



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇANAKKALE HAVZASI İÇİN SİĞ SİSMİK HIZLAR İLE
GEOTEKNİK PARAMETRELERİN VE DEPREM TEHLİKESİNİN
KESTİRİMİ
YÜKSEK LİSANS YETERLİK TEZİ**

KÜBRA KIRANŞAN

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Tolga BEKLER**

ÇANAKKALE – 2023



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANAKKALE HAVZASI İÇİN SIĞ SİSMİK HIZLAR İLE GEOTEKNİK
PARAMETRELERİN VE DEPREM TEHLİKESİNİN KESTİRİMİ

YÜKSEK LİSANS YETERLİK TEZİ

KÜBRA KIRANŞAN

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Tolga BEKLER

ÇANAKKALE – 2023

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleŐtirilmesinde, çalıŐmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen ve ğrencisi olmaktan gurur duyduğum saygı değer danışman hocam Prof. Dr. Tolga BEKLER'e, çalışma süresince her türlü desteği veren ve mühendislik uygulamalarında gelişmemi sağlayan Reyhan YILDIZ'a, özellikle mühendislik etiği ve çalışma disiplini konusunda bana yön vermiş, örnek aldığım meslektaşım Tayfun ÖZDEMİR'e, her motivasyon eksikliği yaşadığımda yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen Elif TOLAK ÇİFTÇİ'ye, ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kübra KIRANŞAN
anakkale, Haziran 2023

ÖZET
ÇANAKKALE HAVZASI İÇİN SİĞ SİSMİK HIZLAR İLE GEOTEKNİK
PARAMETRELERİN VE DEPREM TEHLİKESİNİN KESTİRİMİ

Kübra KIRANŞAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Yeterlik Tezi

Danışman: Prof. Dr. Tolga BEKLER

16/06/2023, 57

Depremlerin yeryüzünde yaratacağı etkiyi belirlemek zeminlerin deprem anında nasıl davranacağını belirlemekten geçer. Çünkü zeminler deprem anında kendi karakteristik özelliklerine göre davranış gösterirler. Bu çalışma Çanakkale havzası için zeminlerin deprem anındaki davranışlarının tespit edilmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışma alanında dolgu anakaya sınırlarının belirlenmesi ve zeminlerin mühendislik özelliklerinin hesaplanması amacıyla 110 adet sismik kırılma ve masw ölçüsünden yararlanılmıştır. Ölçüler değerlendirilerek dinamik elastik parametreler, Vs30 hızı, zemin hakim titreşim periyodu, zemin büyütme katsayısı ve taşıma gücü değerleri hesaplanmıştır. Çalışma alanında üst tabakada alüvyon alt tabakada ise anakaya birimlerin yer aldığı 2 tabakalı bir zemin yapısı tespit edilmiştir ancak yer yer alüvyon kalınlığının 30 m'den fazla olduğu bölgelerde bulunmaktadır. Özellikle denize yakın kısımlarda zemin dayanımının düşük, zemin hakim titreşim periyodu ve zemin büyütme değerlerinin yüksek olduğu tespit edilirken iç kısımlarda zemin dayanımında artış, zemin hakim titreşim periyodu ve büyütme değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir.

Bu parametreleri bölgenin deprem potansiyeli ışığında değerlendirdiğimizde ise tarihsel ve aletsel dönem deprem etkinlikleri ile özellikle 30 yıl içerisinde oluşan Mw > 5 olan depremler incelendiğinde özellikle 2017 yılında gerçekleşen Ayvacık depremlerinin bölgede hasar ve yıkıma sebep olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bölgenin yakın çevresindeki (Ocak 2023 Midilli Adası deprem fırtınası) deprem aktivitesinden de etkilendiği görülmüştür. Bölgedeki zemin hakim titreşim periyodu ve zemin büyütme değerlerinin yüksek olması yalnızca çalışma alanı içerisinde değil yakın çevresinde gerçekleşen büyük magnitüdü depremlerde de deprem dalgalarının yüksek salınımı nedeniyle hasar ve yıkım

gibi sonuçlarla karşılaşılabileceğinin göstergesidir. Çalışma alanından elde edilen bu veriler ve değerlendirmeler bölgenin jeolojisi ile kıyaslandığında uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Sismik yöntemlerin jeoteknik araştırmalardaki güvenilirliği de bir kez daha ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çanakkale Havzası, Jeofizik Parametreler, Geoteknik, Sismik Kırılma, Masw, Deprem



ABSTRACT

ESTIMATING OF GEOTECHNICAL PARAMETERS AND EARTHQUAKE HAZARD WITH SHALLOW SEISMIC VELOCITIES FOR THE ÇANAKKALE BASIN

Kübra KIRANŞAN

Çanakkale Onsekiz Mart University

School of Graduate Studies

Master of Science Geophysical Engineering

Advisor: Prof. Dr. Tolga Bekler

16/06/2023, 57

To determine the impact that earthquakes will have on the earth is to determine how the ground will behave in the event of an earthquake. Because the ground behave according to their characteristics at the time of an earthquake. This study was conducted for the purpose of determining the behavior of the ground in the event of an earthquake for the Çanakkale basin. 110 seismic fracture and masw measurements were used to determine alluvion-bedrock boundary and to calculate the engineering properties of the ground. By evaluating the measurements, dynamic elastic parameters, Vs30 speed, ground dominating vibration period, ground amplification and ground bearing capacity were calculated. In the working area, a 2-layer ground structure with alluvial substratum in the upper layer has been identified, but it is located in regions where the alluvium thickness is more than 30 m. Especially in the areas close to the sea, it was determined that the ground strength was low, the ground dominating vibration period and the ground amplification were high, while in the interior, the ground strength increased, the ground dominating vibration period and the ground amplification decreased.

When we evaluate these parameters in the light of the earthquake potential of the region, historical and instrumental period earthquake activities and especially when the earthquakes of $MW > 5$ occurring in 30 years are examined, especially the Ayvacik earthquakes in 2017 caused damage and destruction in the region. It was also affected by earthquake activity in the immediate vicinity of the region (the January 2023 Lesbos Island

earthquake storm). The dominating vibration period and ground amplification values in the region are indicative that the results such as damage and destruction may be encountered due to the high oscillation of earthquake waves in the large magnitude earthquakes taking place not only in the working area but also in the near vicinity. These data and assessments obtained from the field of study were observed to be compatible when compared with the geology of the region. The reliability of seismic methods in geotechnical research has also been demonstrated once again.

Keywords: Canakkale basin, Geophysical Parameters, Geotechnical, Seismic Refraction, Masw, Earthquake



İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI.....	i
ETİK BEYAN.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

1

1.1. Literatür Özeti	1
----------------------------	---

İKİNCİ BÖLÜM

ÇANAKKALE JEOLJİK UNSURLARI

4

2.1. İnceleme Alanının Tanıtılması.....	4
2.2. Jeoloji	5
2.2.1. Genel Jeoloji.....	5
Çanakkale Grubu.....	5
Gazhanedere Formasyonu.....	6
Kirazlı Formasyonu.....	6
Çamrakedere Formasyonu.....	6
Alçitepe Formasyonu.....	6
Alüvyonlar.....	7
2.3. Sismotektonik.....	9

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM		11
SİSMİK YÖNTEMLER		
3.1. Sismik Yöntemler.....		11
3.1.1. Cisim Dalgaları		11
3.1.2. Yüzeysel Dalgaları.....		12
3.2. Elastik Dalga Yayılım Teorileri.....		13
3.2.1. Huygens Prensipleri.....		13
3.2.2. Fermat Prensipleri.....		14
3.2.3. Snell Yasası.....		14
3.3. Sismik Hızı Etkileyen Faktörler.....		15
3.4. Sismik Kırılma Yöntemi.....		15
3.4.1. Yöntem.....		15
Düzlemsel Tabaka Yöntemi.....		16
Çoklu Tabaka Yöntemi.....		18
Eğimli Tabaka Yöntemi.....		18
3.4.2. Yöntemin Arazide Uygulanması ve Verilerin Değerlendirilmesi.....		19
3.5. Çok Kanallı Yüzeysel Dalgası Analizi (MASW) Yöntemi.....		22
3.5.1. Yöntem.....		22
3.5.2. Dispersiyon.....		23
3.5.3. Faz Hızı ve Grup Hızı.....		24
3.5.4. Ters Çözüm.....		25
3.5.5. Yöntemin Arazide Uygulanması ve Veri İşlem.....		25
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM		28
ZEMİNLERİN JEOFİZİK & GEOTEKNİK PARAMETRELERİ		
4.1. Elastisite (Young) Modülü		28
4.2. Sismik Hız Oranı (Sıkılık) (V_p/V_s).....		28
4.3. Poisson Oranı.....		29
4.4. Kayma Modülü.....		29
4.5. Bulk (Sıkışmazlık) Modülü.....		30

4.6 Yoğunluk.....	30
4.7 Vs30 Hızı.....	31
4.8 Zemin Hakim Titreşim Periyodu.....	34
4.9 Zemin Büyütmesi.....	34
4.10 Zemin Taşıma Gücü.....	34
BEŞİNCİ BÖLÜM	
ÇANAKKALE HAVZASINA AİT SİSMİK KIRILMA VE MASW ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	
5.1. Arazi Ölçümlerinin Değerlendirilmesi.....	36
5.1.1 Sismik Kırılma Ölçülerinin Değerlendirilmesi.....	36
5.1.2 Masw Ölçülerinin Değerlendirilmesi.....	36
5.1.3 Dinamik Parametrelerin Hesaplanması.....	36
ALTINCI BÖLÜM	
SONUÇ ve ÖNERİLER	
KAYNAKÇA	54
ÖZGEÇMİŞ.....	I

SİMGELER VE KISALTMALAR

E	Young Modülü
G	Kayma Modülü
K	Bulk Modülü
V _p	Boyuna Dalga Hızı
V _s	Kayma Dalga Hızı
V _{s30}	30 m Derinlik İçin Ortalama Kayma Dalgası Hızı
V _p /V _s	Sismik hız oranı
μ	Sıkışmazlık
σ	Poisson oranı
ρ	Yoğunlun
T	Periyot
F	Frekans
q	Taşıma Gücü
Q _{em}	Emniyetli Taşıma Gücü
H	Tabaka Kalınlığı
t	Zaman ifadesi
T ₀	Zemin Hakim Titreşim Periyodu
A _k	Zemin Büyütme Katsayısı
MASW	Multi Channel Analysis of Surface Waves
EUROCODE 8	Design of Structures for Earthquake Resistance
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
NEHRP	Ulusal Deprem Tehlikesini Azaltma Programı

TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Elastisite modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanımı	28
Tablo 2	Vp/Vs oranına göre suya doygunluk	28
Tablo 3	Kayma modülü değerlerine göre zemin dayanım sınıfları	29
Tablo 4	Bulk modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanımı	30
Tablo 5	Zemin birimlerin yoğunluk sınıflaması	31
Tablo 6	NEHRP Zemin Sınıflaması	31
Tablo 7	Eurocode 8'de Vs30'a göre zemin sınıflaması	32
Tablo 8	TBDY 2019'a Göre Zemin Sınıflaması	32
Tablo 9	Spektral büyütmelemlere göre mikrobölgeleme ölçütleri	34
Tablo 10	İnceleme Alanına Ait Dinamik Parametreler	37
Tablo 11	İnceleme Alanına Ait Taşıma Gücü Hesaplamaları	45

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	İnceleme alanının yer bulduru haritası	4
Şekil 2	Çanakkale grubuna ait formasyonların stratigrafik konumu	5
Şekil 3	İnceleme alanının jeoloji haritası	8
Şekil 4	a)Fay sistemlerini oluşturan levha hareketlerinin gösterimi. b)Kuzeybatı Anadolu'nun basitleştirilmiş diri fay haritası	9
Şekil 5	İnceleme alanımız ve çevresinde 1992-2023 yılları arasında olmuş $M>3.5$ olan depremlerin dağılımı	10
Şekil 6	P ve S Dalgalarının Gösterimi	12
Şekil 7	Yüzey Dalgalarının Gösterimi	13
Şekil 8	Huygens ilkesine göre dalga yayılımı	13
Şekil 9	Snell Yasasına Göre Dalgaların Yayılımı	14
Şekil 10	Dalgaların Temel Işın Yolları	16
Şekil 11	Kırılma Dalgasının Yol Zaman Grafiği	17
Şekil 12	Üç Tabakalı Modelde Kırılan Dalga'nın Işın yolu	18
Şekil 13	Eğimli Tabakalar İçin Işın Geometrisi	19
Şekil 14	Sismik kırılma yönteminin arazide uygulanışı	20
Şekil 15	Veri işlem aşamalarına genel bakış	21
Şekil 16	Dispersiyon Eğrisinin Gösterimi	23
Şekil 17	Faz ve Grup Hızının Gösterimi	24
Şekil 18	MASW yönteminin arazide uygulanışı	26
Şekil 19	Veri İşlem aşamalarına genel bakış	27
Şekil 20	Ölçü Profillerinin Yerlerini Gösteren Harita	35
Şekil 21	İnceleme Alanına Ait V_{s30} Hız Dağılımı	48
Şekil 22	İnceleme Alanına Ait Zemin Hakim Titreşim Periyodu Dağılımı	49
Şekil 23	İnceleme Alanına Ait Zemin Büyütme Katsayısı Dağılımı	50
Şekil 24	İnceleme Alanına Ait Zemin Sınıflama Dağılımı	51

BİRİNCİ BÖLÜM

GİRİŞ

Ülkemizin deprem kuşağında yer alması, ülkemize maddi ve beşeri olarak en zarar veren afetin deprem olması nedeniyle yıllardır depremin vereceği kayıpları en aza indirmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Depremlerin yaratacağı tahribatın en aza indirilmesi şüphesiz ki depreme dayanıklı yapılar tasarlamaktan geçer. Yapıların depreme dayanıklı olarak inşa edilebilmesi için, deprem, zemin ve yapı etkileşiminin irdelenmesi gerekmektedir.

Deprem dalgaları zemin tabakaları içerisinde hareket ederken bu tabakaların mukavemet vs. gibi mühendislik özelliklerini etkilerler. Bu sebeple zeminlerin deprem anındaki davranışlarını ve özelliklerini belirlemek çok önemlidir. Ve bu özellikleri belirlemek için kullanılacak yöntemlerden biri de sismik yöntemlerdir.

Sismik yöntemler uzun yıllardır zemin araştırmalarında deprem, zemin ve yapı etkileşiminin belirlenebilmesi için kullanılmaktadır. Ayrıca mevcut teknolojik gelişmelere uygun olması, tahribatsız, hızlı ve ekonomik olması nedeniyle de büyük önem kazanmıştır.

Bu çalışmada Çanakkale Havzası'na ait arazi ölçümleri kullanılarak zemin araştırmaları yapılmış ve sismik hızlar yardımıyla zeminlerin dinamik elastik parametreleri hesaplanmış, ayrıca deprem tehlike analizleri yapılmıştır. Sismik yöntemlerden, Sismik Kırılma ve Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (MASW) kullanılmıştır. Arazi ölçümleri ve elde edilen parametreler çalışma içerisinde tablo, grafik ve metinlerle sunulmuştur.

1.1 Literatür Özeti

Şaylan, (2006)'da Erzincan ovasının tektoniği ve jeolojisi hakkında kapsamlı bir araştırma yapılmıştır. Zemin parametreleri hesaplanarak, sıvılaşma tanımı ve sıvılaşma analizleri yapılmıştır. 1964 Niigata ve Alaska depremlerinde oluşan sıvılaşma durumu incelenerek Standart Penetrasyon Testi ile sıvılaşma analizi yöntemi geliştirilmiştir. Ayrıca CPT ile sıvılaşma, Becker ve eşik ivme metodu ile sıvılaşma analizlerine değinilmiştir. Ek

olarak eşik ivme değerine göre sıvılaşma analizleri yapılarak Erzincan ovasındaki riskli bölgeler belirlenmiştir.

Tunçel (2008)'de sismik kırılma, mikrotremör ve MASW yöntemleri kullanılarak İzmir Bornova grabeni bölgesi incelenmiştir. İnceleme bölgesinde 58 noktada mikrotremör, 15 noktada masw ve daha önce Kıncal 2004 doktora tezinde kullanılmak üzere alınmış sismik kırılma ölçüleri kullanılarak zemin dinamik parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplanan parametrelerin kendi içlerinde uyumuna bakılarak değerler karşılaştırılmıştır.

Akol, (2009)'da Çanakkale'de meydana gelmiş deprem etkinliklerinin episantr dağılımlarına, faylanmalar dikkate alınarak 4 sismik alt bölge oluşturulmuştur. 1903- 2006 yılları arasında meydana gelen büyüklüğü $M \geq 3$ olan deprem verileri kullanılarak, $\log N = a - bM$ bağıntısından a ve b katsayıları hesaplanmıştır. Depremlerinin gelecekte olma olasılıkları ve tekrarlanma periyotları Poisson ve Gumbel uç değerler istatistiksel dağılım modelleriyle elde edilmiştir. Yıkıcı depremlerin oluşabileceği bölgelerin belirlenmesi için a, b ve a/b değerlerinin dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Özçep, Vd. (2010)'da temel amaç olarak dinamik yüklerin doğurduğu zemin problemlerinin (zemin büyütmesi, zemin sıvılaşması, taşıma gücü kaybı, dinamik zemin oturması, dinamik yamaç/şev yenilmeleri) çözümüne/analizine yoğunlaşmaktadır.

Keçeli, (2010)'da Sismik S dalga hızından faydalanılarak sınır taşıma kapasitesi belirlenmiştir. Zemin özelliklerine bağlı olarak belirlenen güvenlik katsayısının V_p/V_s hız oranının benzerliğinden faydalanılarak V_p/V_s hız oranının güvenlik katsayısı olarak kullanılabilmesi gösterilmiştir. Sismik S dalgası hızına bağlı olarak yoğunluk tanımlanmıştır. Taşıma gücünün temel şekline bağlı olarak tanımlanabileceği ayrıca zemin yatak katsayısı ve oturma değerlerinin Boussinesq denkleminde göre basınç dağılımının aktif derinliğine bağlı olarak saptanabileceği gösterilmiştir. Zemin mekaniğinden elde edilen yük-oturma eğrisi ile sismik hızlardan elde edilen yük-oturma eğrisinin benzer değişim gösterdiği görülmüştür.

Alpaslan, (2013)'de sıvılaşmanın mekanizması ve zemin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi üzerinde durulmuştur. Zemin sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde S Dalga Hızı ve SPT (Standart Penetrasyon) arasındaki ilişkiye değinmiştir.

Bekler, (2015)'de Çanakkale'de ilk varış tomografisi, yer radarı, masw yöntemi ve mikrotremör ölçülerinden faydalanılarak zemin dinamik özellikleri irdelenmiştir. Çalışma

alanında zemin tabakaları, yer titreşim özellikleri, sıkı-gevşek tabaka ayrımı, Vs hız değişimleri, tabaka eğimleri ve elastisite parametrelerinin hesaplanması hedeflenmiştir. Vs kayma dalgası hızları, Y/D spektral genlik oranlarına bağlı zemin titreşim periyodu değişimleri zemin tanımlamasında önemli katkılar sağlamıştır. 24 Mayıs 2014 tarihinde Gökçeada'nın kuzey batısında oluşan deprem ($M_w=6.8$, KRDAE) ve çalışma alanına etkisi bu çalışmada belirlenen zemin-yapı etkileşimi çalışmalarının önemini bir kez daha ortaya koymuştur. Çanakkale'deki riskli bölgelerin belirlenmesine katkı sağlamıştır.

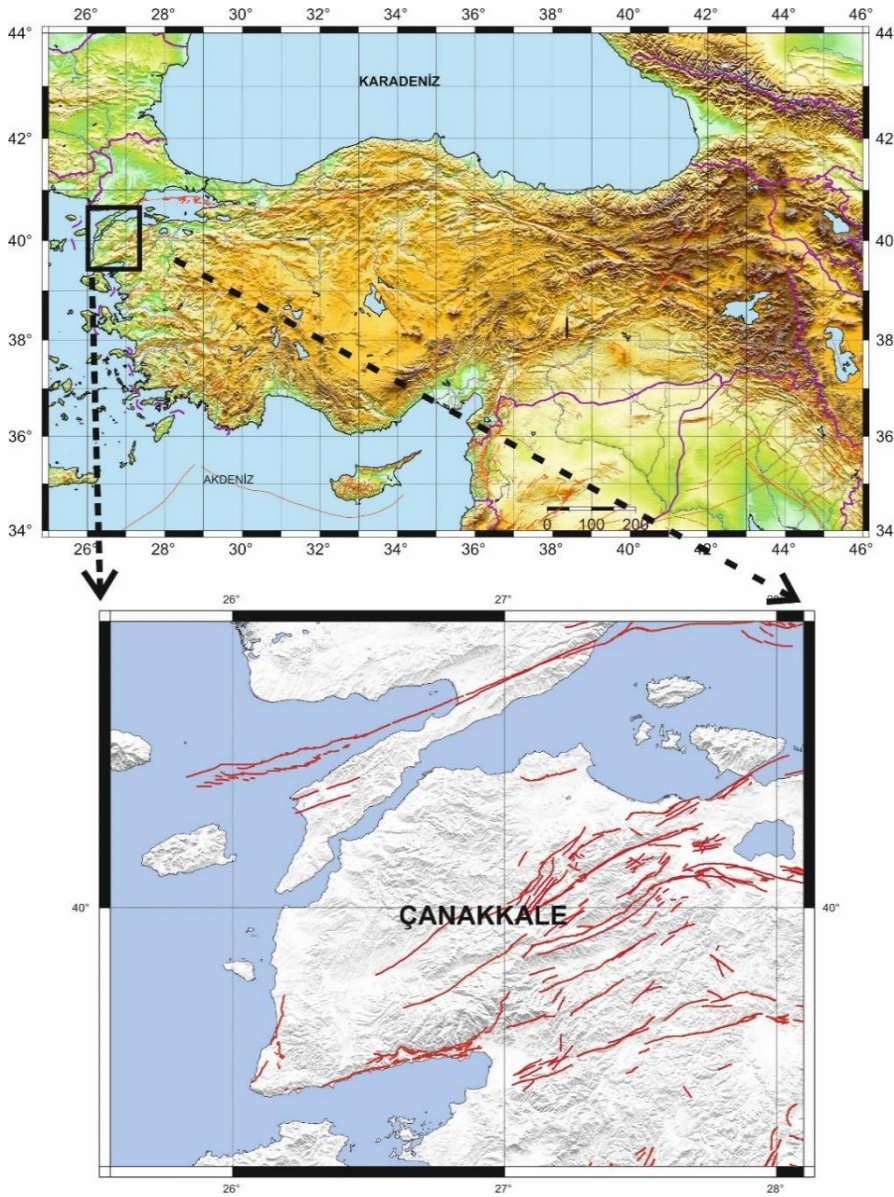
Kayacı, vd. (2017)'de Bir depremde meydana gelecek can ve mal kayıplarının en aza indirgenmesi için deprem anındaki zemin davranışının önceden kestirilmesi önem arz etmektedir. 17 Ağustos 1999 İzmit ($M_w=7.4$) ve 12 Kasım 1999 Düzce ($M_w=7.2$) depremleri Adapazarı bölgesinde büyük yıkım ve hasara sebep olmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda yıkım ve hasara zemin problemlerinin neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu sebeple Adapazarı bölgesinde zemin araştırmaları büyük önem kazanmıştır. Bu çalışmada Arifiye ilçesinde alınan 37 adet masw ölçüsü kullanılarak Vs hızı ve sıvılaşma alanları belirlenmiştir. Hız bilgileri dikkate alınarak 5-10- 15-20-25-30 m derinlik seviyesine ait ortalama Vs kat haritaları hazırlanmıştır. Bu veriler neticesinde zemin sınıflaması ve olası sıvılaşma alanları tespit edilmiştir.

