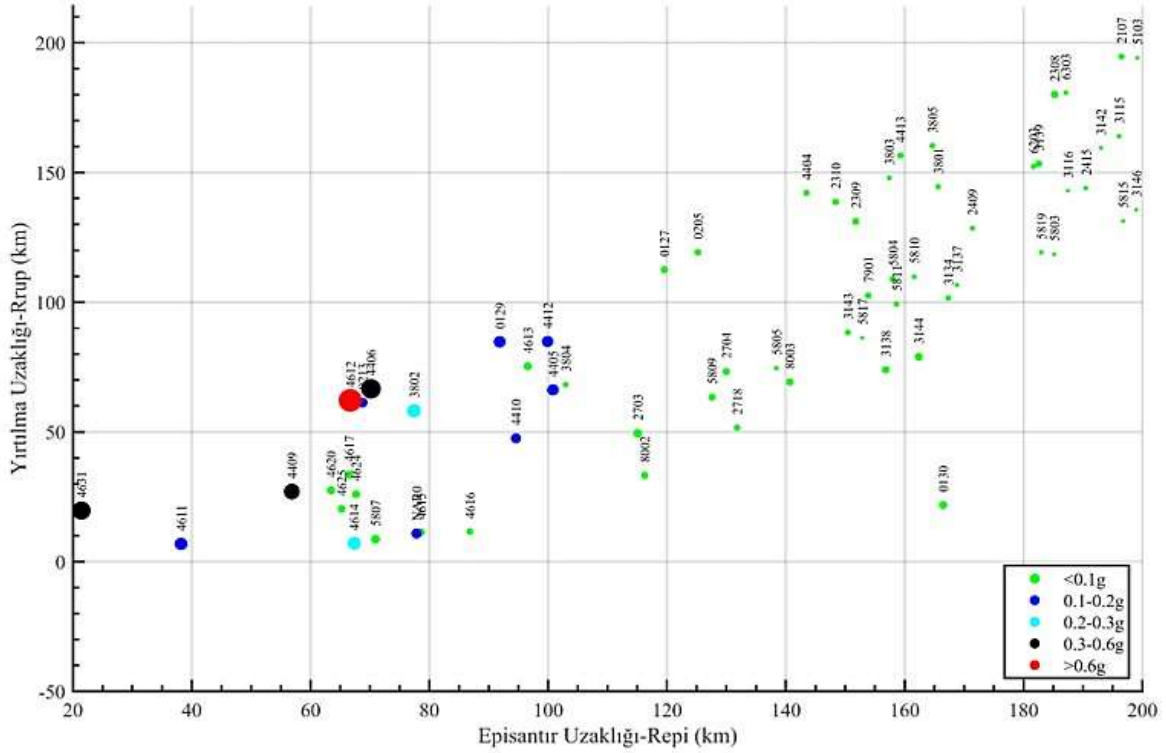
Şekil 81. TK-3138 nolu istasyonda kaydedilen ivme zaman serisinin analizi

3.2. Tartışma

Şekil 82 ve 83, $M_w=7.7$ ve $M_w=7.6$ depremlerinin kaydedildiği istasyonlara göre episantr ve fay yırtılma uzaklıkları arasındaki dağılımı göstermektedir. $M_w=7.7$ depreminde çok açık olarak episantr uzaklığı ≤ 150 km'ye kadar gözlenen $PGA > 0.6$ g değerleri yırtılma uzaklığı < 100 km olan istasyonlarda görülmektedir (Şekil 82). Özellikle, episantr uzaklığının ≤ 50 km olduğu istasyonlarda, yırtılma uzaklıkları < 30 km'dir. Öyle ki, ~ 50 km episantr uzaklığında olan 2718 nolu istasyonun yırtılma uzaklığı < 10 km'dir. Bu durum çok açık olarak deprem nedeniyle kırılma yüzeyin ~ 100 km'ye devam etmesi, episantr uzaklığı ~ 150 km olan istasyonlarda yüksek PGA değerlerinin ölçülmesine neden olmuştur. $M_w=7.6$ depreminde episantr uzaklıklarına göre yırtılma uzunluklarının doğrusal bir davranış içinde olduğu görülmektedir (Şekil 83). Bu depremde en yüksek PGA değerinin (> 0.6 g) ölçüldüğü 4612 nolu istasyonun episantr uzaklığı ile yırtılma uzaklığı hemen hemen eşdeğerdir.



Şekil 82. $M_w=7.7$ depremi için episantr uzaklıklarına göre yırtılma uzaklıklarının dağılımı



Şekil 83. $M_w=7.6$ depremi için episantr uzaklıklarına göre yırtılma uzaklıklarının dağılımı

$M_w=7.7$ ve $M_w=7.6$ depremleri için istasyonlarda ölçülen en büyük yatay PGA değerleri ile TDTH'nda o istasyon için verilen (istasyona ait zemin sınıfı ve DD-2 deprem düzeyine göre) tahmini yatay PGA değerlerinin karşılaştırması Şekil 84a ve Şekil 85a'da verilmiştir. $M_w=7.7$ depremi için <150 km olan istasyonların birçoğunda ölçülen PGA değerlerinin tahmin edilenlerden daha büyük değerler olmakla birlikte, daha küçük değerlerin de oldukça fazla olduğu görülmektedir (Şekil 84a). Burada özellikle, 0-50 km ve 100-150 km aralıkları dikkat çekmektedir. Ölçülen PGA değerleri 150 km'den sonra tahmini PGA değerlerinden küçüktür. $M_w=7.6$ depremi için 50-70 km aralıkları haricinde tahmini PGA değerleri ölçülen değerlerden daha büyük olduğu açıktır (Şekil 85a). Bu deprem için dikkat çeken bir durum, 0-40 km arasında tahmini PGA değerlerinin ölçülenlerden daha büyük olmasıdır. En yakın (~20 km) istasyonda ölçülen ve tahmin edilen PGA hemen hemen aynıdır. Bu gözlemler, her iki deprem için yakın episantr uzaklıklarında tahmini PGA değerlerinin ölçülen PGA değerinden daha büyük çıkmasının nedeninin, istasyonların genel olarak fay hareket doğrultusuna göre dik ve/veya açılı uzaklıklarda olmasından kaynaklı olması ile ilişkili olduğunu göstermektedir.

Şekil 84b ve Şekil 85b en büyük yatay PGA değerinin ölçüldüğü ivme zaman serisinden hesaplanan etkin süreye karşılık Arias şiddeti dağılımını göstermektedir. $M_w=7.7$ (Şekil 84b) depremi için birkaç istasyon haricinde Arias şiddeti değerleri <10 m/s olmakla birlikte bu değerler kısa (<10 s), orta (10-30 s) ve uzun (>50 s) sürelerde gözlenmektedir. Çok güçlü (10-50 m/s) ve aşırı güçlü (>50 m/s) sarsıntıya neden olan enerji boşalımının orta sürelerde (10-30 s) gerçekleştiği ve dolayısıyla bunun hem yapılarda hem de zeminlerde ileri ve önemli hasarlara (yıkımlar, sıvılaşma, heyelan) yol açtığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, güçlü ve hasar verici (1-10 m/s) sarsıntıların 30-65 s arası etkin sürelerde olması dikkat çekmektedir (Şekil 84b). $M_w=7.6$ (Şekil 85b) depremi için orta sürelerde (10-30 s) Arias şiddeti >1 m/s olan birkaç istasyon haricindeki tüm istasyonlarda Arias şiddeti değerleri <1 m/s'dir. Genellikle zayıf-orta şiddette sarsıntıyı oluşturan enerji boşalımı 30-60 s etkin sürelerde gerçekleşmiştir. Her ne kadar Arias şiddeti değerleri düşük görülsede etkin sürenin uzun olması, depremin etkin hissedilmesine ve özellikle heyelan, sıvılaşma gibi sorunların oluşmasına neden olmuş olabileceğine işaret etmektedir.

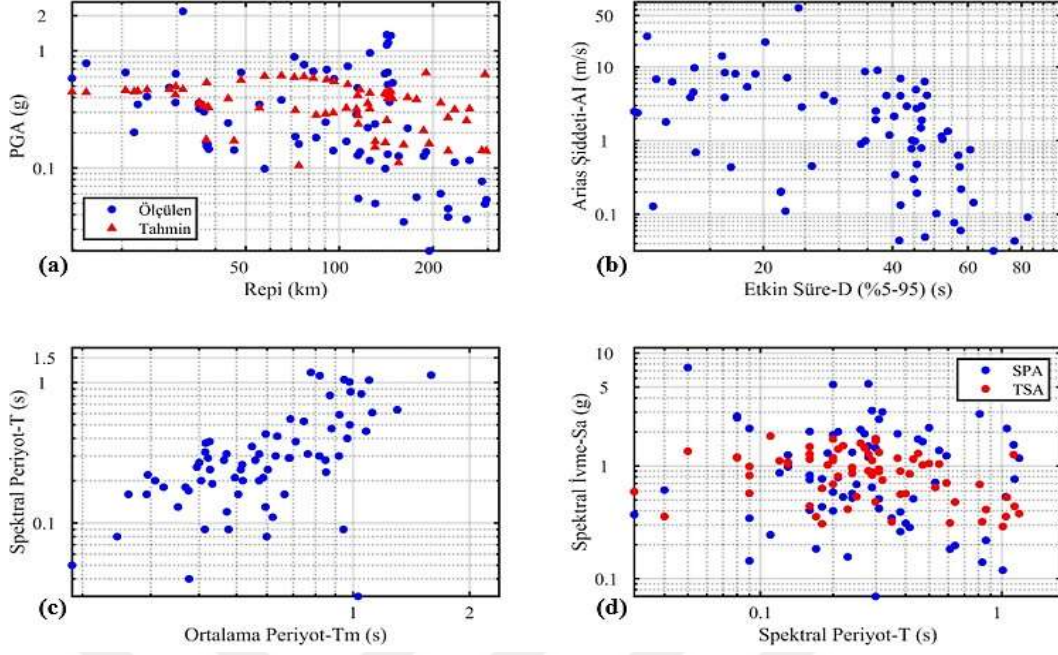
Şekil 84c ve 85c, en büyük yatay PGA değerinin ölçüldüğü ivme zaman serisinden hesaplanan Fourier ortalama periyot ile sözde elastik tepki spektrumunda en büyük spektral ivmeye karşılık gelen spektral periyot değerlerinin dağılımlarını göstermektedir. Her iki deprem için bu iki parametre uyumlu ve doğrusal bir davranış göstermektedir. $M_w=7.7$

depreminde ortalama periyot değerleri 0.4-0.8 s arasında iken spektral periyot değerlerinin <0.4 s bölgesinde yoğunlaştığı, ortalama periyotun >0.8 olduğu bölgede ise spektral periyot değerleri >0.6 bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir (şekil 84c). Bu dağılıma göre $M_w=7.7$ deprem enerjisi çok düşük ve çok yüksek periyotları içeren geniş bir aralıktaki boşaldığından, hem sert zeminlerde hem de yumuşak zeminlerde ciddi hasarlara neden olmuştur. $M_w=7.6$ depreminde genel olarak 0.5-1.5 s ortalama periyotlarda <1.0 s'lik spektral periyotlar gözlenmektedir (şekil 85c). Bu periyot aralıkları bu deprem enerjisinin, uzun periyotlu yapılarda (bina, köprü) zorlanmalara ve özellikle yumuşak alüvyonal zeminlerde aratarak hasara verici olduğuna işaret etmektedir.

