

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İZMİR İLİ OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ebru BAYRAM

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi T.Fikret KURNAZ

Ekim 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

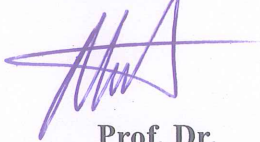
İZMİR İLİ OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ebru BAYRAM

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

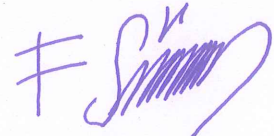
Bu tez 11/10/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr.
Murat UTKUCU
Jüri Başkanı



Dr. Öğr. Üyesi
T. Fikret KURNAZ
Üye



Dr. Öğr. Üyesi
Fatih SÜNBÜL
Üye

BEYAN

Yapmış olduğum İzmir ili olasılıksal sismik tehlike analizi yüksek lisans tezimde bütün verileri akademik kurallar dahilinde toplayıp sunduğumu ve danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Talas Fikret KURNAZ'ın bilgisi dahilinde tamamladığımı, kullandığım verilerde başkalarının eserlerinden yararlandığım bilgilerde bilimsel kurallara uygun şekilde atıfta bulunduğumu, kullandığım kaynakları kaynakçada belirttiğimi ve aksi bir durum olmadığını beyan ederim.

Ebru BAYRAM

11/10/2019

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca ve bu çalışmanın her aşamasında rahatça danışabildiğim, hiç bir şekilde yardımını esirgemeyen, desteğini her zaman hissettiren ve elinden gelenin fazlasını yapmak için uğraşan değerli danışmanım Sn. Dr. Öğr. Üyesi T. Fikret KURNAZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma esnasında her türlü yardımda bulunan Sn. Yiğit İNCE'ye çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgilerini aktarıp kazandırdıkları her şey için tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Her zaman rahatlıkla yardım isteyebildiğim ve manevi desteklerini esirgemeyen Muhammet EŐE, dostlarım ve son olarak hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen, bugünkü kişi olmamı sağlayan, en büyük şansım, varlıklarına şükrettiğim babam Kadir BAYRAM, annem Saniye BAYRAM, anne yarım İnci ÖZTOPRAK, yeğenim Melis BÜYÜKADA ve ablam Burcu ÖZTOPRAK'a yürekten teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
TÜRKİYE TEKTONİĞİ	3
2.1. Türkiye'deki Aktif Deprem Kuşakları	5
2.1.1. Kuzey Anadolu Fay Zonu	5
2.1.2. Doğu Anadolu Fay Zonu	6
2.1.3. Ölüdeniz Fay Zonu	6
2.1.4. Ege Graben Fay Zonu	6
2.1.5. Kıbrıs Yayı	7
2.1.6. Bitlis Kenet Kuşağı	7
BÖLÜM 3.	
ÇALIŞMA ALANININ ÖZELLİKLERİ	8
3.1. İzmir Jeolojisi	8
3.2. İzmir ve Çevresindeki Aktif Faylar	11
3.2.1. Güzelhisar Fayı	12

3.2.2. Menemen Fay Zonu	13
3.2.3. Yenifoça Fayı	13
3.2.4. İzmir Fayı	13
3.2.5. Bornova Fayı	14
3.2.6. Tuzla Fayı	14
3.2.7. Seferihisar Fayı	14
3.2.8. Gülbahçe Fayı	15
3.2.9. Gümüldür Fayı	15
3.2.10. Gediz Graben Sistemi Fayları	15
3.2.10.1. Gediz Grabeni Ana Sıyırılma Fayı	15
3.2.10.2. Dağkızılca Fayı	15
3.2.10.3. Kemalpaşa Fayı	16
3.2.10.4. Manisa Fayı	16
3.3. İzmir'in Depremselliği	16
3.3.1. Tarihsel depremler	17
3.3.2. Aletsel depremler	19
BÖLÜM 4.	
SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ	21
4.1. Sismik Tehlike Analizi Yöntemi	21
4.1.1. Deterministik Sismik Tehlike Analizi	21
4.1.2. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi	23
BÖLÜM 5.	
METOT VE YÖNTEM	26
5.1. Çalışmada Kullanılacak Deprem Kataloğunun Oluşturulması ve Kaynak Belirlenmesi	26
5.2. Yinelenme (tekrarlama) İlişkileri	27
5.3. Azalım İlişkileri	28
5.3.1. Kalkan ve Gülkan, 2004	29
5.3.2. Boore ve diğerleri, 1997	30

BÖLÜM 6.	
ÇALIŞMA ALANININ OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ	32
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR	37
KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ	44



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a,b	: İlgili bölge için hesaplanan regresyon katsayıları
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
D	: Doğu
DAD	: Deprem Araştırma Dairesi
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
D-B	: Doğu Batı
DSTA	: Deterministik Sismik Tehlike Analizi
GGB	: Güney Güneybatı
GGD	: Güney Güneydoğu
GPS	: Global Positionning System
h	: km cinsinden derinlik
ISC	: Uluslar Arası Sismoloji Merkezi
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KB-GD	: Kuzeybatı-Güneydoğu
KD-GB	: Kuzeydoğu-Güneybatı
K-G	: Kuzey Güney
KKB	: Kuzey Kuzeybatı
KKD	: Kuzey Kuzeydoğu
KKD-GGB	: Kuzeykuzeydoğu-Güneygüneybatı
ln	: Y'nin standart sapması
Log	: 10 tabanına göre logaritma
M_w	: Moment Magnitüdü
M_s	: Yüzey Dalgası Magnitüdü
N	: Olay Sayısı
N(M)	: Birim zaman içinde magnitüdü M'ye eşit ya da M'den büyük ortalama deprem sayısı

- OSTA : Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi
r_{el} : Yüzeydeki kırığa en yakın mesafe
V_s : m/sn cinsinden kayma dalga hızı
Y : En büyük yer çekimi ivmesinin yatay bileşeni



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Doğu Akdeniz Bölgesi basitleştirilmiş tektonik haritası.....	4
Şekil 2.2. GPS istasyon verileri sonucu Batı Anadolu ve Ege Bölgesi'nin tektonik hareket vektörleri.....	5
Şekil 3.1. İzmir ve yöresinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası	9
Şekil 3.2. İzmir ve yöresine ait genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesit.....	10
Şekil 3.3. İzmir ve çevresinin diri fay haritası	12
Şekil 3.4. Türkiye Deprem Tehlike Haritası	17
Şekil 3.5. İzmir ve çevresinde tarihsel dönemde gerçekleşmiş depremlerin diri fay haritasında dağılımı	19
Şekil 3.6. İzmir ve çevresinde gerçekleşmiş aletsel dönem depremler.....	20
Şekil 4.1. Deterministik Sismik Tehlike Analizinin dört aşaması	23
Şekil 4.2. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizinin dört aşaması	25
Şekil 6.1. İnceleme alanı bölgelendirme haritası	32
Şekil 6.2. Kalkan ve Gülkan (2004) ivme azalım ilişkisi kullanılarak bulunan ivme değerlerinin gösterildiği harita	34
Şekil 6.3. Kalkan ve Gülkan (2004) ivme azalım ilişkisi kullanılarak, 475 yıllık tekrar için sismik tehlike haritası.....	34
Şekil 6.4. Boore ve diğerleri (1997) ivme azalım ilişkisi kullanılarak bulunan ivme değerlerinin gösterildiği harita	35
Şekil 6.5. Boore ve diğerleri (1997) ivme azalım ilişkisi kullanılarak, 475 yıllık tekrar için sismik tehlike haritası.....	36

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1. İzmir ve çevresinde gerçekleşen önemli tarihsel depremler	18
Tablo 3.2. İzmir ve çevresinde gerçekleşen aletsel dönem depremler	20
Tablo 5.1. Denklem 5.2’de yer alan değişkenlerin kullanılan değerleri	30
Tablo 5.2. Denklem 5.4’de yer alan değişkenlerin kullanılan değerleri	31
Tablo 6.1. İnceleme sonucu bölgelere ait hesaplanan a ve b değerleri	33
Tablo 6.2. 10, 50, 75, 100 yıl için aşılma olasılıkları.....	36

ÖZET

Anahtar Kelimeler: İzmir, batı Anadolu horst ve graben sistemi, deprem riski, probabilistik sismik tehlike analizi

Türkiye’de deprem yoğunluğunun oldukça aktif olduğu batı Anadolu bölgesi yani İzmir ili ve çevresi genel olarak doğu batı uzanımlı horst ve grabenlerden oluşmaktadır. Eski çağlarda birçok uygarlığa ev sahipliği yapmış olan bölgede tarihsel ve aletsel verilere bakıldığında çok sayıda can ve mal kaybına neden olan yüksek şiddetli depremler meydana geldiği görülmektedir.

Bu çalışmada İzmir ve çevresi için sismik tehlike analizi yapılmıştır. Çalışma 150 km çaplı bir alandaki deprem dağılımları incelenerek yapılmıştır. İnceleme alanında 01.01.1900 ve 06.05.2019 yılları arasında meydana gelen depremlerden büyüklüğü 4’ten büyük 357 deprem verisi Deprem Araştırma Dairesi (DAD), Uluslar Arası Sismoloji Merkezi (ISC) katalogları ile Kandilli Rasathanesi kataloglarından derlenmiştir. İnceleme alanına etkisi olabilecek sismik kaynaklar belirlenip sismik tehlike eğrileri ve eş ivme haritaları ivme azalım bağlantıları kullanılarak bulunmuştur.

İnceleme alanı için hesaplanan ivme değerleri hem Kalkan ve Gülkan (2004) için hem de Boore ve diğ. (1997) için 0,42 ve 0,47 g aralığında bulunmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen bulguların Türkiye Deprem Tehlike Haritasında İzmir ve çevresi için gösterilen sismik tehlike ile uyumlu olduğu ve yüksek deprem riskine sahip olduğu görülmüştür.

PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS FOR IZMIR PROVINCE

SUMMARY

Keywords: İzmir, Western Turkey horst and graben, earthquake risk, probabilistic seismic hazard analysis

İzmir and surrounding areas (Western Turkey) where the earthquake activity is very high are generally consists of east-west trending horst and graben systems. Considering historical and instrumental data in the region, which hosted many civilizations in ancient times, it is seen that there were many severe earthquakes that caused many casualties and property losses.

In this study, seismic hazard analysis was performed by using probabilistic method for İzmir and its environs. The study was conducted by examining the earthquake distribution in an area enclosed by a circle 150 km in diameter. In the study area, 357 earthquakes of magnitude greater than 4 were collected from the catalogs of Earthquake Research Department (DAD), International Seismology Center (ISC) and Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute for the time period between 01.01.1900 and 06.05.2019. Seismic sources that could affect the study area were determined and seismic hazard curves and co-acceleration maps were found by using acceleration attenuation relationship.

The acceleration values calculated for the study area were found between 0.42 and 0.47 g for both Kalkan and Gülkan (2004) and for Boore et al. (1997). The findings obtained from this study are consistent with the seismic hazard indicated by the Earthquake Hazard Map of Turkey and suggest high seismic risk for the study area risk of earthquakes.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Türkiye Alp-Himalaya deprem kuşağında ve Afrika, Arabistan, Avrasya plakalarının etkileşiminin olduğu alanda bulunmaktadır. Birçok aktif fayın olduğu ve deprem yoğunluğunun oldukça fazla olduğu bir bölgedir.

İzmir ili Türkiye'nin batısında yer almakta olup, kuzeyinde Balıkesir, doğusunda Manisa, güneyinde Aydın ve batısında Ege Denizi ile çevrilidir. Yüzölçümü 11973,00 km² olup yaklaşık nüfusu 4.320.519'dur [1]. Bölgedeki depremsellik göz önüne alındığında gerek nüfusu, gerek önemli alanları bünyesinde bulundurması İzmir ili büyük risk altında olduğu ifade edilebilir. Tarihsel ve aletsel veriler bu hipotezi desteklemektedir.

