

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MİKROTREMOR YÖNTEMİ İLE VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
YERLEŞKESİNİN ZEMİN-YAPI İLİŞKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dursun Serhan DUDU
Danışman: Prof. Dr. İsmail AKKAYA

VAN – 2025

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MİKROTREMOR YÖNTEMİ İLE VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
YERLEŞKESİNİN ZEMİN-YAPI İLİŞKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dursun Serhan DUDU

Tez Savunma Sınavı Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Özcan BEKTAŞ (Başkan)

Prof. Dr. İsmail AKKAYA (Danışman)

Prof. Dr. Mücip TAPAN (Üye)

VAN – 2025

KABUL VE ONAY SAYFASI

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. İsmail AKKAYA danışmanlığında, Dursun Serhan DUDU tarafından sunulan “Mikrotremor Yöntemi ile Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Yerleşkesinin Zemin-Yapı İlişkilerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 21/05/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Özcan BEKTAŞ

İmza:

Üye: Prof. Dr. Mücip TAPAN

İmza:

Üye: Prof. Dr. İsmail AKKAYA

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun / / tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

.....

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Dursun Serhan DUDU



ÖZET

MİKROTREMOR YÖNTEMİ İLE VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ YERLEŞKESİNİN ZEMİN-YAPI İLİŞKİLERİNİN İNCELENMESİ

DUDU, Dursun Serhan
Yüksek Lisans Tezi, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. İsmail AKKAYA
Haziran 2025, 81 sayfa

Depremlerden sonra meydana gelen hasarlar incelendiğinde yapılardaki mühendislik ve uygulama hatalarının yanı sıra yapıların üzerine kurulu oldukları zeminlerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin de can ve mal kaybının artması veya azalmasında önemli etkenlerden birisi olduğu görülmektedir. Bu nedenle, zeminlerin dinamik yükler altındaki davranışlarının ve mühendislik özelliklerin belirlenmesi, yapı-zemin ilişkilerinin ortaya konması olası zararların meydana gelmemesi açısından büyük önem taşımaktadır. Deprem gibi dinamik kuvvetlerin etkisi dikkate alınarak yapı-zemin etkileşimlerinin ve davranış karakteristiklerinin ortaya konulması yapıların deprem performansı açısından belirleyici ve önemlidir.

Bu amaçla tez çalışması kapsamında, 23 Ekim 2011 Van ($M_w=7.1$) depremlerinden yapısal hasar bakımından olumsuz olarak etkilenen alanlardan birisi olan Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşim alanında bulunan farklı amaçlarla kullanılan fakülte ve yüksekokul binalarda mikrotremor ölçümleri yapılarak yapı-zemin etkileşimi değerlendirmeleri yapılmıştır. Ölçümler yerleşim alanında belirlenen bina dışındaki doğal zeminlerde ve her bir binanın bodrum, zemin ve normal katlarında gerçekleştirilmiştir. Seçilen binalar 2011 Van depremlerinden sonra güçlendirilmiş yapılardır.

Çalışma alanında yeralan dinamik zemin özellikleri ortaya koymak ve binalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırmak için yerleşkenin zemin hakim titreşim periyodu, büyütme ve ilk 30 m için makaslama (kayma) dalgası hızı (V_{s30}) haritaları oluşturulmuştur. Yapılardaki mikrotremor ölçümlerinin veri-işleminde elde edilen bina bodrum, zemin ve normal katlardaki periyot değerleri sonuçları ile saha verileri birlikte değerlendirilerek yapı-zemin ilişkileri incelenmiş ve yapıların rezonans durumları değerlendirilmiştir. Ayrıca, binalarda gerçekleştirilen mikrotremor ölçümleri ile yapısal analizlerden elde edilen periyotlar karşılaştırılmıştır.

Mikrotremor kayıtlarının veri-işlemi sonucu elde edilen verilerin yer tepkisinin belirlenmesinde, bina tepkisinin belirlenmesinde ve yapı-zemin tepkisinin elde edilmesinde kullanılabilirliği bir kez daha ortaya konmuştur.

Anahtar kelimeler: Depremsellik, Mikrotremor, Periyot, Rezonans, Yapı-zemin etkileşimi



ABSTRACT

INVESTIGATION OF SOIL-STRUCTURE RELATIONSHIPS OF THE VAN YÜZÜNCÜ YIL UNIVERSITY SETTLEMENT AREA WITH MICROTREMOR METHOD

DUDU, Dursun Serhan
M.Sc. Thesis, Department of Geophysical Engineering
Supervisor: Prof. Dr. İsmail AKKAYA
June 2025, 81 pages

When the damages that occur after earthquakes are examined, it is seen that in addition to the engineering and application errors in the structures, the mechanical and physical properties of the soils on which the structures are built are also one of the important factors in increasing or decreasing the loss of life and property. For this reason, determination of the behavior of soils under dynamic loads and engineering properties, revealing the soil-structure relations are of great importance in minimizing possible damages. Considering the effect of dynamic forces such as earthquakes, the determination of soil-structure interactions and behavior characteristics is decisive and important in terms of earthquake performance of structures.

For this purpose, within the scope of this thesis, microtremor measurements were made in the buildings of faculties and vocational school used for different purposes in the residential area of Van Yüzüncü Yıl University, which is one of the areas adversely affected by the October 23, 2011 Van (Mw=7.1) earthquakes, and soil-structure interaction evaluations were made. The measurements were carried out on the natural grounds outside the buildings and on the basement, ground and normal floors of each building. The selected buildings were retrofitted after the 2011 Van earthquakes.

In order to reveal the dynamic soil properties in the study area and to compare them with the results obtained from the buildings, soil dominant period, amplification and shear wave velocity (V_{s30}) maps for the first 30 m were obtained. The results of the microtremor measurements at the basement, ground and normal floors of the buildings and the field data were evaluated together to examine the soil-structure relations and to evaluate the resonance conditions of the buildings. In addition, the periods obtained from microtremor measurements and structural analyses are compared.

The usefulness of the data obtained as a result of the data-processing of microtremor records in determining the soil response, determining the building response and obtaining the soil-structure response is once again demonstrated.

Keywords: Microtremor, Period, Resonance, Seismicity, Soil-structure interaction



TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasında, her tŸrlŸ ilgi ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Prof. Dr. İsmail AKKAYA'ya teőekkŸrlerimi sunarım. Ayrıca, çalıőmalarımda desteklerini hep yanımda hissettiğim aileme ve canım oğluma sonsuz teőekkŸrlerimi sunarım.

2025

Dursun Serhan DUDU





İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışma Alanının Tanıtılması.....	3
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	5
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1 Materyal.....	11
3.1.1 Çalışma Alanının Genel Jeolojisi.....	11
3.1.2 Çalışma Alanının Tektonik Yapısı ve Depremselliği	13
3.1.3 Bölgede Meydana Gelen Tarihsel Dönem (1900 öncesi) Depremler ...	15
3.1.4 Bölgede Meydana Gelen Aletsel Dönem (1900 sonrası) Depremler....	16
3.2 Yöntem	20
3.2.1 Mikrotremor Yöntemi	20
3.2.1.1 Mikrotremorların Kaynakları.....	21
3.2.1.2 Mikrotremorların Yapısı	22
3.2.2 H/V Spektral Oran (Nakamura) Yöntemi	24
3.2.3 Spektral Oran Yöntemi	27
4. BULGULAR.....	31
4.1 Arazi Çalışmaları.....	31
4.1.1 Çalışma Alanının Jeolojisi	33
4.1.2 Mikrotremor Kayıtlarının Alınması ve Değerlendirilmesi	34
4.1.3 Çalışma Alanının Zemin Özelliklerinin Değerlendirilmesi	37
4.1.4 Binalarda Gerçekleştirilen Mikrotremor Ölçümlerinin Değerlendirilmesi.....	39
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	63
5.1 Tartışma.....	63
5.2 Sonuçlar.....	66
KAYNAKLAR.....	73
ÖZ GEÇMİŞ.....	81



ÇİZELGELER LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Van Gölü Havzasındaki tarihsel dönem depremleri	16
Çizelge 3.2 Çalışma alanı ve çevresinde meydana gelmiş büyüklüğü 5’den fazla olan depremler	18
Çizelge 3.3 Gürültü kaynaklarının frekansa göre değişimleri.....	22
Çizelge 3.4 Sismik gürültülerin içerik, kaynak ve özellikleri	22
Çizelge 4.1 Çalışma alanında gerçekleştirilen ölçüm bilgileri.....	33
Çizelge 4.2 Eczacılık Fakültesi binası bloklarının mikrotremor ölçüm sonuçları	44
Çizelge 4.3 Sağlık MYO binası bloklarının mikrotremor ölçüm sonuçları	47
Çizelge 4.4 Veteriner Fakültesi binası bloklarının mikrotremor ölçüm sonuçları	49
Çizelge 4.5 Ziraat Fakültesi binası bloklarının mikrotremor ölçüm sonuçları.....	52
Çizelge 4.6 Eğitim Fakültesi binası bloklarının mikrotremor ölçüm sonuçları	55
Çizelge 4.7 Van MYO binası bloklarının mikrotremor ölçüm sonuçları.....	57
Çizelge 4.8 Fen Fakültesi binası bloklarının mikrotremor ölçüm sonuçları	58
Çizelge 4.9 Tıp Fakültesi binası bloklarının mikrotremor ölçüm sonuçları.....	60
Çizelge 5.1 Yapısal analiz ve mikrotremor periyot değerlerinin karşılaştırılması.....	65
Çizelge 5.2 Çalışma kapsamında elde edilen bina mikrotremor ölçüm sonuçları	69

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşim alanı ve çevresinin yerbulduru haritası.....	4
Şekil 3.1 Van Gölü Havzası sadeleştirilmiş jeoloji haritası ve bölgenin genelleştirilmiş tektono-stratigrafik kolon kesiti.	12
Şekil 3.2 Türkiye ve çevresinin aktif tektonik konumu.....	13
Şekil 3.3 Çalışma alanının ve civarının sismotektonik haritası (BZSZ: Bitlis-Zagros Sutür zonu, MaF: Malazgirt fayı, CF: Çaldıran fayı, GSKF: Guilato–Siahcheshmeh–Khoy fayı, KEF: Karayazı-Erçiş Fayı, TF: Van Fayı, SaF: Salamas fayı, BFZ: Başkale fay zonu, YFZ: Yüksekova fay zonu, GF: Gürpınar fayı, EF: Edremit fayı, BF: Bitlis fayı, AhF: Ahlat fayı).....	14
Şekil 3.4 Van Gölü Havzası tarihsel dönem depremleri	15
Şekil 3.5 Van Gölü havzasında meydana gelmiş depremler	19
Şekil 3.6 Kısa periyot sismik gürültü (solda) ve deprem kayıtlarının (sağda) farklı derinliklerde kurulmuş sismik ağ kayıtları.....	23
Şekil 3.7 Yüzey dalgası özelliklerinin derinlikle değişimi (geometric dispersiyon).....	23
Şekil 3.8 Mikrotremor yayılım modeli (a) Nakamura (2000) (b)Nakamura (1989)	26
Şekil 3.9 Spektral oran yöntemi	28
Şekil 3.10 H/V spektral oranı hesaplaması için güvenilirlik koşulları ve piklerin belirginlik koşulları	29
Şekil 4.1 Van YYÜ yerleşkesinin jeoloji haritası ve ölçüm yapılan bina lokasyonları. 32	
Şekil 4.2 Mikrotremor ölçüm cihazı, ekipmanları ve örnek kayıt.....	36
Şekil 4.3 Mikrotremor yönteminde veri-işlem aşamaları.....	37
Şekil 4.4 (a) Çalışma alanında elde edilen zemin hakim titreşim periyodu, (b) zemin büyütmesi ve (c) Vs30 hız haritaları	38
Şekil 4.5 Çalışma alanına ait yapı görüntüleri.....	40
Şekil 4.6 Eczacılık-Mimarlık ve Tasarım Fakültesi binasına ait görüntüler.	41
Şekil 4.7 Eczacılık Fakültesi binası öğretim üyesi ofisleri olarak kullanılan B1 ve B2 blokta ve dış alanda alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi.....	42

Şekil 4.8 Eczacılık Fakültesi binası öğretim üyesi ofisleri olarak kullanılan C1, D ve E blokta alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi.....	43
Şekil 4.9 Sağlık MYO binasına ait görüntüler.	45
Şekil 4.10 Sağlık MYO binası öğretim üyesi ofisleri olarak kullanılan A ve B blokta alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi.....	45
Şekil 4.11 Sağlık MYO binası derslik olarak kullanılan C blokta alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi. ...	46
Şekil 4.12 Veteriner Fakültesi A ve B blok binalarına ait görüntüler.	48
Şekil 4.13 Veteriner Fakültesi binası olarak kullanılan A ve B blokta alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi.....	49
Şekil 4.14 Ziraat Fakültesi A, B, C ve D blok binalarına ait görüntüler.	51
Şekil 4.15 Ziraat Fakültesi binası olarak kullanılan A, B ve C blokta alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi.....	51
Şekil 4.16 Eğitim Fakültesi A, B ve C blok binalarına ait görüntüler.....	53
Şekil 4.17 Eğitim Fakültesi binası olarak kullanılan A, B ve C blokta alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi.....	54
Şekil 4.18 Van Meslek Yüksek Okulu binası olarak kullanılan A ve B blokta alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi.....	56
Şekil 4.19 Fen Fakültesi binası olarak kullanılan A ve B blokta alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi. ...	58
Şekil 4.20 Tıp Fakültesi binası olarak kullanılan A, B ve C blokta alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi. ...	59
Şekil 5.1 Dolgu duvarsız ve dolgu duvarlı modellerin periyotlarının mikrotremor sonuçları ile karşılaştırılması	65
Şekil 5.2 Mikrotremor ve yapısal analizlerden elde edilen bağıntı periyotlarının karşılaştırılması.	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamalarıyla aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

f

Zemin hakim frekansı

γ_w

Suyun birim-hacim kütlesi, g/cm^3

H, h

Tabaka kalınlığı

k

Kum

kç

Kumlu çakıl

ksk

Kumlu siltli kil

T, t₀

Zemin hakim periyodu

V_s

Kayma dalga (S) hızı

Kısaltmalar

Açıklama

AFAD

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı

CBS

Coğrafi Bilgi Sistemi

H/V

Yatay/Düşey Spektral Oran

KOERİ

Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü

MTA

Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü

TBDY

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

Van YYÜ

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi



1. GİRİŞ

Türkiye gibi büyük ve yıkıcı deprem potansiyeli yüksek olan aynı zamanda aktif tektonizma etkisi altında bulunan yerleşim alanlarında deprem olma olasılığının ortaya çıkarılmasının yanı sıra, yapıların üzerine kurulu oldukları zemin özellikleri ve yapı kalitesi durumları da depremlerin şiddetini artıran etkenlerin başında gelmektedir. Statik koşullar altında duraylı olabilen bir zemin deprem gibi dinamik bir kuvvetin etkisi ile farklı davranabilmektedir. Zemin tabakaları içinden geçen deprem dalgaları, ortamın jeolojik yapısına da bağlı olarak tabakaların özelliklerini çeşitli derecelerde etkilemektedir (dayanım azalması, zemin yenilmeleri, sıvılaşma, zemin büyütmesi, vb.). Bu bakımdan değerlendirildiğinde ülkemiz gibi deprem potansiyeli yüksek olan bölgelerde zemin koşullarının statik ve dinamik yükler altındaki davranışlarının ortaya konması, depremlere bağlı oluşan hasar derecesinin en az seviyeye düşürülmesine katkı sağlayacaktır. Deprem dalgalarının yayılım özelliklerini önemli ölçüde değiştiren bölgesel jeoloji, tektonik ve topografik koşullar, aynı sismik elastik dalga hareketlere maruz kalan yerleşim alanlarında farklı hasar derecelerine neden olabilmektedir (Ansal, 1999a; 1999b). Bu durum, birbirine yakın alanlarda yerel zemin koşullarının çeşitliliğinden veya ortamın kısa mesafelerde çökelim koşullarına bağlı olarak çok farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır. Depremlere bağlı hasarlarda bölgesel jeoteknik koşulların ve yapı özelliklerinin, alüvyon yapının geometrik yapısının (derinlik, genişlik), depreme neden olan fay karakteristiğinin ve kaynak özelliklerinin, bu koşullara bağlı olarak değişen sismik dalga fazlarının, depremlerin ivme, hız, periyot, süresi gibi parametrelerin önemi 23 Ekim 2011 (Mw=7.1) Van depremi sonrası yerleşim alanlarında gerçekleşen yüksek hasar ve can kayıplarıyla bir kez daha ortaya çıkmıştır. Van Gölü havzası ve çevresindeki gerek tarihsel dönem gerekse günümüzdeki il ve ilçe yerleşim alanları genel olarak Kuvaterner yaşlı, suya doygun ve zayıf dayanımlı, güncel göl ve akarsu sedimanlarının düzlükleri üzerine kurulmuştur. Havza ve çevresi aktif tektonizma ve yoğun depremsellikle birlikte, volkanizmanın da etkisi altındadır. Bu anlamda, Van Gölü havzası, Türkiye'nin en yüksek tektonik ve volkanik kaynaklı deprem riskine sahip bölgesi olma özelliğine sahiptir.

Tez çalışma alanının da içerisinde bulunduğu Van Gölü havzası ve çevresinde tarihsel (1900 yılı öncesi) ve aletsel dönemde birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir.

Farklı karakteristikteki (doğrultu atımlı, normal ve ters) faylar, aktif tektonizma ve volkanizma bölgenin deprem potansiyelini gösterir niteliktedir. Özellikle Çaldıran, Erciş, Gürpınar, Özalp, Başkale Fay zonları geçmişte önemli depremler üretmişlerdir ve tektonik olarak aktiflerdir (Koçyiğit vd., 2001; Koçyiğit, 2013). Dolayısıyla çalışma alanını kapsayan Van Gölü doğusu günümüzde ve gelecekte de büyük deprem meydana getirme potansiyeli son derece yüksek olan bir konumdadır. Bölgedeki yapı kalitesindeki eksiklikler de göz önünde tutulduğunda çalışmanın önemi artmaktadır. Çalışma alanında özellikle yerleşim merkezlerinin bulunduğu kısımlar genç, pekişmemiş ve suya doymuş Kuvaterner yaşlı birimler üzerindedir (Çiftçi vd., 2004; Özvan vd., 2005; Özvan vd., 2008; Akın vd., 2015; Akkaya ve Özvan, 2019). Bu zeminlerin dinamik özelliklere sahip olması, deprem nedeniyle oluşan hasarlarında en önemli sebeplerindendir. Bölgedeki farklı tipteki tektonik unsurlara bağlı deprem aktivitelerinde bu zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı vereceği tepkinin belirlenmesi son derece önemlidir. Bunun için hem sığ hem derin yeraltı yapısının ortaya çıkarılmasında kullanılan ve çözüm gücü yüksek olan uygulamalı jeofizik çalışmalar olmazsa olmazdır.

Uygulamalı jeofizik çalışmalarla, yerin dinamik özelliklerinin belirlenmesi, deprem sırasında yer tepkilerinin tahmininde son derece önemlidir. Dolayısıyla gerek uygulamalı jeofizik çalışmalar gerekse deprenselliğe ilişkin veriler bölgedeki tektonizma-fay ilişkilerinin ve deprem-zemin-yapı ilişkilerinin belirlenmesinde son derece önem arz etmektedir.

Çalışma alanında uygulamalı jeofizik çalışmalarda sıklıkla kullanılan kuramsal ilkeleri, yöntemi ve uygulama kolaylıkları bakımından avantajları olan, aynı zamanda hem yer hemde yapı analizlerinde kullanılabilen mikrotremor yöntemi temel veri toplama ve değerlendirme yöntemi olarak tercih edilmiştir. Bu çalışmada binaların zeminlerinde yapılan ölçümler ve çalışma alanında daha önce yapılan jeofizik veriler ve mikrotremor ölçüm sonuçları (Akkaya vd., 2015; Akkaya vd., 2019) bir arada değerlendirilmiş, alanı tarayacak ve temsil edecek lokasyonlarda tek istasyon mikrotremor ölçümleri gerçekleştirilerek zemin baskın/hakim titreşim periyodu/frekansı ve zemin büyütme değerlerinin dağılımı da belirlenmiştir. Jeofizik çalışmaların yanı sıra bölgede yapılmış sondaj verileri de çalışmanın önemli bir parçasını oluşturmuştur. Farklı yöntemlerle elde edilen bulgular bir arada değerlendirilerek bölgenin büyütme, periyot/frekans, hız (Vs30), zemin sınıfı, sıvılaşma haritaları, sismik tehlike ve risk haritaları hazırlanmıştır. Bu

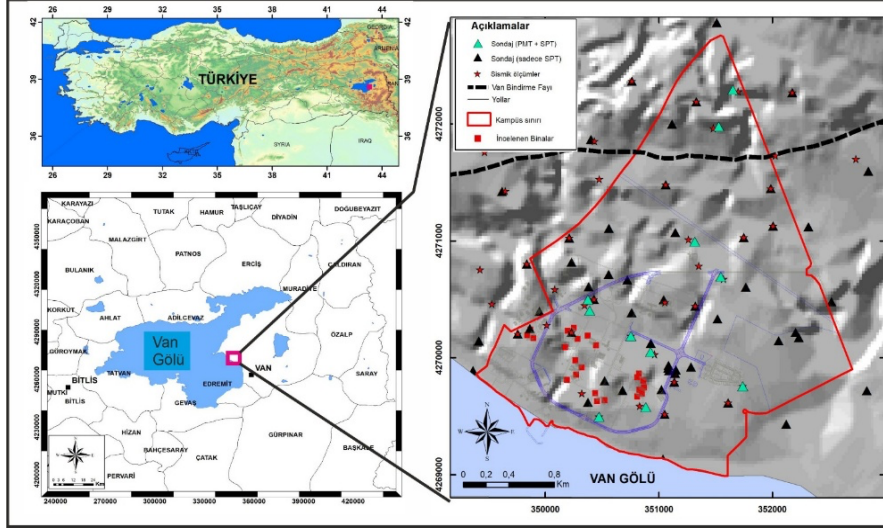
haritalar bölgenin tektonik unsurları, depremselliği ve zemin özelliklerine bağlı yapılaşma alanlarının tespiti açısından büyük önem taşımaktadır. Elde edilen tüm jeofizik veri setleri, veri tabanı özelliğine sahip güncellenebilir ve yenilenebilir bir biçimde kullanım sunan Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS-GIS) tabanlı olarak haritalanmış ve sonraki çalışmalar için veri tabanı oluşturulmuştur. Sonuçta bölge için elde edilen bu veriler bölgenin hız modeli, yer hareketi modellemeleri, zemin mekaniği, sismik tehlike gibi farklı alanlardaki çalışmalarda da kullanılabilir niteliktedir.

Tez kapsamında, çalışma alanı olarak Van Gölü doğusunda yer alan Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanı ve yerleşkedeki bazı binaları kapsamaktadır. Bölge jeolojik ve tektonik açıdan karmaşık bir yapıdadır ve 23 Ekim 2011 (Mw=7.1) Van depremini üreten fayın etki alanı içerisindedir. Bunun dışında çalışma alanı ve çevresinde aktif birçok fay bulunmakta ve tektonik açıdan Türkiye'nin en ilginç bölgelerinde birisi olma özelliğindedir. Ayrıca, çalışma alanı halen deprem potansiyeli açısından Türkiye'nin en aktif bölgelerinden birisidir. Bu nedenle, deprem-zemin ilişkilerinin ve zemin davranışlarının tanımlanması, olası bir depremde oluşacak hasarların azaltılmasında katkılar sunacaktır.

Bu çalışma kapsamında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi (Van YYÜ) yerleşim alanındaki fakülte ve yüksekokul olarak kullanılan binaların yapı-zemin ilişkilerinin değerlendirilmesi amacıyla, Nakamura (1989) tarafından geliştirilen ve önerilen yatay bileşen kayıtların düşey bileşenlere (H/V) spektral oranı yöntemi kullanılarak yapıların ve üzerine kurulu oldukları zeminlerin periyot/frekans özellikleri belirlenerek yapı-zemin etkileşimi açısından değerlendirmeler yapılmıştır.

1.1 Çalışma Alanının Tanıtılması

İnceleme alanı olan Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi (Van YYÜ) yerleşim alanı, Van Gölü doğusunda, Van ilinin kuzeybatısında yer almaktadır (Şekil 1.1). Van il merkezine yaklaşık 15 km uzaklıktadır.



Şekil 1.1 Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşim alanı ve çevresinin yerbulduru haritası

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılan jeofizik yöntemlerden yüzey dalgası yöntemleri ve mikrotremor çalışmaları yapı-zemin etkileşimi değerlendirmelerinde olmazsa olmaz çalışmalardandır. Günümüzdeki teknolojik gelişmelerle birlikte kullanılan alet, ekipman ve yazılımlardaki gelişmelerinde etkisiyle yüksek çözüm gücü, veri sayısının fazlalığı, pratik kullanım ve doğruluk yüzdesinin iyi olduğu veriler üretilebilen ekipmanların kullanıldığı bu yöntemler pek çok alanda kullanılmaktadır.

Aki (1957), sinyal olarak ifade edilebilen doğal gürültü kayıtlarını ve yakın yüzey yer yapısını ortaya çıkarmak amacıyla bir saniyenin altındaki kısa periyotlu mikrotremor titreşim kayıtlarından faydalanmıştır.

Kanai ve Tanaka (1961), düşük periyotlu (< 1 sn) mikrotremorların ölçümlerini temel olarak mühendislik uygulamaları kapsamında elde ettikleri verileri kullanmışlardır. Bu çalışma ilk olma özelliği taşımış ve daha sonra araştırmacılar yer hareketi özelliklerinin ortaya konmasında mikrotremorların uygulanabilirliğini çalışmışlar ve açıklamışlardır.

Ohta vd. (1978), uzun periyotlu mikrotremor verilerini tortul havzalarda incelemişler, ölçtükleri baskın frekans değerleri ile havzayı meydana getiren temel yapının derinlik (basement depth) artışı arasında bir ilişki olduğunu göstermişlerdir.

Kagami vd. (1986), deprem verisi kaydını kullanarak San Fernando Vadisindeki yer büyütme etkisini (site amplification effect), standart spektral oran yöntemi “referans istasyon yöntemi (Borcherdt, 1970; Nogoshi ve Igarashi, 1971)” ile hesaplamışlardır. Çalışma sonucunda elde edilen bulguların inceleme alanının jeolojisi ile uyumlu olduğunu göstermişlerdir.

Nakamura (1989) tarafından tek tabakalı yarı sonsuz bir ortam için, mikrotremorların ağırlıklı olarak Rayleigh dalgasından oluştuğu ve düşey bileşenlerinin yer etkisinden (site effect) etkilenmediği varsayımı altında; yatay bileşen (Y) ve düşey bileşen (D) spektrumlarının oranına bağlı olarak zemin özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili alternatif bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemi kullanarak birçok araştırmacı teorik ve uygulamalı çalışmalarda bulunmuşlardır (Bour vd., 1998; Fähr vd., 2001; Parolai vd., 2002; Woolery ve Street, 2002; Okada, 2003; Atakan ve Torres, 2004; Bonnefoy-Claudet

vd., 2004; Parolai vd., 2005; Picozzi vd., 2005; Birgören vd., 2009; Rosenblad ve Goetz, 2010; Özalaybey vd., 2011; Karabulut, 2012). Farklı bölgelerde yapılan pek çok literatür çalışmaları incelendiğinde mikrotremor yönteminden elde edilen verilerin çalışma alanlarının jeolojik yapısıyla son derece uyumlu sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Field ve Jacob (1993), genç ve kalın çökellerin kendilerinden daha yaşlı kaya birimlerin üzerine çökmesiyle meydana gelen yoğunluk farkından dolayı deprem dalgalarının genliklerinin değişimini incelemişlerdir. Analizlerinde, hangi frekansta ne kadar genlik değer artışı olduğunun belirlemeye çalışmışlardır.

Lermo ve Chávez-García (1994), kuvvetli yer hareketi ve mikrotremor verilerinden elde edilen sonuçların uyumlu olduklarını birbirleri ile karşılaştırarak göstermişlerdir.

Steidl vd. (1996), mikrotremor verilerinin değerlendirilmesi için referans istasyon yöntemini kullanmışlardır. Fakat bazı bölgelerde istasyon lokasyonu seçiminden dolayı hatalı sonuçlar elde etmişlerdir. Aynı cihaz ve aynı deprem kullanılarak spektral oran uygulamaları sayesinde alet ve kaynak etkisinin giderilebileceğini belirtmişlerdir.

Ibs-von Seht ve Wohlenberg (1996), Almanya'da Nakamura yöntemini kullanarak yaptıkları mikrotremor çalışması ve aynı alandaki sondajlardan elde edilen veriler yardımıyla bölgesel bir bağıntı oluşturmuşlardır. Elde ettikleri bağıntı ile gevşek zemin tabakasının baskın frekansını ve kalınlığını belirlemişlerdir. Nakamura yönteminin ana kaya derinliğinin tespit edilmesinde kullanılabilirliğini göstermişlerdir.

Delgado vd. (2000), Segura vadisinde 33 adet mikrotremor kaydından Nakamura yöntemiyle elde ettikleri baskın frekanslarla koyu verilerini ilişkilendirerek belirledikleri bölgesel bağıntı ile ana kaya derinliğini hesaplamışlardır.

Okada (2003), uzun süreli mikro titreşimleri kullanarak kentsel alanlar altındaki derin jeolojik yapıların belirlenebileceğini göstermiştir.

Yalçınkaya ve Alptekin (2003), SSR ve HVSR yöntemleri ile Afyonkarahisar'a bağlı Dinar ilçesinde 1 Ekim 1995'de meydana gelen Dinar depreminin artçı şoklarının kullanarak yer büyütmelerini hesaplamışlardır.

Karabulut vd. (2009), İstanbul Üniversitesi Avcılar Kampüsü Mühendislik Fakültesi binasının bina ve yer arasındaki girişim durumunu mikrotremor ölçümleri ile elde edilen periyot değerlerini kullanarak incelemişlerdir.