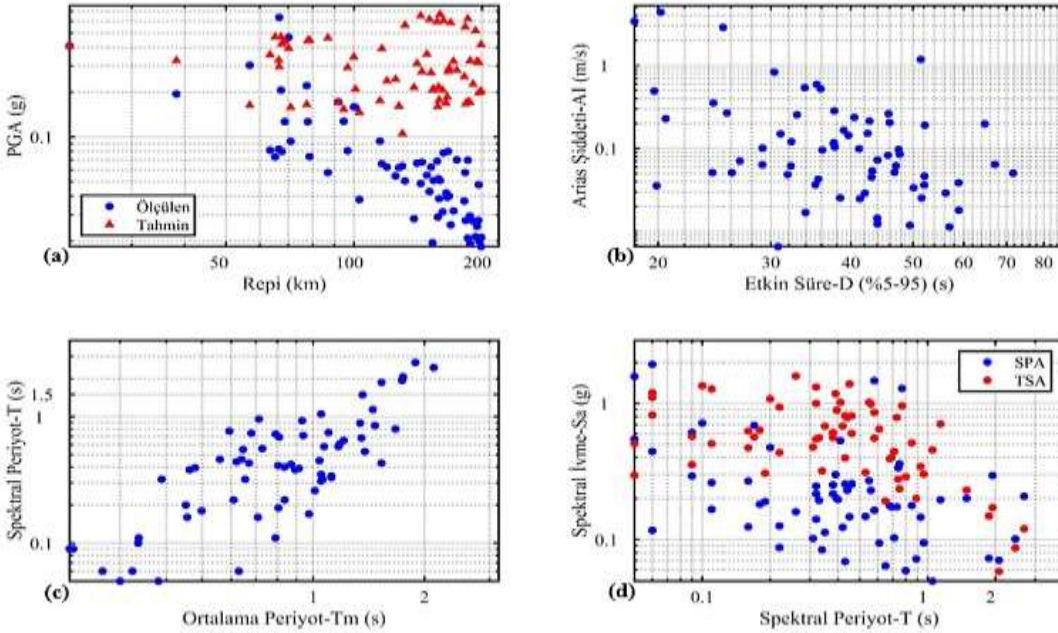
şekil 84d ve 85d, en büyük yatay PGA değerinin ölçüldüğü ivme zaman serisinden hesaplanan spektral periyota karşılık spektral ivme değerlerinin dağılımını göstermektedir. Her iki dağılımdan, $M_w=7.7$ depreminde tüm periyotlarda olmak üzere özellikle kısa periyot aralığında (0-0.4 s) ok yüksek spektral ivmeler (şekl 84d), $M_w=7.6$ depreminde ise, <1.0 s periyotlarında birkaç istasyon hariç <1.0 g olan spektral ivmeler gözlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, gözlenen spektral ivmelerin düşük yıkım gücünden (<~0.2-0.3 g) ok yüksek yıkım gücüne (>~0.9-1.0 g) değişen aralıklarda olduğu görülmektedir.

şekil 86 ve 87, bu tez çalışması kapsamında değerlendirilen istasyonlar için hesaplanan kuvvetli yer hareketi parametrelerinin depremlerin episantrı ve fayların uzanımına göre dağılımlarının bir özetini sunmaktadır. Buna göre,

1. $M_w=7.7$ depremi için (en büyük yatay bileşenden elde edilen) DAFZ ve NFZ boyunca $PGA>0.5$ g değerleri (şekil 86a), $M_w=7.6$ depremi için SF+F Zonu boyunca $PGA>0.3$ g değerleri (şekil 87a) yoğunlaşmıştır. Fayların uzanımlarına göre her iki yan taraflarına doğru PGA değerlerinin azaldığı görülmektedir.
2. $M_w=7.7$ depremi için DAFZ ve NFZ boyunca etkin süre değerleri 5-30 s ve Arias şiddeti değerleri 1-10 m/s arasında (şekil 86b, c), $M_w=7.6$ depremi için SF+F Zonu boyunca etkin süre değerleri 30-40 s ve Arias şiddeti değerleri 2-4 m/s arasında (şekil 87b, c) olmakla birlikte, her iki deprem için fay zonlarının her iki yanlarına doğru etkin srelerin artmasına karşılık, Arias şiddetlerinin ise azalmakta olduğu görülmektedir.

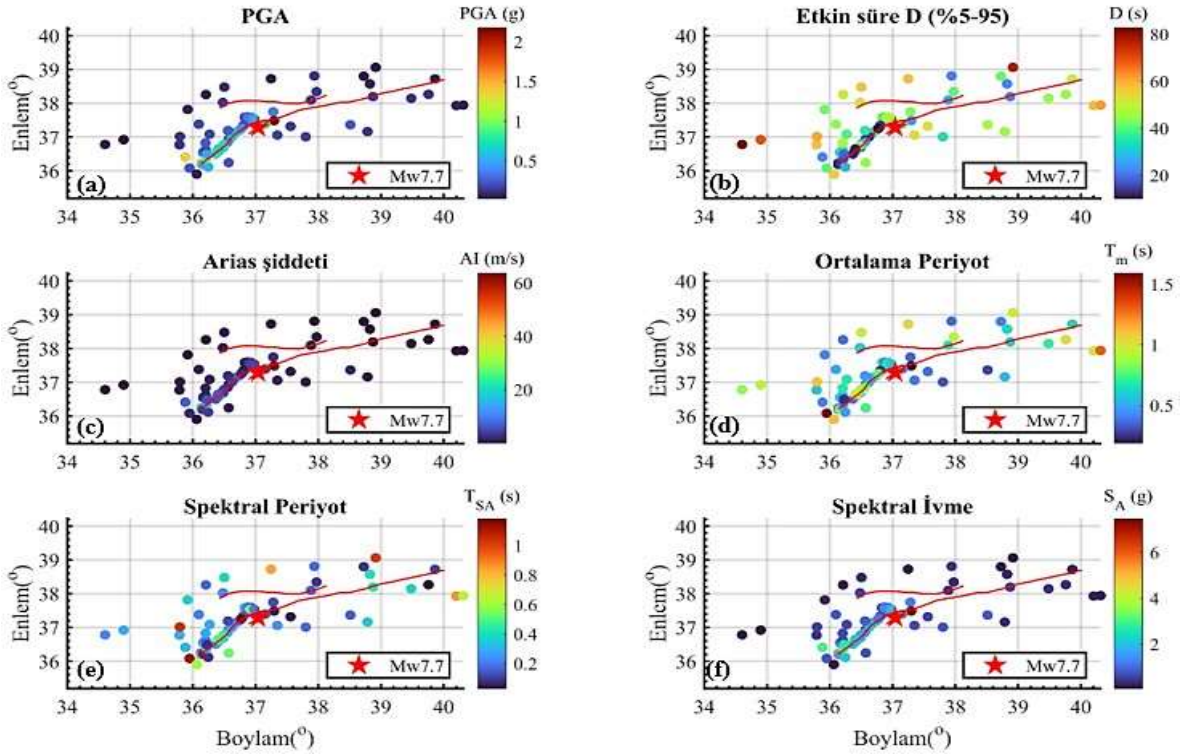


Şekil 84. $M_w=7.7$ depremi için kuvvetli yer hareketi parametrelerinin ilişkileri. (a) episantır uzaklığına göre en büyük ölçülen yatay PGA (mavi) ve TDTH'ndan elde edilen PGA (kırmızı) değerleri, (b) etkin süre (%5-95)'ye karşılık Arias şiddetinin değişimi, (c) ortalama periyota karşılık spektral periyotun değişimi ve (d) spektral periyota karşılık sözde spektral (SPA, mavi) ve tasarım spektral (TSA, kırmızı) ivmenin değişimi

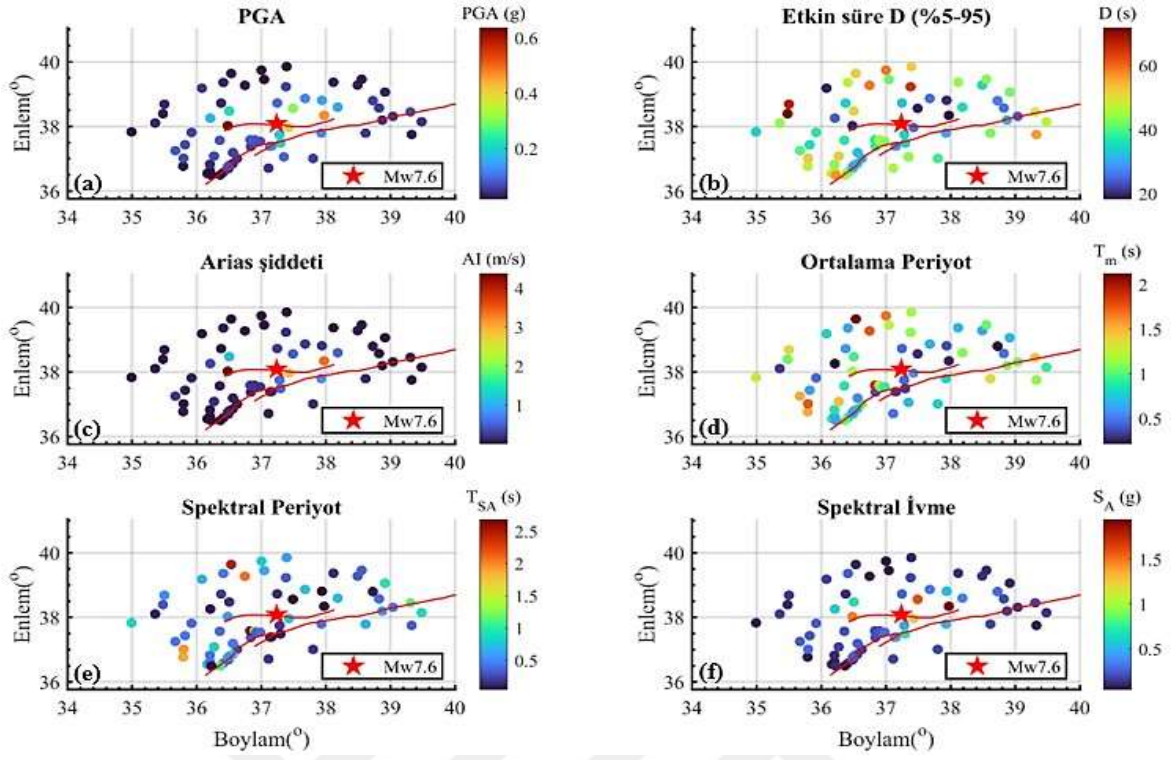


Şekil 85. $M_w=7.6$ depremi için kuvvetli yer hareketi parametrelerinin ilişkileri. (a) episantır uzaklığına göre en büyük ölçülen yatay PGA (mavi) ve TDTH'ndan elde edilen PGA (kırmızı) değerleri, (b) etkin süre (%5-95)'ye karşılık Arias şiddetinin değişimi, (c) ortalama periyota karşılık spektral periyotun değişimi ve (d) spektral periyota karşılık sözde spektral (SPA, mavi) ve tasarım spektral (TSA, kırmızı) ivmenin değişimi

1. $M_w=7.7$ depremi için DAFZ ve NFZ boyunca ortalama periyot değerleri 0.2-0.8 s (Şekil 86d), $M_w=7.6$ depremi için SF+ÇF Zonu boyunca ortalama periyot değerleri 0.5-1.2 s arasında (Şekil 87d) görülmektedir. Ortalama periyot değerleri her iki deprem için fay zonlarının uzanımlarına göre her iki yana doğru ortalama periyot değerlerinin arttığı 0.8 s'nin üzerindedir.
2. $M_w=7.7$ depremi DAFZ ve NFZ boyunca spektral periyot değerleri 0.2-0.4 s ve spektral ivme değerleri >1.0 g (Şekil 86e, f), $M_w=7.6$ depremi için SF+ÇF Zonu boyunca spektral periyot değerleri 0.5-1.0 s ve spektral ivme değerleri 1.0-1.5 g olduğu görülmektedir (Şekil 87e, f). Fay zonlarının yan taraflarına doğru ise spektral periyot değerleri artarken, spektral ivme değeri azalmakta olduğu gözlenmektedir.