İzmir ve çevresi genel olarak doğu batı uzanımlı horst ve grabenlerden oluşmaktadır. Eski çağlarda birçok uygarlığa ev sahipliği yapmış olan bölgede tarihsel ve aletsel verilere bakıldığında çok sayıda can ve mal kaybına neden olan yüksek şiddetli depremler olduğu görülmektedir. Buna bağlı depremlerin oluşum nedeni hakkında araştırmalar yapmak, tehlikenin boyutunu kestirebilmek, verebileceği hasarı önleyebilmek veya en aza indirmek büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple de son zamanlarda deprem tehlikesi belirlemek için yapılan çalışmalar gereklilik halini almıştır. Bu çalışmada da İzmir ili için sismik tehlike analizi yapılmıştır. Sismik tehlike çalışmalarının temel amacı, bir alanda yapılacak olan yapıların veya zemininin ileride olabilecek bir sismik yükleme sonucunda oluşabilecek zemin bina etkileşimini hesap ederek yapı hasarlarını en düşük seviyede tutulmasını sağlamaktır. Alanda yapılacak yapıların olabilecek sarsıntıya karşı güvenli kalabilmesi, hasarın en aza indirilebilmesi için muhtemel bir sismik yüklemeye yaşanabilecek sarsıntı seviyesi tahmin edilmesi gereklidir. Bunun içinde geçmişte olan deprem verileri (sismolojik veriler), jeolojik ve jeoteknik bilgiler kullanılmaktadır. Sismik tehlike analizinde yaygın olarak kullanılan

iki yöntemden biri Deterministik Sismik Tehlike Analizi diğeri ise, Olasılıksal Sismik Tehlike Analizidir. Tez çalışması kapsamında birinci bölümde konuya giriş yapılarak kısaca bilgi verilmiştir. İkinci bölümde Türkiye tektoniği hakkında bilgiler vermeye çalışılmıştır. Üçüncü bölümde ise çalışma alanının özellikleri, jeolojisi, aktif fayları, depremselliği hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde sismik tehlike analizi ve yaygın kullanılan Deterministik Sismik Tehlike Analizi ve Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi yöntemleri anlatılmaya çalışılmıştır. Beşinci bölümde metod ve yöntem. Bir sonraki bölüm olan 6. bölümde ise çalışma alanında yapılan sismik tehlike analizi verilmiştir. Son bölümde çalışma sonucundan elde edilen veriler sunulmuştur. Elde edilen bulguların İzmir ili ve çevresinde yapılması düşünülen mühendislik yapıları projeleri için önemli yararlar sağlayacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM 2. TÜRKİYE TEKTONİĞİ

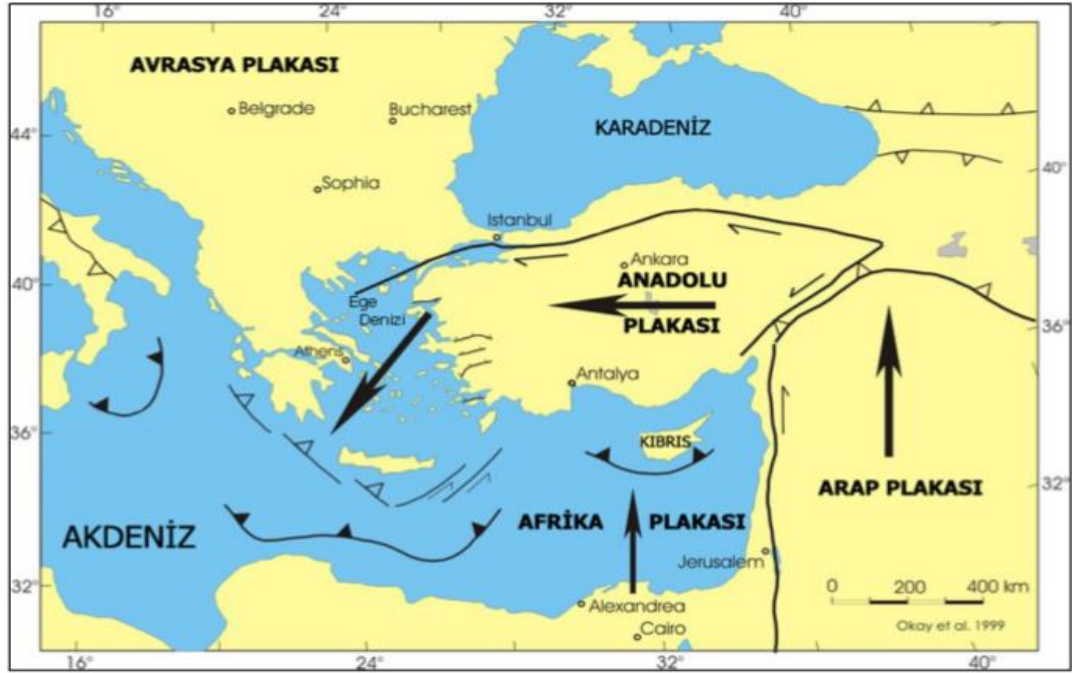
Tektonik; yerkabuğunun oluşumu, değişime neden olan kuvvetleri, levhaların hareketleri ve bunların sonucunda oluşan olayları incelemektedir. Sismotektonik; depremlerin gelişim süreçlerini araştıran tektonik hareketlerle depremsellik ilişkilerini açıklamaya çalışır. Neotektonik ise; herhangi bir alanda olmuş olan en sonki tektonik rejimden günümüze kadar olan zaman içerisindeki tektonizmanın tümüne denmektedir [2].

Türkiye için son tektonik rejim değişikliği yani Neotektonik dönemin başlangıcı Orta Miyosendir ve yeni tektonik olarak da adlandırılır. Bu dönemde oluşan yapılara da Neotektonik yapılar denir. Orta Miyosen öncesi ise Paleotektonik yani eski tektoniktir. Bu dönemde meydana gelen yapılara ise Paleotektonik yapılar denmektedir.

Türkiye için Neotektonik dönem Orta Miyosen'de Bitlis kenet kuşağı uzantısıncı Anadolu levhası ile Arabistan levhasının çarpışmasıyla, tetis okyanusunun kapanması döneminden önce başladığı kabul edilmektedir. Bu çarpışma Paleotektonik dönem ve Neotektonik dönemi birbirinden ayıran bir dönüm noktası olmuştur. Neotektonik dönem sırasında Ölü Deniz fayı boyunca kuzeye doğru hareketini sürdüren Arap Yarımadası Doğu Anadolu da sıkışma rejimini meydana getirmiştir. Bu sıkışma rejimi 5-11 milyon yıl arasında Doğu Anadolu'nun yükselmesi ve kabuğun kalınlaşması ile son bulmuştur. Bu zaman boyunca Doğu - Batı yönelimli ters faylar, bindirmeler, kıvrımlar ve eğimli havzalar gelişmiştir. 5 Milyon yıl önce başlangıç esnasında bu sıkışma tektonik rejimin yerini Anadolu'nun batıya kaçış rejimi almıştır. Böylece Anadolu plakası Kuzey ve Doğu Anadolu Fay Zonları uzantısında batıya doğru harekete başlamıştır [2, 3, 4, 5, 6, 7]. Levhaların hareket yönleri Şekil 2.1.'de gösterilmektedir.

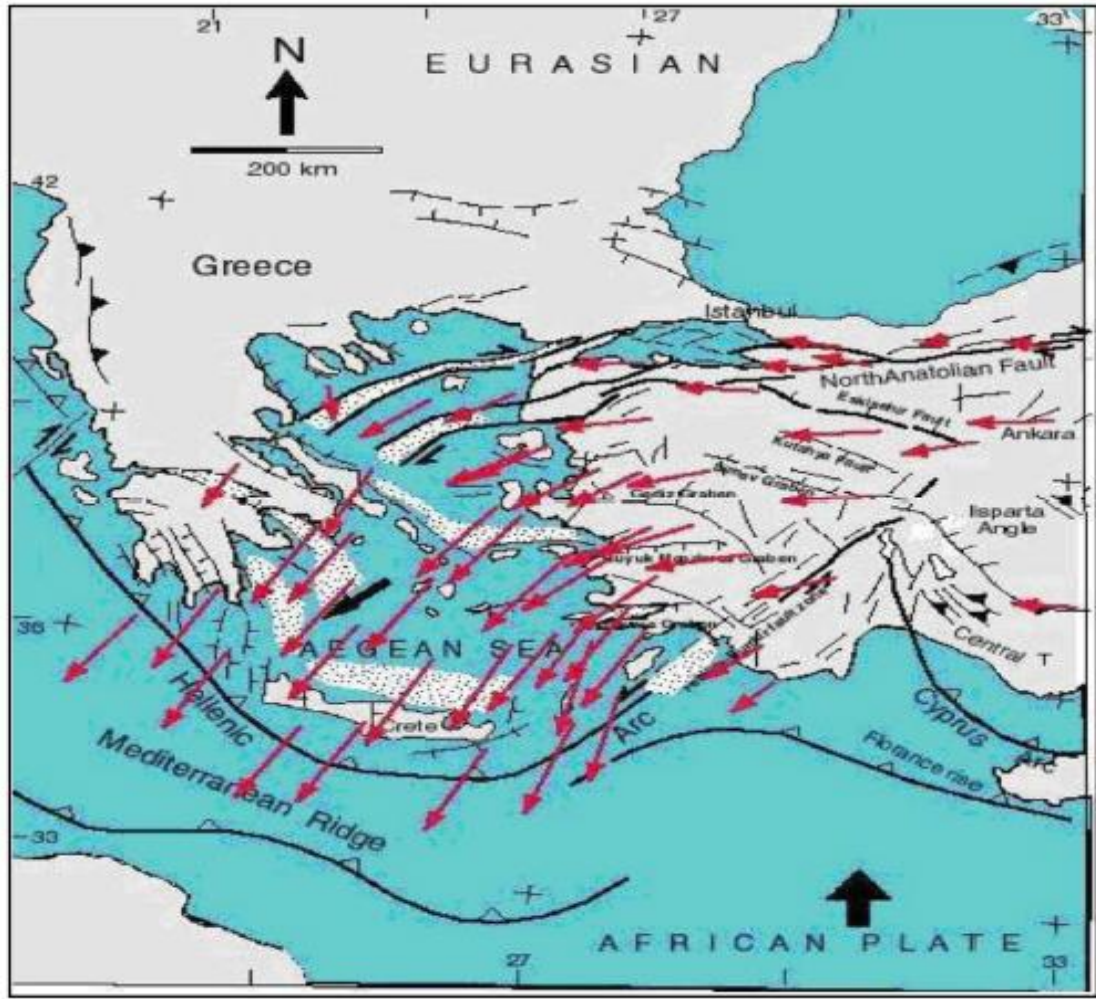
Türkiye'deki Neotektoniğin gelişiminde etkili olan bir diğer etkense Akdeniz'de dalma batma nedeniyle oluşmuş olan Ege horst graben sistemidir.

Afrika – Arabistan ve Hindistan levhaları kuzeye hareket ederek Avrasya levhasıyla çarpışması sonucu Alp Himalaya dağ oluşumu meydana gelmiştir. Bu oluşum kuşağı son yıllarda en çok inceleme araştırma yapılan konudur. Bu jeolojik süreç sonucunda Anadolu'nun doğu Akdeniz kısmı saatin tersi yönünde Ege yayına doğru hareket etmektedir [8, 9, 10]. Türkiye de Alp Himalaya kuşağının en genç ve aktif kısmını oluşturmaktadır.



Şekil 2.1. Doğu Akdeniz Bölgesi basitleştirilmiş tektonik haritası [11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18].

Global Positioning System (GPS) verilerine göre Anadolu Levhası'nın Kuzey Anadolu Fay uzantısında doğudan batıya doğru kaçma hareketi 24 ± 1 mm/yıl'dır. GPS ölçümleri ile Anadolu levhasının doğudan batıya saatin yönünün tersine dönme hareketi saptanmıştır (Şekil 2.2.) [19].



Şekil 2.2. GPS istasyon verileri sonucu Batı Anadolu ve Ege Bölgesi'nin tektonik hareket vektörleri [19].

2.1. Türkiye'deki Aktif Deprem Kuşakları

2.1.1. Kuzey Anadolu Fay Zonu

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) Dünya'nın oldukça aktif ve önemli olan fay zonlarından biridir. Avrasya ve Anadolu levhaları arasındaki sınırları oluşturur. Yaklaşık olarak 1500 km uzunluğa sahip olup sağ yönlü doğrultu atımlı fay zonudur. Doğuda Karlıova'dan başlayarak Yunanistan'a kadar uzanır. Almacık dağlarının doğusunda kuzey ve güney olarak iki büyük kola ayrılır. Kuzey kol daha aktiftir. Güney kol ise Marmara Denizi kenarından bükülerek GB yönünde Ege Denizine doğru ilerler.

Doğu'da Karlıova, batı'da Mudurnu sınırları içinde Doğu-Batı doğrultulu bir yay şeklinde uzanır. Karlıova'da Doğu Anadolu Fayı Zonu (DAFZ) ile birleşerek üçlü birleşim noktasını oluşturur. Kuzey Anadolu Fayı 11 milyon yıl önce doğuda Erzincan yakınında oluşmaya başlamıştır. 11cm/yıl'lık bir hızla batıya doğru hareket etmiştir. Batıya yönelmesini sağlayan depremlerin ($M > 6.7$) yırtmasıyla olmuştur. Bu yırtılma 26.12.1939 Erzincan ($M_s = 7.9$) depremi ile başlamıştır. Fay zonunda birçok önemli deprem olmuştur. Bunlardan en son olanları büyüklüğü $M_w=7.4$ olan 17.08.1999 Kocaeli ve büyüklüğü $M_w=7.2$ olan 12.11.1999 Düzce depremleridir.

2.1.2. Doğu Anadolu Fay Zonu

Bu fay zonu doğrultu atımlı olup KD-GB uzanımlı, yaklaşık olarak 550 km uzunluğundadır. Birbirine paralel ya da oblik fay serilerini içerir [19, 20, 21, 22]. Sol yönlü transform fay özelliğindedir. Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun bir eşleniğidir [9]. Anadolu'nun batıya hareketini barındırır ve Anadolu ve Arap levhası arasındaki sınırı oluşturur. Karlıova ile Antakya arasındadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Ölüdeniz Fay Zonu ile üçlü kavşak oluşturur.

