

T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TÜRKİYE MİKROBÖLGELEME ULUSAL VERİ TABANI
1. AŞAMA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MERVE NUR AKSOY

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi Kenan
AKBAYRAM

BİNGÖL 2025

TÜRKİYE MİKROBÖLGELEME ULUSAL VERİ TABANI - 1.
AŞAMA

Dr. Öğr. Üyesi Kenan AKBAYRAM danışmanlığında, Merve Nur AKSOY tarafından hazırlanan bu çalışma 28/11/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Kenan AKBAYRAM

İmza :



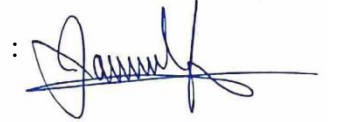
Üye : Doç. Dr. Çağlar ÖZER

İmza :



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Sadık VAROLGÜNEŞ

İmza :



Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun// tarih ve/
.. nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimim süresince danışmanlığımı üstlenen, bilimsel ve akademik tecrübesiyle her zaman yol gösteren, her konuda desteğini ve yardımını esirgemeyen, beraber çalışmaktan onur ve mutluluk duyduğum, Saygıdeğer Hocam; Dr. Öğr. Üyesi Kenan AKBAYRAM'a tüm kalbimle teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitimim de akademik bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım değerli hocalarım Doç. Dr. Çağlar ÖZER ve Dr. Öğr. Üyesi Sadık VAROLGÜNEŞ'e teşekkürü borç bilirim.

Bu sürece beraber başladığım yol arkadaşım, sevgili eşim Muhammed Enes AKSOY'a yüksek lisans çalışmalarım boyunca sonsuz destek ve motivasyon sağladığı, sevgi ve anlayışıyla süreci kolaylaştırdığı için sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bende büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve dualarını esirgemeyen annem Yeter POLAT'a, babam Cengiz POLAT'a ve ağabeyim Ahmet Salih POLAT'a tezin hazırlanması sırasında gösterdikleri sabır, fedakârlık ve desteklerinden dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak bu tezi, bana yaşamın en kıymetli duygusu olan anneliği tattıran canım kızım Aden Defne AKSOY'a ithaf ediyorum.

MERVE NUR AKSOY

Bingöl 2025

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	4
2. KAYNAK ÖZETLERİ	7
2.1.Kaynak Özetleri Sınıflandırılması.....	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM	9
3.1. Veri Tabanı Oluşturulması	9
3.2. Veri Tabanında Yer Alan Haritaların Sayısallaştırılması	12
3.2.1. Sayısallaştırma İşleminin Görsel Anlatımı	14
4. MİKROBÖLGELEME ARAŞTIRMA KONULARI, KULLANILAN YÖNTEMLER VE YAYGIN HARİTALAR	21
4.1. Mikrobölgeleme Çalışmalarında Araştırılan Konular.....	22
4.2. Mikrobölgeleme Çalışmalarında Kullanılan Yöntemler	22
4.2.1. Zemin Sınıflandırılması	27
4.3. Yaygın Mikrobölgeleme Haritaları	39
5. TÜRKİYE MİKROBÖLGELEME ULUSAL VERİ TABANI (1. AŞAMA)	42
5.1. Marmara Bölgesindeki Çalışmalar.....	45

5.1.1. Büyükçekmece İlçesinde Mikrotremor Verileriyle Mikrobölgeleme Çalışmaları	47
5.1.2. Mikrobölgeleme Metodolojileri ve Balıkesir İçin Bir Uygulama.....	49
5.1.3. Çanakkale Şehir Merkezi Sismik Mikrobölgelendirmesi	50
5.1.4. Antik Galata Bölgesi'nin Mikrotremor Ölçümleri Esaslı Mikrobölgeleme Çalışması	52
5.1.5. Mikrobölgeleme Çalışmalarında Jeofizik ve Geoteknik Verilerin Birlikte Kullanımı: Şişli (İstanbul) Örneği.....	53
5.1.6. Bursa İli Güzelyalı Beldesi İçin Mikrotremor Ölçümlerine Dayanan Bir Mikrobölgeleme Uygulaması.....	55
5.1.7. Bakırköy İlçesi' nin Mikrobölgelemesi	57
5.1.8. İstanbul Esenler Zeminlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tabanlı Geoteknik Mikrobölgelemesi.....	59
5.1.9. Altınova Bölgesinin Arazisi Mikrobölgeleme Haritalarının Jeolojik ve Geoteknik Özelliklere Bağlı Olarak Hazırlanma	60
5.1.10. Tek Boyutlu Dinamik Analiz ve Mikrotremor Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması Güzelyalı Mikrobölgeleme Örneği	62
5.1.11. Sismik Mikrobölgeleme Amaçlı Jeofizik ve Geoteknik Çalışmalar Büyükada (İstanbul) Örneği	64
5.1.12. Karasu İlçesinin Mikrobölgelemesi	65
5.1.13. 1999 Marmara Depremi Sonrası İçin Gölcük İlçesi Kıyılarının Sıvılaşmaya Göre Mikrobölgelemesi	66
5.2. İç Anadolu Bölgesinde Yapılan Çalışmalar.....	67
5.2.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Ankara İli Keçiören Bölgesi Mikrobölgeleme Haritalarının Oluşturulması	68
5.2.2. Kayseri İli Depremselliği ve Özel Bir Mikrobölgeleme Çalışması	69

5.2.3. Çok Kriterli Analiz Teknikleri Kullanılarak Cbs Tabanında Jeo Çevresel Kriterlere Göre Gölbaşı Öçek Bölgesinin Mikrobölgeleştirilmesi.....	70
5.2.4. Yerel Sismik Ağ ve Mikrobölgeleştirme Verilerine Dayalı Afet (Deprem) Bilgi Sistemi İçin Bir Veri Tabanı Analiz ve Tasarımı (Eskişehir İli Örneğinde).....	72
5.2.5. Mikrobölgeleştirme Çalışmalarında Yer Tepkisi ve Kayma Dalga Hız (Vs) Yapısının Yorumlanması: Eskişehir Örneği	73
5.2.6. Kırıkkale Şehir Merkezinin Deprem Risk Analizi ve Sismik Mikrobölgeleştirme	75
5.2.7. Nevşehir İl Merkezi Kuzey Bölümünün Jeoteknik Değerlendirme ve Coğrafi Bilgi Sistemi İle Modellenmesi	76
5.3. Karadeniz Bölgesinde Yapılan Çalışmalar	78
5.3.1. Düzce İli Mikrobölgesel Zemin Parametrelerinin Haritalanması	78
5.3.2. Gümüşhane ve Çevresinin Jeofizik Verilerle Yer Etkisinin İncelenmesi ve Mikrobölgeleştirme Çalışması.....	80
5.4. Akdeniz Bölgesinde Yapılan Çalışmalar	81
5.4.1. Isparta Mavikent Yerleşim Bölgesinin Sismik Mikrobölgeleştirme ve Değerlendirilmesi.....	82
5.4.2. Isparta İl Merkezi Mikrobölgeleştirme Analizi.....	83
5.4.3. Mikrobölgeleştirme Çalışmalarında Jeolojik, Jeofizik, Jeoteknik Verilerin Birlikte Kullanımı (Kuzey Adana Örneği).....	84
5.4.4. Osmaniye Kent Merkezinin (OKM) Geoteknik Özelliklere Bağlı Mikrobölgeleştirme Haritalarının Değerlendirilmesi.....	86
5.4.5. Mersin İli İçin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Mikrobölgeleştirme Çalışması.....	87
5.4.6. Antalya İli Merkez İlçe Zeminlerinin Coğrafi Bilgi Sistemlerinden Yararlanılarak Geoteknik Mikrobölgeleştirilmesi	88

5.5. Doğu Anadolu Bölgesinde Yapılan Çalışmalar	89
5.5.1. Elazığ Kent Merkezinin Tektoniği Depremselliği ve Mikrobölgeleme.....	90
5.5.2. Erzurum İl Merkezinde Eşdeğer Lineer Yöntemle Zemin Büyütme Etkilerine Dayalı Bir Mikrobölgeleme Çalışması.....	91
5.6. Ege Bölgesinde Yapılan Çalışmalar.....	92
5.6.1. İzmir (Buca) Bölgesinde Yüzey Dalgası Yöntemleriyle Elde Edilen Kayma Dalgası Hızlarının (Vs) Analizi ve Mikrotremor Uygulamaları .	92
5.6.2. Aydın İl Merkezinde Sismik Mikrobölgeleme Çalışması.....	94
5.7. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Yapılan Çalışmalar	96
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	98
6.1. Tezin Özgün Katkıları ve Yenilikçi Yönü.....	99
6.2. Değerlendirme ve Mikrobölgelemenin Afet Yönetimindeki Rolü.....	101
6.3. Öneriler.....	101
KAYNAKLAR.....	104
EKLER	114

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

%	: Yüzde
A, F	: Zemin Sınıfları
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Deprem Dairesi Başkanlığı
AHP	: Analitik Hiyerarşi Süreci
°C	: Santigrat Derece
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemi
CEN	: Avrupa Standartları Komitesi
CH	: Yüksek Plastisiteli Kil
CL	: Düşük Plastisiteli Kil
Cm	: Santimetre
CPT	: Konik Penetrasyon Testi
Cu	: Serbest Basınç Direnci
Cu ₃₀	: Üst 30 Metrede Ortalama Serbest Basınç Direnci
ÇKYDA	: Çok Kanallı Yüzey Dalgası
D.D.T.A.	: Deterministik Deprem Tehlike Analizi
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
DES	: Düşey Elektrik Sondajı
Dr	: Reaktif Sıklık
DTA	: Deprem Tehlike Analizi
FEMA	: Federal Acil Durum Yönetim Ajansı
GB	: Güneybatı
GM	: Siltli Çakıl
h ₁	: Üst tabaka kalınlığı
Hz	: Herz
I	: Bina Önem Katsayısı
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
KD	: Kuzeydoğu
Kg	: Kilogram

km ²	: Kilometre kare
KOERI	: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
KPa	: Kilopascal
LL	: Likit Limit (Sıvı Limiti)
M	: Metre
m/sn	: Metre/Saniye
MASW	: Çok Kanallı Yüzey Dalga Analizi
ML	: Düşük Plastisiteli Silt
MTA	: Maden Tetkik Arama
N	: Vuruş Sayısı
N/30	: Standart Penetrasyon Testi (SPT) sonucunda elde edilen N değerinin 30 metre derinliğe kadar olan ortalamasını
N _{60/30}	: Üst 30 Metrede Ortalama Zeminin Taşıma Gücü
NEHRP	: National Earthquake Hazards Reduction Program (Ulusal Deprem Tehlikesini Azaltma Programı)
N _{spt}	: Zeminin Taşıma Kapasitesi
O.D.T.A.	: Olasılıksal Deprem Tehlike Analizi
ÖÇK	: Özel Çevre Koruma Bölgesi
P, S	: Deprem Dalga Hızları
PI	: Plastisite (Plastiklik) İndeksi
Q _{emin}	: Zemin Taşıma Gücü
ReMi	: Kırılma Mikrotremor Yöntemi
S1, S2	: Zemin türü
SC	: Killi Kum
SM	: Siltli Kum
SP	: Kötü Derecelenmiş Kumlar
SPAC	: Dizilim Mikrotremor Yöntemi
SPT	: Standart Penetrasyon Testi
SSO	: Standart Spektral Oran
SW	: İyi Derecelenmiş Kumlar
T ₀	: Zemin Hakim Titreşim Periyodu
T _A , T _B	: Spektrum Karakteristik Periyotları

TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TDY	: Türkiye Deprem Yönetmeliği
UDSEP	: Ulusal Deprem Strateji ve Eylem Planı
USCS	: Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi
V_s	: Kayma Dalgası Hızı
V_{s30}	: Zeminin ilk 30 metresi için ortalama kayma dalgası hızı
W	: Su Muhtevası
W_n	: Doğal Su Muhtevası
Y/D	: Yatay/ Düşey Spektral Oran
YASS	: Yer Altı Su Seviyesi
Z1-Z4	: Yerel Zemin Sınıfları
ZA-ZF	: Yerel Zemin Sınıfları

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	AFAD tarafından hazırlanmış olan Türkiye Deprem Tehlike Haritası.....	2
Şekil 3.1.	Veri tabanında kullanılan çalışmalar için oluşturulan klasör.....	10
Şekil 3.2.	Veri tabanında kullanılan çalışmalardan alınan haritaların klasörleri.....	11
Şekil 3.3.	Veri tabanında kullanılan bir çalışmadan alınan haritaların klasör görüntüsü. Bütün haritalar jpeg formatındadır ve veri tabanında sayısallaştırılmıştır.....	11
Şekil 3.4.	Veri tabanında Katman Ekleme (Add Data) adımı (Ek 3 videoda 00:10 – 00:25 arası).....	15
Şekil 3.5.	Veri tabanında koordinat sistemi değiştirme adımı (Ek 3 videoda 00:26 – 00:40 arası).....	16
Şekil 3.6.	Veri tabanında georeference açma adımı (Ek 3 videoda 00:41 – 01:05 arası).....	16
Şekil 3.7.	Veri tabanında İlk Control Point ekleme adımı (Ek 3 videoda 01:06 – 01:40 arası).	17
Şekil 3.8.	Veri tabanında Go to X,Y ile yer tespiti adımı (Ek 3 videoda 01:41 – 02:00 arası).....	17
Şekil 3.9.	Veri tabanında Basemap ekleme adımı (Ek 3 videoda 02:01 – 02:30 arası).	18
Şekil 3.10.	Veri tabanında Köşelerden çapraz nokta ekleme adımı (Ek 3 videoda 02:31 – 03:10 arası).....	18
Şekil 3.11.	Veri tabanında İkinci haritayı çağırma (Add Data – Imagery – Georeference) adımı (Ek 3 videoda 03:11 – 03:50 arası).....	19
Şekil 3.12.	Veri tabanında İkinci haritaya Control Point ekleme adımı (Ek 3 videoda 03:51 – 04:20 arası).....	20

Şekil 3.13.	Veri tabanında Çapraz noktalarla işlemi tamamlama adımı (Ek 3 videoda 04:21 – 05:00 arası).....	20
Şekil 4.1.	Bu tezde kullanılan mikrobölgeleme çalışmalarının coğrafi konumları ile referans künyelerini gösteren harita. Bu haritada, değinilen çalışmalardan sayısallaştırılan haritalar da kabaca görünmektedir. Ancak tezlerden alınan haritalar ArcGIS Pro programında hazırlanan veritabanında ayrıntılı bir biçimde incelenebilir.....	29

TABLolar LİSTESİ

Tablo 4.1.	Mikrobölgeleme temel parametreleri ve tanımları.....	22
Tablo 4.2.	Mikrobölgeleme çalışmalarında yaygınca kullanılan geoteknik yöntemler.....	24
Tablo 4.3.	Mikrobölgeleme çalışmalarında yaygınca kullanılan mühendislik jeofiziği yöntemleri ve kısa açıklamaları.....	25
Tablo 4.4.	Bu tezde kullanılan mikrobölgeleme çalışmaları ve değindikleri zemin sınıflamalarını aldıkları yönetmelikler. Kısaltmaların açılımları metinde yer almaktadır.....	30
Tablo 4.5.	Türkiye Deprem Yönetmeliği (1998)'e Göre Zemin Sınıfları.....	31
Tablo 4.6.	National Earthquake Hazards Reduction Program (2000) 'e Göre Zemin Sınıfları.	32
Tablo 4.7.	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007)'e göre zemin grupları, tanımları ve özellikleri. N/30: Standart Penetrasyon; Dr: Relatif Sıkılık; Cu: Serbest Basınç Direnci; Vs: Kayma Dalgası Hızı.....	32
Tablo 4.8.	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007)'e göre yerel zemin sınıfları.....	33
Tablo 4.9.	Eurocode 2008'e göre zemin türleri . Vs30: Kayma dalgası hızı; N _{spt} : Zeminin taşıma kapasitesi; Cu: Serbest Basınç Direnci.....	33
Tablo 4.10.	Ulusal Deprem Tehlikesini Azaltma Programı (NEHRP, 2015)'e göre zemin sınıfları. Vs: Kayma Dalgası Hızı; PI: Plastisite indeksi; W:Su muhtevası.....	34
Tablo 4.11.	NEHRP'e göre zemin sınıflama kriterleri. Vs: Kayma dalgası hızı	34

Tablo 4.12.	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018)'e göre yerel zemin sınıfları. V_{s30} : Üst 30 metrede ortalama kayma dalgası hızı ; $N60_{30}$:Üst 30 metrede ortalama zeminin taşıma gücü ; Cu_{30} : Üst 30 metrede ortalama serbest basınç direnci.....	35
Tablo 4.13.	Ulusal Deprem Tehlikesini Azaltma Programı (NEHRP, 2020)'ye göre yerel zemin sınıfları V_{s30} : Üst 30 metrede ortalama kayma dalgası hızı.....	35
Tablo 4.14.	Türkiye'de 1998 yılından itibaren kullanılmış olan yönetmenlikler.....	38
Tablo 4.15.	Mikrobölgeleme Haritaları ve Temel Parametrelerin Özeti.....	39
Tablo 5.1.	Türkiye Mikrobölgeleme Tezleri Veri Tablosu	44
Tablo 5.2.	Marmara Bölgesi Mikrobölgeleme Çalışmaları Envanteri.....	45
Tablo 5.3.	İç Anadolu Bölgesi Mikrobölgeleme Çalışmaları Envanteri.....	68
Tablo 5.4.	Karadeniz Bölgesi Mikrobölgeleme Çalışmaları Envanteri	78
Tablo 5.5.	Akdeniz Bölgesi Mikrobölgeleme Çalışmaları Envanteri	82
Tablo 5.6.	Doğu Anadolu Bölgesi Mikrobölgeleme Çalışmaları Envanteri.....	90
Tablo 5.7.	Ege Bölgesi Mikrobölgeleme Çalışmaları Envanteri.....	92

TÜRKİYE MİKROBÖLGELEME ULUSAL VERİ TABANI –

1. AŞAMA

ÖZET

Türkiye’de deprem tehlikesinin yerel ölçekte değerlendirilmesi amacıyla “mikrobölgeleme” başlığı altında yapılan ilk çalışma 1968 yılında gerçekleştirilmiş ve bu çalışma, mikrobölgeleme yaklaşımlarının ülke ölçeğinde başlangıç noktası olmuştur. 1968 yılından bu yana “mikrobölgeleme” başlığı altında birçok yerel çalışma yapılsa da bu çalışmalardan elde edilen veriler genel olarak tezler ve raporlar içerisinde yer almaktadır. Bu tez ve raporların varlığı çoğu zaman bu çalışmaların çıktılarından faydalanabilecek inşaat mühendisleri, yerbilimciler, şehir ve bölge planlamacılar, belediyeler gibi tüzel kişiler ve kamu kuruluşları tarafından bilinmemektedir. Bu nedenle mühendislik çalışmalarında gerekli olan, “mikrobölgeleme” çalışmalarında yer alan, V_s hızları, zemin hakim titreşim periyodları, zemin büyütmesi, olası yer çekim ivmeleri ve buna bağlı oluşan tasarım spektrumu gibi parametreler yerel olarak yapılmış “sahaya özel çalışmalar yerine”, AFAD’ın ulusal veri tabanlarından (TADAS) alınmaktadır. Ancak 2023 yılında gerçekleşen, yıkıcı GD Anadolu depremlerinde AFAD-TADAS veritabanından alınan olası deprem ivme değerlerinin ve buna bağlı oluşan tasarım spektrumlarının aşıldığı bilinen bir gerçektir. Bu nedenle mühendislerin, çalıştıkları kentlerde yer yer mevcut olan sahaya özel yapılmış mikrobölgeleme çalışmalarına hakim olması gerekmektedir. Bu tez ile son 20 yılda Türkiye’de yapılmış, YÖK tez veritabanında yer alan, sismik “mikrobölgeleme” çalışmalarının sonuçları derlenmiş ve bu çalışmaların içerdiği veriler ArcGIS Pro yazılımı ile sayısal bir veri tabanı içerisinde sunulmuştur. Bu kapsamda ilk etapta 30’den fazla akademik çalışma (yüksek lisans ve doktora tezi) derlenmiştir. Bu yolla, mühendis ve diğer ilgili meslek grupları ile kamu kurumlarının Ülkemizde yapılmış mikrobölgeleme çalışmaları ve bunların verileri ile ilgili hızlıca bilgi edinmeleri amaçlanmıştır. Sayısallaştırılan haritalar tez kapsamında hazırlanan veri tabanı içerisinde incelenebilirler. Bununla birlikte, daha ayrıntılı incelemeler için alındıkları kaynaklara bakılması tavsiye edilmektedir. Bu sayısal mikrobölgeleme veri tabanının Türkiye’de süregelen sismik tehlike ve risk analizleri içeren mikrobölgeleme amaçlı bilimsel ve kamu projelerine bir rehber oluşturulması amaçlanmaktadır. Hazırlanan veritabanı, tezin ekinde cd olarak verilmektedir ve ArcGISPro programında nasıl açılıp kullanılabileceği yine ekteki cd’de verilen bir video ile anlatılmaktadır. Bu tez ile, daha önce yapılmış olan mikrobölgeleme amaçlı çalışmaların tekrarlanması önüne geçilmesi amaçlanmış ve çalışmaların eksik olduğu, sismik tehlike taşıyan alanlara yakın yerleşim alanları da coğrafi olarak gösterilmiştir. Tezde verilen mikrobölgeleme veri tabanı daha sonraki çalışmalarda geliştirileceğinden tez başlığında “1. Aşama” tamlaması eklenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikrobölgeleme, Veri Tabanı, Sismik Tehlike, Sismik Risk, CBS.

SEISMIC MICROZONATION DATABASE OF TÜRKİYE - PHASE 1

ABSTRACT

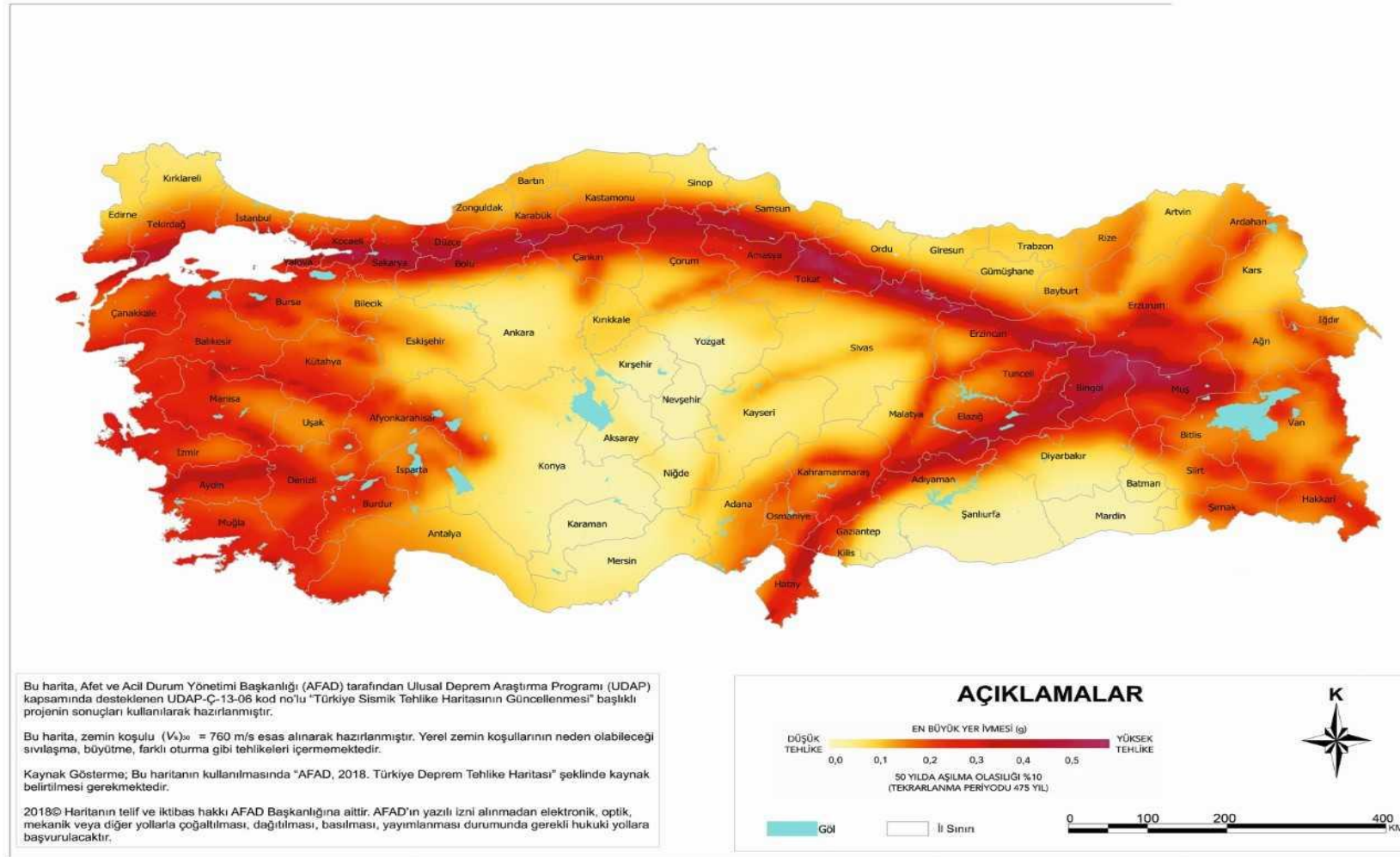
The first study conducted in Türkiye under the title of “microzonation”, aimed at evaluating earthquake-related risks at the local scale, was carried out in 1968, and this study marked the starting point of microzonation approaches at the national level. Although numerous local studies have been conducted under the heading of microzonation since 1968, the data obtained from these studies are generally contained within theses and technical reports. The existence of these theses and reports is often unknown to legal entities and public institutions—such as civil engineers, geoscientists, urban and regional planners, and municipalities—that could benefit from their outputs. For this reason, parameters required in engineering practice—such as shear-wave velocities (V_s), predominant ground vibration periods, site amplification, expected peak ground accelerations, and the resulting design spectra—which are typically included in microzonation studies, are obtained from AFAD’s national databases (TADAS) rather than from site-specific local studies. However, it is a well-known fact that during the devastating Southeastern Anatolia earthquakes that occurred in 2023, the ground motion values and corresponding design spectra derived from the AFAD–TADAS database were exceeded. Therefore, it is essential for engineers to be familiar with the site-specific microzonation studies that exist for the cities in which they work. In this thesis, the results of seismic microzonation studies conducted in Türkiye over the last 20 years and archived in the Council of Higher Education (YÖK) thesis database were compiled, and the data contained in these studies were presented in a digital database using ArcGIS Pro software. In the initial stage, more than 30 academic studies (master’s and doctoral theses) were compiled. Through this approach, it is aimed to enable engineers, other relevant professional groups, and public institutions to rapidly obtain information on microzonation studies conducted in Türkiye and the data derived from them. The digitized maps can be examined within the database; however, for more detailed analyses, consulting the original sources from which the data were obtained is recommended. This digital microzonation database is intended to serve as a guide for ongoing scientific and public projects in Türkiye that focus on seismic hazard and risk analyses within the scope of microzonation studies. The prepared database is provided as a CD annexed to the thesis, and a video included on the same CD explains how to open and use the database in ArcGIS Pro. With this thesis, it is aimed to prevent the repetition of previously conducted microzonation studies, and settlement areas located near regions with seismic hazard where studies are lacking are also geographically identified. Since the microzonation database presented in this thesis will be further developed in future studies, the designation “Phase 1” has been added to the thesis title.

Keywords: Microzonation, Database, Seismic Hazard, Seismic Risk, GIS.

1. GİRİŞ

Türkiye, aktif tektonik yapısı nedeniyle dünyanın en çok deprem yaşanan bölgelerinden biridir. Bu durum, Anadolu Levhası'nın Afrika, Arabistan ve Avrasya Levhaları arasında sıkışma ve yanall yönde kayma hareketlerine maruz kalmasından kaynaklanmaktadır. Arap Levhası'nın kuzey yönlü hareketiyle birlikte Anadolu Levhası batıya doğru itilmekte ve bu da özellikle Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAF) ve Doğu Anadolu Fay Hattı (DAF) boyunca büyük ölçekli depremlerin meydana gelmesine yol açmaktadır (Uzunoğlu, 2019). Levha sınırları boyunca biriken tektonik gerilim zamanla kırılmalarla açığa çıkarmakta ve bu da ülke genelinde sık sık hissedilen yıkıcı depremleri doğurmaktadır (Uzunoğlu, 2019).

Türkiye, aktif tektonik yapısı nedeniyle yüksek deprem tehlikesi taşıyan bir ülkedir. AFAD tarafından yayımlanan 2018 tarihli Türkiye Deprem Tehlike Haritası'na göre, ülke yüzölçümünün yaklaşık %18'i birinci derece, %27'si ikinci derece ve %55'i üçüncü derece deprem tehlikesi altındadır (Şekil 1.1; AFAD, 2018). 1900 yılı ile 2018 yılı arasında Türkiye'de meydana gelen büyük depremler sonucunda 85.802 kişi hayatını kaybetmiş, 597.865 bina hasar görmüş ve 6.334.000 insan etkilenmiştir (AFAD, 2018). 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş merkezli meydana gelen 7.8 büyüklüğündeki deprem, Türkiye'nin en büyük doğal afetlerinden birine neden olmuştur. Bu depremde 53.537 kişi hayatını kaybetmiş, 107.703 kişi yaralanmış ve 518.009 konut ile 345.000'den fazla daire hasar görmüştür (AFAD, 2023). Bu veriler, ülkenin büyük bir kısmının yüksek deprem tehlikesi ve riski taşıdığını, nüfusun önemli bir kısmının da riskli bölgelerde yaşadığını göstermektedir. Depremlerin yarattığı hasar ve kayıpları en aza indirmek için jeoloji, sismoloji, jeofizik, geoteknik ve yapı mühendisliği gibi birçok farklı disiplin bir arada çalışmaktadırlar (Subaşı, 2017). Deprem sırasında meydana gelen hasarları etkileyen başlıca faktörler, depremin kaynak özellikleri, yerel zemin koşulları ve yapı özellikleridir (Ansal, 1995). Yerel zemin koşulları, kuvvetli yer hareketleri sırasında sismik dalgaların genlik ve frekansını değiştirebilir, bu da hasar dağılımını etkileyebilir (Yalçınkaya, 2010). Bu nedenle, dinamik yükler altında zemin davranışının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır ve bu amaçla mikrobölgeleme çalışmaları yapılmaktadır (Subaşı, 2017).



Şekil 1.1. AFAD tarafından hazırlanmış olan Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2018)

Bütün yapılar, depremler ve diğer doğa olayları sırasında oluşabilecek dinamik kuvvetlere karşı da dayanıklı olmalıdır. Bu dayanıklılığı sağlamak için, statik analizlerin yanında deprem-zemin-yapı ilişkisini de doğru kurmak dayanıklılık için önemlidir (Kramer, 1996). Bu ilişkinin doğru kurulması ancak, yapılaşma öncesi kapsamlı zemin araştırmaları ile mümkün olmaktadır (Kramer, 1996; AFAD, 2013; ÇŞB, 2019). Bu araştırmalar, zeminin statik mühendislik özelliklerinin yanı sıra olası tehlikeleri ve riskleri belirlemeyi hedefleyen mikrobölgeleme çalışmaları başlığı altında yapılmaktadır.

Mikrobölgeleme çalışmaları, yerel zemin koşullarının ayrıntılı olarak incelenmesini sağlayarak, sismik yükler altında yapıların maruz kalabileceği risklerin öngörülmesine ve bu doğrultuda yapı tasarım parametrelerinin belirlenmesine olanak tanımaktadır (Özçep, 2007; Güzel, 2009; Kurnaz, 2011; CSB, 2019; Özçep, 2019; Uzunoğlu, 2019). Böylelikle, yalnızca yapı ölçeğinde değil, kentsel planlama düzeyinde depreme dayanıklı yerleşim alanlarının oluşturulması mümkün hale gelmektedir (Özçep, 2007; Güzel, 2009; Kurnaz, 2011; CSB, 2019; Özçep, 2019; Uzunoğlu, 2019). Aynı zamanda, mevcut yerleşim birimlerinde ileride meydana gelebilecek olası depremlerin yaratacağı yapısal hasarlar ve can kayıpları, bu çalışmalar sayesinde önceden tahmin edilebilmektedir (Özçep, 2007; Güzel, 2009; Kurnaz, 2011; CSB, 2019; Özçep, 2019; Uzunoğlu, 2019).

Geleneksel jeolojik etütlerin çoğu zaman geniş ölçekte, homojen zemin özellikleri varsayımına dayanması nedeniyle, yerel düzeydeki risklerin göz ardı edilebildiği bilinmektedir. Buna karşın, mikrobölgeleme çalışmaları yerel geoteknik ve jeofiziksel verilerin entegrasyonu ile saha koşullarına özel afet risklerini analiz etmeyi hedefleyen disiplinler arası yaklaşımlar sunmaktadır (Güzel, 2009). Bu yaklaşım, bölgesel düzeyde tek tip zemin sınıflandırması yerine, farklı zemin tiplerinin deprem etkilerine verdiği tepkilerin ayrı ayrı değerlendirilmesini sağlamaktadır.

Mikrobölgeleme uygulamaları kapsamında yalnızca depremler değil, aynı zamanda diğer doğa kaynaklı afet tehlikeleri de analiz edilmekte; heyelan, kaya düşmesi, sel gibi olaylara dair tehlike alanları ortaya konulmaktadır. Bu analizler zeminlerin şişme potansiyeli, oturma davranışı, taşıma gücü kapasitesi ve yerel zemin sınıflandırmaları gibi önemli mühendislik parametrelerinin belirlenmesine de olanak tanımaktadır. Ayrıca, sıvılaşma gibi depremler sırasında ortaya çıkabilecek karmaşık zemin davranışlarının önceden modellenebilmesi, mikrobölgeleme çalışmalarının mühendislik ve afet yönetimi açısından

kritik bir işlev gördüğünü göstermektedir (Özçep, 2007; Güzel, 2009; Kurnaz, 2011; CSB, 2019; Özçep, 2019; Uzunoğlu, 2019). En nihayetinde mikrobölgeleme çalışmaları ile elde edilen veriler deprem senaryolarına dayalı sismik tehlike analizlerinin yapılmasında kullanılarak, kentsel planlama ve dönüşüm planlarına yardımcı olmaktadır (Özçep, 2007; Güzel, 2009; Kurnaz, 2011; CSB, 2019; Özçep, 2019; Uzunoğlu, 2019). Mikrobölgeleme haritaları, yerel zemin özelliklerinin ve doğal afet tehlikelerinin nicel verilerle analiz edilmesi sonucunda üretilmekte olup, bu haritalar özellikle nazım imar planlarında mekânsal karar alma süreçlerine yön veren temel referans dokümanlar arasında yer almaktadır (Özçep, 2019; Uzunoğlu, 2019).

Türkiye’de mikrobölgeleme yaklaşımının kurumsal düzeydeki ilk uygulaması, 1968 yılında İmar ve İskân Bakanlığı tarafından Aydın’ın Kuyucak ilçesinde gerçekleştirilmiştir (Güzel, 2009). Bu öncü çalışmayı takiben, 1970’te Adapazarı, 1974’te İzmit, Gerede (Bolu) ve Erzincan gibi deprem açısından kritik bölgelerde benzer mikrobölgeleme projeleri yürütülmüştür. İzmir ili için gerçekleştirilen kapsamlı mikrobölgeleme çalışması ise Erdik ve arkadaşlarının (2000) katkılarıyla, deprem master planı kapsamında planlanmış ve uygulanmıştır. Öte yandan, Türkiye’de uluslararası nitelikteki ilk mikrobölgeleme projesi, İstanbul’da Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA), Boğaziçi Üniversitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi ortaklığında yürütülen “İstanbul İli Sismik Mikrobölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma” başlıklı proje ile hayata geçirilmiş ve bu kapsamda deprem riski yüksek bölgelerin belirlenmesine yönelik detaylı analizler yapılmıştır (Özçep, 2007; Güzel, 2009).

1.1. Amaç ve Kapsam

Uzunoğlu (2019) ülkemizde deprem zararlarının azaltılması için tüm yerleşim birimlerini kapsayan sismik mikrobölgeleme haritalarının hazırlanması, düzenli güncellenmesi ve standart bir veri tabanı oluşturulması gerektiğini ifade etmiştir. Ancak, yeterli sayıda ve kalitede haritanın bulunmadığına değinmiştir. Bu tez Uzunoğlu (2019)’un vurguladığı eksikliklerden bir tanesi olan Türkiye için hazırlanması gerekli olan standart bir mikrobölgeleme veri tabanı oluşturulmasının amacını taşımaktadır. Türkiye’de yaşanan depremlerden sonra oluşan zarar ve kayıpların başlıca nedenleri, kentlerdeki yapı stokunun depreme dayanıklı olmaması ve yapıların bulunduğu zemin özelliklerinin yeterince bilinmemesidir. Başka bir deyişle, deprem öncesinde gerekli önlemlerin alınmamış ve

yapılması gereken düzenlemelerin yapılmamış olmasıdır (Avdan, 2011). Bu önlemlerin alınabilmesi için eksik olan mikrobölgeleme çalışmalarının tamamlanması yanında, varolan mikrobölgeleme çalışmalarının da biliniyor olması gerekmektedir.

1968 yılından bu yana ülkemizde birçok yerel mikrobölgeleme çalışması yapılmış olsa da bu çalışmalardan elde edilen veriler genelde tezler ve raporlar içerisinde yer almaktadır ve çoğu zaman konu hakkında bilgi sahibi olması gereken, Belediyeler, Valilik ve diğer ilgili kamu kurumları, inşaat mühendisleri, yerbilimciler, şehir ve bölge planlamacıları vd. ilgililer tarafından bilinmemektedir. Bu nedenle mühendislik çalışmalarının yapıldığı alanlarda gerekli olan V_s hızları, deprem ivmeleri ve buna bağlı oluşan tasarım spektrumu gibi kavramlar yerel olarak yapılmış “Sahaya Özel Çalışmalar Yerine” AFAD’ın ulusal veri tabanlarından alınmaktadır. Bu durum ise mühendislerin ayrıntılı yerel veriler yerine, ulusal ölçekte sunulan geniş hata payı aralığına sahip verilerle çalışmasına ve yapıların depremlerde zarar alacak spektrumlar seçilerek tasarlanmasına neden olmaktadır.

Bu tez ile, son 20 yılda Türkiye’de yapılmış sismik mikrobölgeleme metodlarını ve sonuçlarını içeren bilimsel araştırmalar derlenmiş ve bu çalışmaların içerdiği veriler, sayısallaştırılarak coğrafi bilgi sistemleri ortamına aktarılmıştır. Bu bilimsel ve teknik veri tabanı kamuoyunun kullanımına sunulmuştur. Ayrıca 6 Şubat 2023 depremlerinden sonra depremlerden etkilenmiş şehirler başta olmak üzere Türkiye genelinde mikrobölgeleme çalışmalarında bir artış görülmektedir. Bu tezde hazırlanan sayısal veri tabanının Türkiye’de süregelen sismik tehlike ve risk analizleri içeren mikrobölgeleme amaçlı bilimsel ve kamu projelerine bir rehber oluşturması da amaçlanmaktadır. Bu sayede yapılan çalışmaların tekrarlanmasının önüne geçilecek ve çalışmaların eksik olduğu alanlara odaklanılması sağlanacaktır. Bu tez de deprem üretmesi beklenen diri faylara yakın yerleşim alanlar da coğrafi olarak gösterilmektedir. Bu amaçla ilk etapta 30 adet akademik çalışma (yüksek lisans, doktora tezleri) derlenmiştir. Bu çalışma, depremler karşısında toplumsal ve yapısal dayanıklılığı artırmak amacıyla, disiplinler arası verilerin bütünleştirilmesini esas alan kapsamlı bir afet bilgi sisteminin tasarımını hedeflemektedir. Söz konusu sistemin temel amacı, deprem öncesi, sırası ve sonrasında ilişkin karar süreçlerini destekleyebilecek konumsal tabanlı bir veri altyapısı oluşturmaktır. Böylelikle, jeoloji, jeofizik, geoteknik ve planlama gibi farklı uzmanlık alanlarında üretilen verilerin

entegre edilmesiyle, kullanılabilirliği yüksek, uygulanabilir ve sürdürülebilir bir deprem bilgi sistemi geliştirilmesi öngörülmektedir. Bu bağlamda oluşturulan veri tabanı, deprem tehlikesine yönelik önleyici stratejilerin planlanmasında bilimsel ve yönetsel düzeyde referans teşkil etmeyi amaçlamaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu çalışmada Türkiye genelinde gerçekleştirilen sismik mikrobölgeleme çalışmalarının derlenmesi, değerlendirilmesi ve sayısal bir veri tabanı oluşturulması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışma üç temel aşamadan oluşmaktadır: Literatür taraması ve sınıflandırma, veri toplama ve sayısallaştırma, analiz ve değerlendirme.

2.1. Kaynak Özetleri Sınıflandırması

İlk aşamada, Türkiye’de 2000-2022 yılları arasında yayımlanmış **mikrobölgeleme** çalışmalarına ait ulusal ve uluslararası akademik kaynaklar, tezler, proje raporları ve teknik dokümanlar detaylı şekilde incelenmiştir ve bir klasör içerisinde toplanmıştır (Subaşı, 2017). Bu kapsamda mikrobölgeleme kriterleri, kullanılan jeofizik ve jeoteknik yöntemler, analiz teknikleri ve sınıflandırma sistemleri hakkında bilgi toplanmıştır.

