

T. C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANAKKALE BİGA İLÇESİ DEPREMSELLİĞİ VE DEPREM TEHLİKE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYKUTALP AVŞAR

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. NAZİLE URAL

BİLECİK, 2024

10627075

T. C.
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANAKKALE BİGA İLÇESİ DEPREMSELLİĞİ VE DEPREM TEHLİKE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYKUTALP AVŞAR

TEZ DANIŞMANI
PROF. DR. NAZİLE URAL

BİLECİK, 2024

10627075

BEYAN

Çanakkale Biga İlçesi Depremselliği ve Deprem Tehlike Analizi adlı yüksek lisans tezinin hazırlık ve yazımı sırasında bilimsel araştırma ve etik kurallarına uyduğumu, başkalarının eserlerinden yararlandığım bölümlerde bilimsel kurallara uygun olarak atıfta bulunduğumu, kullandığım verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı, tezin herhangi bir kısmının Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını, aksinin tespit edileceği muhtemel durumlarda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Bu çalışmanın, Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP), TÜBİTAK veya benzeri kuruluşlarca desteklenmesi durumunda; projenin ve destekleyen kurumun adı proje numarası ile birlikte, ETİK KURUL onayı alınması durumunda ise ETİK KURUL tarih karar ve sayı bilgilerinin beyan edilmesi gerekmektedir.			
DESTEK ALINMIŞTIR		DESTEK ALINMAMIŞTIR	
		x	
Destek alındı ise;			
Destekleyen kurum;			
Desteğin Türü		Proje Numarası	
1- BAP (Bilimsel Araştırma Projesi)			
2- TÜBİTAK			
Diğer;.....			
ETİK KURUL onayı var ise;			
ETİK KURUL karar tarih/sayı:		/.....	

Aykutalp Avşar

Tarih

.....

İmza

.....

ÖN SÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışma sürecim boyunca değerli katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Nazile URAL'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Lisans ve yüksek lisans eğitimimde varlığıyla ve telkinleri ile hep destek sunan sevgili eşim Dr. İremcan ŞAHİN'e;

Tüm eğitim hayatımda arkamda olan sevgili aile üyelerim; annem Emine AVŞAR'a, babam Ali AVŞAR'a ve kardeşim Gülcan AVŞAR'a;

Tez yazma sürecimde dünyaya gözlerini açarak zihnimi berraklaştıran kızım Ulus AVŞAR'a içten sevgi ve şükran duyarım.

Aykutalp AVŞAR

2024

ÖZET

ÇANAKKALE BİGA İLÇESİ DEPREMSELLİĞİ VE DEPREM TEHLİKE ANALİZİ

Deprem tehlike analizinin amacı; belirlenen bölgede geçmişte gerçekleşmiş olan belirli büyüklük aralığındaki deprem verileri göz önünde bulundurularak, gelecekte gerçekleşmesi beklenen sismik hareketliliği tahmin etmektir. Depremselliğin tayininden sonra söz konusu bölgenin zemin karakteristiği incelenerek, deprem dalgalarının göstereceği zemin büyütme oranlarının hesap edilmesiyle zemin davranış analizi önceden tahmin edilebilmektedir. Tanımsal ve olasılıksal olmak üzere iki çeşit deprem tehlike analizi yapılabilmektedir. Çalışma kapsamında olasılıksal (probabilistik) deprem tehlike analizi kullanılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında Biga ilçesinin depremselliği ve deprem tehlike analizi üzerine çalışılırken; ilçenin sosyal yapısı, jeolojik durumu, sismik hareketliliği ve deprem geçmişi göz önüne alınmıştır. Olasılıksal sismik tehlike analizi için gereken deprem geçmişi haritalanarak azalım ilişkileri ve zemin büyütme yöntemleri belirlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında ilçenin depremselliği ve zemin büyütme oranları belirlenmiştir. Depremsellik ve zemin büyütme oranları ayrı ayrı haritalanarak değerlendirilmiş ve hem çalışma alanının sismik aktiviteye ortalamanın üzerinde bir yoğunlukta maruz kaldığı hem de zemin açısından dikkat edilmesi gerektiği görülmüştür. Sonuç olarak, yerleşim alanı için özellikle zemin büyütme oranlarının en düşük olduğu alanların değerlendirilmesi ve mümkünse moment magnitüd etkisinin düşük olduğu alanlar seçilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Deprem Tehlike Analizi, Zemin Büyütme Oranı, Ortalama Kayma Dalgası

ABSTRACT

SEISMICITY AND EARTHQUAKE HAZARD ANALYSIS OF BIGA DISTRICT IN ÇANAKKALE

The purpose of earthquake hazard analysis; It is to estimate the seismic activity expected to occur in the future, taking into account earthquake data within a certain magnitude range that have occurred in the specified region in the past. After determining the seismicity, ground behavior analysis can be predicted by examining the ground characteristics of the region in question and calculating the ground amplification rates that the earthquake waves will show. Two types of earthquake hazard analysis can be performed: descriptive and probabilistic. Probabilistic earthquake hazard analysis was used within the scope of the study. While working on the seismicity and earthquake hazard analysis of Biga district within the scope of this thesis study; The social structure, geological situation, seismic activity and earthquake history of the district were taken into consideration. Earthquake history required for probabilistic seismic hazard analysis was mapped and attenuation relationships and ground amplification methods were determined. In the light of the data obtained, the seismicity and ground amplification rates of the district were determined. Seismicity and ground amplification rates were mapped and evaluated separately, and it was seen that the study area was exposed to seismic activity at an intensity above average and that attention should be paid to the ground. As a result, for the residential area, areas with the lowest ground amplification rates should be evaluated and, if possible, areas with low moment magnitude effects should be selected.

Keywords: Earthquake Hazard Analysis, Ground Amplification Ratio, Average Shear Wave

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖN SÖZ.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. DEPREM TEHLİKESİ	7
2.1. Deprem Oluş Nedenleri.....	7
2.2. Deprem Kaynağı Olarak Tektonizma.....	8
2.3. Deprem Dalgaları.....	11
2.3.1. Cisim Dalgaları	12
2.3.2. Yüzey Dalgaları.....	13
2.4. Sismik Tehlike Analizi.....	14
2.4.1. Tanımsal (Deterministik) Deprem Tehlike Analizi	15
2.4.2. Olasılıksal (Probabilistik) Deprem Tehlike Analizi	16
2.5. Azalım İlişkisi.....	18
2.6. Zemin Büyütmeleri	19
3. BİGA İLÇESİ TANITIMI.....	26
3.1. Sosyal Veriler	26
3.2. Jeolojik ve Sismotektonik Yapı	32
3.3. İlçenin Deprem Geçmişi	38
3.3.1. Tarihsel (1900 Yılı Öncesi) Depremler	39

3.3.2. Aletsel (1900 Yılı Sonrası) Depremler	47
4. BİGA’NIN OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ	61
4.1. Moment Dağılım Analizi	61
4.2. Sismik Dağılımın Belirlenmesi.....	66
4.3. Olasılık Değerlerinin Saptanması.....	68
4.4. Çalışma Sahasındaki Sismik Kaynaklar ve Karakterleri	72
4.5. Azalım İlişkisinin Kurulması.....	78
4.5.1. Yerel Jeolojiye Dayalı Azalım İlişkisi	99
4.5.2. Kayıtlara Göre Belirlenen Pık İvme Değerleri ile Azalım İlişkisi.....	102
5. BİGA’NIN ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZİ	106
5.1. Ortalama Kayma Dalgası.....	106
5.2. Zemin Büyütme Oranlarının Kayma Dalgası Hızı ile Hesaplanması.....	118
5.3. Zemin Büyütme Oranlarının Haritalanması	122
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	126
KAYNAKÇA	130
EKLER.....	139
EK-1: AFAD VERİ TABANINDA BİGA DEPREM KATALOĞU	139
EK-2: BİGA İLÇE MERKEZLİ ALETSEL DÖNEMDE KAYDEDİLEN MOMENT DÜZELTMESİ YAPILMIŞ DEPREM KATALOĞU.....	145

TABLÖLER LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Eurocode8’de ortalama kayma dalga hızına göre zemin sınıflandırması	22
Tablo 2.2. NEHRP Hükümleri ve Uniform Building Code’da Vs30’a göre zemin sınıflandırması	22
Tablo 2.3. Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliği’nde Vs30’a göre zemin sınıflandırması ...	23
Tablo 3.1. Biga ilçesinin merkez mahalleleri nüfusu	29
Tablo 3.2. AFAD ve KRDAE verileri arasında kıyaslama	56
Tablo 3.3. Ana şokların belirlenmesi için verilen mesafe-zaman kıstasları	58
Tablo 3.4. Çalışma alanındaki depremlerin moment magnitudüne göre sayısı.....	60
Tablo 4.1. Deprem magnitud ortalama değerleri ile frekansları.....	67
Tablo 4.2. Hesaplanan depremsellik parametreleri	69
Tablo 4.3. Çalışma sahasının olasılık değerleri ve dönüşüm periyotları.....	69
Tablo 4.4. Biga ilçesi ve 100 km yarıçaplı dairesel dış alanı içerisindeki diri faylar.....	72
Tablo 4.5. Wells ve Coppersmith bağıntılarına göre sismik kaynakların üretebileceği maksimum moment büyüklükleri.....	75
Tablo 4.6. Aletsel dönem kayıtları ışığında fay hatlarına ait ana şok sayıları ve pik moment magnitudleri	77
Tablo 4.7. Biga ilçe merkezinde, çalışma sahasınca saptanan sismik kaynaklar sebebi ile oluşabilecek pik yer ivme değerleri	79
Tablo 4.8. Biga ilçe merkezinde, çalışma sahasınca saptanan sismik kaynaklar sebebi ile oluşabilecek pik yer ivme değerleri	83
Tablo 4.9. Biga ilçe merkezinde, çalışma sahasınca saptanan sismik kaynaklar sebebi ile oluşabilecek pik yer ivme değerleri	85
Tablo 4.10. Biga ilçe merkezinde, çalışma sahasınca saptanan sismik kaynaklar sebebi ile oluşabilecek pik yer ivme değerleri	87

Tablo 4.11. Biga ilçe merkezinde, çalışma sahasınca saptanan sismik kaynaklar sebebi ile oluşabilecek pik yer ivme değerleri	89
Tablo 4.12. Biga ilçe merkezinde, çalışma sahasınca saptanan sismik kaynaklar sebebi ile oluşabilecek pik yer ivme değerleri	91
Tablo 4.13. Biga ilçe merkezinde, çalışma sahasınca saptanan sismik kaynaklar sebebi ile oluşabilecek pik yer ivme değerleri	94
Tablo 4.14. Biga ilçe merkezine etkiye sismik kaynakların ilçe merkezinde yaratacağı ivme değerlerinin azalım ilişkilerine göre kıyası	97
Tablo 4.17. Gülkan ve Kalkan'ın 2002'de sunduğu azalım ilişkisine dayanarak Biga ilçe merkezinde oluşan pik ivme değerleri	99
Tablo 4.15. Biga ilçe merkezinde, aletsel dönem dahilinde tespit edilen pik moment büyüklüklerine dayanarak hesaplanan pik yer ivme değerleri	103
Tablo 4.16. Biga ilçe merkezinde, aletsel dönem dahilinde tespit edilen pik moment büyüklüklerine dayanarak çeşitli azalım ilişkileri ile hesaplanan pik yer ivme değerleri	104
Tablo 5.1. Sakarya Mahallesi'nde 506 ada, 20 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler	107
Tablo 5.2. Sakarya Mahallesi'nde 185 ada, 97 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler	107
Tablo 5.3. Sakarya Mahallesi'nde 149 ada, 20 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler	107
Tablo 5.4. İstiklal Mahallesi'nde 1311 ada, 46 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler	108
Tablo 5.5. İstiklal Mahallesi'nde 134 ada, 33 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken	109
Tablo 5.6. Şirintepe Mahallesi'nde 1355 ada, 4 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler	110
Tablo 5.7. Şirintepe Mahallesi'nde 620 ada, 2 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler	110

Tablo 5.8. Şirintepe Mahallesi'nde 586 ada, 10 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler	110
Tablo 5.9. Yeniceköy Mahallesi'nde 1001 ada, 9 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler	111
Tablo 5.10. Esentepe Mahallesi'nde 818 ada, 2 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler	112
Tablo 5.11. Esentepe Mahallesi'nde 830 ada, 16 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler	113
Tablo 5.12. Hamdibey Mahallesi'nde 415 ada, 32 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler	113
Tablo 5.13. Hamdibey Mahallesi'nde 713 ada, 30 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler	114
Tablo 5.14. Cumhuriyet Mahallesi'nde 415 ada, 32 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler	115
Tablo 5.15. Zemin tipine bağlı basınç ve kayma dalgası hızları	117
Tablo 5.16. Zemin tipine bağlı olarak belirlenen kayma dalgası hızları	117
Tablo 5.17. Vs30 değerlerine bağlı zemin büyütme oranlarının üç ayrı yöntemle göre belirlenmesi	119
Tablo 5.18. Zemin tipine bağlı olarak belirlenen kayma dalgası hızlarına göre zemin büyütme oranları	121

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. 20. yüzyılın (yy.) ikinci yarısında haritalanan Dünya'nın başlıca tektonik levhalarının basitleştirilmiş haritası.....	2
Şekil 1.2. 1932 tarihli, Sierberg tarafından hazırlanmış deprem bölgeleri haritası	3
Şekil 1.3. Türkiye'nin 1945 yılında yayınlanan resmi ilk deprem haritası.....	4
Şekil 1.4. 1945 tarihli Türkiye'nin deprem bölgeleri haritası	4
Şekil 1.5. Yersarsıntısı Bölgeleri Haritası, 1947.....	5
Şekil 2.1. Dünya'nın iç yapısı	9
Şekil 2.2. Konveksiyonel akım	10
Şekil 2.3. Türkiye'yi doğrudan etkileyen levhaların aktivitesi	11
Şekil 2.4. Deterministik deprem tehlike analizinin adımları	16
Şekil 2.5. Olasılıksal sismik tehlike analizi aşamaları	18
Şekil 2.6. Zemin büyütme oranlarının dört farklı önermeye göre karşılaştırması	25
Şekil 3.1. Biga ve çevresinin fiziki haritası	27
Şekil 3.2. Sakarya Zonu Haritası	28
Şekil 3.3. Biga Sancağı Haritası.....	30
Şekil 3.4. Biga Çayı Havzası	31
Şekil 3.5. Biga Yarımadası'na ait genel jeoloji haritası.....	32
Şekil 3.6. Genel stratigrafi kesiti.....	33
Şekil 3.7. Biga Yarımadası'na ait magmatik kayalar haritası	34
Şekil 3.8. Biga Yarımadası 1/2000000 ölçekli fiziki haritası	35
Şekil 3.9. Camialan Köyü yakınlarında akarsuyun ani yön değişimi	36
Şekil 3.10. Türkiye'nin tektonik levhalar haritası	37
Şekil 3.11. Bölgenin genel fay haritası	38
Şekil 3.12. AFAD'ın veri tabanında Biga ilçe merkezini etkileyen tarihsel depremler	46

Şekil 3.13. 1900 – 02.03.2023 tarihleri arasındaki Türkiye ve yakın çevresi deprem etkinliği haritası	48
Şekil 3.14. 2020 yılı Türkiye ve yakın çevresi deprem etkinliği haritası	50
Şekil 3.15. 2021 yılı Türkiye ve yakın çevresi deprem etkinliği haritası	50
Şekil 3.16. 2022 yılı Türkiye ve yakın çevresi deprem etkinliği haritası	51
Şekil 3.17. AFAD’ın veri tabanında girilen deprem kataloğu bilgileri	52
Şekil 3.18 Biga ilçe merkezinin yerbulduru haritası ve aletsel dönem içerisinde 100 km yarıçaplı dairesel alandaki büyüklüğü 4.0 ve üzeri olan depremler	53
Şekil 3.19. AFAD’ın veri tabanında çalışma alanının Türkiye perspektifinden depremsel görünümü	54
Şekil 3.20. AFAD’ın veri tabanında çalışma alanında gerçekleşen 1900 yılı sonrası depremler	55
Şekil 3.21. KRDAE’nin veri tabanına girilen deprem kataloğu bilgileri.....	55
Şekil 3.22. KRDAE’nin veri tabanında çalışma alanının Türkiye perspektifinden depremsel görünümü	56
Şekil 3.23. KRDAE’nin veri tabanında çalışma alanında gerçekleşen 1900 yılı sonrası depremler.....	56
Şekil 3.24. Biga’da gerçekleşen aletsel dönem depremlerinin magnitüde göre dağılımı	59
Şekil 3.25. Aletsel dönem depremlerinin magnitüde göre sayısal göstergeli dağılım grafiği .	59
Şekil 4.1. Biga ilçe merkezi orijinli, 100 km yarıçaplı alanda tespit edilen ana şok ve ikincil sismik aktivite	61
Şekil 4.2. Çalışma alanı içerisinde, aletsel dönem sürecinde gerçekleşen deprem kayıtlarının ikincil depremlerden arındırılmış ana şok deprem haritası	63
Şekil 4.3. Yenice-Gönen Fayı’nın harita üzerinde gösterimi.....	64
Şekil 4.4. Çalışma sahası içerisinde aletsel dönemde kaydedilmiş depremlerin ürettiği moment magnitüdlerinin arazide zeminden bağımsız dağılımı	65
Şekil 4.5. Biga’ya ait homojenize edilmiş deprem kataloğunun magnitüd-frekans ilişkisi.....	68
Şekil 4.6. Çeşitli büyüklüklerde depremlere ait tekrarlama periyotları	71

Şekil 4.7. Biga ilçesine ait sismik risk grafiği.....	71
Şekil 4.8. Çalışma alanı içerisindeki diri faylar haritası	73
Şekil 4.9. Çalışma sahasındaki çizgisel sismik kaynakların üretebileceği pik moment büyüklükleri	76
Şekil 4.10. Ulusay ve arkadaşlarının 2004 yılında sunduğu azalım ilişkisi ile çalışma sahasındaki fay hatlarının Biga ilçe merkezinde oluşturduğu pik yer ivmesi.....	81
Şekil 4.11. İnönü ve arkadaşlarının 1996 yılında sunduğu azalım ilişkisi ile çalışma sahasındaki fay hatlarının Biga ilçe merkezinde oluşturduğu pik yer ivmesi	84
Şekil 4.12. Aydın'ın 2001 yılında yenilediği azalım ilişkisi ile çalışma sahasındaki fay hatlarının Biga ilçe merkezinde oluşturduğu pik yer ivmesi.....	86
Şekil 4.13 Beyaz'ın 2004 yılında yenilediği azalım ilişkisi ile çalışma sahasındaki fay hatlarının Biga ilçe merkezinde oluşturduğu pik yer ivmesi	88
Şekil 4.14. Yılmaz'ın 2010 yılında sunduğu azalım ilişkisi ile çalışma sahasındaki fay hatlarının Biga ilçe merkezinde oluşturduğu pik yer ivmesi.....	90
Şekil 4.15. Gülkan ve Kalkan'ın 2002 yılında sunduğu azalım ilişkisi ile çalışma sahasındaki fay hatlarının Biga ilçe merkezinde oluşturduğu pik yer ivmesi	93
Şekil 4.16. Boore, Joyner ve Fumal'ın 1997 yılında sunduğu azalım ilişkisi ile çalışma sahasındaki fay hatlarının Biga ilçe merkezinde oluşturduğu pik yer ivmesi.....	95
Şekil 4.17. Azalım ilişkilerinin pik yer ivmesi grafiğinde kıyaslanması	96
Şekil 4.18. Azalım ilişkilerinin 7.0 deprem büyüklüğünde uzaklığa göre sonuçları	98
Şekil 4.19. Gülkan ve Kalkan'ın azalım ilişkisine göre Biga ilçe merkezinde pik yer ivmesi haritası	101
Şekil 4.20. Boore ve arkadaşlarının azalım ilişkisine göre Biga ilçe merkezinde pik yer ivmesi haritası	101
Şekil 5.1. Biga ilçe merkezinden alınan sondaj verileri ışığında ortalama kayma dalgası haritası	116
Şekil 5.2. Üç ayrı yöntemle göre hesaplanan zemin büyütme oranlarının mahalle düzeyinde kıyaslaması.....	121

Şekil 5.3. Joyner ve Fumal'ın 1984 yılında sunduğu bağıntı ışığında Biga ilçe merkezine dair sonuçların haritalanması.....	123
Şekil 5.4. Midorikawa'nın 1987 yılında sunduğu bağıntı ışığında Biga ilçe merkezine dair sonuçların haritalanması.....	124
Şekil 5.5. Borchardt ve arkadaşlarının 1991 yılında sunduğu kuvvetli yer hareketine bağlı bağıntı ışığında Biga ilçe merkezine dair sonuçların haritalanması.....	124
Şekil 5.6. Borchardt ve arkadaşlarının 1991 yılında sunduğu zayıf yer hareketine bağlı bağıntı ışığında Biga ilçe merkezine dair sonuçların haritalanması.....	125



KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

NASA: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)

NEHRP: National Earthquake Hazards Reduction Program (Ulusal Deprem Tehlikelerini Azaltma Programı)

KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu

DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu

MTA: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü

m: Metre

km: Kilometre

cm: Santimetre

°C: Santigrat derece

km²: Kilometrekare

yy.: Yüzyıl

AFAD: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

BDTİM: Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi

KRDAE: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü

SRL: Sismik kaynak uzunluğu

R_e: Sismik kaynağın yeryüzündeki izdüşümü ile çalışma lokasyonu arasındaki mesafe

M_{max}: Pik moment büyüklüğü

M.Ö.: Milattan önce

M.S.: Milattan sonra

M_w: Moment magnitüd büyüklüğü

M_l: Yerel magnitüd büyüklüğü

g: Yerçekimi ivmesi (metre/saniyekare)

gal: Yerçekimi ivmesi ($1,02 \times 10^{-3}$ g)

V_s: Kayma dalgası hızı

V_{s30} : Ortalama kayma dalgası hızı

m/s: Metre bölü saniye

PHA: Pik yatay ivme

PGA: Pik yer ivmesi

R_e : Sismik kaynağın yeryüzündeki izdüşümü ile çalışma lokasyonu arasındaki mesafe

TBDY: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

vd.: ve diğerleri

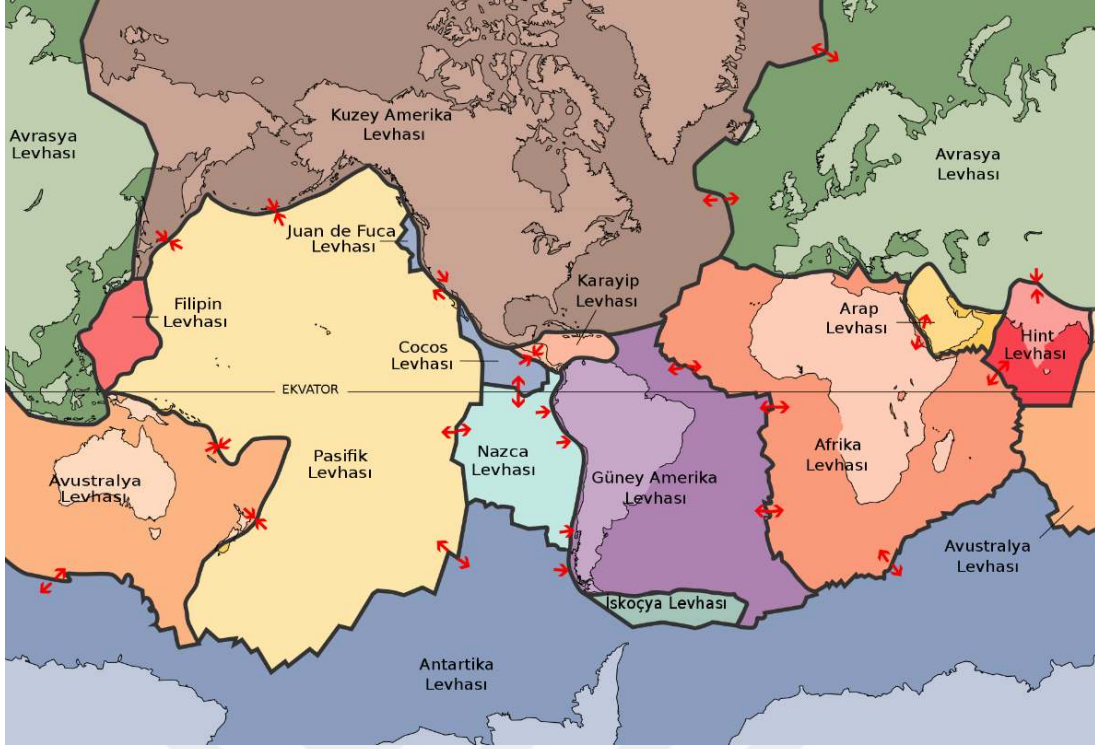


1. GİRİŞ

Milyarlarca yıl önce oluşan gezegenimiz, ilk günlerinden bu yana deprem gerçeğiyle devinim halinde süregelmektedir. İstatiksel açıdan çoğunlukla sismik faaliyetlerden dolayı gelişen depremler; günümüze değin milyonlarca insanın canına mal olmuş, tarih boyu kurulan pek çok yaşam alanını yok etmiştir. Bugün de fenni yöntemlerle daha çok önlemler gerektiren bir doğal afet olarak karşımızda durmaya devam etmektedir.

Çeşitli kaynaklardan ortaya çıkan deprem tehlikesi; belirlenen çalışma alanında, belirli periyotlarda can ve mal kaybına sebep olabilecek büyüklükte bir sismik hareketin olasılığını ifade etmektedir. Bu olasılık, geçmiş deprem verilerinin istatistiksel yollarla değerlendirilmesi ve gelecek açısından yorumlanması sonucu ortaya çıkmaktadır. Belirlenen olasılıkla şekillenen deprem tehlikesi; gelecekte yaşanması beklenen depremin büyüklüğünü, çalışma alanının merkez noktasına uzaklığını, etkileyeceği zeminin koşullarını ve nihayet yaşatacağı hasarın boyutunu ele alır (Türkelli, 2008). Bu sayede, hesaba konu olan bölgenin gelecekte maruz kalacağı deprem büyüklüğü anlaşılabilir ve gerekli önlemler alınabilir.

Ülkemiz, bulunduğu coğrafi konum açısından deprem tehlikesiyle her an karşı karşıya olan bir ülke durumundadır. Güneydoğusundan Arap Levhası ve Akdeniz açıklarından Afrika Levhası'nın kabaca kuzey yönlü hareketi, kuzeyden Avrasya Levhası'nın mukavemetiyle karşılaşmakta ve ülkemiz gerçekleşen bu çarpışma hattında konumlanmaktadır (Şekil 1.1). Levhaların çarpışması sonucu üst üste binen levha kenarları, Türkiye'de Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) olan iki büyük faylanmayı yaratmaktadır. Bu iki hat ve tali kolları boyunca biriken enerji devamlı sismik faaliyetle açığa çıkmakta, yüzeyde büyük sarsıntılara sebebiyet vermektedir.



Şekil 1.1. 20. yüzyılın (yy.) ikinci yarısında haritalanan Dünya'nın başlıca tektonik levhalarının basitleştirilmiş haritası

Kaynak: (USGS, 2004)

Türkiye’de deprem tehlikesi bu kadar yüksekken, ona karşı önlemler alınması da kaçınılmazdır. Nitekim sismisiteden kaynaklanacak mal ve can kayıplarının azaltılması (mümkünse yok edilmesi) amacıyla “Yersarsıntılarında Evvel ve Sonra Alınacak Tedbirler Hakkında Kanun” Türkiye Büyük Millet Meclisi’nde onaylandıktan sonra 22 Temmuz 1944’te Resmi Gazete’de yayınlanmış ve hayata geçirilmiştir (Resmi Gazete, 1943: 7337-7339). Söz konusu kanunun hazırlanma sürecini tetikleyen de yine son zamanlarda yoğunlaşan deprem silsilesi olmuştur. Bu açıdan yaşanan depremlerin mal ve can kaybına sebep olması pahasına insanlığımıza büyük deneyimler sağladığını göz önünde bulundurmak gerekmektedir. Hiçbir deneyim, yaşanan depremlerden edineceğimiz tecrübelerden daha öğretici olmamıştır.

Türkiye’nin depreme karşı ilk kanunu Erzincan il merkezinde, o dönem Niksar’a bağlı Erbaa’da, Sakarya’nın ilçesi Hendek’te, Tosya’ya bağlı Ladik’te, Bolu’nun ilçesi Gerede’de ardı sıra meydana gelen depremler sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu yoğun deprem silsilesi sırasında her defasında büyük kayıplar yaşayan ve en son 1943 yılında gerçekleşen Erbaa merkezli depremde enkaza dönen yerleşim; 15 Nisan 1944 tarihinde taşınmış, yeni bir yerleşim olarak tekrar planlanmak zorunda kalmıştır (Üzen, 2014). Tarihlere bakıldığında, Erbaa’nın

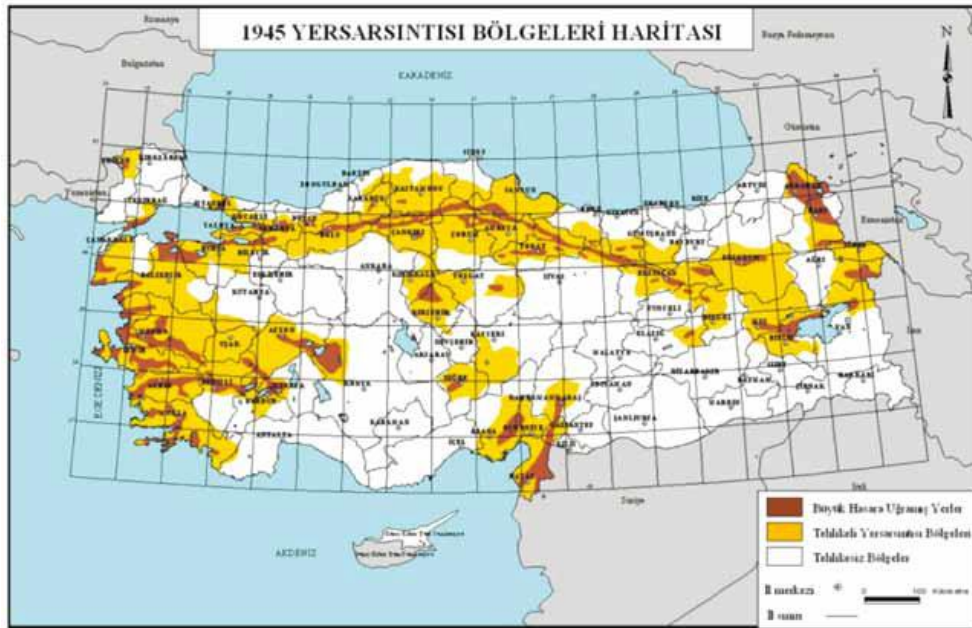
Sonra Alınacak Tedbirler Hakkında Kanun”un hemen sonrasında, 1945 yılında çıkarılmış olan “1945 Yersarsıntısı Bölgeleri Haritası”dır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Türkiye'nin 1945 yılında yayınlanan resmi ilk deprem haritası

Bu harita; kendisinden önce yapılmış çalışmalara, derlenen bilgilere ve ülkemizde gerçekleşmiş olan depremlerin verilerine dayandırılarak hazırlanmıştır (Özmen, 2012). Ülkemiz bu haritayla üç ana deprem bölgesine ayrılmış olup bunlar;

- büyük hasara uğramış bölgeler,
- tehlikeli yersarsıntısı bölgeleri,
- tehlikesiz bölgeler şeklindedir (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. 1945 tarihli Türkiye'nin deprem bölgeleri haritası

Söz konusu harita çalışmasından hemen iki yıl sonra, 1947 yılında bir yenisi daha yayınlanmış; ilk kez bölgeler birinci ve ikinci olmak üzere derecelerine göre ayrılmıştır. Bununla beraber İstanbul içerisinde yapılacak olan inşaatların İstanbul Üniversitesi'nin Jeoloji Enstitüsü'nce denetime tabii tutulacağı belirtilerek ülkemizde yapı denetim sisteminin ilk adımları atılmıştır.



Şekil 1.5. Yersarsıntısı Bölgeleri Haritası, 1947

1963 yılında “yersarsıntısı” sözcüğünden vazgeçilerek “Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası” yayınlanmıştır. 1947’de yayınlanan haritanın yetersiz olduğu görülmüş, özellikle bu çalışma için önem arz eden bir değişiklik olarak Çanakkale ilinin Çan ve Yenice ilçeleri deprem bölgesine dahil edilmiştir (Özmen ve Pampal, 2017).

Türkiye’nin deprem bölge haritaları; 1972 ve 1996 yıllarında da güncellenerek 2018 yılında bugünkü şeklini kazanmıştır. 18 Mart 2018 tarihinde yayınlanan “Türkiye Deprem Tehlike Haritası ve Parametre Değerleri Hakkında Karar” 2019 yılında yürürlüğe girerek bugün hala geçerliliğini korumaktadır. Bu son çalışma ile “birinci, ikinci derece” gibi deprem bölgeleri kaldırılarak her ikamenin mevcut faya uzaklığının baz alınması üzerine işlem geliştirilmiştir (Resmi Gazete, 2018: 1-395). Böylece gerçeğe daha yakın sonuçların elde edilmesi mümkün kılınmıştır.

Son yüzyılda yerin altına dair edindiğimiz bilgiler, zemin etüdüne yönelik geliştirdiğimiz teknolojiler ve her gün kazanmaya devam ettiğimiz deneyimler; insanlığın depreme karşı mukavemet gösterebilmesini sağladı. Bu deneyimlerin pek çoğu can kayıplarıyla yaşansa da o tecrübelerden edindiğimiz görümler, gelecekte önlemler almamızı ve bu sayede yeni can kayıplarının yaşanmamasını mümkün kıldı. Şu anki bilgilerimiz ışığında gezegenimiz

canlılığını sürdürdükçe depremlerin de varlığını sürdüreceğini biliyoruz. O halde her yeni depremde daha ileri tecrübeler edinmeye, her yeni akademik çalışmada mukavemetimizi güçlendirecek bilgilerle donanmaya da devam edeceğiz.

Zemin çalışmalarından bağımsız olarak üstyapı tekniklerinde kaydettiğimiz gelişmeler, depreme karşı mukavemette öncül rol oynamaktadır. Yapı malzemelerinde edinilen yeni bilgiler doğrultusunda, zemin kaynaklı sarsıntılara karşı hem aşırı rijit olmayarak esneklik gösterebilen hem de gevrek yapıda olmayarak dayanıklılık gösterebilen malzemeler kullanılmaktadır. Ayrıca yapı dinamiği bilimi, sismik tehlikelerin üstyapıda oluşturacağı salınımları tahmin etme noktasında oldukça ileri bir konuma ulaşmıştır. Bununla beraber makine ve elektrik-elektronik mühendislikleri başta olmak üzere diğer çoğu mühendislik dalı, son yüzyılda büyük gelişmelere imza attı. Bütün bu gelişmeler, bizi deprem tehlikesine karşı daha donanımlı hale getirdi.

2. DEPREM TEHLİKESİ

2.1. Deprem Oluş Nedenleri

Deprem yalnızca gezegenimizde gerçekleştiği ve bunun da tek kaynağının tektonik hareketlilik olduğu yanlışlığı hayli yaygındır. Ancak öncelikle depremselliğin gezegenimize özgü bir afet olmadığını belirtmek gerekmektedir. Son yıllarda astronomik çalışmalar kapsamında özellikle yoğunlaştığımız Mars gezegeninde irili ufaklı depremlerin gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'ne bağlı olarak faaliyet gösteren Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration, NASA) tarafından 2018 yılında Mars'a yollanan "InSight" adlı uzay aracının tespit ettiği verilere göre 4 Mayıs 2022 tarihi itibarı ile kırmızı gezegende 1313 adet deprem gerçekleşmiştir (Good vd., 2022).

Benzer şekilde gezegenimizin uydusu olan Ay'da da farklı sebeplerden dolayı depremler gerçekleşmektedir. Dünya'da tektonik faaliyetlerin başat kaynak olarak görülmesi gibi Ay'da da bu sebeplerin başlıcası, uydunun hızla soğumasıdır. Soğumadan kaynaklı yüzeysel veya derinde gerçekleşen büzüşmeler, kırılmalar neden olmaktadır. Bu kırılmalar neticesinde yüzeyde sismik hareketliliğe sebep olan faylanmalar, Ay'da gerçekleşen depremlerin en büyük kaynağı olarak görülmektedir (Latham vd., 1972).

Ay ve Mars örneklerinde olduğu gibi deprem, gezegenimize özgü bir afet olamamakla beraber Dünya'da da tek kaynağı tektonik hareketlilik değildir. İnsan etkeni ve doğal yollarla depremler gerçekleşmektedir. Tektonizma dışındaki diğer kaynaklar, aynı ölçüde bir alana etkiyen depreme sebep olamasa da sismik aktivite sağlayabilir. Volkanik patlamalar, bu sebeplerden biridir ve geçmişte büyük hasara yol açan sismik faaliyetleri tetiklemiştir (Kramer, 2003). Yerkabuğunun altında bulunan magmada süregelen hareketliliğin bir anda değişmesiyle volkanik sebepli depremler meydana gelmektedir. Hawaii Adaları'nın en büyüğü olan Big Island'da 29 Kasım 1975'te gerçekleşen 7.2 moment büyüklüğündeki deprem, Kilauea volkanını açığa çıkarmıştır (Yeats vd., 1997). Yine benzer bir örnekle; Washington'un güneyinde bulunan St. Helens Yanardağı'nın 1980 yılında patlaması sonucu yerkabuğunda oluşan boşluklar, volkanik faaliyet sonrası depremler üretmiştir (Gabrielli vd., 2020). Örneklerden de görüldüğü üzere volkanizma ve sismik hareketlilik arasında ciddi bir tetiklenme bağlantısı mevcuttur.

Nükleer saldırı, yeraltı kimyasal patlayıcıları gibi yerkabuğunda doğrudan titreşim yaratacak olan silahların kullanıldığı savaşlar, depremin bir diğer kaynağıdır (Bolt, 1976). Baraj

gibi büyük yapılarda gerçekleşen birtakım olaylar da benzer şekilde yerkabuğunu harekete geçirebilmekte, yakın çevresinde sismik aktivite yaratabilmektedir. Örneğin Çin'in Sichuan kentine bağlı Wenchuan ilçesinde 2008'de gerçekleşen 8.0 büyüklüğündeki depreme, deprem merkez üssüne yaklaşık 20 kilometre (km) mesafede bulunan Zippingpu Barajı'nın sebep olduğu düşünülmektedir. Sismik tehlike analizi ile hesaplanan sonuçlara göre bölgede benzer büyüklükte deprem gerçekleşme periyodu 7000 yıl olmasına karşın böyle bir depremin gerçekleşmesi, barajda devamlı aniden biriken suyun, var olan faylanmayı tetikleyerek periyodu daralttığı düşünülmüştür (Eyidoğan, 2017).

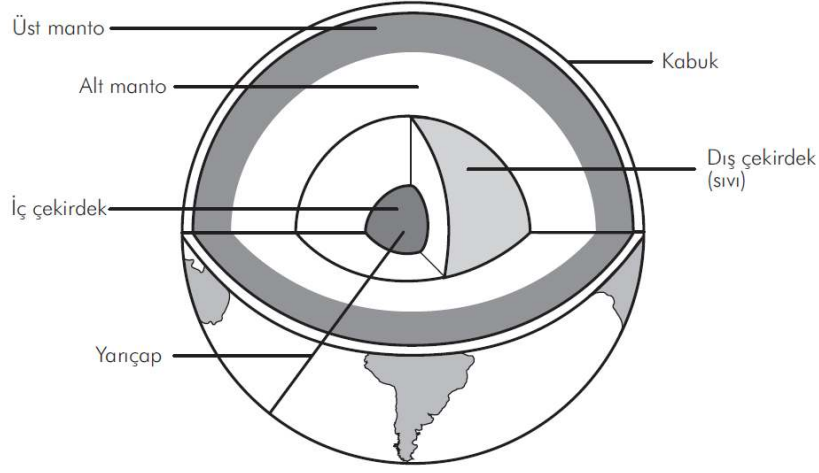
Meteor yağmurları, heyelanlar gibi daha birçok sebebi olan sismik aktivite, bu çalışma kapsamında tektonik levhaların hareketliliği açısından ele alınacaktır. Nitekim, sismik tehlike analizi hesaplamaları için öngörülebilir kaynaklar ancak tektonizma kaynaklı deprem verilerinden temin edilebilmektedir.

2.2. Deprem Kaynağı Olarak Tektonizma

Dünyamızın, üzerinde durduğumuz yerkabuğundan itibaren ekvatordaki yarıçapı yaklaşık 6370 km civarındadır. Kutup bölgelerinde ise bu değer 6350 km'ye düşmektedir. Bunun kıtalarda 25-40 km'si, dağlarda ise en fazla 60-70 km'si yerkabuğu kısmını ifade etmektedir. Bu kalınlık okyanus diplerinde 5 km'ye kadar düşmektedir (Kramer, 2003).

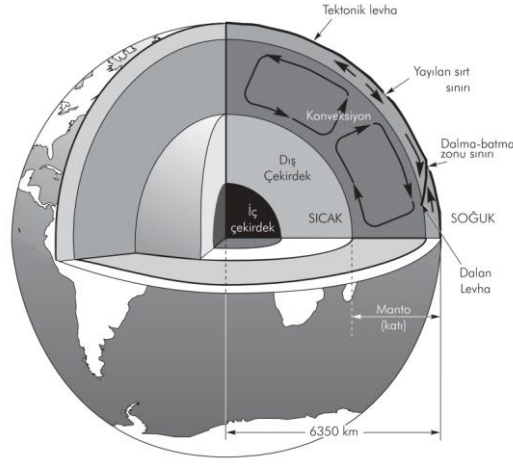
Yerkabuğunun hemen altında, plaka hareketliliğinin gerçekleştiği katman olan litosfer bulunmaktadır. Litosfer tabakası da katı halde olmakla beraber 70 ila 120 km kalınlığındadır (Başçıftçi, 2020). Sonuç olarak; yer kabuğu ve litosfer kalınlığı bu değerler ışığında kabaca bir ortalama ile 120 km olarak ele alınıp yerin iç yapısının da toplam kalınlığı 6360 km kabul edildiğinde; üzerine bastığımız katı kabuğun, gezegenimizin kalınlığının sadece %2'si kadarını teşkil ettiği görülmektedir. Yerkabuğu altındaki kısmın büyük çoğunlukla sıvı olduğu göz önünde bulundurulduğunda; gezegenimizin çok az bir miktarının bizim gördüğümüz, algıladığımız karasallıkta olduğu anlaşılmaktadır. Toplam kalınlığın yalnızca %2'sini oluşturan yerkabuğu, geri kalan bu sıvı yoğunluk üzerinde yüzmekte ve tektonik hareketliliği sağlamaktadır.

Dünya, merkeze doğru sırasıyla; yerkabuğu, manto ve çekirdek olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır. Bu katmanlar da kendi içinde; üst manto, alt manto, dış çekirdek ve iç çekirdek şeklinde sınıflandırılmaktadır.



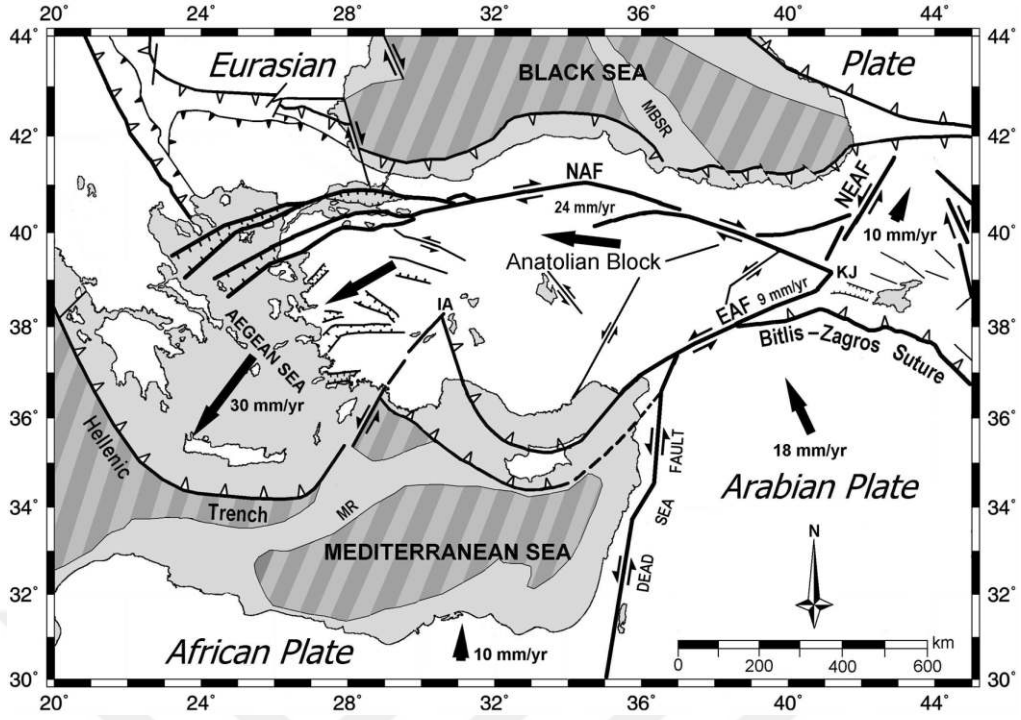
Şekil 2.1. Dünya'nın iç yapısı
Kaynak: (Kramer, 2003)

Litosferin hemen altında mantonun en dış kısmı olan astenosfer bulunmaktadır. Ortalama 2200 santigrat derece ($^{\circ}\text{C}$) sıcaklıkta olan manto yarı eriyik ve viskoz kıvamdadır. Litosfere yakın kısımları, çekirdeğe yakın kısımlarına göre oldukça soğuktur. Bu sıcaklık farkından dolayı mantonun kendi içinde bir yoğunluk farkı oluşmaktadır. Yerkabuğuna doğru olan üst kısımlarında manto içerisindeki malzemeler; soğukluğun etkisiyle yoğunlaşmakta, çekirdeğe yakın alt kısımlarda ise sıcaklığın etkisiyle yoğunluk kaybı yaşamaktadır. Üst kısımlarda yoğunlaşan manto içi malzeme, yer çekimi etkisiyle düşüşe geçmekte, mantonun alt kısımlarına doğru ilerlemektedir. Aynı şekilde mantonun dip kısımlarında yoğunluğu azalan malzeme de kendinden daha yoğun kalan manto sıvısı içerisinde yükselişe geçmekte, litosfere doğru ilerlemektedir. Bu karşılıklı hareket; malzemelerin yer değiştirmesiyle oluşan yeni yoğunluk farkları neticesinde süregelenleşmektedir. Yani yoğunluğu düşmüş olan malzemenin üst kısımlara taşınmasıyla yoğunluğu tekrar artmakta ve malzeme bu kez batmaya başlamaktadır. Tam tersi istikamet, az önce batmakta olan malzeme için geçerlidir. Mantonun kendi içerisinde oluşan bu hareketlilik konveksiyonel akım şeklinde oluşmakta ve her yükselen malzeme litosferde bulunan plakaları yatay yönde ilerlemeye zorlamaktadır (Kramer, 2003) (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Konveksiyonel akım
Kaynak: (Noson vd., 1988)

Manto içerisinde oluşan konveksiyonel akımın etkisiyle harekete zorlanan dev levhalar, birbirleri ile çarpışıp ayrılmaktadır. Bu hareketlilik sırasına boşalan enerji yeryüzüne ulaşmakta ve kayıplara neden olan depremleri yaratmaktadır. Türkiye de levha hareketlerinden ciddi düzeyde etkilenen, doğrudan levhaların çarpışma bölgesinde konumlanan bir ülke durumundadır. Arap, Afrika ve Avrasya Levhaları'nın çarpıştığı hatta ikamet eden ülkemiz, çarpışmalar sonucu oluşan fay hatlarının etkisi altındadır. Ayrıca çarpışmaların tesirinde doğu kısımların sıkışması, batı kesimlerinse genişlemesiyle kara parçasında düzensizlikler oluşmaktadır. Anadolu, yılda KAFZ ve DAFZ hatları boyunca batı yönlü ortalama 2,4 santimetre (cm) ilerleyiş göstermektedir. Bu ilerleyiş Güneydoğu Anadolu Bölgesi taraflarında 1,8 cm, Anadolu'nun orta ve doğu kesimlerinde 2,1 cm, Ege Bölgesi kesimlerinde ise 3,1 cm olarak tespit edilmektedir (Şengör vd., 1985) (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Türkiye'yi doğrudan etkileyen levhaların aktivitesi

Kaynak: (Gülen vd. 2002)

Türkiye'deki faylanma kuşağı ayrıca Avustralya ve Hindistan Levhaları'nın güneyden Avrasya Levhası'na çarpması sonucu oluşan Alp-Himalaya Deprem Kuşağı'nın bir parçasıdır. Dünyanın en yüksek dağı olan Everest Dağı'nın da içinde bulunduğu bu kuşak, Endonezya'dan başlayıp Akdeniz üzerinden Atlas Okyanusu'na açılır. Güney Avrupa'da uzanan Alpin Sıradağları ve Türkiye'de Zagros Dağı ile Toroslar, yine Alp-Himalaya deprem kuşağının bir ürünüdür ve söz konusu levhaların çarpışması etkisiyle meydana gelmiştir (Öncel, 2016). Doğal olarak Türkiye'deki faylanmanın bir diğer kaynağı da bu deprem kuşağıdır.

2.3. Deprem Dalgaları

Tektonik levhaların çarpışması ile ortaya çıkan depremler, zemin içerisinde sismik dalgalar yaratır. Sismik aktivitenin gerçekleştiği kaynaktan açığa çıkan enerji, sismik dalgalar halinde yeryüzüne ulaşmaktadır. Bu dalgalar, yayılım ve etki şekline göre sınıflandırılmıştır. Cisim ve yüzey dalgaları olmak üzere iki ana başlıkta toplanan sismik dalgalar; kendi içerisinde de P, S, L ve R olmak üzere dörde ayrılır.

Cisim ve yüzey dalgalarının anlaşılması; sismik alıcıların icadı ile başlamış, her depremde yeni keşiflerle detaylandırılarak tanımlanabilmiştir. Ancak ne yazık ki yerin hareketini tespit etmeyi başaran ilk cihaz milattan sonra (M.S.) 132'de icat edilmişse de 19. yy.'nin sonlarına değin hiçbir gelişme yaşanmamış, cihaz hiç geliştirilmemiştir. Aletsel dönem

olarak adlandırılan ve sismograf cihazlarıyla kaydedilebilen depremler tam olarak bu sebeple sadece 20. yy. ile kayıt altına alınmaya başlamaktadır (Yeats vd., 1997). Gezegenimizin iç yapısına ait jeolojik verilerin ortaya konması da yine bu cihazların gelişimiyle sağlanabilmiş, gerçekleşen her depremde iç yapı daha detaylı olarak haritalanabilmiştir. İçinde bulunduğumuz zaman diliminde de meydana gelen her sismik aktivite, yerin iç yapısına ait jeolojik verilerin saptanmasında yeni bilgiler sunmaya devam etmektedir.

2.3.1. Cisim Dalgaları

Yerkabuğunun içinde yayılım gösteren cisim dalgaları P ve S olarak adlandırılan sismik dalgalardır. Bu tip dalgaların hareket hızı, güzergahlarında etkidikleri materyallerin rijitliğiyle değişkenlik göstermektedir. Sismik faaliyet gerçekleştiği an önce P dalgası dediğimiz cisim dalgası meydana gelmektedir. P dalgası bu sebeple primer dalga ya da basınç dalgası diye de bilinmektedir (Day, 2004). P dalgası, etkidığı yer materyaline ilk başta basınç uygulayarak malzemenin sıkışmasına neden olmaktadır. Ardından malzemenin basınç yükünden kurtulmasıyla genişlemesini sağlayarak materyal üzerinde deformasyona neden olmaktadır.

Sismisitede açığa çıkan ilk dalga olan P dalgası, aynı zamanda en hızlı dalga olduğu için yüzeye de en hızlı ulaşan sismik dalga karakterini taşımaktadır. Özellikle yerkabuğunun derinliklerinde gerçekleşen depremlerde, yüzeye en hızlı ulaşan dalga olduğu için sonraki dalgaların hesaplanabilmesini sağlamaktadır. Dünyanın bazı bölgelerinde uygulanabilen bu teknikle P dalgasının hemen sonrasında gelecek olan yıkıcı dalgalara karşı hızlı bir uyaranda bulunmak mümkün olabilmektedir.

İlk dalga olan P dalgası hem katı hem de sıvı materyaller içerisinde ilerleyebilseler de yüzeye yakın kısımlarda bulunan zemin ve kaya malzemelerinin basınç-genleşme mukavemeti yüksek olduğu için yaşam alanlarımızı tehdit edemeyecek kadar az etkiyle açığa çıkabilmektedir.

Depremin gerçekleştiği derinlikten yukarı yönde ilerleyen P dalgası, etkidığı malzemeyi de kendisine paralel yönde harekete zorlamaktadır (Kramer, 2003). Dikey yönde ve düz bir hatta ilerlemesi sebebiyle “boyuna dalgalar” olarak da adlandırılmaktadır.

İkinci bir cisim dalgası olan S dalgası, P dalgasından hemen sonra açığa çıkmakta ve etkidığı materyalin kayma deformasyonuna neden olmaktadır. Neden olduğu deformasyon sebebi ile kayma dalgası, P dalgasından sonra açığa çıktığı için de sekonder (ikincil) dalga olarak adlandırılmaktadır. Sıvı malzemenin kayma mukavemeti sıfır olduğu için yalnızca

katılar içerisinde ilerleyebilmekte, sıvı katmanlarda sönümlenmektedir. Etkidiği materyali P dalgası gibi kendisine paralel yönde değil, kendi ilerleme yönüne dik şekilde eyleme geçirmektedir.

Yüzeye yakın katmanlarda bulunan zemin ve kaya materyallerin kayma mukavemeti, basınç-genleşme mukavemetine nazaran daha düşüktür. Dolayısıyla S dalgalarının yüzeyde yarattığı etki, P dalgalarının yarattığı etkinin oldukça üzerindedir. Yer kabuğunun yüzey kısmında en büyük hareketliliğe neden olan dalga S dalgasıdır. Bu sebeple yeryüzü canlılığı için en büyük tehdit unsuru olan dalga da S dalgasıdır.

S dalgası, ilerleyebildiği katı materyaller içerisinde P dalgası kadar hızla hareket edemediğinden yüzeye daha geç ulaşabilmekte ve geçtiği materyaller üzerinde hacim değişimine neden olmamaktadır.

2.3.2. Yüzey Dalgaları

Cisim dalgaları dışında deprem kaynağından başlamayan yüzey dalgaları bulunmaktadır. Love (L) ve Rayleigh (R) olarak bilinen bu dalgalar, sığ kısımlarda cereyan etmektedir. Dolayısıyla cisim dalgalarının aksine, derinlik artışıyla genliklerinin azaldığı görülmektedir. Bu dalgalardan L dalgası, S dalgası gibi kayma deformasyonuna sebep olan enine dalgadır (Yeats vd., 1997).