Gosar vd. (2010), Ljubljana Moor baseninde anakaya derinliğine kadar açılan 65 sondaj verisini ve alanda yaptıkları sismik kırılma verilerini ve 64 adet mikrotremor ölçüm sonuçlarını karşılaştırarak, inceledikleri basen için hakim frekans ile sediman kalınlığı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Sonuç olarak uyumlu sonuçlar elde ettiklerini ve mikrotremor yönteminin kullanılabilirliğini gösterdiklerini ifade etmişlerdir. Bu çalışma dışında pek çok araştırmacı da çalışma alanları için sediman kalınlığı-frekans ilişkisi bağıntısı geliştirmiştir (Parolai vd., 2002; Hinzen vd., 2004; Garcia-Jerez vd., 2006; Motamed vd., 2007; Birgören vd., 2009; Özalaybey vd., 2011; Karabulut, 2012).

Gök vd. (2012), İzmir ve çevresindeki ivmeölçer istasyonları tarafından kaydedilen deprem verilerini spektral oran yöntemini kullanarak analiz etmişlerdir. Bulgularını farklı büyütme değerleri ve farklı frekanslara göre haritalamışlardır.

Livaoglu (2015), 43 noktada tek istasyon mikrotremor ölçümleri yaparak Kocaeli ilinin Gölcük ilçesi Değirmendere beldesinde ölçüm yaptıkları lokasyonlar için yer baskın frekansları ve buna bağlı parametreleri belirlemişlerdir.

Dikmen vd. (2016), kaynak, yol ve saha etkilerini tahmin etmek amacıyla İzmir yerleşim alanını etkileyen 26 deprem verisini ve bu verileri kaydeden 16 istasyondaki 336 ivmeölçer kaydının S-dalga spektral genlikleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bu verilerin doğrusal spektral ters çözümden belirlenen saha etkisini, SSR metodundan elde edilen saha etkileri ile karşılaştırmışlardır.

İnceleme alanı olan Van YYÜ kampus alanında da birçok çalışma yapılmıştır (Selçuk, 2003; Özvan 2004; Akkaya vd., 2015; Akın vd., 2015). Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşkesindeki ilk mühendislik jeolojisi amaçlı çalışma, 12 adet jeoteknik sondajı kapsayan ve yerleşkenin ilk planlandığı alanı kapsayacak biçimde üniversitenin inşa edilebilmesi için yapılmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen sondajlardan elde edilen yerinde ve laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneylerden zeminlerin mühendislik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada, alandaki killi seviyelerin yer yer farklılıklar gösterdiği (renk, kıvam ve plastiklik özellikleri), bu birimlerin üzerinde yer alan kumlu birimlerin ince taneli ve orta sıkı özellikte olduğu ifade edilmiştir. Selçuk (2003), jeoteknik sondaj loglarında Pliyo-Kuvaterner yaşlı istifin, YYÜ Kampüs alanında yayılım gösterdiği 1654 m ile 1720 m kotları arasında yaklaşık 80 m'lik bir kalınlık için litoloji dağılımları detaylı olarak belirlenmiştir. Çalışmada, Pliyo-Kuvaterner yaşlı birimin hem yatay hem de düşey yönlerdeki yayılımları belirlenmiştir. Adı geçen

çalışmada, YYÜ Kampüs yerleşkesinin genel olarak üst kotlarında grimsi-kahvemsî renkli çakıl-kum, alt kısımlarda ise kahvemsî ve yeşilimsî karbonatlı silt-kil türü zeminlerden oluşan bir çökel istifin üzerinde yer aldığı ifade edilmiştir. Bu çökellere ait kum birimlerin, hâlihazırda bulunan YYÜ Kampüs yerleşkesinin orta kısımlarında gözlemlendiği ortaya konmuştur. Bu kum birimlerin yerleşke alanının batı-güney kesimlerinde kaybolduğu, yerini silt tane boyutunda malzemede içeren, yer yer fosil kavklı, farklı renkli ve sert özellikteki killere bıraktığı belirtilmiştir. Akın vd. (2013), 2011 Van depremi sonrasında inceleme alanın batısında yer alan Karasu nehri civarındaki sıvılaşma potansiyelini ve yanal yayılmaları incelemiş ve sıvılaşan zeminlerin siltli kum (SM) sınıfında ve sığ derinlikteki katmanda olduğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmadaki bulgular YYÜ kampus alanındaki birimlerin sıvılaşma potansiyeline yönelik yaklaşımlarda kullanılabilir.

Arni (1938) kampüs alanını da kapsayan bölgenin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlayarak, bölgedeki jeolojik birimleri yaşlandırmıştır.

Kıraner (1959), Van'ın doğu kesimlerinde jeolojik incelemeler gerçekleştirerek bölgedeki kayaçların stratigrafisini ve petrol potansiyelini araştırmıştır.

Degens ve Kurtman (1978), jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal özellikleri açısından Van Gölünü incelemişlerdir. Araştırmalarında gölün en yüksek seviyesine 16000 yıl önce ulaştığını ifade etmişlerdir.

Aksoy (1988), Kuzey Anadolu fay kuşağının bölgedeki izlerine ilişkin incelemelerinin yanı sıra, bölgede yüzeylenen kayaçların mineralojik, petrografik ve stratigrafik özelliklerini de incelemiştir. Ayrıca çakıl, kum ve kilden oluşan gölsel çökeller için Van Gölü Formasyonu adını önermiştir.

Acarlar vd. (1991), bölgenin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasını "Van Gölü Doğu ve Kuzeyinin Jeolojisi" adlı araştırmalarında hazırlamışlardır. Araştırmalarında bölgede yer alan akarsu ve göl çökellerini gruplara ayırarak incelemişlerdir.

Selçuk (2003), yaptığı çalışmada Yıl Üniversitesi kampüs alanınının 30 adet sondaj logunu kullanarak yüzey jeolojik modelini ve bu sondajlardan aldığı veriler ile zemin sınıflarını belirlemiştir.

Özkaymak (2003), aktif tektonik özellikleri bakımından Van ili ve yakın çevresini incelemiştir. Van Gölü havzasında olabilecek büyük depremlere ve çalışma alanının

tektonik yapısının Doğu Anadolunun ana kuzey-güney yönlü sıkışma rejimi ile uyumlu olarak hareket ettiğine ilişkin bulgular gösterdiğini ifade etmiştir.

Örçen vd. (2004), yaptıkları 2 farklı çalışmada Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanı ve Van şehir merkezi için katkılarda bulunmuştur. Bu çalışmalardan birinde kampüs alanı çökellerin palinolojik açıdan ve paleoiklim açısından değerlendirmişlerdir. 2004 yılında yapılan çalışmada ise Van şehrindeki Pliyo-kuvarterner çökeller sedimantolojik ve tektonik açıdan dikkate alınmıştır.

Özvan (2004), mühendislik jeolojisi açısından incelemeler yaparak Van ili yerleşim alanının göl-akarsu sedimanları üzerinde bulunduğunu belirtmektedir. Van il merkezinden Van Gölü'ne doğru ilerledikçe zeminin dayanım özelliklerinin azaldığını ve yeraltı su seviyesinin de sığlaştığını belirtmiştir. Van yerleşim alanında, ortalama likit limit değerlerinin %26-43 arasında, plastik limit ve plastisite indeks değerlerinin %18-26 ve %6-18 değer aralığında olduğu belirlemiştir. Elde ettiği verilere dayanarak yerleşim alanında yer alan ince taneli seviyelerin genelde inorganik, düşük plastisiteli kumlu mil (ML) veya organik, düşük plastisiteli mil (OL) ile plastisitesi düşük kumlu-milli kil (CL) olduğunu belirtmiştir.

Koçyiğit (2013) tektonik unsurları bakımından Van Gölü doğusu ve kuzeyinin sismik verilere ve önceki yıllarda yapılan çalışmalara dayanarak bölgeyi açıklamıştır. Yaklaşık K-G yönelimli sıkıştırma rejimi tarafından bölgenin tektonik unsurlarının yönetildiğini ifade etmiştir. Bu sıkışma rejimi neticesinde KB-GD eğilimli doğrultu atımlı faylar, K-G eğilimi eğim atımlı normal faylar ve D-B eğilimi ters fayların Van Gölü doğu ve kuzeyinde hakim olarak oluştuğunu belirtmiştir. Bölgedeki yıkıcı depremlerin oluşmasına bu fayların neden olduğunu da ifade etmiştir.

Akkaya vd. (2015), 2011 Van depremi sonrasında hasar gören bölgeleri kapsayacak şekilde 80 noktada mikrotremor (HVSr) ölçümleri yaparak, zemin koşullarının yapısal hasarlara olan etkilerini incelemişlerdir. Eski akarsu-göl çökelleri üzerine kurulu olan zayıf zemin karakteristiğinin Van Gölü doğusundaki köylerde hasar oranlarını arttırıcı etken olduğunu vurgulamışlardır. Jeolojik yapı, hasar durumu ve mikrotremor ölçüm sonuçlarının birbirleri ile uyumlu olduğunu belirtilmiştir.

Akın vd. (2015), mikrobölgeleme çalışması kapsamında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs alanındaki zeminleri çalışmışlardır. Çalışma alanında gerçekleştirdikleri mühendislik jeolojisi ve jeofizik çalışmalar sonrasında dinamik

özelliklerini ortaya koyarak kampüs bölgesinin yerleşime uygunluk değerlendirmesini yapmışlardır. Yerleşkede yaygın olarak yer alan jeolojik birimlerin genelde ince taneli kil boyutundaki (CL-CH) malzemedен oluştuğunu, orta-yüksek arasında sıklık sergiledikleri yer yerde bu killerin şişme potansiyelinin de mevcut olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen sismik ölçümlerden elde edilen Vs30 kayma dalgası hızları incelendiğinde kampüs alanında kuzeybatıdan güneydoğuya doğru hız değerlerinin azaldığını belirlemişlerdir. Hakim titreşim periyot, zemin büyütmesi, hız, yeraltı suyu, jeolojik özellik haritaları bir arada değerlendirilerek kampüs alanının yerleşime uygunluk değerlendirmeleri yapılmış ve mikrobölgeleme çalışması kapsamında altlık veriler elde edilmiştir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde tez çalışması kapsamında veri setlerinin elde edilmesinde kullanılan materyal ve yöntemlere ilişkin bilgiler verilecektir.

3.1 Materyal

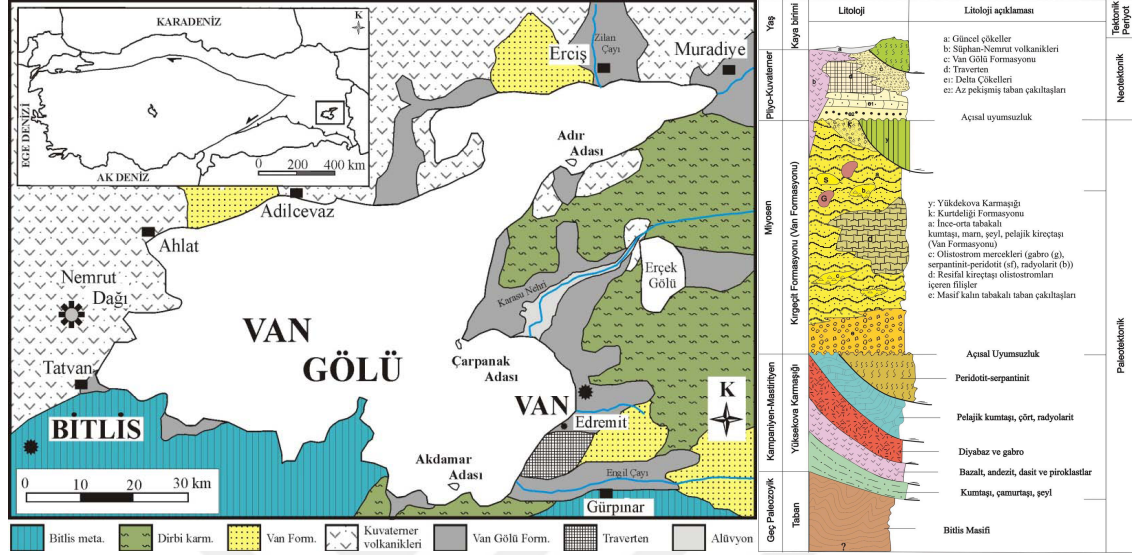
Tez çalışmasında araştırma amaçlarına yönelik olarak kullanılan materyaller aşağıda verilmiştir.

3.1.1 Çalışma Alanının Genel Jeolojisi

Van Gölü Havzası farklı yaş aralığında çeşitli kaya gruplarının Paleozoyikten günümüze kadar yüzeyletiği bir bölgedir (Şekil 3.1). Havza genel olarak Van formasyonu olarak bilinen Tersiyer yaşlı denizel çökellerden meydana gelmektedir. Havzanın güneyinden batısına doğru Bitlis Masifine ait metamorfik kayalar yüzeylemektedir (Ketin, 1977; Ternek, 1953; Göncüoğlu ve Turhan, 1984; Yılmaz vd., 1981). Miyosenden günümüze farklı zamanlarda aktifleşerek bölgenin jeolojik olarak şekillenmesinde etkisi olan batıda Nemrut ve Süphan, kuzeyde Etrüsk, kuzeybatıda Tendürek volkanlarının lavları ve volkanoklastik ürünleri bölgede geniş bir ölçekte yayılım göstermektedir (Güner, 1984; Yılmaz vd., 1987; Yılmaz, 1990). Yüksekova Karmaşığına ait ofiyolitik birimler ve kırıntılı çökeller (Üst Kretase-Paleosen) havzanın güneydoğusunda ve doğusunda yerleşmiş bulunmaktadır (Acarlar vd., 1991). Denizel kırıntılılar ve karbonatlar Eosen-Miyosen aralığında bu birimlerin üzerine çökelmiş, havzaların kapanmasıyla (Geç Miyosen'den itibaren) tamamen karasal ortam bölgeye hakim olmuştur. Ayrıca, denizel ortamın son ürünleri olarak yüzlek vermekte olan Alt-Orta Miyosen yaşlı birimlerde bölgede yer almaktadır. Pliyosenden itibaren çökelmiş göl ve akarsu ürünleri havzanın doğusunda ve kuzeydoğusunda yüzeylemektedir.

Bölgede göl, akarsu ve delta çökellerinin geniş yayılımlar göstermesinde Pleyistosen sonundaki Van Gölü'nün su seviyesi değişimlerinin etkili olduğu söylenebilir. Van'ın Edremit ilçesi civarında geniş yayılım gösteren traverten birimlerde aynı dönem içerisinde oluşmuştur. Havzada güncel olarak oluşan bazı sınırlı alanlarda

yamaç molozu, tutturulmamış akarsu çökelleri ve yüksek yamaçlarda kolüvyal malzemeler yukarıda ifade edilen tüm bu birimlerin üzerinde yüzeylenmektedir.



Şekil 3.1 Van Gölü Havzası sadeleştirilmiş jeoloji haritası (Acarlar vd., 1991; Şenel, 2008; Yılmaz, 2017; MTA 2002’den değiştirilmiştir.) ve bölgenin genelleştirilmiş tektono-stratigrafik kolon kesiti (Koçyiğit, 2013’ten değiştirilmiştir.)

Tez çalışma alanını da kapsayan Van Gölü’nün doğu kesimlerinde farklı kalınlıklara ve farklı mühendislik özelliklerine sahip eski göl ve akarsu sedimanları yaygın olarak görülmektedir. Bu birimler Van Gölü su hareketliliğine bağlı olarak farklı zaman aralıklarında ve dönemlerde oluşmuş çökellerdir. Bu eski göl ve akarsu çökelleri Acarlar vd. (1991) tarafından Kuvaterner (Pleyistosen) yaşlı olarak tanımlanmıştır. Bölgede göl çökellerinin 150m’ye varan kalınlığa sahip olduğu belirtilmiştir (Acarlar vd., 1991). Bölgedeki bu birim “Van Gölü Formasyonu” olarak adlandırılmıştır (Aksoy, 1988). Van YYÜ yerleşim alanında eski göl ve akarsu çökellerinin yanı sıra güncel akarsu çökellerine de rastlanılmıştır (Acarlar vd., 1991; Selçuk, 2003; Koçyiğit, 2013).

Farklı kalınlıkta kum, kil, silt ve çakıl tane boyuna sahip sedimanlar inceleme alanındaki yaygın olarak bulunan birimlerdir (Selçuk 2003; Akın vd. 2015). Kampüs alanındaki zeminlerin ince tane dağılımının oranın %80’in üzerinde olduğu belirlenmiştir (Akın vd., 2015). İnceleme alanında, farklı çökme ortamı ve zamanlarına sahip birimlerin yanal ve düşeyde farklı dağılımlara sahip olduğu bilinmektedir (Selçuk, 2003).

3.1.2 Çalışma Alanının Tektonik Yapısı ve Depremselliği

Van Gölü Havzası, Karlıova Üçlü Ekleminin yani Kuzey Anadolu Fayı'nın Doğu Anadolu Fayı ile kesiştiği bölgenin yaklaşık 125 km doğusunda ve aynı zamanda Türkiye'nin aktif tektoniği ve depremselliğini kontrol eden en önemli oluşumlardan Bitlis-Zagros Bindirme kuşağının hemen kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 3.2). Arap ile Avrasya levhalarının günümüzden 16-20 milyon yıl arasında gerçekleşen çarpışması ile Doğu Anadolu'daki son okyanusal litosfer yitimi uğramış (Okay vd., 2010) ve 13 milyon yıl önceden itibaren Doğu Anadolu Yüksek Platosu oluşumuna başlamıştır (Şengör ve Kidd, 1979; Dewey vd., 1986; Şaroğlu ve Yılmaz, 1986). Çarpışma zonunun kuzeyinde kalan Van Gölü Havzası'nın Geç Pliyosende oluşmaya başladığı ve Kuvaterner başından itibaren etkili olan volkanizmanın etkisi ile son şeklini aldığı öne sürülmektedir (Wong ve Finckh, 1978; Degens vd., 1984).

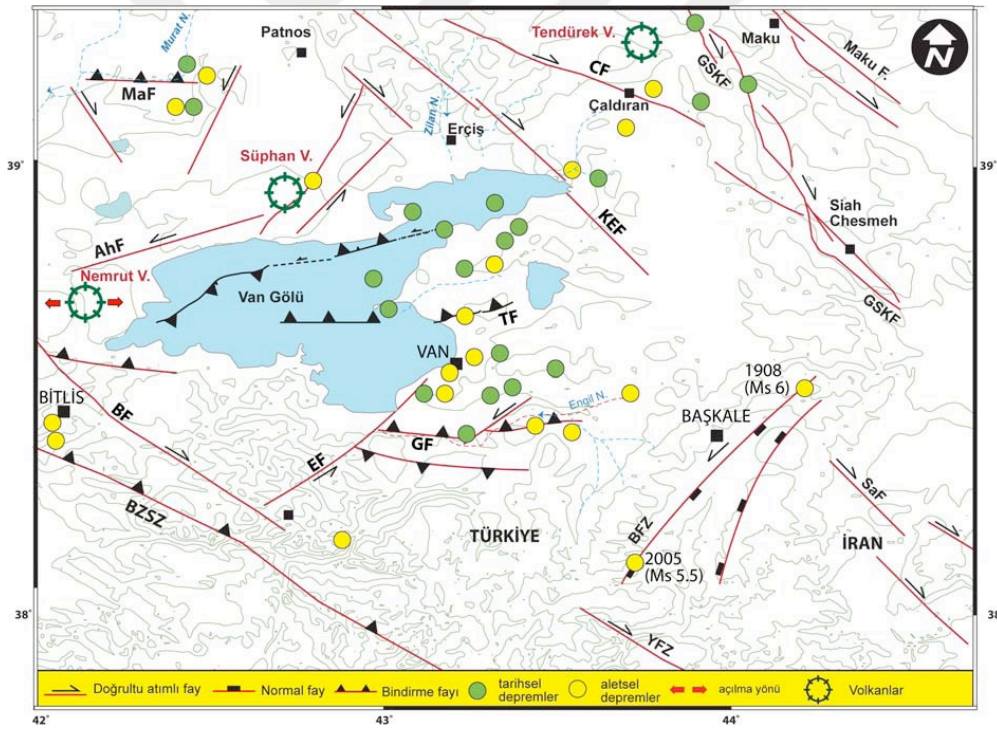


Şekil 3.2 Türkiye ve çevresinin aktif tektonik konumu (Selçuk 2016'dan alınmıştır.)

Bölgedeki tektonik unsurlar kuzey-güney yönlü egemen sıkışma sonucunda genel olarak doğu-batı doğrultulu ters, kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu sağ yönlü ve kuzeydoğu-güneybatı yönelimli sol yönlü doğrultu atımlı faylar ile kuzey-güney doğrultulu genişleme yapıları tarafından temsil edilmektedir (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986; Şaroğlu ve Yılmaz, 1987; Bozkurt, 2001; Koçyiğit vd., 2001, Dhont ve Chorowicz,

2006). Van Gölü Havzası'nın tektonik yapısının ve aktif faylarının tanımlanmasında karada yürütülen aktif fayların haritalanması çalışmalarının yanı sıra (Koçyiğit vd., 2001; Emre vd., 2013; Koçyiğit, 2013; Selçuk, 2016) göl içerisinde gerçekleştirilen (Litt vd., 2009; Çukur vd., 2014) çalışmalarla haritalanmıştır (Şekil 3.3).

Tarihsel ve aletsel dönem içerisinde Van Gölü Havzası ve çevresindeki bölgeyi etkileyen büyük deprem üretmiş ve gelecekte de deprem meydana getirme olasılığı olan pek çok aktif fay zonunun bulunduğu bilinmektedir. Bunlardan bazıları Çaldıran Fayı, Van bindirme Fayı, Gürpınar Fayı, Erciş-Karayazı Fayı, Alaköy Fayı, Özalp-Saray Fayı, Yeni köşk Fayı, Başkale Fayı vb. fay zonlarıdır (Şekil 3.3). Van Gölü havzasının doğusunda ve kuzeyinde Holosen döneminde de aktivitesini koruyan birçok fay MTA tarafından 2013 yılında yenilenen "Türkiye Diri Fay Haritasında" kapsamında haritalanmıştır (Emre vd., 2013).

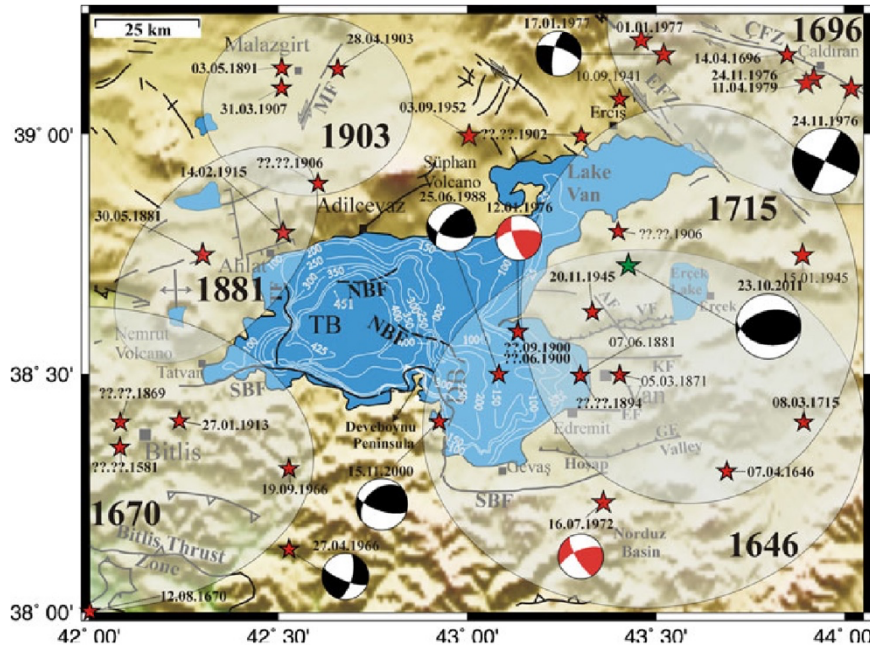


Şekil 3.3 Çalışma alanının ve civarının sismotektonik haritası (Selçuk 2016'dan alınmıştır.) (BZSZ: Bitlis-Zagros Sutür zonu, MaF: Malazgirt fayı, CF: Çaldıran fayı, GSKF: Guilato-Siahcheshmeh-Khoy fayı, KEF: Karayazı-Erciş Fayı, TF: Van Fayı, SaF: Salamas fayı, BFZ: Başkale fayı, YFZ: Yüksekova fayı, GF: Gürpınar fayı, EF: Edremit fayı, BF: Bitlis fayı, AhF: Ahlat fayı)

Özellikle 23 Ekim 2011 Van depreminden sonra Van Gölü Havzası'nın genç tektoniği üzerine pek çok çalışma yapılmıştır (Özkaymak vd., 2011; Altiner vd., 2013; Bayraktar vd., 2013; Doğan ve Karakaş, 2013; Görgün, 2013).

3.1.3 Bölgede Meydana Gelen Tarihsel Dönem (1900 öncesi) Depremler

Tarihsel dönem içerisinde Van Gölü Havzasını da kapsayan alanda birçok hasar verici ve yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bölgede oluşan bu depremler farklı araştırmacılar tarafından katalog olarak derlenmiştir (Soysal vd., 1981; Ambressey ve Finkel, 1995; Tan vd., 2008). Tarihsel dönemde meydana gelen depremlerin Van yerleşkesini de etkilediği kataloglarda ifade edilmektedir. Bunlara göre, 1101 ile 1900 yılları arası hasar verici özellikte şiddeti V-X aralığında değişen depremler meydana gelmiştir. 1111 yılında IX şiddetinde ve 17. Yüzyılın başlarında VII-VIII şiddetlerindeki (birkaç yıl süren deprem olarak bildirilen) depremlerin Van şehir merkezinde olduğu belirtilmektedir (Ambressey ve Finkel, 1995). 16. ve 17. Yüzyılda Güzelsu (Hoşap) çevresinde hasarlara neden olduğu belirtilen Van Şehir merkezinin güneydoğusundaki VI ve VIII şiddetlerindeki depremlerin Van ve Erciş şehirlerinde de hasara neden oldukları bilinmektedir (Çizelge 3.1, Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Van Gölü Havzası tarihsel dönem depremleri (Utkucu 2013'ten alınmıştır)

Çizelge 3.1 Van Gölü Havzasındaki tarihsel dönem depremleri (Soysal vd., 1981; Ambressey ve Finkel, 1995; Tan vd., 2008)

Boylam	Enlem	Tarih	xM	Büyüklik	Şiddet
44	40	869	6.5	?	IX
43.3	38.47	1101	5	?	VI
43.35	38.47	1111	6.6	6.6	IX
42.5	38.7	1208	6.5	6.5	IX
42.5	38.74	1245	5	5	VII
42.5	38.8	1275	6.8	6.8	VIII
42.9	38.9	1276	5	5	VII
42.9	38.9	1282	5	5	VI
42.1	38.35	1441	5	5	VIII
43.7	38.3	1646	6.7	6.7	X
44	39.15	1647	6.5	?	IX
43.3	38.47	1648	6.8	6.8	VIII
42	38	1670	6.7	6.7	X
43.9	39.1	1696	7.1	6.8	IX
43.65	38.47	1701	5	5	VII
43.65	38.47	1704	5	5	VII
41.7	38.7	1705	6.7	6.7	IX
43.9	38.4	1715	6.6	6.6	VII
43.7	39	1791	5	0	VI
43.4	38.5	1871	6.9	6.9	VII
42.3	38.75	1881	7.3	7.3	IX
43.3	38.5	1881	5	5	VII
42.1	38.4	1884	6.1	0	V
42.5	39.15	1891	5.5	0	V
43.3	38.5	1894	5	0	V

Özellikle Van'dan Gevaş, Hoşap ve Albaş'a kadar uzanan büyük bir alanda etkili olan ve artçı sarsıntılarının üç ay kadar sürdüğü belirtilen 1648 (bazı yayınlarda 1646) yılında meydana gelen depremin büyük hasarlar oluşturduğu ifade edilmektedir (Ambraseys ve Finkel, 1995). 8 Mart 1715 Hoşap ve 30 Mayıs 1880 Ahlat depremleri de bölgede hasar verici depremler olarak kaydedilmiştir (Ambraseys ve Finkel, 1995).

3.1.4 Bölgede Meydana Gelen Aletsel Dönem (1900 sonrası) Depremler

Van Gölü havzası içerisinde aletsel dönem de zaman zaman can ve mal kaybına neden olan pek çok farklı derecelerde hasar oluşturan deprem meydana gelmiştir (Şekil 3.5, Çizelge 3.2). Bunlardan sismik aktivite bakımından en büyük aletsel dönem

depremleri arasında yer alan 24 Aralık 1976 Çaldıran depremi ($M_w=7.3$) ve 23 Ekim 2011 Van depremidir ($M_w=7.1$). Van gölü havzasını kuzeyden sınırlayan sağ yönlü doğrultu atımlı fay özelliğindeki Çaldıran fayı 1976 yılında, $M_w 7.3$ büyüklüğünde deprem üretmiş ve bu deprem bölgede yaklaşık 5000 can kaybına ve 10.000'den fazla evin kullanılmaz hale gelmesine neden olmuştur. Kasım 2000 Gevaş depremleri ve Aralık 2001 tarihinde Edremit yakınlarında meydana gelen depremler ise Van ve civarının yüksek deprem tehlikesini ortaya koymaktadır.

Van fay zonunda ise 23 Ekim 2011 tarihinde yerel saatle 13.41'de, Van Gölü'nün doğu-kuzeydoğusunda (Van ili merkezinin kuzeyinde, merkez üssü Tabanlı Köyü olan) $M_w=7.1$ büyüklüğünde yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. Deprem başta Van ili olmak üzere Bitlis, Siirt, Muş, Hakkari, Diyarbakır, Batman, Erzurum, Ağrı, Iğdır ve Kars gibi çok sayıda il, ilçe ve köylerde hissedilmiştir (KOERİ, 2011). Ters faylanma sonucu oluşan Van-Tabanlı depremi, Van ilinde ve Van iline bağlı Erciş İlçesi'nde çok sayıda yapının yıkılmasına ve can kayıplarına neden olmuştur. Özellikle deprem merkez üssüne yakın olan köylerde de (Tabanlı, Göllü, Alaköy, Tevekli, Mollakasım, Yeşilsu, Dağönü, Hıdırköy ve Yumrutepe) benzer durumlar gözlenmiştir. 2011 Van depremi, AFAD Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağı'nın bölge civarındaki 22 farklı ivme-ölçer istasyonu tarafından kaydedilmiştir (AFAD, 2018). Deprem sırasında ölçülen en büyük pik ivme değeri, depremin merkez üssüne 42 km uzaklıktaki Muradiye istasyonundan kuzey-güney doğrultuda 178.5 cm/sn^2 , doğu-batı doğrultusunda 168.5 cm/sn^2 ve düşey doğrultuda ise 75.5 cm/sn^2 ölçülmüştür. Van-Edremit depremi ($M=5.6$) sırasında ölçülen en büyük yatay ivme değeri ise, Van-Merkez istasyonu tarafından kaydedilmiştir. Bu istasyon tarafından ölçülen en büyük ivme değerleri; kuzey-güney doğrultusunda 148.1 cm/sn^2 , doğu-batı doğrultusunda 245.9 cm/sn^2 ve düşey doğrultuda 150.5 cm/sn^2 şeklindedir (<http://kyh.deprem.gov.tr/ftpt.htm>). Tabanlı depreminden sonra 9 Kasım 2011 tarihinde yerel saatle 19.23'te, merkez üssü Edremit İlçesi'nin yaklaşık 3 km kuzeydoğusunda ve Van Gölü içinde, büyüklüğü $M_w=5.6$ olan yıkıcı bir deprem daha meydana gelmiştir.