Şekil 86. $M_w=7.7$ depremi için hesaplanan kuvvetli yer hareketi parametrelerinin deprem episantırları ve fay zonlarına (DAFZ ve NFZ) göre özet sunumu. (a) en büyük yatay PGA, (b) etkin süre (%5-95), (c) Arias şiddeti, (d) ortalama periyot, (e) spektral periyot ve (f) spektral ivme



Şekil 87. $M_w=7.6$ depremi için hesaplanan kuvvetli yer hareketi parametrelerinin deprem episantrları ve fay zonlarına (DAFZ ve NFZ) göre özet sunumu. (a) en büyük yatay PGA, (b) etkin süre (%5-95), (c) Arias şiddeti, (d) ortalama periyot, (e) spektral periyot ve (f) spektral ivme

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında 6 Şubat 2023 tarihinde ülkemizde son yüzyılda DAFZ ve SF+ÇF Zonu'nda meydana gelen en yıkıcı deprem olan, Türkiye saati ile 04.17'deki Pazarcık $M_w=7.7$ ve yaklaşık 9 saat sonra saat 13.24'deki Elbistan $M_w=7.6$ depremlerinin AFAD'tan temin edilen kuvvetli yer hareketi kayıtlarının analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analizler, iki grupta gerçekleştirilmiştir.

1. Grupta; Her iki deprem için pik yer ivme değerlerinin uzaysal dağılımının, episantr ve V_{s30} değerlerine göre dağılımının ivme, uzaklık ve yer özellikleri açısından değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.
2. Grupta; İvme zaman serilerinden kuvvetli yer hareketi parametreleri (Arias şiddeti, %5-95 etkin süre, ortalama periyot), sözde (pseudo) elastik ivme tepki ve tasarım spektral eğriler hesaplanmış, karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir.

Bu analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Pazarcık depreminden sonra $R_{epi} \leq \sim 170$ km olan istasyonlarda $PGA \geq 200$ cm/s² ivme değerleri (çok güçlüden son derece şiddetliye değişen hissedilme ve ortadan çok ağıra değişen hasarlar, Mercalli şiddeti > VII) ölçülmüştür. Bununla birlikte, $\sim 170 < R_{epi} \leq \sim 270$ km episantr uzaklıklarında $100 \leq PGA < 200$ cm/s² arasında (güçlü hissedilme ve hafif hasarlar, Mercalli şiddeti = VI) ve $R_{epi} > 270$ km olan istasyonlarda ise, $PGA < 100$ cm/s² g (orta seviye ve daha düşük seviyede hissedilme ve çok hafif hasarlardan hasarsız durumlara, Mercalli şiddeti < VI) ivmeler ölçülmüştür. Elbistan depreminden sonra, $R_{epi} \leq 80$ km olan istasyonlarda $PGA \geq 200$ cm/s² ve $R_{epi} > 80$ km olan istasyonlarda $PGA < 100$ cm/s² ivme değeri olarak ölçülmüştür.

Normal olarak, PGA değerlerinin uzaklıkla üstel olarak azalım gösterdiği göz önüne alındığında, Elbistan depreminin ivmeleri bu genel trende uyumlu olurken, Pazarcık depremi ivmelerinin uzaklıkla değişiminin aynı episantr uzaklıklarında bu genel trende pek uymadığı gözlenmiştir. Öyle ki, gerçekleşen ivmeler $R_{epi} \leq \sim 170$ km'ye kadar bir azalım göstermesi beklenirken tam tersine çok fazla artış göstermiştir. Her iki deprem için ölçülen PGA değerlerinin episantr uzaklığı ile azalım davranışındaki farklılık, iki depremin büyüklüğü ile ilişkili olmaktan ziyade, Pazarcık depreminde gerçekleşen kırılmanın tek bir defada değil, ardışık birkaç kez gerçekleşmesi, kırılma yüzeyinin (veya yırtılma zonunun) istasyonlara

yaklaşması (küçük R_{rup}) ve empedans oranlarından ziyade taban kaya topoğrafyasından kaynaklı olduğu düşünülen zemin büyütmesi ile ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir.

Pazarcık $M_w=7.7$ depremi için $PGA \geq 300$ cm/s² olan değerlerinin hemen hemen DAFZ boyunca (KD-GB) ve Elbistan $M_w=7.6$ depremi için ise, ÇF+SF Zonu boyunca ölçüldüğü görülmüştür. Pazarlık depreminde Hatay iline doğru episantr uzaklıkları artmasına rağmen ölçülen PGA değerlerinin de artması ve 600 cm/s²'nin üzerine çıkması, önceki bölümlerde ifade edilen ardışık kırılma olayını desteklemektedir. Benzer şekilde SF+ÇF'nın doğu ucuna doğru Malatya ve batı ucuna doğru Kahramanmaraş-Göksun ilçesinde yüksek ivmeler ölçülmüştür. Bununla birlikte, bu büyük PGA değerlerinin ölçüldüğü istasyonlara yakın olan, ancak fayın hareket yönüne yaklaşık dik ve/veya açılı doğrultularda olan birçok istasyonda düşük PGA değerlerinin gözlenmiş olması, dalga yayılımı açısından bir ileri yönelim (forward directivity) etkisinin (yani deprem enerjisinin fayın yırtılma yüzeyi boyunca yoğunlaşması) oluştuğunu göstermiştir.

AFAD veri tabanından elde edilen V_{s30} değerlerine göre istasyonların çoğunluğunun ZC (360-760 m/s) zemin sınıfında yer aldığı görülmüştür. Her iki deprem için ölçülen PGA V_{s30} değerleri ile kararlı bir ilişkisi gözlenmemiştir. Ancak, Pazarlık $M_w=7.7$ depreminin büyük PGA değerlerinin zemin sınıfı ZC olan istasyonlarda, Elbistan $M_w=7.6$ depremi için ise, en büyük PGA değerinin zemin sınıfı ZD olan istasyonda ve büyük PGA değerlerinin zemin sınıfı ZB olan istasyonlarda gerçekleştiği belirlenmiştir. Bununla birlikte, zemin sınıfı ZD olan istasyonlarda $PGA < 200$ cm/s² değerlerinin oldukça fazla olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, salt olarak V_{s30} -PGA değişiminin, PGA değerlerindeki artma ya da azalmayı tanımlamak için yeterli olmadığı değerlendirilmiştir.

İvme zaman serilerinden hesaplanan kuvvetli yer hareketi parametrelerinin değişimi (Arias şiddeti, etkin süre, ortalama periyot) deprem enerjisinin ne kadar sürede, ne kadar güçte ve hangi periyot aralıklarında etkin olduğunu tanımlamada son derece katkı sağlamıştır. Buna göre, Pazarlık depreminin enerjisinin DAFZ boyunca yerleşen istasyonların çevrelerinde kısa süreli ancak güçlü-oldukça güçlü sarsıntı oluşturduğunu ve yüksek frekanslı titreşimlerin etkin olduğunu, buna karşılık DAFZ'na göre dik ve açılı mesafelerde olan istasyonların civarında ise uzun süreli ancak orta güçte sarsıntı oluşturduğunu ve daha uzun periyotlu titreşimlerin hakim olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık, Elbistan depreminin SF+ÇF zonu boyunca uzun süreli, ancak görece orta güçte sarsıntı oluşturduğunu ve uzun periyotlu titreşimlerin egemen olduğu gözlenmiştir.

Deprem mühendisliğinde yapının periyotlarına karşılık gelen PGA büyüklüğünü temsil eden ve deprem etkilerinin yapılar üzerindeki şiddetini değerlendirmek için kullanılan sözde (pseudo) elastik ivme tepki spektrum eğrileri, Pazarcık depremi için 73 adet (Tablo 8'de, bu deprem için belirtilen 10 adet kesilmiş kayıt hesaplamalara dahil edilmemiştir), Elbistan depremi için 67 (Tablo 8'de, bu deprem için belirtilen 1 adet kesilmiş kayıt hesaplamalara dahil edilmemiştir) adet istasyon verisi için hesaplanmış ve ilgili istasyon için elde edilen tasarım tepki spektrum eğrileri karşılaştırılmıştır. Buna göre Pazarcık depremi ivme zaman serilerinden hesaplanan sözde elastik tepki spektral değerlerin Hatay, Kahramanmaraş ve Gaziantep illerinin DAFZ ve Narlı Fayı Zonu boyunca olan istasyonların çoğunda tasarım spektral ivmelerini plato, sönüm ve yüksek periyot bölgesinde aştığı ve bu istasyonlar için hesaplanan spektral ivme değerlerinin 1000 cm/s^2 (1.0 g) değerinden de büyük olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, deprem sonrası arazi gözlemlerinde görülen büyük yıkımların önemli bir nedeninin yapıların ve zeminlerin maruz kaldığı bu yüksek ivmeli deprem hareketi ile ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, 1.0 g ve üzeri spektral ivmelerin kısa periyotlarda (0.15-0.4 s) yoğunlaşmakla birlikte, orta periyot (0.4-1.2 s) bölgesinde de 1.0 g üzerinde ivme değerleri gözlenmiştir. Elbistan depremi ivme zaman serilerinden hesaplanan sözde elastik tepki spektral değerlerin SF+ÇF zonu boyunca Kahramanmaraş ve Malatya il sınırları içinde kalan birkaç istasyonda tasarım spektral ivmeleri aştığı gözlenmiş olup, Hatay ve Gaziantep illerindeki hiçbir istasyonda tasarım spektral ivmelerinin aşılmamış olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, birkaç istasyonda gözlenen 1.0 g'den daha yüksek spektral ivme değerleri kısa ve orta periyot (0.05-1.0 s) aralığında görülmüştür. Ayrıca, özellikle Pazarcık depreminin DAFZ ve Narlı Fayı boyunca sözde düşey elastik tepki spektral ivmelerin kısa periyot (yüksek frekans) bölgesinde pik değerlere ulaştığı görülmüştür. Bu durumun faylara yakın istasyonların çevresindeki yapıların ve zeminin düşey yönde çok güçlü sarsıntıların ve ciddi deformasyonların nedeni olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, tüm bu analizler 6 Şubat 2023 depremlerinin yıkım gücünün nedenlerini kuvvetli yer hareketinin verileri ile anlamaya ve açıklamaya odaklı yapılmıştır. Hangi istasyon bölgelerinde tasarım spektral değerlerinin yetersiz olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Gelecekte Doğu Anadolu Fay Zonu'ndaki büyük ve yıkıcı depremlerin tekrarlayacağı göz önüne alınarak, güvenli yapı tasarımları yapılabilmesi ve depreme dirençli kentleri oluşturulması için sismik tasarım kodlarının güncellenmesi gerekliliği vardır. Bu depremlerin yıkım gücünün daha iyi anlaşılması için deprem enerjisinin (ve/veya

sismik dalgaların) geometrik yayılımın, yani bölgenin derin yapısal özelliklerinin (katmanlı yapısı ve temel kaya topoğrafyasını içeren havza modelleri) kapsamlı bir şekilde incelenmesinin gerekli olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, Türkiye'deki mühendislik uygulamaları ve hasar değerlendirmelerinin sadece pik yer ivmesi ve spektral ivme değerlerine bağlı değil, aynı zamanda deprem enerjisinin yayılmasıyla ilgili süre, sığ ve derin yeraltı geometrik ve fiziksel modellerinin de göz önüne alınması gerekliliktir ve bu konularda araştırmalara önem verilmelidir.