İkinci aşamada, tespit edilen **mikrobölgeleme** çalışmalarından elde edilen veriler sistematik biçimde sınıflandırılmıştır. Bu veriler şunları içermektedir:

- Kayma dalgası hızı (V_{s30}) haritası
- Standart penetrasyon testi (SPT-N30) haritası
- Zemin hakim periyodu haritası
- Büyütme katsayısı haritası
- Yeraltı su seviyesi haritası
- Yamaç stabilitesi ve sıvılaşma potansiyeli haritaları
- Yerel zemin sınıfları ve zemin grupları (TDY, DBYBHY, TBYYH vb. yönetmeliklere göre) yapılmıştır (TDY, 1998; TDY, 2007; TBYYH, 2018; NEHRP, 2003; Eurocode 8, 2004).

Yukarıdaki bilgileri içeren haritalar tezlerden toplanmıştır. Toplanan veriler, coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımları ve veri işleme araçları kullanılarak dijital ortama aktarılmış ve bölgesel dağılımları analiz edilmiştir. Çalışmalarda kullanılan başlıca analiz yöntemleri şunlardır:

- Zemin sınıflandırması: TDY 1998, TDY 2007, DBYBHY 2007, TBYYH 2018 ve

uluslararası yönetmeliklere (NEHRP, Eurocode 8) göre zeminlerin sınıflandırılması yapılmıştır.

- Zemin büyütmesi ve hakim periyot analizi: Literatürde yer alan büyütme katsayıları ve hakim periyot değerleri incelenmiş, zemin-yapı rezonans riski açısından değerlendirmeler yapılmıştır (Ansal, 1995; Yalçınkaya, 2010).
- Mikrobölgeleme haritaları: Toplanan veriler kullanılarak; Vs30, SPT-N30, büyütme, hakim periyot, sıvılaşma, yeraltı su seviyesi, yamaç stabilitesi gibi tematik haritalar oluşturulmuş ve bölgesel bazda karşılaştırmalı analiz yapılmıştır (KRDAE, 2004).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Veri Tabanı Oluşturulması

Bu çalışmada Türkiye’de yayımlanmış **mikrobölgeleme** tezlerinden elde edilen haritalar kullanılarak sayısal veri tabanı oluşturulmuştur. Mikrobölgeleme haritalarının toplanması, düzenlenmesi ve analiz edilmesi aşamalarında aşağıdaki yöntemler uygulanmıştır. Literatürde yer alan mikrobölgeleme çalışmalarından elde edilen haritalar, Corel Capture programı kullanılarak dijital ortama aktarılmıştır. Bu işlem sırasında aşağıdaki adımlar takip edilmiştir:

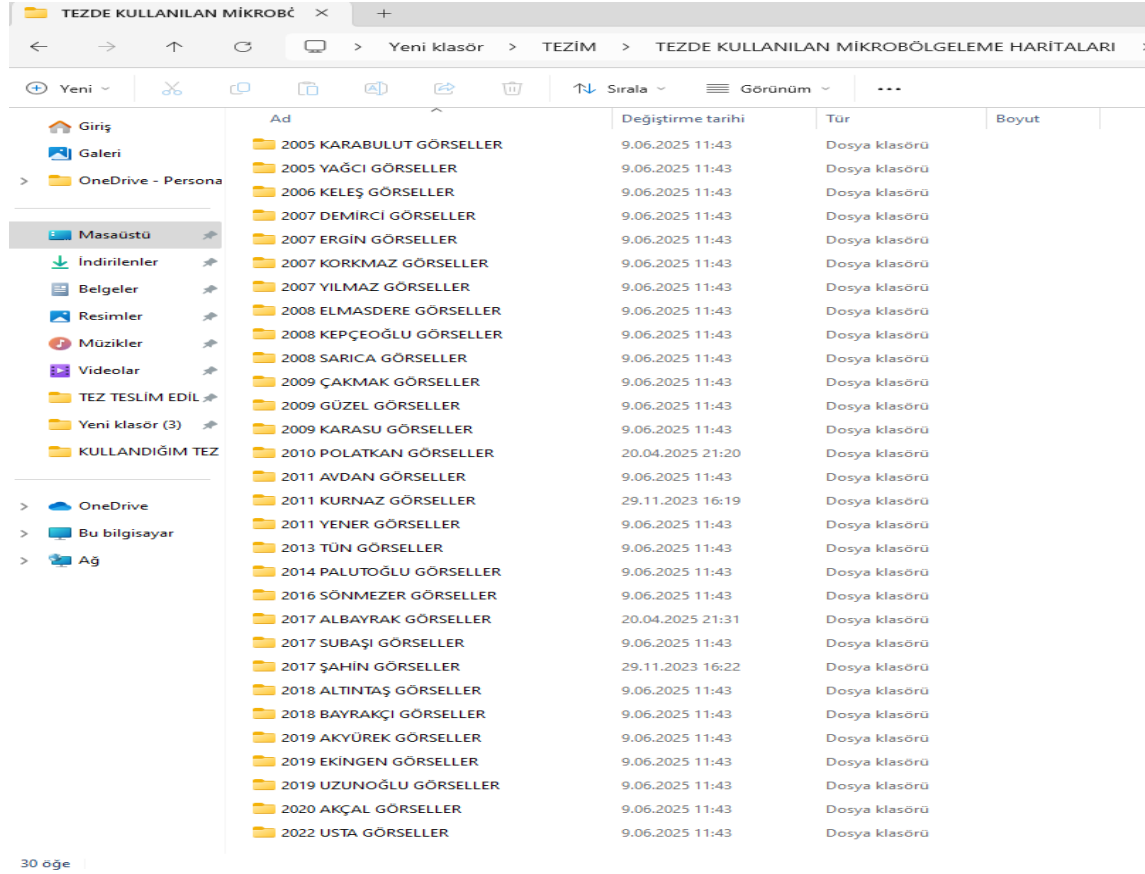
- Programın source sekmesinden area capture seçeneği işaretlenmiştir.
- Activation sekmesinde, ekran görüntüsü almak için hot key: F7 tuşu atanmıştır.
- Image sekmesinden görüntü tipi RGB Color (24-bit) olarak belirlenmiş ve çözünürlük (resolution) 300 dpi olarak ayarlanmıştır.
- Destination sekmesinden dosya kaydedilecek klasör seçilmiş, görüntü adı file name kısmına yazılmış ve dosya .jpg formatında kaydedilmiştir.
- Ardından continue tıklanarak işlem başlatılmış ve F7 tuşuna basılarak hedef sembolü yakalanmak istenen mikrobölgeleme haritası üzerine yerleştirilmiş, enter tuşu ile yakalama tamamlanmıştır.

Bu işlemle, çeşitli tezlerde yer alan mikrobölgeleme haritaları ayrı ayrı dosya ve klasörlerde dijital olarak toplanmıştır. Toplanan mikrobölgeleme haritaları, ArcGIS Pro yazılımı kullanılarak Türkiye haritası üzerinde konumlandırılmıştır. Bu aşamada; sadece YÖK Tez Merkezi’nde yayımlanan, mikrobölgeleme amaçlı hazırlanmış olan çalışmalar değerlendirmeye alınmıştır. Bu çalışmaları aşağıda gösterildiği gibi klasörde toplanmıştır (Şekil 3.1).

Ad	Değiştirme tarihi	Tür	Boyut
2005_KARABULUT_YL_Büyükçekmece ilç...	13.02.2023 23:32	Adobe Acrobat Be...	3.479 KB
2005_YAĞCI_DR_Mikrobölgeleme metod...	13.02.2023 23:32	Adobe Acrobat Be...	4.982 KB
2006_KELEŞ_YL_Düzce ili mikrobölgesel z...	13.02.2023 23:30	Adobe Acrobat Be...	18.579 KB
2007_DEMİRCİ_YL_Çanakkale şehir merke...	13.02.2023 23:28	Adobe Acrobat Be...	2.440 KB
2007_ERGİN_YL_Antik Galata Bölgesi'nin ...	13.02.2023 23:29	Adobe Acrobat Be...	7.285 KB
2007_KORKMAZ_YL_Mikrobölgeleme çalı...	13.02.2023 23:28	Adobe Acrobat Be...	17.199 KB
2007_YILMAZ_YL_Coğrafi bilgi sistemleri ...	13.02.2023 23:22	Adobe Acrobat Be...	1.679 KB
2008_ELMASDERE_YL_Isparta Mavikent y...	13.02.2023 23:21	Adobe Acrobat Be...	4.832 KB
2008_KEPÇEOĞLU_YL_Bursa ili Güzelyalı ...	13.02.2023 23:16	Adobe Acrobat Be...	78.270 KB
2008_SARICA_YL_Isparta il merkezi mikro...	13.02.2023 23:17	Adobe Acrobat Be...	7.028 KB
2009_ÇAKMAK_YL_Kayseri ili depreselli...	13.02.2023 22:36	Adobe Acrobat Be...	17.358 KB
2009_GÜZEL_DR_Mikrobölgeleme çalışm...	13.02.2023 23:14	Adobe Acrobat Be...	6.055 KB
2009_KARASU_YL_Bakırköy ilçesinin mikr...	13.02.2023 22:37	Adobe Acrobat Be...	14.893 KB
2010_POLATKAN_YL_Çok kriterli analiz te...	13.02.2023 22:34	Adobe Acrobat Be...	4.667 KB
2011_AVDAN_DR_Yerel sismik ağ ve mikr...	13.02.2023 21:34	Adobe Acrobat Be...	8.366 KB
2011_KURNAZ_DR_Istanbul Esenler zemin...	13.02.2023 21:30	Adobe Acrobat Be...	12.711 KB
2011_YENER_YL_Altınova bölgesinin arazi...	13.02.2023 21:31	Adobe Acrobat Be...	7.593 KB
2013_TÜN_DR_Mikrobölgeleme çalışmala...	13.02.2023 21:28	Adobe Acrobat Be...	55.176 KB
2014_PALUTOĞLU_DR_Elaziğ kent merkez...	13.02.2023 21:27	Adobe Acrobat Be...	14.728 KB
2016_SÖNMEZER_DR_Kırıkkale şehir merke...	13.02.2023 21:25	Adobe Acrobat Be...	11.273 KB
2017_ALBAYRAK_YL_1999 Marmara Depr...	13.02.2023 21:23	Adobe Acrobat Be...	10.607 KB
2017_SUBAŞI_YL_Tek boyutlu dinamik an...	13.02.2023 21:18	Adobe Acrobat Be...	7.095 KB
2017_ŞAHİN_YL_Erzurum il merkezinde e...	13.02.2023 21:21	Adobe Acrobat Be...	14.668 KB
2018_ALTINTAŞ_YL_Sismik mikrobölgeme...	13.02.2023 21:17	Adobe Acrobat Be...	6.432 KB
2018_BAYRAKÇI_YL_Osmaniye kent merke...	13.02.2023 21:15	Adobe Acrobat Be...	5.157 KB
2019_AKYÜREK_YL_Karasu ilçesinin mikro...	13.02.2023 21:13	Adobe Acrobat Be...	6.538 KB
2019_EKİNGEN_DR_Mersin ili için coğrafi ...	13.02.2023 21:11	Adobe Acrobat Be...	9.442 KB
2019_UZUNOĞLU_YL_Aydın il merkezind...	13.02.2023 21:08	Adobe Acrobat Be...	6.673 KB
2020_AKÇAL_DR_Antalya ili merkez ilçe z...	13.02.2023 21:06	Adobe Acrobat Be...	4.720 KB
2022_USTA_DR_Gümüşhane ve çevresinin...	13.02.2023 20:55	Adobe Acrobat Be...	4.426 KB

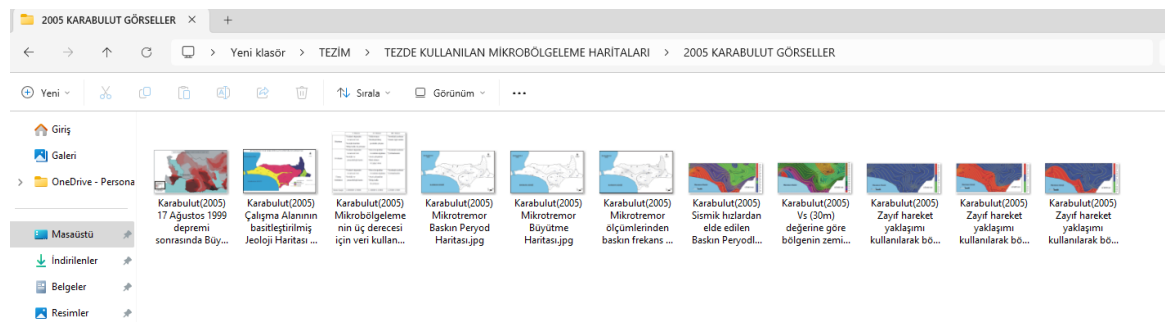
Şekil 3.1. Veri tabanında kullanılan çalışmalar için oluşturulan klasör

Tez kapsamında yararlanılan mikrobölgeleme çalışmalarına ait haritalar, düzenli bir biçimde ayrı klasörler altında arşivlenmiş ve aşağıda sunulmuştur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Veri tabanında kullanılan çalışmalardan alınan haritaların klasörleri

Aşağıda sunulan, tez isimlerine göre ayrı ayrı klasörlenmiş görseller; tez çalışmalarından elde edilen mikrobölgeleme haritalarının Corel Capture programı kullanılarak alınmasıyla oluşturulmuş ve arşivlenmiştir (Şekil 3.3). Bu haritaların arşiv görüntüleri, tezin eki olarak verilen CD’de Ek 2 olarak teze eklenmiştir.



Şekil 3.3. Veri tabanında kullanılan bir çalışmadan alınan haritaların klasör görüntüsü. Bütün haritalar jpeg formatındadır ve veri tabanında sayısallaştırılmıştır

3.2. Veri Tabanında Yer Alan Haritaların Sayısallaştırılması

Bu tezde kullanılan haritaların sayısallaştırma yani jeoreferanslama (georeferencing işlemi) aşağıdaki adımlar halinde ArcGIS Pro programı kullanılarak yapılmıştır.

Aşağıda sayısallaştırma (jeoreferanslama) metodu adımlar halinde özetlenmiştir. Sayısallaştırma işleminin videosu bu çalışmanın Ek 3'ü olarak CD içerisinde verilmektedir. Ayrıca Sayısallaştırma işlemi bir sonraki bölümde görsellerle anlatılmaktadır.

1. Adım: Hazırlık ve Haritayı Anlama

Haritada aşağıdaki öğeler “georeferencing” için referans alınabilecek sabitler olarak kullanılır:

- Koordinat gridleri: Haritalarda, haritanın doğası gereği enlem ve boylamı gösteren koordinatlar bulunur ve georeferencing işlemi için kullanılır. Örneğin bazı haritalarda enlem ve boylamları gösteren UTM koordinatları kullanılır.
- Haritalarda yer alan referans yerleşimler de sayısallaştırmada dikkate alınır.
- Haritada yer alan uzanımı ve coğrafi yapısı bilinen unsurlar sayısallaştırmada kullanılır (örneğin nehirler, dereler, sırtlar vb.).
- Aynı şekilde, yol ve demiryolu ağı gibi birçok haritada yer alan mühendislik yapıları da temel topografik eşleştirme için kullanılır.

Bu ve benzeri, hem sayısal altlık haritalarda hem de sayısallaştırılacak haritalardaki öğeler sayesinde harita, mevcut coğrafi katmanlara göre hizalanabilecektir. Bu unsurlar gözden geçirildikten sonra ArcGIS Pro programı açılır ve proje oluşturulur.

- ArcGIS Pro programının açılması ve proje oluşturulması
 - ArcGIS Pro programı başlatılır.
 - Yeni bir proje oluşturulur (tüm haritalar tek projede toplandığından bu işlem bu çalışmada yalnızca bir kez yapılmıştır).
 - Menüden Insert > New Map komutları ile boş bir harita görünümü açılır.

2. Adım: JPEG Haritayı Sayısal Ortama Ekleme

- Menü: Map > Add Data > Data yolu izlenir.
- İlgili JPEG dosyası yani veri tabanında kullanılacak harita(lar) seçilir.

- Add Data adımı sonrası harita açılır, ancak başlangıçta henüz koordinatsız bir durumdadır.

3.Adım: Referans Katmanları Ekleme

- Haritayı oturtmak için 1. Adımda bahsedilen referans katmanlar kullanılır.
 - OpenStreetMap, World Topographic Map, SHP yol/veri katmanları referans olarak eklenir.
- Menü: Map > Basemap > Imagery ya da Topographic seçenekleri kullanılır.

4. Adım: Georeferencing Panelinin Açılması

- Programa yüklenen JPEG katmanına (harita) sağ tıklanır > Data > Georeference seçilir.
- Georeferencing araç çubuğu programda üst kısımda **açılır**.
- Görüntü, henüz sayısallaştırılmadığı için haritada görülmüyorsa, Fit to Display'e tıklanır ve görüntü ekrana sığdırılır.

5. Adım: Kontrol Noktaları (GCP) Ekleme

- Menü: Georeferencing > Add Control Points seçilir.
- JPEG üzerindeki referans olabilecek bir köşe veya nokta üzerine tıklanır.
- Aynı noktanın referans haritadaki karşılığına tıklanır ve bağlantı oluşturulur.
- En az 4 haritanın çeşitli alanlarına dağılmış nokta, ideal olarak ise 6 ila 8 nokta sayısallaştırma işlemi için seçilir.

6. Adım: Dönüşüm Türünün Seçilmesi

- Menü: Transformation > First Order Polynomial (Affine) seçilir.
- Bu dönüşüm türü, doğrusal ve ölçekli dönüşümler için kullanılır.

7. Adım: Georeference Kaydetme

Seçenek A – Geçici Kaydetme (World File oluşturulması):

- Menü: Save seçilir.
- JPEG dosyasının yanında .jgw gibi bir world file oluşturulur.

Seçenek B – Kalıcı Yeni Raster (Tavsiye edilir):

- Menü: Georeference > Save As > New seçilir.
- Yeni dosya adı verilir (örneğin: georeferenced_aluvyon.tif).
- Format olarak GeoTIFF seçilir.
- Bu dosya artık koordinatlı bir raster haline gelir ve başka platformlarda da kullanılabilir.

8. Adım: RMS Hatasını Kontrol Etme (Opsiyonel)

- Menü: View Link Table açılır.
- RMS Error değeri burada görüntülenir.
- Genellikle 1 piksel altı RMS tercih edilir (ideal: 0.3–0.8).

9. Adım: Sonuç

Tüm adımlar sonunda sayısallaştırılan jpeg dosya, ArcGIS Pro içinde koordinatlı ve diğer verilerle uyumlu hale getirilmiş olur. Bundan sonra:

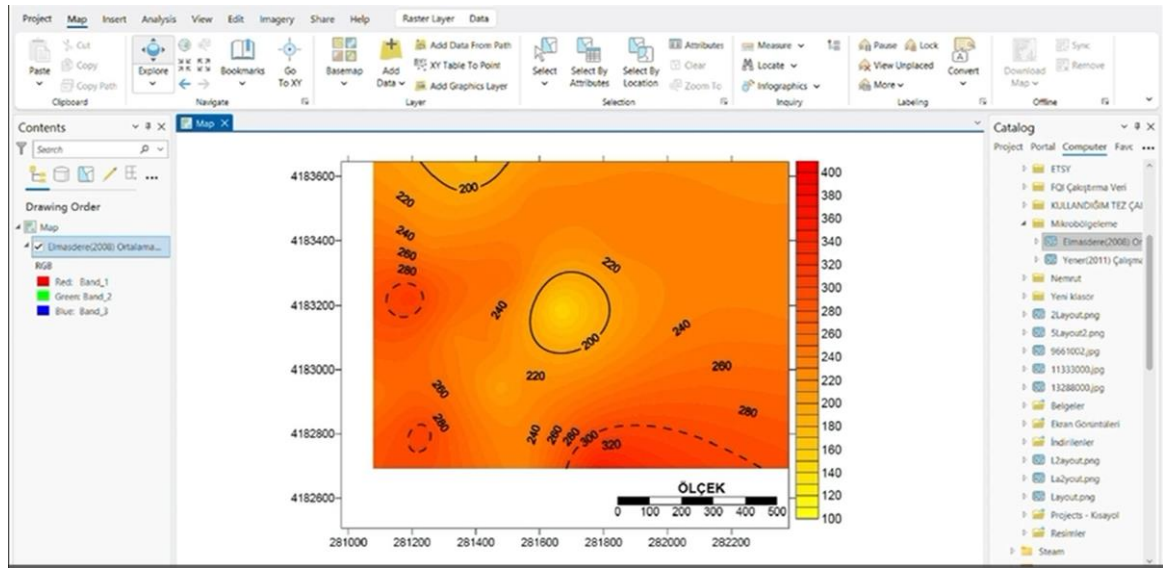
- Sayısallaştırma (digitizing) işlemleri yapılır,
- Raster analizler uygulanır,
- Sonuçlar ArcGIS Online üzerinden paylaşılır.

3.2.1. Sayısallaştırma İşleminin Görsel Anlatımı

Sayısallaştırmanın görsel anlatımında, bu tezde oluşturulan veri tabanında yer alan Emin Elmasdere (2008)'nin "Isparta Mavikent Yerleşim Bölgesinin Sismik Mikrobölgelemesi ve Değerlendirilmesi" başlıklı yüksek lisans tezinde yer alan "Ortalama Vs (8–12 m) Haritası"nın sayısallaştırılması işlemi anlatılmaktadır. Bu sayede, sayısallaştırma sürecine ilişkin yöntemler ve uygulama adımlarının daha iyi anlaşılması hedeflenmiştir. Veritabanında yer alan diğer haritalar için de aynı adımlar uygulanmıştır.

Sayısallaştırma 1. Adım

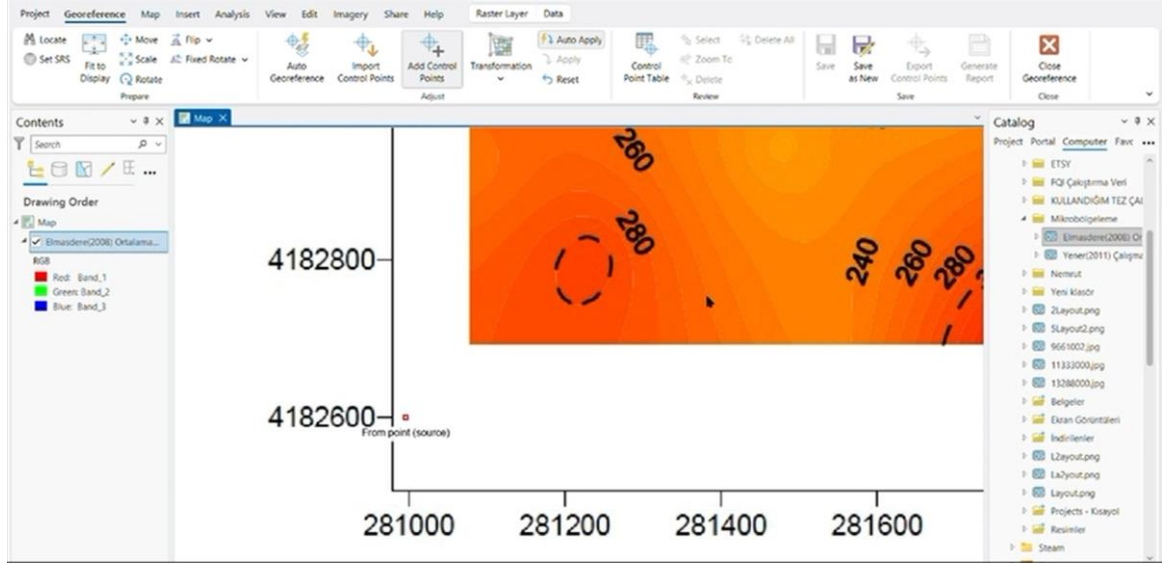
Bu adım tezin ekinde yer alan CD’de bulunan, Ek 3 dosyasında verilen videodaki Ekran 1 (00:00)’de görülmektedir. Proje ArcGIS Pro ortamında başlatılmış halde olup çalışmanın başlangıcında orijinal harita rasteri ve varsa ilişkilendirilecek diğer veri kümeleri projeye katman (layer) olarak eklenmiştir. Bu adımda ham görüntülerin proje ortamına aktarılması sağlanmış, sonraki georeferanslama işlemleri için temel oluşturulmuştur (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Veri tabanında Katman Ekleme (Add Data) adımı (Ek 3 videoda 00:10 – 00:25 arası)

Sayısallaştırma 2. Adım

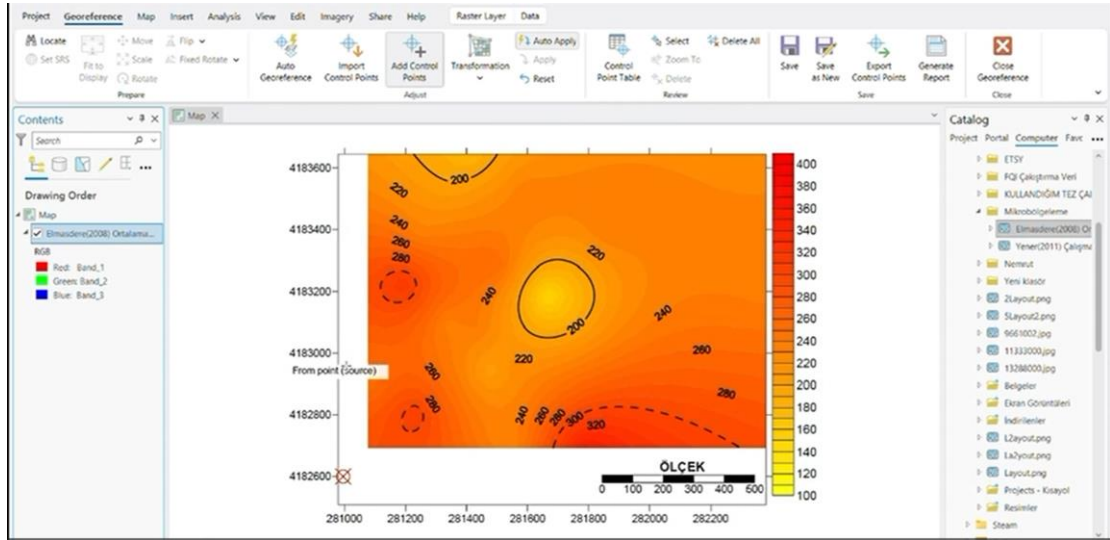
Proje koordinat sistemi, çalışma alanının coğrafi tanımlarıyla uyumlu olacak şekilde belirlenmiş veya mevcut koordinat referansı uygun sisteme dönüştürülmüştür (Şekil 3.5). Bu işlem, veri bütünlüğü ve doğru konumsal örtüşme için elzemdir.



Şekil 3.5. Veri tabanında koordinat sistemi değiştirme adımı (Ek 3 videoda 00:26 – 00:40 arası)

Sayısallaştırma 3. Adım

Georeferans (konum referanslama) aracı başlatılmış; ilgili raster görüntü georeferanslama modülüne yüklenmiştir (Şekil 3.6). Bu modül, görüntü üzerindeki piksel konumlarının gerçek dünya koordinatlarına bağlanmasını sağlayacak kontrol noktalarının eklenmesine imkân verir.

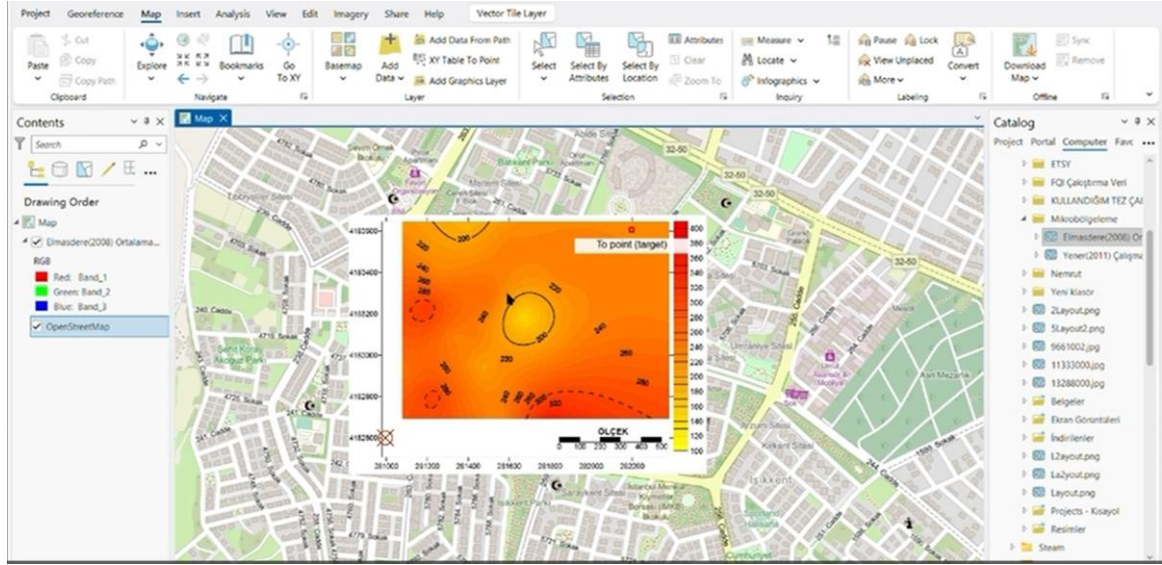


Şekil 3.6. Veri tabanında georeference açma adımı (Ek 3 videoda 00:41 – 01:05 arası)

Sayısallaştırma 4. Adım

Bilinen coğrafi koordinatlara veya harita üzerindeki ayırt edici noktalara (ör. yol

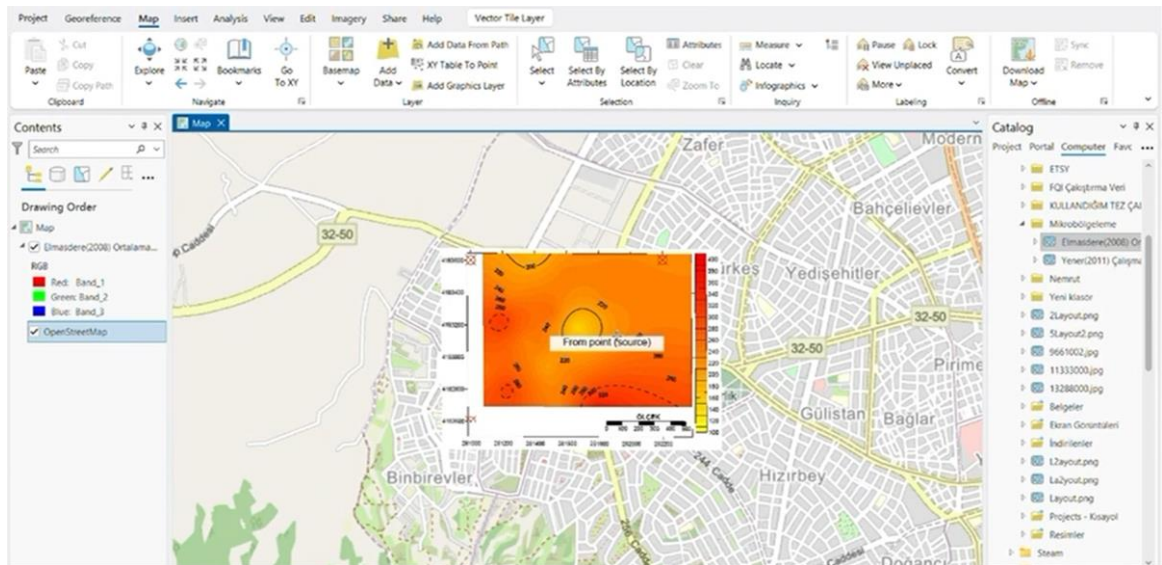
kavşakları, köşe işaretleri) dayanarak ilk kontrol noktası (control point) tanımlanmıştır(Şekil 3.7). Bu nokta, görüntünün gerçek dünya konumuna hizalanmasında başlangıç referansı oluşturur.



Şekil 3.7. Veri tabanında İlk Control Point ekleme adımı (Ek 3 videoda 01:06 – 01:40 arası)

Sayısallaştırma 5. Adım

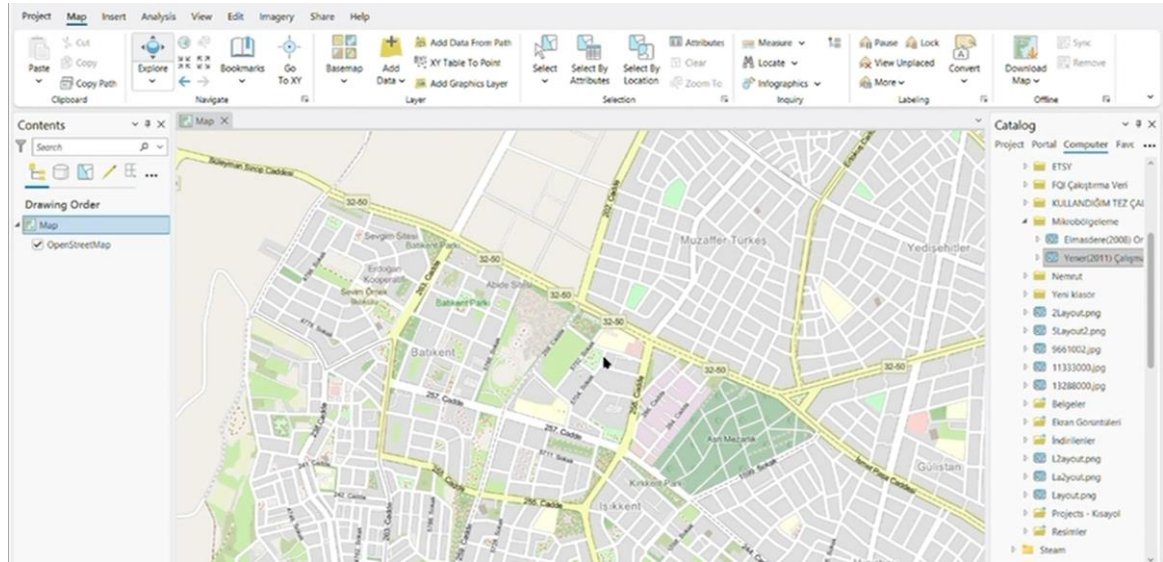
Belirlenen kontrol noktasının doğruluğu, açıkça belirtilen X,Y koordinatlarına gidilerek görsel ve sayısal olarak teyit edilmiştir (Şekil 3.8). Bu adım, kontrol noktasının kesin konumlandırılmasını ve hataların erken evrede yakalanmasını sağlar.



Şekil 3.8. Veri tabanında Go to X,Y ile yer tespiti adımı (Ek 3 videoda 01:41 – 02:00 arası)

Sayısallaştırma 6. Adım

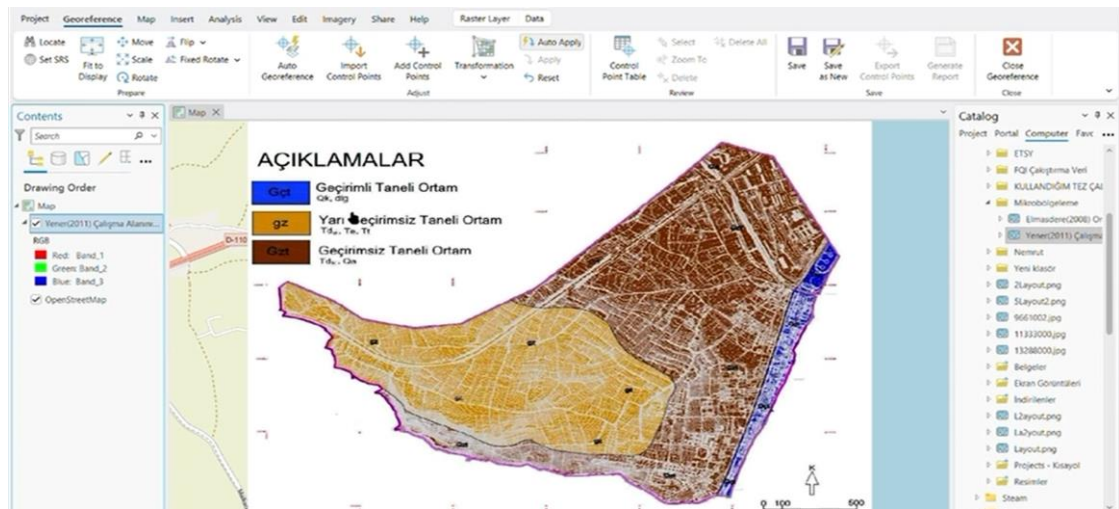
Doğrulama ve kontrol amacıyla proje içerisine bir altlık harita (basemap) eklenmiştir (Şekil 3.9). Altlık, kontrol noktalarının doğruluğunu görsel olarak destekleyerek georeferanslama sürecinin hassasiyetini artırır.



Şekil 3.9. Veri tabanında Basemap ekleme adımı (Ek 3 videoda 02:01 – 02:30 arası)

Sayısallaştırma 7. Adım

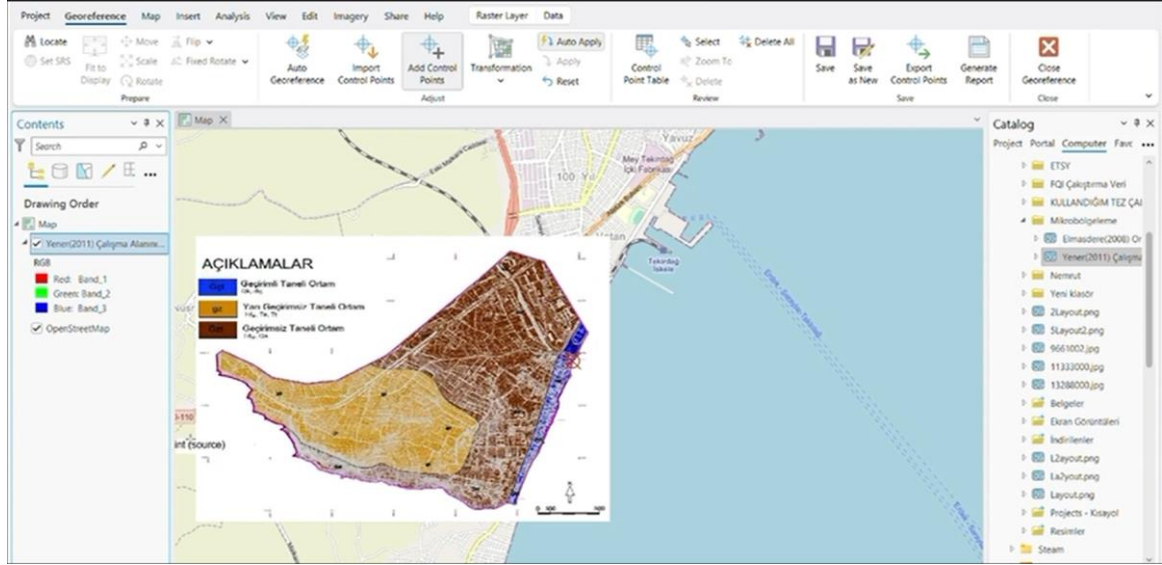
Görüntü üzerindeki köşe ve kenar bölgelerinden çapraz (karşılıklı) kontrol noktaları eklenmiştir (Şekil 3.10). Köşelerden seçilen çapraz noktalar, dönüşüm hesaplamalarında daha dengeli bir uyum sağlamak üzere tercih edilmiştir.



Şekil 3.10. Veri tabanında Köşelerden çapraz nokta ekleme adımı (Ek 3 videoda 02:31 – 03:10 arası)

Sayısallaştırma 8. Adım

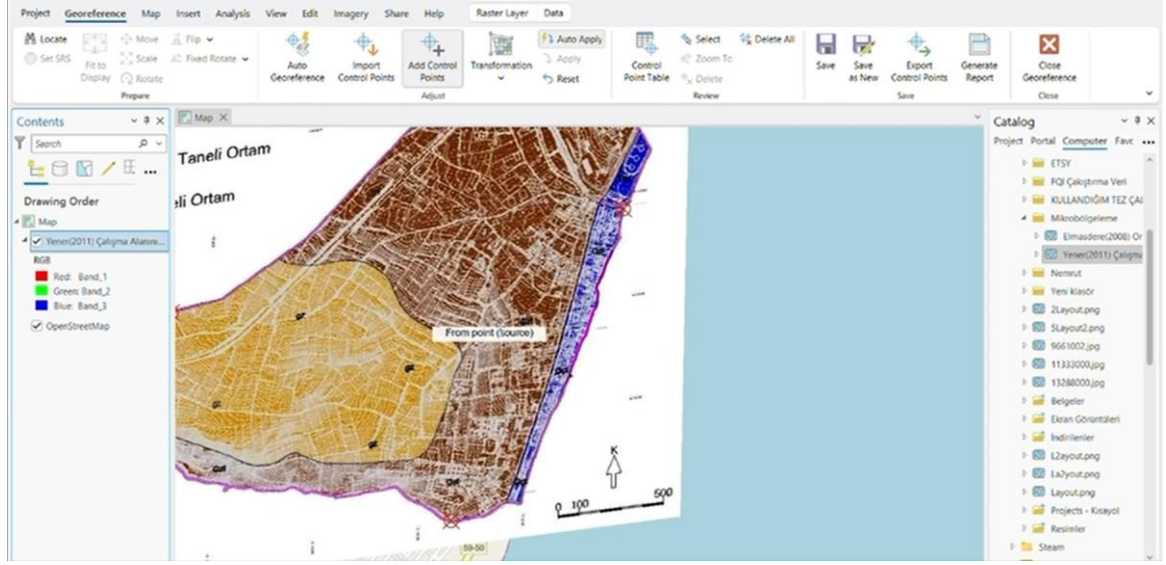
Aynı veya bağlantılı veri setinin ikinci bir harita görüntüsü projeye çağrılmış ve georeferanslama süreci için hazır hâle getirilmiştir (Şekil 3.11). Bu adım, farklı raster katmanların birbirleriyle tutarlı hâle getirilmesi amacıyla yapılır.