Diğer bir yüzey dalgası olan R dalgası, İngiliz matematikçi John William Strutt (Lord Rayleigh) tarafından 1885 yılında tanımlanabilmiştir (Baykal, 1951). R dalgaları, suya düşen taşın yaydığı dalgalara benzetilmektedir ve etkidiği yüzeysel materyalleri, yörüngesi eliptik olan bir eylemsellik ile hareketlendirir. Cisim dalgalarının yer kabuğunun sığ kesimlerinde yarattığı deformasyonun ardından ortaya çıkan bu dalga ile depremin yüzeyde yayılım alanı ciddi oranda artış göstermektedir.

1911 yılında yine İngiliz bir matematikçi olan Augustus Edward Hough Love tarafından bir diğer yüzey dalgası olan L dalgaları keşfedilmiştir (Love, 1911). L dalgası yayılım esnasında etkidiği materyali kendi hareketine dik yönde bir eylemselliğe zorlamaktadır. Yayılan dalgaya dik yönde hareketlenen yer materyalleri yanal kesilmeye uğramaktadır. Etkidiği malzemede yarattığı bu yanal kesilmeden dolayı L dalgaları, ayrıca Almanca'da "yanal" anlamına çıkan "Quer" (Q dalgaları) olarak da isimlendirilmektedir. Zemin açısından en tehlikeli olan sismik dalga da L dalgasıdır.

2.4. Sismik Tehlike Analizi

Tektonik hareketlilikten kaynaklanan depremsellik yaşam açısından büyük tehdit unsuru olsa da tedbirlerle bu depremlere karşı yapılarımızın hayatta kalmasını sağlamak mümkündür. Geçmiş deprem kayıtları bu noktada büyük bir rol oynamaktadır. Tarihsel depremlere birtakım yorumlar getirerek bölgenin genel depremselliğine ilişkin ön bilgi edinilebildiği gibi, 19. yy. sonrası sismograflar aracılığı ile kayıt altına alınan aletsel depremler ışığında söz konusu konunun gelecekteki depremsel faaliyeti tahmin edilebilmektedir.

Belirlenen çalışma alanını etkileyen geçmiş depremler göz önünde bulundurularak gelecekteki depremsellik ile ilgili yapılan hesaplamalar, sismik tehlike analizi olarak nitelendirilmektedir. Belirlenen çalışma alanına ait depremsellik, söz konusu alanın gelecekte maruz kalacağı depremlerin bir göstergesidir. Kısacası sismik tehlike analizinin amacı, geçmişte yaşanmış deprem bilgilerinin bölgedeki jeolojik verilerle beraber değerlendirilerek gelecekte ortaya çıkabilecek deprem tehlikelerinin belirlenmesidir. Riskin ortaya konması, pik yer ivmesi ve/veya spektral ivmenin bulunması ile sağlanmaktadır.

Sismik tehlike analizi için alana ait bütün etken sismik kaynaklar incelenmeli ve bu kaynakların deprem potansiyeli üzerine çalışılması gerekmektedir. Deprem üreten tehlike unsuru sismik kaynakların araştırılması, gözlemlenmesi çalışmaları oldukça detaylı bir çalışma gerektirse de günümüzde kullanılan sismografların sayısının çokluğu, teknolojik olarak gelişmişliği ve çeşitliliği açısından çalışma sürecini büyük ölçüde rahatlatmaktadır. Günümüzde gerçekleşen büyük depremler, dünyanın pek çok yerinden gözlemlenebilir durumdadır. 20. yy. dahilinde gezegenimizin herhangi bir yerinde gerçekleşmiş olan hemen hemen hiçbir deprem, eksik veriler sebebiyle küçük hatalara mahal verilse de kayıt dışı kalmamıştır.

Aletsel döneme ilişkin deprem kayıtlarının sistemli bir şekilde tutulup arşivlenmesi söz konusu olsa da 1900'ler öncesi gerçekleşen depremler göz ardı edilmemelidir. Sonuçta sismik aktivite, sismografların varlığından bağımsız bir gerçekliktir. O halde özellikle sismograf verilerinin yetersiz olduğu alanlarda tarihsel depremler göz önünde bulundurularak yorumlanmalı ve tektonik hareketliliğe göre konumu ile jeolojik tarihi değerlendirilmelidir.

Deprem üreten sismik kaynakların tespitinde tarihsel depremlerin verisi de yol göstermektedir. Geçmişte yaşandığı düşünülen depremlerin doğrulanması ve etkidiği alanın anlaşılması için aletsel dönem öncesi deprem verileri değerlendirilmektedir. Ayrıca yaşamın

daha eski zamanlara dayandığı bölgelerde tarihsel deprem verilerinin daha fazla olması sebebiyle, deprem periyotlarının tahmini ve sismisitenin saptanması mümkün olmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde, bazı kutup bölgeleri gibi yazılı tarihin çok eski zamanlara dayanmadığı bölgelerde tarihsel depremlerden sağlıklı bir şekilde yararlanılamayacağı gibi Çin, Japonya gibi Doğu Asya ülkelerinde ve ülkemizin güney doğusundan uzanan Mezopotamya bölgelerinde kaydedilen veriler sağlıklı sonuçlar sunacak niteliktedir.

Geçmiş depremlerin gözlemlenmesi ile hem olasılıksal yöntemler hem de deterministik yöntemlerden faydalanarak çalışma alanına ait gelecekte beklenen olası depremler ve faylanma potansiyelleri belirlenebilmektedir. Deterministik yöntemler kullanılarak yapılan hesaplamalar neticesinde potansiyel faylanma ve zemine ait jeolojik veriler hakkında tahminler yapılabilmektedir. Varsayılan bir deprem senaryosu düşünüldüğü durumda deterministik yöntem uygulanır. Benzer şekilde olasılıksal yöntemler aracılığı ile yapılan hesaplamalarda, bölgeye ait sismik parametreler tayin edilebildiği gibi gelecekte belirlenen zaman aralıkları içerisinde bu büyüklüklerin aşılma ihtimali ortaya konulabilmektedir (Kramer, 2003). İki yöntemden hangisinin uygulanacağına karar verilirken, genel olarak deprem üreten kaynakların sayısı belirleyici olmaktadır. Alanda fazla sayıda deprem kaynağı varsa olasılıksal metotlar, tek deprem kaynağı varsa tanımsal metotlar değerlendirilmektedir. Buna ek olarak deprem tehlike haritalarında olasılıksal metotlar değerlendirilirken, sahaya ait önermelerde tanımsal metotlar ön plana çıkmaktadır.

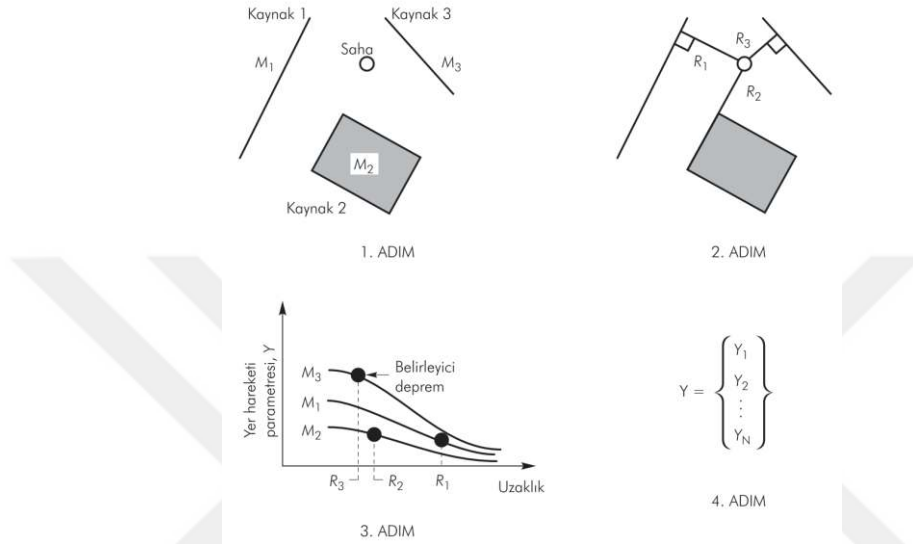
“Deprem Tehlikesi” başlığında aktarıldığı üzere depremlerin insan hayatı için oluşturduğu tehdit, yakın ve uzak tarih boyunca tecrübe edilmiştir. İnşa edilecek yeni yapıların, bu tecrübe ışığında sismik tehlike analizleri göz önünde bulundurularak tasarlanması son derece önem arz etmektedir.

2.4.1. Tanımsal (Deterministik) Deprem Tehlike Analizi

Sismik tehlike analizi, bir önceki bölümde de bahsedildiği üzere iki farklı yöntemle yapılmaktadır. Olasılıksal ve tanımsal olarak sınıflandırılan bu yöntemlerden tanımsal deprem tehlike analizinin en büyük farkı; olasılık ve istatistiğe dayanmaması ve belirsizliklerden uzak deterministik sonuçlar ifade etmesidir (Özmen ve Can, 2016). Bu sebeple tanımsal deprem tehlike analizi, deterministik yöntem olarak da adlandırılmaktadır.

Deterministik deprem tehlike analizinde çalışma bölgesine etkiyen aktif faylanmalar belirlenerek, bu kaynaklardan doğan depremlerin büyüklükleri değerlendirilir. Sonrasında

etkiyen fayların, çalışma alanı merkez noktasına olan uzaklıkları belirlenir. Tasarlanan depremin azalım ilişkisi ile söz konusu koordinatta oluşacağı düşünülerek büyüklüğü en yüksek magnitüdlü sismik aktivitenin çalışma alanını etkileyeceği yer hareketi parametreleri hesap edilir (Kramer, 2003). Hesaplar sonucunda ortaya konulan ivme ve hız değerlerindeki pik değerler, deterministik yöntemi ifade etmektedir. Deterministik deprem tehlike analizinin adımları Şekil 2.4’te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Deterministik deprem tehlike analizinin adımları
Kaynak: (Kramer, 2003)

2.4.2. Olasılıksal (Probabilistik) Deprem Tehlike Analizi

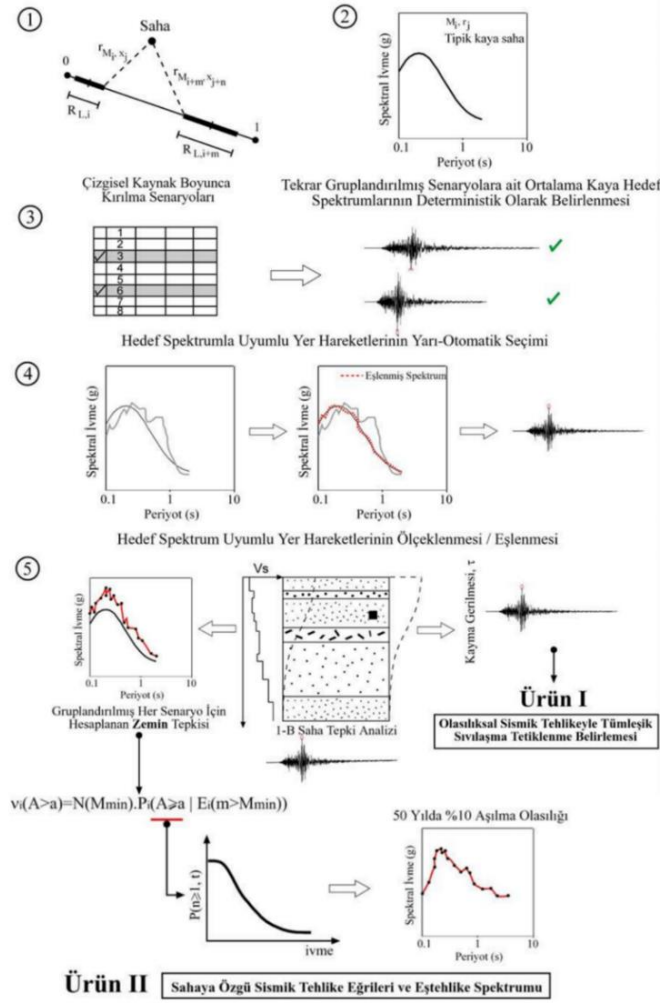
Sismik tehlike analizinin saptanması için uygulanan bir diğer yöntem de olasılıksal deprem tehlike analizidir. Yöntem, ilk kez Carl Allin Cornell tarafından 1968’de Amerikan Sismoloji Derneği Bülteni’nde kaleme aldığı “Engineering seismic risk analysis” adlı eseriyle ortaya çıkmıştır (Cornell, 1968). Yöntemin kullanılmaya başlanması ile sismisitenin boyutu, konumu, periyodu, büyüklüğe bağlı yer hareketi karakterinde belirsizlikler değerlendirilmiştir. Olasılıksal yöntemle söz konusu belirsizlikler bulunabilmekte ve sayısal olarak ifade edilebilmektedir. Sayısal verilerin bir arada değerlendirilmesi sayesinde deprem riski, gerçeğe daha duyarlı bir şekilde saptanabilmektedir (Kramer, 2003).

Olasılıksal sismik tehlike analizi ile çalışma alanını etkileyecek olan deprem büyüklüklerinin, zaman kısıtları içerisinde aşılma olasılığı hesaplanabilmektedir. Depremin çalışma alanı üzerindeki etkisi; jeolojik yapıya, sismik kaynaklardan uzaklığa ve daha birçok parametreye bağlı komplike bir sonuç olsa da söz konusu yöntem, tanımsal deprem tehlike

analizine göre doğru sonuçlar vermektedir. Cornell'den bugüne değin yapılan hesaplamaların zaman periyotları içerisinde sınanması ile ortaya çıkan sonuçlar, bunu doğrular niteliktedir.

Bu yöntemde öncelikle, çalışma alanı çevresindeki sismik kaynaklar belirlenerek bu kaynakların karakterleri ele alınır. Beraberinde bölge sınırları içerisinde gerçekleşmiş olan aletsel döneme ait deprem verileri derlenir ve tespit edilen sismik kaynak noktaları ile ilişkilendirilir. Bu sayede deprem üreten sismik merkezlerin süreç boyunca deprem açığa çıkarma kapasiteleri ile sismolojik parametreleri hesaplanır.

Çalışma alanının sınırları dahilinde kalan yer malzemesinin tektonik faaliyeti ve jeolojik karakteri saptandıktan sonra periyodik olarak tekrar eden sismik aktivitenin zamana duyarlı olarak yayılımı belirlenir. Sismik kaynakta meydana gelecek herhangi bir depremin çalışma alanında yaratacağı yer hareketi, azalım ilişkileri ile belirlenir. Depreme ait büyüklük, yer hareketi ve depremin meydana geldiği kaynak ile ilgili tüm bilinmeyenler giderildikten sonra son olarak belirli zaman aralıklarında yer hareketi parametresinin aşılma olasılığı ortaya koyulur (Yunatçı ve Çetin, 2007).



Şekil 2.5. Olasılıksal sismik tehlike analizi aşamaları
Kaynak: (Cornell, 1968)

2.5. Azalım İlişkisi

Deprem sırasında oluşan deprem dalgaları, dalga karakterine göre farklı zeminlerde farklı yayılımlar gösterirler. Zeminin gevşekliğine göre değişen dalga boyları, zemin üzerinde bulunan yapıları, oluşturduğu dalga boyunca etki altına alarak aslında deprem etkisini belirlemektedir. Deprem etkisinin tahmini için geliştirilen yöntemler ile deprem açısından güvenli yapıların tasarlanması için yer hareket parametrelerinin saptanması önemlidir.

Deprem kaynaklarının çalışma sahası içerisinde meydana getireceği yer hareketi parametreleri, genellikle şu iki metot yardımıyla belirlenmektedir;

- Azalım ilişkisi ile sismik tehlike analizinden elde edilen veriler değerlendirilir.
- Azalım ilişkisi ile faya ait yüzey kırığı uzunluğuna dayanan en büyük deprem büyüklüğü göz önünde bulundurulur.

İvme değerleri tespit edilebilmiş deprem kayıtları göz önünde bulundurularak her ülke için ayrı düzenlenmiş olan veri tabanları üzerinden gerçekleştirilen ve istatistiksel esaslara dayanan yer hareketleri tahmin bağıntıları, azalım ilişkileri olarak değerlendirilmektedir. Azalım ilişkileri; çalışma sahasına ait jeolojik koşulları, deprem kaynağına olan mesafeyi ve bu kaynağın mekanizmasını dikkate alarak yapılmaktadır (Koçyiğit vd., 2010).

Ülkemize yönelik oluşturulan bağıntıların bir kısmı yabancı araştırmacılarca ortaya konulmuş olsa da Türkiye’de deprem tehlike analizi çalışmalarında sıkça kullanılmaktadır. Yerli ve yabancı çalışmaların önde gelenleri;

- Turgay Beyaz (Beyaz, 2004),
- Norman A. Abrahamson, Walter J. Silva (Abrahamson ve Silva, 1997)
- Ömer Aydan, Mitsuhiro Sezaki, Rifat Yarar (Aydan vd., 1996),
- David M. Boore, William B. Joyner, Thomas E. Fumal (Boore vd., 1997),
- Kenneth W. Campbell, Yousef Bozorgnia (Campbell ve Bozorgnia, 2008)
- Reşat Ulusay, Ergün Tuncay, Harun Sönmez, Candan Gökçeoğlu (Ulusay vd., 2004),
- Polat Gülkan, Erol Kalkan (Gülkan ve Kalkan, 2002),
- Donald L. Wells, Kevin J. Coppersmith (Wells ve Coppersmith, 1994),
- Engin İnan, Zahide Çolakoğlu, Nuracan Koç (İnan vd., 1996),
- Sinan Akkar, Zehra Çağnan (Akkar ve Çağnan, 2010),
- Ali Anıl Yunatçı – 2010 (Yunatçı, 2010)

tarafından geliştirilmiş bağıntılardır.

2.6. Zemin Büyütmeleri

Deprem dalgalarının ilerleyişinde zemin karakterinin etkisi, bölgesel jeoloji açısından son derece önemlidir. Bölgesel jeolojik yapı; bölgedeki zeminin kalınlığı ve topografyanın etkisi ile karakterize olur. Sismik kaynaktan yayılan dalgaların etkisiyle oluşan yüzeydeki yer hareketleri, bu iki bileşenin karakteristik özelliklerine bağlı olarak zeminin katkısı ile etki aralığını bulur. Zeminin etkisi ile şekillenen yer hareketleri genliklerindeki bu aralık, zeminin etkisine göre sönümleme veya aksine büyütmeye olarak değerlendirilmektedir (Pitilakis, 2004).

Zemin etkisine dair yapılan ön hesaplar sayesinde; kuvvetli yer hareketi esnasında oluşacak olan yapısal tehditler öngörülebilme, hasar önceden önlenilebilmektedir. Zemin tipleri, sertliklerine göre deprem esnasında sismik dalgada büyütmeye ya da sönümlemeye

sebeptir. Sert zeminde bulunan bir yapı deprem anında daha az salınım maruz kalırken; yumuşak tipte bir zeminde bulunan aynı yapı, daha yüksek düzeyde salınım etkisiyle hasar alabilmektedir. Zemin büyütme oranları, zemin tiplerine göre salınımdaki farklılıkların oluşmasını tanımlayan, ampirik verilere dayalı sayısal analizlerdir. Bu oranlar, yerleşim bölgelerinin depremselliği hesaplanırken değerlendirilmektedir. Zemin büyütme oranları sayesinde zemin şartlarına bağlı etki değerlendirilebilmekte ve zemin sınıflandırması yapılabilmektedir (Tablo 2.1, Tablo 2.2, Tablo 2.3). Bu amaçla yapılan zemin sınıflandırmaları; sismik çalışmalar nihayetinde ortaya konulan kayma dalgası hızlarının 30 metre derinlikteki ortalaması (V_{s30}), topografya ve geoteknik veriler ile gerçekleştirilebilmektedir (Bozorgnia ve Bertero, 2004).

Deprem esnasında sismik kaynağın merkezinden ana kaya yönünde yayılan dalgaların, son anlarda yumuşak zemin içerisinde ana kayaya nazaran genliklerinin yükselmesi; zemin büyütmesini esas olarak tarif etmektedir. Zemin katmanlarının fiziki karakterleri yüzeye etkileyen salınım değerini belirlemektedir.

Zeminin sertliğine göre deprem dalgasının genliği değişmekle beraber, dalganın frekans değeri de zemin büyütme tipini etkilemektedir. Zemin, periyodu birbirinden farklı dalgalara aynı etkiyi göstermemekle birlikte frekans aralığına göre büyütme ya da sönümleme tepkisi gösterebilmektedir. Bu sayede zemin büyütme oranlarının, deprem dalgalarının frekans değerleri ile doğrudan ilişki içinde olduğu söylenebilir. Hangi frekans değerine bağlı olarak büyütmenin pik değere ulaşacağı ise zemin katmanının yüksekliği ile deprem dalgasının hızına bağlıdır. Pik zemin büyütme değerinin sağlandığı periyot, “zemin hakim periyodu” şeklinde isimlendirilmektedir.

Zemin büyütme oranı, yüzey spektrumunun anakaya spektrumuna oranı ile hesaplanmaktadır. Söz konusu hesap, birçok zemin davranış yöntemi baz alınarak gerçekleştirilebilmektedir. Pitilakis, “Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation” adlı eserinde bu teknikleri; deneysel-ampirik yöntemler, ampirik teknikler, yarı ampirik teknikler, nümerik-analitik yöntemler ve hibrit yöntemler olarak beş başlıca grupta bir araya getirmiştir (Pitilakis, 2004). Zemin katmanlarına ait kayma dalgası hızı (V_s), tabakaların rijitliği konusunda dolaysız bilgi sağlayabildiği için zemine ait sismik davranışın saptanmasında doğrudan kullanılabilmektedir. Bu sebeple zemin tabakası şartlarının büyütme ya da sönümleme değişiminin gözlemlenmesinde, V_s değerinin saptanması temel amaçlardandır. Zemine ait V_s ; zemin cinsinin, derinliğinin ve yersel yükün etkisinde olup bu

faktörlere bağlı efektif gerilme, boşluk oranı ve aşırı konsolidasyon oranının da etkisi altındadır. Bunlara ek olarak zemine ait plastisite indisi de pik kayma modülü üzerinde son derece önemli bir rol oynadığı için bağlantılı olarak kayma dalga hızı için de aynı önemi taşımaktadır (Vucetic ve Dobry, 1991).

Zeminin sismik salınımlara karşı mukavemetini gösteren başlıca parametre kayma dalga hızıdır. Bu sebeple kayma dalga hızını baz alan zemin sınıflandırmaları yapılmaktadır. Sahada yapılan çalışmalar ile saptanan V_s değerlerinin 30 metre derinlik boyunca ortalama değeri, V_{s30} olarak tanımlanmaktadır. V_{s30} değeri zeminlerin sınıflandırılması ve üstyapıların kodlandırılması çalışmalarında önem arz etmektedir. Zemin büyütme oranlarının hesaplanabilmesi için zemin tabakalarının V_{s30} değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu bilgiye, sahada yapılan sondaj çalışmaları aracılığı ile ulaşmak mümkündür. Biga ilçesinin zemin tabakalarına ait V_{s30} değerleri, edinilen zemin etüt raporlarından sağlanmıştır (Tablo 4.15). Sondaj verilerine dayanarak elde edilen V_{s30} değeri,

$$V_{s30} = \frac{30}{t_d + \frac{30-d}{V_{s_{son}}}} \quad (2.1)$$

bağıntısı ile hesaplanabilmektedir (TBDY, 2018). Denklemden gösterilen “d” ifadesi derinliği, “ $V_{s_{son}}$ ” ifadesi d derinlikten itibaren 30 metre derinliğe kadar olan tabakaya ait hızı, “ t_d ” ise d derinliğine kadar olan zemin tabakalarının periyodunu temsil etmektedir. Eşitlik açıldığında,

$$V_{s30} = \frac{30}{\frac{h_1}{V_{s1}} + \frac{h_2}{V_{s2}} + \dots + \frac{h_i}{V_{si}} + \frac{30-(h_1+h_2+\dots+h_i)}{V_{s_{son}}}} \quad (2.2)$$

şeklini almaktadır. Elde edilen ortalama kayma dalgası hızlarına (V_{s30}) dayanarak zemin sınıflandırılması yapılabilmektedir (Tablo 2.1, Tablo 2.2, Tablo 2.3).

Tablo 2.1. Eurocode8’de ortalama kayma dalga hızına göre zemin sınıflandırması

Zemin Sınıfı	Tanım	Özellikler
A	Kaya veya kaya benzeri formasyonlar	$800 < V_s$ (m/sn)
B	Çok sıkı kum, çakıl veya çok sert killer	$360 < V_s \leq 800$ (m/sn)
C	Sıkı veya orta sıkı kum, çakıl ya da sert kil	$180 < V_s \leq 360$ (m/sn)
D	Gevşek-orta sıkı aralığında kohezyonsuz zemin ya da sert-yumuşak aralığında kohezyonlu zemin	$V_s \leq 180$ (m/sn)

Kaynak: (European Committee for Standardization, 2004)

V_{s30} değerine göre Eurocode8’de yapılan sınıflandırmada V_{s30} ’un 180 m/sn’nin altında olması durumu, sismik dalgaının iletimi açısından kritik olarak nitelendirilmektedir. 800 m/sn ise; zemin tabakalarının, depremin üreteceği ikincil dalga olan “S” dalgasına karşı oldukça sönümleyeceği eşik olarak ifade edilmektedir (European Committee for Standardization, 2004). 180-800 m/sn aralığında kalan V_{s30} değerlerine sahip zemin tipleri için ise ayrı ayrı hız seviyelerinde sınıflandırma yapılmaktadır.

Tablo 2.2. NEHRP Hükümleri ve Uniform Building Code’da V_{s30} ’a göre zemin sınıflandırması

Zemin Sınıfı	Tanım	Özellikler
A	Sağlam kaya	$1500 < V_s$ (m/sn)
B	Kaya	$760 < V_s \leq 1500$ (m/sn)
C	Çok sıkı-sert zemin veya yumuşak kaya	$360 < V_s \leq 760$ (m/sn)
D	Sert-sıkı zemin	$180 < V_s \leq 360$ (m/sn)
E	Zayıf zemin	$V_s \leq 180$ (m/sn)

Kaynak: (NEHRP ve BSSC, 2003)

Ulusal Deprem Tehlikelerini Azaltma Programı (NEHRP) ve Yapı Sismik Güvenlik Konseyi (BSSC)’nin V_{s30} ’a göre yaptığı zemin sınıflandırmasında Eurocode8’de olduğu gibi aynı şekilde V_{s30} değeri 180 m/sn’nin altında kalan zemin tabakaları, deprem dalgasına karşı en kritik büyütme değerlerine ulaşacağı yönünde değerlendirme yapılmıştır (NEHRP ve BSSC, 2003). Ancak Eurocode8’den farklı olarak kayalar iki ayrı sınıfta ele alınmakta ve ortalama

kayma dalga hızının 1500 m/sn'den büyük olan katmanlar "S" dalgasına karşı en sönümleyici sınıf olarak değerlendirilmektedir.

Tablo 2.3. Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliği'nde V_{s30} 'a göre zemin sınıflandırması

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 Metrede Ortalama		
		V_{s30} (m/sn)	$(N_{60})_{30}$ (darbe/30cm)	$(c_u)_{30}$ (kPa)
ZA	Sağlam-sert kaya	>1500	–	–
ZB	Az ayrılmış, orta-sağlam kaya	760 – 1500	–	–
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak-katı kil tabakaları veya " $PI > 20$ " ve " $w > \%40$ " koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	<180	<15	<70
ZF	Sahaya özel araştırma gerektiren zeminler			

Kaynak: (TBDY, 2018)

2018'de yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre diğer iki sınıflandırmada olduğu gibi V_{s30} için en küçük eşik 180 m/sn tespitinde bulunulmakta, bu eşğin altında kalan ortalama kayma hızına sahip zemin katmanlarının deprem dalgalarını en yüksek ölçüde büyüteceği öngörülmektedir. NEHRP'de yapılan sınıflandırmaya benzer şekilde en sönümleyici üst eşik ise 1500 m/sn olarak belirlenmekte ve yine benzer şekilde kayalar iki ayrı sınıfta ele alınmaktadır. Ayrıca 180 – 1500 m/sn aralığında kalan V_{s30} değerleri için yapılan sınıflandırmaların asgari ve azami hız büyüklükleri de iki sınıflandırma tipi için de aynı değerler sınırında belirlenmiştir.

Özellikle zemin tabakalarına ait rijitlik seviyesinin anlaşılması için V_s 'nin hesaplanması gerekmektedir. V_{s30} , zeminlerin rijitliğine dair oldukça gerçekçi veriler sunmaktadır. Bununla beraber zemin tabakalarına ait rijitliği gösteren kayma dalgası dışındaki parametreler, zemin büyütmesinin hesabında değerlendirilebilmektedir. Geoteknik çalışmalarda zeminin özellikle ilk 30 metre derinliği kritik olmakla birlikte V_{s30} bu kalınlık boyunca hesaba katılmaktadır. Fakat birbirinden bağımsız karakterde olan zemin tabakalarının deprem dalgasını

büyütme/sönümlleme hesabında $V_{s_{30}}$ ve diğer parametreler her zaman yeterli sonucu sunmayabilmektedir. Dolayısı ile zemin katmanlarına ait bazı üniform karakterlere sahiplik kabulünün yapılması ihtiyacı doğmaktadır (Çakmak, 2009).

$V_{s_{30}}$ 'a bağlı olarak yapılan zemin büyütme oranı hesabına ilişkin literatürde araştırmacılar tarafından bağıntılar üretilmiştir. Bağıntılara dayanarak hesap edilen spektral büyütme değerleri ile yerel zemin şartlarının deprem dalgalarını büyütme/sönümlleme etkisi doğrudan anlaşılabilir. Bu bağıntılardan biri olan ve Midorikawa tarafından 1987 yılında sunulan önermede, $V_{s_{30}}$ 'un 1100 m/sn'nin altında olan zemin tabakaları için,

$$A = 68V_{s_{30}}^{-0,6} \quad (2.3)$$

bağıntısını ortaya koymuştur (Midorikawa, 1987). Bağıntıda “A” ile pik ivme bazında zemin büyütme katsayısı, “ $V_{s_{30}}$ ” ile zeminin 30 metre derinlik boyunca $V_{s_{30}}$ sembolize edilmektedir. Bir başka önerme ise Joyner ve Fumal tarafından 1984 yılında geliştirilmiştir. Joyner ve Fumal'ın büyütmeyle ilişkin bağıntısı ise,

$$A = 23V_2^{-0,45} \quad (2.4)$$

şeklinde olup, Modikawa'nın bağıntısından farklı olarak “ $V_{s_{30}}$ ” değeri yerine “ V_2 ” ifadesi kullanılmaktadır ki “ V_2 ” ile periyot süresi 1 sn olan deprem dalgasının dalga boyunun çeyreği ölçüsünde mesafedeki derinlik için hesap edilen $V_{s_{30}}$ simgelenmektedir (Joyner ve Fumal, 1984).

Borcherdt, Wontworth, Jonsonn, Fumal ve Gibbs tarafından 1991 yılında zemin büyütmesine ilişkin yeni bir bağıntı geliştirilmiştir. Zayıf yer hareketi ve kuvvetli yer hareketine göre,

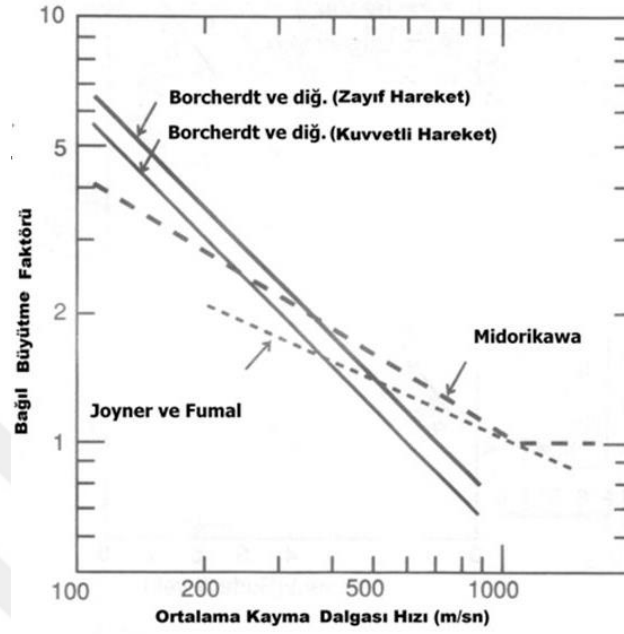
$$AHSA = \frac{700}{V} \quad (2.5)$$

$$AHSA = \frac{600}{V} \quad (2.6)$$

şeklinde iki ayrı bağıntı önerilmiştir. Denklem 2.5 zayıf yer hareketi, Denklem 2.6 ise kuvvetli yer hareketi için önerilmiş zemin büyütme denklemleridir (Borcherdt vd., 1991). 0,4-2s spektral aralığında ortalama yatay büyütme “AHSA”, $V_{s_{30}}$ ise “V” şeklinde gösterilmektedir.

Söz konusu üç önerme de zemin büyütme hesaplamalarında kullanılmakla birlikte birbirinden oldukça farklı sonuçlar sunabilmektedir (Şekil 2.6). Ancak buna rağmen kendi

içinde diğer V_s değerleri arasında her üç önerme de tutarlılık göstermektedir. V_{s30} değerinin 500 ila 600 m/sn olduğu aralıklarda her üç önermeye ait bağıntılar birbirine yakın değerler vermekte, bu aralık dışında ise birbirinden giderek uzak sonuçlar ortaya koymaktadır.



Şekil 2.6. Zemin büyütme oranlarının dört farklı önermeye göre karşılaştırması
Kaynak: (TCEGE, 1999)

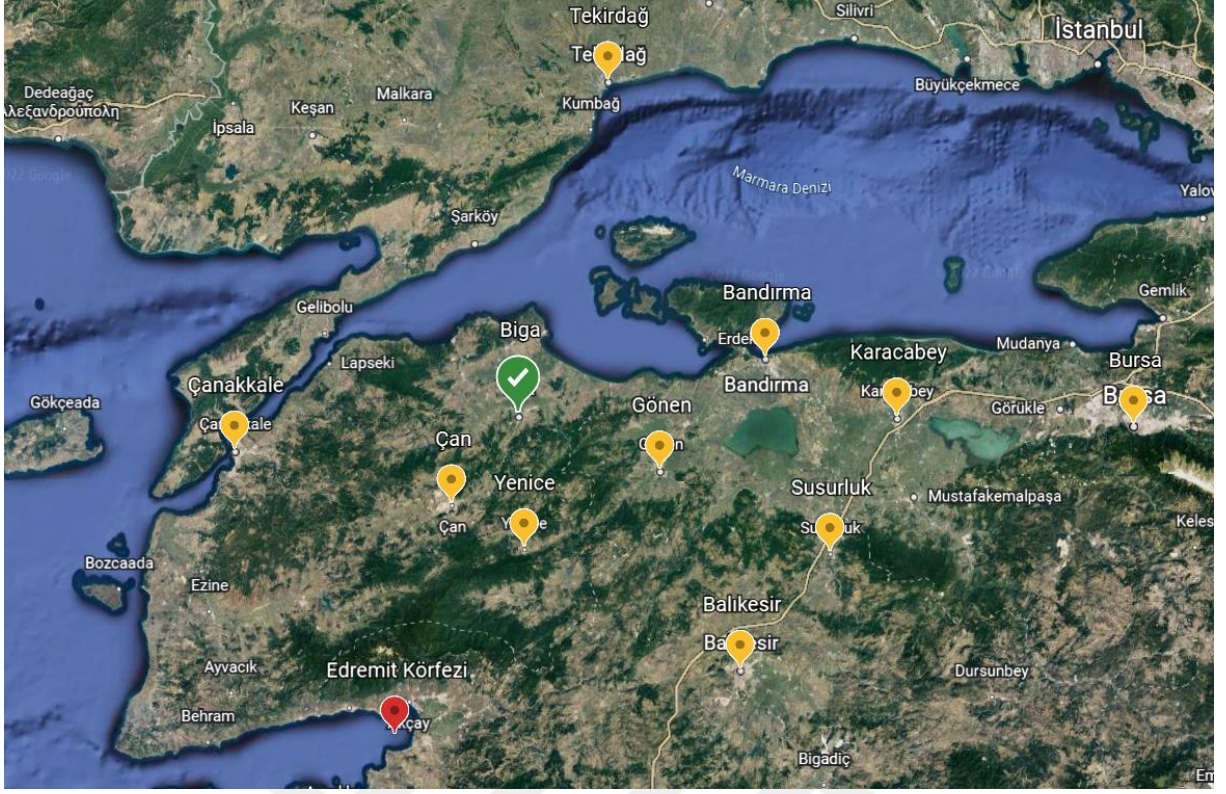
3. BİGA İLÇESİ TANITIMI

3.1. Sosyal Veriler

Biga, Marmara Bölgesi'nde yer alan Çanakkale ilinin iç kesimlerinde bulunan bir ilçesidir. İsmi, üzerinde bulunduğu Biga Yarımadası'ndan alan ilçe Osmanlı İmparatorluğu döneminde sancak görevini üstlenirken, Cumhuriyet'in ilanı ile Çanakkale iline bağlanarak ilçe haline getirilmiştir (Şekil 3.3).

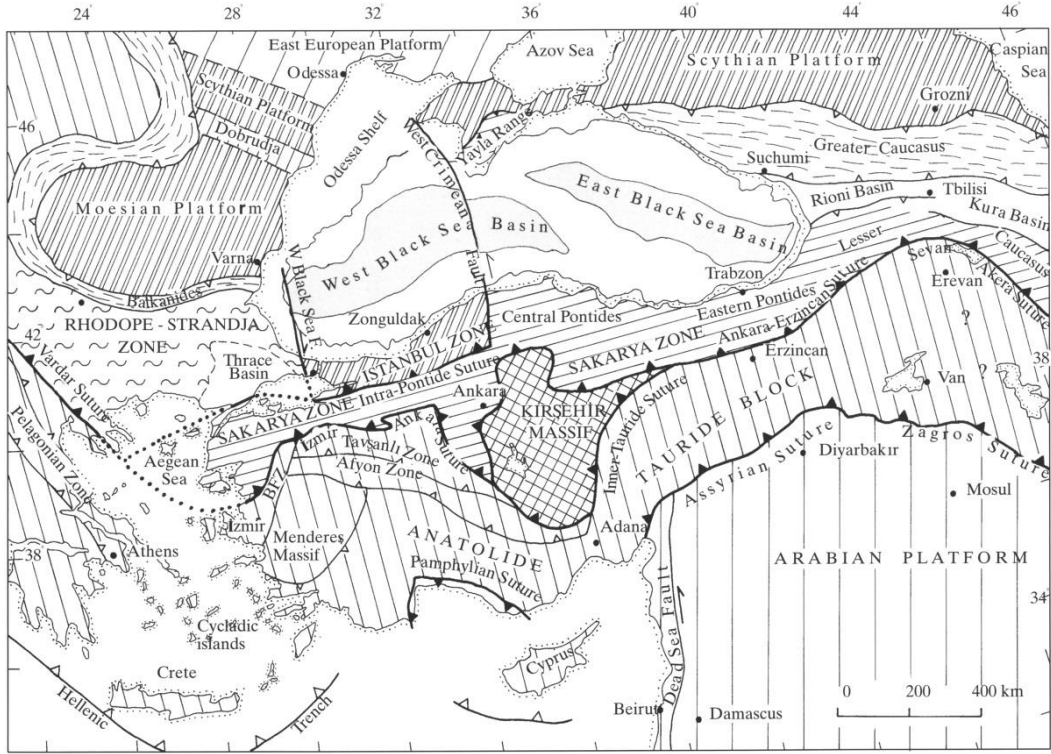
Çanakkale'nin en büyük ilçesi olmakla birlikte 2 belde ve 108 köyü ile Marmara Bölgesi'nin en çok köye sahip ilçesi durumundadır. Dolayısı ile ilçenin ana geçim kaynağı tarım ve hayvancılık üzerinedir. Yapılaşma; ağırlıklı olarak köyler, yaylalar ve meralar gibi üretim faaliyetine dönük durumdadır. Bölgede yapılacak olan deprem tahmin çalışmaları kapsamında bu gerçeklik göz önünde bulundurulmalı, tarımsal yapılara özgün etki analizleri gerçekleştirilmelidir. Ancak tarımsal yaşamın yanında son yıllarda gelişmekte olan bir sanayi atağı da bulunmaktadır. Özellikle İstanbul Çelik Demir İzabe Sanayi A.Ş. (İÇDAŞ) ve Doğanlar Mobilya Grubu İmalat Sanayi ve Ticaret A.Ş. (DOĞTAŞ) gibi büyük firmaların Biga ilçesinde konuşlanmaları, ilçenin sanayi yapılaşması açısından gelişmesini sağlamaktadır.

İlçenin doğusunda Bandırma, Gönen, Susurluk ve Karacabey gibi ilçeler ile kuşbakışı 150 km mesafede Bursa ili bulunmaktadır. Batısında Çanakkale ili ile Gelibolu Yarımadası konumlanmakta ve adalarla beraber Ege Denizi'ne kavuşmaktadır. Kuzeyinde Marmara Denizi ve arkasında Tekirdağ bulunmakta, güneyinde ise Yenice, Çan ilçelerinden sonra Edremit Körfezi başlamaktadır. Balıkesir ili de Biga ilçesinin kuşbakışı yaklaşık 85 km güneydoğu yönüne düşmektedir (Şekil 3.1). Coğrafi konumuna bakıldığında Biga, jeolojik açıdan yakın sayılacak tarih boyunca deprem üreten üslere sınır durumundadır. Nitekim ilçe, tarihsel süreç içerisinde Edremit Körfezi, Marmara açıkları, Saroz Körfezi, Kapıdağ Yarımadası, Susurluk gibi önemli deprem kaynağı bölgelerinden gelen yer hareketlerinden ciddi anlamda etkilenmiş ve defalarca kez can ve mal kaybına uğramıştır.



Şekil 3.1. Biga ve çevresinin fiziki haritası
Kaynak: (Google Earth, 2001)

İlçe; Karadeniz'in doğudaki yükseltilerine doğru uzanan Sakarya Zonu'nun batı uçlarında konumlandığı gibi Yunanistan'da bulunan Serbo-Makedonya masiflerinin güneyinde bulunmakta ve Trakya Tersiyer Havza'sından doğrudan etkilenmektedir (Okay vd., 1990) (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Sakarya Zonu Haritası
Kaynak: (Okay ve Tüysüz, 1999)

Biga ismi, “kaynak” anlamı taşıyan Pegai antik kentinden gelmektedir. Keza ilçe, 12. yy. dolaylarında “Membaalar” olarak zikredilmektedir (Karabulut, 2004). Ancak ilçeye bağlı bir belde olan Karabiga’da da Priapos adında bir antik kent bulunmakta ve hangisinin eski Biga yerleşimi olduğu kesin olarak bilinmemektedir. Pegai adının, “kaynak” anlamı dışında Yunan Mitolojisi’ndeki Herakles’in atı olan Pegasus’tan geldiği düşünülmektedir.

Yarımada, milattan önce (M.Ö.) 334 yılında Büyük İskender’in Perslere karşı yaptığı ilk savaşa tanıklık etmiş ve sonrasında Bergama Krallığı’na dahil olmuştur. M.Ö. 2. yy. civarında Roma tarafından alınan yarımada, Asya Eyaleti’ne katılmıştır. Roma’ya geçen bu topraklar Karesioğulları’nın M.S. 13. yy. fethine kadar Bizans ve Romalıların hükmü altında kalmış, 1331 yılında Osmanlıların hakimiyetine katılmıştır. 20. yy. başlarında Yunanlılar tarafından işgal edilse de az zamanda milli mücadele ile Türkiye Cumhuriyeti topraklarındaki varlığını korumayı başarmıştır. Cumhuriyet ile birlikte Çanakkale iline bağlanarak ilçe konumuna gelen Biga’dan, kendisine bağlı olan Çan ve Yenice ilerleyen süreçte ayrılarak ilçe olmuşlardır.

Biga’da 1904 yılında çıkan büyük yangın sonucu ilçenin ilk imar planı hayata geçirilmiştir. Cumhuriyet sonrası ise ilk kez 1948’de imar planı düzenlenmiş, ancak birçok

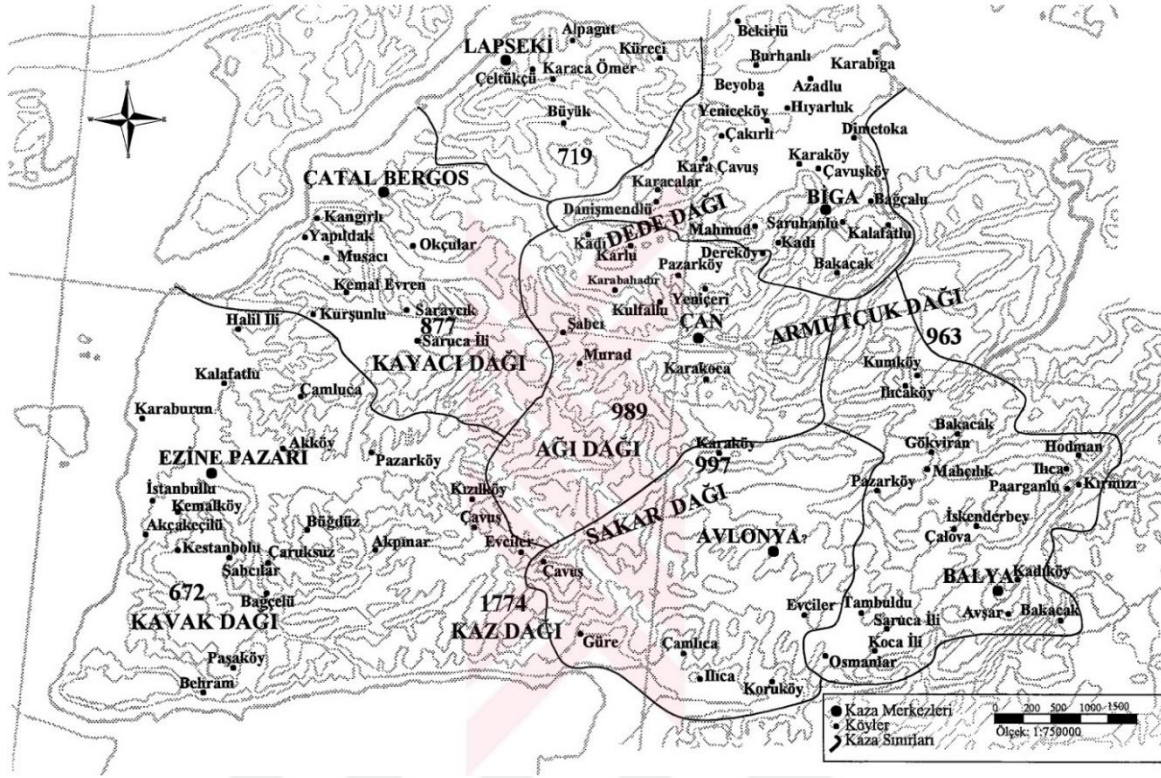
değişikliğe uğrayarak “Nazım Planı” adı ile 1995’te tamamlanabilmiştir (Biga Belediyesi, 2020)

Kuzeyden Marmara Denizi, batıdan Çanakkale Boğazı ve güneyden de Edremit Körfezi ile çevrili olan bölge Biga Yarımadası’dır. Yarımada; Marmara Denizi, Gönen, Edremit Körfezi ve Çanakkale Boğazı ile sınırlı alanı ifade etmektedir. İlçenin 2021 yılında yapılan adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçlarına göre toplam nüfusu 91.537, ilçe merkezinin nüfusu ise 57.125 kişidir. Yıllık nüfus artış hızının %13,9 olduğu göz önünde bulundurulduğunda göç almaya devam eden bir ilçe olduğu da anlaşılmaktadır. Buna ek olarak çok sayıda köyü bulunan Biga’nın köy nüfusu da 34.412 kişiden oluşmaktadır. Mahalle nüfusları da ayrıca Tablo 3.1’de belirtilmiştir (TÜİK, 2021).

Tablo 3.1. Biga ilçesinin merkez mahalleleri nüfusu

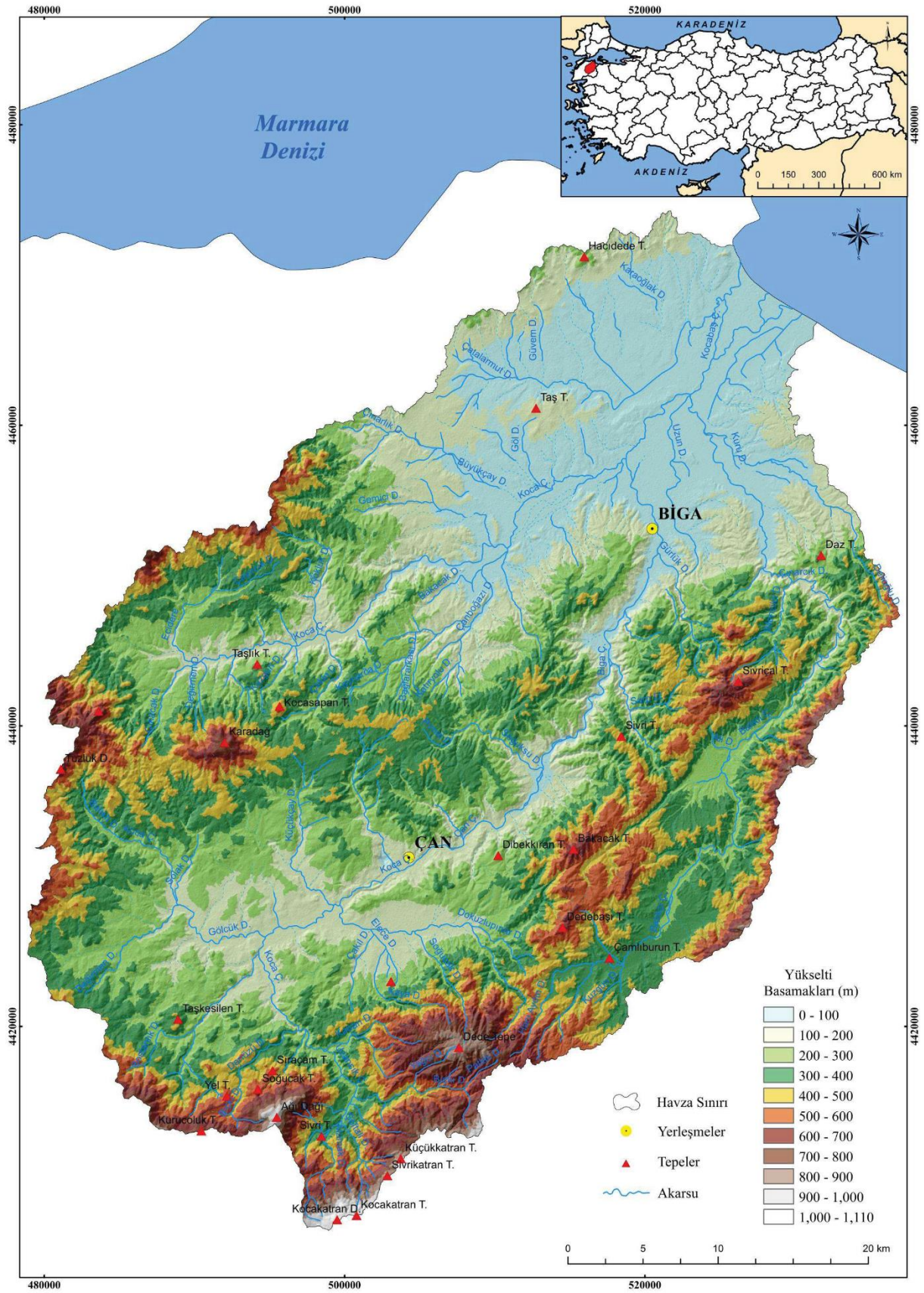
Mahalle Adı:	Nüfusu:
Cumhuriyet Mahallesi	5687
Çavuşköy Mahallesi	597
Gazikemal Mahallesi	1.503
Hamdibey Mahallesi	16.430
İstiklal Mahallesi	1.801
Sakarya Mahallesi	16.483
Şirintepe Mahallesi	9.785
Turan Mahallesi	2.732
Yeniceköy Mahallesi	2.107

Kaynak: (TÜİK, 2021)



Şekil 3.3. Biga Sancağı Haritası
Kaynak: (Demircan, 2000)

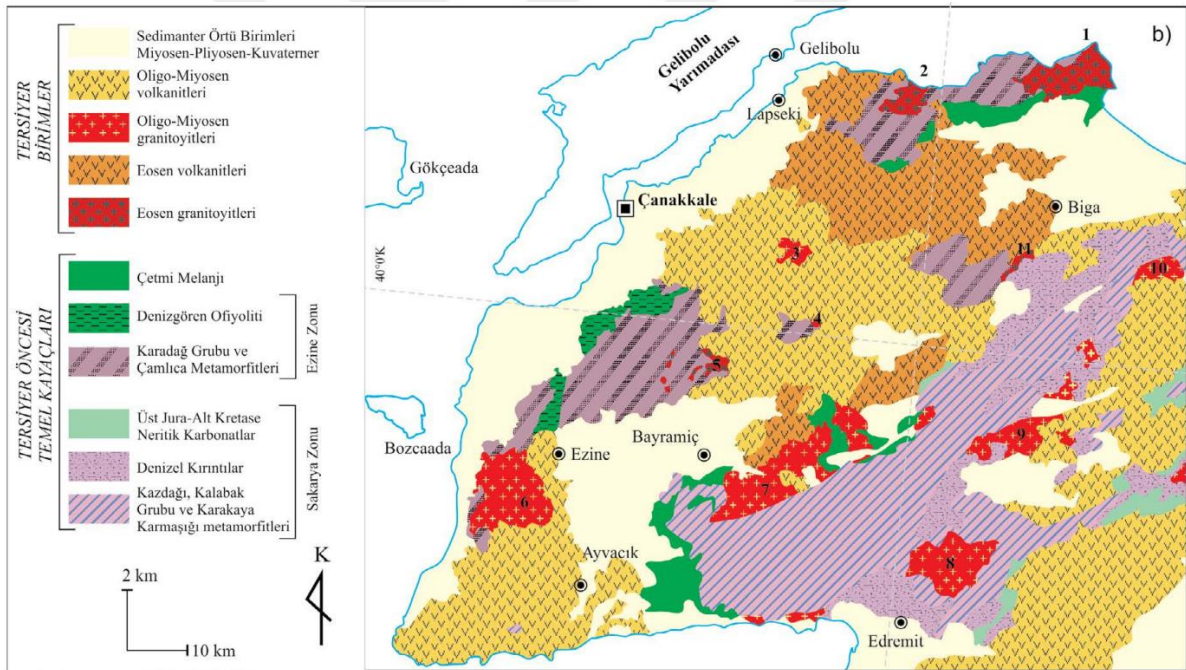
Marmara Bölgesi'nin bir bölümü olan Güney Marmara Bölümü'nde kalan Biga ilçesinin yüzölçümü 1357,5 km²'dir. Merkezi; 40.13 kuzey enlemi ve 27.15 doğu boylamının örtüştüğü noktadadır. Bu tez kapsamında yapılan analiz çalışmaları esnasında merkez noktası 40.13.35 kuzey enlemi, 27.1437 doğu boylamı olarak alınacaktır. Ortalama rakımı 50-60 metre dolaylarında olan Biga'nın en önemli akarsuyu Kocabaş Çayı'dır. Çay, yakın tarihe kadar ilçeyi sınırlandırmış olsa da şu an karşı tarafa da yerleşim sağlanmış durumdadır (Biga Kaymakamlığı, 2022). "Biga Çayı" olarak da bilinen bu çay yaklaşık 80 km uzunluğunda olup Karabiga civarında Marmara Denizi'ne karışmaktadır (Çakaroz, 2019) (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Biga Çayı Havzası
Kaynak: (Çakaroğlu, 2019)

3.2. Jeolojik ve Sismotektonik Yapı

Biga Yarımadası'nın bilinen en eski birimi Kazdağ Metamorfitleri'dir (Bingöl, 1969). Kazdağ Metamorfitleri, tarihsel süreç içerisinde bölgede etkili olan levha hareketlerine karşı direnç göstererek kalkan görevinde bulunmuştur. Ancak daha sonra kuzey-güney yönlü gerilmenin nihayetinde deformasyona uğramış, bugünkü Kazdağları'nın yükselmesine sebep olmuştur (Yalıtırak ve Okay, 2004). Yükselişin gerçekleştiği zaman içerisinde kırılma noktasına kadar kıvrılmışsa da parçalanarak bazı bölgeleri alçakta kalmış, bazı bölgeleri yükselmeye devam etmiştir. Kırılma evrelerinde parçalanan malzemeler, bölgeye yayılarak yarımada'nın jeolojik yapısında belirleyici bir yapıtaş olmuştur. Oligosen devresinin sonlarında süren yükseliş ile aşınım süreci yaşanmış ve güney kısımlardaki dönemsel malzemeler tamamen aşınarak karakterini yitirmiştir. Daha sonra Miyosen evresi içerisinde yarımada ortalarında volkanik faaliyet ile fay hatlarınca sınırlanan şeyl, linyit, silttaşı ve tuf tortullarını oluşturmuştur (Siyako vd., 1989).



