

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DEPREM VE ZEMİN PARAMETRELERİNDEN DİNAMİK
TAŞIMA GÜCÜNÜN BELİRLENMESİ**

Fatma Gül GÖRDESLİ

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Osman UYANIK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2013**

© 2013 [Fatma Gül GÖRDESLİ]

TEZ ONAYI

Fatma Gül GÖRDESLİ tarafından hazırlanan "**Deprem ve Zemin Parametrelerinden Dinamik Taşıma Gücünün Belirlenmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**'da **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

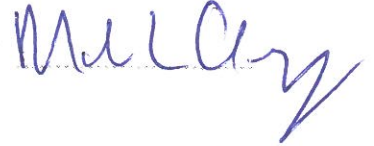
Danışman

Yrd. Doç. Dr. Osman UYANIK
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mahmut OKYAR
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÖZÇELİK
Süleyman Demirel Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN

0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Fatma Gül GÖRDESLİ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
3. TAŞIMA GÜCÜ	9
3.1. Deneysel Taşıma Gücü.....	9
3.2. Teorik Taşıma Gücü	9
3.2.1. Klasik taşıma gücü yöntemi	9
3.2.1.1. Klasik yöntem parametreleri ve elde edilme yöntemleri	10
3.2.1.2. Klasik yöntem dezavantajları.....	12
3.2.2. Sismik hızlardan belirlenen taşıma gücü	13
3.2.2.1. Sismik hızların elde edilmesinde kullanılan yöntemler	15
3.2.2.2. Sismik dalga hızları ve özellikleri.....	16
4. DİNAMİK TAŞIMA GÜCÜ	20
4.1. En Büyük İvme Değeri (a_{max}).....	25
4.2. Kayma Dalgası Hızına ve İvmeye Bağlı Dinamik Taşıma Gücü Bağıntısının Geliştirilmesi.....	36
4.3. Temel Boyutlarına Bağlı Düzeltme Katsayısı	40
4.4. Güvenlik Faktörü (GF)	47
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	55
5.1. Taşıma Gücü ve Güvenli Taşıma Gücü Bağıntılarının Karşılaştırılması.....	55
5.2. Dinamik Taşıma Gücü ve Güvenli Dinamik Taşıma Gücü Bağıntılarının İki Boyutlu Modellenmesi.....	58
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR	68
ÖZGEÇMİŞ	75

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DEPREM VE ZEMİN PARAMETRELERİNDEN DİNAMİK TAŞIMA GÜCÜNÜN BELİRLENMESİ

Fatma Gül GÖRDESLİ

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Osman UYANIK

Çalışmada; sismik hızlardan hesaplanan taşıma gücü yöntemi kullanılarak deprem, zemin ve yapı parametrelerine bağlı dinamik taşıma gücü bağıntısı geliştirilmiştir. Deprem sırasında yapı etkileri ve zemin deformasyonları nedeniyle taşıma gücü kayıpları oluşmaktadır. Geliştirilen bağıntının depreme dayanıklı yapılaşma çalışmalarındaki hesaplarda kullanılması amaçlanmıştır. Teorinin geliştirilme aşamalarında konu üzerine olan literatür çalışmaları da incelenerek avantaj ve dezavantajları değerlendirilmiştir.

Güvenli taşıma gücünü elde edebilmek için sismik hızlara ve yapı önem katsayısına bağlı olan güvenlik faktörü geliştirilmiştir. Yeni güvenlik faktörünün zemin özelliklerine bağlı değişimleri grafiklerle görselleştirilmiştir.

Yeni dinamik taşıma gücü bağıntıları, literatürden derlenen ve SDÜ BAP desteğiyle Isparta ve civarından elde edilen sismik kırılma verilerine uygulanmıştır. Ayrıca, elde edilen taşıma gücü sonuçları ile literatürdeki taşıma gücü bağıntılarından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Geliştirilen ara programlar aracılığıyla, alınan sismik kayıtlar değerlendirilerek elde edilen taşıma gücü değerleri iki boyutlu olarak modellenmiştir. Böylece noktasal olmayıp alansal olarak düşey ve yatay yöndeki taşıma gücü değişimleri görsel olarak sunulmuştur.

Sonuç olarak kişisel kararlara bağlı olunmayan ve mühendislik hesaplarından belirlenen yeni ve dinamik bir taşıma gücü çalışması ortaya koyulmuştur. Literatürle yapılan karşılaştırmalardan ve uygulamalardan güvenilir sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dinamik taşıma gücü, güvenlik faktörü, güvenli taşıma gücü, sismik hızlar, deprem ivmesi.

2013, 75 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF DYNAMIC BEARING CAPACITY FROM EARTHQUAKE AND SOIL PARAMETERS

Fatma Gül GÖRDESLİ

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Geophysics Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Osman UYANIK

The dynamic bearing capacity equation is developed related to parameters of earthquake, floor and structure which are calculated by carrying capacity via seismic velocities within the study. The loss of carrying capacity is happened due to structural activities and floor deformations during earthquakes. The developed equation is aimed to be employed at earthquake resistant construction studies. Previous studies on the subject matter were reviewed for evaluating advantage and disadvantages.

For achieving secured carrying capacity the security factor is developed which connected to the seismic velocities and structure importance coefficient. Changes in the new security factor depending on soil properties visualized by graphically.

The new dynamic capacity equations were applied to the data which complied from the literature and obtained from the Isparta and surrounding with the support of SDU BAP (Scientific Research Projects). Also, results of obtained from bearing capacity data and bearing capacity equations in the literature were compared.

By means of developed interim programs, the bearing capacity values which obtained from the equation of the seismic records are modeled as two-dimensional. So, variations in the lateral and vertical bearing capacity as not point but spatial are presented visually.

As a result, a new and dynamic bearing capacity study which not connected to the personal decision and determined from engineering accounts has been revealed. Reliable results were obtained from comparisons in the literature and applications.

Keywords: Dynamic bearing capacity, safety factor, the safe bearing capacity, seismic velocities, seismic acceleration.

2013, 75 pages

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi'nin 2961 - YL - 11 No'lu "Deprem ve Zemin Parametrelerinden Dinamik Taşıma Gücünün Belirlenmesi" isimli proje desteğiyle gerçekleştirilmiştir.

Tez konusunda beni yönlendiren, çalışmalarım bana her türlü imkân ve desteği sağlayarak değerli görüş ve katkılarını esirgemeyen değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Osman UYANIK' a,

Bilimsel çalışmalarım ve manevi anlamda hiçbir fedakârlıktan kaçınmayarak her türlü yardım ve desteği sağlayan, çalışmada kullanılan programların geliştirilmesi aşamasında zaman ayırıp emek veren kıymetli ve sevgili hocam Ziya ÖNCÜ' ye,

Çalışmalarım sırasında manevi desteğini ve dostluğunu hissettiren arkadaşlarıma,

Hayatıma girdiğinden beri desteğini ve sevgisini esirgemeyen, çalışmalarım sırasında da maddi manevi her türlü yükümü hafifletmeye çalışan, bana yardımcı olan nişanlım Mesut TOR' a,

Hayatım boyunca ve çalışmalarımın her aşamasında bana göstermiş oldukları anlayış ve verdikleri emekten dolayı en başta canım ve kıymetli annem olmak üzere çok sevdiğim aileme gönülden sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım...