2.1.3. Ölü Deniz Fay Zonu

Ölüdeniz Fay Zonu yaklaşık olarak 1000 km uzunluğundadır. K-G uzanımlı sol yönlü doğrultu atımlı bir fay zonudur [23]. Antakya'nın doğusundan ülkemize girer. Afrika ve Arap levhalarını ayırır. Arabistan levhasının Afrika levhasından 18 my önce uzaklaşması sırasında oluşmuştur.

2.1.4. Ege Graben Fay Zonu

Ege bölgesi genel olarak doğu batı uzanımlı çok sayıda graben bulundurmaktadır. Grabenler çoğunlukla kuzey güney yönlü gerilme olduğunu göstermektedir [4]. Kenar fayları genellikle kürek şekilli normal faylardır.

2.1.5. Kıbrıs Yayı

Girit Adası'nın güneyinden geçip kuzeydoğu yönünde Rodos Adası güneyinden Fethiye Körfez'ine, Türkiye'nin güney kıyısı yakınlarından uzanmaktadır. Afrika, Anadolu ve Arap levhaları hareketini sağlamakta olan Kıbrıs Yayı, Doğu Anadolu Fay Zonu ve Ölüdeniz Fay zonları ile Kuzeydoğu Akdeniz'de üçlü eklem oluşturmaktadır. Bu kolda geçtiğimiz yüzyılda deprem etkinliği düşüktür, ancak tarihsel bilgiler büyük deprem üretebildiğini de göstermektedir.

2.1.6. Bitlis Kenet Kuşağı

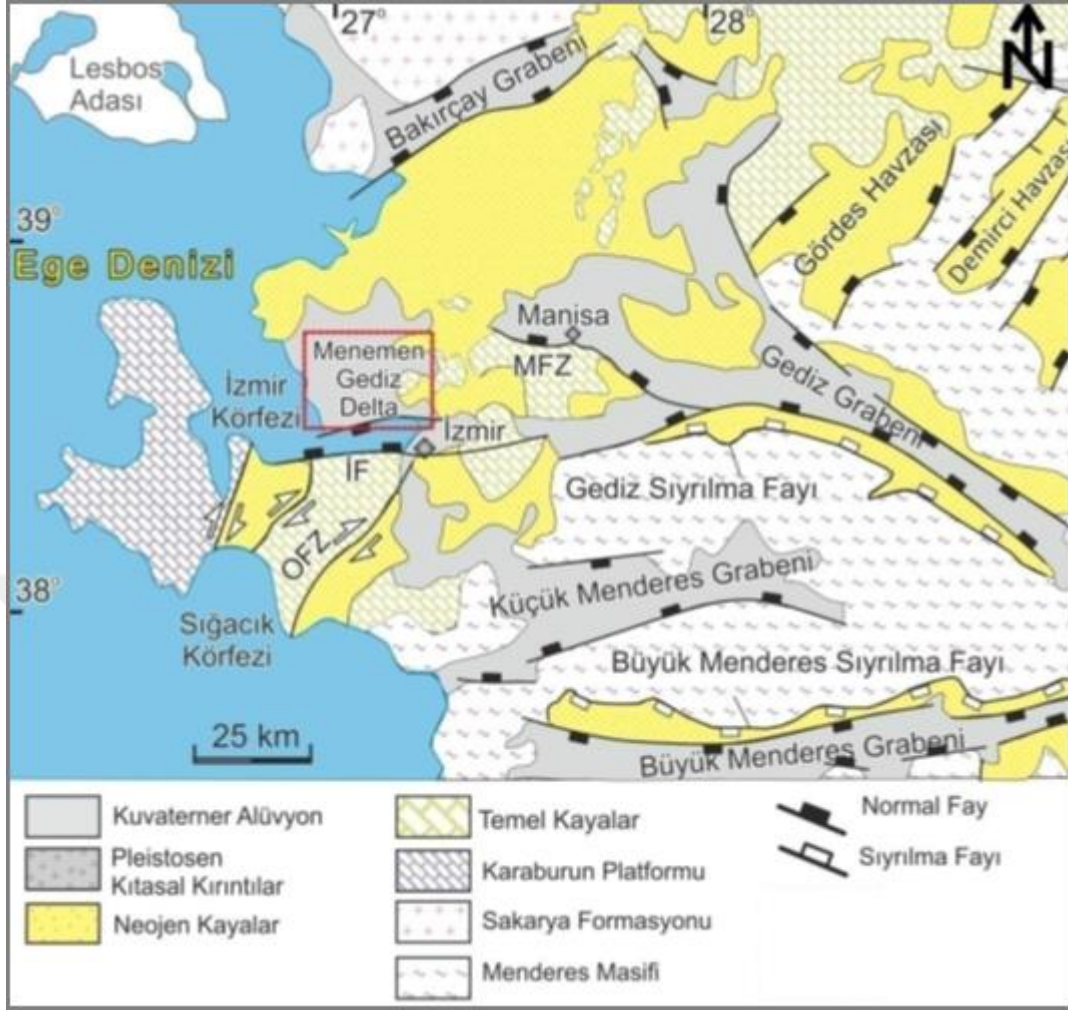
Bitlis Kenet Kuşağı Arabistan ve Avrasya levhalarının çarpışması sonucunda oluşmuştur [24]. Bu çarpışma Orta Miyosen ve Erken Geç Miyosen'de gerçekleşmiştir. Kenet boyunca çarpışma sonrası dağ kuşakları yükselmiş olup sığ denizel ortam havzalarına dönmüştür [9, 25, 26]. Arap Plakası'nın kıvrımlı bindirmeli kuşağı kuzeyinde bulunur. Türkiye'nin güneydoğusunda Kahramanmaraş kuzeyinden İran'da bulunan Zağros dağlarına kadar gitmektedir. Doğu Anadolu Fay Zonu ile Adıyaman'ın kuzey doğusunda kesişmektedir. Burada bindirmeler sonucu olmuş üç tane ana tektonik birlik bulunmaktadır. Bunlardan ilki Arabistan Platformu, ikincisi bindirme zonu, üçüncüsü ise nap bölgeleridir [27, 28]. Bitlis Kenet Kuşağı Eosen'de kapanmıştır [29].

BÖLÜM 3. ÇALIŞMA ALANININ ÖZELLİKLERİ

3.1. İzmir Jeolojisi

Üst Kretase yaşlı Bornova Melanjı İzmir ve çevresinin temelini oluşturur [30]. Melanjın matriksinden daha yaşlı kireçtaşı mega-olistolitleri Bornova Melanjı'nın matriksi içinde gelişigüzel bir düzen içinde bulunurlar. Bahsedilen kireçtaşları, Altındağ ve yöresinde Işıklar kireçtaşı olarak bilinir [31]. Bornova Melanjı (karmaşığı), kumtaşı/şeyl-kalkerli şeyl aralanmasından oluşmuş matriks içerisinde yüzen platform türü kireçtaşı ve diyabaz bloklarından ve çakıltası merccek/kanal dolgularından meydana gelmiştir [32]. Neojen yaşlı görsel tortullar Bornova Melanjı'nın üzerine açısız uyumsuz olarak gelir. Yamanlar volkanitleri de mevcut birimleri uyumsuz olarak örter. Kuvaterner yaşlı alüvyon alanda mevcut tüm birimleri uyumsuz olarak üstler (Şekil 3.1.) [33].

Bornova karmaşığında bulunan kaya yapıları, matriks ve içinde olan farklı yaş ve boyutta olistolitler olarak araştırılmıştır. Matriks kumtaşı ve şeylden oluşan derin deniz fasiyesi tortul kayalardan oluşmaktadır. Olistolitler ise Jura, Triyas, Üst Kretase yaşlarında olan kireçtaşlarından meydana gelmektedir. Neojen yaşlı görsel tortullar melanj üzerine açısız uyumsuzlukla gelip, alttan üste doğru çakıltası, kumtaşı, silt taşı, kil taşı, marn ve killi kireç taşlarından meydana gelmektedir.



Şekil 3.1. İzmir ve yöresinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası [34].

Yamaç molozları, temel kayalardan kaynaklı çaklıllar silt – kil karışımından oluşmaktadır. Bu yapı üzerinde olduğu ana kayanın özelliklerine göre değişiklik gösterebilmektedir. Örneğin marn üzerindeki yamaç molozları silt - kil içerirken, çakıltaşları üzerindeki yapı ince – orta olarak boyutlanan kumdan oluşmaktadır (Şekil 3.2.) [33].

3.2. İzmir ve Çevresindeki Aktif Faylar

Türkiye jeolojik konumundan ötürü çok fazla diri fayı bünyesinde bulundurmaktadır. Bu sebeple ülkemizde çok sayıda deprem olmaktadır. Batı Anadolu ve Ege Denizi'nin belirgin yapıları da deprem etkinliğinde büyük öneme sahiptir. İzmir ve civarında 13 adet diri fay bulunur ve bunlarının deprem üretme potansiyeli vardır.

Bölgedeki diri faylar K-G, KD-GB, KB-GD uzantılı doğrultu atımlı çoğu sağ yönlü ve D-D, KB-GD, K-G, KD-GB doğrultulu normal faylardan oluşmaktadır [36]. Bölgedeki faylar diriliği yönünden üç şekilde ifade edilir. Bunlardan biri, son on bin yıl (holosen) içinde büyük deprem üretebilmiş, deprem üretme potansiyeli en yüksek faylardır. Bunlara diri fay denilir. Bir diğeri, holosende büyük deprem üretmemiş ancak kuvaternerde kendini belli eden, deprem üretme potansiyelleri ikinci derece olan faylardır. Bunlara olası diri faylar denir. En sonuncusu ise; günümüzde varlığı bilinen ancak kuvaterner etkinliği ve depremselliği konusunda bilgi toplanamamış, yorum yapılamamış faylardır. Bu faylar ise çizgisellik olarak isimlendirilirler.

İzmir merkez alınmak sureti ile, 50 km yarıçapında çizilen bir dairenin oluşturduğu alanda 13 adet diri fayın varlığı belirlenmiştir [36].



Şekil 3.3. İzmir ve çevresinin diri fay haritası [36].

İzmir ve civarında bulunan diri faylar, Güzelhisar Fayı, Menemen Fay Zonu, Yenifoça Fayı, İzmir Fayı, Bornova Fayı, Tuzla Fayı, Seferihisar Fayı, Gülbahçe Fayı, Gümöldür Fayı, Gediz Graben Sistemi Fayları, Gediz Grabeni Ana Sıyrılma Fayı, Dağkızılca Fayı, Kemalpaşa Fayı, Manisa Fayı'dır.

3.2.1. Güzelhisar Fayı

Güzelhisar Fayı yaklaşık olarak 25 km uzunluğunda İzmir'in kuzeyinde olup doğrultu atımlı sağ yönlüdür. Genel doğrultusu K70B'dir. Fay kuvaternerde etkin ancak holosende etkin olduğuna dair veriler bulunamamıştır. Bu sebeple de fay olası diri fay olarak görülmektedir [36].

3.2.2. Menemen Fay Zonu

Menemen Fay Zonu KB-GB doğrultusunda uzanmış olup Menemen'in kuzeyinde bulunmaktadır. Fay zonunun toplam uzunluğu 15 km'dir ve birbirine paralel K60B

genel doğrultulu 4 fay parçasından oluşmaktadır. Fay zonunun kuzeybatı tarafında kalan fay kırığı 8 km uzunluğundadır. Fayın genel doğrultusu K60B iken bu kısım K50B doğrultuludur. Zonun en uzun kısmı ise ortasında yer alan ve 12 km uzunluğunda olan faydır. Fay zonunu oluşturan en güneydeki çizgisellik, K55B doğrultulu ve 8 km uzunluğundadır.

3.2.3. Yenifoça Fayı

Yenifoça Fayı Yeni Foça'nın doğusunda kuzey-güney doğrultusunda uzanan bir faydır. Bu fayın kuzey yönlü kıyı devamlılığı KB-GD uzanımlıdır. Bu kısım ile birlikte toplam uzunluğu 20 km' ye yaklaşmaktadır. Bu fayın doğrultu atımlı sol yönlü olduğu bilinmektedir [37]. Yenifoça fayının kara kısmında kalan bölgeleri çizgisellik özelliği taşır.

3.2.4. İzmir Fayı

İzmir Körfezi'ni güneyden sınırlandıran fay İzmir Fayı olarak adlandırılmıştır. Fay D-B uzanımlıdır [38]. İzmir Fayı 35 km uzunluğunda Güzelbahçe ile Pınarbaşı arasında olup eğim atımlı normal bir faydır. İzmir yerleşim merkezinde doğu batı yönünde boydan boya görülmektedir. İzmir Fayı holosende yüzey yırtılmasıyla sonuçlanan büyük depremlere sebep olmuştur [36]. İzmir ve yakın çevresinde tarihsel ve aletsel dönemlerde yoğun deprem aktivitesi olduğu incelemelerde görülmektedir.