5. KAYNAKLAR

- AFAD. 2023. 06 Şubat 2023 Pazarcık-Elbistan Kahramanmaraş (M_w : 7.7- M_w : 7.6) Depremleri Raporu. Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü Deprem Dairesi Başkanlığı. Ankara. 02 Haziran 2023.
- Aoi, S., Kunugi, T. & Fujiwara, H. (2008). Trampoline Effect in Extreme Ground Motion. *Science*, 322(5902), 727-730.
- Akkar, S., Kale, Ö., Yenier, E. & Bommer, J.J. (2011). The high-frequency limit of usable response spectral ordinates from filtered analogue and digital strong-motion accelerograms. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 40(12), 1387-1401.
- Akkar, S., Sandıkkaya, M.A. & Bommer, J.J. (2014). Empirical ground-motion models for point- and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12, 359-387.
- Aktuğ, B., Parmaksız, E., Kurt, M., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Gürdal, M.A. & Özdemir, S. (2013). Deformation of Central Anatolia: GPS implications. *Journal of Geodynamics*, 67, 78-96
- Aktug, B., Ozener, H., Dogru, A., Sabuncu, A., Turgut, B., Halicioglu, K., Yilmaz, O. & Havzalı, E. (2016). Slip rates and seismic potential on the East Anatolian Fault System using an improved GPS velocity field. *Journal of Geodynamics*, 94-95 (2016) 1-12.
- Abrahamson, N., M., Gregor, N. & Addo, K. (2016). BC Hydro Ground Motion Prediction Equations for Subduction Earthquakes. *Earthquake Spectra*, 32(1), 23-44.
- Ambraseys, N. & Menu, J. (1988). Earthquake-induced ground displacements. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 16(7), 985-1006.
- Ambraseys, N.N. (1989). Temporary seismic quiescence: SE Turkey. *Geophysical Journal International*, 96(2), 311-331.
- Anderson, J.C. & Bertero V.V. (1987). Uncertainties in Establishing Design Earthquakes. *Journal of Structural Engineering*, 113(8), 1709
- Arias, A. (1970). Measure of earthquake intensity. Cambridge, Mass. Massachusetts Inst. Of Tech. Seismic Design for Nuclear Power Plants./Hansen, Robert j.(ed.), 438-483.
- Baltzopoulos, G., Baraschino, R., Chioccarelli, E., Cito, P., Vitale, A. & Iervolino I. (2023) Preliminary engineering report on ground motion data of the Feb. 2023 Turkey seismic sequence. Università degli Studi di Napoli Federico II, V3.
- Bard, P.-Y. (2016). Seismic loading. Engineering characterization of seismic ground motion and key controlling factors. Grenoble Observatory (OSUG), ISTerre / IFSTTAR, France.

- Bommer, J.J. & Martínez-Pereira, A. (1999). The Effective Duration of Earthquake Strong Motion. *Journal of Earthquake Engineering*, 3(2), 127-172.
- Bommer, J.J. & Martínez-Pereira, A. (2000). Strong-Motion Parameters: Definition, Usefulness and Predictability. Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, Paper No, 206.
- Boore, D.M., Stephens, C.D. & Joyner W.B. (2002). Comments on Baseline Correction of Digital Strong-Motion Data: Examples from the 1999 Hector Mine, California, Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(4), 1543-1560.
- Boore, D.M. & Bommer, J.J. (2005). Processing of strong-motion accelerograms: needs, options and consequences. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25, 93-115
- Boore, D.M., Azari Sisi, A. & Akkar S. (2012). Using Pad-Stripped Acausally Filtered Strong-Motion Data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 102(2), 751-760
- Bora, S.S., Scherbaum, F., Kuehn, N. & Stafford, P. (2014). Fourier Spectral- and Duration Models for the Generation of Response Spectra Adjustable to Different Source-, Propagation-, and Site Conditions. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12(1), 467-493.
- Bora, S.S., Scherbaum, F., Kuehn, N., Stafford, P. & Edwards, B. (2015). Development of a Response Spectral Ground-Motion Prediction Equation (GMPE) for Seismic Hazard Analysis from Empirical Fourier Spectral and Duration Models. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105, 2192-2218
- Bora, S.S., Scherbaum, F., Kuehn, N. & Stafford, P. (2016). On the Relationship between Fourier and Response Spectra: Implications for the Adjustment of Empirical Ground-Motion Prediction Equations (GMPEs). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106(3), 1235-1253.
- Bourdeau, C., Havenith, H.-B., Fleurisson, J.-A. & Grandjean, G., (2004). Numerical Modelling of Seismic Slope Stability. In: Hack, R., Azzam, R. & Charlier, R. (Eds.). *Engineering geology for infrastructure planning in Europe; a European perspective*. Springer, Berlin Heidelberg, 671–684.
- Building Seismic Safety Council (BSSC) (2009). “2009 NEHRP Recommended Seismic Provisions For New Buildings and Other Structures: Part 1. Provisions. Federal Emergency Management Agency (P-750)”. Washington. D.C.
- CEN (2004). “Eurocode 8: Design of structures for earthquake Resistance - Part 1: General rules. seismic actions. and rules for buildings. EN 1998-1:2004”. Comité Européen de Normalisation. Brussels.
- Chopra, A.K. (1995). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, Prentice-Hall Inc., U.S.A.
- Chopra, A.K. (2007). *Dynamic of structures, theory and applications to earthquake engineering*. Prentice Hall, Englewood Cliffs.

- Cua, G., Wald, D.J., Allen, T.I., Garcia, D., Worden, C.B., Gerstenberger, M., Lin, K. & Marano, K. (2010). Best Practices for Using Macroseismic Intensity and Ground Motion-Intensity Conversion Equations for Hazard and Loss Models in GEM1. GEM Technical Report 2010-4. GEM Foundation. Pavia. Italy.
- Dal Zilio, L. & Ampuero, J.P. (2023). Earthquake doublet in Turkey and Syria. *Communications Earth & Environment*, 4(1), 71
- Demirtaş R. & Erkmen C. (2019). Doğu Anadolu Fay Sistemi Deprem Etkinliği- Gelecek Deprem Potansiyeli. Afet İşleri Genel Müdürlüğü. Ankara. DOI:10.13140/RG.2.2.24235.49449
- Dimitrakopoulos, E., Kappos, A.J. & Makris, N. (2009). Dimensional analysis of yielding and pounding structures for records without distinct pulses. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29(7), 1170-1180.
- Douglas, J. (2003). Earthquake ground motion estimation using strong-motion records: a review of equations for the estimation of peak ground acceleration and response spectral ordinates. *Earth-Science Reviews*, 61(1-2), 43-104.
- Douglas, J. & Boore, D.M. (2011). High-frequency filtering of strong-motion records. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9(2), 395-409.
- Du, W. (2017). An empirical model for the mean period (T_m) of ground motions using the NGA-West2 database. *Bulletin Earthquake Engineering*, 15(7), 2673-2693.
- Duan, Y., Bo, J., Peng, D., Li, Q., Wan, W. & Qi, W. (2023). Analysis of Peak Ground Acceleration and Seismogenic Fault Characteristics of the M_w 7.8 Earthquake in Turkey. *Applied Sciences*, 13(19), 10896.
- Edemen. M., Okay, M., Tugrul, R., Kurt, M.Ş., Bircan, O., Yoldaş, H., Necimoğlu Güzel, M. & Aslan, A. (2023). Deprem Nedir? Nasıl Oluşur? Türkiye’de Oluşmuş Depremler ve Etkileri Nelerdir? Depremlere Karşı Alınabilecek Tedbirler Hususunda Öneriler. *International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR)*, 10(93).
- Elghazouli, A.Y., Kumar, M. & Stafford, P. (2014). Prediction and optimisation of seismic drift demands incorporating ground motion frequency content. *Bulletin Earthquake Engineering*, 12(1), 255-276.
- Goldberg, D.E., Taymaz, T., Reitman, N.G., Hatem, A.E., Yolsal Çevikbilen, S., Barnhart, W.D., Irmak, T.S., Wald, D.J., Öcalan, T., Yeck, W.L., Özkan, B., Thompson Jobe, J.A., Shelly, D.R., Thompson, E.M., DuRoss, C.B., Earle, P.S., Briggs, R.W., Benz, H., Erman, C., Doğan, A.H. & Altuntaş, C. (2023) Rapid Characterization of the February 2023 Kahramanmaraş, Türkiye, Earthquake Sequence. *The Seismic Record*, 3(2), 56-167.
- Guaman, J.W. (2010). Empirical Ground Motion Relationship for Maximum Incremental Velocity. Master’s Thesis, University of Notre Dam.
- Gülerce, Z., Askan, A., Kale, Ö., Sandıkkaya, A., Işık, N.S., İlhan, O., Can, G., İlgaç, M., Özacar, A.A., Sopacı, E., Çetin, K.Ö., Akbaş, B., Altındal, A., Aydın, M.F., Güryuva,

- B., Kanun, O., Albayrak, K., Muratoğlu, G., Okçu, O.S. & İçen, A. (2023). Preliminary Reconnaissance Report on February 6, 2023, Pazarcık $M_w=7.7$ and Elbistan $M_w=7.6$, Kahramanmaraş-Türkiye Earthquakes. Preliminary analysis of strong ground motion characteristics. Earthquake Engineering Research Center. METU/EERC 2023–01.
- Green, R.A. & Cameron, W.I. (2003). The influence of ground motion characteristics on site response coefficients. In: Proceedings 7th Pacific conference on earthquake engineering, University of Canterbury, Christchurch.
- Hu, J., Liu, M., Taymaz, T., Longbing, D. & Irmak, T.S. (2025). Characteristics of strong ground motion from the 2023 M_w 7.8 and M_w 7.6 Kahramanmaraş earthquake sequence. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 23, 1225-1254.
- Hickey, J. & Broderick, B. (2019). Influence of mean period of ground motion on inelastic drift demands in CFBs designed to Eurocode 8. *Engineering Structures*, 182, 172-184.
- Jafarian, Y. & Lashgari, A. (2016). Simplified Procedure for Coupled Seismic Sliding Movement of Slopes Using Displacement-Based Critical Acceleration. *International Journal of Geomechanics*, 16(4).
- Jibson, R.W. & Tanyaş H. (2020). The influence of frequency and duration of seismic ground motion on the size of triggered landslides-A regional view. *Engineering Geology*, 273, 105671.
- Kale, Ö., Akkar, S., Ansari, A. & Hamzehloo, H. (2015). A Ground-Motion Predictive Model for Iran and Turkey for horizontal PGA, PGV and 5% Damped Response Spectrum: Investigation of Possible Regional Effects. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105(2A), 963-980.
- Karşlı, H., Babacan, A.E. & Akın, Ö. (2024). Subsurface characterization by active and passive source geophysical methods after the 06 February 2023 earthquakes in Turkey. *Natural Hazards*, 120, 5257-5286.
- Karasin, İ.B. (2023). Comparative Analysis of the 2023 Pazarcık and Elbistan Earthquakes in Diyarbakır. *Buildings*, 13(10), 2474.
- Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice-Hall, U.S.A.
- KRDAE. (2023). 06 Şubat 2023 Sofalıcı- Şehitkamil- Gaziantep; Ekinözü-Kahramanmaraş ve 20 Şubat 2023 Hatay Depremleri Ön Değerlendirme Raporu. B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM). İstanbul.
- Jiang, X., Song, X., Li, T. & Wu, K. (2023). Moment magnitudes of two large Turkish earthquakes on February 6, 2023 from long-period coda. *Earthquake Science*, 36(2), 169-174.
- Lashgari, A., Jafarian, Y. & Haddad, A. (2021). Predictive model for seismic sliding displacement of slopes subjected to pulse-like motions. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 80(5).