Fatma Gül GÖRDESLİ
Isparta, 2013

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Terzaghi taşıma gücü teorisi	5
Şekil 3.1. Yüzeysel temeller altındaki göçme mekanizması	10
Şekil 3.2. Kırılma şartları	11
Şekil 3.3. c ve ϕ 'nin deneysel olarak belirlenmesi	12
Şekil 3.4. Boyuna dalgaların üç boyutlu gösterimi	16
Şekil 3.5. Enine dalgaların üç boyutlu gösterimi	17
Şekil 4.1. Deprem kuvvetinin (F) neden olduğu taban kesmesine (V) tepki olarak gelişen yanıl kuvvetleri (K) gösteren diyagram	23
Şekil 4.2. Farklı magnitütlü depremlerin odak uzaklığına göre hakim titreşim periyotları	27
Şekil 4.3. Kanai (1961) ile AFAD ivme değerlerinin noktasal dağılımı	30
Şekil 4.4. Milne ve Davenport (1969) ile AFAD ivme değerlerinin noktasal dağılımı	31
Şekil 4.5. Esteva (1970) ile AFAD ivme değerlerinin noktasal dağılımı	31
Şekil 4.6. Esteva ve Villaverde (1973) ile AFAD ivme değerlerinin noktasal dağılımı	32
Şekil 4.7. Denham vd. (1973) ile AFAD ivme değerlerinin noktasal dağılımı ..	32
Şekil 4.8. McGuire (1978) ile AFAD ivme değerlerinin noktasal dağılımı	33
Şekil 4.9. İnan vd. (1996) ile AFAD ivme değerlerinin noktasal dağılımı	33
Şekil 4.10. Aydan (2001) ile AFAD ivme değerlerinin noktasal dağılımı	34
Şekil 4.11. Ulusay vd. (2004) ile AFAD ivme değerlerinin noktasal dağılımı...	34
Şekil 4.12. Deprem ivmesinin ana kaya ve yüzeyde değişimi	39
Şekil 4.13. Statik penetrasyon deneyinde müsaade edilebilir taşıma basıncı	44
Şekil 4.14. Yüzeysel temeller ve yer altı suyu	45
Şekil 4.15. Yer altı suyu durumu ve düzeltme katsayıları	45
Şekil 4.16. Kil zeminler için farklı araştırmacılara ait bağıntıların önerilen uygun olarak hesaplanan a) taşıma gücü b) güvenli taşıma gücü sonuçları	48
Şekil 4.17. Pomza zeminler için farklı araştırmacılara ait bağıntıların önerilen tanımlarına uygun olarak a) taşıma gücü b) güvenli taşıma gücü sonuçları	50
Şekil 4.18. $V_s \leq 500$ m/s için güvenlik faktörünün V_p/V_s oranına bağılı değişimi	52
Şekil 4.19. $500 \text{ m/s} < V_s \leq 1000 \text{ m/s}$ için güvenlik faktörünün V_p/V_s oranına bağılı değişimi	52
Şekil 4.20. $1000 \text{ m/s} < V_s$ için güvenlik faktörünün V_p/V_s oranına bağılı değişimi	52
Şekil 5.1. Literatür çalışmaları ile geliştirilen dinamik taşıma gücü bağıntısı sonuçlarının karşılaştırılması	57
Şekil 5.2. Literatür çalışmaları ile geliştirilen dinamik güvenli taşıma gücü bağıntısı sonuçlarının karşılaştırılması	57
Şekil 5.3. Çok atışlı sismik kırılma verilerinin Seisimager paket programıyla değerlendirilmesi ve elde edilen sismik hız modelleri	59

Şekil 5.4. 1. Sismik kırılma ölçümlerinin P ve S hızlarının iki boyutlu modelleri	60
Şekil 5.5. 1. Sismik kırılma ölçümlerinin taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modelleri.....	60
Şekil 5.6. 2. Sismik kırılma ölçümlerinin P ve S hızlarının iki boyutlu modelleri	61
Şekil 5.7. 2. Sismik kırılma ölçümlerinin taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modelleri.....	61
Şekil 5.8. 3. Sismik kırılma ölçümlerinin P ve S hızlarının iki boyutlu modelleri	61
Şekil 5.9. 3. Sismik kırılma ölçümlerinin taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modelleri.....	61
Şekil 5.10. 4. Sismik kırılma ölçümlerinin P ve S hızlarının iki boyutlu modelleri	61
Şekil 5.11. 4. Sismik kırılma ölçümlerinin taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modelleri.....	62
Şekil 5.12. 5. Sismik kırılma ölçümlerinin P ve S hızlarının iki boyutlu modelleri	62
Şekil 5.13. 5. Sismik kırılma ölçümlerinin taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modelleri.....	62
Şekil 5.14. 6. Sismik kırılma ölçümlerinin P ve S hızlarının iki boyutlu modelleri	62
Şekil 5.15. 6. Sismik kırılma ölçümlerinin taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modelleri.....	62
Şekil 5.16. 7. Sismik kırılma ölçümlerinin P ve S hızlarının iki boyutlu modelleri	63
Şekil 5.17. 7. Sismik kırılma ölçümlerinin taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modelleri.....	63
Şekil 5.18. 8. Sismik kırılma ölçümlerinin P ve S hızlarının iki boyutlu modelleri	63
Şekil 5.19. 8. Sismik kırılma ölçümlerinin taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modelleri.....	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Sismik hızlardan taşıma gücü (q_f) ve güvenli taşıma gücü (q_a) eşitlikleri.....	7
Çizelge 3.1. Eurocode 8'de V_{s30} 'a göre zemin sınıflaması	18
Çizelge 3.2. NEHRP hükümlerinde ve Uniform Building Code'da V_{s30} 'a göre zemin sınıflaması	18
Çizelge 3.3. Kayma dalga hızına göre toprak sınıflaması.....	19
Çizelge 4.1. Beş farklı deprem kullanılarak Kanai (1961)'den hesaplanan ivmelerle AFAD tarafından belirlenmiş gerçek ivme değerlerinin karşılaştırılması	28
Çizelge 4.2. Türkiye deprem bölgelerinin ivme değerlerine göre derecelendirilmesi	38
Çizelge 4.3. Terzaghi (1943) formülünün K_1 ve K_2 katsayıları.....	42
Çizelge 4.4. Şekil ve derinlik faktörleri özeti	43
Çizelge 4.5. Kayma dalga hızına ve V_p/V_s oranına bağlı güvenlik faktörü.....	51
Çizelge 4.6. Yapı önem katsayısı	53
Çizelge 5.1. Yeni bağıntı ile literatür karşılaştırmasında kullanılan saha verileri	56

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$a_{\max}$	Pik yer ivmesi
B	Temel genişliği
c	Kohezyon
D_f	Temel derinliği
g	Yer çekimi ivmesi
GF	Güvenlik faktörü
K	Temel ebatlarına bağlı şekil faktörü
L	Temel boyu
m	Kütle
M	Deprem büyüklüğü (magnitüd)
N	SPT darbe sayısı
N_c, N_q, N_γ	Taşıma gücü faktörleri
q_f	Taşıma gücü
q_a	Güvenli taşıma gücü
R	Odak uzaklığı
S_c, S_q, S_γ	Taşıma gücü şekil faktörleri
T	Deprem periyodu
T_0	Zemin hâkim titreşim periyodu
X	Episantr uzaklığı
V_s	Enine (kayma) dalga hızı
V_p	Boyuna (basınç) dalga hızı
ρ	Yoğunluk
σ	Düşey gerilme
ϕ	İçsel sürtünme açısı
γ	Birim hacim ağırlık

1. GİRİŞ

Yapının zeminle doğrudan temasını sağlayan ve yapıdan gelen yükleri zemine aktaran birime temel denir. Sağlıklı temel için oluşacak oturma değerleri güvenli sınır içinde kalmalı ve kayma göçmesine karşı yeterli direnç sağlanabilmelidir. Bu nedenle temel tasarımı, üzerinde bulunan yapının duyarlılığına ve zeminin özelliklerine göre boyutlandırılır. Bu koşullara uyulması halinde taşıma gücü şartları sağlanmış olacaktır. Yani taşıma gücü, zeminin oturma yapmadan ve göçmeden taşıyabileceği en büyük yüküdür. Güvenli taşıma gücü ise, taşıma gücünün birimsiz bir güvenlik katsayısına bölünmesiyle elde edilir (Gördesli, 2012).

Güvenli taşıma gücü aşağıdaki şekillerde belirlenir (Türker, 1988):

- Deneyim kazanma ve bunlarla ilgili tablolar
- Yükleme deneyi
- Taşıma gücü ve oturmaların hesaplanması
- Standart penetrasyon deneyi (SPT) ve konik penetrasyon deneyi (KPT)
- Vs kayma dalga hızından ampirik (deneysel) bağıntıyla taşıma gücünün belirlenmesi.

Bunlar içinde günümüzde en çok tercih edilen yöntemler, deneyler sonucunda elde edilen kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısından (ϕ) hesaplanan klasik taşıma gücü ve son yıllarda pratikliği ve güvenilir sonuçlar vermesiyle öne çıkan Vs kayma dalga hızından hesaplanan ampirik bağıntılardır.