Şuvak, E. (2019)'da Batman ili kent merkezindeki zemin problemlerinin ortaya çıkarılması, zeminlerin fiziksel özelliklerinin araştırılması, jeolojik katmanların belirlenmesi, karstik boşluklar ve gevşek birimlerle ilgili araştırma yapılması amacıyla sismik kırılma, sismik yansıma ve MASW yöntemleri uygulanmıştır. Sismik kırılma, sismik yansıma ve MASW yöntemleriyle tabaka hızları belirlenmiş ve hızlara bağlı olarak dinamik elastik parametreler hesaplanmıştır. Elde edilen parametreler ile zemin özellikleri ve problemleri belirlenerek bölgeye etkisi irdelenmiştir.

İKİNCİ BÖLÜM ÇANAKKALE JEOLJİK UNSURLARI

2.1 İnceleme Alanının Tanıtılması

Çanakkale, Türkiye'nin kuzeybatısında 25° 35' ve 27° 45' Doğu Boyamları 39° 30' ve 40° 42' Kuzey Enlemleri arasında ve Gelibolu Yarımadası ile Biga yarımadası üzerinde yer almaktadır. Ayrıca Ege Denizi ve Marmara Denizi'ne kıyıları bulunmaktadır.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

2.2 Jeoloji

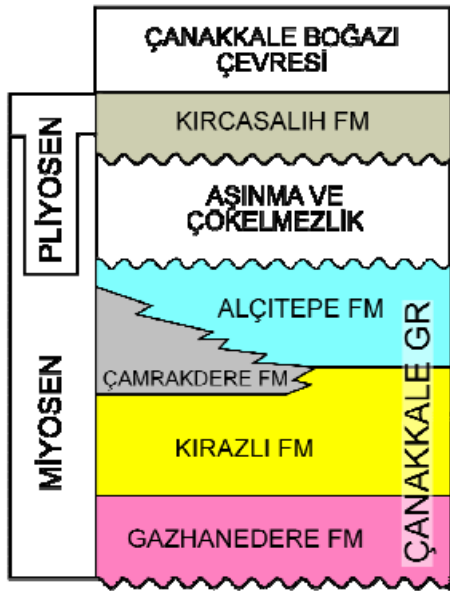
2.2.1 Genel Jeoloji

Çalışma alanı, magmatik, metamorfik ve tortul kayaların neredeyse her türünün yüzeylendiği, tektonik açıdan da aktif olan Biga Yarımadası'nda bulunmaktadır ve Çanakkale Havzası olarak nitelendirilen ve yerleşim alanlarının bulunduğu bölgedir. (Demirci, 2007). Bölgede altta Çanakkale Grubu ve üyeleri, üstte alüvyon birimler yer almaktadır.

Çanakkale Grubu

Çanakkale Grubu ismi, Çanakkale Boğazı'nın her iki yakasında, Gökçeada, Bozcaada ve güney Trakya'da yaygın olarak yüzeylemeleri bulunan yaşlı sedimanter birimleri için (Siyako, 2006) tarafından tanımlanmıştır.

Çanakkale grubunu oluşturan formasyonlar alt tabakadan üst tabakaya doğru Gazhanedere formasyonu, Kirazlı formasyonu, Çamrakdere formasyonu, ve Alçitepe formasyonu olmak üzere 4 stratigrafik birimden oluşur (Şekil 2).



Şekil 2. Çanakkale grubuna ait formasyonların stratigrafik konumu (Siyako, 2006)

Gazhanedere Formasyonu

İlk kez Saltık 1974 tarafından tanımlanmıştır. Birimde baskın unsur çakıltasıdır. Ayrıca silttaşı çamurtaşı ve kumtaşı arabantları içermektedir. Yer yer kumlu marn içeren unsurları da bulunmaktadır. Çakıltası; pembe, bordo renklidir ve altere olmuştur. Üstünde yer alan Kirazlı formasyonu ile iki yönlü geçiş göstermektedir. Çanakkale Boğazının doğu kenarı boyunca çok yaygın yüzeylemeleri bulunmasına rağmen inceleme alanı içerisinde çok sınırlı bir dağılımı vardır. Gökçeada, Bozcaada, Ayazma ve Güzelyalı dolaylarında yüzeylemeleri vardır. Güzelyalı dolaylarındaki marnlı kumlu unsurları yoğun yağışlı sezonda heyelan oluşmasına sebep olur. Tespit edilen kalınlığı Güzelyalı ve çevresinde 55 m civarındadır(Perinçek, 2018).

Kirazlı Formasyonu

Birimin genel litolojisini kumtaşı oluşturur. Kumtaşları açık sarı, sarımsı gri renklenmelere sahip olup gevşek taneciklidir ve boylanma özelliği iyi durumdadır. Kuvars tanecikleri içeren bir yapıya sahiptir. İnce şeyl bantları ve kömür katkıları da içerir. Tekirdağ Şarköy ile Kirazlı köyünde tanımlanan bu birimin Gökçeada ve Bozcaada'da yüzeylemeleri bulunur. Üzerinde yer alan Alçıtepe formasyonu ile geçişlenmeleri bulunmaktadır. Tespit edilen kalınlığı 400-600 m arasındadır.

Çamrkdere Formasyonu

Siyako (2006) tarafından Çamrkdere formasyonu olarak tanımlanmıştır. Birimde hakim litoloji kumtaşı, kumlu kireçtaşı, marn ve kilttaşlarıdır. Birimin en iyi yüzeylemeleri Lapseki'de bulunan Çamrkdere dolaylarındadır. Formasyonun kalınlığı yaklaşık 95 m civarındadır.

Alçıtepe Formasyonu

Birim Sfondrini (1961) tarafından Gelibolu yarımadası Alçıtepe köyünden tanımlanmıştır. Gökçeada, Bozcaada ve Ayazma dolaylarında yüzeylemesi vardır. Egemen litoloji kireçtaşlarıdır. Beyazımsı gri renkli karbonat içeriği yüksektir. Bu birimlerin üzerine orta taneli erime göstererek boşluklu yapı oluşturmuş karbonatlı kumtaşı çökelmiştir. Formasyonun üst seviyelerinde fosil katkılı kireçtaşı düzeyleri hâkimdir. Fosilli kireçtaşı üste doğru daha ince taneli, sarı-boz renkli karbonatlı kumtaşı, kiltası araldanmasına geçer. Formasyonun en üst kesimlerinde ise karbonat ve çimento miktarı yüksektir. Çamrkdere

Formasyonu ile geçişlilik gösterir(Atabey vd. 2004). Tespit edilen kalınlığı 60-100 m arasındadır.

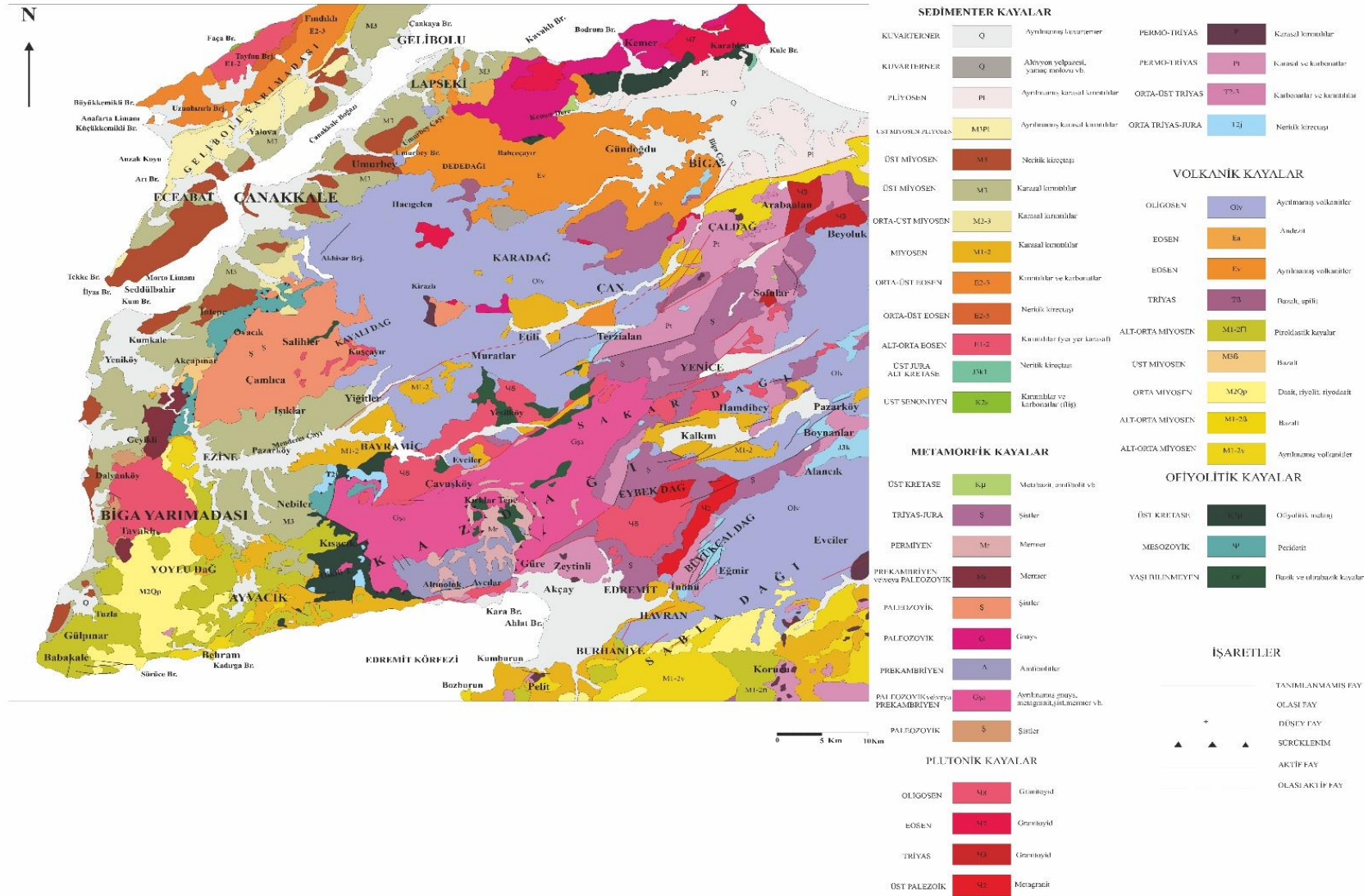
Alüvyonlar

Çalışma alanının büyük bir bölümü, Sarıçay'ın taşıyıcı etkisiyle taşınan gevşek sedimanların düşük yükseltiye sahip bölgelerde birikmesiyle oluşmuştur. Bu sedimanlar litolojik unsurlarına ve oluşum biçimlerine göre 3 ayrı kategoriye ayrılmıştır. Bunlar;

a)Kum, çakıllı kum, killi kum birimi: Birimin esas bileşeni kum birimlerdir, yer yer kil ve çakıl katkıları bulunmaktadır. Taşkın bölgesinde yüzeylemesi bulunmaktadır.

b)Kum, siltli kum, kil mercekli kum: Birimin esas bileşeni kumdur birimlerdir, yer yer silt içeren ve kil mercekleri gözlenen unsurları vardır. Çanakkale grubuna ait formasyonlardan taşınan malzemelerin oluşturduğu sedimanlardır. Çanakkale havzası içerisinde özellikle yerleşim alanlarında yoğun yüzeylemesi vardır.

c)Kum, çakıl ve blok birimler: Kum, çakıl ve blok gibi ince ve iri taneli sedimanların geçişli bir yapı gösterdiği birimlerdir. Sarıçay etrafında yüzeylemesi bulunmaktadır. Sarıçay'dan uzaklaştıkça tane boyutu azalmakta daha ince taneli birimler gözlemlenmektedir.

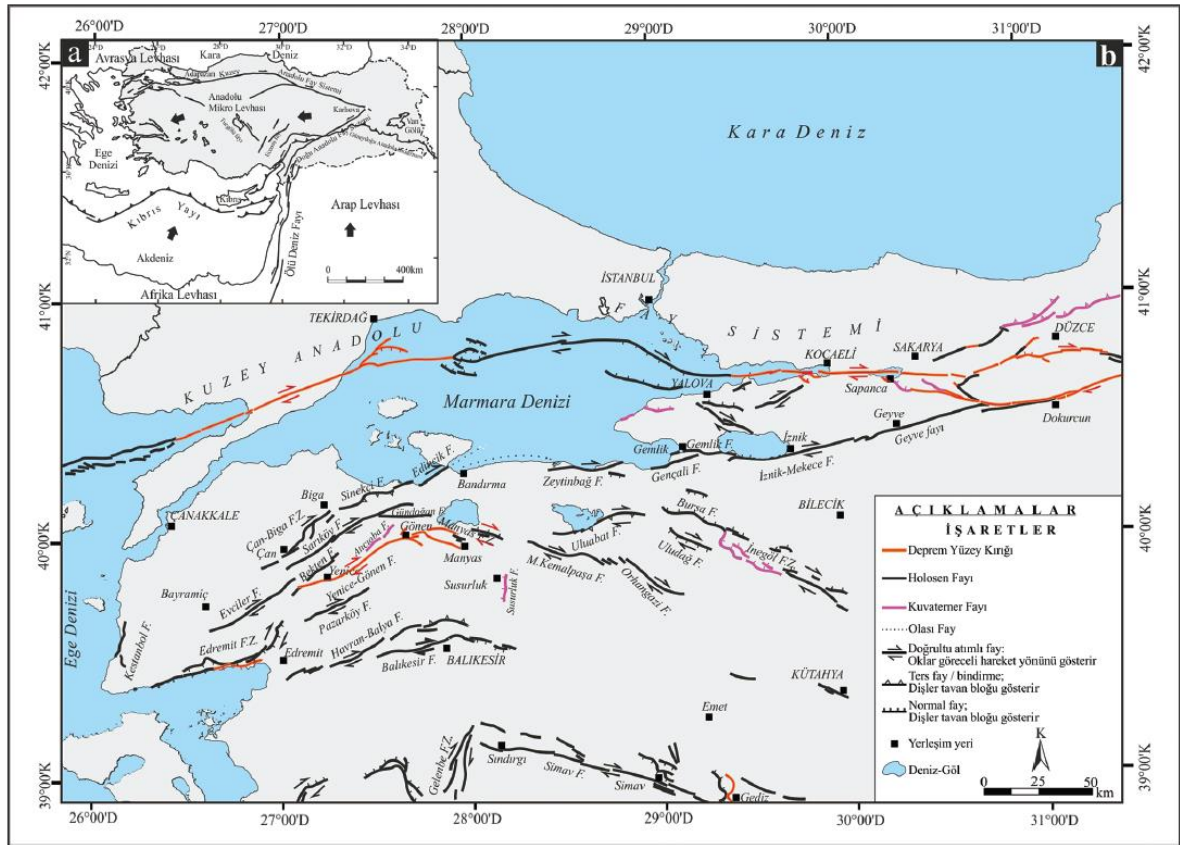


Şekil 3. İnceleme alanının jeoloji haritası (Demirci, 2007)

2.3 Sismotektonik

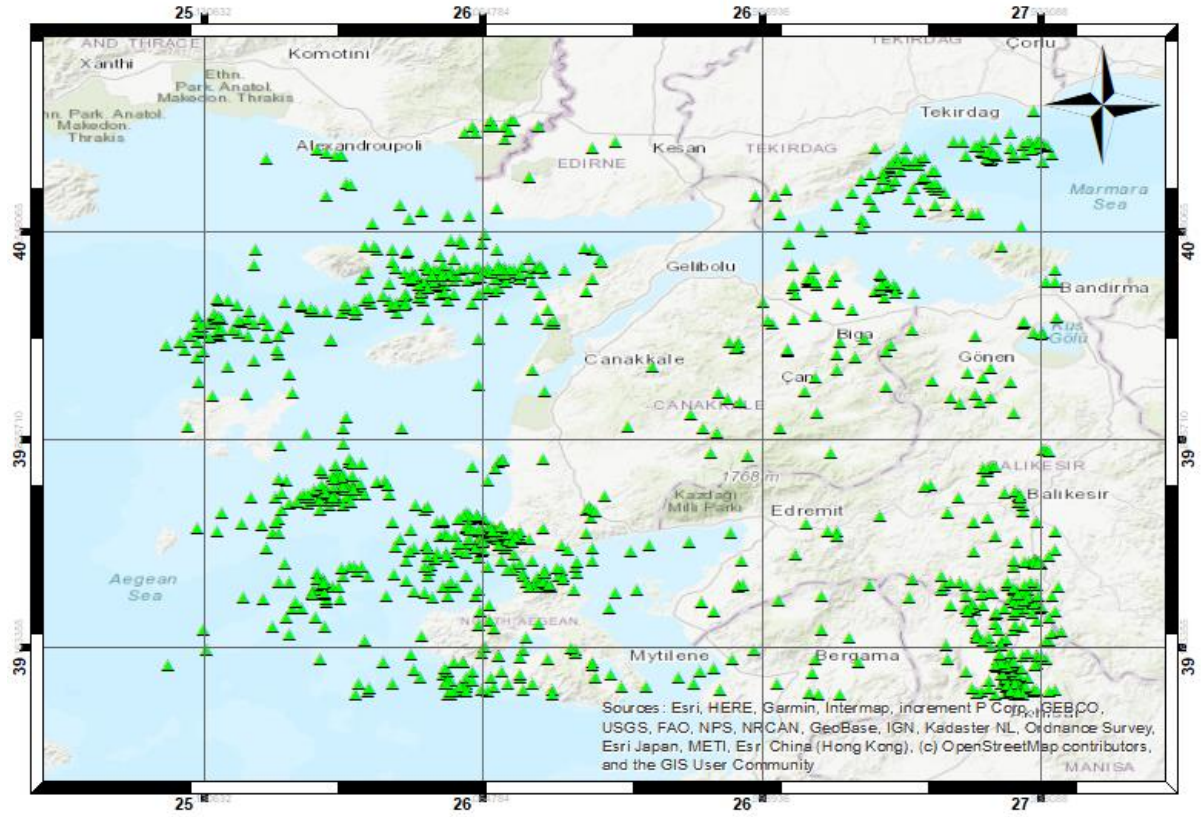
Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS), Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS), Ölüdeniz Fay Zonu ve aktif bir dalma batma zonu olan Ege-Kıbrıs Dalma Batma Zonu; Afrika, Arabistan ve Avrasya levhaları arasındaki hareketlere bağlı olarak gelişen deformasyon sonucu oluşmuştur (Şengör,1979).

İnceleme alanımız ise KAFS'nin etki alanı içerisinde kalmaktadır. Kuzey Anadolu Fay Sistemi Marmara Bölgesi'nde, Marmara Denizi altından geçerek Saroz Körfezi'ne ulaşan, Osmaneli-Gemlik-Bandırma-Bayramiç hattından geçen ve Geyve-Yenişehir-Bursa-Gönen-Edremit hattını takip ederek Ege Denizi'ne ulaşan üç ayrı uzantıdan oluşmaktadır (Emre vd., 2012). Bu fay uzantılarının deprem etkinliği tarihsel ve aletsel dönem verileriyle kanıtlanmıştır.



Şekil 4. a)Fay sistemlerini oluşturan levha hareketlerinin gösterimi. b)Kuzeybatı Anadolu'nun basitleştirilmiş diri fay haritası (Emre vd., 2012; Kürçer vd.,2019)

İnceleme alanımız için 1992-2023 yılları arasında olmuş $M > 3.5$ olan depremlere ait harita şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. İnceleme alanımız ve çevresinde 1992-2023 yılları arasında olmuş $M > 3.5$ olan depremlerin dağılımı

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM SİSMİK YÖNTEMLER

Sismik yöntemler zemin üzerinde patlayıcı, ağırlık düşürme, balyoz vs. gibi sismik dalga kaynakları yardımıyla yapay bir dalga oluşturularak, dalganın zemin üzerine yerleştirilmiş olan alıcılara olan varış süresinin bir sismik kayıt cihazıyla kaydedilmesi temeline dayanan bir yöntemdir.