- Lashgari, A. & Jafarian, Y. (2022). Empirical model for frequency content estimation of strong ground motion records of Iran. *Engineering Geology*, 297, 106526.
- Melgar, D., Taymaz, T., Ganas, A., Crowell, B.W., Öcalan, T., Kahraman, M., Tsironi, V., Yolsal-Çevikbilen, S., Valkaniotis, S., Irmak, T.S., Eken, T., Erman, C., Özkan, B., Doğan, A.H. & Altuntaş, C. (2023). Sub- and super-shear ruptures during the 2023 M_w 7.8 and M_w 7.6 earthquake doublet in SE Türkiye. *Seismica*, 2(3).
- Mertol, H.C., Tunç, G., Akış, T., Kantekin, Y. & Aydın, İ.C. (2023). Investigation of RC Buildings after 6 February 2023, Kahramanmaraş, Türkiye Earthquakes. *buildings*, 13(7), 1789.
- Miranda, E. & Bertero V.V. (1994). Evaluation of Strength Reduction Factors for Earthquake-Resistant Design. *Earthquake Spectra*, 10(2), 357-379.
- Newmark, N.M. & Hall, W.J. (1982). "Earthquake spectra and design". Earthquake Engineering Research Institute. Berkeley. California.
- ODTÜ. 2023. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık $M_w=7.7$ ve Elbistan $M_w=7.6$ Depremleri Ön Değerlendirme Raporu. Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi. Papor No: METU/EERC 2023-01. Ankara: 20 Şubat 2023
- Özmen, B. (2012). Türkiye Deprem Bölgeleri Haritalarının Tarihsel Gelişimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 55(1).
- Papazafeiropoulos, G. & Plevris, V. (2023). Kahramanmaraş-Gaziantep, Türkiye M_w 7.8 Earthquake on February 6, 2023: Preliminary Report on Strong Ground Motion and Building Response Estimations. *Buildings*, 13(5), 1194.
- Polat, O., Özer, Ç. & Öztürk, S. (2025). *Seismological aspects of the M_w 7.8, 6th February 2023, Türkiye/Syria earthquake and its aftershocks: Causes and consequences*. London: Springer Nature
- Ramos-Cruz, J.M.M. & Ruiz-Garcia, J. (2024). Mean period prediction models for Mexican interplate and intermediate-depth intraslab earthquake ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 178, 108448.
- Rathje E.M., Abrahamson N.A. & Bray J.D. (1998). Simplified Frequency Content Estimates of Earthquake Ground Motions. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 124(2), 150-159.
- Rathje, E. & Bray, J. (1999). An examination of simplified earthquake-induced displacement procedures for earth structures. *Canadian Geotechnical Journal*, 36(1), 72-87.
- Rathje, E., Faraj, F., Russell, S. & Bray J. (2004). Empirical Relationships for Frequency Content Parameters of Earthquake Ground Motions. *Earthquake Spectra*, 20(1), 119-144.
- Kottke, A. R. & Rathje, E. M. (2013). Comparison of time series and random-vibration theory site-response methods. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 103:2111–27.

- Rathje, E., Wang, Y., Stafford, P., Antonakos, G. & Saygili, G. (2014). Probabilistic assessment of the seismic performance of earth slopes. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 12(3), 1071-1090.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, P., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R. & Karam, G. (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research*, 111(B5), B004051.
- Sarma S.K. & Yang K.S. (1987). An evaluation of strong motion records and a new parameter A_{95} . *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 15(1), 119-132.
- Somerville, P.G., Smith, N.F., Graves, R.W. & Abrahamson N.A. (1997). Modification of Empirical Strong Ground Motion Attenuation Relations to Include the Amplitude and Duration Effects of Rupture Directivity. *Seismological Research Letters*, 68(1), 199-222.
- Saygili, G. & Rathje, E.M. (2008). Empirical Predictive Models for Earthquake-Induced Sliding Displacements of Slopes. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 134(6), 790-803.
- Song, R., Li, Y. & van de Lindt, J.W. (2014). Impact of earthquake ground motion characteristics on collapse risk of post-mainshock buildings considering aftershocks. *Engineering Structures*, 81, 349-361.
- TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. *TBDY-2018*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü
- TCCSBB. 2023. 2023 Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu. Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. Ankara: 17 Mart 2023.
- TMMOB. 2023. 6 Şubat 2023 Depremleri Tespit ve Değerlendirme Raporu. TMMOB Mimarlar Odası. Ankara: 23 Şubat 2023
- Travasarou, T., Bray, J. & Abrahamson, N.A. (2003). Empirical attenuation relationship for Arias Intensity. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32(7), 1133-1155.
- Trifunac, M.D. & Brady, A.G. (1975). A study on the duration of earthquake ground motion. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 65(3), 581-626.
- Trifunac, M.D. (1993). Long period Fourier amplitude spectra of strong motion acceleration. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 12(6), 363-382.
- Trifunac, M.D. (1994). Fourier amplitude spectra of strong motion acceleration: Extension to high and low frequencies. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 23(4), 389-411.

- Tsai, C.-C. & Chien, Y.-C. (2016). A general model for predicting the earthquake-induced displacements of shallow and deep slope failures. *Engineering Geology*, 206(6), 50-59.
- Vanmarcke, E.H. (1976). Structural response to earthquakes. Chapter 8 in *Seismic Risk and Engineering Decisions* (eds. C. Lomnitz and E. Rosenblueth). Elsevier. Amsterdam. 287-338.
- Vural, V. (2023). En Büyük Yer İvmesi Azalım İlişkilerinin Yakın Dönemde Türkiye’de Meydana Gelen Depremlerle Performanslarının Değerlendirmesi. Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi. Ankara.
- Wan, W., Bo, J., Qi, W., Peng, D., Li, Q. & Duan, Y. (2023). Analysis of Peak Ground Acceleration Attenuation Characteristics in the Pazarcık Earthquake, Türkiye. *applied sciences*, 13(20), 11436.
- Wilson, R.C. (1993). Relation of Arias intensity to magnitude and distance in California, Open-File Report 93-556, 42 p., U.S. Geological Survey, California, U.S.A.
- Wu F., Xie J.J., An Z., Lyu C.H., Taymaz, T. Irmak, T.S., Li X.J., Wen Z.P. & Zhou B.F. (2023). Pulse-like ground motion observed during the 6 February 2023 M_w 7.8 Pazarcık Earthquake (Kahramanmaraş, SE Türkiye). *Earthquake Science*, 36(4), 328-339.
- URL-1. (2025, Ağustos 15). AFAD. Pazarcık-Elbistan Kahramanmaraş (M_w : 7.7– M_w : 7.6) Depremleri Raporu. Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü Deprem Dairesi Başkanlığı: https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Kahramanmara%C5%9F%20Depremi%20%20Raporu_02.06.2023.pdf adresinden alınmıştır.
- URL-2. (2025, Ağustos 16). Geoteknik Deprem Mühendisliği Notları. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi: <http://imoistanbul.org/imoarsiv/geoteknik-kurs-notlari-2017/2-3%20aral%C4%B1k/havvanur-kilic-2.pdf> adresinden alınmıştır.
- URL-3. (2025, Ağustos 17). AFAD. Türkiye Deprem Tehlikesi Haritası : <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi> adresinden alınmıştır.
- URL-4. (2025, Ağustos 18). AFAD: <https://tdth.afad.gov.tr/> adresinden alınmıştır.
- URL-5. (2025, Ağustos 19). WIKIPEDIA: https://en.wikipedia.org/wiki/Peak_ground_acceleration#cite_note-scibackintensity-3 adresinden alınmıştır.
- URL-6. (2025, Ağustos 20). USGS. Earthquake Magnitude, Energy Release, and Shaking Intensity: <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/earthquake-magnitude-energy-release-and-shaking-intensity> adresinden alınmıştır.
- URL-7. (2025, Ağustos 21). Dinamik Zemin Parametreleri ve Zemin Deprem Davranışı. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi:

<https://istanbul.imo.org.tr/Eklenti/8701,20240527-serdar-gunaypdf.pdf?0> adresinden alınmıştır.

URL-8. (2025, Ağustos 22). AFAD: <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml> adresinden alınmıştır.

URL-9. (2025, Ağustos 23). AFAD: <https://tadas.afad.gov.tr> sayfasından alınmıştır.



6. EKLER

Ek Tablo 1. Pazarcık $M_w=7.7$ Depremi İçin Kullanılan ve Hesaplanan KYHP

Kod	Boylam	Enlem	İl	İlçe	PGA Kuzey-Güney	PGA Doğu-Batı	PGA Düşey	R_{jb}	R_{rup}	R_{epi}	R_{hyp}	V_{s30}	S_s	S_1	F_s	F_1	Harita PGA (g)	Periyot T_{ss} (s)	Spektral İvme S_a (g)	Arias Şiddeti I_a (m/s)	Etkin Süre D(%5-95)	Ortalama Periyot T_m (s)
0120	35.79005	36.77006	Adana	Yumurtalık	112.4618031	115.9805695	103.6835573	50.53010232	53.92993799	125.2493936	125.5442973	439	0.739	0.186	1.204	1.5	0.321	0.31	0.419	0.44	57.39	0.572
0125	35.79577	37.01519	Adana	Ceyhan	128.5509966	83.12264617	35.14936703	49.09371623	55.13158496	114.6239195	114.9460871	208	0.644	0.163	1.285	2.274	0.281	1.04	0.533	0.753	60.73	1.1
0127	35.92044	37.81618	Adana	Feko	54.98740705	50.81184348	39.2422321	102.1235598	107.1042184	115.0741313	115.3950419	583	0.554	0.142	1.278	1.5	0.238	0.38	0.262	0.133	41.8	0.426
0129	36.21086	38.2592	Adana	Tufanbeyli	49.91854279	42.15670216	30.41298428	125.5337117	129.6530283	130.4267563	130.7099796	965	0.394	0.12	0.9	0.8	0.169	0.17	0.184	0.102	50.66	0.376
2101	40.20278	37.93088	Diyarbakır	Bağlar	77.07944299	71.42426967	33.52718534	216.9055847	197.0771369	287.3533091	287.481972	519	0.316	0.132	1.3	1.5	0.141	0.86	0.219	0.219	57.84	0.985
2103	40.31274	37.94406	Diyarbakır	Sur	53.73129675	43.12137683	22.87648109	226.6784518	292.3614016	297.074702	297.1991564	347	0.314	0.131	1.549	2.338	0.14	0.64	0.197	0.144	61.82	1.3
2104	39.759	38.2644	Diyarbakır	Ergani	72.83684297	116.4654613	80.51536736	187.6117149	239.9820861	262.2236201	262.3646068	654	0.757	0.217	1.2	1.5	0.32	0.03	0.37	0.193	45.62	1.03
2107	39.48379	38.14594	Diyarbakır	Çermik	74.75683641	112.2655414	44.23733394	160.4950897	159.7923502	234.9220585	235.0794197	590	0.75	0.213	1.2	1.5	0.316	0.38	0.391	0.299	44.87	0.711
2304	39.86293	38.72096	Elazığ	Kovancılar	32.68222518	49.40282517	21.2179676	218.1484325	298.5952877	293.9744258	294.1001921	489	1.533	0.409	1.2	1.5	0.63	0.11	0.245	0.0489	47.64	0.62
2309	38.72728	38.79913	Elazığ	Keban	38.26138504	35.33888472	25.81659963	148.7112487	150.9493042	223.5716226	223.7369671	860	0.635	0.191	0.9	0.8	0.27	0.09	0.144	0.0439	41.49	0.414
2310	38.82453	38.57266	Elazığ	Baskil	60.45615609	51.19655952	49.16969548	135.7324184	137.0142308	211.6981221	211.8727327	420	0.859	0.235	1.2	1.5	0.36	0.415	0.285	0.11	22.53	0.637
2703	37.35	37.058	Gaziantep	Şahinbey	156.6342098	165.0642255	80.10458209	32.13534997	32.13534997	37.33562578	38.31329995	756	0.411	0.143	1.3	1.5	0.175	0.25	0.686	1.34	53.85	0.395
2704	37.80215	37.00879	Gaziantep	Nizip	102.2350251	160.6396373	66.30141505	60.54417976	60.54417976	74.10112838	74.59850687	721	0.236	0.108	1.3	1.5	0.105	0.18	0.768	0.994	34.6	0.324
2707	36.57377	36.93089	Gaziantep	İslahiye	98.64926814	89.27892672	45.62630931	1.761827342	1.761827342	57.51632378	58.1557177	558	1.44	0.379	1.2	1.5	0.609	0.2	0.4	0.128	11.06	0.308
2709	36.67048	37.12853	Gaziantep	İslahiye	154.0308405	127.0068579	106.6610871	1.190099326	10.08074902	37.45412868	38.42878811	555	1.257	0.33	1.2	1.5	0.537	0.22	0.531	0.436	16.8	0.295
2711	37.56036	37.31736	Gaziantep	Yavuzeli	142.6438943	119.6101813	86.39457479	20.24733833	20.24733833	45.87646484	46.67558277	720	0.401	0.147	1.3	1.5	0.171	0.04	0.612	1.15	52.12	0.377
2712	36.73283	37.184	Gaziantep	Nurdağı	585.5397006	638.2887172	365.1039545	2.744676998	11.57510499	29.79446353	31.01080549	599	1.171	0.31	1.2	1.5	0.496	0.21	2.01	8.67	34.51	0.586
2718	36.6266	37.00777	Gaziantep	İslahiye	654.4308226	630.3120444	592.2768172	0	2.09524596	48.30114668	49.06078649	572	1.323	0.345	1.2	1.5	0.563	0.26	2.1	4.56	13.74	0.517
3115	36.16459	36.54634	Hatay	Belen	286.7225639	241.4999861	214.8052062	38.52921738	38.52921738	113.5742206	113.8993573	424	0.753	0.21	1.2	1.5	0.319	0.28	1.2	3.46	29.18	0.559
3116	36.20661	36.61618	Hatay	İskenderun	164.2769402	168.8629145	165.8382507	29.97868967	29.97868967	105.3757497	105.7261019	870	0.766	0.214	0.9	0.8	0.325	0.2	0.586	0.899	33.78	0.519
3123	36.15973	36.21423	Hatay	Antakya	655.5712838	593.9403986	867.5755165	72.58341207	72.58341207	142.9967279	143.2551018	469	1.044	0.272	1.2	1.5	0.433	0.18	2.02	9.73	13.81	1.17
3124	36.1722	36.2387	Hatay	Antakya	572.6323092	638.3214265	578.0795497	69.66106655	69.66106655	140.1078592	140.3715506	283	1.029	0.269	1.088	2.062	0.436	1.05	2.15	8.08	19.16	0.948