Son yıllarda mühendislik yapılarının büyümesi, özellikle binaların yüksekliklerinin artması ve genişlemesi, zeminin dinamik özelliklerinin incelenmesini gerekli hale getirmiştir. Titreşimli makine temelleri zeminde titreşim dalgaları oluştururlar. Deprem, dalga, rüzgâr gibi doğal olaylar ise zeminde gelişigüzel titreşimler oluştururlar. Darbe yüklemeli makineler ise temel zeminine geçici titreşimli yükler uygularlar. Kentlerdeki demiryolu ve karayolu yapılarının oluşturduğu titreşim yüklerinden devamlı etkilenen binaların inşaatı için bina ve zeminin titreşim etkileşimi sorunu önemlidir. Yapının dinamik karakteristikleri temel projesi için zeminin özellikleri esasına dayanmalıdır. Zeminin taşıma gücü veya güvenli taşıma gücü çeşitli yöntemlerle hesaplanırken titreşimli makinelerin ve depremin zeminde

oluşturduğu titreşimler dikkate alınmamaktadır. Ayrıca bu deneylerin yapımındaki güçlükler Vs kayma dalga hızlarından yararlanmayı ön plana çıkarmıştır (Türker, 1988).

Taşıma gücü hesabında sismik hızlardan yararlanan diğer araştırmacılar özellikle Vs kayma dalga hızının doğal titreşimlerin oluşturduğu küçük deformasyonları karşılaması nedeniyle bu yöntemi dinamik taşıma gücü olarak tanımlamaktadırlar. Bu genelleme titreşimli makineler gibi yerel ve küçük hareketlerin karşılanması için yeterli olabilir. Fakat deprem söz konusu olduğunda geçtiği ortam, uzaklık, meydana geliş koşulları gibi birçok özelliğe bağlı olarak değişken hıza sahip, dolayısıyla ivmeli ve büyük bir kuvvetten bahsedilir. Bunun için de sadece sismik hızın kullanılmasıyla dinamik taşıma gücü tanımının yapılması eksik bir tanım olmaktadır.

Bu tezde deprem gibi büyük kuvvetlerin zeminde oluşturduğu deformasyonlar ve taşıma gücü kayıpları konusu üzerinde durulmuş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı aşamasında kullanılabilecek yeni bir taşıma gücü bağıntısı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için literatür araştırmaları yapılmış ve depremlerin zeminler üzerindeki etkileri konusunda bir çok çalışma ile karşılaşmıştır.

Erken vd. (2004) çalışmalarında, 17 Ağustos 1999 depremine dikkat çekerek, Adapazarı, Gölcük kıyıları ve Sapanca'da meydana gelen kalıcı hasarların birçoğunun sıvılaşma ve taşıma gücü kayıpları sonucunda binalarda oluşan dönme, ötelenme, oturmalarından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Suyu doymuş kum, silt ve killerin dinamik davranış biçimlerinin farklı olduğunu belirterek bu zeminler üzerinde ayrı ayrı çalışmalar yapmışlar ve meydana gelen deformasyonları tanımlamışlardır. Özellikle yumuşak killer ile plastik siltlerde tekrarlı gerilmeler altında oluşan boşluk suyu basınçları ve deformasyonlar nedeni ile dinamik deney sonrası zeminde yumuşama, mukavemet kayıpları ve taşıma gücünün azalmasıyla temel zemininde göçmeler olduğu ifade edilmektedir.

Depremlerin yapılarda yol açtığı hasarların yerel zemin koşullarının değişik etkileri altında kaldığı bilinmektedir. Bu etkiler genel olarak yapılara depremler sırasında etkiyen atalet kuvvetleri ve yapı temel zemininde depremler sırasında oluşan sıvılaşma, taşıma gücü kaybı ve aşırı yer değiştirmeler nedeni ile oluşabilecek

olumsuzluklardır. Bu nedenle yapıların inşasından önce arazideki temel zeminini oluşturan tabakaların olası bir deprem sırasında göstereceği davranışın da incelenmesi gerekmektedir (Tohumcu vd., 2003).

Muratoğlu ve Özkan (2005), depremlerde yapı hasarına etki eden etmenlerin; zemin, deprem karakteristiği ve yapı özellikleri olarak üç ana grupta toplandığını ifade etmişlerdir. Zemin sınıflarının ve deprem ivmelerinin yapıya etki eden deprem kuvvetlerini etkilediğini belirterek yerel zemin sınıflarının ve deprem bölgelerinin değişmesi ile yapıda meydana gelen deprem kuvvetleri üzerinde incelemeler yapmışlardır.

Statik yükler altında zemin taşıma gücü literatürde geniş bir biçimde incelenmiştir. Ancak zeminler yatay ve düşey olarak dinamik yüklere maruz kalmaktadırlar. Deprem hasarı temel olarak birbiri ile etkileşim halinde üç grup faktör ile yani, (1) deprem kaynağı ve yayılım karakteristikleri, (2) yerel jeofizik ve geoteknik zemin koşulları, (3) yapısal tasarım ve inşaat özellikleri ile kontrol edilir. Dinamik yüklerle yani ivme ile zemin taşıma gücünün değişimi dinamik yüklere maruz kalan yapıların projelendirilmesi için en önemli etkilerden biridir (Özçep vd., 2006).

Depremlerde ana kaya seviyesinden yüzeye doğru hareket eden deprem dalgaları içinden geçtikleri zemin tabakalarının mühendislik özelliklerini değiştirirken, zemin tabakaları da kalınlık ve özelliklerine bağlı olarak deprem dalgalarının özelliklerini değiştirir. Bu değişim zemin yüzeyinde deprem ivme genliklerinin büyümesi veya küçülmesi, ivme zaman kayıtlarının süre ve frekans özelliğinin değişmesi şeklinde olur. Olası bir depremin mevcut yapı ve bina stoğu üzerinde etkilerinin gerçeğe yakın bir biçimde belirlenmesinde zemin yüzeyindeki deprem özelliklerinin ve olası zemin davranışlarının hesaba katılması gereklidir (Ansal vd., 2011).

Bu tez kapsamında sismik hızlardan belirlenen ve klasik taşıma gücü yöntemleri incelenmiş her iki yönteminde düşey gerilme ($\sigma = D\gamma$) eşitliğinden yola çıkılarak ortaya koyulduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar tarafından klasik yöntemde kullanılan kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ) yerine bu parametreler ve zeminin bir çok özelliğini yansıtabilen Vs kayma dalga hızı kullanılarak hem küçük deformasyonları karşılayabilen, hem de klasik yöntem kadar uygulama zorluğu

olmayan ve düzeltmelere ihtiyaç duyulmayan, pratik ve yarı dinamik bir taşıma gücü yöntemi geliştirilmiştir. Fakat tam dinamik tanımının yapılabilmesi için sadece sismik hızların kullanılması yeterli değildir. Bu tez ile sismik hızlar yanında depreme ait önemli bir parametre olan ivme de kullanılarak yeni ve gerçek anlamda dinamik bir taşıma gücü bağıntısı geliştirilmiştir.

Tez kapsamında güvenli taşıma gücü için güvenlik faktörü ve temel şekil faktörü ele alınarak literatürde belirlenen eksiklikler ya da gözden kaçan yanılıklar tamamlanmaya çalışılmıştır. Geliştirilen zemine bağlı güvenlik faktörüne yapı önem katsayısı da eklenerek deprem sırası ve sonrasında kullanımı önemli olan yapıların güvenliğinin artırılması amaçlanmıştır.