Sismik yöntemlerin temelini oluşturan dalgalar sismik dalgalar olarak tanımlanır ve tabaka içerisinde ilerleme özelliklerine göre cisim ve yüzey dalgaları olarak adlandırılırlar.

Sismik yöntemler ile zeminlerin tabaka hızları, tabaka sınırlarının ve eğimlerinin belirlenmesi, tabakalara hızlarından yola kalkarak ait mühendislik özelliklerinin hesaplanması ve fay, karstik boşluk gibi jeolojik yapıların tespit edilmesinde kullanılmaktadır.

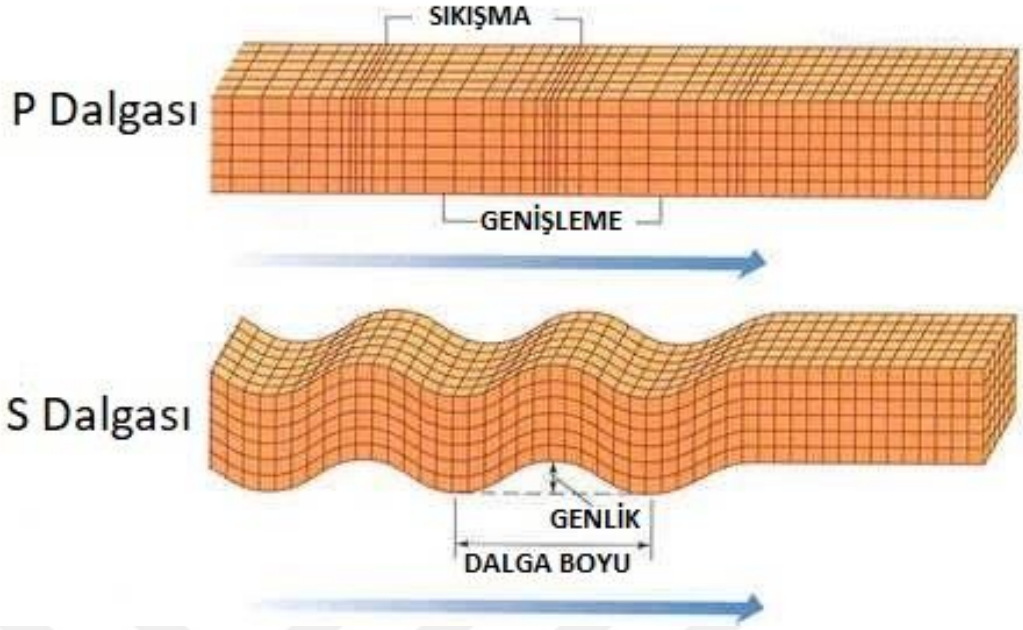
Sismik yöntemin temeli Snell, Fermat ve Huygens prensiplerine dayanır.

3.1 Sismik Dalgalar

Sismik dalgalar cisim ve yüzey dalgaları olarak ikiye ayrılırlar.

3.1.1. Cisim Dalgaları

Sismik yöntemde iki farklı cisim dalgası bulunmaktadır. Bunlar P (primer) ve S (seconder) dalgalarıdır. P dalgaları birincil dalgalardır ve sıkışma dalgası olarak da adlandırılırlar. İlerledikleri tabakayı ileri geri hareket ettirerek ilerlerler. Katı, sıvı ve gaz formundaki tabakalarda hareket edebilirler. S dalgaları ise ikincil dalgalardır. Kesme dalgası ve makaslama dalgası olarak da adlandırılırlar. İlerledikleri tabakayı hareket yönüne dik şekilde hareket ettirerek ilerlerler.

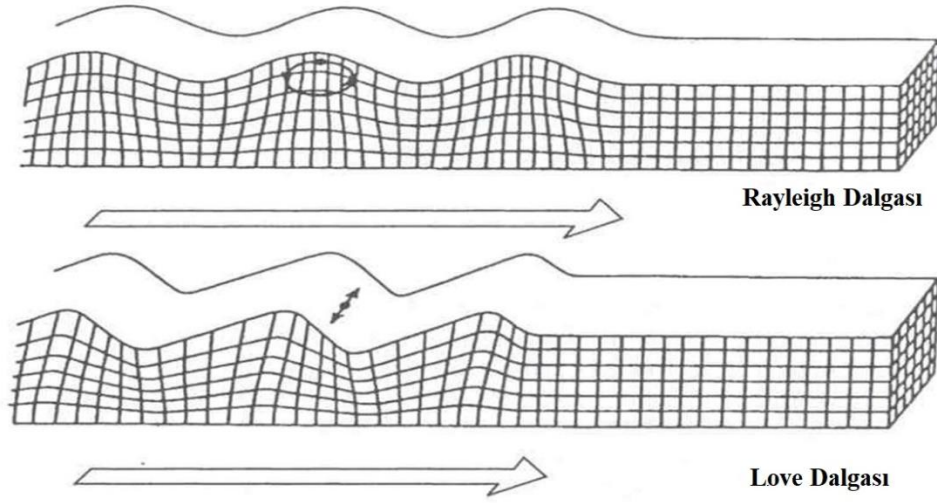


Şekil 6. P ve S Dalgalarının Gösterimi (Kaynak: <https://tex.stackexchange.com>)

3.1.2. Yüzey Dalgaları

Yüzey dalgaları yerkürenin yüzey tabakaları boyunca ilerlerler. Rayleigh ve Love dalgaları olarak ikiye ayrılırlar. Rayleigh dalgaları yarı sonsuz bir ortam ve serbest bir yüzey üzerinde oluşabilir ve yuvarlanma hareketi yaparak ilerler. Büyük genlikli ve alçak frekanslı dalgalardır.

Love dalgaları ise yarı sonsuz ve elastik bir yüzey tabakası üzerinde oluşur ve yalnızca yatay yönde dik olarak hareket eder. Love dalgaları yerin serbest yüzeyi ile kabuğun tabanı arasında ard arda yansıma yapan SH dalga fazlarının yapıcı girişiminden oluşur.

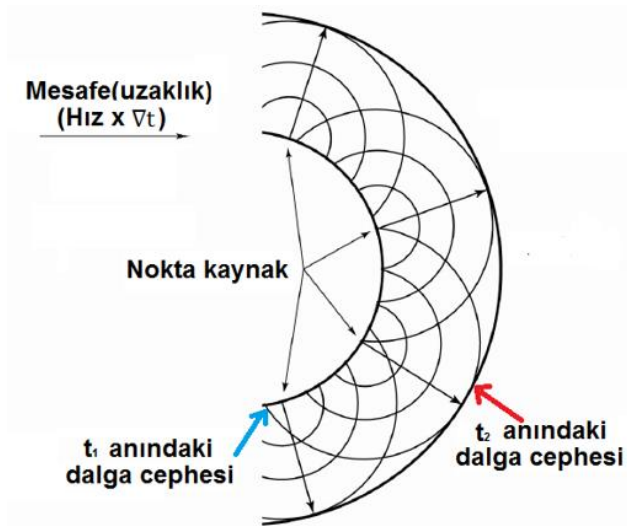


Şekil 7. Yüzeysel Dalgaların Gösterimi (Kaynak: <https://publications.chitkara.edu.in/note-on-surface-wave-in-fibre-reinforced-medium/>)

3.2. Elastik Dalga Yayılım Teorileri

3.2.1 Huygens Prensibi

Huygens prensibi ilk kez 1678 yılında Huygens tarafından ortaya atılmıştır. Bu prensibe göre dalga cephesi üzerindeki her nokta yeni bir kaynak gibi davranarak yeni dalgalar oluşturmaktadır.



Şekil 8. Huygens ilkesine göre dalga yayılımı.

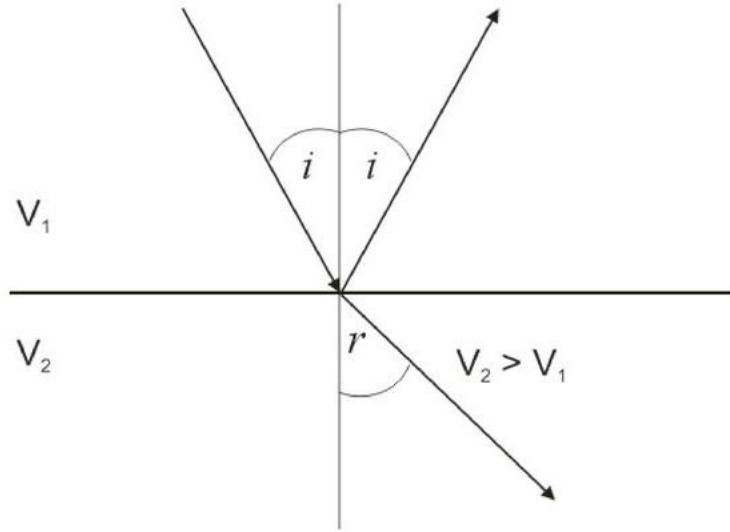
(Kaynak: <http://sharkphysics.weebly.com/huygens-principle.html>)

3.2.2 Fermat Prensibi

Fermat prensibi, sismik ışınların iki nokta arasındaki en kısa yolu izleyeceğini belirler. Homojen ortamda ışının izleyeceği yol dalga cephesine dik olurken, ışın bir ara yüzeye geldiğinde tabakaların hızına bağlı olarak ara yüzeyin normaline yaklaşarak veya uzaklaşarak en kısa yolu izleyecektir. Bu prensip kırılma ve yansıma kanunlarının (Snell Yasası) belirlenmesine öncülük etmiştir.

3.2.3 Snell Yasası

Snell kanunu farklı hızlara sahip tabakaların sınır yüzeyine gelen dalgaların kırılma ve yansıma kurallarını tanımlar (Yalçınkaya, 2016).



Şekil 9. Snell Yasasına Göre Dalgaların Yayılmı

$$\frac{\sin i_1}{V_1} = \frac{\sin r}{V_2} \quad (3.1)$$

Snell yasası (3.1) eşitliği ile ifade edilir. Burada i_1 : gelen ışın ile normal arasındaki açı, r : kırılan ışın ile normal arasındaki açı, V_1 : birinci tabakanın hızı (m/sn), V_2 : ikinci tabakanın hızıdır.

Eğer gelen dalga ikinci tabakanın normali ile 90° açı yaparak kırılırsa bu durumda kırılma olur ve $\frac{\sin i_c}{v_1} = \frac{\sin 90}{v_2}$ koşulunu sağlayan geliş açısı, tabakaların sismik dalga hızları oranından;

$$i_c = \arcsin\left(\frac{v_1}{v_2}\right) \quad (3.2)$$

ile hesaplanır ve buna kritik açı adı verilir.

3.3 Sismik Hızı Etkileyen Faktörler

Sismik hızı etkileyen faktörleri aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür

- Kayaç ya da zeminin dayanım ve direnç özelliği arttıkça sismik hız artar
- Kayaç ya da zeminin yoğunluk değeri arttıkça sismik hız artar
- Zemin birimlerinde katılık ve sıkılık özellikleri arttıkça sismik hızlar artar
- Kayaç birimlerde gözeneklilik, zemin birimlerde ise cıvıklık ve gevşeklik özellikleri arttıkça sismik hız düşer.

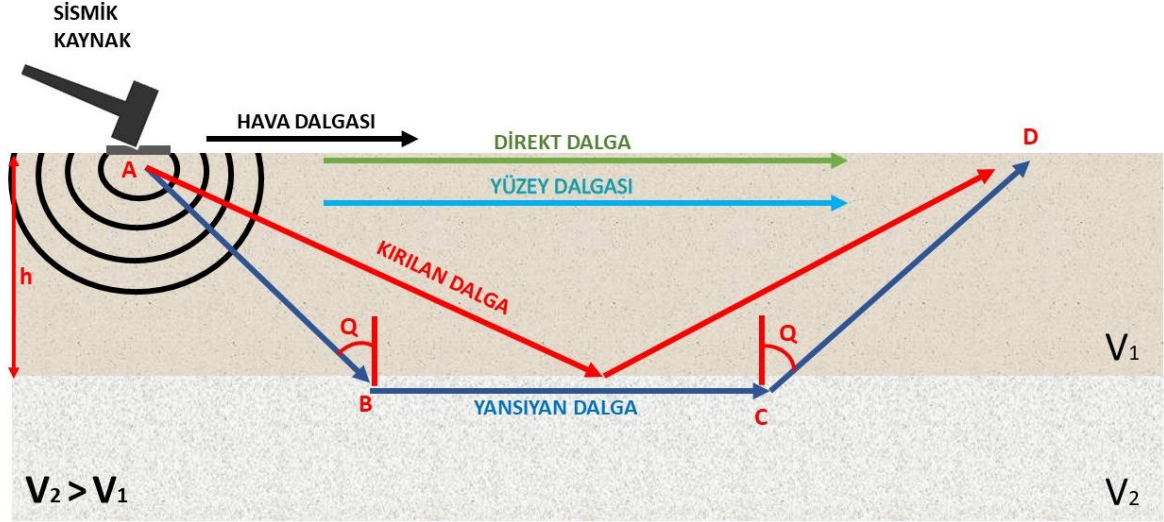
3.4 Sismik Kırılma Yöntemi

3.4.1 Yöntem

Sismik Kırılma Yöntemi, sismik alıcılara yapay bir kaynak yöntemiyle gönderilen bir sismik dalganın alıcılara varışı üzerine seyahat zamanı ölçülerek tabaka hızlarının bulunması esasına dayanan bir yöntemdir. Buna göre zeminde oluşturulan sismik dalganın alıcılara varış sürelerinin sismik kayıtçılar tarafından kaydedilmesi ile dalganın zemin tabakası içerisindeki ilerleme hızı bulunur. Farklı tabakalar farklı hızlara sahiptir. Bu hız farklılıkları, tabaka kalınlığı ve tabaka sınırlarının belirlenmesi, ve tabaka hızları yardımıyla zeminlerin fiziksel ve mühendislik özelliklerinin hesaplanmasında kullanılır. Veri toplanması ve değerlendirilmesi açısından ekonomik, pratik ve hızlı bir yöntemdir. Sığ araştırmalarda başarı oranı yüksektir. Özellikle jeoteknik araştırmalarda etkinliği ve güvenilirliği kanıtlanmıştır(Şuvak,2019).

Düzlemsel Tabaka Yöntemi

Sismik kırılma yönteminde tabakalar homojen kabul edilir. Hızlar derinlik ile artış göstermezse kırılma gerçekleşmez. Bu nedenle tabaka kalınlıkları belirlenemez ve ikinci tabakanın hızı belirlenemez(Doyle, 1995).



Şekil 10. Dalgaların Temel Işın Yolları

Şekil 3.6'da gösterildiği gibi kırılma dalgası A noktası ile B noktası arasındaki yolu V_1 hızı ile B ve C noktası arasındaki yolu V_2 hızı ile geçer. Direkt dalga ise A ve D noktası arasındaki yolu V_1 hızı ile geçer. Buna göre direkt dalganın seyahat süresi;

$$t = \frac{AD}{V_1} \quad (3.3)$$

olur.

ABCD yolu için dalganın seyahat süresi;

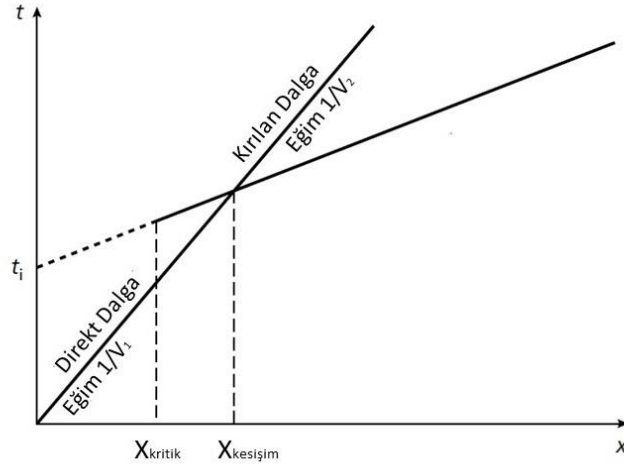
$$\begin{aligned} t &= t_{AB} + t_{BC} + t_{CD} \\ &= \frac{AB}{V_1} + \frac{BC}{V_2} + \frac{CD}{V_1} \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$= \frac{Z}{V_1 \cos Q} + \frac{(x-2Z \tan Q)}{V_2} + \frac{Z}{V_1 \cos Q} \quad (3.5)$$

Snell kanununa göre $\sin Q = V_1/V_2$ ve $\cos Q = (1-V_1^2/V_2^2)^{1/2}$ olduğundan;

$$t = \frac{x}{V_2} + \frac{2h \cos Q}{V_1} \quad (3.6)$$

Olur.



Şekil 11. Kırılma Dalgasının Yol Zaman Grafiği

Kırılma dalgasının geliş zamanı t ve eğimi $1/V_2$ 'dir. Bu doğrunun t eksenini kestiği nokta intersept (t_i) adını alır. Intersept değerinden yararlanılarak tabaka kalınlığı bulunabilir.

$$t_i = \frac{2h(V_2^2 - V_1^2)^{1/2}}{V_1 V_2} \quad (3.7)$$

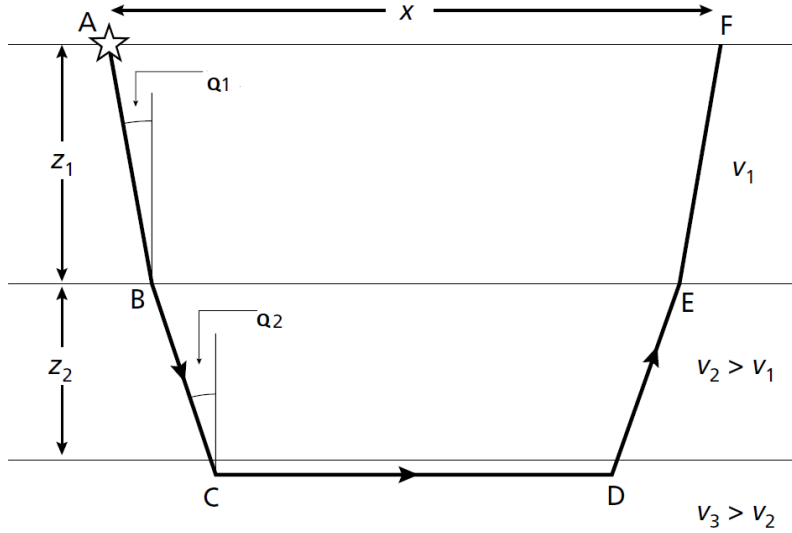
Olur. Buradan tabaka kalınlığı;

$$h = \frac{t_i V_1 V_2}{2(V_2^2 - V_1^2)^{1/2}} \quad (3.8)$$

Olur.

Çoklu Tabaka Yöntemi

Çoklu tabaka yönteminin prensiplerini ele alırken 3 tabaka olarak düşünürsek, iki ara yüzey olacaktır. Bu ara yüzeylerde kırılma oluşması için $V_1 < V_2 < V_3$ olacaktır. Üst ara yüzeyde dalganın gelme açısı Q_1 alt ara yüzeyde dalganın gelme açısı Q_2 olacaktır. (Şekil 12’de gösterilmiştir.)



Şekil 12. Üç Tabakalı Modelde Kırılan Dalganın Işın yolu

Buna göre ABCDEF yolu için zaman denklemi;

$$t = \frac{CD}{V_3} + \frac{2Z_1 \cos Q_1}{V_1} + \frac{2Z_2 \cos Q_2}{V_2} \quad (3.9)$$

Olur.