Ek Tablo 1'in devamı

3125	36.13264	36.23808	Hatay	Antakya	822.6160417	1121.947964	1151.555766	70.81592933	70.81592933	142.1458556	142.4057733	448	1.004	0.261	1.2	1.5	0.426	0.08	2.76	8.1	17.21	0.598
3126	36.1375	36.2202	Hatay	Antakya	1178.11562	999.383067	921.5678492	72.5538123	72.5538123	143.5447451	143.8021344	350	1.028	0.268	1.089	2.064	0.437	0.2	5.27	21.8	20.2	0.405
3129	36.1343	36.19117	Hatay	Defne	1351.500179	1198.743469	716.9384985	75.7054328	75.7054328	146.3918844	146.6442764	447	1.064	0.276	1.2	1.5	0.452	0.28	5.35	26.1	10.72	0.464
3131	36.16328	36.19121	Hatay	Antakya	363.032948	366.050503	153.9598538	74.94538129	74.94538129	144.9758965	145.2307494	567	1.065	0.278	1.2	1.5	0.453	0.59	1.23	1.79	11.85	0.922
3132	36.17159	36.20673	Hatay	Antakya	515.3094047	514.6342411	354.1844917	73.08472567	73.08472567	143.1199333	143.3780852	377	1.049	0.274	1.2	1.5	0.445	1.12	1.54	3.87	13.52	0.82
3133	36.5736	36.2432	Hatay	Reyhanlı	221.4053042	147.2227253	87.59534992	68.21040947	68.21040947	123.4712583	123.7703989	377	0.843	0.228	1.2	1.5	0.357	0.53	0.715	0.979	45.16	0.746
3134	36.20485	36.82763	Hatay	Dörtöy	246.1068102	203.909434	141.5102593	14.23790207	16.71437802	90.28824129	90.69689363	374	0.676	0.191	1.23	1.5	0.289	0.29	0.648	1.49	46.59	0.686
3135	35.8831	36.40886	Hatay	Arsuz	740.9706991	1372.071395	588.9663668	66.1785981	66.1785981	142.1535082	142.4134119	460	0.594	0.167	1.262	1.5	0.256	0.32	3.01	7.16	22.73	0.415
3136	36.24722	36.11593	Hatay	Altınözü	534.2244543	401.9692496	220.4613423	81.46579331	81.46579331	148.3849662	148.6339738	344	0.924	0.244	1.13	2.112	0.391	0.09	2.15	4.15	27.74	0.477
3137	36.48852	36.69293	Hatay	Hassa	428.3729981	670.1654279	448.3680329	18.43555531	18.43555531	82.48297614	82.9300992	688	1.387	0.363	1.2	1.5	0.586	0.3	1.75	3.86	16.24	0.631
3138	36.51119	36.80262	Hatay	Hassa	888.7299085	746.6644602	1296.273155	9.703938417	9.703938417	71.69826006	72.21219077	619	1.413	0.37	1.2	1.5	0.595	0.81	2.89	8.37	16.26	0.871
3139	36.41439	36.58383	Hatay	Kırıkhan	577.1306554	504.8208471	378.6150229	28.54152083	28.54152083	96.18875427	96.57244145	271	1.29	0.338	1	1.962	0.548	0.45	1.73	9.01	36.93	1.08
3140	35.94982	36.08155	Hatay	Samandağ	194.6866608	218.7092756	176.6657905	93.14019098	93.14019098	165.8247086	166.0475654	210	0.944	0.237	1.122	2.126	0.4	1.13	0.764	2.14	40.37	1.59
3141	36.21973	36.3726	Hatay	Antakya	961.1164699	868.8191808	722.6596588	54.20244327	54.20244327	125.4165562	125.7110678	338	1.034	0.273	1.086	2.054	0.437	0.29	3.1	14.1	16.02	0.422
3142	36.36612	36.49797	Hatay	Kırıkhan	651.68924	739.2937029	456.8963319	38.08866424	38.08866424	106.4910166	106.8377116	538	1.21	0.319	1.2	1.5	0.517	0.27	1.93	6.31	12.26	0.401
3143	36.55714	36.84891	Hatay	Hassa	381.0935886	351.3809241	412.1058388	8.102492272	8.102492272	65.13155093	65.69687151	444	1.457	0.384	1.2	1.5	0.615	0.3	1.44	2.86	24.58	0.818
3144	36.48574	36.75691	Hatay	Hassa	611.2694894	763.3625412	451.6109634	12.36033783	12.36033783	77.03819735	77.51673271	485	1.427	0.373	1.2	1.5	0.603	0.47	1.64	4.06	41.76	0.88
3145	36.4064	36.64536	Hatay	Kırıkhan	591.880127	692.2899047	609.7285465	21.68321039	21.68321039	91.13145119	91.53633921	533	1.342	0.35	1.2	1.5	0.57	0.5	2.18	6.83	11.25	0.98
3146	36.22695	36.49076	Hatay	Belen	483.8455779	346.9314602	341.3935473	41.57225045	41.57225045	114.5660874	114.8884171	560	0.982	0.262	1.2	1.5	0.417	0.08	2.67	5.38	18.34	0.246
3147	36.06436	35.90236	Hatay	Yayladağı	56.44854192	47.51171639	29.11793345	108.2119832	108.2119832	177.1200579	177.3287199	1055	0.915	0.238	0.9	0.8	0.385	0.61	0.183	0.0767	55.73	1.12
3301	34.60277	36.78098	Mersin	Yenişehir	28.81225575	45.07631462	15.11152628	154.7152925	157.8688871	223.8136243	223.9787902	367	0.318	0.091	1.3	1.5	0.14	0.23	0.156	0.0909	82.67	0.851
3305	34.89897	36.92142	Mersin	Tarsus	19.64483594	17.47130248	13.37960512	127.5568385	131.2879818	194.4517936	194.6418763	362	0.369	0.104	1.3	1.5	0.162	0.3	0.0697	0.0317	68.77	0.919
3802	36.50359	38.47812	Kayseri	Sarız	99.06655535	84.62669856	55.33780184	129.2913701	133.2946111	140.5470192	140.8098882	305	0.38	0.119	1.496	2.362	0.165	0.4	0.31	0.632	56.96	0.966
4404	38.87385	38.19588	Malatya	Pütürge	136.2437087	137.416246	96.94249636	114.090186	117.7143398	190.0150915	190.209608	1382	1.577	0.403	0.9	0.8	0.651	0.43	0.512	0.204	21.98	0.595
4405	37.9396	38.8107	Malatya	Hekimhan	91.11828589	126.4966785	77.41276481	121.571463	125.5608394	186.6300578	186.8280987	579	0.487	0.158	1.3	1.5	0.209	0.18	0.434	0.2	21.96	0.369