Şekil 3.11. Veri tabanında İkinci haritayı çağırma (Add Data – Imagery – Georeference) adımı (Ek 3 videoda 03:11 – 03:50 arası)

Sayısallaştırma 9. Adım

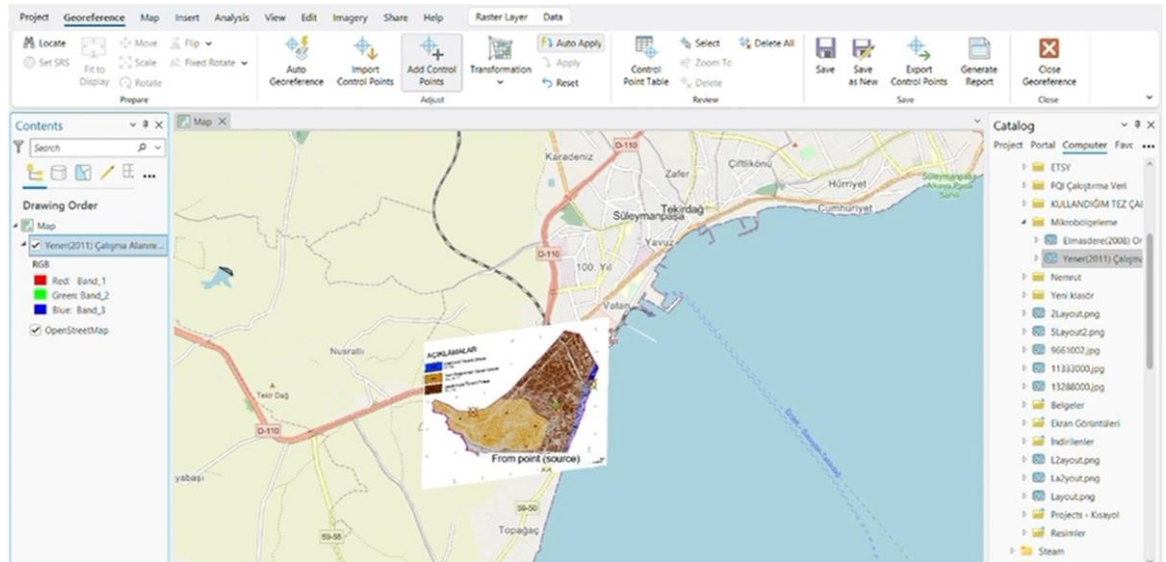
İkinci harita üzerinde, daha önce tanımlanan referans noktalarına karşılık gelecek şekilde yeni kontrol noktaları eklenmiştir (Şekil 3.12). Bu işlem, haritalar arası örtüşmenin sağlanması ve veri bütünlüğünün korunması için gerçekleştirilir.



Şekil 3.12. Veri tabanında İkinci haritaya Control Point ekleme adımı (Ek 3 videoda 03:51 – 04:20 arası)

Sayısallaştırma 10. Adım

Tüm kontrol noktaları kullanılarak georeferans dönüşümü uygulanmış, çapraz kontrollerle hizalama doğrulanmış ve gerekirse ince ayarlar yapılmıştır (Şekil 3.13). Son aşamada georeferanslı raster dosyası uygun formatta kaydedilerek teze eklenen CD ortamına yüklenmiştir.



Şekil 3.13. Veri tabanında Çapraz noktalarla işlemi tamamlama adımı (Ek 3 videoda 04:21 – 05:00 arası)

4. MİKROBÖLGEME ARAŞTIRMA KONULARI, KULLANILAN YÖNTEMLER VE YAYGIN HARİTALAR

Oluşturulan veri tabanında yer alan çalışmalar mikrobölgeleme amaçlı hazırlanan tezler olduğu için mikrobölgeleme kavramının anlaşılması önemlidir. Mikrobölgeleme, literatürde farklı araştırmacılar tarafından farklı yönleriyle tanımlanır. Hays (1980) ile Sharma ve Kovacs (1980), kavramı yer sarsıntısı etkisi altındaki zemin davranışı ya da yamaç stabilitesine bağlı olarak belirli bir alanın daha küçük alt bölgelere ayrılması süreci olarak ele alırken, Nigg (1982) bunu deprem sonrası yapısal ve altyapısal hasarların azaltılmasına yönelik planlama ve politika geliştirmeyi destekleyen bir araç olarak görür. Sherif (1982), jeolojik, sismolojik ve geoteknik verilerin sosyoekonomik ve politik faktörlerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulayarak mikrobölgelemeyi işlevsel ve güvenli bölgelerin tanımlanmasına yönelik bütüncül bir yaklaşım olarak tanımlar. Finn (1991), yerel zemin koşullarının sismik tasarım hesaplarına dahil edilmesini sağlayan teknik bir prosedürler dizisinden söz ederken; Wang ve Law (1994), şiddet ve spektral özellikler gibi parametrelerle alanın daha küçük birimlere ayrılarak detaylı mühendislik değerlendirmeleri yapılabildiğini belirtir. Ansal ve ark. (2001; 2003), yerel zemin tabakalarının olası bir depremdeki davranışını ve bunun yapılar üzerindeki mekânsal değişkenliğini ortaya koymaya yönelik yöntemsel bir çerçeve sunar. Yener (2011), mikrobölgelemeyi kent planlama, kentsel dönüşüm ve afet yönetiminin temel bileşenlerinden biri olarak tanımlar. Subaşı (2017) ve Albayrak (2017), yerel zemin koşulları ve tasarım parametrelerinin doğru belirlenmesinin deprem etkilerinin azaltılması ve dayanıklı yapı tasarımı için zorunlu olduğunu, mikrobölgelemenin yerleşime uygunluk, şehir planlaması ve arazi kullanımı için kritik bilgi ürettiğini vurgular; Subaşı (2017) ayrıca CBS tabanlı büyük ölçekli mikrobölgeleme haritalarının yerel zemin koşullarını detaylı gösterdiğini, ulusal makrobölgeleme haritalarının ise bunu dikkate almadığını belirtir. Özçep (2019), mikrobölgeleme etütlerinin çoğunlukla CBS altyapısıyla yürütüldüğünü, inceleme alanının “hücre” ya da karelay adı verilen alt birimlere bölündüğünü ve karelay yoğunluğunun hem mekânsal detay hem de analitik doğruluk üzerinde belirleyici olduğunu; jeolojik ve topoğrafik heterojenlik arttıkça daha sık karelay uygulanmasının önerildiğini ifade eder.

Tezde yer alan, mikrobölgeleme amaçlı hazırlanmış haritaların oluşturulması sürecinde araştırılan konular ve metodlar aşağıda anlatılmaktadır.

4.1. Mikrobölgeleme Çalışmalarında Araştırılan Konular

Deprem riskini azaltmak ve yapıların deprem yükleri altındaki güvenliğini sağlamak amacıyla, dinamik etkiler Deprem Yönetmelikleri'nde tanımlanarak tasarım sürecine dâhil edilmektedir. Bu kapsamda mikrobölgeleme çalışmaları, ada/parsel ölçeğinde ve en az 30 m derinliğe kadar, sismik özellikler, yamaç duraylılığı, yeraltı su seviyesi, zemin sıvılaşma potansiyeli, zemin büyütmesi ve yüzey faylanması gibi başlıca parametreleri bütüncül olarak değerlendirmektedir (Tablo 4.1; Ergin, 2007; Çakmak, 2009; Güzel, 2009).

Tablo 4.1. Mikrobölgeleme temel parametreleri ve tanımları

Parametre	Tanım	Temel Kaynaklar
Sismik Özellikler	Vs, Vp, yoğunluk, T ₀ gibi jeofizik parametreler zemin-tepkili ve yer hareketi davranışını belirler.	Ergin (2007); Çakmak (2009)
Yamaç Duraylılığı	Deprem/yağış etkisiyle heyelan ve şev kaymalarının oluşma potansiyeli değerlendirilir.	Ergin (2007); Güzel (2009); Çakmak (2009)
Yeraltı Suyu Seviyesi	YASS derinliği zemin davranışını, büyütme ve sıvılaşma riskini etkiler.	Gül (1972); Ergin (2007); Çakmak (2009)
Zemin Sıvılaşması	Doygun ve gevşek kumlu zeminlerde deprem sırasında mukavemet kaybı değerlendirilir.	Ergin (2007); Güzel (2009); Çakmak (2009); Pampal & Özmen (2009)
Zemin Büyütmesi	Yumuşak zeminlerde deprem dalgası genlik artışı ve rezonans etkisi incelenir.	Yalçınkaya (2010); Güzel (2009); Çakmak (2009)
Yüzey Faylanması	Aktif fayların deprem sırasında yüzeyde oluşturabileceği yer değiştirmeler ve etkileri değerlendirilir.	Agrawal (1993); WIDRM (2004a,b); Ergin (2007); Çakmak (2009)

4.2. Mikrobölgeleme Çalışmalarında Kullanılan Yöntemler

Mikrobölgeleme çalışmaları, jeoloji, jeofizik, geoteknik, inşaat mühendisliği ve Coğrafi Bilgi Sistemleri gibi disiplinlerin eşgüdümlü çalışmasını gerektiren çok disiplinli bir süreçtir. Jeoloji mühendisleri diri fayları, muhtemel yüzey kırıklarını ve yüzey jeolojisini tanımlarken diğer doğal afet tehlikelerini de belirler (Ansal ve Mercellini, 1998; Ergin, 2007; Çakmak, 2009). Jeofizik mühendisleri, deprem kayıtları, depremsellik ve P-S dalga

hızları gibi verilerle zemin tabakalarının elastik özelliklerini, hâkim titreşim periyotlarını ve büyütme katsayılarını ortaya koyarak sahaya özel sismik tehlike analizleri için temel parametreleri üretir (Karabulut, 2005; Ergin, 2007; Çakmak, 2009). Geoteknik ve inşaat mühendisleri, zeminlerin mühendislik özelliklerini, sıvılaşma, oturma ve yanal yayılma potansiyelini değerlendirir; gerektiğinde hızlı tarama ve performans analizleriyle olası hasar ve kayıpları içeren sismik risk analizleri yürütür (Karabulut, 2005). CBS uzmanları ve/veya coğrafyacılar, tüm bu verileri hücresel (grid/karelej) yapı içinde toplayıp analiz ederek mikrobölgeleme haritalarının sayısal ortamda üretilmesini sağlar (Çakmak, 2009; Özçep, 2019). Hücre boyutu, alanın jeolojik heterojenliği, topoğrafik çeşitliliği, sismik tehlike düzeyi ve mali imkânlarla bağlı olarak homojen kayaçlarda 500–1000 m, daha homojen zeminlerde 250–500 m, karmaşık ve yüksek riskli bölgelerde ise 50–250 m aralığında seçilir; böylece hem mekânsal çözünürlük hem de maliyet arasında dengeli bir çözüm elde edilir (Özçep, 2019; Uzunoğlu, 2019). Son aşamada, bu disiplinlerden elde edilen veriler ışığında kullanılan jeoteknik ve jeofizik yöntemler, yalnızca amaçları kısaca belirtilerek özetlenir; ayrıntılı uygulama açıklamaları ilgili kitap ve araştırma çalışmalarından takip edilir (Coduto, 2006; Özçep, 2007).

Jeoloji, yer kürenin oluşumu, gelişimi ve üzerindeki süreçleri inceleyen temel yerbilimi dalıdır ve mikrobölgelemede formasyonların yayılımı, kalınlığı, tabaka istifi, tane boyu ve ardalanma özelliklerini ortaya koyarak geoteknik ve jeofizik etütlere temel veri sağlar (Ergünay vd. 2008; Avdan, 2011). Tabakaların tektonik deformasyonla eğik, dik, devrik veya yatık hale gelmesi zemin dinamik davranışını etkilediğinden bu yapısal özellikler; fayların konumu, türü ve zon içi ezilme–parçalanma alanları ise hem deprem kaynağı hem de farklı mühendislik özelliklerine sahip zayıf zonların tanımlanması için mutlaka haritalanmalıdır. Deprem üretme özelliğini kaybetmiş (aktif olmayan) faylar dahi, çevre zeminle farklı davranış gösterebildikleri için mikrobölgeleme yorumuna dâhil edilmelidir. Mikrobölgelemede geoteknik araştırmaların temelini sondajlar oluşturur. Sondaj, yeraltı birimlerinin litolojisi, tabakalanma durumu ve yeraltı su seviyesi gibi fiziksel–mekanik özelliklerini doğrudan belirlemeye yönelik kontrollü delgi işlemidir ve elde edilen veriler zemin sınıflaması, temel tasarımı ve mikrobölgeleme kararlarında kritik rol oynar (Yılmaz, 2007). Sondajlar; jeolojik bilgi toplama, kuyu jeofiziğiyle yeraltı yapısının aydınlatılması ve yeraltı su seviyesinin belirlenmesi (sıvılaşma ve taşıma gücü kaybı riskinin değerlendirilmesi) amaçlarıyla kullanılır; süreçte çeşitli yerinde (in-situ) deneyler de

uygulanır ve mikrobölgelemede yaygın kullanılan geoteknik yöntemler Tablo 4.2’de özetlenmiştir.

Tablo 4.2. Mikrobölgeleme çalışmalarında yaygınca kullanılan geoteknik yöntemler

Yöntem	Direkt Olarak Tanımlanan Zemin Özelliği	Belirlenmesine Katkı Verdiği Zemin Dinamik Parametreleri
Sondaj ve Saha Deneyleri - CPT Deneyi - SPT Deneyi	- Yer altı su seviyesi. - SPT-N değerleri, - Litoloji, - Zeminin dayanım-ayırışma derecesi, - Çatlakların durumu, - CPT deneyleri ile: a- Koni penetrasyon direnci, b- Çevre sürtünmesi, c- Gözenek basıncı.	• Sıvılaşma analizleri • Yerel zemin sınıfı haritalarının oluşturulması • Kuyu jeofiziği ile tabakalar bazında Vs hızlarının ölçülmesi • Karot alımıyla zemin seviye haritalarının çıkarılması • CPT ile sürekli zemin profili, yeraltı su seviyesi, gözenek suyu basıncı, sıklık, SPT eşdeğeri ve temel jeoteknik parametrelerin belirlenmesi; taşıma gücü, oturma, sıvılaşma ve kazıklı temel tasarımında kullanılması • SPT N değerleriyle zeminin sıklık/gevşeklik, sertlik, kayma direnci, taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma potansiyelinin ampirik olarak değerlendirilmesi • Heyelan analizleri • Sondajlar yardımıyla fay düzlemlerinin zemin içindeki konumunun belirlenmesi • Alüvyon/formasyon kalınlıklarının ve (mümkünse) anakaya derinliğinin tespiti
Laboratuvar Deneyleri	- Atterberg Limitleri, - Doğal Su Muhtevası, - Elek Analizi ile Zemin Sınıflaması, - Seçilen örnekler için Hidrometre testi.	• Atterberg limitleri, kil ve silt gibi ince taneli zeminlerin neme bağlı kıvam değişimini tanımlar; sıvı limiti (LL), plastiklik limiti (PL) ve büzülme limiti (SL) ile zeminin mühendislik davranışını öngörmeye yardımcı olur. • Doğal su muhtevası deneyi, zeminin su içeriği, birim hacim ağırlığı, yoğunluğu ve gözenekliliğini belirleyerek dayanım ve deformasyon özelliklerinin değerlendirilmesini sağlar. • Elek analizi, zemin numunesindeki dane boyu dağılımını ve buna bağlı zemin sınıflamasını belirlemek için kullanılır. • Hidrometre deneyi, çok ince daneli zeminlerde (kil-silt) dane boyu dağılımını belirlemek amacıyla uygulanır.

Jeofizik, yer kürenin ve diğer gök cisimlerinin fiziksel ve yapısal özelliklerini fizik ve matematik ilkeleriyle inceleyen bir bilim dalıdır (Özçep, 2007; Ergünay vd. 2008; Avdan,

2011). Mikrobölgelemede, eski veri tabanlarında ve/veya arazi çalışmalarında aktif olduğu belirlenen faylar üzerinde sismolojik analizler yapılarak jeofizik deprem verileri toplanır, fayların yapısal ve kinematik özellikleri ortaya konur ve sismik tehlike analizleri için temel girdi üretilir. Bu amaçla, AFAD ve KOERİ kataloglarından derlenen depremler fay haritaları üzerinde ve düşey kesitlerde iz düşürülerek fayların sismolojik derinlikleri değerlendirilir; deprem konumlarının dağılımı, bölgesel bölgelendirme çalışmaları ve yerel fay haritaları birlikte kullanılarak sismik kaynaklar modellenir, ayrıca farklı ajanslarca yayımlanan odak mekanizma çözümleriyle fayların kinematik karakteri tanımlanır.

Geoteknik araştırmalarda sondaj verilerinin doğruluğunu ve kapsamını artırmak için mühendislik jeofiziği yöntemleri kullanılır; bu yöntemler zemin ve kaya özelliklerini yüzeyden veya sondaj noktalarından uzakta inceleyerek zemin davranışının daha iyi anlaşılmasını sağlar (Kurnaz, 2011). Mikrobölgelemede sismik dalgaların hız ve periyotları belirlenir, zemin–anakaya sınırı iki ve üç boyutlu olarak haritalanır, dalga yayılımı ve yansımalar modellenerek yerel zemin etkileri (site effect) ortaya konur. Yerel zemin tabakalarının dinamik parametrelerinde özellikle mikrotremor ve yüzey dalgası (Vs) yöntemleri kullanılır; mikrotremor ölçümleri kısa süreli ve ekonomik olmaları nedeniyle baskın periyot ve büyütmelerin belirlenmesinde yaygın biçimde tercih edilmektedir (Karabulut ve Osmanşahin, 2002; Karabulut, 2005). Mikrobölgeleme kapsamında kullanılan jeofizik yöntemler ile tanımladıkları zemin dinamik parametreleri ve tipik araştırma derinlikleri Tablo 4.3'te özetlenmiştir.

Tablo 4.3. Mikrobölgeleme çalışmalarında yaygınca kullanılan mühendislik jeofiziği yöntemleri ve kısa açıklamaları

Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (MASW), Kırılma Mikrotremor Yöntemi (ReMi), Sismik Kırılma	Her iki yöntemi birlikte kullanarak yaklaşık 100 metre derinliğe kadar kayma dalgası (Vs) bilgisi elde edilmesi. Vp, Vs (ortalama 30 m derinlik)	• Zemin dinamik parametrelerinin (Kayma Modülü, Poisson Oranı, Elastisite Modülü vb.) hesaplanması • Farklı Vs değerlerine dayalı zemin sınıflandırması • Zemin sıklığının ve gevşekliğinin değerlendirilmesi • Sismik empedansın belirlenmesi
--	--	---

Tablo 4.3. (Devamı) Mikrobölgeleme çalışmalarında yaygınca kullanılan mühendislik jeofiziği yöntemleri ve kısa açıklamaları

Tek İstasyon Mikrotremor Yöntemi (HVSAR), Spektral Oran Yöntemi (SSR)	- Zeminin Baskın Sönüm Periyodu (To) - Zemin Büyütme Faktörü (A) (her iki yöntem kullanıldığında hedef derinlik yaklaşık 100 m)	• Rezonans Durumu • Kg Hasar İndeksi Standardı • Ana Kaya Derinliği (Ampirik Formüllerle Desteklenmiş)
Dizi Mikrotremor Yöntemi (SPAC)	Derin Vs Kesiti (Derinlik, kullanılan dizi çapı ve cihazın frekans aralığına göre değişir)	• Zemin-ana kaya modellerinin oluşturulması için gerekli yoğunluk değerinin hesaplanması
Jeoradar		• Jeoradar, zemin ve diğer yapı elemanlarının iç yapısını analiz etmek amacıyla kullanılan bir yeraltı görüntüleme teknolojisidir.
PS Loglama		• PS Loglama, jeofizikte ve sondaj çalışmalarında kullanılan bir yöntem olup P-dalgası ve S-dalgası hızlarının ölçülmesiyle ilgili bir terimdir. PS Loglama terimi, genellikle sondaj kuyularında veya yer altı araştırmalarında, zemin özelliklerini belirlemek için P ve S dalgası hızlarının ölçülmesi ve kaydedilmesi işlemini ifade eder. Bu sayede, zeminin elastik özellikleri, katman kalınlıkları ve diğer dinamik parametreler analiz edilir. - Kısaca, PS Loglama, yer altı yapılarını detaylı şekilde incelemek için yapılan bir sismik hız ölçüm yöntemidir.
Elektrik Özdirenc		Yer altı elektriksel iletkenliğin haritalanması ve analiz edilmesi amacıyla kullanılır ve özellikle zeminin özdirencini ölçmek için kullanılmaktadır. Bu yöntemle yer altındaki su seviyeleri, yer altı suyu kalitesi, yeraltı yapılarının özellikleri (örneğin, faylar veya kayaçlar) gibi bilgilerin belirlenmektedir.

Tablo 4.3. (Devamı) Mikrobölgeleme çalışmalarında yaygınca kullanılan mühendislik jeofiziği yöntemleri ve kısa açıklamaları

Sismik Kırılma		Sismik kırılma yöntemi, kontrollü bir kaynakla üretilen sismik dalgaların yeraltı tabaka sınırlarında kırılıp farklı mesafelerdeki jeofonlara ulaşma sürelerinin ölçülmesine dayanan aktif bir sismik yöntemdir. Bu sayede P ve S dalga hızları hesaplanarak tabaka kalınlıkları ve derinlikleri belirlenir; elde edilen hızlardan elastisite ve kayma modülü, Poisson oranı, zemin hâkim periyodu (T_0) ve zemin büyütmesi gibi dinamik parametreler türetilerek mikrobölgeleme ve sahaya özel sismik tehlike değerlendirmelerinde kullanılır.
MASW		Bu yöntem ile, S dalgası hız kesitini yaklaşık 100 metrelik derinliğe kadar elde ederek Rayleigh dalgalarının dispersiyon özelliklerinden yararlanarak dalga boyuna bağlı nüfuz derinliğini kullanılmaktadır. Bu sayede katman kalınlıkları ile S-dalgası hızları hesaplanmaktadır.
Mikrotremör		Mikrotremör yöntemi, doğal ya da çevresel kaynaklı düşük genlikli zemin titreşimlerini kaydederek, zeminin hâkim titreşim periyodu ve büyütme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır.
Yansıma		Bu yöntem, yer altındaki yüzeylerden yansıyan elastik dalgaların analizine dayanır. Yansıma yöntemi, özellikle derin yapıları belirlemede ve yer altı katmanlarının özelliklerini incelemekte kullanılmaktadır.

4.2.1. Zemin Sınıflandırılması

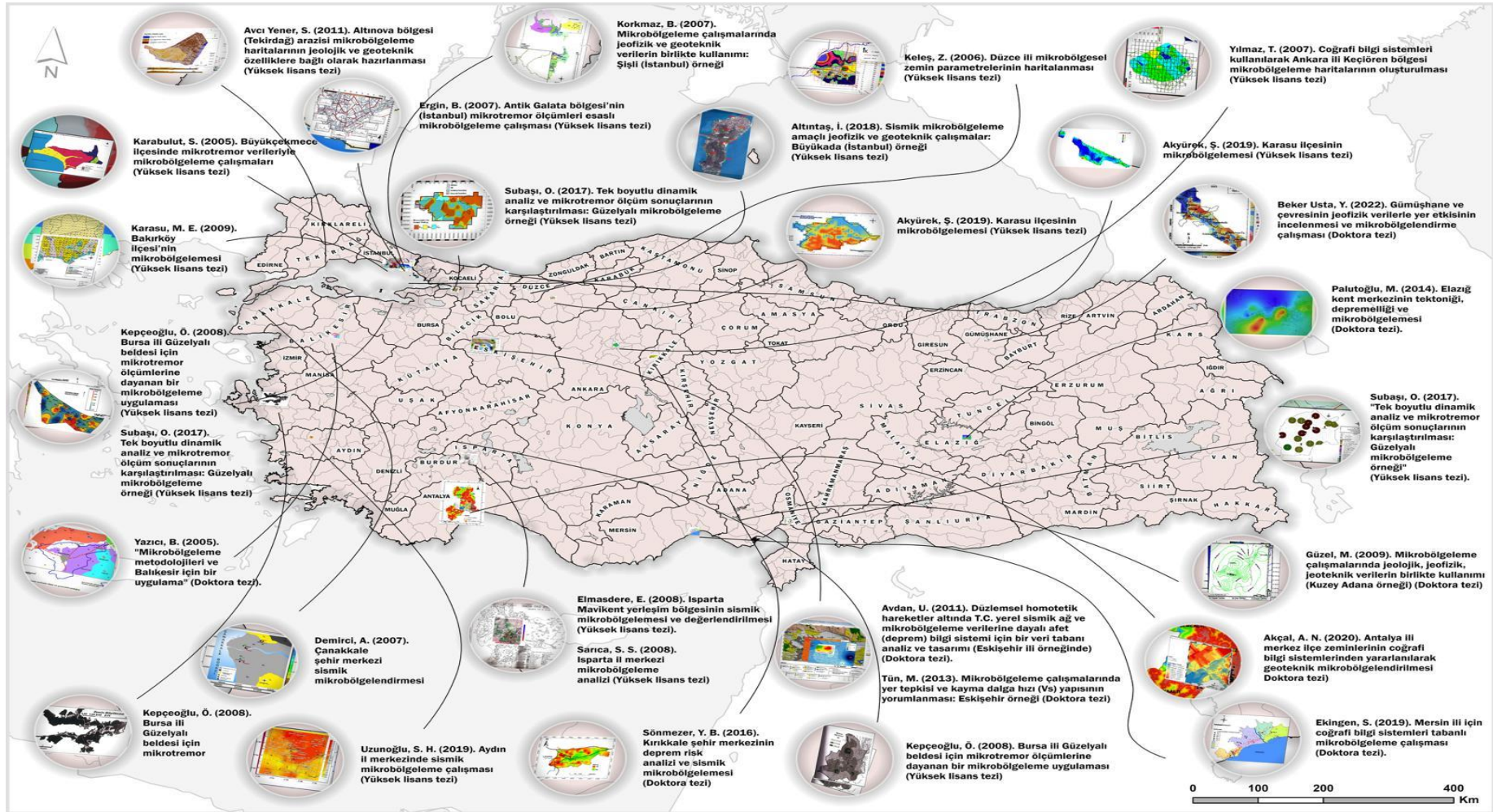
Bu tezde, 2005 yılından günümüze kadar yapılmış olan mikrobölgeleme ile ilgili çalışmalar derlenmiştir (Şekil 4.1). Aşağıda, bu tezde kullanılan her bir çalışmada yer alan zemin sınıflamaları, Tablo 4.4’de özetlenmiştir. Bu tabloda, her çalışmanın hangi zemin sınıflamasını kullandığı işaretlenmiştir. Çalışmalarda, kullanılan ya da değinilen söz konusu zemin sınıflamalarının alındığı yönetmelikler aşağıda sıralanmıştır.

1. Türk Deprem Yönetmeliği, 1998 (TDY,1998)
2. National Earthquake Hazards Reduction Program, 2000 (NEHRP, 2000)
3. Türkiye Deprem Yönetmeliği, 2007 (TDY,2007)
4. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007

(DBYBHY,2007)

5. Eurocode 8, 2008
6. National Earthquake Hazards Reduction Program, 2015 (NEHRP, 2015)
7. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018 (TBDY, 2018)
8. National Earthquake Hazards Reduction Program, 2020 (NEHRP, 2020)

Bu bölümde yukarıda listelenen yönetmeliklerden alınan zemin sınıflamalarının ayrıntılı açıklamaları yapılmayacaktır. Zemin sınıflamalarının nasıl oluşturulduğu gibi ayrıntılar mevzu bahis yönetmeliklerde detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Ancak veri tabanını kullanırken, ilgili haritanın hazırlanmasında kullanılan zemin sınıflandırma tabloları aşağıda verilmektedir (Tablo 4.5’den Tablo 4.13’e kadar). Buradaki amaç, okuyucunun zemin sınıflamalarındaki farkları ve benzerlikleri hızlı bir şekilde görebilmesini sağlamak ve aynı zamanda veri tabanında bulunan ilgili haritaları takip edebilmesini kolaylaştırmaktır.



Şekil 4.1. Bu tezde kullanılan mikrobölgeleme çalışmalarının coğrafi konumları ile referans künyelerini gösteren harita. Bu haritada, değinilen çalışmalardan sayısallaştırılan haritalar da kabaca görünmektedir. Ancak veri tabanındaki haritalar ArcGIS Pro programında hazırlanan veritabanında ayrıntılı bir biçimde incelenebilir

Tablo 4.4. Bu tezde kullanılan mikrobölgeleme çalışmaları ve değiindikleri zemin sınıflamalarını aldıkları yönetmelikler. Kısaltmaların açıklımları metinde yer almaktadır

Referans Çalışma	TDY 1998	NEHRP 2000	DBYBHY 2007(TDY 2007)	EUROCODE 8 2008	NEHRP 2015	TBDY 2018	NEHRP 2020	SINIFLAMA KULLANILMAMIŞ
Karabulut (2005)	*	*						
Yağcı (2005)	*	*						
Keleş (2006)								*
Demirci(2007)								*
Ergin (2007)			*					
Korkmaz (2007)								*
Yılmaz (2007)								*
Elmasdere (2008)		*	*					
Kepçeoğlu (2008)			*					
Sarıca (2008)								*
Çakmak (2009)			*					
Güzel (2009)		*	*	*				
Karasu (2009)								*
Polatkan (2010)								*
Avdan (2011)		*						
Kurnaz (2011)		*	*					
Yener (2011)			*	*				
Tün (2013)								*
Pamuk (2014)								*
Palutoğlu (2014)			*					
Sönmezer (2016)		*	*					
Albayrak (2017)				*	*			
Subaşı (2017)			*	*	*	*		
Şahin (2017)			*					
Altıntaş (2018)				*	*			
Bayrakçı (2018)						*		
Akyürek (2019)			*					
Ekingen (2019)								*
Uzunoğlu (2019)			*	*	*	*		
Akpancar (2019)			*		*			
Akçal (2020)						*		
Usta (2022)				*		*	*	

Tablo 4.5. Türkiye Deprem Yönetmeliği (1998)'e Göre Zemin Sınıfları

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Standart Penetrasyon (N/30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/sn)
(A)	Bu grup, yüksek dayanımlı jeolojik yapıları temsil eder. Masif ve ayrışmamış volkanik kökenli kayalar, düşük poroziteli metamorfik birimler ve çimentasyon düzeyi yüksek tortul yapılar bu sınıfa girer. Ayrıca çok sıkı tane yapısına sahip çakıl ve kum karışımları ile tamamen oturmuş, aşırı konsolide kil ve siltler de bu kategoride değerlendirilir.	—	—	> 1000	> 1000
		>50	85-100	—	> 700
		>32	—	> 400	> 700
(B)	Orta-üst mühendislik niteliklerine sahip zeminleri kapsar. Tüf, aglomera gibi kısmen ayrışmış volkanik kayalar, çimentolu ancak süreksizlik düzlemleri içeren tortul birimler, sıkı granülometrik yapıya sahip kum-çakıl karışımları ve çok katı kıvamlı kohezyonlu zeminler bu sınıfa dahildir.	—	—	500-1000	700-1000
		30-50	65-85	—	400-400
		16-32	—	200-400	300-700
(C)	Mekanik dayanımı sınırlı, orta sertlikte yer alan zemin birimlerini içerir. Bu grupta yer alan birimler; yoğun ayrışmaya uğramış kayalar, orta derecede sıkı kum-çakıl formasyonları ve katı kıvamda silt ve kil zeminlerden oluşmaktadır.	—	—	< 500	400-700
		10-30	35-65	—	200-400
		8-16	—	100-200	200-300
(D)	Mühendislik performansı düşük, yumuşak kıvamlı ve genellikle yüksek su muhtevalı zeminleri kapsar. Kalın alüvyon tabakaları, gevşek kumlu formasyonlar ve suya doygun, yumuşak plastisiteli kil-silt türü birimler bu gruba dâhil edilmektedir.	—	—	—	< 200
		< 10	< 35	—	< 200
		< 8	—	< 100	< 200

Tablo 4.6. National Earthquake Hazards Reduction Program (2000) 'e Göre Zemin Sınıfları

Zemin Sınıfı	Tanımlama	Ortalama S Dalga Hızı (30 m ye kadar)	Zemin Hakim Periyotları
A	Sert ana kaya	>1500 m/s	$T \leq 0.08 \geq$
B	Sağlam, dayanıklı ile set kaya arası birimler	760-1500 m/s	$0.08 \leq T < 0.16$
C	Yoğun toprak, yumuşak kaya	360-760 m/s	$0.16 \leq T < 0.33$
D	Sert toprak	180-360 m/s	$0.33 \leq T < 0.67$
E	Yumuşak killer	< 180 m/s	$T < 0.67$
F	Özel çalışma gerektiren zeminler, örneğin sıvılaştırılabilir zeminler, suya doygun kil ve organik olan ve 36 m'den daha kalın zeminler	< 180 m/s	

Tablo 4.7. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007)'e göre zemin grupları, tanımları ve özellikleri. N/30: Standart Penetrasyon; Dr: Relatif Sıklık; Cu: Serbest Basınç Direnci; Vs: Kayma Dalgası Hızı

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	N/30	Dr (%)	Cu (kPa)	Vs (m/sn)
(A)	- Masif yapıda, ayrışmamış volkanik ve metamorfik kayalar	—	—	> 1000	> 1000
	- Çok yüksek sıklığa sahip kum-çakıl birimleri	>50	85-100	—	> 700
	- Sert plastiklikte, tamamen konsolide olmuş kil ve silt tabakaları	>32	—	> 400	> 700
(B)	- Orta derecede ayrışmış ve çimentolu tortul yapılar	—	—	500-1000	700-1000
	- Tüf, aglomera gibi zayıf volkanik kayalar	30-50	65-85	—	400-400
	- Yüksek sıklıkta kum-çakıl karışımları	16-32	—	200-400	300-700
(C)	- Süreksizlik düzlemleri içeren, ileri derecede ayrışmış zemin ve kayalar	—	—	< 500	400-700
	- Orta sıklıktaki kum ve çakıl tabakaları	10-30	35-65	—	200-400
	- Katı plastisiteli, orta konsolidasyon düzeyine sahip kil/silt birimleri	8-16	—	100-200	200-300
(D)	- Yer altı su düzeyi yüksek, gevşek yapıdaki alüvyon tabakaları	—	—	—	< 200
	- Gevşek kumlu formasyonlar	< 10	< 35	—	< 200
	- Düşük plastisiteli ve yumuşak kıvamda kil/silt zeminler	< 8	—	< 100	< 200

Tablo 4.8. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007)'e göre yerel zemin sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Tablo 4.7'ye Göre Zemin Grubu ve En Üst Tabaka Kalınlığı
Z1	A Grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan B grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan B grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan C grubu zeminler
Z3	$15 < h_1 \leq 50$ m olan C grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan D grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan C grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan D grubu zeminler

Tablo 4.9. Eurocode 2008'e göre zemin türleri . Vs30: Kayma dalgası hızı; Nspt: Zeminin taşıma kapasitesi; Cu: Serbest Basınç Direnci

Zemin Türü	Zemin Türü Tanımı	Vs30 (m/s)	Nspt	Cu (kPa)
A	Yüzeyde en fazla 5 metre kalınlığında düşük dayanımlı malzeme içeren, kaya karakteristiği gösteren jeolojik birimlerden oluşur. Bu tür zeminler genellikle yüksek dalga hızına ve düşük deformasyon potansiyeline sahiptir.	>800	-	-
B	Derinliği onlarca metreyi bulan, sıkı kum, çakıl ve kil katmanlarından oluşur. Bu zeminlerde mühendislik özellikleri derinlikle artar ve iyi derecede taşıma kapasitesine sahiptir.	360-800	>50	>250
C	Yüzlerce metre kalınlığa ulaşabilen, sıkı veya orta sıkı kum, çakıl ve katı kil formasyonlarından meydana gelir. Orta düzeyde deformasyon özellikleri gösterir ve sismik davranışı zemin profilinin kalınlığına bağlıdır.	180-360	15-50	70-250
D	Düşük kohezyonlu, gevşek ya da orta sıkılıkta zeminler ile yumuşak kıvamdaki kohezyonlu tabakalardan oluşur. Depreme karşı zayıf direnç gösterme eğilimindedir.	<180	<15	<70
E	Üstte, kalınlığı 5–20 metre arasında değişen ve Vs30 değeri C ya da D türüne karşılık gelen alüvyon tabakası ile altta A türü kaya zemin bulunan karmaşık zemin yapılarıdır.	-	-	-
S1	Plastisite indeksi (PI) > 40 olan, yüksek su içeriğine sahip ve 10 metreyi aşan kalınlıktaki kil ve silt tabakalarından oluşur. Yüksek deformasyon potansiyeline sahiptir.	-	-	10-20
S2	Sıvılaşma potansiyeli olan gevşek zeminler, hassas kil tabakaları ile A–E veya S1 sınıfına girmeyen özel zemin türlerini kapsar. Sismik analizlerde özel değerlendirme gerektirir.	-	-	-

Tablo 4.10. Ulusal Deprem Tehlikesini Azaltma Programı (NEHRP, 2015)'e göre zemin sınıfları. Vs: Kayma Dalgası Hızı; PI: Plastisite indeksi; W:Su muhtevası

Zemin Sınıfı	Tanımlama	Özellik
A	Sert Anakaya	$V_s > 1500$ m/s
B	Kaya	$1500 \geq V_s > 760$ m/s
C	Yumuşak Kaya / Çok Sıkı Zemin	$760 \geq V_s > 360$ m/s SPT-N> 50 ve serbest basınç direnci 100 kPa olan zeminler.
D	Sert Zemin / Sıkı Zemin	$360 \geq V_s \geq 180$ m/s $50 \geq \text{SPT-N} \geq 15$ ve serbest basınç direnci 50 kPa ile 100 kPa olan zeminler.
E	Yumuşak Zemin	$180 \geq V_s$ 15 > SPT-N ve serbest basınç direnci 25 kPa'dan küçük PI >20, w $\geq$ 40 olan zeminler.
F	Özel Çalışma Gerektiren Zeminler	Bu tür zeminler için özel çalışmalar yapılarak, zeminin sıvılaşması, plastisitesi, tabaka kalınlığı ve diğer zemin mühendislik özellikleri incelenmelidir.

Tablo 4.11. NEHRP'e göre zemin sınıflama kriterleri. Vs: Kayma dalgası hızı

Zemin Sınıfı	Tanım	Özellikler
A	Sert Kaya	$V_s > 1500$
B	Kaya	$760 < V_s \leq 1500$
C	Çok Sıkı/Sert Zemin Yumuşak Kaya	$360 < V_s \leq 760$
D	Sert/ Sıkı Zemin	$180 < V_s \leq 360$
E	Zayıf Zemin	$V_s < 180$

Tablo 4.12. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018)'e göre yerel zemin sınıfları. V_{S30} : Üst 30 metrede ortalama kayma dalgası hızı ; N_{6030} : Üst 30 metrede ortalama zeminin taşıma gücü ; Cu_{30} : Üst 30 metrede ortalama serbest basınç direnci

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	V_{S30} (m/s)	N_{6030}	Cu_{30} (kPa)
ZA	Sağlam ve sert kayalardan oluşan, çok düşük deformasyon kapasitesine sahip zeminlerdir. Sismik dalga yayılımı açısından en güvenli ortamı sunar.	>1500	-	-
ZB	Az ayrılmış ve orta derecede sağlam kayalardan oluşur. Sismik performans açısından iyi düzeyde kabul edilir.	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum ve çakıl birimleri ile birlikte yüksek dayanımlı kil tabakaları ya da ayrılmış ve çok çatlaklı zayıf kayalar bu sınıfa dâhildir.	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkıdan sıkıya değişen kum, çakıl veya çok katı kil tabakalarını içerir. Yer tepki analizleri bu sınıf için önemlidir.	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek zemin yapısı gösteren kum ve çakıllar ile birlikte yumuşak-katı kil tabakalarından oluşur. Ayrıca, plastisite indeksi (PI) 20'den büyük ve doğal su içeriği (W) %40'tan fazla olan yumuşak killerin toplam kalınlığı 3 metreyi aşıyorsa bu sınıfa dâhil edilir. Kohezyon değerinin 25 kPa'dan az olması da dikkate alınır.	<180	<15	<70
ZF	Sismik açıdan yüksek risk barındıran ve sahaya özgü mühendislik çalışmaları gerektiren zeminlerdir. Bu zeminler: 1. Yüksek oranda deformasyon riski taşıyan hassas killeri, zayıf çimentolu ve göçebilir zeminlerden, 2. Kalınlığı 3 metreden fazla olan organik madde içeriği yüksek turba ve killerden, 3. 8 metreden fazla kalınlığa sahip, PI>50 değerinde yüksek plastisiteli killerden, 4. 35 metreden daha kalın yumuşak veya orta katı kil tabakalarından oluşabilir.			