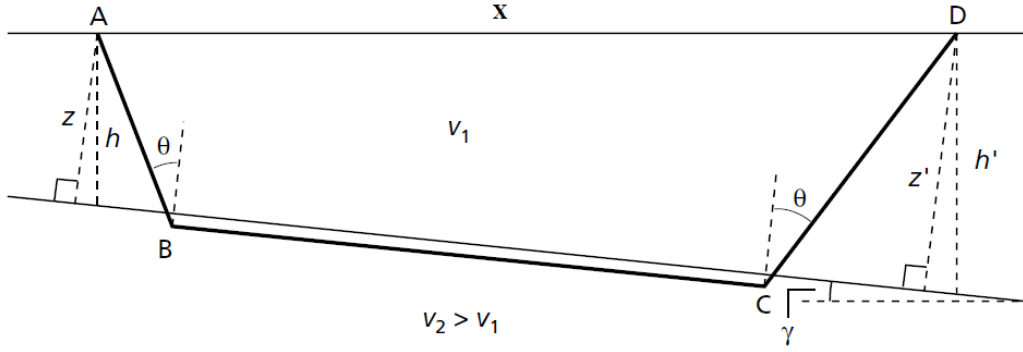
N sayıda tabaka için ise;

$$t = \frac{x}{V_n} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{2z_i \cos Q_i}{V_i} \quad (3.10)$$

Olur

Eğimli Tabaka Yöntemi

Tabakaların eğimli olması durumunda kaynak ve alıcının altındaki ara yüzeyler için derinlik, eğim açısı nedeniyle farklıdır. Bunu şekil üzerinde gösterecek olursak;



Şekil 13. Eğimli Tabakalar İçin Işın Geometrisi

Burada V_1 ve V_2 hızlı tabakaları birbirinden ayıran yüzey γ eğimli kabul edersek, buna göre AD ve ABCD yollarının zaman denklemleri;

$$t_{AD} = \frac{AB}{V_1} = \frac{x}{V_1} \quad (3.11)$$

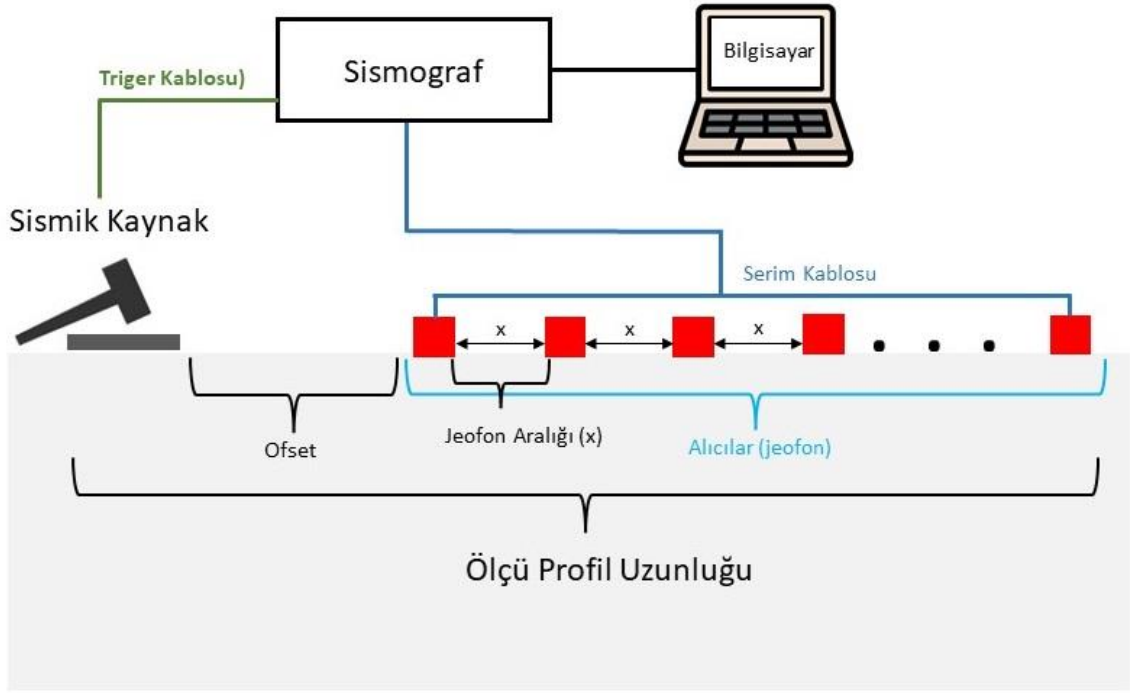
olur.

$$t_{ABCD} = \frac{x \cdot \sin(\theta + \gamma)}{V_1} + \frac{2H \cdot \cos\theta}{V_1} \quad (3.12)$$

olur. (Kearey ve diğ., 1984)

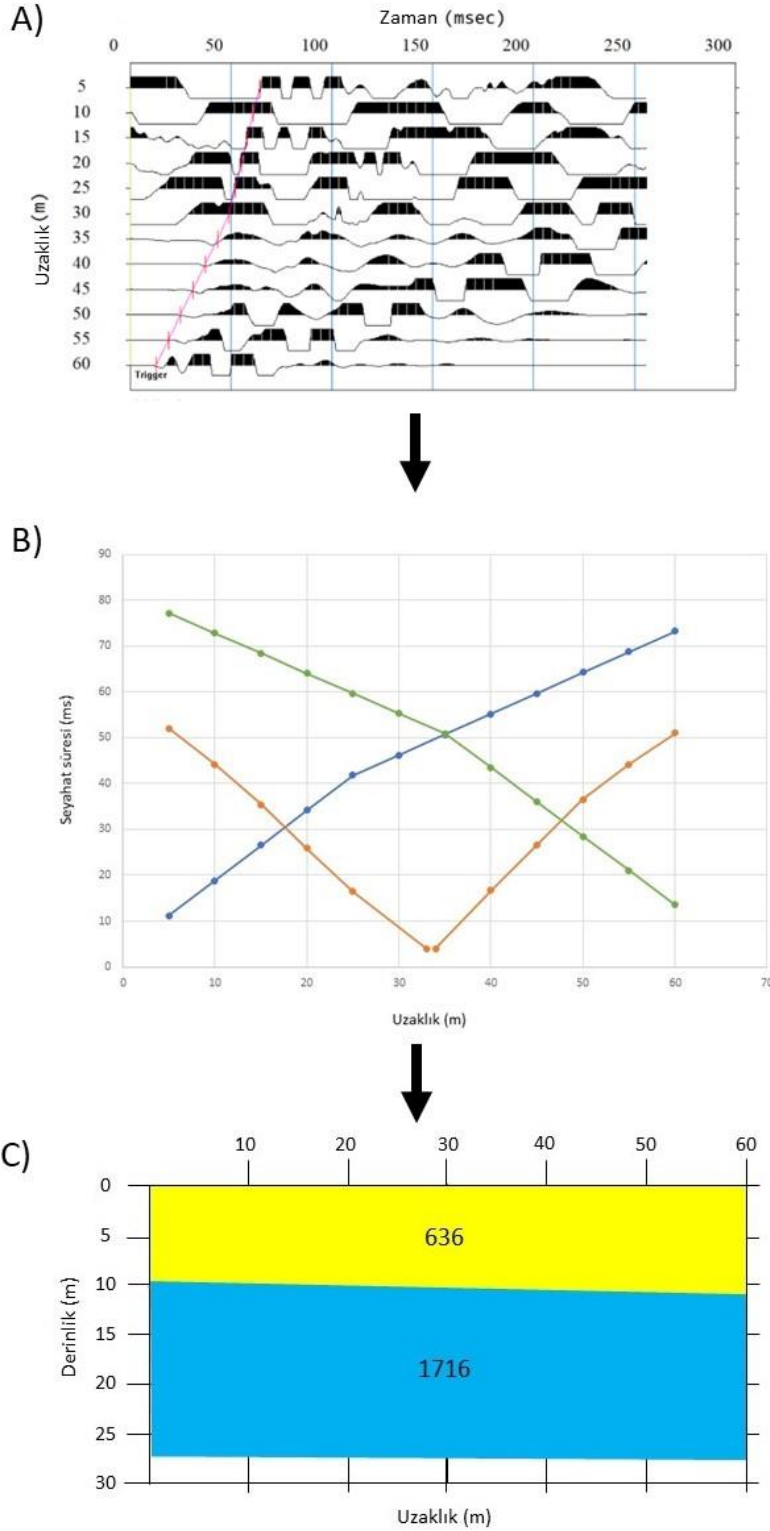
3.4.2 Yöntemin Arazide Uygulanması ve Verilerin Değerlendirilmesi

Sismik kırılma yöntemi arazide uygulanırken profil uzunluğu araştırma derinliğine göre belirlenir. Araştırma derinliği, profil uzunluğunun 1/3 katı kadar olmalıdır. Atış sayısı ise istenilen görüntü kalitesine göre belirlenir. Yalnızca tabaka kalınlığı ve hızları belirlemek için tek atış yeterli olurken, tabaka eğimlerini de tespit edebilmek için hem düz hem ters atış yapılmalıdır. Yeraltının yüksek çözünürlüklü görüntülenmesi isteniyor ise o zaman düz orta ve ters atış yapılmalıdır. Hat boyunca yapılan atış sayısı arttıkça görüntü kalitesi de artacaktır. Sismik kırılma yönteminde, sismik kaynak, alıcı (jeofon), serim kablosu ve kayıtçı kullanılır. Sismik kırılma yönteminin arazide uygulanışı Şekil 14'te gösterilmiştir.



Şekil 14. Sismik kırılma yönteminin arazide uygulanişı

Arazide alınan ölçüler paket program yardımıyla değerlendirilmiştir. Ölçülerde ilk varış zamanları her atış için okunarak uzaklık-zaman grafiği çizdirilmiştir. Ardından ters çözüm işlemi uygulanarak yeraltı hız modellemesi yapılmıştır.



Şekil 15. Veri işlem aşamalarına genel bakış A) Ham veri üzerinde ilk varış zamanlarının işaretlenmesi B) Zaman uzaklık grafiğinin çizdirilmesi C) Derinlik-hız kesitlerinin çizdirilmesi

3.5 Çok Kanallı Yüzeysel Dalgası Analizi (MASW) Yöntemi

3.5.1 Yöntem

Çok kanallı yüzeysel dalgası analiz yöntemi balyoz, patlayıcı vb. gibi aktif bir kaynak tarafından üretilen yüzeysel dalgalarının seyahat zamanlarına bağlı olarak tabakalar içerisinde ilerleme hızlarının belirlendiği bir yöntemdir.

Yüzeysel dalgası analiz yöntemlerinde frekansa bağlı olarak ilerleme hızında artış gösteren Rayleigh dalgalarının oluşturduğu dispersiyon eğrilerine ters çözüm işlemleri uygulanarak, kayma dalgası (V_s) hızlarının düşey yönde değişiminin tespit edilmesini sağlar.

Yüzeysel dalgası analiz yöntemleri aktif kaynaklı ve pasif kaynaklı olarak 2 şekilde uygulanmaktadır. Bu çalışmada aktif kaynaklı yöntemler kullanılmıştır. Aktif kaynaklı pasif kaynaklı yöntemlere göre araştırma derinliğini sınırlandırmasına rağmen uygun arazi geometrisinin seçilmesi ile yüksek çözünürlüklü dispersiyon eğrilerinin elde edilmesini sağlar. Ayrıca sığ araştırmalarda yanılğı payı düşüktür. Bu sebeple zemin araştırmalarında başarıyla uygulanabilmektedir.

Zemin tabakalarının mühendislik özellikleri olarak nitelendirilen ve üst yapı ile birebir ilişkili olan kayma, elastisite ve sıkışmazlık modülleri, zemin hakim titreşim periyodu, zemin büyütmesi gibi parametreler kayma dalgası (V_s) hızı ile doğrudan ilişkili parametrelerdir. Dolayısıyla V_s hızının ölçülmesi için aktif kaynaklı yüzeysel dalgası analizleri büyük önem taşımaktadır. Aktif kaynaklı MASW yönteminde kaynak olarak ağırlık düşürme, vibroseis, dinamit, balyoz gibi kaynaklar kullanılabilir. Kaynak gücü arttıkça araştırma derinliği artar(Dikmen, 2010).

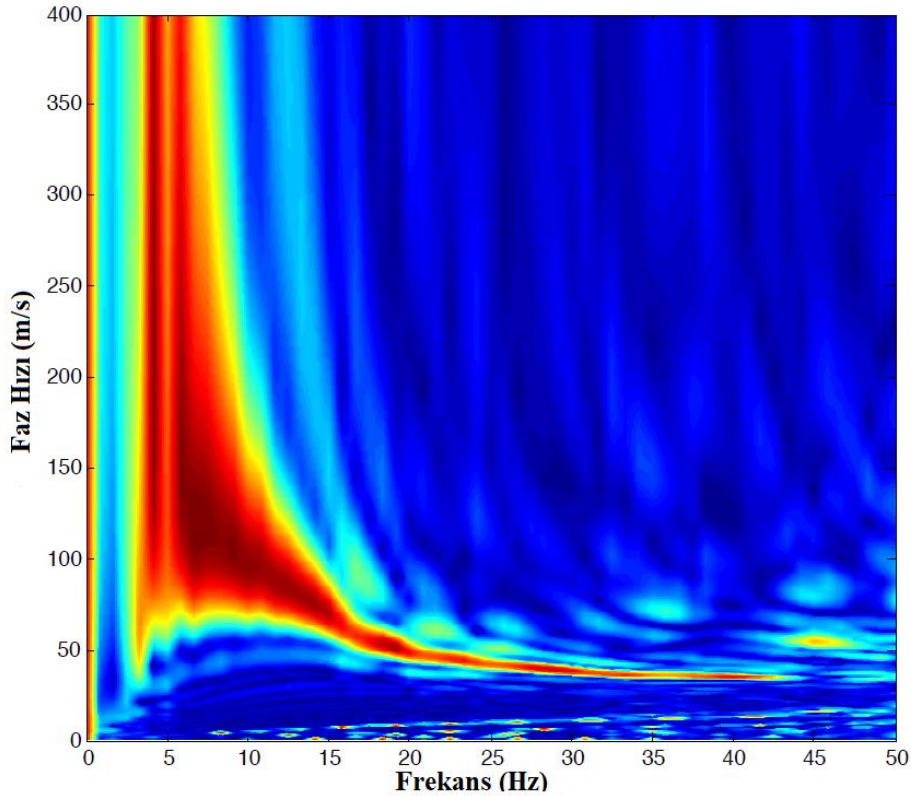
Yüzeysel dalgası analiz yöntemleri aşağıdaki üç adımda gerçekleştirilir.

- 1- Kaynak yardımıyla oluşturulan yüzeysel dalgalarının jeofonlar ve sismometre yardımıyla kayıt edilmesi
- 2- Kayıt edilen arazi verilerine veri işlem uygulanarak dispersiyon eğrilerinin elde edilmesi,
- 3- Dispersiyon eğrisinin ters çözümlenmesinden elde edilen, V_s değerlerinin derinlikle değişiminin tespit edilerek V_s hız loglarının oluşturulması

3.5.2 Dispersiyon

Dispersiyon, elde edilen sismik verilere uygulanan yüzey dalgasının yayılma enerjisinin hız ve frekansa göre dağılımından elde edilen görüntü üzerinde maksimum genlik noktalarını temsil eden frekansa karşılık faz hızı değerlerinin tespit edilmesidir(Park vd., 1998).

Dispersiyon eğrisinin çözünürlüğü dalga hızları, yoğunluk, kalınlık gibi tabaka özellikleri ve veri toplama aşamasında kullanılan, kaynak ofseti, jeofon aralığı, profil uzunluğu, kayıt süresi, kaynak tipi ve gücü vs. ile doğrudan ilişkilidir. Yeraltındaki tabakaların özellikleri önceden tespit edilemediği için yüksek çözünürlüklü dispersiyon eğrisi elde edebilmek için uygun arazi verilerinin kullanılması büyük önem taşımaktadır. Veri toplama aşamasında kullanılacak olan uygun arazi verileri, araştırma derinliğine göre belirlenmektedir. (Park vd., 2002; Zhang vd., 2004).



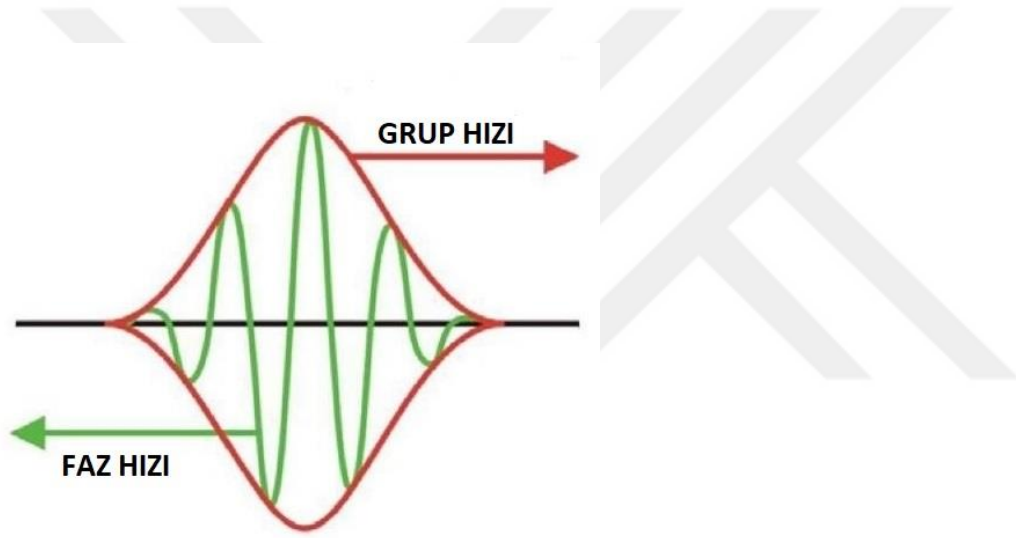
Şekil 16. Dispersiyon Eğrisinin Gösterimi

3.5.3 Faz Hızı Ve Grup Hızı

Yüzey dalgalarının analizinde dispersiyona bağlı olarak gelişen iki tür hız bulunmaktadır. Bunlar faz hızı ve grup hızıdır.

Faz hızı (c) dalga paketi üzerindeki herhangi bir frekans noktasının ilerleme hızıdır. Bu hız, yayılma doğrultusundaki her noktada değişim gösterdiğinden, bu hız değişimi frekansa bağlı dispersiyon oluşturacaktır.

Grup hızı (u) ise dalga paketinin hızını yani tamamının ilerleme hızını gösterir. Dalga paketi içerisindeki frekansları birbirine yakın olan dalgaların yapıcı girişimi ile oluşur. Dalga paketi ile belirlenen grup hızı frekans ile faz hızının değişimine bağlıdır.



Şekil 17. Faz ve Grup Hızının Gösterimi

(Kaynak: <https://www.mphysicstutorial.com/2020/11/phase-velocity-group-velocity-relation.html>)

Faz hızı;

$$C(\omega) = \omega/k \quad (3.13)$$

formülü ile gösterilir. Burada ω açısal frekansa k ise dalga sayısına karşılık gelir.

Grup hızı;

$$\Phi = A \cos(\omega t - kx) \quad (3.14)$$

formülü ile gösterilir. Burada A dalganın genliği ω açısal frekansa k dalga sayısı x uzaklığa karşılık gelir.

3.5.4 Ters Çözüm

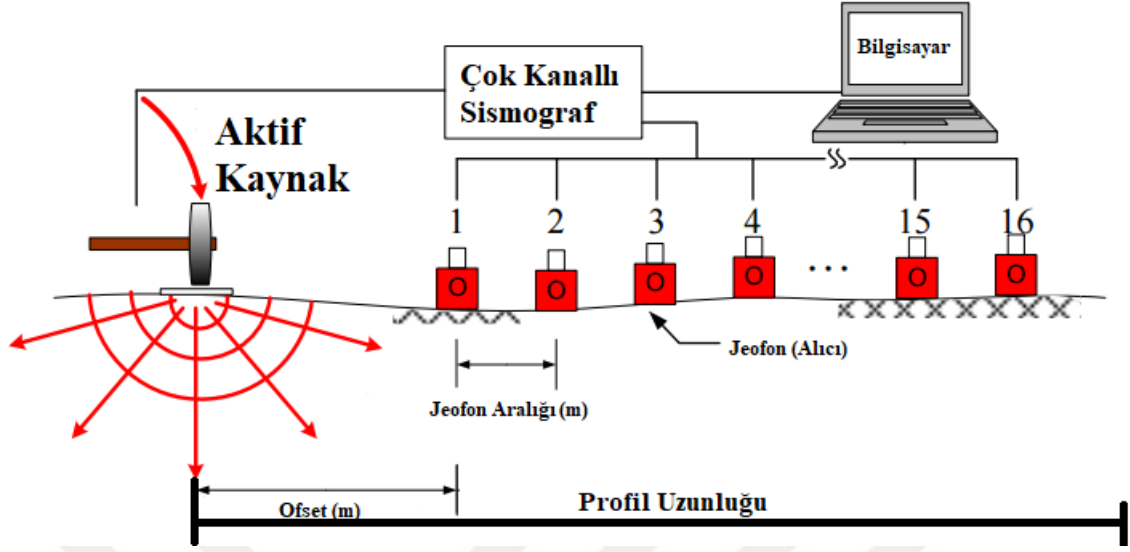
Frekansla değişim gösteren faz hızlarına sahip Rayleigh dalgasının dispersiyonuna ters çözüm uygulanarak, S dalgası hız yapısı elde edilir. Dispersiyon verilerinin ters çözümünde, genellikle yüzey dalgalarının temel modu kullanılır. Ancak ters çözüm aşamasında kullanılan tek veri dispersiyon eğrisi olduğu için, dispersiyon eğrisinin yüksek çözünürlüklü olması gereklidir. Ters çözüm aşamasında kullanılan farklı algoritmalar bulunmaktadır, en sık kullanılan yöntem en küçük kareler yöntemidir (Zywicki, 1999; Xia vd., 1999).