Ek Tablo 1'in devamı

4406	37.97378	38.34388	Malatya	Akçadağ	108.7378538	131.3438878	49.99779504	72.05498673	76.42486609	143.0704899	143.3287308	815	0.913	0.245	0.9	0.8	0.395	0.09	0.344	0.344	40.61	0.944
4408	37.88732	38.09616	Malatya	Doğanşehir	100.0890802	137.1811341	96.75206389	43.65778852	48.33692593	116.5946294	116.9113664	655	1.235	0.316	1.2	1.5	0.466	0.16	0.406	0.452	25.96	0.665
4611	37.28426	37.7472	Kahramanmaraş	Çağlayancerit	349.7206189	321.1142947	173.386445	23.2806638	31.31556249	55.31681732	55.98133866	731	0.897	0.244	1.2	1.5	0.326	0.13	1.25	2.93	43.21	0.353
4612	36.48187	38.02395	Kahramanmaraş	Göksun	140.9700197	122.2219667	54.3077709	90.35812826	95.79455973	95.58663572	95.97273013	246	0.688	0.178	1.25	2.244	0.296	0.24	0.57	1.04	52.34	0.602
4614	37.29775	37.48513	Kahramanmaraş	Pazarcık	2165.584347	2175.076596	1952.680776	0	8.254134292	31.41749352	32.57328505	541	1.127	0.295	1.2	1.5	0.47	0.05	7.45	63.6	24.15	0.188
4615	37.13803	37.38676	Kahramanmaraş	Pazarcık	582.3136945	583.7049721	663.6033757	0	8.018127087	13.82680252	16.28313446	485	1.07	0.285	1.2	1.5	0.448	0.28	1.5	6.33	47.56	0.848
4616	36.83836	37.37547	Kahramanmaraş	Türkoğlu	654.0806644	506.1734933	396.9583815	14.02835149	22.42166907	20.54182722	22.26941098	390	1.103	0.295	1.2	1.5	0.462	0.31	2.59	6.97	41.78	0.471
4617	36.8303	37.58551	Kahramanmaraş	Onikişubat	145.3257037	115.1561872	110.5901	33.04570376	40.70232136	38.04029193	39.00030525	574	0.778	0.213	1.2	1.5	0.328	0.31	0.511	0.776	44.32	0.764
4618	36.87231	37.60011	Kahramanmaraş	Onikişubat	125.6643665	159.4221563	134.4157693	32.0990604	39.79234936	37.83535243	38.80043677	718	0.792	0.217	1.2	1.5	0.333	0.24	0.52	0.793	46.7	0.513
4619	36.86616	37.58702	Kahramanmaraş	Onikişubat	302.0342905	194.7355045	175.5053424	31.26800016	38.99348298	36.73287065	37.72616846	545	0.809	0.221	1.2	1.5	0.34	0.24	1.32	1.93	36.55	0.427
4620	36.89845	37.58568	Kahramanmaraş	Onikişubat	300.4046847	320.9304436	185.3448257	29.42912509	37.22584281	35.47568918	36.5032125	484	0.848	0.229	1.2	1.5	0.356	0.19	1.3	2.74	45.55	0.433
4621	36.92909	37.59347	Kahramanmaraş	Dulkadiroğlu	359.6514868	276.8500521	202.9523298	28.48738736	36.32058641	35.42421906	36.45319322	714	0.87	0.234	1.2	1.5	0.364	0.13	0.982	2.95	46.8	0.594
4624	36.91765	37.5361	Kahramanmaraş	Onikişubat	362.6425316	320.6890774	164.5926486	24.01610114	32.02251023	29.72598907	30.94502264	280	1.004	0.266	1.098	2.068	0.422	0.55	1.37	4.12	48.15	0.689
4625	36.98187	37.53872	Kahramanmaraş	Dulkadiroğlu	448.8172842	486.7513126	367.8886218	20.82783827	28.95775526	28.39675255	29.67044919	346	1.116	0.292	1.054	2.016	0.47	0.2	1.89	4.92	45.38	0.572
4629	36.78871	37.28737	Kahramanmaraş	Türkoğlu	349.3397269	267.995264	133.2090189	8.890854891	17.48319037	22.49684108	24.08459796	382	1.077	0.289	1.2	1.5	0.453	0.37	1.93	2.39	10.18	0.416
4630	36.80604	37.34491	Kahramanmaraş	Türkoğlu	201.9207543	137.7298082	193.8599031	13.0531666	21.48426118	21.89010269	23.51885617	347	1.068	0.287	1.073	2.026	0.448	0.16	0.756	0.692	13.92	0.263
4632	36.77369	37.25603	Kahramanmaraş	Türkoğlu	407.4579675	297.9411718	205.9064065	6.922550729	15.59113498	24.0934052	25.58226288	428	1.108	0.297	1.2	1.5	0.467	1.18	1.17	2.49	10	0.778
5807	37.2475	38.7269	Sivas	Gürün	31.47444922	34.7662488	27.51693235	117.3406315	121.7372698	160.9983045	161.2278327	445	0.363	0.13	1.3	1.5	0.158	0.83	0.14	0.0601	57.67	1.05
6203	38.91709	39.06302	Tunceli	Çemişgezek	31.83089203	36.59068353	14.30598538	182.0294043	184.2327258	256.4870069	256.6311453	446	0.599	0.194	1.26	1.5	0.254	1.01	0.119	0.0433	77.1	0.979
6304	38.51316	37.36509	Şanlıurfa	Bozova	210.8971784	238.2281967	89.22951156	74.19464415	55.38302067	130.2745726	130.558126	376	0.339	0.122	1.3	1.5	0.151	0.16	0.828	1.89	46.81	0.293
6305	38.78694	37.16045	Şanlıurfa	Haliliye	126.659079	104.0896927	59.92127189	106.5347675	74.20514746	155.0588003	155.2971074	704	0.246	0.099	1.3	1.5	0.111	0.35	0.345	0.476	45.62	0.548
8002	36.56195	37.19156	Osmaniye	Bahçe	242.9514441	202.8932806	336.5634826	12.59443961	21.04330451	43.91359014	44.74777535	430	0.924	0.249	1.2	1.5	0.391	0.12	0.869	2.52	36.57	0.472
8003	36.26936	37.08417	Osmaniye	Osmaniye Merkez	141.5668594	185.7379028	139.8940263	18.90601557	27.11038071	72.18423826	72.69473332	350	0.727	0.198	1.218	2.204	0.311	0.29	0.645	1.19	39.35	0.682
8004	36.09763	37.37989	Osmaniye	Kadirli	168.4261136	181.8594248	71.79795705	54.21778554	61.0542326	84.2042581	84.64228897	426	0.653	0.167	1.239	1.5	0.283	0.21	0.792	1.01	44.44	0.495
NAR0	37.1574	37.3919	Kahramanmaraş	Pazarcık	784.5689229	619.7074438	477.943533	0	7.465564798	15.3544845	17.59886912	653	1.06	0.282	1.2	1.5	0.443	0.16	2.02	4.09	38.75	0.505

Ek Tablo 2. Elbistan Mw=7.6 Depremi İçin Kullanılan ve Hesaplanan KYHP

Kod	Boylam	Enlem	İl	İlçe	PGA Kuzey-Güney	PGA Doğu-Batı	PGA Düşey	R _{jb}	R _{rup}	R _{epi}	R _{hyp}	V _{s30}	S _s	S ₁	F _s	F ₁	Harita_PGA (g)	Periyot T _{sa} (s)	Spektral İvme S _a (g)	Arias Şiddeti I _a (m/s)	Etkin Süre D(%5-95)	Ortalama Periyot T _m (s)
0120	35.79005	36.77006	Adana	Yumurtalık	20.67546499	25.01525394	17.15077802	149.7470714	111.479859	194.6173775	194.7432248	439	0.739	0.186	1.204	1.5	0.321	1.87	0.0728	0.062	47.04	1.53
0122	35.82021	37.4339	Adana	Kozan	48.44631118	67.45693688	44.14654783	123.4993067	55.21098121	144.4331648	144.602694	501	0.631	0.253	1.248	1.5	0.274	0.44	0.23	0.0959	36.11	0.62
0125	35.79577	37.01519	Adana	Ceyhan	70.09405163	50.67679996	23.0598129	136.4903681	60.83689522	174.4772541	174.6176171	208	0.644	0.163	1.285	2.274	0.281	1.94	0.296	0.0466	52.11	1.74
0127	35.92044	37.81618	Adana	Feke	56.09349644	62.72347282	38.26746101	112.5583066	112.5583066	119.5231083	119.7279141	583	0.554	0.142	1.278	1.5	0.238	0.38	0.252	0.115	37.61	0.463
0129	36.21086	38.2592	Adana	Tufanbeyli	154.4620448	172.1791745	83.74679944	84.75739976	84.75739976	91.84430881	92.11067832	965	0.394	0.12	0.9	0.8	0.169	0.09	0.613	0.354	24.4	0.224
0130	35.67104	37.25186	Adana	İmamoğlu	79.31747332	79.89938398	43.68837436	139.256518	21.82646692	166.4593663	166.6064844	293	0.629	0.152	1.297	2.296	0.275	0.43	0.256	0.237	40.5	1.53
0205	38.61597	37.79177	Adıyaman	Kahta	44.87774436	54.65790139	32.93629488	115.5934474	119.2778133	125.1919182	125.387465	660	0.57	0.178	1.272	1.5	0.244	0.68	0.177	0.152	42.49	1.35
0213	37.92957	37.79667	Adıyaman	Tut	121.2969786	126.6185571	71.34692159	55.16476958	61.35498905	68.72920202	69.08475382	448	1.045	0.279	1.2	1.5	0.44	0.41	0.533	0.834	30.36	0.804
2107	39.48379	38.14594	Diyarbakır	Çermik	28.6448381	47.61359511	18.19619673	192.4449379	194.6802655	196.4765298	196.6011871	590	0.75	0.213	1.2	1.5	0.316	0.93	0.146	0.0517	46.8	0.933
2308	39.3102	38.45063	Elazığ	Sivrice	69.79809528	48.52413574	33.79625688	177.6499908	180.0690726	185.2274422	185.3596649	450	1.504	0.396	1.2	1.5	0.622	1.14	0.196	0.0854	47.68	1.45
2309	38.72728	38.79913	Elazığ	Keban	62.65357153	38.65393155	25.10626883	127.8190431	131.160434	151.7690875	151.9304312	860	0.635	0.191	0.9	0.8	0.27	0.09	0.293	0.0707	26.84	0.219
2310	38.82453	38.57266	Elazığ	Baskil	41.46600161	55.23521942	26.29778744	135.4984646	138.6549154	148.385516	148.5505347	420	0.859	0.235	1.2	1.5	0.36	0.395	0.2	0.0511	26.07	0.479
2409	38.49109	39.2808	Erzincan	Kemaliye	29.95375396	31.79894856	16.44215222	125.1164649	128.5281348	171.3821671	171.5250629	875	0.755	0.219	0.9	0.8	0.322	0.32	0.141	0.0428	35.59	0.654
2415	38.55493	39.46104	Erzincan	İliç	23.56518362	27.11698925	16.40878865	140.9588751	143.9956809	190.4917633	190.6203344	444	0.533	0.191	1.287	1.5	0.226	0.35	0.113	0.0452	43.09	1.05
2703	37.35	37.058	Gaziantep	Şahinbey	93.68231509	63.44920487	27.6499729	48.50056453	49.48507063	115.0585495	115.2712879	756	0.411	0.143	1.3	1.5	0.175	0.03	0.33	0.135	43.69	0.709
2704	37.80215	37.00879	Gaziantep	Nizip	34.59009017	63.62961417	22.91466694	69.00927429	73.28647457	129.9689773	130.1573473	721	0.236	0.108	1.3	1.5	0.105	0.19	0.19	0.166	38.99	0.805
2718	36.6266	37.00777	Gaziantep	İslahiye	34.4728206	50.57590423	21.76433125	74.82747708	51.63422998	131.7921147	131.9778826	572	1.323	0.345	1.2	1.5	0.563	0.26	0.16	0.0066	30.78	1.01
3115	36.16459	36.54634	Hatay	Belen	25.77446786	27.45890501	15.86046129	140.4444864	163.9858132	196.0874357	196.2123402	424	0.753	0.21	1.2	1.5	0.319	0.71	0.103	0.0336	50.12	0.94
3116	36.20661	36.61618	Hatay	İskenderun	17.08000499	19.19599738	12.91167084	132.1636841	142.9994437	187.4741192	187.6047584	870	0.766	0.214	0.9	0.8	0.325	0.43	0.069	0.0119	49.46	0.67
3134	36.20485	36.82763	Hatay	Dört Yol	30.5711062	40.03998397	18.01376076	116.0413503	101.5981622	167.3421215	167.4884641	374	0.676	0.191	1.23	1.5	0.289	0.42	0.123	0.0537	43.21	0.871
3137	36.48852	36.69293	Hatay	Hassa	23.03816783	25.60015447	17.23534008	109.6127167	106.610646	168.8000551	168.9451349	688	1.387	0.363	1.2	1.5	0.586	0.22	0.0875	0.0255	38.49	0.837
3138	36.51119	36.80262	Hatay	Hassa	49.26780143	68.71472453	18.96143045	98.71323683	73.9493087	156.8053422	156.9615091	619	1.413	0.37	1.2	1.5	0.595	0.56	0.23	0.0637	29.09	0.728