Sağ yönlü doğrultu atımlı faylanma sonucu oluşan Edremit depremi, Van il merkezinde, tabanlı depreminden çok daha yüksek şiddette hissedilmiş ve ilk depremden sonra hasar görmüş pek çok yapının yıkılmasına, ağır hasar görmesine ve can kayıplarına neden olmuştur.

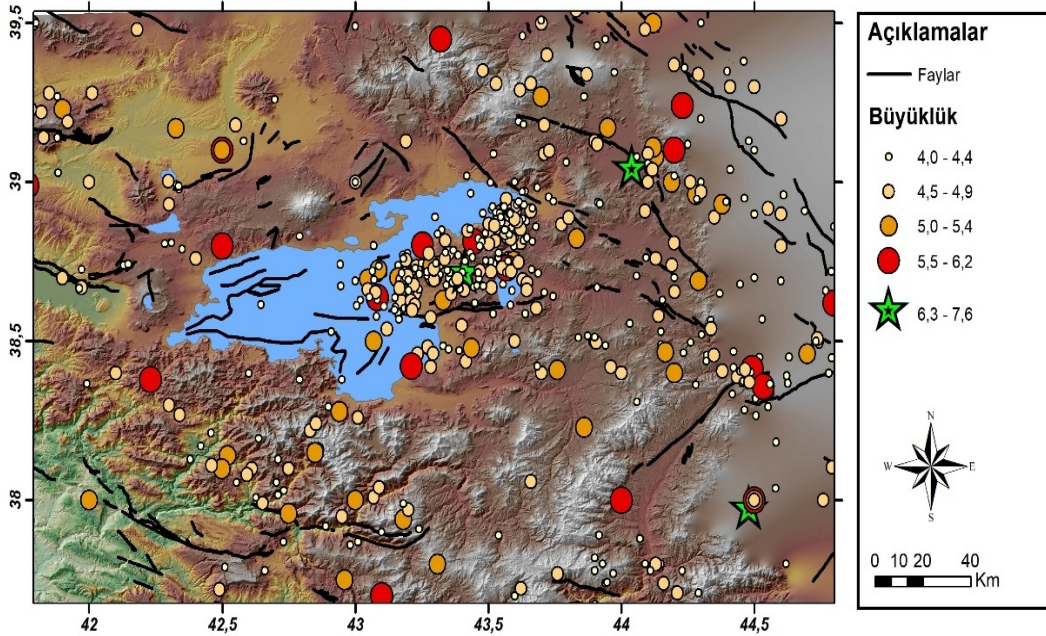
Çizelge 3.2 Çalışma alanı ve çevresinde meydana gelmiş büyüklüğü 5’den fazla olan depremler (KOERİ, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/en/>)

Tarih	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	M	Tarih	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	M
28.04.1903	39.1	42.5	30	6.3	24.11.1976	39.1	44.2	63	5.5
29.01.1907	39.1	42.5	30	5.2	24.11.1976	39.17	43.95	33	5.1
31.03.1907	39.1	42.5	30	5.4	24.11.1976	39.05	44.04	10	7.3
28.09.1908	38	44	30	6	25.11.1976	38.96	44.28	38	5.1
27.01.1913	38.38	42.23	10	5.5	17.01.1977	39.27	43.7	39	5.3
14.02.1915	38.8	42.5	30	5.7	26.05.1977	38.93	44.38	38	5.4
25.07.1924	38	43	30	5.2	03.12.1984	37.94	43.18	55	5
06.09.1924	39.67	42.81	10	5.2	20.04.1988	39.11	44.12	48	5.1
07.05.1930	38	44.5	30	5.2	25.06.1988	38.5	43.07	49	5.3
08.05.1930	38	44.5	30	5.5	03.06.1991	40.04	42.85	28	5
10.05.1930	37.55	44.25	10	5.2	14.02.1995	37.75	42.96	0	5.4
23.05.1930	38	44.5	30	5.4	15.11.2000	38.28	42.94	8	5.2
29.05.1930	38	44.5	30	5.6	01.07.2004	39.63	43.94	10	5.4
09.07.1930	38	44.5	30	5.2	25.01.2005	37.57	43.68	22	5.9
03.08.1930	38.46	44.7	80	5.3	21.01.2007	39.60	42.82	5	5.1
15.03.1932	39.7	44	15	5.5	23.10.2011	38.63	43.08	5	5.9
18.08.1935	39.6	43.1	30	5.3	23.10.2011	38.70	43.29	2.1	5.1
01.05.1936	39.6	43.1	30	5.7	23.10.2011	38.80	43.25	5	5.7
02.05.1936	39.8	43.5	30	5.3	23.10.2011	38.69	43.04	4.4	5.2
18.10.1940	39.6	42.2	15	5.7	23.10.2011	38.81	43.44	5	5.6
10.09.1941	39.45	43.32	20	5.9	23.10.2011	38.75	43.59	9	5.1
15.01.1945	38.4	44.2	32	5.3	23.10.2011	38.72	43.41	5	7.1
29.07.1945	38	43	30	5.2	24.10.2011	38.73	43.28	5	5
20.11.1945	38.63	43.33	10	5.4	25.10.2011	38.72	43.56	5.2	5.6
03.10.1946	39.5	44.12	50	5.2	27.10.2011	37.20	44.08	10	5.4
19.04.1947	37.8	43.31	40	5.3	29.10.2011	38.89	43.55	10	5.1
04.09.1962	39.96	44.13	40	5.5	08.11.2011	38.72	43.08	6	5.4
27.04.1966	38.14	42.52	28	5.2	09.11.2011	38.42	43.21	6	5.6
02.05.1966	38.1	42.5	50	5	14.11.2011	38.69	43.16	8	5.3
17.05.1967	38.69	44.29	54	5	18.11.2011	38.82	43.83	5	5
29.04.1968	39.24	44.23	17	5.6	30.11.2011	38.47	43.43	4.1	5
11.06.1968	38.15	42.85	53	5.1	26.03.2012	39.16	42.32	5	5
16.07.1972	38.23	43.86	46	5	14.06.2012	37.24	42.42	5	5.5
24.11.1976	39.08	44.13	55	5	23.02.2020	38.41	44.49	7.2	6
24.11.1976	39	44.19	62	5	25.06.2020	38.46	44.16	5.3	5.4

Söz konusu depremlerin ardından 2014 yılı başına kadar, bölgede büyüklükleri 2.0 ile 5.0 arasında değişen yaklaşık 12000 artçı deprem meydana gelmiştir. 2011 yılında meydana gelen yıkıcı depremler sonrasında bu bölgenin aktif tektoniği ve zemin özellikleri üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Akyüz vd., 2011; Utkucu vd., 2011; Akın

vd., 2013; Koçyiğit, 2013; Çukur vd., 2014; Akkaya vd., 2015; Sağlam Selçuk, 2016; Toker vd., 2017). 2020 yılında meydana gelen ağır hasarlara ve can kayıplarına neden olan Khoy-Başkale depremi (Mw=5.9) ve 2020 Saray depremi (Mw=5.4) bölgenin tektonik olarak aktifliğinin göstergelerindedir.

Van Gölü doğusunda yer alan nüfus yoğunluğunun fazla olduğu Van il merkezi ve ilçeleri genellikle suya doymuş, pekişmemiş, zayıf dayanımlı göl ve akarsu çökellerinden oluşan zeminler üzerinde kurulmuşlardır. Gerek zemin kaynaklı deformasyonlar gerekse depremlerin tekrarlı yükleri bu tür zeminlerin deprem sırasındaki davranışlarını önemli derecelerde etkilenmektedirler. Ayrıca, bölgedeki yapı kalitesinin de istenilen yapım ve performans düzeyinde olmaması Van ili ve çevresinde meydana gelen bu depremlerde can ve mal kayıplarını arttırıcı etken olarak gösterilebilir (Tapan, 2003; Özvan, 2004; Özvan vd., 2005; Özvan vd., 2008; Tapan vd., 2013). Bu nedenlerden dolayı özellikle Van Gölü havzası gibi derin alüvyon havzalarda sismik dalga yayılım özelliklerinin iyi bilinmesi gerekmektedir.



Şekil 3.5 Van Gölü havzasında meydana gelmiş depremler

3.2 Yöntem

Mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılan jeofizik yöntemlerden mikrotremor çalışmaları yapı-zemin etkileşimi değerlendirmelerinde olmazsa olmaz çalışmalardandır.

3.2.1 Mikrotremor Yöntemi

Zeminlerin dinamik özelliklerinin ve yapı-zemin etkileşimlerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan pratik bir yöntem olan mikrotremor ölçümleri, mikrotitreşimlerin kaydedilmesi temeline dayanır. Mikrotremor yöntemi ile zemin hakim titreşim periyodu ve büyümesini belirlemeye yönelik üstünlükleri bilinen bir jeofizik değerlendirme yöntemidir. Aktif kaynak kullanılmaması, veri toplama ekipmanlarının kolay taşınabilir ve kurulabilir olması, düşük maliyetli olması, uygulama kolaylığı bakımından özellikle yoğun yerleşim alanlarındaki kullanılabilirliği, hızlı veri değerlendirme avantajının yanı sıra geniş bir frekans bandında (0.01-50 Hz) enerji içermesi gibi avantajlarından dolayı uygulamalı jeofizik ve mühendislik uygulamalarında sıklıkla kullanılan bir yöntem olmuştur. Genlikleri 0.01~1 mikron arasında ve periyotları 0.05s ile 2s aralığında değişen, doğal ve yapay etkenlerden kaynaklanan yer titreşimlerine mikrotremor (titreşimcik) adı verilmektedir (Kanai vd., 1954; Kanai ve Tanaka,1961; Nakamura, 1989). Depremler veya yapay patlamaların dışında yerkürede kalıcı olarak gözlenen ve seyahat eden rastgele sismik titreşimlerin mikrotremorların kaynağı olduğu düşünülmektedir. Bu titreşimlerin yer değiştirme miktarları 10^{-6} - 10^{-2} mm arasında değişmektedir. Bu titreşimler başlıca trafik, rüzgâr, okyanus dalgaları, endüstri makineleri, jeotermal reaksiyonlar, küçük büyüklüklü yer sarsıntıları gibi faktörlerden dolayı meydana gelmektedir ve dalga biçimleri düzensizdir. Uzun (periyodu 1s'den daha büyük) ve kısa (periyodu 1s'den az) periyotlu olmalarına göre bu titreşimcikler sınıflandırılırlar. Yüzeysel dalgalarının veya makaslama dalgasının sığ tabakalardaki tekrarlı yansımaları kısa periyotlu titreşimler olarak açıklanır. Kısa periyot aralığında bu kalınlığı birkaç 10 metre olan sığ jeolojik yapıların dalga genliğinin büyütülmesine neden olduğu düşünülmektedir. Uzun periyotlu titreşimlerde yatay doğrultuda yayılan yüzeysel dalgaları daha hakim duruma geçmekte (Yamanaka vd., 1994) ayrıca derin havzalarda iki ve üç

boyutlu rezonans etkisi artmaktadır (Bard ve Bouchon, 1985). Mikrozeism olarak adlandırılan periyodu 2s'den daha büyük titreşimlerin kaynağı olarak atmosferik basınç değişiminden kaynaklanan okyanusal gel-git hareketleri gösterilmektedir.

Mikrotremorların dalga biçimleri düzensizdir ve kaynak türlerinin özelliklerinden dolayı gündüzleri geceden daha etkindir. Sağlam ve sıkı özellikteki jeolojik birimlerde elde edilen periyot ve genlik değerleri gevşek-yumuşak (alüvyon) özellikteki bölgelere oranla daha küçük değer aralığındadır. Ölçüm alınan sahadaki zeminin yapısına bağlı olarak mikrotremorlar noktadan noktaya belirgin değişimler göstermesidir.

3.2.1.1 Mikrotremorların Kaynakları

Yöntemden elde edilen verilerinin kaynağının oluşturan cisim ve yüzey dalgalarıdır. Genel olarak yüzey dalgalarının insan hareketliliği, trafik, rüzgâr ve denizden gelen yüzeysel kaynaklarca meydana geldiği, bununla birlikte volkanik hareketler ve küçük yer sarsıntıları gibi derin kaynaklı etkilerin neden olduğu titreşimlerin ise cisim dalgaları olarak yayıldıkları kabul edilmektedir. İnsan kaynaklı gürültüler (trafik, sanayi vb.), meteorolojik fırtınalar, Gel-git hareketi, jeotermal aktiviteler, yer altındaki sismik aktiviteler, güneş patlamaları, atmosferik kuvvetler ve okyanus dalgaları titreşim kaynakları olarak ifade edilmektedir. Tektonik ve volkanik kökenli olayların ve küçük depremlerin açığa çıkardığı uzun periyotlu tremorler mikrozeizm sınıflaması altında değerlendirilmiştir (Özalaybey, 2011). Mikrotremorlar ise kültürel ya da doğal kaynaklı olan ve günlük/haftalık periyotlarda değişim gösteren sismik titreşimler olarak tanımlanabilir (Bonney-Claudet vd., 2006; Cornou vd., 2004). Kültürel kaynaklı titreşimler genellikle 2-50 Hz arasında, doğal olarak oluşan titreşimler ise 0.2-2 Hz arasında sismik enerji üretmektedirler. Gutenberg 1958 yılında titreşimlerin kaynakları ile frekansları arasındaki bağlantıyı gösteren bir çizelge hazırlamıştır. Benzer sonuçlar birçok araştırmada elde edilmiştir (Asten, 1978; Asten ve Henstridge, 1984). Mikrotremor kaynaklarının frekans ile olan ilişkisi Çizelge 3.3'te sunulmuştur.

Düşük frekanslardaki (<0.5 Hz) sismik gürültüler yüksek uyumlulukla, genel olarak yüzey dalgalarından oluşur ve durağandır. Günlük kent aktiviteleri ve yerel meteorolojik olaylar kaynaklı gürültüler (durağanlığı az ve yüzey dalgalarının oranı değişken) ise 0.5-1 Hz frekans aralığında oluşurlar. 1 Hz'den büyük frekanslar için,

kaynaklar genel olarak kültürel kökenlidir (Gutenberg, 1958; Asten, 1978). Çizelge 3.4'te arka plan sismik gürültülerin içerik, kaynak ve özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3 Gürültü kaynaklarının frekansa göre değişimleri (Gutenberg, 1958; Asten, 1978; Asten ve Henstridge, 1984)

	Guttenberg (1958)	Asten (1978)
Kıyılarda oluşan dalgalar	0.05-0.1 Hz	0.5-1.2 Hz
Meteorolojik olaylar (büyük ölçekli)	0.1-0.25 Hz	0.16-0.5 Hz
Okyanuslarda oluşan siklonlar	0.3-1 Hz	
Yerel meteorolojik olaylar	1.4-5 Hz	
Volkan kökenli titreşimler	2-10 Hz	
Kent içindeki günlük aktivite	1-100 Hz	1.4-30 Hz

Çizelge 3.4 Sismik gürültülerin içerik, kaynak ve özellikleri (Tün, 2013)

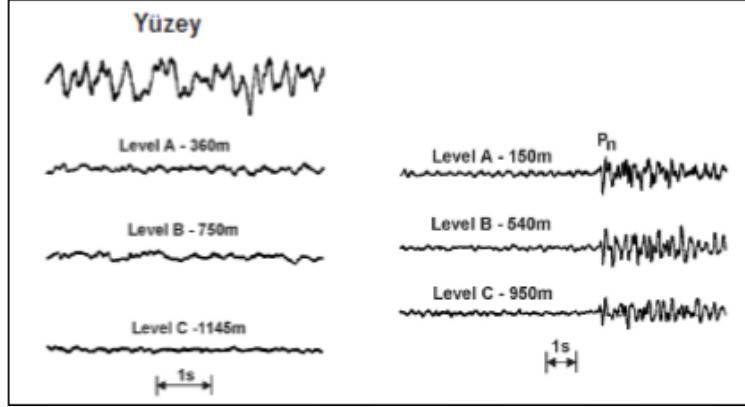
Arka Plan Sismik Gürültü (ASG)	
$T \geq 1s$ <i>Mikroseizm</i> Uzak Alan Durağan Yüzey Dalgaları (Rayleigh) Temel Mod	$T \leq 1s$ <i>Mikrotremor</i> Yakın Alan Değişken Cisim ve Yüzey Dalgaları Temel ve Yüksek Modlar
Gürültü Kaynağı	
<i>Büyük Ölçekli Doğal Olaylar</i> Meteorolojik Olaylar, Okyanus Dalgaları Düşük Frekanslı Tremörler Uzak Alan Koda Dalgaları <i>0.01-0.2 Hz</i>	<i>Yerel Ölçekli Olaylar</i> Kültürel: Endüstriyel, Trafik, İnşaat $\geq 2 Hz$ Doğal: Deniz, Rüzgâr, Akarsu <i>0.2-2 Hz</i>

3.2.1.2 Mikrotremorların Yapısı

Mikrotremor kayıtlarının içeriği hakkında; yüzey dalgası mı yoksa cisim dalgasından mı olduğu, Rayleigh ve Love dalgalarının enerji miktarlarının ne kadar olduğu ve temel mod ile yüksek mod Rayleigh dalga enerji oranlarının ne olduğu gibi araştırmalar devam etmektedir.

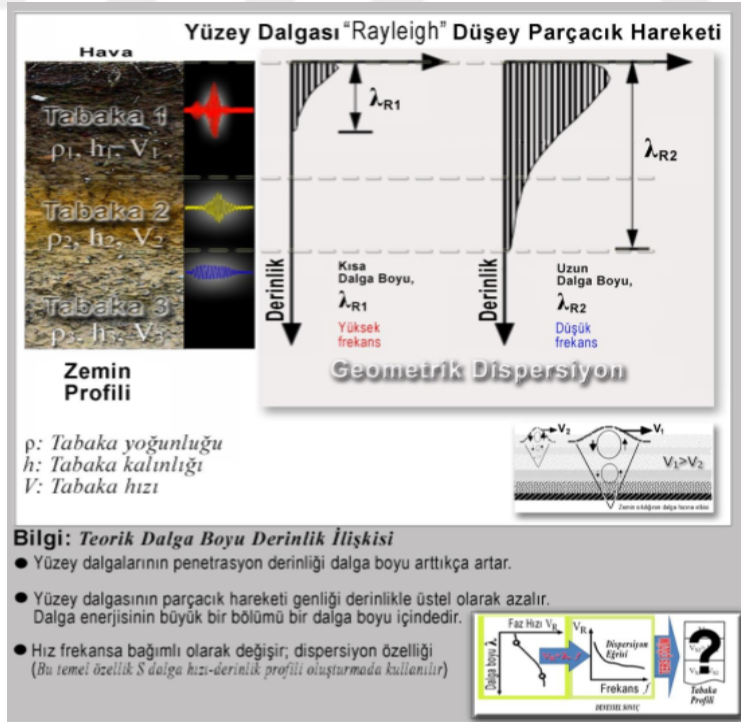
Mikrotremorları oluşturan gürültülerin yüzey dalgası kökenli olduğuna ilişkin çalışmalarda gözlem istasyonlarında alınan kayıtlarda derinlik arttıkça gürültü genliğinde de eksponansiyel bir azalış olduğu görülerek gürültülerin yüzey dalgası kökenli olduğu kanaati oluşmuştur. Çünkü cisim dalgalarında derinlikle genlikler arasında böyle bir

ilişkisinin olmadığı bilinmektedir (Şekil 3.6) (Bard, 1998; Bormann, 2002; Bonnefoy Claudet, 2006).



Şekil 3.6 Kısa periyot sismik gürültü (solda) ve deprem kayıtlarının (sağda) farklı derinliklerde kurulmuş sismik ağ kayıtları (Bormann, 2002)

Yüzey dalgaları frekans bağımlıdır ve hızları frekansın fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Dolayısıyla dalga boyu arttıkça penetrasyon derinliği de artmaktadır (Şekil 3.7). Bununla birlikte derinlik artışına bağlı olarak yüksek frekanslı gürültüler



Şekil 3.7 Yüzey dalgası özelliklerinin derinlikle değişimi (geometrik dispersiyon) (Foti, 2000; Okada, 2003; Strobba, 2005; Tün, 2013)

sönümlenirler. Düşük frekanslı dalgalar yer içine daha fazla nüfuz edebilir. Böylece yüzey dalgalarının farklı tabakalardan etkilenecek farklı frekanslarda yayılımlarına neden olacaktır. Sonuç olarak faz hızının ortamın mekanik özellikleriyle ilişkili olacağı söylenebilir.

3.2.2 H/V Spektral Oran (Nakamura) Yöntemi

Nakamura tarafından 1989 yılında geliştirilen ve mikrotremor kayıtlarının yatay bileşeninin düşey bileşene spektral oranlaması şeklinde tek istasyonda uygulanabilen bir yöntemdir. Yöntem genel olarak düşey bileşenli dalgaların genliğinde değişimin çok fazla olmayacağını yatay bileşenli dalgaların ise geçtiği zemin özelliklerinden etkileneceğini varsaymaktadır. Yatay (H) ve düşey (V) bileşenlerin spektral oranı ile yüzey jeolojisinden kaynaklanan yerel etki belirlenebilir (Nakamura, 1989). H/V yöntemi yatay bileşenlerde kayıt edilen spektral genliklerin, düşey bileşende kaydedilen genliklere göre normalize edilme işlemi olarak tanımlanabilir. Yöntem 1985 Meksiko City depreminden sonra yaygın olarak kullanılıyor olmasının yanında basit, kolay, hızlı ölçü alınabilir olması ve maliyetinin diğer yöntemlere göre az olmasından dolayı tercih edilmeye başlanmıştır. Mikrotremor ölçümlerinden elde edilen spektral oranlar ile kuvvetli hareket kayıtlarından elde edilen oranlar arasındaki uyumun belirlenmesi, yöntemin güvenilirliğini arttırmıştır (Bard, 1998).

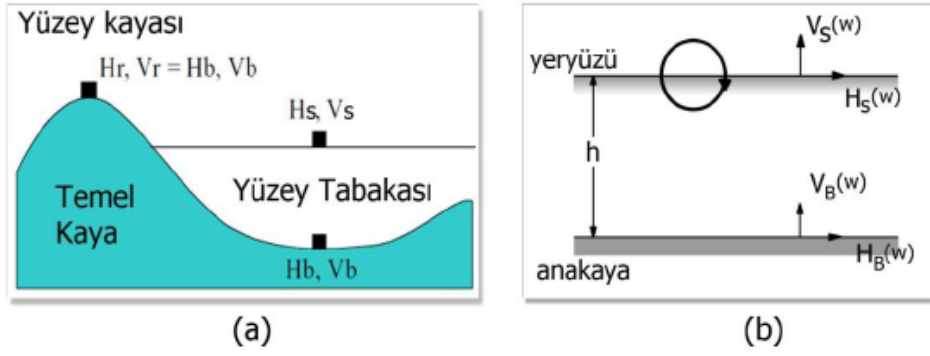
Anakaya ile üzerindeki sediman tabakaları arasındaki empedans farkı, bir yapı yerinde mikrotremor ölçümler ile zeminin temel rezonans frekansını belirlemede ana etkeni oluşturmaktadır. Bu etken kullanılarak, birbirinden farklı fiziksel yapıya sahip ortamlar arasındaki empedans farkı ve olası yerel zemin etkisi tanımlanabilir. Dolayısıyla H/V spektral oran yöntemiyle basen-anakaya sınırı geometrisi çıkarılabilir, H/V spektral oranından elde edilen pik (hâkim frekans) değeri, ardışık iki tabaka arasındaki hız kontrastıyla ilişkilendirmek mümkündür. Mikrotremor ölçümleri ve H/V spektral oranlarından elde edilen pik değerleri ile ilgili yapılan teorik (Lachet ve Bard, 1994; Dravinski vd., 1996; Bard, 1999) ve deneysel (Lermo ve Chávez-García, 1994; Malagnini vd., 1995; Seekins vd., 1996; Teves-Costa vd., 1996) çalışmalar, yöntemin yerel baskın frekansını belirlemede yeterli olduğunu, ancak, jeolojik yapıdan kaynaklı yüzey yer hareketi büyütme oranlarının güvenli olarak belirlenemeyeceğini ortaya koymaktadır.

Büyütme değerlendirmesi yapılabilmesi için ana kaya ve yumuşak zeminde yer alan istasyonlardan kaydedilen gerçek deprem verileri kullanılır, ayrıca kaynaktan yayılan deprem dalgalarının her iki istasyona da aynı ortam içinden geçerek ulaştığı kabul edilir. Dolayısıyla bu iki istasyonun birbirine yakın olması beklenir, depremin merkezi ile istasyon arası uzaklık baz alındığında, iki istasyon arası uzaklık en fazla bu mesafenin 1/10'u kadar olması istenir. Referans oran yöntemi olarak adlandırılan bu teknik ile farklı zemin yapıları üzerinde bulunan bu iki istasyon tarafından ölçülen deprem kayıtlarının spektral oranı kullanılarak büyütme analizi yapmak mümkündür. H/V spektral oranı ve referans oran yönteminden elde edilen pikler karşılaştırılarak, H/V oranındaki pik değerleri için büyütme değerlendirmesi yapmak mümkün olabilir.

Nakamura yöntemine göre mikrotremorları oluşturan dalga türü Rayleigh dalgalarıdır ve bunlar yüzey kaynakları tarafından yaratılır ve tabakalı bir ortamda hem yatay hem de düşey hareketlerden eşit şekilde etkilenmektedir. Nakamura (1989), mikrotremorların derinden değil, yüzeyden ve yüzeye yakın yersel, sismometreye yakın noktalardan gelen titreşimlerden (trafik, şehir gürültüleri vb.) oluştuğunu varsaymakta ve derinden kaynaklanan katkıları ihmal etmektedir. Yöntem göre gürültü titreşimlerinin düşey bileşenleri zemin tabakalarından etkilenmezler. Buna karşılık yatay bileşenler, zemin tabakalarının sahip olduğu düşük hız ve yoğunluğa bağlı olarak önemli büyütme uğrarlar. Böylece yatay bileşen kayıtların spektrumlarının düşey bileşen kayıtların spektrumlarına oranlanması zemin transfer fonksiyonunun elde edilmesini sağlar.

Şekil 3.8'de Nakamura tarafından tanımlanan, yarı sonsuz ve tek tabakalı ortamda yayılan Rayleigh dalgaları gösterilmiştir. Nakamura (1989), yöntemle ilişkin kabulleri yaptıktan sonra VS yüzeydeki, VB yüzey tabakasının tabanındaki hareketlerin düşey bileşenleri olmak üzere; mikrotremor hareketlerini frekansın bir fonksiyonu olarak şöyle tanımlar (Dikmen, 2005):

$$AS(w) = \frac{VS(w)}{VB(w)} \quad (3.1)$$



Şekil 3.8 Mikrotremor yayılım modeli (a) Nakamura (2000) (b) Nakamura (1989)

Gözlem noktasındaki transfer fonksiyonu, temel ve yüzeydeki yatay bileşenlerin spektral oranı olarak tanımlanır (Lermo ve Chávez-García, 1994).

$$SE(w) = \frac{HS(w)}{HB(w)} \quad (3.2)$$

Nakamura (1989), Eşitlik (3.1) bağıntısında verilen transfer fonksiyonunun Eşitlik (3.2) bağıntısında verilen kaynak etkisine oranlanmasıyla kaynak etkisinin ölçüm değerlerinden uzaklaştırılabileceğini göstermiştir. Sonuç olarak hareketin gerçek yerel etkisini hesaplayabilmek için, yatay ve düşey bileşenlerde kaydedilen spektrumlar oranlandığında,

$$SM(w) = \frac{SE(w)}{AS(w)} = \left(\frac{HS(w)}{HB(w)} / \frac{VS(w)}{VB(w)} \right) = RS(w) * RB(w) \quad (3.3)$$

Mühendislik çalışmalarda ilgilenilen frekans 0.2-20 Hz aralığındadır ve bu aralıkta $RB(\omega)$ yaklaşık 1'e eşittir (Nakamura, 1989). Böylece $RS(\omega)$ olarak verilen transfer fonksiyonu yüzeyde ölçülen mikrotremor verisinden elde edilebilir.

$$RB(w) = \frac{VB(w)}{HB(w)} = 1 \quad (3.4)$$

Böylece yer etkisi, hareketin yüzeydeki yatay ve düşey bileşenleri cinsinden tanımlanmış olur. Nakamura yöntemi referans noktası gerektirmeyen bir yöntem olarak,

sismik yoğunluğun az olduğu veya temel kayanın bulunmadığı alanlarda kolayca uygulanabilen bir yöntemdir.

Böylece yer etkisi, hareketin yüzeydeki yatay ve düşey bileşenleri cinsinden tanımlanmış olur. Nakamura yöntemi referans noktası gerektirmeyen bir yöntem olarak, sismik yoğunluğun az olduğu veya temel kayanın bulunmadığı alanlarda kolayca uygulanabilen bir yöntemdir. Kuzey–Güney (N-S) ve Doğu-Batı (E-W) olmak üzere kaydedilen iki yatay bileşeni tek bileşene indirgemek için Eşitlik (3.5) bağıntısında verildiği gibi karekök ortalama alınır ve düşey bileşene $VS(\omega)$ oranlanarak Eşitlik (3.6) bağıntısında tanımlanan yatay/düşey spektral oran elde edilir.