3.5.5 Yöntemin Arazide Uygulanması ve Veri İşlem

MASW yönteminde uygulama amacına göre dizilim geometrisi belirlenerek arazi serimi yapılır. MASW yöntemine ait arazi uygulaması için kullanılacak olan ekipmanlar aşağıda verilmiştir;

- 1- Alıcı (jeofon)
- 2-Sismik kayıt cihazı
- 3-Jeofonlar arası bağlantı için serim kablosu
- 4-Sismik kaynak

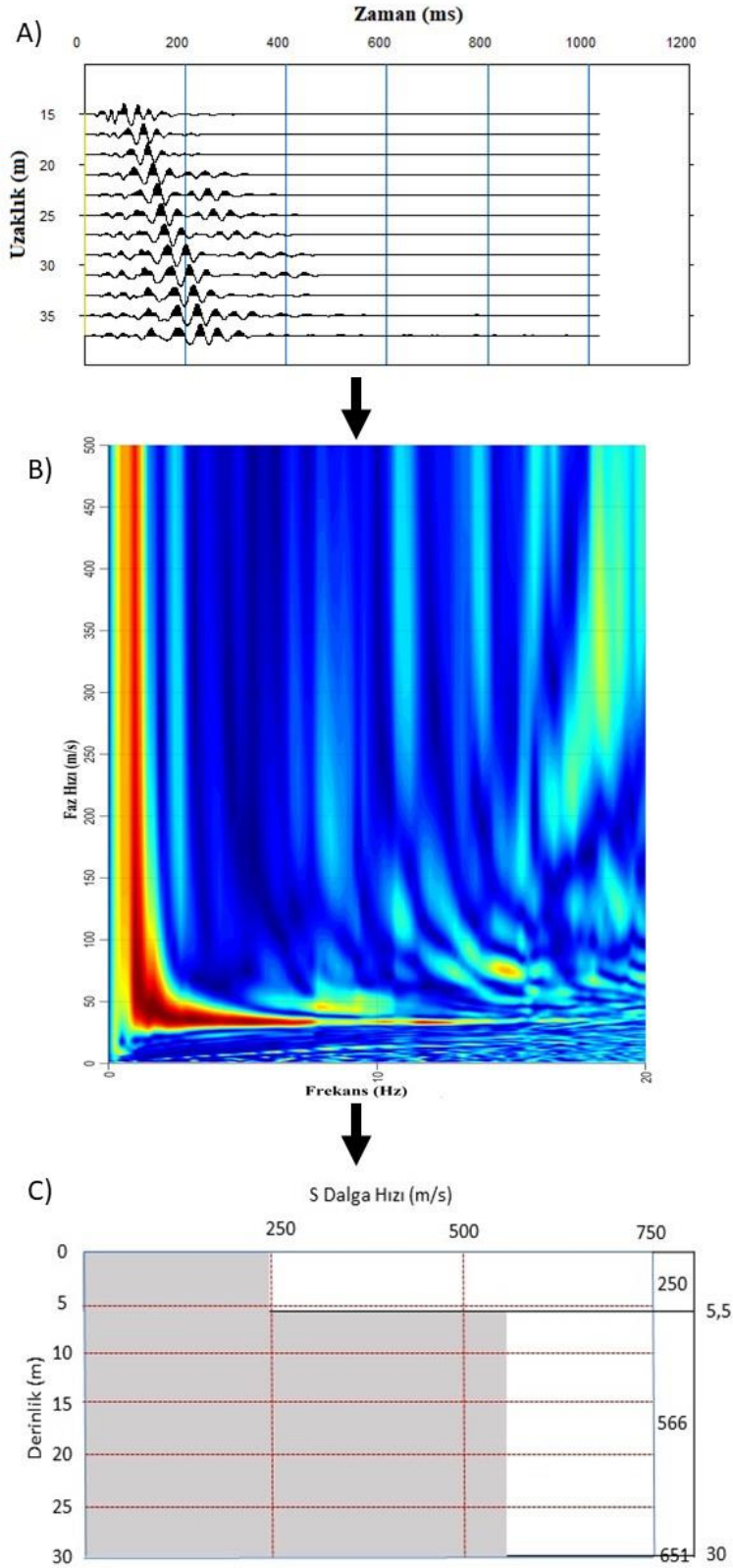
Jeofon sayısı sismik kayıtçının özelliklerine göre belirlenir. Serim kablosu jeofonlar arasında bağlantı kurarak, jeofonların algıladığı dalgaların sismik kayıtçıya iletilmesi ve jeofonlar arası bağlantının sağlanması için kullanılan özel bir kablodur. Sismik kaynak araştırma derinliğine göre seçilebilir bir unsurdur. Dinamit ve balyoz gibi kaynaklar en sık kullanılan sismik kaynaklardır. MASW yönteminde kullanılan ekipmanların arazi konumları Şekil 18’de gösterilmiştir.



Şekil 18. MASW yönteminin arazide uygulanışı

(Kaynak: <https://www.geoengineer.org/education/web-class-projects/cee-544-soil-site-improve-winter-2015/assignments/in-situ-shear-wave-velocity-measurements-in-rocks>)

Masw ölçümlerinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi paket program yardımıyla yapılmıştır. Arazi ölçülerinden elde edilen veriler Fourier dönüşümü kullanılarak zaman uzaklık ortamından frekans ortamına dönüştürülerek dispersiyon eğrileri oluşturulur. Dispersiyon eğrilerine ters çözüm uygulanarak s hızı kesitleri oluşturulur.



Şekil 19. Veri İşlem aşamalarına genel bakış A) Masw arazi ölçüsü B) Dispersiyon Eğrisi C) Ters çözüm yöntemiyle elde edilen S hız kesiti

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM ZEMİNLERİN JEOFİZİK & GEOTEKNİK PARAMETRELERİ

4.1 Elastisite (Young) Modülü

Elastisite modülü zeminin uygulanan düşey basınç yönünde yer değiştirmesidir. Dalga teorisinden elde edilen elastisite modülü, denklem 4.1 kullanılarak hesaplanır.

$$E = \frac{G(3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)} \quad (4.1)$$

Formül 4.1’de verilen G kayma modülü, V_p boyuna dalga hızı, V_s kayma dalgası hızıdır.

Tablo 1

Elastisite modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların dayanımı (Keçeli,1990)

Elastisite Modülü – E- kg/cm²	DAYANIM
<1000	Çok Düşük Dayanım
1000–5000	Düşük Dayanım
5000–10000	Orta Dayanım
10000–30000	Yüksek Dayanım
>30000	Çok Yüksek Dayanım

4.2 Sismik Hız Oranı (Sıklık) (V_p/V_s)

V_p ve V_s hız oranları zeminin sıklığını ve suya doygunluğunu gösteren parametredir. Tablo 3’de V_p/V_s oranına göre suya doygunluk değerleri görülmektedir.

Tablo 2

V_p/V_s oranına göre suya doygunluk

V_p/V_s	Suya Doymunluk
2,75 ≤	Suya Doymun
1,75-2,74	Göreceli Doymun
1,74 ≥	Doymun Olmayan

4.3 Poisson Oranı

Poisson oranı zeminlerin suya doygunluğunu belirlemek amacıyla kullanılan bir parametredir. Poisson oranı 0.5 değerini geçemez ve gözeneksiz ortamlarda 0-0.25 arası değerler , orta dereceli gözenekli ortamlarda 0.25-0.35 arası değerler alırken gözenekli ortamlarda ise 0.35-0.50 değerleri arasında değişmektedir. Poisson oranı denklem 4.2 kullanılarak hesaplanır.

$$V = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (4.2)$$

Formülde v poisson oranı, Vp boyuna dalga hızı, Vs kayma dalgası hızıdır.

4.4 Kayma Modülü

Kayma modülü zemin birimlerinin veya kayacın zeminin deprem gibi yanal kuvvetlere karşı dayanımını ve makaslama kuvvetleri etkisi altında esnemesini gösteren bir parametredir. Zeminin deprem anındaki davranışının tespit edilmesini sağlar. Kayma modülü denklem 4.3 kullanılarak hesaplanır.

$$G = dV_s^2 \text{ kg/cm}^2 \quad (4.3)$$

Formülde G;Kayma Modülü, d;Yoğunluk, Vs; kayma dalga hızıdır. Tablo 5’de Kayma modülü değerlerine göre zemin dayanım sınıfları verilmiştir.

Tablo 3

Kayma modülü değerlerine göre zemin dayanım sınıfları (Keçeli, 1990)

Kayma Modülü (kg/cm²)	Dayanım Sınıfları
<400	Dayanımı Çok Zayıf
400-1500	Dayanımı Zayıf
1500-3000	Orta Dereceli Dayanım
3000-10000	Dayanımı Yüksek
>10000	Dayanımı Çok Yüksek

4.5 Bulk (Sıkışmazlık) Modülü

Bulk Modülü, zeminin etrafını saran basınç altında sıkışmaya karşı gösterilen direncin ölçüsüdür. Kayacın veya zeminin sıkışmazlığını kontrol eden, yoğunluk ve sismik hızlar yardımıyla hesaplanan bir parametredir. Bulk modülü denklem 4.4 kullanılarak hesaplanır.

$$K = \frac{d(V_p^2 - 4/3V_s^2)}{100} \quad (4.4)$$

Formülde K; bulk modülü, d; yoğunluk, V_p; boyuna dalga hızı, V_s; kayma dalgası hızıdır. Bulk modülüne göre zeminlerin dayanımı Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 4

Bulk modülü değerlerine göre zemin ya da kayaçların sınıflandırılması (Keçeli, 1990)

Bulk Modülü	Sıkışma Derecesi
<400	Çok Az Sıkışma
400–10000	Az Sıkışma
10000–40000	Orta Sıkışma
40000–100000	Yüksek Sıkışma
>100000	Çok Yüksek Sıkışma

4.6 Yoğunluk

Homojen bir yapıya sahip bir tabakanın birim hacmine düşen kütle miktarıdır. Formül 4.5 kullanılarak hesaplanabilir. Birimi gr/cm³'tür. Formülde ρ; yoğunluk, V_s; kayma dalgası hızıdır.

$$\rho = 0.44 * V_s^{0.25} \quad (4.5)$$

Tablo 5

Zemin birimlerin yoğunluk sınıflaması (Keçeli, 1990)

ρ (g/cm ³)	Tanımlama
1.20 ve altı	Çok Düşük Yoğunluk
1.20-1.40	Düşük Yoğunluk
1.40-1.90	Orta Yoğunluk
1.90-2.20	Yüksek Yoğunluk
2.20 ve üzeri	Çok Yüksek Yoğunluk

4.7 Vs30 Hızı

Zemin tabakasının 30 metre derinliğe kadar olan kısmının ortalama kayma dalgası hızıdır. Vs30 ülkemizde ve uluslararası depreme dayanıklı yapı tasarımının zemin araştırmaları yönetmeliklerinde (TBDY2019, Uniform Building Code (UBC), NEHRP, Eurocode 8) zeminin deprem anındaki davranışının değerlendirilmesinde elde edilmesi gereken en önemli bir parametre olarak belirlenmiştir. Vs30 hızı formül 4.6 kullanılarak hesaplanabilir.

$$Vs30 = \frac{30}{\sum_i^N \left(\frac{h_i}{v_i} \right)} \quad (4.6)$$

Formül 4.6'da Vs30; 30 m derinlikteki ortalama kayma dalgası hızı, h; Tabaka Kalınlığı, Vs; kayma dalga hızıdır. Tablo 8'de NEHRP zemin sınıflaması, Tablo 9'da Eurocode 8'de Vs30'a göre Zemin Sınıflaması (2004) ve Tablo 10'da 2019 Türkiye Deprem Yönetmeliğine Göre Zemin Sınıflamaları görülmektedir.

Tablo 6

NEHRP Zemin Sınıflaması

ZEMİN TİPİ	Kaya/Zemin Sınıflaması	Vs30 (m/s)
A	Sert - Sağlam Kaya	> 1.500
B	Kaya	760 – 1,500
C	Çok Sıkı / Yumuşak Kaya	360 – 760
D	Katı Zemin	180 – 360
E	Yumuşak Zemin	< 180
F	Özel Tanımlama	

Tablo 7

Eurocode 8'de V_{s30} 'a göre zemin sınıflaması

Zemin Sınıfı	Tanım	Özellikler (m/sn.)
A	Kaya yada diğer benzeri formasyonlar	$V_s > 800$
B	Çok sıkı kum. Çakıl yada Çok Sert Killer	$360 < V_s \leq 800$
C	Sıkı yada Orta Sıkı Kum, Çakıl veya Sert Kil	$180 < V_s \leq 360$
D	Gevşek''den Orta Sıkı''ya kadar Kohezyonsuz Zeminler	$180 > V_s$

Tablo 8

TBDY 2019'a Göre Zemin Sınıflaması

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	$(N_{60})_{30}$ [darbe/30 cm]	$(C_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500	-	-
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \%40$ koşullarını sağlayan toplam 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	<180	<15	<70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killer, 4) Çok kalın (>35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

4.8 Zemin Hakim Titreşim Periyodu

Zemin hakim titreşim periyodu (T_0), V_s dalga hızından yararlanarak hesaplanan zeminin hareket periyodunu gösteren bir parametredir. Zemin hakim titreşim periyodu ile yapı hakim titreşim periyodunun birbirine çok yakın veya aynı değerde oluşu ile gelişen rezonans olayı, deprem anında hasara ve yıkıma sebep olan bir mühendislik problemidir. Bu bağlamda binanın projelendirilmeden önce zemin hakim periyodunun jeofizik yöntemle hesaplanması büyük önem taşımaktadır. Sakai (1968) V_s dalgası yardımıyla zemin hakim titreşim periyodunu hesaplanmasını sağlayan 4.7’de gösterilen eşitliği geliştirmiştir. Birimi saniyedir. Burada h ; zemin tabakasının kalınlığıdır (Tunçel,2014).

$$T_0 = \frac{4 \times h}{V_s} \quad (4.7)$$

Zemin hakim titreşim frekansı;

$$f_0 = \frac{1}{T_0} \quad (4.8)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir, birimi Hz’dir.

4.9 Zemin Büyütmesi

Deprem dalgaları farklı jeolojik ortamlarda farklı davranışlar göstererek ilerler. Deprem dalgaları, dayanımı yüksek olan sert tabakalarda sönmülenererek düşük genlikle ilerlerken, dayanımı düşük, gevşek birimlerde yüksek genliğe ulaşarak hareket eder. Deprem dalgalarının zayıf ve gevşek zeminler içerisinde yüksek salınım yaparak ilerlemesi durumu zemin büyütmesi olarak tanımlanmıştır. Büyütme değeri frekansa bağlı olarak değişim göstermektedir. Bazı frekans değerleri daha çok büyütme gösterirken bazı frekans değerleri daha az büyütme gösterebilir. Maksimum büyütme empedans oranı ve sönüm oranına bağlı iken, hangi frekanslı dalganın büyütme gösterebileceğini gevşek zemin tabakası kalınlığı ve sismik dalga hızlarına bağlıdır(Yalçınkaya, 2010).

Göreceli zemin büyütme değerleri yapılan sismik kırılma yönteminden elde edilecek kayma (V_s) dalgası hızları kullanılarak, Midorikawa (1987) tarafından önerilen bağıntı kullanılarak hesaplanabilir.

$$A = 68 V^{-0.6} \quad (V_{30} < 1100m/sn) \quad (4.9)$$

$$A = 1 \quad (V_{30} > 1100m/sn) \quad (4.10)$$

Hesaplanan büyütme birimsizdir. Formülde V_{30} ; 30 metre için zemin ortalama S dalga hızı, A ; Zemin Büyütmesidir. Tablo 11' de Spektral büyütme ölçütleri verilmiştir.

Tablo 9

Spektral büyütme ölçütleri (Ansal vd., 2001)

Spektral Büyütme	Tehlike Düzeyi
0.0 – 2.5	A (Düşük)
2.5 – 4.0	B (Orta)
4.0 – 6.5	C (Yüksek)

4.10 Zemin Taşıma Gücü

Zeminin üzerine uygulanan bir basıncı yada yükü deformasyona uğramadan taşıyabileceği maksimum basınç değerine zemin taşıma gücü (q) denilir. (Keçeli, 2010)

Sismik hızlar ile taşıma gücü hesaplamalarında literatüre girmiş ve doğruluğu kabul edilmiş olan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmada Keçeli(2012) bağıntısı kullanılmıştır. Keçeli(2012) bağıntısı denklem (4.11) ve (4.12) olarak verilmiştir. Keçeli(2012) bağıntısında güvenlik faktörü (GF) kullanmıştır. Ancak TBDY 2019'da güvenlik faktörü ile hesaplamalar kaldırıldığı için Keçeli(2012)'de ki güvenlik faktörü bağıntısı kullanılmamıştır. TBDY 2019'da güvenlik faktörü 1.4 olarak kabul edildiği için güvenlik faktörü GF 1.4 olarak alınmıştır.

$$\rho = 0.44 * V_s^{0.25} \quad (4.11)$$

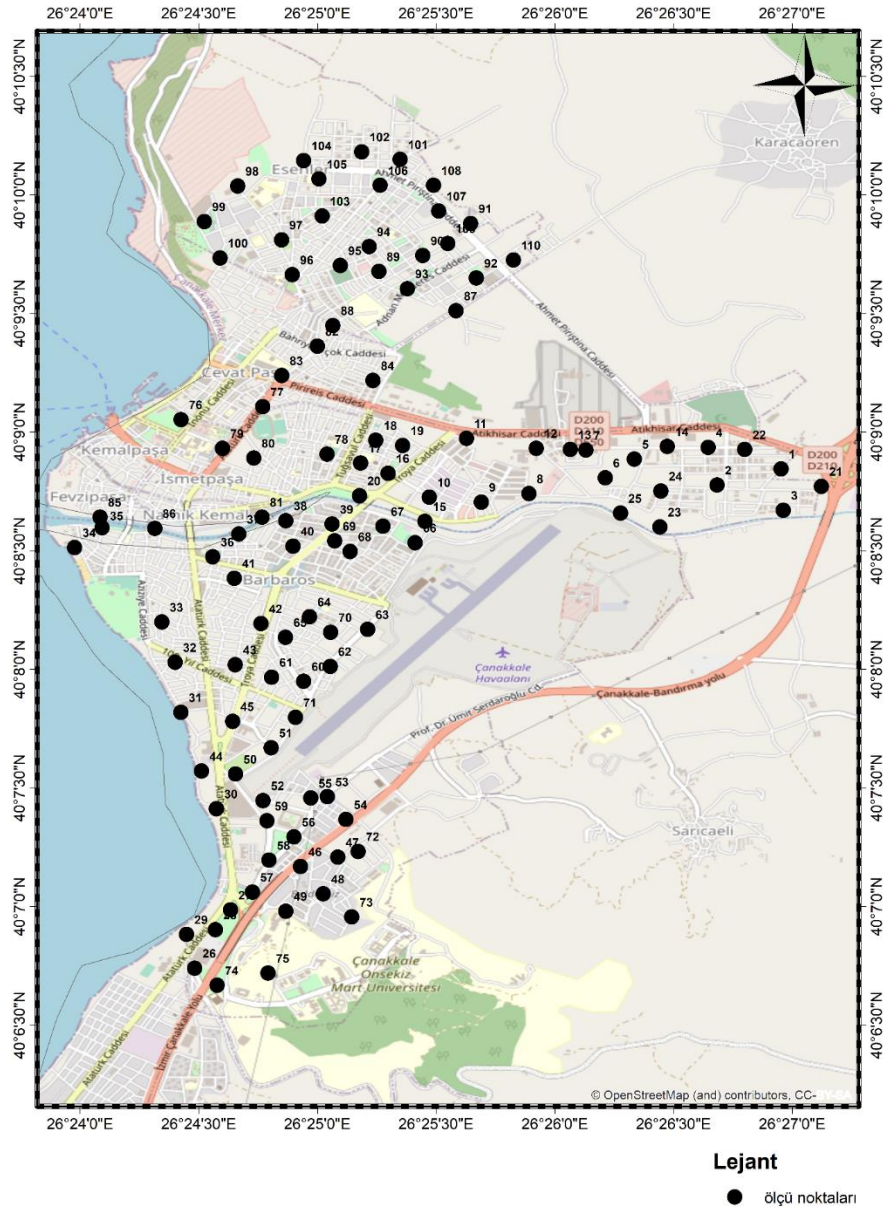
$$q = \rho * V_s / 100 \text{ (kg/cm}^2\text{)} \quad (4.12)$$

$$q_{em} = q / GF \quad (4.13)$$

BEŞİNCİ BÖLÜM

ÇANAKKALE HAVZASINA AİT SİSMİK KIRILMA VE MASW ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışma alanında, aynı doğrultu üzerinde alınmış 110 adet sismik kırılma ve masw ölçüsünden faydalanılmıştır. Ölçüler Çanakkale Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik ve Jeoteknik Etüt Projesi kapsamında alınmıştır. Ölçüler değerlendirilip Vp hızları sismik kırılma yöntemiyle, Vs hızları ile masw yöntemiyle belirlenmiştir. Elde edilen Vp ve Vs hızları ile inceleme alanına ait dinamik zemin parametreleri ve taşıma güçleri hesaplanmıştır. Ayrıca ölçü alınan noktalar lokasyon haritası üzerinde (Şekil 20) gösterilmiştir.



Şekil 20. Ölçü Profillerinin Yerlerini Gösteren Harita

5.1 Arazi Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

5.1.1 Sismik Kırılma Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Çalışma alanında alınan 110 adet sismik kırılma ölçüsü paket program yardımıyla değerlendirilmiş, zemin tabaka sınırları belirlenmiş, V_p hızı tespit edilmiş ve zemine ait 2 tabakalı kesit oluşturulmuştur.

5.1.2 Masw Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Çalışma alanında 110 adet Masw ölçüsü paket program ile değerlendirilmiştir. Ölçülerden dispersiyon eğrileri çizilerek S hızları belirlenmiştir.

5.1.3 Dinamik Parametrelerin Hesaplanması

Çalışma alanına ait dinamik parametrelerin ve taşıma güçlerinin hesaplanması araziden alınan sismik kırılma ve masw ölçülerinden elde edilen p ve s dalga hızları ile hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 11 ve Tablo 12’de verilmiştir. Ayrıca inceleme alanına ait V_{s30} hızı, zemin hakim titreşim periyodu, spektral büyütme katsayıları ve zemin sınıflama dağılımını gösteren haritalar oluşturulmuş. Şekil 24, şekil 25, şekil 26 ve şekil 27 de gösterilmiştir.