Şekil 3.5. Biga Yarımadası'na ait genel jeoloji haritası

Plütonlar: 1: Karabiga; 2: Güreci; 3: Çamyayla; 4: Alanköy; 5: Kuşçayır; 6: Kestanbol; 7: Evciler; 8: Eybek; 9: Yenice; 10: Sarıoluk; 11: Dikmen.

Kaynak: (Aydın vd., 2019)

Yarımada'nın daha özel olarak Biga taraflarında biriken alüvyonlar, genellikle akarsu vadileri, deltalar ve irili ufaklı ovalarda yayılmıştır. Hala aktif olan Biga Çayı gibi tarih boyunca güneyden Marmara Denizi'ne doğru akış gösteren akarsular sebebiyle yarımada'nın kuzey taraflarında yoğunlaşan bu alüvyonlar, bölgenin genel jeolojisini de derinden etkilemektedir

(Şekil 3.5). Alüvyonların etrafını saran tortul kayaçlar da yine kuzey kesimlerde yoğunlaşsa da yarımada'nın doğu kesimlerinde de oldukça hakimdir. Sönmüş volkanların neticesinde oluşmuş olan kayalar (volkanik kaya) Biga'nın batı istikametinde, Çanakkale ili taraflarında çok büyük bir yayılım göstermiştir. Biga ve Çan arasında devam eden Kocabaş Çayı'nın batısında metamorfik kayaçlar kümelenmiş, ilçenin kuzey batı istikametinde yer alan Şevketiye taraflarında ise oldukça düşük miktarlarda tutunabilmiş plutonik kayaçlar varlık göstermiştir (Çakaroğlu, 2019).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	KALINLIK (m.)	SEMBOL	LİTOLOJİ	FOSİLLER
SENOZOYİK	Kuvaterner	Holosen	Alüvyon	80	Qal	Çakıl, kum, silt, kil	Fosilsiz
		Pleyistosen	Bayramiç	40-45	TQb	Çakıtaşı, Kumtaşı	Fosilsiz
		Pliyosen					
	Tersiyer	Eosen	Balıkeşme volkanitleri		Tbv	Andezit, Dasit	Fosilsiz
			Karabiga granodiyorit		Tkg	Granit, Granodiyorit, Monzodiyorit	Fosilsiz
			Ceylan	350-400	Tc	Kumtaşı-kıtaşı ardalanması, tuf	<i>Globigerina inflata</i> <i>Globigerina corpulenta</i> <i>Globorotalia</i> sp.
			Soğucak kireçtaşı	15-20	Ts	Kireçtaşı	<i>Fabiania cassis</i> <i>Discocyclina</i> sp. <i>Alveolina</i> sp. <i>Orbitolites</i> sp.
	Kretase	Üst Kretase	Ballıkaya	200-300	KTb	Şeyl, Kumtaşı, çakıtaşı, Kireçtaşı blokları	<i>Morozovella velascoensis</i> <i>Planorotalites</i> sp. <i>Bolivina</i> sp. <i>Radiolaria</i>
			Çetmi ofiyolitik melanji		Kç	Spilit, kireçtaşı, Şeyl, kumtaşı, Serpantinit, Radyolarit	<i>Involutina</i> sp. <i>Trochammina</i> sp. <i>Trocholma</i> sp. <i>Heterohelix</i> sp.
PALEOZOYİK	Triyas						
	Permien		Çamlıca metamorfikleri		PTRç	Mikaşist, fillit, metakuvarsit, mermer	Fosilsiz

Şekil 3.6. Genel stratigrafi kesiti
Kaynak: (Çakır ve Karakaş, 2018)

Biga Yarımadası'nın magmatik kayaçlarını ezici bir çoğunlukla paleojen volkanitleri teşkil etmektedir. Biga ilçesi ile Çanakkale il merkezi arasında konumlanan Koruköy ve Kilimli köyleri arasında Triyas dönemine ait volkanitler bulunsa da yarımadaının genelinde başka bir konumda bu döneme ait bir kayaca rastlanmamıştır. Bölgede ayrıca granitoidler ve Neojen volkanitleri de bulunmaktadır. Granitoidler özellikle Biga ilçesinin kuzeyinde bulunan ve ilçeye bağlı bir belde olan Karabiga'nın çevresi, Lapseki ilçesinin Güreci köyü mevkisi, Biga'nın doğusunda kalan kısmi yerel bölgeler, Ezine'nin güneybatısı ile Bayramiç'in güneydoğusunda yoğunlaşmaktadır. Neojen volkanitleri ise Biga'nın güneydoğusu ile doğusunda ve Assos bölgesinde yoğun bir şekilde görülmektedir (Şekil 3.7).

Şekil 3.7. Biga Yarımadası'na ait magmatik kayalar haritası
Kaynak: (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü - MTA, 2021)

Yarımadanın en yüksek rakımlı konumu 1111 m yükseklikle Kazdağı ailesinden olan Kocakatran Dağı'dır. Dağın zirvesi, Biga'nın güneybatı istikametine düşerken ilçeye kuşbakışı uzaklığı 54 km civarındadır. En alçak bölgeler ise, yarımadada faaliyet gösteren akarsuların Marmara Denizi'ne kavuştuğu kuzey kesimlerdir ve ilçe merkezi bu düz alanların güney kısmında yer alsa da Biga içerisinde de var olan ani irtifa değişimleri söz konusudur. Keza, yarımadada gerçekleşen kuzey-güney yönlü gerilim hattı ile yükselen Kazdağı, Biga konumuna

kuzeyinin sismik aktivite anında deprem dalgalarını şiddetle yansıtacağı ve hatta bu şiddeti büyütürerek yüzeyi sarsacağı ortadadır (Efe, 1993).

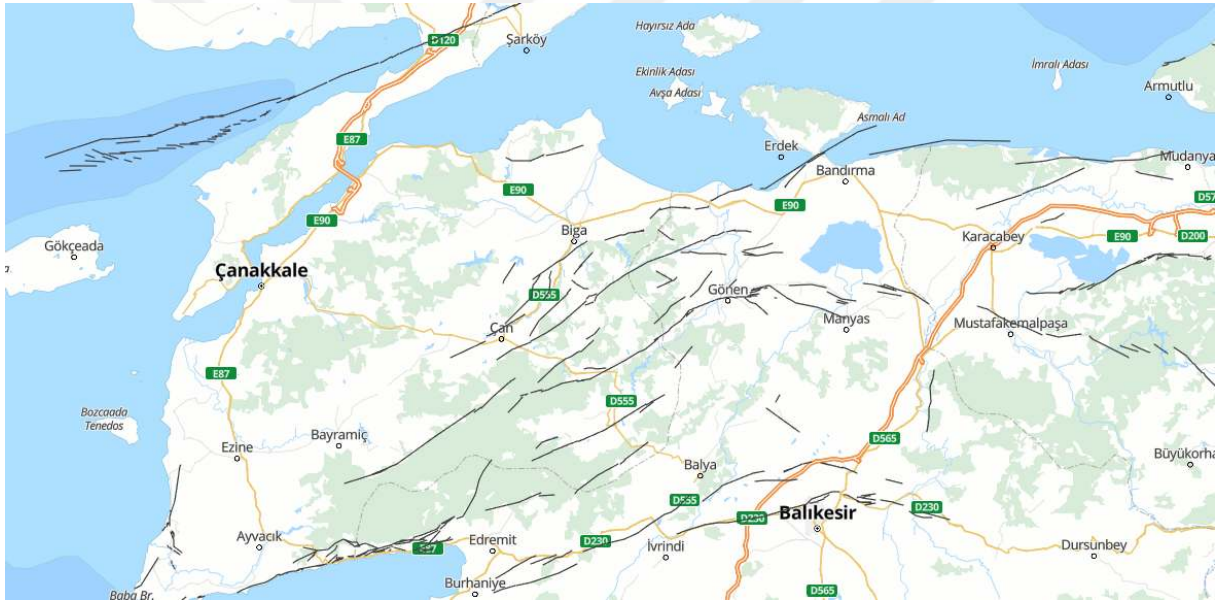
Yarımadanın kuzeyini kaplayan düşük rakımlı düzlükler, güney kesimlerde bulunan yüksek tepelerden kademeli faylar aracılığı ile ayrılmıştır. Bu kademeler ve dağlık yükseltiler ile alüvyal araziler arasındaki rakım farkı; yeraltı suyunun, başta Kocabaş Çayı olmak üzere bölgedeki akarsular aracılığı ile drene edilmesini sağlamaktadır. Yeraltı suları Marmara Denizi'ne yakın kesimlerde (Biga ilçe merkezinin kuzey kısımları) birikmekte, deprem esnasında sıvılaşma gibi tehlikeler güneyden kuzeye taşınmaktadır. Ayrıca kuzeydeki alçak araziler, güneyden gelen akarsulara taban düzeyi teşkil ettiği için özellikle yoğun yağışın yaşandığı zamanlarda sık sık taşkınlar yaşanmaktadır. Su akışından bağımsız olarak bu yükselti farkı ile aynı zamanda toprak erozyonu da görülmektedir (Şekil 3.4).

Şekil 3.2 ve Şekil 3.8'de sunulan haritalar birlikte incelendiğinde Kocabaş Çayı'nın kollarının tektonik birleşme güzergahı üzerinde yatak oluşturduğu görülmektedir (Şekil 3.4). Ayrıca Şekil 3.11'de fay haritasına bakıldığında çayın, birçok yerde levha kırıkları doğrultusunda yol çizdiği; faylanmada görülen dalgalanmaların, akarsu yatağında da ani yön değişimlerine sebep olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Camialan Köyü yakınlarında akarsuyun ani yön değişimi
Kaynak: (Çakaroğlu, 2019)

Bingöl ilinin Karlıova ilçesinden başlayıp Düzce'nin güneybatı taraflarına kadar Karadeniz dağlarına paralel doğrultuda uzanan KAFZ, buradan sonra iki ana kola ayrılmaktadır. Sakarya ve Gölcük üzerinden Marmara Denizi'ne açılan birinci kol, Gelibolu Yarımadası'nın kuzeyinden Saroz Körfezi aracılığı ile Ege Denizi'ne açılmakta ve Gökçeada açıklarında sona ermektedir. Diğer kol ise Mudanya ve Bandırma üzerinden ilerleyip Biga Yarımadası'nı yararak Ege Denizi'ne açılmaktadır. Şekil 3.11'de de görüldüğü üzere bölge, ciddi bir sismik tehdit altında bulunmamaktadır. Ortasından geçen KAFZ'ın ve ona bağlı tali kolların doğrudan etkisi altındadır (Demirtaş ve Yılmaz, 1996). Doğrudan KAFZ'a bağlı olan ve Gönen ile Yenice arasında etkinleşen fay zonu doğrultu atımlı deprem salınımlarında bulunmaktayken, Ege Graben Sistemi'nin doğrudan etkisi altında olan batı kısımlarda gerçekleşen depremler normal atımlıdır. Dolayısı ile yarımada, KAFZ ve Ege'nin açılma yapısı arasında ara bir zon özelliği görmektedir (Demirtaş ve Erkmen, 2000).



Şekil 3.11. Bölgenin genel fay haritası

Kaynak: (Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü – Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi – KRDAE-BDTİM, 2021)

3.3. İlçenin Deprem Geçmişi

Biga Yarımadası'na ait jeolojik ve sismik verilerden, bölgenin deprem bakımından daima tehlike barındırdığı ve Biga ilçesi özelinde zemin koşullarının sismik faaliyet anlarında olumlu davranış göstermeyeceği anlaşılmaktadır.

Gerçekleşmiş deprem kayıtlarının derlenip üzerine çalışılması noktasında yalnızca aletsel depremlerden değil tarihsel depremlerden de faydalanmak gereklidir. Nitekim Biga

Yarımadası gibi tehlike arz eden yerleşim alanlarında tarihsel döneme ait sismik verilerin, bölgenin depremselliğini daha sağlıklı analiz edebilmek için değerlendirilmesi ayrıca bir önem taşımaktadır. Tarihsel depremler sayesinde fay mekanizmaları, depremin etki alanları ve sismik kaynak bölgeleri gibi pek çok veri teyit edilebilmektedir. Hatta yeterince bilgiye ulaşıldığı takdirde maksimum şiddet de saptanabilmektedir. Bu yolla sismik aktivitenin dışmerkezi ve magnitüd değeri bulunabilmektedir.

3.3.1. Tarihsel (1900 Yılı Öncesi) Depremler

Tarihsel deprem verileri, gerçekleşen depremlerin şiddetlerinin bölgesel dağılımını anlamakta yarar sağlayabilmektedir. Yeterli veriye ulaşıldığında, depremlerin şiddetleri gözlemlenerek en büyük şiddet değeri belirlenebilir. Sarsıntının dışmerkezi ve magnitüdü bu yolla ortaya konulabilir. Elbette tarihsel deprem verileri, dönemin insanların yaşadığı depremi yazılı olarak kaydetmelerine ve/veya arkeolojik bulgulara bağlıdır. Bütün bu verilerin elde edilmesi, dolayısıyla insan yoğunluğu ve kentleşmeyi gerektirmektedir. Geç kurulan yerleşim yerlerinde bugün tarihsel deprem verileri daha kısıtlı iken, antik çağlardan bu yana varlığını sürdüren veya eski yerleşimlere çok yakın mevkilerde kurulan yeni kentlerde söz konusu veriler daha yeterli miktardadır.

Biga Yarımadası; tarih boyunca birçok şiddetli depremin etkisinde kalmış, üzerinde ve çevresinde bulunan eski kentlerin bir kısmı tamamen yıkılmış, bir kısmı ise büyük hasarlar olarak sarsıntıları atlatabilmiştir. KAFZ; yarımadayı yarıp geçen güney kolunda, iç-orta kesimlerindeki kadar etkili olmasa da bölgede çok sayıda insanın can ve mal kaybına neden olacak depremler üretmiştir.

Çalışma alanını etkisi altına alan tarihsel depremleri incelerken, civardaki eski yerleşimlerin kaynaklarından faydalanmak gerekmektedir. Nitekim, Biga özelinde yapılan çalışmalar ve Biga geçmişinde tutulan kaynaklar kısıtlı olmakla birlikte deprem kaydı açısından yetersizdir. Özellikle Troya antik kentini etkileyen depremlerin incelenmesi ve Biga açısından değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Ayrıca Balıkesir merkezi ve kuzeybatı ilçeleri, Bursa'nın yerel bölgelerinden edinilen kaynaklar ve İstanbul için kaleme alınmış deprem verileri, Biga'nın tarih boyu etkilendiği sismik faaliyeti anlamakta büyük yarar sağlamaktadır.

Troya merkezli sarsıntıya dayalı beyanlar incelendiğinde kentin ilk yerleşiminin (M.Ö. 3000 – M.Ö. 2600) şiddetli bir deprem sonucu yıkıldığı düşünülmektedir. Antik kent üzerinde yapılan kazı çalışmaları sırasında bina duvarları ve şehrin surları üzerinde depreme dayalı

emarelere rastlanmıştır (Blegen, 1934). İkinci kez kurulan ve Troya II olarak anılan antik kentin de benzer şekilde büyük bir depremin etkisi altında kaldığı; fakat esas yıkımın depremden değil, deprem kaynaklı bir yangından kaynaklandığı belirtilmektedir (Körpe, 2012). Yine de kazılarda ortaya çıkan yangın belirtilerinin deprem kaynaklı olup olmadığı henüz kesinleşmemiştir.

Kazı çalışmalarında bulunan Blegen'a göre Troya'nın pek çok evresi deprem kaynaklı yıkıma uğramıştır (Blegen, 1934). Ancak bu konuda görüş birliği sağlanmamaktadır. Blegen'dan sonra yapılan arkeolojik kazılarda benzer bulgulara rastlanmış, antik kent evrelerinin ya doğrudan ya da dolaylı olarak deprem etkisiyle yıkıldığı ileri sürülmüştür. Antik kente ait surlar incelendiğinde özellikle M.Ö. 1300'lerde şiddetli bir depremin gerçekleştiği ve Troya'nın çok ciddi bir biçimde etkilendiği kesin kanıtla doğrulanmaktadır (Macqueen, 1968). Troya antik kentinin yüksek şiddetli olduğu anlaşılan depremler sebebi ile sarsılması ve büyük hasarlar alması, Biga açısından değerlendirildiğinde büyük bir fark düşünülmemelidir. Biga ilçe merkezi ile Troya antik kenti arasındaki kuşbakışı mesafe 90 km civarındadır. Yerel zemin koşullarındaki deprem dalgası iletkenlik durumu göz önünde bulundurulduğunda Troya antik kentini şiddetle etkileyen depremlerin Biga ilçe merkezini de benzer ölçülerde etkileyebileceği anlaşılmaktadır.

Belirlenen bu kaynaklı sınırlamalar dahilinde derlenen bazı önemli deprem kayıtları, kronolojik olarak aşağıda sunulmuştur. Tarihsel depremler aracılığı ile bölgenin sismik faaliyetinin ve riskinin anlaşılması için en eski zamanlara, antik çağlara ilişkin depremler daha detaylı anlatılmıştır.

Perinthos ve Orkhomenos Depremleri (M.Ö. 427)

Depremin Marmara Denizi'nde gerçekleştiği düşünülse de tam konumu bilinmemektedir. Denizin kuzey kesimlerinde ciddi mal kaybına neden olması, depremin KAFZ üzerinde gerçekleştiğinin işaretidir. Deprem, Biga Yarımadası'nın özellikle kuzey kesimlerini etkisi altına almış, bölgedeki birçok yerleşimde hasarlara neden olmuştur. Biga, Karabiga, Lapseki gibi pek çok yerleşimde sarsıntı hissedilmiş olsa da can ve mal kaybının boyutuna ilişkin kesin bir kaynak henüz bulunmamaktadır (Doğancı, 2019).

Perinthos Depremi (M.Ö. 399-395)

Depremin merkezi yine Marmaraeğlisi'nde bulunan Perinthos antik kentidir. KAFZ, bu konumun altından geçtiği için yerleşim yeri devamlı depremlerin tesiri altında kalmıştır.

Yılın son günlerinde gerçekleştiği bilinen depremin yılı hakkında net bilgiye erişilemese de etki alanı konusunda birtakım bilgilere erişilebilmektedir. Buna göre şimdiki Biga ve Karabiga yerleşimlerinin, sarsıntının etkisinde kaldığı anlaşılrken; can ve mal kaybının olup olmadığı hususunda henüz yeterli kaynak bulunmamaktadır (Doğancı, 2019).

Ophryneion Depremi (MÖ 360)

Bugün Çanakkale ilinin güney köylerinden olan Erenköy’de bulunan Ophryneion antik kentinde gerçekleşen depremin, KAFZ’ın Saros Körfezi üzerinde kırılması ile gerçekleştiği düşünülmektedir (Ambraseys, 2009). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine göre IX şiddetinde gerçekleşen deprem, bölgede ağır hasara neden olmuştur. Atina’nın politikacılarından Demosthenes; sarsıntının Çanakkale kıyılarında yoğun bir şekilde hissedildiğini, Ophryneion’da büyük hasarların yaşandığını ve can kaybının yüksek olduğunu belirtmektedir.

Demosthenes, sürgün edilen bir tüccarın ailesinin göçük altında kaldığını ve bölge halkının büyük acılar yaşadığını yazmaktadır (Ambraseys ve White, 1997). Bu depremin; insan yaşamını ciddi anlamda etkilediği, depreme ilişkin tutulan kaynaklar sayesinde anlaşılmaktadır.

Lysimakheia Depremi (M.Ö. 287)

Gelibolu Yarımadası’nın kuzeyinde bulunan ve Khersonesos Thrakia’ya bağlı olan Lysimakheia antik kenti, bugün Çanakkale’nin Gelibolu ilçesine bağlı Koruköy civarındadır. Antik kentte gerçekleşen deprem, Gelibolu Yarımadası başta olmak üzere bölgede ciddi bir etki yaratmıştır. Bazı kaynaklarda M.Ö. 282 yılında gerçekleştiği söylenmektedir (Sezer, 2003; Sezer, 2006). Ancak AFAD verileri ve diğer birçok bilimsel çalışma M.Ö. 287 yılını işaret etmektedir.

Dönemin tarih yazarı Iustinus; aynı dönemde Çanakkale Boğazı ve Khersonesos civarlarında da bir sarsıntı gerçekleştiğini, fakat depremden en büyük zararı Lysimakheia’nın aldığını ve hatta tamamen yıkıldığını ifade etmektedir (Ambraseys, 2009). AFAD verilerine göre depremin şiddeti X olduğu düşünülmektedir. Şiddeti yüksek olan depremin etkileri Biga’da bulunan Parion, Lapseki’de bulunan Lampsakos’ta şiddetli bir biçimde hissedilmiştir (Doğancı, 2019). Depremin Biga’da büyük hasarlara neden olduğu söylenmektedir.

Asia Minor Depremi (M.S. 17)

Ege ve Güney Marmara bölgelerini etkisi altına alan depremin çok şiddetli olduğu düşünülmektedir. Depremin 17 değil, M.S. 19 yılında gerçekleştiğini söyleyen antikçağ

yazarları da mevcuttur (Zabcı, 2012). Eski yazıtlarda “Küçük Asya Depremi” olarak anılan bu sismik vaka, etkisi altına aldığı geniş coğrafyadan dolayı dönemin çok sayıda ileri geleninin yazılarına nüfuz etmiştir. Dolayısı ile hakkında en fazla bilgi sahibi olunan eskiçağ depremlerinden biridir.

Depremden en çok etkilenen iki antik kentin Sardeis ve Magnesia olması dolayısı ile merkezinin Spil Dağı civarı olduğu düşünülmektedir (Higgins, 2009). Sardeis, bugünkü Manisa ilinin Salihli ilçesine bağlı bir yerleşimken; Magnesia ise Aydın’ın Germencik ilçesine bağlı Ortaklar yerleşimi yakınlarındadır. Aralarındaki mesafeye rağmen benzer yıkımla etkilenmeleri, depremin şiddetinin yüksekliğini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Depremin etkisi ile birçok yerleşimde büyük yangınlar çıkmış, zeminde yarıklar oluşmuş, yükselti bölgelerinde heyelanlar gerçekleşmiştir (Ambraseys, 2009). Gece yarısı oluşan sarsıntı, Batı Anadolu’yu etkisi altına almış ve insanları uyku halinde iken yakalamıştır (Doğancı, 2019). Can kaybının bu denli yüksek olmasının bir sebebi de budur. Öyle ki antikçağ yazarlarından Plinius, “Historia Naturalis” adlı eserinde Asia Minor Depremi’nin insanlık tarihindeki en sarsıcı deprem olduğunu yazmıştır.

Dönemin pek çok kaynağına göre ciddi anlamda yaygın bir coğrafyayı etkisi altına alan deprem, Biga Yarımadası’nda da şiddetle hissedilmiş olmalıdır. Bugünkü araştırmalar neticesinde depremin şiddetinin X, büyüklüğünün ise 7.5 magnitüdünde olduğu düşünülmektedir (Dunbar vd., 1992).

Büyük Propontis Depremi (M.S. 121)

Depremin, Marmara Denizi’ne kıyısı olan tüm yerleşimlerde hissedildiği bilindiği için geniş bir coğrafyada etkili olduğu da ortadadır. Kocaeli, İzmit, Karacabey ve Erdek’in bugün bulunduğu mevkiiler başta olmak üzere Marmara Bölgesi’ni tesiri altına almıştır (Altınok vd., 2001). Biga Yarımadası da bu tesirin etkisinde kalmıştır.

Çoğunlukla M.S. 121 yılı işaret edilse de sarsıntının tam tarihi bilinmemektedir. Kamil Doğancı “Bursa ve Civarını Etkileyen Depremler” başlıklı yazısında depremin 120 yılında gerçekleştiğini belirtmektedir (Doğancı, 2001). Yine antikçağ yazarı Jerome, depremden en çok etkilenen yerleşimin İzmit olduğunu vurgulamaktadır (Zabcı, 2012). Depremin kayıtlı izleri bugün incelendiğinde VII veya VIII şiddetinde olduğu düşünülmektedir (Adatepe ve Erel, 2006).

Kyzikos (Erdek) Depremi (M.S. 10 Kasım 123)

Kapıdağ Yarımadası'nda gerçekleşen deprem Çanakkale Boğazı'na kadar etkisini hissettirmiştir. Erdek, depremden en çok etkilenen yerleşim olmuştur. Öyle ki şehirdeki yapıların çoğunluğu tamamen yıkıma uğramıştır (Doğancı, 2001).

Malalas'ın tarihçe yazılarından dönemin Roma İmparatoru Hadrianus'un Kyzikos'a geldiği ve Agora'nın büyük hasar görmesi üzerine restore edildiği anlaşılmaktadır. Ayrıca depremden zarar gören insanlara maddi yardımlarda bulunduğu söylenmektedir (Kaya ve Özcan, 2016). Depremin etki alanı göz önünde bulundurulduğunda Biga yerleşiminin ciddi anlamda hasarla sarsıldığı görülmektedir.

Güney Marmara Depremi (M.S. 155)

Güney Marmara'yı etkisi altına alan deprem, pek çok yerleşimde ağır hasarlara neden olmuş, büyük yıkımlara yol açmıştır (Ambraseys ve Finkel, 1991). Ege açıklarındaki Midilli Adası dahil olmak üzere bazı adalarda etkisi görülmüştür. Ancak en büyük hasar ve yıkım bugünkü Erdek yerleşiminde yaşanmıştır. Antik dönemin yedi harikasından biri olan ve büyüklüğü oldukça fazla olan Hadrianus Tapınağı da bu depremin etkisi altında ciddi hasara uğramıştır (DeLaine, 2002). Buna karşın dönemin yazarlarından Eusebius, birden fazla depremin yaşandığını ve bunların aylarca sürdüğünü belirtmektedir. Eusebius'un belirttiği sarsıntılar, kuvvetle muhtemel yaşanan büyük depremin artçı şoklarını ifade etmektedir.

Adalara kadar hasar içeren etki alanı göz önünde bulundurulduğunda Biga ilçesinde de büyük hasarlara neden olduğu anlaşılan depremin şiddetinin VIII olduğu düşünülmektedir.

Kyzikos ve Poimanenon Depremi (M.S. 170)

Bugünkü Balıkesir ilinin Manyas ilçesine bağlı Eski Manyas köyü civarında bulunan Poimanenon antik kenti ile Erdek yerleşimi arasında bir yerde merkezlenen depremin etkisi geniş bir alanda yankı bulmuştur. Depremin İzmit Körfezi'nden "Küçük Asya"ya kadar etkisi görüldüğünü belirten dönemin yazarlarından Aurelius Victor, De Caesaribus adlı eserinde sarsıntının sebep olduğu hasarlara yer vermektedir. Dio Cassius ise Erdek gibi bazı yerleşimlerin tamamen harabeye döndüğünü söylemektedir. Magnitüdü 7.0 olarak değerlendirilen depremin Bandırma ve Erdek'te IX şiddetinde hissedildiği, İzmit ve Gemlik yerleşimlerinde ise VII şiddetinde hissedildiği belirtilmektedir (Sezer, 2003).

Marmara Depremi (26 Ocak 447)

Deprem, birçok araştırmacıya göre 26 Ocak 447 tarihli Pazar gecesi meydana gelmiştir ve artçı şoklar uzun bir süre devam etmiştir (Croke, 1981). Merkezinin Marmara Denizi açıkları olduğu düşünülen depremin etkisi İznik'ten Çanakkale Boğazı'na ve hatta bazı kaynaklara göre Trakya Bölgesi içlerine kadar etkisi olduğu söylenmektedir (Körpe, 2006). Bölgede depremin etkisi o kadar büyüktür ki alınan hasarlar neticesinde hastalık ve açlık sebebi ile çok sayıda insan yaşamını yitirmiştir. Öyle ki başta Troya kenti olmak üzere birçok yerleşim yeri terk edilmek zorunda kalınmıştır (Ambraseys, 2009).

Kyzikos Depremi (M.S. 6 Eylül 454)

453 yılında gerçekleştiği üzerine de veriler olan depremin merkezi yine bugünkü Erdek yakınlarında bulunan Kyzikos antik kenti olduğu düşünülmektedir. Kyzikos'u saran surlar neredeyse tamamen yıkılmış, yerleşimdeki konutlar büyük oranda hasar almıştır (Körpe, 2012). İzmit Körfezi'ni de yıkım ve hasarla etkisi altına alan sarsıntının neticesinde körfezde bulunan Nikomedia antik kenti sular altında kalmıştır. Dönemin yazarlarından Malalas'ın yazdıklarına göre Marmara Denizi'nden gelen büyük bir tsunami yaşanmış, Nikomedia gibi birçok yerleşime ciddi zararlar vermiştir (Körpe, 2006).

Batı Marmara Depremi (M.S. 484)

Gelibolu açıklarında gerçekleşen deprem, Gelibolu Yarımadası ve Trakya'yı etkisi altına aldığı gibi Biga Yarımadası'nın kuzey ve batı kesimlerini de etkilemiştir. Ancak döneme ait veriler ışığında daha ziyade Çanakkale Boğazı civarındaki yerleşimler ve Bozcaada zarar görmüş, iç kısımlarda ciddi kayıplar yaşanmamıştır. Bozcaada ve Lapseki mevkilerinde bulunan surlar ağır hasarlar almış, yer yer yıkıma uğramıştır (Ambraseys ve Finkel, 1991).

Kyzikos Depremi (M.S. 6 Eylül 543)

Erdek yakınlarındaki antik kent ve Bandırma arasında gerçekleşen deprem, Biga dolaylarında da etkili olmuştur. Önceki sarsıntılarda çok kez hasara uğrayan tapınak bu kez yıkılmış ve parçalanmıştır. Bazı parçalarının Ayasofya'nın inşasında kullanıldığı söylenmektedir (Ambraseys, 2009). Antikçağ yazarlarından Theophanes ve Malalas, bu deprem ile Kyzikos antik kentinin yarısının yıkıma uğradığını yazmıştır (Doğancı, 2019). IX şiddetinde olduğu düşünülen depremin nihayetinde Kapıdağ Yarımadası'nın Marmara Denizi'nden gelen tsunami tesirinde kaldığı belirtilmiştir (Altınok ve Alpar, 2006).

Bandırma Depremi (7 Eylül 1893)

Karacabey ve Biga’da da şiddetle hissedilen depremin merkez üssü Bandırma’dır.

Burhaniye Depremi (16 Nisan 1896)

16:35’te gerçekleşen Burhaniye merkezli deprem, bölgede düşük şiddetle hissedilse de etkisi Biga yerleşimine kadar ulaşmıştır (Satılmış, 2020). Herhangi bir hasar kaydı tutulmadığından Biga ilçesinde can veya mal kaybı yaşanmadığı düşünülmektedir.

Balıkesir Depremi (29 Ocak 1898)

Merkez üssü tam olarak bilinmeyen depremin; Kepsut, İvrindi, Sındırgı ve Bigadiç’teki etkileri göz önünde bulundurulduğunda Balıkesir il merkezi dolaylarında gerçekleştiği düşünülmektedir. Bölgede ciddi hasarlara neden olmuştur. Karesi’de Mutasarrıf Ömer Ali Bey, deprem yüzünden çok sayıda yapının yerle bir olduğunu, birçok önemli yapının da ağır hasarlar aldığını belirtmektedir (Bey, 1315). Esas yıkıcı deprem, iki öncü depremin sonrasında gerçekleşmiştir (Akpınarlı, 2009). Depremin şiddeti öyle yüksektir ki Balıkesir il merkezinde sokakları harabeye döndürürken etkisi İzmit Körfezi’nden Biga’ya, İstanbul’dan Gelibolu’ya ve hatta bazı kaynaklara göre Bozcaada’ya kadar ulaşmıştır. Bu durum da depremin şiddetinin ne ölçüde büyük olduğunu gösterir niteliktedir.

Avşa Depremi (4 Ocak 1899)

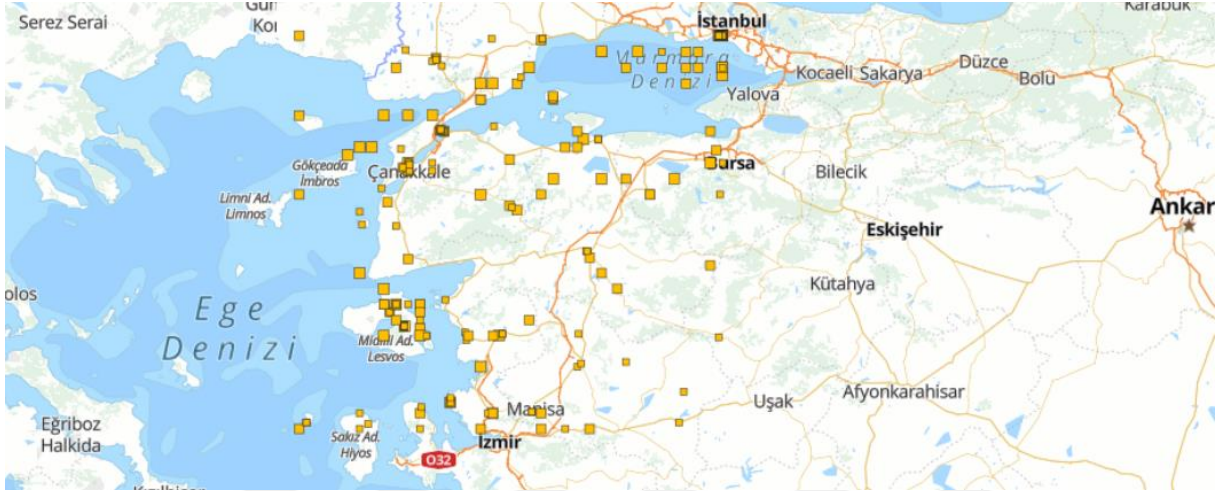
Depremden dolayı en fazla hasar Avşa Adası’nda yaşanmıştır. Adadaki 28 adet evi harabeye dönüştüren sarsıntı Paşalimanı Adası başta olmak üzere civardaki yerleşimlerde de şiddetle hissedilmiştir. Bu yıkıcılıkta bir depremin Biga’da da etkili bir şekilde hissedilmesi kuvvetle muhtemeldir.

AFAD Verilerine Göre Tarihsel Depremler

Biga ilçe merkezini doğrudan etkilemiş ya da etkilemiş olma olasılığı kuvvetle muhtemel olan bazı özel depremler yukarıda sıralanmıştır. İlçe merkezi doğrudan KAFZ’nun orta kolu üzerinde konumlanırsa da Biga Yarımadası kuzey ve güney kollarının etkisine maruzdur. Büyük Avrasya Levhası karşısında Anadolu Levhası’nın makas hareketi ile saat yönünün tersinde batıya kaçışına paralel olarak doğan KAFZ, oldukça hareketli olmakla beraber büyük depremler üretmektedir. Yarımada tarih boyunca bu depremlerin etkisinde kalmış ve birçok kez yapısal anlamda yenik düşmüştür. Marmara içlerindeki kırılmalardan Edremit Körfezi’nde Behramkale doğrultusunda uzanan kırılmalara kadar depremin gölgesinde

bir varlık sürdürmüştür. Ayrıca KAFZ'nun kuzey kolunun uzandığı ve sonlandığı Saroz Körfezi de ürettiği depremlerle yarımadayı ve çoğunlukla Biga ilçe merkezini yıkımlarla karşı karşıya bırakmıştır.

Yukarıda sıralanan önemli depremlerin yanında oldukça yüksek deprem maruziyeti altında bulunan Biga ilçe merkezini, dönemin kaynaklarına istinatla etkilediği düşünülen diğer tarihsel depremler tablo halinde sunulmuştur (EK-1). Çalışma 38.50, 41.00 enlem çizgileri; 25.25, 29.00 boylam çizgileri aralıkları ile sınırlandırılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.12. AFAD'ın veri tabanında Biga ilçe merkezini etkileyen tarihsel depremler

EK-1'de görüldüğü üzere; 1900 yılı öncesinde söz konusu konumu doğrudan ilgilendiren 159 adet deprem gerçekleşmiştir. İlçe merkezini etkileyen tarihsel depremler arasında en göze çarpanı 10 Eylül 1509'da XI şiddetinde gerçekleşen ve kaynaklara göre Marmara açıklarında yaşanan depremdir. AFAD veri tabanına göre 40.75 enleminde, 29.00 boylamında yaşanan deprem KAFZ'nun kuzey koluna ait Adalar Segmenti ile Çınarcık Segmenti arasında gerçekleşmiştir. “Büyük İstanbul Depremi” olarak da anılan ve XI şiddetinde, 7,2 magnitüd değerinde yaşandığı düşünülen depremin Biga ilçe merkezini derinden etkilediği bilinmektedir. Ayrıca bu büyük depremin yanında X şiddetinde gerçekleşen 8 adet deprem, dönemin yazılarından tespit edilmektedir.

Tarihsel depremlere Biga ilçe merkezi baz alınarak bakıldığında gelecek için tehlikenin boyutu görülebilmektedir. Deprem tehlike analizi çalışmalarında bu gerçeklik göz önünde bulundurularak olasılık sonuçları değerlendirilmeli, fay hattının periyodik dalgalanması unutulmamalıdır.

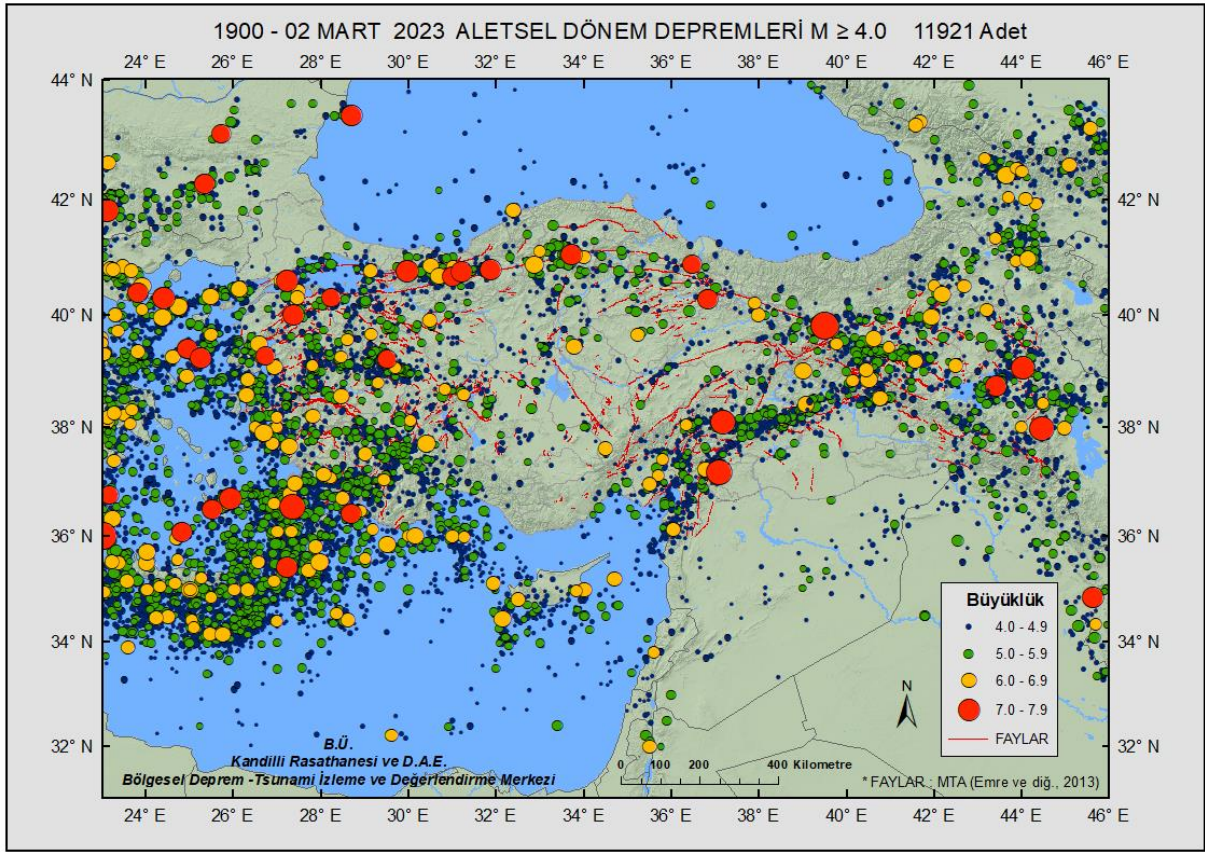
3.3.2. Aletsel (1900 Yılı Sonrası) Depremler

Henüz deprem sarsıntılarının bir enstrüman aracılığı ile saptanamadığı, teknolojik bakımdan anlık sayısal veri kaydının yapılamadığı dönemlerde yazılı kayıtlar ile günümüzde zemin tabakalarında yapılan paleosismolojik gözlemler ve jeomorfolojik araştırmalar, depremin büyüklüğüne ilişkin bir sonuç vermektedir. Ancak özellikle 20. yy. başlarında yaygınlaşan sismometreler sayesinde günümüzde deprem verileri doğrudan sayısal veriler ışığında değerlendirilebilmektedir.

Fay hatlarının uzanımı ve yerleşim alanlarının nüfus yoğunluğuna göre yerleştirilen sismometreler, çalıştıkları alanda gerçekleşen fakat insanlar tarafından hissedilmeyen düşük büyüklükteki depremlerin dahi kaydını tutabilmektedir. Bu sayede fay mekanizması daha iyi anlaşılmakta, gelecek depremler için yapılan öngörüler güçlenmektedir.

1900 yılından günümüze değin aletsel yöntemlerle neredeyse tüm depremler tespit edilebilmiş ve edilmeyi de sürdürmektedir. 1900 yılından 2 Mart 2023 tarihine kadar sismometreler kullanılarak ülkemizde tespit edilen ve magnitüd değeri 4.0'ın üzerinde olan deprem sayısı 11921'dir (Şekil 3.13). Bu sayı hem ne ölçüde bir deprem ülkesi olduğumuzu hem de aletsel yöntemlerin deprem tespitindeki önemini kavramak açısından son derece öğreticidir. Nitekim tespit edilebilmiş tarihsel depremlerin sayısı ile bu 123 yıllık deprem verisiyle dahi karşılaştırıldığında sismometrelerin önemi tekrar kavranmaktadır.

Aletsel dönemde yaşanan ve etkidiği alanda büyük yıkımlara neden olan, magnitüd değeri yüksek depremler özel olarak raporlanmakta ve yerinde çalışmalarla gelecek depremlerin analizi için çıkarımlar yapılmaktadır. KRDAE'ye bağlı Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM) bünyesinde, aletsel depremlere ilişkin veriler derlenirken bu dönem içerisinde gerçekleşmiş büyük depremler de ayrıca listelenmektedir. Buna göre Biga ilçe merkezini etkileyen 1900 yılı sonrası büyük depremler, Biga'nın depremselliği tespitinde özellikle incelenmelidir.



Şekil 3.13. 1900 – 02.03.2023 tarihleri arasındaki Türkiye ve yakın çevresi deprem etkinliği haritası
Kaynak: (MTA, 2021)

Biga ilçe merkezinde ciddi hasarlara ve çoğunlukla can kaybına neden olmuş aletsel döneme ait büyük depremler;

- 9 Ağustos 1912 tarihli, Tekirdağ'ın Mürefte beldesinde gerçekleşen $M_s=7.3$ büyüklüğündeki deprem,
- 6 Ekim 1944 tarihinde Ayvacık – Edremit açıklarında gerçekleşen $M_s=6.8$ büyüklüğündeki deprem,
- 18 Mart 1953 tarihinde Yenice'de gerçekleşen $M_s=7.2$ büyüklüğündeki deprem,
- 6 Ekim 1964 tarihinde Balıkesir'e bağlı Manyas'ta gerçekleşen $M_s=7.0$ büyüklüğündeki deprem,
- 5 Temmuz 1983 tarihinde Biga'da gerçekleşen $M_w=6.1$ büyüklüğündeki deprem şeklinde sıralanabilir.

1912 yılında Tekirdağ ilinin Şarköy ilçesine bağlı Mürefte beldesinde gerçekleşen M_s 7.3 büyüklüğündeki deprem Biga ilçe merkezini etkisi altına almıştır. Depremde 2800'den fazla kişi hayatını kaybetmiş, Biga ve Trakya'da 300'e yakın köyü etkilemiş, toplam 12600 ev

yıkılmıştır (Yaltırak vd., 2002). Türkiye’de aletsel izleme dönemine henüz geçildiği için depremin kaydı Avrupa’da bulunan sismometrelerce tespit edilebilmiş ve M_s 7.3 büyüklüğü saptanmıştır ((Ambraseys ve Jackson, 2000).

1953 yılında gerçekleşen deprem; Çanakkale için vahim bir zamanlamayla, Çanakkale Deniz Zaferi’nin yıldönümü olan 18 Mart tarihinde meydana gelmiştir. Yenice-Gönen fayında yaşanan kırılma sonucu Yenice ilçesinde çok sayıda bina yıkıma uğramış, 265 kişi hayatını kaybetmiştir. Depremin gerçekleştiği merkez üssü, Biga ilçe merkezine ortalama 40 km uzaklıktadır. 7.2 M_s büyüklüğünde gerçekleşen depremin ilçe merkezinde hasara yol açması kaçınılmazdır. Ancak Yenice’de yıkım ve yıkıma bağlı diğer afetler o kadar yüksek seviyede yaşanmıştır ki deprem maruziyeti gören Biga ilçesinden dahi 100 kişilik bir ekip arama kurtarma çalışmaları için Yenice’ye gitmiştir.

Türkiye geneli, Biga Yarımadası’ndan çok farklı değildir. Depremsellik açısından oldukça yoğun bir coğrafi yapıda konumlanan ülkemiz, yalnızca 2020 yılı içerisinde büyüklük değeri kısıtlanmaksızın 31970 adet depreme maruz kalmıştır. Bu sayı 2021 yılına gelindiğinde 25079’a gerilerken, 2022 yılı içerisinde 20288’e kadar düşmüştür (Şekil 3.14, Şekil 3.15, Şekil 3.16). 2020 yılında gerçekleşen depremlerin;

- 412 tanesi 4.0 ila 4.9 aralığında,
- 37 tanesi 5.0 ila 5.9 aralığında,
- 4 tanesi 6.0 ila 6.9 aralığında

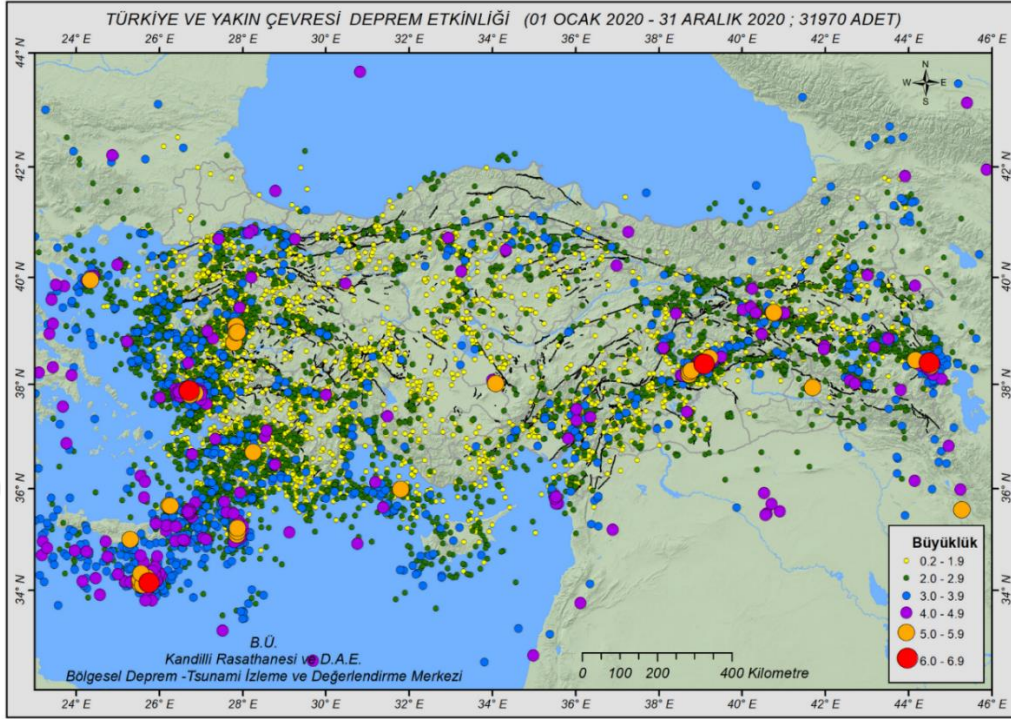
gerçekleşmiştir. Yıl içinde 7.0 M_w üzeri bir deprem görülmemiştir. Buna karşılık 2021 yılında gerçekleşen depremlerin;

- 244 tanesi 4.0 ila 4.9 aralığında,
- 23 tanesi 5.0 ila 5.9 aralığında,
- 3 tanesi 6.0 ila 6.9 aralığında

gerçekleşmiştir. Bir önceki yıl olduğu gibi 2021 yılında da 7.0 M_w üzeri bir sarsıntı gerçekleşmemiştir. 2022 yılında gerçekleşen depremlerin ise;

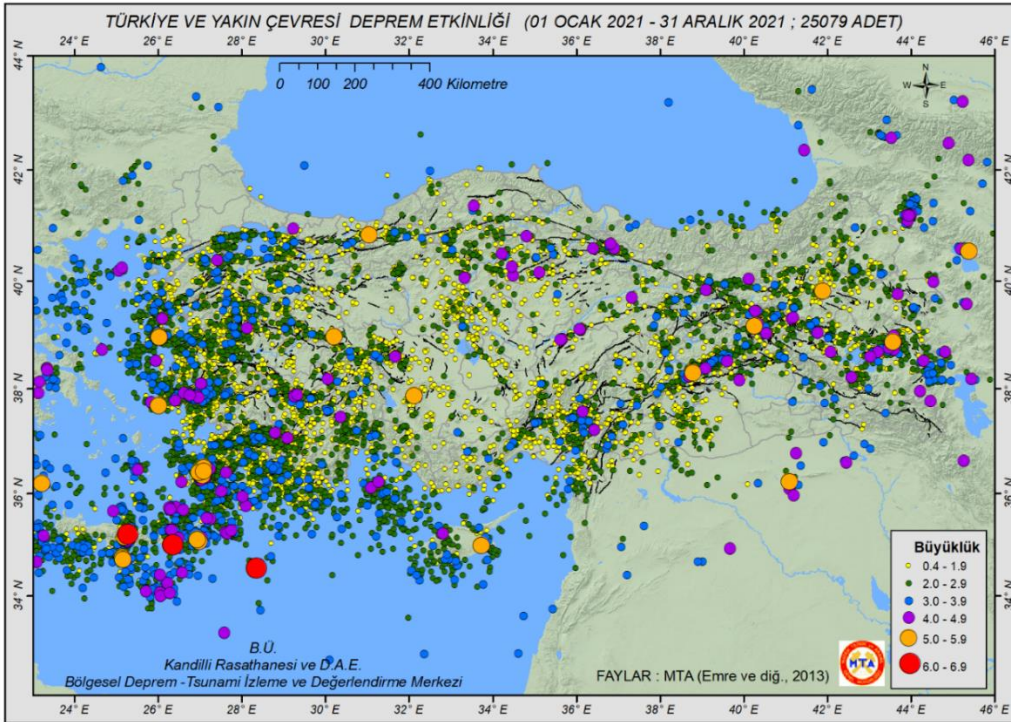
- 151 tanesi 4.0 ila 4.9 aralığında,
- 17 tanesi 5.0 ila 5.9 aralığında,
- 2 tanesi 6.0 ila 6.9 aralığında

gerçekleşmiştir. Yine diğer yıllarda olduğu gibi çalışma alanında 7.0 M_w üzerinde bir deprem gerçekleşmemiştir.



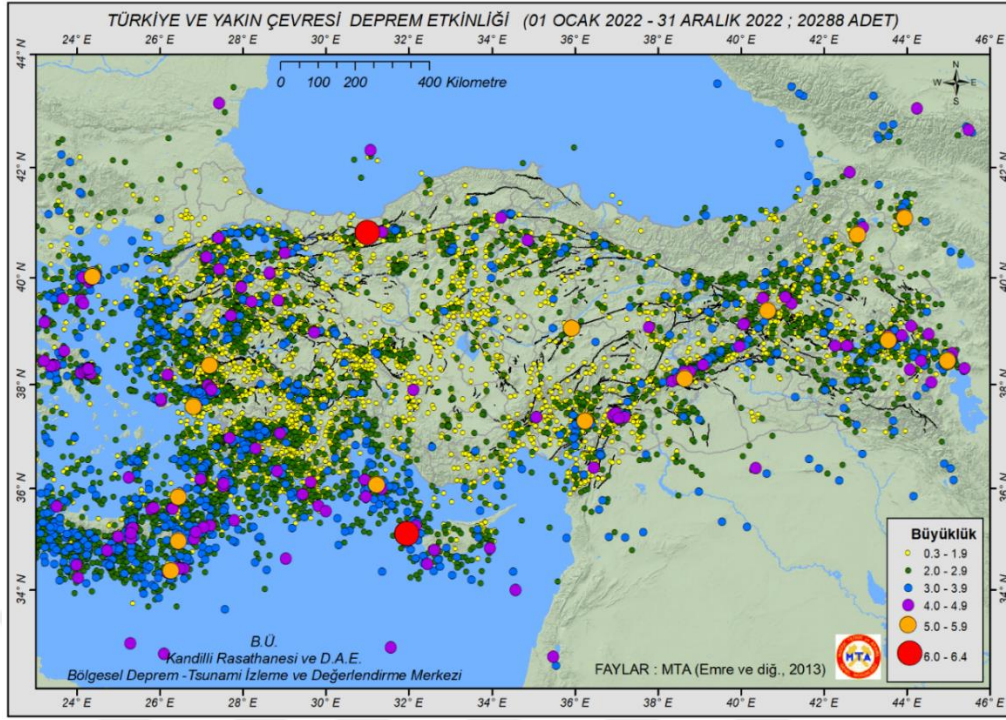
Şekil 3.14. 2020 yılı Türkiye ve yakın çevresi deprem etkinliği haritası

Kaynak: (MTA, 2021)



Şekil 3.15. 2021 yılı Türkiye ve yakın çevresi deprem etkinliği haritası

Kaynak: (MTA, 2021)



Şekil 3.16. 2022 yılı Türkiye ve yakın çevresi deprem etkinliği haritası

Kaynak: (MTA, 2021)

20. yy. başlarında yaşanan sismografik tespiti dayalı gelişmeler ışığında Biga ilçe merkezi için de aletsel döneme ilişkin deprem kayıtlarına ulaşılabilir. Çalışma kapsamında belirlenen sınır koşulları kullanılarak yine T.C. İçişleri Bakanlığı bünyesindeki AFAD ve Boğaziçi Üniversitesi'ne bağlı KRDAE'nin BDTİM'de deprem kataloğu sekmelerinde 1900 yılı sonrasında gerçekleşen depremler belirlenmiştir. Biga merkezli, 100 km yarıçaplı dairesel çalışma alanı oluşturulmuş; depremin gerçekleştiği azami derinlik 300 km, depremin büyüklüğü 4 ila 10 M_w arasında ve zaman aralığı da 1 Ocak 1900 ile 1 Ocak 2022 tarihleri olarak sınırlandırılmıştır.