Tablo 4.13. Ulusal Deprem Tehlikesini Azaltma Programı (NEHRP, 2020)'ye göre yerel zemin sınıfları V_{S30} : Üst 30 metrede ortalama kayma dalgası hızı

Zemin Sınıfı	Tanımlama	V_{S30} (m/ sn)
A	Sert kaya	>1500
B	Orta sert kaya	914-1524
BC	Yumuşak kaya	640-914
C	Çok yoğun kum veya orta sert kil	442-640
CD	Yoğun kum veya çok sert kil	305-442
D	Orta yoğun kum veya sert kil	213-305
DE	Zayıf kum veya orta sert kil	152-213
E	Çok zayıf kum veya yumuşak kil	<152

Tablo 4.13. (Devamı) Ulusal Deprem Tehlikesini Azaltma Programı (NEHRP, 2020)'ye göre yerel zemin sınıfları V_{S30} : Üst 30 metrede ortalama kayma dalgası hızı

F	Sıvılaşabilen zeminler, hızlı ve yüksek derecede hassas killer ve çökebilir zayıf çimentolu zeminler	
----------	--	--

Deprem mühendisliği alanında geliştirilen yönetmelikler, dönemsel bilimsel birikim ve mühendislik uygulamalarındaki gelişmelerin bir yansıması olarak sürekli güncellenmektedir. Türkiye ve uluslararası alanda yayımlanan düzenlemeler, yapıların deprem güvenliğini artırmayı amaçlamakta; performans esaslı tasarım, zemin sınıflandırması, tasarım spektrumları ve doğrusal olmayan analiz yöntemleri gibi konuları giderek daha ayrıntılı biçimde ele almaktadır.

Türkiye’de **TDY-1998**, modern sismik tasarım ilkelerinin ilk kez kapsamlı biçimde yer aldığı yönetmelik olup süneklik düzeyine göre taşıyıcı sistem sınıflandırması ve elastik spektrum yaklaşımıyla önemli bir dönüşüm sağlamıştır. Ancak yerel zemin etkilerinin sınırlı düzeyde dikkate alınması bu dönemin zayıf yönleri arasındadır. Bu eksiklikler, **TDY-2007** ve paralel yayımlanan **DBYBHY-2007** ile büyük ölçüde giderilmiş; zemin sınıfları uluslararası standartlarla uyumlu hâle getirilmiş, davranış katsayıları güncellenmiş ve zemin–yapı etkileşimine ilişkin daha detaylı hükümler getirilmiştir.

Türkiye’deki yönetmelik gelişiminin en kapsamlı adımı olan **TBDY-2018**, performans esaslı tasarımı merkezî bir konuma taşımış; doğrusal olmayan analizleri yaygınlaştırmış; mikro-bölgeleme çalışmalarında kullanılan yerel zemin parametrelerinin tasarıma doğrudan entegre edilmesini zorunlu hâle getirmiştir. Ayrıca binaların yanında köprü, viyadük ve diğer mühendislik yapıları için de özel bölümler eklenmiştir.

ABD’deki **NEHRP** düzenlemeleri, rehber niteliğinde olmalarına rağmen dünya çapında kullanılan performans-temelli tasarım yaklaşımının temel çerçevesini oluşturmuştur. NEHRP 2000’den itibaren zemin sınıflandırmaları, spektral ivme değerleri, sismik tehlike haritaları ve zemin büyütme ilişkileri sistematik biçimde geliştirilmiştir. **NEHRP 2015** ve **NEHRP 2020** güncellemeleri ise ileri yer hareketi modelleri, probabilistik sismik tehlike analizleri (PSHA), yüksek binalar için doğrusal olmayan analiz yöntemleri ve sahaya özgü spektrum üretimi gibi konuları daha ayrıntılı hale getirmiştir.

Avrupa standartlarını temsil eden **Eurocode 8**, performans esaslı yaklaşımı benimseyen,

farklı yapı türlerine özel kurallar içeren ve ulusal sismik tehlike verileriyle uyumlu uygulanabilen esnek bir düzenleme sunmaktadır. Bu yönetmelik özellikle zemin koşullarının deprem davranışına etkilerini ayrıntılı sınıflandırmasıyla önem taşımaktadır.

2005–2022 dönemine bakıldığında, hem Türkiye’de hem de ABD’de yürütülen mikrobölgeleme çalışmalarının yönetmeliklerdeki gelişmelere paralel olarak olgunlaştığı görülmektedir. ABD’de geniş güçlü yer hareketi veri tabanları, PSHA yaklaşımı, sahaya özgü analizler ve senaryo-temelli yer hareketi modellemeleri standart uygulamalar haline gelmiş; Türkiye’de ise Vs30 tabanlı sınıflandırmalar, mikrotremor ve jeofizik yöntemler, zemin parametreleri ve yönetmelik uyumlu tasarım spektrumları ağırlık kazanmıştır. Bununla birlikte ABD’de veri yoğunluğu, istasyon sürekliliği ve gelişmiş modelleme kapasitesi Türkiye’den daha ileri düzeydedir.

Türkiye’de geliştirilen mikrobölgeleme yöntemlerinin Japonya gibi yüksek sismisiteye sahip bir ülkede kullanılabilmesi için subdüksiyon kaynaklı büyük depremlemlerin, derin havza etkilerinin, uzun periyotlu yer hareketlerinin, tsunami potansiyelinin ve nonlineer zemin davranışının daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesi gerekmektedir. Japonya’nın güçlü hareket kayıt ağları (K-NET, KiK-net), üç boyutlu dalga yayılım modelleri ve çoklu tehlike entegrasyonu gibi ileri yöntemleri, Türkiye’deki metodolojilerin bu ölçekte uygulanabilmesi için veri yoğunluğunun artırılması ve daha gelişmiş sayısal analizlerin entegrasyonunu zorunlu kılmaktadır.

Sonuç olarak, 2005–2022 döneminde deprem yönetmelikleri ve mikrobölgeleme yaklaşımlarının evrimi; performans esaslı tasarımın güçlendirilmesi, yerel zemin koşullarının daha ayrıntılı değerlendirilmesi, probabilistik tehlike analizinin yaygınlaşması, senaryo temelli modellemeler ve doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin artırılması yönünde ilerlemiştir. TBDY-2018, kapsamı itibarıyla Eurocode 8 ve güncel NEHRP düzenlemeleriyle uyumlu olup çağdaş deprem mühendisliği uygulamalarının gerekliliklerini karşılayan bir çerçeve sunmaktadır. Bununla birlikte, Türkiye’de mikrobölgeleme çalışmalarının uluslararası standartlara daha güçlü uyumu için uzun süreli güçlü hareket ağlarının geliştirilmesi, veri yoğunluğunun artırılması ve ileri analiz yöntemlerinin daha yaygın kullanılması önerilmektedir.

Tablo 4.14. Türkiye’de 1998 yılından itibaren kullanılmış olan yönetmenlikler

Yönetmelik	Temel Yenilikler	Güçlü Yönler	Eksiklikler / Sınırlılıklar
TDY-1998	Süneklik düzeyine göre taşıyıcı sistemler, elastik spektrum yaklaşımı	Türkiye’de modern deprem yönetmeliğine geçiş, basit ve uygulanabilir kurallar	Zemin etkileri sınırlı ele alındı, performans esaslı yaklaşım yeterince gelişmedi
NEHRP-2000	Performans esaslı tasarımın sistematikleşmesi, zemin sınıfları için farklı spektrumlar	Yargı organlarının önem katsayıları ayrıntılı, deprem tehlikesi haritaları güncel	Yüksek binalarda doğrusal olmayan analizlere sınırlı vurgu
TDY-2007	Zemin grupları için ivme spektrumları, davranış katsayılarının revizyonu	Daha ayrıntılı deprem etkisi tanımı, mühendislik pratiğine uygun	Performans esaslı tasarım anlayışı henüz sınırlı
DBYBHY-2007	Bina türü yapılar için ayrıntılı kurallar, zemin koşullarının önemi	Türkiye için uygulanabilir ve pratik düzenlemeler	Bina dışı yapılar için sınırlı kapsam
Eurocode 8 (2008)	Avrupa genelinde ortak standart, yapı türlerine göre detaylı kurallar	Esnek kullanım, performans esaslı yaklaşım güçlü	Ulusal deprem haritalarıyla uyum için ek adaptasyon gerekebilir
NEHRP-2015	Gelişmiş yer hareketi kayıtları, yüksek binalarda doğrusal olmayan analiz önerisi	Performans düzeyi tanımları netleşti	Bazı yeni malzemeler için kısıtlı düzenleme
TBDY-2018	Performans esaslı tasarım merkezde, doğrusal olmayan yöntemler, mikro-bölgeleme dikkate alındı, bina dışı yapılar (köprü, baraj vb.) eklendi	Kapsamlı, çağdaş, Eurocode 8 ve güncel NEHRP ile uyumlu	Uygulamada mühendisler için daha karmaşık ve detaylı; eğitim ihtiyacı fazla
NEHRP-2020	Probabilistik deprem tehlikesi modelleri, yüksek yapılar için ileri analiz yöntemleri zorunlu	Kritik tesisler ve yeni malzeme teknolojilerine uyumlu	Uygulama maliyeti yüksek, karmaşık analiz gerektiriyor

2005–2022 yılları arasında birden fazla yöntem kullanılarak gerçekleştirilen mikrobölgeleme çalışmalarının incelenmesi sonucunda, farklı dönemlerde yürürlükte olan çeşitli deprem yönetmeliklerinden yararlanıldığı görülmektedir. Bu kapsamda **TDY-1998** esas alınarak yapılan çalışma sayısı **2**, **NEHRP-2000**’e göre yapılan çalışma sayısı **7**, **DBYBHY-2007** ve **TDY-2007** yönetmeliklerine göre toplam **14**, **Eurocode 8 (2008)** esas

alınarak yürütülen çalışma sayısı **7**, **NEHRP-2015** kapsamında yapılan çalışma sayısı **5**, **TBDY-2018**'e göre yürütülen çalışma sayısı **5** ve **NEHRP-2020** esas alınarak gerçekleştirilen çalışma sayısı ise **1** olarak belirlenmiştir. Ayrıca bazı araştırmalarda birden fazla yönetmelik esas alınarak sınıflandırma yapıldığı, dolayısıyla yönetmeliklerin karşılaştırmalı olarak kullanıldığı da tespit edilmiştir.

4.3. Yaygın Mikrobölgeleme Haritaları

Mikrobölgeleme kapsamında üretilen tematik haritalar, sahaya özgü zemin davranışını çok boyutlu olarak tanımlamayı ve yapılaşma kararlarını bilimsel temele oturtmayı amaçlar. Aşağıdaki tabloda bu çalışmada kullanılan başlıca harita türleri, veri kaynakları ve mühendislik açısından temel işlevleri özetlenmiştir (Tablo 4.15).

Tablo 4.15. Mikrobölgeleme Haritaları ve Temel Parametrelerin Özeti

Harita / Parametre	Kısa tanım	Temel veri / yöntem	Başlıca mühendislik kullanımı / risk ilişkisi
Vs30 Haritası	Yüzeyden 30 m derinliğe kadar ortalama kayma dalgası hızını (Vs30) gösterir; zemin rijitliğini ve yerel zemin sınıfını tanımlar.	Sismik yöntemlerle ölçülen S dalga hızları; tabaka kalınlığı-hız ilişkisine göre $V_{s30} = 30 / \sum (h_i / V_{s_i})$ (Güzel, 2009).	Yerel zemin sınıflaması (ZA–ZF, Z1–Z4), zemin büyütmesi ve deprem yönetmeliğine göre tasarım yer hareketi spektrumlarının seçimi. Düşük Vs30 → yumuşak, yüksek büyütmeli zemin.
Zemin Hakim Periyodu Haritası	Zemin profilinin deprem dalgalarına karşı doğal titreşim (rezonans) periyodunu gösterir.	Zemin kalınlığı (H) ve Vs ölçümleri kullanılarak $T_0 \approx 4H/V_s$; mikrotremor ve sismik verilerin değerlendirilmesi (Kanai, 1983; Güzel, 2009).	Zemin–yapı rezonans riskinin belirlenmesi, uygun bina yüksekliği ve taşıyıcı sistem seçimi, yüksek hakim periyoda sahip zeminlerde özel tasarım gereksinimi.

Tablo 4.15. (Devamı) Mikrobölgeleme Haritaları ve Temel Parametrelerin Özeti

Büyütme (Amplifikasyon) Haritaları	Deprem dalgalarının yerel zemin tarafından ne kadar büyütüldüğünü (A_0) gösterir.	Mikrotremor ölçümleri, kayıtlı yer hareketlerinin spektral analizi; ortalama V_s ile büyütme ilişkileri (Midorikawa, 1987; Joyner & Fumal, 1988; Borchardt vd. 1991; Güzel, 2009).	Yumuşak zeminlerde yüksek genlikli yer hareketinin saptanması, yüksek büyütme alanlarında yapı yasağı/özel temel tasarımı, mikrobölgeleme risk zonlarının belirlenmesi.
Yamaç Stabilitesi Haritası	Heyelan, kaya düşmesi, toprak akması gibi yamaç hareketleri riskinin mekânsal dağılımını gösterir.	Eğim, litoloji, tabaka eğimi, yeraltı suyu, geçmiş heyelan envanteri, jeoteknik parametreler (Güzel, 2009).	Eğimi yüksek ve zayıf malzemeli alanlarda yapı yasağı veya şev iyileştirme (ankraj, kazıklı perde, drenaj), afet risk azaltma ve yerleşim planlaması.
Yeraltı Su Seviyesi (YASS) Haritası	Yeraltı su tablasının yüzeye uzaklığını ve sahadaki dağılımını gösterir.	Sondaj su seviyesi ölçümleri, gözlem kuyuları, hidrojeolojik değerlendirme; topografya-YASS ilişkisi (negatif korelasyon) (Akyürek, 2019).	Sıvılaşma, taşıma gücü azalması, oturma ve yamaç stabilitesi analizlerinde doğrudan girdi; sıkı YASS → yüksek sıvılaşma riski (Mogami & Kubo, 1953; Youd, 1984).
SPT-N_{30} Haritası	Üst 30 m içindeki ortalama Standart Penetrasyon Testi (SPT) darbe sayısını (N_{30}) gösterir.	Sondajlarda her 1,5 m’de yapılan SPT sonuçlarının normalize edilmesi ve CBS’de interpolasyonu (Akyürek, 2019).	Zemin sıklılığı, taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi; gevşek (düşük N_{30}) zonların yapılaşma açısından kısıtlanması veya iyileştirilmesi.
Zemin Sınıflandırma Haritası	Yerel zemin sınıflarını (ör. ZA-ZF, Z1-Z4) mekânsal olarak gösteren temel mikrobölgeleme çıktısıdır.	SPT- N_{30} , V_{S30} , kesme mukavemeti (C_u), laboratuvar deneyleri; TS 1500, TDY 2007, TBDY 2018, NEHRP, Eurocode 8 kriterleri (Akyürek, 2019).	Yapı tasarımında zemin sınıfına bağlı deprem yüklerinin tanımlanması; ZE-ZF gibi zayıf zeminlerde sıvılaşma ve oturma riski yüksek alanların belirlenmesi, imar kararlarının yönlendirilmesi.

Tablo 4.15. (Devamı) Mikrobölgeleme Haritaları ve Temel Parametrelerin Özeti

Kayma Dalgası Hızı (Vs) Haritası	Zeminlerin kayma dalgalarına karşı dinamik rijitliğini gösteren Vs dağılım haritasıdır (çoğunlukla V_{S30} tabanlı).	Sismik kırılma / MASW / ReMi vb. ölçümler; jeofizik etütlerden elde edilen tabaka bazlı Vs profilleri (Türkiye Deprem Yönetmeliği, 1998; Akyürek, 2019).	Zemin sınıfı tayini, zemin büyütmesi ve tasarım spektrumlarının seçimi; $V_s < 200$ m/s olan çok zayıf zeminlerde ayrıntılı temel tasarımı ve/veya zemin iyileştirmesi gerekliliğinin belirlenmesi.
Sismik Tehlike / Risk Haritaları	Veri tabanındaki bazı çalışmalarda sahaya özgü sismik tehlike haritaları da üretilmiştir (Kurnaz, 2011; Albayrak, 2017). Sismik tehlike, belirli bir bölgede belirli sürede hasar yapabilecek yer hareketinin gerçekleşme olasılığı; sismik risk ise bu tehlike ile hasar görebilirliğin bileşimi olup “Deprem Riski = Deprem Tehlikesi $\times$ Hasar Görebilirlik” olarak ifade edilir (Wang, 2006; Özçep, 2007; Subaşı, 2017).	Tarihsel–aletsal deprem katalogları, sismotektonik veriler, azalım modelleri ve olasılıksal deprem tehlike analizleri (PTHA); DDTA/ODTA yaklaşımları ve TBDY (2018) kriterleri (Ulutaş, 2006; Okur, 1996; Kurnaz, 2011; TBDY, 2018).	Tasarım depremi, güçlendirme öncelikleri ve afet senaryolarının belirlenmesi; yüksek tehlike/risk zonlarının tanımlanması, kritik altyapı ve kentsel dönüşüm kararlarının yönlendirilmesi.

5.TÜRKİYE MİKROBÖLGELEME ULUSAL VERİ TABANI (1.AŞAMA)

Bu tez kapsamında oluşturulan veritabanında Türkiye genelindeki mikrobölgeleme çalışmalarının bölgesel dağılımı incelendiğinde; Marmara Bölgesi'nde 13, Karadeniz Bölgesi'nde 2, Akdeniz Bölgesi'nde 6, Ege Bölgesi'nde 1, İç Anadolu Bölgesi'nde 6, Doğu Anadolu Bölgesi'nde 2 çalışma bulunduğu, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ise herhangi bir çalışmaya rastlanmadığı görülmekte olup, toplamda 30 çalışma derlenmiştir (Tablo 5.1). İncelenen çalışmalarda farklı jeofizik ve jeoteknik yöntemlerin kullanıldığı belirlenmiştir. Buna göre; MASW yöntemi 1 çalışmada, jeoelektrik öz direnç yöntemi 1 çalışmada, sismik kırılma yöntemi 5 çalışmada, mikrotremor ölçümleri 8 çalışmada uygulanmıştır. Ayrıca 19 çalışmada geoteknik sondajların yer aldığı ve 2 çalışmada ise araştırma çukuru açıldığı tespit edilmiştir.

Marmara Bölgesi'nde gerçekleştirilen mikrobölgeleme çalışmalarında, 7 çalışmada mikrotremor ölçümleri, 9 çalışmada sondaj, 3 çalışmada sismik kırılma, 1 çalışmada jeoelektrik öz direnç, 1 çalışmada MASW yöntemi uygulanmış ve ayrıca 1 araştırma çukuru açılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, bölgenin zemin özelliklerini ayrıntılı biçimde ortaya koyan veriler elde edilmiş; mühendislik jeolojisi ve deprem tehlikesine bağlı zemin davranışı daha sağlıklı biçimde değerlendirilebilmiştir. Yoğunluk, yerel zemin sınıflaması ve sıvılaşma riski üzerinde toplanmakta; farklı zemin karakterizasyon yöntemlerinin birlikte kullanılması, Marmara Bölgesi'nde özellikle İstanbul başta olmak üzere kentsel mikrobölgeleme çalışmalarının yoğunluğunu göstermektedir. Deprem tehlikesi haritalama ve yapılaşmaya uygunluk değerlendirmeleri tezlerde öne çıkan diğer başlıklardır.

İç Anadolu Bölgesi'nde gerçekleştirilen mikrobölgeleme çalışmalarında, 2 çalışmada sondaj ve 1 çalışmada sismik kırılma yöntemi uygulanmış; bu veriler bölgenin jeoteknik ve jeofizik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Sondajlar, yeraltı zemin profilini ortaya koyarak tabakaların kalınlık ve mühendislik özelliklerini belirlemiş; sismik kırılma ise tabaka derinlikleri ve elastik özellikleri üzerinden zemin

katmanlarının jeofizik karakterizasyonuna olanak tanımıştır. Böylece her iki yöntemin birlikte kullanımı, bölgenin deprem riski ve zemin özelliklerinin daha kapsamlı biçimde analiz edilmesine katkı sağlamıştır.

Karadeniz Bölgesi'nde gerçekleştirilen mikrobölgeleme çalışmalarında, 2 çalışmada sondaj ve 1 çalışmada sismik kırılma yöntemi kullanılmış; elde edilen bulgular, yerel zemin özelliklerinin ve olası deprem etkilerinin daha sağlıklı biçimde değerlendirilmesine katkı sunmuştur.

Akdeniz Bölgesi'nde yürütülen mikrobölgeleme çalışmalarında, 5 çalışmada sondaj ve 1 çalışmada mikrotremor yöntemi uygulanmıştır. Sondajlar, yeraltı zemin profilini ve tabakaların mühendislik özelliklerini ortaya koyarken; mikrotremor ölçümleri zeminin doğal titreşim özellikleri ve S-dalga hızları hakkında bilgi sağlamış, böylece bölgenin jeoteknik ve dinamik zemin özelliklerinin belirlenmesine ve deprem tehlikesine yönelik mühendislik değerlendirmelerine bilimsel altyapı oluşturmuştur.

Doğu Anadolu ve Ege Bölgeleri'nde yapılmış mikrobölgeleme çalışmalarında ise 1 çalışmada sondaj yöntemi kullanılmış; elde edilen veriler, bölgenin zemin özelliklerinin tanımlanmasına ve deprem tehlikesine yönelik mühendislik yaklaşımlarının geliştirilmesine katkı sağlamıştır. Tek yöntem kullanılmış olsa da, sondaj verileri yeraltı zemin profilinin güvenilir biçimde belirlenmesine ve bölgesel sismik davranışın değerlendirilmesine olanak vermektedir. Aşağıda oluşturulmuş tabloda 2005-2022 yılları arasında yapılmış olan YÖKTEZ'de yayınlanmış olan birden fazla yöntem kullanılarak yapılmış olan mikrobölgeleme adlı çalışmalardan 30 adet tez incelenmiş olup sınıflandırılıp tablo haline getirilmiştir.

5.1. Marmara Bölgesindeki Çalışmalar

En fazla çalışma Marmara Bölgesi’nde yapılmıştır (Tablo 5.2). İstanbul’da özellikle Büyükçekmece, Galata, Bakırköy gibi kentsel alanlarda mikrotremor ve jeoteknik veriler kullanılarak detaylı zemin sınıflaması yapılmıştır. Bursa ve Sakarya’da ise sınıflama ve yerel zemin parametreleri ön plana çıkmıştır. 1999 Marmara Depremi’nin ardından, bu bölgede mikrobölgeleme çalışmalarının sayısında belirgin bir artış yaşanmıştır. Çalışmaların çoğu kentsel alanlarda deprem tehlikesi ve yapılaşmaya uygunluk amacıyla yapılmıştır.

Tablo 5.2. Marmara Bölgesi Mikrobölgeleme Çalışmaları Envanteri

NO	TÜR	YIL	BÖLGE	İLİLÇE	ÇALIŞMA ADI	YAZAR	KURUM
1	YL	2005	Marmara Bölgesi	İstanbul Büyükçekmece	Büyükçekmece İlçesinde Mikrotremor Verileriyle Mikrobölgeleme Çalışmaları	Savaş KARABULUT	İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği
2	D	2005	Marmara Bölgesi	Balıkesir	Mikrobölgeleme Metodolojileri ve Balıkesir İçin Bir Uygulama	Banu YAĞCI	Balıkesir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği
3	YL	2007	Marmara Bölgesi	Çanakkale	Çanakkale Şehir Merkezi Sismik Mikrobölgelelendirmesi	Alper DEMİRCİ	Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği
4	YL	2007	Marmara Bölgesi	İstanbul	Antik Galata Bölgesinin Mikrotremor Ölçümleri Esaslı Mikrobölgeleme Çalışması	Betül ERGİN	Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği
5	YL	2007	Marmara Bölgesi	İstanbul Şişli	Mikrobölgeleme Çalışmalarında Jeofizik ve Geoteknik Verilerin Birlikte Kullanımı: Şişli(İstanbul) Örneği	Burcu KORKMAZ	İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği
6	YL	2008	Marmara Bölgesi	Bursa İstanbul	Bursa İli Güzelıyali Beldesi Mikrotremor Ölçümlerine Dayanan Bir Mikrobölgeleme Uygulaması	Özlem KEPÇEOĞLU	İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği
7	YL	2009	Marmara Bölgesi	Bakırköy	Bakırköy İlçesinin Mikrobölgelemesi	Muhammed Emin KARASU	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği
8	D	2011	Marmara Bölgesi	İstanbul	İstanbul Esenler Zeminlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Geoteknik Mikrobölgelemesi	T. Fikret KURNAZ	Sakarya Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği
9	YL	2011	Marmara Bölgesi	Tekirdağ Altınova	Altınova Bölgesi Arazisi Mikrobölgeleme Haritalarının Jeolojik ve Geoteknik Özelliklere Bağlı Olarak Hazırlanması	Sevim AVCI YENER	Namık Kemal Üniversitesi İnşaat Mühendisliği
10	YL	2017	Marmara Bölgesi	Bursa	Tek Boyutlu Dinamik Analiz ve Mikrotremor Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması: (Güzelıyali Mikrobölgeleme Örneği)	Ozan SUBAŞI	İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği
11	YL	2018	Marmara Bölgesi	İstanbul	Sismik Mikrobölgeleme Amaçlı Jeofizik ve Geoteknik Çalışmalar: Büyükada (İstanbul) Örneği	İnanç ALTINTAŞ	İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği
12	YL	2019	Marmara Bölgesi	Sakarya Karasu	Karasu İlçesinin Mikrobölgelemesi	Şiyar AKYÜREK	Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği
13	YL	2017	Marmara Bölgesi	İstanbul Gölcük	1999 Marmara Depremi Sonrası İçin Gölcük İlçesi Kıyılarının Sınıflamaya Göre Mikrobölgelemesi	Neslihan ALBAYRAK	İstanbul Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği

Marmara Bölgesi’nde son 20 yılda mikrobölgeleme amaçlı olarak gerçekleştirilen tez çalışmalarının il bazında dağılımı aşağıdaki gibidir:

- İstanbul: 7 adet çalışma
- Sakarya: 1 adet çalışma
- Bursa: 2 adet çalışma
- Tekirdağ: 1 adet çalışma
- Çanakkale: 1 adet çalışma
- Balıkesir: 1 adet çalışma

Toplamda 13 adet çalışma yapılmış olup, bu çalışmalar veri tabanımıza eklenmiş durumdadır. Her bir tez ile ilgili detaylı bilgiler, veri tabanına bu tezlerden alınan haritalar aşağıda sunulmaktadır.

- **İstanbul Mikrobölgeleme Projeleri:**

Marmara Bölgesi'nde, özellikle Türkiye'nin en kalabalık ve yüksek deprem riski taşıyan ili olan İstanbul için, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Şube Müdürlüğü tarafından kapsamlı mikrobölgeleme projeleri yürütülmüştür. Bu çalışmalar, kentsel alanların zemin özelliklerinin ayrıntılı olarak belirlenmesi, deprem tehlikesi ve risk analizlerinin güncellenmesi ile afet zararlarının azaltılmasına yönelik temel altyapı verilerinin üretilmesi açısından kritik öneme sahiptir. Söz konusu projeler, İstanbul'un Avrupa Yakası Güneyi ve Anadolu Yakası olmak üzere iki ayrı bölgede uygulanmış ve her iki bölgede de bilimsel olarak standartlara uygun mikrobölgeleme raporları ve haritaları oluşturulmuştur.

- **Avrupa Yakası Güneyi Mikrobölgeleme Projesi**

Avrupa Yakası'nın güney kesimini kapsayan bu mikrobölgeleme çalışması, **182 km²** büyüklüğündeki bir alanda yürütülmüş ve **2007 yılında tamamlanmıştır**. Proje kapsamında bölgenin zemin ve deprem tehlike özelliklerini ortaya koymaya yönelik ayrıntılı analizler yapılmıştır. Çalışma kapsamında üretilen başlıca çıktılar şunlardır:

Tsunami Tehlike Analizi: Bölgenin kıyı kesimleri için olası tsunami etkilerini değerlendirmeye yönelik modellemeler gerçekleştirilmiştir.

Deprem Tehlike Analizi: Sahaya özgü sismik tehlike parametreleri belirlenmiş, yer ivmesi dağılımları ve olası deprem senaryolarına ilişkin hesaplamalar yapılmıştır.

- **Anadolu Yakası Mikrobölgeleme Projesi**

İstanbul'un Anadolu Yakası'nda yürütülen proje, 509 km² lik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma 2007 yılında başlatılmış ve 2009 yılında tamamlanmıştır. Bu kapsamda bölgeye yönelik mikrobölgeleme haritaları ve raporları üretilmiş; zemin davranışının farklı

ölçeklerde değerlendirilmesi için çok yönlü analizler gerçekleştirilmiştir. Projeye ilişkin temel faaliyetler şu şekildedir:

Zemin Risk Tespiti: 1/1.000 – 1/5.000 ölçekli zemin risk analizleri için üç boyutlu yükseklik (eğim) modelleri oluşturulmuş, bölgenin topoğrafik ve jeoteknik özellikleri detaylandırılmıştır.

İstanbul'un Olası Deprem Kayıplarının Güncellenmesi: İstanbul genelindeki muhtemel deprem senaryolarına bağlı olarak can kaybı, bina hasarı ve altyapı etkilerinin güncellenmesine yönelik hesaplamalar yapılmıştır.

- **Yayımlanan Raporlar**

Her iki proje kapsamında yürütülen çalışmalar sonucunda hazırlanan raporlar aşağıda sıralanmaktadır:

Avrupa Yakası Güneyi Mikrobölgeleme Raporu – Yönetici Özeti

Avrupa Yakası Güneyi Mikrobölgeleme Raporu

Anadolu Yakası Mikrobölgeleme Raporu – Yönetici Özeti

Anadolu Yakası Mikrobölgeleme Raporu – Cilt 1

Anadolu Yakası Mikrobölgeleme Raporu – Cilt 2

Bu raporlara ve haritalara, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Şube Müdürlüğü'nün Mikrobölgeleme Projeleri Sayfası üzerinden erişilebilmektedir. Bu çalışmalar, İstanbul'daki zemin özelliklerini ve deprem risklerini daha iyi analiz edebilmek ve şehirdeki olası afetlere karşı hazırlıklı olmak amacıyla önemli bir rol oynamaktadır.

5.1.1. Büyükçekmece İlçesinde Mikrotremor Verileriyle Mikrobölgeleme Çalışmaları

İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü bünyesinde Savaş Karabulut tarafından 2005 yılında tamamlanan “Büyükçekmece İlçesinde Mikrotremor Verileriyle Mikrobölgeleme Çalışmaları” başlıklı yüksek lisans tezi, bölgesel zemin davranışlarının

değerlendirilmesinde mikrotremor yöntemlerinin etkinliğini ortaya koyan nitelikli bir çalışmadır. Söz konusu araştırmada, mikrotremor ölçümlerinden türetilen baskın periyot ve büyütme değerleri, aynı bölgede daha önce uygulanmış olan sismik kırılma yöntemine dayalı zemin karakterizasyon verileriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, baskın periyot bakımından iki yöntemin yüksek düzeyde uyum gösterdiğini ortaya koyarken, büyütme değerlerinin ise Midorikawa (1987) yaklaşımıyla hesaplanan tahminsel verilerle paralellik arz ettiğini göstermektedir. Bu bulgular, mikrotremor ölçümlerinin sismik mikrobölgeleme çalışmalarında güvenilir bir yöntem olarak değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır. Çalışmada ayrıca, her bir ölçüm noktasındaki sediman tabakasının kalınlığı, Seht ve Wohlenberg (1999) tarafından önerilen empirik ilişki kullanılarak baskın frekans değerlerine dayanılarak hesaplanmış ve bu sayede örtü zemin kalınlığına dair detaylı bir modelleme gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemsel yaklaşım, yerel zemin koşullarının daha hassas ve alan özgü biçimde belirlenmesine olanak sağlamıştır. Elde edilen parametreler doğrultusunda, hem Türkiye Deprem Yönetmeliği (TBDY) hem de National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) tarafından önerilen zemin sınıflandırma kriterleri dikkate alınarak, çalışma alanındaki zemin tipleri kategorize edilmiş ve bu sınıflamalar Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) destekli haritalama teknikleriyle görselleştirilmiştir. Böylelikle, Büyükçekmece ilçesine özgü zemin tepkilerinin mühendislik tasarım süreçlerine entegre edilmesini sağlayacak bilimsel bir temel oluşturulmuştur. Çalışma, mikrotremor verilerinin yerel zemin koşullarının belirlenmesinde etkin bir şekilde kullanılmasını ve bu sayede daha doğru ve güvenilir risk analizlerinin yapılmasını mümkün kılmaktadır. Bu veriler, özellikle deprem mühendisliği ve yerel planlama alanlarında önemli bir referans kaynağı oluşturmaktadır. Bu çalışmada haritalanan veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. 17 Ağustos 1999 depremi sonrasında Büyükçekmece ilçesinde oluşan hasar dağılımı (İstanbul Valiliği Verileri, 2000).
2. Çalışma alanının basitleştirilmiş jeoloji haritası üzerinde mikrotremor ölçüm noktalarını gösterir harita (Güven, 2002).
3. Mikrobölgelemenin üç derecesi için veri kullanımı (ISSMFE, 1993).
4. Mikrotremor baskın periyot haritası.
5. Mikrotremor büyütme haritası.
6. Mikrotremor ölçümlerinden baskın frekans değerleri kullanılarak elde edilen bölgenin

sediman kalınlığı.

7. Sismik hızlardan elde edilen baskın periyodlar (Ceyhan, 2004).

8. Vs (30m) değerine göre bölgenin zeminlerinin NEHRP hükümlerine göre sınıflandırılması.

9. Zayıf hareket yaklaşımı kullanılarak bölgenin büyütme haritaları (B) Joyner ve Fumal (1984).

10. Zayıf hareket yaklaşımı kullanılarak bölgenin büyütme haritaları (C) Borchardt ve diğ. (1987).

11. Zayıf hareket yaklaşımı kullanılarak bölgenin büyütme haritaları (Ceyhan, 2004)(A) Midorikawa (1987).

12. Zayıf hareket yaklaşımı kullanılarak bölgenin büyütme haritaları (Ceyhan, 2004).(A) Midorikawa (1987).

5.1.2. Mikrobölgeleme Metodolojileri ve Balıkesir İçin Bir Uygulama

Balıkesir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Banu Yağcı tarafından 2005 yılında tamamlanan “Mikrobölgeleme Metodolojileri ve Balıkesir İçin Bir Uygulama” başlıklı doktora tezi, mikrobölgeleme çalışmalarının disiplinlerarası yöntemlerle bütüncül olarak ele alındığı örnek niteliğinde bir çalışmadır. Tez kapsamında, Balıkesir yerleşim alanı sınırları içerisinde yer alan farklı kurumlardan ve saha çalışmalarından elde edilen jeolojik veriler sistematik biçimde bir araya getirilmiştir. Bu veriler, mevcut düşey elektrik sondajları (DES) ile oluşturulan jeolojik kesitlerde, derinlik boyunca değişen rezistivite değerleriyle bütünleştirilerek yorumlanmış ve zemin profillerinin jeofizik ve jeoteknik bileşenleri arasındaki ilişkiler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Böylece, zemin tabakalarının elektriksel direnç özellikleri ile mühendislik parametreleri arasındaki korelasyonlar değerlendirilmiş ve bu bağlamda, zeminlerin mühendislik davranışını belirleyecek dinamik modeller oluşturulmuştur. Söz konusu çalışma kapsamında, çeşitli kaynaklardan temin edilen jeoteknik veriler birleştirilmiş ve bu bilgiler ışığında inceleme alanlarına özgü zemin sınıflamaları gerçekleştirilmiştir. Her bir zemin grubu için karakteristik davranış özellikleri tanımlanmış ve bu gruplara uygun hücre tabanlı temsili zemin profilleri geliştirilmiştir. Elde edilen profiller üzerinde, olasılıksal yaklaşımlara dayalı olarak tanımlanan tasarım depremi senaryolarına uygun şekilde, farklı yer hareketi azalım modelleri kullanılarak sismik tehlike spektrumları üretilmiştir. Bu spektrumlarla uyumlu

sentetik yer hareketi kayıtları oluşturulmuş ve TARSCTHS yazılımı aracılığıyla, ölçekleme yöntemi kullanılarak oluşturulan gerçek deprem kayıtları ile karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Gerçek ve sentetik kayıtlar arasındaki uyumun değerlendirilmesi, bölgeye özgü sismik tehlikenin sayısal olarak modellenmesinde önemli katkılar sunmuş ve çalışmanın mikrobölgeleme uygulamalarındaki geçerliliğini artırmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen simülasyon uygulamaları için RASCAL yazılımı kullanılmış; bu yazılım aracılığıyla elde edilen sentetik yer hareketi kayıtları, mevcut gerçek deprem verileri ile karşılaştırılarak doğrulama testlerine tabi tutulmuştur. Zemin davranışına yönelik analizler ise, temsili zemin profilleri üzerinde, tek boyutlu eşdeğer lineer analiz yöntemine dayanan SHAKE 91 programı kullanılarak yürütülmüştür. Bu analizler, farklı zemin türlerinin sismik dalgalara verdiği tepkilerin anlaşılması açısından, özellikle yerleşim alanları içerisindeki yapı güvenliği değerlendirmelerinde kritik bir rol oynamaktadır. Elde edilen bulgular, Balıkesir ili yerleşim alanı sınırları içerisinde seçilen mikrobölgeleme bölgelerinde oluşturulan haritalara entegre edilmiştir. Bu haritalarda, hem zemin davranışı analizlerinden elde edilen veriler hem de ampirik yöntemlerle hesaplanan spektral ivme değerleri birlikte değerlendirilmiş ve bu değerlendirme sonucunda üç farklı yer hareketi seviyesi tanımlanmıştır. Tanımlanan bu seviyeler, yerel zemin koşullarının deprem performansına etkisini nicel olarak ortaya koymakta ve böylece bölgesel risk analizlerinin daha duyarlı ve ayrıntılı biçimde yapılmasına olanak sağlamaktadır. Elde edilen mikrobölgeleme haritaları, özellikle inşaat mühendisliği ve deprem risk yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Çalışmamızda bu tezden yararlanmış olsak da veri tabanımızda haritası bulunmamaktadır. Bu çalışmada üretilen haritalar veri tabanına eklenmiş olsa da, çözünürlüklerinin istenen kaliteyi karşılamaması sebebiyle veri tabanı kullanımına uygun bulunmamıştır.

5.1.3. Çanakkale Şehir Merkezi Sismik Mikrobölgelendirmesi

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde Alper Demirci tarafından 2007 yılında hazırlanan “Çanakkale Şehir Merkezi Sismik Mikrobölgelendirmesi” başlıklı yüksek lisans tezi, bölgesel düzeyde yeraltı zemin özelliklerinin sismik tehlike açısından değerlendirilmesine yönelik önemli katkılar sunmaktadır. Çalışmada, Çanakkale şehir merkezinin mikrobölgeleme çalışmalarında kullanılmak üzere çok sayıda jeofizik yöntem entegre bir biçimde kullanılmıştır. Özellikle

46 noktada gerçekleştirilen elektrik özdirenç (rezistivite) ölçümleri ve 44 noktada yürütülen mikrotremor kayıtları aracılığıyla, yüzey jeolojisine ait hem elektriksel hem de dinamik karakteristikler detaylı bir şekilde ortaya konmuştur. Elektrik özdirenç verileri, bir boyutlu ters çözüm algoritmalarıyla değerlendirilmiş ve her ölçüm istasyonu için derinlik boyunca değişim gösteren yeraltı elektrik profilleri oluşturulmuştur. Bu analizler sonucunda, özellikle Çanakkale şehir merkezinin batı kesimlerinde, Sarıçay Havzası ile Çanakkale Boğazı arasında yüksek rezistivite değerlerine sahip jeolojik birimlerin varlığı saptanmış; bölgenin doğusuna doğru bu değerlerin azalması, alüvyon birikimlerinin yayılımı hakkında önemli ipuçları vermiştir. Diğer yandan, mikrotremor verileri üzerinde yapılan frekans analizleriyle her istasyon için baskın titreşim periyotları (fundamental period) ve yerel zemin büyütme katsayıları hesaplanmış; bu parametrelere dayalı olarak mekânsal dağılım haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen verilere göre, Çanakkale şehir merkezinin hâkim titreşim periyodu 0.15 ila 1 saniye aralığında değişmekte olup bu durum, yapı-zemin etkileşimi açısından farklı yapı tiplerinin performans analizine ışık tutacak nitelikte bilgiler sunmaktadır. Bu bağlamda, çalışma yalnızca mevcut zemin koşullarını tanımlamakla kalmayıp, aynı zamanda şehir ölçeğinde yapılacak mühendislik projeleri için stratejik bir altlık oluşturmaktadır. Özellikle Sarıçay havzasının merkezi ve güney kısımlarında, alüvyon tabakalarını temsil eden 0.5-1 saniye arasında titreşim periyotları gözlemlenmiştir. Bu bulgular, zemin özelliklerinin belirlenmesinde ve sismik mikrobölgeleme çalışmalarında önemli bir temel oluşturmuştur. Çalışma, Çanakkale şehir merkezi için zemin davranışı ve deprem mühendisliği açısından kritik veriler sunarak, yerel planlamalar ve risk analizlerinde kullanıma sunulmuştur. Ayrıca, bu araştırma, sismik mikrobölgeleme çalışmalarının etkin bir şekilde yapılabilmesi için önemli bir referans kaynağı olmuştur. Bu tezde hazırlanan veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. Biga Yarımadası genel jeoloji haritası (MTA, 2002'den düzenlenmiştir).
2. Birlikte değerlendirilen sismik profil, mikrotremor ve sondaj lokasyonları.
3. Çanakkale merkez yerleşim alanının jeoloji haritası (Deniz, 2005).
4. Çanakkale şehir merkezine ait zemin büyütme haritası.
5. Çanakkale şehir merkezine ait zemin hakim titreşim periyodu haritası.
6. Geçmişte Saroz- Gaziköy fayı üzerinde meydana gelmiş deprem bilgileri.
7. Düşey elektrik sondaj noktalarının lokasyonları.