Tablo 10

İnceleme Alanına Ait Dinamik Parametreler

Profil No.	Dinamik Parametreler	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ortalama Kalınlık (m)	Ortalama Derinlik (m)	Vp/Vs	Poisson Oranı (Bowles,1988)	Yoğunluk (Gardner ve diğ.,1974)	Shear Modülü (Kramer,1996)	Elastisite Modülü (Bowles,1988)	Bulk Modülü (Bowles,1988)	VS30 (m/s)	Zemin Hakim Titreşim Periyodu (Kanai,1983)	Ak
	Birimler	m/s	m/s	m	m	-	-	gr/cm3	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	m/s	sn	
1	1. Tabaka	642	201	10,6	10,6	3,19	0,45	1,56	630	1823	5591	270	0,44	2,36
	2. Tabaka	1252	332	19,4	30	3,77	0,46	1,84	2033	5944	26195			
2	1. Tabaka	426	142	10,1	10,1	3,00	0,44	1,41	284	816	2177	184	0,65	2,97
	2. Tabaka	1263	217	19,9	30	5,82	0,48	1,85	870	2584	28319			
3	1. Tabaka	432	171	8,9	8,9	2,53	0,41	1,41	413	1163	2087	198	0,61	2,85
	2. Tabaka	1710	212	21,1	30	8,07	0,49	1,99	896	2674	57097			
4	1. Tabaka	574	318	8	8	1,81	0,28	1,52	1534	3924	2953	394	0,30	1,88
	2. Tabaka	1914	432	22	30	4,43	0,47	2,05	3827	11274	70014			
5	1. Tabaka	894	153	9,8	9,8	5,84	0,48	1,70	397	1178	13019	201	0,60	2,82
	2. Tabaka	1459	238	20,2	30	6,13	0,49	1,92	1085	3226	39337			
6	1. Tabaka	650	238	10,1	10,1	2,73	0,42	1,57	887	2523	5431	248	0,48	2,49
	2. Tabaka	1549	254	19,9	30	6,10	0,49	1,94	1255	3729	44991			
7	1. Tabaka	841	220	8	8	3,82	0,46	1,67	808	2365	10730	354	0,34	2,01
	2. Tabaka	1331	455	22	30	2,93	0,43	1,87	3876	11116	28003			
8	1. Tabaka	480	185	4	4	2,59	0,41	1,45	497	1403	2681	220	0,55	2,68
	2. Tabaka	1305	226	26	30	5,77	0,48	1,86	952	2826	30462			
9	1. Tabaka	590	149	10,8	10,8	3,96	0,47	1,53	339	994	4866	184	0,65	2,97
	2. Tabaka	1274	213	19,2	30	5,98	0,49	1,85	840	2497	28940			
10	1. Tabaka	569	155	8	8	3,67	0,46	1,51	364	1062	4417	195	0,62	2,88
	2. Tabaka	1008	215	22	30	4,69	0,48	1,75	807	2384	16671			
11	1. Tabaka	455	217	8,6	8,6	2,10	0,35	1,43	674	1824	2065	336	0,36	2,08
	2. Tabaka	1400	430	21,4	30	3,26	0,45	1,90	3506	10153	32491			
12	1. Tabaka	539	123	9	9	4,38	0,47	1,49	226	666	4038	185	0,65	2,96
	2. Tabaka	1222	237	21	30	5,16	0,48	1,83	1029	3048	25997			
13	1. Tabaka	637	196	8,9	8,9	3,25	0,45	1,56	598	1732	5522	251	0,48	2,47
	2. Tabaka	1493	285	21,1	30	5,24	0,48	1,93	1565	4636	40866			

Tablo 10'un devamı

Profil No.	Dinamik Parametreler	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ortalama Kalınlık (m)	Ortalama Derinlik (m)	Vp/Vs	Poisson Oranı (Bowles,1988)	Yoğunluk (Gardner ve diğ.,1974)	Shear Modülü (Kramer,1996)	Elastisite Modülü (Bowles,1988)	Bulk Modülü (Bowles,1988)	VS30 (m/s)	Zemin Hakim Titreşim Periyodu (Kanai,1983)	Ak
	Birimler	m/s	m/s	m	m	-	-	gr/cm3	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	m/s	Sn	
14	1. Tabaka	728	185	9	9	3,94	0,47	1,61	551	1615	7799	272	0,44	2,35
	2. Tabaka	1890	341	21	30	5,54	0,48	2,04	2377	7050	69844			
15	1. Tabaka	514	180	7,5	7,5	2,86	0,43	1,48	478	1368	3262	204	0,59	2,79
	2. Tabaka	1299	214	22,5	30	6,07	0,49	1,86	852	2533	30267			
16	1. Tabaka	452	158	10	10	2,86	0,43	1,43	357	1021	2444	189	0,64	2,93
	2. Tabaka	1421	209	20	30	6,80	0,49	1,90	831	2476	37324			
17	1. Tabaka	545	145	5,5	5,5	3,76	0,46	1,50	315	921	4029	197	0,61	2,86
	2. Tabaka	1456	214	24,5	30	6,80	0,49	1,91	877	2612	39426			
18	1. Tabaka	677	156	8,5	8,5	4,34	0,47	1,58	385	1133	6734	206	0,58	2,78
	2. Tabaka	934	236	21,5	30	3,96	0,47	1,71	954	2798	13677			
19	1. Tabaka	600	144	8	8	4,17	0,47	1,53	318	935	5099	199	0,60	2,84
	2. Tabaka	1350	231	22	30	5,84	0,48	1,88	1003	2978	32909			
20	1. Tabaka	661	165	10,7	10,7	4,01	0,47	1,57	428	1255	6297	196	0,61	2,87
	2. Tabaka	1435	218	19,3	30	6,58	0,49	1,91	907	2699	38081			
21	1. Tabaka	690	174	4,5	4,5	3,97	0,47	1,59	481	1410	6923	264	0,45	2,39
	2. Tabaka	1700	291	25,5	30	5,84	0,48	1,99	1686	5006	55280			
22	1. Tabaka	569	243	6,2	6,2	2,34	0,39	1,51	894	2483	3710	340	0,35	2,06
	2. Tabaka	1561	379	23,8	30	4,12	0,47	1,95	2799	8221	43749			
23	1. Tabaka	543	170	8,8	8,8	3,19	0,45	1,50	432	1250	3836	205	0,59	2,79
	2. Tabaka	1636	224	21,2	30	7,30	0,49	1,97	989	2949	51449			
24	1. Tabaka	550	139	8	8	3,96	0,47	1,50	290	850	4155	154	0,78	3,31
	2. Tabaka	1439	161	22	30	8,94	0,49	1,91	495	1478	38877			
25	1. Tabaka	797	133	8	8	5,99	0,49	1,65	291	866	10074	164	0,73	3,19
	2. Tabaka	1435	179	22	30	8,02	0,49	1,91	611	1824	38475			
26	1. Tabaka	450	172	8,8	8,8	2,62	0,41	1,43	422	1195	2328	210	0,57	2,75
	2. Tabaka	1437	232	21,2	30	6,19	0,49	1,91	1027	3054	38043			
27	1. Tabaka	650	242	8,6	8,6	2,69	0,42	1,57	917	2603	5391	261	0,46	2,41
	2. Tabaka	1275	270	21,4	30	4,72	0,48	1,85	1350	3988	28313			

Tablo 10'un devamı

Profil No.	Dinamik Parametreler	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ortalama Kalınlık (m)	Ortalama Derinlik (m)	Vp/Vs	Poisson Oranı (Bowles,1988)	Yoğunluk (Gardner ve diğ.,1974)	Shear Modülü (Kramer,1996)	Elastisite Modülü (Bowles,1988)	Bulk Modülü (Bowles,1988)	VS30 (m/s)	Zemin Hakim Titreşim Periyodu (Kanai,1983)	Ak
	Birimler	m/s	m/s	m	m	-	-	gr/cm3	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	m/s	sn	
28	1. Tabaka	590	115	8,4	8,4	5,13	0,48	1,53	202	598	5049	170	0,71	3,13
	2. Tabaka	1874	208	21,6	30	9,01	0,49	2,04	882	2636	70453			
29	1. Tabaka	676	132	8	8	5,12	0,48	1,58	275	815	6856	170	0,71	3,12
	2. Tabaka	1348	190	22	30	7,09	0,49	1,88	678	2021	33228			
30	1. Tabaka	791	156	6,2	6,2	5,07	0,48	1,64	400	1184	9753	245	0,49	2,51
	2. Tabaka	1275	287	23,8	30	4,44	0,47	1,85	1526	4496	28079			
31	1. Tabaka	1015	134	7,5	7,5	7,57	0,49	1,75	314	937	17608	195	0,62	2,87
	2. Tabaka	1393	230	22,5	30	6,06	0,49	1,89	1002	2977	35414			
32	1. Tabaka	665	149	6,2	6,2	4,46	0,47	1,57	349	1030	6496	157	0,77	3,28
	2. Tabaka	1082	159	23,8	30	6,81	0,49	1,78	449	1339	20216			
33	1. Tabaka	720	120	6,2	6,2	6,00	0,49	1,61	231	687	8016	176	0,68	3,06
	2. Tabaka	1073	200	23,8	30	5,37	0,48	1,77	710	2104	19481			
34	1. Tabaka	703	120	8,6	8,6	5,86	0,48	1,60	230	683	7582	176	0,68	3,05
	2. Tabaka	1692	217	21,4	30	7,80	0,49	1,99	936	2793	55671			
35	1. Tabaka	499	132	5,5	5,5	3,78	0,46	1,47	255	747	3308	175	0,69	3,07
	2. Tabaka	1456	189	24,5	30	7,70	0,49	1,91	684	2040	39683			
36	1. Tabaka	413	149	8,3	8,3	2,77	0,43	1,40	310	884	1970	181	0,66	3,00
	2. Tabaka	1347	198	21,7	30	6,80	0,49	1,88	736	2193	33094			
37	1. Tabaka	658	153	7,5	7,5	4,30	0,47	1,57	368	1082	6308	184	0,65	2,98
	2. Tabaka	1336	197	22,5	30	6,78	0,49	1,87	727	2166	32483			
38	1. Tabaka	492	150	8,8	8,8	3,28	0,45	1,46	329	952	3096	185	0,65	2,97
	2. Tabaka	1260	204	21,2	30	6,18	0,49	1,85	769	2285	28297			
39	1. Tabaka	471	137	8	8	3,44	0,45	1,44	271	788	2842	169	0,71	3,14
	2. Tabaka	1138	184	22	30	6,18	0,49	1,80	610	1812	22505			
40	1. Tabaka	660	145	7,9	7,9	4,55	0,47	1,57	330	974	6404	185	0,65	2,96
	2. Tabaka	1196	206	22,1	30	5,81	0,48	1,82	774	2297	25045			
41	1. Tabaka	940	195	5,5	5,5	4,82	0,48	1,72	653	1929	14297	221	0,54	2,67
	2. Tabaka	1394	228	24,5	30	6,11	0,49	1,89	985	2927	35496			

Tablo 10'un devamı

Profil No.	Dinamik Parametreler	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ortalama Kalınlık (m)	Ortalama Derinlik (m)	Vp/Vs	Poisson Oranı (Bowles,1988)	Yoğunluk (Gardner ve diğ.,1974)	Shear Modülü (Kramer,1996)	Elastisite Modülü (Bowles,1988)	Bulk Modülü (Bowles,1988)	VS30 (m/s)	Zemin Hakim Titreşim Periyodu (Kanai,1983)	Ak
	Birimler	m/s	m/s	m	m	-	-	gr/cm3	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	m/s	Sn	
42	1. Tabaka	498	136	8,8	8,8	3,66	0,46	1,46	271	791	3271	199	0,60	2,84
	2. Tabaka	1239	247	21,2	30	5,02	0,48	1,84	1122	3320	26738			
43	1. Tabaka	494	120	8,2	8,2	4,12	0,47	1,46	210	618	3286	184	0,65	2,98
	2. Tabaka	934	230	21,8	30	4,06	0,47	1,71	907	2661	13741			
44	1. Tabaka	900	105	8	8	8,57	0,49	1,70	187	559	13504	143	0,84	3,46
	2. Tabaka	1200	165	22	30	7,27	0,49	1,82	497	1481	25611			
45	1. Tabaka	910	139	5,5	5,5	6,55	0,49	1,70	329	979	13661	193	0,62	2,89
	2. Tabaka	1290	212	24,5	30	6,08	0,49	1,86	835	2482	29803			
46	1. Tabaka	558	190	5	5	2,94	0,43	1,51	544	1560	3966	280	0,43	2,31
	2. Tabaka	1243	310	25	30	4,01	0,47	1,84	1769	5189	26081			
47	1. Tabaka	700	196	8,1	8,1	3,57	0,46	1,59	613	1786	6997	258	0,47	2,43
	2. Tabaka	1300	292	21,9	30	4,45	0,47	1,86	1587	4677	29342			
48	1. Tabaka	700	230	6	6	3,04	0,44	1,59	844	2428	6689	388	0,31	1,90
	2. Tabaka	1260	469	24	30	2,69	0,42	1,85	4063	11534	23905			
49	1. Tabaka	525	284	5,5	5,5	1,85	0,29	1,48	1197	3095	2494	435	0,28	1,78
	2. Tabaka	1397	494	24,5	30	2,83	0,43	1,90	4625	13214	30821			
50	1. Tabaka	635	125	8,6	8,6	5,08	0,48	1,56	243	720	5951	204	0,59	2,80
	2. Tabaka	1712	274	21,4	30	6,25	0,49	1,99	1497	4452	56449			
51	1. Tabaka	673	143	5,5	5,5	4,71	0,48	1,58	323	953	6721	175	0,69	3,07
	2. Tabaka	1419	184	24,5	30	7,71	0,49	1,90	644	1921	37452			
52	1. Tabaka	900	225	6	6	4,00	0,47	1,70	860	2521	12607	247	0,49	2,49
	2. Tabaka	1500	253	24	30	5,93	0,49	1,93	1235	3668	41761			
53	1. Tabaka	449	180	8	8	2,49	0,40	1,43	462	1299	2260	223	0,54	2,65
	2. Tabaka	1616	244	22	30	6,62	0,49	1,97	1170	3483	49768			
54	1. Tabaka	636	203	8,6	8,6	3,13	0,44	1,56	642	1852	5442	264	0,45	2,39
	2. Tabaka	1716	301	21,4	30	5,70	0,48	2,00	1808	5366	56342			
55	1. Tabaka	596	234	7,4	7,4	2,55	0,41	1,53	839	2363	4323	247	0,49	2,50
	2. Tabaka	1483	251	22,6	30	5,91	0,49	1,92	1212	3600	40693			

Tablo 10'un devamı

Profil No.	Dinamik Parametreler	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ortalama Kalınlık (m)	Ortalama Derinlik (m)	Vp/Vs	Poisson Oranı (Bowles,1988)	Yoğunluk (Gardner ve diğ.,1974)	Shear Modülü (Kramer,1996)	Elastisite Modülü (Bowles,1988)	Bulk Modülü (Bowles,1988)	VS30 (m/s)	Zemin Hakim Titreşim Periyodu (Kanai,1983)	Ak
	Birimler	m/s	m/s	m	m	-	-	gr/cm3	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	m/s	sn	
56	1. Tabaka	800	163	8	8	4,91	0,48	1,65	438	1295	9967	248	0,48	2,49
	2. Tabaka	1600	305	22	30	5,25	0,48	1,96	1824	5403	47760			
57	1. Tabaka	684	149	8,8	8,8	4,59	0,48	1,59	352	1038	6948	208	0,58	2,77
	2. Tabaka	1419	248	21,2	30	5,72	0,48	1,90	1170	3474	36751			
58	1. Tabaka	578	130	8,2	8,2	4,45	0,47	1,52	257	757	4736	217	0,55	2,70
	2. Tabaka	1649	290	21,8	30	5,69	0,48	1,98	1661	4931	51501			
59	1. Tabaka	841	159	8,6	8,6	5,29	0,48	1,67	422	1250	11245	249	0,48	2,48
	2. Tabaka	1808	323	21,4	30	5,60	0,48	2,02	2109	6257	63266			
60	1. Tabaka	585	153	8,1	8,1	3,82	0,46	1,52	357	1044	4742	179	0,67	3,03
	2. Tabaka	1829	191	-	-	9,58	0,49	2,03	740	2211	66832			
61	1. Tabaka	652	119	8	8	5,48	0,48	1,57	222	658	6363	180	0,67	3,02
	2. Tabaka	1099	221	22	30	4,97	0,48	1,78	872	2579	20396			
62	1. Tabaka	503	143	5,5	5,5	3,52	0,46	1,47	300	874	3314	178	0,67	3,03
	2. Tabaka	1356	189	24,5	30	7,17	0,49	1,88	672	2003	33694			
63	1. Tabaka	576	142	8	8	4,06	0,47	1,52	306	899	4630	183	0,65	2,98
	2. Tabaka	1445	205	22	30	7,05	0,49	1,91	803	2393	38837			
64	1. Tabaka	502	126	8,4	8,4	3,98	0,47	1,47	233	683	3387	174	0,69	3,08
	2. Tabaka	1323	204	21,6	30	6,49	0,49	1,87	778	2315	31687			
65	1. Tabaka	609	122	8,2	8,2	4,99	0,48	1,54	229	678	5406	196	0,61	2,86
	2. Tabaka	1899	255	21,8	30	7,45	0,49	2,05	1331	3968	72023			
66	1. Tabaka	752	158	6	6	4,76	0,48	1,62	405	1197	8640	191	0,63	2,91
	2. Tabaka	1918	201	24	30	9,54	0,49	2,05	829	2477	74364			
67	1. Tabaka	399	209	6,2	6,2	1,91	0,31	1,39	605	1587	1399	199	0,60	2,84
	2. Tabaka	1168	197	23,8	30	5,93	0,49	1,81	703	2089	23786			
68	1. Tabaka	552	204	3	3	2,71	0,42	1,50	625	1777	3745	207	0,58	2,78
	2. Tabaka	1320	207	27	30	6,38	0,49	1,87	801	2382	31490			
69	1. Tabaka	568	216	4	4	2,63	0,42	1,51	706	1999	3941	202	0,59	2,81
	2. Tabaka	944	200	26	30	4,72	0,48	1,72	687	2030	14396			

Tablo 10'un devamı

Profil No.	Dinamik Parametreler	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ortalama Kalınlık (m)	Ortalama Derinlik (m)	Vp/Vs	Poisson Oranı (Bowles,1988)	Yoğunluk (Gardner ve diğ.,1974)	Shear Modülü (Kramer,1996)	Elastisite Modülü (Bowles,1988)	Bulk Modülü (Bowles,1988)	VS30 (m/s)	Zemin Hakim Titreşim Periyodu (Kanai,1983)	Ak
	Birimler	m/s	m/s	m	m	-	-	gr/cm3	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	m/s	sn	
70	1. Tabaka	625	127	7	7	4,92	0,48	1,55	250	739	5721	203	0,59	2,80
	2. Tabaka	1065	249	23	30	4,28	0,47	1,77	1098	3230	18622			
71	1. Tabaka	579	112	5,4	5,4	5,17	0,48	1,52	191	565	4844	190	0,63	2,92
	2. Tabaka	1444	225	24,6	30	6,42	0,49	1,91	967	2878	38556			
72	1. Tabaka	850	207	5,5	5,5	4,11	0,47	1,67	717	2106	11137	263	0,46	2,40
	2. Tabaka	1700	280	24,5	30	6,07	0,49	1,99	1561	4638	55446			
73	1. Tabaka	889	192	8	8	4,63	0,48	1,69	624	1841	12546	301	0,40	2,21
	2. Tabaka	1392	380	22	30	3,66	0,46	1,89	2734	7983	33045			
74	1. Tabaka	1182	162	6,8	6,8	7,30	0,49	1,82	477	1422	24759	294	0,41	2,25
	2. Tabaka	1694	386	23,2	30	4,39	0,47	1,99	2963	8727	53120			
75	1. Tabaka	632	223	6,7	6,7	2,83	0,43	1,55	773	2209	5178	379	0,32	1,93
	2. Tabaka	1419	474	23,3	30	2,99	0,44	1,90	4275	12287	32611			
76	1. Tabaka	839	133	8	8	6,31	0,49	1,67	295	878	11351	214	0,56	2,71
	2. Tabaka	1719	276	22	30	6,23	0,49	2,00	1521	4521	56956			
77	1. Tabaka	485	150	8,8	8,8	3,23	0,45	1,45	327	947	2986	202	0,60	2,82
	2. Tabaka	1251	235	21,2	30	5,32	0,48	1,84	1018	3017	27495			
78	1. Tabaka	640	142	8	8	4,51	0,47	1,56	314	927	5967	198	0,60	2,84
	2. Tabaka	1165	232	22	30	5,02	0,48	1,81	975	2884	23281			
79	1. Tabaka	523	126	8,6	8,6	4,15	0,47	1,48	235	692	3741	197	0,61	2,86
	2. Tabaka	1136	255	21,4	30	4,45	0,47	1,80	1170	3449	21665			
80	1. Tabaka	508	137	5,4	5,4	3,71	0,46	1,47	276	807	3430	208	0,58	2,77
	2. Tabaka	1421	234	24,6	30	6,07	0,49	1,90	1042	3097	37043			
81	1. Tabaka	655	154	3	3	4,25	0,47	1,57	372	1094	6232	170	0,71	3,12
	2. Tabaka	1143	172	27	30	6,65	0,49	1,80	533	1587	22838			
82	1. Tabaka	630	204	8	8	3,09	0,44	1,55	646	1863	5302	329	0,36	2,10
	2. Tabaka	1545	423	22	30	3,65	0,46	1,94	3478	10151	41756			
83	1. Tabaka	396	161	7,6	7,6	2,46	0,40	1,38	358	1004	1691	229	0,52	2,61
	2. Tabaka	1283	267	22,4	30	4,81	0,48	1,86	1323	3908	28777			