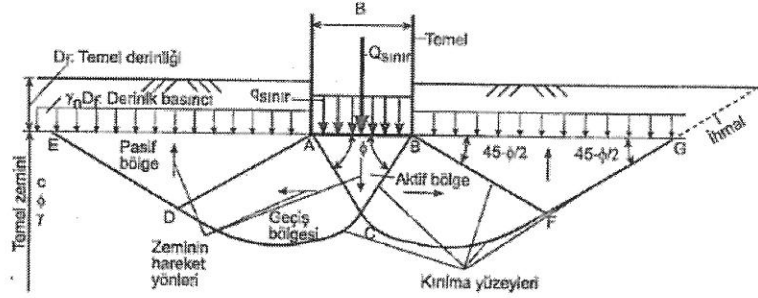
Taşıma gücünde deprem sırasında oluşan kayıplar, Newton'un II. Kanunu olan $F=ma$ eşitliği ile yeni bağıntıya uygulanmıştır. Kullanılan ivme ise, hem zemin hem de deprem parametrelerinden hesaplanan ivme azalım ilişkisi kullanılarak belirlenmiştir. Böylece yapılaşma düşünülen bölgenin zemin özellikleri, deprem karakteristikleri ve bina şartlarına uygun güvenilir ve dinamik bir taşıma gücü bağıntısı ortaya koyulması hedeflenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Taşıma gücü tanımının tarihsel gelişimi incelendiğinde ilk çalışmalardan biri olarak Rankine (1857) ile karşılaşılır. Rankine (1857) taşıma gücünün, temelin kenarındaki düşey düzlemde yatay gerilimin D derinliğindeki temelde zeminin pasif basıncına eşit olduğunu gösterir.

$$q = \gamma D \tan^4\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) + c \cot \phi \left[\tan^4\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}\right) - 1 \right] \quad (2.1)$$

γ ; birim hacim ağırlık, ϕ ; içsel sürtünme açısı, c ; kohezyon, D ; derinliktir. Daha sonra Prandtl (1921) plastik denge kavramından yola çıkarak taşıma gücü tanımı yapmıştır. Prandtl (1921) ve Reissner (1924), günümüzde en çok kabul gören ve uygulanan Terzaghi (1925) çalışmasının temelini oluşturmuştur. Terzaghi (1925), zemin özelliklerini dikkate alarak, Prandtl (1921) eşitliğinden yüzey temeller için taşıma gücü elde etmiştir.



Şekil 2.1. Terzaghi taşıma gücü teorisi (Uzuner, 2013)

Terzaghi (1943), Terzaghi ve Peck (1948) çalışmaları ile günümüzdeki taşıma gücü ortaya koyulmuştur. c ; kohezyon, γ ; zemin birim hacim ağırlığı, B ; şerit temel genişliği, D_f ; temel derinliği, N_c , N_q , N_γ ; taşıma gücü faktörleri olmak üzere taşıma gücü Terzaghi ve Peck (1948) tarafından Eşitlik 2.2 ile önerilmektedir.

$$q_u = cN_c + \gamma D_f N_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \quad (2.2)$$

Terzaghi ve Peck (1948) eşitliği birçok araştırmacı tarafından yeniden düzenlenmiştir. Skempton (1951), temel seviyesine bağlı zemin ve zemin suyunun

etkisiyle oluşan toplam örtü basıncı olan P ve efektif örtü basıncı P_0' katsayılarını kullanarak taşıma gücü olarak Eşitlik 2.2'yi sunmuştur.

$$q_u = cN_c + 0,5\gamma BN_\gamma + P_0'(N_q - 1) + P \quad (2.3)$$

Meyerhof (1965), SPT N değerinden güvenli taşıma gücü eşitlikleri önermiştir:

$$q_a = \frac{Ns}{2,84} \left[\frac{B + 0,3}{B} \right]^2 \quad (2.4)$$

$$q_a = \frac{Ns}{1,9} \quad B > 1,25 \text{ m} \quad (2.5)$$

$$q_a = \frac{Ns}{2,84} \quad B \leq 1,25 \text{ m} \quad (2.6)$$

Eşitliklerdeki q_a ; kN/m^3 cinsinden güvenli taşıma gücü, s ; oturma (mm), B ; temel genişliği (m), N ; temel tabanında temel genişliği kadar derinlikteki SPT N değerlerinin ortalamasıdır. Araştırmacılar tarafından benzer birçok bağıntı geliştirilmesine karşın en çok tercih edilen yöntem Terzaghi klasik yöntemidir.

V_s kayma dalga hızının zeminin litolojik özelliğinin bir göstergesi olduğunu savunan ve bu parametreye bağlı deneysel ve teorik taşıma gücü bağıntısı ortaya koyan çalışmalar da oldukça fazladır.

İmai ve Yoshimura (1975)'nin farklı zeminler üzerinde yaptıkları tek eksenli basınç mukavemeti değerleriyle ($\bar{q}_u$), V_s kayma dalga hızları arasında doğrusal bir ilişki olduğunu belirterek Eşitlik 2.7 ile ifade eder.

$$V_s = 138,3 \bar{q}_u^{0,417} \quad (2.7)$$

Tezde statik yöntem olarak en çok tercih edilen Terzaghi klasik yöntemi ve sismik hızlardan belirlenen taşıma gücü yöntemleri incelenmiştir. Yeni bağıntı ortaya koyulurken, sismik hızlardan belirlenen taşıma gücü bağıntıları üzerinde yapılan ön çalışmalarda en güvenilir sonuçlar elde edilen ve birbirinin benzeri olan Keçeli (2000; 2009; 2010; 2012) çalışmalarından faydalanılmıştır.

Teorik olarak düşey gerilmeden ($\sigma=D\gamma$) yola çıkılarak Türker (1988) tarafından sismik hızlara bağlı taşıma gücü ortaya koyulması ve daha sonra farklı araştırmacılar tarafından bağıntıda yapılan değişiklikler Çizelge 2.1’ de özetlenmiştir. Tabloda hem taşıma gücü, hem güvenli taşıma gücü ayrıntılı olarak verilmiş birim hacim ağırlık ve güvenlik faktörleri de araştırmacıların önerdiği şekilde sunulmuştur.

Çizelge 2.1. Sismik Hızlardan Taşıma Gücü (q_f) ve Güvenli Taşıma Gücü (q_a) Eşitlikleri (*Suya doymun zeminler için)

Kaynak	Eşitlikler			
	Yoğunluk (γ) ya da (ρ)	Taşıma Gücü (q_f)	Güvenli Taşıma Gücü (q_a)	Güvenlik Faktörü (GF)
Türker (1988)	$\rho = 0,31(Vp^{0,25}(m/s))$ (gr/cm ³) $\rho = 0,2Vp + 1,6$ (gr/cm ³)	$q_f = \gamma Vp T_0 / 4$ *%50 azaltılır	$q_a = \gamma V_s T_0 / 4$ *%50 azaltılır	Vp/Vs
Keçeli (1990)		$q_f = \rho Vp / 100$ (kg/cm ²) * $q_f = \rho Vp / 200$ (kg/cm ²)	$q_a = \rho V_s / 100$ (kg/cm ²) * $q_a = \rho V_s / 200$ (kg/cm ²)	Vp/Vs
Keçeli (2000)	$\rho = 0,31(Vp^{0,25}(m/s))$ (gr/cm ³)	$q_f = \frac{\rho V_s}{100}$ (kg/cm ²)	$q_a = \frac{(\rho V_s^2 / Vp)}{100}$ (kg/cm ²)	Vp/Vs
Kurtuluş (2000)	$\rho = 0,31(Vp^{0,25}(m/s))$ (gr/cm ³)	$P = 1 + 0,33D / B$ $q_f = P V_s / 200$ (kg/cm ²)	$q_a = q_f / GF$	Vp/Vs
Türker (2004)		$q_f = V_s \gamma 0,33(s) / 40 + \gamma D_f / 10$ (kg/cm ²)	$q_a = q_f / 3$ (kg/cm ²)	3
Tezcan vd. (2006)	$\gamma_p = \gamma_0 + 0,002Vp$ (kN/m ³)		$q_a = 0,024\gamma V_s Sv$ $Sv \leq 30,6\gamma$ $Sv = 1 - 3 \times 10^{-6}(V_s - 500)^{1,6}$	
Tezcan ve Özdemir (2006)	$\gamma_p = \gamma_0 + 0,002Vp$ (kN/m ³)		$q_a = 0,024\gamma V_s \alpha$ kPa	
Tezcan vd. (2007)	$\gamma_p = \gamma_0 + 0,002Vp$ (kN/m ³)	$^{(1)} q_f = 0,1\gamma V_s \alpha$ (kN/m ²)	Vs ≤ 700	$^{(1)} q_a = 0,025\gamma V_s \alpha$ n=4
			700 ≤ Vs ≤ 3500	$^{(1)} q_a = 0,1\gamma V_s \alpha / n$ n=4,62-8,90(10 ⁻⁴)Vs
			3500 ≤ Vs	$^{(1)} q_a = 0,067\gamma V_s \alpha$ n=1,5
Tezcan vd. (2008)	$\gamma_p = \gamma_0 + 0,002Vp$ (kN/m ³)	$^{(1)} q_f = 0,1\gamma V_s \alpha$ (kN/m ²)	Vs ≤ 750	$^{(1)} q_a = 0,025\gamma V_s \alpha$ n=4
			750 ≤ Vs ≤ 4000	$^{(1)} q_a = 0,1\gamma V_s \alpha / n$ n=4,6-0,0008Vs
			4000 ≤ Vs	$^{(1)} q_a = 0,071\gamma V_s \alpha$ n=1,4
Keçeli (2010)	$\rho = 0,44V_s^{0,25}$ (gr/cm ³)	$q_f = \frac{\rho V_s}{100}$ (kg/cm ²)	$q_a = \frac{(\rho V_s^2 / Vp)}{100}$ (kg/cm ²)	Vp/Vs
Tezcan ve Özdemir (2011, 2012)	$\gamma_p = \gamma_0 + 0,002Vp$ (kN/m ³) $^{(2)} \gamma = 4,3V_s^{0,25}$ (kN/m ³)	$^{(1)} q_f = 0,1\gamma V_s \alpha$ (kN/m ²)	Vs ≤ 750	$^{(1)} q_a = 0,025\gamma V_s \alpha$ n=4
			750 ≤ Vs ≤ 4000	$^{(1)} q_a = 0,1\gamma V_s \alpha / n$ n=4,6-0,0008Vs
			4000 ≤ Vs	$^{(1)} q_a = 0,071\gamma V_s \alpha$ n=1,4
Keçeli (2012)	$\rho = 0,44V_s^{0,25}$ (gr/cm ³)	$q_f = \rho V_s / 100$ (kg/cm ²)	$q_a = (\rho V_s^2 / Vp) / 100$ (kg/cm ²) $^{(3)} q_a = q_{as} K$ B≤1,22m $q_a = q_{as} \left(\frac{B + 0,305}{B} \right)^2 K$ B>1,22m	Vp/Vs