8. Geçmişte Çan-Biga fay zonu üzerinde meydana gelmiş deprem bilgileri.
9. Geçmişte Etili fayı üzerinde meydana gelmiş deprem bilgileri.
10. Geçmişte Sarıköy fayı üzerinde meydana gelmiş deprem bilgileri.
11. Geçmişte Saroz-Gaziköy fayı üzerinde meydana gelmiş deprem bilgileri.
12. Geçmişte Yenice-Gönen fayı üzerinde meydana gelmiş deprem bilgileri.
13. Mikrotremor istasyonlarının lokasyonları.
14. Önerilen kayıt uzunluğu (Sesame,2004).

5.1.4. Antik Galata Bölgesi'nin Mikrotremor Ölçümleri Esaslı Mikrobölgeleme Çalışması

Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde Betül Ergin tarafından 2007 yılında tamamlanan “Antik Galata Bölgesi'nin Mikrotremor Ölçümleri Esaslı Mikrobölgeleme Çalışması” başlıklı yüksek lisans tezi, kentsel mirasın deprem riskine karşı korunmasına yönelik önemli bilimsel katkılar sunmaktadır. Çalışma, İstanbul'un tarihi dokusunun yoğun olarak bulunduğu Galata bölgesinde gerçekleştirilmiş ve özellikle tarihi yapıların yer aldığı alanlarda zemin dinamik özellikleri detaylı biçimde analiz edilmiştir. Mikrotremor yöntemi temel alınarak gerçekleştirilen bu araştırmada, bölgedeki zeminlerin hâkim titreşim periyodu, sismik büyütme faktörleri ve yapılarla zemin arasındaki rezonans ilişkileri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen mikrotremor kayıtları, Fourier ve H/V spektrum analiz teknikleri kullanılarak değerlendirilmiş; bu analizler sonucunda bölgedeki zeminlerin titreşim karakteristikleri ile yapıların dinamik davranışları arasındaki olası etkileşimler ortaya konmuştur. Özellikle tarihi yapıların bulunduğu alanlarda zeminle yapı arasında rezonansa yol açabilecek periyot örtüşmeleri gözlemlenmiş; bu durum, yapıların depremlere karşı kırılganlıklarını artırabilecek önemli bir risk unsuru olarak değerlendirilmiştir. Mikrobölgeleme kapsamında oluşturulan periyot ve büyütme haritaları aracılığıyla, antik Galata bölgesinin deprem tehlikesine karşı duyarlılığı mekânsal olarak belirlenmiş ve bu bulgular, hem kültürel mirasın korunması hem de gelecekteki planlama süreçlerinde zemin-etkileşimli tasarım yaklaşımlarının gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda söz konusu tez, tarihi kent dokusunda mikrotremor temelli mikrobölgeleme çalışmalarının ne derece önemli olduğunu somut örneklerle ortaya koymaktadır. Galata Kulesi, camiler, kiliseler, sinagoglar, hanlar, surlar, okullar gibi tarihi yapıları kapsayan bölgedeki toplamda 147 ölçü noktasında mikrotremor

kayıtları alınmıştır. Bu kayıtların analizi sonucunda, antik surlarla çevrili tarihi alanın dinamik yer davranışları tahmin edilmiştir. Çalışma, bölgedeki zemin özelliklerini ve bu özelliklerin tarihi yapılar üzerindeki potansiyel etkilerini ortaya koymuştur. Elde edilen sonuçlar, Haliç dolgusu üzerinde dinamik davranışın zayıf olduğunu, ancak sırtlarda ve özellikle Galata Kulesi'nin bulunduğu tepe gibi yüksek noktalarda dinamik davranışın güçlü olduğunu göstermektedir. Bu bulgular, Antik Galata Bölgesi'nin zemin özelliklerinin mikrotremor ölçümleri ile detaylı bir şekilde incelenmesini sağlamış ve bölgenin dinamik davranışının daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmuştur. Ayrıca, çalışma, tarihi yapıların güvenliği ve bölgedeki gelecekteki inşaat projelerinin planlanması açısından önemli bir referans kaynağı oluşturmıştır. Elde edilen veriler, zemin koşullarının ve yapıların potansiyel davranışlarını göz önünde bulundurarak, gelecekteki olası afet risklerine karşı daha sağlıklı ve güvenli planlamalar yapılmasına olanak tanıyacaktır. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. Antik Galata bölgesi mahallerinin karakteristik mikrotremor bileşen spektrumları.
2. Antik Galata bölgesinin mikrotremor ölçüm noktaları haritası.
3. Antik Galata bölgesinde yer alan mahalleler (Beyoğlu Belediyesi,2001).
4. Antik Galata bölgesine ait derinlik değerleri haritası.
5. Antik Galata bölgesine ait sönüm değerleri haritası.
6. Antik Galata bölgesine ait yer baskın salınım dönemi haritası.
7. Antik Galata bölgesine ait yerin büyütme değerleri haritası.
8. Antik Galata bölgesine kesme dalgası hızlarına değerlerine ait harita.
9. Belirti noktaları haritası.
10. Belirti noktalarına ait zemin grubu ve zemin sınıfı haritası.
11. İstanbul-Beyoğlu İlçesi imar planı revizyonuna esas jeolojik-jeoteknik etüt raporu.
12. Mahallelerin zemin grubu ve zemin sınıflaması.
13. Ölçü noktalarına ait zemin grubu ve zemin sınıfı tablosu.

5.1.5. Mikrobölgeleme Çalışmalarında Jeofizik ve Geoteknik Verilerin Birlikte Kullanımı: Şişli (İstanbul) Örneği

İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü bünyesinde Burcu Korkmaz tarafından 2007 yılında hazırlanan “Mikrobölgeleme Çalışmalarında Jeofizik ve Geoteknik Verilerin Birlikte Kullanımı: Şişli (İstanbul) Örneği” başlıklı yüksek lisans tezi, disiplinler arası veri

entegrasyonuna dayalı mikrobölgeleme uygulamaları açısından literatürde dikkat çeken çalışmalardan biridir. Çalışmada, İstanbul'un Şişli ilçesi pilot bölge olarak seçilmiş ve yerel zemin davranışlarının sismik tehlike açısından değerlendirilmesi amacıyla jeofizik (özellikle sismik kırılma ve mikrotremor ölçümleri) ile geoteknik (SPT, zemin sınıflandırma, taşıma gücü vb.) veriler bütüncül bir yaklaşımla analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında ayrıca, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) üzerinde tarihsel olarak belgelenmiş sismik aktivite göz önünde bulundurularak, olasılıksal sismik tehlike analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde, 30 yıllık bir zaman dilimi için %30 aşılma olasılığına sahip deprem senaryoları değerlendirilmiş; bu bağlamda, bölgeye özgü jeolojik ve sismotektonik verilerden hareketle, tasarım depremi büyüklüğü (Mw) yaklaşık olarak 7.6 olarak belirlenmiştir. Bu değer, İstanbul gibi yüksek yapı yoğunluğuna sahip, jeolojik çeşitliliği yüksek bir metropolde, mikrobölgeleme ve yapı tasarım çalışmalarının bilimsel temellerle yürütülmesi açısından kritik öneme sahiptir. Bu tasarım depremi büyüklüğünden faydalanılarak, çalışma sahası için ivmeler hesaplanmış ve bölgenin olası deprem etkilerine karşı daha güvenli bir yapılaşma için veriler sunulmuştur. Bu çalışma, Şişli (İstanbul) örneği üzerinden jeofizik ve geoteknik verilerin birlikte kullanılmasıyla mikrobölgeleme çalışmalarının nasıl yapılabileceğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, bölgedeki zemin davranışları ve yapıların deprem etkisi altındaki performanslarını daha iyi anlamak için önemli bir kaynak oluşturmuş ve gelecekte yapılacak inşaat projeleri için gerekli önlemleri almak adına rehberlik sağlamaktadır. Çalışma, aynı zamanda, deprem risklerinin daha doğru bir şekilde analiz edilmesine ve yerel zemin özelliklerine dayalı güvenli yapılaşma stratejilerinin geliştirilmesine katkı sunmaktadır. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. A Şişli bölgesi sismik kırılma nokta koordinatları I.
2. Bölgenin yerleşimine uygunluk haritası.
3. Ek B deprem listesi.
4. Şişli İlçesi (1. Bölge) Borchardt ve Diğ. 1991'e göre kuvvetli hareket zemin büyütme değerleri haritası.
5. Şişli İlçesi (1. Bölge) Borchardt ve Diğ. 1991'e göre zayıf hareket zemin büyütme değerleri haritası.
6. Şişli İlçesi (1. Bölge) Joyner ve Furnal 1984'e göre zemin büyütme haritası.
7. Şişli İlçesi (1. Bölge) Midorikawa 1987'e göre büyütme değerleri haritası.

8. Şişli İlçesi (1. Bölge) zemin hakim titreşim periyodu haritası.
9. Şişli İlçesi (2. Bölge) Borchardt ve Diğ. 1991'e göre kuvvetli hareket zemin büyütme değerleri haritası.
10. Şişli İlçesi (2. Bölge) Borchardt ve Diğ. göre zayıf hareket zemin büyütme değerleri haritası.
11. Şişli İlçesi (2. Bölge) Joyner ve Funala göre zemin büyütme haritası.
12. Şişli İlçesi (2. Bölge) Midorikawaya göre büyütme değerleri haritası.
13. Şişli İlçesi (2. Bölge) zemin hakim titreşim periyodu haritası.
14. Şişli İlçesi sismik ölçüm noktalarının lokasyon haritası.
15. Şişli İlçesi sismik ölçüm noktalarının lokasyon haritasındaki konumları.
16. Şişli İlçesi Vs 30 (2. Bölge) hız haritası.
17. Şişli İlçesi Vs 30 hız haritası.
18. Yer bulduru haritası.

5.1.6. Bursa İli Güzelyalı Beldesi İçin Mikrotremor Ölçümlerine Dayanan Bir Mikrobölgeleme Uygulaması

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Özlem Kepçeoğlu tarafından 2008 yılında tamamlanan “Bursa İli Güzelyalı Beldesi İçin Mikrotremor Ölçümlerine Dayanan Bir Mikrobölgeleme Uygulaması” başlıklı yüksek lisans tezi, yerel zemin koşullarının sismik açıdan değerlendirilmesi bakımından önemli katkılar sunmaktadır. Çalışmada, Bursa ili Mudanya ilçesine bağlı Güzelyalı beldesi, mikrotremor verileri aracılığıyla ayrıntılı biçimde analiz edilmiştir. Söz konusu alan, her biri 150 m x 150 m boyutlarında olmak üzere 63 kare hücreye ayrılarak sistematik bir ölçüm ağı oluşturulmuş ve her hücrede yeterli yoğunlukta mikrotremor kaydı alınmıştır. Veri toplama sürecinde, kültürel gürültü, rüzgâr gibi çevresel ve antropojenik etkilerin ölçüm sonuçlarını bozmasını engellemek amacıyla özel zaman dilimleri ve ölçüm yöntemleri tercih edilmiştir. Elde edilen mikrotremor verileri, H/V spektral oran tekniği olarak da bilinen Nakamura yöntemiyle analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda, zemin büyütme katsayıları ve hâkim titreşim periyotları belirlenmiş; söz konusu parametreler, bölgenin dinamik zemin davranışını nicel olarak ortaya koymuştur. Mikrotremor analizlerinden elde edilen veriler, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı tematik haritalara aktarılmış ve bu sayede bölgedeki sismik davranış parametreleri mekânsal olarak modellenmiştir. Bu haritalar, özellikle

yapılaşma kararlarının verilmesinde ve yerel yönetimlerin deprem riskine karşı alacağı önlemlerde referans teşkil edebilecek niteliktedir. Kepçeoğlu'nun bu çalışması, mikrobölgeleme amaçlı mikrotremor uygulamalarının, düşük maliyetli ve güvenilir bir yöntem olarak, sismik risk değerlendirme süreçlerinde etkin biçimde kullanılabileceğini göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, Güzelyalı Beldesi'nin zemin özelliklerinin mikrotremor ölçümleriyle detaylı bir şekilde incelenmesine imkân tanımış ve bölgenin dinamik davranışının coğrafi olarak nasıl değiştiği görselleştirilmiştir. Bu çalışma, zemin davranışlarının mekânsal dağılımını anlamak ve bölgenin deprem riskini daha iyi değerlendirmek için önemli bir referans kaynağı olmuştur. Ayrıca, bu tür mikrobölgeleme çalışmaları, yerel planlama ve inşaat projeleri için sağlam bir temel oluşturmak açısından büyük önem taşımaktadır. Veri tabanımıza bu çalışmadan aşağıdaki haritaları eklemiş durumdayız.

1. Güzelyalıda kayma dalgası hızlarının değişimi.
2. Güzelyalıda mikrotremor ölçümlerinden elde edilen zemin büyütmesi değerlerinin değişimi.
3. Güzelyalıda mikrotremor ölçümlerinden elde edilen zemin büyütmesi değerlerinin değişimi.
4. Güzelyalıda mikrotremor ölçümlerinden elde edilen zemin hakim periyodu değerlerinin değişimi.
5. Güzelyalıda mikrotremor ölçümlerinden elde edilen zemin hakim periyotlarının değişimi.
6. Güzelyalıda nakamura indisine dayanılarak yapılan hasar tahmini.
7. Güzelyalıda sondajlardan elde edilen zemin büyütmesi değerlerinin değişimi.
8. Güzelyalıda yapılmış mevcut sondajların yeri.
9. Güzelyalıda yapılan mikrotremor ölçümleri.
10. Güzelyalıda yapılan sondaj ve mikrotremor ölçüm noktaları.
11. Güzelyalıda yerel zemin sınıflarının değişimi.
12. Güzelyalıda zemin hakim periyodu ve zemin büyütmesinin bölge içindeki değişimini belirlemek amacıyla oluşturulan kesitler.
13. Zemin büyütmesi ve zemin hakim periyodunun bölge içindeki değişimi.
14. Zemin büyütmesine göre gölcük bölgesi için mikrobölgeleme haritası.

5.1.7. Bakırköy İlçesi'nin Mikrobölgelemesi

Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Muhammed Emin Karasu tarafından 2009 yılında tamamlanan “Bakırköy İlçesi'nin Mikrobölgelemesi” başlıklı yüksek lisans tezi, İstanbul'un Bakırköy ilçesine yönelik zemin büyütme potansiyelini esas alan özgün bir mikrobölgeleme çalışması olarak literatüre katkı sunmaktadır. Bu araştırmada, sismik tehlike analizlerinde kritik bir belirleyici olan zemin büyütmesi parametresi temel alınmış; söz konusu parametre doğrultusunda ilçenin yerel zemin özelliklerinin deprem davranışı üzerindeki etkileri kapsamlı biçimde incelenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan veriler, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü'nün yürüttüğü “İstanbul İli Avrupa Yakası Güney Kesimi Mikrobölgeleme Projesi” çerçevesinde elde edilen mevcut jeoteknik ve jeofizik verilerden derlenmiştir. Bu doğrultuda, Bakırköy ilçesi sınırları içerisinde yer alan ve derinlikleri 30 ila 40 metre arasında değişen 131 sondaj noktasında yürütülen zemin etütlerine ve sismik kırılma deneylerine ait veriler kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Toplanan veriler, bölgenin jeoteknik ve jeofizik özelliklerini kapsamlı biçimde ortaya koyarken, bu bulgular doğrultusunda zemin büyütmesine dayalı mikrobölgeleme haritaları oluşturulmuştur. Söz konusu haritalar, yerel zemin koşullarının sismik davranış üzerindeki etkilerini mekânsal olarak analiz etmeye olanak tanımış ve yapılaşmaya yönelik planlama süreçleri için önemli bir altyapı sunmuştur. Karasu'nun bu çalışması, yerel düzeyde afet risk azaltma stratejilerinin geliştirilmesinde bilimsel bir temel teşkil etmektedir. Çalışmada elde edilen zemin verileri, öncelikle EERA (Equivalent-linear Earthquake site Response Analysis) yazılımı aracılığıyla değerlendirilmiş ve yerel zeminlerin deprem etkisi altındaki dinamik tepkileri ayrıntılı biçimde analiz edilmiştir. Bu analizler kapsamında, farklı stratigrafik özelliklere sahip üç ayrı örnek hücre seçilerek, bu hücreler için DeepSoil programı kullanılarak hem lineer hem de nonlineer davranış modelleri temelinde zemin-tepki analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, EERA yazılımı ile elde edilen çıktılarla karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve modelleme sonuçlarının doğruluk düzeyi ile davranış farkları ortaya konulmuştur. Yürütülen bu çok yönlü analiz süreci, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında mekânsal olarak entegre edilerek değerlendirilmiş ve analiz bulguları haritalar, grafikler ve tematik görselleştirmeler aracılığıyla sunulmuştur. Ayrıca, Marmara Bölgesi'nde beklenen olası büyük depremin inceleme sahasında yaratacağı yer hareketi şiddeti dikkate alınarak, EERA ile elde edilen spektral ivme dağılımları, yerel zeminlerin

ilk 30 metresine ait ortalama kayma dalgası hızları (V_{s30}) ile ilişkilendirilmiş; bu ilişki üzerinden kısa periyot spektral ivme değerleri üretilmiştir.

Bu çalışma, Bakırköy ilçesinin yer sarsıntısı tehlikesine karşı mikrobölgesel risklerini belirlemek ve yerel zemin özelliklerine dayalı deprem tehlike değerlendirmeleri yapmak için önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Ayrıca, bu mikrobölgeleme haritası, bölgedeki deprem risklerinin azaltılmasına yönelik inşaat ve şehir planlama stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. Arçelik deprem kaydına göre elde edilen en büyük spektral ivmelerin Bakırköy ilçesi inceleme alanındaki değişimi.
2. Arçelik deprem kaydına göre elde edilen en büyük yüzey ivmelerinin Bakırköy İlçesi inceleme alanındaki değişimi.
3. Arçelik deprem kaydına göre elde edilen zemin büyütme değerlerinin Bakırköy ilçesi inceleme alanındaki değişimi.
4. Bakırköy ilçesi inceleme alanında yapılan sondajların yerleri.
5. Bakırköy ilçesi inceleme alanının mühendislik jeolojisi haritası.
6. Bakırköy ilçesinde beklenen maksimum taban kayası ivme değerleri.
7. Düzce deprem kaydına göre elde edilen en büyük spektral ivmelerin Bakırköy ilçesi inceleme alanındaki değişimi.
8. Düzce deprem kaydına göre elde edilen en büyük yüzey ivmelerinin Bakırköy ilçesi inceleme alanındaki değişimi.
9. Düzce deprem kaydına göre elde edilen zemin büyütme değerlerinin Bakırköy ilçesi inceleme alanındaki değişimi.
10. Düzce ve Arçelik deprem kayıtlarına göre elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak bulunan en büyük spektral ivmelerin Bakırköy ilçesi inceleme alanındaki değişimi.
11. Düzce ve Arçelik deprem kayıtlarına göre elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak bulunan en büyük yüzey ivmelerinin Bakırköy ilçesi inceleme alanındaki değişimi.
12. Düzce ve Arçelik deprem kayıtlarına göre elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak bulunan zemin büyütme değerlerinin Bakırköy ilçesi inceleme alanındaki değişimi.

13. Eşdeğer kayma dalgası hızına (A-Vs30) göre bölgeleme.
14. Bakırköy ilçesi inceleme alanının mühendislik jeolojisi haritası.
15. Yer sarsıntısı tehlikesine göre bölgeleme.
16. Kısa periyot spektral ivmeye göre bölgeleme.
17. NEHRP B C sınırında 0.2 sn için girdi yer hareket spektral ivme dağılımı.
18. Ortalama spektral ivme degerlerine göre bölgeleme.
19. Sismik kırılma deney noktaları.
20. Yer sarsıntısı tehlikesine göre mikrobölgeleme haritası.

5.1.8. İstanbul Esenler Zeminlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tabanlı Geoteknik Mikrobölgelemesi

Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde T. Fikret Kurnaz tarafından 2011 yılında tamamlanan “İstanbul Esenler Zeminlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tabanlı Geoteknik Mikrobölgelemesi” başlıklı doktora tezi, İstanbul'un Avrupa Yakası'nda yer alan Esenler ilçesinin mühendislik jeolojisi, zemin sınıflamaları ve jeoteknik karakteristiklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli yöntemlerle ayrıntılı biçimde değerlendirildiği nitelikli bir mikrobölgeleme çalışmasıdır. Çalışma, Esenler ilçesinin yerel zemin koşullarının yapılaşma açısından taşıdığı riskleri ortaya koymayı ve bu risklerin mekânsal dağılımını bilimsel yöntemlerle modellemeyi amaçlamıştır. Bu tez çalışmasında, bölgeye ait jeolojik, jeofizik ve jeoteknik veriler birlikte değerlendirilmiş; bölgenin farklı kesimlerine ait zemin karakteristikleri, mühendislik uygulamaları açısından anlamlı sonuçlarla ortaya konmuştur. İnceleme alanının jeolojik formasyonları doğrultusunda, kuzey bölgelerde daha yüksek dayanımlı kumtaşı ve grovak türü kayaçların; güney bölgelerde ise mekanik dayanımı oldukça düşük olan kireçtaşı birimlerinin baskın olduğu tespit edilmiştir. Bölge zeminlerinin büyük kısmı, kalın, aşırı konsolide olmuş, yüksek plastisiteli kil tabakaları ile temsil edilmekte olup, zeminlerin mühendislik davranışını etkileyen bu özellikler, özellikle yerleşime uygunluk açısından önemli bir kriter olarak değerlendirilmiştir. Zemin sınıflandırmasında Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi kullanılmış ve bu doğrultuda bölge zeminlerinin büyük ölçüde CH (yüksek plastisiteli kil) ve CL (düşük plastisiteli kil) gruplarında yer aldığı saptanmıştır. Ayrıca, Standard Penetration Test (SPT) sonuçlarına göre, 15 metre derinliğe kadar olan profillerde SPT-N30 darbe sayılarının ayrılmış kaya birimlerinde 30-50 aralığında olduğu; zemin

ortamlarında ise genel olarak 20-40 aralığında değiştiği gözlemlenmiştir. CBS tabanlı analizlerle elde edilen bu veriler, bölgesel ölçekte güvenli yapılaşma kararlarının alınmasına katkı sağlayacak şekilde tematik haritalar aracılığıyla görselleştirilmiştir. Kurnaz'ın bu çalışması, kentsel gelişim bölgelerinde mikrobölgeleme kriterlerinin belirlenmesi açısından önemli bir akademik katkı sunmaktadır. Bu verilerin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak analiz edilmesi ve mikrobölgelemesi, Esenler ilçesinin geoteknik özelliklerinin daha doğru bir şekilde belirlenmesinde önemli bir adım olmuştur. Bu çalışma, bölgedeki zemin özelliklerini anlamak ve gelecekte yapılacak inşaat projeleri için zemin koşullarına dayalı kararlar almak açısından kritik bir referans kaynağı sağlamaktadır. Çalışmada bu tezden yararlanılmıştır ancak veri tabanına bir harita eklenmemiştir. Bu çalışmada üretilen haritalar veri tabanına eklenmiş olsa da, çözünürlüklerinin istenen kaliteyi karşılamaması sebebiyle veri tabanı kullanımına uygun bulunmamıştır.

5.1.9. Altınova Bölgesinin Arazisi Mikrobölgeleme Haritalarının Jeolojik ve Geoteknik Özelliklere Bağlı Olarak Hazırlanması

Namık Kemal Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Sevim Avcı Yener tarafından 2011 yılında tamamlanan "Altınova Bölgesinin Arazisi Mikrobölgeleme Haritalarının Jeolojik ve Geoteknik Özelliklere Bağlı Olarak Hazırlanması" başlıklı yüksek lisans tezi, Tekirdağ ili sınırları içinde yer alan Altınova bölgesinin yerleşim açısından zemin uygunluğunu değerlendirmeyi amaçlayan kapsamlı bir mikrobölgeleme araştırması niteliği taşımaktadır. Çalışmada, bölgenin jeolojik formasyonları ile geoteknik parametreleri detaylı şekilde analiz edilerek, zemin davranışına dayalı yerleşime uygunluk haritaları oluşturulmuş ve bu sayede yerel ölçekte afet riski yönetimi açısından önemli girdiler sağlanmıştır. Çalışmanın temel amacı, bölgeye ait mevcut yerbilimsel verilerin yeni bir perspektifle yeniden analiz edilmesi ve önceki çalışmaların ortaya koyduğu eksiklerin tamamlanması doğrultusunda detaylı jeolojik ve geoteknik değerlendirmeler yapılmasıdır. Arazi çalışmalarında, topoğrafik haritalar temel alınarak bölgenin morfolojik yapısı, litolojisi, hidrojeolojik koşulları ve mevcut sondaj, sismik ve rezistivite verileri sistematik bir biçimde analiz edilmiştir. Saha verilerinin entegrasyonu ile oluşturulan mikrobölgeleme haritalarında; Standard Penetration Testi (SPT) sonuçları ve bunlara bağlı olarak hesaplanan N60 değerleri üzerinden taşıma gücü analizleri gerçekleştirilmiş; ayrıca kayma

dalgası hız dağılımı (V_s profilleri), ortalama ilk 30 metrelik kayma dalgası hızı (V_{s30}), zemin hâkim titreşim periyodu (T_0), zemin büyütme katsayıları ve sıvılaşma potansiyeli gibi temel mühendislik parametreleri değerlendirilmiştir. Söz konusu parametrelerin mekânsal dağılımları Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı tematik haritalarla görselleştirilerek, bölgedeki yerleşim alanlarının mühendislik açısından güvenliğini etkileyen faktörlerin ayrıntılı bir biçimde ortaya konması sağlanmıştır. Bu çalışma, Altınova bölgesi özelinde, depreme dayanıklı ve sürdürülebilir bir kentleşme stratejisine katkı sunabilecek nitelikte bilimsel bulgular sağlamaktadır. Elde edilen verilere dayanarak, Altınova Bölgesi'nin mikrobölgeleme haritaları hazırlanmış ve bu haritalar aracılığıyla bölgenin deprem riski, sıvılaşma potansiyeli, yamaç stabilitesi ve tsunami riski gibi önemli faktörler değerlendirilmiştir. Bu çalışma, bölgenin jeolojik ve geoteknik özelliklerinin anlaşılmasına ve doğal afetlere karşı hazırlıklı olunmasına önemli bir katkı sağlamıştır. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. Çalışma alanının hidroloji haritası.
2. Eş eğim haritası.
3. İnceleme alanı 1. Tabaka V_s hızları dağılım haritası.
4. İnceleme alanı 2. Tabaka V_s hızları dağılım haritası.
5. İnceleme alanı 3. Tabaka V_s hızları dağılım haritası
6. İnceleme alanı V_{s30} haritası.
7. İnceleme alanında 3 m'deki rezistivite eşdeğer eğrileri.
8. İnceleme alanında 6 m'deki rezistivite eşdeğer eğrileri.
9. İnceleme alanında 10 m'deki rezistivite eşdeğer eğrileri.
10. İnceleme alanında önceden açılmış olan zemin sondajlarından hesaplanmış n60 değerleri kullanılarak yapılmış 1.50m için N60 eşdeğer haritası.
11. İnceleme alanında önceden açılmış olan zemin sondajlarından hesaplanmış N60 değerleri kullanılarak yapılmış 3.00 m için N60 eşdeğer haritası.
12. İnceleme alanında önceden ve çalışma kapsamında açılmış olan zemin sondajlarından hesaplanmış N60 değerleri ile meyerhof yöntemi kullanılarak 3.00 m için yapılmış taşıma gücü haritaları.
13. İnceleme alanındaki rezistivite ölçümü uygulama lokasyonları (DES-JR düşey elektrik sondajı).
14. İnceleme alanındaki sığ sismik kırılma ölçümü uygulama lokasyonları.

15. İnceleme alanındaki zemin sondaj uygulama lokasyonları.
16. İnceleme alanının Borchardt ve ark. (1991)'na göre kuvvetli hareket büyütme haritası.
17. İnceleme alanının Borchardt ve ark. (1991)'na göre zayıf hareket büyütme haritası.
18. İnceleme alanının jeoloji haritası ve enine kesitleri.
19. İnceleme alanının Joyner ve Fumal (1984)'a göre zemin büyütme haritası.
20. İnceleme alanının Midorikawa (1987)'ya göre zemin büyütme haritası.
21. İnceleme alanının mikrobölgeleme haritası.
22. İnceleme alanının sıvılaşma risk haritası.
23. İnceleme alanının tsunami risk haritası.
24. İnceleme alanının yamaç stabilite risk haritası.
25. İnceleme alanının zemin hakim periyodu haritası.

5.1.10. Tek Boyutlu Dinamik Analiz ve Mikrotremor Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması Güzelyalı Mikrobölgeleme Örneği

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Ozan Subaşı tarafından 2017 yılında tamamlanan “Tek Boyutlu Dinamik Analiz ve Mikrotremor Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması: Güzelyalı Mikrobölgeleme Örneği” başlıklı yüksek lisans tezi, Bursa iline bağlı Güzelyalı beldesinde gerçekleştirilen mikrobölgeleme çalışmalarına yönelik önemli bir bilimsel katkı sunmaktadır. Araştırma, bölgenin zemin özelliklerinin belirlenmesi ve deprem kaynaklı dinamik davranışların analiz edilmesi amacıyla çok disiplinli bir metodoloji benimseyerek yürütülmüştür. Çalışmanın ilk safhasında, alanda daha önce yapılmış olan 68 adet sondaja ait jeoteknik veriler, detaylı jeolojik incelemeler ve bölgeye ilişkin geçmiş deprem kayıtları analiz edilmiştir. Bu veriler ışığında, yerel zemin profilleri ayrıntılı biçimde sınıflandırılmıştır. Sınıflama sürecinde ulusal standartlar olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) dikkate alınmış; ayrıca uluslararası ölçekte Eurocode 8 ve NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) kriterleri referans alınarak karşılaştırmalı bir değerlendirme yapılmıştır. Bu bağlamda, çalışmada aktif fay hatları ve kırık zonları tanımlanmış ve söz konusu tektonik unsurlar, geçmiş sismik tehlike analizleriyle birlikte değerlendirilerek bölgenin deprem potansiyeli çok boyutlu olarak ortaya konmuştur. İkinci aşamada, çalışma alanı 200 m x 200 m

boyutlarında eşit hücelere bölünerek mikrobölgeleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Her bir hücrede en az bir mikrotremor kaydı olacak şekilde sahada toplam 14 adet tekil ve 7 adet eş zamanlı mikrotremor ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümlerle elde edilen H/V spektral oranları, bölgenin zemin büyütmesi ve hâkim periyot gibi dinamik parametrelerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Mikrotremor verileri, bir boyutlu (1D) zemin dinamiği analizleri ile karşılaştırılmış ve böylece bölgenin sismik davranışı hem gözlemsel hem de analitik verilerle bütüncül bir şekilde değerlendirilmiştir. Bu tez çalışması, mikrobölgeleme çalışmalarında mikrotremor ölçümlerinin geçerliliğini ve tek boyutlu dinamik analizlerle tutarlılığını ortaya koyarak, yerel zemin davranışlarının güvenilir biçimde modellenmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, elde edilen veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında haritalandırılarak, yapılaşma açısından riskli bölgelerin mekânsal olarak tespiti mümkün kılınmıştır. Bu yönüyle çalışma, hem mühendislik tasarım süreçlerinde hem de kentleşme politikalarında dikkate alınabilecek nitelikli bir bilimsel kaynak teşkil etmektedir. Elde edilen bu veriler, tek boyutlu dinamik analiz yöntemleriyle değerlendirilmiş ve mikrobölgeleme sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, Güzelyalı Beldesi'nde zeminin dinamik özelliklerinin belirlenmesine ve deprem riskinin analiz edilmesine önemli katkılar sağlamıştır. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. 0,1 g için hakim periyot dağılımı.
2. 0,1 g için spektral zemin büyütmesi.
3. 0,2 g için hakim periyot dağılımı.
4. 0,2 g için spektral zemin büyütmesi.
5. 0,2g için bölgedeki spektrum katsayısı dağılımı.
6. 0,3 g için hakim periyot dağılımı.
7. 0,3 g için spektral zemin büyütmesi.
8. 0,3g için bölgedeki spektrum katsayısı dağılımı.
9. 0,4 g için hakim periyot dağılımı.
10. 0,4 g için spektral zemin büyütmesi.
11. 0,4g için bölgedeki spektrum katsayısı dağılımı.
12. 0,1g için bölgedeki spektrum katsayısı dağılımı.
13. Bursa Güzelyalı bölgesi 0,1 g için kayma birim şekil değiştirmeler.
14. Bursa Güzelyalı bölgesi 0,2 g için kayma birim şekil değiştirmeler.
15. Bursa Güzelyalı bölgesi 0,3 g için kayma birim şekil değiştirmeler.

16. Bursa Güzelyalı bölgesi 0,4 g için kayma birim şekil değiştirmeler.
17. Bursa Güzelyalı bölgesi Nakamura indisi değişimi.
18. Bursa Güzelyalı bölgesi zemin büyütmesi değişimi.
19. Bursa Güzelyalı bölgesi zemin hakim periyot değişimi.
20. Gölcük bölgesi zemin büyütmesi sonuçlarının jeolojik harita ile karşılaştırılması (Ansal ve diğ. 2003).
21. Gölcük bölgesi zemin büyütmesinin değişimi.
22. Kocaeli depremi için kayma birim şekil değiştirmeler.

5.1.11. Sismik Mikrobölgeleme Amaçlı Jeofizik ve Geoteknik Çalışmalar Büyükada (İstanbul) Örneği

İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde İnanç Altıntaş tarafından 2018 yılında tamamlanan “Sismik Mikrobölgeleme Amaçlı Jeofizik ve Geoteknik Çalışmalar: Büyükada (İstanbul) Örneği” başlıklı yüksek lisans tezi, İstanbul’un önemli yerleşim alanlarından biri olan Büyükada’da sismik mikrobölgeleme çalışmalarına odaklanan özgün bir araştırmadır. Bu kapsamlı çalışmada, bölgenin zemin davranışı ve potansiyel deprem tehlikesi çok yönlü yöntemlerle incelenerek, mühendislik açısından kritik öneme sahip parametrelerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında, Büyükada’nın sismik tehlike profili hem deterministik hem de olasılıksal (probabilistik) yöntemlerle analiz edilmiştir. Deterministik analizde, bölgeyi etkileyebilecek en olası ve en şiddetli deprem senaryoları dikkate alınarak ivme tahminleri yapılmış; olasılıksal analizde ise belirli bir dönüş periyodu (50 yıl için %10 aşılma olasılığı) esas alınarak yıllık aşılma oranları değerlendirilmiştir. Bu analizlerin bir parçası olarak, sığ zemin tabakalarının kayma dalgası hızlarını (V_s) belirlemek amacıyla çok kanallı yüzey dalgaları analizi (MASW) kullanılmış ve bölgedeki zemin ortamlarının sismik davranışı için sağlam bir temel oluşturulmuştur. Aynı zamanda, mikrotremor ölçümleriyle zeminlerin doğal titreşim özellikleri belirlenmiş; bu sayede zemin büyütmesi ve hâkim periyot gibi dinamik parametreler bölgeye özgü olarak hesaplanmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında, Büyükada’daki zeminlerin sıvılaşma potansiyeli analiz edilmiştir. Bu analiz sürecinde, daha önce tanımlanan tasarım depremi büyüklüğü ve aşılma olasılığı çerçevesinde zemin profilinin sıvılaşmaya karşı davranışı irdelenmiş, sıvılaşma güvenlik katsayıları ve sıvılaşabilirlik derecelendirmeleri yapılmıştır. Ayrıca, elde edilen pik ivme (PGA) ve

zemin büyütme değerleri farklı yöntemlerle karşılaştırmalı olarak analiz edilerek yerel zemin etkilerinin sismik dalga yayılımı üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde ortaya konmuştur. Bu çalışma, Büyükada'nın sismik mikrobölgelemesi ve deprem riskinin belirlenmesi açısından önemli bir katkı sağlamıştır. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. Büyükada semtinde alınan sondaj noktalarının lokasyon haritası.
2. Büyükada'da bulunan sondaj lokasyonlarına ait elde edilmiş büyütme analizi(göreceli) değerleri.

5.1.12. Karasu İlçesi'nin Mikrobölgelemesi

Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Şiyar Akyürek tarafından 2019 yılında tamamlanan “Karasu İlçesinin Mikrobölgelemesi” başlıklı yüksek lisans tezi, Karasu ilçesinin yerel zemin özelliklerini ayrıntılı şekilde ortaya koyarak, olası deprem etkilerine karşı duyarlılığı yüksek bölgelerin belirlenmesine odaklanan özgün bir çalışmadır. Bu araştırmanın temel amacı, ilçe sınırları içerisinde yer alan zeminlerin mühendislik açısından uygunluklarını değerlendirmek ve yerel zemin koşullarını temel olarak riskli bölgelerin mekânsal dağılımını belirlemektir. Çalışma kapsamında, parsel bazında hazırlanmış zemin etüt raporları detaylı biçimde incelenmiş; bu raporlarda yer alan arazi gözlemleri ile laboratuvar deney sonuçları sistematik olarak analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, jeolojik, jeofizik ve geoteknik bilgilerle bütünleştirilerek, çok katmanlı bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri tabanı, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ortamında dijital hale getirilmiş ve mekânsal analizlerin yapılmasına olanak sağlayan bir yazılım ile entegre edilmiştir. CBS tabanlı bu entegrasyon sayesinde, zemin parametrelerinin bölgesel dağılımını gösteren tematik haritalar üretilmiş; bu haritalarda özellikle yeraltı su seviyesi, derinliğe göre değişen SPT-N değerleri, kayma dalgası hızı (V_s) profilleri ve zemin sınıfları detaylı şekilde görselleştirilmiştir. Çalışmada oluşturulan haritalar ve analiz sonuçları doğrultusunda, Karasu ilçesinin farklı jeomekanik özelliklere sahip zemin birimleri ayırt edilerek, mikrobölgeleme ilkeleri çerçevesinde risk analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, özellikle gevşek kumlu zeminlerin bulunduğu alanlar, yeraltı su seviyesinin sığ olduğu bölgeler ve düşük SPT-N değerlerine sahip zayıf zeminlerin yoğunlaştığı alanlar potansiyel risk bölgeleri olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, V_{s30} değerlerinin düşük olduğu

bölgeler de yapılaşma açısından dikkatle değerlendirilmesi gereken alanlar arasında yer almıştır. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. Bolu ilinde eşdeğer kayma dalgası hızına göre bölgeleme (zemin üstünden itibaren 30m ağırlıklı ortalaması).
2. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelike (2007) göre Bolu il merkezi yerel zemin sınıfları.
3. Karasuda YASS haritası.
4. V_s Kayma dalga hızı haritası.

5.1.13. 1999 Marmara Depremi Sonrası İçin Gölcük İlçesi Kıyılarının Sıvılaşmaya Göre Mikrobölgelemesi

İstanbul Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Bölümü'nde Neslihan Albayrak tarafından 2017 yılında tamamlanan “1999 Marmara Depremi Sonrası İçin Gölcük İlçesi Kıyılarının Sıvılaşmaya Göre Mikrobölgelemesi” başlıklı yüksek lisans tezi, Gölcük ilçesinin kıyı alanlarında yer alan zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesini hedefleyen kapsamlı bir çalışmadır. Araştırma alanı olarak seçilen Gölcük, 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi'nin merkez üssü olması nedeniyle, özellikle alüvyal nitelikli kıyı kesimlerinde zemin sıvılaşmasına bağlı mühendislik sorunlarının yoğun biçimde gözlemlendiği kritik bir yerleşim bölgesi olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda, söz konusu çalışma, deprem sonrası oluşan jeoteknik zafiyetlerin mekânsal dağılımının belirlenmesi ve risklerin haritalanmasına yönelik önemli bulgular ortaya koymuştur. Söz konusu deprem sırasında, sıvılaşmaya bağlı olarak taşıma gücü kayıpları, zemin deformasyonları ve yanal yayılmalar gibi mühendislik açısından kritik önemde etkiler meydana gelmiştir. Tez kapsamında, sıvılaşma ve yanal yayılma risklerinin değerlendirilmesinde temel alınan zemin parametreleri, kayma dalgası hızı ölçümleriyle desteklenmiştir. Bu veriler ışığında, bölgenin zemin özellikleri dikkate alınarak ayrıntılı mühendislik analizleri gerçekleştirilmiştir. Sıvılaşma potansiyeli ve bununla ilişkili olarak gelişen yanal yayılma riski, hem mevcut jeoteknik veriler hem de alüvyon tabakaların litolojik ve dinamik özellikleri üzerinden değerlendirilmiştir. Bu analizlerin sonucunda, Gölcük kıyı bölgesinin sıvılaşma açısından taşıdığı yapısal riskler ortaya konmuş ve bu alanlar mikrobölgeleme haritaları aracılığıyla görselleştirilmiştir. Çalışmada ayrıca, deprem etkilerinin mekânsal ve zamansal boyutlarını daha iyi kavrayabilmek amacıyla uzaktan algılama tekniklerinden

yararlanılmıştır. Bu kapsamda, 10 Ağustos 1999 (deprem öncesi), 27 Eylül 1999 (deprem sonrası) ve 2017 (güncel) tarihli uydu görüntüleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Görüntüler, ERDAS Imagine yazılımı ile normalize edilmiş ve ArcGIS ortamında karşılaştırılarak kıyı çizgisindeki değişimler izlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kıyı morfolojisinde meydana gelen değişimlerin sınırlaşma ile doğrudan ilişkili olduğunu göstermekte ve bölgenin yeniden yapılaşmasında dikkate alınması gereken jeoteknik parametrelere işaret etmektedir. Bu bağlamda, tez çalışması hem mikrobölgeleme hem de afet sonrası arazi kullanım planlamaları için önemli bilimsel katkılar sunmaktadır. Bu çalışma, Gölcük ilçesinin sınırlaşma ve yanal yayılma potansiyelinin değerlendirilmesi açısından değerli bir kaynak oluşturmuştur ve özellikle deprem sonrası bölge yönetimi ve yapılaşma açısından önemli bilgiler sunmaktadır. Çalışmada bu tezden yararlanılmıştır ancak veri tabanına bir harita eklenmemiştir. Bu çalışmada üretilen haritalar veri tabanına eklenmiş olsa da, çözünürlüklerinin istenen kaliteyi karşılamaması sebebiyle veri tabanı kullanımına uygun bulunmamıştır.