Tablo 10'un devamı

Profil No.	Dinamik Parametreler	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ortalama Kalınlık (m)	Ortalama Derinlik (m)	Vp/Vs	Poisson Oranı (Bowles,1988)	Yoğunluk (Gardner ve diğ.,1974)	Shear Modülü (Kramer,1996)	Elastisite Modülü (Bowles,1988)	Bulk Modülü (Bowles,1988)	VS30 (m/s)	Zemin Hakim Titreşim Periyodu (Kanai,1983)	Ak
	Birimler	m/s	m/s	m	m	-	-	gr/cm3	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	m/s	sn	
84	1. Tabaka	535	252	5,5	5,5	2,12	0,36	1,49	947	2570	3005	419	0,29	1,82
	2. Tabaka	1633	492	24,5	30	3,32	0,45	1,97	4770	13834	46191			
85	1. Tabaka	605	126	8,5	8,5	4,80	0,48	1,54	244	721	5302	172	0,70	3,10
	2. Tabaka	1697	201	21,5	30	8,44	0,49	1,99	804	2400	56227			
86	1. Tabaka	674	147	8	8	4,59	0,48	1,58	341	1007	6720	212	0,57	2,73
	2. Tabaka	1815	253	22	30	7,17	0,49	2,02	1295	3860	64928			
87	1. Tabaka	625	193	7,5	7,5	3,24	0,45	1,55	577	1671	5285	282	0,43	2,30
	2. Tabaka	1164	333	22,5	30	3,50	0,46	1,81	2008	5845	21856			
88	1. Tabaka	500	282	8,4	8,4	1,77	0,27	1,47	1166	2953	2110	406	0,30	1,85
	2. Tabaka	1593	489	21,6	30	3,26	0,45	1,96	4683	13562	43455			
89	1. Tabaka	545	222	3	3	2,45	0,40	1,50	738	2068	3465	418	0,29	1,82
	2. Tabaka	1545	464	27	30	3,33	0,45	1,94	4184	12138	40814			
90	1. Tabaka	430	244	8	8	1,76	0,26	1,41	840	2122	1490	353	0,34	2,01
	2. Tabaka	1037	421	22	30	2,46	0,40	1,76	3118	8739	14760			
91	1. Tabaka	491	162	10,5	10,5	3,03	0,44	1,46	383	1102	3007	224	0,54	2,65
	2. Tabaka	1428	282	19,5	30	5,06	0,48	1,91	1515	4485	36839			
92	1. Tabaka	465	218	5,5	5,5	2,13	0,36	1,44	684	1860	2200	304	0,40	2,20
	2. Tabaka	952	333	24,5	30	2,86	0,43	1,72	1909	5462	13060			
93	1. Tabaka	727	159	8,8	8,8	4,57	0,47	1,61	407	1200	7965	239	0,50	2,55
	2. Tabaka	1211	301	21,2	30	4,02	0,47	1,83	1657	4861	24609			
94	1. Tabaka	834	451	9	9	1,85	0,29	1,67	3388	8765	7069	405	0,30	1,85
	2. Tabaka	1043	388	21	30	2,69	0,42	1,76	2652	7530	15628			
95	1. Tabaka	422	238	8,5	8,5	1,77	0,27	1,41	796	2016	1441	352	0,34	2,02
	2. Tabaka	1460	434	21,5	30	3,36	0,45	1,92	3609	10478	36034			
96	1. Tabaka	485	178	6,4	6,4	2,72	0,42	1,45	461	1311	2807	318	0,38	2,14
	2. Tabaka	1676	404	23,6	30	4,15	0,47	1,98	3237	9512	51399			
97	1. Tabaka	602	280	7,2	7,2	2,15	0,36	1,54	1204	3279	3960	451	0,27	1,74
	2. Tabaka	1469	559	22,8	30	2,63	0,42	1,92	5997	16976	33419			

Tablo 10'un devamı

Profil No.	Dinamik Parametreler	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Ortalama Kalınlık (m)	Ortalama Derinlik (m)	Vp/Vs	Poisson Oranı (Bowles,1988)	Yoğunluk (Gardner ve diğ.,1974)	Shear Modülü (Kramer,1996)	Elastisite Modülü (Bowles,1988)	Bulk Modülü (Bowles,1988)	VS30 (m/s)	Zemin Hakim Titreşim Periyodu (Kanai,1983)	Ak
	Birimler	m/s	m/s	m	m	-	-	gr/cm3	kg/cm2	kg/cm2	kg/cm2	m/s	sn	
98	1. Tabaka	641	246	6	6	2,61	0,41	1,56	944	2669	5150	448	0,27	1,75
	2. Tabaka	2644	563	24	30	4,70	0,48	2,22	7046	20803	146005			
99	1. Tabaka	794	309	6,1	6,1	2,57	0,41	1,65	1571	4433	8279	439	0,27	1,77
	2. Tabaka	1172	492	23,9	30	2,38	0,39	1,81	4391	12233	19060			
100	1. Tabaka	550	333	8,3	8,3	1,65	0,21	1,50	1665	4031	2322	441	0,27	1,76
	2. Tabaka	1577	504	21,7	30	3,13	0,44	1,95	4962	14322	41966			
101	1. Tabaka	410	208	6,3	6,3	1,97	0,33	1,39	604	1601	1540	336	0,36	2,07
	2. Tabaka	1604	402	23,7	30	3,99	0,47	1,96	3170	9299	46247			
102	1. Tabaka	646	217	8,7	8,7	2,98	0,44	1,56	736	2114	5541	289	0,41	2,27
	2. Tabaka	895	335	21,3	30	2,67	0,42	1,70	1903	5399	11045			
103	1. Tabaka	659	214	9	9	3,08	0,44	1,57	719	2073	5862	367	0,33	1,97
	2. Tabaka	1579	529	21	30	2,98	0,44	1,95	5469	15714	41430			
104	1. Tabaka	587	249	6,3	6,3	2,36	0,39	1,53	946	2631	3996	303	0,40	2,20
	2. Tabaka	905	322	23,7	30	2,81	0,43	1,70	1763	5033	11575			
105	1. Tabaka	583	231	8	8	2,52	0,41	1,52	813	2287	4094	287	0,42	2,28
	2. Tabaka	922	314	22	30	2,94	0,43	1,71	1684	4832	12276			
106	1. Tabaka	490	191	8,6	8,6	2,57	0,41	1,46	532	1501	2792	272	0,44	2,36
	2. Tabaka	788	327	21,4	30	2,41	0,40	1,64	1756	4903	7857			
107	1. Tabaka	548	206	5,5	5,5	2,66	0,42	1,50	636	1805	3656	243	0,49	2,52
	2. Tabaka	1371	253	24,5	30	5,42	0,48	1,89	1207	3580	33847			
108	1. Tabaka	683	235	6,7	6,7	2,91	0,43	1,58	875	2508	6226	303	0,40	2,20
	2. Tabaka	1187	331	23,3	30	3,59	0,46	1,82	1994	5813	22979			
109	1. Tabaka	586	206	5,5	5,5	2,84	0,43	1,53	647	1850	4375	298	0,40	2,23
	2. Tabaka	994	331	24,5	30	3,00	0,44	1,74	1907	5483	14655			
110	1. Tabaka	467	205	6,1	6,1	2,28	0,38	1,44	606	1672	2335	327	0,37	2,11
	2. Tabaka	1063	386	23,9	30	2,75	0,42	1,77	2637	7512	16485			

Tablo 11

İnceleme Alanına Ait Taşıma Gücü Hesaplamaları

Profil No.	Birimler	Vs	p	q	qem	Profil No.	Birimler	Vs	p	q	qem
		m/s	g/cm3	kg/cm2	kg/cm2			m/s	g/cm3	kg/cm2	kg/cm2
1	1. Tabaka	201	1,56	3,14	2,24	56	1. Tabaka	163	1,65	2,69	1,92
	2. Tabaka	332	1,84	6,12	4,37		2. Tabaka	305	1,96	5,98	4,27
2	1. Tabaka	142	1,41	2,00	1,43	57	1. Tabaka	149	1,59	2,36	1,69
	2. Tabaka	217	1,85	4,01	2,86		2. Tabaka	248	1,90	4,72	3,37
3	1. Tabaka	171	1,41	2,42	1,73	58	1. Tabaka	130	1,52	1,98	1,41
	2. Tabaka	212	1,99	4,23	3,02		2. Tabaka	290	1,98	5,73	4,09
4	1. Tabaka	318	1,52	4,83	3,45	59	1. Tabaka	159	1,67	2,65	1,90
	2. Tabaka	432	2,05	8,86	6,33		2. Tabaka	323	2,02	6,53	4,66
5	1. Tabaka	153	1,70	2,59	1,85	60	1. Tabaka	153	1,52	2,33	1,67
	2. Tabaka	238	1,92	4,56	3,26		2. Tabaka	191	2,03	3,87	2,77
6	1. Tabaka	238	1,57	3,73	2,66	61	1. Tabaka	119	1,57	1,86	1,33
	2. Tabaka	254	1,94	4,94	3,53		2. Tabaka	221	1,78	3,94	2,82
7	1. Tabaka	220	1,67	3,67	2,62	62	1. Tabaka	143	1,47	2,10	1,50
	2. Tabaka	455	1,87	8,52	6,09		2. Tabaka	189	1,88	3,56	2,54
8	1. Tabaka	185	1,45	2,68	1,92	63	1. Tabaka	142	1,52	2,16	1,54
	2. Tabaka	226	1,86	4,21	3,01		2. Tabaka	205	1,91	3,92	2,80
9	1. Tabaka	149	1,53	2,28	1,63	64	1. Tabaka	126	1,47	1,85	1,32
	2. Tabaka	213	1,85	3,94	2,82		2. Tabaka	204	1,87	3,81	2,72
10	1. Tabaka	155	1,51	2,35	1,68	65	1. Tabaka	122	1,54	1,88	1,34
	2. Tabaka	215	1,75	3,76	2,68		2. Tabaka	255	2,05	5,22	3,73
11	1. Tabaka	217	1,43	3,11	2,22	66	1. Tabaka	158	1,62	2,56	1,83
	2. Tabaka	430	1,90	8,15	5,82		2. Tabaka	201	2,05	4,12	2,95
12	1. Tabaka	123	1,49	1,84	1,31	67	1. Tabaka	209	1,39	2,90	2,07
	2. Tabaka	237	1,83	4,34	3,10		2. Tabaka	197	1,81	3,57	2,55
13	1. Tabaka	196	1,56	3,05	2,18	68	1. Tabaka	204	1,50	3,07	2,19
	2. Tabaka	285	1,93	5,49	3,92		2. Tabaka	207	1,87	3,87	2,76
14	1. Tabaka	185	1,61	2,98	2,13	69	1. Tabaka	216	1,51	3,27	2,33
	2. Tabaka	341	2,04	6,97	4,98		2. Tabaka	200	1,72	3,44	2,45
15	1. Tabaka	180	1,48	2,66	1,90	70	1. Tabaka	127	1,55	1,97	1,41
	2. Tabaka	214	1,86	3,98	2,84		2. Tabaka	249	1,77	4,41	3,15
16	1. Tabaka	158	1,43	2,26	1,61	71	1. Tabaka	112	1,52	1,70	1,22
	2. Tabaka	209	1,90	3,98	2,84		2. Tabaka	225	1,91	4,30	3,07
17	1. Tabaka	145	1,50	2,17	1,55	72	1. Tabaka	207	1,67	3,46	2,47
	2. Tabaka	214	1,91	4,10	2,93		2. Tabaka	280	1,99	5,57	3,98
18	1. Tabaka	156	1,58	2,47	1,76	73	1. Tabaka	192	1,69	3,25	2,32
	2. Tabaka	236	1,71	4,04	2,89		2. Tabaka	380	1,89	7,20	5,14
19	1. Tabaka	144	1,53	2,21	1,58	74	1. Tabaka	162	1,82	2,94	2,10
	2. Tabaka	231	1,88	4,34	3,10		2. Tabaka	386	1,99	7,68	5,48
20	1. Tabaka	165	1,57	2,59	1,85	75	1. Tabaka	223	1,55	3,47	2,48
	2. Tabaka	218	1,91	4,16	2,97		2. Tabaka	474	1,90	9,02	6,44
21	1. Tabaka	174	1,59	2,76	1,97	76	1. Tabaka	133	1,67	2,22	1,58
	2. Tabaka	291	1,99	5,79	4,14		2. Tabaka	276	2,00	5,51	3,94
22	1. Tabaka	243	1,51	3,68	2,63	77	1. Tabaka	150	1,45	2,18	1,56
	2. Tabaka	379	1,95	7,39	5,28		2. Tabaka	235	1,84	4,33	3,09
23	1. Tabaka	170	1,50	2,54	1,82	78	1. Tabaka	142	1,56	2,21	1,58
	2. Tabaka	224	1,97	4,42	3,15		2. Tabaka	232	1,81	4,20	3,00
24	1. Tabaka	139	1,50	2,09	1,49	79	1. Tabaka	126	1,48	1,87	1,33
	2. Tabaka	161	1,91	3,07	2,20		2. Tabaka	255	1,80	4,59	3,28
25	1. Tabaka	133	1,65	2,19	1,56	80	1. Tabaka	137	1,47	2,02	1,44
	2. Tabaka	179	1,91	3,42	2,44		2. Tabaka	234	1,90	4,45	3,18
26	1. Tabaka	172	1,43	2,46	1,75	81	1. Tabaka	154	1,57	2,42	1,73
	2. Tabaka	232	1,91	4,43	3,16		2. Tabaka	172	1,80	3,10	2,21

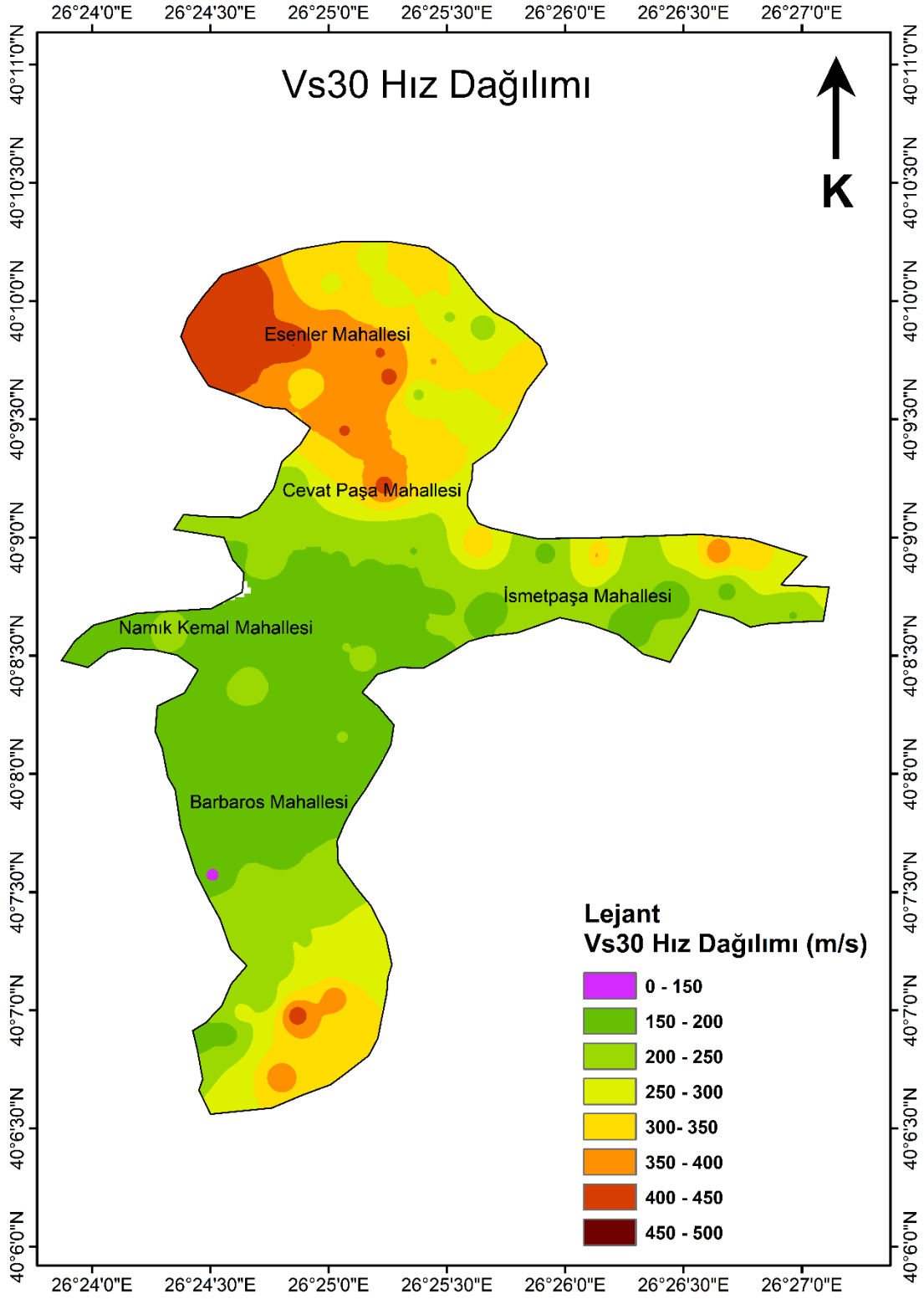
Tablo 11'in devamı

Profil No.	Birimler	Vs	p	q	qem	Profil No.	Birimler	Vs	p	q	qem
		m/s	g/cm3	kg/cm2	kg/cm2			m/s	g/cm3	kg/cm2	kg/cm2
27	1. Tabaka	242	1,57	3,79	2,71	82	1. Tabaka	204	1,55	3,17	2,26
	2. Tabaka	270	1,85	5,00	3,57		2. Tabaka	423	1,94	8,22	5,87
28	1. Tabaka	115	1,53	1,76	1,26	83	1. Tabaka	161	1,38	2,23	1,59
	2. Tabaka	208	2,04	4,24	3,03		2. Tabaka	267	1,86	4,95	3,54
29	1. Tabaka	132	1,58	2,09	1,49	84	1. Tabaka	252	1,49	3,76	2,68
	2. Tabaka	190	1,88	3,57	2,55		2. Tabaka	492	1,97	9,70	6,93
30	1. Tabaka	156	1,64	2,56	1,83	85	1. Tabaka	126	1,54	1,94	1,38
	2. Tabaka	287	1,85	5,32	3,80		2. Tabaka	201	1,99	4,00	2,86
31	1. Tabaka	134	1,75	2,34	1,67	86	1. Tabaka	147	1,58	2,32	1,66
	2. Tabaka	230	1,89	4,36	3,11		2. Tabaka	253	2,02	5,12	3,66
32	1. Tabaka	149	1,57	2,35	1,68	87	1. Tabaka	193	1,55	2,99	2,14
	2. Tabaka	159	1,78	2,83	2,02		2. Tabaka	333	1,81	6,03	4,31
33	1. Tabaka	120	1,61	1,93	1,38	88	1. Tabaka	282	1,47	4,13	2,95
	2. Tabaka	200	1,77	3,55	2,53		2. Tabaka	489	1,96	9,58	6,84
34	1. Tabaka	120	1,60	1,92	1,37	89	1. Tabaka	222	1,50	3,33	2,38
	2. Tabaka	217	1,99	4,31	3,08		2. Tabaka	464	1,94	9,02	6,44
35	1. Tabaka	132	1,47	1,93	1,38	90	1. Tabaka	244	1,41	3,44	2,46
	2. Tabaka	189	1,91	3,62	2,59		2. Tabaka	421	1,76	7,41	5,29
36	1. Tabaka	149	1,40	2,08	1,49	91	1. Tabaka	162	1,46	2,36	1,69
	2. Tabaka	198	1,88	3,72	2,66		2. Tabaka	282	1,91	5,37	3,84
37	1. Tabaka	153	1,57	2,40	1,72	92	1. Tabaka	218	1,44	3,14	2,24
	2. Tabaka	197	1,87	3,69	2,64		2. Tabaka	333	1,72	5,73	4,10
38	1. Tabaka	150	1,46	2,19	1,56	93	1. Tabaka	159	1,61	2,56	1,83
	2. Tabaka	204	1,85	3,77	2,69		2. Tabaka	301	1,83	5,50	3,93
39	1. Tabaka	137	1,44	1,98	1,41	94	1. Tabaka	451	1,67	7,51	5,37
	2. Tabaka	184	1,80	3,31	2,37		2. Tabaka	388	1,76	6,84	4,88
40	1. Tabaka	145	1,57	2,28	1,63	95	1. Tabaka	238	1,41	3,34	2,39
	2. Tabaka	206	1,82	3,76	2,68		2. Tabaka	434	1,92	8,32	5,94
41	1. Tabaka	195	1,72	3,35	2,39	96	1. Tabaka	178	1,45	2,59	1,85
	2. Tabaka	228	1,89	4,32	3,08		2. Tabaka	404	1,98	8,01	5,72
42	1. Tabaka	136	1,46	1,99	1,42	97	1. Tabaka	280	1,54	4,30	3,07
	2. Tabaka	247	1,84	4,54	3,24		2. Tabaka	559	1,92	10,73	7,66
43	1. Tabaka	120	1,46	1,75	1,25	98	1. Tabaka	246	1,56	3,84	2,74
	2. Tabaka	230	1,71	3,94	2,82		2. Tabaka	563	2,22	12,52	8,94
44	1. Tabaka	105	1,70	1,78	1,27	99	1. Tabaka	309	1,65	5,08	3,63
	2. Tabaka	165	1,82	3,01	2,15		2. Tabaka	492	1,81	8,92	6,37
45	1. Tabaka	139	1,70	2,37	1,69	100	1. Tabaka	333	1,50	5,00	3,57
	2. Tabaka	212	1,86	3,94	2,81		2. Tabaka	504	1,95	9,85	7,03
46	1. Tabaka	190	1,51	2,86	2,04	101	1. Tabaka	208	1,39	2,90	2,07
	2. Tabaka	310	1,84	5,71	4,08		2. Tabaka	402	1,96	7,89	5,63
47	1. Tabaka	196	1,59	3,13	2,23	102	1. Tabaka	217	1,56	3,39	2,42
	2. Tabaka	292	1,86	5,44	3,88		2. Tabaka	335	1,70	5,68	4,06
48	1. Tabaka	230	1,59	3,67	2,62	103	1. Tabaka	214	1,57	3,36	2,40
	2. Tabaka	469	1,85	8,66	6,19		2. Tabaka	529	1,95	10,34	7,38
49	1. Tabaka	284	1,48	4,21	3,01	104	1. Tabaka	249	1,53	3,80	2,71
	2. Tabaka	494	1,90	9,36	6,69		2. Tabaka	322	1,70	5,47	3,91
50	1. Tabaka	125	1,56	1,95	1,39	105	1. Tabaka	231	1,52	3,52	2,51
	2. Tabaka	274	1,99	5,46	3,90		2. Tabaka	314	1,71	5,36	3,83
51	1. Tabaka	143	1,58	2,26	1,61	106	1. Tabaka	191	1,46	2,79	1,99
	2. Tabaka	184	1,90	3,50	2,50		2. Tabaka	327	1,64	5,37	3,84
52	1. Tabaka	225	1,70	3,82	2,73	107	1. Tabaka	206	1,50	3,09	2,21
	2. Tabaka	253	1,93	4,88	3,49		2. Tabaka	253	1,89	4,77	3,41
53	1. Tabaka	180	1,43	2,57	1,83	108	1. Tabaka	235	1,58	3,72	2,66
	2. Tabaka	244	1,97	4,80	3,43		2. Tabaka	331	1,82	6,02	4,30