⁽¹⁾ α ; temele bağlı katsayı $\alpha = 1$; $0,0 \leq B \leq 1,20m$, $\alpha = 1,13-0,11B$; $1,20 \leq B \leq 3,00m$, $\alpha = 0,83-0,01B$; $3,00 \leq B \leq 12,0m$.

⁽²⁾ Keçeli (2010) yoğunluk bağıntısı Tezcan ve Özdemir (2011, 2012) tarafından kN/m³ olarak kullanılmıştır.

⁽³⁾ q_{as} ; temel ebatlarına bağlı müsaade edilebilir taşıma gücü, $K = 1 + 0,33(Df/B) \leq 1,33$.

Eşitliklerdeki q_f ; taşıma gücü, q_a ; güvenli taşıma gücü, B ; temel genişliği (m), D_f ; temel derinliği (m), K , S_v ve α ; temel ebatlarına bağlı düzeltme katsayıları, V_p ; boyuna dalga hızı, V_s ; kayma dalga hızı, ρ ; yoğunluk (gr/cm^3), γ ; birim hacim ağırlık (kN/m^3), T_0 ; zemin hakim titreşim periyodu (sn), n ve GF ; güvenlik faktörü.

3. TAŞIMA GÜCÜ

3.1. Deneysel Taşıma Gücü

Deneysel taşıma gücünün bulunmasında standart, statik ve dinamik penetrasyon, pressiometre ve veyn gibi arazi deneyi sonuçları kullanılır. Deneysel yöntemde temelin maksimum oturması dikkate alınarak müsaade edilebilir taşıma basıncı ampirik olarak bulunabilir. Fakat bitişik temellerin etkisiyle oluşan oturmalar dikkate alınmaz. Deneysel yoldan taşıma gücü analizine gidilmesi halinde sömeller birbirini etkileyecek kadar yakın aralıklı yerleştirilmiş ise ayrıca detaylı oturma analizi yapmak gereklidir (Tosun, 1989).

3.2. Teorik Taşıma Gücü

3.2.1. Klasik taşıma gücü yöntemi

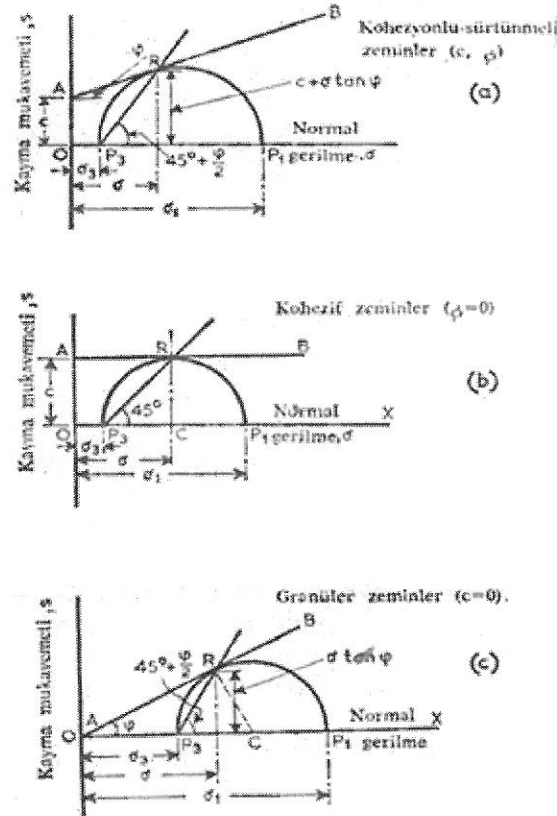
Yeterli büyüklükte bir yük altında temel, zeminin içine artan bir hızla batarak göçebilir. Temel zemininin üst yüzü sömel çevresinde kabarıp. Bu tip göçmenin hangi yük etkisiyle oluştuğunu belirlemek amacıyla birçok incelemeler yapılmıştır. Bu etütlerde hem zeminin fiziksel özellikleri araştırılmış, hem de yük altında zemin hareketi göz önüne alınmıştır. Bu etütlerde aşağıda dört grup halinde sıralanmıştır (Kumbasar ve Kip, 1984);

1. Sömel altında meydana gelen aktif ve pasif toprak basınçlarının etüdü,
2. Plastik göçme analizi,
3. Muhtemel bir kayma yüzeyi kabul eden yarı grafik metotlar,
4. Yükleme deneyleri ile doğrudan yapılan göçme.

Bunlar arasında en çok kabul gören yöntem Prandtl tarafından geliştirilen plastik göçmeye dayalı metottur. Plastik malzemede meydana gelen plastik göçme hareketleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Yapı altında oluşan kamanın bozulmadan aşağı doğru itildiği düşünülebilir. Bu hareketle meydana gelen yatay basınçlar, sömelin her iki tarafında bulunan zeminde pasif direnç doğururlar. Sömel tabanının pürüzlülüğü arttıkça, kamanın derinliği azalır. (Kumbasar ve Kip, 1984).

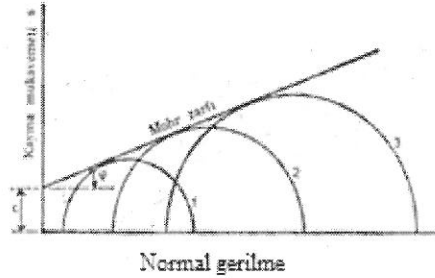
Görünen Kohezyon (c); Silt ve killerde tane yapısı ve taneleri çevreleyen elektriksel negatif yüke su moleküllerinin tutunması ve taneler arasında bir ara yüzey oluşturarak taneleri birbirine yapıştırması sebebiyle ortaya çıkan ilave bir kayma direnci parametresi vardır. Bu da klasik zemin mekaniğinde kohezyon, günümüz terminolojisinde görünen kohezyon olarak adlandırılır. Normal gerilme etkisi sıfır olsa bile silt ve killer gibi kohezyonlu zeminlerde bir miktar kayma mukavemeti kohezyon sebebiyle bulunur. c ile gösterilen kohezyonun değeri temiz kum ve çakıllarda sıfırdır, silt ve killerde su muhtevası ve plastisiteye bağlı olarak değişir (Çinicioğlu, 2005).