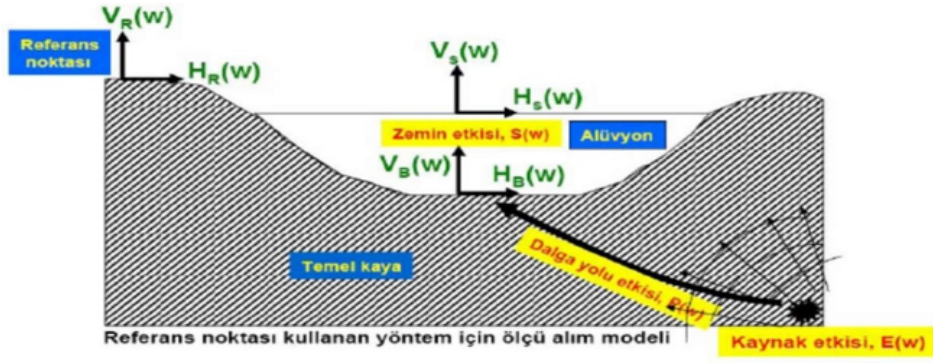
$$Hs(\omega) = \sqrt{NS(\omega)^2 + EW(\omega)^2} \quad (3.5)$$

$$SM(w) = \frac{HS(w)}{VS(w)} \quad (3.6)$$

Nakamura (1989) tarafından önerilen Yatay/Düşey spektral oran yönteminin geçerliliği ile ilgili sayısal modeller Lermo ve Chavez-Garcia (1994) tarafından yapılmıştır.

3.2.3 Spektral Oran Yöntemi

Yöntemin Nakamura yönteminden farklı zayıf (alüvyon) birimlerde ölçülen yatay bileşen spektrumunun (H_s), referans veya anakayada ölçülen yer hareketinin yatay bileşen spektrumuna (H_b) oranlanması ile spektral oranın belirlenmesi şeklinde uygulanır (Şekil 3.9). Dolayısıyla yöntemde hem zayıf birimler üzerinden hem de kaya (referans nokta) üzerinden ölçümler alınır (Şekil 3.9). Yöntemdeki en önemli zorluk çalışılan bölgelerde her zaman referans olabilecek sağlam kaya birimlerin olmamasıdır. Tüm kayıtlara ait bileşenlerin genlik spektrumları hesaplanarak alüvyon birimde alınan ölçüm noktalarına ait spektrumların her biri, referans noktasında alınan kaydın genlik spektrumuna oranlanır. Böylece her noktanın referans noktası ile arasındaki transfer fonksiyonu ayrı ayrı bulunmuş olur.



Şekil 3.9 Spektral oran yöntemi (Baker, 2011'den değiştirilerek alınmıştır.)

Mikrotremor verilerinin daha doğru bir biçimde yorumlanabilmesi için veri alımındaki hassasiyetin yanı sıra veri analizinde de dikkat edilmesi gereken hususlar bulunmaktadır. SESAME (2005) projesi kapsamındaki çalışmalar H/V eğrilerinin hesaplanması aşamasındaki güvenilirlik koşullarını maddeler halinde detaylandırmıştır. Ayrıca H/V eğrilerinde görülen pik değerlerin, zemin rezonans frekansına işaret edecek derecede belirgin olup olmadığını, kullanılıp kullanılmayacağını da belirgin pik koşulları olarak maddeler halinde incelemiştir (Şekil 3.10).

Şekil 3.10'da tanımlanan L_w (pencere uzunluğu, sn) çalışma alanı için öngörülen hedef derinlik ve bununla ilişkili frekans değerine bağlı olarak belirlenir. Bu konuda yapılan çalışmalar, öngörülen en düşük frekans değerine karşılık gelen periyodun 10 katı kadar bir zaman diliminde bir pencere boyunun seçilmesi gerektiğini göstermektedir. İstatistiksel değerlendirmeler sonucunda elde edilen bu sonuç, kabul gören yaklaşım olmakla birlikte spektral değerlendirmeye alınan pencere boyu içinde hedef dalganın kendisini yaklaşık olarak 10 kez tekrarlama şartını ifade eder.

Güvenilir bir H/V eğrisi için koşullar					
i) $f_0 > 10 / L_w$		<ul style="list-style-type: none"> ▪ L_w = pencere uzunluğu (sn) ▪ N_w = pencere sayısı ▪ $n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0$ = belirgin devirlerin sayısı ▪ f = kullanılan frekans ▪ f_{sensor} = sensorun kesme frekansı ▪ f_0 = H/V pik frekansı 			
ii) $n_c(f_0) > 200$		<ul style="list-style-type: none"> ▪ σ_f = H/V pik frekansının standart sapması ($f_0 \pm \sigma_f$) 			
iii)		<ul style="list-style-type: none"> ▪ $\varepsilon(f_0)$ = denge şartı için eşik değeri $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ ▪ A_0 = f_0 frekansının H/V pik genliği ▪ $A_{H/V}(f)$ = f frekansındaki H/V eğrisi genlik değeri ▪ $f^- = A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ için $f_0/4$ ve f_0 arasındaki frekans değerleri ▪ $f^+ = A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ için f_0 ve $4f_0$ arasındaki frekans değerleri ▪ $\sigma_A(f) = A_{H/V}(f)$'in standart sapması, $\sigma_A(f)$, $A_{H/V}(f)$ eğrisinin çarpılması veya bölünmesi gereken değer ▪ $\sigma_{\log H/V}(f) = \log A_{H/V}(f)$ eğrisinin standart sapması ▪ $\sigma_{\log H/V}(f)$ ifade edilen $\log A_{H/V}(f)$ eğrisine eklenmesi veya çıkarılması gereken mutlak değer ▪ $\Theta(f_0)$ = denge şartı için eşik değeri $\sigma_A(f) < \Theta(f_0)$ 			
$f_0 < 0.5$ Hz ise	$f_0 > 0.5$ Hz ise				
$\sigma_A(f) < 3$	$\sigma_A(f) < 2$				
$0.5f_0 < f < 2f_0$	$0.5f_0 < f < 2f_0$				
Belirgin H/V piki için koşullar					
(6 koşuldan en az 5'i sağlanmalıdır)					
i) $A_0 > 2$					
ii) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$					
iii) $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$					
iv) $f_{\text{peak}} [A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$					
v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$					
vi) $\sigma_A(f_0) < \Theta(f_0)$					
σ_f ve $\sigma_A(f_0)$ için eşik değerleri					
Frekans aralığı (Hz)	<0.2	0.2-0.5	0.5-1.0	1.0-2.0	>2.0
$\varepsilon(f_0)$ (Hz)	0.25 f_0	0.20 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\sigma_A(f_0)$ için $\Theta(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\sigma_{\log H/V}(f_0)$ için $\log \Theta(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Şekil 3.10 H/V spektral oranı hesaplaması için güvenilirlik koşulları ve piklerin belirginlik koşulları (SESAME, 2005)

4. BULGULAR

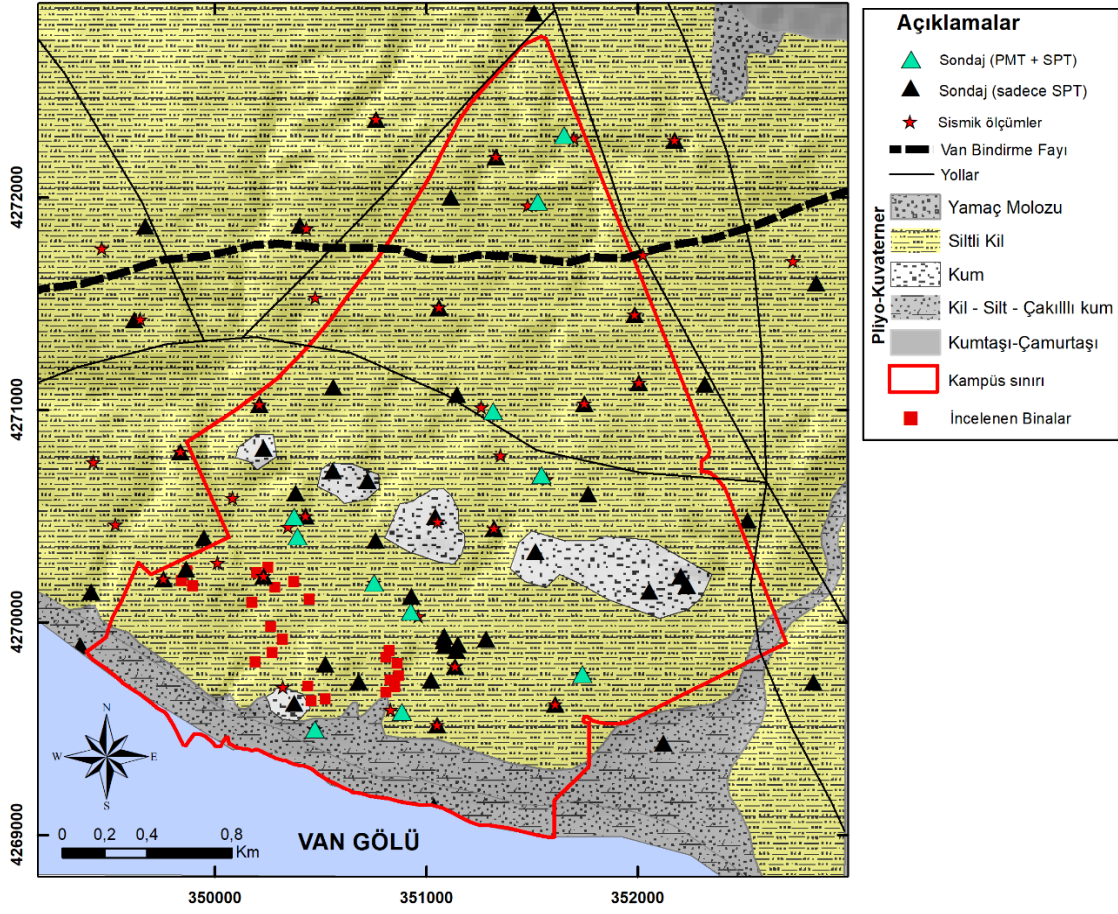
4.1 Arazi Çalışmaları

Ülkemizde ve dünyada alüvyon zeminler yaygın olarak yerleşim alanı olarak tercih edilmektedir. Bunun en temel nedenlerini kolay ulaşım ve maliyet açısından ekonomik olması olarak özetlemek mümkündür. Bununla beraber, alüvyon zeminler gerek oluşum koşulları gerekse fiziksel ve mekanik özellikleri açısından depremlerden en fazla etkilenen alanları oluşturmaktadır. Son yıllarda meydana gelen ve binlerce insanın hayatını kaybettiği 1999 Adapazarı ($M_w=7.4$) ve Düzce ($M_w=7.1$), 2011 Van ($M_w=7.1$) ve 2023 Kahramanmaraş ($M_w=7.8-7.6$) depremleri örnek olarak gösterilebilir. Bu nedenle, yerleşim planlamasına katkı sağlayacak mikrobölgeleme çalışmaları ve yapı-zemin etkileşimleri daha güvenli alanları belirlemek açısından önem arz etmektedir.

Jeolojik, jeoteknik ve jeofizik yöntemler kullanılarak disiplinler arası yaklaşımlarla deprem hareketine bağlı olarak farklılıklar gösteren zemin davranışlarının ortaya konması ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Tüm bu veriler bir arada analiz edilerek doğal afetlerin etki düzeyinin belirlenmesi, kontrol edilebilir seviyelerde olması ve/veya önlenmesi de son derece önem arz etmektedir.

Bu tez kapsamında, 23 Ekim 2011 Van ($M_w=7.1$) depremlerinden farklı derecelerde hasar almış ve etkilenmiş alanlardan birisi olan Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşim alanında bulunan bazı binaların (depremler sonrası güçlendirilen) yapı-zemin etkileşimleri incelenmiştir. Bunun için mühendislik jeofiziği ve mühendislik sismolojisi çalışmalarında yaygın olarak kullanılan mikrotremor yönteminden yararlanılmıştır. Ölçümler kampüs alanında belirlenen bina dışındaki doğal zeminlerde ve her bir binanın bodrum, zemin ve katlarında gerçekleştirilmiştir. Ölçüm lokasyonları ve binalara ilişkin veriler Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çalışma alanında eczacılık fakültesi, mimarlık ve tasarım fakültesi, edebiyat fakültesi, eğitim fakültesi, tıp fakültesi, ziraat fakültesi, fen fakültesi, Van ve sağlık meslek yüksekokulunun bulunduğu binalarda tek istasyon mikrotremor ölçümleri yapılmıştır. Van YYÜ Kampüs alanındaki bu binalarda elde edilen veriler yapı-zemin etkileşimi açısından değerlendirilmiştir.



Şekil 4.1 Van YYÜ yerleşkesinin jeoloji haritası ve ölçüm yapılan bina lokasyonları

Kampüs alanındaki mikrotremor ölçümü yapılan binaların yapı-zemin etkileşimlerinin ortaya konmasında kampüs içerisinde önceden yapılmış zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesine yönelik jeoteknik ve jeofizik çalışmalardan ve projelerden elde edilen zeminlerin dinamik özelliklerini temsil eden haritalardan yararlanılmıştır (Akın vd., 2014, 2015; Özvan vd., 2019b; Akkaya ve Özvan, 2019). Tüm verilerin değerlendirilmesiyle çalışma alanı için mühendislik özelliklerini temsil eden yüzey haritaları bu tez kapsamında ölçülen bina zemin verileri ile birlikte değerlendirilerek yenilenmiş ve yapı-zemin etkileşimi açısından analiz edilmiştir.

Çizelge 4.1 Çalışma alanında gerçekleştirilen ölçüm bilgileri

Açıklama	Enlem	Boylam	Yükseklik	Vs30 m/s	Zemin Sınıfı
Fen-Eczacılık Fakültesi A blok	350271	4269855	1665	495	ZC
Fen-Eczacılık Fakültesi B blok	350321	4269918	1664	495	ZC
Fen-Eczacılık Fakültesi C blok	350264	4269978	1660	495	ZC
Fen-Eczacılık Fakültesi D blok	350191	4269811	1665	495	ZC
Edebiyat Fakültesi A blok	349895	4270170	1668	341	ZD
Edebiyat Fakültesi B blok	349842	4270194	1680	341	ZD
Edebiyat Fakültesi C blok	349869	4270240	1678	341	ZD
Eğitim Fakültesi A blok	350811	4269670	1670	280	ZD
Eğitim Fakültesi B blok	350853	4269696	1670	354	ZD
Eğitim Fakültesi C blok	350831	4269726	1671	280	ZD
Eğitim Fakültesi D blok	350871	4269747	1666	354	ZD
Van MYO A blok	350864	4269805	1680	280	ZD
Van MYO B blok	350810	4269834	1672	322	ZD
Van MYO C blok	350826	4269864	1679	280	ZD
Rektörlük A blok	350440	4269698	1666	338	ZD
Rektörlük B blok	350523	4269638	1683	338	ZD
Rektörlük C blok	350456	4269628	1666	338	ZD
Diş Hekimliği Fakültesi A blok	350601	4269664	1666	445	ZC
Diş Hekimliği Fakültesi B blok	350662	4269683	1671	341	ZD
Diş Hekimliği Fakültesi C blok	350673	4269715	1669	445	ZC
Veteriner Fakültesi A blok	350375	4270189	1666	348	ZD
Veteriner Fakültesi B blok	350448	4270108	1683	348	ZD
Ziraat Fakültesi A blok	350284	4270163	1676	455	ZC
Ziraat Fakültesi A blok	350252	4270256	1667	455	ZC
Ziraat Fakültesi A blok	350198	4270231	1677	455	ZC
Ziraat Fakültesi A blok	350176	4270091	1670	455	ZC

4.1.1 Çalışma Alanının Jeolojisi

Jeolojik, jeoteknik ve stratigrafik açıdan çalışma alanı ve çevresi birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir (Acarlar vd., 1991; Selçuk, 2003; Özkaymak, 2003; Özvan, 2004; Akın vd., 2014; 2015; Akkaya vd., 2015; Akkaya ve Özvan, 2019; Özvan vd., 2019a). İnceleme alanı olan Van YYÜ yerleşim alanı ve çevresindeki birimlerin eski akarsu-göl çökelleri olduğu, bu güncel sediman birimlerin Pliyosen-Kuvaterner yaşlı olarak nitelendirildiği ve bölgede 150 m'ye varan kalınlığa sahip olduğu ifade edilmiştir (Acarlar vd., 1991). Bununla birlikte, araştırma alanında önceki yıllarda farklı amaçlarla sığ derinlik seviyelerinde (15-20 m) birçok jeoteknik sondaj çalışmaları yapılmıştır (Şekil

4.1). Van YYÜ yerleşim alanındaki saha ve laboratuvar çalışmaları neticesinde yer alan çökellerin kil, silt, kum ve çakıl tane boyutunda olduğu, çalışma alanının farklı bölgelerinde bu birimlerin farklı kalınlık seviyelerine sahip oldukları ifade edilmiştir (Selçuk, 2003; Akın vd., 2014; 2015). Bu çökel birimlerin Pleyistosen-Holosen jeolojik döneminde meydana geldiği belirtilmiştir (Acarlar, 1991; Üner, 2003; Selçuk, 2003; Kamar, 2005). Yanal ve düşey yönlerdeki değişimlerinin farklı dağılımlara sahip bu birimlerin, çökel zamanları ve çökelleme ortamlarının da farklı olduğu ifade edilmiştir (Özvan vd., 2019a) (Şekil 4.2).

Bu birimler inceleme alanının kuzeyinde 2011 depremlerini meydana getiren Van bindirme/ters fayı tarafından kesilmekte ve yerleşkenin kuzeybatısından Van Gölü'ne kadar uzanmaktadır (Şekil 4.1). Van Fayının inceleme alanındaki eski göl çökellerinden meydana gelen zeminlerde hareket mekanizması gereği farklı derecelerde gerilme oluşturduğu ve bu gerilme etkisiyle alanda yer alan çökellerde farklı mühendislik parametrelerinin elde edildiği ifade edilmiştir (Özvan vd., 2019a). Bölgedeki akarsu ve göl çökellerinin yanal ve düşey yönde farklılıklar göstermesinde Van Gölü su seviye değişimlerinin etkili olduğu vurgulanmıştır (Özvan vd., 2019a). Su seviye değişimlerinin etkisiyle inceleme alanındaki birimlerin farklı tane boyutunda sedimanlardan oluşmasına neden olması yerleşkedeki farklı lokasyonlarda farklı fiziksel ve mekanik özelliklerin elde edilmesinde etkili olmaktadır. Bu durumda binaların yapı-zemin etkileşimlerinin farklılık göstermesinde temel belirleyici faktör olarak değerlendirilmelidir.

4.1.2 Mikrotremor Kayıtlarının Alınması ve Değerlendirilmesi

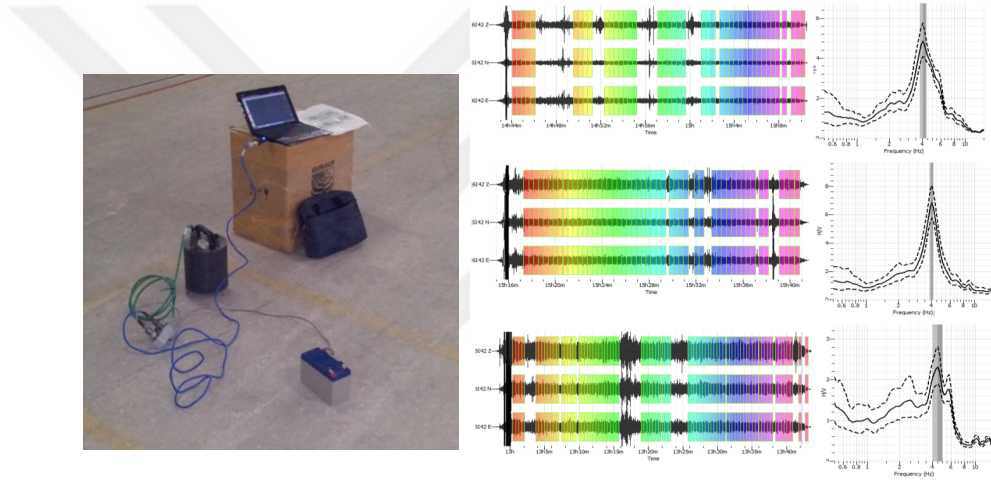
Mühendislik yapıları için deprem sırasındaki davranışlarının ortaya konmasında dinamik elastik parametrelerin doğru bir biçimde belirlenmesi gerek deprem performansı gerekse tasarım açısından son derece önemlidir. Bu nedenle yerleşim alanları için jeofizik yöntemlerle elde edilen dinamik zemin parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Mikrotremor yöntemi de bu parametrelerden zemin hakim periyot/frekans ve büyütme değerlerinin elde edilmesinde kullanılan temel yöntemlerdendir. Yerleşim alanları için sağlıklı yapılaşma bölgelerinin oluşturulmasında hakim periyot ve zemin büyütme haritalarının oluşturulması yapı-zemin etkileşimi analizleri açısından son derece önemlidir. Yapıların ve zeminlerin salınım periyotlarının belirlenmesi hasara neden olan

önemli etkenlerden birisi olan rezonans etkisinden kaçınmaya ve riskli bölgelerin ortaya konmasına olanak sağlamaktadır. Yer-yapı etkileşimi ve salınım periyotlarının belirlenmesinde mikrotremor yönteminin kullanımı mühendislik uygulamaları açısından güvenilir sonuç vermesi ve farklı alanlarda uygulama kolaylıkları açısından son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır.

Tez çalışması kapsamında, Van YYÜ yerleşkesindeki binalarda ve zeminlerde ölçülen mikrotremor verilerinin değerlendirilmesinde yatay bileşenin düşey bileşene spektral oranı tek istasyon mikrotremor (H/V, Nakamura yöntemi, HVSR) yöntemi kullanılmıştır. Yapı katlarının ve zeminlerin periyot/frekans değerleri elde edilmiştir. Çok küçük genliğe sahip doğal titreşimler (mikrotremorlar) incelenerek zeminin baskın titreşim periyotları bulunabilir ve böylece yerin davranış özelliklerine ulaşılabilir. Bina katlarında yapılan mikrotremor verileri de olursa zemin davranışı ile yapı davranışı arasında ilişkiler yapı-zemin etkileşimi açısından analiz edilebilir. Bu veriler depremliler ve depremsiz koşullarda değerlendirilebilir. Bu kapsamda, ölçümler kampüs alanında belirlenen bina çevrelerinde ve her bir binanın bodrum, zemin ve katlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamındaki ölçüm yapılan her bir noktada 30-60'ar dakikalık kayıtlar 100 Hz örnekleme aralığı kullanılarak kaydedilmiştir. Çalışma alanındaki ölçümler gürültülerin en az olduğu mesai saati dışındaki zaman dilimlerinde ve gece saatlerinde alınmıştır. Mikrotremor verilerinin alınması ve kaydedilmesinde GÜRALP CMG 6TD marka hız ölçer sismometre ve ekipmanları kullanılmıştır (Şekil 4.2). Bu aygıt 3 bileşen sismometre olup frekans aralığı 1-100 Hz'dir. Kayıtlarda güç kaynağı olarak 12 Volt akü kullanılmıştır. Arazide/binalarda kayıtlar kullanılan ekipmanların sunduğu kolaylık çerçevesinde doğrudan dizüstü bilgisayar bağlantısı ile sayısal olarak alınmıştır. Scream 4.5 programı ile sayısal olarak kaydedilerek elde edilen veriler, mikrotremor verilerinin değerlendirilmesinde en çok kullanılan paket program olan Geopsy yazılımı ile değerlendirilmiştir (Şekil 4.2).

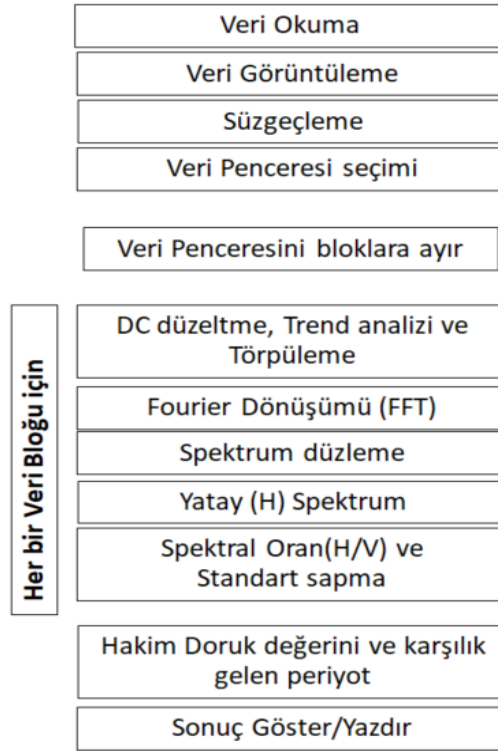
Zaman ortamında elde edilen her bir veri üç bileşen (D-B, K-G, Z) mikrotremor kayıtlarından oluşmaktadır. Şekil 4.3'te mikrotremor yönteminde veri-işlem aşamaları verilmiştir. Veri işleminde, ilk aşamada mikrotremor verilerinin trend etkisi (DC Removal) giderilmiş, veri kalitesi ve istenmeyen gürültülerin giderilmesi için bant geçişli Butterworth süzgeciyle veriler 0.1-20 Hz frekans aralığında filtrelenmiştir. 25-30 sn'lik pencereler seçilerek kaydedilen veriler bölümlenmiş ve her bir veri grubu %5 oranda

törpüleme (cosinüs taper) uygulanmıştır. Pencere uzunluğunun belirlenmesinde Sesame (2005) kriterleri olarak bilinen uluslararası standartlara göre seçim gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.11). Veri-işlemin ilk adımlarından sonra kriterlere göre her bir bileşene ait genlik spektrumları elde etmek amacıyla pencerelenmiş verilere Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanmıştır. Bu spektrumlara band genişliği 40 seçilen Konno-Ohmachi (Konno ve Ohmachi, 1998) yuvarlatma işlemi yapılmıştır. Tüm bu veri-işlem adımlarının ardından yatay bileşenlerin düşey bileşene oranı hesaplanarak H/V spektral oranları elde edilmiştir (Şekil 4.2). Elde edilen spektral oranlardan her bir ölçüm noktası için baskın frekans/periyoğ değeri ve bu değere karşılık gelen genlik (büyütme) değeri belirlenmiştir.



Şekil 4.2 Mikrotremor ölçüm cihazı, ekipmanları ve örnek kayıt

Şekil 4.2'deki verilerde farklı renkler her bir pencerenin frekans spektrumlarını, koyu çizgi ortalama H/V eğrisini, kesikli çizgiler ise standart sapmaları göstermektedir. Eğrilerin üzerindeki gri renkli bant, yatay-düşey genlik oranının, en büyük değerine karşılık gelen zemin baskın titreşim frekansını göstermektedir.



Şekil 4.3 Mikrotremor yönteminde veri-işlem aşamaları

4.1.3 Çalışma Alanın Zemin Özelliklerinin Değerlendirilmesi

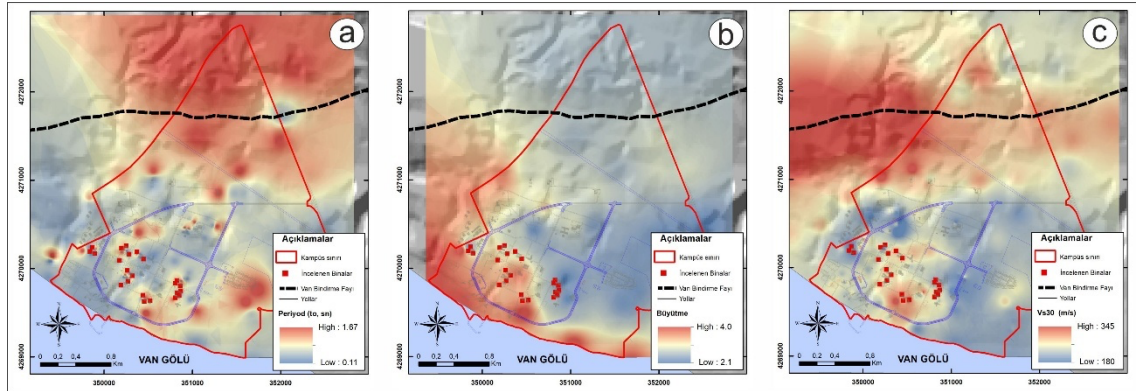
Çalışmanın temel amacı Van YYÜ yerleşkesindeki binaların periyot/frekans değerlerini belirlemek ve elde edilen bulguları zemin-yapı ilişkisi açısından değerlendirmektir. Bu değerlendirmeyi daha doğruya yakın yapabilmek amacıyla tez çalışması kapsamında ölçülen zemin verileri önceki yıllarda yapılmış projelerden (Akın vd., 2014; Akkaya ve Özvan, 2019; Özvan vd., 2019a) elde edilen verilerle birlikte tekrar değerlendirilerek haritalanmıştır.

Yapı-zemin etkileşimi açısından mühendislik yapısı ile bina zemininin periyodunun aynı aralıkta olması veya birbirine yakın olması ve/veya eşleşmesi (rezonans) durumunda hasar derecesi artmaktadır. Deprem tehlikesi üzerine yapılan çalışmalarda sismik kuvvetlerin yapılar üzerindeki etkilerinin oldukça çeşitli olduğunu göstermiştir. Bunların bazıları neredeyse tamamen hasarsızken, diğerleri ciddi hasarlara sebep olmaktadır. Bu durum yapıların sismik tepki özelliklerindeki farklılıklardan dolayı meydana gelir. Ayrıca, bu yapıların üzerine kurulu oldukları zeminlerin deprem durumundaki davranış karakteristiği de birbirinden farklı olabilmektedir. Bundan dolayı,

depreme bağlı meydana gelen zararların analizinde yüzey tabakalarının davranış özelliklerini ortaya çıkarmanın önemli ve belirleyici araştırma konularından birisi olduğu söylenebilir (Nakamura, 1989).

Özellikle deprem olma olasılığı yüksek olan yerleşim alanlarında gerçekleştirilen imar ve parsel bazlı çalışmalarda, mikrobölgeleme çalışmalarında ve sismik tehlike analizlerinde yerleşim alanları için hakim periyod/frekans ve zemin büyütme değışim haritalarının oluşturulması güvenli ve sağlıklı yapılaşma bölgelerinin seçimi için belirleyici önem taşımaktadır. Bu durum yerleşim alanları için hem riskli bölgelerin belirlenmesinde hem de farklı türdeki yapıların proje ve tasarım aşamasında rezonans durumunun oluşmamasına katkı sağlayacaktır.