Ek Tablo 2'in devamı

3139	36.41439	36.58383	Hatay	Kırıkhan	43.35793164	57.54239225	17.11460049	123.3214082	153.3708727	182.5537223	182.6878801	271	1.29	0.338	1	1.962	0.548	0.4	0.197	0.0992	41.2	0.836
3142	36.36612	36.49797	Hatay	Kırıkhan	10.38088161	21.28695836	6.943125244	133.6194201	159.4838887	193.0280382	193.154921	538	1.21	0.319	1.2	1.5	0.517	1.05	0.0495	0.0124	44.02	1.05
3143	36.55714	36.84891	Hatay	Hassa	42.89935046	39.84326655	23.09219057	92.14163715	88.35565118	150.4494934	150.6122507	444	1.457	0.384	1.2	1.5	0.615	0.73	0.174	0.0616	32.23	0.791
3144	36.48574	36.75691	Hatay	Hassa	59.11499813	78.10838425	27.36798346	104.0939056	78.92030921	162.3704703	162.5212897	485	1.427	0.373	1.2	1.5	0.603	0.55	0.271	0.15	31.07	0.646
3146	36.22695	36.49076	Hatay	Belen	17.67442661	18.28782035	13.00752672	141.6193435	135.6550706	198.990704	199.1137872	560	0.982	0.262	1.2	1.5	0.417	0.06	0.117	0.0114	56.99	0.629
3801	35.49986	38.68963	Kayseri	Melikgazi	39.24817588	27.53812965	14.8628169	144.5125098	144.5125098	165.6334686	165.7813196	408	0.427	0.11	1.3	1.5	0.185	0.53	0.148	0.0645	67.14	1.38
3802	36.50359	38.47812	Kayseri	Sarız	195.7911951	220.8847455	122.8061029	58.12125167	58.12125167	77.40969496	77.7255484	305	0.38	0.119	1.496	2.362	0.165	0.17	0.69	1.18	51.43	0.974
3803	35.47912	38.39485	Kayseri	Develi	27.35202264	28.88023599	22.81354078	147.913531	147.913531	157.4108024	157.5663693	499	0.368	0.102	1.3	1.5	0.16	0.31	0.102	0.0505	71.68	1.05
3804	36.3779	38.72268	Kayseri	Pınarbaşı	34.63669545	37.89748812	27.91544962	68.23833201	68.23833201	102.9298024	103.1675541	637	0.335	0.109	1.3	1.5	0.146	0.22	0.126	0.0366	35.2	0.609
3805	35.35718	38.1057	Kayseri	Yahyalı	36.15729054	42.02292297	40.94469005	160.3189333	160.3189333	164.6785976	164.8273051	384	0.39	0.107	1.3	1.5	0.168	0.11	0.167	0.0728	44.02	0.337
4404	38.87385	38.19588	Malatya	Pütürge	45.36233027	48.54014451	39.32996079	139.078517	142.1554978	143.4626498	143.6333245	1382	1.577	0.403	0.9	0.8	0.651	0.58	0.164	0.0487	31.87	1.07
4405	37.9396	38.8107	Malatya	Hekimhan	155.4112347	158.0521857	121.8809033	60.31812908	66.22682322	100.8069047	101.0496513	579	0.487	0.158	1.3	1.5	0.209	0.05	0.547	0.229	20.55	0.381
4406	37.97378	38.34388	Malatya	Akçadağ	467.2015075	409.3123385	318.7509631	60.69493839	66.64351579	70.17074269	70.51902672	815	0.913	0.245	0.9	0.8	0.395	0.06	1.94	3.39	18.37	0.269
4409	37.49076	38.56063	Malatya	Darende	303.0553852	229.668159	131.3527197	19.26118203	27.02021752	56.85568419	57.28497905	809	0.381	0.138	0.9	0.8	0.163	0.05	1.58	0.492	19.73	0.3
4410	37.679	38.86677	Malatya	Kuluncak	112.097267	127.2468947	54.08048656	41.23200825	47.56521783	94.58556668	94.8442377	623	0.354	0.137	1.3	1.5	0.153	0.74	0.336	0.268	25.62	0.68
4412	38.18385	38.59685	Malatya	Yazihan	159.0325009	126.3763644	79.9023485	79.74516856	84.86134151	99.89377455	100.1387347	780	0.806	0.221	0.9	0.8	0.344	0.75	0.361	0.522	35.88	1.1
4413	39.03934	38.31353	Malatya	Doğanyol	36.78609318	50.93416837	22.00528221	153.7746493	156.5630685	159.2832207	159.4369606	440	1.61	0.416	1.2	1.5	0.665	0.45	0.147	0.0514	24.31	1.04
4611	37.28426	37.7472	Kahramanmaraş	Çağlayancerit	194.1373304	138.9290789	72.81592244	0	6.846870706	38.21323106	38.84908014	731	0.897	0.244	1.2	1.5	0.326	0.2	0.474	0.592	35.37	0.452
4612	36.48187	38.02395	Kahramanmaraş	Göksun	635.4466773	523.2123629	494.908642	62.1842596	62.1842596	66.68398991	67.05038785	246	0.688	0.178	1.25	2.244	0.296	0.58	1.47	4.37	20.18	1.17
4613	36.35737	37.5701	Kahramanmaraş	Andırın	80.61346835	78.2478003	75.74492854	75.33746417	75.33746417	96.56314135	96.81652889	440	0.68	0.18	0.9	0.8	0.292	0.38	0.217	0.104	37.76	0.894
4614	37.29775	37.48513	Kahramanmaraş	Pazarcık	160.8168191	206.0473164	89.20668968	0.946860942	7.092851147	67.34545689	67.70827545	541	1.127	0.295	1.2	1.5	0.47	0.1	0.718	0.54	33.9	0.336
4615	37.13803	37.38676	Kahramanmaraş	Pazarcık	44.47336608	73.75100399	41.67033217	13.42899009	11.36123467	78.58867379	78.89980765	485	1.07	0.285	1.2	1.5	0.448	0.11	0.262	0.144	39.64	0.79
4616	36.83836	37.37547	Kahramanmaraş	Türkoğlu	57.54619153	53.50307354	28.0542287	35.67271441	11.61636778	86.81185343	87.0936157	390	1.103	0.295	1.2	1.5	0.462	0.32	0.217	0.118	37.62	0.389
4617	36.8303	37.58551	Kahramanmaraş	Onikişubat	55.97398564	82.69460666	54.78905962	33.52688821	33.52688821	66.50189221	66.86928793	574	0.778	0.213	1.2	1.5	0.328	2.68	0.208	0.284	37.69	1.89
4620	36.89845	37.58568	Kahramanmaraş	Onikişubat	66.82374714	81.33087029	57.03241755	27.51139576	27.51139576	63.45562212	63.8405512	484	0.848	0.229	1.2	1.5	0.356	1.49	0.201	0.205	45.98	1.36

Ek Tablo 2'in devamı

4624	36.91765	37.5361	Kahramanmaraş	Onikişubat	65.00183872	79.74580113	38.61064912	26.0276859	26.0276859	67.65080759	68.01199723	280	1.004	0.266	1.098	2.068	0.422	0.32	0.247	0.262	45.81	1.06
4625	36.98187	37.53872	Kahramanmaraş	Dulkadiroğlu	73.38516212	50.56337175	38.46975188	20.34488862	20.34488862	65.22421413	65.59876606	345	1.116	0.292	1.054	2.016	0.47	0.39	0.3	0.214	42.76	0.915
4631	37.42765	37.96633	Kahramanmaraş	Nurhak	356.0512932	409.2997	643.8751888	11.59603536	19.69000131	21.42701178	22.54144702	543	0.961	0.263	1.2	1.5	0.408	0.77	1.29	2.87	25.26	0.593
5103	34.9909	37.83234	Niğde	Çamardı	21.10960375	14.3038068	13.1100233	194.1810423	194.1810423	199.1407824	199.2637729	461	0.466	0.119	1.3	1.5	0.203	0.89	0.072	0.017	33.99	1.34
5803	37.00179	39.74382	Sivas	Sivas Merkez	20.89112251	17.75952065	11.24814596	118.4894705	118.4894705	185.1482755	185.2805546	662	0.399	0.154	1.3	1.5	0.172	0.8	0.0591	0.0181	58.97	1.67
5804	36.08072	39.18482	Sivas	Gemerek	49.23680584	52.26172468	20.65575029	108.9240537	108.9240537	158.0109763	158.1659529	420	0.495	0.141	1.3	1.5	0.216	0.69	0.174	0.0356	19.9	0.808
5805	36.74701	39.27298	Sivas	Altınyayla	28.19382864	26.11535624	14.1259539	74.59776497	74.59776497	138.4052875	138.5821908	1072	0.492	0.151	0.9	0.8	0.215	2.07	0.0706	0.0387	58.93	1.75
5807	37.2475	38.7269	Sivas	Gürün	93.36752004	73.61841827	55.44617065	4.523665029	8.647423113	70.93511016	71.27965946	445	0.363	0.13	1.3	1.5	0.158	0.16	0.269	0.255	32.96	0.456
5809	37.3824	39.2308	Sivas	Kangal	57.94479586	62.13467782	23.24354218	61.28077781	63.39345986	127.5713932	127.7632982	340	0.372	0.137	1.502	2.326	0.161	0.33	0.194	0.198	64.74	1.12
5810	38.1179	39.3704	Sivas	Divriği	29.14056515	31.34652395	14.27717832	105.9667143	109.8177947	161.5972867	161.7488271	528	0.482	0.169	1.3	1.5	0.206	0.16	0.124	0.0145	43.98	0.708
5811	36.4129	39.3616	Sivas	Şarkışla	38.40027276	35.68484626	14.89401798	99.28651166	99.28651166	158.6163332	158.7707188	207	0.409	0.134	1.473	2.332	0.177	0.46	0.258	0.0976	47.52	0.639
5815	37.39274	39.85441	Sivas	Hafik	14.06114804	19.88203018	7.152689412	130.1279331	131.3072577	196.7539359	196.8784175	213	0.458	0.176	1.434	2.248	0.198	0.61	0.0943	0.0254	51.58	1.18
5817	37.04523	39.45554	Sivas	Ulaş	14.13663643	19.43256355	12.28614082	86.26590032	86.26590032	152.8778949	153.0380696	804	0.47	0.156	0.9	0.8	0.206	0.65	0.0641	0.0249	41.32	1.21
5819	36.53457	39.6406	Sivas	Yıldızeli	27.37833427	18.83562561	8.818050954	119.2228459	119.2228459	182.990757	183.1245946	414	0.385	0.142	1.3	1.5	0.167	2.45	0.101	0.0364	52.07	2.12
6203	38.91709	39.06302	Tunceli	Çemişgezek	26.43593424	37.08695643	13.84667938	149.4057696	152.274212	181.6808123	181.8156142	446	0.599	0.194	1.26	1.5	0.254	0.96	0.0947	0.029	42.08	0.713
6303	39.3291	37.7524	Şanlıurfa	Siverek	29.43110417	21.68856628	14.71132104	178.3461678	180.7559328	187.115237	187.2461266	986	0.391	0.136	0.9	0.8	0.171	0.34	0.0841	0.0291	56.26	1.12
7901	37.1123	36.7088	Kilis	Kilis Merkez	50.90990264	49.81427764	22.40841191	87.31989709	102.5856018	153.8787487	154.0378827	463	0.49	0.152	1.3	1.5	0.21	0.18	0.182	0.0829	45.7	0.499
8002	36.56195	37.19156	Osmaniye	Bahçe	65.87371043	45.50682189	28.83720561	66.69874034	33.23931225	116.2407434	116.4513221	430	0.924	0.249	1.2	1.5	0.391	0.46	0.254	0.121	32.29	0.559
8003	36.26936	37.08417	Osmaniye	Osmaniye Merkez	48.69693892	66.6021379	28.98202948	95.20236134	69.23317992	140.6532318	140.8273114	350	0.727	0.198	1.218	2.204	0.311	0.85	0.178	0.191	52.18	1.47
NARC	37.1574	37.3919	Kahramanmaraş	Pazarcık	126.5213765	110.4216842	84.82084604	12.13302951	10.85267385	77.84536007	78.15945294	653	1.06	0.282	1.2	1.5	0.443	0.06	0.444	0.101	29.11	0.324

ÖZGEÇMİŞ

Muhammet Serdar ŞAHİN, ilköğrenimini Cumhuriyet İlköğretim Okulu'nda, Orta öğrenimini Cumhuriyet Ortaokulu'nda bitirdikten sonra lise eğitimini 1990 yılında Trabzon Lisesi'nde tamamladı. 1990-1991 öğretim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 1995 yılında bu bölümden mezun oldu. 2020 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği bölümünde tezli yüksek lisans programına başladı. Evli ve 2 çocuk babasıdır. Orta derece İngilizce bilmektedir.