Tarih Aralığı

01-01-1900 00:00:00



01-01-2022 00:00:00

**Daire Merkezi ve Yarıçap**

Enlem

40.1331



Boylam

27.1437



Yarıçap

100000

**Derinlik Aralığı**

Minimum Derinlik Giriniz

Maksimum Derinlik Giriniz

Büyüklik Aralığı

4



10



Temizle

Filtrele

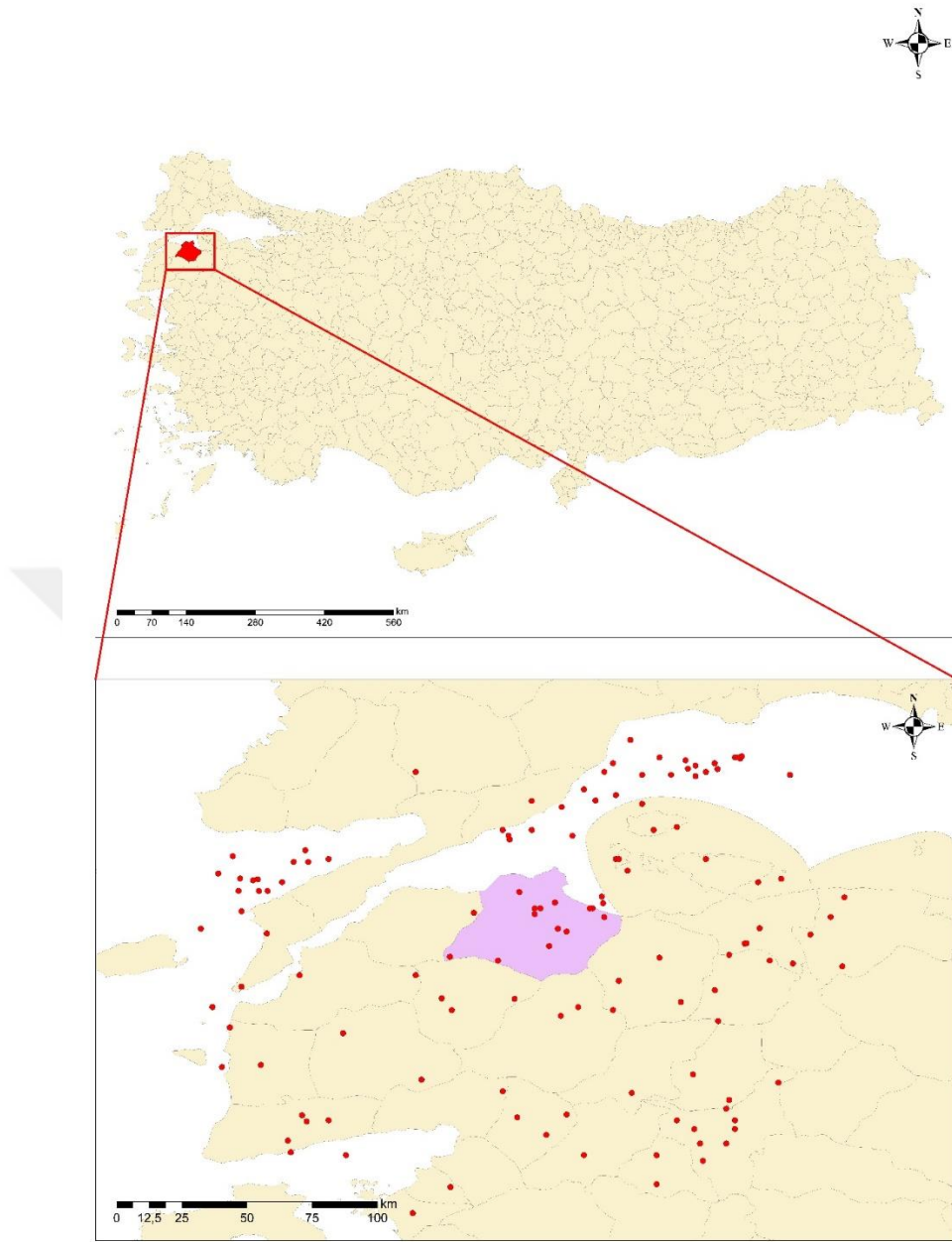
Şekil 3.17. AFAD'ın veri tabanında girilen deprem kataloğu bilgileri

01.01.1900 ve 01.01.2022 tarihleri arasında, 40.1331 kuzey enlemi ve 27.1437 doğu boylamı merkez alınarak 100 km yarıçaplı alanda filtreleme yapıldığında 133 adet deprem gerçekleştiği tespit edilmiştir. Girilen değerler Biga ilçe yerleşimini merkez alan 100 km yarıçaplı bir alanı kapsamaktadır (Şekil 3.19). Bu depremlerin moment büyüklüğü 4 ve üzeridir.

Buna göre;

- 4.0-4.4 büyüklükleri arasında 77 adet,
- 4.5-4.9 büyüklükleri arasında 33 adet,
- 5.0-5.4 büyüklükleri arasında 16 adet,
- 5.5-5.9 büyüklükleri arasında 0 adet,
- 6.0-6.4 büyüklükleri arasında 5 adet,
- 6.5-6.9 büyüklükleri arasında 0 adet,
- 7.0-7.4 büyüklükleri arasında 2 adet

olmak üzere toplamda 133 deprem gerçekleşmiştir.



Şekil 3.18 Biga ilçe merkezinin yerbulduru haritası ve aletsel dönem içerisinde 100 km yarıçaplı dairesel alandaki büyüklüğü 4.0 ve üzeri olan depremler

Gerçekleşen depremlerin 44 tanesi 2000 sonrası meydana gelmiştir. Kaba bir hesaplama, son yıllarda bölgede depremlerin yoğunlaştığını veya azaldığını tespit etmek mümkündür. 2000-2022 yılları arasında 22 yıl farkı vardır. Aletsel döneme ait gözlem yaptığımız zaman dilimi ise 122 yıldır. Yılları ve deprem sayılarını oranlayarak çıkan sonuçlardan yakın gelecek hakkında varsayımlarda bulunulabilir.

$$\text{Yılların oranı: } 22/122 \cong 0,18 = \%18$$

$$\text{Deprem sayıları oranı: } 44/133 \cong 0,33 = \%33$$

Deprem sayıları oranının, yılların oranının oldukça üzerinde ve hatta iki katına yakın olduğu gözlenmektedir. Benzer şekilde 2010 sonrası için de bu hesap yapılabilir.

$$\text{Yılların oranı: } 12/122 \cong 0,10 = \%10$$

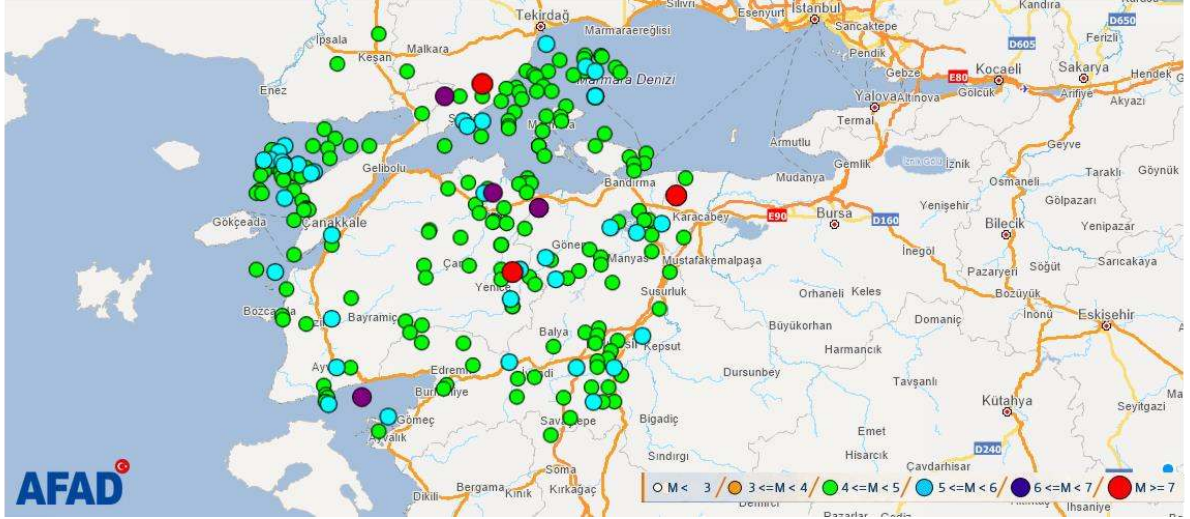
$$\text{Deprem sayıları oranı: } 31/133 \cong 0,23 = \%23$$

Zaman dilimini daralttığımızda oranların birbirine oranının daha da açıldığını görüyoruz. Bu sonuç, Biga ve çevresinde depremselliğin artış gösterdiğine işaret etmektedir. Elbette sismik ağın yıldan yıla kuvvetlendirilmesi, deprem kayıtlarının giderek daha sağlıklı ve eksiksiz tutulması gibi etkenlerin de bu sonucu doğurmuş olabileceği gerçeğini göz ardı etmemek gerekir. Keza çalışma kapsamında yapılacak olan depremsellik işlemleri sonucunda gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilecektir.

AFAD'ın veri tabanından elde edilen deprem bilgileri harita üzerinde büyüklüklerine göre gösterilmiştir (Şekil 3.19, Şekil 3.20).



Şekil 3.19. AFAD'ın veri tabanında çalışma alanının Türkiye perspektifinden depremsel görünümü



Şekil 3.20. AFAD’ın veri tabanında çalışma alanında gerçekleşen 1900 yılı sonrası depremler

Aynı filtreleme KRDAE-BDTİM’in veri tabanında da gerçekleştirilmiş fakat farklı sonuçlar elde edilmiştir.

Koordinata göre	Dairesel arama	Sarsıntı türü	Hepsi	EN				
Başlama	1900	01	01	Bitiş	2022	01	01	Tarih Aralığı
Enlem	40.1331	Boylam	27.1437	Yarıçap	100			
Büyüklik	4.0	$\leq M \leq$		10.0				
Derinlik	0	$\leq d \leq$		300	Aramayı başlat			

Şekil 3.21. KRDAE’nin veri tabanına girilen deprem kataloğu bilgileri

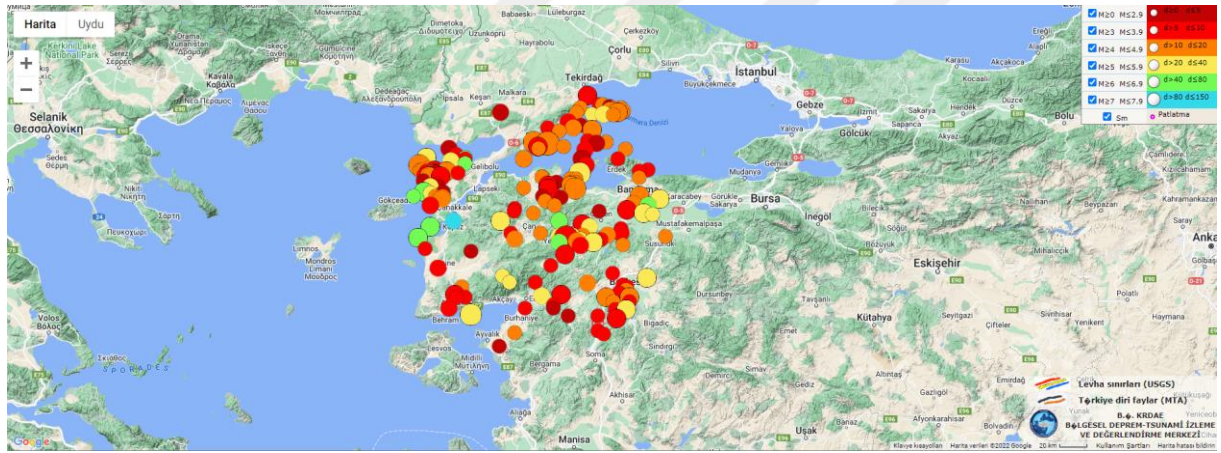
Şekil 3.21’deki değerler KRDAE’nin veri tabanına girildiğinde büyüklüğü 4.0 ile 10.0 arasında olan toplam 190 adet deprem gerçekleştiği yönünde çıktı alınmıştır. Yine bu liste de tablo haline getirilerek düzenlenmiştir. Veri tabanında büyüklüklerine göre yeniden sorgulama yaptığımızda;

- 4.0-4.4 büyüklükleri arasında 95 adet,
 - 4.5-4.9 büyüklükleri arasında 52 adet,
 - 5.0-5.4 büyüklükleri arasında 23 adet,
 - 5.5-5.9 büyüklükleri arasında 13 adet,
 - 6.0-6.4 büyüklükleri arasında 3 adet,
 - 6.5-6.9 büyüklükleri arasında 2 adet,
 - 7.0-7.4 büyüklükleri arasında 2 adet
- deprem gerçekleştiği görülmektedir.

KRDAE'nin veri tabanından elde edilen deprem bilgileri harita üzerinde büyüklüklerine göre gösterilmiştir (Şekil 3.22, Şekil 3.23).



Şekil 3.22. KRDAE'nin veri tabanında çalışma alanının Türkiye perspektifinden depremsel görünümü



Şekil 3.23. KRDAE'nin veri tabanında çalışma alanında gerçekleşen 1900 yılı sonrası depremler

Tablo 3.2. AFAD ve KRDAE verileri arasında kıyaslama

Büyüklik	AFAD	KRDAE
$4.0 \leq M < 4.5$	77	95
$4.5 \leq M < 5.0$	33	52
$5.0 \leq M < 5.5$	16	23
$5.5 \leq M < 6.0$	0	13
$6.0 \leq M < 6.5$	5	3
$6.5 \leq M < 7.0$	0	2
$7.0 \leq M < 7.5$	2	2
TOPLAM:	133	190

Görüldüğü üzere toplam deprem sayısı ve tüm aralıklardaki ayrı ayrı deprem sayıları birbirinden farklıdır. AFAD veri tabanındaki toplam deprem sayısı KRDAE'deki verilere göre daha azdır. Bununla beraber birçok büyüklük aralığında da KRDAE verilerindeki deprem sayılarının yüksek olduğu görülmektedir. Ancak tez çalışması kapsamında, iki liste değerlendirilip en doğru deprem geçmişinin çıkarılmasıyla ilenlenmiştir.

KRDAE ve AFAD veri tabanlarından ayrı ayrı elde edilen deprem kayıtları mukayese edilerek sınırlar dahilinde kalan sismik hareketlilik listelenmiş, toplam 192 adet deprem kaydına ulaşılmıştır. Bu depremler 4.0 ve üzeri büyüklükteki depremleri kapsamaktadır. Ancak gerçekleşen depremlerin büyüklükleri aynı cinsten verilmediği için dönüştürme işlemi yapılarak tüm sarsıntıların M_w cinsinden büyüklüğünün saptanması sağlanacaktır. Aksi taktirde farklı büyüklük kavramları üzerinden yapılan bir hesaplama; sonucu ciddi anlamda etkileyebilir, yanlış tahminlerin oluşmasına sebebiyet verebilir. Bunun için Marmara Bölgesi'nde gerçekleşen depremlerin özelinde ortaya konulan yerel magnitüd büyüklüklerinin (M_l) moment magnitüd (M_w) türüne dönüşüm formülü kullanılmıştır (Şahin vd., 2018).

$$M_w = 0,8536 \times M_l + 0,7627 \quad (3.1)$$

Aletsel depremler listesi homojen bir yapıya büründürüldükten sonra tekrar düzenlenerek yalnızca M_w cinsinden büyüklükler listelenmiştir.

1900 yılı sonrası gerçekleşen ve büyüklüğü 4.0 M_w üzerinde seyreden depremlerin tamamı ana şok niteliği taşımayıp, bir kısmı öncü ve artçı deprem rolü üstlenmektedir. Olasılıksal sismik tehlike analizi yapılırken deprem yoğunluklarının yanlış lokasyonlarda birikerek diğer sismik aktivitelerin önüne geçmesi istenmemektedir. Dolayısıyla deprem kayıtları, kümesizleştirme işlemine tabi tutularak öncü ve artçı sarsıntılardan arındırılıp ana şoklardan ibaret bir liste haline dönüştürülmelidir. Çalışma kapsamında kullanılacak olan Poisson modeli de aynı zamanda deprem büyüklükleri için bağımsızlık şartı getirmekte, artçı ve öncü sarsıntıların ortadan kaldırılmasını gerektirmektedir.

Ana şok depremlerinin öncesi ve sonrasında gerçekleşen ikincil depremler, zamana ve konuma bağlı olarak esas sarsıntı dolaylarında benzer yayılım sunarlar. Dolayısıyla öncü ve artçı depremlerin belirlenmesinde birbirinden farklı bir yöntem izlenmemektedir. Bu yöntemler dahilinde ana şok tayini yapılan sarsıntıların, herhangi bir fark gözetilmeksizin tümünün aynı öncü ve artçı depremlere sebep olduğu kabul edilmektedir.

Katalogda listelenen herhangi bir sismik aktivitenin ikincil olup olmadığının anlaşılması için o depreme ait büyüklüğe atfedilmiş mesafe ve zamana bağlı kısıtlar dahilinde büyüklüğü kendisinden daha çok olan bir sarsıntının varlığı incelenmektedir. Şayet büyüklüğüne göre sınırlandırılan zaman ve mesafe kısıtında incelenen sarsıntının kendisinden daha büyük bir deprem gözlenmişse o deprem, kendisinden büyük olan depremin öncesi veya sonrasında gerçekleşmesine göre öncü veya artçı olarak tanımlanabilmektedir. Yine de 6.0 magnitüdünden daha büyük depremlerin tamamı ikincil deprem olarak kabul edilmemekte, ana şok niteliği taşımaktadır (Deniz ve Yüccemen, 2005).

Çalışma kapsamında değerlendirilen mesafe ve zamana bağlı parametreler ışığında öncü ve artçı depremlerin belirlenmesi kıstasları Tablo 3.3'te sunulmaktadır. Arada kalan deprem büyüklüklerine ilişkin parametreler ise interpolasyon ile saptanmıştır.

Tablo 3.3. Ana şokların belirlenmesi için verilen mesafe-zaman kıstasları
Kaynak: (Deniz ve Yüccemen, 2005)

Magnitüd	Mesafe (km)	Zaman (gün)
4.5	35.5	42
5.0	44.5	83
5.5	52.5	155
6.0	63.0	290
6.5	79.4	510
7.0	100.0	790
7.5	125.9	1326
8.0	151.4	2471

192 adet ayıklanmamış depremden oluşan katalog, kümesizleştirme işlemi neticesinde 127'ye düşürülmüştür (EK-1). Öncü ve artçı depremlerin ana şoklara oranı oldukça düşük görünse de aynı çalışma, son yıllarla kısıtlı kalacak şekilde yapıldığında ikincil depremlerin oranının arttığı tespit edilecektir. Sebebi ise geçmiş yıllarda küçük depremlere ve dolayısı ile ikincil sarsıntılara duyarlılık azdır.

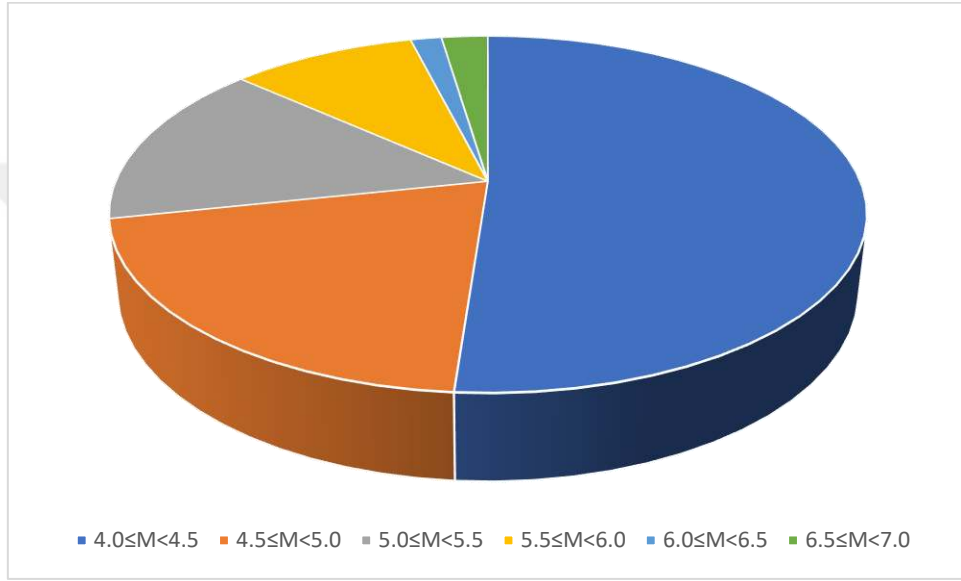
Kümesizleştirme işlemi neticesinde belirlenen 127 ana şok sarsıntısının;

- 65 tanesinin 4.0-4.4 büyüklükleri arasında,
- 26 tanesinin 4.5-4.9 büyüklükleri arasında,

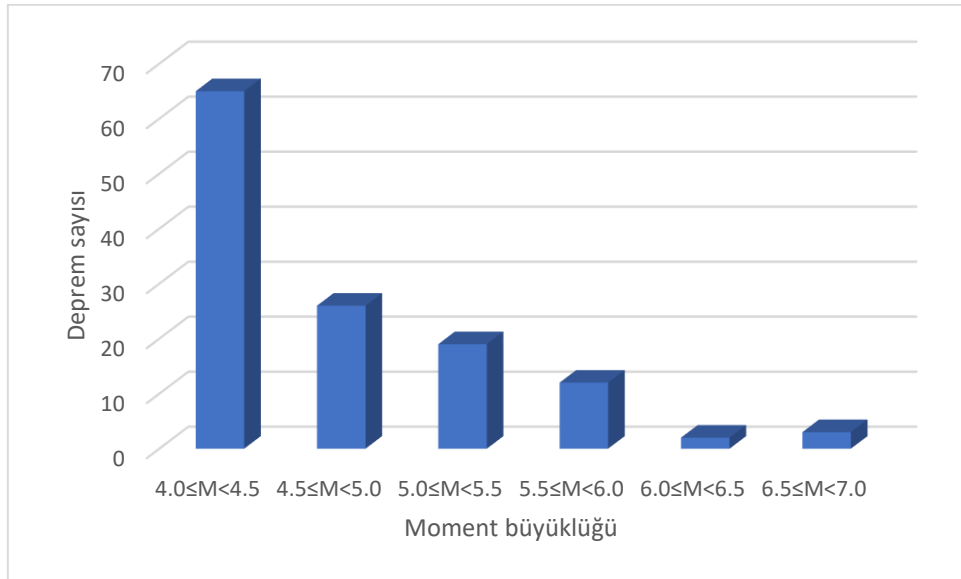
- 19 tanesinin 5.0-5.4 büyüklükleri arasında,
- 12 tanesinin 5.5-5.9 büyüklükleri arasında,
- 2 tanesinin 6.0-6.4 büyüklükleri arasında,
- 3 tanesinin 6.5-6.9 büyüklükleri arasında,

olduğu görülmektedir (Şekil 3.24, Şekil 3.25 ve

Tablo 3.4).



Şekil 3.24. Biga’da gerçekleşen aletsel dönem depremlerinin magnitüde göre dağılımı



Şekil 3.25. Aletsel dönem depremlerinin magnitüde göre sayısal göstergeli dağılım grafiği

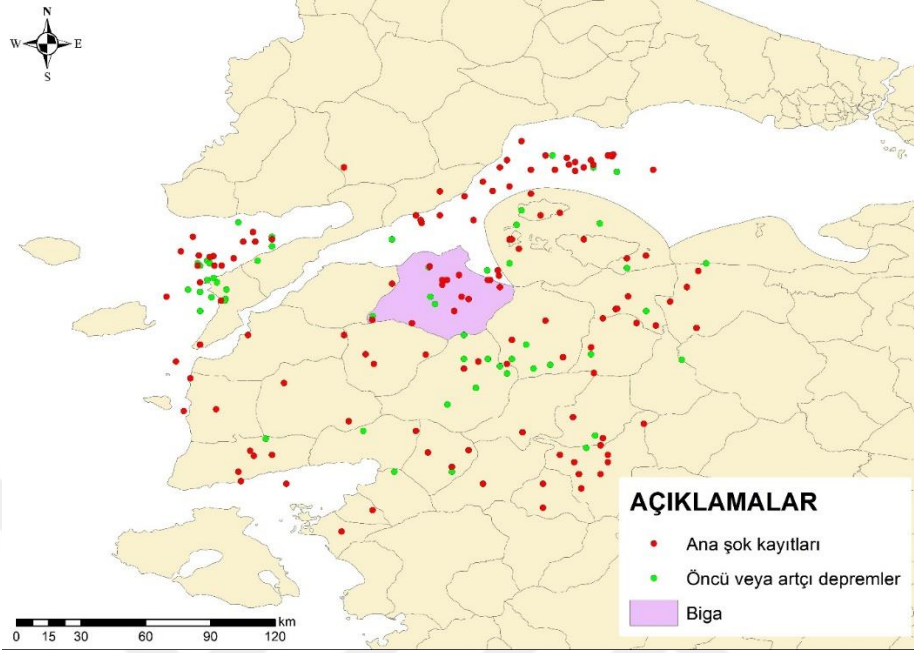
Tablo 3.4. Çalışma alanındaki depremlerin moment magnitudüne göre sayısı

Moment büyüklüğü	Deprem sayısı
$4.0 \leq M < 4.5$	65
$4.5 \leq M < 5.0$	26
$5.0 \leq M < 5.5$	19
$5.5 \leq M < 6.0$	12
$6.0 \leq M < 6.5$	2
$6.5 \leq M < 7.0$	3
TOPLAM	127

Hesaplamalar sonucu elde edilen ana şok ve öncü/artçı deprem verileri, “ArcGis” adlı bilgisayar uygulaması üzerinde haritalandırılarak derlenmiştir (Şekil 4.1). Bu derleme sonucunda ana şokların ve öncü/artçı depremlerin, sahada nasıl bir dağılım gösterdiğini kavramak mümkün olmaktadır.

4. BİGA’NIN OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ

4.1. Moment Dağılım Analizi



Şekil 4.1. Biga ilçe merkezi orijinli, 100 km yarıçaplı alanda tespit edilen ana şok ve ikincil sismik aktivite

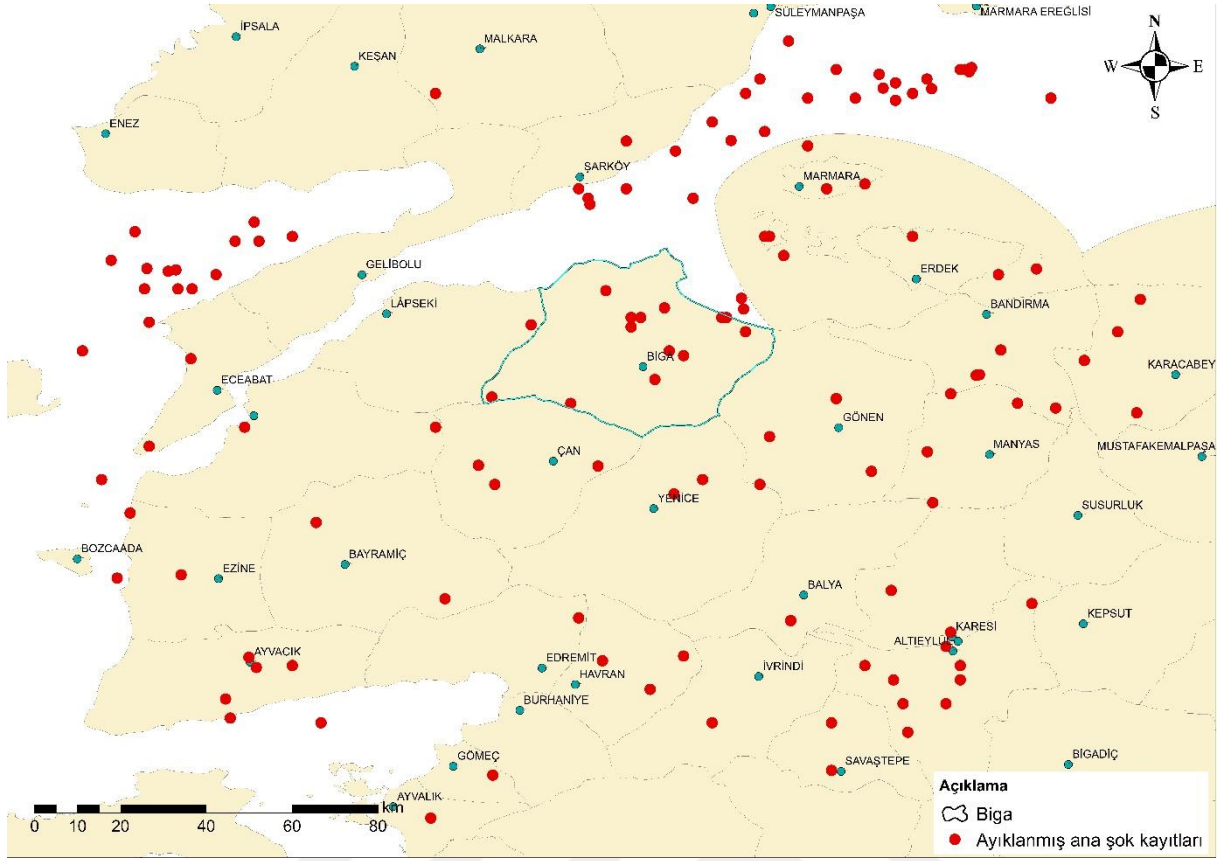
Çalışma sahası içerisinde gerçekleşen ana şok dalgalarının fay mekanizmasına bağlı fakat doğrudan faylanma üzerinde bulunmayan bölgelerde yayıldığı görülmektedir. Özellikle KAFZ’nın son segmentleri olan Kumburgaz Segmenti’nin batı kesimleri (100 km yarıçaplı alanda kalan kısmı), Tekirdağ ve Saros Segmentleri’nin tamamında yayılım gösteren ana şok dalgaları tespit edilmektedir. Ganos Segmenti’nde ise kayda değer bir sismik aktivite görülmediği gibi ikincil deprem kaydına dahi rastlanmamaktadır. Elbette Şekil 4.1’de görülen deprem dağılımının 4.0 büyüklüğündeki ve üzerindeki sismik veri ile kıyaslı olduğu göz ardı edilmemelidir.

1942 yılının 16 Haziran tarihinde 5.7 büyüklüğünde bir depremle sarsılan Tekirdağ Segmenti, 5.0 büyüklüğünün üzerinde bundan başka üç adet daha deprem üreterek yüzey kırığını oluşturmuş olmasına rağmen sonraki yıllarda 4.5 dolaylarında çok sayıda deprem üretmiştir. Ancak hali hazırda Tekirdağ Segmenti kaynaklı bir yıkıcı deprem beklenmemektedir. Kumburgaz Segmenti’nin ise çok küçük bir kısmının çalışma sahası içerisinde kalması, teorik açıdan ele alındığında bu segmentin de yıkıcı yönde tehlike arz etmediğini göstermektedir. Ancak unutulmamalıdır ki “Büyük Marmara Depremi” olarak adlandırılan ve Marmara Bölgesi’nde bulunan yerleşim yerlerinde ciddi can ve mal kaybına

sebeplere olacağı düşünölen sismik aktivite kaynakları KAFZ'a bağı olan Adalar, Avcılar ve Kumburgaz segmentleridir. Çalışma kapsamında temel olarak alınan 100 km yarıçaplı dairesel alan değerlendirmesi dışında bu gibi tehlikeleri de göz ardı etmemekte fayda görölmektedir.

KAFZ'ın son segmenti olan Saros Segmenti'nde, diğer segmentlerden bağımsız bir senaryo su yüzüne çıkmaktadır. Aletsel dönem içerisinde yüzey kırığı oluşturmamış olan bu segment, tıpkı yukarıda sayılan ve Marmara Denizi içerisinde ilerleyen üç segment gibi kırılım eğilimindedir. Şekil 4.1 incelendiğinde, segment üzerinde biriken stresin dağılımı da kabaca olsa da analiz edilebilmekte, birtakım değerlendirmelere olanak sağlayabilmektedir. Segment üzerinde sismograflarla analitik veri alınabilmiş, büyüklüğü 4.0'ın üzerinde olan 15 adet ana şok görölmektedir. Ana şoklara bağı olarak öncü ve artçı çok sayıda aktivite de göz önünde bulundurulduğunda segmentin hareketliliği dikkat çekmektedir. 6 Haziran 2003 tarihinde segment üzerinde gerçekleşen 5.7 moment magnitüdüne sahip deprem, aletsel dönemde bu segment için gözlemlenmiş en büyük sismik aktivite olmakla beraber fayın üreteceği pik moment büyüklüğünü sağlamamaktadır. "Çalışma Sahasındaki Sismik Kaynaklar ve Karakterleri" başlığı altında, söz konusu segmentin pik magnitüd momenti 7.1 olarak hesap edilmektedir. Bu veriler ışığında Saros Segmenti'nin de Biga ilçe merkezi açısından ciddi bir tehdit unsuru olduğu söylenebilir.

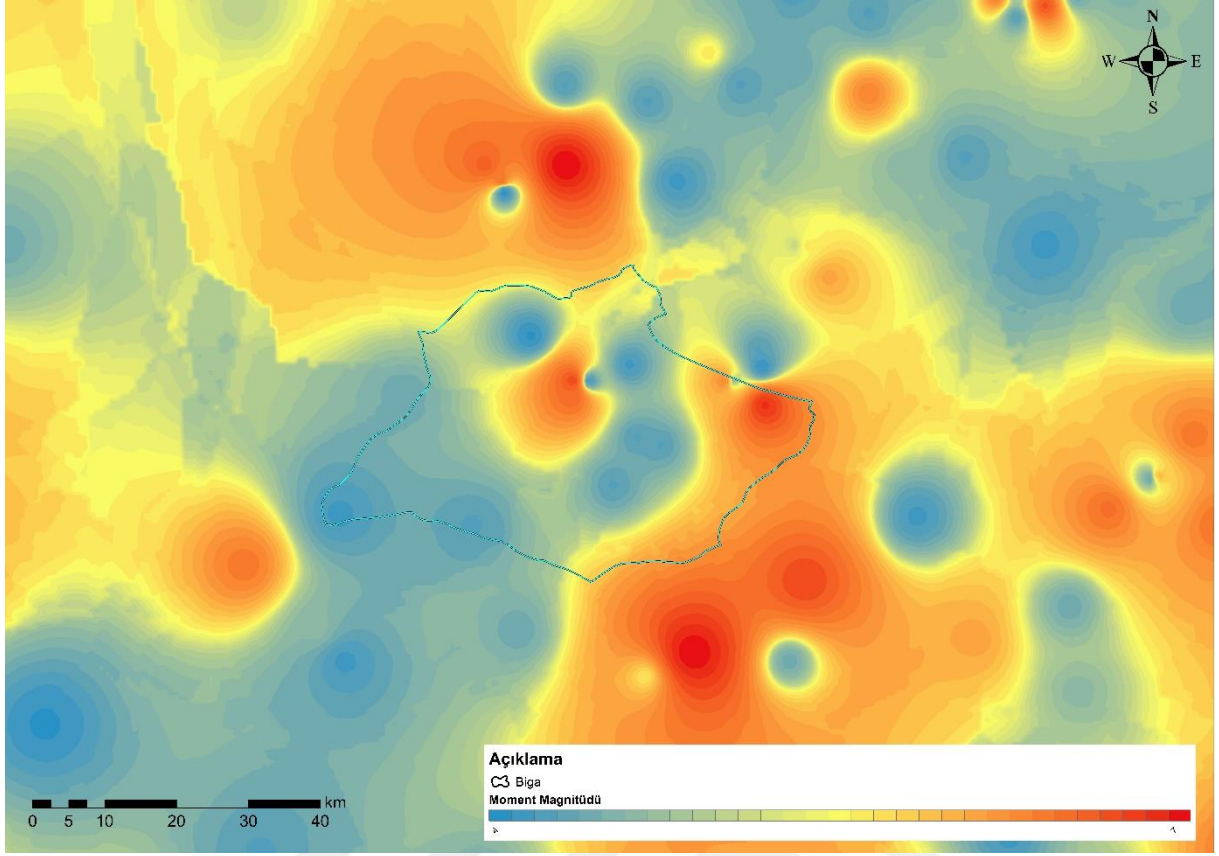
KAFZ segmentleri kadar yoğun ve belirgin olmasa da ana şokların belirginleştiği Biga-Çan Fay Zonu ve Yenice-Gönen Fayı da dikkat çekmektedir. Biga ilçe merkezi yakınlarından başlayıp Çan içlerine kadar ilerleyen deprem dağılımı, fay hattını belirgin kılsa da aletsel dönem içerisinde bu hat üzerinde henüz yüzey kırığı oluşmamış durumdadır. Biga-Çan Fay Zonu, yine sismik kaynakların pik momenti hesabında elde edilen sonuca göre 7.0 büyüklüğünde deprem üretme potansiyeli taşımaktadır. 1900 yılından günümüze değin henüz yıkıcı bir etki yaratmış sismik aktivite görölmemiş olması, bu fayın da yakın bir gelecekte Biga ilçe merkezi için ciddi bir tehdit unsuru haline geleceği sonucunu yaratmaktadır. Fayın ilçe merkezine olan en yakın mesafesinin 3,4 km olması ve yerleşim alanının zemin yapısının mukavemetsizliği bir arada ele alındığında bu tehdit en belirgin risk halini almaktadır.



Şekil 4.2. Çalışma alanı içerisinde, aletsel dönem sürecinde gerçekleşen deprem kayıtlarının ikincil depremlerden arındırılmış ana şok deprem haritası

Depremlerin yoğunlaştığı bir diğer kırık ise Yenice-Gönen Fay Zonu'dur. KAFZ kadar yoğunluk dikkat çekmese de fay uzunluğunca boydan boya yayılan ana şok kayıtları, sismik kaynağın çizgisel rotasını gözler önüne sermektedir. Balıkesir'e bağlı Gönen ilçesi yakınlarından başladığı düşünülse de Manyas ilçesinin yerleşim alanına kadar uzanan bir kırığa sahip olan fay, Gönen ilçe merkezine doğru kuzeybatı yönlü uzanımını bu noktadan itibaren güneybatı yönünde çevirerek Çanakkale'ye bağlı Yenice ilçesine yönelmektedir. Yenice ilçesinin yerleşim alanı Kaz Dağları'nın yükseltili bölgelerindeki yüksek ovalara kurulduğu için ilçe merkezi de sırtını ani yükselen dağlık alana yaslamaktadır. İlçe merkezinin güneyinde beliren bu ani kot farkının bulunduğu hat, Gönen'den uzanan fayın üzerindedir. Yenice-Gönen Fayı, Yenice ilçe merkezini de geçerek ani kot farkı çizgiselliği boyunca uzanmakta, Kaz Dağları'nın yüksek rakımlı bölgelerine kadar ilerledikten sonra sona ermektedir (Şekil 4.3).

Çanakkale Zaferi'nin yıldönümü olan 18 Mart 1953 yılında talihsiz bir tesadüfle Yenice-Gönen Fayı 6.8 moment magnitüdü üreterek kırılmıştır. Deprem, bölgedeki pek çok yerleşim alanında ölümlere ve yıkımla sonuçlanan yapısal hasarlara neden olmuştur. Ancak 1953 yılında aletsel yöntemlerle şahit olunan bu kayıt, Yenice-Gönen Fayı'nın yüzey kırığını



Şekil 4.4. Çalışma sahası içerisinde aletsel dönemde kaydedilmiş depremlerin ürettiği moment magnitüdlerinin arazide zeminden bağımsız dağılımı

Aletsel dönem içerisinde (1900 yılı sonrası) Biga ilçe merkezli, 100 km yarıçaplı çalışma alanında gözlemlenen deprem kayıtları, 3.1 bağıntısı yardımı ile M_w cinsine çevrilmiştir. Aynı boyuta çevrilen depremler “ArcGis” adlı bilgisayar uygulaması üzerinden konumları ve büyüklükleri baz alınarak interpolasyon işlemine tabi tutulmuş ve Şekil 4.4’teki dağılım elde edilmiştir. İlçe sınırları harita üzerinde işaretlenerek yaşanan depremlerin bu sınırlar içerisindeki etkisi ortaya konmuştur.

Yapılan harita çalışmasına göre yalnızca deprem büyüklüğü ile değerlendirme yapıldığında ilçe sınırları dahilinde bu büyüklüklerin yüksek oranda sönümlendiği dikkat çekmektedir. Ancak bununla beraber yer yer 6.0 büyüklüğünün aşıldığı etkiler görülmekte, ilçe sınırlarının doğu bloklarında 7.0’a yaklaşıldığı anlaşılmaktadır. Biga-Çan Fay Zonu, Sinekçi Fayı ve Sarıköy Fayı’nın bu bloktan geçiyor olması ve söz konusu fayların aletsel dönem içerisinde bölge nazarında büyük depremler üretmiş olması, harita üzerindeki sonucun açıklaması niteliğindedir.

4.2. Sismik Dağılımın Belirlenmesi

Probabilistik yöntemlerle deprem tehlikesinin belirlenebilmesi için bir metodun seçilmesi ve o metod ışığında hesaplamaların gerçekleştirilerek sonuca kavuşturulması gerekmektedir. Yöntemin uygulanmasında en sık kullanılan ve dolayısı ile doğruluğu daha yaygın bir şekilde sınanmış olan metod Poisson modelidir. Poisson modeli ile yapılan hesaplamalarda sismik aktivitenin ortam ve zamana bağlılığı göz ardı edilmektedir (Kayabalı, 1995).

Biga ilçesinin depremselliğinin belirlenmesinde de Poisson modeli değerlendirilmiştir. Bu model, belirli bir zaman aralığında depremlerin büyüklük aralıklarına göre gerçekleşme olasılığı için;

$$P_n(t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!} \quad (4.1)$$

bağıntısını önermektedir. Burada $P_n(t)$, olasılık değerini; n , deprem sayısını; λ , ortalama deprem sayısını simgelemektedir. Bu model doğrultusunda ilerlemek için gerekli verilerin hesabının önceden yapılması gerekmektedir. İlk aşama olarak çalışma sahası içerisinde gerçekleşmiş olan depremlerin frekans ilişkilerinin tespiti yapılmıştır (Tablo 4.1).

İleride gerçekleşebilecek sismik aktivitelerin büyüklüklerinin hesap edilmesi için Gutenberg ve Richter, çalışılacak alan içerisinde daha önce oluşmuş tüm sismik aktiviteleri göz önünde bulunduran istatistiğe dayalı bir yöntem sunmuşlardır. Yöntemin ilk aşamasında aletsel olarak tespit edilebilmiş geçmiş depremlerin istatistiksel olarak tasnifi yapılmaktadır. İzlem süresi içerisinde oluşmuş ve belirli bir büyüklüğün üzerinde olan deprem magnitüd değerleri küçükten büyüğe olmak üzere sıralanmaktadır. Önceden belirlenmiş magnitüd aralıklarında aletle saptanabilmiş depremlerin sayısı belirlenerek her büyüklük aralığında ve üzerinde kaç depremin gerçekleştiği kümülatif olarak belirlenir. Kümülatif deprem sayıları ile magnitüd aralığına ait ortalama büyüklük değerleri grafik üzerinde işaretlenerek bu noktalar arasında yakınsak eğri çizilerek magnitüd-frekans ilişkisine ait eğri denklemi ortaya çıkarılır. Eğriye ait denklem,

$$\log N = a - bM \quad (4.2)$$

bağıntısı şeklinde ortaya çıkmaktadır (Gutenberg ve Richter, 1944). Bu denklemde gösterilen “N” deprem adedini; “a” izlem süresi, sahanın büyüklüğü ve izlem süresince gerçekleşen sismisite ile ilişik parametreyi; “b” tektonizmaya bağlı değişken parametreyi; “M”

ise deprem magnitudünü temsil etmektedir. Bu çalışma kapsamında da Gutenberg ve Richter'in önerdiği yöntem kullanılmıştır.

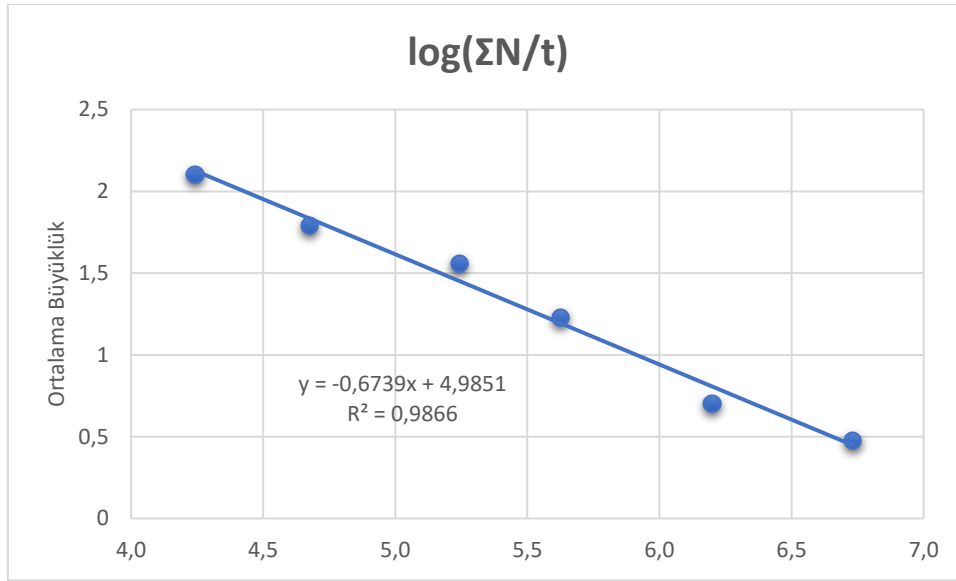
Denklemden ifade edilen “a” ve “b” parametrelerinin hesaplanarak işlemlere devam edilebilmesi için her büyüklük aralığında izlem süresi içerisinde gerçekleşmiş olan depremlerin sayısının, büyüklük aralığı sınırlarında ortalama magnitudünün ve kümülatif deprem sayısının belirlenmesi ve her magnitud aralığı için ayrı ayrı kümülatif deprem sayısının logaritmasının alınması gerekmektedir. Bu değerler Tablo 4.1 üzerinde hesaplanarak gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Deprem magnitud ortalama değerleri ile frekansları
(ΣM : Magnitud aralıkları, N: Deprem sayısı, M_{ort} : Ortalama büyüklük, ΣN : Depremlerin kümülatif sayısı)

ΣM	$4.0 \leq M < 4.5$	$4.5 \leq M < 5.0$	$5.0 \leq M < 5.5$	$5.5 \leq M < 6.0$	$6.0 \leq M < 6.5$	$6.5 \leq M < 7.0$
N	65	26	19	12	2	3
M_{ort}	4.2	4.7	5.2	5.6	6.2	6.7
ΣN	127	62	36	17	5	3
Log (ΣN)	2,1038	1,7924	1,5563	1,2304	0,6990	0,4771

Kümülatif toplam sonucuna göre Biga ilçe merkezinin 100 km yarıçaplı mevziisinde kalan sınır bölge içinde aletsel yolla tespit edilebilmiş ve ikincil depremlerinden ayıklanmış olan 127 depremin 62'si 4.5 moment magnitudünden büyük, 36'sı 5.0 moment magnitudünden büyük, 17'si 5.5 moment magnitudünden büyük, 5'i 6.0 moment magnitudünden büyük ve yalnızca 3'ü 6.5 moment magnitudünden büyüktür.

Tablo 4.1 kapsamında hesap edilen kümülatif deprem sayılarının logaritması (Log (ΣN)) ile 127 depremin büyüklük aralıkları içerisindeki ortalama değerleri (M_{ort}) arasında lineer regresyon yapıldığında Gutenberg ve Richter'in önerdiği bağıntıdaki a ve b parametreleri bulunmaktadır. Parametrelerin belirlenmesi için görüldüğü üzere büyüklüğü 4.0 M_w üzerindeki depremler seçilmiş, bu depremlerin logaritmik değerlerine karşılık gelen ortalama aralık eğrisi Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Biga'ya ait homojenize edilmiş deprem kataloğunun magnitüd-frekans ilişkisi

Şekil 4.5'teki magnitüd-frekans ilişkisi eğrisinin denklemi,

$$y = -0,6739x + 4,9851 \quad (4.3)$$

olarak analiz edilmiştir. Aynı zamanda grafik sonucu olarak regresyon uyumluluk parametresi olan R^2 , 0,9866 şeklinde hesap edilmiş; buna dayanarak analizin uyumluluğunun $\%98,66 \approx \%99$ olduğu görülmüştür.

4.3. Olasılık Değerlerinin Saptanması

Denklem 4.3'e dayanarak Gutenberg-Richter yöntemi kapsamında regresyon katsayıları olan "a" değeri 4,9851, "b" değeri ise 0,6739 olarak bulunmuştur. Bağintıya ait regresyon katsayıları, tüm sismik kaynakların birbirinden ayrı tektonik karakterde olması sebebi ile değişik değerler almaktadır. Çalışma sahasının büyüklüğü, izlem süresi ve bu süre içerisindeki sismik faaliyet yoğunluğuna bağlı olan "a" katsayısı "ortalama yıllık sismik aktivite indeksi" olarak ifade edilmektedir. Sahanın tektonik karakterine göre değişiklik gösteren "b" katsayısı da "sismotektonik parametre" şeklinde tanımlanmaktadır (Tabban ve Gencoğlu, 1975). Bulunan regresyon katsayıları sayesinde belli büyüklükteki depremlerin, belirli periyot aralıklarında gerçekleşme olasılığı hesap edilebilmektedir. İşleme devam edilebilmesi için gerekli olan deprensellik parametreleri,

$$a' = a - \log(b(\ln 10)) \quad (4.4)$$

$$a_1 = a - \log T \quad (4.5)$$

$$a'_1 = a - \log T \quad (4.6)$$

denklemleri yardımı ile hesaplanmaktadır (Işık, 2013). Verilen bağıntılarda çalışmanın izlem süresi (T) 122 yıl olmak üzere “a” ve “b” katsayıları yerine yazıldığında Tablo 4.2’deki değerler elde edilmektedir.

Tablo 4.2. Hesaplanan depremsellik parametreleri

a	b	a'	a ₁	a' ₁
4,9851	0,6739	4,7943	2,8987	2,7079

Herhangi bir büyüklükteki veya daha büyük depremlerin yıllık ortalama gerçekleşme sayıları 4.7 ve 4.8 bağıntıları yardımı ile bulunabilmektedir (Alptekin, 1978).

$$n(M) = 10^{a'_1 - bM} \quad (4.7)$$

$$R(M) = 1 - e^{-n(M)D} \quad (4.8)$$

Burada “n(M)” belirli magnitüdde bir depremin yıllık gerçekleşme oranını, “R(M)” belirli magnitüdde bir depremin istenen yıl içerisinde gerçekleşme olasılığını, “D” ise göz önünde bulundurulmuş süreyi simgelemektedir. Bağıntılar, çalışma verilerimiz doğrultusunda çözüldüğünde Tablo 4.3’te sunulan değerler elde edilmiştir. Bu değerler magnitüd aralıkları detaylandırılarak hesap edilmiş olsa da 4.0 ile 7.0 M_w arasında, 0.5 M_w büyüklük artışı aralığında değerlendirmelerle çalışmaya devam edilmiştir. 0.1 M_w büyüklük artışı için değerlendirme yapılmasının sebebi, deprem riskinin detaylı olarak sunulmak istenmesidir.