Tez çalışma alanı, Kuvaterner yaşlı güncel çökellerin yaygın olarak yayılım gösterdiği, yapılaşmanın da bu birimler üzerinde bulunduğu, aynı zamanda aktif deprensellik etkisinin söz konusu olduğu bir bölgededir. Yerleşim alanında farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip zeminler üzerine kurulu olan ve farklı amaçlarla kullanılan binaların yapı-zemin ilişkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında farklı noktalarda toplanan mikrotremör ölçümlerinden zemin baskın titreşim frekansı/periyodu ve genlik büyütme oranı belirlenmiş ve haritalanmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 (a) Çalışma alanında elde edilen zemin hakim titreşim periyodu, (b) zemin büyütmesi ve (c) Vs30 hız haritaları

Kampus alanında elde edilen mikrotremör verilerine göre alanın genelinde periyot değerlerinin 0.11-1.67 sn arasında olması, çalışma alanının genelde kalın ve yer yer yumuşak ve sert eski göl çökellerinden oluştuğunu göstermektedir. Bu bölgelerde zemin büyütme değerleri ise 2.1-4.0 arasında değışmektedir (Şekil 4.4a ve b). Şekil 4.4

incelendiğinde, özellikle Van Gölüne yakın alanlara doğru büyütme değerlerinin yüksek değerler sergilediği görülmektedir. Bu duruma genel anlamda bölgedeki sığ yeraltı su seviyesi, zeminin suya doygun ve gevşek olması gibi faktörlerin etkili olduğunu göstermektedir. Kampüs alanının orta ve kuzey kesimlerinde elde edilen göreceli olarak etraftaki lokasyonlardan yüksek periyot değerleri alüvyon kalınlığı ile ilişkililikten, aynı bölgelerde belirlenen göreceli olarak düşük büyütme değerleri (2-2.5) bu kısımların daha sıkı zemin karakteristiğinde olduğunu göstermektedir. Önceki yıllarda gerçekleştirilen jeoteknik sondajlardan bu kesimlerde yer yer sıkı kum ve sert kil birimlerin yaygın olarak yer aldığı görülmektedir (Selçuk, 2003; Akın vd., 2015; Özvan vd., 2019a).

Zeminlerin dinamik etkiler altındaki davranışlarının belirlenmesinde kayma dalga hızları (V_s) en önemli parametrelerden birisidir. V_s dalga hızının fiziksel karakteristiği ve yayılma özellikleri gözetildiğinde yeraltı tabakalarının fiziksel özellikleri doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir (makaslama modülü, elastisite modülü, sıkışmazlık modülü, doğal salınım periyodu, sismik büyütmesi, poisson oranı vb.). Bu nedenle, yeraltı tabakalarının V_s hızının derinliğe bağlı değişimlerinin belirlenmesi mühendislik uygulamaları açısından oldukça önemlidir. İnceleme alanı için ilk 30 metre derinlikteki ortalama V_s hız değerlerini temsil eden V_{s30} hızları belirlenerek haritalanmıştır (Şekil 4.4c). Ayrıca V_{s30} Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY 2018) göre zemin sınıflaması için ön kriterdir.

4.1.4 Binalarda Gerçekleştirilen Mikrotremor Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Tez çalışması kapsamında Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşkesi içerisinde bulunan farklı amaçlarla kullanılan binaların yapı-zemin ilişkilerini ortaya koymak için farklı binalar için zemin-yapı analizleri yapılmıştır (Şekil 4.5).

Çalışma kapsamında incelenen binaların çoğu 23 Ekim 2011 Van depremlerinden sonra çeşitli inşaat mühendisliği teknikleri kullanılarak güçlendirilmiştir. Binalar 2012 yılında PROTA Mühendislik Proje ve Danışmanlık Hizmetleri A.Ş. ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi tarafından hazırlanan “Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mevcut Binalarının Deprem Tahkiki Yapılması ve Takviye Projelerinin Hazırlanması Güçlendirme Projesi Raporu” proje kapsamında Yüzüncü Yıl Üniversitesi Merkez Yerleşkesinde bulunan bloklarının mevcut taşıyıcı sistemlerinin 50

yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem etkileri altında Türk Deprem Yönetmeliği'nde (TDY, 2007) belirtilen Can Güvenliği performans düzeyi gereklerini sağlamadığı belirlenerek, sözü edilen kuruluşlar tarafından güçlendirme işlemleri gerçekleştirilmiştir (Güçlendirme projesi raporu, 2012). Binalarda alınan mikrotremor ölçümleri de güçlendirme işlemlerinden daha sonra yapılmıştır.

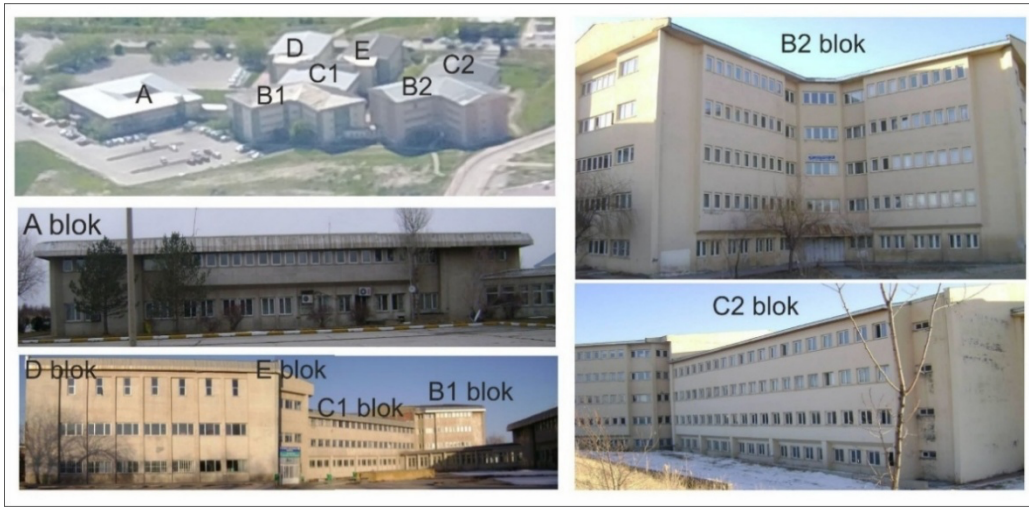


Şekil 4.5 Çalışma alanına ait yapı görüntüleri

Eczacılık- Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Binası

Kampüs alanındaki en eski binalarından birisi olan ve 23 Ekim 2011 Van (Mw=7.1) depreminden sonra güçlendirilen Eski Fen-Edebiyat Fakültesi binası sonrasında Eczacılık-Mimarlık ve Tasarım Fakültesi binası olarak kullanılan bina jeofizik yöntemler kullanılarak incelenmiştir (Şekil 4.6). Eczacılık Fakültesi binası öğretim üyesi ofisleri olarak kullanılan blokta mühendislik uygulamalarında yapı-zemin ilişkisinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan mikrotremor yöntemi kullanılarak hem zeminde hem de bina katlarında ölçümler alınmıştır (Şekil 4.7-4.8 ve Çizelge 4.2).

Van YYÜ Eczacılık- Mimarlık ve Tasarım Fakültesi (Eski Fen Edebiyat Fakültesi) bir kısmı birbirlerinden bağımsız, bir kısmı bitişik 7 bloktan oluşmaktadır. Kampüs alanındaki en eski binalardandır. Blok isimleri A, B1, B2, C1, C2, D, E şeklindedir. A Blok zemin ve 1 normal kattan oluşan toplam 2 katlı binadır. B1 Blok zemin ve 3 normal kattan oluşan toplam 4 katlı binadır. B2 Blok zemin ve 4 normal kattan oluşan 5 katlı binadır. C1 Blok bodrum kat, zemin kat ve 2 normal kattan oluşan toplam 4 katlı binadır. C2 Blok zemin ve 3 normal kattan oluşan 4 katlı binadır. D ve E bloklar ise zemin ve 2 normal kattan oluşan 3 katlı binadır.

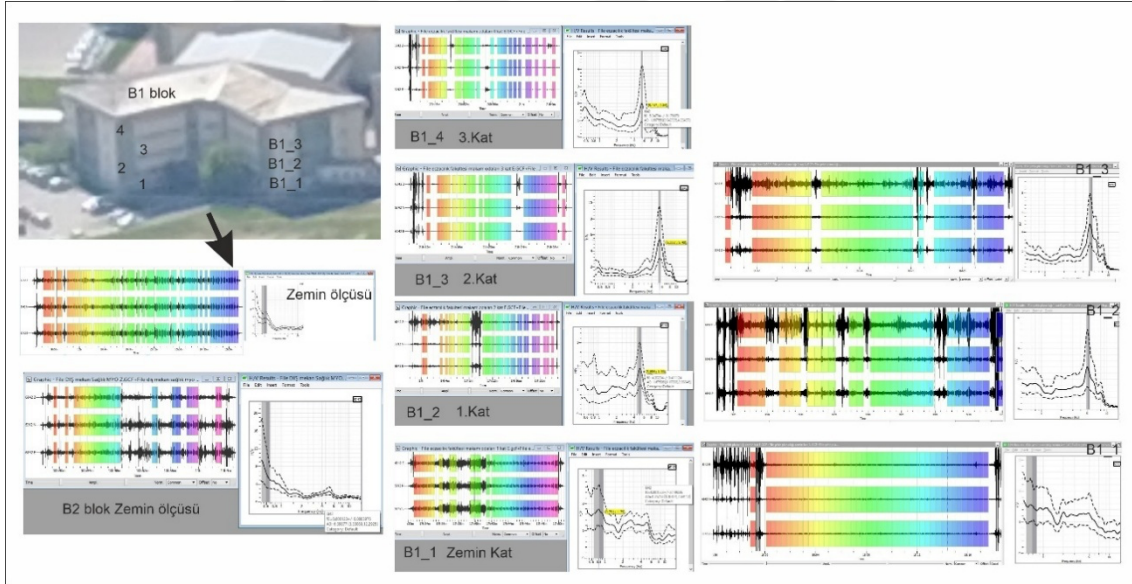


Şekil 4.6 Eczacılık-Mimarlık ve Tasarım Fakültesi binasına ait görüntüler

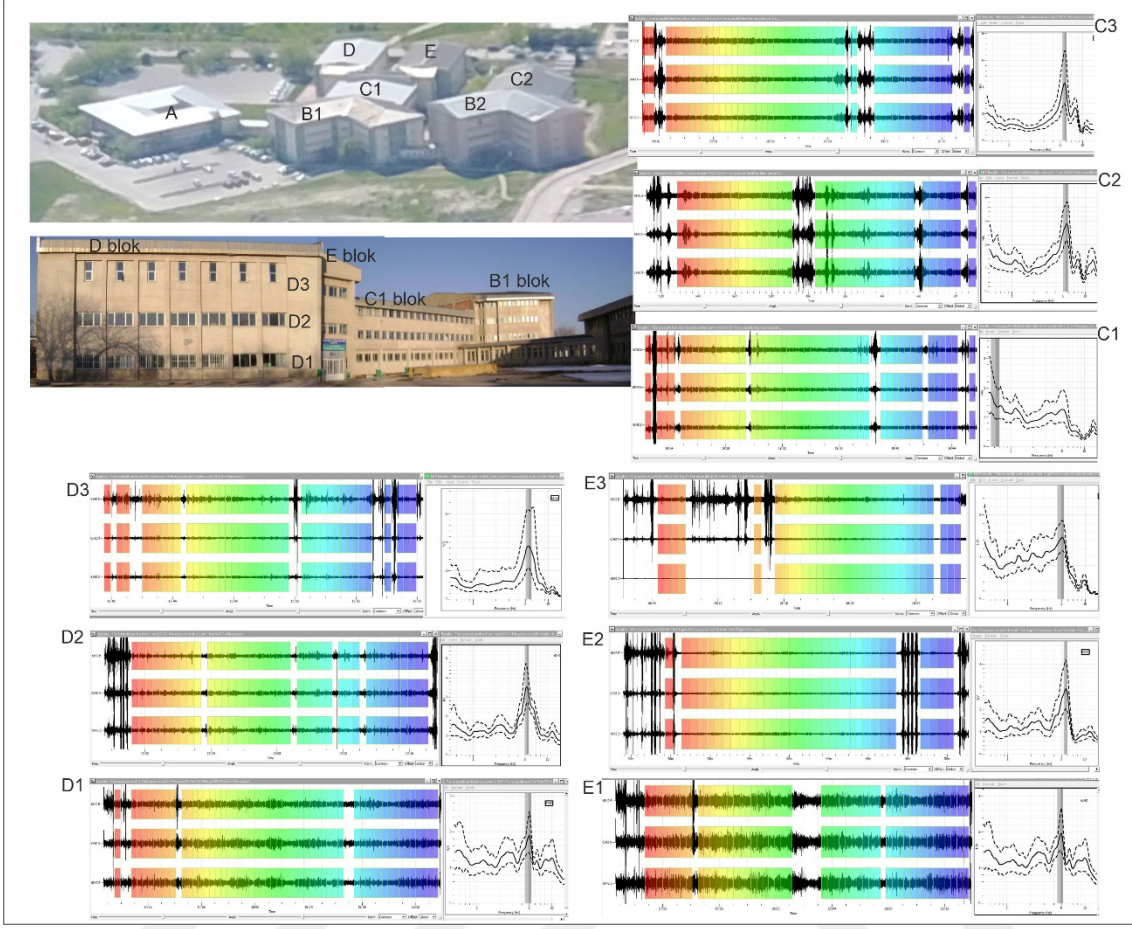
Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Çizelge 4.2’de verilen sonuçlar incelendiğinde seçilen blokta dış alan yani bina doğal zemininde elde edilen periyot/frekans değerleriyle bina zemin kat sonuçlarının yakın aralıkta olduğu, katlarda elde edilen değerlerin ise zemin periyot değerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. B1 blok önünde ve B2-C2 blok arasında doğal zeminde alınan mikrotremor veri sonuçlarında 7 farklı yapı biçiminde olan ilgili binaların zemin periyodu 1.06 sn ve 1.56 sn gibi yüksek periyot değerleri ölçülmüştür. Bu değer aralığı binaların altındaki zeminin kalın, suya doygun ve gevşek yapılı alüvyon zemin özelliğinde olduğunun göstergesidir. Elde edilen bu veriler Şekil 4.4’te alanın geneli için üretilmiş zemin hakim titreşim periyodu haritasıyla da uyumludur. Fakülte binalarının bloklarının normal katlarından elde edilen verilerde de bina periyotları net olarak belirlenmiştir. Ölçüm yapılan binalardaki verilerin değerlendirilmesi sonucunda binaların hakim/baskın frekansı genelde 5 Hz, periyod ise

0.2 sn civarında bariz pikler elde edilmiştir. Bina kat verilerinde net olarak görülen bu hakim periyot/frekans değerleri bazı bloklarda farklılık göstermektedir (0.17-0.21 sn). Bunun temel nedeni bu yapıdaki blokların her biri başlı başına bir binayı temsil etmektedir. Dolayısıyla her bir binanın farklı taşıyıcı sistem özellikleri, eleman boyutu, taban alanı, çerçeve genişliği, perde alanı vb. farklılıklarının olması bu değişik ama birbirine yakın hakim periyot değerlerinin elde edilmesinde etken olduğu düşünülmektedir.

Mikrotremör yöntemi ile ölçülen verilerde keskin-net piklerin (doruk noktasının) elde edilmesi jeolojik yapılardaki yüksek empedans farklılığından kaynaklanmaktadır ve mikrotremör yöntemiyle jeolojik yapı sınırlarının belirlenmesi ve yorumlanmasına yardımcı olur. Benzer durum yapılar içinde geçerlidir. Binalarda alınan ölçülerde de katlardaki net pikler yapı kaynaklıdır (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8). Sonuçlara göre giriş kattan üst katlara çıkıldıkça büyütme değerlerinin arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.7 Eczacılık Fakültesi binası öğretim üyesi ofisleri olarak kullanılan B1 ve B2 blokta ve dış alanda alınan mikrotremör verileri, analiz sonuçları ve günlük spektrumlarının katlara göre değişimi



Şekil 4.8 Eczacılık Fakültesi binası öğretim üyesi ofisleri olarak kullanılan C1, D ve E blokta alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve günlük spektrumlarının katlara göre değişimi

Bu veriler yapı-zemin ilişkisi açısından değerlendirilirse, zemin periyot verileri ile bina periyot verilerinin birbirinden farklı olmasından dolayı Eczacılık-Mimarlık ve Tasarım Fakültesi binalarına ait blokların rezonansa girme olasılığının düşük olduğu söylenebilir.

Mühendislik yapısının salınım periyodu ile altında bulunan zemin periyodunun aynı değer aralığında olması ve/veya birbirine yakın değerlerde olması durumunda girişim (rezonans) oluşmakta ve girişim sonucunda mühendislik yapısının salınım genliği sonsuza doğru büyüyerek yapıda hasara neden olmaktadır. İncelenen blokların rezonansa girmemesine, yapının 2011 Van depremlerinden sonra güçlendirilmesinin de etkili olduğu düşünülmektedir. Ancak, gerek olası büyük depremlerde yapıların maruz kalabileceği yüksek ivmeler ve depremlerin tekrarlı kuvvetleri gerekse binaların bulunduğu zeminlerin gevşek ve suya doymuş karakteristikteki zayıf zemin özellikleri

(hatta bu fakülte yapıları eski bir dere yatağı üzerindedir) olası depremlerde bu yapıların hasar derecesini arttırıcı etkiler yapabilirler. Ayrıca, Şekil 4.4'te verilen zemin büyütmesi ve Vs30 hız haritaları da yüksek büyütme (2-4 kat) ve 300 m/s'den düşük hız değerleri bu binaların olası bir depremde daha fazla genlik büyütmesine maruz kalacağını göstermektedir.

Mikrotremor kayıtlarının veri-işlemi sonucu elde edilen verilerin yer tepkisinin belirlenmesinde, bina tepkisinin belirlenmesinde ve yapı-zemin tepkisinin elde edilmesinde kullanılabileceği görülmüştür.

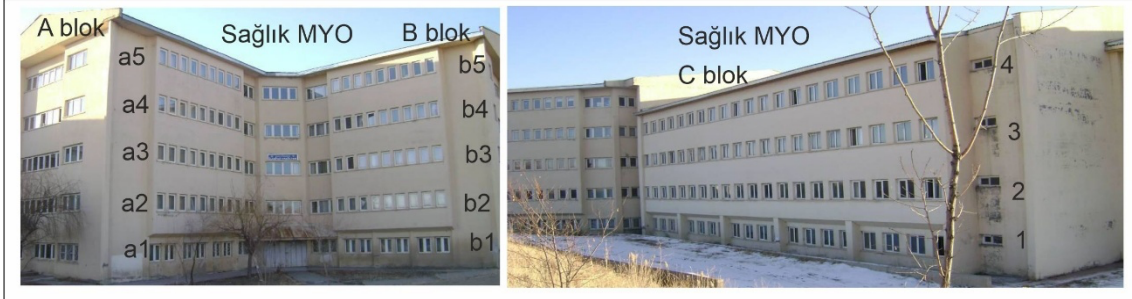
Çizelge 4.2 Eczacılık Fakültesi binası bloklarının mikrotremor ölçüm sonuçları

Blok	Ölçüm alınan katlar	Periyot T (sn)	Frekans f (Hz)	Büyütme
B1	Dış mekan (Zemin)	1.06	0.94	3.82
	Zemin kat	1.27	0.79	1.79
	Kat 1	0.20	5.05	2.01
	Kat 2	0.19	5.35	5.40
	Kat 3	0.18	5.41	2.04
B1-2	Dış mekan (Zemin)	1.56	0.64	5.77
	Zemin	1.47	0.68	1.53
	Kat 1	0.19	5.13	2.75
	Kat 2	0.19	5.27	4.68
C1	Zemin	1.61	0.62	1.41
	Kat 1	0.18	5.45	2.80
	Kat 2	0.17	5.73	4.28
D	Zemin	0.21	4.85	1.85
	Kat 1	0.19	5.28	3.51
	Kat 2	0.18	5.57	3.70
E	Zemin	0.20	4.87	1.93
	Kat 1	0.18	5.63	2.88
	Kat 2	0.20	4.89	1.43

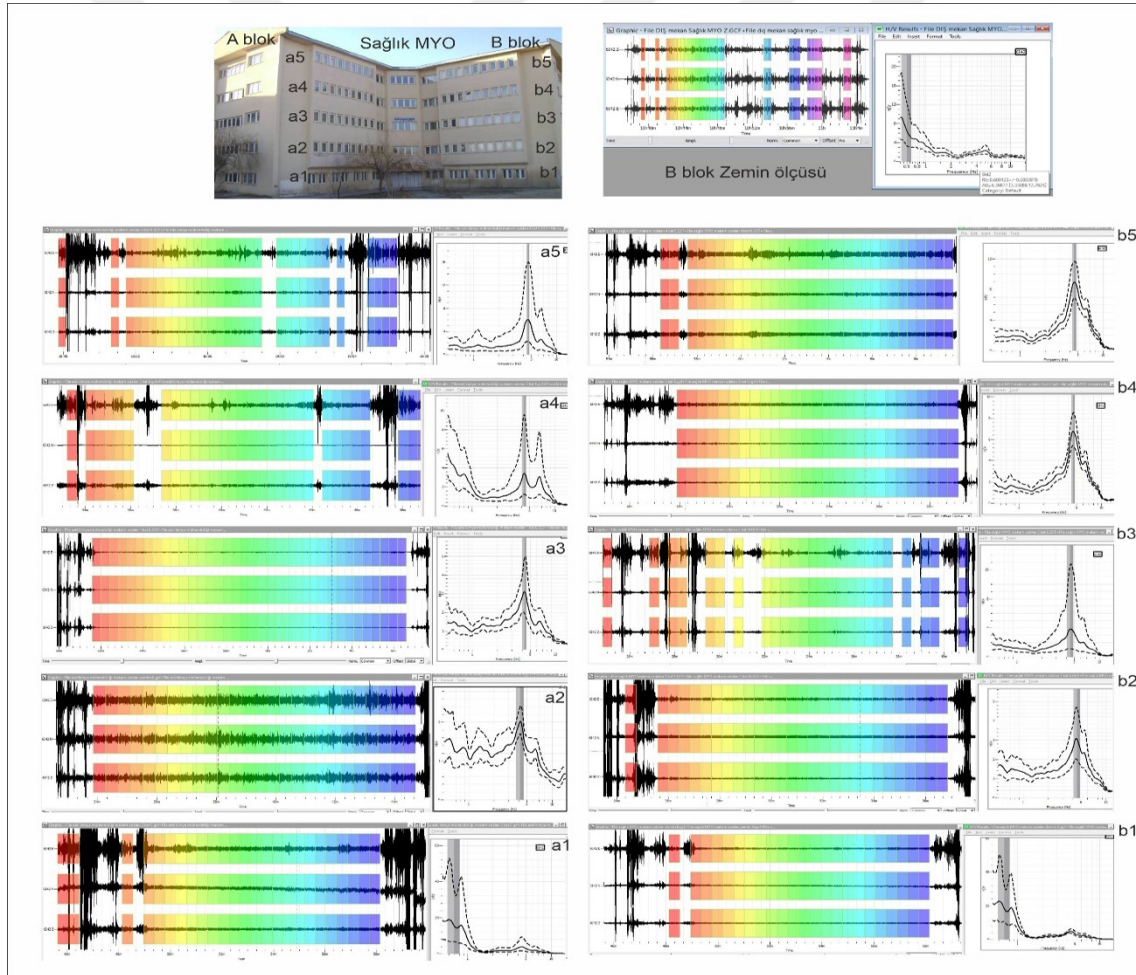
Sağlık Meslek Yüksek Okulu Binası

Van YYÜ Sağlık Meslek Yüksek Okulu (MYO) bir kısmı bitişik 3 bloktan oluşmaktadır. A ve B Blok zemin ve 4 normal kattan oluşan 5 katlı binadır. C Blok zemin ve 3 normal kattan oluşan 4 katlı binadır (Şekil 4.9). Yüksek okul binasına ait bloklar 23 Ekim 2011 Van (Mw=7.1) depremlerinden sonra güçlendirilmiştir. Ofis ve derslik olarak

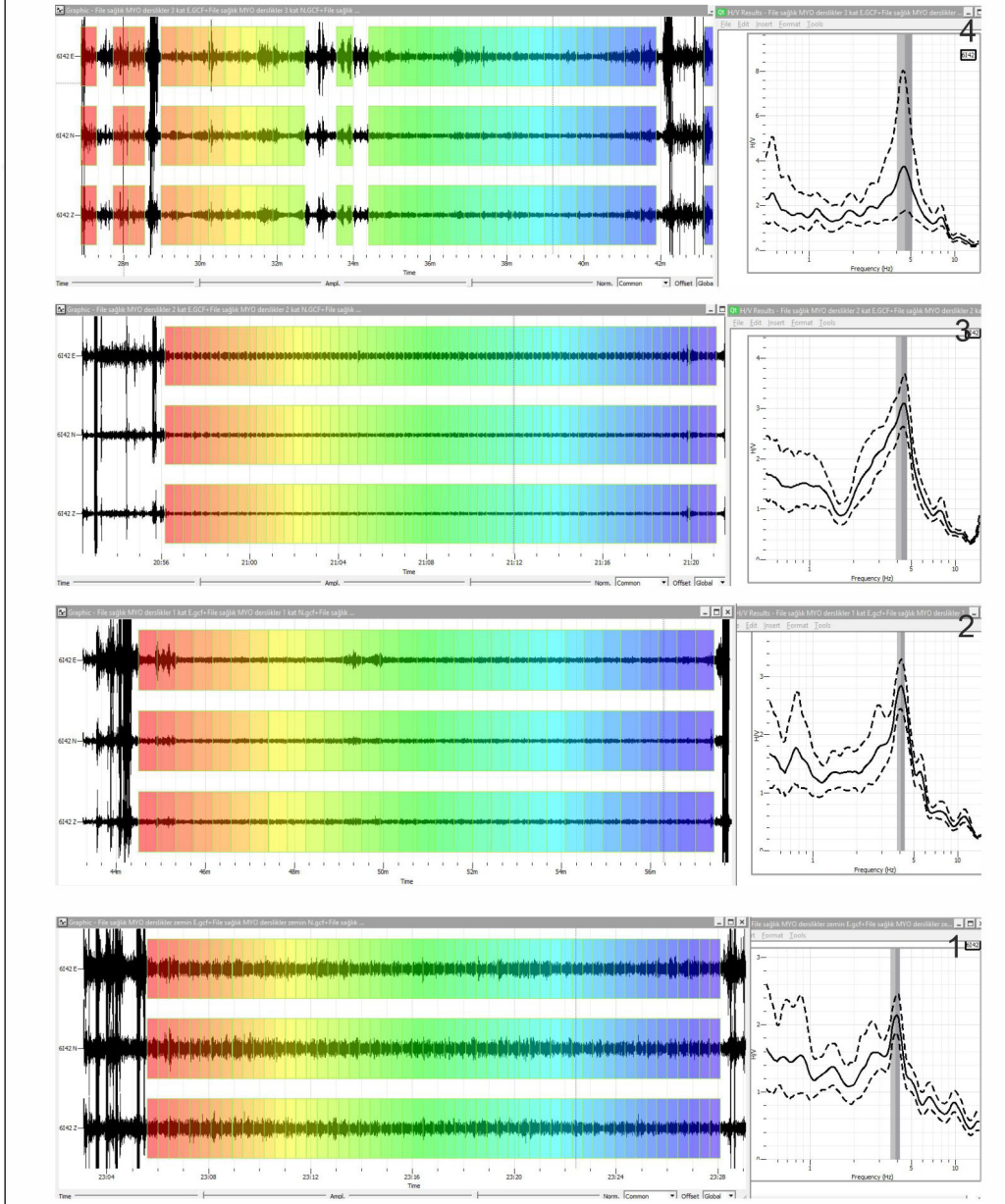
kullanılan bloklarda yapı-zemin ilişkisi ortaya koymak için mikrotremor yöntemi kullanılarak hem zeminde hemde bina katlarında ölçümler alınmıştır (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11).



Şekil 4.9 Sağlık MYO binasına ait görüntüler



Şekil 4.10 Sağlık MYO binası öğretim üyesi ofisleri olarak kullanılan A ve B bloкта alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi



Şekil 4.11 Sağlık MYO binası derslik olarak kullanılan C blokta alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi

Çizelge 4.3 Sağlık MYO binası bloklarının mikrotremor ölçüm sonuçları

Blok	Ölçüm alınan katlar	Periyot T (sn)	Frekans f (Hz)	Büyütme
A	Dış mekan (Zemin)	1.56	0.64	5.77
	Zemin kat	1.47	0.68	5.40
	Kat 1	0.24	4.12	2.00
	Kat 2	0.24	4.25	3.09
	Kat 3	0.23	4.29	3.44
	Kat 4	0.22	4.54	6.02
B	Zemin kat	1.45	0.69	8.06
	Kat 1	0.22	4.5	3.03
	Kat 2	0.22	4.46	3.83
	Kat 3	0.22	4.56	6.74
	Kat 4	0.22	4.51	8.94
C	Zemin kat	0.26	3.89	2.13
	Kat 1	0.25	4.07	2.84
	Kat 2	0.23	4.30	3.04
	Kat 3	0.22	4.58	3.71

Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Çizelge 4.3'te verilen sonuçlar incelendiğinde bina doğal zemininde elde edilen periyot/frekans (1.56 sn / 0.64 Hz) değerleriyle bina zemin kat (1.45-1.47 sn) sonuçlarının yakın aralıkta olduğu, katlarda elde edilen (0.22-0.25 sn) değerlerin ise zemin periyot değerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bina doğal zeminde alınan mikrotremor veri sonuçlarından elde edilen yüksek periyot değerleri yapı bloklarının altındaki zeminin kalın, suya doymuş ve gevşek yapılı alüvyon zemin özelliğinde olduğunun göstergesidir. Elde edilen bu veriler Şekil 4.4'te alanın geneli için üretilmiş zemin hakim titreşim periyodu haritasıyla da uyumludur.