Kohezyonlu zeminlerde, c ve ϕ katsayılarının yaklaşık değerlerinin belirlenmesi için kayma düzlemi üzerine değişik normal basınçların etkidiği iki veya daha fazla sayıda deney yapılır. Kesme gerilmesi kayma düzlemine etkiyen normal gerilmeye göre çizilirse eğimi $\tan \phi$ olan ve kayma gerilmesi eksenini c uzaklığında kesen bir doğru elde edilir.



Şekil 3.2. Kırılma şartları (Çekmen, 2009)

σ_1 ve σ_3 değerleri merkez itibaren yerlerine konularak Mohr Dairesi çizilebilir. Bu dairelerden iki veya daha çok sayı çizildikten sonra bunların ortak teğeti olan ve Mohr Zarfı olarak adlandırılan AB doğrusu aşağıdaki şekil çizilerek aranan c ve ϕ değerleri (veya efektif gerilmelere göre çizilmişse c' ve ϕ' değerler) belirlenir.



Şekil 3.3. c ve ϕ 'nin deneysel olarak belirlenmesi (Çekmen, 2009)

Zeminlerde c ve ϕ katsayıları (kayma mukavemeti parametreleri) su muhtevası ve birim hacim ağırlığına göre değişik değerler aldığından bunlar yalnız zeminin yüklenmeden önceki şartlarına değil, ayrıca yükleme ve kesme esnasındaki drenaj şartlarına da bağlıdır.

3.2.1.2. Klasik yöntem dezavantajları

Klasik yöntem bağıntısında (3.1) kayma direnci açısı, önemli bir parametre olup özellikle kohezyonlu zeminlerde arazi ve laboratuvar şartlarından çok fazla etkilenmektedir. Kayma direnci açısının (ϕ) küçük değerlerinde, taşıma gücü değerleri zeminin sıkılığına bağlı olarak önemli değişimler gösterir. Bu farklılıklar da taşıma gücü sonuçlarını etkileyerek yanıltıcı sonuçlara sebep olabilmektedir.

Klasik yöntem uygulamalarında, yeraltı su seviyesinin yüzeye kadar etkili olduğu ortamlarda, taşıma gücü %50 oranında azaltılmaktadır. Yöntem uygulanırken yeraltı su seviyesinin bu büyük etkisi mutlaka göz önüne alınmalı ve düzeltmeleri yapılmalıdır. Düzeltmeler, temel seviyesi ve yer altı suyu seviyesi ilişkisine göre uygulanmaktadır. Bu sebeple özenli bir çalışma gerektirmektedir.

Klasik yöntemin uygulanabilmesi için laboratuvar sonuçlarına gerek vardır. Numune alınması olanaksız zemin türlerinin analizi yapılamadığından klasik yöntemle de

taşıma gücü belirlenemez. Ayrıca taneli yapıya sahip zeminlerden örselenmemiş örnek almak neredeyse imkânsızdır. Bu gibi durumlarda taşıma gücünün belirlenememesi gibi bir sorun ortaya çıkar ki bu yapılaşma söz konusu olan bir mühendislik çalışmasında kabul görmeyen bir durumdur.

Klasik yöntemde güvenlik faktörü çoğunlukla 3-4 gibi sabit katsayılar şeklinde kullanılmaktadır. Farklı özelliklere sahip zeminlerin taşıma gücü değerlerinde aynı azaltmayı yapmanın mühendislik açısından yanlış olduğu düşünülmektedir.

Bilindiği üzere taşıma gücünün belirlenebilmesi için oldukça derinden bilgi almak gerekir ve bunun için klasik yöntemde sondaj çalışmaları uygulanır. Sondaj sayısının artması ve sondaj sırasında olabildiğince derine artı bir masraf getirir. Az sayıda sondaj bilgisinin de çalışma alanında hangi noktaya ait olduğu da önemlidir. Yani dar alan için tek noktada bilgi veren az sayıda sondajla belirlenen taşıma gücü geniş çalışma alanının yorumlanabilmesi yeterli değildir.

3.2.2. Sismik hızlardan belirlenen taşıma gücü

Sismik hızlardan belirlenen taşıma gücü yöntemleri konusunda ilk çalışmalardan biri olan Türker (1988), temelin taşıma gücünü veya oturmaların hesaplanması için, verilen D derinliğindeki temel zemininin taneleri arasındaki düşey gerilmenin bilinmesi gerektiğini belirterek eşitliklerle açıklamış sonuç olarak taşıma gücünü, düşey gerilme olarak aşağıdaki gibi göstermiştir.

$$q = \sigma = \gamma D \quad (3.5)$$

Buradaki γ ; birim hacim ağırlık, σ ; düşey gerilme, D; derinlik, q; taşıma gücüdür.

Temelin nihai taşıma gücü konusunda bilinen ilk çalışma olan Rankine (1857) tarafından, temelin kenarındaki düşey düzlemde yatay gerilimin D derinliğindeki temelde zeminin pasif basıncına eşit olduğunu göstermiştir (Eşitlik 2.1).

Rankine (1857) bağıntısına uygun olarak günümüzde hala kullanılan Terzaghi (1943) deneysel bağıntısını genel anlamda ele alırsak;

$$q_f = \underbrace{cN_c}_{\text{kohezyon}} + \underbrace{\gamma DN_q}_{\text{sürşarj yükü}} + \underbrace{0,5\gamma BN_\gamma}_{\text{işsel sürtünme}} \quad (3.6)$$

Buradaki sürşarj yükü olarak gösterilen etki taşıma gücü faktörlerini göz önüne almazsak düşey gerilmeye eşittir. Ayrıca Rankine (1857) tarafından da zeminin pasif basıncına eşit olarak ifade ettiği kohezyonlu ve işsel sürtünmeli bağıntıya da benzer olan klasik yöntem formülünün sismik hızlardan hesaplanan taşıma gücü bağıntısına ne kadar yakın olduğu gözlenebilir.

(3.5) eşitliğinde D yerine zemin hakim titreşim periyodu eşitliği olan $T_0 = \frac{4h}{V}$ den gelen $h = \frac{T_0 V}{4}$ denklemi koyularak aşağıdaki taşıma gücü ve emniyetli taşıma gücü denklemlerinin temeli atılmıştır.

$$q_f = \frac{\gamma T_0 V p}{4} \quad (3.7)$$

$$q_a = \frac{\gamma T_0 V s}{4} \quad (3.8)$$

$$GF = q_a/q_f = V_p/V_s \quad (3.9)$$

Eşitlik 3.8’de kullanılan Vs kayma dalgası hızının zeminin işsel sürtünme, kohezyon, gözeneklilik, su içeriği, sıklık vb. gibi birçok özelliğine bağlı olarak değiştiği de göz önüne alınırsa klasik taşıma gücü ile sismik hızlardan belirlenen ‘dinamik’ olarak tanımlanan taşıma gücü yöntemleri arasındaki benzerlikten söz edilebilir. Türker (1988)’den günümüze bu yöntem konusunda da gelişmeler yaşanmış ve daha gerçekçi sonuçlar elde edilen bağıntılar geliştirilmiştir (Çizelge 2.1).

Sismik hızların taşıma gücü bağıntılarında kullanılmasının amacı, klasik yöntem uygulamalarındaki problemlere ayrı ayrı çözüm aramak yerine daha pratik şekilde sonuca ulaşmaktır. Sismik hızlarla zemin özellikleri, arazi şartları korunarak doğrudan taşıma gücü değerlerine yansır ve böylece daha kolay ve güvenilir sonuçlar elde edilir. Ayrıca sismik yöntemin doğru ve özenli bir şekilde uygulanması sonucu klasik yöntemin gerektirdiği sondaj ve laboratuvar çalışmalarına gerek kalmadan kısa sürede daha ekonomik ve güvenilir taşıma gücü verilerine ulaşılabilir.