3.2.5. Bornova Fayı

İzmir'in kuzeydoğusunda bulunan çizgisellik özelliği taşıyan KB-GD genel doğrultulu birbirine paralel olan fay Bornova Fayıdır. Kuzeydeki çizgisellik eğim atımlı normal faydır ve taban blok olduğu belirtilmiştir. Güney kısmı ise sağ yönlü doğrultu atımlıdır ve olası diri fay olarak belirtilmektedir [36].

3.2.6. Tuzla Fayı

İzmir'in Gaziemir semti ile Doğanbey arasında kalan faydır. KD-GB uzantılıdır [38].

Fayın uzunluğu Doğanbey Burnu ve Gaziemir arasında 42 km'dir. Doğanbey Körfezi'nde yapılan sismik çalışmalar ışığında Tuzla Fayı güneybatıda Ege Denizi tabanı boyunca gittiğini göstermektedir [39, 40]. Fayın karadaki ve deniz altında kalan kısmının toplam uzunluğu 50 km'yi geçmektedir. Tuzla Fayı kuzeyden güneye Çatalca, Orhanlı ve Cumalı olarak 3 ayrı kısımdan oluşmaktadır. Fayın Çatalca bölümü kuzeydoğu kısmını oluşturur ve K35D doğrultulu olup 15 km uzunluğundadır. Doğrultu atımlı sağ yönlü bir faydır. Tuzla Fayı Orhanlı kısmı 16 km uzunluğunda olup K50D doğrultuludur. Tuzla Fayı'nın Cumalı bölümü ise güneybatıda yer alır ve KKD-GGB uzanımlı paralel faylı zonal bir yapısı vardır. Karadaki kısmı Cumalı kaplıcası ve Doğanbey Burnu arasında olup 15 km uzunluğundadır. Ege Denizi tabanında kalan kısmı ise 10 km boyunca devam ettiği bilinmektedir [39, 40]. Fayın karadaki ve deniz tabanındaki toplam uzunluğu 25 km'yi aşmamaktadır.

3.2.7. Seferihisar Fayı

İzmir'in güneybatısında yer alır ve genel doğrultusu K20D'dir. Fayın karadaki kısmı 23 km'dir. Deniz jeofiziği çalışmaları fayın güneyde Ege Denizi tabanında devam ettiğini göstermektedir [39, 40]. Fayın karadaki ve denizdeki kısmı toplam uzunluğu 30 km'ye kadar geldiği görülmektedir. Fayın sağ yönlü doğrultu atımlı olduğunu gösteren bulgular görülmektedir.

3.2.8. Gülbahçe Fayı

Yapısal ve morfolojik olarak İzmir Körfezi ve Karaburun yarımadasını ayıran bir hattır. Gülbahçe Fayı'nın karada bulunan kısmı 15 km uzunluğunda olup Gülbahçe Körfezi ve Sığacık Körfezi arasındadır. Fayın her iki ucu da denizde bulunmakta ve K-G doğrultuludur. Deniz içinde devam eden kısım ile beraber fayın toplam uzunluğu 70 km'ye ulaşmaktadır [39, 40]. Gülbahçe Fayı ile ilgili bulgular doğrultu atımın hakim olduğunu göstermektedir.

3.2.9. Gümüldür Fayı

Gümüldür Fayı'nın uzunluğu 15 km olup İzmir'in güneybatısında yer almaktadır.

Genel doğrultusu K55B' dir. Tavan bloğu batıda olup normal fay özelliği taşımaktadır. Gümüldür fayı olası diri fay olarak belirtilmektedir.

3.2.10. Gediz Graben Sistemi Fayları

Gediz Grabeni yaklaşık 150 km uzunluğunda olup D-B genel uzanımlı normal fay sisteminden oluşmaktadır. Bu fay sistemi 4 ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar aşağıda listelenmiştir.

3.2.10.1. Gediz Grabeni Ana Sıyrıma Fayı

Bu Fay Gediz Graben Sisteminin ana fayıdır. Fay Sarı Gölden itibaren Kemal Paşa'ya kadar güneye doğru doğu-batı genel uzanımlı geniş bir kavis oluşturur. Fay kuzeye doğru eğimli olup düşük açılı normal bir faydır.

3.2.10.2. Dağkızılca Fayı

Gediz Graben sisteminin batısında yer alan Dağkızılca Fayının toplam uzunluğu 27 km olup K70D doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı transfer bir faydır. Veriler fayın aktif olduğunu göstermektedir.

3.2.10.3. Kemalpaşa Fayı

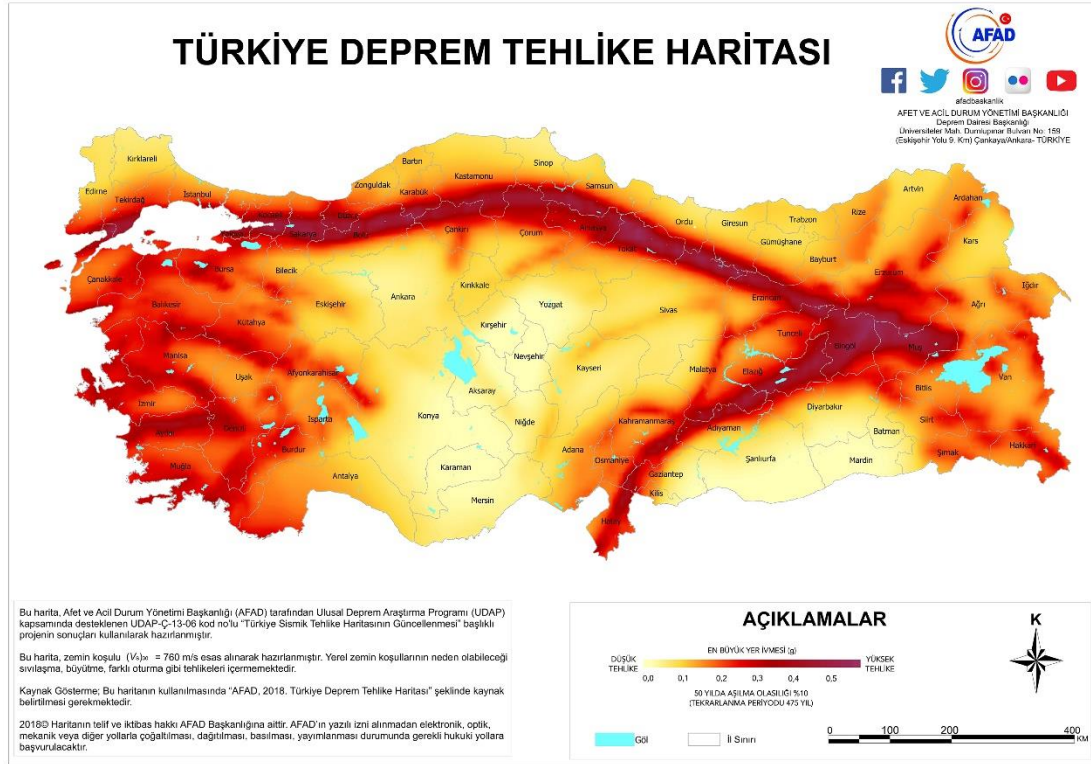
Bağyurdu ile Ulucak arasında Gediz grabeninin batısında olan diri bir faydır [38]. Fayın genel doğrultusu K75D ve uçlarında kuzeye içbükey olup toplam uzunluğu 24 km'dir.

3.2.10.4. Manisa Fayı

Gediz Grabeni Sistemi Fayları'nın kuzeybatı tarafında yer alan normal bir fay olup yaklaşık uzunluğu 40 km'dir. Geniş bükümlerden oluşan kavisli bir yapıya sahip ve K65B genel uzantılıdır. Manisa Fayı diri bir faydır.

3.3. İzmir'in Depremselliği

Herhangi bir alanın deprem tehlikesi belirlenirken bölgenin jeolojisi, tektoniği, olan depremlerin zamanı, konumu, merkezi gibi bilgilerden faydalanılmaktadır. İzmir ili genel olarak doğu batı uzanımlı horst ve grabenlerden oluşmakta ve deprem yoğunluğunun oldukça aktif olduğu bölgededir. Türkiye Deprem Tehlike Haritasında da yüksek deprem riski olan kısımda bulunmaktadır. Yüksek tehlikede bulunan alanlar Şekil 3.5. Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda gösterilmektedir [41]. Bu durum tarihsel ve aletsel dönem depremselliği incelendiğinde de görülmektedir. Batı Anadolu'daki depremsellik, deprem fırtınaları ve orta büyüklükteki depremlerden oluşmaktadır. Batı Anadolu'da geçmiş yıllara bakıldığında yıkıcı, çok sayıda can ve mal kaybına neden olan ve yerleşim yerlerini yerle bir edecek şiddetli depremler olmuştur.



Şekil 3.4. Türkiye Deprem Tehlike Haritası [41]

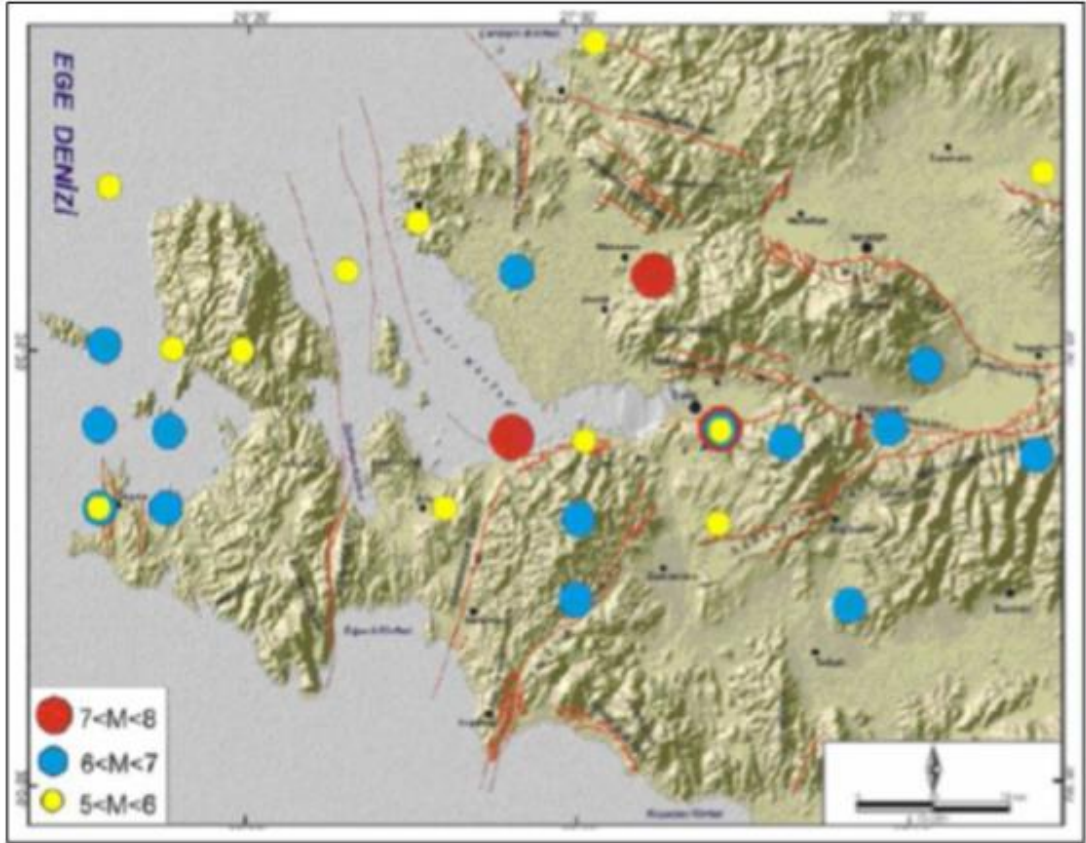
3.3.1. Tarihsel depremler

İzmir ve çevresi eski çağlarda çok fazla sayıda uygarlığın ve yerleşim yerlerinin bulunduğu bir bölgedir, bu nedenle tarihsel dönem kayıtların oldukça fazla olduğu bölgelerimizdendir. Tarihsel depremler M.Ö. 496 ve M.S. 1899 yıllarını kapsamaktadır. İzmir ve çevresini sarsan tarihsel dönemdeki ilk kayıt M.Ö. 496 yılında sakız adasında gerçekleşmiştir. İzmir ve çevresinde tarihsel dönemde 111 adet deprem olmuş ve bu depremlerden hasar verici olanlar Tablo 3.1’de verilmiştir [42].

Tablo 3.1. İzmir ve çevresinde gerçekleşen önemli tarihsel depremler [36].