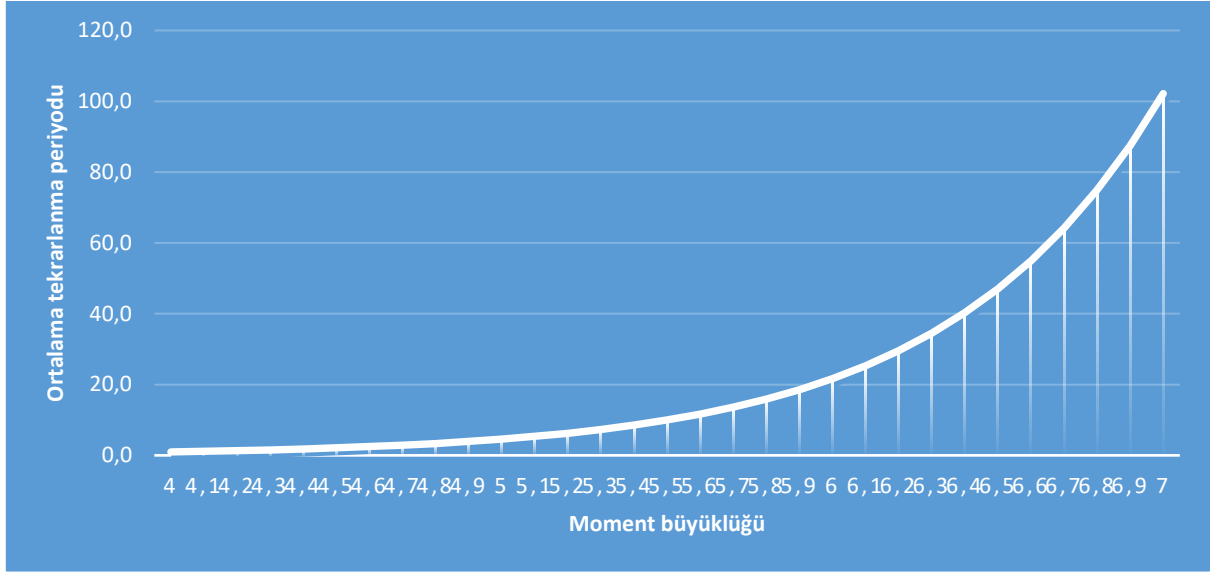
Tablo 4.3. Çalışma sahasının olasılık değerleri ve dönüşüm periyotları

(R_1 : 1 yıllık periyot, R_{10} : 10 yıllık periyot, R_{30} : 30 yıllık periyot, R_{50} : 50 yıllık periyot, R_{100} : 100 yıllık periyot, T_r : Dönüşüm süresi (yıl), n(M): Yıllık gerçekleşme oranı, M_w : Moment magnitüdü)

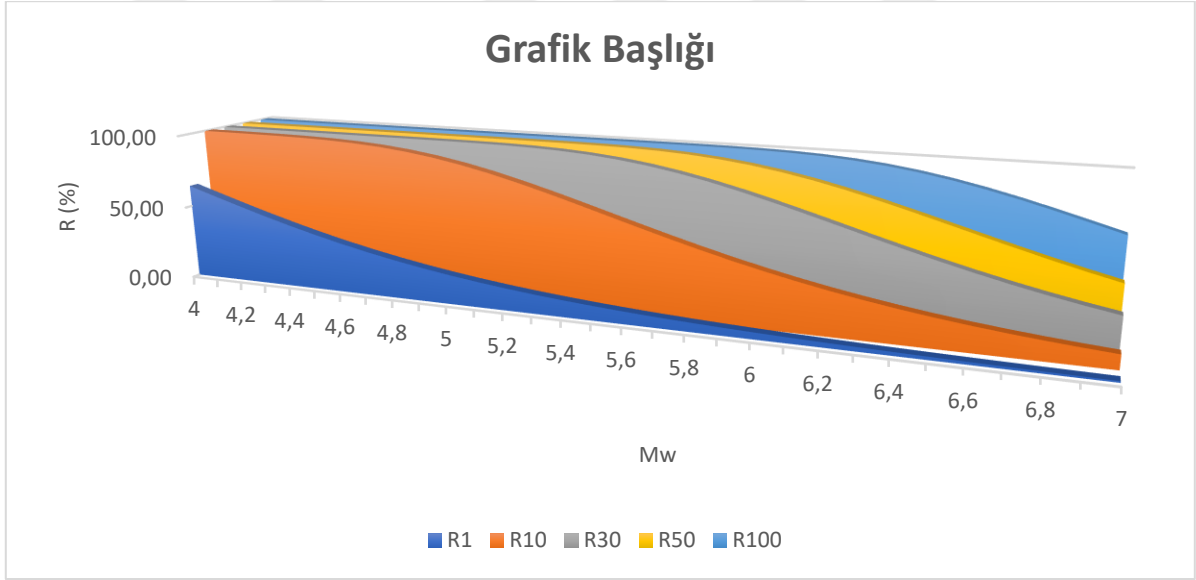
M_w	n(M)	Yıllara Bağlı Sismik Risk					T_r
		R_1	R_{10}	R_{30}	R_{50}	R_{100}	
4.0	1,0288	0,6426	0,9999	1	1	1	1,0
4.1	0,8809	0,5856	0,9998	1	1	1	1,1
4.2	0,7543	0,5297	0,9995	1	1	1	1,3
4.3	0,6459	0,4758	0,9984	1	1	1	1,5
4.4	0,5531	0,4248	0,9960	1	1	1	1,8
4.5	0,4736	0,3772	0,9912	0,9999	1	1	2,1
4.6	0,4056	0,3334	0,9827	0,9999	1	1	2,5
4.7	0,3472	0,2933	0,9689	0,9999	1	1	2,9
4.8	0,2973	0,2572	0,9489	0,9998	1	1	3,4
4.9	0,2546	0,2248	0,9216	0,9995	0,9999	1	3,9

5.0	0,2180	0,1959	0,8869	0,9986	0,9999	1	4,6
5.1	0,1867	0,1703	0,8453	0,9963	0,9999	1	5,4
5.2	0,1598	0,1477	0,7978	0,9917	0,9997	1	6,3
5.3	0,1369	0,1279	0,7455	0,9835	0,9989	0,9999	7,3
5.4	0,1172	0,1106	0,6902	0,9703	0,9971	0,9999	8,5
5.5	0,1003	0,0955	0,6334	0,9507	0,9934	0,9999	10,0
5.6	0,0859	0,0823	0,5765	0,9240	0,9864	0,9998	11,6
5.7	0,0736	0,0709	0,5208	0,8899	0,9747	0,9994	13,6
5.8	0,0630	0,0611	0,4674	0,8489	0,9571	0,9982	15,9
5.9	0,0539	0,0525	0,4169	0,8017	0,9326	0,9954	18,5
6.0	0,0462	0,0451	0,3699	0,7498	0,9007	0,9901	21,7
6.1	0,0395	0,0388	0,3267	0,6947	0,8616	0,9808	25,3
6.2	0,0339	0,0333	0,2873	0,6379	0,8161	0,9662	29,5
6.3	0,0290	0,0286	0,2517	0,5810	0,7654	0,9449	34,5
6.4	0,0248	0,0245	0,2199	0,5252	0,7110	0,9165	40,3
6.5	0,0213	0,0210	0,1915	0,4716	0,6546	0,8807	47,0
6.6	0,0182	0,0180	0,1664	0,4208	0,5976	0,8381	54,9
6.7	0,0156	0,0155	0,1443	0,3735	0,5413	0,7896	64,2
6.8	0,0133	0,0133	0,1250	0,3299	0,4869	0,7368	74,9
6.9	0,0114	0,0114	0,1080	0,2903	0,4353	0,6811	87,5
7.0	0,0098	0,0097	0,0932	0,2544	0,3869	0,6242	102,2

Tablo 4.3'te gösterilen, " R_t " M_w büyüklüğündeki depremin t süresi içerisinde gerçekleşme olasılığını, " T_r " ise yıl bazında ortalama tekrarlanma periyodunu simgelemektedir. Örneğin 5.6 büyüklüğünde bir depremin döngüsü ortalama 11,6 yıldır. Hesaplama zamanından 50 yıl sonraki süreç içerisinde gerçekleşme olasılığı %98,64'tür. Dönüşüm periyotları ve belirlenen sürede gerçekleşme olasılıklarına dair oluşturulan grafikler Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.6. Çeşitli büyüklüklerde depremlere ait tekrarlama periyotları



Şekil 4.7. Biga ilçesine ait sismik risk grafiği

Grafiklerde bir kez daha görüldüğü gibi 4.0 M_w ve üzeri büyüklükteki bir depremin her yıl yaşanma olasılığı %64 dolaylarında iken en büyük değer olarak seçilen 7.0 M_w bir depremin ise her yıl yaşanma olasılığı %0,97 dolaylarındadır. Başka bir bakış açısı ile hesap tarihinden sonraki 100 yıl içerisinde 5.5 M_w ve daha küçük büyüklükteki depremlerin gerçekleşmesinin kesin, 5.6 – 6.4 M_w büyüklük aralığındaki depremlerinse 100 yıl içerisinde gerçekleşme olasılığının %90'ın üzerinde olduğu söylenebilmektedir.

4.4. Çalışma Sahasındaki Sismik Kaynaklar ve Karakterleri

Merkez noktası ve 100 km’lik yarıçapıyla belirlenen çalışma sahasında yer alan aktif fayların listesi, MTA bünyesinde Yenilenmiş Diri Fay Haritaları’ndan yararlanılarak çıkarılmıştır. Çıkarılan listede fay uzunlukları ve orijin noktasına mesafesi incelenerek üretebileceği en yüksek deprem büyüklüğü belirlenmiş, buna bağlı olarak kaya, toprak ve gevşek zeminler için ayrı ayrı ivme değerleri hesaplanmıştır (Tablo 4.4). Çalışma sahasında 25 adet farklı diri fay tespit edilerek tablolanmıştır (Şekil 4.8). Ayrıca tüm fayların karakteri incelenmiş, zemin büyütme katsayıları için tabloya işlenmiştir.

Tablo 4.4. Biga ilçesi ve 100 km yarıçaplı dairesel dış alanı içerisindeki diri faylar (DA: Doğrultu atımlı fay, NB: Niteliği belirlenmemiş fay, T: Ters fay, N: Normal fay)

Fay No:	Fay Adı	Uzaklık (km)	Fay uzunluğu(km)	Karakteri
1	KAFZ - Saros Segmenti	72,8	56	DA
2	KAFZ - Ganos Segmenti	51,7	109	DA
3	KAFZ - Tekirdağ Segmenti	67,7	42	DA
4	Karabiga Fayı	18,1	18,2	NB
5	Ortaburun Sırtı	15,2	5,6	NB
6	Biga-Çan Fay Zonu	3,4	44,9	DA
7	Yaykın Çizgiselliği	12,8	14,5	NB
8	Sarıköy Fayı	14,7	65,5	DA
9	Sinekçi Fayı	7,2	32,6	T
10	Gündoğan Fayı	24,7	19,7	DA
11	Edincik Fayı	43,1	29,9	DA
12	Bandırma Fayı	69,2	32,1	NB
13	Karacabey Fayı	91,1	25,9	NB
14	Mustafakemalpaşa Fayı	92,8	35,8	DA
15	Manyas Fay Zonu	50	32,7	DA
16	Akçapınar Fayı	31,4	18,2	NB
17	Yenice Gönen Fayı	31,7	86,5	DA

18	Balıkesir Fayı	72,8	65,2	DA
19	Havran – Balya Fay Zonu	65,6	90,7	DA
20	Şamlı Fayı	58,8	9,5	NB
21	Eybek Çizgiselliği	50,5	42,1	NB
22	Pazarköy Fayı	41,9	35,2	DA
23	Bekten Fayı	25,3	16,3	DA
24	Evciler Fayı	36,3	46,3	DA
25	Edremit Fay Zonu	55,5	74,6	N

Kaynak: (MTA, 2023)

Tespit edilen 25 adet fayın birbirinden bağımsız bir şekilde aktivite göstereceği kabulü öngörülerek çalışma yürütülmüştür. Böylelikle tüm faylar kendi özelinde değerlendirilebilecek, yalnızca kendi uzunluğuna göre bir deprem parametresine tabii tutulabilecektir. Fayların uzunlukları kadar inceleme sahasının merkez noktasına uzaklığı da son derece önemlidir. Fayın üretebileceği maksimum deprem büyüklüğü, uzunluğuna göre belirlenirken zemin türüne göre oluşabilecek yer ivmesi için bu uzaklık değeri de gerekmektedir.



Şekil 4.8. Çalışma alanı içerisindeki diri faylar haritası

Kaynak: (MTA, 2021)

Saha içerisinde kalan fayların bir kısmı aletsel dönem içerisinde (1900 yılından günümüze kadar olan zamanda) enerji boşalımı yapmış, oturmuş kırıklardır. MTA'nın veri tabanında aletsel dönem içerisinde yüzey faylanması oluşturmuş segmentler sarı renk ile ifade edilmiştir (Şekil 4.8). Diri fay haritasında da görüleceği üzere Yenice-Gönen Fayı'nın çok büyük bir kısmı, Manyas Fay Zonu'nun batı uçları, Edremit Fay Zonu'nun körfezde kalan güney uzantısının doğu bloğu ve KAFZ'a ait Ganos Segmenti 1900 yılı sonrasında yüzey kırığı oluşturarak sismik aktivite göstermiş durumdadır. Bu kısımların dışında kalan tüm faylarda son 123 yıl içerisinde yüzey faylanması görülmemiştir.

Fayların Biga ilçe merkezine uzaklığı KRDAE-BDTİM'in sunduğu fay haritası üzerinden yaklaşık olarak hesaplanarak tabloya işlenmiş, zemin büyütme bu uzaklık verisine dayandırılarak hesaplanmıştır (Tablo 4.4, Tablo 4.5). Birbirinden bağımsız şekilde çalışmalarını ön koşulu ile faylarda oluşabilecek en büyük deprem büyüklüğü, fayın karakterine bağlı olarak aşağıdaki bağıntılar yardımı ile hesap edilebilmektedir (Wells ve Coppersmith, 1994).

Doğrultu atımlı faylar için;

$$M_w = 5,16 + 1,12 \times \log(\text{SRL}) \quad (4.9)$$

Normal faylar için;

$$M_w = 4,86 + 1,32 \times \log(\text{SRL}) \quad (4.10)$$

Ters faylar için;

$$M_w = 5 + 1,22 \times \log(\text{SRL}) \quad (4.11)$$

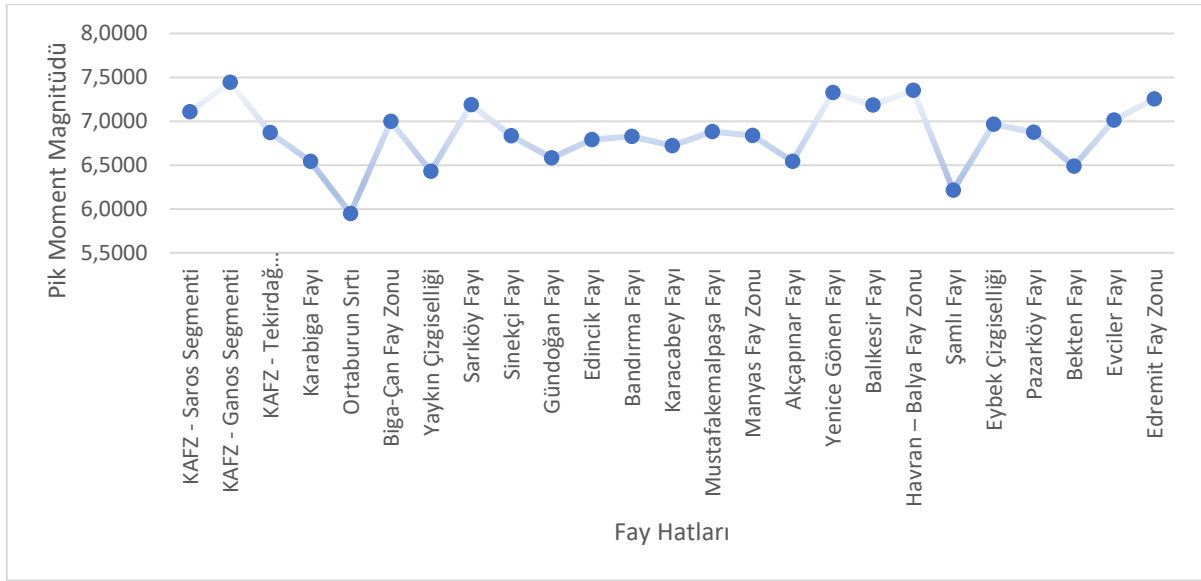
Fay karakterine bağlı olarak önerilen formüllerin yanında tüm fay tipleri için kullanılabilecek genel bir formül de sunulmuştur;

$$M_w = 5,08 + 1,16 \times \log(\text{SRL}) \quad (4.12)$$

Fayların üretebileceği en büyük deprem büyüklüğü, Wells ve Coppersmith'in önerdiği genel formül üzerinden hesap edilmiştir (Tablo 4.5). Formüllerde SRL, yüzey kırığının uzunluğunu simgelemektedir. Ortaya çıkan en büyük moment büyüklüğüne ve fayın Biga ilçe merkezine uzaklığına göre zeminin cinsine bağlı olarak ivme değerleri belirlenmiştir. Bu değerler ise belirlenen azalım ilişkisi yoluyla saptanabilmektedir.

Tablo 4.5. Wells ve Coppersmith bağıntılarına göre sismik kaynakların üretebileceği maksimum moment büyüklükleri

Fay Adı	SRL (km)	Maksimum Magnitüd
KAFZ - Saros Segmenti	56	7.1079
KAFZ - Ganos Segmenti	109	7.4434
KAFZ - Tekirdağ Segmenti	35	6.8711
Karabiga Fayı	18,2	6.5417
Ortaburun Sırtı	5,6	5.9479
Biga-Çan Fay Zonu	44,9	6.9966
Yaykın Çizgiselliği	14,5	6.4272
Sarıköy Fayı	65,5	7.1868
Sinekçi Fayı	32,6	6.8353
Gündoğan Fayı	19,7	6.5816
Edincik Fayı	29,9	6.7918
Bandırma Fayı	32,1	6.8275
Karacabey Fayı	25,9	6.7194
Mustafakemalpaşa Fayı	35,8	6.8825
Manyas Fay Zonu	32,7	6.8369
Akçapınar Fayı	18,2	6.5417
Yenice Gönen Fayı	86,5	7.3269
Balıkesir Fayı	65,2	7.1845
Havran – Balya Fay Zonu	90,7	7.3508
Şamlı Fayı	9,5	6.2142
Eybek Çizgiselliği	42,1	6.9642
Pazarköy Fayı	35,2	6.8740
Bekten Fayı	16,3	6.4861
Evciler Fayı	46,3	7.0121
Edremit Fay Zonu	74,6	7.2524



Şekil 4.9. Çalışma sahasındaki çizgisel sismik kaynakların üretebileceği pik moment büyüklükleri

Yapılan hesaplamalar neticesinde çalışma bölgesini etkileyecek olan deprem kaynakları arasında en büyük moment magnitüdü üretebilecek fayın $7.4434 \cong 7.4 M_w$ büyüklüğü ile KAFZ’a ait bir segment olan Ganos Segmenti olduğu görülmektedir. Ancak Biga ilçe merkezi için çalışma kapsamında belirlenen merkez koordinat noktasına olan 51,7 km’lik mesafesi göz önünde bulundurulduğunda daha yakın sismik kaynakların daha küçük maksimum moment magnitüdü üretebilme kapasitesine rağmen ilçe merkezinde daha tesirli olabileceği bilinmektedir. Bu durumu daha net anlayabilmek ve fayların ilçe merkezinde ne ölçüde ivme değeri yaratacağını görerek bu etkileri mukayese edebilmek için de azalım ilişkileri ayrıca bir önem taşımaktadır.

Wells ve Coppersmith’in önerdiği pik moment büyüklüğü bağıntısının dışında doğrudan olasılıksal sismik tehlike analizi kapsamında değerlendirmeye alınan aletsel dönem deprem verileri ışığında pik moment değerleri tespit edilebilmektedir (Tablo 4.6). Aletsel kayıt sürecimiz henüz yeterli bir zaman dilimini içeremediğinden (1900 yılı sonrası) birçok faya ait pik moment değerleri bu yolla görülememektedir. Nitekim çalışma yapılan alanlarda bulunan sismik kırıkların periyot süreleri çoğunlukla bu zaman diliminden daha büyük olabilmektedir. Ancak bağıntı ile hesaplanan sonuçları aletsel döneme dair kayıtlar ile karşılaştırmak, güvenli alanda kalmak için önem taşımaktadır. Bu sebeple ivme kaydı alınmış deprem verileri, sismik kaynaklarına göre ayrılarak pik moment değerleri tespit edilmiştir. Bu tespit sırasında deprem kayıtları, gerçekleştikleri koordinatlara göre bulundukları en yakın faya kaydedilmiştir.

Tablo 4.6. Aletsel dönem kayıtları ışığında fay hatlarına ait ana şok sayıları ve pik moment magnitüdü

No:	Fay Adı	Ana Şok Sayısı	Pik Moment Magnitüdü
1	KAFZ - Saros Segmenti	15	5.7
2	KAFZ - Ganos Segmenti	14	6.9
3	KAFZ - Tekirdağ Segmenti	18	5.7
4	Karabiga Fayı	7	5.8
5	Ortaburun Sırtı	1	4.3
6	Biga-Çan Fay Zonu	6	5.2
7	Yaykın Çizgiselliği	1	4.4
8	Sarıköy Fayı	0	
9	Sinekçi Fayı	8	6.2
10	Gündoğan Fayı	2	4.3
11	Edincik Fayı	3	4.4
12	Bandırma Fayı	2	5.2
13	Karacabey Fayı	2	6.2
14	Mustafakemalpaşa Fayı	1	4.8
15	Manyas Fay Zonu	4	5.3
16	Akçapınar Fayı	1	5.8
17	Yenice Gönen Fayı	5	6.8
18	Balıkesir Fayı	12	5.6
19	Havran – Balya Fay Zonu	7	5.3
20	Şamlı Fayı	1	4.5
21	Eybek Çizgiselliği	1	5.5
22	Pazarköy Fayı	1	4.4
23	Bekten Fayı	0	
24	Evciler Fayı	2	4.3
26	Edremit Fay Zonu	7	6.5

1900 yılından 2022 yılına değin çalışma sahası içerisinde bulunan Sarıköy Fayı ve Bekten Fayı kaynaklı ana şok niteliğinde bir depremin gerçekleşmediği düşünülmektedir. Öncü ve artçı depremler mevcut olsa da bu veriler hesaba katılmadığı için maksimum moment değeri de söz konusu yolla saptanamamaktadır.

Ayrıca Biga ilçe merkezli ve yarıçapı 100 km olan dairesel alan içerisinde bulunmayıp, bölge içerisinde deprem üretmiş olan faylar da mevcuttur. Ezine ve Ayvacık ilçelerinin batısında, Ege Denizi'ne paralel doğrultuda uzanan Kestanbol Fayı; çalışma alanı içerisinde bulunan 5 adet ana şok nitelikli deprem üretmiştir. Bunlardan en büyüğü $5.4 M_w$ 'dir ve bölge açısından kritik önem taşımaktadır. Yaklaşık 22 km uzunluğunda olan Kestanbol Fayı'nın pik moment büyüklüğü Bağntı 4.12 ile hesaplandığında $6.6 M_w$ bulunmaktadır. 5 adet ana şok verisine rağmen Wells ve Coppersmith'in önerdiği bağntı sonucu çıkan değerin çok daha büyük olduğu görülmektedir.

KAFZ'a ait olan ve Marmara Denizi içerisinde uzanan Kumburgaz Segmenti'nde ise 1 adet ana şok tespit edilebilmiş, büyüklüğü ise $4.4 M_w$ olarak kaydedilmiştir. Bağntı 4.12 yardımı ile bu segmente ait pik moment değeri, yaklaşık 60 km'lik uzunluğu hesaba katıldığında $7.1 M_w$ bulunmaktadır. Segmentin aletsel dönem içerisinde henüz yüzey kırığı oluşturmadığı bilindiğinden bu değerlerde bir deprem üretme potansiyeli olmasının gerçeğe daha yakın olduğu sanılmaktadır. Benzer sonuçlar diğer fay hatları için de geçerliliğini korumakta, deprem kayıtlarında saptanan pik moment büyüklükleri hepsinde bağntı yolu ile saptanan değerlerden düşük kalmaktadır. Sonuç olarak, çalışma kapsamında yer ivme değerleri açısından güvenli alanda kalmak için bağntı yolu ile saptanan pik moment büyüklükleri dikkate alınmıştır.

4.5. Azalım İlişkisinin Kurulması

Belirlenen çalışma sahası içerisinde bulunan fayların, saha merkez noktasında oluşturacağı yer hareketinin tahmininde bulunmak için birçok azalım ilişkisi geliştirilmiştir. Azalım ilişkisi, depremin büyüklüğünün aletsel olarak tespit edilebildiği dönem içerisinde oluşan ve ivme değerleri okunabilmiş sismik aktivitelerden faydalanılarak birçok araştırmacı tarafından değişik yerleşimler (ölkeler veya bölgeler) için geliştirilmiş istatistiksel verilere dayanan yer hareketi tahminini sağlayan bağntılardır (Koçyiğit vd., 2010). Fay hattından uzaklaştıkça yer ivme değerinin nasıl bir değişim gösterdiği bu bağntılar sayesinde önceden anlaşılabilmektedir. Bu yolla elde edilen yer ivmesi değerleri çoğunlukla ana kaya baz alınarak sonuç verse de bazı çalışmalar kaya, toprak ve gevşek zemin gibi sınıflandırmalar yaparak

bağıntı üretmiştir, ancak bağıntıların birbirinden çok farklı sonuçlar verebildiği göz önünde bulundurularak azalım ilişkisi yapılmalıdır.

Çalışma kapsamında, fay zonlarına ait tespit edilen maksimum moment değerleri hesaba katılarak Reşat Ulusay, Ergün Tuncay, Harun Sönmez ve Candan Gökçeoğlu tarafından 2004 yılında hazırlanmış olan azalım ilişkisi bağıntısı kullanılmıştır (Ulusay vd., 2004).

$$PGA = 2,18e^{0,0218(33,3M_w - R_e + 7,8427S_A + 18,9282S_B)} \quad (4.13)$$

Bağıntı yardımı ile kaya, zemin ve yumuşak zeminler için ayrı ayrı pik ivme değerleri bulunmuştur (Tablo 4.7). İşlemler yine aynı çalışma içerisinde kaya, zemin ve yumuşak zemin için ayrı ayrı sunulan katsayılar kullanılarak yürütülmüş, “S” ile simgelenen arazi koşullarına yönelik katsayılar;

$$\text{Kaya için; } S_A = S_B = 0 \quad (4.14)$$

$$\text{Zemin için; } S_A = 1, S_B = 0 \quad (4.15)$$

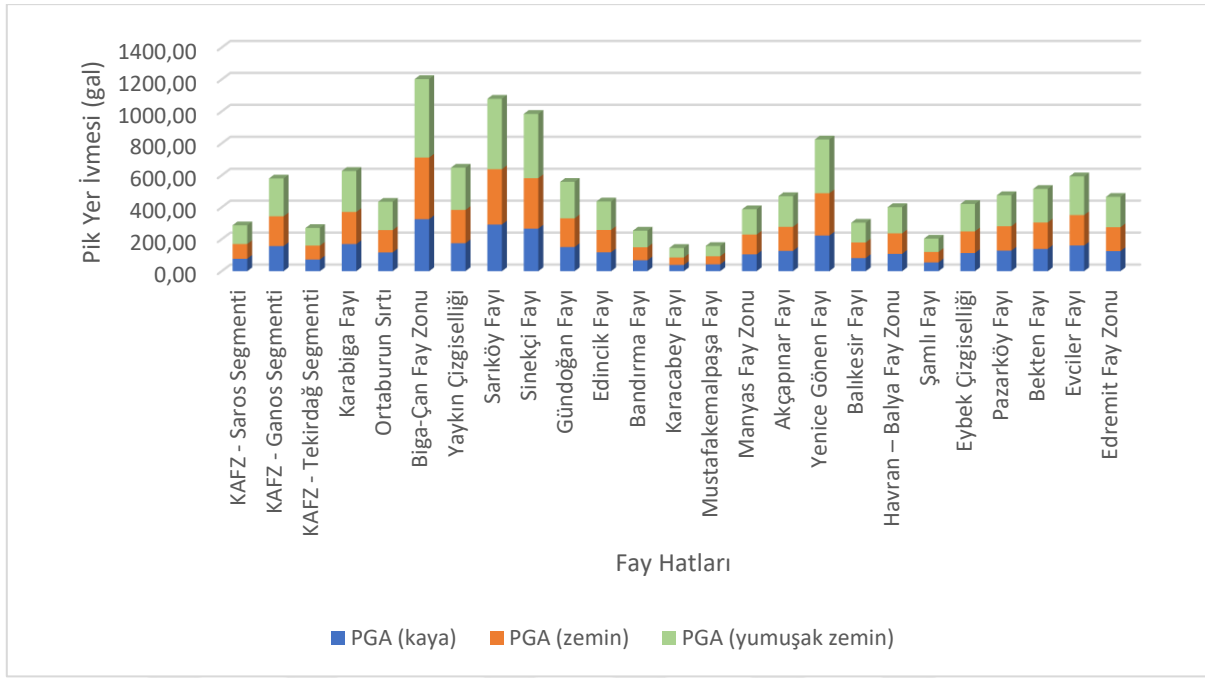
$$\text{Yumuşak zemin için; } S_A = 0, S_B = 1 \quad (4.16)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Bağıntı içerisinde kullanılan PGA, pik yer ivmesini; R_e , sismik kaynağın çalışma alanına mesafesini simgelemektedir.

Tablo 4.7. Biga ilçe merkezinde, çalışma sahasınca saptanan sismik kaynaklar sebebi ile oluşabilecek pik yer ivme değerleri
(Ulusay, Tuncay, Sönmez ve Gökçeoğlu’nun 2004’te sunduğu azalım ilişkisi sonucu)

Fay No:	R_e (km)	SRL (km)	M_{max}	PGA (gal)		
				Kaya	Zemin	Yumuşak Zemin
1	72,8	56	7,1079	77,65	92,13	117,31
2	51,7	109	7,4434	156,92	186,18	237,07
3	67,7	35	6,8711	73,07	86,70	110,40
4	18,1	18,2	6,5417	169,63	201,26	256,27
5	15,2	5,6	5,9479	117,42	139,32	177,40
6	3,4	44,9	6,9966	325,16	385,79	491,25
7	12,8	14,5	6,4272	175,22	207,89	264,72
8	14,7	65,5	7,1868	291,80	346,21	440,85

9	7,2	32,6	6,8353	266,24	315,88	402,24
10	24,7	19,7	6,5816	151,21	179,41	228,45
11	43,1	29,9	6,7918	117,94	139,93	178,18
12	69,2	32,1	6,8275	68,52	81,30	103,52
13	91,1	25,9	6,7194	39,30	46,63	59,38
14	92,8	35,8	6,8825	42,63	50,58	64,41
15	50	32,7	6,8369	104,85	124,39	158,40
16	31,4	18,2	6,5417	126,93	150,60	191,77
17	31,7	86,5	7,3269	223,00	264,58	336,91
18	72,8	65,2	7,1845	82,09	97,40	124,02
19	65,6	90,7	7,3508	108,36	128,57	163,72
20	58,8	9,5	6,2142	55,07	65,34	83,20
21	50,5	42,1	6,9642	113,75	134,96	171,85
22	41,9	35,2	6,8740	128,51	152,47	194,15
23	25,3	16,3	6,4861	139,26	165,22	210,39
24	36,3	46,3	7,0121	160,51	190,43	242,49
25	55,5	74,6	7,2524	125,74	149,18	189,97



Şekil 4.10. Ulusay ve arkadaşlarının 2004 yılında sunduğu azalım ilişkisi ile çalışma sahasındaki fay hatlarının Biga ilçe merkezinde oluşturduğu pik yer ivmesi

Tablo içerisinde gösterilen fay numaraları Tablo 4.4’te ifade edilmiştir. Buna göre ilçe merkezinde tüm yer tipleri için en yüksek pik ivme değeri 6 numara ile ifade edilen Biga-Çan Fay Zonu’nda görülmektedir. Dolayısı ile yalnızca fay uzunluğu ve saha merkezine olan en yakın mesafesi göz önünde tutularak gerçekleştirilen sismik risk analizi verileri doğrultusunda Biga ilçe merkezi için en büyük tehlikeyi Biga-Çan Fay Zonu arz etmektedir.

Wells ve Coppersmith’in pik moment magnitudünü belirlemeye yönelik hazırladığı bağıntıya dayanarak yapılan pik ivme değerleri hesabına göre Biga-Çan Fay Zonu’nun ilçe merkezinde yaratacağı ivmeler; kaya için 325,16 gal (0,33 g), zemin için 385,79 gal (0,39 g), yumuşak zemin için 491,25 gal (0,49 g) değerlerindedir. Fay zonunun ilçe merkezine 3,4 km gibi yakın bir mesafeden geçmesi ve uzunluğunun 44,9 km dolaylarında olması, Biga ilçe merkezi için en yüksek yer ivmesini yaratmasının başlıca sebeplerindendir.

Biga-Çan Fay Zonu üç segmentten oluşmaktadır. KAFZ’ın uzantısı niteliğinde olan ve kuzeydoğudan güneybatıya doğru yönlenebilen zon, Biga ilçe merkezinin güneydoğusunda bulunan Abdiağa köyünün doğusundan başlamaktadır. Bu noktada yüzeylenen zonun ilk segmenti “Biga Segmenti” olarak adlandırılmakta ve yine Biga’ya bağlı Dikmen köyünün güneyine kadar uzanmaktadır. Segmentin uzunluğu 15,4 km dolaylarındadır. Dikmen köyünün doğusunda Biga Segmenti’nin son kısımlarından kırılarak başlayan Yuvalar Segmenti bulunmaktadır. Yuvalar Segmenti Çan ilçesine bağlı olan Yuvalar köyünün yerleşim alanından

geçmesi ile adını almaktadır. 14,3 km boyunca uzanan segment Çan ilçe merkezinde son bulmaktadır. Zona ait son segment olan Çan Segmenti ise yine Çan ilçesine bağlı bulunan Hacılar köyü yakınlarından başlayıp 10 km kadar güneybatı yönünde devam ettikten sonra yüzey kırığını sonlandırmakta, Duralı köyünün yakın güneydoğusunda tekrar yüzeyleyip 9 km kadar daha uzanarak Çan ilçesine bağlı Tepeköy ve Göle köyleri arasında son bulmaktadır. Bu haliyle pek çok kırsal yerleşimin ve Çan ilçe merkezinin altında konumlanan fay zonu deprem etkisini afete dönüştürecek nitelikte tehdit unsuru taşımaktadır.

Biga-Çan Fay Zonu'ndan sonra ilçe merkezini pik ivme değerleri ile tehdit eden ikinci kırık ise Sarıköy Fayı'dır. Sarıköy Fayı, ilçe merkezine ortalama 14,7 km mesafede olup 65,6 km boyunca yüzey kırığına sahiptir. Kuşgölü'nün 13 km batısından, Gönen ilçe merkezinin 14 km kuzeyinden, Bostancı ve Körpeağaç köyleri arasından başlamakta; Çan'ın 7 km güneyinde yer alan Terzialan köyüne kadar uzanmaktadır. Bölge için oldukça uzun olan bu fay kırığı, Biga ilçesinin 100 km yarıçapında kalan saha için en tehlikeli sismik kaynak özelliği taşımamakla beraber Biga ilçe merkezini tehdit eden en tehlikeli ikinci kaynaktır. Kayada 291,80 gal (0,29 g), zeminde 346,21 gal (0,35 g), yumuşak zeminde ise 440,85 gal (0,44 g) büyüklüklerinde ivme değerlerine sebebiyet vermektedir.

Çalışma sahası içerisinde kalan kırıklar göz önünde bulundurulduğunda en yüksek deprem magnitüdü üretme potansiyellerine göre;

- Havran-Balya Fayı 7.35 M_w
- KAFZ, Ganos Segmenti 7.34 M_w
- Yenice-Gönen Fayı 7.33 M_w
- Edremit Fayı 7.25 M_w
- Sarıköy Fayı 7.19 M_w

şeklinde sıralanabilir. Pik magnitüd momentine göre sıralama yapıldığında Biga-Çan Fay Zonu ilk beş kırık arasında dahi yer alamazken ilçe merkezine olan mesafesinden dolayı en büyük yer ivmesi değerlerini yaratmaktadır.

- **İnan ve arkadaşlarının 1996 yılında geliştirdiği azalım ilişkisi**

Ulusay ve arkadaşlarının azalım ilişkisinin yanında Engin İnan, Zahide Çolakoğlu, Nuracan Koç, Nejat Bayülke ve Engin Çoruh'un 1996 yılında sunduğu bağıntı ile de hesap yapılmıştır (Tablo 4.8). Ülkemizde 1976-1996 yılları boyunca aletsel olarak tespit edilebilmiş deprem kayıtları üzerinden yürütülen çalışma,

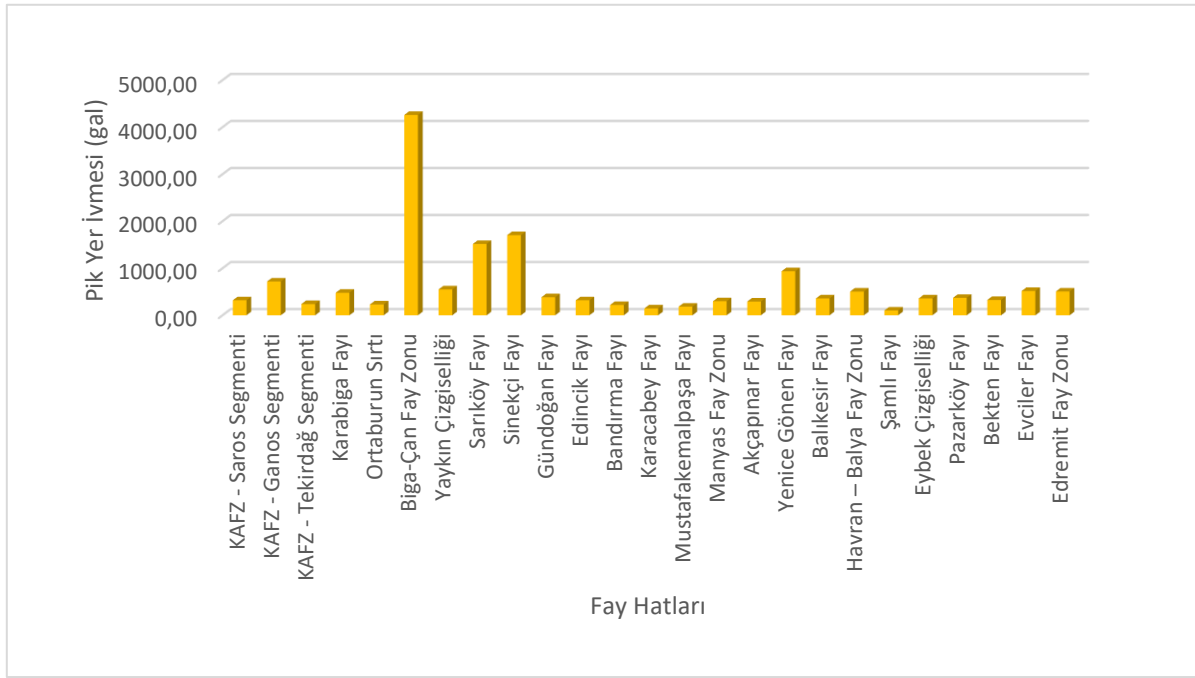
$$PHA = 10^{(0,65M-0,9\log R-0,44)} \quad (4.17)$$

bağıntısı ile azalım ilişkisi önermesinde bulunmuştur (İnan vd., 1996). Bağıntı içerisinde temsil edilen “PHA”, pik yatay ivmeyi; “M”, deprem büyüklüğünü; “R” ise fayın değerlendirilen noktaya olan mesafesini nitelemektedir. “M” ile ifade edilen büyüklük değeri, çalışmamız kapsamında pik değerler üzerinden risk analizi yapılacağından dolayı maksimum moment büyüklüğü olarak alınmıştır.

Tablo 4.8. Biga ilçe merkezinde, çalışma sahasınca saptanan sismik kaynaklar sebebi ile oluşabilecek pik yer ivme değerleri
(İnan, Çolakoğlu, Koç, Bayülke ve Çoruh’un 1996’da sunduğu azalım ilişkisi sonucu)

No:	Fay Adı	R (km)	SRL (km)	M _{max}	PHA (gal)
1	KAFZ - Saros Segmenti	72,8	56	7,1079	319,31
2	KAFZ - Ganos Segmenti	51,7	109	7,4434	717,92
3	KAFZ - Tekirdağ Segmenti	67,7	35	6,8711	239,16
4	Karabiga Fayı	18,1	18,2	6,5417	478,83
5	Ortaburun Sırtı	15,2	5,6	5,9479	230,40
6	Biga-Çan Fay Zonu	3,4	44,9	6,9966	4260,52
7	Yaykın Çizgiselliği	12,8	14,5	6,4272	551,04
8	Sarıköy Fayı	14,7	65,5	7,1868	1516,56
9	Sinekçi Fayı	7,2	32,6	6,8353	1703,60
10	Gündoğan Fayı	24,7	19,7	6,5816	384,24
11	Edincik Fayı	43,1	29,9	6,7918	318,88
12	Bandırma Fayı	69,2	32,1	6,8275	219,69
13	Karacabey Fayı	91,1	25,9	6,7194	145,90
14	Mustafakemalpaşa Fayı	92,8	35,8	6,8825	183,16
15	Manyas Fay Zonu	50	32,7	6,8369	298,47
16	Akçapınar Fayı	31,4	18,2	6,5417	291,65
17	Yenice Gönen Fayı	31,7	86,5	7,3269	936,61
18	Balıkesir Fayı	72,8	65,2	7,1845	358,12

19	Havran – Balya Fay Zonu	65,6	90,7	7,3508	504,46
20	Şamlı Fayı	58,8	9,5	6,2142	101,57
21	Eybek Çizgiselliği	50,5	42,1	6,9642	357,89
22	Pazarköy Fayı	41,9	35,2	6,8740	369,91
23	Bekten Fayı	25,3	16,3	6,4861	325,97
24	Evciler Fayı	36,3	46,3	7,0121	517,53
25	Edremit Fay Zonu	55,5	74,6	7,2524	506,04



Şekil 4.11. İnan ve arkadaşlarının 1996 yılında sunduğu azalım ilişkisi ile çalışma sahasındaki fay hatlarının Biga ilçe merkezinde oluşturduğu pik yer ivmesi

İnan ve arkadaşlarının önerdiği bağıntı kapsamında ivme değerleri, yer karakterine göre değil; tamamen fayın üretebileceği maksimum magnitüd değerine göre çalışmanın merkez noktası ile arasındaki mesafesine bağlıdır. Tablo 4.8’de de görülen sonuçlara göre ilçe merkezinde oluşacak en büyük ivme değerini 4260,52 gal büyüklüğü ile Biga-Çan Fayı oluşturmaktadır. Yine aynı bağıntı kapsamında 101,57 gal ile en düşük ivme değerini yaratan kırık ise Balıkesir il merkezinin kuzeyinde yer alan Karesi ilçesine bağlı Şamlı köyü yakınlarında bulunan Şamlı Fayı’dır. Hem yüzey kırık uzunluğunun oldukça kısa olması hem de Biga ilçe merkezine kuşbakışı mesafesinin uzun olması sebebiyle sonucun tutarlı olduğu görülmektedir. Ancak Biga-Çan Fay Zonu’na ait hesaplanan ivme değeri, Ulusay ve arkadaşlarının 2004 yılında sunduğu bağıntıya dayalı sonuçlara göre oldukça yüksektir. Ayrıca

yaklaşık 4,3 g büyüklüğünde bir yer ivmesi ile pek gerçekçi bir sonuç vermediği de anlaşılmakla beraber çalışma kapsamında değerlendirilmiştir.

- **Aydan ve arkadaşlarının sunduğu, Aydan'ın 2001'de geliştirdiği azalım ilişkisi**

Ömer Aydan, Mitsuhiro Sezaki ve Rifat Yazar 1996 yılında, 1969'dan itibaren 30 yıllık Türkiye deprem verileri içerisinde büyüklüğü 3.5 ile 7.3 arasında değişen sismik kayıtları inceleyerek bir azalım ilişkisi sunmuştur (Aydan vd., 1996). 2001 yılında Ömer Aydan tarafından geliştirilen bağıntı,

$$PHA = 2,8(e^{0,9M} - 1)e^{-0,025R} \quad (4.18)$$

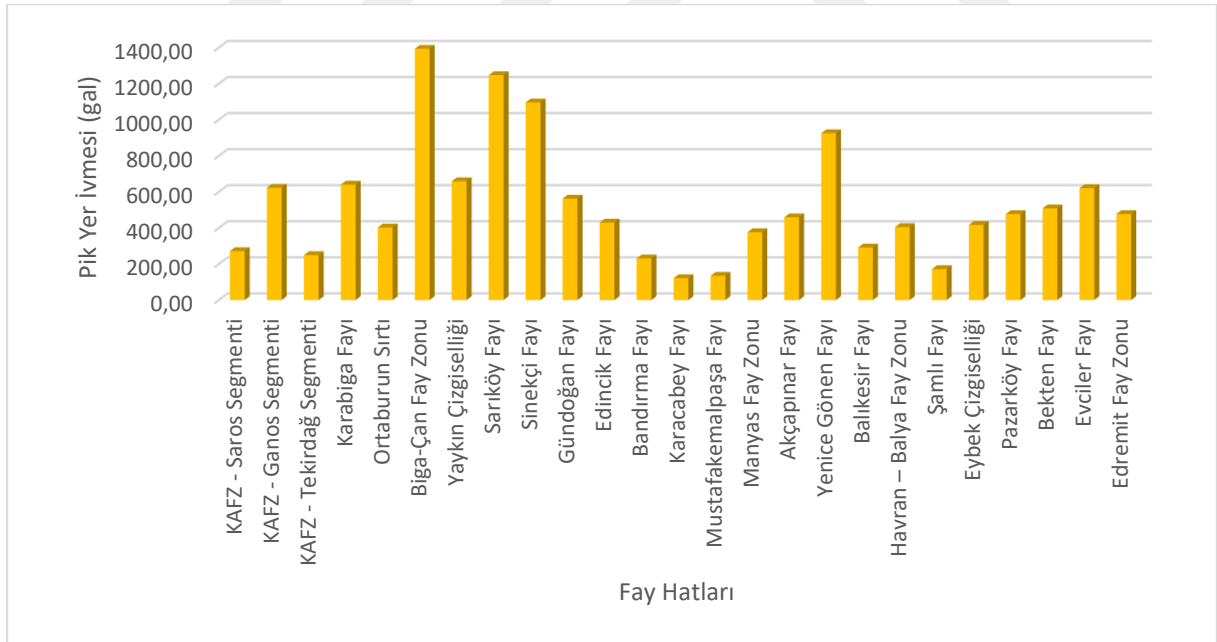
şeklini almıştır.

Tablo 4.9. Biga ilçe merkezinde, çalışma sahasınca saptanan sismik kaynaklar sebebi ile oluşabilecek pik yer ivme değerleri
(Aydan'ın 2001'de yenilediği azalım ilişkisi sonucu)

No:	Fay Adı	R (km)	SRL (km)	M _{max}	PHA
1	KAFZ - Saros Segmenti	72,8	56	7,1079	271,80
2	KAFZ - Ganos Segmenti	51,7	109	7,4434	623,26
3	KAFZ - Tekirdağ Segmenti	67,7	35	6,8711	249,40
4	Karabiga Fayı	18,1	18,2	6,5417	640,25
5	Ortaburun Sırtı	15,2	5,6	5,9479	402,62
6	Biga-Çan Fay Zonu	3,4	44,9	6,9966	1393,71
7	Yaykın Çizgiselliği	12,8	14,5	6,4272	659,19
8	Sarıköy Fayı	14,7	65,5	7,1868	1247,28
9	Sinekçi Fayı	7,2	32,6	6,8353	1095,85
10	Gündoğan Fayı	24,7	19,7	6,5816	562,77
11	Edincik Fayı	43,1	29,9	6,7918	429,45
12	Bandırma Fayı	69,2	32,1	6,8275	230,96
13	Karacabey Fayı	91,1	25,9	6,7194	121,18
14	Mustafakemalpaşa Fayı	92,8	35,8	6,8825	134,54
15	Manyas Fay Zonu	50	32,7	6,8369	376,41

16	Akçapınar Fayı	31,4	18,2	6,5417	459,14
17	Yenice Gönen Fayı	31,7	86,5	7,3269	925,19
18	Balıkesir Fayı	72,8	65,2	7,1845	291,24
19	Havran – Balya Fay Zonu	65,6	90,7	7,3508	405,05
20	Şamlı Fayı	58,8	9,5	6,2142	172,20
21	Eybek Çizgiselliği	50,5	42,1	6,9642	416,95
22	Pazarköy Fayı	41,9	35,2	6,8740	476,59
23	Bekten Fayı	25,3	16,3	6,4861	508,63
24	Evciler Fayı	36,3	46,3	7,0121	620,90
25	Edremit Fay Zonu	55,5	74,6	7,2524	477,13

Aydan ve arkadaşlarının hazırladığı, ancak 2001 yılında yenilenen azalım ilişkisine göre (Tablo 4.9) 1393,71 gal (1,39 g) ivme değeri ile Biga-Çan Fay Zonu diğer bağıntı sonuçlarında olduğu gibi ilçe merkezini tehdit eden en önemli sismik kırıktır. Karacabey Fayı ise 121,18 gal (0,12 g) pik yer ivmesi ile ilçe merkezi açısından en az risk barındıran sismik kırıktır.



Şekil 4.12. Aydan'ın 2001 yılında yenilediği azalım ilişkisi ile çalışma sahasındaki fay hatlarının Biga ilçe merkezinde oluşturduğu pik yer ivmesi

- **Beyaz'ın 2004'te geliştirdiği azalım ilişkisi**

Türkiye'de 1976 yılından 2004 yılına kadar meydana gelen ve büyüklüğü 4.0'ın üzerinde olan deprem kayıtları ışığında Beyaz'ın hazırlayıp sunduğu bu azalım ilişkisinde,

$$\log(\text{PHA}) = 2,08 + 0,0254M_w^2 - 1,001\log(R + 1) \quad (4.19)$$

bağıntısı sunulmaktadır (Beyaz, 2004).

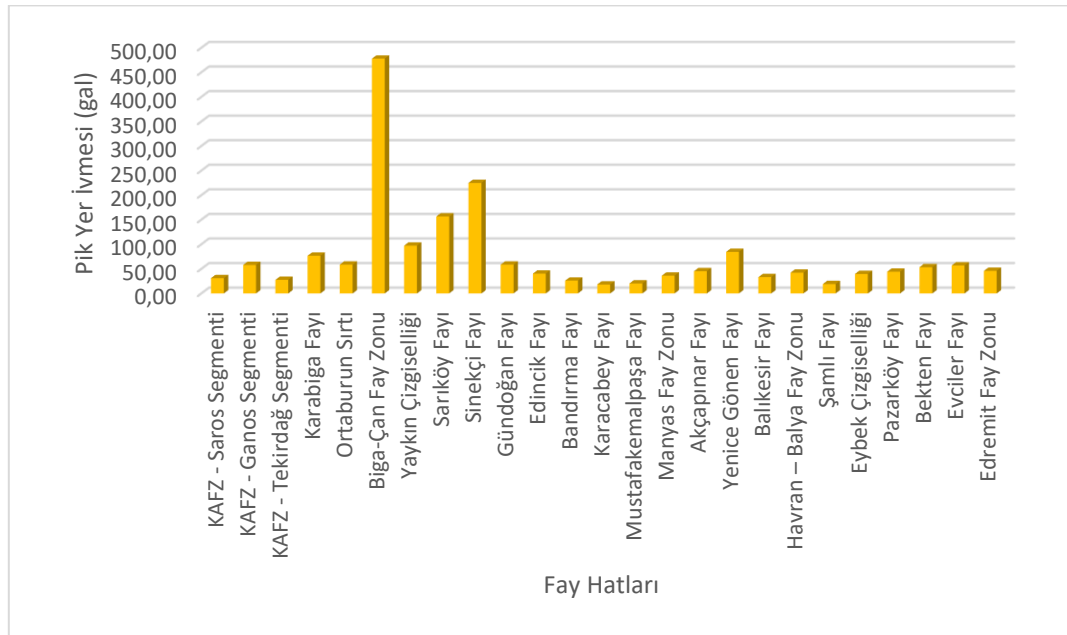
Tablo 4.10. Biga ilçe merkezinde, çalışma sahasınca saptanan sismik kaynaklar sebebi ile oluşabilecek pik yer ivme değerleri
(Aydan'ın 2001'de yenilediği azalım ilişkisi sonucu)

No:	Fay Adı	R (km)	SRL (km)	M _{max}	PHA
1	KAFZ - Saros Segmenti	72,8	56	7,1079	31,14
2	KAFZ - Ganos Segmenti	51,7	109	7,4434	58,04
3	KAFZ - Tekirdağ Segmenti	67,7	35	6,8711	27,57
4	Karabiga Fayı	18,1	18,2	6,5417	76,67
5	Ortaburun Sırtı	15,2	5,6	5,9479	58,60
6	Biga-Çan Fay Zonu	3,4	44,9	6,9966	477,86
7	Yaykın Çizgiselliği	12,8	14,5	6,4272	97,32
8	Sarıköy Fayı	14,7	65,5	7,1868	156,61
9	Sinekçi Fayı	7,2	32,6	6,8353	224,91
10	Gündoğan Fayı	24,7	19,7	6,5816	58,74
11	Edincik Fayı	43,1	29,9	6,7918	40,33
12	Bandırma Fayı	69,2	32,1	6,8275	26,05
13	Karacabey Fayı	91,1	25,9	6,7194	18,22
14	Mustafakemalpaşa Fayı	92,8	35,8	6,8825	20,37
15	Manyas Fay Zonu	50	32,7	6,8369	36,14
16	Akçapınar Fayı	31,4	18,2	6,5417	45,18
17	Yenice Gönen Fayı	31,7	86,5	7,3269	84,63
18	Balıkesir Fayı	72,8	65,2	7,1845	33,20
19	Havran – Balya Fay Zonu	65,6	90,7	7,3508	42,38

20	Şamlı Fayı	58,8	9,5	6,2142	19,16
21	Eybek Çizgiselliği	50,5	42,1	6,9642	39,66
22	Pazarköy Fayı	41,9	35,2	6,8740	44,27
23	Bekten Fayı	25,3	16,3	6,4861	53,36
24	Evciler Fayı	36,3	46,3	7,0121	56,97
25	Edremit Fay Zonu	55,5	74,6	7,2524	45,94

Elde edilen pik ivme değerleri ışığında görülmektedir ki Biga ilçe merkezi için en büyük tehdit unsuru Biga-Çan Fay Zonu'dur. 477,86 gal değerinde yer hareketine sebep olan fay zonu, ilçe merkezine en yakın mesafede konumlanmaktadır. Ancak bu azalım ilişkisinde mesafenin, pik moment magnitudünden orantısız biçimde etkili olduğu, diğer faylara ait pik ivme değerlerinden anlaşılmaktadır. Ayrıca tahmin edilen bu ivme değerlerine göre Beyaz'ın sunduğu azalım ilişkisi bağıntısının, genel anlamda oldukça düşük seviyede sonuçlar verdiği düşünülmektedir.

Beyaz'ın azalım ilişkisi önermesine göre en düşük pik ivme değerini 18,22 gal ile Karacabey Fayı sağlamaktadır. İlçe merkezine olan 91,1 km'lik uzaklığı ve üretebileceği 6.7 değerinde pik deprem büyüklüğü göz önünde bulundurulduğunda en düşük değer bu fayda olması gerçekçidir ancak oldukça düşüktür.



Şekil 4.13 Beyaz'ın 2004 yılında yenilediği azalım ilişkisi ile çalışma sahasındaki fay hatlarının Biga ilçe merkezinde oluşturduğu pik yer ivmesi

- Yunatçı'nın 2010'da geliştirdiği azalım ilişkisi

Yunatçı, geliştirdiği azalım ilişkisinde,

$$\ln(PHA) = b_1 + b_2(M_w - 6,2) + b_3(M_w - 6,2)^2 + [b_4 + b_5(M_w - 6,2)] \ln(R^2 + b_6^2)^{1/2} + b_7SOFT + \sigma_\varepsilon \quad (4.20)$$

bağıntısını önermiştir (Yunatçı, 2010). Bağıntıdaki parametreler, Yunatçı'nın sunduğu tablodan pik ivme değerine göre,

$$b_1 = 0,7674, b_2 = 0,2511, b_3 = -0,0480, b_4 = -1,0987, b_5 = 0,1635, b_6 = 11,034, b_7 = 0,0628, \sigma_\varepsilon = 0,875 - 0,040M_w \quad (4.21)$$

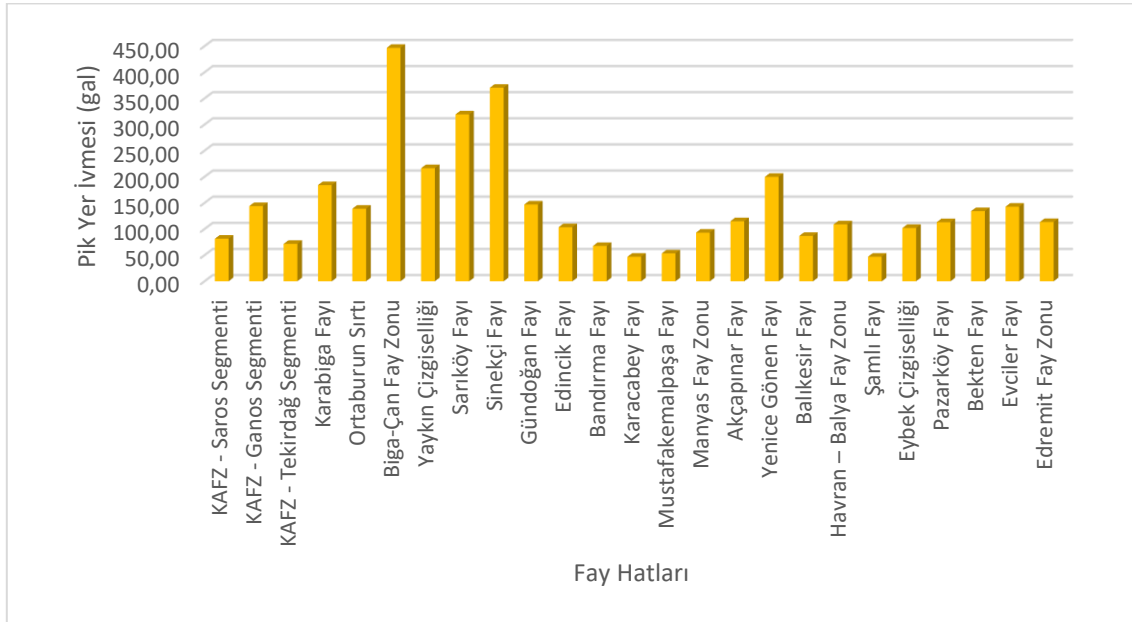
olarak alınmıştır. “SOFT” Yunatçı tarafından bağıntıya fay parametresi olarak sunulmuş olup; normal faylar için “0”, ters faylar için “1”, doğrultu atımlı faylar içinse “0,5” değerini almaktadır. Hesaplamalar bu değerler ve çalışma kapsamındaki fay karakterleri göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Bağıntıda yer alan bir diğer ifade olan “ σ_ε ” değeri ise standart sapmadır ve Yunatçı'nın sunmuş olduğu tablodan değeri belirlenmiştir.