3.2.2.1. Sismik hızların elde edilmesinde kullanılan yöntemler

Sismik hızların yerinde belirlenebilmesi için aşağıdaki yöntemler kullanılır;

1. Sismik kırılma yöntemi
2. Sismik Broad-Side Çalışmaları
3. Kuyu Sismiği
 - 3.1. Up Hole (Kuyu-Yüzey)
 - 3.2 Down Hole (Yüzey-Kuyu)
 - 3.3 Cross Hole (Karşit-Kuyu)
 - 3.4. SüspansiyonYöntemi
4. Yüzey Dalgasının Spektral Analiz Yöntemi

Bu yöntemlerden en çok tercih edilen ve bu tez kapsamında uygulanan yöntem, sismik kırılma yöntemidir.

Sismik kırılma yöntemi, geniş alanlarda zemin ve kaya profillerini haritalamak için kullanılan en basit en etkili yöntemdir. Bu yöntemde kaynak olarak darbe ya da patlatma enerjisi yüzeyde uygulanır. Yayılan dalgalar kaynaktan belirli uzaklıktaki algılayıcılara (jeofon) ulaşır ve ilk varış zamanları belirlendikten sonra hazırlanan zaman–uzaklık (x-t) grafikleri yardımıyla dalga hızları hesaplanır. Yüzey tabakasının altındaki zemin ya da kaya tabakalarında yayılan kırılmış dalgaların hızları bu yöntemle belirlenir (Uyanık, 2009).

Sismik kırılma yöntemi ile sismik boyuna dalgaları (P) ve sismik enine dalgaları (S) elde edilir. Bunlardan tabaka kalınlıkları ve zeminin elastik parametreleri ve dinamik özellikleri saptanır.

Özellikle sismik enine (kayma) dalgası zeminin mekanik özelliklerine, zeminin kayma mukavemetini belirlemede en önemli yöntemdir. Kayma mukavemeti olmayan ortamlarda (hava, su) sismik kayma (enine) dalgalar yayılmaz. Kayma mukavemeti düşük olan zeminlerde sismik kayma dalgası hızları düşüktür. Bir başka deyişle kayma (enine) dalga hızları düşük olan zeminler zayıf ve gevşek yapıdadır (Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3).

3.2.2.2. Sismik dalga hızları ve özellikleri

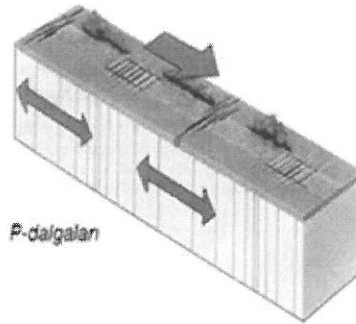
Sismik dalgalar cisim dalgaları ve yüzey dalgaları olmak üzere iki gruba ayrılır.

1. Cisim dalgaları: -P boyuna dalgalar -S enine dalgalar
2. Yüzey dalgaları: -Rayleigh dalgaları -Love dalgaları

Boyuna Dalgalar: Deprem dalgaların içerisinde yeryüzüne ilk ulaşan dalgadır. Boyuna dalgalar partikül hareketi ile aynı yönde yayılırlar. Bu yüzden deprem dalgaları içerisinde en hızlı yayılan dalgalardır. Bu dalgaların hareketine doğadan örnek vermek gerekirse bir solucanın hareketini yaparlar. Bu dalgalar her türlü ortamda yayılırlar. Aynı zamanda ses dalgası olarak da bilinir. Bu dalgaların havadaki hızı 330 m/s ve sudaki hızı ise 1450 m/s civarındadır. Katı malzeme içerisinde 180-7500 m/s civarında değişebilir. Bu dalgalar binaların kolonlarına aşırı yük bindirerek binayı yorar. Bu dalgaların yapıyı yıkma özelliği yoktur. Binayı yukarı iterek binanın yukarı-aşağı hareket etmesini sağlar. Bu da yapı yükünün artmasını ve yapıyı ayakta tutan elemanlardan biri olan kolonlara aşırı yük binmesini sağlar (Uyanık, 2009).

σ ; poisson oranı, μ ; sıkışmazlık (rijidite) modülü (N/m^2), ρ ; yoğunluk (kg/m^3), E ; young modülü (N/m^2), λ ; lame modülü olmak üzere P dalgası hızı aşağıdaki bağıntı ile tanımlanır:

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1 - \sigma)}{\rho(1 + \sigma)(1 - 2\sigma)}} \quad (3.10)$$



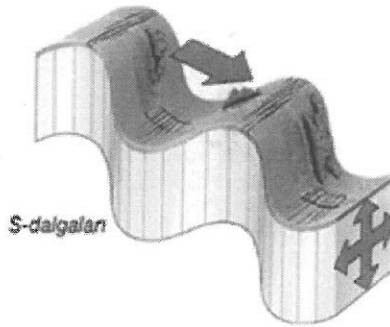
Şekil 3.4. Boyuna dalgaların üç boyutlu gösterimi (<http://www.jeofizikmuhendisleri.com/upload/32541678.jpg>)

Enine Dalgalar: Deprem dalgaları içerisinde yeryüzüne ikinci olarak ulaşan dalgalardır. Bu yüzden seconder (ikincil) dalga olarak adlandırılır. Aynı zamanda bu dalgaya enine dalga, makaslama (shear) dalgası, kayma dalgası yada S dalgası adı da verilir. Bu dalgalar yeryüzüne P dalgasından sonra ulaşan dalgalardır. Kayma dalgaları partikül hareketine dik yönde yayılırlar. Doğadan örnek vermek gerekirse bir yılanın hareketini yaparlar. Kayma dalgaları her türlü ortamda yayılmazlar sadece katı ortamlarda yayılırlar. Yani sıvılarda ve gazlarda yayılamazlar. Çünkü bu ortamlarda rijidite sıfırdır ($G_d=0$). Yani sıvılarda ve gazlarda kayma hareketi olmadığı için kayma dalgaları yayılamazlar.

Bu dalgaların katılardaki hızı 80-4000 m/s arasında değişir (Eşitlik 3.11). Bu dalgalar binalarda daha çok kirişleri zorlarlar. Yani kriş-kolon bağlantılarını koparmaya yönelik darbeler yaparak yapının sağa-sola hareket etmesini sağlarlar. Yapı bu dalgalara karşılık direnebilmesi için yapı içerisine giren enerjiyi kolon-kriş bağlantılarının olduğu yerlerde boşaltmaya çalışır. Eğer yapı içerisindeki enerjiyi kriş ortasından boşaltır ise kirişler kırılır ve yapı pres haline dönüşebilir. Yani ağır hasar görebilir (Uyanık, 2009).

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\sigma)}} \quad (3.11)$$

Burada; σ ; poisson oranı, μ ; sıkışmazlık (rijidite) modülü (N/m^2), ρ ; yoğunluk (kg/m^3), E ; young modülü (N/m^2), λ ; lame modülü.



Şekil 3.5. Enine dalgaların üç boyutlu gösterimi (<http://www.jeofizikmuhendisleri.com/upload/32541678.jpg>)

Enine dalgaların özellikleri nedeniyle bulunduğu zemin koşullarına bağlı olarak değişmesinden yola çıkılarak literatürde zemin sınıflandırmaları yapılmıştır.

V_s(30) ve Zemin Sınıflaması: Yerinde yapılan sismik çalışmalar sonucunda elde edilen kayma dalga hızlarının 30m derinliğe kadar ortalama değeri V_{s30} olarak tanımlanır. Bu parametre zemin sınıflamalarında ve bina kodlarının belirlenmesinde önemli bir parametredir. Ayrıca kayma dalga hız modellerinden tahmin edilen alan sınıflamaları güçlü sarsıntıların etkilerinin önceden tahmin eşitliklerinin türetilmesinde, deprem hasarının azaltma haritalarının yapımında ve bina kodlarının belirlenmesinde de önemlidir. V_{s30} matematiksel olarak aşağıdaki ifade ile hesaplanır (Uyanık, 2009).

$$V_{s30} = \frac{30}{t_d + \frac{30-d}{V_{s_{son}}}} \quad (3.12)$$

Burada V_{s_{son}}: d ile 30m arasındaki tabakanın hızı, t_d: d derinliğine kadar olan tabakalarda dalganın yayılma zamanıdır.