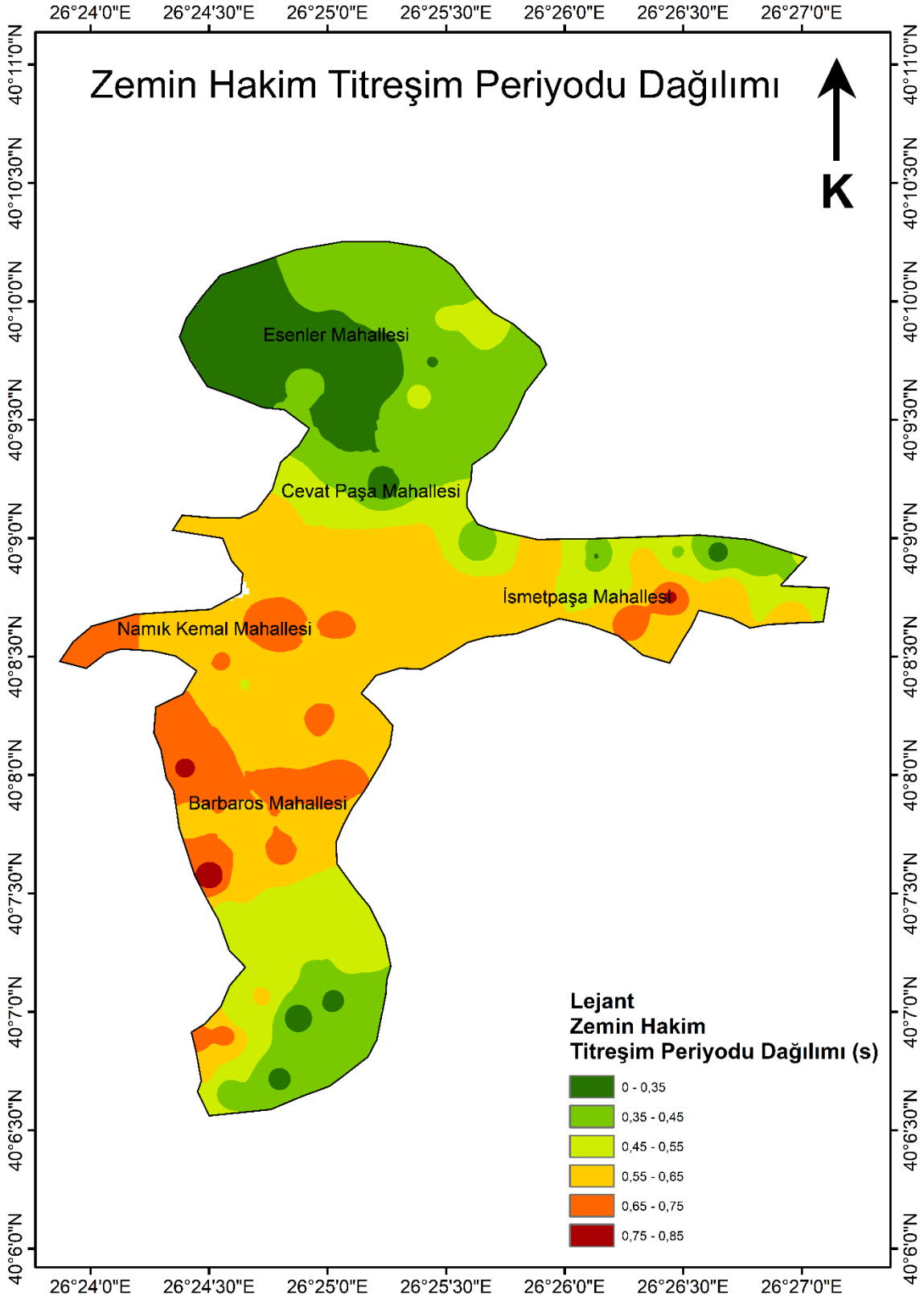
Tablo 11'in devamı

Profil No.	Birimler	Vs	p	q	qem	Profil No.	Birimler	Vs	p	q	qem
		m/s	g/cm ³	kg/cm ²	kg/cm ²			m/s	g/cm ³	kg/cm ²	kg/cm ²
54	1. Tabaka	203	1,56	3,16	2,26	109	1. Tabaka	206	1,53	3,14	2,24
	2. Tabaka	301	2,00	6,01	4,29		2. Tabaka	331	1,74	5,76	4,12
55	1. Tabaka	234	1,53	3,58	2,56	110	1. Tabaka	205	1,44	2,95	2,11
	2. Tabaka	251	1,92	4,83	3,45		2. Tabaka	386	1,77	6,83	4,88

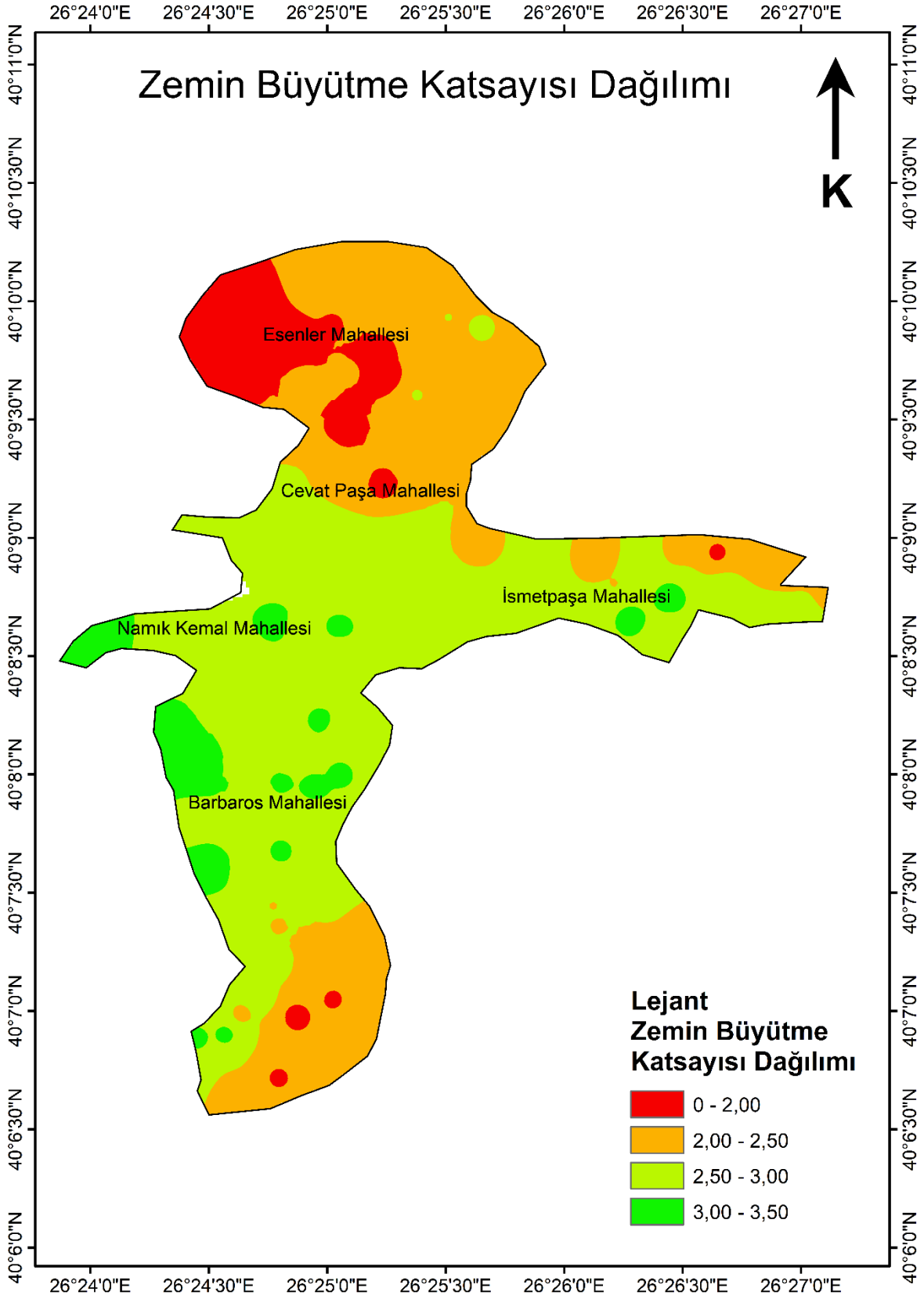
Yukarıdaki tablolarda verilen hesaplamalar ışığında, çalışma alanına ait Vs30 hız dağılımı, zemin hakim titreşim periyodu dağılımı, zemin büyütme katsayısı dağılımı ve zemin sınıflama dağılımı haritaları oluşturulmuştur. Haritalar Şekil 21, şekil 22, şekil 23 ve şekil 24 de gösterilmiştir.



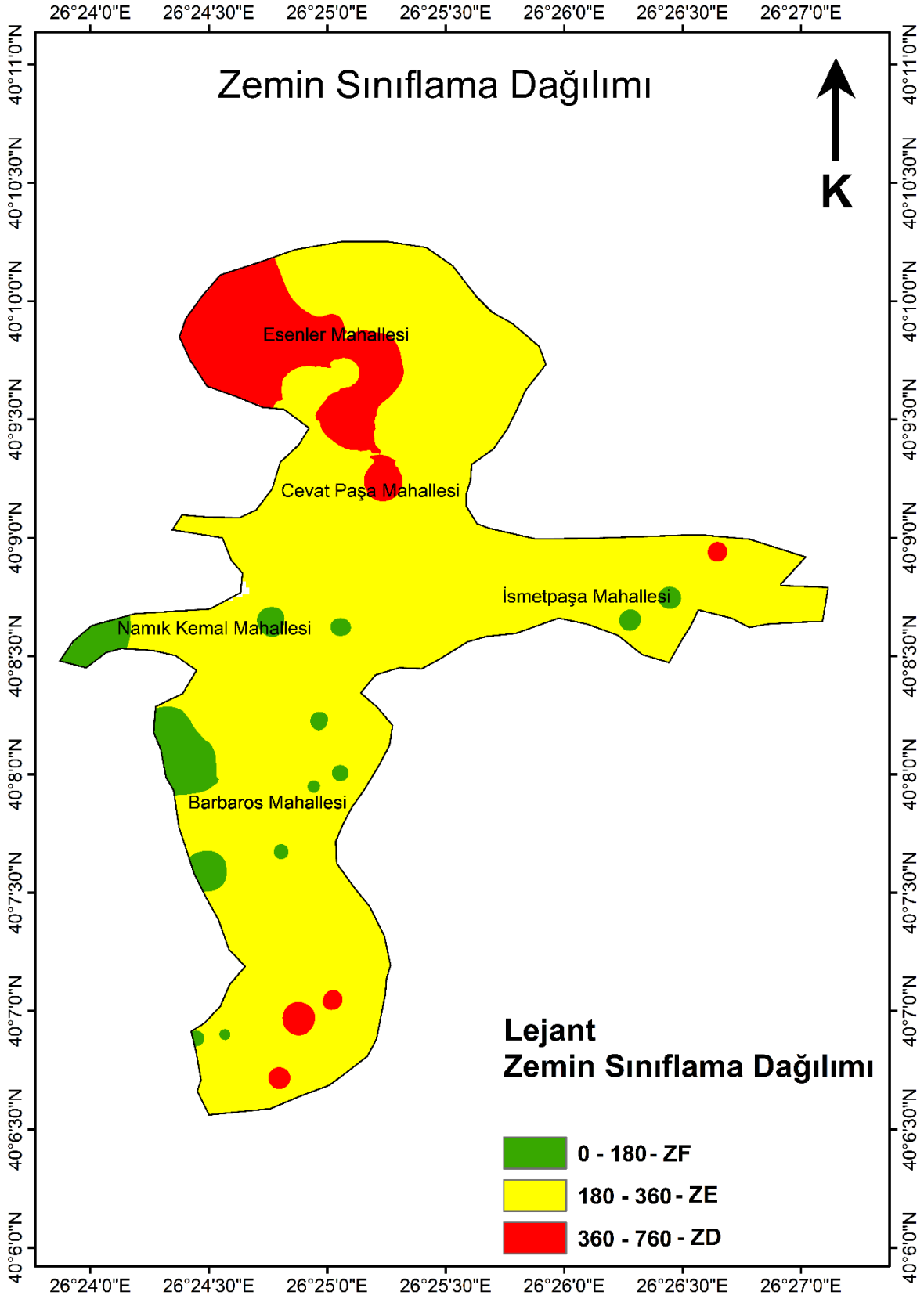
Şekil 21. İnceleme Alanına Ait Vs30 Hız Dağılımı



Şekil 22. İnceleme Alanına Ait Zemin Hakim Titreşim Periyodu Dağılımı



Şekil 23. İnceleme Alanına Ait Zemin Büyütme Katsayısı Dağılımı



Şekil 24. İnceleme Alanına Ait Zemin Sınıflama Dağılımı

ALTINCI BÖLÜM SONUÇ VE ÖNERİLER

Depremlerin yeryüzünde yaratacağı etkiyi belirlemek zeminlerin deprem anında nasıl davranacağını belirlemekten geçer. Çünkü zeminler deprem anında kendi karakteristik özelliklerine göre davranış gösterirler ve sonucu zemin üzerindeki üst yapıyı direkt olarak etkiler. Bu karakteristik özellikler zeminlerin mühendislik özellikleriyle ilgilidir. Bu sebeple deprem riski altındaki bölgelerde bu mühendislik özellikleri her bölge için ayrı ayrı incelenmelidir.

Bu çalışma Çanakkale havzası için zeminlerin deprem anındaki davranışlarının tespit edilmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışma alanında dolgu anakaya sınırlarının belirlenmesi ve zeminlerin mühendislik özelliklerinin hesaplanması amacıyla 110 adet sismik kırılma ve masw ölçüsünden yararlanılmıştır. (Çanakkale Belediyesi İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüt Projesi kapsamında alınan ölçülerden yararlanılmıştır.) Ölçüler değerlendirilerek dinamik elastik parametreler, Vs30 hızı, zemin hakim titreşim periyodu, zemin büyütme katsayısı ve taşıma gücü değerleri hesaplanmıştır. Vs30 hızlarının dağılımı, zemin sınıflama dağılımı, zemin hakim titreşim periyodu dağılımı ve zemin büyütme katsayısı değerleri dağılımına ait haritalar çizilerek Şekil 21, şekil 22, şekil 23 ve şekil 24'de gösterilmiştir.

Çalışma alanında yapılan sismik çalışmalar sonucunda 2 tabakalı bir zemin yapısı tespit edilmiştir. Üst tabakada alüvyon birimler yer alırken alt tabakada anakaya birimler tespit edilmiştir ancak yer yer alüvyon tabakasının 30m'den fazla olduğu bölgelerde mevcuttur. Elde edilen dinamik elastik parametrelere göre ise denize yakın kısımlarda zeminin dayanım özellikleri düşük olarak tespit edilirken iç kısımlara doğru dayanım özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Çalışma alanımız için çizdirilen haritaları incelediğimizde vs30 hızları denize yakın kısımlarda düşük olarak hesaplanırken iç kısımlarda daha yüksek değerlerde hesaplanmıştır. Ayrıca zemin hakim titreşim periyodu ve zemin büyütme katsayısı değerleri de denize yakın kısımlarda yüksek değerlerde hesaplanırken iç kısımlarda daha düşük değerlerde hesaplanmıştır. Vs30 hızına göre ilk 30 m'de anakayaya ulaşamamış olan sadece alüvyon tabakasından oluşan bölgelerde ($Vs30 < 360$) zemin büyütmesi riski bulunmaktadır. Bu bölgelerde zemin büyütme katsayısı yüksek olarak tespit edilmiştir. Zemin büyütmesi

sebebiyle deprem dalgaları yapılara yüksek salınım yaptırarak yıkıcı hasara sebep olabilirler. Ayrıca zemin kalınlığının 30'm ve daha fazla olduğu alanlarda yapıların rezonansa girme olasılığı da artmaktadır. Yapının rezonansa girmesi durumu da aynı şekilde deprem anında ağır hasara ve yıkıcı etkiye sebep olabilmektedir.

Zemin özelliklerini bölgenin deprem potansiyeli ışığında değerlendirecek olursak; çalışma alanındaki tarihsel ve aletsel dönem deprem etkinliklerine ve 30 yıl içerisinde oluşan $M_w > 5$ olan depremlere bakıldığında özellikle 2017 yılında gerçekleşen Ayvacık depremlerinin bölgede hasar ve yıkıma sebep olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bölgenin yakın çevresindeki (Ocak 2023 Midilli Adası deprem fırtınası) deprem aktivitesinden de etkilendiği görülmüştür. Bölgedeki zemin hakim titreşim periyodu ve zemin büyütme değerlerinin yüksek olması yalnızca çalışma alanı içerisinde değil yakın çevresinde gerçekleşen büyük magnitüdü depremlerde de deprem dalgalarının yüksek salınımı nedeniyle hasar ve yıkım gibi sonuçlarla karşılaşılabilceğinin göstergesidir.

Çalışma alanında elde edilen tüm veriler bölgenin jeolojisi ile kıyaslandığında uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. Bu uyum sismik yöntemlerin jeoteknik araştırmalardaki güvenilirliğini de bir kez daha ortaya koymuştur.

KAYNAKÇA

- Ansal, A. M., İyisan, R. ve Güllü, H. (2001). “Microtremor measurements for the microzonation Of Dinar”. *Pure and Applied Geophysics*, 2525-2541.
- Atabey E., Ilgar A. ve Sakıtış A. (2004). “Çanakkale Havzasının Orta – Üst Miyosen Stratigrafisi”. *MTA Dergisi*, 128: 79-97.
- Demirci A. (2007). Çanakkale Şehir Merkezi Sismik Mikrobölgelendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Dikmen, Ü., Arısoy, Ö.M. ve Akkaya, İ. (2010). “MASW yönteminde ofset ve doğrusal yayılma geometrisi”. *Journal of Geophysics and Engineering*, 7(2), 211-222
- Doyle, H. (1995). *Seismology*. M. Feyza Akkoyunlu (çev). Jeofizik Mühendisleri Odası Yayınları: Ankara
- Emre, Ö., Doğan, A., Yıldırım, C. (2012). “Biga Yarımadasının diri fayları ve deprem potansiyeli”. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayın Serisi* 28, 163-198.
- Eurocode 8 (2004). Design provisions of structures for earthquake resistance. European Committee for Standardization, Brüksel.
- Kearey, P., Brooks, M. ve Hill, IA. (1984). *An Introduction to Geophysical Exploration*. Blackwell Science: USA.
- Keçeli, A. (1990).“Sismik Yöntemlerle Müsaade Edilebilir Dinamik Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması”. *Jeofizik Dergisi*, 2, 83-92.
- Kürçer, A., Özalp, S., Özdemir, E., Güldoğan, Ç. ve Duman, T. (2019). “18 Mart 1953 Yenice-Gönen Depremi (Ms=7.2) ışığında Yenice-Gönen Fayı’nın aktif tektonik ve paleosismolojik özellikleri”. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* 159, 29-63.
- NEHRP, (2003). Regulations for New Buildings and other Structures.
- Okada, H. (2003). *The microtremor survey method*. Geophysical Monograph Series (12), SEG, Tulsa.
- Park, C. B., Miller, R. D. ve Miura, H. (2002). “Optimum field parameters of an MASW Survey”, *SEG-J-Tokyo*, 22-23.
- Park, C., Miller, R. D. ve Xia, J. (1998). “Imaging dispersion curves of surface waves on multi-channel record”. *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 1377–1380.
- Saltık, O. (1974). Şarköy-Mürefte sahaları jeolojisi ve petrol olanakları, TPAO Arama Grubu Arşivi, yayınlanmamış teknik rapor, 879, 24
- Sfondrini G. (1961). “*Surface geological report on ARTGO/1/338 ve 537 (Eceabat-Çanakkale areas)*”. Turkish Gulf Oil Co. Report, Turkish Petrol. Adm. Archives.

- Siyako M., (2006). “*Trakya Bölgesi Litostratigrafi Birimleri*”. Stratigrafi Komitesi Litostratigrafi Birimleri Serisi-2. 83.
- Stokoe, K. H., Wright, G. W., James, A. B., ve Jose, M. R. (1994). “*Characterization of geotechnical sites by SASW method*”. Geophysical characterization of sites, Oxford Publishers New Delhi: India.
- Şengör, A.M.C. (1979). “The North Anatolian fault: its age, offset and tectonic significance”. *Journal of Geological Society of London*, 136, 269-282
- Şuvak, E. (2019). Sismik Yöntemler İle Zemin Problemlerinin Araştırılması, Batman İli Örnekleri. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- Tunçel, A. (2014). Jeofizik Yöntemlerle Zemin-Anakaya Sınırının Belirlenmesi ve Dinamik Zemin Parametrelerinin Elde Edilmesi: Karşıyaka Ve Güzelbahçe (İzmir) Örneği. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği.
- Xia, J., Miller, R. D. ve Park, C. B. (1999). “Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves”. *Geophysics*, 64, 3, 691–700.
- Xia, J., Miller, R. D., Park, C. B., Hunter, J. A., Harris, J. B. and Ivanov, J.(2002). “Comparing shear-wave velocity profiles from multichannel analysis of surface wave with borehole measurements”. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22 (3), 181-190.
- Yalçınkaya, E. Elastik Dalga Teorisi [PDF belgesi]. Web site: 29 Kasım 2022 tarihinde <https://avesis.iuc.edu.tr/eyalcin/dokumanlar> adresinden erişildi.
- Yalçınkaya, E. (2010). “Zemin Neden Bu Kadar Önemli?”. *Jeofizik Bülteni*, 2010, 77-80
- Zhang, S. X., Chan, L. S., and Xia, J. (2004). “The Selection of Field Acquisition Parameters for Dispersion Images from Multichannel Surface Wave Data”. *Geophysics*, 161, 185–201.
- Zywicki, D. J. (1999). Advanced signal processing methods applied to engineering analysis of seismic surface waves. Doctoral Thesis, Georgia Institute of Technology, Georgia.