TARİH	ŞİDDET (I ₀)	BÜYÜKLÜK (M)
17	X	7,00
105	VIII	6,4
176-177	VII	5,8
178	VIII	6,5
688	IX	6,5
1039	VIII	6,8
20 Mart 1389	VIII	6,7
20 Mayıs 1654	VIII	6,4
2 Haziran 1664	VII	5,8
1688	IX	>6,0
14 Şubat 1680	VII	6,2
10 Temmuz 1688	X	6,8
13 Ocak 1690	VII	6,4
Eylül (Ekim) 1723	VIII	6,4
4 Nisan 1739	IX	6,8
24 Kasım 1772	VIII	6,4
3-5 Temmuz 1778	IX	6,4
13 Ekim 1850	VIII	>6,0
3 Kasım 1862	X	6,9
1 Şubat 1873	IX	>6,0
29 Temmuz 1880	IX	6,7
15 Ekim 1883	IX	6,8
1 Kasım 1883	VIII	>6,0

İzmir ve çevresinde tarihsel dönemde gerçekleşmiş depremlerin diri fay haritasında dağılımı Şekil 3.5.’de gösterilmektedir.



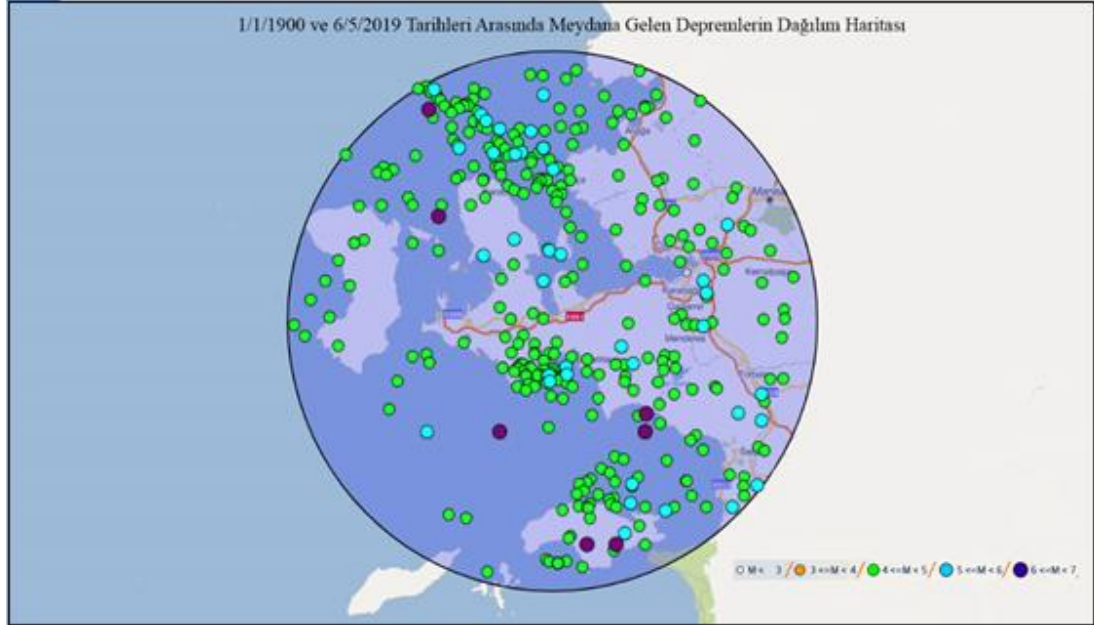
Şekil 3.5. İzmir ve çevresinde tarihsel dönemde gerçekleşmiş depremlerin diri fay haritasında dağılımı [36].

3.3.2. Aletsel depremler

Aletsel dönem depremler; 1900 yılından itibaren günümüze kadar gelen zamanda gerçekleşen depremlere denilmektedir. Aletsel dönemde izmir ili ve çevresinde fazla sayıda deprem meydana gelmiş ve birçoğu bölgede hasar ve can kaybına neden olmuştur. 1900 yılından günümüze kadar olan 4'ten büyük çok sayıda deprem meydana gelmiş ve bunların bir kısmı Tablo 3.2.'de, harita üzerindeki dağılımları da Şekil 3.6.'da gösterilmektedir.

Tablo 3.2. İzmir ve çevresinde gerçekleşen aletsel dönem depremler [43].

TARİH	YER	DERİNLİK (km)	ŞİDDET (I ₀)	BÜYÜKLÜK (M)
19 Ocak 2019	Foça	60	IX	6,0
31 Mart 1928	Torbalı	10	VIII	6,5
22 Eylül 1939	Dikili	10	VIII-IX VIII-VII-	6,6
23 Temmuz 1949	Karaburun	10	X	6,6
2 Mayıs 1953	Karaburun	40	VII-VIII	5
16 Temmuz 1955	Söke-Balat	40	VIII	6,8
19 Haziran 1966	Menemen	9	VI	4,8
6 Nisan 1969	Karaburun	16	VIII-VII	5,9
1 Şubat 1974	İzmir	24	VII	5,3
16 Aralık 1977	İzmir	24	VIII	5,5
14 Haziran 1979	Karaburun	15	VII	5,7
6 Kasım 1992	Doğanbey	17	VII	5,7
28 Ocak 1994	Manisa	5	VII	5,2
24 Mayıs 1994	Karaburun	17	VII	5
10 Nisan 2003	Urla	16	VII	5,6
17 Ekim 2005	Sığacık-Seferihisar	9	VIII	5,9
20 Ekim 2005	Sığacık-Seferihisar	8	VIII	5,9



Şekil 3.6. İzmir ve çevresinde gerçekleşmiş aletsel dönem depremler

BÖLÜM 4. SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ

4.1. Sismik Tehlike Analizi Yöntemi

Sismik tehlike bir alanın tektonik yapısıyla alakalıdır. Bir alandaki zeminin hareketi ya da deprem büyüklüğüne ait değerlerin düşünülen süre içerisinde belirli bir seviyeyi geçebilme ihtimali olarak tanımlanır. Sismik tehlike çalışmalarının temel amacı, bir alanda yapılacak olan yapıların veya zemininin ileride olabilecek bir sismik yükleme sonucunda oluşabilecek zemin bina etkileşimini hesap ederek yapı hasarlarını en düşük seviyede tutulmasını sağlamaktır.

Alanda yapılacak mühendislik yapılarının olabilecek sarsıntıya karşı güvenli olarak kalabilmesi için ileride meydana gelecek sarsıntı seviyesinin önceden tahmin edilmesi gerekmektedir [44]. Bunun içinde yer hareketi parametrelerinin bölgede meydana gelmiş geçmiş depremler, istatistiksel veriler, sismolojisi ve jeolojisi gibi bilgilerden yararlanarak değerlerinin bulunması gerekmektedir. Sismik tehlike analizi için yaygın olarak kullanılan iki yöntem vardır. Bunlardan ilki Deterministik Sismik Tehlike Analizidir. Diğeri ise Olasılıksal Sismik Tehlike Analizidir.

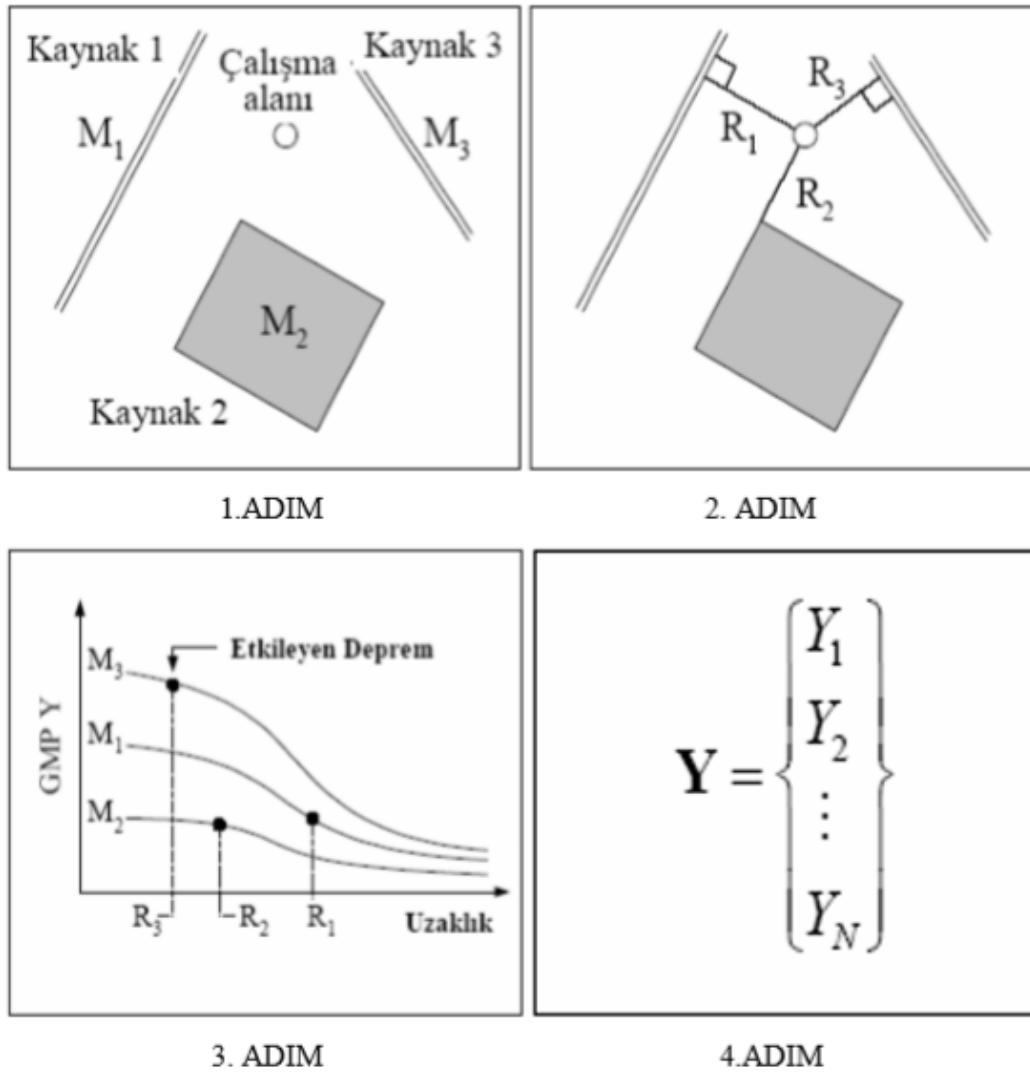
4.1.1. Deterministik Sismik Tehlike Analizi

Deterministik Sismik Tehlike Analizi kelimelerinin baş harflerinden yola çıkılarak DSTA olarak kısaca ifade edilir. Zaman kavramından bağımsız, belirli bir bölgede olabilecek en büyük deprem oluşturacak kaynaktan çıkan yer sarsıntı seviyesi Deterministik Sismik Tehlike Analizi yöntemidir [45, 46]. Bu yöntemde yer hareketinin tehlikesi değerlendirilmesi adına sismik tasarım planlanır. Planlanan tasarım depremde belirli şartlar olmalıdır. Bunlar, belirli bir alanda belirli bir

büyükölükte deprem oluşma ön şartıdır. Deterministik Sismik Tehlike Analizi 4 aşamadan meydana gelmektedir [45, 46].

- Birinci aşama inceleme alanında önemli derecede yer sarsıntısı oluşturabilecek tüm deprem kaynakları ve bu kaynakların özellikleri belirlenir.
- İkinci aşamada belirlenen deprem kaynaklarının incelenecek olan alana uzaklıkları saptanmaktadır. Genel olarak seçilen kaynakla inceleme alanı arasındaki en kısa uzaklık seçilir.
- Üçüncü aşamada inceleme alanında belirli bir yer hareketi parametresi ve büyük yatay yer ivme seviyelerinden en kuvvetli sarsıntıyı üretecek deprem seçilir. Belirleyici deprem çoğunlukla magnitüd olarak belirtilir.
- Dördüncü ve son aşamada ise inceleme alanındaki deprem tehlikesi yer hareketleri, pik, hız, ivme gibi parametreleri belirlenmektedir.

Deterministik Sismik Tehlike Analizi kabaca dört aşamada yapılabilen zor olmayan bir yöntemdir. Ancak tek zorluğu ve önem arz eden yeri tasarım depremin seçilmesi aşamasıdır. Çünkü seçilen depremin diğerlerine göre en büyük yer hareketini oluşturacak özelliğe sahip olmasıdır. Şekil 4.1.'de Deterministik Sismik Tehlike Analizi aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Deterministik Sismik Tehlike Analizinin dört aşaması [46].