Sağlık MYO bina bloklarının normal katlarından elde edilen verilerde de bina periyotları net olarak belirlenmiştir. Bloklardaki hakim frekans genelde 4.5 Hz, periyod ise 0.22 sn civarında bariz pikler vermiştir. Bina zemin ve katlarındaki mikrotremor verilerinde katlardaki net pikler yapı kaynaklıdır (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11). Sonuçlara göre giriş kattan üst katlara çıkıldıkça büyütme değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

Sağlık MYO bina bloklarında zemin periyot verileri ile bina periyot verilerinin birbirinden farklı olmasından dolayı yapı-zemin ilişkisi açısından blokların girişim/rezonansa girme olasılığının düşük olduğu söylenebilir. Bu duruma, yapının 2011 Van depremlerinden sonra güçlendirilmesinin de etkili olduğu düşünülmektedir.

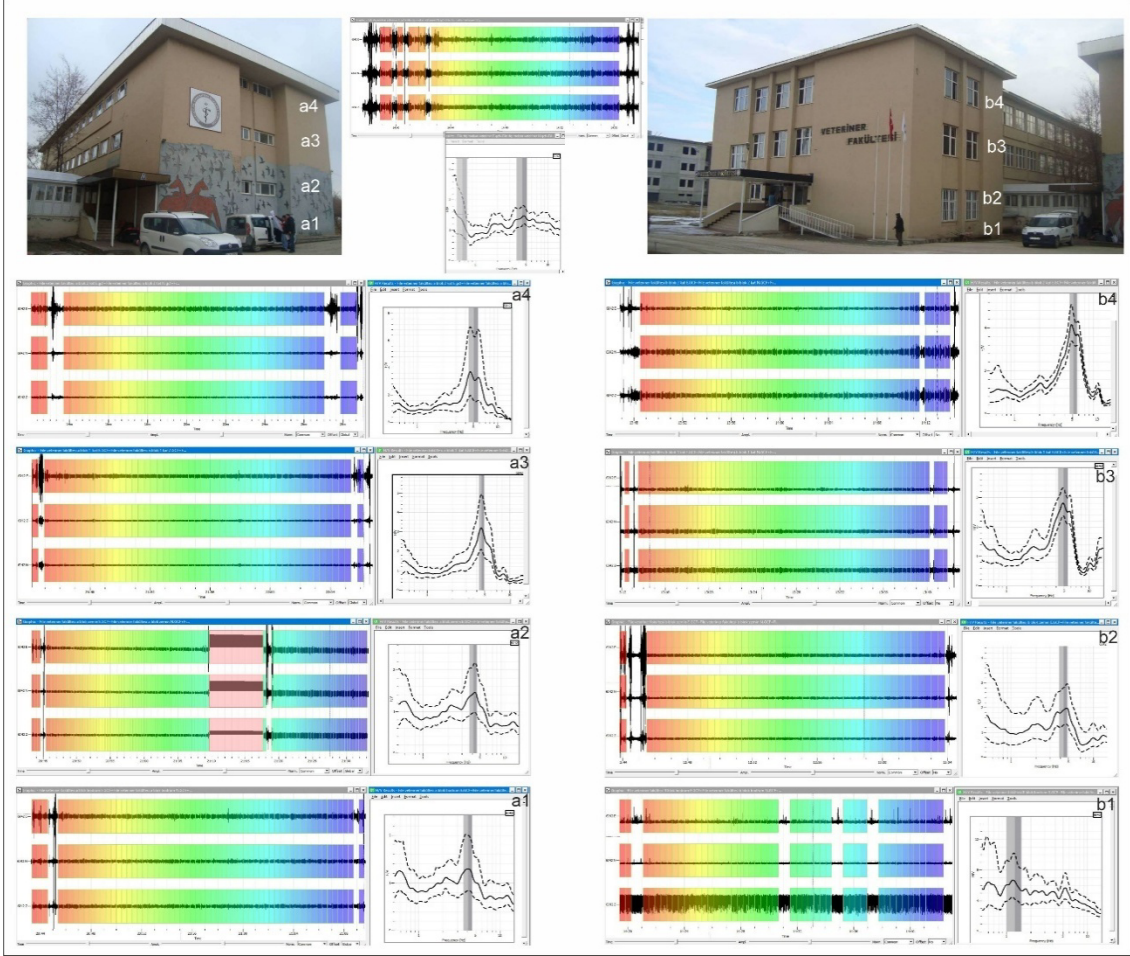
Ancak, binaların bulunduğu zeminlerin gevşek ve suya doygun karakteristikteki zayıf zemin özellikleri büyük ve hasar verici depremlerde bu yapıların farklı kuvvetlere maruz kalmasına ve dolayısıyla hasar almasına neden olabilir. Yüksekokul binasının bulunduğu alandaki düşük Vs30 hız değerleri ve göreceli olarak yüksek zemin büyütmesi değerleri (Şekil 4.4) bu binaların olası bir depremde daha fazla genlik büyütmesine maruz kalacağını göstermektedir.

Veteriner Fakültesi Binası

Van YYÜ Veteriner Fakültesi Binası A ve B Bloklardan ve bu blokları birbirine bağlayan koridordan oluşmaktadır. Ayrıca A Blok A1 ve A2, B Blok B1 ve B2 olmak üzere dilatasyonla birbirinden ayrılmıştır. A1 ve B1 Blok bodrum, zemin ve 2 normal kattan oluşan toplam 4 katlı binalardır. A2 ve B2 Bloğun bir kısmı A1 ve B1 Bloklarda olduğu gibi bodrum, zemin ve 2 normal kattan oluşmakta, merdivenlerin olduğu kısım ise bodrum, zemin ve 3 normal kattan oluşmaktadır (Şekil 4.12). Bloklar içindeki kat sayısı farkı değişik kat yüksekliklerine sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Blokların üst kotları aynıdır. Veterinerlik Fakültesi Binası da 2011 Van depremleri sonrasında 2012 yılında güçlendirilmiştir.



Şekil 4.12 Veteriner Fakültesi A ve B blok binalarına ait görüntüler



Şekil 4.13 Veteriner Fakültesi binası olarak kullanılan A ve B blokta alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi

Çizelge 4.4 Veteriner Fakültesi binası bloklarının mikrotremor ölçüm sonuçları

Blok	Ölçüm alınan katlar	Periyot T (sn)	Frekans f (Hz)	Büyütme
A	Dış mekan (Zemin)	1.61	0.62	1.77
	Bodrum kat	0.25	4.08	1.29
	Zemin kat	0.24	4.12	1.43
	Kat 1	0.22	4.58	3.19
	Kat 2	0.20	5.05	3.14
B	Bodrum kat	0.79	1.26	6.52
	Zemin kat	0.23	4.35	1.89
	Kat 1	0.21	4.89	2.8
	Kat 2	0.19	5.18	3.89

Şekil 4.13 ve Çizelge 4.4'te verilen sonuçlar incelendiğinde bina doğal zemininde elde edilen periyot/frekans (1.61 sn / 0.62 Hz) değerleriyle bina zemin kat (0.23 sn)

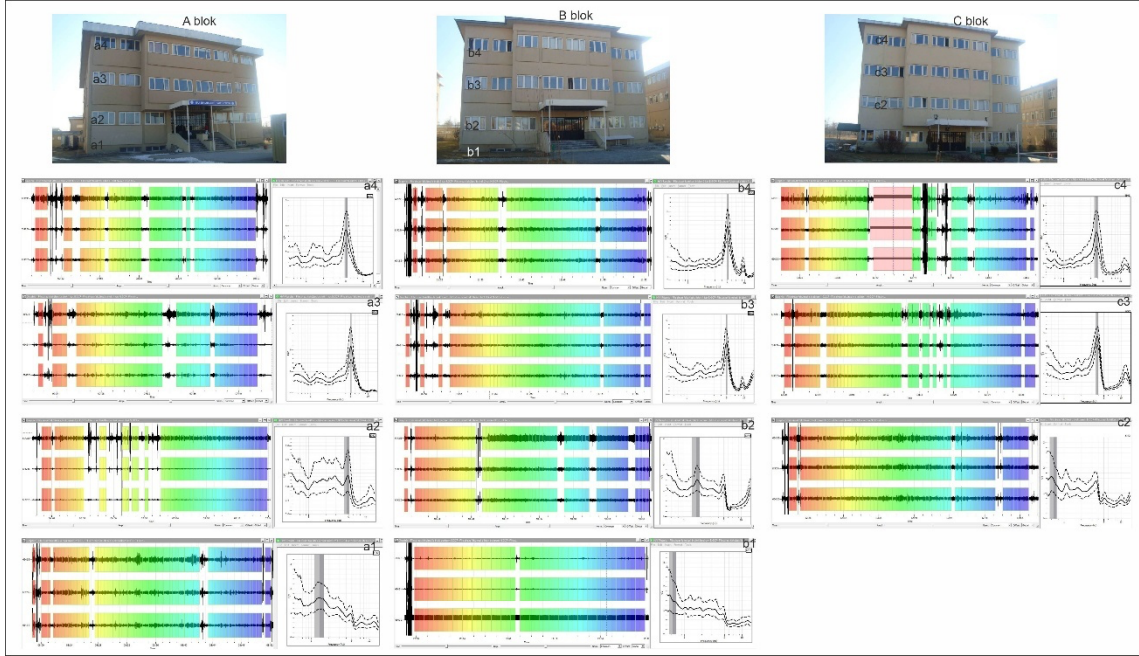
sonuçlarının ve katlarda elde edilen (0.19-0.22 sn) değerlerin farklı aralıkta olduğu görülmektedir. Veterinerlik Fakültesi bina bloklarının normal katlarından elde edilen verilerde de bina periyotları net olarak belirlenmiştir. Bina zemin ve katlarındaki mikrotremor verilerinde katlardaki net pikler yapı kaynaklıdır (Şekil 4.13). Doğal zeminden alınan veriden elde edilen 2.pikte periyot 0.22 sn, frekans 4.45 Hz, büyütme 1.44 olarak elde edilmektedir. Bu durumda doğal zemin ile yapı periyot aralığı birbirine yakın olmaktadır. Veterinerlik Fakültesi bina bloklarında zemin periyot verileri ile bina periyot verilerinin birbirinden farklıdır. Ancak, doğal zemin ölçüsündeki 2.pik değerinin yapı periyoduna yakın olması rezonans olasılığını arttırmaktadır. A ve B blok bodrum kat verilerinin farklılığı fakülte binasının farklı zemin özelliklerine sahip zeminler üzerine kurulu olduğunun göstergesidir. A blok bodrum kat periyot değerleri bina kat verilerine yakinken, B blok bodrum kat periyot değerleri doğal zemin periyoduna yakındır. Olası bir depremde her iki bloğun farklı davranacağı yapı-zemin ilişkisi açısından girişim/rezonansa girme olasılığının olduğu düşünülmektedir. Bu durum yapının deprem performansı açısından risk oluşturabilir. Binanın az katlı olması ve bodrum katın varlığı ise deprem performansını arttırıcı bir etken olarak görülmüştür. Fakülte binasının bulunduğu alandaki göreceli olarak yüksek zemin periyot ve büyütme değerleri (Şekil 4.4) bu binaların olası bir depremde daha fazla genlik büyütmesine maruz kalacağını göstermektedir.

Ziraat Fakültesi Binası

Van YYÜ Ziraat Fakültesi Binaları A, B, C ve D Bloklardan ve bu blokları birbirine bağlayan koridorlardan oluşmaktadır. Ayrıca B Blok B1 ve B2, C Blok C1 ve C2 olmak üzere dilatasyonla birbirinden ayrılmıştır. A ve B1 Blok bodrum, zemin ve 2 normal kattan oluşan toplam 4 katlı binalardır. B2 Blok bodrum, zemin ve 3 normal kattan oluşan toplam 5 katlı bir binadır. C1 Blok zemin ve 3 normal kattan oluşan 4 katlı bir binadır. C2 Blok zemin ve 4 adet normal kattan oluşan 5 katlı bir binadır. D Blok zemin ve 1 adet normal kattan oluşan 2 katlı bir binadır (Şekil 4.14). Bloklar arasındaki kat farkı değişik kat yüksekliklerine sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Ziraat Fakültesi binaları 2011 Van depremlerinden sonra 2012 yılında güçlendirilmiştir.



Şekil 4.14 Ziraat Fakültesi A, B, C ve D blok binalarına ait görüntüler



Şekil 4.15 Ziraat Fakültesi binası olarak kullanılan A, B ve C blokta alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi

Şekil 4.15 ve Çizelge 4.5'te verilen sonuçlar incelendiğinde bina doğal zemininde elde edilen periyot/frekans (0.65 sn/1.54 Hz) değerleriyle bina zemin kat (0.21-0.61-1.54 sn / 4.67-1.65-0.65 Hz) sonuçlarının farklı aralıkta olduğu, katlarda elde edilen değerlerin (0.2-0.27 sn) ise zemin periyot değerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Binaların kurulu olduğu zeminin suya doymun ve gevşek yapılı siltli-killi-kum özellikli alüvyon zemin özelliğinde olması, bununla birlikte Ziraat Fakültesi binalarının bulunduğu alanın eski dere yatağı olması yapı-zemin etkileşimi açısından çeşitli problemlere neden olacak niteliktedir. Hatta ilgili binalar önceki yıllarda özellikle de 2023 ve 2024 yıllarında yağış

yoğunluğuna da bağlı olarak bodrum ve zemin katlarına su dolmasıyla etkilenmiştir. Fakülte binaları 35-40 yıllık eski yapılar olması bu nemlilik ve rutubete bağlı taşıyıcı sistemde oluşan/oluşacak problemler (korozyon, nemlilik, dayanım kaybı vb.) söz konusudur.

Çizelge 4.5 Ziraat Fakültesi binası bloklarının mikrotremor ölçüm sonuçları

Blok	Ölçüm alınan katlar	Periyot T (sn)	Frekans f (Hz)	Büyütme
A	Dış mekan (Zemin)	0.65	1.54	3.02
	Bodrum kat	0.72	1.39	1.63
	Zemin kat	0.21	4.67	1.08
	Kat 1	0.20	5.06	4.34
	Kat 2	0.20	5.01	3.71
B	Bodrum kat	1.59	0.63	1.39
	Zemin kat	0.61	1.65	1.42
	Kat 1	0.20	4.97	2.78
	Kat 2	0.20	5.06	4.69
C	Bodrum kat	-	-	-
	Zemin kat	1.54	0.65	1.56
	Kat 1	0.26	3.78	2.8
	Kat 2	0.27	3.73	3.14

Elde edilen bu veriler Şekil 4.4'te alanın geneli için üretilmiş zemin hakim titreşim periyodu haritasıyla da uyumludur. Fakülte binalarının bloklarının normal katlarından elde edilen verilerde de bina periyotları net olarak belirlenmiştir. Ölçüm yapılan binalardaki verilerin değerlendirilmesi sonucunda binaların hakim/baskın frekansı A ve B blokta 5 Hz (0.2 sn) civarında, C blokta ise 3.8 Hz (0.26 sn) değerinde bariz pikler elde edilmiştir. Bina kat verilerinde net olarak görülen bu hakim periyot/frekans değerlerinin bloklarda farklılık göstermesinin temel nedeni olarak farklı taşıyıcı sistem özellikleri, eleman boyutu, taban alanı, çerçeve genişliği, perde alanı vb. farklılıklardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte yukarıda da ifade edildiği gibi göl-akarsu çökeli alüvyon zemin karakteristiğindeki zeminler kısa mesafelerde farklı zemin yapısı sergileyebilmektedir. Bu durumunun yapı-zemin etkileşimi açısından etken faktör olduğu düşünülmektedir. Binalarda alınan ölçülerde de katlardaki net pikler yapı kaynaklıdır (Şekil 4.15). Bu binada elde edilen sonuçlarda da zeminde üst katlara doğru ilerledikçe büyütme değerlerinin de artış gösterdiği görülmüştür.

Eğitim Fakóltesi Binası

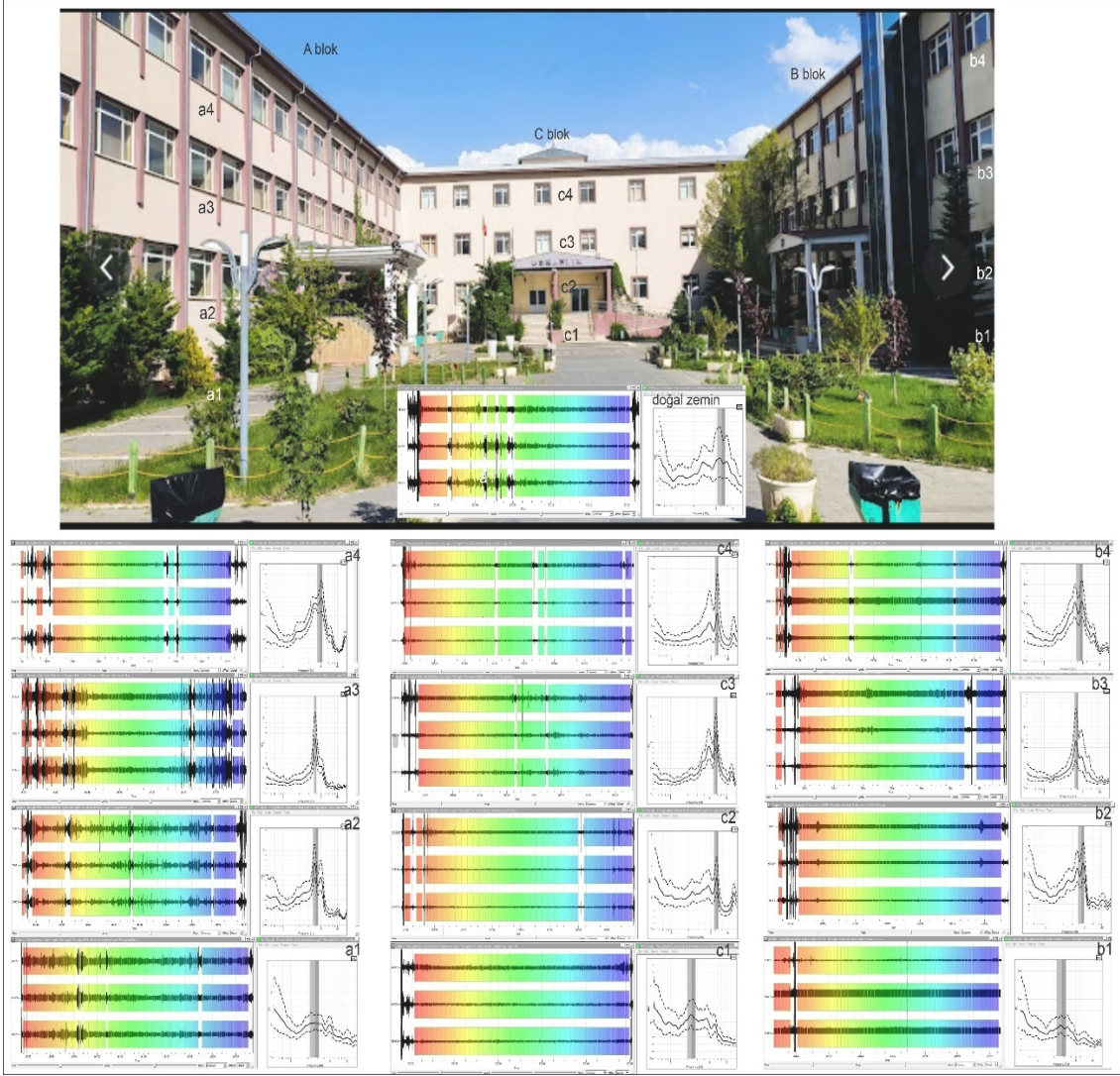
Van YYÜ Eğitim Fakóltesi A, B ve C Bloklardan oluşmaktadır. A ve B Blokların her biri dilatasyonla birbirinden ayrılan ikişer bina şeklinde (A1, A2 ve B1, B2 bloklar). A ve B Bloklar bodrum, zemin ve 2 adet normal kattan oluşan toplam 4 katlı binalardır. C Blok ise A ve B blokları bağlayan dört katlı bir binadır (şekil 4.16). İlgili bloklar 2012 yılında güçlendirilmiştir.



şekil 4.16 Eğitim Fakóltesi A, B ve C blok binalarına ait görüntüler

Fakólte binalarının bloklarının normal katlarından elde edilen verilerde bina periyotları net olarak belirlenmiştir. Eğitim Fakóltesi binaları için elde edilen mikrotremor ölçüm sonuçları incelendiğinde bina doğal zemininde elde edilen periyot/frekans (0.16 sn/6.29 Hz) değerleriyle bina bodrum kat (0.37-0.42 sn / 2.69-2.39 Hz) sonuçlarının ve zemin kat (0.25-0.23-0.16 /4.04-4.32-6.22) sonuçlarının birbirine yakın aralıkta olduğu, katlarda elde edilen değerlerin (0.16-0.26 sn) ise zemin periyot değerleri ile benzer veya yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir (şekil 4.17 ve Çizelge 4.6). Doğal zemin ölçüsündeki değerin yapı zemin ve kat periyotlarına yakın olması rezonans olasılığını arttırmaktadır. Özellikle de iki bloğu (A ve B blok) birbirine bağlayan C blok zeminle aynı periyot değerlerindedir. Bu durumda olası büyük depremlerde bu blokların daha fazla kuvvete maruz kalabileceği düşünölmektedir. Binaların kurulu olduğu zeminin ince çakıllı kumlu sert kil zemin özelliğindedir. Bu zemin özellikleri de yapı-zemin ilişkisi açısından girişim/rezonansa girme olasılığının bir diğer faktördür. Bu etkenler yapının deprem performansı açısından tehlike oluşturabilir. Binanın az katlı olması ve

bodrum katın varlığı ise deprem performansını arttırıcı bir etken olarak değerlendirilebilir. Fakülte binasının bulunduğu alandaki göreceli olarak yüksek zemin büyütmesi ve düşük Vs30 hız değerleri de (Şekil 4.4) bu binaların olası bir depremde daha fazla genlik büyütmesine maruz kalacağını göstermektedir.



Şekil 4.17 Eğitim Fakültesi binası olarak kullanılan A, B ve C blokta alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi

Çizelge 4.6 Eğitim Fakültesi binası bloklarının mikrotremor ölçüm sonuçları

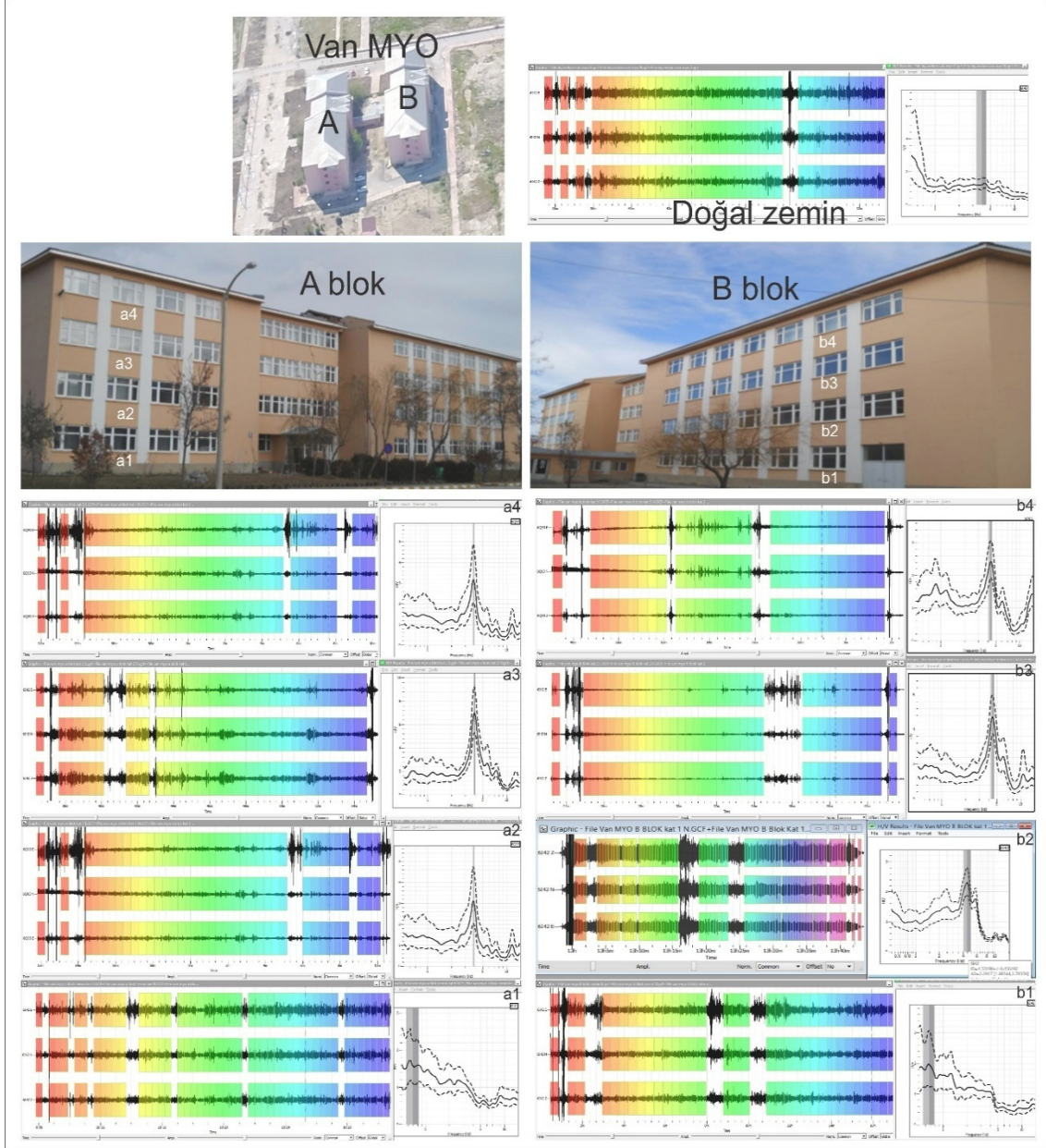
Blok	Ölçüm alınan katlar	Periyot T (sn)	Frekans f (Hz)	Büyütme
A	Dış mekan (Zemin)	0.16	6.29	1.83
	Bodrum kat	0.37	2.69	1.06
	Zemin kat	0.25	4.04	2.19
	Kat 1	0.26	3.91	4.32
	Kat 2	0.21	4.82	2.63
B	Bodrum kat	0.37	2.72	1.08
	Zemin kat	0.23	4.32	1.59
	Kat 1	0.26	3.8	4.55
	Kat 2	0.23	4.38	2.63
C	Bodrum kat	0.42	2.39	1.21
	Zemin kat	0.16	6.22	1.6
	Kat 1	0.16	6.34	2.8
	Kat 2	0.16	6.36	4.65

Van Meslek Yüksek Okulu Binası

Van Meslek Yüksek Okulu A, B ve C Bloklardan oluşmaktadır. A ve B Blokların taşıyıcı sistemleri aynı olup, her biri dilatasyonla birbirinden ayrılan üçer binadan oluşmaktadır (A1, A2, A3 ve B1, B2, B3 bloklar). A ve B Bloklar zemin ve 3 adet normal kattan oluşan toplam 4 katlı binalardır. C Blok A ve B blokları bağlayan tek katlı bir binadır (Şekil 4.18). 2011 Van depremlerinden sonra bu bloklarda güçlendirilmiştir.

Van MYO binalarının A ve B bloklarının normal katlarından elde edilen verilerde bina periyotları net olarak belirlenmiştir (Şekil 4.18). Yüksekokul binaları için elde edilen mikrotremor ölçüm sonuçları incelendiğinde bina doğal zemininde elde edilen periyot/frekans (0.26 sn/3.89 Hz) değerleriyle bina zemin kat (1.45-1.49 /0.69-0.67) sonuçlarının birbirine farklı olduğu, katlarda elde edilen değerlerin (0.23-0.26 sn) ise zemin periyot değeri ile benzer değerlerde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.18 ve Çizelge 4.7). Doğal zemin ölçüsündeki değer yapı kat periyotlarına yakın olması rezonans olasılığını arttırmaktadır. Özellikle A blok zeminle aynı periyot değerlerindedir. Bu durumda olası büyük depremlerde bu blokların daha fazla kuvvete maruz kalabileceği düşünülmektedir. Binaların kurulu olduğu zeminin ince çakıllı kumlu sert kil zemin özelliğindedir. Bu zemin özellikleri de yapı-zemin ilişkisi açısından girişim/rezonansa girme olasılığının bir diğer faktörüdür. Bu etkenler yapının deprem performansı açısından

tehlike oluşturabilir. Yüksekokul binasının bulunduğu alandaki göreceli olarak yüksek zemin büyütmesi ve düşük Vs30 hız değerleri de (Şekil 4.4) bu binaların olası bir depremde daha fazla genlik büyütmesine maruz kalacağını göstermektedir.