5.2. İç Anadolu Bölgesinde Yapılan Çalışmalar

İç Anadolu Bölgesi'nde mikrobölgeleme çalışmalarının sınırlı sayıda olduğu ve ağırlıklı olarak büyükşehir merkezlerine odaklandığı görülmektedir. Bölgedeki tezler incelendiğinde (Tablo5.3); Ankara-Keçiören'de CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) destekli mikrobölgeleme çalışmaları gerçekleştirildiği, Eskişehir'de deprem dalgalarının yayılımı ve yerel zemin davranışının analiz edildiği, Kayseri'de ise şehir merkezinde zemin parametrelerinin belirlenmesine yönelik mikrobölgeleme uygulamalarının yapıldığı belirlenmiştir. Bu kapsamda, çalışmaların genel olarak kent merkezlerinin zemin özelliklerinin ortaya konmasına yönelik olduğu söylenebilir.

Tablo 5.3. İç Anadolu Bölgesi Mikrobölgeleme Çalışmaları Envanteri

NO	TÜR	YIL	BÖLGE	İLİLÇE	ÇALIŞMA ADI	YAZAR	KURUM
1	YL	2007	İç Anadolu Bölgesi	Ankara Keçiören	Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Ankara İli Keçiören Bölgesi Mikrobölgeleme Haritalarının Oluşturulması	Tanju YILMAZ	Sakarya Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği
2	YL	2009	İç Anadolu Bölgesi	Kayseri	Kayseri İli Depremelliği ve Özel Bir Mikrobölgeleme Çalışması	Buğrahan ÇAKMAK	Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği
3	YL	2010	İç Anadolu Bölgesi	Ankara	Çok Kriterli Analiz Teknikleri Kullanılarak CBS Tabanında Jeo Çevresel Kriterlere Göre Gölbaşı Öyk Bölgesinin Mikrobölgeleştirilmesi	Derya POLATKAN	Gazi Üniversitesi Şehir ve Bölge Planlama
4	D	2011	İç Anadolu Bölgesi	Eskişehir	Yerel Sismik Ağ ve Mikrobölgeleme Verilerine Dayalı Afet (Deprem) Bilgi Veri Tabanı Analiz ve Tasarımı (Eskişehir İli Örneği)	Uğur AVDAN	Yıldız Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği
5	D	2013	İç Anadolu Bölgesi	Eskişehir	Mikrobölgeleme Çalışmalarında Yer Tepkisi ve Kayma Dalga Hız (Vs) Yapısının Yorumlanması: Eskişehir Örneği	Muammer TUN	İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği
6	D	2016	İç Anadolu Bölgesi	Kırıkkale	Kırıkkale Şehir Merkezinin Deprem Risk Analizi ve Sismik Mikrobölgeleme	Yetiş Bülent SÖNMEZER	Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği
7	YL	2019	İç Anadolu Bölgesi	Nevşehir	Nevşehir İl Merkezi Kuzey Bölümünün Jeoteknik Değerlendirmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi ile Modellenmesi	Rifat AKPANCAR	Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği

5.2.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Ankara İli Keçiören Bölgesi Mikrobölgeleme Haritalarının Oluşturulması

Tanju Yılmaz tarafından 2007 yılında Sakarya Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde tamamlanan “Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Ankara İli Keçiören Bölgesi Mikrobölgeleme Haritalarının Oluşturulması” başlıklı yüksek lisans tezi, Ankara iline bağlı Keçiören ilçesinin jeoteknik özelliklerinin detaylı biçimde analiz edilmesi amacıyla yürütülmüş bir çalışmadır. Bu tez kapsamında, bölgenin zemin parametreleri ile mühendislik açısından önem taşıyan zemin sınıflandırmaları belirlenmiş; elde edilen veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak mekânsal olarak haritalanmıştır. Çalışma, Keçiören'in yerleşime uygunluk potansiyelinin değerlendirilmesine katkı sunan uygulamalı bir mikrobölgeleme örneği niteliğindedir. Çalışma, Keçiören ilçesinin zemin özelliklerini anlamak ve bu veriler ışığında bölgenin deprem riski değerlendirmesini gerçekleştirmek adına önemli bir adım olmuştur. Çalışma kapsamında, 185 adet sondaj sonucundan elde edilen raporlar kullanılarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) aracılığıyla detaylı mikrobölgeleme haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalar, Keçiören'in farklı bölgelerindeki zemin özelliklerini ve sınıflandırmalarını ortaya koymaktadır. Haritalama sürecinde kullanılan CBS, mekânsal veri analizi ve görselleştirme imkanı sunarak, zemin parametrelerinin daha etkili bir şekilde belirlenmesine olanak sağlamıştır. Tezin temel amacı, Keçiören ilçesinin zemin yapısını derinlemesine incelemek ve deprem riski açısından potansiyelini ortaya çıkarmaktır. Mikrobölgeleme haritaları, zemin türlerinin farklı bölgelerdeki dağılımını ve yapısını görsel olarak sergileyerek, gelecekteki inşaat

projeleri ve deprem riski analizi için önemli bir kaynak oluşturmuştur. Bu çalışma, bölgenin zemin koşullarını anlamak ve bu koşullara dayalı risk haritaları üretmek adına önemli bir veritabanı oluşturmayı hedeflemiştir. Sonuç olarak, bu tez, Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin jeofizik mühendisliği alanındaki uygulamalarında nasıl etkin bir şekilde kullanılabileceğine dair bir örnek sunmakta ve bölgesel mikrobölgeleme çalışmalarının zemin parametreleri ve deprem riski değerlendirmesi açısından ne denli önemli olduğunu vurgulamaktadır. Bu tür çalışmalar, aynı zamanda diğer benzer şehirlerde de benzer metotlarla uygulanarak, ülke genelinde daha sağlıklı ve güvenli yaşam alanları yaratılmasına katkı sağlayabilir. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. İnceleme alanının YASS (yeraltı su seviyesi) haritası.
2. Kat (bina yüksekliği) sorgulama haritası-1.
3. Kat (bina yüksekliği) sorgulama haritası-2.
4. Keçiörene ait SPT 1 (standart penetrasyon testi) haritası.
5. Keçiörene ait SPT 2 (standart penetrasyon testi) haritası.
6. Keçiörene ait SPT 3 (standart penetrasyon testi) haritası.
7. SPT 4 (standart penetrasyon testi) haritası.
8. ZEG 1 (zemin emniyet gerilmesi) haritası.
9. ZEG 2 (zemin emniyet gerilmesi) haritası.

5.2.2. Kayseri İli Depremselliği ve Özel Bir Mikrobölgeleme Çalışması

Buğrahan Çakmak tarafından 2009 yılında Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilen "Kayseri İli Depremselliği ve Özel Bir Mikrobölgeleme Çalışması" başlıklı yüksek lisans tezi, Kayseri ilinin deprem riskini değerlendirmek ve özellikle Kayseri Organize Sanayi Bölgesi'nin zemin yapısını incelemek amacıyla yapılmıştır. Çalışma, Kayseri ilinin genel depremsellik analizini gerçekleştirmenin yanı sıra, sanayi bölgeleri gibi yoğun yerleşim alanlarının zemin özelliklerini ve deprem riski üzerindeki etkilerini derinlemesine incelemeyi hedeflemiştir. Çalışma kapsamında, 1900-2008 yılları arasındaki Kayseri ili deprem kayıtlarından elde edilen verilerle ilin genel depremselliği analiz edilmiştir. Bu veriler ışığında, Kayseri'nin deprem aktivitesinin bölgesel etkileri ve riskleri ortaya konmuştur. Bunun yanı sıra, Kayseri Organize Sanayi

Bölgesi'nin zemin yapısını değerlendirmek için bir şirket tarafından yapılan geoteknik raporlar kullanılmış ve bu raporlar, literatürdeki mevcut bağlantılarla karşılaştırılarak detaylı bir şekilde incelenmiştir. Tezde ayrıca, Kayseri Organize Sanayi Bölgesi'nin zemin büyütmesine göre mikrobölgeleme çalışması yapılmıştır. Mikrobölgeleme, zemin türlerinin, bileşenlerinin ve bu bileşenlerin deprem sırasında ne şekilde etkileşime gireceğinin analiz edilmesini sağlamıştır. Bu çalışma, Kayseri Organize Sanayi Bölgesi'nin zemin özelliklerini detaylı bir şekilde belirleyerek, olası deprem etkilerinin ve bu etkilerin bölgedeki altyapı ile yapılaşma üzerinde oluşturabileceği potansiyel riskleri değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu tez, Kayseri ilinin depremselliği hakkında önemli bilgiler sunmakla birlikte, özellikle organize sanayi bölgelerindeki zemin koşullarının deprem riski açısından değerlendirilmesinin önemine dikkat çekmektedir. Mikrobölgeleme çalışmasıyla elde edilen sonuçlar, sadece deprem riski değerlendirmesi açısından değil, aynı zamanda bölgenin altyapı planlaması ve yapılaşma kararlarında da kritik rol oynamaktadır. Bu tür çalışmalarda elde edilen veriler, Kayseri ilinin deprem güvenliği için gelecekte yapılacak çalışmalar ve alınacak önlemler açısından önemli bir temel oluşturabilir. Çalışmada bu tezden yararlanılmıştır ancak veri tabanına bir harita eklenmemiştir. Bu çalışmada üretilen haritalar veri tabanına eklenmiş olsa da, çözünürlüklerinin istenen kaliteyi karşılamaması sebebiyle veri tabanı kullanımına uygun bulunmamıştır.

5.2.3. Çok Kriterli Analiz Teknikleri Kullanılarak Cbs Tabanında Jeo Çevresel Kriterlere Göre Gölbaşı ÖÇK Bölgesinin Mikrobölgelendirilmesi

Derya Polatkan'ın 2010 yılında Gazi Üniversitesi Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı'nda tamamladığı *“Çok Kriterli Analiz Teknikleri Kullanılarak CBS Tabanında Jeo-Çevresel Kriterlere Göre Gölbaşı ÖÇK Bölgesinin Mikrobölgelendirilmesi”* başlıklı yüksek lisans tezi, Ankara'nın önemli doğal miras alanlarından biri olan Gölbaşı Özel Çevre Koruma (ÖÇK) Bölgesi üzerine odaklanmaktadır. Çalışma, özellikle Mogan ve Eymir gölleri çevresindeki ekosistemlerin uzun vadeli çevresel değişimini değerlendirerek, doğal kaynakların sürdürülebilir yönetimi açısından bilimsel bir temel sunmayı amaçlamaktadır. Araştırmada, 1992 ile 2008 yılları arasında bölgedeki doğal kaynak bileşenlerinde meydana gelen değişimler, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli uzaktan algılama teknikleri aracılığıyla analiz edilmiştir. Hem geçmiş hem de güncel arazi kullanım

haritaları kullanılarak yapılan karşılaştırmalı analizler, Gölbaşı ÖÇK bölgesinde gözlenen arazi örtüsü değişimlerinin zamansal dinamiklerini sayısal verilerle somutlaştırmıştır. Bu süreçte jeo-çevresel kriterler temel alınarak, çevresel etkilerin mekânsal dağılımı değerlendirilmiş ve bölge, çevresel öncelik düzeyine göre beş ayrı mikrobölge şeklinde derecelendirilmiştir. Çalışma, çevresel planlama açısından yalnızca mevcut durum analizini sunmakla kalmayıp, aynı zamanda koruma-kullanma dengesi doğrultusunda geliştirilecek stratejilere yönelik öneriler de içermektedir. Bu bağlamda, doğal alanlarda sürdürülebilirlik ilkesine dayalı planlama kararlarının alınmasında, çok kriterli karar verme teknikleriyle desteklenen CBS tabanlı mikrobölgeleme yaklaşımlarının ne denli etkili olabileceğini örnekleyen nitelikli bir çalışma olarak literatüre katkı sunmaktadır.

Çalışmanın temel odak noktası, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) istatistiksel modelinin kullanılmasıyla, bölgedeki jeo-çevresel kriterlere dayalı olarak korunması gereken alanların belirlenmesidir. Bu model sayesinde, bölgenin korunması gereken bölgeleri ve bu bölgelerde yapılması gereken müdahaleler daha objektif bir şekilde ortaya konmuştur. Analiz sonuçlarına göre oluşturulan koruma öncelikleri haritası, Gölbaşı'nın ekosisteminin korunmasına yönelik etkili planlamalar için önemli bir rehber sunmaktadır. Çalışma bulguları, Gölbaşı ÖÇK bölgesinde 16 yıllık süreçte yaşanan en önemli arazi kullanım değişikliğinin yerleşim alanlarında olduğunu göstermektedir. 1703 hektarlık bir artış gözlemlenen bu alanda, aynı dönemde tarım, açık alanlar ve ağaçlık alanlarda toplamda 1815 hektarlık bir küçülme meydana gelmiştir. Bu durum, özellikle yerleşim alanlarının artışı ile birlikte doğal yaşam alanlarının daralmasına yol açmış, ekosistem üzerinde olumsuz etkiler yaratmıştır. Ayrıca, koruma alanı olmasına rağmen sanayi ve depolama alanlarında 643 hektarlık bir artış tespit edilmiştir. Bu artış, bölgedeki çevresel baskıyı artırarak, özellikle su kaynaklarının kirlenmesine yol açabilecek potansiyel tehditleri de beraberinde getirmiştir. Bu değişimlerin, akifer ve akifer reşarj alanları üzerinde de olumsuz etkiler yaratarak, su kaynaklarının kalitesini tehdit etmesi mümkündür. Sonuç olarak, bu çalışma, Gölbaşı bölgesindeki doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi için alınması gereken önlemleri belirlemeye yönelik önemli veriler sunmuştur. Bu veriler, yerel yönetimler ve planlamacılar için, bölgedeki doğal kaynakların korunmasına yönelik stratejilerin oluşturulmasında temel bir kaynak olabilir. Ayrıca, çalışmanın bulguları, çevresel değişimlerin hızlı bir şekilde izlenmesi ve yönetilmesi gerektiğini de ortaya koymaktadır. Çalışmada bu tezden yararlanılmıştır ancak veri tabanına

bir harita eklenmemiştir. Bu çalışmada üretilen haritalar veri tabanına eklenmiş olsa da, çözünürlüklerinin istenen kaliteyi karşılamaması sebebiyle veri tabanı kullanımına uygun bulunmamıştır.

5.2.4. Yerel Sismik Ağ ve Mikrobölgeleme Verilerine Dayalı Afet (Deprem) Bilgi Sistemi İçin Bir Veri Tabanı Analiz ve Tasarımı (Eskişehir İli Örneğinde)

Yıldız Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü'nde Uğur Avdan tarafından 2011 yılında tamamlanan “Yerel Sismik Ağ ve Mikrobölgeleme Verilerine Dayalı Afet (Deprem) Bilgi Sistemi İçin Bir Veri Tabanı Analizi ve Tasarımı (Eskişehir İli Örneğinde)” başlıklı doktora tezi, deprem afetine karşı hazırlıklı olmayı hedefleyen entegre bir bilgi sisteminin geliştirilmesine odaklanmaktadır. Çalışma, deprem öncesi, sırası ve sonrasında ilişkin süreçlerde kullanılabilecek, yapısal risklerin belirlenmesi ve azaltılmasına katkı sunacak bir afet bilgi sistemi tasarımını içermektedir. Bu sistem, mikrobölgeleme verileri ve yerel sismik ağlardan elde edilen bilgilerle desteklenerek afet yönetiminin her aşamasında karar vericilere doğru ve zamanında bilgi sunmayı amaçlamaktadır. Özellikle deprem anında hızlı ve eş zamanlı bilgiye erişim olanağı sağlayarak, olası yapısal hasarların tahmini, riskli alanların belirlenmesi ve müdahale süreçlerinin daha etkili planlanmasına katkı sağlamaktadır. Tez kapsamında, Eskişehir ili örneğinde uygulanan bu model ile, afet yönetiminde coğrafi bilgi sistemlerinin (CBS) ve veri tabanı tasarımının entegrasyonu üzerinden geliştirilen bu sistemin, yerel düzeyde afet direncinin artırılmasına yönelik işlevsel bir araç sunduğu ortaya konulmuştur. Çalışma, yerel sismik ağ ve mikrobölgeleme verilerini kullanarak, bölgedeki deprem risklerini detaylı bir şekilde analiz etmeyi amaçlamaktadır. Bu veriler, Eskişehir ili özelinde, yerel düzeyde daha doğru ve hızlı bir afet müdahale stratejisinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Deprem öncesinde yapısal risklerin tespit edilmesi, önleme ve güçlendirme çalışmalarına yön verecek, böylelikle deprem sonrası meydana gelebilecek zararların azaltılması sağlanacaktır. Tezin bir diğer önemli bileşeni ise, deprem sonrası kurtarma ve iyileştirme çalışmalarına yönelik altyapının oluşturulmasıdır. Bu, afet anında sistemin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için büyük önem taşımaktadır. Sistem, afet sonrası yaşanacak kurtarma ve iyileştirme süreçlerine yönelik olarak, gerekli verileri sağlayarak, sahadaki çalışmaları yönlendirmek amacıyla kullanılacaktır. Eskişehir ili örneğinde yapılan bu çalışma, yerel sismik ağ ve mikrobölgeleme verilerine dayalı olarak bir veri tabanı analizi ve tasarımını içermekte olup, bu sayede bölgesel düzeyde afet risk yönetimine katkı sağlanacak bir bilgi sistemi

geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu sistem, deprem anında hızlı bilgi akışını sağlayarak, yerel yönetimlerin ve ilgili kuruluşların müdahalelerini hızlandırmayı ve etkinleştirmeyi hedeflemektedir. Sonuç olarak, bu çalışma, afet yönetimi ve deprem risk azaltma alanında önemli bir adım olup, hem deprem öncesi hazırlıklar hem de deprem sonrası müdahale süreçleri için önemli bir altyapı oluşturma potansiyeline sahiptir. Aynı zamanda, Eskişehir örneği, diğer bölgelerde de benzer sistemlerin kurulabilmesi için bir model teşkil edebilir. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. Anket sonucu elde edilen bina envanteri.
2. Çalışma alanındaki alüvyon zemin için doğal titreşim periyodu (T_0).
3. Çalışma alanındaki bina kat yükseklikleri.
4. Çalışma alanının faya olan mesafesi.
5. Deprem etki süresi haritası.
6. Eskişehir kent merkezi sarsıntı haritası.
7. Eskişehir kent merkezi yer değiştirme (cm) haritası (0.5-2 cm).
8. NEHRP'e bağlı zemin haritası.
9. Rezonans haritası.
10. Sıvılaşma potansiyeli haritası.
11. Yapı periyotları haritası.
12. Yapılara ilişkin fay puanı.
13. Yapılara ilişkin sıvılaşma potansiyeli puanı.
14. Yapıların göreceli risk durumu.
15. Zemin puanı eklenmiş yapılar.

5.2.5. Mikrobölgeleme Çalışmalarında Yer Tepkisi ve Kayma Dalga Hız (Vs) Yapısının Yorumlanması: Eskişehir Örneği

Muammer Tün tarafından 2013 yılında İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilen "Mikrobölgeleme Çalışmalarında Yer Tepkisi ve Kayma Dalga Hızı (Vs) Yapısının Yorumlanması: Eskişehir Örneği" başlıklı doktora tezi, Eskişehir ilindeki zemin özelliklerinin mikrobölgeleme çalışmaları ile değerlendirilmesine odaklanmaktadır. Bu çalışma, bölgedeki jeolojik yapıyı ve zemin özelliklerini detaylı bir şekilde inceleyerek, yerel zemin parametrelerinin belirlenmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Çalışma alanının jeolojik yapısı incelendiğinde, kuzeyde Triyas yaşlı

metamorfik kayalar ve güneyde Pliyosen, Miyosen ve Eosen yaşlı sedimanter kayaların yüzeylendiği tespit edilmiştir. Ayrıca, Eskişehir Ovası'nın üst seviyesinin Kuvaterner yaşlı birimler tarafından oluşturulduğu belirlenmiştir. Bu jeolojik yapı, zemin özelliklerinin ve mikrobölgeleme analizlerinin yorumlanmasında önemli bir referans olmuştur. Bu çalışmada, tek istasyon mikrotremor (H/V) lmleri kullanılarak, çalışma alanı için Zemin Hakim Frekans Haritası hazırlanmıştır. H/V oranı, yerel zeminlerin dinamik özelliklerini ve tepki frekanslarını analiz etmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Elde edilen harita, bölgedeki farklı zemin koşullarının frekans verileriyle görsel olarak temsil edilmesini sağlamış ve bu veriler, bölgenin jeoloji haritası ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda, yüksek frekans değerlerinin genellikle anakayanın yüzeylendiği bölgelere denk geldiği gözlemlenmiştir. Bu durum, anakaya yüzeyi ile zemin arasında bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, H/V oran eğrilerindeki piklerin jeolojik yapılarla ilişkilendirilmesi yapılmış ve bu eğrilerdeki belirgin zirveler, zemin tipi ve yapısal özelliklerle örtüşmüştür. Kayma dalga hızı (Vs) yapıları ile ölçülen frekans değerlerinin uyumu da kontrol edilmiş, bu sayede bölgedeki zemin özelliklerinin daha derinlemesine anlaşılması sağlanmıştır. Kayma dalga hızı, zeminlerin dayanıklılığı ve deprem anındaki tepkileri hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma, mikrobölgeleme çalışmalarında yerel zemin özelliklerinin ve jeolojik yapıların birlikte değerlendirilmesi açısından önemli bir adım olarak kabul edilebilir. Ayrıca, bu tür çalışmaların, yerel deprem riski değerlendirmelerinde ve inşaat mühendisliği projelerinde önemli bir kaynak oluşturacağı söylenebilir. Çalışma, zemin özelliklerinin daha doğru bir şekilde belirlenmesine ve bu bilgilerin afet risk yönetiminde nasıl etkin bir şekilde kullanılabileceğine dair önemli bilgiler sunmaktadır. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. 500 m aralıklı gridlere bölünmüş çalışma alanı tek istasyon mikrotremör ölçüm noktaları ve Mayıs 2009 tarihli Quickbird uydu grntş.
2. Çalışma alanı alüvyon kalınlığı değişim haritası.
3. Çalışma alanı anakaya derinliği değişim haritası.
4. Çalışma alanı hakim frekans değişim haritası.
5. Çalışma alanı için ARCMAP-Geostatistical Analyst, uzaklığın tersi ile ağırlıklandırma ekranı.

6. Çalışma alanı içinde yer alan KD-GB doğrultulu hat boyu mikrotremor ölçüm yerlerini gösteren harita.
7. Çalışma alanı yükseklik modeli üzerinde mikrotremor ölçüm yerleri mekânsal dağılım haritası ve H/V hakim frekans değerleri.
8. Çalışma alanında 318 noktada toplanan mikrotremor ölçümlerinden hesaplanan hakim frekans değerleri değişim haritası.
9. Eskişehir ve İnönü ovaları hidrojeoloji haritasında verilen I, II ve III numaralı jeolojik kesitlerin yerlerini gösteren harita.
10. İmar planı üzerinde zemin büyütmesine göre dağılımı.
11. K-L hattı üzerindeki tek istasyon mikrotremor ölçümü H/V oranı grafik verileri ve göreceli derinlik kesiti.
12. Mikrotremör ölçümlerinin alındığı noktaları gösteren harita.

5.2.6. Kırıkkale Şehir Merkezinin Deprem Risk Analizi ve Sismik Mikrobölgelemesi

Yetiş Bülent Sönmezer tarafından 2016 yılında Kırıkkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilen "Kırıkkale Şehir Merkezinin Deprem Risk Analizi ve Sismik Mikrobölgelemesi" başlıklı doktora tezi, Kırıkkale ilinin deprem riski ve sismik mikrobölgelemesi üzerine kapsamlı bir değerlendirme sunmaktadır. Bu çalışma, Kırıkkale'nin yerel zemin koşulları, yapı stoğu ve bölgesel sismik aktiviteyi göz önünde bulundurarak, şehrin deprem riski ve mikrobölgelemesi üzerine ayrıntılı bir analiz yapmaktadır. Çalışmada, jeolojik, jeofizik ve geoteknik verilere dayalı olarak Kırıkkale'nin sismik mikrobölgelemesi yapılmış ve şehrin deprem riskini daha doğru bir şekilde belirlemek için ayrıntılı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, tarihi ve aletsel dönemde meydana gelen depremlerden elde edilen veriler kullanılarak, şehir merkezindeki olası deprem büyüklüğü belirlenmiştir. Bu hesaplama, 50 yılda %10 aşılma ihtimali göz önüne alınarak, Poisson olasılık dağılımı kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntem, bölgedeki potansiyel deprem büyüklüklerini ve sıklığını tahmin etmek için yaygın bir yaklaşımdır. Deprem büyüklüğü, fay hattına olan uzaklık ve yerel zemin özellikleri gibi temel parametreler dikkate alınarak, yeni nesil azalım ilişkileri aracılığıyla anakaya düzeyine ait hedef ivme spektrumu hesaplanmıştır. Bu spektrum, kentsel alanın sismik davranışının değerlendirilmesinde önemli bir referans teşkil etmektedir. Elde edilen spektral ivme değerleri, ölçeklenmiş gerçek deprem kayıtları ile birlikte değerlendirilmiş ve analizler,

500 m x 500 m boyutlarında tanımlanmış hücre sistemini temsil eden zemin profilleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu profillerde, 1-D eşdeğer lineer zemin davranış analizleri gerçekleştirilmiş ve SHAKE2000 programı kullanılarak zemin davranışının simülasyonu yapılmıştır. Bu analizler, zeminlerin deprem anındaki davranışlarını modellemek için etkili bir yöntemdir ve Kırıkkale'nin deprem risk analizini daha hassas hale getirmiştir. Sonuç olarak, bu çalışma, Kırıkkale'nin deprem riski ve sismik mikrobölgelemesinin belirlenmesi açısından önemli bir adım olarak kabul edilebilir. Elde edilen veriler, şehrin deprem riski yönetimi, yapılaşma planlaması ve afet öncesi hazırlık çalışmalarında kullanılabilir. Ayrıca, bu tür çalışmalar, şehirlerin deprem güvenliği için kritik bir kaynak oluşturarak, gelecekte yapılacak benzer analizler için bir model teşkil edebilir. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. Kırıkkale için 0,2 s periyotlu spektral ivme haritası.
2. Kırıkkale için 1 s periyotlu spektral ivme haritası.
3. Kırıkkale için Midorikawa (1987) kayma dalgası hızına bağlı büyütme faktörleri haritası.
4. Kırıkkale için pik yer ivmesi (PGA) haritası.
5. Kırıkkale için sismik kırılma testi sonuçlarına göre V_{s30} değerlerinin dağılımı.
6. Kırıkkale için zemin büyütme haritası.
7. Kırıkkale için zemin hakim periyodu haritası.
8. Kırıkkale'de PGV'nın dağılımı.
9. Sınır değer 50'ye göre güvenli ve güvensiz binaların haritası.
10. Sınır değer 50'ye göre güvensiz binaların haritası.
11. Sınır değer 60'a göre güvenli ve güvensiz binaların haritası.
12. Sınır değer 60'a göre güvensiz binaların haritası.
13. Zemin davranış analizlerinde kullanılan hücre sistemi.

5.2.7. Nevşehir İl Merkezi Kuzey Bölümünün Jeoteknik Değerlendirmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi İle Modellenmesi

Rıfat Akpancar tarafından 2019 yılında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamlanan “*Nevşehir İl Merkezi Kuzey Bölümünün Jeoteknik Değerlendirmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemi ile Modellenmesi*” başlıklı yüksek

lisans tezi, kentsel yerleşim açısından önem arz eden Nevşehir kuzey yerleşim bölgesinin jeoteknik karakterizasyonunu ve bu karakterizasyonun CBS destekli mekânsal modellemelerle haritalandırılmasını hedeflemektedir. Çalışma sahası, yaklaşık 10 km²'lik bir alanda sınırlı tutulmuş olup, saha verileri ve laboratuvar analizleri aracılığıyla bölgedeki zeminlerin mühendislik parametreleri detaylı biçimde ortaya konulmuştur. Araştırma sürecinde, jeolojik haritalar, sayısallaştırılmış topografik veri setleri, önceki bilimsel çalışmalar, saha gözlemleri, sondaj verileri ve jeofizik ölçümler gibi çok yönlü veri kaynakları birlikte değerlendirilmiştir. Bu veriler, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı bir veri tabanı ortamına aktarılmış; bu sayede, farklı mühendislik ihtiyaçlarına yönelik tematik haritalar oluşturulmuştur. Elde edilen bilgiler ışığında bölge zeminlerinin Standart Penetrasyon Deneyi (SPT-N) değerleri, Kayma Dalga Hızı (V_{s30}), Zemin Hakim Titreşim Periyodu (T_0), Zemin Büyütmesi ve Zemin Sınıfı gibi temel mühendislik parametreleri tanımlanarak, mekânsal analizlerle jeoteknik harita katmanlarına dönüştürülmüştür. Çalışmanın özgün katkısı, söz konusu teknik verilerin CBS aracılığıyla entegre edilerek, özellikle Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) ve eğim haritası gibi morfolojik değişkenlerle ilişkili mekânsal çözümleri gerçekleştirmesidir. Bu kapsamda geliştirilen haritalar, hem yerel yönetimlerin imar ve planlama faaliyetlerinde kullanılabilecek güncel jeoteknik bilgi sunmakta hem de bölgenin sismik risk değerlendirmelerine altyapı oluşturmaktadır. Bu haritalar, bölgenin zemin özelliklerini daha iyi anlamak ve gelecekteki mühendislik projeleri, inşaat ve afet planlamalarına katkı sağlamak amacıyla önemli bir temel oluşturmuştur. Bu çalışma, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı bir yaklaşımın, jeoteknik değerlendirmelerin modellenmesi ve haritalanması açısından yenilikçi ve pratik bir örnek sunmaktadır. Sonuç olarak, Rıfat AKPANCAR'ın tez çalışması, Nevşehir il merkezinin kuzey bölgesindeki zeminlerin mühendislik özelliklerini anlamak, bu verileri görselleştirmek ve jeoteknik haritalar ile veri tabanlarını geliştirerek ileriki yıllarda kullanılacak altyapıyı oluşturmak açısından önemli bir katkı sağlamaktadır. Çalışmada bu tezden yararlanılmıştır ancak veri tabanına bir harita eklenmemiştir. Bu çalışmada üretilen haritalar veri tabanına eklenmiş olsa da, çözünürlüklerinin istenen kaliteyi karşılamaması sebebiyle veri tabanı kullanımına uygun bulunmamıştır.

5.3. Karadeniz Bölgesinde Yapılan Çalışmalar

Karadeniz Bölgesi’nde mikrobölgeleme çalışması sayısının oldukça sınırlı olduğu görülmektedir (Tablo 5.4). Bölgede büyük depremler nispeten daha az gerçekleşmekle birlikte, topoğrafik koşullar ve yerel zemin özellikleri mühendislik açısından sorun oluşturabilecek niteliktedir. Bu nedenle, özellikle heyelan potansiyeli yüksek ve zemin koşulları karmaşık alanlarda ayrıntılı mikrobölgeleme çalışmalarının yürütülmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Tablo 5.4. Karadeniz Bölgesi Mikrobölgeleme Çalışmaları Envanteri

NO	TÜR	YIL	BÖLGE	İLİLÇE	ÇALIŞMA ADI	YAZAR	KURUM
1	YL	2006	Karadeniz Bölgesi	Düzce	Düzce İli Mikrobölgesel Zemin Parametrelerinin Haritalanması	Zeynan KELEŞ	Sakarya Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği
2	D	2022	Karadeniz Bölgesi	Gümüşhane	Gümüşhane ve Çevresinin Jeofizik Verilerle Yer Etkisinin İncelenmesi ve Mikrobölgeleme Çalışması	Yasemin BEKER USTA	Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği

5.3.1. Düzce İli Mikrobölgesel Zemin Parametrelerinin Haritalanması

Zeynan Keleş tarafından 2006 yılında Sakarya Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü’nde tamamlanan “Mikrobölgesel Zemin Parametrelerinin Haritalanması” başlıklı yüksek lisans tezi, Düzce ili sınırlarında yürütülen imar planı revizyon çalışmalarına zemin verisi temelli katkı sunan uygulamalı bir araştırmadır. Söz konusu çalışma, Düzce kent merkezinin jeoteknik karakteristiklerinin belirlenmesi ve bu özelliklerin mikrobölgesel ölçekte haritalanmasına odaklanmıştır. Araştırma kapsamında, toplam 285 adet zemin sondajından ve 185 sismik kırılma ölçümünden elde edilen veriler detaylı şekilde analiz edilmiştir. Bu veriler, bölgedeki yerleşim alanlarının mühendislik açısından taşıdığı zemin risklerini tanımlamak ve yapılaşma kararlarını bilimsel temellere oturtmak amacıyla değerlendirilmiştir. Ayrıca, Düzce Belediyesi tarafından yürütülen parsel bazlı zemin etüt çalışmalarından elde edilen veriler de araştırmaya entegre edilmiş; böylece bölgenin zemin parametreleri çok yönlü bir veri setiyle daha kapsamlı olarak ortaya konulmuştur. Elde edilen zemin parametreleri, bölgedeki farklı mikro bölgelere göre detaylı bir şekilde haritalanmış ve bu sayede Düzce İli’nde zemin özelliklerinin dağılımı hakkında ayrıntılı bilgi sağlanmıştır. Bu haritalama işlemi, zemin özelliklerinin mekansal olarak daha iyi

anlaşılmasını ve yorumlanmasını sağlamıştır. Çalışmanın sonuçları, imar revizyonu ve inşaat projeleri gibi alanlarda, zemin özelliklerinin dikkate alınması gerektiği durumlar için önemli bir kaynak oluşturmıştır. Özellikle inşaat mühendisliği, şehir planlaması ve zemin etüt çalışmalarında, bölgedeki zemin parametrelerinin haritalanması, daha güvenli ve sağlıklı yapılaşma için faydalı bir araç olmuştur. Bu çalışma, mikrobölgesel zemin parametrelerinin haritalanması açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. Birinci tabaka bulk modülü haritası.
2. Birinci tabaka elastisite modülü haritası.
3. Birinci tabaka kayma modülü haritası.
4. Birinci tabaka oturma miktarı haritası.
5. Birinci tabaka poisson oranı haritası.
6. Birinci tabaka SPT haritası.
7. Birinci tabaka yoğunluk haritası.
8. Birinci tabaka zemin büyütme haritası.
9. Birinci tabaka zemin emniyet gerilmesi haritası.
10. İkinci tabaka bulk modülü haritası.
11. İkinci tabaka elastisite modülü haritası.
12. İkinci tabaka kayma modülü haritası.
13. İkinci tabaka oturma miktarı haritası.
14. İkinci tabaka poisson oranı haritası.
15. İkinci tabaka SPT haritası.
16. İkinci tabaka yoğunluk haritası.
17. İkinci tabaka zemin büyütme haritası.
18. İkinci tabaka zemin emniyet gerilmesi haritası.
19. İkinci tabaka zemin taşıma gücü haritası.
20. Kullanılan verilerin düzce pafta anahtarı üzerinde gösterimi.
21. P dalgası hızı 1.tabaka haritası.
22. P dalgası hızı 2.tabaka haritası.
23. S dalgası hızı 1.tabaka haritası.
24. S dalgası hızı 2.tabaka haritası.
25. Sıvılaşma haritası.

26. YASS haritası.
27. Zemin hakim titreşim peryodu haritası.
28. Zemin tipi 1. tabaka haritası.
29. Zemin tipi 2. tabaka haritası.
30. Birinci tabaka zemin taşıma gücü haritası.

5.3.2. Gümüşhane ve Çevresinin Jeofizik Verilerle Yer Etkisinin İncelenmesi ve Mikrobölgelendirme Çalışması

Yasemin Beker Usta tarafından 2022 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilen "Gümüşhane ve Çevresinin Jeofizik Verilerle Yer Etkisinin İncelenmesi ve Mikrobölgelendirme Çalışması" başlıklı doktora tezi, Gümüşhane ili ve çevresindeki yerel zemin etkilerini incelemeye odaklanmıştır. Gümüşhane, depremsellik açısından genellikle sakin bir bölge olarak bilinse de, Kuzey Anadolu Fay Zonu'na (KAFZ) yakınlığı nedeniyle potansiyel bir deprem tehlikesi altındadır. Bu nedenle, bölgede hızlı bir yapılaşma süreci yaşandığı için, yerel zemin etkilerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, yerel zemin etkilerinin belirlenmesine yönelik olarak çeşitli jeofizik temelli ölçüm yöntemleri uygulanmıştır. Kullanılan yöntemler arasında Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (ÇKYDA), Düşey Elektrik Sondajı (DES), Yatay/Düşey Spektral Oran (Y/D) yöntemi ve Standart Spektral Oran (SSO) analizleri yer almaktadır. Söz konusu teknikler aracılığıyla, zeminlerin dinamik davranışını karakterize eden başlıca parametreler olan hâkim titreşim frekansı ve periyodu, Y/D oranı, zemin büyütme katsayısı ile sismik duyarlılık indeksi belirlenmiş ve bu veriler, bölgedeki zeminlerin sismik dalgalara tepkisini ortaya koymak amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca, deprem tehlike analizi (DTA) yapılarak bölgenin deprem riski değerlendirilmiştir.

Çok kanallı yüzey dalgası kayıtlarından elde edilen verilerle, S dalga hızı, VS30 değeri ve zemin dinamik/elastik parametreleri gibi bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca, düşey elektrik sondajı verilerinden, zemin tabakalarının derinliğe bağlı öz direnç değişimleri ve tabaka kalınlıkları belirlenmiştir. Bu çalışma, Gümüşhane ili ve çevresindeki yerel zemin etkilerinin detaylı bir şekilde incelenmesi ve bölgenin deprem riski ile mikrobölgelendirilmesi konusunda önemli veriler sunmuştur. Çalışma, Gümüşhane ve çevresindeki zemin parametrelerinin haritalanması ve deprem tehlikesinin

değerlendirilmesi açısından bölgedeki yapılaşma planlamasına katkı sağlayabilecek bir kaynak oluşturmıştır. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası.
2. İnceleme alanındaki ölçüm noktalarının konumları.
3. SSO yöntemlerinden elde edilen inceleme alanına ait hakim titreşim frekans dağılım haritaları.
4. SSO yöntemlerinden elde edilen inceleme alanına ait kg dağılım haritaları.
5. SSO yöntemlerinden elde edilen inceleme alanına ait hakim titreşim periyod dağılım haritaları.
6. SSO yöntemlerinden elde edilen zemin büyütme faktörü dağılımı.
7. İnceleme alanının V_{s30} dağılımı ve TDBY (2018)'e göre oluşturulan zemin sınıfı haritası.
8. Y/D yöntemlerinden elde edilen inceleme alanına ait hakim titreşim frekans dağılım haritaları.
9. Y/D yöntemlerinden elde edilen inceleme alanına ait Kg dağılım haritaları.
10. Y/D yöntemlerinden elde edilen inceleme alanına ait hakim titreşim periyod dağılım haritaları.
11. Y /D yöntemlerinden elde edilen zemin büyütme faktörü dağılımı.