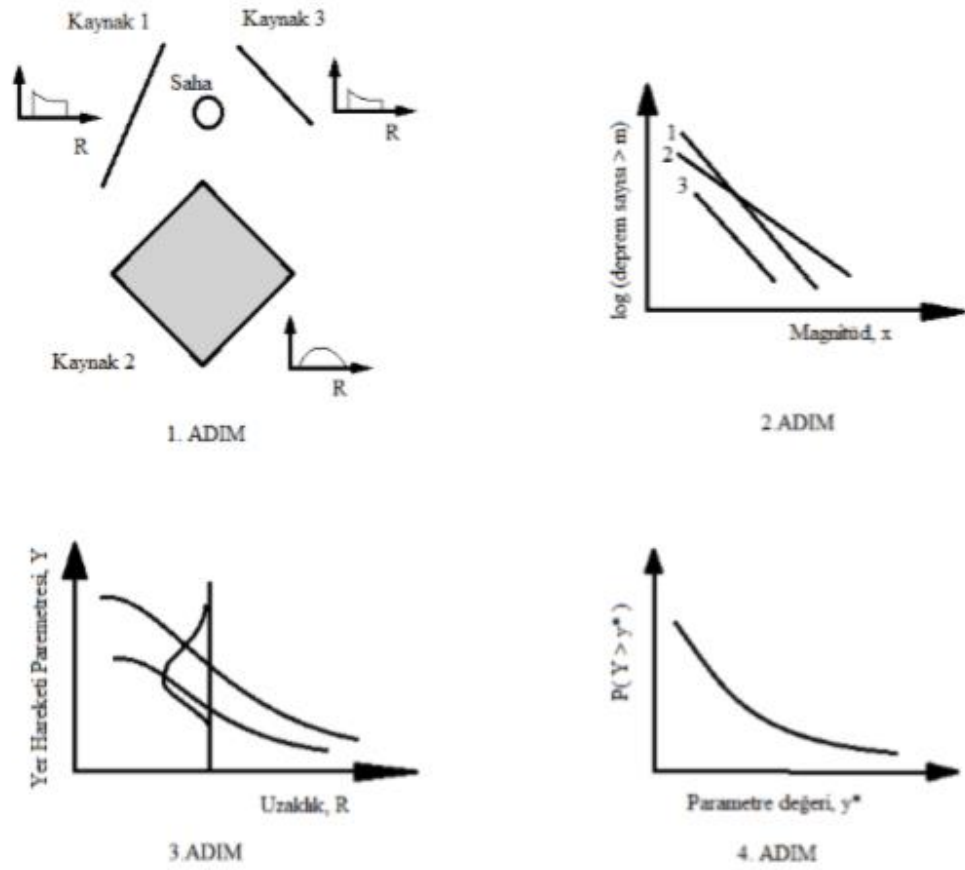
4.1.2. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi

Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi kelimelerinin baş harflerinden yola çıkılarak OSTA olarak kısaca ifade edilir. Bir diğer adı da Probabilistik olarak bilinmektedir. Bu yöntemde belirli bir zaman aralığında, bölgede deprem üretebilecek bütün kaynaklar göz önünde bulundurulularak oluşturulan tasarım deprem için istenilen zaman aralığında aşılma olasılığına göre veri tespitidir [46, 47, 48]. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizinin amacı, farklı alanlarda belirli bir zaman diliminde can kaybı ve hasara sebep verebilecek farklı sarsıntı seviyeleri ve yer hareketinin aşılma ihtimalinin tahmin

edilmesidir. Deterministik Sismik Tehlike Analizindeki belirsiz durumlar Olasılıksal Sismik Tehlike Analizinde sayısal olarak hesaplandığı için daha çok tercih sebebi olmalıdır. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi tıpkı Deterministik Sismik Tehlike Analizine benzer şekilde dört aşamadan oluşur [45, 46].

- Birinci aşama tıpkı Deterministik Sismik Tehlike analizi gibi deprem kaynaklarının belirlenmesidir. Deprem kataloglarından depremsellik elde edilir. Deterministik Sismik Tehlike Analizindeki kaynak belirlenmesinden farkı kaynak seçilen faydaki olabilecek kırılma alanının olası dağılımı belirlenmesi gerekmektedir.
- İkinci aşamada her bir kaynaktaki deprem oluş sayısı ve büyüklüğü arasındaki ilişki yani yinelenme ilişkileri kurulmalıdır.
- Üçüncü aşamada ise her bir kaynaktan kırılması mümkün olabilecek noktada oluşan bilinmeyen boyuttaki sarsıntının inceleme alanında oluşturabileceği etki tahminsel olarak saptanmalıdır. Bu saptamada belirsizlikte düşünülerek kaynaktan belli uzaktaki etkisi de tahmin edilebilmektedir.
- Dördüncü ve son aşamada yer hareketi, depremin lokasyonu, büyüklüğü hakkındaki belirsizlikler birleştirilerek belirli bir zamandaki pik, ivme, hız gibi yer hareketi parametrelerinin geçebilme olasılığını elde etme çalışmasıdır.

Şekil 4.2.'de Olasılıksal Sismik Tehlike Analizi aşamaları şematik şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Olasılıksal Sismik Tehlike Analizinin dört aşaması [46].

BÖLÜM 5. METOT VE YÖNTEM

5.1. Çalışmada Kullanılacak Deprem Kataloğunun Oluşturulması ve Kaynak Belirlenmesi

Sismik tehlike analizinde çalışmada ilk basamaklardan biri deprem kataloğu oluşturmaktır. Deprem katalogları; belirli bir alanda geçmişten günümüze kadar olmuş depremlerin olduğu yer, büyüklük, derinlik, tarih, gibi bilgileri içerir. İnceleme alanı için katalog oluşturulması çalışmanın güvenli şekilde sonuçlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple verilerin eksiksiz, düzgün ve güvenilir olması gerekmektedir. Aynı zamanda civar bölgelerde bakılmalıdır. Çünkü olabilecek sarsıntılar civardan etkilenebilmektedir. Bu sebeple sadece inceleme alanı değil yakın çevresinde olabilecek depremlerde düşünülmalıdır. Aynı zamanda can kaybına yol açabilecek, hasara neden olabilecek sismik veriler de kullanılmalıdır.

Bu çalışmada katalog oluştururken inceleme alanı ve civarında 01.01.1900 – 06.05.2019 tarihleri arasında moment büyüklüğü 4'ten büyük ($M_w > 4$) depremler alınmıştır. 4'ten küçük depremlerin alınmamasının sebebi can kaybına, bölgeye, yapılara hasar verme ihtimali az olmasından ötürüdür.

Bu çalışmada katalogları derlemek Türkiye ve çevresi için Deprem Araştırma Dairesi (DAD) [49], Uluslar Arası Sismoloji Merkezi (ISC) [50] tarafından oluşturulmuş kataloglar ve Kandilli Rasathanesi katalogları kullanılmıştır.

Sismik tehlike analizinde bir diğer önemli adım deprem kaynak bölgelerinin belirlenmesidir. Bu bölgeler önemle ayrıntı bir şekilde incelenip seçilmelidir. Kaynak

bölgeleri; çalışma yapılacak sahada sismik aktivitesi yüksek alana yakın, farklı sismik potansiyeli olan alanlardaki sınırlarda ve gelecekte deprem üretmesi muhtemel alanlar olacak şekilde seçim yapılmalıdır [51]. Ayrıca bazı bölgelerde gizli kalmış, belirgin olmayan, engellenmiş kısımlar olabilmesi sebebiyle detaylı gözlem, araştırma ve yorum yapılması gerekmektedir. Günümüzde ise modern sismograflar bulunması yapılan çalışmaları fazlasıyla kolaylaştırmaktadır.

5.2. Yinelenme (tekrarlama) İlişkileri

Deprem kaynağı belirlendikten sonra kaynak bölgesinde üreyebilecek olan depremin büyüklüğünün zamanla olan değişimi incelenip değerlendirilmelidir. Olasılıksal Deprem Tehlike Analizi de zaten bu esasa dayanmaktadır. Yani geçmişte olan deprem verilerinden faydalanarak depremin büyüklüğünün zamanla olan ilişkisinden gelecekte olabilecek depremlerin büyüklüğünün zamanla olabilme durumunun tahmininde bulunulabileceğidir.

Tüm kaynak bölgelerinde depremin aşamayacağı maksimum büyüklüğü ve aynı büyüklükte yeniden olması için belirli bir yinelenme süresi vardır. Yinelenme süresi incelenen alanın genişliğine, yine o bölgede gerçekleşen en büyük depreme, bölgedeki gerilmenin düzeyine ve gözlenen süreye bağlı olarak değişmektedir [52, 53].

Farklı büyüklükteki depremlerin olma sıklığı ve belirli zaman aralığında her büyüklükteki deprem bilgilerinin eksik olmaksızın toplanması kaynak bölgelerinde deprem yinelenme ilişkisinin belirlenmesinde gereklidir. İnceleme bölgesinde olan depremlerin sayısı, büyüklükleri ve sıklık ilişkisi Gutenberg ve Richter tarafından sunulmuştur. Gutenberg ve Richter Güney Kaliforniya’da olan depremlerin verilerini kullanarak depremlerin oluş frekansı ve magnitudü arasındaki doğrusal ilişkiyi Denklem 5.1’ deki bağıntı ile ifade etmişlerdir [46, 48, 54].

$$\text{LogN}(M) = a-bM \quad (5.1)$$

Bu bağıntıda \log_{10} tabanında logaritmayı, $N(M)$, belirlenen süre içinde magnitüdü M 'ye eşit ya da M 'den daha büyük depremlerin ortalama sayısı, M magnitüdü ifade etmektedir. Bağıntıdaki “a” ve “b” ise değişken değerler almaktadır. “a” gözlenen süre, çalışılan bölgenin büyüklüğü ve depremin düzeyine bağlı olarak değişmektedir. “b” ise depremin oluşum fiziğine bağlı olarak bölgeden bölgeye değişik değerler almaktadır [44]. Gutenberg ve Richter (1954), istatistik verilere ışığında dünya geneli için, derinliği az olan depremlerde b değerini 0.9 ± 0.02 , derinliği orta ve yüksek olan depremlerde ise 1.2 ± 0.2 olarak belirlemişlerdir. Türkiye için verdikleri b değeri ise; 0.9 ± 0.2 'dir.

b değerinin düşük olması az sayıda küçük depremi, yüksek olması ise çok sayıda küçük depremi ifade etmektedir. b değerinin düşük değeri o bölgenin direncinin yüksek homojen yapıya sahip olduğunu, b değerinin yüksek değeri ise bölgenin dayanımının düşük, heterojenliğinin fazla olduğu anlamına gelmektedir [55].

Gutenberg ve Richter denklemi küçük ve orta büyüklükteki depremlerin sıklığını belirlemede doğrusal olarak sonuçları verebilmekte, ancak büyüklüğü 7 ve daha fazla olan depremlerde sağlıklı sonuçlar alınamayıp, sıklık durumunu abartılı şekilde vermektedir [51]. Bu durum göz önünde bulundurularak M değerinin maksimum ve minimum değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Belli bir zaman aralığında olan büyük depremlerin oluş sıklığı düşükken, küçük depremlerin oluş sıklığı fazladır.

5.3. Azalım ilişkileri

Deprem tehlike analizi yapılmasında önemli unsurlardan biri yer hareketinin yani hız, ivme, yer değiştirme gibi parametrelerin azalım ilişkisi ile tanımlanmasıdır. Bir deprem olduğunda kaynaktaki titreşimler merkezden başlayıp etrafa yayılıp azalarak devam edecektir. Bu durum azalım ilişkileri bağıntıları ile hesaba katılıp değerlendirilmektedir. Azalım ilişkisi bağıntıları kullanılarak belirlenmeye çalışılan

yer hareketi parametreleri, depremin büyüklüğüne, kaynağın özelliğine ve çalışılan alana uzaklığına, zeminin yapısına bağlı olarak değişmektedir. Yer hareketi bulunmasında azalım ilişkileri kullanılırken gerekli olan parametreler ise, depremin büyüklüğü ve özelliği, bölgenin zemin yapısı, deprem kaynağı ve çalışılan alan arasındaki en kısa mesafedir.

Azalım ilişkileri kullanılarak belirlenen yer hareketi parametreleri sonucunda yapılacak olan yapıların depreme dayanıklı bir şekilde inşaatı sağlanması nedeniyle ölçümlerin net ve doğru bir şekilde yapılması sismik tehlike analizinde büyük önem taşımaktadır.

Türkiye için azalım ilişkileri hesaplamasında araştırmacılar farklı bağıntılar geliştirmişlerdir. Bu çalışmada Kalkan ve Gülkan 2004, Boore ve diğ. 1997 tarafından geliştirilen bağıntılar kullanılmıştır.

5.3.1. Kalkan ve Gülkan, 2004

Kalkan ve Gülkan (2002) ilk olarak Türkiye’de 1976 ve 1999 yılları arasında olmuş 19 depremin 47 yatay bileşenini kullanarak çalışmalarını yapmışlardır. 1999’dan sonra ise bu eski veri tabanı geliştirip, güncelleyerek yeni halini oluşturmuşlardır.