Şekil 4.18 Van Meslek Yüksek Okulu binası olarak kullanılan A ve B blokta alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi

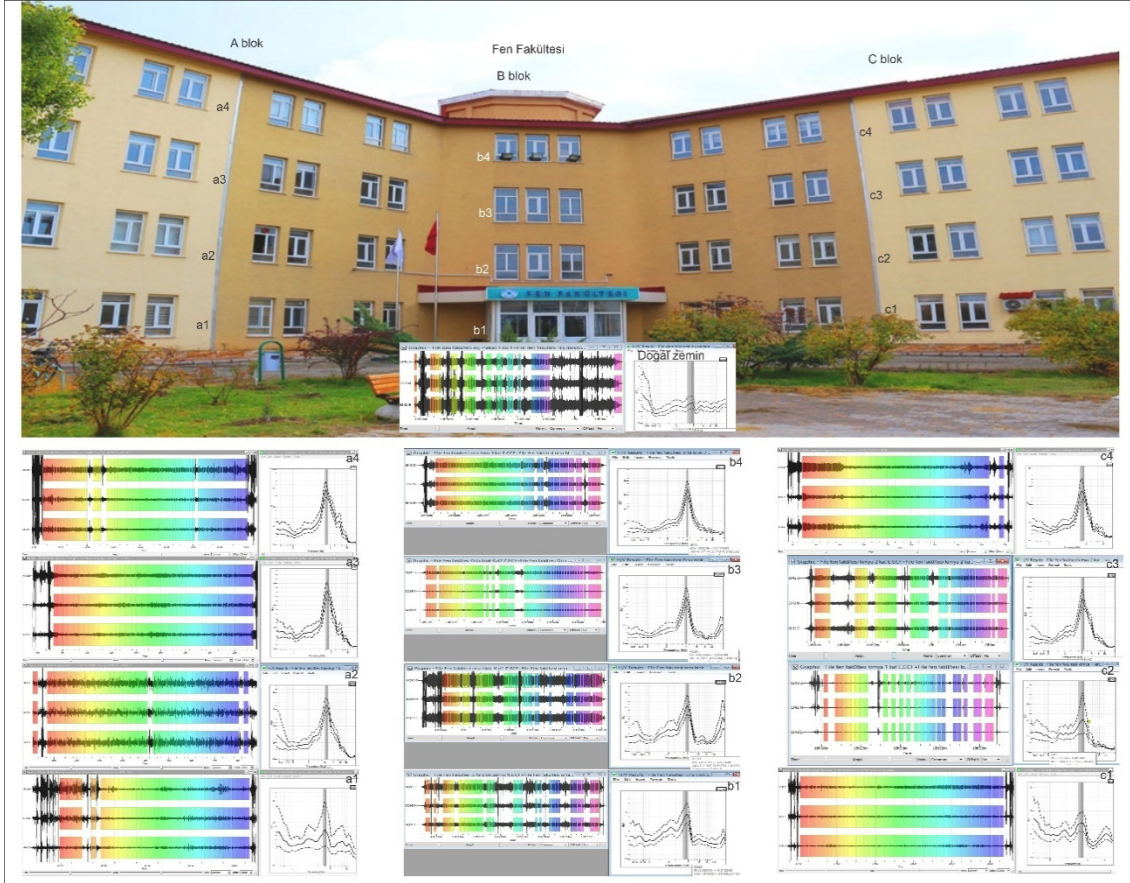
Çizelge 4.7 Van MYO binası bloklarının mikrotremor ölçüm sonuçları

Blok	Ölçüm alınan katlar	Periyot T (sn)	Frekans f (Hz)	Büyütme
A	Dış mekan (Zemin)	0.26	3.89	1.21
	Zemin kat	1.45	0.69	1.57
	Kat 1	0.26	3.85	2.95
	Kat 2	0.26	3.90	6.98
	Kat 3	0.26	3.83	3.16
B	Zemin kat	1.49	0.67	1.96
	Kat 1	0.22	4.53	2.30
	Kat 2	0.23	4.40	4.71
	Kat 3	0.23	4.28	2.41

Fen Fakültesi Binası

Fen Fakültesi (Biyoloji – Kimya Bölümleri) birbirlerine bitişik olan A, B ve C Bloklardan oluşmaktadır. A, B ve C Bloklar zemin ve 3 adet normal kattan oluşan toplam dört katlı binalardır. B Blok, A ve C blokları bağlayan dört katlı bir binadır (Şekil 4.19). 2011 Van depremlerinden sonra 2012 yılında bu bloklarda güçlendirilmiştir.

Fen Fakültesi (Biyoloji – Kimya Bölümleri) binalarının A, B ve C bloklarının normal katlarından elde edilen verilerde bina periyotları net olarak belirlenmiştir (Şekil 4.19). Fakülte binaları için elde edilen mikrotremor ölçüm sonuçları incelendiğinde bina doğal zemininde elde edilen periyot/frekans (0.27 sn/3.62 Hz) değerleriyle bina zemin kat (0.25-0.27 /3.95-3.76) sonuçlarının birbirine yakın olduğu, katlarda elde edilen değerlerin (0.24-0.26 sn) ise zemin periyot değeri ile benzer değerlerde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.19 ve Çizelge 4.8). Doğal zemin ölçüsündeki değerlerin yapı kat periyotlarına yakın olması rezonans olasılığını arttırmaktadır. Gerek alüvyon zemin özellikleri, yüksek zemin büyütmesi ve düşük Vs30 hız değerleri (Şekil 4.4) gerekse zemin ve bina katlarının periyotlarının aynı aralıkta olması dolayısıyla girişim/rezonansa girme olasılığının yüksek olması büyük depremlerde bu blokların daha fazla kuvvete maruz kalabileceğini göstermektedir. Her ne kadar bu bloklar güçlendirilmiş olsalar da deprem performansı açısından riskli olarak değerlendirilmiştir.



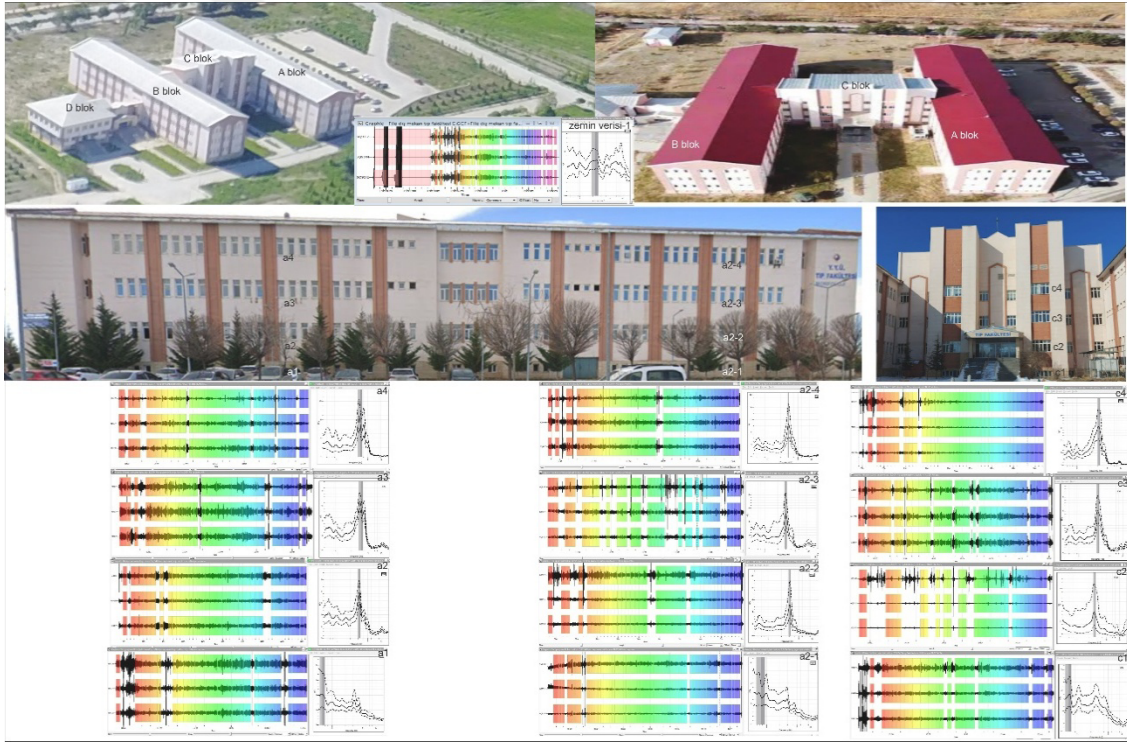
Şekil 4.19 Fen Fakültesi binası olarak kullanılan A ve B blokta alınan mikrotremor verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi

Çizelge 4.8 Fen Fakültesi binası bloklarının mikrotremor ölçüm sonuçları

Blok	Ölçüm alınan katlar	Periyot T (sn)	Frekans f (Hz)	Büyütme
A	Dış mekan (Zemin)	0.27	3.62	1.74
	Zemin kat	0.25	3.95	1.75
	Kat 1	0.24	4.12	3.22
	Kat 2	0.24	4.22	5.25
	Kat 3	0.24	4.17	5.74
B	Zemin kat	0.27	3.63	1.87
	Kat 1	0.25	3.93	3.11
	Kat 2	0.25	4.00	4.88
	Kat 3	0.25	4.03	6.77
C	Zemin kat	0.27	3.76	1.46
	Kat 1	0.26	3.87	1.99
	Kat 2	0.24	4.13	4.76
	Kat 3	0.24	4.13	5.48

Tıp Fakültesi Binası

Tıp Fakültesi binaları makam odaları ve derslik olarak kullanılan A, B, C ve D Bloklardan oluşmaktadır. A ve B Blokların taşıyıcı sistemleri aynı olup, her biri dilatasyonla birbirinden ayrılan üçer binadan oluşmaktadır (A1, A2, A3 ve B1, B2, B3 bloklar). A ve B Bloklar bodrum, zemin ve 2 adet normal kattan oluşan toplam 4 katlı binalardır. C Blok, A ve B blokları bağlayan dört katlı bir bina, D blok ise 2 katlı bir binadır (Şekil 4.20). Tıp Fakültesi olarak kullanılan binalar 23 Ekim 2011 Van depremlerinden sonra ağır hasar almış bu nedenle de 2012 yılında bu bloklarda güçlendirme işlemleri uygulanmıştır.



Şekil 4.20 Tıp Fakültesi binası olarak kullanılan A, B ve C blokta alınan mikrotremör verileri, analiz sonuçları ve genlik spektrumlarının katlara göre değişimi

Tıp Fakültesi binalarının A ve C bloklarının normal katlarından elde edilen verilerde bina periyotları net olarak belirlenmiştir (Şekil 4.20). Fakülte binaları için elde edilen mikrotremör ölçüm sonuçları incelendiğinde bina doğal zemininde elde edilen periyot/frekans (0.44 sn/2.27 Hz) değerleriyle bina bodrum ve zemin kat (0.32-0.33-0.37-0.34-0.32 /3.17-3.06-2.72-2.92-3.14) sonuçlarının birbirine yakın değer aralıklarında

olduğu, katlarda elde edilen değerlerin (0.29-0.37 sn) ise zemin periyot değeri ile benzer değerlerde olduğu belirlenmiştir (Şekil 4.20 ve Çizelge 4.9). Doğal zemin ölçüsündeki değerlerin yapı kat periyotlarına yakın olması rezonans olasılığını arttırmaktadır. Tıp Fakültesi binalarının bulunduğu alan suya doymuş ve gevşek yapılı kum-çakıl-silt-kil birimlerden ve bu birimlerin ardalanmasından oluşan yeraltı su seviyesinin sığ olduğu bir zemin özelliğinde olan bölgede inşa edilmiştir. Bölge yerleşkedeki sıvılaşma potansiyeli olan ender yerlerden birisidir (Selçuk 2003; Akın vd., 2014, 2015; Özvan vd., 2015).

Çizelge 4.9 Tıp Fakültesi binası bloklarının mikrotremor ölçüm sonuçları

Blok	Ölçüm alınan katlar	Periyot T (sn)	Frekans f (Hz)	Büyütme
A1	Dış mekan (Zemin1)	0.44	2.27	1.59
	Bodrum kat	1.64	0.61	2.04
	Zemin kat	0.32	3.17	3.86
	Kat 1	0.29	3.39	6.15
	Kat 2	0.29	3.43	8.27
A2	Bodrum kat	1.33	0.75	1.33
	Zemin kat	0.33	3.06	5.11
	Kat 1	0.33	2.99	5.13
	Kat 2	0.33	3.02	10.51
C	Bodrum kat	1.59	0.63	1.76
	Zemin kat	0.37	2.72	1.53
	Kat 1	0.37	2.73	6.02
	Kat 2	0.32	3.13	6.20
B1	Bodrum kat	0.30	3.31	1.66
	Zemin kat	0.34	2.92	2.00
	Kat 1	0.30	3.31	5.83
	Kat 2	0.30	3.28	8.68
B2	Bodrum kat	0.32	3.14	1.78
	Zemin kat	0.32	3.14	3.63
	Kat 1	0.31	3.23	6.13
	Kat 2	0.32	3.14	6.42

Dolayısıyla olası büyük bir depremde yapı hasar derecesini arttırabilecek zemin özelliğindedir. Gerek suya doymuş ve gevşek alüvyon zemin özellikleri, gerek yüksek zemin büyütmesi ve düşük Vs30 hız değerleri (Şekil 4.4), gerekse zemin ve bina katlarının periyotlarının aynı aralıkta olması dolayısıyla bu binaların girişim/rezonansa girme olasılığın arttırmaktadır. Bölgede meydana gelecek yüksek ivmeler üretebilecek

büyük ve hasar verici depremlerde bu blokların daha fazla kuvvete maruz kalabileceği düşünülmektedir. Fakülte bina blokları 2012 yılında güçlendirilmiş olsalar da bölgenin depremselliği ve zemin karakteri göz önüne alındığında deprem performansı açısından riskli olarak değerlendirilmiştir.





5. TARTIŞMA VE SONUÇ

5.1 Tartışma

Ülkemiz ve dünyada yapı-zemin etkileşimi, deprem etkileri, mühendislik analizleri, yapısal analizler, deprem performans analizleri gibi pek çok konuda jeofizik yöntemler inşaat mühendisliği uygulamalarına katkılar sunmaktadır. Bu çalışmalar amaca yönelik olarak çok çeşitlilik göstermektedir.

Bu analiz ve uygulamalardan en önemlilerinden bir tanesi yapı-zemin etkileşiminin belirlenmesi ve yapısal analizler için titreşim periyodunun elde edilmesidir. Bu amaçla, mikrotremor yöntemi yapısal analizlerle yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tez çalışması kapsamında, bu durumlar gözetilerek binalarda gerçekleştirilen mikrotremor ölçümleri ile yapısal analiz periyotlarının karşılaştırılması gerekliliği de tartışılmıştır.

Titreşim periyodu binaların deprem davranışını analiz etme ve değerlendirmede kullanılan dinamik özellikler arasındaki belirleyici parametrelerden birisidir. Bununla birlikte, titreşim periyodu eşdeğer deprem yükü hesaplamasında ve deprem performansının değerlendirmesinde kullanılan önemli parametrelerdendir. Dolgu duvarlı betonarme binaların doğal periyodundaki farklılıklara etki eden temel belirteç bina kat sayısı veya bina toplam yüksekliğidir. Taşıyıcı sistemleri oluşturan elemanların miktarı, dolgu duvar rijitliği, dolgu duvar boşluk ve doluluk miktarı, açıklık sayısı ve mesafesi (bina doğrultuları), birim hacim ağırlığı ve dayanımı gibi parametreler de betonarme binaların doğal periyoduna etki eden diğer parametrelerdir.

Genel olarak deprem yönetmeliklerinde betonarme binaların doğal titreşim periyodu gerek yaklaşım gerekse kolaylık açısından ampirik periyot formülleri ile hesaplanmaktadır (N kat sayısı ve H kat yüksekliği olmak üzere; $T = 0.1 * N$ (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, DBYBHY-2007; $T = C_t * H^{\frac{3}{4}}$ (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, TBDY-2018)). Kat yüksekliği ile ilişkili ampirik periyot bağıntıları yaklaşım amaçlıdır. Yapının taşıyıcı sistemlerinin etkisi yeteri kadar etkili olmadığı için doğru sonuçlar vermeyebilir.

Bununla birlikte gerek kullanım kolaylığı gerek veri üretme kapasitesi gerekse hem zemin hem de yapısal analizlerde kullanılabilen mikrotremor yöntemi ile üretilen

periyot değerleri binalar için titreşim periyodu hesaplamaları yapılarak, yapısal analiz için yaklaşımlar yapılabilir.

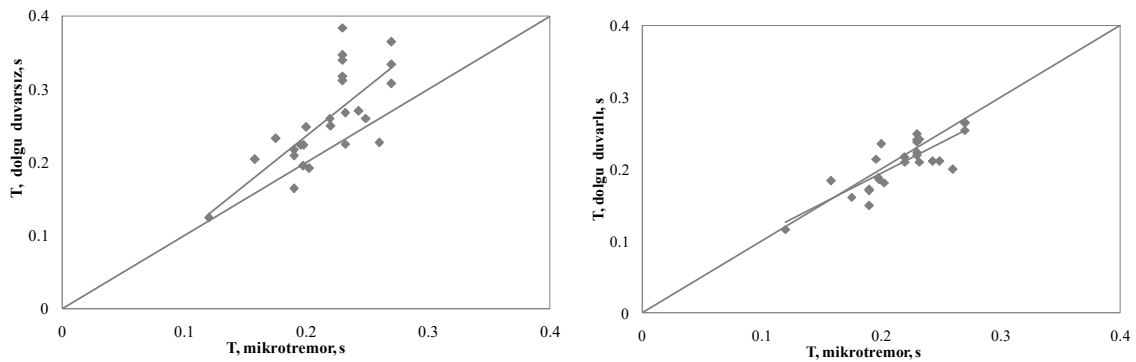
Bu amaç için tez çalışması kapsamında elde edilen bina periyot değerlerinin bir kısmı yerleşkedeki binaların yapısal analizlerinde kullanılmıştır (Yiğit, 2019). Yapısal analiz (3-boyutlu bina modellemeleri) çalışmalarında, 23 adet betonarme binanın katlarında gerçekleştirilen mikrotremor ölçümlerinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Her kat için mikrotremor kayıtlarının doğu-batı ve kuzey-güney yönlü bileşenleri ile yapının asal doğrultuları (x,y) dikkate alınarak yapılar için doğal periyot değerleri elde edilerek kullanılmıştır. Çizelge 5.1'de dönüştürülen eksen doğrultuları ve her iki yöntem sonucunda elde edilen periyot değerleri verilmiştir.

Van YYÜ yerleşim alanında kullanılan dolgu duvarlı betonarme binaların mevcut proje bilgileri esas alarak modellenmiştir (Yiğit, 2019). Bilgisayar modellerinden bulunan periyot değerleri ile aynı binalardan elde edilen mikrotremor ölçümleri sonucu belirlenen periyotlar karşılaştırılmıştır (Çizelge 5.1, Şekil 5.1).

Elde edilen veriler incelendiğinde (Şekil 5.1), dolgu duvarsız modellerden hesaplanan analiz periyotları ile mikrotremor sonuçları arasında bir ilişki olduğu ancak yapısal analizlerden hesaplanan periyotların daha büyük değerlere ulaştığı görülmektedir. Buna karşın, mikrotremor sonuçları ile dolgu duvarlı olarak modellenen binalardan hesaplanan doğal periyotlar karşılaştırıldığında ise periyotların birbirine yaklaştığı ve aradaki farkın küçüldüğü görülmüştür (Şekil 5.1). Dolgu duvarlı betonarme binaların doğal titreşim periyodu bina toplam yüksekliği veya bina kat sayısı, binanın düşey taşıyıcı elemanlarını oluşturan kolon ve perde duvar miktarları, dolgu duvar miktarı, beton malzemesinin birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı ve elastisite modülü, bina planının asal doğrultu uzunlukları gibi birçok yapısal parametrelerden etkilenmektedir. Buna karşın, yapının doğal periyodundaki değişimde yapı kütlesi ve yapı rijitliği etken parametreler olarak bilinmektedir.

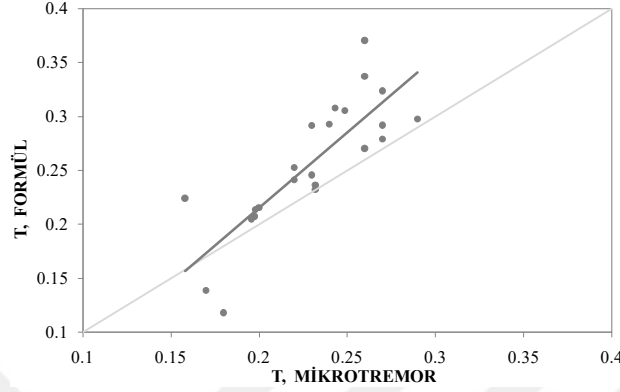
Çizelge 5.1 Yapısal analiz ve mikrotremor periyot değerlerinin karşılaştırılması

Bina No	Mikrotremor Periyotları	Mikrotremor Yönleri	Analiz Periyotları	Eksen Doğrultuları
1	0.18	Kuzey-Güney	0.16	Y-yönü
2	0.19	Kuzey-Güney	0.15	Y-yönü
3	0.20	Kuzey-Güney	0.21	Y-yönü
4	0.20	Kuzey-Güney	0.24	Y-yönü
5	0.23	Kuzey-Güney	0.21	Y-yönü
6	0.23	Kuzey-Güney	0.24	Y-yönü
7	0.16	Doğu-Batı	0.18	Y-yönü
8	0.20	Kuzey-Güney	0.19	Y-yönü
9	0.19	Kuzey-Güney	0.21	Y-yönü
10	0.19	Kuzey-Güney	0.21	Y-yönü
11	0.22	Doğu-Batı	0.24	Y-yönü
12	0.29	Doğu-Batı	0.23	Y-yönü
13	0.27	Doğu-Batı	0.28	X-yönü
14	0.27	Doğu-Batı	0.28	X-yönü
15	0.27	Kuzey-Güney	0.25	Y-yönü
16	0.23	Doğu-Batı	0.22	X-yönü
17	0.23	Doğu-Batı	0.28	X-yönü
18	0.23	Kuzey-Güney	0.22	Y-yönü
19	0.20	Kuzey-Güney	0.19	Y-yönü
20	0.25	Kuzey-Güney	0.23	Y-yönü
21	0.24	Doğu-Batı	0.23	Y-yönü
22	0.26	Kuzey-Güney	0.20	Y-yönü
23	0.23	Doğu-Batı	0.29	X-yönü



Şekil 5.1 Dolgu duvarlı ve dolgu duvarlı olarak modellenen binalardan elde edilen periyotlar ile mikrotremor sonuçlarının karşılaştırılması (Yiğit, 2019'dan değiştirilerek alınmıştır.)

Bu elde edilen bulgular ve yapısal analizlerde kullanılan parametreler kullanılarak Yiğit (2019) tarafından periyot bağıntısı üretilmiştir. Şekil 5.2'de analitik ve deneysel yöntemlerle belirlenen doğal periyotlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.2 Mikrotremor ve yapısal analizlerden elde edilen bağıntı periyotlarının karşılaştırılması

Analitik olarak türetilen bağıntıdan elde edilen periyotlar ile mikrotremor verilerinden elde edilen periyotlar karşılaştırıldığında büyük oranda birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir (RMS hata oranı 0.045).

Tüm bu yapısal analiz sonuçları, analitik bağıntı sonuçları ve mikrotremor ölçüm sonuçları birbirleri ile uyumludur. Bu oyum doğrudan, hızlı, pratik ve güvenilir veri setleri oluşturabilen mikrotremor ölçüm sonuçlarının binaların titreşim periyodunun elde edilmesinde kullanılabilirliği bir kez daha ortaya koymuştur.

5.2 Sonuçlar

Tez çalışması kapsamında yapılan analizlere bağlı olarak Van YYÜ yerleşim alanındaki bazı binalar için titreşim periyodu/frekansı ve büyütme değerleri elde edilmiştir. Bununla birlikte, elde edilen bulguların karşılaştırılması, veri kalitesinin güvenilirliği, yapısal analizlerde kullanılabilirliği ve yorumlanması amacıyla Van YYÜ yerleşim alanı için üretilen jeolojik ve jeofizik verilere dayalı zemin bilgileri kullanılmış, 3-boyutlu (3B) yapısal analizlerden elde edilen analitik sonuçlarla bu tez kapsamında üretilen veriler karşılaştırılarak analizlerde ve yorumlarda kullanılabilirliği ortaya konmuştur.

Bu tez kapsamında, 23 Ekim 2011 Van depremlerinden en çok etkilenen alanlardan birisi olan Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi yerleşim alanında bulunan bazı binaların (depremler sonrası güçlendirilen) yapı-zemin etkileşimleri mikrotremor yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Çalışma alanında eczacılık fakültesi, mimarlık ve tasarım fakültesi, eğitim fakültesi, tıp fakültesi, ziraat fakültesi, veterinerlik fakültesi, fen fakültesi, Van ve sağlık meslek yüksekokulunun bulunduğu binalarda tek istasyon mikrotremor ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler kampüs alanında belirlenen bina dışındaki doğal zeminlerde ve her bir binanın bodrum, zemin ve katlarında gerçekleştirilerek elde edilen veriler yapı-zemin etkileşimi açısından değerlendirilmiştir. Ölçülen mikrotremor verilerinin analizlerinde yatay bileşenlerin düşey bileşene spektral oranı olarak bilinen tek istasyon mikrotremor (H/V, Nakamura yöntemi, HVSR) yöntemi kullanılmıştır. Yapı katlarının ve zeminlerin periyot/frekans ve büyütme değerleri elde edilmiştir.

İncelenen binaların zemin-yapı ilişkilerini daha doğru değerlendirebilmek için tez çalışması kapsamında ölçülen zemin verileri önceki yıllarda yapılmış projelerden elde edilen verilerle birlikte tekrar değerlendirilerek haritalanmıştır (Şekil 4.4). Buna göre incelenen bölgenin genelinde periyot değerlerinin 0.11-1.67 sn arasında, zemin büyütme değerlerinin ise 2.1-4.0 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu bulgular çalışma alanının genel olarak kalın alüvyon birimlerden oluştuğunu, bununla birlikte bu birimlerin yer yer yumuşak, bazı bölgelerde ise sıkı zemin özellikleri sergilediğini göstermektedir. Özellikle Van YYÜ yerleşim alanındaki yapılaşmanın yoğunlaştığı Van Gölü'ne yakın bölgelere doğru periyot ve büyütme değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

Van YYÜ yerleşim alanındaki binalardan elde edilen sonuçlar ve genel değerlendirmeler;

- Binalar bir kısmı birbirlerinden bağımsız, bir kısmı bitişik (dilatasyonla birbirinden ayrılmış) farklı kat adeti olan bloklardan oluşmaktadır. Bu yapıların her biri başlı başına bir binayı temsil etmektedir.
- Her bir binanın farklı taşıyıcı sistem özellikleri, eleman boyutu, taban alanı, çerçeve genişliği, perde alanı vb. farklılıklarının olması elde edilen zemin ve kat verilerinin farklı veya benzer aralıklarda olmasında etken olduğu düşünülmektedir.
- İncelenen binalar için, gerek büyük depremlerde yapıların maruz kalabileceği yüksek ivmeler ve depremlerin tekrarlı kuvvetleri gerekse binaların

bulunduğu göl-akarsu çökeli zeminlerin gevşek ve suya doygun karakteristikteki zayıf zemin özellikleri ve kısa mesafelerde farklı zemin yapısı sergileyebilmeleri bu yapıların hasar derecesini arttırıcı etkiler olarak değerlendirilmiştir.

- İncelene binaların normal katlarından elde edilen verilerde bina periyotları net olarak belirlenmiştir. Bina zemin ve katlarındaki mikrotremor verilerinde katlardaki net pikler yapı kaynaklıdır.

Çalışma kapsamında elde edilen veriler Çizelge 5.2’de özetlenmiştir. Van YYÜ yerleşim alanındaki en eski binalardan birisi olan Eczacılık Fakültesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Sağlık MYO binalarının doğal zemininde elde edilen periyot/frekans değerleriyle bina zemin kat sonuçlarının yakın aralıkta olduğu, katlarda elde edilen değerlerin ise zemin periyot değerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ölçüm yapılan binalardaki verilerin değerlendirilmesi sonucunda binaların hakim/baskın frekansı genelde 4.5-5 Hz, periyod ise 0.22-0.2 sn civarında bariz pikler elde edilmiştir.

Zemin periyot verileri ile bina periyot verilerinin birbirinden farklı olmasından dolayı Eczacılık, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Sağlık MYO binalarına ait blokların rezonansa girme olasılığının düşük olduğu söylenebilir.

Veteriner Fakültesi doğal zemininde elde edilen periyot/frekans (1.61 sn / 0.62 Hz) değerleriyle bina zemin kat (0.23 sn) sonuçlarının ve katlarda elde edilen (0.19-0.22 sn) değerlerin farklı aralıkta olduğu görülmektedir. Doğal zeminden alınan veriden elde edilen 2.pikte periyot 0.22 sn elde edilmiştir. Bu durumda doğal zemin ile yapı periyot aralığı birbirine yakın olmaktadır. Veterinerlik Fakültesi bina bloklarında zemin periyot verileri ile bina periyot verilerinin birbirinden farklıdır. Ancak, doğal zemin ölçüsündeki 2.pik değerinin yapı periyoduna yakın olması rezonans olasılığını arttırmaktadır. A ve B blok bodrum kat verilerinin farklılığı fakülte binasının farklı zemin özelliklerine sahip zeminler üzerine kurulu olduğunun göstergesidir. A blok bodrum kat periyot değerleri bina kat verilerine yakınken, B blok bodrum kat periyot değerleri doğal zemin periyoduna yakındır. Olası bir depremde her iki bloğun farklı davranacağı yapı-zemin ilişkisi açısından girişim/rezonansa girme olasılığının olduğu düşünülmektedir. Bu durum yapının deprem performansı açısından risk oluşturabilir. Binanın az katlı olması ve bodrum katın varlığı ise deprem performansını arttırıcı bir etken olarak görülmüştür.

Çizelge 5.2 Çalışma kapsamında elde edilen bina mikrotremor ölçüm sonuçları

Bina adı	Blok sayısı	Kat adedi	Ölçüm alınan katlar	Periyot T (sn)	Frekans f (Hz)	Büyütme
Eczacılık Fakültesi	7	2-5	Doğal Zemin	1.06-1.56	0.94-0.64	3.82-5.77
			Zemin kat	1.27-1.61-0.2	0.79-0.62-4.85	1.85
			Kat (ort)	0.20	5.05	5.40
Sağlık MYO	3	4-5	Doğal Zemin	1.56	0.64	5.77
			Zemin kat	1.47-0.26	0.68-3.89	5.40-2.10
			Kat (ort)	0.22	4.50	4.00
Veteriner Fakültesi	2	3-4	Doğal Zemin	1.61-0.22	0.62-4.45	1.77-1.44
			Bodrum kat	0.25-0.79	4.08-1.26	1.29-6.52
			Zemin kat	0.23	4.20	1.89
			Kat (ort)	0.21	5.05	3.14
Ziraat Fakültesi	4	4-5	Doğal Zemin	0.65	1.54	3.02
			Bodrum kat	0.72-1.59	1.39-0.63	1.63-1.39
			Zemin kat	0.21-0.61	4.67-1.65	1.08-1.42
			A ve B Kat (ort)	0.20	5.06	4.34
			C Kat (ort)	0.26	3.80	3.00
Eğitim Fakültesi	3	4	Doğal Zemin	0.16	6.29	1.83
			Bodrum kat	0.37-0.42	2.69	1.06
			Zemin kat	0.23-0.16	4.04-6	2.19
			A ve B Kat (ort)	0.24	4.50	4.32
			C Kat (ort)	0.16	6.36	4.65
Van MYO	2	4	Doğal Zemin	0.26	3.89	1.21
			Zemin kat	1.45	0.69	1.57
			A Kat (ort)	0.26	3.85	3.95
			B Kat (ort)	0.23	4.40	4.71
Fen Fakültesi	3	4	Doğal Zemin	0.27	3.62	1.74
			Zemin kat	0.25-0.27	3.95-3.63	1.75
			Kat (ort)	0.24	4.10	4.85
Tıp Fakültesi	4	2-4	Doğal Zemin	0.44	2.27	1.59
			Bodrum kat	1.64-1.33-0.30	0.61-0.75-3.31	2.04
			Zemin kat	0.32-0.37	3.10-2.72	3.86-1.53
			Kat (ort)	0.29-0.33	3.39-3.02	6.15-5.13

Ziraat Fakültesi bina doğal zemininde elde edilen periyot/frekans değerleriyle bina zemin kat sonuçlarının farklı aralıkta olduğu, katlarda elde edilen değerlerin ise zemin periyot değerinden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ölçüm yapılan binalardaki verilerin değerlendirilmesi sonucunda binaların hakim/baskın frekansı A ve B blokta 5 Hz (0.2 sn) civarında, C blokta ise 3.8 Hz (0.26 sn) değerinde bariz pikler elde edilmiştir.