Tablo 4.11. Biga ilçe merkezinde, çalışma sahasınca saptanan sismik kaynaklar sebebi ile oluşabilecek pik yer ivme değerleri
(Yunatçı'nın 2010'da sunduğu azalım ilişkisi sonucu)

No:	Fay Adı	R (km)	SRL (km)	M _{max}	PHA
1	KAFZ - Saros Segmenti	72,8	56	7,1079	81,48
2	KAFZ - Ganos Segmenti	51,7	109	7,4434	143,90
3	KAFZ - Tekirdağ Segmenti	67,7	35	6,8711	71,67
4	Karabiga Fayı	18,1	18,2	6,5417	184,08
5	Ortaburun Sırtı	15,2	5,6	5,9479	138,93
6	Biga-Çan Fay Zonu	3,4	44,9	6,9966	446,79
7	Yaykın Çizgiselliği	12,8	14,5	6,4272	216,53
8	Sarıköy Fayı	14,7	65,5	7,1868	319,33
9	Sinekçi Fayı	7,2	32,6	6,8353	370,44
10	Gündoğan Fayı	24,7	19,7	6,5816	146,88
11	Edincik Fayı	43,1	29,9	6,7918	103,44
12	Bandırma Fayı	69,2	32,1	6,8275	67,64

13	Karacabey Fayı	91,1	25,9	6,7194	46,94
14	Mustafakemalpaşa Fayı	92,8	35,8	6,8825	53,32
15	Manyas Fay Zonu	50	32,7	6,8369	93,14
16	Akçapınar Fayı	31,4	18,2	6,5417	115,00
17	Yenice Gönen Fayı	31,7	86,5	7,3269	199,85
18	Balıkesir Fayı	72,8	65,2	7,1845	86,79
19	Havran – Balya Fay Zonu	65,6	90,7	7,3508	108,95
20	Şamlı Fayı	58,8	9,5	6,2142	47,03
21	Eybek Çizgiselliği	50,5	42,1	6,9642	102,01
22	Pazarköy Fayı	41,9	35,2	6,8740	113,13
23	Bekten Fayı	25,3	16,3	6,4861	134,28
24	Evciler Fayı	36,3	46,3	7,0121	142,77
25	Edremit Fay Zonu	55,5	74,6	7,2524	113,46

Yunatçı'nın sunduğu bağıntıya göre Biga-Çan Fay Zonu 446,79 gal pik ivme değeri ile Biga ilçe merkezi için en tehlikeli fay konumundadır. 46,94 gal pik ivme değeri ile Karacabey Fayı'nın en az pik ivme değeri yaratan sismik kaynak olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.14. Yunatçı'nın 2010 yılında sunduğu azalım ilişkisi ile çalışma sahasındaki fay hatlarının Biga ilçe merkezinde oluşturduğu pik yer ivmesi

- **Gülkan ve Kalkan'ın 2002'de sunduğu, 2004'te geliştirdiği azalım ilişkisi**

1976'dan 1996 yılına kadar ülkemizde gerçekleşen ve moment magnitüdü 5.0'ın üzerinde olan 18 adet depremin yarattığı 93 adet yer hareketi göz önünde bulundurularak yapılmış olan bu azalım ilişkisi,

$$\ln(PHA) = b_1 + b_2(M_w - 6) + b_3(M_w - 6)^2 + b_5 \ln(r) + b_v \ln\left(\frac{V_s}{V_a}\right) \quad (4.22)$$

bağıntısını sunmaktadır (Gülkan ve Kalkan, 2002). Burada "r" ifadesi, sismik kaynak ile etki noktası arasındaki doğrusal mesafeyi sembolize etmektedir. Dolayısı ile hipotenüs metodundan yararlanarak $r^2 = (R^2 + h^2)$ bağıntısı kurulabilmektedir. "R" sismik kaynağın yeryüzündeki izdüşümü ile çalışma lokasyonu arasındaki mesafeyi, "h" ise sismik kaynağın derinliğini ifade etmektedir.

Gülkan ve Kalkan, sundukları azalım ilişkisi bağıntısını 2004 yılında geliştirerek 1996 yılına kadar gözlemledikleri deprem kayıtlarını 2003 yılına kadar genişletmiş ve bağıntıda kullanılan parametrelerde güncelleme yapmışlardır. Son önermeye göre çalışmada sunulan parametrelere ait tabloda pik yer ivmesini hesap edebilmek için,

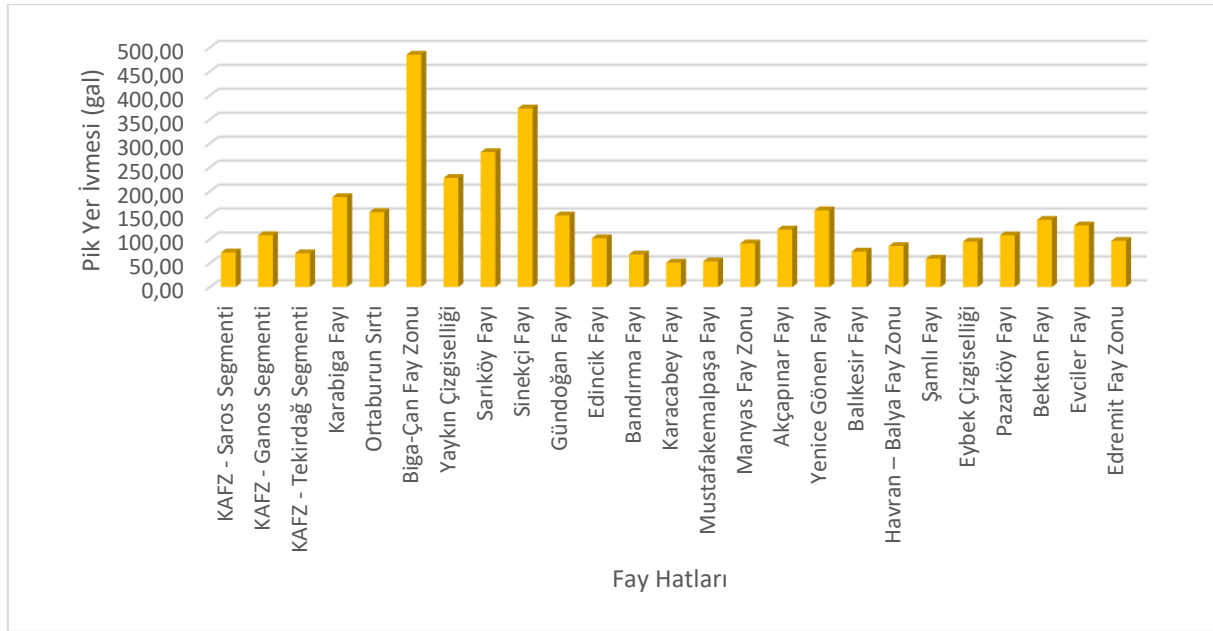
$$b_1 = 0,393, b_2 = 0,576, b_3 = -0,107, b_5 = -0,899, b_v = 0,200, V_a = 1112$$

değerleri alınmıştır. V_{s30} 'a göre hesap edilebilen bu bağıntı ile zemin etüt raporu temin edilen lokasyonlar için ayrı ayrı pik yer ivmesi değeri hesaplamak mümkündür. Ancak ilk aşamada sonuçları diğer azalım ilişkileri ile kıyaslayabilmek için Biga ilçe merkezinin geneli için hesap edilen en kritik pik ivme değeri esas alınmıştır. Bu kritik değer, zemin etüt raporlarından sağlanan V_{s30} değerlerinin en küçüğüdür ve 221 m/s olarak hesaplanmıştır (Tablo 4.15). Güvenli alanda kalmak için bu değer 210 m/s olarak alınmıştır.

Tablo 4.12. Biga ilçe merkezinde, çalışma sahasınca saptanan sismik kaynaklar sebebi ile oluşabilecek pik yer ivme değerleri
(Gülkan ve Kalkan'ın 2002'de geliştirdiği azalım ilişkisi sonucu)

No:	Fay Adı	R (km)	SRL (km)	M_{max}	PHA
1	KAFZ - Saros Segmenti	72,8	56	7,1079	72,33
2	KAFZ - Ganos Segmenti	51,7	109	7,4434	108,39
3	KAFZ - Tekirdağ Segmenti	67,7	35	6,8711	70,78
4	Karabiga Fayı	18,1	18,2	6,5417	187,95

5	Ortaburun Sırtı	15,2	5,6	5,9479	156,68
6	Biga-Çan Fay Zonu	3,4	44,9	6,9966	485,32
7	Yaykın Çizgiselliği	12,8	14,5	6,4272	227,98
8	Sarıköy Fayı	14,7	65,5	7,1868	281,79
9	Sinekçi Fayı	7,2	32,6	6,8353	373,12
10	Gündoğan Fayı	24,7	19,7	6,5816	149,62
11	Edincik Fayı	43,1	29,9	6,7918	102,05
12	Bandırma Fayı	69,2	32,1	6,8275	68,23
13	Karacabey Fayı	91,1	25,9	6,7194	51,09
14	Mustafakemalpaşa Fayı	92,8	35,8	6,8825	53,69
15	Manyas Fay Zonu	50	32,7	6,8369	91,26
16	Akçapınar Fayı	31,4	18,2	6,5417	120,26
17	Yenice Gönen Fayı	31,7	86,5	7,3269	160,28
18	Balıkesir Fayı	72,8	65,2	7,1845	74,19
19	Havran – Balya Fay Zonu	65,6	90,7	7,3508	85,60
20	Şamlı Fayı	58,8	9,5	6,2142	59,28
21	Eybek Çizgiselliği	50,5	42,1	6,9642	94,99
22	Pazarköy Fayı	41,9	35,2	6,8740	108,07
23	Bekten Fayı	25,3	16,3	6,4861	140,38
24	Evciler Fayı	36,3	46,3	7,0121	128,84
25	Edremit Fay Zonu	55,5	74,6	7,2524	96,38



Şekil 4.15. Gülkan ve Kalkan'ın 2002 yılında sunduğu azalım ilişkisi ile çalışma sahasındaki fay hatlarının Biga ilçe merkezinde oluşturduğu pik yer ivmesi

Tablo 4.12'da ve Şekil 4.15'te görüldüğü üzere Gülkan ve Kalkan'ın sunduğu azalım ilişkisi ile yapılan hesaplamalar sonucunda Biga ilçe merkezi için 485,32 gal değeriyle Biga-Çan Fay Zonu en büyük pik ivme değerini sağlamaktadır. Hemen arkasından 373,12 gal pik ivme değeri ile Sinekçi Fayı gelmekte ve her iki fay da yarattığı ivme değeri ile ciddi bir risk taşımaktadır. Buna karşı en küçük pik ivme değerini ise 51,09 gal değeri ile Karacabey Fayı sağlamaktadır. Söz konusu azalım ilişkisi, işaret ettiği en riskli ve en risksiz fay hatları ile diğer azalım ilişkileri arasında tutarlılık göstermektedir.

- Boore ve arkadaşlarının 1997'de sunduğu azalım ilişkisi

Boore, Joyner ve Fumal, 1997 yılında sundukları azalım ilişkisinde bütün faylanma türleri için ortak bir bağıntı sunmuştur (Boore vd., 1997). Bağıntı, tıpkı Gülkan ve Kalkan'ın sunduğu azalım ilişkisinde olduğu gibi V_s değerinden yararlanmakla beraber bazı parametrelerle türetilmiştir. Söz konusu parametreler de Boore ve arkadaşlarının sunduğu azalım ilişkisi çalışmasında bulunmaktadır ve sismik faaliyetin periyot süresini esas almaktadır.

$$\ln(PHA) = b_1 + b_2(M_w - 6) + b_3(M_w - 6)^2 + b_5 \ln(r) + b_v \ln\left(\frac{V_s}{V_A}\right) \quad (4.23)$$

Boore ve arkadaşlarının bağıntısında görüldüğü gibi 5 ayrı parametre kullanılmaktadır. Bu parametreler ilgili tablodan çekildiğinde;

$$b_1 = -0,242, b_2 = 0,527, b_3 = 0, b_5 = -0,778, b_v = -0,371, V_A = 1396$$

değerlerini almaktadır. Burada “r” sismik kaynağın merkez noktaya uzaklığını $[(R^2 + h^2)^{0,5}]$ ifade etmektedir.

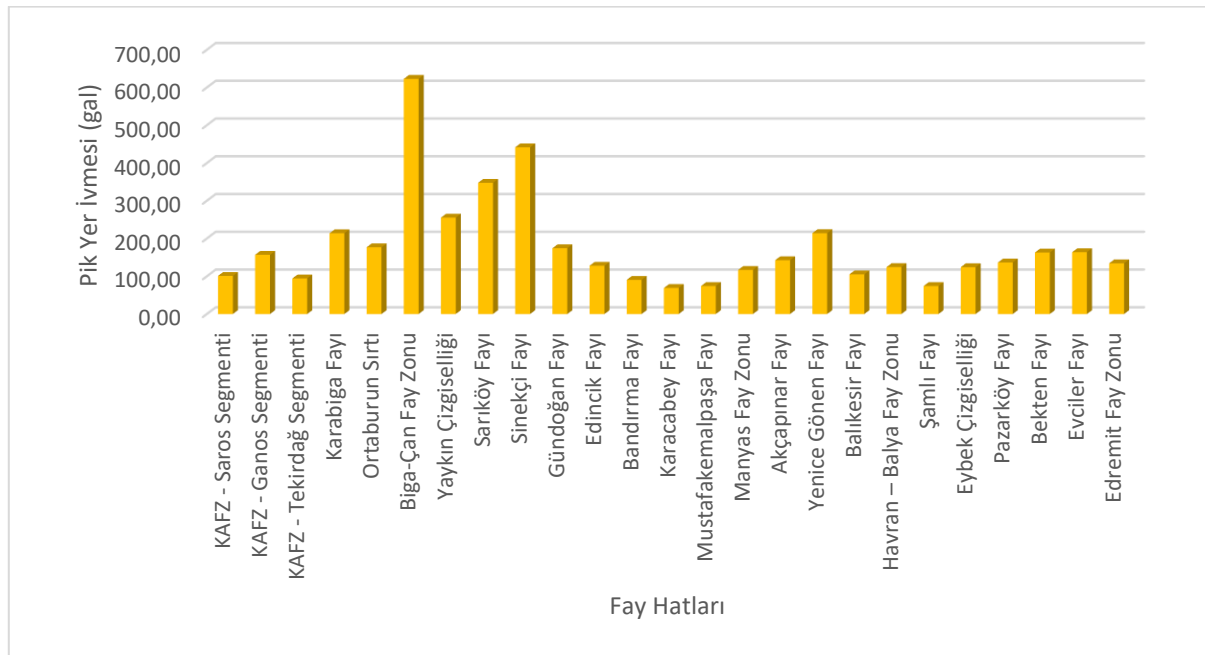
Gülkan ve Kalkan’ın sunduğu azalım ilişkisinde olduğu gibi yine V_{s30} için 210 m/s değeri esas alınarak işlemlere devam edilmiştir.

Tablo 4.13. Biga ilçe merkezinde, çalışma sahasınca saptanan sismik kaynaklar sebebi ile oluşabilecek pik yer ivme değerleri
(Boore ve arkadaşlarının 1997’de sunduğu azalım ilişkisi sonucu)

No:	Fay Adı	R (km)	SRL (km)	M_{max}	PHA
1	KAFZ - Saros Segmenti	72,8	56	7,1079	100,91
2	KAFZ - Ganos Segmenti	51,7	109	7,4434	156,83
3	KAFZ - Tekirdağ Segmenti	67,7	35	6,8711	94,22
4	Karabiga Fayı	18,1	18,2	6,5417	213,96
5	Ortaburun Sırtı	15,2	5,6	5,9479	176,78
6	Biga-Çan Fay Zonu	3,4	44,9	6,9966	622,91
7	Yaykın Çizgiselliği	12,8	14,5	6,4272	255,37
8	Sarıköy Fayı	14,7	65,5	7,1868	347,46
9	Sinekçi Fayı	7,2	32,6	6,8353	441,62
10	Gündoğan Fayı	24,7	19,7	6,5816	174,31
11	Edincik Fayı	43,1	29,9	6,7918	127,91
12	Bandırma Fayı	69,2	32,1	6,8275	90,54
13	Karacabey Fayı	91,1	25,9	6,7194	69,12
14	Mustafakemalpaşa Fayı	92,8	35,8	6,8825	74,26
15	Manyas Fay Zonu	50	32,7	6,8369	116,89
16	Akçapınar Fayı	31,4	18,2	6,5417	142,64
17	Yenice Gönen Fayı	31,7	86,5	7,3269	214,21
18	Balıkesir Fayı	72,8	65,2	7,1845	105,07
19	Havran – Balya Fay Zonu	65,6	90,7	7,3508	124,31
20	Şamlı Fayı	58,8	9,5	6,2142	74,31

21	Eybek Çizgiselliği	50,5	42,1	6,9642	124,04
22	Pazarköy Fayı	41,9	35,2	6,8740	136,49
23	Bekten Fayı	25,3	16,3	6,4861	162,84
24	Evciler Fayı	36,3	46,3	7,0121	163,76
25	Edremit Fay Zonu	55,5	74,6	7,2524	134,27

Boore ve arkadaşlarının azalım ilişkisinde, diğer azalım ilişkisi sonuçlarında görüldüğü gibi en büyük PHA büyüklüğünü 622,91 gal ile Biga-Çan Fay Zonu, en küçük PHA ise 69,12 gal ile Karacabey Fayı sağlamaktadır.

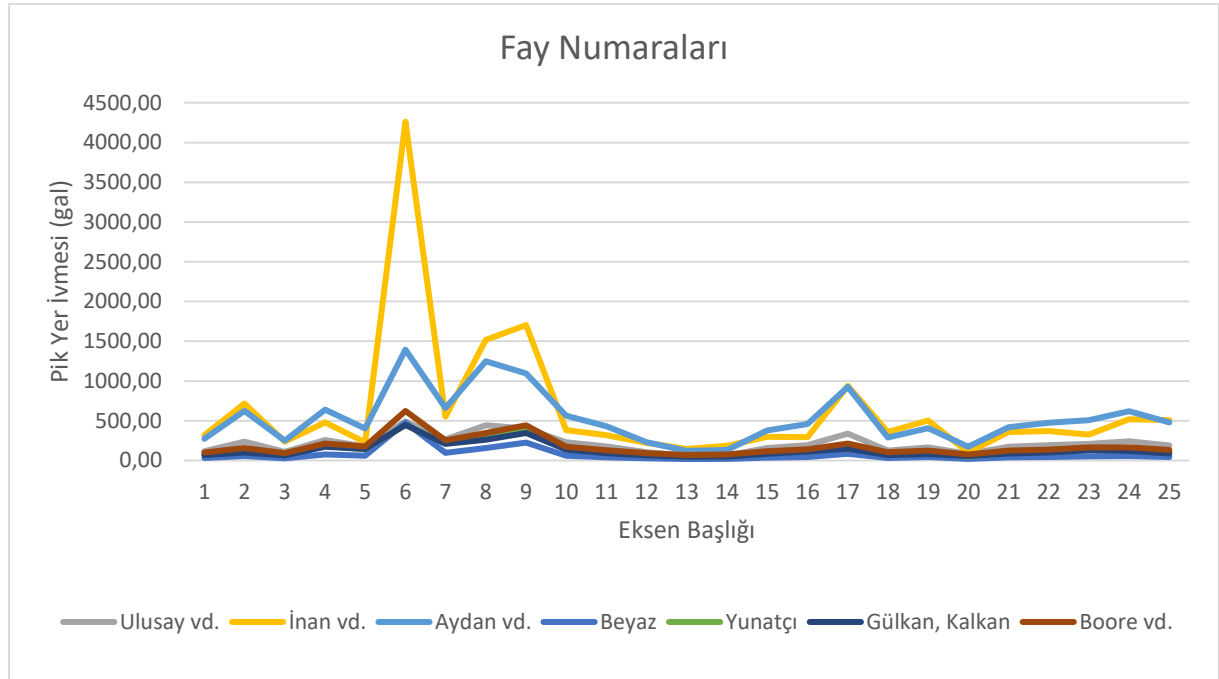


Şekil 4.16. Boore, Joyner ve Fumal’ın 1997 yılında sunduğu azalım ilişkisi ile çalışma sahasındaki fay hatlarının Biga ilçe merkezinde oluşturduğu pik yer ivmesi

Boore ve arkadaşlarının sunduğu azalım ilişkisinin de Şekil 4.16’dan yararlanarak diğer azalım ilişkileri ile kıyaslandığında tutarlı sonuçlar verdiği görülmektedir. Biga-Çan Fay Zonu’ndan hemen sonra en riskli sismik kaynak olarak görülen Sinekçi Fayı 441,62 gal pik yer ivmesi ile Gülkan ve Kalkan’ın sunduğu azalım ilişkisine paralellik göstermektedir.

Yapılan azalım ilişkileri sonucunda bulunan pik yer ivmesi değerlerinin tamamında Biga-Çan Fayı’nın ilçe merkezince en tehlikeli sismik kırık olduğu görülmektedir (Şekil 4.17). İnvan ve arkadaşlarının sunduğu bağıntıya göre bu faydaki 4260,52 gal (4,2 g) pik yer ivmesi gerçekçi olmamakla beraber Sarıköy ve Sinekçi Fayları dışında diğer fay hatları için sunduğu sonuçlar tutarlılık göstermektedir. Birçok fay hattı için diğer azalım ilişkilerinden yüksek sonuç

verse de yer yer Aydan ve arkadaşlarının sunduğu azalım ilişkisi sonuçlarından düşük değerler gösterebilmektedir. Kıyaslama yapılırken oluşturulan grafik ve tabloda fay isimleri Tablo 4.4'te girilen numaralar ile temsil edilmiştir.



Şekil 4.17. Azalım ilişkilerinin pik yer ivmesi grafiğinde kıyaslanması

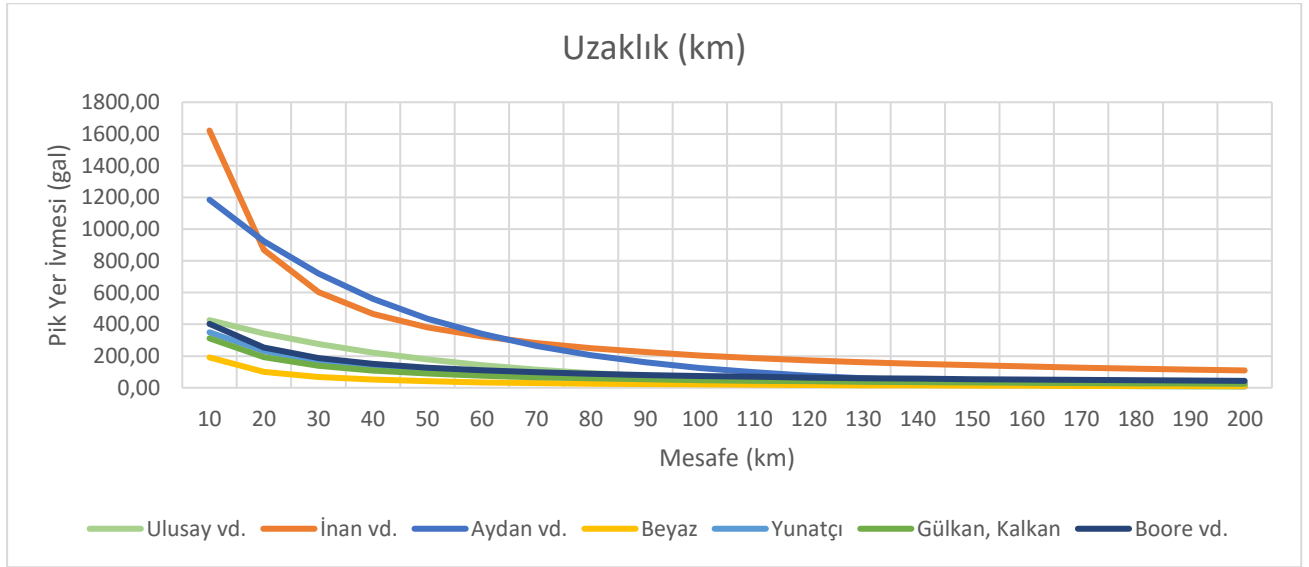
Azalım ilişkisi sonuçları kıyaslanırken Ulusay ve arkadaşlarının sunduğu ilişkide yumuşak zemin için verilen bağıntı göz önünde bulundurulmuştur. En yüksek değerler yumuşak zeminde görülse de diğer azalım ilişkilerine göre oldukça düşük pik ivme değerleri ile karşılaşılmıştır (Şekil 4.17). Ancak fayın ilçe merkezine mesafesi ve üretebileceği maksimum moment büyüklüğü beraber göz önünde bulundurulduğunda, bu çalışma açısından en tutarlı sonucu Ulusay ve arkadaşlarının önerdiği azalım ilişkisinin verdiği anlaşılmaktadır.

İnan ve arkadaşlarının sunduğu azalım ilişkisinde 6 numara ile temsil edilen Biga-Çan Fay Zonu'nda, diğer azalım ilişkilerine göre ve kendi içinde diğer faylara göre oldukça yüksek bir ivme değeri görülmektedir (Şekil 4.17). Bunun sebebi, söz konusu azalım ilişkisinin mesafeye oldukça duyarlı olmasıdır. Yapılan azalım ilişkisi çalışması kapsamında değerlendirilen deprem kayıtlarının, muhtemelen orijin olarak belirlenen noktaya oldukça uzak mesafede kayıtlar olduğu düşünülmektedir.

Tablo 4.14. Biga ilçe merkezine etkiye sismik kaynakların ilçe merkezinde yaratacağı ivme değerlerinin azalım ilişkilerine göre kıyası
(Değerler “gal” cinsindendir ve satırlarda en yüksek ivme değerleri renklendirilmiştir.)

No:	Ulusay vd.	İnan vd.	Aydan vd.	Beyaz	Yunatçı	Gülkan, Kalkan	Boore vd.
1	117,31	319,31	271,80	31,14	81,48	66,70	100,91
2	237,07	717,92	623,26	58,04	143,90	99,95	156,83
3	110,40	239,16	249,40	27,57	71,67	65,26	94,22
4	256,27	478,83	640,25	76,67	184,08	173,31	213,96
5	177,40	230,40	402,62	58,60	138,93	144,48	176,78
6	491,25	4260,52	1393,71	477,86	446,79	447,52	622,91
7	264,72	551,04	659,19	97,32	216,53	210,22	255,37
8	440,85	1516,56	1247,28	156,61	319,33	259,84	347,46
9	402,24	1703,60	1095,85	224,91	370,44	344,06	441,62
10	228,45	384,24	562,77	58,74	146,88	137,97	174,31
11	178,18	318,88	429,45	40,33	103,44	94,10	127,91
12	103,52	219,69	230,96	26,05	67,64	62,92	90,53
13	59,38	145,90	121,18	18,22	46,94	47,11	69,12
14	64,41	183,16	134,54	20,37	53,32	49,50	74,26
15	158,40	298,47	376,41	36,14	93,14	84,15	116,89
16	191,77	291,65	459,14	45,18	115,00	110,89	142,64
17	336,91	936,61	925,19	84,63	199,85	147,79	214,21
18	124,02	358,12	291,24	33,20	86,79	68,41	105,07
19	163,72	504,46	405,05	42,38	108,95	78,94	124,31
20	83,20	101,57	172,20	19,16	47,03	54,66	74,31
21	171,85	357,89	416,95	39,66	102,01	87,59	124,04
22	194,15	369,91	476,59	44,27	113,13	99,65	136,49
23	210,39	325,97	508,63	53,36	134,28	129,44	162,84
24	242,49	517,53	620,90	56,97	142,77	118,80	163,76
25	189,97	506,04	477,13	45,94	113,46	88,87	134,27

Genel anlamda İnan ve arkadaşlarının sunduğu azalım ilişkisi ile Aydan ve arkadaşlarının sunduğu azalım ilişkisi sonuçları diğerlerine göre oldukça yüksek değerler vermekte ve kendi içinde tutarlılık gösterse de ortaya çıkan tasarımsal ivme değerleri gerçekçi yorumlanmamaktadır. Azalım ilişkisi kurulurken bu çalışmada olduğu gibi pek çok ilişki türünden faydalanıp kıyaslamak, daha gerçekçi sonuçlara ulaşmaya sağlamaktadır. Tablo 4.14'te görüldüğü üzere bahsi geçen iki azalım ilişkisinin Biga ilçe merkezi için değerlendirilemeyecek ölçüde yüksek sonuçlar verdiği görülmektedir. Buna karşılık Beyaz'ın sunduğu azalım ilişkisi de çalışma sahası için uygun görülemeyecek ölçüde düşük pik ivme değerleri sağlamaktadır. Ayrıca Biga-Çan Fay Zonu için gösterdiği tutarsızlık da çalışma sahası için söz konusu azalım ilişkisinin uygun olmadığını göstermektedir.



Şekil 4.18. Azalım ilişkilerinin 7.0 deprem büyüklüğünde uzaklığa göre sonuçları (Ulusay vd. azalım ilişkisinde en büyük değeri yakalamak için yumuşak zemin özelinde sunulan pik yer ivmesi bağıntısı dikkate alınmıştır.)

Deprem büyüklüğü 7.0 M_w sabit tutularak sismik kaynağın çalışma merkez noktasına olan mesafesi 200 km boyunca değerlendirilmiştir. Azalım ilişkilerinin verdiği sonuçlar, Biga ilçe merkezine ait veriler dışında genel bir değerlendirmeye gözlemlenmiştir. Buna göre her mesafe için Beyaz'ın sunduğu bağıntı, en düşük sonuçları; ezici bir çoğunlukla da İnan ve arkadaşlarının sunduğu ilişki, en yüksek sonuçları vermiştir (Şekil 4.18).

Fay hattı ile sismik kaynak arasındaki mesafe 10 km dolaylarında iken İnan ve arkadaşlarının bağıntısı, Aydan ve arkadaşlarınıninkine göre daha yüksek sonuçlar verirken 20 km mesafeye yaklaşıldığında Aydan ve arkadaşlarının sunduğu sonuçların daha yüksek seyrettiği görülmektedir. Bu fark yaklaşık 60 km mesafeye kadar devam ettikten sonra İnan ve

arkadaşlarının sunduğu sonuçlar tekrar en yüksek değerleri vermeye başlamaktadır. Buna karşın Beyaz'ın sunduğu değerler, her mesafede en düşük pik ivme değerlerini vermeye devam etmektedir. O halde Beyaz'ın azalım ilişkisi önermesinin yalnızca Biga ilçe merkezi için değil, genel anlamda en düşük değerleri sunduğu söylenebilmektedir.

4.5.1. Yerel Jeolojiye Dayalı Azalım İlişkisi

Gülkan ve Kalkan'ın sunduğu azalım ilişkisinde en yüksek değer, Biga-Çan Fay Zonu'nda görülmüş ve 485,32 gal olarak hesap edilmiştir. Boore, Joyner ve Fumal'ın sunduğu azalım ilişkisine göre ise bu değer 622,91 gal düzeyindedir. Dolayısı ile azalım ilişkisi en yüksek risk barındıran Biga-Çan Fay Zonu'na göre yapılmıştır (Tablo 4.15). Buna dayanarak zemin etüt raporlarından edinilen bilgiler ışığında hesap edilen V_{s30} değerleri ve raporların ait olduğu konumların Biga-Çan Fay Zonu'na olan en yakın kuşbakışı mesafesi göz önünde bulundurulmuş, ilçenin konumsal azalım ilişkisi oluşturulmuştur. Hesaplamaların sonucu ArcGis adlı bilgisayar uygulaması üzerinden haritalanarak ilçenin zemin ivmesi yönünden tehlike haritası oluşturulmuştur (Şekil 5.1).

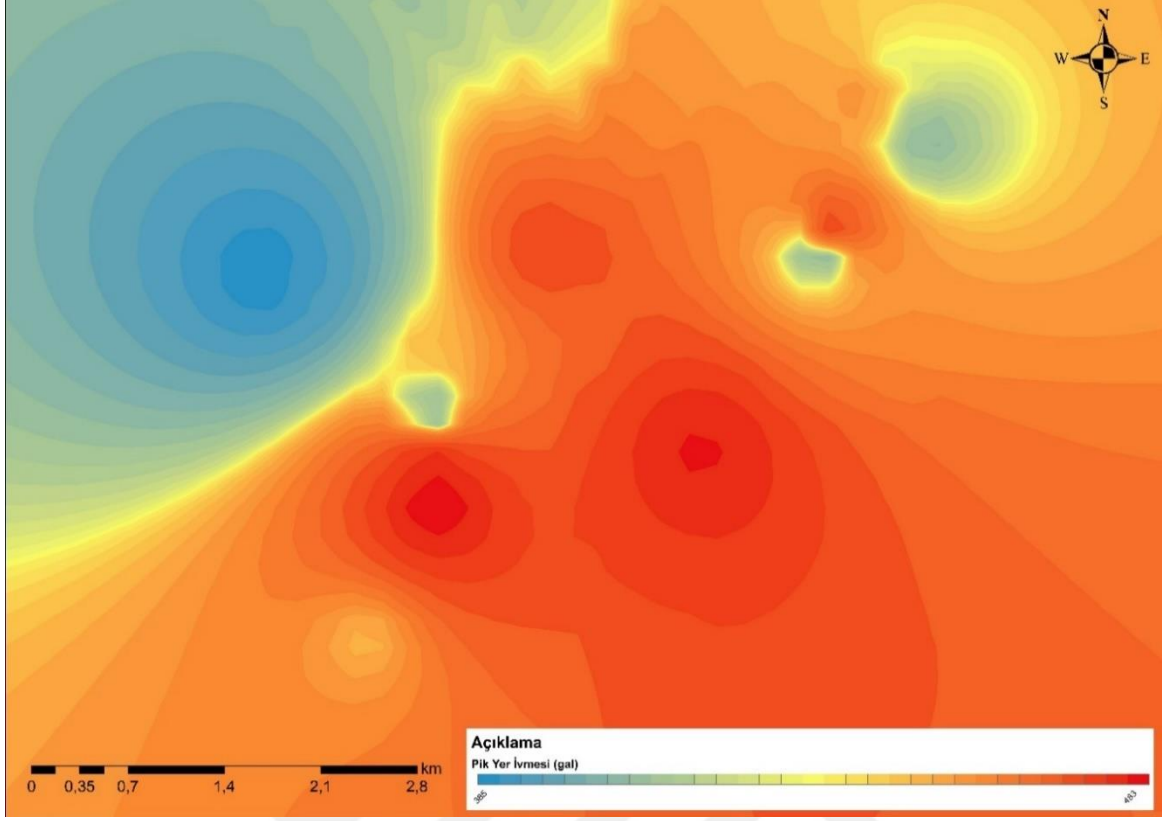
Tablo 4.15. Gülkan ve Kalkan'ın 2002'de sunduğu azalım ilişkisine dayanarak Biga ilçe merkezinde oluşan pik ivme değerleri
(PHA_{GK} : Gülkan ve Kalkan'a göre pik yatay ivme, PHA_{BJF} : Boore, Joyner ve Fumal'a göre pik yatay ivme)

Ada-Parsel	Mahalle	R (km)	V_{s30} (m/s)	PHA_{GK} (gal)	PHA_{BJF} (gal)
215-15	Cumhuriyet	3,21	372	436,36	509,75
818-2	Esentepe	4,79	265	433,36	521,10
830-16	Esentepe	4,51	265	439,65	531,22
415-32	Hamdibey	4,77	372	405,36	460,12
713-30	Hamdibey	4,99	467	382,88	416,50
1311-46	İstiklal	4,01	250	455,89	561,42
134-33	İstiklal	3,93	317	436,40	516,81
506-20	Sakarya	3,22	221	484,05	618,01
185-97	Sakarya	3,45	254	466,20	578,66
149-20	Sakarya	3,59	419	419,20	476,36
1355-4	Şirintepe	3,67	263	458,47	563,32

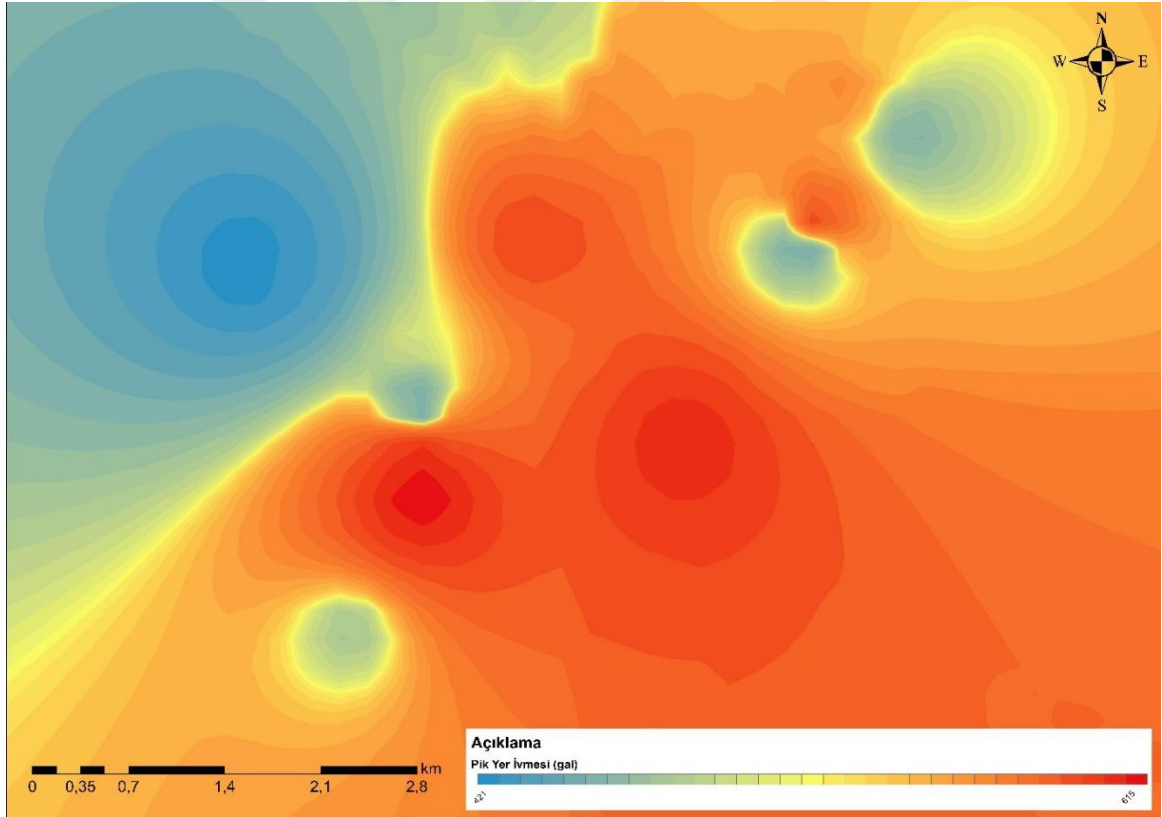
620-2	Şirintepe	4,28	331	425,40	496,85
586-10	Şirintepe	3,53	412	421,73	481,18
1001-9	Yeniceköy	2,37	289	473,50	586,64

Yapılan azalım ilişkisi sonucunda en riskli pik yer ivmesinin Gülkan ve Kalkan'a göre 484,05 gal ile, Boore ve arkadaşlarına göre ise 618,01 gal ile Sakarya Mahallesi'ndeki 506/20 ada/parselde bulunan lokasyonda olduğu anlaşılmaktadır. En az pik ivme değeri ise Gülkan ve Kalkan'a göre 382,88 gal ile, Boore ve arkadaşlarına göre de 416,50 gal ile Hamdibey Mahallesi'nde bulunan 713/30 ada/parselli lokasyondur. Zemin büyütme oranlarının hesaplandığı aşamada bu değerlerin tutarlılıkları da su yüzüne çıkacaktır. Ancak yalnızca azalım ilişkisi kurularak yapılan ivme değerleri nihayetinde Sakarya Mahallesi'nin en riskli, Hamdibey Mahallesi'nin ise en risksiz mahalleler olduğu söylenebilmektedir. Buna karşılık en yüksek değerler olan 0,48 g ve 0,62 g ile en düşük değerler olan 0,38 g ve ,042 g ivme değerleri göz önünde bulundurulduğunda iki lokasyonun da yerleşim güvenliği açısından tehlikeli olduğu anlaşılmaktadır.

İki azalım ilişkisi kıyaslandığında Boore ve arkadaşlarının sunduğu değerlerin Gülkan ve Kalkan'ın sunduğu değerlerden yüksek olduğu görülmektedir. Bunun esas sebebi, azalım ilişkisi için bağıntı üretilirken baz alınan tarihler arasındaki deprem kayıtları ve konumlardır. Nitekim Boore ve arkadaşlarının üzerinde çalıştığı deprem kayıtları ve konum; daha yoğun depremsellik barındırmakta ve buna bağlı olarak bağıntı sonuçları daha güvenli alanda kalmayı gerektirmektedir. Ancak bu farklılıklara rağmen oransal benzerlik ve fayların birbirlerine göre etki ivme değerleri, iki azalım ilişkisinin de tutarlı sonuçlar yarattığını yansıtmaktadır. Gülkan ve Kalkan'ın sunduğu azalım ilişkisine göre Biga ilçe merkezinin kabaca ortalama pik ivme değeri 0,44 g iken; Boore, Joyner ve Fumal'ın sunduğu azalım ilişkisine göre 0,52 g'dir. İki değer de ilçenin deprem geçmişi ve bu geçmişe dayalı ivme kayıtları hesaba katıldığında gerçekçi ve tutarlı bulunmaktadır.



Şekil 4.19. Gülkan ve Kalkan'ın azalım ilişkisine göre Biga ilçe merkezinde pik yer ivmesi haritası



Şekil 4.20. Boore ve arkadaşlarının azalım ilişkisine göre Biga ilçe merkezinde pik yer ivmesi haritası

İki azalım ilişkisinin önerdiği bağıntılar ışığında yapılan hesaplamaların, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de sunulan haritalar üzerinde incelendiğinde birbiriyle yüksek oranda uyumlu sonuçlar sağladığı görülmektedir. “ArcGis” adlı bilgisayar uygulaması üzerinden yapılan haritalama çalışması, pik ivme değerlerinin interpolasyona tabi tutulması ile alınan sonuçları yansıtmaktadır.

Haritalardan da bir kez daha anlaşılacağı üzere Boore ve arkadaşlarının azalım ilişkisi, Gülkan ve Kalkan’ın azalım ilişkisine göre daha yüksek ivme değerleri vermektedir. Ancak bu artış en fazla 0,1g dolaylarındadır. Dolayısı ile alınan sonuçların birbiri ile kıyasına dayanarak tutarlı olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 4.20’de güneybatı bölgelerinde görülen yüksek ivme düşüşü, Şekil 4.19’da dikkat çekmeyecek ölçüde küçüktür. Boore ve arkadaşlarının azalım ilişkisinde bu bölgeden alınan zemin etüt raporuna dayanarak önemli bir ivme düşüşü hesap edilmektedir. V_{s30} ’a göre yapılan haritalamada (Şekil 5.1) söz konusu alan üzerinde gözlem yapıldığında da V_{s30} değerinin oldukça yükseldiği görülmektedir, ancak zemin büyütme haritalarındakine benzer bir güvenli alana geçiş anlaşılamamaktadır. Ayrıca V_{s30} ile üretilen harita ve Şekil 4.19 ve Şekil 4.20 kıyaslandığında Boore ve arkadaşlarının sunduğu bağıntının daha tutarlı sonuçlar sağladığı anlaşılmaktadır.

4.5.2. Kayıtlara Göre Belirlenen Pik İvme Değerleri ile Azalım İlişkisi

Wells ve Coppersmith’in sunduğu bağıntı ile hesap edilen pik moment değerleri, aletsel dönem içerisinde gerçekleşmiş depremlerin faylara ayrılması ile oluşan pik moment değerlerine göre oldukça değişiklik göstermektedir. İvme kaydı alınabilmiş depremlerin henüz son 122 yılda tespit edilebildiği, fayların bu süre içerisinde periyodunu doldurmamış olabileceği, yüzey kırıklarının birçok sismik kaynakta gerçekleşmemiş olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu farklılık anlaşılabilir. Her açıdan güvenli alanda kalmak ve daha tutarlı sonuçlar elde edebilmek için bağıntı yoluyla hesaplanan pik moment büyüklükleri dikkate alınarak haritalama çalışması yapılmıştır.

Kaydedilmiş depremlerin pik moment büyüklüklerine göre azalım ilişkilerinin tamamı, hesap edilen pik moment büyüklüklerine uygulandığı gibi uygulanabilmektedir. Ancak haritalama çalışmalarına bu veri ile devam edilmeyeceği için yalnızca farklılıkları görebilmek adına detay verilmeden azalım ilişkisi uygulanmış, sonuçlar tablolar halinde listelenmiştir. Buna karşılık Ulusay ve arkadaşlarının sunmuş olduğu azalım ilişkisi önermesinde zemin

tiplerine göre ayrı ayrı bağıntılar üretildiği için bu azalım ilişkisi sonuçlarının özerk olarak listelenmesi uygun görülmüş, Tablo 4.16'da her fay hattı için pik yer ivmesi değerleri hesaplanarak gösterilmiştir.

Tablo 4.16. Biga ilçe merkezinde, aletsel dönem dahilinde tespit edilen pik moment büyüklüklerine dayanarak hesaplanan pik yer ivme değerleri
(Ulusay, Tuncay, Sönmez ve Gökçeoğlu'nun 2004'te sunduğu azalım ilişkisi sonucu)

Fay No:	R_e (km)	SRL (km)	M_{max}	PGA (gal)		
				Kaya	Zemin	Yumuşak Zemin
1	72,8	56	5,7	27,94	33,15	42,22
2	51,7	109	6,9	105,77	125,49	159,79
3	67,7	35	5,7	31,23	37,05	47,18
4	18,1	18,2	5,8	99,01	117,47	149,58
5	15,2	5,6	4,3	35,50	42,12	53,63
6	3,4	44,9	5,2	88,24	104,70	133,32
7	12,8	14,5	4,4	40,22	47,72	60,77
8	14,7	65,5	Veri yok			
9	7,2	32,6	6,2	167,87	199,17	253,62
10	24,7	19,7	4,3	28,86	34,24	43,60
11	43,1	29,9	4,4	20,78	24,65	31,39
12	69,2	32,1	5,2	21,02	24,94	31,76
13	91,1	25,9	6,2	26,96	31,98	40,72
14	92,8	35,8	4,8	9,40	11,15	14,20
15	50	32,7	5,3	34,36	40,76	51,91
16	31,4	18,2	5,8	74,09	87,90	111,93
17	31,7	86,5	6,8	152,12	180,48	229,82
18	72,8	65,2	5,6	25,99	30,83	39,26
19	65,6	90,7	5,3	24,45	29,01	36,94
20	58,8	9,5	4,5	15,87	18,82	23,97

21	50,5	42,1	5,5	39,29	46,62	59,37
22	41,9	35,2	4,4	21,33	25,31	32,22
23	25,3	16,3	Veri yok			
24	36,3	46,3	4,3	22,41	26,59	33,86
25	55,5	74,6	6,5	72,82	86,40	110,02

Pik yer ivmesi değerlerinin tüm zemin tipleri için moment magnitudündeki genel düşüşe bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Nitekim bağıntı ile hesaplanan moment büyüklükleri, aletsel dönem içerisinde gözlenen pik moment büyüklüklerine göre her sismik kaynak için daha büyük sonuçlar vermektedir. Dolayısı ile son yapılan azalım ilişkisi içerisinde ivme değerlerinin düşmesi olağan bir sonuçtur.

Tablo 4.17. Biga ilçe merkezinde, aletsel dönem dahilinde tespit edilen pik moment büyüklüklerine dayanarak çeşitli azalım ilişkileri ile hesaplanan pik yer ivme değerleri
(PHA_I: İnan ve arkadaşlarının sunduğu azalım ilişkisine bağlı PHA, PHA_A: Aydan ve arkadaşlarının sunduğu azalım ilişkisine bağlı PHA, PHA_B: Beyaz'ın sunduğu azalım ilişkisine bağlı PHA, PHA_Y: Yunatçı'nın sunduğu azalım ilişkisine bağlı PHA)

Fay Adı	R _e (km)	SRL (km)	M _{max}	PHA _I	PHA _A	PHA _B	PHA _Y
KAFZ - Saros Segmenti	72,8	56	5,7	38,82	76,22	10,85	23,13
KAFZ - Ganos Segmenti	51,7	109	6,9	318,32	381,88	36,79	94,88
KAFZ - Tekirdağ Segmenti	67,7	35	5,7	41,44	86,59	11,65	25,15
Karabiga Fayı	18,1	18,2	5,8	157,79	327,57	44,89	108,46
Ortaburun Sırtı	15,2	5,6	4,3	19,56	89,89	21,82	37,55
Biga-Çan Fay Zonu	3,4	44,9	5,2	289,51	274,59	132,65	146,45
Yaykın Çizgiselliği	12,8	14,5	4,4	26,52	104,62	26,96	47,45
Sinekçi Fayı	7,2	32,6	6,2	658,26	617,60	138,56	252,68
Gündoğan Fayı	24,7	19,7	4,3	12,63	70,88	13,75	22,45
Edincik Fayı	43,1	29,9	4,4	8,89	49,05	8,43	12,32
Bandırma Fayı	69,2	32,1	5,2	19,23	53,00	8,29	15,04
Karacabey Fayı	91,1	25,9	6,2	67,06	75,82	12,31	29,03
Mustafakemalpaşa Fayı	92,8	35,8	4,8	8,11	20,41	4,91	6,82

Manyas Fay Zonu	50	32,7	5,3	29,92	93,79	12,14	24,56
Akçapınar Fayı	31,4	18,2	5,8	96,11	234,91	26,45	64,15
Yenice Gönen Fayı	31,7	86,5	6,8	425,64	575,32	54,76	138,01
Balıkesir Fayı	72,8	65,2	5,6	33,43	69,63	10,15	21,00
Havran – Balya Fay Zonu	65,6	90,7	5,3	23,43	63,50	9,29	17,73
Şamlı Fayı	58,8	9,5	4,5	7,81	36,31	6,54	9,06
Eybek Çizgiselliği	50,5	42,1	5,5	40,00	111,05	13,64	29,25
Pazarköy Fayı	41,9	35,2	4,4	9,12	50,55	8,66	12,78
Evciler Fayı	36,3	46,3	4,3	8,93	53,04	9,47	13,94
Edremit Fay Zonu	55,5	74,6	6,5	164,11	242,07	25,08	61,87

Aletsel döneme ilişkin verilere dayanarak elde edilen pik moment değerine dayanan yer ivmesi değerlerinde Sinekçi Fayı'nın en büyük ivmeyi yakaladığı görülmektedir. Bağıntı ile hesaplanan sonuçlarda ise tüm azalım ilişkilerinde en yüksek değer Biga-Çan Fay Zonu için sağlanmaktadır. Bunun sebebi Biga-Çan Fay Zonu'nun Sinekçi Fayı'na göre daha uzun olması, yalnızca kırık uzunluğuna dayalı bağıntı ile hesaplanan pik moment değerlerinin de doğal olarak daha büyük hesaplanmasıdır. Ancak son 122 yıllık aletsel dönem deprem kayıtlarına bakıldığında Sinekçi Fayı kaynaklı en yüksek 6.2 M_w büyüklüğünde deprem görülürken, Biga-Çan Fay Zonu'nda 5.2 M_w büyüklüğünde depreme rastlanmaktadır. Bağıntı ile hesaplanan sonuçlarda ise Sinekçi Fayı'nda pik moment magnitudü 6.8 M_w , Biga-Çan Fay Zonu'nda ise 7.0 M_w olarak hesaplandığı görülmektedir. Sinekçi Fayı'nın çalışma sahası merkez noktasına daha uzak olduğu bilgisi de göz önünde bulundurulduğunda ortaya çıkan sonuçlar daha anlaşılır bir nitelik kazanmaktadır.

Deprem verilerine dayanarak elde edilen pik moment büyüklükleri ile azalım ilişkisi kurarken Biga-Çan Fay Zonu'nun henüz aletsel dönem içerisinde yüzey kırığı oluşturmadığı ve doğal olarak pik moment büyüklüğünü sismograflara yansıtmadığı göz ardı edilmemelidir. Buna ve bağıntı ile hesaplanan sonuçların tutarlılığına dayanarak aletsel döneme dayalı pik moment hesaplamalarının birçok hataya açık olduğu görülmektedir. Nitekim çalışma, bağıntıya dayalı pik moment magnitudleri ile yürütülmüştür.

5. BİGA'NIN ZEMİN DAVRANIŞ ANALİZİ

5.1. Ortalama Kayma Dalgası

Sismik kaynaktan üretilen deprem dalgaları, zemin içerisinde; sismik enerjinin moment büyüklüğüne, mesafeye ve zemin katmanlarının karakterine göre değişiklik göstererek yayılmaktadır. Yapılar için hasar tehdidi oluşturan ve depremin ikinci dalgası olan “S” dalgası; zeminin rijitliği arttıkça salınımını düşürmekte, zemin seyreldikçe salınımını yükseltmektedir. Dolayısı ile rijit maddeler ile karşılaşan ikincil dalgada yaşanan frekans kaybı, yaşam alanlarındaki yapısal hasar tehdidini de azaltmaktadır. Deprem dalgası için görülen ve zeminin yapısına bağlı olan bu büyütme ya da sönümlleme özelliği, sahada yapılan yerel zemin çalışmaları sayesinde öngörülebilir hale getirilebilmektedir. Özellikle yerel zemin şartlarının gözlemlenebilmesi için yapılan sondaj çalışmalarında elde edilen standart penetrasyon deneyine ait veriler, zeminin deprem dalgasına karşı göstereceği mukavemeti de doğrudan yansıtabilir niteliktedir.

Biga ilçe merkezine ait özel bir firmadan elde edilen 14 adet zemin etüt raporundan yola çıkarak, ilçe geneline dair deprem dalgasına karşı karakter analizi yapmak mümkün hale gelmiştir. İlçenin Hamdibey Mahallesi'ne ait 2, İstiklal Mahallesi'ne ait 2, Sakarya Mahallesi'ne ait 3, Cumhuriyet Mahallesi'ne ait 1, Esentepe Mahallesi'ne ait 2, Şirintepe Mahallesi'ne ait 3, Yeniceköy Mahallesi'ne ait 1 adet olmak üzere toplamda 14 adet zemin etüt raporundan sondaj verilerine dair bilgiler alınarak zemin tabakalarına ait V_{s30} değerleri hesap edilmiştir.