Kalkan ve Gülkan (2004) daha sonra Türkiye’de 1976 ve 2003 yılları arasında büyüklüğü 4 ve 4’ten büyük gerçekleşmiş olan 57 deprem kaydını kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu 57 depremin 112 kuvvetli yer hareketi ölçümünden 223 yatay bileşen kaydını kullanmışlardır. Kalkan ve Gülkan (2004), en büyük yer ivmesi doğal logaritmasını sert zemin için denklem 5.2, 5.3’te görüldüğü gibi bulmuşlardır.

$$\ln Y = b_1 + b_2(M-6) + b_3(M-6)^2 + b_5 \ln r + b_v \ln(V_S/V_A) \quad (5.2)$$

$$r = (r_{cl}^2 + h^2)^{1/2} \quad (5.3)$$

Denklem 5.2’de, \ln ; Y’nin standart sapması, Y; en büyük yer çekimi ivmesinin (PGA) yatay bileşeni, M; moment büyüklüğü, V_S ; m/sn cinsinden kayma dalga hızıdır. b_1 , b_2 , b_3 , b_5 , b_v ve V_A ise belirlenecek parametrelerdir. Denklem 5.3’de r_{cl} ; yüzeyeki kırığa en yakın mesafe, h; km cinsinden derinlik, σ ; standart sapma değeridir. Zemin grupları kayma hızı 3 grupta sınıflandırılmıştır. Bunlar yumuşak, zemin ve kaya olarak belirlenmiştir. Hız değerleri ise; 200,400 ve 700m/sn’dir. Bu çalışmada kullanılan hız değeri 700 m/sn alınmıştır. Yapılan çalışma sonucu denklemdeki bilinmeyenlerin belirlenmiş hali Tablo 5.1’deki gibidir [56].

Tablo 5.1. Denklem 5.2’de yer alan değişkenlerin kullanılan değerleri

b_1	b_2	b_3	b_5	b_v	V_A	h (km)	$\ln Y$
0,393	0,576	-0,107	-0,899	-0,200	1112	6,91	0,612

5.3.2. Boore ve diğerleri, 1997

Boore ve diğ. (1997), 1940 ve 1992 yıllarında Kuzey Amerika’da olmuş 20 sığ depremin 271 kaydını kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında moment magnitudü (M_w) 5.5 ve 7.5 arasında olan depremlere yer vermişlerdir. 6’dan küçük depremlerin yer harekeri ölçüm sonuçları az sayıda olduğu bilinmektedir. Boore ve diğ. (1997), en büyük yer ivmesi doğal logaritmasını sert zemin için Denklem 5.4, 5.5 görüldüğü gibi bulmuşlardır.

$$\ln Y = b_1 + b_2(M-6) + b_3(M-6)^2 + b_5 \ln r + b_v \ln(V_S/V_A) \quad (5.4)$$

$$r = (r_{cl}^2 + h^2)^{1/2} \quad (5.5)$$

Denklem 5.4’de, \ln ; Y’nin standart sapması, Y; en büyük yer çekimi ivmesinin (PGA) yatay bileşeni, M; moment büyüklüğü, V_S ; m/sn cinsinden kayma dalga hızıdır. b_1 , b_2 , b_3 , b_5 , b_v ve V_A ise belirlenecek parametrelerdir. Denklem 5.5’de r_{cl} ; yüzeyeki kırığa en yakın mesafe, h; km cinsinden derinlik, σ ; standart sapma değeridir. Yapılan

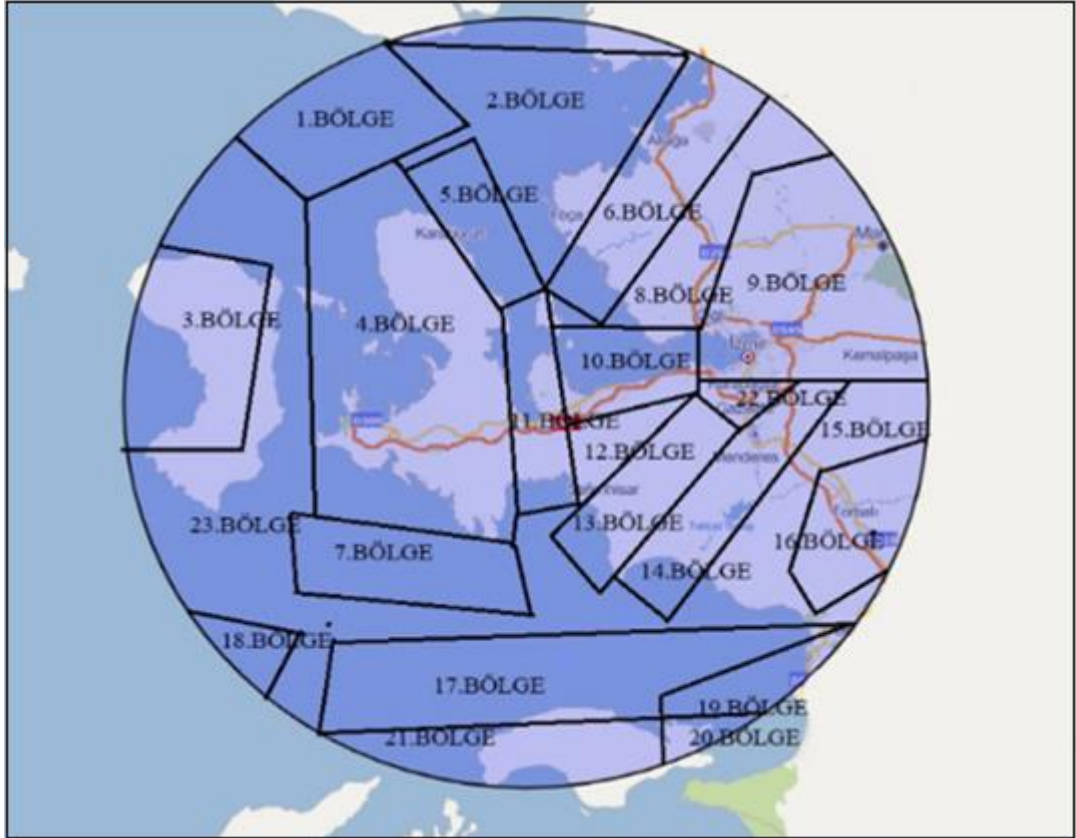
çalışma sonucu denklemdaki bilinmeyenlerin belirlenmiş hali ise Tablo 5.2.'deki gibidir.

Tablo 5.2. Denklem 5.4'de yer alan değişkenlerin kullanılan değerleri

periyot(sn)	b1	b2	b3	b5	bv	VA	h (km)	lnY
PGA	-0,313	0,527	0	-0,778	-0,371	1396	5,57	0,495

BÖLÜM 6. ÇALIŞMA ALANININ OLASILIKSAL SİSMİK TEHLİKE ANALİZİ

İnceleme alanı 150 km çaplı bir alan olup 23 bölgeye ayrılmıştır. Bu bölgeler aşağıda Şekil 6.1.'de gösterilmektedir. 01.01.1900 ve 06.05.2019 yılları arasında büyüklüğü 4' ten büyük 357 adet deprem verisinden yararlanılarak bölge için poisson olasılıksal dağılım yöntemi kullanılıp a ve b parametreleri hesaplanmaya çalışılmıştır. a ve b değerlerinin hesaplanan değerleri Tablo 6.1.'de gösterilmektedir. 150 km'lik alan için hesaplanan a değeri 4.1 ile 5.8 arasında, b değeri ise 1.01 ile 1.32 arasında değişmektedir.



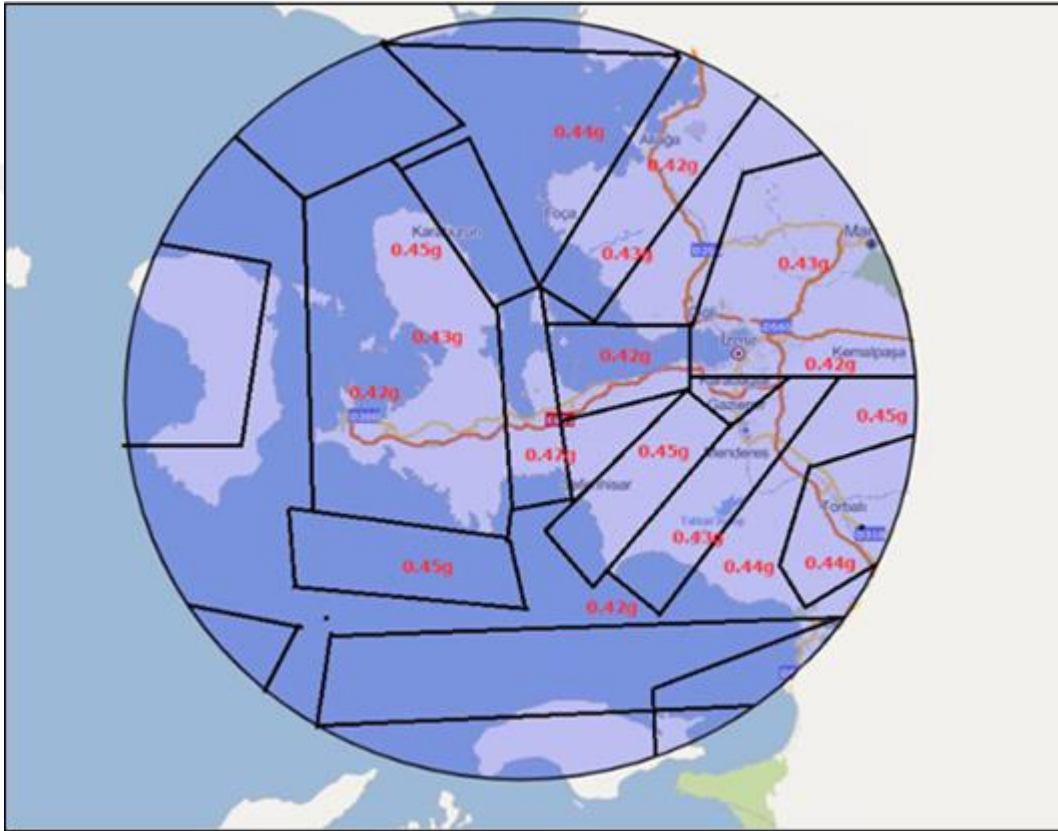
Şekil 6.1. İnceleme alanı bölgelendirme haritası

Tablo 6.1. İnceleme sonucu bölgelere ait hesaplanan a ve b değerleri

Bölge	a	b
1	5,6	1,01
2	5,1	1,3
3	4,6	1,12
4	4,8	1,15
5	4,1	1,06
6	5,3	1,31
7	5,8	1,23
8	5,1	1,21
9	4,1	1,15
10	4,9	1,16
11	5,3	1,21
12	4,9	1,32
13	5,8	1,15
14	4,9	1,21
15	4,1	1,17
16	4,7	1,24
17	4,2	1,32
18	5,6	1,14
19	5,1	1,11
20	4,7	1,09
21	4,8	1,13
22	4,9	1,15
23	4,1	1,16

Sismik tehlike analizi ve eş ivme haritaları yapılırken CRISIS2007 [58] yazılımı kullanılmıştır. İzmir ili için, 150 km yarıçaplı alanda Kalkan ve Gülkan (2004) [56] tarafından geliştirilmiş ivme azalım bağıntısı kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda ortaya çıkan ivme değerleri 0,41g ve 0,47g aralığındadır. Hesaplanan ivme değerlerinin sismik kaynak haritası üzerinde gösterimi Şekil 6.2.'de, ivme değerleri kullanılarak oluşturulan sismik tehlike haritası da Şekil 6.3.'de gösterilmiştir.

Yapılan çalışmada iki farklı yaklaşıma göre sismik tehlike analizi yapılmış olup Boore ve diğ. (1997) [57] tarafından üretilmiş izme azalım bağıntısı kullanılarak İzmir ili için, 150 km yarıçaplı alanda hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda ortaya çıkan ivme değerleri 0,42g ve 0,47g aralığındadır. Hesaplanan ivme değerlerinin sismik kaynak haritası üzerinde gösterimi Şekil 6.4.'de, ivme değerleri kullanılarak oluşturulan sismik tehlike haritası da Şekil 6.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Boore ve diğ. (1997) [57] ivme azalım ilişkisi kullanılarak bulunan ivme değerlerinin gösterildiği harita



Şekil 6.5. Boore ve diğerleri 1997 [57] ivme azalım ilişkisi kullanılarak, 475 yıllık tekrar için sismik tehlike haritası

Bu çalışmalara ek olarak inceleme bölgesine ait 10, 50, 75 ve 100 yıl için olasılık değerleri bulunmuş ve Tablo 6.2.'de gösterilmiştir. Bu hesaplamalar sonucu izmir ve çevresinin deprem riskinin yüksek olduğu açıkça görülmüştür.

Tablo 6.2. 10, 50, 75, 100 yıl için aşılma olasılıkları

Magnitüd	D (Yıl) için	0 (Yıl) için	D (Yıl) için	D (Yıl) için	(Yıl)
	Olasılık (%)	Olasılık (%)	Olasılık (%)	Olasılık (%)	
5	100,0	100,0	100,0	100,0	1
5,6	100,0	100,0	100,0	100,0	3
6	91,4	100,0	100,0	100,0	9
6,6	53,3	97,8	99,7	100,0	30
7	21,0	69,3	33,0	90,6	93
7,6	7,1	30,7	42,3	51,9	315

BÖLÜM 7. SONUÇLAR

Bu çalışmada izmir ilinin deprem tehlikesinin ortaya konması amacıyla sismik tehlike analizi yapılmıştır. Çalışma 150 km çaplı bir alandaki deprem dağılımları incelenerek yapılmıştır. İnceleme alanında 01.01.1900 ve 06.05.2019 yılları arasında meydana gelen depremlerden moment büyüklüğü 4'ten büyük 357 deprem verisi kullanılmıştır. Kalkan ve Gülkan (2004) [56] ve Boore ve diğ. (1997) [57] tarafından geliştirilen iki farklı ivme azalım bağıntısı kullanılarak 475 yıllık tekrarlama periyodu için eş ivme haritaları oluşturulmuştur.