Eğitim Fakültesi bina doğal zemininde elde edilen periyot/frekans değerleriyle bina bodrum kat sonuçlarının ve zemin kat sonuçlarının birbirine yakın aralıkta olduğu, katlarda elde edilen değerlerin ise zemin periyot değeri ile benzer veya yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir. Doğal zemin ölçüsündeki değerlerin yapı zemin ve kat periyotlarına yakın olması rezonans olasılığını arttırmaktadır. Özellikle de iki bloğu (A ve B blok) birbirine bağlayan C blok zeminle aynı periyot değerlerindedir. Bu durumda olası büyük depremlerde bu blokların daha fazla kuvvete maruz kalabileceği düşünülmektedir. Binanın az katlı olması ve bodrum katın varlığı ise deprem performansını artırıcı bir etken olarak değerlendirilebilir.

Van MYO bina doğal zemininde elde edilen periyot/frekans değerleriyle bina zemin kat sonuçlarının birbirine farklı olduğu, katlarda elde edilen değerlerin ise zemin periyot değeri ile benzer değerlerde olduğu belirlenmiştir. Doğal zemin ölçüsündeki değerlerin yapı kat periyotlarına yakın olması rezonans olasılığını arttırmaktadır. Özellikle A blok zeminle aynı periyot değerlerindedir. Bu durumda olası büyük depremlerde bu blokların daha fazla kuvvete maruz kalabileceği düşünülmektedir.

Fen Fakültesi binaları için elde edilen mikrotremor ölçüm sonuçları incelendiğinde bina doğal zemininde elde edilen periyot/frekans değerleriyle bina zemin kat sonuçlarının birbirine yakın olduğu, katlarda elde edilen değerlerin ise zemin periyot değeri ile benzer değerlerde olduğu belirlenmiştir. Doğal zemin ölçüsündeki değerlerin yapı kat periyotlarına yakın olması rezonans olasılığını arttırmaktadır. Gerek alüvyon zemin özellikleri, yüksek zemin büyütmesi ve düşük Vs30 hız değerleri (Şekil 4.4) gerekse zemin ve bina katlarının periyotlarının aynı aralıkta olması dolayısıyla girişim/rezonansa girme olasılığının yüksek olması büyük depremlerde bu blokların daha fazla kuvvete maruz kalabileceğini göstermektedir.

Tıp Fakültesi binaları için elde edilen mikrotremor ölçüm sonuçları incelendiğinde bina doğal zemininde elde edilen periyot/frekans değerleriyle bina bodrum ve zemin kat sonuçlarının birbirine yakın değer aralıklarında olduğu, katlarda

elde edilen değerlerin ise zemin periyot değeri ile benzer değerlerde olduğu belirlenmiştir. Doğal zemin ölçüsündeki değerin yapı kat periyotlarına yakın olması rezonans olasılığını arttırmaktadır. Bölge yerleşkedeki sıvılaşma potansiyeli olan ender yerlerden birisidir. Dolayısıyla olası büyük bir depremde yapı hasar derecesini arttırabilecek zemin özelliğindedir. Gerek suya doğgun ve gevşek alüvyon zemin özellikleri, gerek yüksek zemin büyütmesi ve düşük Vs30 hız değerleri (şekil 4.4), gerekse zemin ve bina katlarının periyotlarının aynı aralıkta olması dolayısıyla bu binaların girişim/rezonansa girme olasılığını arttırmaktadır.

Tez çalışması kapsamında, binalarda gerçekteştirilen mikrotremor ölçümleri ile yapısal analiz periyotlarının karşılaştırılmıştır. Mikrotremor sonuçları ile dolgu duvarsız olarak modellenen bina periyotları arasında bir ilişki olduğu fakat yapısal analizlerden hesaplanan periyot değerlerinin daha büyük elde edildiği, buna karşın dolgu duvarlı modellerden hesaplanan periyotlarla mikrotremor sonuçlarının birbirine daha çok yaklaştığı farkın küçüldüğü görülmüştür (şekil 5.1). Analitik olarak türetilen bağıntıdan elde edilen periyotlar ile mikrotremor verilerinden elde edilen periyotlar karşılaştırıldığında büyük oranda birbiri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Tüm bu yapısal analiz sonuçları, analitik bağıntı sonuçları ve mikrotremor ölçüm sonuçları birbirleri ile uyumludur. Bu oyum doğrudan, hızlı, pratik ve güvenilir veri setleri oluşturabilen mikrotremor ölçüm sonuçlarının binaların titreşim periyodunun elde edilmesinde kullanılabilirliği bir kez daha ortaya konmuştur.



KAYNAKLAR

- Acarlar, M., Bilgin, Z. A., Erkal, T., Güner, E., Şen, A. M., Umut, M., Elibol, E., Gedik, İ., Hakyemez, Y., Uğuz, M. F. (1991). *Van Gölü Doğu ve Kuzeyinin Jeolojisi. M.T.A. Raporu*, Ankara, No: 9469, 94s.
- AFAD. (2018). Türkiye deprem tehlike haritası. Erişim tarihi:10 Şubat 2021. Erişim adresi: <https://tdth.afad.gov.tr/>
- Akın, M., Özvan, A., Akın, M., Topal, T. (2013). Evaluation of liquefaction in Karasu River floodplain after the October 23, 2011, Van (Turkey) earthquake. *Natural Hazards*, 69,1551–1575.
- Akın Kıvanç, M., Akın, M., Akkaya, İ., Özvan, A., Üner, S., Selçuk, L., Tapan, M. (2014). *Yüzüncü Yıl Üniversitesi ve yakın çevresindeki zeminlerin statik ve dinamik koşullardaki jeo-mühendislik özelliklerinin araştırılması ve mikrobölgeleme haritalarının hazırlanması. YYÜ BAP projesi*, Van, 45 s.
- Akın Kıvanç, M., Akın, M., Akkaya, İ., Özvan, A., Üner, S., Selçuk, L., Tapan, M. (2015). Mikrobölgeleme çalışmasına altlık oluşturmak üzere Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi kampüs zemininin dinamik özelliklerinin belirlenmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 39(1), 1-26.
- Aki, K. (1957). Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 35, 415-456.
- Akkaya, İ., Özvan, A., Tapan, M., Şengül, M. A. (2015). Determining the site effects of 23 October 2011 Earthquake (Van province, Turkey) on the rural areas using HVSR microtremor method. *Journal of Earth System Science*, 124(7), 1429-1443.
- Akkaya, İ., Özvan, A. (2019). Site Characterization in the Van Settlement (Eastern Turkey) Using Surface Waves and HVSR Microtremor Methods. *Journal of Applied Geophysics*, 160, 157-170.
- Akkaya, İ., Özvan, A., Özvan, E. E. (2019). A new empirical correlation between pressuremeter modules (EM) and shear wave velocity (Vs) for clay soils. *Journal of Applied Geophysics*, 171, 103865. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2019.103865>
- Aksoy, E. (1988). *Van ili doğu-kuzeydoğu yöresinin stratigrafi ve tektoniği*, Doktora tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.
- Akyüz, S., Zabcı, C., Sançar T. (2011). *Ekim 2011 Van depremi hakkında ön rapor*. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Kasım.
- Altiner, Y., Söhne, W., Güney, C., Perlt, J., Wang, R., Muzli, M. (2013). A geodetic study of the 23 October 2011 Van, Turkey earthquake. *Tectonophysics*, 588, 118-134.
- Ambraseys, N. N., Finkel, C. (1995). The seismicity of Turkey and adjacent areas: a historical review, 1500-1800. *(No Title)*.
- Ansal, A. (1999a). Strong Ground Motions and Site Amplification. **Theme Lecture, 2nd Int. Conf. On Earthquake Geotechnical Engineering**, 3. Ed.P.S.Pinto, Balkema, Rotterdam, pp. 879–894.
- Ansal, A. (1999b). The cyclic behavior of soils and effects of geotechnical factors during 17 August 1999 Kocaeli Earthquake. *Earthquake Hazard and Risk in the Mediterranean Region, Nicosia*. 1, pp. 89–104.
- Arni, P. (1938). *Preliminary stratigraphical note of Ereğli-Zonguldak-Amasra coal basins in northern Anatolia. MTA Raporu*, (674).

- Asten, M. W. (1978). Geological control on the three-component spectra of Rayleigh-wave microseisms. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 68(6), 1623-1636.
- Asten, M. W., Henstridge, J. D. (1984). Array estimators and the use of microseisms for reconnaissance of sedimentary basins. *Geophysics*, 49(11), 1828-1837.
- Atakan, K., Torres, R. (2004). Geological Society of America Special Paper 375 2004 Local site effects on microtremors, weak and strong ground motion in San Salvador, El Salvador. *Natural Hazards in El Salvador*, 375, 321.
- Baker, J. W. (2011). Conditional mean spectrum: Tool for ground-motion selection. *Journal of Structural Engineering*, 137(3), 322-331.
- Bard, P. Y., Bouchon, M. (1985). The two-dimensional resonance of sediment-filled valleys. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75(2), 519-541.
- Bard, P. Y. (1998). Microtremor Measurements: A Tool For Site Effect Estimation. **Second International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion – ESG98**, Japan.
- Bayraktar, A., Altunışık, A. C., Pehlivan, M. (2013). Performance and damages of reinforced concrete buildings during the October 23 and November 9, 2011 Van, Turkey, earthquakes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 53, 49-72.
- Bonnefoy-Claudet, S., Cornou, C., Kristek, J., Ohrnberger, M., Wathelet, M., Bard, P. Y., Peter Moczo, Donat Faeh, Cotton, F. (2004). August. Simulation of seismic ambient noise: I. Results of H/V and array techniques on canonical models. **In Proc. 13th World Conf. on Earthquake Engineering**, p. 1120.
- Bonnefoy-Claudet, S., Cotton, F., Bard, P. Y., Cornou, C., Ohrnberger, M., Wathelet, M. (2006). Robustness of the H/V ratio peak frequency to estimate 1D resonance frequency. **In Proceedings of the 3rd International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion**.
- Bormann, P. (2002). **New manual of seismological observatory practice**.
- Birgören, G., Özel, O., Siyahi, B. (2009). Bedrock depth mapping of the coast south of Istanbul: Comparison of analytical and experimental analyses. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 18(2), 315-329.
- Borcherdt, R. D. (1970). Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 60(1), 29-61.
- Bour, M., Fouissac, D., Dominique, P., Martin, C. (1998). On the use of microtremor recordings in seismic microzonation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 17(7-8), 465-474.
- Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3–30.
- Çiftçi, Y., Selcuk, L., Özvan, A., Akkaya, İ., Sengül, M.A., Aras, B. (2004). Seismic risk analysis for the settlements in the basin of Lake Van, Turkey, **Proceedings of 5th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology**, Vol. 2, Thessaloniki, Greece.
- Cornou, C., Kristek, J., Ohrnberger, M., Di Giulio, G., Schissele, E., Guillier, B., Moczo, P. (2004). Simulation of seismic ambient vibrations: II. H/V and array techniques for real sites. **In Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering**, Vancouver, Canada, August 2004, Paper (Vol. 1130).
- Çukur, D., Krastel, S., Schmincke, H. U., Sumita, M., Çağatay, M. N., Meydan, A. F., Damcı E, Stockhecke, M., 2014. Seismic stratigraphy of lake Van, eastern Turkey. *Quaternary Science Reviews*, 104, 63-84.

- Degens, E. T., Kurtman, F. (1978). The Geology of Lake Van. *Maden Tetk. Arama Enstitüsü yayınlarından; Tuerk; da.* 1978; no 169; pp. 1-158; H.T. 84.
- Degens, E. T., Wong, H. K., Kempe, S., Kurtman, F. J. G. R. (1984). A geological study of Lake Van, eastern Turkey. *Geologische Rundschau*, 73, 701-734.
- Delgado, J., Lopez Casado, C., Giner, J., Estevez, A., Cuenca, A., Molina, S. (2000). Microtremors as a geophysical exploration tool: applications and limitations. *Pure Applied Geophysics*. 157, 1445-1462.
- Dewey, J.F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Saroglu, F., Sengör, A. M. C. (1986). Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of eastern Anatolia: a young collision zone. In: Coward, M.P., Ries, A.C. (Eds.), *Collision Tectonics*. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, 19, 3-36.
- Dhont, D., Chorowicz, J. (2006). Review of the neotectonics of the Eastern Turkish-Armenian Plateau by geomorphic analysis of digital elevation model imagery. *International Journal of Earth Sciences*, 95, 34-49.
- Dikmen, Ü. (2005). **Mikrotremor Yöntemi, Mühendislik Jeofiziği ve Uygulamaları Kurs Notları-1**, Bölüm 10: 313-345, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası.
- Doğan, B., Karakaş, A. (2013). Geometry of co-seismic surface ruptures and tectonic meaning of the 23 October 2011 Mw 7.1 Van earthquake (East Anatolian Region, Turkey). *Journal of Structural Geology*, 46, 99-114.
- Dikmen Ü., Hamzaçebi N., Arısoy M.Ö., Demirci İ. (2016). **Estimation of source, path and site effect from s-waves of local earthquakes in İzmir**. Western Turkey, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara, 18, 14-35.
- Dravinski, M., Ding, G., Wen, K. L. (1996). Analysis of spectral ratios for estimating ground motion in deep basins. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86(3), 646-654.
- Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F. (2013). 1/1.250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, **Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi**, Ankara, Türkiye.
- Field E. H., Jacob, K. H. (1993). The theoretical response of sedimentary layers to ambient seismic noise. *Geophysical Research Letters*, 20-24, 2925-2928.
- Foti, S. (2000). **Multistation methods for geotechnical characterization using surface waves**.
- García-Jerez, A., Luzón, F., Navarro, M., Pérez-Ruiz, J. A. (2006). Characterization of the sedimentary cover of the Zafarraya basin, southern Spain, by means of ambient noise. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(3), 957-967.
- Gosar, A., Roser, J., Sket Motnikar, B., Zupansic, P. (2010). Microtremor study of site effects and soil-structure resonance in the city of Ljubljana (central Slovenia). *B. Earthq. Eng.*, 8, 571-592.
- Gök E., Keçecioglu M., Çeken U., Polat O. (2012). İzmirnet istasyonlarında standart spektral oran yöntemi kullanılarak zemin transfer fonksiyonlarının hesaplanması. Dokuz Eylül Üniversitesi, *Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(41), 1-11.
- Görgün, E. (2013). Analysis of the b-values before and after the 23 October 2011 Mw 7.2 Van-Erciş, Turkey earthquake. *Tectonophysics*, 603, 213-221.
- Güner Y. 1984. Nemrut yanardağının jeolojisi, jeomorfolojisi ve volkanizmanın evrimi. *Jeomorfoloji Dergisi*, 12, 23-65.
- Göncüoğlu M.C., Turhan N. (1984). Geology of the Bitlis metamorphic belt. In: Tekeli, O. ve Göncüoğlu, M.C. (eds), Geology of Taurus Belt. *MTA Yayınları*, 237-244.

- Güralp Systems, (2014). CMG-6TD Operator's Guide, Güralp Systems Limited 3 Midas House Calleva Park Aldermaston, **Reading Berks**, RG7 8EA England.
- Hinzen, K. G., Weber, B.ve Scherbaum, F. (2004). On the resolution of H/V measurements to determine sediment thickness, a case study across a normal fault in the Lower Rhine Embayment, Germany. *Journal of Earthquake Engineering*, 8(06), 909-926.
- Ibs-von Seht, M., Wohlenberg, J. (1996). June. Seismic noise spectra used to map thickness of soft sediments. **In 58th EAGE Conference and Exhibition** (pp. cp-48).
- Kagami, H., Okada, S., Shiono, K., Oner, M., Dravinski, M., Mal, A. K. (1986). Observation of 1-to 5-second microtremors and their application to earthquake engineering. Part III. A two-dimensional study of site effects in the San Fernando Valley. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 76(6), 1801-1812.
- Kanai, K., Tanaka, A. T., Oada, K. (1954). On microtremors, Bulletin of Earthquake Research Institute, *University of Tokyo*, 32.
- Kanai, K., Tanaka A, T. (1961). On microtremors VII, *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 39, 97-114.
- Karabulut, S., Ozel O., Özçep F. (2009). Deprem tehdidi altındaki mühendislik yapılarının hakim titreşim periyotlarının belirlenmesinde yeni bir seçenek: mikrotremor yöntemi ve örnek uygulaması. *New World Science Academy*, 4(3), 428-441
- Karabulut, S. (2012). *İstanbul kenti için yer tepkisi ve 3 boyutlu (3-B) kayma dalga hız (Vs) yapısının belirlenmesi*, Doktora tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Ketin, İ. (1977). Van Gölü ile İran sınırı arasındaki bölgede yapılan jeoloji gözlemlerinin sonuçları hakkında kısa bir açıklama. *T. J. K. Bülteni*, 20-2, 79-85.
- Kıraner, F. (1959). Van Gölü doğu bölgesinin jeolojik etüdü. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 7(1), 30-57.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., Kuloshvili, S. (2001). Neotectonic of east anatolian plateau (turkey) and lesser caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta*, 14, 177-195.
- Koçyiğit, A. (2013). New field and seismic data about the intraplate strike-slip deformation in Van region, East Anatolian plateau, E. Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 62, 586–605.
- KOERİ, <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/en/>
- Konno, K., Ohmachi, T., 1998. Ground-Motion Characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88(1), 228-241.
- Lachet, C., Bard, P. Y., 1994. Numerical and Theoretical Investigation on the possibilities and Limitations of the Nakamura's Technique, *Journal of Physics of the Earth*, 42, 377-397.
- Lermo, J., Chavez-Garcia F. J., 1994. Are microtremor useful site response Evolution. *Bulletin of The Seismological Society of America*, 84, 1350-1364.
- Livaoğlu, H. (2015). *Kocaeli-Gölcük-Değirmendere bölgesi için zemin hakim frekans-sediman kalınlığı ilişkisinin ve zemin özelliklerinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.
- Litt, T., Krastel, S., Sturm, M., Kipfer, R., Örcen, S., Heumann, G., Franz S., Niessen, F. (2009). 'PALEOVAN', International Continental Scientific Drilling Program

- (ICDP): site survey results and perspectives. *Quaternary Science Reviews*, 28(15-16), 1555-1567.
- Malagnini L., Herrmann R. B., Biella G., de Franco. R. (1995). Rayleigh waves in quaternary alluvium from explosive sources: determination of shear-wave velocity and Q structure. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 85, 900-922.
- Motamed, R., Ghalandarzadeh, A., Tawhata, I., Tabatabaei S. H. (2007). Seismic microzonation and damage assessment of Bam city, southeastern Iran. *Journal of Earthquake Engineering*, 11(1), 110-132.
- Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of sub-surface using microtremor on the ground surface. *Quarterly Report of Railway Technical Research Institute*, 30(1), 25-33.
- Nakamura, Y., 2000. Nakamura'nın tekniğinin ve uygulamalarının temel fikrinin net bir şekilde tanımlanması. **In deprem mühendisliği konulu 12. Dünya konferansı bildirileri**, Yeni Zelanda, Auckland.
- Nogoshi, M., Igarashi, T. (1971). On the Amplitude Characteristic of Microtremor, Part II, *Journal of Seismic Society of Japan*, 24, 26-40.
- Ohta, Y., Kagami, H., Goto, N., Kudo, K. (1978). Observation of 1-to-5 Second Microtremors and Their Application to Earthquake Engineering, Part I: Comparison with Long Period Accelerations at the Tokachi-Oki Earthquake of 1968, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 68, 767-779.
- Okada, H. (2003). The microtremor survey method. Geophysical Monograph, no. 12, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.
- Okay, A.I., Zatini, M., Cavazza, W. (2010). Apatite fission-track data for the Miocene Arabia-Eurasia collision. *Geology*, 38, 35-43.
- Örçen, S., Tolluoğlu, S., Köse, O., Yakupoğlu, T., Çiftçi, Y., Işık, M.A., Selçuk, L., Üner, S., Özkaymak, Ç., Akkaya, İ., Özvan, A., Sağlam, A., Baykal, M., Özdemir, Y., Üner, T., Karaoğlu, Ö., Yeşilova, Ç., Oyan, V. (2004). *Van Şehri kentleşme alanında yüzeyleyen Pliyo-Kuvaterner çökellerindeki Sedimentolojik özelliklerin ve aktif tektonizmanın depremselliğe yönelik incelenmesi*. Tübitak Projesi.
- Özalaybey, S., Zor, E., Ergintav, S., Tapırdamaz, M. C. (2011). Investigation of 3-D basin structure in the İzmit Bay Area (Turkey) by Single-Station Microtremor and Gravimetric Methods, *Geophysical Journal International*, 186(2), 883-894.
- Özkaymak, Ç. (2003). *Van şehri yakın çevresinin aktif tektonik özellikleri*, Yüksek lisans. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Bozkurt, E., Dirik, K., Topal, T., Alan, H., Çağlan, D. (2011). 23 Ekim 2011 Tabanlı-Van Depreminin Sismik Jeomorfolojisi ve Doğu Anadolu'daki Aktif Tektonik Yapılarla Olan İlişkisi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 35(2), 175-200.
- Özvan, A. (2004). *Van ili yerleşim alanının mühendislik jeolojisi*, Yüksek lisans. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye.
- Özvan, A., Akkaya, İ., Tapan, M., Şengül, M. A. (2005). Van yerleşkesinin deprem tehlikesi ve olası bir depremin sonuçları. **Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005**, Kocaeli, Türkiye.
- Özvan, A., Şengül, M.A., Tapan, M. (2008). Van Gölü havzası Neojen çökellerinin jeoteknik özelliklerine bir bakış: Eriş yerleşkesi. *Geosound*, 52, 297-310.
- Özvan, A., Akkaya, İ., Akın, M., Akın M., Özvan, E.E. (2019). Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Yerleşim Alanındaki Killi Zeminlerde Presiyometre Verilerinin Zemin

- Ön Konsolidasyon Basıncı İle Olan İlişkinin Belirlenmesi, YYÜ BAP projesi, Van.
- Özvan, A., Özvan E. E., Akkaya, İ., Akın, M., Akın, M. K. (2019b). A study of the relationship between the pressuremeter modulus and the preconsolidation pressure around a thrust fault. *Environmental Earth Sciences*, 78(20), 1-16
- Parolai, S., Bormann, P., Milkereit, C. (2002). New relationships between vs, thickness of sediments, and resonance frequency calculated by the H/V ratio of seismic noise for the Cologne area (Germany). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92(6), 2521-2527.
- Parolai, S., Picozzi, M., Richwalski, S. M., Milkereit, C. (2005). Joint inversion of phase velocity dispersion and H/V ratio curves from seismic noise recordings using a genetic algorithm, considering higher modes. *Geophysical Research Letters*, 32(1). <https://doi.org/10.1029/2004GL021115>
- Picozzi, M., Parolai, S., Albarello, D. (2005). Statistical analysis of noise horizontal-to-vertical spectral ratios (HVSr). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95(5), 1779-1786.
- Rosenblad, B. L., Goetz, R. (2010). Study of the H/V spectral ratio method for determining average shear wave velocities in the Mississippi embayment. *Engineering Geology*, 112(1-4), 13-20.
- Sağlam Selçuk, A. (2016). Evaluation of the relative tectonic activity in the eastern Lake Van basin, East Turkey. *Geomorphology*, 270, 9-21.
- Seekins, L. C., Wennerberg, L., Margheriti, L., Liu, H. P. (1996). Site amplification at five locations in San Francisco, California: a comparison of S waves, codas, and microtremors. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86(3), 627-635.
- SESAME European Project, (2005). *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation*.
- Steidl, J. H., Tumarkin, A. G., Archuleta, R. J. (1996). What is a reference site. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86(6), 1733-1748.
- Strobbia, C., (2005). Love wave analysis for the dynamic characterisation of sites. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 46(2-3), 135-152.
- Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. (1986). Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 107, 73-94
- Şaroğlu, F., Yılmaz, Y. (1987). Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri. *MTA Dergisi*, 107, 73-94.
- Şenel, M. (2008). 1/100.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları serisi, Başkale-H38 Paftası. *MTA Jeoloji Etütleri Dairesi*, Ankara.
- Şengör A.M.C. ve Kidd W.S.F., 1979. Post-collisional Tectonics of the Turkish Iranian Plateau and a Comparison with Tibet. *Tectonophysics*, 55, 361-376.
- Selçuk, L. (2003). *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Zeve Kampüsü Yerleşim Alanının Mühendislik Jeolojisi*, Yüksek lisans. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y. (1981). *Türkiye ve çevresinin tarihsel deprem kataloğu (2100 B.C.–1900 A.D.)*. TÜBİTAK raporu, No. TBAG-341.
- Tan, O., Tapırdamaz, M.C., Yörük, A. (2008). The earthquakes catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 17, 405–418.
- Tapan, M., Cömert, M., Demir, C., Sayan, Y., Orakcal, K., Ilki, A. (2013). Failures of structures during the October 23, 2011 Tabanlı (Van) and November 9, 2011

- Edremit (Van) earthquakes in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 34, 606-628.
- Ternek, Z. (1953). Van Gölü Güneydoğu Bölgesinin Jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 4(2), 1-27.
- Teves-Costa, P., L. Matias, L., Bard, P. Y. (1996). Seismic behaviour estimation of thin alluvium layers using microtremor recordings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 15(3), 201-209.
- Toker, M., Sengor, A. C., Schluter, F. D., Demirbag, E., Cukur, D., Imren, C., Niessen F., PaleoVan-Working Group. (2017). The structural elements and tectonics of the Lake Van basin (Eastern Anatolia) from multi-channel seismic reflection profiles. *Journal of African Earth Sciences*, 129, 165-178.
- Tün, M. (2013). *Mikrobölgeleme çalışmalarında yer tepkisi ve kayma dalga hız (Vs) yapısının yorumlanması: Eskişehir örneği*, Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Utkucu, M., Budakoğlu, E., Yalçın, H., Durmuş, H., Kalkan, H. Gülen, L. (2011). 23 Ekim 2011 Van Depremi Hakkında Ön Rapor. *Sakarya Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü*.
- Utkucu, M. (2013). 23 October 2011 Van, Eastern Anatolia, earthquake (MW 7.1) and seismotectonics of Lake Van area. *Journal of Seismology*, 17, 783-805.
- Üner, S. (2003). *Van Gölü doğusu (Beyüzümü-Göllü dolayı) Pliyo-Kuvaterner Yaşlı Karasal Çökellerin Sedimentolojisi*, Yüksek lisans. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye.
- Woolery, E. W., Street, R. (2002). 3D near-surface soil response from H/V ambient-noise ratios. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(9-12), 865-876.
- Wong, H. K., Finckh, P. (1978). Shallow structures in Lake Van. *MTA*, 169, 20-29:
- Yalçınkaya, E., Alptekin, Ö. (2003). Dinar'da zemin büyütmesi ve 1 Ekim 1995 depreminde gözlenen hasarla ilişkisi. *Yerbilimleri*, 27, 1-13.
- Yamanaka, H., Takemura, M., Ishida, H., Niwa, M. (1994). Characteristics of long-period microtremors and their applicability in exploration of deep sedimentary layers. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(6), 1831-1841.
- Yılmaz, Y., Dilek, Y., Işık, H. (1981). Gevaş (Van) Ofiyolitinin Jeolojisi ve Sinkinematik bir Makaslama Zonu. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 24, 37-44.
- Yılmaz Y., Şaroğlu F., Güner Y. (1987). Initiation of the Neomagmatism in East Anatolia. *Tectonophysics*, 134, 177-199.
- Yılmaz, Y. (1990). Comparison of Young Volcanic Associations of Western and Eastern Anatolia Formed Under a Compressional Regime: a Review. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 69-87.
- Yiğit, A. (2019). *Taşıyıcı Sistem Parametreleri ile Düşük ve Orta Yükseklikteki Betonarme Binalarda Elastik Periyot Hesabı*, Yüksek Lisans Tezi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye.
- Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mevcut Binalarının Deprem Tahkiki Yapılması ve Takviye Projelerinin Hazırlanması, Güçlendirme Projesi Raporu (2012) *Prota Mühendislik Proje ve Danışmanlık Hizmetleri A. Ş. ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi*.



ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Dursun Serhan DUDU

Eğitim Bilgileri

Lisans

Üniversite : Cumhuriyet Üniversitesi

Fakülte : Mühendislik Fakültesi

Bölüm : Jeofizik Mühendisliği

Mezuniyet Yılı : 2007

-





VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih 06/05/2025

Tez Başlığı: Mikrotremor Yöntemi ile Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Yerleşkesinin Zemin-Yapı İlişkilerinin İncelenmesi

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın, kapak sayfası, giriş, ana bölümler ve sonuç bölümlerinden oluşan toplam 71 (yetmiş bir) sayfalık kısmına ilişkin, 06/05/2025 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre tezimin benzerlik oranı % 12 (yüzde on iki)'dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit match size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Dursun Serhan DUDU
06/05/2025

Adı Soyadı: Dursun Serhan DUDU

Öğrenci No: 239100310004

Anabilim Dalı: Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Programı: Yüksek Lisans

Statüsü: Yüksek lisans Doktora

DANIŞMAN

UYGUNDUR

Prof. Dr. İsmail AKKAYA

ENSTİTÜ ONAYI

UYGUNDUR