5.4. Akdeniz Bölgesinde Yapılan Çalışmalar

Akdeniz Bölgesi'nde (Adana, Antalya, Mersin) mikrobölgeleme çalışmaları sınırlı sayıda olup, ağırlıklı olarak büyükşehir merkezlerine odaklandığı görülmektedir (Tablo 5.5). Adana'da jeoteknik veriler ile mikrotremor ölçümlerinin birlikte kullanıldığı bütünleşik yaklaşımlar benimsenmiş; Antalya'da Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı mikrobölgeleme çalışmaları yürütülmüştür. Mersin'de ise yüksek sayıda mikrotremor ölçümü alınarak ayrıntılı zemin davranışı analizleri gerçekleştirilmiştir. Buna karşın, tarım alanları ve kırsal yerleşimlerde benzer çalışmaların bulunmaması, bölgenin tamamını temsil eden kapsamlı mikrobölgeleme araştırmalarına ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.5. Akdeniz Bölgesi Mikrobölgeleme Çalışmaları Envanteri

1	YL	2008	Akdeniz Bölgesi	Isparta	Isparta Mavikent Yerleşim Bölgesinin Sismik Mikrobölgesel ve Değerlendirilmesi	Emin ELMASDERE	Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği
2	YL	2008	Akdeniz Bölgesi	Isparta	Isparta İl Merkezi Mikrobölgeleme Analizi	Sertaç Selim SARICA	Süleyman Demirel Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği
3	D	2009	Akdeniz Bölgesi	Adana	Mikrobölgeleme Çalışmalarında Jeofizik ve Jeoteknik Verilerin Birlikte Kullanımı (Kuzey Adana Örneği)	Memet GÜZEL	Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği
4	YL	2018	Akdeniz Bölgesi	Osmaniye	Osmaniye Kent Merkezinin Geoteknik Özelliklere Bağlı Mikrobölgeleme Haritalarının Değerlendirilmesi	Serdar BAYRAKÇI	İskenderun Teknik Üniversitesi Osmaniye Korkutata Üniversitesi İnşaat Mühendisliği
5	D	2019	Akdeniz Bölgesi	Mersin	Mersin İli İçin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Mikrobölgeleme Çalışması	Serkan EKİNGEN	Mersin Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği
6	D	2020	Akdeniz Bölgesi	Antalya	Antalya İli Merkez İlçe Zeminlerinin Coğrafi Bilgi Sistemlerinden Yaralanılarak Geoteknik Mikrobölgelendirilmesi	Arif Nihat AKÇAL	Akdeniz Üniversitesi İnşaat Mühendisliği

5.4.1. Isparta Mavikent Yerleşim Bölgesinin Sismik Mikrobölgeleme ve Değerlendirilmesi

Emin Elmasdere tarafından 2008 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı bünyesinde tamamlanan “Isparta Mavikent Yerleşim Bölgesinin Sismik Mikrobölgeleme ve Değerlendirilmesi” başlıklı yüksek lisans tezi, Isparta ilinin batısında konumlanan Mavikent yerleşim alanının zemin davranışı ve sismik risk düzeyine ilişkin çok boyutlu bir değerlendirme sunmaktadır. Çalışma, mikrobölgeleme ilkeleri doğrultusunda yürütülmüş olup, bölgenin sismik tehlike potansiyelinin belirlenmesine yönelik detaylı jeofizik ve geoteknik analizleri içermektedir. Araştırmanın ilk aşamasında, zemin özelliklerinin deneysel olarak belirlenebilmesi amacıyla ölçüm noktaları planlanmış ve saha çalışmaları kapsamında 20 farklı lokasyonda sismik kırılma testleri, dinamik zemin sondajları ve düşey elektrik sondajı (DES) yöntemleri uygulanarak veriler toplanmıştır. Bunlara ek olarak, 9 ayrı lokasyonda açılan araştırma çukurlarında, ortalama 4 metre derinliğe inilerek vane shear testleri ve penetrometre deneyleri gibi arazi testleri yapılmıştır. Bu saha çalışmalarıyla eş zamanlı olarak, alınan numuneler laboratuvar ortamında test edilerek, mekanik ve fiziksel zemin parametreleri detaylı biçimde belirlenmiştir. Elde edilen saha ve laboratuvar verileri bir araya getirilerek, bölgeye özgü yer altı zemin profilleri tanımlanmış ve hem sismik hem de jeoelektrik ölçümler doğrultusunda dört farklı kesitte stratigrafik zemin yapılarına ulaşılmıştır. Bu kesitler, bölgenin jeolojik ve jeoteknik heterojenliğini görselleştirmek açısından önemli bir veri kaynağı oluşturmuştur. Araştırmanın ileri aşamalarında, kayma dalgası hızı (Vs) dağılımına dayalı haritalar hazırlanmış ve zeminlerin derinlik boyunca dinamik özellikleri

üç boyutlu düzlemde değerlendirilmiştir. Bunun yanında, zemin büyütmesi ve zemin hakim titreşim periyodu gibi sismik davranış göstergeleri de mekânsal olarak modellenmiş ve mikrobölgeleme haritaları üretilmiştir. Bu haritalar, hem yerleşim güvenliği açısından riskli alanların tespit edilmesine olanak sunmuş hem de mühendislik projelerinde kullanılabilecek bölgeye özgü sismik tasarım parametreleri sağlamıştır. Bu çalışma, Mavikent yerleşim bölgesinin zemin karakteristiklerini belirleyerek, bölgenin deprem riski açısından sismik mikrobölgeleme haritalarının oluşturulmasına katkı sağlamıştır. Çalışma, zemin özelliklerinin derinlik bazında incelenmesi ve mikrobölgeleme haritalarının hazırlanmasıyla, bölgenin deprem riski ve zemin davranışı hakkında önemli bilgiler sunmuştur. Bu sayede, gelecekte yapılacak inşaat ve yapılaşma projeleri için zemin koşullarına dayalı daha sağlıklı planlamalar yapılmasına olanak tanımaktadır. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. İnceleme sahasının basitleştirilmiş jeoloji haritası (Gutnic vd. 1979).
2. Ortalama V_s (0-4 m) haritası.
3. Ortalama V_s (4-8 m) haritası.
4. Ortalama V_s (8-12 m) haritası.
5. Ortalama V_s (12-16 m) haritası.
6. Yer bulduru haritası.
7. Zemin büyütmesi (n) haritası.
8. Zemin hakim titreşim periyodu (T_0) haritası.

5.4.2. Isparta İl Merkezi Mikrobölgeleme Analizi

Sertaç Selim Sarıca tarafından 2008 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde tamamlanan "Isparta İl Merkezi Mikrobölgeleme Analizi" başlıklı yüksek lisans tezi, Isparta kent merkezindeki yerleşim alanlarında zemin özelliklerinin belirlenmesi ve deprem kaynaklı tehlikelerin değerlendirilmesine yönelik kapsamlı bir analiz sunmaktadır. Araştırma, özellikle zemin hakim titreşim periyodu ile zemin büyütme faktörlerinin nicel olarak belirlenmesine odaklanmıştır. Tez kapsamında, son yıllarda Türkiye'de yaygınlaşmaya başlayan Mikrotremör (Titreşimcik) ölçüm yöntemi ile bu yöntemin analizinde kullanılan Nakamura'ya dayalı Yatay/Düşey (H/V) Spektral Oran tekniği ayrıntılı biçimde ele alınmıştır. Söz konusu teknik, yerel zemin koşullarının

sismik davranış üzerindeki etkilerini ortaya koymak ve zemin kaynaklı büyütme etkilerini tanımlamak açısından güçlü bir jeofiziksel araç olarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, Isparta il merkezi için mikrobölgeleme analizi yapılmak üzere gerekli veriler toplanmış ve Nakamura tekniği kullanılarak bu veriler işlenmiştir. İşlenen veriler, haritalara aktarılmış ve bu sayede riskli bölgeler belirlenmiştir. Bu haritalar, özellikle zemin büyütmesi ve titreşim periyodu gibi önemli parametreler ışığında, Isparta il merkezinin deprem riski açısından hangi alanların daha fazla etkileneceği konusunda bilgi sunmaktadır. Bu çalışma, Isparta il merkezinin yerel zemin koşullarının anlaşılması ve deprem riskinin belirlenmesi açısından önemli bir adım olmuştur. Tez, Isparta il merkezi için yapılan mikrobölgeleme analizi ile, deprem riski konusunda önemli veriler sunarak, yapılaşma süreçlerinde alınması gereken önlemlerin belirlenmesine katkı sağlamıştır. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. Büyütme haritası.
2. Dogu – Batı H /V haritası.
3. Isparta ovası jeoloji haritası (İrleyıcı, 1993).
4. Isparta ovası ortalama H /V haritası.
5. Kuzey – Güney H /V haritası
6. Ölçü noktaları.

5.4.3. Mikrobölgeleme Çalışmalarında Jeolojik, Jeofizik, Jeoteknik Verilerin Birlikte Kullanımı (Kuzey Adana Örneği)

Memet Güzel tarafından 2009 yılında Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde tamamlanan “Mikrobölgeleme Çalışmalarında Jeolojik, Jeofizik, Jeoteknik Verilerin Birlikte Kullanımı (Kuzey Adana Örneği)” başlıklı doktora tezi, Kuzey Adana bölgesinde mikrobölgeleme çalışmalarının disiplinler arası veri setleriyle bütüncül biçimde yürütülmesini hedefleyen özgün bir çalışmadır. Araştırma alanı, topoğrafik olarak heterojen bir yapıya sahip olup, jeolojik bakımdan Handere Formasyonu, kaliçi oluşumları ve genç alüvyon birimlerinden oluşmaktadır. Bu litolojik birimlerin kayma dalgası hızı (V_{S30}) 238 ila 742 m/s arasında değişmekte olup, farklı mühendislik özelliklerine sahip zemin türlerine karşılık gelmektedir. Tez kapsamında, bu jeolojik birimlerin sismik davranış özellikleri, jeofizik ve jeoteknik verilerle desteklenerek detaylı bir şekilde analiz edilmiş ve yerleşime uygunluk açısından mikrobölgeleme haritaları oluşturulmuştur.

Handere Formasyonu, ince taneli, kaba taneli ve karışık tane içerikli zeminlerden oluşmakta olup, fazla eğimli kısımlarda duraysızlık göstermektedir. Bu tez çalışmasında, söz konusu jeolojik, jeofizik ve jeoteknik veriler bir araya getirilerek, Kuzey Adana bölgesinin mikrobölgelemesi yapılmıştır. Böylece, bölgedeki yerel zemin koşulları daha iyi anlaşılmış ve deprem riski açısından önemli bilgiler elde edilmiştir. Bu çalışma, mikrobölgeleme çalışmalarında farklı veri türlerinin birlikte kullanılmasının önemini vurgulamaktadır. Verilerin entegrasyonu, bölgenin zemin özelliklerini, riskli bölgelerini daha iyi belirlemeye olanak tanımaktadır ve bu tür bir yaklaşım, gelecekteki benzer çalışmalara da ışık tutabilir. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. 2m derinlik için inceleme alanı eşrezistivite dağılım eğrileri.
2. 5m derinlik için inceleme alanı eşrezistivite dağılım eğrileri.
3. 10m derinlik için inceleme alanı eşrezistivite dağılım eğrileri.
4. İnceleme alanı 0-5 m için ortalama SPT(n) sayıları dağılım eğrileri.
5. İnceleme alanı 1. Tabaka V_s hızları dağılım eğrileri.
6. İnceleme alanı 2. Tabaka V_p hızları dağılım eğrileri.
7. İnceleme alanı 2. tabaka V_s hızları dağılım eğrileri.
8. İnceleme alanı 3. Tabaka V_p hızları dağılım eğrileri.
9. İnceleme alanı 3. Tabaka V_s hızları dağılım eğrileri.
10. İnceleme alanı anakaya seviyesi eşrezistivite dağılım eğrileri.
11. İnceleme alanı mikrobölgeleme haritası.
12. İnceleme alanı sıvılaşma tehlikesi haritası.
13. İnceleme alanı V_{s30} haritası.
14. İnceleme alanı yamaç stabilite haritası.
15. İnceleme alanı zemin hakim periyodu haritası.
16. İnceleme alanındaki düşey elektrik sondaj uygulama lokasyonları.
17. İnceleme alanındaki sismik uygulama lokasyonları.
18. İnceleme alanındaki zemin sondaj uygulama lokasyonları.
19. İnceleme alanının Borchardt ve Ark. (1991)'na göre kuvvetli hareket zemin büyütme haritası.
20. İnceleme Alanının Borchardt ve Ark. (1991)'na göre zayıf hareket zemin büyütme haritası.
21. İnceleme alanının jeoloji haritası.

22. İnceleme alanının Joyner ve Fumal (1984)'a göre büyütme haritası.
23. İnceleme alanının Midorikawa (1987)'ya göre büyütme haritası.
24. İnceleme alanının morfolojik yapısını gösteren üç boyutlu görünümü.

5.4.4. Osmaniye Kent Merkezinin (OKM) Geoteknik Özelliklere Bağlı Mikrobölgeleme Haritalarının Değerlendirilmesi

Serdar Bayrakçı tarafından 2018 yılında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü bünyesinde tamamlanan “Osmaniye Kent Merkezinin (OKM) Geoteknik Özelliklere Bağlı Mikrobölgeleme Haritalarının Değerlendirilmesi” başlıklı yüksek lisans tezi, Osmaniye kent merkezinin zemin davranışlarını belirlemeye yönelik geoteknik veriler temelinde hazırlanmış mikrobölgeleme haritalarının analizini konu edinmektedir. Çalışmada, kent merkezine ait zemin özellikleri sistematik biçimde incelenmiş; yerel zemin koşullarının deprem etkilerine karşı gösterdiği performansın değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda geliştirilen mikrobölgeleme haritaları, yapılaşma kararları ve kentsel risk analizleri açısından bilimsel bir referans niteliği taşımaktadır. Bu çalışmada, Osmaniye Belediye Başkanlığı tarafından hazırlatılan "İmar Planına Esas Mikrobölgeleme Etüt Raporu" kullanılmış olup, bu raporda 8500 hektarlık bir alanın mikrobölgelemesi yapılmıştır. Ayrıca, Maden Tetkik ve Arama (MTA) tarafından yapılan jeoloji haritaları da incelenerek, alüvyon birimin gözlendiği alanlar ile diğer birimlerin gözlendiği alanlar belirlenmiştir. Çalışmada, her bir hücrenin ortasına sondaj çalışmaları yapılmış ve bu sondaj loglarından seçilen 15 adet sondaj kuyusu kullanılarak bölgenin temsili profilleri oluşturulmuştur. Bu temsili profiller, zemin davranış analizleri için kullanılmış ve ProShake 2.0 programıyla 1 boyutlu eşdeğer lineer analiz yöntemiyle incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen jeolojik veriler, Osmaniye kent merkezinin geoteknik özelliklere dayalı mikrobölgeleme haritalarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Bu çalışma, Osmaniye kent merkezinin zemin özelliklerinin anlaşılması ve deprem riskinin belirlenmesi açısından önemli bir katkı sağlamaktadır. Ayrıca, mikrobölgeleme haritalarının yerel yönetimlere ve mühendislik uygulamalarına nasıl rehberlik edebileceğini de göstermektedir. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. Çalışma alanının eğim değerleri haritası.
2. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

3. Osmaniye ili çevre düzeni planı.
4. Raporla ait yerleşime uygunluk değerlendirmesi.
5. Temsil edilen 15 bölge için spektral ivme değerleri haritası.
6. Temsil edilen 15 bölge için zemin sınıflaması haritası.

5.4.5. Mersin İli İçin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Mikrobölgeleme Çalışması

Serkan Ekingen'in 2019 yılında Mersin Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tamamladığı "*Mersin İli İçin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Mikrobölgeleme Çalışması*" başlıklı doktora tezi, Mersin ili genelinde gerçekleştirilen geniş kapsamlı bir mikrobölgeleme uygulamasını konu edinmekte olup, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisinin jeoteknik verilerin analizinde ne denli etkin kullanılabileceğini göstermesi açısından dikkat çekici bir örnek teşkil etmektedir. Araştırma sürecinde, sahadan toplanan 495 zemin sondajı ve 281 araştırma çukuruna ait laboratuvar verileri, gerçek koordinat bilgileriyle birlikte CBS ortamına entegre edilmiştir. Bu verilerin sayısal haritalara dönüştürülmesinde ArcMap yazılımı aktif olarak kullanılmış; farklı derinlik katmanlarındaki Standart Penetrasyon Testi (SPT-N) sonuçları, yer altı su seviyesi (YASS) değişimleri ve zemin taşıma gücü (Qemin) değerlerinin mekânsal dağılımı detaylı biçimde görselleştirilmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, zemin taşıma kapasitesinin il genelinde doğudan batıya doğru belirgin bir artış gösterdiği anlaşılmıştır. Özellikle Akdeniz ilçesinin doğu kesimlerinde, zeminlerin düşük taşıma kapasitesine sahip olduğu ve yer altı su seviyesinin yüzeye oldukça yakın konumlandığı saptanmıştır. Bu durum, bölgenin zemin davranışı açısından yüksek risk potansiyeli taşıdığını ortaya koymaktadır. Çalışmada ayrıca, kayma dalgası hızı (Vs) parametresi de ayrıntılı olarak değerlendirilmiş; Kaliş ve Kuzgun formasyonlarında, bölgeye kıyasla daha yüksek Vs değerlerinin gözlemlendiği rapor edilmiştir. Bu durum, bu formasyonların mühendislik açısından daha dayanıklı zemin özelliklerine sahip olduğunu işaret etmektedir. Söz konusu veriler, mikrobölgeleme çalışmalarının zemin türleri, taşıma gücü, sıvılaşma potansiyeli ve yer altı su seviyesi gibi kritik parametreler üzerinden CBS tabanlı olarak değerlendirilmesi açısından önemli bir örnek teşkil etmektedir. Bu bulgular, bölgesel zemin koşullarının mühendislik açısından değerlendirilmesinde ve afet risklerinin azaltılmasına yönelik planlamalarda önemli katkılar sunmaktadır. Bu çalışma, Mersin ilinin zemin özelliklerinin belirlenmesi ve deprem riskinin değerlendirilmesi açısından önemli bir katkı

sağlamaktadır. Ayrıca, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanarak yapılan bu mikrobölgeleme çalışması, yerel yönetimler ve mühendislik projeleri için faydalı bir kaynak oluşturmaktadır. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki harita eklenmiştir.

1. Sondaj dağılım haritası.

5.4.6. Antalya İli Merkez İlçe Zeminlerinin Coğrafi Bilgi Sistemlerinden Yararlanılarak Geoteknik Mikrobölgelendirilmesi

Arif Nihat Akçal tarafından 2020 yılında Akdeniz Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde tamamlanan “Antalya İli Merkez İlçe Zeminlerinin Coğrafi Bilgi Sistemlerinden Yararlanılarak Geoteknik Mikrobölgelendirilmesi” başlıklı doktora tezi, Antalya il merkezinde yer alan ilçelerin zemin özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) destekli olarak geoteknik mikrobölgeleme esasına göre değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Bu kapsamda, ilçe belediyeleri sınırları içerisinde gerçekleştirilen arazi ve laboratuvar temelli zemin etütleri ile bölgenin jeolojik karakteristikleri bütüncül bir biçimde ele alınmıştır. Ayrıca, bölgenin tarihsel deprem aktivitesi göz önünde bulundurularak, deprem tehlikesiyle ilişkili mikrobölgeleme analizleri yapılmıştır. Çalışmada, IDW (Inverse Distance Weighted) ve Kriging enterpolasyon teknikleri uygulanarak, 15 metre derinliğe kadar zemin cinsleri, taşıma gücü, kayma dalgası hızı (V_s) ve zemin hâkim periyotlarının mekânsal dağılım haritaları oluşturulmuştur. Buna ek olarak, farklı geoteknik parametreler arasındaki ilişkiler incelenmiş; taşıma gücü–zemin hâkim periyodu ve kayma dalgası hızı–zemin cinsi gibi korelasyon temelli tematik haritalar üretilmiştir. Elde edilen haritalar doğrultusunda, her bir merkez ilçe için rezonans riski taşıyan bölgeler tanımlanmış ve bu bölgelerdeki sondaj noktaları, 6.4 büyüklüğündeki senaryo deprem parametreleri ışığında değerlendirilmiştir. Ayrıca, zemin hâkim periyodu ile yapıların kat adedine bağlı yapı hâkim periyotlarının karşılaştırılması yoluyla, rezonans durumunda yapıların maruz kalacağı maksimum gerilme düzeylerini gösteren diyagramlar oluşturulmuştur. Bu analizler, yerel zemin etkilerinin yapı davranışı üzerindeki potansiyel risklerinin belirlenmesine önemli katkılar sunmaktadır. Bu çalışma, Antalya ilinin merkez ilçesindeki zemin özelliklerinin belirlenmesi ve deprem riskinin değerlendirilmesi açısından önemli bir katkı sağlamaktadır. Ayrıca, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanarak yapılan bu mikrobölgeleme çalışması, bölgedeki zemin dinamiği hakkında derinlemesine bir anlayış kazandırmış ve yapılaşma sürecinde alınması gereken önlemleri

belirlemek için faydalı bir kaynak oluşturmuştur. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. Çalışma alanı yapı yoğunluğu haritası ve sondaj noktaları .
2. IDW yöntemiyle zemin hakim periyot (sn) haritası.
3. IDW yöntemiyle taşıma gücü kapasitesi (kN/m²) haritası.
4. Kriging yöntemiyle taşıma gücü kapasitesi (kN/m²) haritası.
5. Kriging yöntemiyle zemin hakim periyot (m/sn) ve taşıma gücü kapasitesi (kN/m²) haritası .
6. Zemin hakim periyotlarının belirlenmesi için taşıma gücü haritasından referans alınarak belirlenen en riskli 8 sondaj noktası.
7. IDW yöntemiyle kayma dalgası hızı (m/sn) (5m) haritası.
8. Kriging yöntemiyle kayma dalgası hızı (m/sn) (5m).
9. Kriging yöntemiyle kayma dalgası hızı (5m) ve zs (450cm) haritası .
10. Kriging yöntemiyle kayma dalgası hızı (m/sn) (10m) .
11. Kriging yöntemiyle kayma dalgası hızı (m/sn) (10m) ve zs (1050cm) haritası.
12. IDW yöntemiyle zemin sınıfı (300 cm) haritası.
13. IDW yöntemiyle zemin sınıfı (450 cm) haritası.
14. IDW yöntemiyle zemin sınıfı (600 cm) haritası.
15. IDW yöntemiyle zemin sınıfı (750 cm) haritası.
16. IDW yöntemiyle zemin sınıfı (900 cm) haritası.
17. IDW yöntemiyle zemin sınıfı (1050 cm) haritası .
18. IDW yöntemiyle zemin sınıfı (1200 cm) haritası.
19. IDW yöntemiyle zemin sınıfı (1350 cm) haritası .
20. IDW yöntemiyle zemin sınıfı (1500 cm) haritası.
21. IDW yöntemiyle zemin sınıfı (150 cm) haritası.

5.5.Doğu Anadolu Bölgesinde Yapılan Çalışmalar

Doğu Anadolu Bölgesi'nde mikrobölgeleme çalışmaları sınırlı sayıdadır (Tablo 5.6). Elazığ'da yürütülen çalışmalarda, bölgenin tektonik yapısı ile kent merkezine ait mikrobölgeleme değerlendirmeleri birlikte ele alınmış; Erzurum'da ise deprem riski odaklı analizlerle desteklenen ayrıntılı mikrobölgeleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bölgenin Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde yer almasına karşın tez düzeyindeki çalışma sayısının

düşük olması, akademik kapasite ve yerel talebin Batı Anadolu'ya kıyasla daha sınırlı olmasından kaynaklanan önemli bir boşluğa işaret etmektedir.

Tablo 5.6. Doğu Anadolu Bölgesi Mikrobölgeleme Çalışmaları Envanteri

NO	TÜR	YIL	BÖLGE	İLİLÇE	ÇALIŞMA ADI	YAZAR	KURUM
1	D	2014	Doğu Anadolu Bölgesi	Elazığ	Elazığ Kent Merkezinin Tektoniği, Depremselliği ve Mikrobölgeleme	Mahmut PALUTOĞLU	Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği
2	YL	2017	Doğu Anadolu Bölgesi	Erzurum	Erzurum İl Merkezinde Eşdeğer Lineer Yöntemde Zemin Büyütme Etkilerine Dayalı Bir Mikrobölgeleme Çalışması	Şeyda Nur ŞAHİN	Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği

5.5.1. Elazığ Kent Merkezinin Tektoniği Depremselliği ve Mikrobölgeleme

Mahmut PALUTOĞLU tarafından 2014 yılında Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde tamamlanan “Elazığ Kent Merkezinin Tektoniği, Depremselliği ve Mikrobölgeleme” başlıklı doktora tezi, Elazığ kent merkezi ile çevresinin jeolojik, tektonik ve sismotektonik özelliklerini kapsamlı bir biçimde ele almıştır. Çalışma kapsamında, yaklaşık 150 km²'lik bir alan 1/100.000 ölçekli tektonik haritalar yardımıyla genel çerçevede değerlendirilmiş; bunun yanı sıra 1/25.000 ölçekli detaylı jeoloji ve tektonik haritalar hazırlanarak bölgenin yapısal, jeolojik ve jeomorfolojik karakteristikleri ortaya konmuştur. Araştırmada, tarihsel ve aletsel döneme ait deprem kayıtları incelenmiş, elde edilen verilerle bölgenin sismik risk analizleri gerçekleştirilmiştir. Aktif fay hatları haritalanmış, fay düzlemleri tanımlanarak kinematik analizler yardımıyla fayların türleri ve mekanizmaları belirlenmiştir. Ayrıca, bölgedeki zeminlerin mühendislik özellikleri detaylı olarak değerlendirilmiş; VS30 değerleri, VP/Vs oranları ve zemine ait hâkim titreşim periyodu gibi parametreler kullanılarak mikrobölgeleme çalışmaları yürütülmüştür. Çalışmada, deprem tehlikesinin sayısal olarak değerlendirilmesi amacıyla deprem-azalım ilişkilerine dayalı analizler yapılmış ve çevredeki aktif faylarda meydana gelebilecek olası depremlerin Elazığ kent merkezi üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Bu kapsamlı analizler, kentsel planlama, afet riski azaltma ve yapı tasarımı süreçlerinde dikkate alınması gereken önemli zemin ve sismotektonik bilgileri sunmaktadır. Ayrıca, zemin mikrobölgelemesi yaparak, bölgedeki yerel zemin koşullarının depremsellik açısından nasıl etkilenebileceği konusunda önemli bilgiler sunmaktadır. Bu çalışma, Elazığ'ın deprem riskini belirlemek ve bölgedeki yapılaşmanın güvenliği için önemli bir referans oluşturmıştır. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. Birinci tabakanın V_p/V_s oranına göre dağılımı.
2. İkinci tabakanın V_p/V_s oranına göre dağılımı.
3. İmar planı üzerinde birinci tabakanın V_p/V_s oranına göre dağılımı.
4. İmar planı üzerinde ikinci tabakanın V_p/V_s oranına göre dağılımı.
5. İmar planı üzerinde V_{s30} dalga hızına göre inceleme alanının mikrobölgelemesi.
6. İmar planı üzerinde zemin büyütmesine göre dağılımı.
7. İmar planı üzerinde zemin hâkim titreşim periyotuna göre dağılımı.
8. V_{s30} dalga hızına göre inceleme alanının mikrobölgelemesi.
9. Zemin büyütmesine göre dağılımı.
10. Zemin hâkim titreşim periyotuna göre dağılımı.

5.5.2. Erzurum İl Merkezinde Eşdeğer Lineer Yöntemle Zemin Büyütme Etkilerine Dayalı Bir Mikrobölgeleme Çalışması

Şeyda Nur Şahin tarafından 2017 yılında Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde tamamlanan “Erzurum İl Merkezinde Eşdeğer Lineer Yöntemle Zemin Büyütme Etkilerine Dayalı Bir Mikrobölgeleme Çalışması” başlıklı yüksek lisans tezi, Erzurum il merkezinde imara uygun alanlara yönelik zemin büyütme etkilerinin belirlenmesini amaçlayan kapsamlı bir araştırmadır. Çalışma, zemin davranışının sismik etkiler karşısındaki tepkisini analiz edebilmek amacıyla, 269 adet derin su sondaj kuyusuna ait jeoteknik veriler kullanılarak yürütülmüştür. Analizlerde, tek boyutlu kayma dalgası yayılımına dayalı eşdeğer lineer analiz yöntemi temel alınmıştır. Bölgenin sismik tehlike düzeyi, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan Türkiye Diri Fay Haritası esas alınarak deterministik yaklaşımla değerlendirilmiştir. Bu çerçevede, benzer tektonik özellikler ve yer hareketi parametrelerine sahip 12 adet deprem kaydı seçilmiş; söz konusu kayıtlar, hedef ivme spektrumuyla uyumlu hale getirilecek şekilde ölçeklendirilerek analizlerde kullanılmıştır. Her bir sondaj noktasında, ölçeklendirilmiş bu 12 deprem kaydı kullanılarak zemin büyütme analizleri gerçekleştirilmiş; elde edilen dinamik zemin tepkileri, mikrobölgeleme haritalarının oluşturulmasında kullanılmıştır. Sonuç olarak, Erzurum il merkezinde zemin büyütme etkilerini mekânsal olarak ortaya koyan tematik haritalar üretilmiş ve bu haritalar, kentsel planlama ile mühendislik tasarım süreçlerine katkı sağlayacak nitelikte bir temel veri seti oluşturmuştur. Bu sayede, Erzurum il merkezindeki zemin büyütme etkilerine dair mikrobölgeleme yapılmış ve bölgede

bulunan yapıların deprem riskinin belirlenmesine katkı sağlanmıştır. Bu çalışma, zemin büyütme etkilerinin belirlenmesi ve mikrobölgeleme yapılması açısından önemli bir adım olmuştur ve Erzurum il merkezindeki zemin özelliklerinin ve deprem riskinin anlaşılmasına büyük katkı sağlamaktadır. Çalışmada bu tezden yararlanılmıştır ancak veri tabanına bir harita eklenmemiştir. Bu çalışmada üretilen haritalar veri tabanına eklenmiş olsa da, çözünürlüklerinin istenen kaliteyi karşılamaması sebebiyle veri tabanı kullanımına uygun bulunmamıştır.

5.6. Ege Bölgesinde Yapılan Çalışmalar

Ege Bölgesi'nde mikrobölgeleme çalışmaları ağırlıklı olarak İzmir ve Aydın çevresinde yoğunlaşmaktadır (Tablo 5.7). Aydın'da, deprem riski yüksek alanlarda ayrıntılı mikrobölgeleme çalışmaları gerçekleştirilmiş; Pamuk (2014) çalışmasında, İzmir–Buca Tınaztepe Kampüsü ve çevresinde MASW, ReMi/SPAC ve tek istasyon mikrotremor (Nakamura) yöntemleri kullanılarak Vs profilleri ve Vs30 değerleri belirlenmiş, zemin hâkim titreşim periyotları hesaplanmış ve elde edilen Vs30, H/V ve hâkim periyot haritaları CBS ortamında üretilerek bölgenin mikrobölgeleme ve sismik risk değerlendirmesine temel olacak ayrıntılı zemin modeli ortaya konmuştur. Fay hatlarının yoğun olduğu Batı Anadolu'da yürütülen bu çalışmaların, genel olarak sismik tehlike ve sıvılaşma riski odaklı yaklaşımlar benimsediği görülmektedir.

Tablo 5.7. Ege Bölgesi Mikrobölgeleme Çalışmaları Envanteri

NO	TÜR	YIL	BÖLGE	İLİLÇE	ÇALIŞMA ADI	YAZAR	KURUM
1	YL	2014	Ege Bölgesi	İzmir	İzmir (Buca) Bölgesinde Yüzey Dalgası Yöntemleriyle Elde Edilen Kayma Dalgası Hızlarının (Vs) Analizi ve Mikrotremor Uygulamaları	Eren Pamuk	Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği
2	YL	2019	Ege Bölgesi	Aydın	Aydın İl Merkezinde Sismik Bölgeleme Çalışması	Selman Hamza UZUNOĞLU	Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği

5.6.1. İzmir (Buca) Bölgesinde Yüzey Dalgası Yöntemleriyle Elde Edilen Kayma Dalgası Hızlarının (Vs) Analizi ve Mikrotremor Uygulamaları

Eren Pamuk tarafından 2014 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nde tamamlanan “İzmir (Buca) Bölgesinde Yüzey Dalgası Yöntemleriyle Elde Edilen Kayma Dalgası Hızlarının (Vs) Analizi ve Mikrotremor Uygulamaları” başlıklı yüksek lisans tezi, İzmir iline bağlı Buca ilçesinde konumlanan Dokuz Eylül Üniversitesi Tınaztepe Kampüsü ve çevresindeki zeminlerin mühendislik özelliklerinin ayrıntılı

biçimde belirlenmesine yönelik olarak yürütülmüştür. Araştırma kapsamında, özellikle kayma dalgası hızlarının (V_s) yüzey dalgası yöntemleri aracılığıyla elde edilmesi ve mikrotremor ölçümleri ile desteklenerek yerel zemin koşullarının sismik davranış üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Çalışma, zemin sınıflandırması ve mikrobölgeleme analizleri açısından bölgeye özgü önemli veriler sunmaktadır. Çalışmada, yüzey dalgası temelli jeofizik yöntemler aracılığıyla kayma dalgası hızı (V_s) profilleri elde edilerek, zeminlerin dinamik davranışlarının bölgesel ölçekte değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, hem aktif kaynaklı (örneğin MASW – Multichannel Analysis of Surface Waves) hem de pasif kaynaklı (örneğin ReMi – Refraction Microtremor) yüzey dalgası yöntemleri kullanılmış; böylece, farklı derinliklerdeki zemin katmanlarının V_s dağılımı güvenilir şekilde modellenmiştir. Ayrıca, mikrotremor ölçümleriyle zeminin doğal titreşim özellikleri, yani hâkim titreşim periyodu ve zemin büyütme faktörleri hesaplanmış; Nakamura yöntemi (H/V spektral oran yöntemi) uygulanarak elde edilen sonuçlar, yüzey dalgası analizleri ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda, kampüs alanındaki zeminlerin V_{s30} değerleri ile mikrotremor analizlerinden elde edilen hâkim periyotların uyumu sağlanmış ve bu veriler kullanılarak zemin sınıflaması yapılmıştır. Bu sayede, bölgedeki mühendislik yapılarının deprem performanslarının değerlendirilmesine katkı sağlayacak önemli mikrobölgeleme verileri ortaya konmuştur. Çalışma, ayrıca aktif fay zonlarına yakınlığı ve yoğun yapılaşması nedeniyle sismik tehlike açısından kritik öneme sahip olan Buca ilçesi özelinde, zeminin sismik davranışının çok parametreliliği yöntemlerle değerlendirilmesinin önemini vurgulayan bir örnek teşkil etmektedir. Çalışmanın yöntemleri şunlardır:

Çok Kanallı Yüzey Dalga Analizi (MASW): Bu aktif kaynaklı yöntemle yüzey dalgalarının dispersif özelliği kullanılarak, yer altı tabakalarının kayma dalgası hızlarının derinlikle nasıl değiştiği belirlenmiştir.

Kırılma-Mikrotremor Yöntemi (ReMi) ve Dizilim Mikrotremor (SPAC): Bu pasif kaynaklı yöntemlerle de yüzey dalgalarının özellikleri analiz edilmiştir.

Tek İstasyon Mikrotremor ve Nakamura Yöntemi: Bu yöntemle yerel zemin koşullarına bağlı olarak zemin hakim periyotları belirlenmiştir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen dispersiyon eğrileri, her bir ölçüm noktasında ayrı ayrı değerlendirilmiş ve daha yüksek çözünürlük sağlamak amacıyla birleştirilmiştir. Bu birleşik dispersiyon verileri üzerinde ters çözüm yöntemleri (inversion techniques)

uygulanarak, zemin tabakalarının kayma dalgası hızı profilleri (V_s profilleri) elde edilmiştir. Ayrıca, her ölçüm noktasına ilişkin V_{s30} (üst 30 metrelik tabakanın ortalama kayma dalgası hızı) değerleri hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar, mekânsal değişimleri yansıtacak şekilde V_{s30} dağılım haritasına dönüştürülmüştür. Bu çalışmada kullanılan diğer önemli yöntemlerden biri olan mikrotremor ölçümleri sayesinde, bölgedeki yerel zemin koşullarına bağlı olarak zeminlerin hakim titreşim periyotları belirlenmiştir. Mikrotremor verileri ile hesaplanan H/V spektral oranları, zemin hakim periyotlarının istatistiksel olarak güçlendirilmesine ve bölgesel farklılıkların daha net biçimde ortaya konmasına olanak sağlamıştır. Bu oranlar, konturlanarak zemin hakim periyot haritaları şeklinde görselleştirilmiştir. İzmir ilinin Buca ilçesi özelinde gerçekleştirilen bu çalışma, yerel zemin koşullarının tanımlanması ve deprem kaynaklı risklerin değerlendirilmesi açısından bilimsel açıdan yüksek katma değere sahiptir. Özellikle kayma dalgası hızı dağılımının ve zeminlerin hakim titreşim periyotlarının belirlenmesi sayesinde, bölgede olası bir depremin neden olabileceği sismik etkilerin daha isabetli biçimde öngörülmesi mümkün hâle gelmiştir. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. V_{s30} dağılım haritası
2. Zemin hakim titreşim periyodu kontur haritası
3. H/V spektral oran haritası

Bu haritalar, kentsel planlama, yapı güvenliği ve afet risk azaltımı çalışmaları açısından nitelikli bir zemin bilgisi altyapısı sunmaktadır.

5.6.2. Aydın İl Merkezinde Sismik Mikrobölgeleme Çalışması

Selman Hamza Uzunoğlu tarafından 2019 yılında Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde tamamlanan “Aydın İl Merkezinde Sismik Mikrobölgeleme Çalışması” başlıklı yüksek lisans tezi, Aydın kent merkezi ve çevresindeki yerleşim alanlarının sismik tehlike düzeyinin belirlenmesi amacıyla yerel zemin koşullarının ayrıntılı biçimde analiz edildiği kapsamlı bir araştırmadır. Çalışma, bölgenin jeolojik ve geoteknik özellikleri ile potansiyel deprem senaryoları arasındaki ilişkiyi ortaya koyarak, sismik mikrobölgeleme uygulamaları için sağlam bir bilimsel altyapı sunmayı hedeflemiştir. Bu amaç doğrultusunda, yakın zamanda gerçekleştirilen 144 adet sığ sondaj ve 4 adet derin sondajdan elde edilen veriler değerlendirilmiş; zeminlerin mühendislik nitelikleri analiz

edilerek, NEHRP sınıflandırma sistemi ile Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TBDY-2018) kriterlerine göre zemin sınıflamaları yapılmıştır. Özellikle zemin profilinin ilk 30 metresine ait ortalama kayma dalgası hızı (V_{s30}) hesaplanmış; bu parametre temel alınarak spektral ivme ve spektral büyütme gibi zemin kaynaklı sismik yanıtları içeren kapsamlı bir veri seti oluşturulmuştur. Bölgenin sismik davranışını daha iyi anlamak amacıyla, deprem kaynakları detaylı biçimde analiz edilmiş ve probabilistik yaklaşıma dayanan bir sismik tehlike analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sürecinde, Aydın il merkezi çevresinde meydana gelmesi muhtemel depremlerin olasılıkları, büyüklükleri ve etkileyebilecekleri zemin hareketleri çeşitli senaryo modelleriyle değerlendirilmiştir. Ardından, elde edilen zemin profilleri kullanılarak, bir boyutlu eşdeğer lineer analiz yöntemiyle zeminlerin ölçeklendirilmiş yer hareketlerine karşı dinamik tepkisi değerlendirilmiştir. Bu bağlamda yürütülen zemin tepki analizleri sayesinde, her bir zemin birimi için karakteristik tepki spektrumları elde edilerek, depreme karşı duyarlılık düzeyleri mekânsal olarak haritalanmıştır. Bu kapsamlı yaklaşım, hem yapı tasarımı hem de kentsel planlama süreçlerinde dikkate alınması gereken kritik yerel zemin parametrelerini ortaya koyarak, Aydın il merkezinin deprem tehlikesine karşı daha dirençli hale getirilmesine yönelik bilimsel temelli öneriler sunmaktadır.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen tahmini zemin tepki spektrumları ile zemin büyütme katsayıları kullanılarak, yüzey spektral ivmesi ve yer hareketi şiddetinin mekânsal dağılımı Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanında haritalanmış ve görsel olarak sunulmuştur. Bu haritalar, çalışma alanındaki zemin büyütmesinin bölgeden bölgeye nasıl değiştiğini ve yer hareketi etkilerinin farklı zemin koşullarında ne ölçüde çeşitlilik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen analiz verilerine dayanarak, araştırma alanına özgü CBS tabanlı bir sismik mikrobölgeleme haritası üretilmiştir. Bu harita, yerel zemin koşullarının mühendislik açısından değerlendirilmesi ve bölgesel deprem riskinin anlaşılmasında önemli bir karar destek aracı işlevi görmektedir. NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program) standartlarına göre yapılan sınıflandırma sonuçlarına göre, Aydın il merkezinde C ve D sınıfı zemin türleri yaygın olarak gözlemlenmiştir. Ayrıca, kent dokusu içerisindeki eski yerleşim alanlarının daha düşük sismik büyütme potansiyeline sahip, mühendislik açısından daha sağlam zemin birimleri üzerine kurulu olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, bölgedeki yapılaşma ve deprem riskine yönelik önemli bilgiler sunmaktadır. Bu çalışma, Aydın il merkezi ve çevresindeki

zemin özelliklerini değerlendiren, sismik mikrobölgeleme ve deprem riskinin belirlenmesi açısından önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Veri tabanına bu çalışmadan aşağıdaki haritalar eklenmiştir.