İnceleme alanı için hesaplanan ivme değerleri, hem Kalkan ve Gülkan (2004) [56] için hem de Boore ve diğ. (1997) [57] için 0,42g ve 0,47g aralığında bulunmuştur. Bulunan ivme değerleri İzmir için olası büyük bir depremde yapıların yüksek genlikli yer hareketlerine maruz kalabileceğini göstermektedir. Çalışma sonunda oluşturulan eş ivme haritalarına göre İzmir kent merkezi ile birlikte tüm ilçeleri de yüksek deprem riskine sahiptir. Bölgedeki normal faylanmaya dayalı deprem aktivitesi sıklıkla 5 ve civarı büyüklükte deprem görülmesine neden olurken, Poisson olasılık dağılımına göre yapılan hesaplamada 7 büyüklüğündeki bir depremin bölgede olma olasılığı %90.6 olarak belirlenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen bulguların Türkiye Deprem Tehlike Haritasında İzmir ili ve çevresi için önerilen sismik tehlike ile uyumlu olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.izmir.gov.tr/ilcelerimiz/>, Erişim Tarihi: 06.10.2019.
- [2] Őengör, A.M.C., Türkiye'nin neotektoniđinin esasları, Türkiye Jeoloji Kurumu, Ankara, 1980.
- [3] McKenzie, D.P. Plate tectonics of the Mediterranean region. *Nature* 226, 239–243., 1970.
- [4] McKenzie, D.P. Active Tectonics of Mediterranean Region. *Geophys. J.R. Astron. Soc.*, 30, 109-185, 1972.
- [5] Dewey, M. Seismicity of Northern Anatolia. *Bull. Seis. Soc. Am.* 66, 843868, 1976.
- [6] Őengör, A.M.C. The North Anatolian fault: its age, offset and tectonic significance. *J. geol. Soc. Lond.* 136, 269 – 282, 1979.
- [7] Őengör, A.M.C., Kidd, W.S.F. Post-collisional tectonics of the TurkishIranian plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics*, 55, 361-376, 1979.
- [8] Ambraseys, N.N. Studies in historical seismicity and tectonics, in *Geodynamics of Today*. pp 7-16, the Royal Soc. London, 1975.
- [9] Őengör, A. M. C., Görür, N. Şaroğlu, F., Strike Slip Faulting And Related Basin Formation In Zones Of Tectonic Escape: Turkey As A Case Study, In: K. D. Biddle N. Christie Blick (Eds.) *Strike Slip Deformation, Basin Formation And Sedimentation*, Society Of Economic Paleontologist And Mineralogist, Special Publication 17,37, 227-264, 1985.
- [10] Ambraseys, N.N. and Jackson, J.A. Faulting Associated With Historical and Recent Earthquakes in The Eastern Mediterranean Region. *Geophys. J. Int.*, 133, 390-406, 1998.
- [11] Barka, A.A. and Kadinsky-Cade, K. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, v. 7, no. 3, 663-684, 1988.

- [12] Suzanne, P., Lyberis, N. La géométrie de la faille norde-anatolienne à partir d'images Landsat-MSS. *Bul. Soc. Geol. Fr.*, 8, 589-599, 1990.
- [13] Barka, A.A. The North Anatolian fault Zone. *Ann. Tectonicae*, 6, 164-195, 1992.
- [14] Jackson, J. Active tectonics of the Aegean region. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 239-271, 1994.
- [15] Reilinger, R.E., McClusky, S.C., Oral, M.B., King, R.W., Toksoz, M.N., Barka, A.A., Kınık, I., Lenk, O., ve Sanlı, I. Global Positioning System measurements of present-day crustal movements in the Arabia-Africa-Eurasia plate collision zone. *J. Geophys. Res.*, 102, 9983-9999, 1997.
- [16] Barka, A. ve Reilinger, R. Active tectonics of the Eastern Mediterranean Region: Deduced from GPS, neotectonic and seismicity data. *Annelis de Geofisica*, 40, 3, 587-610, 1997.
- [17] Okay, A. I., Satır, M., Maluski, H., Siyako, M., Metzger, R., ve Akyüz, S. Paleo- and Neo-Tethyan events in Northwest Turkey. Geological and Geochronological Constraints. In: Yin, A., Harrison, T.M. (Eds.), *The tectonic evolution of Asia*, Cambridge University Press, 420-441, 1999.
- [18] Okay, A., Kaşlılar, A., İmren, C., Boztepe, A., Demirbağ E. Ve Kuşçu, İ. Active faults and strike slip basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: a multi-channel seismic reflection study. *Tectonophysics*, 321, 189-218, 2000.
- [19] McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, R., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradisis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N. ve Veis, G. Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in The Eastern Mediterranean and Caucasus. *Jour. Of Geophys. Res.*, 105(B3), 5695-5719, 2000.
- [20] Arpat, E., Şaroğlu, F., The East Anatolian Fault System: Thoughts On It's Development, *Min. Res. Expl. Inst. Turkey Bull.*, 78, 33-39, 1972.
- [21] Ketin İ., Relations Between General Tectonic Features And The Main Earthquake Regions Of Turkey, *Min. Res. Explor. Inst. Bull.*, 71, 63-67, 1968.
- [22] USGS , Implications For Earthquake Risk Reduction In The United States From The Kocaeli, Turkey, Earthquake Of August 17, 1999, U. S. Geological Survey Circular, 193, 2000.

- [23] Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ., Active Fault Map Of Turkey. General Directorate Of Mineral And Research Exploration Of Turkey Publication, 1992.
- [24] Ambraseys, N. N., The Seismic History Of Cyprus. Rev. Union Int. Secours, Geneva 3, 25-48, 1965.
- [25] Ambraseys, N. N., Temporary Seismic Quiescence, Se Turkey, Geophys. J., 96, 411-431, 1989.
- [26] Quennell, A. M., The Structural And Geomorphic Evolution Of The Dead Sea Rift, Quart. J. Geol. Soc., 114, 1-24, London, 1958.
- [27] Ambraseys, N. N., Reappraisal Of The Seismicity In Cyprus (1894-1991). Imperial College, ESSE Research Report 92-9, 47-67, 1992.
- [28] Papazachos, B. C., Distiribution Of Seismic Foci In The Mediterranean And Surrounding Area And Its Tectonic Implications, Geophys. Jr. Astron. Soc. 33, 421-432, 1973.
- [29] Papazachos, B. C., Large Seismic Faults In The Aegean Arc, Annal. Geofisika 39, 891-903, 1996.
- [30] Özbek, D. (1981). Altındağ Köyü (İzmir) çevresinin jeoloji ve Altındağ taş ocaklarının mühendislik jeolojisi, Bitirme Ödevi, Ege Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir, 1981.
- [31] Özer, S. ve İrtəm, O. Işıklar-Altındağ (Bornova-İzmir)alam Üst Kretase kireçtaşlarının jeolojik konumu, stratigrafisi ve fasiyes özellikler, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 25, 41-47, 1982.
- [32] Erdoğan, B.İzmir-Ankara Zonu'nun İzmir ile Seferihisar arasındaki bölgede stratigrafik özellikleri ve tektonik evrimi: TPJP Bülteni. c. 2/1-Aralık 1990, 1-20, 1990
- [33] Kıncal, C. İzmir iç körfezi çevresinde yer alan birimlerin coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İzmir, 2005.
- [34] Uzel, B, Sözbilir, H. ve Özkaymak, Ç., Neotectonic evolution of an actively growing superimposed basin in Western Anatolia: The inner bay of İzmir, Turkey Turkish Journal of Earth Sciences, 21, 439-471, 2012.

- [35] Koca, M.Y. (1995). Slope stability assessment of the abandoned andesite quarries in and around the Izmir City Centre. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Graduate School of Natural and Applied Science, İzmir, 1995.
- [36] Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S., Yıldırım, C., 17 Ekim 2005 Sığacık (İzmir) depremleri ön değerlendirme raporu, Rapor No: 10756, Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, 2005.
- [37] Altunkaynak, Ş. ve Yılmaz, Y. Foça yöresinin jeolojisi ve aktif tektoniği, Batı Anadolu. Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu (BADSEM 2000), 160-165, 2000.
- [38] Emre, Ö. ve Barka, A. Active faults between Gediz graben and Aegean Sea (İzmir region). Batı-Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu (Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, Bildiri Kitabı, 2-131, 2000.
- [39] Ocakoğlu, N., Demirbağ, E. ve Kuşçu, İ. Neotectonic structures in the area offshore of Alaçati, Doganbey and Kusadasi (western Turkey) : Evidence of strike-slip faulting in Aegean province. Tectonophysics, 391, 67-83, 2004.
- [40] Ocakoglu, N., Demirbağ, E. ve Kuşçu, İ. Neotectonic structures in Izmir Gulf and surrounding regions (western Turkey): Evidences of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime. Marine Geology, 219, 155-171, 2005.
- [41] <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi.>, Erişim Tarihi: 03.03.2019.
- [42] Radius Projesi (1999). İzmir deprem senaryosu ve deprem master planı, 18.03.2019, <http://www.izmir.bel.tr/izmirdeprem/izmirrapor.htm>.
- [43] Eskişar, T. İzmir Körfezi kuzey kıyılarının zemin özelliklerinin ve geoteknik sorunlarının incelenmesi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 2008.
- [44] Gutenberg, B., Richter, C. F., Seismicity Of The Earth And Associated Phenomenon, Princeton University Press, Princeton, New York, 1949.
- [45] Reiter, L. Earthquake Hazard Analysis: Issues and Insight, Columbia University Press, New York, 1990.
- [46] Kramer, S.L., Geoteknik Deprem Mühendisliği, Kayabalı, K., 1. Baskı, Gazi Kitabevi, Ankara/Türkiye, 1996.
- [47] Cornell, C.A Engineering Seismic Risk Analysis, Bulletin of Seismological Society of America, Vol.58, sayfa 1583-1606, 1968.

- [48] İnce, G.Ç., Sismik bölgeleme ve İstanbul'un deprem zararlarının tahmini, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul/Türkiye, 2005.
- [49] <https://deprem.afad.gov.tr/sondepremler>.,Erişim Tarihi: 05.01.2019.
- [50] <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>.,Erişim Tarihi: 06.01.2019.
- [51] Yüçemen, M. S., Deprem Tehlikesinin Tahmininde Olasılıksal Yöntemler 14. Bölüm, Binalar İçin Deprem Mühendisliği Temel İlkeleri, Editörler, E. Canbay V.D., Bizim Büre Basımevi, Sayfa 365-413, Ankara, 2008.
- [52] Gülkan P., Yakut A., Canbey E.,Binalar için Deprem Mühendisliği, Yapım ve Denetim, s: 395-415, 2008.
- [53] Akol, B., Bekler, T., Assessment of the statistical earthquake hazard parameters for NW Turkey, Natural Hazards, 68:837–853, 2013.
- [54] Gutenberg, B. ve Richter, C.F. Frequency of Earthquakes in California, Bulletin of Seismological Society of America, Vol.34, No.4, s: 1985-1988, 1944.
- [55] Wells, D. L., Coppersmith, K. J., New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area And Surface Displacement, Bulletin Of Seismological Society Of America, Vol. 84, No. 4, Pp. 974-1002, August 1994.
- [56] Kalkan, E., And Gülkan, P., Site Dependent Spectra Derived from Ground Motion Records In Turkey, Earthquake Spectra, Vol. 20, No 4, Pp. 1111-1138, Nov. 2004.
- [57] Boore, d. M., Joyner, w.b., Fumal, t.e., equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western north american earthquakes: a summary of recent work seismological research letters, vol. 68(1), 128-153, 1997.
- [58] Ordaz, M., Aguilar, A., Arboleda, J., Crisis 2003, Ver. 1.2.100, Program For Computing Seismic Hazard, Instituto De Ingenieria, Unam, Mexico, 2007.

ÖZGEÇMİŞ

14.08.1988 doğumlu Ebru BAYRAM lise bitimine kadar olan öğrenimini Kocaeli İzmit'te tamamlamıştır. 2008 yılında Sakarya Üniversitesi Sakarya Meslek Yüksek Okulu Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü Programını bitirdi. Akabinde 2009 yılında yine Sakarya Üniversitesinde Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliğinde eğitimine başladı. Haziran 2013'te bu bölümü de bitirip eylül ayında tekrar Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Geçmiş dönemde Milli Eğitime bağlı ortaokulda 6,7. sınıflar matematik öğretmenliği yaptı. Şuan Özel bir kurumda matematik öğretmeni olarak görev yapmaktadır.