Sondaj çalışmaları neticesinde her zemin katmanına dair elde edilen V_s değerleri kullanılarak Denklem 2.2 yardımı ile 30 metre derinlik boyunca V_{s30} hesap edilmiştir. Mahallelere özgü hesap edilen V_s değerleri ile daha sonra 3 yöntemle ilgili olarak zemin büyütme oranları hesap edilerek ArcGis uygulaması yardımı ile interpolasyon haritası üretilmiş, ilçenin deprem dalgalarına zemin karakteri açısından göstereceği büyütme/sönümlleme analiz edilmiştir.

- Sakarya Mahallesi

0,15 km² yüzölçümüne sahip olan Sakarya Mahallesi'nin nüfusu 16.483 kişiden oluşmaktadır (TÜİK, 2021). Mahalleye ait üç ayrı lokasyondan temin edilen sondaj verilerine dayanarak zemin tabakalarına ait V_s değerleri, çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmıştır.

Tablo 5.1. Sakarya Mahallesi’nde 506 ada, 20 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler

Parametreler	V_s		
	1. Tabaka	2. Tabaka	3. Tabaka
V_s (m/s)	130	164	265
Ortalama kalınlık (m)	3	4	-
Hesaplanan $V_{s_{30}}$ (m/s)	223,45		
Raporda $V_{s_{30}}$ (m/s)	221		
Ada – Parsel	506 – 20		
Enlem – Boylam	40.2189 – 27.2423		

Tablo 5.2. Sakarya Mahallesi’nde 185 ada, 97 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler

Parametreler	V_s			
	1. Tabaka	2. Tabaka	3. Tabaka	4. Tabaka
V_s (m/s)	166	188	270	309
Ortalama kalınlık (m)	3	4	9	-
Hesaplanan $V_{s_{30}}$ (m/s)	254,26			
Raporda $V_{s_{30}}$ (m/s)	254			
Ada – Parsel	185 – 97			
Enlem – Boylam	40.2222 – 27.2419			

Tablo 5.3. Sakarya Mahallesi’nde 149 ada, 20 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler

Parametreler	V_s			
	1. Tabaka	2. Tabaka	3. Tabaka	4. Tabaka
V_s (m/s)	193	355	440	576
Ortalama kalınlık (m)	3	4	9	-

Hesaplanan V_{s30} (m/s)	419,16
Raporda V_{s30} (m/s)	419
Ada – Parsel	149 – 20
Enlem – Boylam	40.2244 – 27.2419

Zemin büyütme oranının tespiti için gereken V_{s30} değerleri Tablo 5.1,

Tablo 5.2 ve

Tablo 5.3'te görüldüğü gibi hesaplanmıştır. Burada “Hesaplanan V_{s30} ”, Denklem 2.2 ile çalışma kapsamında hesaplanan değeri; “Raporda V_{s30} ” ise sondaj verilerinin temin edildiği zemin etüt raporunda firmanın hesapladığı değeri yansıtmaktadır. 506 ada, 20 parsel dışındaki V_{s30} değerleri iki sonuçta da örtüşmekle beraber; diğer sonuçta da yakın değerlerin elde edildiği görülmektedir.

V_{s30} değerleri bazında zemin sınıflandırması, 2018 yılında yayınlanan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)’ne göre değerlendirildiğinde; 506/20 ve 185/97 ada-parceldeki zeminlerin ZD, 149/20 ada-parceldeki zeminin ise ZC olduğu tespit edilmektedir. Bu 3 ayrı zemin örneğini göz önünde bulundurarak, Sakarya Mahallesi’nin zemin yapısının genel halde sıkı kum, çakıl veya oldukça katı formda kilden oluştuğu yargısı ortaya konabilmektedir.

- İstiklal Mahallesi

1,48 km² yüzölçümüne sahip olan İstiklal Mahallesi’nin nüfusu 1801 kişiden oluşmaktadır (TÜİK, 2021). Mahalleye ait iki ayrı lokasyondan temin edilen sondaj verilerine dayanarak zemin tabakalarına ait V_s değerleri, çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmıştır.

Tablo 5.4. İstiklal Mahallesi’nde 1311 ada, 46 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler

Parametreler	V_s		
	1. Tabaka	2. Tabaka	3. Tabaka
V_s (m/s)	170	199	280
Ortalama kalınlık (m)	3	4	-
Hesaplanan V_{s30} (m/s)	250,23		
Raporda V_{s30} (m/s)	250		

Ada – Parsel	1311 – 46
Enlem – Boylam	40.2353 – 27.2493

Tablo 5.5. İstiklal Mahallesi’nde 134 ada, 33 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyüme hesaplamaları için gereken

Parametreler	V_s		
	1. Tabaka	2. Tabaka	3. Tabaka
V_s (m/s)	152	247	367
Ortalama kalınlık (m)	2	3	-
Hesaplanan V_{s30} (m/s)	321,12		
Raporda V_{s30} (m/s)	317		
Ada – Parsel	134 – 33		
Enlem – Boylam	40.2290 – 27.2418		

İstiklal Mahallesi için yapılan zemin çalışmalarından 134/33 ada-parceldeki verilerde çalışma kapsamında hesaplanan değerle raporda hesap edilen değer arasında farklılık görülmektedir. Hesaplanan V_{s30} 321,12 m/s iken, raporda sunulan değer 317 m/s’dir. Bunun sebebinin tabaka kalınlığına ilişkin değerlerin hatalı girilmiş olduğu düşünülmektedir. 2. tabakaya ait 3 m kalınlık değeri, 4 m olarak hesap edildiğinde raporda sunulan sonuç elde edilmektedir. Bu hatayı göz önünde bulundurarak raporda verilen değer esas alınacaktır.

V_{s30} değerleri bazında zemin sınıflandırması, 2018 yılında yayınlanan TBDY’ye göre değerlendirildiğinde, her iki zemin örneğinin de ZD sınıfında olduğu tespit edilmektedir. Buradan çıkarımla İstiklal Mahallesi’nin genel zemin yapısının orta sıkı-çok sıkı kum, çakıl ya da çok katı hale kilden oluştuğu söylenebilmektedir.

- Şirintepe Mahallesi

1,11 km² yüzölçümüne sahip olan Şirintepe Mahallesi’nin nüfusu 9785 kişiden oluşmaktadır (TÜİK, 2021). Mahalleye ait üç ayrı lokasyondan temin edilen sondaj verilerine dayanarak zemin tabakalarına ait V_s değerleri, çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmıştır.

Tablo 5.6. Şirintepe Mahallesi’nde 1355 ada, 4 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler

Parametreler	V_s		
	1. Tabaka	2. Tabaka	3. Tabaka
V_s (m/s)	194	207	288
Ortalama kalınlık (m)	3	4	-
Hesaplanan V_{s30} (m/s)	261,67		
Raporda V_{s30} (m/s)	263		
Ada – Parsel	1355 – 4		
Enlem – Boylam	40.2368 – 27.2683		

Tablo 5.7. Şirintepe Mahallesi’nde 620 ada, 2 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler

Parametreler	V_s		
	1. Tabaka	2. Tabaka	3. Tabaka
V_s (m/s)	219	245	383
Ortalama kalınlık (m)	3	4	-
Hesaplanan V_{s30} (m/s)	333,05		
Raporda V_{s30} (m/s)	331		
Ada – Parsel	620 – 2		
Enlem – Boylam	40.2425 – 27.2743		

Tablo 5.8. Şirintepe Mahallesi’nde 586 ada, 10 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler

Parametreler	V_s		
	1. Tabaka	2. Tabaka	3. Tabaka
V_s (m/s)	179	309	577
Ortalama kalınlık (m)	3	4	-

Hesaplanan V_{s30} (m/s)	431,24
Raporda V_{s30} (m/s)	412
Ada – Parsel	586 – 10
Enlem – Boylam	40.2354 – 27.2674

Şirintepe Mahallesi için yapılan zemin çalışmalarından 586/10 ada-parceldeki verilerde İstiklal Mahallesi’nde olduğu gibi çalışma kapsamında hesaplanan değerle raporda hesap edilen değer arasında farklılık görülmektedir. Hesaplanan V_{s30} 431,24 m/s iken, raporda sunulan değer 412 m/s’dir. Bunun sebebinin de yine tabaka kalınlığına ilişkin değerlerin hatalı girilmiş olması ihtimalidir ancak doğru değer kaç metre olduğu tespit edilememiştir. Kaynağı tespit edilemeyen hataya göz önünde bulundurarak raporda verilen değer esas alınacaktır.

V_{s30} değerleri bazında zemin sınıflandırması, 2018 yılında yayınlanan TBDY’ye göre değerlendirildiğinde; 1355/4 ve 620/2 ada-parceldeki zemin örneklerinin ZD, 586/10 ada-parceldeki zemin örneğinin ise ZC olduğu tespit edilmektedir. Bu üç ayrı zemin örneğini göz önünde bulundurarak, Şirintepe Mahallesi’nin Sakarya Mahallesi’ne benzer şekilde zemin yapısının genel halde sıkı kum, çakıl veya oldukça katı formda kilden oluştuğu yargısı ortaya konabilmektedir.

- Yeniceköy Mahallesi

Nüfusu 2096 kişiden oluşan (TÜİK, 2021) Yeniceköy Mahallesi, Biga ilçe merkezinin en doğudaki mahallesi olmakla beraber Biga-Çan Fayı’nın başladığı lokasyona en yakın mahallesidir. Mahalleye ait bir konumdan temin edilen sondaj verilerine dayanarak zemin tabakalarına ait V_s değerleri, çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmıştır.

Tablo 5.9. Yeniceköy Mahallesi’nde 1001 ada, 9 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler

Parametreler	V_s			
	1. Tabaka	2. Tabaka	3. Tabaka	4. Tabaka
V_s (m/s)	171	286	326	576
Ortalama kalınlık (m)	3	4	9	-
Hesaplanan V_{s30} (m/s)	359,53			
Raporda V_{s30} (m/s)	289			

Ada – Parsel	1001 – 9
Enlem – Boylam	40.2221 – 27.2595

Tablo 5.9’da gösterilen zemin etüt raporuna ilişkin V_{s30} değerlerinde, hesaplanan ile raporda verilen V_{s30} değeri arasında ciddi bir fark görülmektedir. Ancak verilen zemin katmanı kalınlıklarına göre hesap edilen 359,53 m/s’lik V_{s30} her ne kadar doğru hesaplanmış ise de raporun detaylarında hata olabileceği göz önünde bulundurularak raporda hesaplanan değer baz alınacaktır.

Verilen V_{s30} değeri (289 m/s) göz önünde tutulup V_{s30} değerleri bazında zemin sınıflandırması, 2018 yılında yayınlanan TBDY’ye göre değerlendirildiğinde; Yeniceköy Mahallesi’nin ZD sınıfında zemin tipine sahip olduğu görülmektedir. Buna göre zeminin orta sıkı-sıkı kum, çakıl ya da çok katı kil tabakalarından oluştuğu anlaşılmaktadır.

- Esentepe Mahallesi

Esentepe Mahallesi’nin nüfusu 2798 kişiden oluşmaktadır (TÜİK, 2021). Mahalleye ait iki ayrı lokasyondan temin edilen sondaj verilerine dayanarak zemin tabakalarına ait V_s değerleri, çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmıştır.

Tablo 5.10. Esentepe Mahallesi’nde 818 ada, 2 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler

Parametreler	V_s		
	1. Tabaka	2. Tabaka	3. Tabaka
V_s (m/s)	164	222	292
Ortalama kalınlık (m)	2	5	-
Hesaplanan V_{s30} (m/s)	264,35		
Raporda V_{s30} (m/s)	265		
Ada – Parsel	818 – 2		
Enlem – Boylam	40.2472 – 27.2723		

Tablo 5.11. Esentepe Mahallesi’nde 830 ada, 16 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler

Parametreler	V_s		
	1. Tabaka	2. Tabaka	3. Tabaka
V_s (m/s)	164	222	292
Ortalama kalınlık (m)	2	5	-
Hesaplanan V_{s30} (m/s)	264,35		
Raporda V_{s30} (m/s)	265		
Ada – Parsel	830 – 16		
Enlem – Boylam	40.2452 – 27.2704		

Tablo 5.10 ve

Tablo 5.11’de görüldüğü üzere tabakalar için V_s değerleri birbiriyle aynı değerde bulunmuştur. Sondaj verilerinden aynı değerlerin sağlanması ihtimali oldukça düşük olduğundan etüt raporlarında hata yapıldığı düşünülmektedir. Ancak çalışma kapsamında, iki lokasyonun birbirine yakınlığı göz önünde bulundurularak raporlara bağlı kalıp yaşanan hata göz ardı edilecektir. Hesaplanan V_{s30} ile raporda sunulan V_{s30} değerleri tamamen örtüşmektedir.

V_{s30} değerleri bazında zemin sınıflandırması, 2018 yılında yayınlanan TBDY’ye göre değerlendirildiğinde; diğer pek çok mahalleninkine benzer şekilde Esentepe Mahallesi’nin zemininin de ZD olduğu tespit edilmektedir. Buna göre zeminin orta sıkı-sıkı kum, çakıl ya da çok katı kil tabakalarından oluştuğu anlaşılmaktadır.

- Hamdibey Mahallesi

1,64 km² yüzölçümüne sahip olan Hamdibey Mahallesi’nin nüfusu 16.430 kişiden oluşmaktadır (TÜİK, 2021). Mahalleye ait iki ayrı lokasyondan temin edilen sondaj verilerine dayanarak zemin tabakalarına ait V_s değerleri, çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmıştır.

Tablo 5.12. Hamdibey Mahallesi’nde 415 ada, 32 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyütme hesaplamaları için gereken parametreler

Parametreler	V_s
--------------	-------

	1. Tabaka	2. Tabaka	3. Tabaka
V_s (m/s)	203	376	542
Ortalama kalınlık (m)	5	15	-
Hesaplanan V_{s30} (m/s)	361,56		
Raporda V_{s30} (m/s)	372		
Ada – Parsel	415 – 32		
Enlem – Boylam	40.2332 – 27.2340		

Tablo 5.13. Hamdibey Mahallesi’nde 713 ada, 30 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyüme hesaplamaları için gereken parametreler

Parametreler	V_s		
	1. Tabaka	2. Tabaka	3. Tabaka
V_s (m/s)	222	393	583
Ortalama kalınlık (m)	3	4	-
Hesaplanan V_{s30} (m/s)	475,11		
Raporda V_{s30} (m/s)	467		
Ada – Parsel	713 – 30		
Enlem – Boylam	40.2337 – 27.2315		

Her iki zemin örneğinde de V_{s30} değerlerinde, hesap edilen değer ile raporda sunulan değer arasında dikkate değer farklar olduğu görülmektedir. 415/32 ada/parselden alınan zemin etüt raporunda ikinci tabaka için verilen 15 m’lik derinlik için 12 m düzeltmesi yapıldığında raporda sunulan V_{s30} değeri sağlanmaktadır. Bu sebeple zemin etüt raporunda 2. tabakaya ait derinlik miktarının hatalı girildiği yargısı oluşmaktadır. 713/30 ada/parselden alınan zemin etüt raporunda ise 2. tabakaya dair verilen derinlik değerinin 4 m olduğu, ancak yapılan hesaplamalar sonucu bu değer sağlanmadığı görülmektedir. Bu tabaka için derinlik değeri düzeltmesi 5 m olarak yapıldığında 468,96 m/s’lik V_{s30} hızına erişilmektedir. Dolayısı ile raporda hesap edilen 467 m/s V_{s30} değerine oldukça yaklaşılmaktadır. Raporda derinliğin hatalı girildiği düşünülerek V_{s30} hızının olarak 467 m/s olduğu kabul edilecektir.

V_{s30} değerleri bazında zemin sınıflandırması, 2018 yılında yayınlanan TBDY'ye göre değerlendirildiğinde; her iki zeminin de ZC sınıfında olduğu tespit edilmektedir. Dolayısı ile Hamdibey Mahallesi için çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları ya da ayrıışmış halde çok çatlaklı zayıf kayalardan oluşan bir zemin yapısına sahip olduğu söylenebilmektedir.

- Cumhuriyet Mahallesi

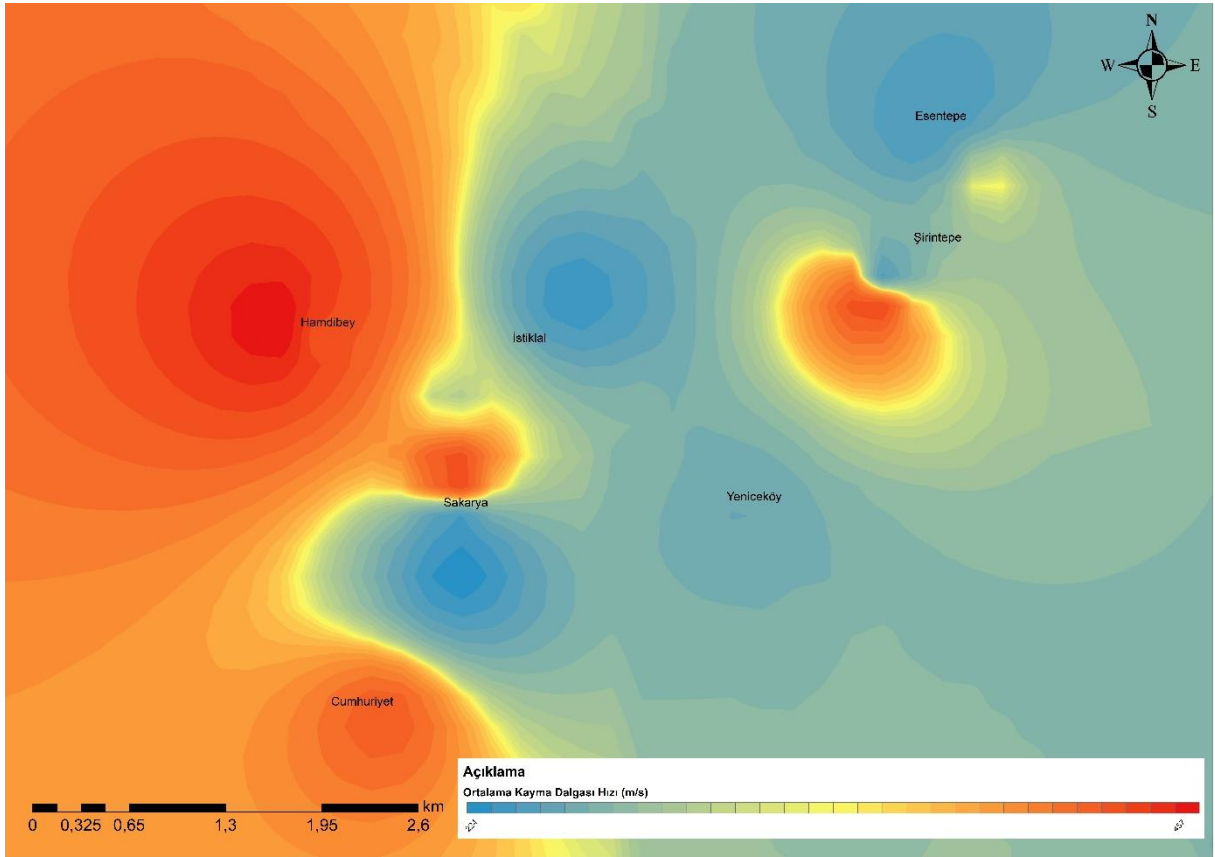
5,68 km² yüzölçümüne sahip olan Cumhuriyet Mahallesi'nin nüfusu 5687 kişiden oluşmaktadır (TÜİK, 2021). Doğal olarak diğer mahalleler kadar nüfus-yoğun bir yerleşime sahip değildir. Mahalleye ait bir lokasyondan temin edilen sondaj verilerine dayanarak zemin tabakalarına ait V_s değerleri, çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmıştır.

Tablo 5.14. Cumhuriyet Mahallesi'nde 215 ada, 15 parselde yapılan sondaj çalışmasının, zemin büyüme hesaplamaları için gereken parametreler

Parametreler	V_s		
	1. Tabaka	2. Tabaka	3. Tabaka
V_s (m/s)	203	376	542
Ortalama kalınlık (m)	5	15	-
Hesaplanan V_{s30} (m/s)	361,56		
Raporda V_{s30} (m/s)	372		
Ada – Parsel	215 – 15		
Enlem – Boylam	40.2332 – 27.2340		

Cumhuriyet Mahallesi'nden temin edilen zemin etüt raporunda sunulan V_{s30} ile çalışma kapsamında hesap edilen V_{s30} arasında fark olduğu görülmektedir. Hesaplanan 361,56 m/s değerine karşılık raporda 372 m/s'lik V_{s30} hızı hesaplanmıştır. Burada da ikinci tabakanın derinliğinde 15 m yerine 12 m düzeltmesi yapıldığında yaklaşık değer temin edilebilmektedir. Dolayısı ile 2. tabakaya ait derinlik değerinin çizelgede yanlış gösterilmiş olduğu ihtimali ağır basmaktadır. Bu sebeple raporda sunulmuş olan 372 m/s'lik V_{s30} göz önünde bulundurulacaktır.

V_{s30} değerleri bazında zemin sınıflandırması, 2018 yılında yayınlanan TBDY'ye göre değerlendirildiğinde; zeminin ZC sınıfında olduğu tespit edilmektedir. Bu nedenle Cumhuriyet Mahallesi için de çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları ya da ayrıışmış halde çok çatlaklı zayıf kayalardan oluşan bir zemin yapısına sahip olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 5.1. Biga ilçe merkezinden alınan sondaj verileri ışığında ortalama kayma dalgası haritası

İlçe merkezinde farklı mahallelerden alınan zemin etüt raporlarına dayanarak hesap edilen V_{s30} ’a göre “ArcGis” adlı bilgisayar uygulamasında haritalama çalışması yapılmıştır. Elde edilen V_{s30} değerleri, konumlarına göre tasnif edilerek programa girilmiş, program içerisinde interpolasyon işlemi gerçekleştirilerek Şekil 5.1’deki harita oluşturulmuştur. Haritada alınan kesit; köy yerleşimlerini kapsamamakta, yalnızca ilçe merkezine ait yerleşim alanını barındırmaktadır.

Yalnızca V_{s30} göz önünde bulundurularak yapılan zemin değerlendirmesine göre Hamdibey Mahallesi’nin oldukça güvenli olduğu tekrar görülmektedir. Şirintepe ve Yeniceköy mahalleleri arasında hızın yükseldiği dikkat çekmektedir. En düşük V_{s30} ’un ise daha önce tablolardan da anlaşıldığı üzere Sakarya Mahallesi’nde sağlandığı görülmektedir.

Tüm kayma dalgası hızları tespitlerine ek olarak güvenli bir sonuç elde etmek ve kıyaslama yapabilmek için tespit edilen zemin tiplerine göre işlemi tersten yaparak yeni kayma

dalgası hızları belirlenmiştir. Hızların belirlenmesi için Tablo 5.15'ten faydalanılmıştır (Das ve Ramana, 2011).

Tablo 5.15. Zemin tipine bağlı basınç ve kayma dalgası hızları

Zemin Tipi	V_p	V_s
İnce kum	300	90 – 150
Sıkı kum	460	230
Çakıl	762	180 – 215
Nemli kil	1220 – 1370	150
Granit	3960 – 5490	2130 – 3350
Kumtaşı	1370 – 3960	610 – 2130

Tablo 5.16. Zemin tipine bağlı olarak belirlenen kayma dalgası hızları

Ada-Parsel	Mahalle	Zemin Tipi	Alınan V_s Değeri (m/s)
215-15	Cumhuriyet	ZC	230
818-2	Esentepe	ZD	200
830-16	Esentepe	ZD	200
415-32	Hamdibey	ZC	230
713-30	Hamdibey	ZC	230
1311-46	İstiklal	ZD	200
134-33	İstiklal	ZD	200
506-20	Sakarya	ZD	200
185-97	Sakarya	ZD	200
149-20	Sakarya	ZC	230
1355-4	Şirintepe	ZD	200
620-2	Şirintepe	ZD	200
586-10	Şirintepe	ZC	230

1001-9	Yeniceköy	ZD	200
--------	-----------	----	-----

Kayma dalgası hızları için, zemin tipine bağlı olarak verilen değerlerden ortalama bir değer seçilmiştir. Buna göre TBDY'ye göre ZD sınıflandırmasındaki zeminler için 200 m/s, ZC sınıflandırmasındaki zeminler için ise 230 m/s değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde saha çalışmalarından elde edilen veriler ışığında gerçekleştirilen hesaplamalarla saptanan kayma dalgası hızları, Tablo 5.16'da belirlenen hızlara göre oldukça tutarlı görünmektedir.

5.2. Zemin Büyütme Oranlarının Kayma Dalgası Hızı ile Hesaplanması

Depremi ürettiği moment büyüklüğü kadar etkidiği zeminin karakteri ve buna bağlı olarak yerel zemin üzerinde yapılan çalışmalarca belirlenen zemin parametreleri de önem taşımaktadır. Kaynaktan salınan sismik dalga, geçtiği zemin tipleri boyunca farklı salınımlara dönüşerek dalga boyunu büyütme ya da küçültmektedir. Dolayısı ile zemin üzerinde bulunan yerleşim alanları da doğrudan bu zemin büyütmesi/sönümlemesinin etkisine maruz kalmaktadır. Bu sayede kaynaktan üretilen herhangi büyüklükte bir deprem, yerleşim alanında çok daha büyük hissedilebilmektedir. Can ve mal güvenliğinin sağlanabilmesi amacı ile sismik aktiviteye karşı zeminin göstereceği tepki; yapılan zemin etüt çalışmalarında önceden gözlemlenebilmekte, sayısal olarak ifade edilebilmektedir. Böylelikle depremin yerleşim alanlarında yaratacağı etkiye karşı üstyapı projeleri tasarlanabilmekte, depremin etkisi en aza indirilebilmektedir.

Biga ilçe merkezi için zemin büyütme çalışması, Başlık 2.6'da sunulan üç ayrı metot esas alınarak hesap edilmiştir. Birden fazla metottan faydalanılmasının sebebi, birbirleri arasında mukayese edilebilmesinin ve böylelikle daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmesinin sağlanmak istenmesidir.

Ülkemizde deprem kayıtlarına ilişkin ivme değerlerinin yeterli düzeyde temin edilememiş olmasından dolayı zemin büyütme çalışmalarına yönelik sağlıklı bağıntılar sunulamamıştır. Başka coğrafyalarda üretilen önermelerin kullanılması mecburi bir durum arz etse de aslında bu önermelerin tam olarak sağlıklı sonuçlar vermediği unutulmamalıdır. Nitekim her coğrafya, farklı karakterlerde depremsellikler taşıdığı gibi farklı yönde evrimleşen zemin tiplerine sahiptir. Faylanma mekanizmasından arazi yayılımına ve yerleşim alanlarının coğrafi şartlarla ilişkisine kadar her parametre, zemin büyütme bağıntılarını şekillendirdiği için

yerli önermelere ihtiyaç duyulmaktadır. Buna karşılık bu çalışma kapsamında kullanılan üç farklı yöntem de yabancı kaynaklı bağıntılardır.

Midorikawa'nın 1987 yılında sunmuş olduğu Denklem 2.3'teki zemin büyütme oranı bağıntısı ile gerekli hesaplamalar yapıldığında Sakarya Mahallesi'nde bulunan 506/20 ada/parselli konumun 2,666 zemin büyütme oranı ile en yüksek değeri sağladığı görülmektedir. En düşük oranı ise Hamdibey Mahallesi'nde bulunan 713/30 ada/parselli konumun 1,702 zemin büyütme oranı ile karşıladığı tespit edilmektedir (Tablo 5.17). Diğer konumlarda ise bu iki değer arasında sonuçlar hesap edilmiştir. Bu yöntemle yapılan hesaplar sonucunda ortaya çıkan büyütme oranlarının ortalama değeri 2,182 düzeyindedir.

Joyner ve Fumal'ın 1984 yılında sunduğu zemin Denklem 2.4'teki zemin büyütme oranı bağıntısına bağlı olarak hesaplama yapıldığında yine aynı lokasyonda bulunan zeminde 2,027 değerinde bir oran hesaplanmakta, böylece bu lokasyon en büyük orana sahip olan konum haline gelmektedir. Benzer şekilde en düşük oran da aynı lokasyonda 1,447 değeri ile sağlanmaktadır (Tablo 5.17). Bu yöntemle dayalı gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda ortalama büyütme oranı 1,741 olarak tespit edilmektedir.

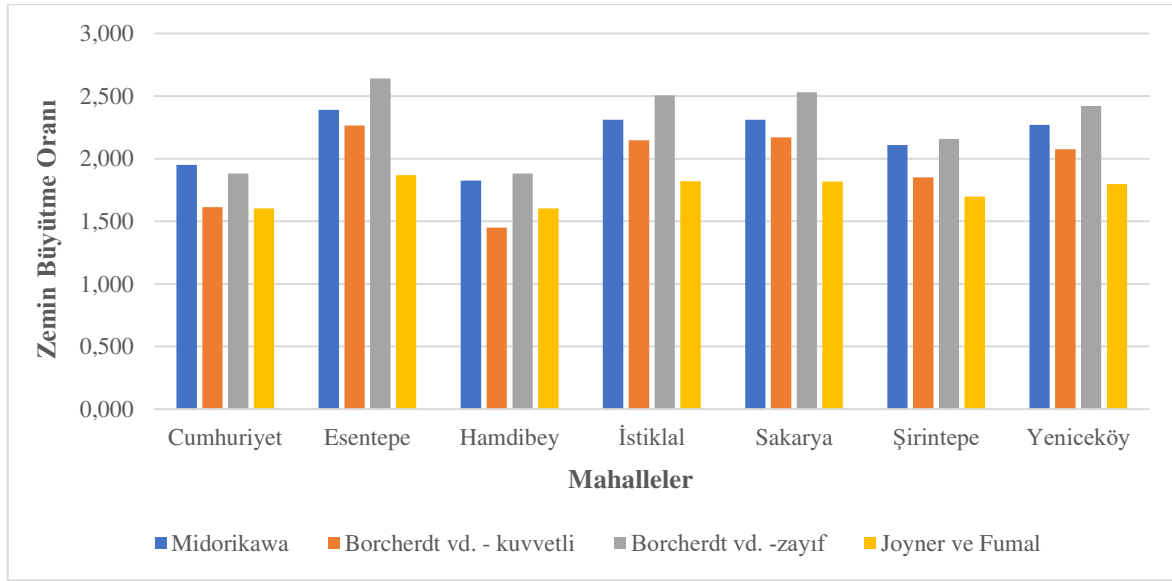
Borcherdt ve arkadaşlarının 1991 yılında sunduğu 2.5 ve 2.6 bağıntıları, kuvvetli ve zayıf yer hareketine göre ayrı ayrı değerlendirmeler sağlamaktadır. Zayıf yer hareketine göre tasarlanan 2.5 bağıntısı; 3,167 değerinde zemin büyütme oranı ile yine Sakarya Mahallesi'nde bulunan 506/20 ada/parselli lokasyon en büyük oranı vermektedir. Aynı bağıntı sonucunda en düşük zemin büyütme oranı ise yine Hamdibey Mahallesi'nde bulunan 713/30 ada/parseldeki lokasyonda sağlanmaktadır. Denklem 2.6 ile kuvvetli yer hareketine dayalı hesap yapıldığında, aynı lokasyonlar en büyük ve en küçük oran sunan konum olma özelliğini korumakla beraber; en büyük değer 2,715, en küçük değer ise 1,285 olarak hesaplanmaktadır.

Tablo 5.17. V_{s30} değerlerine bağlı zemin büyütme oranlarının üç ayrı yöntemle göre belirlenmesi

Ada-Parsel	Mahalle	V_{s30} (m/s)	Midorikawa	Borcherdt vd.		Joyner ve Fumal
				Kuvvetli	Zayıf	
215-15	Cumhuriyet	372	1,951	1,613	1,882	1,603
818-2	Esentepe	265	2,391	2,264	2,642	1,868
830-16	Esentepe	265	2,391	2,264	2,642	1,868
415-32	Hamdibey	372	1,951	1,613	1,882	1,603

713-30	Hamdibey	467	1,702	1,285	1,499	1,447
1311-46	İstiklal	250	2,476	2,400	2,800	1,917
134-33	İstiklal	317	2,147	1,893	2,208	1,723
506-20	Sakarya	221	2,666	2,715	3,167	2,027
185-97	Sakarya	254	2,452	2,362	2,756	1,903
149-20	Sakarya	419	1,816	1,432	1,671	1,520
1355-4	Şirintepe	263	2,402	2,281	2,662	1,874
620-2	Şirintepe	331	2,092	1,813	2,115	1,690
586-10	Şirintepe	412	1,835	1,456	1,699	1,531
1001-9	Yeniceköy	289	2,270	2,076	2,422	1,796

Zemin büyütme oranları arasında yapılan kıyaslama sonucunda oranların ortalamasına bakıldığında genel olarak Joyner ve Fumal'ın önermesinin en düşük değerleri, Borchardt ve arkadaşlarının zayıf yer hareketine göre önermesinin ise en yüksek değerleri verdiği görülmektedir. Kıyaslamanın daha anlaşılır olması ve çalışmanın konumsallıktan çıkarılması için mahallelere göre zemin büyütme değerleri belirlenip tekrar kıyaslama işlemi gerçekleştirilmiştir. Lokasyonlarda saptanan oranların mahalle bazında ortalama değerleri alınmış, bu değerler mahallelerin genel zemin büyütme oranları olarak değerlendirilmiştir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2. Üç ayrı yöntemle hesaplanan zemin büyütme oranlarının mahalle düzeyinde kıyaslaması

Zemin büyütme oranları mahalle düzeyinde ortalamaları ile değerlendirildiğinde en büyük oranın Esentepe’de hesaplandığı görülmektedir (Şekil 5.2). Yine aynı çalışma ile en düşük oranın ise Hamdibey Mahallesi’nde hesaplandığı anlaşılmaktadır. Yerel şartlara bağlı olarak yapılan azalım ilişkileri neticesinde de en düşük yer ivmesinin Hamdibey Mahallesi’nde görüldüğü göz önünde bulundurulursa Biga ilçe merkezinde her iki açıdan en güvenli yerleşim alanının bu mahalle olduğu söylenebilmektedir.

Kayma dalgası hızlarının hesaplanması ve zemin sınıflarının belirlenmesinde ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda sağlama işlemi yapılmıştır. Bu sağlama işlemine göre belirlenen kayma dalgası hızlarına göre zemin büyütme oranları belirlendiğinde Tablo 5.18’de görüldüğü üzere zemin büyütme oranının arttığı saptanmıştır.

Tablo 5.18. Zemin tipine bağlı olarak belirlenen kayma dalgası hızlarına göre zemin büyütme oranları

Ada-Parsel	Mahalle	V _s (m/s)	Midorikawa	Borchardt vd.		Joyner ve Fumal
				Kuvvetli	Zayıf	
215-15	Cumhuriyet	230	2,603	2,609	3,043	1,990
818-2	Esentepe	200	2,831	3,000	3,500	2,120
830-16	Esentepe	200	2,831	3,000	3,500	2,120
415-32	Hamdibey	230	2,603	2,609	3,043	1,990

713-30	Hamdibey	230	2,603	2,609	3,043	1,990
1311-46	İstiklal	200	2,831	3,000	3,500	2,120
134-33	İstiklal	200	2,831	3,000	3,500	2,120
506-20	Sakarya	200	2,831	3,000	3,500	2,120
185-97	Sakarya	200	2,831	3,000	3,500	2,120
149-20	Sakarya	230	2,603	2,609	3,043	1,990
1355-4	Şirintepe	200	2,831	3,000	3,500	2,120
620-2	Şirintepe	200	2,831	3,000	3,500	2,120
586-10	Şirintepe	230	2,603	2,609	3,043	1,990
1001-9	Yeniceköy	200	2,831	3,000	3,500	2,120

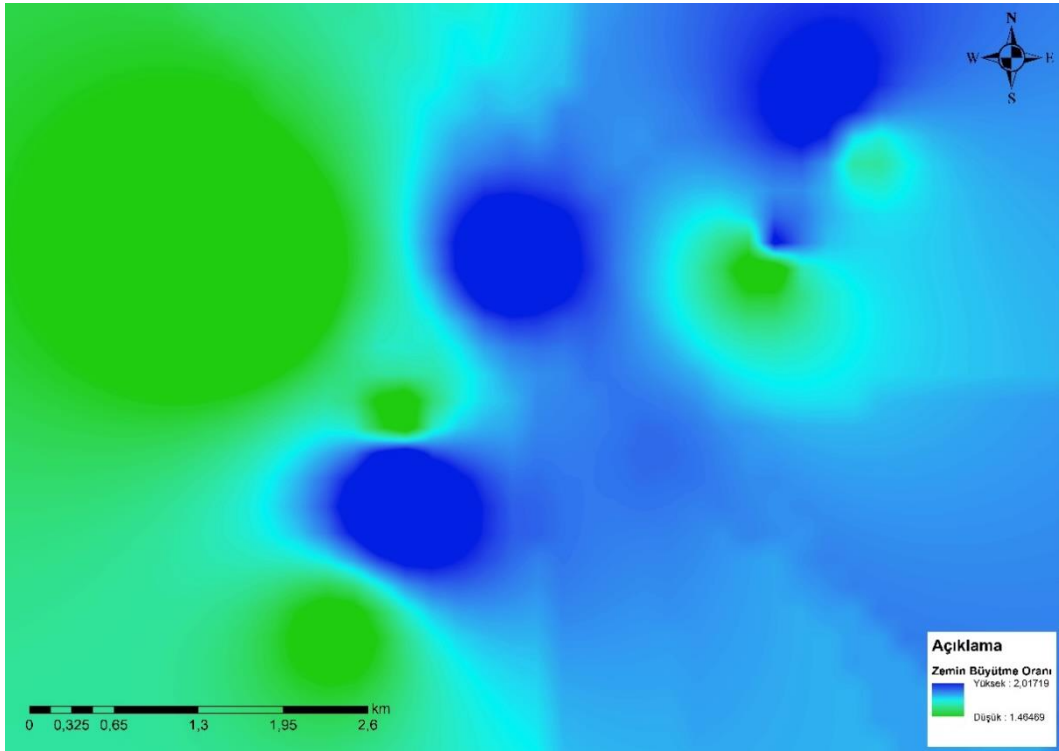
5.3. Zemin Büyütme Oranlarının Haritalanması

Zemin etüt raporlarından alınan veriler ışığında, zemin tabakalarına ait 30 m derinlik boyunca hesap edilen V_{s30} değerleri ile üç ayrı önerme kullanılarak zemin büyütme oranları hesaplanmıştır. Başlık 5.2’de önermelerin sunduğu bağıntılar ile ortaya konulan sonuçlar kıyaslanmış, bu bölümde ise sonuçlar “ArcGis” adlı bilgisayar uygulaması üzerinde haritalanmıştır.

Borcherdt ve arkadaşlarının 1991 yılında sunduğu önerme, zayıf ve kuvvetli yer hareketi için ayrı ayrı bağıntılar ortaya koymaktadır. Dolayısı ile pik oranların bu önerme ile sunulan zayıf yer hareketine dayalı sonuçlarda sağlanması beklenmektedir. Ancak buna rağmen Midorikawa’nın 1987 yılında tüm zemin tipleri için sunduğu bağıntının sonucunda hesaplanan değerler, bazı konumlarda Borcherdt ve arkadaşlarının zayıf yer hareketine dayalı bağıntısı ile hesaplanan sonuçların üzerinde seyretmektedir. Cumhuriyet Mahallesi ile Hamdibey Mahallesi’ne ait verilerin tamamında ve Sakarya Mahallesi ile Şirintepe Mahallesi’nde de yerel olarak bu duruma rastlanmaktadır. Nitekim, iki yöntemle göre hesaplanan sonuçların ortalama değeri alındığında Midorikawa’nın önermesi 2182, Borcherdt ve arkadaşlarının zayıf yer hareketi için önermesi ise 2289 değerini karşılamakta, farkın oldukça düşük olduğu görülmektedir. Biga ilçe merkezinin deprem dalgalarına karşı mukavemetinin düşük olduğu

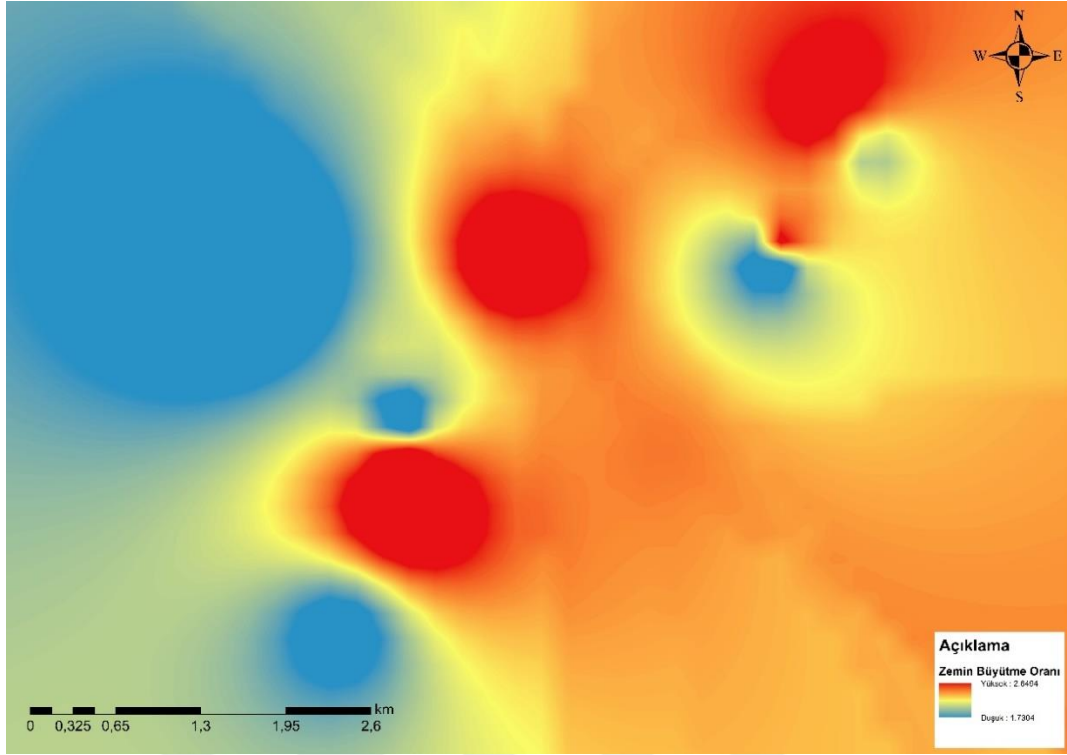
bilinmekte, zemin etüt raporlarından da anlaşılmaktadır. Dolayısı ile değerlendirmenin genel olarak zayıf yer hareketini göz önünde alarak gerçekleştirilmesi gerekeceği için sonuçlar gerçekliğini yitirmemektedir.

Değerler arasındaki ilişki kıyaslanmaya devam edildiğinde Joyner ve Fumal'ın 1984 yılında tüm zeminler için sunduğu bağıntı ile Borchardt ve arkadaşlarının zayıf yer hareketine dayalı bağıntı arasında daha dengeli bir ilerleyiş görülmektedir. Biga ilçe merkezinin hiçbir konumunda Joyner ve Fumal'ın bağıntısı daha yüksek sonuçlar vermemekte, bu yönüyle Midorikawa'nın bağıntısına göre daha tutarlı görülmektedir.

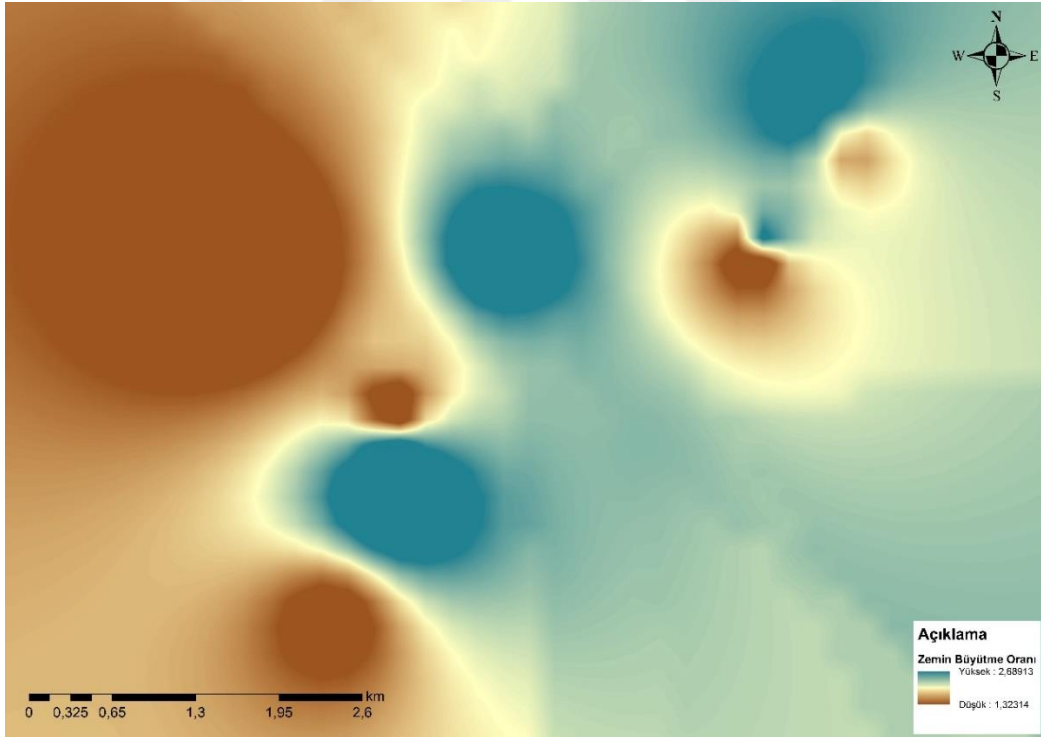


Şekil 5.3. Joyner ve Fumal'ın 1984 yılında sunduğu bağıntı ışığında Biga ilçe merkezine dair sonuçların haritalanması

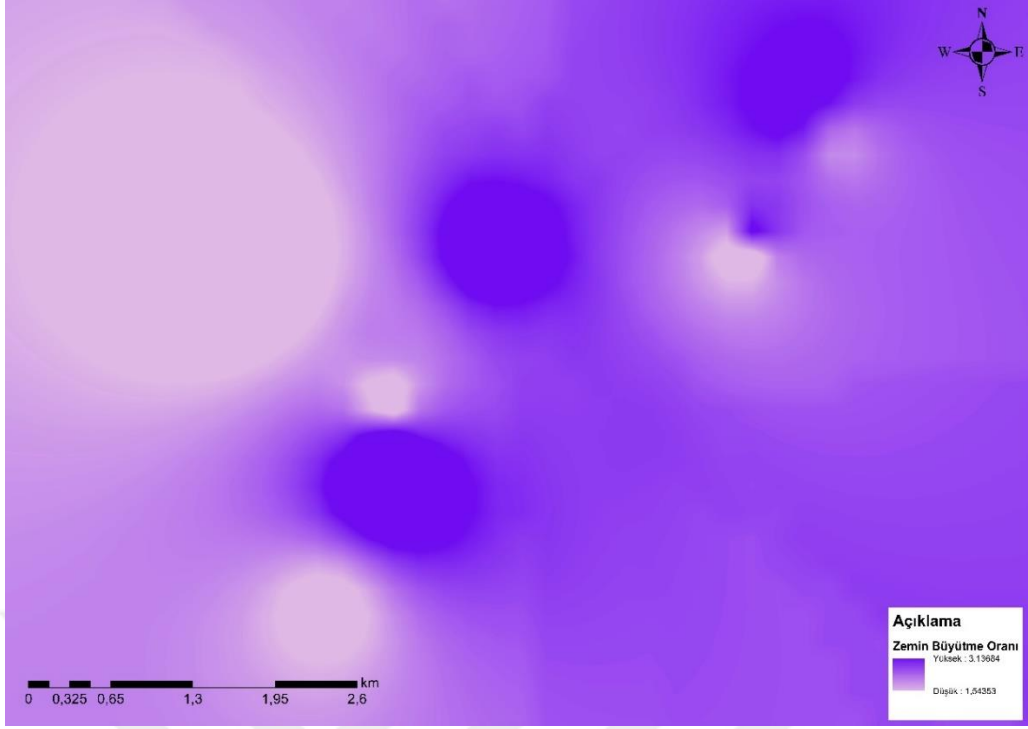
Zayıf yer hareketi için sunulan bağıntı ile hesap edilen sonuçlara göre her konumda düşük sonuçlar verse de Joyner ve Fumal'ın bağıntısı, diğer önermeler ile kıyaslandığında gereğinden fazla düşük değerler sunduğu görülmektedir. Hatta çoğu konumda Borchardt ve arkadaşlarının kuvvetli yer hareketine göre sunduğu bağıntı ile hesaplanan sonuçların bile altında kalmaktadır. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 kıyaslandığında Joyner ve Fumal'ın önermesinin kritik oranlı bölgeler yaratmadığı dikkat çekmektedir. Buna karşılık Midorikawa'nın bağıntısı ile ortaya konulan harita çalışmasında yer yer ilçe genelinden rijit farklılıklar gösteren oranların yakalandığı görülmektedir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Midorikawa'nın 1987 yılında sunduğu bağıntı ışığında Biga ilçe merkezine dair sonuçların haritalanması



Şekil 5.5. Borchardt ve arkadaşlarının 1991 yılında sunduğu kuvvetli yer hareketine bağıli bağıntı ışığında Biga ilçe merkezine dair sonuçların haritalanması



Şekil 5.6. Borchardt ve arkadaşlarının 1991 yılında sunduğu zayıf yer hareketine bağlı bağıntı ışığında Biga ilçe merkezine dair sonuçların haritalanması

Haritalama yapılırken daha anlaşılır olması amacıyla “ArcGis” uygulamasından alınan çıktıların renklendirmeleri, her bir önerme için farklı kartelalar kullanılarak yapılmıştır. Borchardt ve arkadaşlarının önermesine göre kuvvetli ve zayıf yer hareketi için ayrı ayrı oluşturulan haritalarda oranların pik yapma benzerlikleri ön plana çıkmaktadır. Şirintepe ve Yeniceköy mahallelerinin arasında kalan alanda, kayma dalgası için yapılan değerlendirmelere benzer bir sonuç çıktığı görülmektedir. Zeminin deprem dalgasını ne ölçüde büyüteceği Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da net bir şekilde görülmekte, bölgedeki yerleşim alanları için risk barındırmaktadır.

Kuvvetli yer hareketine göre yapılan hesaplamalarda büyütme oranlarının, zayıf yer hareketine göre yapılan hesaplamalara göre daha yaygın bir etkide olduğu anlaşılmaktadır. İnterpolasyon işlemi ile oluşturulan haritalarda bu olgunun dikkat çekmesinin sebebi, zemin büyütme değerinin yükseldikçe çevre zemin tiplerinde sönümlenmesini zorlaştırıyor olmasıdır.

V_{s30} değerleri ile oluşturulan haritadan (Şekil 5.1) farklı olarak tüm zemin büyütme oranı haritalarında daha geniş alanların risk altında olduğu görülmektedir. Kayma dalgası hesabına göre de genel olarak en riskli mahalle olan Hamdibey Mahallesi’nde zemin büyütme oranı, oldukça geniş bir alanda etki göstermektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Herhangi bir konum için sismik tehlike analizi yapılırken belli başlı verilere öncelikli ihtiyaç duyulmaktadır. Bu verilerin başında aletsel döneme ilişkin, sismograflarca tespit edilmiş deprem kayıt arşivi gelmektedir. Geçmişte yaşanmış ve ivme kaydı tespit edilebilmiş depremler yardımı ile çalışma alanında yakın gelecek için deprem tehlike analizi yapılabilmektedir. Bu çalışma kapsamında Çanakkale'nin Biga ilçesi merkezli olasılıksal deprem tehlike analizi yapılarak gelecekte ilçeyi etkileyecek olan depremlerin ön tespiti yapılmıştır.

Biga ilçe merkezi için yapılan tehlike analizinde önce çalışma alanının sınırları ve şekli belirlenmiştir. Buna göre ilçe merkezi orijinli (40.1331 kuzey enlemi, 27.1437 doğu boylamı) ve 100 km yarıçaplı dairesel bir alan oluşturulmuş, sınırlar içerisinde kalan alanda gerçekleşen depremler dikkate alınmıştır. 1900-2022 yılları arasında gerçekleşmiş ve türüne bakılmaksızın büyüklüğü 4.0'ın üzerinde olan depremler hem KRDAE-BDTİM hem de AFAD'ın veri tabanından temin edilmiştir. Elde edilen ilk sayılara göre KRDAE-BDTİM veri tabanında 190, AFAD veri tabanında ise 133 adet deprem gerçekleştiği tespit edilmiştir. Her iki kaynaktan da büyüklüğü 6.0'ın üzerinde olan 7 adet deprem kaydı tespit edilmekle beraber AFAD'ın veri tabanına göre bu depremlerin 5 tanesi 6.0 – 6.5 büyüklükleri arasında, 2 tanesi 7.0 – 7.5 büyüklükleri arasında; KRDAE-BDTİM'in veri tabanına göre ise 3 tanesi 6.0 – 6.5 büyüklükleri arasında, 2 tanesi 6.5 – 7.0 büyüklükleri arasında, 2 tanesi de 7.0 – 7.5 büyüklükleri arasındadır.

Her iki veri tabanından alınan deprem kayıtları, hesaplamalarda ortak birim kullanılabilmesi için moment magnitüdüne dönüştürülerek liste haline getirilmiş; sonuçta 192 adet deprem kaydı sıralanmıştır. Ancak deprem tehlike analizi yapabilmek için gereken deprem verilerinin ana şok niteliğinde olması gerektiğinden kümesizleştirme işlemi yapılarak ikincil depremler ayıklanmıştır. Kümesizleştirme işlemi sonucunda 4.0 – 4.4 büyüklük aralığında 65, 4.5 – 4.9 büyüklük aralığında 26, 5.0 – 5.4 büyüklük aralığında 19, 5.5 – 5.9 büyüklük aralığında 12, 6.0 – 6.4 büyüklük aralığında 2 ve 6.5 – 6.9 büyüklük aralığında da 3 adet depremin ana şok niteliğinde olduğu anlaşılmış; sonuç olarak 127 adet depremle işlemlere devam edilmiştir. Daha önce tespit edilen 7.0 büyüklüğü üzerindeki depremlerin moment magnitüdüne dönüştürme işlemi sırasında 7.0 M_w 'den küçük olduğu anlaşılmıştır.

Kümesizleştirme işlemi sonucu ortaya konan ana şok deprem kayıtları ile “ArcGis” adlı bilgisayar uygulaması üzerinde interpolasyon yöntemi ile haritalama yapılmış, moment magnitüdlerinin çalışma sahasındaki dağılımı gözlenmiştir. İlçe sınırları içerisinde özellikle

doğuda kalan kesimin ve ilçe merkezine yakın bir alanın moment magnitudündeki yükselişleri harita üzerinde gözlemlenebilmiş ve yerleşim alanları açısından riski ortaya konulabilmiştir.