1. 1 Hz frekansa karşı gelen ortalama spektral ivmelerin inceleme alanındaki dağılımı
2. 5 Hz karşı gelen ortalama spektral ivmelerin inceleme alanındaki dağılımı.
3. 10 Hz karşı gelen ortalama spektral ivmelerin inceleme alanındaki dağılımı.
4. Midorikawa (1987)'e göre büyütme değerlerinin değişimi.
5. Aydın Efeler İlçesindeki inceleme alanı için yer sarsıntısına göre mikrobölgeleme haritası.
6. İnceleme alanında NEHRP zemin sınıfları (BSSC, 1998).
7. İnceleme alanında 11 depremden elde edilen ortalama maksimum büyütme sınıfları mikrobölgeleme haritası.
8. İnceleme alanında 11 depremden elde edilen ortalama yüzey spektral ivmesi mikrobölgeleme haritası.
9. İnceleme alanındaki sıvılaşma analizlerinin sonuç haritası. Zemin incelemelerine bağlı olarak TBDY (2018)'de belirtilen yöntemle göre sarı bölgeler sıvılaşmakta, kırmızı bölgelerde sıvılaşma gözlenmemektedir.
10. Üst 30 m ortalama kayma dalgası (V_{s30}) hızının inceleme alanındaki değişimi.

5.7. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Yapılan Çalışmalar

Görselde (Şekil 4.1) yer alan tablodaki çalışmalarda doğrudan Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne ait bir şehir yoktur bu durum bu bölgede eksikliğin olduğunu göstermektedir. Türkiye'deki mikrobölgeleme tezlerinin genel eğilimi incelendiğinde, çalışmaların mekânsal dağılımı ve kullanılan yöntemler bakımından belirgin yoğunluklar ve eksiklikler bulunduğu görülmektedir. Araştırmaların büyük bölümü Marmara ve belirli Ege illerinde yoğunlaşırken, İç Anadolu Bölgesi sınırlı sayıda çalışmayla temsil edilmektedir. Buna karşın Doğu Anadolu ve Karadeniz bölgelerinde önemli ölçüde çalışma eksikliği göze çarpmakta; Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ise herhangi bir mikrobölgeleme tezi bulunmamaktadır. Bu durum, deprem tehlikesi yüksek olmasına karşın bilimsel incelemelerin yetersiz kaldığı geniş coğrafi alanların varlığına işaret etmektedir.

Yöntemsel açıdan değerlendirildiğinde, mikrotremor ölçümleri, sismik kırılma ve MASW

gibi dinamik zemin analiz yöntemlerinin tezlerde yaygın biçimde kullanıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, literatürde coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı analizlerin sınırlı düzeyde yer aldığı, uzaktan algılama verilerinin mikrobölgeleme süreçlerine entegrasyonunun yeterince geliştirilmediği, ayrıca laboratuvar ölçekli jeoteknik deneylerin ve deprem senaryosu tabanlı risk analizlerinin nispeten az uygulandığı dikkati çekmektedir. Çalışmaların çoğu iki boyutlu ve lokal ölçekte gerçekleştirilmiş olup, üç boyutlu dalga yayılım modelleri veya zaman bağımlı (4D) dinamik değerlendirmelerle desteklenmiş kapsamlı yaklaşımların henüz yaygınlaşmadığı görülmektedir.

Bu çerçevede, gelecekte yürütülecek tez çalışmalarında bölgesel boşlukların doldurulması, CBS ve laboratuvar verilerinin entegre edildiği çok disiplinli mikrobölgeleme yaklaşımlarının geliştirilmesi ve gerçekçi deprem senaryolarına dayalı risk değerlendirmelerinin yaygınlaştırılması, hem bilimsel literatürdeki eksiklikleri giderecek hem de ulusal ölçekte deprem güvenliği çalışmalarına önemli katkı sağlayacaktır.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye, aktif tektonik rejimi nedeniyle yüksek düzeyde sismik tehlike barındırmakta; bu durum, yerel zemin özelliklerinin ayrıntılı olarak belirlenmesini ve yapı tasarımının bu koşullara uygun şekilde gerçekleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Deprem sırasında oluşan sismik dalgaların zemin ve yapılarla etkileşimi, özellikle zemin hâkim periyodu ile yapı doğal titreşim periyotlarının çakıştığı durumlarda rezonans etkisini ortaya çıkararak ağır hasarlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, mikrobölgeleme çalışmaları kapsamında elde edilen büyütme, hâkim periyot, Vs30, zemin sınıfı, yeraltı su seviyesi, sıvılaşma potansiyeli, yamaç duraylılığı gibi parametrelerin güvenilir şekilde tanımlanması, deprem mühendisliği ve afet risk yönetimi açısından kritik öneme sahiptir.

Bu tez kapsamında, 2005–2022 yılları arasında YÖK Tez Merkezi'nde yayımlanan sismik mikrobölgeleme tezleri sistematik biçimde taranmış; bu çalışmalarda kullanılan yöntemler, zemin sınıflaması yaklaşımları, harita türleri ve çalışma alanlarının coğrafi dağılımları ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, Türkiye'de mikrobölgeleme çalışmalarının hem bölgesel hem de yöntemsel açıdan belirli yoğunluklar ve belirgin boşluklar içerdiğini göstermektedir. Mikrobölgeleme tezlerinin büyük bölümü Marmara Bölgesi'nde yoğunlaşmış; özellikle İstanbul, Bursa ve Sakarya'da mikrotremor, MASW, sismik kırılma, sondaj ve jeoelektrik yöntemleri kullanılarak ayrıntılı zemin sınıflaması, sıvılaşma ve yerel zemin parametreleri ortaya konmuştur. Buna karşın, İç Anadolu'da çalışmalar birkaç kentle sınırlı kalmış; Doğu Anadolu'da Elazığ ve Erzurum gibi kritik sahalarda dahi tez sayısı sınırlı düzeyde kalmış; Karadeniz'de yalnızca birkaç çalışma tespit edilmiş; Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne ait ise derlenen veri tabanında doğrudan bir tez çalışmasına rastlanmamıştır. Bu tablo, özellikle yüksek deprem tehlikesine sahip illerde yeni mikrobölgeleme araştırmalarına ihtiyaç olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Yöntemsel açıdan bakıldığında, incelenen tezlerde en yaygın kullanılan yaklaşımların mikrotremor (H/V), MASW, sismik kırılma, sondaj ve jeoelektrik öz direnç yöntemleri olduğu; buna karşılık CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) tabanlı analizlerin, uzaktan algılama verilerinin entegrasyonunun, gelişmiş laboratuvar deneylerinin (triaxial, konsolidasyon,

kesme kutusu vb.) ve deprem senaryosu temelli risk analizlerinin sınırlı düzeyde kaldığı görülmüştür. Çalışmaların çoğu yerel ve iki boyutlu zemin modelleriyle sınırlı kalmakta; üç boyutlu dalga yayılımını ve zaman bağımlı (4D) dinamik modellemeyi içeren yaklaşımlar henüz yaygınlaşmamıştır. Bu durum, mikrobölgelemenin evrensel ilkelere dayanmasına karşın, uygulamada sahaya özgü koşullara bağlı olarak farklı ölçek ve derinlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Tez kapsamında ayrıntılı olarak incelenen haritalar, mikrobölgeleme çalışmalarının bilimsel ve mühendislik boyutunu taşıyan temel bileşenlerdir. Genel ve mühendislik jeolojisi, morfoloji, anakaya derinliği, alüvyon kalınlığı gibi jeoloji temelli haritalar; mikrotremor baskın periyot ve büyütme haritaları, V_s – V_{s30} dağılımları, SPT/N30, rezistivite ve taşıma gücü haritaları gibi jeofizik–jeoteknik kökenli haritalar; zemin sınıflaması, spektral ivme, PGA, sıvılaşma, yamaç stabilitesi ve yüzey faylanması temalı sismik tehlike haritaları; yerleşime uygunluk, yapı yoğunluğu, bina envanteri ve imar planı üzerine bindirilmiş risk dağılımı haritaları; tarihsel depremler ve fay zonlarıyla ilişkili haritalar, mikrobölgeleme çalışmalarında zemin davranışı ve sismik riskin mekânsal boyutunu görünür kılmaktadır. Bu çeşitlilik, mikrobölgelemenin tek bir veri setine değil, jeoloji, jeofizik, jeoteknik, deprem kayıtları ve istatistiksel yöntemlerin bütünleştirildiği çok disiplinli bir yaklaşıma dayandığını göstermektedir.

6.1. Tezin Özgün Katkıları ve Yenilikçi Yönü

Bu tez, Türkiye’de sismik mikrobölgeleme alanında daha önce yapılmamış ölçekte bütüncül ve sayısal bir veri tabanı oluşturması bakımından özgün ve yenilikçi bir nitelik taşımaktadır. Çalışmanın başlıca özgün katkıları şu şekilde özetlenebilir:

- **Türkiye ölçeğinde ilk kapsamlı mikrobölgeleme veri tabanı:** 2005–2022 döneminde gerçekleştirilen 30’dan fazla mikrobölgeleme tezinin sonuçları, bu çalışma kapsamında ilk kez sistematik biçimde derlenmiş, toplam 349 adet harita, ArcGIS Pro yazılımı kullanılarak koordinatlandırılmış ve ülke genelinde kullanılabilir tek bir sayısal veri tabanında bir araya getirilmiştir. Daha önceki çalışmalar, çoğunlukla tek bir şehir ya da sınırlı bir yerleşim alanına odaklanırken, bu tez Türkiye ölçeğinde bütüncül bir bakış açısı sunmaktadır.

- **Haritaların sayısallaştırılması ve CBS tabanlı entegrasyon:**
Literatürde yer alan mikrobölgeleme haritaları Corel Capture ile dijital ortama aktarılmış, dosya ve klasör yapısı altında sistematik olarak düzenlenmiş; ardından ArcGIS Pro kullanılarak Türkiye haritası üzerinde coğrafi koordinatlarıyla konumlandırılmıştır. Böylece, sismik tehlike taşıyan alanlar, zemin sınıfları, Vs30 değerleri, sıvılaşma ve yamaç stabilitesi gibi parametreler ülke ölçeğinde mekânsal olarak analiz edilebilir hâle getirilmiştir.
- **Google Earth ile erişilebilir ulusal mikrobölgeleme platformu:**
Tez kapsamında oluşturulan veri tabanı, ileride Google Earth üzerinde açılabilir bir yapıya kavuşturularak, mühendisler, araştırmacılar ve kamu kurumlarının mikrobölgeleme verilerine hızlı ve kullanıcı dostu bir arayüz üzerinden erişmesi sağlanacaktır. Bu özellik, çalışmayı geleneksel tez formatının ötesine taşıyarak pratik bir karar destek aracına dönüştürecektir.
- **Kaynak-veri entegrasyonu ve tekrar çalışmaların önlenmesi:**
Veri tabanı, yalnızca sayısallaştırılmış haritaları değil, aynı zamanda bu haritaları üreten tezlerin bibliyografik bilgilerini ve araştırmacı adlarını da içermektedir. Böylece, bir yandan literatür-veri bağlantısı güçlendirilmiş, diğer yandan aynı bölgelerde benzer çalışmaların gereksiz yere tekrarlanması önüne geçilebilecek bir altyapı oluşturulmuştur.
- **Bölgesel boşlukların ve yöntemsel sınırlılıkların görünür kılınması:**
Tez, Türkiye’de mikrobölgeleme çalışmalarının Marmara ağırlıklı olduğunu, Doğu Anadolu, Karadeniz ve özellikle Güneydoğu Anadolu’da ciddi veri boşlukları bulunduğunu nicel olarak göstermiş; yöntemsel açıdan da CBS, uzaktan algılama, gelişmiş laboratuvar deneyleri ve senaryo temelli risk analizlerinin yetersiz kullanımını ortaya koymuştur. Bu durum, bundan sonra yapılacak akademik ve kurumsal çalışmalar için somut bir yol haritası sunmaktadır.

Bu yönleriyle çalışma, Türkiye’de mikrobölgeleme verilerinin sistematik olarak derlenip sayısallaştırıldığı, coğrafi bilgi sistemleri ile bütünleştirilip ArcGIS Pro üzerinde erişilebilir hâle getirildiği **ilk ulusal ölçekte veri tabanı** niteliğini taşımaktadır.

6.2. Değerlendirme ve Mikrobölgelemenin Afet Yönetimindeki Rolü

Tez süresince yapılan çalışmalar, mikrobölgeleme kriterlerinin sabit ve her yere aynı şekilde uygulanabilir bir listeye sahip olamayacağı, tersine zemin özellikleri, yeraltı su seviyesi, topoğrafya, tektonik yapı, planlanan yapılaşma türü ve iklimsel koşullar gibi parametrelere bağlı olarak esnek biçimde önceliklendirilmesi gerektiği görülmüştür. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu gevşek alüvyon sahalarında sınıvlaşma; yüksek eğimli ve ayrılmış zeminlerin hâkim olduğu bölgelerde yamaç duraysızlığı; diri fay zonlarına yakın alanlarda yüzey faylanması ve tektonik deformasyonlar, mikrobölgeleme çalışmalarında öne çıkan başlıca risk bileşenleridir. Bu durum, mikrobölgelemenin sadece jeoteknik veya jeolojik bir etüt değil, aynı zamanda çok parametrelili bir afet yönetimi ve risk azaltım stratejisi olduğunu ortaya koymaktadır.

Ayrıca, çalışma ölçeği büyüdükçe (örneğin ada/parsel ölçeğine inildikçe) elde edilen verilerin çözünürlüğü artmakta ve deprem etkilerinin parselden parselde dahi değişebildiği görülmektedir. Bu nedenle mikrobölgeleme, klasik “yerleşime uygunluk” etütlerinin ötesine geçerek, dinamik parametreleri (büyütme, hâkim periyot, spektral ivme vb.) de içeren, modern deprem yönetmeliklerinin gerektirdiği ayrıntı düzeyinde veri üretmeli ve kent planlama süreçlerine doğrudan entegre edilmelidir.

6.3. Öneriler

Bu tez kapsamında elde edilen bulgular doğrultusunda, hem uygulamaya hem de gelecekte yapılacak araştırmalara yönelik öneriler aşağıda özetlenmiştir:

Uygulama ve mevzuat açısından:

- Yeni yerleşim alanlarının planlanması ve imar planı revizyonları öncesinde, mikrobölgeleme etütleri yasal mevzuatta öngörüldüğü şekilde yapılmalı; bu etütler zemin büyütmesi, hâkim periyot, V_s30 , zemin sınıfı, yeraltı su seviyesi, sınıvlaşma ve yamaç stabilitesi gibi parametreleri içermelidir.
- Yapı tasarımı sürecinde, yalnızca genel bölge sınıfları değil, parsel ölçeğinde belirlenen dinamik zemin parametreleri dikkate alınmalı; özellikle gevşek ve kalın alüvyon tabakalarının bulunduğu sahalarda yapı yüksekliğine sınırlamalar

getirilerek ya da uygun zemin iyileştirme yöntemleri uygulanarak rezonans riski azaltılmalıdır.

- Zemin sınıflamasında tek bir yöneme bağlı kalınmamalı; mikrotremor, V_s ölçümleri, SPT/CPT ve laboratuvar deneyleri birlikte kullanılarak daha güvenilir ve çok parametrelili sınıflama yapılmalıdır.
- Yerel yönetimler, bu tez kapsamında oluşturulan türde ulusal mikrobölgeleme veri tabanlarını, imar planı kararlarında, kentsel dönüşüm projelerinde ve afet risk yönetimi stratejilerinde aktif biçimde kullanmalı; zemin ve risk haritalarını kurumsal karar destek sistemlerine entegre etmelidir.
- Mühendislik projelerinde, ulusal mikrobölgeleme veri tabanında yer alan V_{s30} , hâkim periyot, büyütme ve zemin sınıfı parametreleri, proje ölçeğinde yapılacak detaylı etütlerle birlikte değerlendirilerek, tasarım depremi ve performans hedefleri buna göre belirlenmelidir.

Gelecek çalışmalar ve veri tabanının geliştirilmesi açısından:

- Doğu Anadolu, Karadeniz ve özellikle Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yeni mikrobölgeleme çalışmaları teşvik edilmeli; böylece hem veri boşlukları giderilmeli hem de oluşturulan ulusal veri tabanı ülke genelinde daha homojen bir kapsama kavuşturulmalıdır.
- Mevcut veri tabanı, AFAD güçlü yer hareketi kayıtları, uzaktan algılama verileri, yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modelleri ve laboratuvar deney sonuçlarıyla zenginleştirilmeli; üç boyutlu (3D) ve zaman bağımlı (4D) zemin modellerinin geliştirilmesine altyapı sağlamalıdır.
- İlerleyen süreçte Google Earth üzerinden erişilebilir kılınacak olan veri tabanının, yetkili kurum ve üniversitelerin katkısıyla **sürekli güncellenen** dinamik bir platforma dönüştürülmesi sağlanmalı; yeni yapılan tez ve projeler için zorunlu veri paylaşımı koşulları tanımlanmalıdır.
- CBS tabanlı çok katmanlı analizler ve senaryo depremi temelli risk değerlendirmeleri yaygınlaştırılarak, mikrobölgeleme çıktılarının yalnızca zemin sınıflaması değil, aynı zamanda can kaybı, ekonomik kayıp ve hizmet kesintisi gibi sonuçları da içeren bütünsel risk analizlerine dönüştürülmesi hedeflenmelidir.

Sonuç olarak, bu tezde geliştirilen ulusal mikrobölgeleme veri tabanı, deprem tehlikesinin ve zemin davranışının Türkiye ölçeğinde bütüncül olarak izlenmesine, bölgesel boşlukların ve öncelikli müdahale alanlarının belirlenmesine ve gelecekte yapılacak bilimsel çalışmalar ile planlama kararlarına yön vermeye aday, öncü bir altyapı sunmaktadır. Mikrobölgeleme çalışmalarının, yalnızca mühendislik projelerinin bir alt bileşeni değil, aynı zamanda güvenli ve dirençli kentler inşa etmenin temel ön koşulu olduğu gerçeği, bu çalışma ile bir kez daha vurgulanmaktadır.

KAYNAKLAR

Adatepe, Ş. (2002). Küçükçekmece ve Sefaköy Yerleşim Bölgelerinin Zemin Büyütmesine Göre Mikrobölgelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

AFAD, (2011). Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı UDSEP (2012-2023). T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.

AFAD, (2014). Türkiye Afet Farkındalığı ve Afetlere Hazırlık Aşaması. Erişim Tarihi:31.10.2024. https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/3923/xfiles/turkiye-afet-farkindaligi-ve-afetlere-hazirlik-arastirmasi_-2014-edited.pdf

AFAD, (2018). Türkiye Deprem Tehlike Haritası. Erişim Tarihi:31.10.2024 <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>

AFAD, (2019). Deprem Nedir. Erişim Tarihi: 21.07.2019. <https://www.afad.gov.tr/tr/4379/DepremNedir>

AFAD, (2019). *Türkiye Deprem Tehlike Haritası*. T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Erişim Tarihi: 31.10.2024, <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi>

AFAD, (2023). *6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri Raporu*. T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Erişim Tarihi: 31.10.2024, <https://deprem.afad.gov.tr>

Agrawal, R. C. (1993). Seismological Inputs for Microzonation of Urbans Centers. International Centre for Theoretical Physics, International Report.

Akçal, A. N. (2020). Antalya İli Merkez İlçe Zeminlerinin Coğrafi Bilgi Sistemlerinden Yararlanılarak Geoteknik Mikrobölgelendirilmesi, Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi.

Aki, K. (1957). SPACe and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors. *Bulletin of Earthquake Research Institute*, 35, 415–457.

Akyürek, Ş. (2019). Karasu İlçesinin Mikrobölgelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.

Albayrak, N. (2017). 1999 Marmara Depremi Sonrası İçin Gölcük İlçesi Kıyılarının Sıvılaşmaya Göre Mikrobölgelemesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Altıntaş, İ. (2018). Sismik Mikrobölgeleme Amaçlı Jeofizik ve Geoteknik Çalışmalar: Büyükada (İstanbul) Örneği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.

Ansal, A. and Mercellini, A. (1998). Variability of Source and Site Factors in Seismic Microzonation - State of the Art Report, Proceedings of the 11th Europe Conferance on

Earthquake Engineering, Bakeme, Rotterdam.

Ansal, A. M. (1995). Microzonation for Earthquake Risk Mitigation. *Proceedings of the 5th International Conference on Seismic Zonation*, Nice, France.

Ansal, A. (1995). Mühendislik Tasarımında Depremsellik. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı: 379, s. 32.

Ansal, A. Biro, Y. Erken, A. Gülerce, Ü. and Özçimen, N. (2001). Seismic zonation in İstanbul: A case study Geotechnical Earthquake Engineering and Microzonation Seminar, İstanbul.

Ansal, A. Erdik, M. Kurtuluş, A. Erken, A. Şeşeytan, K. Siyahi, B. Springman, S. ve Laue, J. (2004a). Belediyeler için Sismik Mikrobölgeleme Bilimsel Son Durum Raporu, Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, DRM World Institute for Disaster Risk Management.

Avcı Yener, S. (2011). Altınova Bölgesinin Arazisi Mikrobölgeleme Haritalarının Jeolojik ve Geoteknik Özelliklere Bağlı Olarak Hazırlanması. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi.

Avdan, U. (2011). Yerel Sismik Ağ ve Mikrobölgeleme Verilerine Dayalı Afet (Deprem) Bilgi Sistemi İçin Bir Veri Tabanı Analiz ve Tasarımı (Eskişehir İli Örneğinde). Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Aydemir, S. E. (1999). Türkiye’de İmar Kurumu. İçinde: Aydemir, Ş. Aydemir, S. E. Ökten, N. Öksüz, A.M. Sancar, C. ve Özyaba, M. (Yay. Haz.), Kentsel Alanların Planlanması ve Tasarımı (Ders Notları No: 54). Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Başbakanlık-Pub-Meer, T. C. (2006a). Methodology Manual: Microzonation and Hazard Vulnerability Studies for Disaster Mitigation. In: Abs Consulting, A. I. Üçer (ed.). Republic of Turkey Prime Ministry Project Implementation Unit P1u.

Başbakanlık-Pub-Meer, T. C. (2006b). Microzonation and Hazard Vulnerability Studies for Disaster Mitigation: Eskişehir Preliminary Disaster Mitigation Plan. Abs Consulting, Alter Uluslararası, Üçer Müşavirlik Ortak Girişimi: Republic Of Turkey Prime Ministry Project Implementation Unit P1u.

Başokur, T. A. (2005, Mart). Yapı Yeri İncelemelerinde Makaslama Dalgası Hız Kesitinin Remi Yöntemi İle Saptanması. Kocaeli Üniversitesi. Deprem Sempozyumu.

Bayrakçı, S. (2018). Osmaniye Kent Merkezinin (OKM) Geoteknik Özelliklere Bağlı Mikrobölgeleme Haritalarının Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi.

Belediyeler için Sismik Mikrobölgeleme, (2004). World Institute for Disaster Risk Management (DRM), Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü.

Beyoğlu Belediyesi, (2001). İstanbul Beyoğlu İlçesi İmar Planı Revizyonuna Esas Jeolojik- Jeoteknik Etüt Raporu, İstanbul.

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE), (2004). Mikrobölgeleme Teknik Esasları. İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi.

Borcherdt, R. D. and Gibbs, J. F. (1976). Effects of local geological conditions in San Francisco Bay Region on ground motions and the intensities of the 1906 Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 66, 467-500.

Borcherdt, R. D. Wentworth, C. M. Janssen, A. Fumal, T. and Gibbs, J. (1991). Methodology for Predictive GIS Mapping of Special Study Zones for Strong Ground Shaking in the San Francisco Bay Region, Proc. Fourth Intern'l. Conf. on Seismic Zonation, Vol. 3, pp. 545- 552.

Capon, J. (1969). High-Resolution Frequency-Wavenumber Spectrum Analysis. Proc. IEEE, 57, 1408-1418.

Ceyhan, U. (2004). Büyükçekmece İlçesinde Sismik Kırılma Verileriyle Mikrobölgeleme Çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.

Ceyhan, U. Karabulut, S. Özçep, F. ve Gündoğdu, O. (2004). Kayma Dalgası Hızı Kullanılarak Mikrobölgeleme Çalışmaları, Büyükçekmece Bölgesi, 16. Uluslar Arası Jeofizik Kongresi, Ankara.

Coduto, D. P. (2006). *Geotechnical Engineering: Principles and Practices* (2nd ed.). Prentice Hall.

CSB, (2019). Mikrobölgeleme Etütleri. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Mekânsal Planlama Genel Müdürlüğü. Erişim Tarihi: 23.07.2019, <https://mpgm.csb.gov.tr/mikrobolgeleme-etutleri-i-5213>

Çakmak, B. (2009). Kayseri İli Depremselliği ve Özel Bir Mikrobölgeleme Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi.

Çetinel, T. (2003). İzmit ve Civarında Zemin Özelliklerinin Mikrotremor Ölçümleri İle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi.

Dbyyhy, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Demir, A. (2006). *Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar*. ABC Yayınları.

Demir, H. (2006). Küçükçekmece-Halkalı Yerleşim Bölgesinin Yerel Zemin Koşullarına Göre Depremselliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Demirci, A. (2007). Çanakkale Şehir Merkezi Sismik Mikrobölgelendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale 18 Mart Üniversitesi.

Deniz, O. (2005). Çanakkale Yerleşim Alanının Yeraltısuyu Kalitesinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi.

Dikmen, Ü. Arısoy, M. Ö. Akkaya, İ. Demirci İ. ve Hasançebi N. (2013). Yer Tepkisinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemlerin İvme Kaydı Üzerinde Değerlendirilmesi, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, MKÜ Hatay.

Ekingen, S. (2019). Mersin İli İçin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Mikrobölgeleme Çalışması, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi.

Elmasdere, E. (2008). Isparta Mavikent Yerleşim Bölgesinin Sismik Mikrobölgesi ve Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.

Emsc, (2023). European-Mediterranean Seismological Centre. Erişim Tarihi:31.10.2024. www.emsc-csem.org

Erdik, M. Ansal, A. Aydınoğlu, N. Barka, A. Işıkkara, A. M. Yüzügüllü, Ö. Avcı, J. Özel, O. Alpay, Y. and Birgören, G. (2000). İzmir Deprem Senaryosu ve Deprem Master Planı. İzmir Büyükşehir Belediyesi. Erişim: <http://www.izmirbld.gov.tr/eski/izmirdeprem/izmirrapor.htm>

Erdik, M. Durukal, E. Siyahi, B. Fahjan, Y. Şeşetyan, K. Demircioğlu, M. ve Akman, H. (2003). Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Deprem Yer Hareketinin Belirlenmesi, 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.

Ergin, B. (2007). İstanbul Antik Galata Bölgesinin Mikrotremor Ölçümleri Esaslı Mikrobölgeleme Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.

Ergünay, O. Gülkan, P. ve Güleri, H. H. (2008). Afet yönetimi ile ilgili terimler. İçinde: *Afet Yönetiminin Temel İlkeleri* JICA Türkiye Ofisi Yayın No: 2 (s. 248–301).

Ergünay, Ş. Yılmaz, S. and Kaya, H. (2008). Jeofizik Yöntemlerin Mikrobölgelemedeki Uygulamaları. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 51(2), 123-134.

Eurocode 8, (2004). Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings. EN 1998-1:2004. European Committee for Standardization (CEN), Brussels.

Eurocode 8. (2008, 18-20 February). Dissemination of Information Workshop, Brussels.

Eyyubov, C. Köksal F. ve Maraşlı Z. (2001). Arazinin Sismik İvme Dağılımına Zemin Koşullarının Etkisi, Yukarı Orta Anadolu Depremleri Jeofizik Toplantısı, Yozgat-Türkiye.

Finn, W. D. L. (1991). Geotechnical Engineering Aspect of Microzonation, Proc. Fourth Intern'l. Conf. On Seismic Zonation, Vol.1, pp. 199-259.

Gutnic, M. Monod, O. Poisson, A. Dumont, J. F. (1979). *Geologie des Taurides*.

Gül, A. (1972). Mikrobölgeleme Etüdları İlke ve Yöntemleri, Türkiye Deprem Sorunu

ve Deprem Mühendisleri Sempozyumu, Ankara.

Gül, M. (1972). Yer Hareketlerinin Yapılara Etkileri. *Türkiye Deprem Mühendisliği Dergisi*, 3(1), 15-28.

Güven, N. (2002). *Büyükçekmece (Merkez) yerleşime uygunluk amaçlı (jeoloji-jeofizik-jeoteknik) araştırmalar*. Mavi Girişim Mühendislik, İstanbul.

Güzel, M. (2009). Mikrobölgeleme Çalışmalarında Jeolojik, Jeofizik, Jeoteknik Verilerin Birlikte Kullanımı (Kuzey Adana Örneği). Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi.

Hays, W. W. (1980). Procedures for estimating ground motions. United States Geological Survey, 1114, 77.

Heuze, F. E. Ueng, T. S. Hutchings, L. J. Jarpe, S. P. Kasameyer, P. W. (1997). A coupled seismic-geotechnical approach to site-specific strong motion. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 16(4), 259-272.

IDRISS, I. M. ve SUN, J. I. (1992). *SHAKE 91 – A computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soil deposits*. University of California, Davis.

International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering (ISSMFE), (1993). *Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards*, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp. 3, 1993.

İrlayıcı, A. (1993). Isparta Ovası Hidrojeolojisi ve Yeraltı suları ile İlgili Çevre Sorunları, Yüksek Lians Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.

ISSMFE, (1993). *Manual for zonation on seismic geotechnical hazards*, published by Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering.

İmaksu, A. Ş. (2016). Osmaniye İli Osmaniye Belediye Sınırlarını Kapsayan Yaklaşık 8500 Hektar Alanın İmar Planına Esas Mikrobölgeleme Etüt Raporu, Osmaniye Belediye Başkanlığı.

İnce, G. Ç. (2005). Sismik Bölgeleme ve İstanbul'un Deprem Zararlarının Tahmini, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

İstanbul Valiliği Verileri, (2000). 17 Ağustos 1999 Depremi nedeniyle Büyükçekmece ve Avcılar dolaylarında oluşan hasar dağılımı, İstanbul.

Joyner, W. B. and Fumal, T. E. (1988). Site amplification for soil sites in California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78(3), 1353–1373.

Joyner, W.B. and Fumal, T. (1984). Use Of Measured Shear-Wave Velocity For Predicting Geological Site Effects On Strong Motion, *Proc Eighth World Conf. On Earthquake Eng.* vol. 2, pp. 777-783.

- Kanai, K. (1983). *Engineering Seismology*. IIESEE Lecture Notes, IEES, Japan.
- Kanai, K. (1983). Natural periods of soil layers and soil amplification. *Journal of the Japan Society of Civil Engineers*, 25(1), 107–116.
- Karabulut, H. (2005). Jeofizik Yöntemlerin Mikrobölgelemedeki Uygulamaları. *Türkiye Jeofizik Bülteni*, 49, 12-20.
- Karabulut, S. (2005). Büyükçekmece İlçesinde Mikrotremor Verileriyle Mikrobölgeleme Çalışmaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Karabulut, S. and Osmanşahin, İ. (2002, October). Determination of Interstation Response Function for Structural Analysis with Seismic Wave, The 2th International Conference on Earth Sciences and Electronics Proceedings, ed. By O.N.Uçan and A. M. Albora pp:297-310, Istanbul University, Avcılar-Istanbul-Turkey.
- Karasu, A. (2009). Mikrobölgeleme ve Geoteknik Araştırmalar. *Jeoteknik ve Deprem Mühendisliği Dergisi*, 5(3), 33-42.
- Karasu, M. (2009). Bakırköy İlçesi' nin Mikrobölgelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Keçeli, A. (2013). Neden jeofizik mühendisliği etütleri zemin etüdlerinde zorunlu olmalı. *Jeofizik Dergisi*, 26(2), 15-28.
- Keleş, Z. (2006). Düzce İli Mikrobölgesel Zemin Parametrelerinin Haritalanması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- Kepçeoğlu, Ö. (2008). Bursa İli Güzelyalı Beldesi Mikrotremor Ölçümlerine Dayanan Bir Mikrobölgeleme Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Korkmaz, B. (2007). İstanbul Şişli Mikrobölgeleme Çalışmalarında Jeofizik Ve Geoteknik Verilerin Birlikte Kullanımı: Şişli (İstanbul) Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, New Jersey, 348-423.
- Kurnaz, T. F. (2011). İstanbul Esenler Zeminlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Tabanlı Geoteknik Mikrobölgelemesi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi.
- Kurtuluş, C. (2002). *Sismik arama: Teori ve uygulama*. Kocaeli Üniversitesi Yayınları, Kocaeli.
- Lav, A. (1994). İstanbul ve Erzincan Şehirlerinde Zemin Büyütme Etkilerine Göre Mikrobölgeleme, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, (2002). 1/500.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası.

- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley & Sons.
- Midorikawa, S. (1987). Prediction of isoseismal map in the kanto plain due to hypothetical earthquake, *Journal of Structural Engineering*, 33, 43-38.
- Midorikawa, S. (1987). Ground motion characteristics at soft soil sites. *Proceedings of 9th World Conference on Earthquake Engineering*, 9, 343–350.
- Mogami, H. and Kubo, T. (1953). The Behavior of Soil During Vibration. *Proceedings of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Vol. 1, pp. 152-153.
- Mogami, Y. and Kubo, K. (1953). Liquefaction of sandy soils. *Soils and Foundations*, 1(2), 1-15.
- Mola, E. (2005). Deliklitaş Mahallesi-Eskişehir Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Deprem Risk Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi.
- Nakamura, Y. (2008). On the H/V Spectrum, The 14th World Conference on Earthquake Engineering in Beijing, China.
- NEHRP (National Earthquake Hazards Reduction Program), (2003). Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures (FEMA 450). Federal Emergency Management Agency, USA.
- Nehrp, (2000). Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, Part 1: Provisions, FEMA 368, Building seismic safety council of the National Institute of Building Sciences, USA.
- Nehrp, (2003). Recommended Provisions For New Buildings And Other Structures, FEMA-450, prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- Nigg, J. (1982). Microzonation And Public Preparedness: A Viable Approach, *Proceedings Of The 3th International Earthquake Microzonation Conference*, Seattle.
- Okada, H. (2003). *The Microtremor Survey Method*, (translated by K. Suto) geophysical monograph series No.12, SEG.
- Okur, V. (1996). Tehlike Analiz Yöntemlerinin İstanbul, İzmir, Dinar Bölgeleri İçin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Özaydın, K. (1996). *Yer hareketleri üzerinde yerel zemin koşullarının etkisi ve zemin büyütmesi*. Türkiye Deprem Vakfı, TDV/TR 96-003, İstanbul.
- Özçep, F. (2007). *Mikrobölgeleme : İlkeler ve Uygulamalar*, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, 211 Sayfa, ISBN No: 978-9944-89-231-5, Ankara.
- Özçep, F. (2019). Mikrobölgeleme ve Teknikleri (Ders Notları). Erişim Tarihi:03.03.

<http://aves.istanbul.edu.tr/ferozcep/dokumanlar>

Özçep, F. (2005). *Statik ve dinamik (deprem) etkiler altında zemin davranışı ve mühendislik uygulamaları*. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Mesleki Eğitim ve Belgelendirme Kurs Notları No: 3, Ankara.

Özçep, F. (2007). *Mikrobölgelemede ilkeler ve uygulamalar: Meslek içi eğitim ve belgelendirme kurs notları-8*. Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara.

Özçep, F. (2019). Mikrobölgeleme ve Teknikleri (Ders Notları). Erişim Tarihi: 03.03.2019, <http://aves.istanbul.edu.tr/ferozcep/dokumanlar>

Özmen, B. Nurlu, M. ve Güler, H. (1997). *Coğrafi Bilgi Sistemi ile Deprem Bölgelerinin İncelenmesi*. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü.

Özmenek, Ş. G. (2000). Marmara Bölgesinin Deprem Risk Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi.

Palutoğlu, M. (2014). Elazığ Kent Merkezinin Tektoniği, Depremselliği Ve Mikrobölgelemesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi.

Pampal, S. Özmen, B. (2009). *Depremler Doğal Afet midir? Depremlerle Baş Edebilmek*, Eflatun Yayınevi.

Panza, G. F. Vaccari, F. Costa, G. Suhadolc, P. and Fah, D. (1996). Seismic input modelling for zoning and microzoning, *Earthquake Spectra*, 12, 529.

Pitilakis, K. (2004). *Site Effects in Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation*, Ed Ansal, A. Kluwer Academic Publications, Netherlands, 368, 139–197.

Polatkan, D. (2010). Çok Kriterli Analiz Teknikleri Kullanılarak Cbs Tabanında Jeo Çevresel Kriterlere Göre Gölbaşı Öçek Bölgesinin Mikrobölgelendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.

Sarıca, S. S. (2008). Isparta İl Merkezi Mikrobölgeleme Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.

Seht I. M. Wohlenberg J. (1999). Microtremor measurements used to map thickness of soft sediment, *Bull. Seis. Soc. Am.* 89, 250-259.

Sesame, (2004). Site Effects Assessment Using Ambient Excitations, 2004. Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio. Technique On Ambient Vibration: Measurements Processing And Interpretation, European Research Project.

Sharma, S. and Kovacs, W. D. (1980). Microzonation Of Memphis, Tennessee Area, A Report On Research Sponsored By The Usgs, No: 14.08.0001-17752.

Sherif, M. A. (1982, June- July). Introductory Statement Of 3 Th International Earthquake

Microzonation Proceedindgs, Seattle, Usa.

Sitharam, T. G. Anbazhagan, P. (2007). Seismic hazard analysis for bangalore region, *Journal of Natural Hazards*, 40, 261-278.

Sönmezer, Y. B. (2016). Kırıkkale Şehir Merkezinin Deprem Risk Analizi Ve Sismik Mikrobölgelemesi, Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi.

Subaşı, O. (2017). Tek Boyutlu Dinamik Analiz ve Mikrotremor Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması (Güzelyalı Mikrobölgeleme Örneği). Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Şahin, Ş. N. (2017). Erzurum İl Merkezinde Eşdeğer Lineer Yöntemle Zemin Büyütme Etkilerine Dayalı Bir Mikrobölgeleme Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi.

Tbdy, (2017). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

TBYYH (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği), (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

TDY (Türkiye Deprem Yönetmeliği), (1998). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

TDY (Türkiye Deprem Yönetmeliği), (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

Tün, M. (2013). Mikrobölgeleme Çalışmalarında Yer Tepkisi Ve Kayma Dalga Hız (Vs) Yapısının Yorumlanması: Eskişehir Örneği, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.

Türk Deprem Yönetmeliği (TDY), (2007, Mart). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Ulutaş, E. (2006). Doğu Marmara Sismik Bölgeleme, Kocaeli İl Sınırları ve İzmit Yerleşim Alanının Sismik Mikrobölgelemesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi.

Usta, Y. (2022). Gümüşhane ve Çevresinin Jeofizik Verilerle Yer Etkisinin İncelenmesi ve Mikrobölgeleştirme Çalışması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.

Uzunoğlu, S. (2019). Aydın İl Merkezinde Sismik Bölgeleme Çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi.

Vikipedi Özgür Ansiklopedi. Türkiye'deki Depremler Listesi. Erişim Tarihi:31.10.2024 https://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27deki_depremler_listesi

Wang, J. G. and Law, K. T. (1994). *Siting in Earthquake Zones*. A. A. Balkema, Rotterdam, Hollanda, s. 114.

Wang, Z. (2006). Understanding Seismic Hazard and Risk Assessments: An Example in

the New Madrid Seismic Zone of The Central United States, 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, California.

Wang, Z. and Law, K. T. (1994). Siting in Earthquake Zones. A.A. Balkema, Rotterdam, Hollanda.

World Institute for Disaster Risk Management, Inc. (2004a). Seismic Microzonation for Municipalities. Manual.

Yağcı, B. (2005). Mikrobölgeleme Metodolojileri ve Balıkesir İçin Bir Uygulama, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi.

Yalçınkaya, E. (2010). Zemin neden bu kadar önemli. *Jeofizik Bülteni*, 80.

Yalçınkaya, E. (2010). Zemin Büyütmesi ve Sismik Tehlike Değerlendirmesinde Mikrobölgelemenin Önemi. *TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Bülteni*, 18(2), 34-42.

Yalçınkaya, E. (2010). Zemin neden bu kadar önemli. *Jeofizik Bülteni*, 80.

Yener, S. (2011). Altınova Bölgesi Arazisi Mikrobölgeleme Haritalarının Jeolojik ve Geoteknik Özelliklere Bağlı Olarak Hazırlanması. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi.

Yılmaz, S. (2007). Sondaj Teknikleri ve Mikrobölgeleme Çalışmalarındaki Önemi. *Jeoteknik Araştırmalar Dergisi*, 29(4), 65-77.

Yılmaz, T. (2007). Ankara Keçiören Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Ankara İli Keçiören Bölgesi Mikrobölgeleme Haritalarının Oluşturulması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi.

Youd, T. L. (1984). Liquefaction susceptibility of sands. *Journal of Geotechnical Engineering*, 110(3), 335-356.

Youd, T. L. (1984). Geologic Effects- Liquefaction And Associated Ground Failures. Proc. Geologic And Hydrologic Hazards Training Program, Open File Report 84-760, U.S. Geological Survey, Menlo Park, California, 210-232

EKLER

EK 1 - ArcGIS Pro programında hazırlanmış sayısal veri tabanı (CD)

EK 2 – Kullandığım tez çalışmaları ve tezde kullanılan mikrobölgeleme haritaları (CD)

EK 3 - Sayısallaştırma videosu (CD)

EK 4 - Veri tabanını çalıştırma videosu (CD)