Elde edilen ana şok kayıtlarına ait veriler ışığında büyüklüğüne göre depremlerin çalışma sahasında meydana gelme periyotları hesaplanmıştır. Bu hesaplama için gereken parametreler; büyüklük aralıklarındaki deprem sayılarına, depremlerin ortalama büyüklüklerine, büyükten küçüğe doğru kümülatif toplamalarına ve bu toplamaların logaritmik değerlerine bağlı olarak oluşturulan grafik yardımı ile tespit edilebilmiştir. Sonuçlara göre çalışma sahası içerisinde büyüklüğü 5.0 M_w ve üzeri sismik faaliyet yaklaşık her 4,6 yılda bir, 6.0 M_w ve üzeri bir deprem her 21,7 yılda bir, 7.0 M_w ve üzeri bir deprem ise her 102,2 yılda bir gerçekleşmektedir. Başka bir deyişle 6.0 M_w ve üzeri bir depremin 10 yılda gerçekleşme olasılığı %37 iken 7.0 M_w ve üzeri bir depremin aynı sürede gerçekleşme olasılığı %9'dur.

Saha içerisinde ilçe merkezini riske eden sismik kaynakların belirlenmesi için MTA'nın Diri Fay Haritaları'ndan yararlanılmıştır. Harita üzerinde tespit edilen fay hatları listelenerek uzunlukları ve çalışma sahasının merkez noktasına uzaklıkları belirlenmiş, buna bağlı olarak Wells ve Coppersmith'in sunduğu bağıntı ile üretebilecekleri pik moment büyüklükleri hesaplanmıştır. KAFZ'a bağlı olan Ganos Segmenti'nin 7.4 M_w büyüklükle en büyük depremi üreteceği gözlemlense de ilçe merkezine olan uzaklığı, bu sismik kaynağın tehlike şiddetini düşürmektedir. Hemen arkasından 7.4 M_w büyüklük ile Havran-Balya Fay Zonu gelmekte, ilçe merkezine olan 65,6 km uzaklığı ile tehdit oluşturmaktadır. Ancak elde edilen pik moment değerleri, deprem tehlikesi açısından tek başına bir anlam ifade etmemektedir.

MTA haritalarından derlenen çalışma sahası içerisindeki faylara göre, aletsel dönem içerisinde gerçekleşen depremler sınıflandırılarak bağıntıdan bağımsız bir şekilde son 122 yıllık süreçte üretilen pik moment büyüklükleri saptanmıştır. Bu işlem, bağıntı yoluyla hesap edilen pik moment değerlerine bir alternatif sunsa da aletsel yöntemlerle tespit edilen depremlerin gözlem süresi kısa olduğu için gerçek pik değerleri sunmamaktadır. Hesaplanan değerlerin yanında tecrübe edilen bu değerlerin görülmesi amacıyla çalışma yürütülmüştür. Hesaplanan ve gözlem süresince tespit edilen bu pik değerler, 5 ayrı azalım ilişkisi metodu ile işleme tabi tutularak sismik kaynakların Biga ilçe merkezinde oluşturacağı pik yer ivmesi değerleri ortaya konulmuştur. Hesaplanan değerler karşılaştırılarak azalım ilişkilerinin tutarlılıkları sınanmıştır. Wells ve Coppersmith'in sunduğu bağıntı ile hesaplanan pik moment değerleri, ayrıca zemin etüt raporlarından temin edilen bilgiler ışığında 2 ayrı azalım ilişkisine daha tabi tutularak ilçenin zemin tabakalarına bağlı gerçek pik yer ivmeleri tespit edilmiştir. Boore ve

arkadaşlarının 1997 yılında sunduğu azalım ilişkisi ile Gülkan ve Kalkan'ın 2004 yılında sunduğu azalım ilişkisi, zemin tabakalarına ait 30 m derinlik boyunca V_{s30} 'a bağlı olduğu için bu sonuçlar elde edilebilmiştir. Konumsal olarak elde edilen değerler haritalanmış ve ilçenin iki ayrı azalım ilişkisine göre pik yer ivmesi haritaları çıkarılmıştır. Buna göre Biga ilçe merkezinde ortalama pik ivme değerinin Boore ve arkadaşlarına göre 0,52g, Gülkan ve Kalkan'a göre ise 0,44g olduğu anlaşılmaktadır. Boore ve arkadaşlarının sunduğu azalım ilişkisinin genel olarak daha yüksek ivme değerleri verdiği gözlenmiş, Gülkan ve Kalkan'ın sunduğu azalım ilişkisi sonuçlarına göre daha güvenli bulunmuştur. Ancak iki ilişki arasındaki ivme değeri farkları çok az olduğu için sonuçlar, deprem geçmişi gözlemlendiğinde tutarlı bulunmuştur.

Zemine yönelik depremsellik çalışması yapılabilmesi için ilçeye ait zemin etüt raporları temin edilerek, raporlardaki zemin tabakalarına ait V_s değerlerinden yararlanılmıştır. Tabakaların V_s değerleri, 30 m boyunca V_{s30} 'a çevrilerek her konum için bu değer elde edilmiştir. V_{s30} değerlerinin enlem ve boylamları bilindiğinden ilçenin V_{s30} haritası çıkarılabilmektedir. Buna göre en riskli mahalle Sakarya Mahallesi, en güvenli mahalle ise Hamdibey Mahallesi'dir. Şirintepe ile Yenice mahalleleri arasında kalan alanda hızın yükseldiği görülmekte ve buna bağlı olarak o bölgedeki zeminin V_{s30} parametresinde daha güvenli olduğu söylenebilmektedir. Ancak söz konusu bölge henüz kentleşmeye açılmış durumda iken çevresinde bulunan daha düşük V_{s30} 'a sahip zeminlerde yerleşim alanları oturmuş durumdadır. V_{s30} 'un pik yaptığı noktanın güneybatı yönünde özel bir hastanenin bulunduğu bilinmekte, fakat oluşturulan harita üzerinde yapılan gözlem ile Biga Devlet Hastanesi'nin zemininin nispeten yüksek V_{s30} hızlarına sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Zemin açısından daha sağlıklı bir değerlendirme yapabilmek için V_{s30} değerlerine bağlı olarak zemin büyütme oranlarının da hesaplanması gerekmektedir. Buna dayanarak hesaplanan zemin büyütme oranları, çalışma kapsamında 3 ayrı yöntem ile hesap edilerek tablolar halinde sunulmuş, ortaya çıkan veriler "ArcGis" adlı bilgisayar uygulaması üzerinden haritalanmıştır. Bu yöntemlerden Borchardt ve arkadaşlarının önermesi, kuvvetli ve zayıf yer hareketine göre ayrı ayrı bağıntılar sunduğu için iki ayrı harita hazırlanmıştır. Oluşturulan haritalara göre en büyük zemin büyütme oranı Sakarya Mahallesi'nde sağlanmıştır. Tüm önermelerin bu sonucu sağlaması, söz konusu mahallenin riskinde tutarlılık göstermektedir.

Biga ilçe merkezi için yürütülen depremsellik çalışması; ortaya konulan pik moment magnitüdleri, pik ivme değerleri, ortalama kayma hızı dalgaları ve zemin büyütme oranları ışığında değerlendirilmiştir. Bu veriler ışığında elde edilen sonuçların tutarlılıkları görülmektedir. Tüm sonuçlara dayanarak ilçe merkezinin hem sismik aktiviteye ortalamanın üzerinde bir yoğunlukta maruz kaldığı hem de zemin açısından genel anlamda yetersiz mukavemette olduğu söylenebilmektedir.

Haritalar ve tablolarla sunulan sonuçlara dayanarak, yerleşim için özellikle zemin büyütme oranlarının en düşük olduğu alanlar değerlendirilmeli, mümkünse moment magnitüdünün etkisinin de düşük olduğu alanlar seçilmelidir.



KAYNAKÇA

- Abrahamson, N. A., & Silva, W. J.** (1997). Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes. *Seismological Research Letters*, 68(1), 94-127.
- Adatepe, F., & Erel, L.** (2006). İznik Tarihsel Dönem Verilerinin İrdelenmesi. *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yer Bilimleri Dergisi*, 19(2), 141-150.
- Akkar, S., & Çağnan, Z.** (2010). A Local Ground-Motion Predictive Model for Turkey and Its Comparison with Other Regional and Global Ground-Motion Models. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100(6), 2978-2995.
- Akpınarlı, K. K.** (2009). Balıkesir Şehir ve Belediye Tarihi. Balıkesir Belediyesi Kent Arşivi Yayınları.
- Alptekin, Ö.** (1978). Türkiye ve Çevresindeki Depremlerde Manyitüd Frekans Bağlılıkları ve Deformasyon Boşalımını. Doçentlik Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 107.
- Altınok, Y., & Alpar, B.** (2006). Marmara Island Earthquakes, of 1265 and 1935; Turkey. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6(6), 999-1006.
- Altınok, Y., Ersoy, Ş., Yalçın, A. C., Alpar, B., & Kuran, U.** (2001). Historical Tsunamis in the Sea of Marmara. *ITS 2001 Proceedings*, 4(4-2), 527-534.
- Altınok, Y., Ersoy, S., Yalçın, A. C., Alpar, B., & Kuran, U.** (2001). Historical Tsunamis in the Sea of Marmara. In *International Tsunami Symposium ITS Proceedings*, 4(4-2), 527-534.
- Ambraseys, N. N., & Jackson, J. A.** (2000). Seismicity of the Sea of Marmara (Turkey) since 1500. *Geophysical Journal International*, 141(3), F1-F6.
- Ambraseys, N. N., & Finkel, C. F.** (1991). Long-term Seismicity of İstanbul and of the Marmara Sea Region. *Terra Nova*, 3(5), 527-539.
- Ambraseys, N. N., & White, D.** (1997). The seismicity of the Eastern Mediterranean Region 550-1 BC: A re-appraisal. *Journal of Earthquake Engineering*, 1(04), 603-632.
- Ambraseys, N. N.** (2009). Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: a Multidisciplinary Study of Seismicity up to 1900. Cambridge University Press.
- Biga Belediyesi.** (2020). Biga Tarihçesi. Erişim tarihi: 17.08.2022, <https://www.biga.bel.tr/biga-tanitim/biga-tarihcesi>.

- Aydan, Ö., Sezaki, M., & Yarar, R.** (1996). The seismic characteristics of Turkish Earthquakes. In *Eleventh world conference on earthquake engineering*, Acapulco, Mexico.
- Aydın, Ü., Şen, P., Özmen, Ö., & Şen, E.** (2019). Biga Yarımadası'ndaki Granitoyitlerin (KB Anadolu, Türkiye) Petrolojik ve Jeokimyasal Özellikleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, ISSN, 160, 81-116.
- Başçiftçi, F.** (2020). Tektonik Hareketlerin Jeodezik Yöntemlerle İzlenmesi. *Mühendislik ve Mimarlık Bilimlerinde Güncel Araştırmalar* (Ed. A. Kılıçer, ss. 34-54).
- Baykal, O.** (1951). Atlantik Okyanusu Basenini Aşarken Rayleigh Dalgalarının Dağılımı. *Maden Tetkik ve Arama Bülteni*, 41(41), 99-117.
- Bey, Ö. A.** (1315). Hatıra Defteri. Balıkesir İl Halk Kütüphanesi Yazmalar Bölümü No: 739.
- Beyaz, T.** (2004). Zemin Etkisinden Arındırılmış Deprem Kayıtlarına Göre Türkiye için Yeni Bir Deprem Enerjisi Azalım Bağıntısının Geliştirilmesi. (Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı. Ankara.
- Bingöl, E.** (1969). Kazdağ Masifinin Merkezi ve Güney Doğu Kesiminin Jeolojisi. *II. Bilim Kongresi Bildirileri*, TÜBİTAK, 17-19 Kasım.
- Blegen, C. W.** (1934). Excavations at Troy 1933. *American Journal of Archaeology*, 38(2), 223-248.
- Bolt, B. A.** (1976). Nuclear explosions and earthquakes. The parted. United States.
- Boore, D. M., Joyner, W. B., & Fumal, T. E.** (1997). Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work. *Seismological Research Letters*, 68(1), 128-153.
- Borcherdt, R. D., Wentworth, C. M., Janssen, A., Fumal, T., & Gibbs, J.** (1991). Methodology for Predictive GIS Mapping of Special Study Zones for Strong Ground Shaking in the San Francisco Bay Region. In *Procs. of the 4th International Conference on Seismic Zonation*, (3), 545-552.
- Bozorgnia, Y., & Bertero, V. V.** (2004). Earthquake Engineering From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering. Geotechnic. CRC Press.
- Çakaroğlu, D.** (2019). Biga Çayı Drenaj Havzasının gelişiminde tektonizma etkisinin morfolojik indislerle belirlenmesi. (Doktora Tezi), İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Çakır, Ş., & Karakaş, A.** (2018). Biga-Karabiga (Çanakkale) Çevresinin Jeolojisi. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 17(1), 27-38. doi: 10.30706/uybd.421273.
- Çakmak, B.** (2009). Kayseri İli Depremselliği ve Özel Bir Mikrobölgeleme Çalışması. (Yüksek Lisans Tezi). Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.
- Campbell, K. W., & Bozorgnia, Y.** (2008). NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10 s. *Earthquake spectra*, 24(1), 139-171.
- European Committee for Standardization.** (2004). Eurocode 8-Design of Structure for Earthquake Resistance. Part I: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings European Standard EN 1998-1. Brussels.
- Cornell, C. A.** (1968). Engineering Seismic Risk Analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 58(5), 1583-1606.
- Croke, B.** (1981). Two Early Byzantine Earthquakes and Their Liturgical Commemoration. *Byzantion* 51(1):122-47.
- Das, B. M., & Ramana, G. V.** (2011). Principles of Soil Dynamics (2nd ed.). Stamford, CT: Cengage Learning.
- Day, W. R.** (2004). Geoteknik Deprem Mühendisliği El Kitabı. (M. Mollamahmutoğlu & K. Kayabalı, Çev.). Fersa Matbaası.
- DeLaine, J.** (2002). The Temple of Hadrian at Cyzicus and Roman Attitudes to Exceptional Construction. *Papers of the British School at Rome*, 70, 205-230.
- Demircan, H.** (2000). Osmanlı Klasik Dönemi: Biga Tarihi. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Demirtaş, R., & Erkmen C.** (2000). Deprem ve Jeoloji. *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları*. C. 52. Ankara.
- Demirtaş, R., ve Yılmaz, R.** (1996). Türkiye'nin Sismotektoniği. *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yayınları*. 915. Ankara.
- Deniz, A., & Yüçemen, M. S.** (2005). Antalya Yöresi İçin Deprem Tehlikesinin Stokastik Yöntemler ile Tahmini. *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, 22, 25.

- Doğancı, K.** (2019). Hellespontos ve Çevresini Etkileyen Depremler (MÖ 3000-MS 6. YY). *History Studies International Journal of History*, 2(11): 535-55. doi: 10.9737/hist.2019.729.
- Doğancı, K.** (2001). Bursa ve Civarını Etkileyen Depremler (M.Ö. 4. Yüzyıla Kadar). In *Bursa Yöresi'nin Depremselliği ve Deprem Tarihi (61-66)*, editör N. Abacı. Bursa.
- Doğancı, K.** (2019). Bandırma ve Çevresinde Antik Zamanlardan Bugüne Depremler. Bursa Uludağ Üniversitesi. [Erişim tarihi: 02.08.2022, <https://www.gercekbandirma.com/bandirma-ve-cevresinde-antik-zamanlardan-bugune-depremler>].
- Dunbar, P. K., Lockridge P. A., & Whiteside L. S.** (1992). Catalog of Significant Earthquakes 2150 B.C.-1991 A.D. National Geophysical Data Center, September 1992.
- Google Earth.** (2001). [Erişim: 05.10.2022, <https://earth.google.com>]
- Efe, R.** (1993). Biga Yarımadası Kuzeydoğusunda Armutçuk Dağları ile Biga ve Gönen Çayları Arasındaki Çevrenin Jeomorfolojisi. (Basılmamış Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul.
- Erol, O.** (1983). Türkiye'nin Genç Tektonik ve Jeomorfolojik Gelişimi. *Jeomorfoloji Dergisi*, (11), 1-22.
- Eyidoğan, H.** (2017). İnsan Marifetiyle Deprem Tetiklenir mi? - 1. *Bilim ve Gelecek Dergisi*, 162(Ağustos): 2-10.
- Gabrielli, S., Spagnolo, M., & De Siena, L.** (2020). Geomorphology and surface geology of Mount St. Helens volcano. *Journal of Maps*, 16(2), 585-594. doi: 10.1080/17445647.2020.1790048.
- Good, A., Fox, K., & Johnson, A.** (2022). NASA's InSight Records Monster Quake on Mars. *Jet Propulsion Laboratory*. [Erişim: 21.04.2023, <https://www.jpl.nasa.gov/news/nasas-insight-records-monster-quake-on-mars>]
- Gülen, L., Pınar, A., Kalafat, D., Özel, N., Horasan, G., Yilmazer, M., & Işıkara, A. M.** (2002). Surface Fault Breaks, Aftershock Distribution, and Rupture Process of the 17 August 1999 İzmit, Turkey, Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(1), 230-244. doi: 10.1785/0120000815.
- Gülkan, P., & Kalkan, E.** (2002). Attenuation Modeling of Recent Earthquakes in Turkey. *Journal of Seismology*, 6, 397-409.

Gutenberg, B., & Richter, C. F. (1944). Frequency of Earthquakes in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 34(4), 185-188.

Higgins, C. M. (2009). Popular and Imperial Response to Earthquakes in the Roman Empire. (Doktora Tezi). The Faculty of the College of Arts and Sciences of Ohio University.

Sezer, L. İ. (2003). Marmara Bölgesi'nde deprem Aktivitesi ve Risk. *Ege Coğrafya Dergisi*, 12(1):29-38.

İnan, E., Çolakoğlu, Z., Koç, N., Bayülke, N., & Çoruh, E. (1996). 1976-1996 Yılları Arası İvme Kayıtları Olan Deprem Kataloğu. *Deprem Araştırma Dairesi (DAD)*, TC Bayındırlık ve İskan Bak. Afet İşl. Gen. Müd., Ankara.

İşık, E. (2013). Bitlis İli'nin Depremselliği. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 29(3):267-73.

Joyner, W. B., & Fumal, T. E. (1984). Use of Measured Shear-Wave Velocity for Predicting Geologic Site Effects on Strong Ground Motion. In *Proceedings of 8th World Conference on Earthquake Engineering* (Vol. 2, pp. 777-783).

Karabulut, A. T. (2004). Biga Yarımadasında Jura Öncesi Muhtemel Bir Ofiyolit Topluluğu (Çan-Biga/Çanakkale). (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü.

Kaya, M. A., & Özcan K. T. (2016). Roma İmparatoru Hadrianus ve Anadolu: Geziler, Eyaletler ve Kentler. In Tamer, B., Arca, E. N. A., & Özdiş, N. G. (Eds.), *Vir Doctus Anatolicus / Studies in Memory of Sencer Şahin* (pp. 494–513). İstanbul: Kabalcı Yayınları.

Kayabalı, K. (1995). Sismik Tehlike Analizi: Teori ve Uygulama. *Jeoloji Mühendisliği*, 46, 28-43.

Biga Kaymakamlığı. (2022). Biga'nın Tarihi ve Coğrafyası. [Erişim: 11.12.2022, <http://www.biga.gov.tr/tarih-ve-cografyasi>].

Koçyiğit, A., Yüçemen, M. S., Ulusay, R., Yakut, A., Erdik, M., Emre, Ö., Erkmen C., & Yılmaz, N. (2010). Deprem Tehlike Analizleri ve Haritaları Çalışma Grubu Strateji Raporu, 56s.

Koçyiğit, A. (2008). Ankara ve Çevresinin Deprem Kaynakları. *Ankara'nın Deprem Tehlikesi ve Riskleri Çalıştayı Bildiriler Kitabı (Editörler: Prof. Dr. Süleyman PAMPAL, Bülent ÖZMEN)*, ss. 33-53. Ankara.

Körpe, R. (2006). Antik Kaynaklar Işığında Troia'da Tsunami. *Bilim ve Ütopya Dergisi*. 12(140): 69-72.

Körpe, R. (2012). Eski Çağlarda Troas Bölgesinde Meydana Gelen Depremler. *09 Ağustos 1912 Mürefte Depreminin (Mw= 7.4) 100. Yıldönümü Sempozyumu* (Editör: A. Büyüksaraç, ss. 112). Çanakkale, Türkiye: Çanakkale.

Kramer, S. L. (2003). Geoteknik Deprem Mühendisliği. (K. Kayabalı, Çev.). Ankara: Gazi Kitabevi.

KRDAE-BDTİM. (2021). Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi. [Erişim: 05.07.2022, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/tr/>].

Latham, G., Ewing, M., Dorman, J., Lammlein, D., Press, F., Toksöz, N., Sutton, G., Duennebier, F., & Nakamura, Y. (1972). Moonquakes and Lunar Tectonism. *The Moon*, 4(3-4), 373-382. doi: 10.1007/BF00562004

Love, A. E. H. (1911). Some Problems of Geodynamics: Being an Essay to which the Adams Prize in the University of Cambridge was Adjudged in 1911. University Press.

Macqueen, J. G. (1968). Geography and History in Western Asia Minor in the Second Millennium BC. *Anatolian Studies*, 18, 169-185.

Midorikawa, S. (1987). Prediction of İsoseismal Map in the Kanto Plain Due to Hypothetical Earthquake. *Journal of Structural Engineering*, 33B:43-48.

MTA. (2021). Yerbilimleri Harita Görüntüleyici. [Erişim: 08.07.2022, <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>].

MTA. (2023). Yenilenmiş Diri Fay Haritaları. [Erişim: 09.08.2022, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/yenilenmis-diri-fay-haritalari>].

NEHRP, ve BSSC. (2003). NEHRP Recommended Provisions (National Earthquake Hazards Reduction Program) for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures (FEMA 450). Building Seismic Safety Council (BSSC). National Institute of Building Sciences, Washington.

Noson, L. L., Qamar, A., & Thorsen, G. W. (1988). Washington State Earthquake Hazards. Information Circular 85. Olympia, Washington: Washington Division of Geology and Earth Resources.

- Okay, A. İ., Siyako, M., & Bürkan, K. A.** (1990). Biga Yarımadası'nın Jeolojisi ve Tektonik Evrimi. *Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni*, 2(1), 83-121.
- Okay, A. İ., & Tüysüz, O.** (1999). Tethyan Sutures of Northern Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, 156(1), 475-515. doi: 10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22.
- Öncel, T.** (2016). Türkiye'nin Güncel Depremselliği ve Deprem Tehlikesi. (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Özmen, B.** (2012). Türkiye Deprem Bölgeleri Haritalarının Tarihsel Gelişimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 55(1):43-55.
- Özmen, B., & Can, H.** (2016). Ankara İçin Deterministik Deprem Tehlike Analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1): 9-18. doi: 10.17341/gummfd.12493.
- Pitilakis, K.** (2004). In *Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation* (pp. 139-197). Ed. Ansal, A. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Şahin, Y. E., Irmak, T. S., Livaoğlu, H., & Yavuz, E.** (2018). Marmara Bölgesi Orta-Küçük Depremlerinin Mw-ML Dönüşüm Bağıntısı. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 17(2):127-35. doi: 10.30706/uybd.363235.
- Satılmış, S.** (2020). Balıkesir ve Çevresinin Tarihsel Depremleri (1850-1900). *Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (40), 531-547. doi: 10.30794/pausbed.670938.
- Selim, H. H., Tüysüz O., & Barka, A. A.** (2006). Güney Marmara Bölümünün Neotektoniği. *İtüdergisi/d*, 5-1(Şubat): 151-160.
- Şengör, A. M. C., Görür N., & Şaroğlu, F.** (1985). "Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a Case Study" editör K. T. Biddle ve N. Christie-Blick. *SEPM Society for Sedimentary Geology* 37. doi: <https://doi.org/10.2110/pec.85.37>.
- Sezer, L. İ.** (2006). Kaz Dağı Yöresinde Deprem Aktivitesi ve Riski. *Ege Coğrafya Dergisi*, 15(1-2), 17-29.
- Sierberg, A.** (1932). *Erdbebengeographie*. Verlag von Gebrüder Borntraeger, Band I. Berlin.
- Siyako, M., Bürkan, K. A., & Okay, A. İ.** (1989). Biga ve Gelibolu Yarımadalarının Tersiyer Jeolojisi ve Hidrokarbon Olanakları. *TPJD Bülteni* 1(3): 183-199.

Resmi Gazete (1963). Türkiye’de Yersarsıntısına Mâruz Kalabilecek Bölgeleri Göstermek Üzere İçişleri, Milli Eğitim, Bayındırlık, Tarım, İmar ve İskân Bakanlıklarınca Müştereken Yapılan Tespit Sonucuna Ait İlişik Haritanın Onanmasına Dair Karar. 11389, 24 Nisan 1963. Karar sayısı: 6/1613.

Özmen, B. & Pampal S. (2017). Türkiye Deprem Bölgeleri Haritalarının Evrimi. 4. *Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi.

Tabban, A., ve Gencoğlu, S. (1975). “Deprem ve Parametreleri”. *Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni* 11:7-83.

Resmi Gazete (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. 30364, 18 Mart 2018.

TCEGE. 1999. Manual for zonation on seismic geotechnical hazards. *Publication of the Japanese Geotechnical Society*, Revised Version 209.

TÜİK (2022). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, 2021. [Erişim: 02.05.2022, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-Sonuclari-2021-45500>].

Türkelli, N. (2008). Sismik Ağların Deprem Tehlike Analizlerine Katkısı. Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeofizik Bölümü.

Ulusay, R., Tuncay, E., Sonmez, H., & Gokceoglu, C. (2004). An Attenuation Relationship Based on Turkish Strong Motion Data and Iso-Acceleration Map of Turkey. *Engineering Geology*, 74(3-4), 265-291.

USGS (2004). Tectonic Plates of the Earth. ABD Jeolojik Araştırma Merkezi. [Erişim: 17.07.2022, <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/slabs.html>].

Üzen, İ. (2014). 1942 ve 1943 Erbaa Depremleri. *Karadeniz Araştırmaları*, 10(40): 77-93. doi: 10.12787/karam637.

Vucetic, M., & Dobry, R. (1991). Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response. *Journal of Geotechnical Engineering*, 117(1), 89-107. American Society of Civil Engineering.

Wells, D. L., & Coppersmith, K. J. (1994). New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, And Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(4), 974-1002.

Yaltırak, C., Alpar, Ş., & Altınok, Y. (2002). Mürefte-Şarköy Depremi: Ganos Fayı'nın 9

Ağustos 1912 Depreminde Atımı, Kırık Uzunluğu, Büyüklüğü, Karakteri ve Aynı Yörede Olan Tarihsel Depremler. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu Altıncı Toplantısı*, 90-93. Ankara: MTA Genel Müdürlüğü.

Yaltırak, C., & Okay, A. İ. (2004). Edremit Körfezi Kuzeyinde Paleotetis Birimlerinin Jeolojisi. *İtüdergisi/d 3-1*(212):67-79.

Yeats, R. S., Sieh, K., & Allen, C. R. (1997). Deprem Jeolojisi (Çev. Demirtaş, R., Kayabalı, K.). Oxford University Press.

Yılmaz, Y. (2000). Ege Bölgesinin Aktif Tektoniği. *Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu*, 3-14. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü.

Yunatçı, A. A. (2010). GIS Based Seismic Hazard Mapping of Turkey. The Degree of Doctor of Philosophy, Middle East Technical University, Ankara, 426.

Yunatçı, A. A., & Çetin Ö. K. (2007). Olasılıksal Sismik Tehlike Analizleriyle Tümlleştirilmiş, Sahaya Özel Sismik Tepki ve Zemin Sıvılaşması Değerlendirilmesi. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, ss. 17-28, İstanbul.

Zabcı, C. (2012). Kuzey Anadolu Fayı'nın Ilgaz (Çankırı) - Karlıova (Bingöl) Arasında Kalan Kesiminin Morfokronoloji Tabanlı Son Beşbin Yıllık Kayma Hızı Tarihçesi ve Depremselliği. (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü.

EKLER

EK-1: AFAD VERİ TABANINDA BİGA DEPREM KATALOĞU

Sıra	Tarih	Enlem	Boylam	Yer	Şiddet
1	M.Ö. 360	40.40	26.60	Hellespont (Çanakkale Boğazı)	IX
2	M.Ö. 330	40.10	25.25	Limni Adası'nın Kuzeydoğusu	IX
3	M.Ö. 287	40.60	26.60	Gelibolu-Koruköy	X
4	79	39.16	26.37	Lesvos	VIII
5	93	40.60	27.00	Gelibolu Yarımadası Kuzeyi, Trakya	VIII
6	117	40.30	27.70	Erdek Kapıdağ Yarımadası	VII
7	138	40.15	26.40	Çanakkale, Bandırma	VIII
8	155	39.16	26.37	Midilli-Lesvos	X
9	160	40.30	28.00	Bandırma ve yöresi	VIII
10	170	40.30	28.70	Bandırma, Erdek, Gemlik Çukuru	IX
11	325	41.00	29.00	İstanbul	IX
12	356	41.00	29.00	İstanbul	VIII
13	363	41.00	29.00	İstanbul	VIII
14	376	41.00	29.00	İstanbul	VIII
15	382	41.00	29.00	İstanbul ve Yöresi	VIII
16	395	41.00	29.00	İstanbul	VIII
17	396	41.00	29.00	İstanbul	VIII
18	407	41.00	29.00	İstanbul	VIII
19	427	41.00	29.00	İstanbul ve Yöresi	IX
20	430	41.00	29.00	İstanbul ve Yöresi	VIII
21	437	41.00	29.00	İstanbul	VIII
22	450	41.00	29.00	İstanbul ve Yöresi	VIII
23	460	40.39	27.80	Erdek	IX
24	484	40.50	26.60	Gelibolu , Bozcaada	IX
25	542	41.00	29.00	İstanbul	VIII
26	543	40.35	27.85	Erdek	IX
27	557	41.00	29.00	İstanbul	VIII
28	14 Aralık 557	40.90	29.80	İstanbul	X

29	583	41.00	29.00	İstanbul	VIII
30	740	40.70	28.70	İstanbul, İzmit, İzmit	VIII
31	9 Şubat 790	41.00	29.00	İstanbul	VIII
32	796	41.00	29.00	İstanbul	VIII
33	815	41.00	28.97	İstanbul	IX
34	16 Mayıs 865	41.00	29.00	İstanbul	IX
35	9 Ocak 869	40.80	29.30	İstanbul	IX
36	960	41.00	29.00	İstanbul	VIII
37	968	41.00	29.00	İstanbul	VIII
38	985	40.40	28.90	İzmit, Bandırma, Erdek	VIII
39	25 Ekim 989	40.80	28.70	İzmit, İstanbul	VIII
40	9 Mart 1010	40.80	28.80	İstanbul	VIII
41	1026	41.00	28.98	İstanbul	VIII
42	20 Aralık 1037	41.00	29.00	İstanbul ve Yöresi	VIII
43	6 Eylül 1038	41.00	29.00	İstanbul	VI
44	23 Eylül 1063	40.80	27.40	Marmara Denizi	IX
45	6 Aralık 1082	41.00	29.00	İstanbul	VIII
46	1265	40.70	27.30	Marmara Adası	VII
47	6 Haziran 1296	41.00	29.00	İstanbul	VIII
48	1323	41.00	29.00	İstanbul	VIII
49	1327	40.28	28.95	Bursa (Miletopolis)	VII-VIII
50	1343	40.90	28.00	Marmara Denizi	X
51	24 Eylül 1343	40.70	27.90	Marmara Denizi	IX
52	1 Mart 1354	40.70	27.00	Gelibolu, Şarköy	IX
53	1383	39.25	26.25	Midilli	VIII
54	1437	40.17	26.36	Eceabat	VII
55	1443	41.00	29.00	İstanbul	VIII
56	1462	41.00	29.00	İstanbul	IX
57	1481	41.00	29.00	İstanbul	VIII
58	16 Ocak 1489	41.00	29.00	İstanbul	VIII
59	10 Eylül 1509	40.75	29.00	İstanbul	XI

60	10 Mayıs 1556	40.30	27.80	Balıkesir Bandırma civarı	VIII
61	1577	39.64	27.87	Karesi Yöresi	VI
62	18 Mayıs 1625	40.30	26.00	Saroz	X
63	28 Haziran 1648	41.00	29.00	İstanbul	VIII
64	17 Şubat 1659	40.50	26.40	Saros	IX
65	14 Şubat 1672	39.50	26.00	Biga	IX
66	1688	39.15	26.50	Midilli, Sakız, Santorin , Ege	VIII
67	1707	40.20	26.40	Çanakkale civarı	VI
68	1718	41.00	29.00	İstanbul	VIII
69	1718	38.50	27.00	İzmir	VIII
70	1719	41.00	29.00	İstanbul	VIII
71	1730	40.97	27.50	Saros	VII
72	1737	41.00	29.00	İstanbul	VIII
73	6 Mart 1737	40.00	27.00	Biga	X
74	1737	40.22	27.24	Biga	VII
75	1739	38.67	26.75	İzmir , Foça	IX
76	1752	40.80	26.30	Keşan ve Yöresi	VIII
77	25 Kasım 1756	40.74	27.33	Ganos(Gaziköy)	VI
78	1762	40.15	26.40	Çanakkale	VII
79	1763	41.00	29.00	İstanbul	VIII
80	1765	39.89	26.00	Saroz Körfezi-Ege Denizi açıkları	VI
81	1766	40.80	28.20	Çorlu, Büyükçekmece, Edirne	VII
82	1766	40.80	29.00	Marmara Denizi-İstanbul	IX
83	1766	40.60	27.00	Marmara Denizi'nin batısı; Edirne, İstanbul	VIII
84	1815	39.93	27.24	Edremit-Balıkesir	VII
85	1826	39.10	26.50	Midilli, İzmir	VI
86	1826	39.50	28.00	Bayramiç-Çanakkale	VIII
87	24 Kasım 1835	40.15	26.60	Çanakkale	VI
88	1837	39.33	26.71	Ayvalık-Balıkesir	V
89	1845	39.25	26.50	Midilli -Lesvos	V
90	1845	39.30	26.30	Midilli adası-Ege Denizi	VII

91	1845	39.30	26.30	Midilli adası-Ege Denizi	VII
92	1845	39.10	26.20	Midilli adası-Ege Denizi	X
93	1 Aralık 1845	39.10	26.50	Midilli, İzmir, Sakız, Karaburun(Lesvos)	VIII
94	1845	38.60	27.50	Manisa yöresi, İzmir	VIII
95	1846	40.40	26.65	Gelibolu	VI
96	1846	38.50	26.50	Midilli, İzmir, Sisam, Karaburun	VI
97	1847	40.40	26.65	Gelibolu	VI
98	1850	40.10	28.20	Ulubat-Bursa	VIII
99	1851	40.00	28.40	Bursa-Kemalpaşa	VIII
100	23 Ağustos 1851	40.00	28.40	Bursa -Kemalpaşa	VII
101	1852	40.41	26.67	Çanakkale	VI
102	1855	40.10	28.60	Bursa, Kemalpaşa	IX
103	1855	40.41	26.67	Gelibolu	V
104	1855	40.20	28.90	Bursa	X
105	1858	40.20	29.00	Bursa	VI
106	1858	38.90	27.80	Akhisar, Manisa, İzmir	VI
107	21 Ağustos 1859	40.25	25.90	Selanik-Yunanistan	IX
108	1859	40.30	25.86	Saroz Körfezi-İmroz	IX
109	1859	38.50	26.00	Sakız Adası-Ege Denizi	VI
110	6 Ağustos 1860	40.50	25.50	Gelibolu-Sakız Adası, Edirne	VIII
111	1862	41.00	29.00	İstanbul , Marmara Denizi	VI
112	1865	39.30	26.20	Midilli adası, Çanakkale	VIII
113	23 Temmuz 1865	39.40	26.20	Edremit-Balıkesir	IX
114	1866	40.17	26.36	Eceabat-Çanakkale	V
115	1867	39.10	26.50	Midilli Adası	IX
116	1867	39.30	26.20	Midilli Adası	VII
117	1867	39.30	26.50	Midilli Adası	VII
118	1867	39.30	26.50	Midilli, Edremit, Ayvalık	VII
119	1867	39.30	26.20	Midilli (Lesvos) , İzmir	VIII
120	1867	40.41	26.67	Gelibolu	VII
121	1868	39.30	26.40	Midilli Adası ve Çanakkale	VI

122	1870	39.90	27.30	Gelibolu, Balıkesir, Çanakkale	VII
123	11 Ekim 1871	40.40	26.50	Trakya	VII
124	1873	40.40	26.70	Saros	VII
125	1874	39.20	26.30	Midilli Adası Ege Denizi	VII
126	1874	40.20	26.40	Çanakkale Yöresi, Edremit, Balıkesir	VI
127	1874	39.10	26.90	Dikili-İzmir ve Midilli Adası , Ayvalık	VII
128	1875	40.15	26.40	Çanakkale	VII
129	1875	40.20	26.40	Çanakkale Yöresi -Erenköy	IX
130	1875	40.20	26.40	Çanakkale, Ezine	VI
131	1875	38.6	26.50	Karaburun ve Mordoğan-İzmir	VII
132	25 Ekim 1876	40.20	26.40	Çanakkale Boğazı	V
133	1877	40.60	27.60	Marmara Adaları-Marmara Den	VIII
134	1877	40.60	27.60	Marmara Adaları-Marmara Den	VI
135	12 Aralık 1880	39.20	26.50	Kos- Midilli Adası Ege Denizi	V
136	1880	38.60	27.90	Menemen ve Emiralem-İzmir	IX
137	1881	40.40	26.70	Gelibolu	VI
138	1884	39.80	26.30	Ezine-Çanakkale	VI
139	1884	40.40	27.80	Kirmasti (Mustafakemalpaşa)	VII
140	1886	39.25	26.50	Midilli Adası Ege Denizi	VII
141	1886	39.55	28.90	Gökçedağ-Balıkesir, Tavşanlı-Kütahya	VIII
142	1887	40.00	25.50	Limni ve Mytilini Adaları	VIII
143	1889	39.30	26.30	Midilli, Sakız Ad., İzmir, Çanakkale, Tekirdağ	IX
144	1889	39.30	26.30	Midilli Ad.-Ege Den., Çeşme-İzmir	VIII
145	1893	40.50	26.20	Saros	IX
146	1893	39.16	26.37	Midilli Adası	V
147	1894	40.20	26.40	İstanbul ve Edirne	VI
148	1894	40.80	29.00	Çanakkale, Biga, Lapseki, Edirne, İstanbul ve Edirne	V
149	1894	40.85	26.63	Saros Körfezi	VI
150	14 Mart 1895	40.40	26.70	Saros Körfezi	V
151	14 Kasım 1895	39.10	27.15	Bergama-İzmir	VIII
152	1895	38.60	27.15	Menemen-İzmir	VIII

153	1896	39.64	27.88	Balıkesir	V
154	1897	38.93	28.20	Göğdes-Manisa	VI
155	28 Şubat 1898	39.60	27.90	Balıkesir	VIII
156	1899	40.62	27.60	Marmara Adası	VII
157	1899	39.40	28.13	Bigadiç-Balıkesir	VII
158	1899	40.43	27.15	Değirmencik Köyü-Çanakkale	V
159	1899	39.59	26.40	Ayvacı-Çanakkale	VII



EK-2: BİGA İLÇE MERKEZLİ ALETSEL DÖNEMDE KAYDEDİLEN MOMENT DÜZELTMESİ YAPILMIŞ DEPREM KATALOĞU

Tarih	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Yer	M _w
1969.03.03	40.0800	27.5000	6	ALACAOLUK-GONEN (BALIKESİR) [South West 2.6 km]	5,8
1942.10.28	39.4600	27.7900	10	TURNALAR- (BALIKESİR) [North West 1.0 km]	5,6
1924.12.22	39.6000	27.7000	15	DALLIDAMDİRA- (BALIKESİR) [South East 1.2 km]	5,5
1905.01.11	39.6000	27.9000	15	CAYIRHISAR- (BALIKESİR) [South 1.7 km]	5,3
1969.08.14	39.5200	27.8700	21	PAMUKCU- (BALIKESİR) [South West 1.2 km]	5,0
1984.03.29	39.6400	27.8700	0012	BALIKESİR [North West 0.5 km]	4,7
1998.03.05	39.5500	27.2500	0007	HALACLAR-HAVRAN (BALIKESİR) [East 1.3 km]	4,5
2000.09.08	39.3800	27.6300	0009	SAVASTEPE (BALIKESİR) [South West 2.1 km]	4,3
1989.05.10	39.6700	27.8800	0010	BALIKESİR (BALIKESİR) [North West 2.3 km]	4,3
1977.06.21	39.4800	27.6300	0010	BEYKOY-SAVASTEPE (BALIKESİR) [North East 0.3 km]	4,3
1971.12.16	39.5200	27.7800	10	CİFTÇİDERE- (BALIKESİR) [North East 1.5 km]	4,3
1991.06.26	39.5700	27.7600	0012	CUKURHUSEYİN- (BALIKESİR) [North East 1.0 km]	4,1
1990.02.10	39.5700	27.9000	0010	KUCUKBOSTANCI- (BALIKESİR) [South West 2.8 km]	4,1
2006.10.20	40.2617	27.9850	10,9	YENİSİGİRCİ-BANDIRMA (BALIKESİR) [West 2.4 km]	5,2
2009.08.01	40.3678	28.2772	10	KURSUNLU-KARACABEY (BURSA) [South 3.3 km]	4,3
1985.12.19	40.2000	27.2600	0012	ABDİAGA-BİGA (ÇANAKKALE) [South East 0.9 km]	4,3
1975.11.18	40.2600	27.2900	0007	IDRİSKÖRÜ-BİGA (ÇANAKKALE) [North East 1.9 km]	4,3
1912.09.16	40.1000	26.8000	30	KOCALAR- (ÇANAKKALE) [North East 4.3 km]	5,2
1983.05.28	40.0200	26.8900	0009	KOYUNYERİ-CAN (ÇANAKKALE) [South 1.2 km]	4,5
2018.05.03	39.9797	26.9243	12,7	TEPEKOY-CAN (CANAKKALE) [West 0.3 km]	4,2
1993.03.18	40.4200	27.9800	0010	BANDIRMA KÖRFEZİ (MARMARA DENİZİ)	4,4
2011.03.09	40.4318	28.0598	9,4	BANDIRMA KÖRFEZİ (MARMARA DENİZİ)	4,2
2008.05.19	40.5000	27.8000	10	TURAN-ERDEK (BALIKESİR) [South East 1.9 km]	4,2
1944.10.06	39.4800	26.5600	40	EDREMIT KÖRFEZİ (EGE DENİZİ)	6,5
2019.02.20	39.6173	26.4088	8,2	AYVACIK (CANAKKALE) [North East 1.6 km]	5,4
1965.10.04	39.6000	26.5000	10	YENİCAM-AYVACIK (ÇANAKKALE) [North West 1.8 km]	4,4
1974.12.01	39.5300	26.3600	10	PASAKOY-AYVACIK (ÇANAKKALE) [East 3.0 km]	4,3
1972.06.04	39.4900	26.3700	28	BEHRAM-AYVACIK (ÇANAKKALE) [East 3.1 km]	4,1

2017.01.30	39.5960	26.4243	8,3	AYVACIK (CANAKKALE) [South East 2.1 km]	4,0
1978.05.05	39.2800	26.7900	0000	MUTLU-AYVALIK (BALIKESIR) [South East 2.6 km]	4,0
1974.01.03	39.7400	26.8200	29	DAGODA-BAYRAMIC (CANAKKALE) [South 4.3 km]	4,3
1997.12.28	39.9000	26.5500	0000	PALAMUT-BAYRAMIC (CANAKKALE) [North 3.3 km]	4,1
1965.08.23	40.5100	26.1700	33	SAROS KÖRFEZİ (EGE DENİZİ)	5,5
1912.08.09	40.6000	27.2000	16	ERIKLICE-SARKOY (TEKIRDAG) [South East 4.3 km]	6,9
1959.07.26	40.9100	27.5400	10	BARBAROS- (TEKIRDAG) [East 6.1 km]	5,5
1917.04.10	40.6000	27.1000	15	SARKOY (TEKIRDAG) [South West 2.0 km]	5,5
1954.03.23	40.5800	27.1200	10	SARKOY (TEKIRDAG) [South 3.9 km]	5,3
1948.11.09	40.1000	26.4000	90	KEPEZ- (CANAKKALE) [North East 0.8 km]	4,9
1985.04.27	40.7400	27.3800	0009	GAZIKOY-SARKOY (TEKIRDAG) [East 4.2 km]	4,7
1928.05.03	40.8000	26.8000	4	TETEKOY-MALKARA (TEKIRDAG) [North 1.0 km]	4,6
1996.04.14	40.8000	27.4500	0011	YENIKOY- (TEKIRDAG) [South East 5.0 km]	4,4
2005.11.04	40.6790	27.3030	13	HOSKOY-SARKOY (TEKIRDAG) [South West 4.0 km]	4,3
1967.08.02	40.7000	27.2000	10	YAYAKOY-SARKOY (TEKIRDAG) [South 1.6 km]	4,3
2010.12.31	40.5800	27.3400	16	MÜREFTE AÇIKLARI-TEKIRDAG (MARMARA DENİZİ)	4,2
2003.07.13	40.8300	27.4800	0014	KUMBAG- (TEKIRDAG) [South East 5.0 km]	4,1
1979.10.08	40.8400	27.7300	0002	MARMARA DENİZİ	4,1
2019.05.25	40.5673	27.1237	16	SARKOY (TEKIRDAG) [South 5.4 km]	4,0
2014.07.03	40.2088	27.9333	11,8	KUS GOLU	4,3
1982.01.06	40.1600	27.6400	0004	GUNDOGAN-GONEN (BALIKESIR) [South East 1.3 km]	4,2
1967.05.09	39.6100	27.1500	37	FAZLICA-HAVRAN (BALIKESIR) [South 1.5 km]	4,7
2005.08.03	39.3700	26.9200	18	HACIOGLU-GOMEC (BALIKESIR) [South East 1.3 km]	4,3
1983.07.05	40.3300	27.2100	0007	TOKATKIRI-BIGA (CANAKKALE) [South West 1.0 km]	5,8
1935.10.22	40.3100	27.2100	10	YENICIFTLIK-BIGA (CANAKKALE) [North East 2.5 km]	5,4
1964.12.21	40.5000	27.5000	10	AVSA-MARMARA (BALIKESIR) [South 1.2 km]	4,7
2012.05.04	40.3147	27.0005	12	DISBUDAK-LAPSEKI (CANAKKALE) [South West 0.2 km]	4,4
1984.11.14	40.3300	27.2300	0006	TOKATKIRI-BIGA (CANAKKALE) [South East 1.7 km]	4,2
1975.04.18	40.3500	27.2800	0005	CINARKOPRU-BIGA (CANAKKALE) [North East 4.6 km]	4,2
2019.02.19	40.3862	27.1572	11,5	CAKIRLI-BIGA (CANAKKALE) [North West 1.9 km]	4,1
1964.10.06	40.3000	28.2300	34	OKCULAR-KARACABEY (BURSA) [North East 1.5 km]	6,2

1964.10.06	40.2400	28.1600	23	TOPHISAR-KARACABEY (BURSA) [North 2.2 km]	5,7
1961.11.28	39.9900	26.1000	80	ÜVEÇİK AÇIKLARI-ÇANAKKALE (EGE DENİZİ)	5,4
1951.12.13	40.0600	26.2000	50	SEDDULBAHIR-ECEABAT (ÇANAKKALE) [North East 2.1 km]	5,2
2015.10.26	39.7903	26.2667	6,7	GOKCEBAYIR-EZINE (CANAKKALE) [.98 km]	4,6
1970.10.31	39.9200	26.1600	10	YENIKOY-EZINE (ÇANAKKALE) [South West 1.5 km]	4,1
2014.01.13	39.7833	26.1328	7,8	DALYAN-EZINE (CANAKKALE) [North West 2.7 km]	4,0
1981.05.03	40.7900	28.0900	24	MARMARA DENİZİ	4,4
1951.09.15	40.1500	28.0200	40	KIZIKSA-MANYAS (BALIKESİR) [North East 4.6 km]	5,3
1938.07.02	40.1700	27.8800	10	GOLYAKA-BANDIRMA (BALIKESİR) [South East 1.7 km]	5,3
2003.06.09	40.2100	27.9400	0017	KUS GÖLÜ	4,9
1967.02.12	40.1400	28.1000	36	AKSAKAL-BANDIRMA (BALIKESİR) [South West 1.0 km]	4,3
1941.02.09	40.1300	28.2700	30	GONU-KARACABEY (BURSA) [North West 2.0 km]	4,8
2014.12.16	40.1498	27.0835	12,9	CELTİK-BİGA (CANAKKALE) [South West 1.5 km]	4,3
1971.02.23	39.6200	27.3200	10	KUCUKSAPCI-HAVRAN (BALIKESİR) [West 1.2 km]	5,3
2010.08.12	39.6943	27.5447	12,5	GOKTEPE-BALYA (BALIKESİR) [North East 1.5 km]	4,9
1977.01.10	39.4800	27.3800	0004	KORUCU-IVRINDI (BALIKESİR) [North East 1.5 km]	4,3
1950.11.28	39.7300	28.0500	40	KARAKAYA- (BALIKESİR) [South East 2.3 km]	5,3
1965.09.02	39.7000	27.1000	10	YASYER-EDREMIT (BALIKESİR) [North East 5.3 km]	4,4
2003.07.06	40.3900	26.1900	0012	SAROS KÖRFEZİ (EGE DENİZİ)	5,7
1975.03.27	40.4500	26.1200	0015	SAROS KÖRFEZİ (EGE DENİZİ)	5,6
1956.01.06	40.3900	26.2900	10	SAROS KÖRFEZİ (EGE DENİZİ)	5,6
2010.11.03	40.4200	26.3400	14	SAROS KÖRFEZİ (EGE DENİZİ)	5,4
2014.05.24	40.4270	26.2398	7,2	SAROS KÖRFEZİ (EGE DENİZİ)	5,1
2015.07.24	40.2435	26.2873	11,9	KOCADERE-ECEABAT (CANAKKALE)	4,8
2012.07.25	40.4325	26.1952	17,3	SAROS KÖRFEZİ (EGE DENİZİ)	4,7
1968.09.28	40.4900	26.3800	28	SAROS KÖRFEZİ (EGE DENİZİ)	4,7
1967.04.04	40.3200	26.2000	32	SAROS KÖRFEZİ (EGE DENİZİ)	4,7
1991.05.28	40.5300	26.4200	0008	SAROS KÖRFEZİ (EGE DENİZİ)	4,4
1975.08.18	40.2600	26.0600	0046	KEMALYERİ AÇIKLARI-ÇANAKKALE (EGE DENİZİ)	4,4
1960.03.09	40.5000	26.5000	10	SAROS KÖRFEZİ (EGE DENİZİ)	4,4
1997.10.25	40.4900	26.4300	0010	SAROS KÖRFEZİ (EGE DENİZİ)	4,2

1976.02.02	40.3900	26.2600	0010	SAROS KÖRFEZİ (EGE DENİZİ)	4,2
2014.07.09	40.4298	26.2558	15	SAROS KÖRFEZİ (EGE DENİZİ)	4,0
1935.01.04	40.3000	27.4500	20	GUVEMALANI-BİGA (ÇANAKKALE) [North West 2.3 km]	6,2
1966.08.21	40.3300	27.4000	12	BOZLAR-BİGA (ÇANAKKALE) [North East 2.6 km]	5,1
1954.10.24	40.4600	27.5300	10	AVSA-MARMARA (BALIKESİR) [South East 6.3 km]	4,9
1984.01.30	40.5000	27.4900	0010	AVSA-MARMARA (BALIKESİR) [South West 1.5 km]	4,6
2009.08.08	40.3300	27.4100	17	BOZLAR-BİGA (ÇANAKKALE) [North East 3.1 km]	4,5
2008.07.15	40.3702	27.4412	12,1	BOZLAR-BİGA (ÇANAKKALE) [North East 8.3 km]	4,3
1986.09.12	40.2500	27.3200	0005	BAHCELİ-BİGA (ÇANAKKALE) [North East 0.6 km]	4,3
2013.08.29	40.3478	27.4458	14,8	GERLENÇ-BİGA (CANAKKALE) [6.65 km]	4,1
2012.07.04	39.9417	27.8422	12,8	DUZOBA- (BALIKESİR) [North West 3.6 km]	4,5
1942.06.16	40.8000	27.8000	20	MARMARA DENİZİ	5,7
2011.07.25	40.8112	27.7382	17	MARMARA DENİZİ	5,2
2012.06.07	40.8540	27.9235	14	MARMARA EREGLİSİ AÇIKLARI – TEKİRDAĞ (MARMARA DENİZİ)	5,1
1999.09.20	40.6900	27.5800	0016	MARMARA DENİZİ	5,1
2013.11.27	40.8455	27.9187	10	MARMARA EREGLİSİ AÇIKLARI - TEKİRDAĞ (MARMARA DENİZİ)	4,6
1995.02.08	40.8300	27.8300	0012	MARMARA DENİZİ	4,5
1978.06.15	40.7900	27.6800	0028	MARMARA DENİZİ	4,5
1967.07.31	40.6000	27.6200	4	MARMARA DENİZİ	4,5
2002.03.23	40.8100	27.8400	0012	MARMARA DENİZİ	4,4
1973.06.27	40.7200	27.4900	5	GÜZELKÖY AÇIKLARI-TEKİRDAĞ (MARMARA DENİZİ)	4,4
2020.09.08	40.7013	27.4195	13,6	GUZELKOY AÇIKLARI-TEKİRDAĞ (MARMARA DENİZİ)	4,3
2015.10.28	40.8220	27.7642	14,3	MARMARA DENİZİ	4,3
2009.01.24	40.7853	27.7643	16,5	MARMARA DENİZİ	4,3
2004.04.19	40.6100	27.7000	0016	ASMALI-MARMARA (BALIKESİR) [South West 1.1 km]	4,3
1986.02.01	40.7900	27.5800	0022	YENİKÖY AÇIKLARI-TEKİRDAĞ (MARMARA DENİZİ)	4,3
2001.03.14	40.8500	27.6400	0008	TEKİRDAĞ AÇIKLARI (MARMARA DENİZİ)	4,1
1992.04.05	40.8500	27.9000	26	MARMARA EREGLİSİ AÇIKLARI-TEKİRDAĞ (MARMARA DENİZİ)	4,1

1991.03.08	40.8500	27.9100	11	MARMARA EREGLİSİ AÇIKLARI-TEKİRDAG (MARMARA DENİZİ)	4,0
2007.09.29	39.7577	27.7553	8,2	DEKLİTAS- (BALİKESİR) [North 1.3 km]	4,2
2017.07.22	40.0182	27.1407	13,2	YAYKIN-CAN (CANAKKALE) [North East 1.0 km]	4,4
1953.03.18	39.9900	27.3600	10	SOGUCAK-YENİCE (ÇANAKKALE) [South West 2.3 km]	6,8
2008.07.10	40.0073	27.7137	13,6	COBANHAMİDİYE-GONEN (BALİKESİR) [South 2.0 km]	4,9
1956.07.18	39.9600	27.3000	60	CAKİROBA-YENİCE (ÇANAKKALE) [North East 0.9 km]	4,7
2011.03.30	40.0483	27.8310	7,9	SULEYMANLI-MANYAS (BALİKESİR) [North West 1.0 km]	4,4
1990.05.24	39.9800	27.4800	0028	YALİOBA-YENİCE (ÇANAKKALE) [North East 0.9 km]	4,4
2008.06.03	40.1632	26.9182	9,7	AHMETLER-BİGA (ÇANAKKALE) [West 0.4 km]	4,2