Çizelge 3.1. Eurocode 8’de V_{s30}’a göre zemin sınıflaması (CEN, 2004)

Zemin Sınıfı	Tanım	V _{s30} sınırları
A	Kaya ya da diğer kaya benzeri formasyonlar	V _{s30} >800
B	Çok sıkı kum, çakıl ya da çok sert killer	360< V _{s30} ≤800
C	Sıkı ya da orta sıkı kum, çakıl veya sert kil	180< V _{s30} ≤360
D	Gevşekten orta sıkıya kadar kohezyonsuz zemin veya yumuşaktan sert kadar kohezyonlu zemin	180< V _{s30}

Çizelge 3.2. NEHRP hükümlerinde ve Uniform Building Code’da V_{s30}’a göre zemin sınıflaması (BSSC, 1997)

Zemin Sınıfı	Tanım	V _{s30} sınırları
A	Sağlam kaya	V _{s30} >1500
B	Kaya	760< V _{s30} ≤1500
C	Çok sıkı-sert zemin ya da yumuşak kaya	360< V _{s30} ≤760
D	Sert-sıkı zemin	180< V _{s30} ≤360
E	Zayıf zemin	V _{s30} <180

Çizelge 3.3. Kayma dalga hızına göre toprak sınıflaması (TDY, 2007)

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Standart Penet. (N/30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı (m/s)
(A)	1.Masif volkanik kayalar, ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar... 2. Çok sıkı kum, çakıl... 3. Sert kil ve siltli kil...	---- >50 >32	---- 85 – 100 ----	> 1000 ---- > 400	> 1000 > 700 > 700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar... 2. Sıkı kum, çakıl... 3. Çok katı kil ve siltli kil...	---- 30–50 16–32	---- 65 – 85 ----	500-1000 ---- 200-400	700-1000 400–700 300-700
(C)	1.Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik, kayalar ve çimentolu tortul kayalar ... 2. Orta sıkı kum, çakıl... 3. Katı kil ve siltli kil...	---- 10–30 8–16	---- 35 – 65 ----	< 500 ---- 100-200	400-700 200-400 200-300
(D)	1. Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları... 2. Gevşek kum... 3. Yumuşak kil, siltli kil...	---- <10 <8	---- < 35 ----	---- ---- < 100	< 200 < 200 < 200

4. DİNAMİK TAŞIMA GÜCÜ

Bilindiği gibi doğa bir denge üzerine kuruludur. Özellikle yapılaşmalar söz konusu olduğunda bu durum göz önüne alınmalıdır. Bunun için zemin normal şartlarda ne kadar yük taşıyabiliyorsa ancak o kadar yüklenebilir fazlası dengeyi bozar ve zamanla ya da yükleme anında oluşan göçme problemlerine yol açar. Yani stabil durum düşünüldüğünde yapılaşma planlanan sahada yapı yükü ancak hafriyat edilen toprak ağırlığı kadar (düşey gerilme kadar $q = \gamma D$) olmalıdır ki yapılaşma öncesi denge korunabilsin.

$$Q_{\text{zemin}} = Q_{\text{bina}} \quad (4.1)$$

Fakat yeryüzünde sürekli depremler meydana gelmektedir. Deprem anında stabil durumdaki şartlar korunamaz ve binaya ek bir dinamik yük gelirken zeminde de bozuşmalar oluşur. Özellikle gözenekli ve gevşek zeminlerde boşluk basıncında ve dolayısıyla taşıma gücünde değişimler meydana gelir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımlarında, bina yüküyle birlikte deprem yükü de göz önüne alınarak zemin taşıma gücü değerine göre depreme dayanıklı yapı yükü belirlenmektedir.

$$Q_{\text{zemin}} = Q_{\text{bina}} + Q_{\text{deprem}} \quad (4.2)$$

Bu durumda sadece yapının deprem sırasındaki davranışı tasarıya alınmaktadır. Ancak binada sarsıntıyı sönümlendirebilecek elemanlar varken (perde, kiriş, kolon vb.) zemin sınırları ve koruyucu elemanları yoktur. Ayrıca deprem dalgaları zemin özelliklerine bağlı olarak değişkenlik göstererek zemin davranışlarını etkilemektedir.

Deprem ve ivmenin daneli zemindeki etkilerini tasarlayabilmek için basit bir örnek olarak elek analizini ele alalım. Bir eleği irili ufaklı daneli zemin numunesi ile ağzına kadar dolduralım. Sabit hızla bir süre eleme hareketi yaptığımızda bazı ince daneliler ilk başta elekten hızla dökülecek daha sonra dökülme duracaktır. Böylece silme doldurulan elek ağzında biraz boşalma olacak seviye düşecektir. İnce daneli numunenin elenmesi durduğunda elek kenarına elimizle belli periyotla darbe

uygulayalım. Bu darbelerle iri daneler arasında kalan ince daneler boşlukların düzenlenmesiyle birlikte elek tabanına inerek tekrar hızla elekten dökülecektir. Üst seviye hem boşlukların kapanması hem de ince malzemenin elekten ayrılması sonucu oldukça azalacaktır. Daneli zemin altında sonsuz tabakalar değil geçirimsiz bir seviye olduğunu varsayalım. Bunun için elek tabanını kapatarak deneyi tekrar canlandıralım. Bu sefer elekten malzeme ayrılmayacak hatta geçirimsiz tabaka sınırında (yani elek tabanında) sıkışma olacaktır. İri daneli malzeme üstte kalırken ince daneler tabandaki daneler arası boşluklara dolacaktır. Bu durumda malzeme azalmayacak fakat yine boşlukların kapanması nedeniyle eleğin üst seviyesinde azalma olacaktır. Burada ilk başta uygulanan sabit hızı deprem (taşıma gücü bağıntılarında kullanılan Vs), sonra elimizle uyguladığımız darbeyi hızın değişmesiyle oluşan ivme (bu tez çalışmasıyla taşıma gücü bağıntısında kullanılacak ivme parametresi), daneli malzemeyi yapı altındaki gevşek ve daneli zemin olarak düşünelim. Sonsuz zemin ortamda da geçirimsiz tabakayla sınırlanmış ortamda da elek ağzında olduğu gibi yapı altındaki seviyede de azalma olacaktır. Bunun sonucunda yapıda göçme, batma gibi taşıma gücü kayıpları meydana gelecektir.

Oldukça basitleştirilmiş örnekle deprem ve ivmenin daneli zemin üzerindeki etkileri ifade edilmeye çalışıldı. Bu durum sadece daneli zemin için sınırlandırılmamalıdır. Çinicioğlu (2005), deprem durumunda oluşabilecek taşıma gücü kayıplarını şöyle ifade etmektedir:

- Yapraklanmış ve gevşek kayalar deprem sırasında çatlaklarından ayrılabilir.
- Aşırı konsolide killer yüzeye yakın bölgelerde yer alıyorsa kolaylıkla plastik akma durumuna geçebilir.
- Gevşek zeminler sıvılaşma davranışı gösterebilir.
- Hassas killer kayma mukavemetini büyük ölçüde kaybeder.
- Yumuşak killer ve organik zeminler tekrarlı yükleme ile plastik akma ile göçerler.

Çinicioğlu (2005), güvenli taşıma gücü hesaplanırken güvenlik faktörünün büyük seçilmesi nedeniyle; Amerikan Yapı Standartı'na göre güvenli taşıma gücü değerinin

1/3 (%30) oranında arttırıldığını ifade etmektedir. Ayrıca Türkiye’deki Türkiye “Afet Bölgelerinde Yapılacaklar Hakkında Yönetmelik” de yer alan temel zemini olarak (A), (B) ve (C) grubuna giren zeminlerde statik yüklere göre tanımlanan güvenli taşıma gücünün deprem durumunda en fazla %25 arttırılabileceği ifadesine yer vermiştir. Fakat Day (2004) ve Çinicioğlu (2005)’ na göre yukarıda sıralanan zemin türlerinde güvenli taşıma gücünün arttırılması yerine aksine deprem yükleri altında oluşacak taşıma gücü kaybı için özel hesap yapılmalıdır.

Bu tezde kişisel kararlara göre alınan büyük güvenlik faktörü yerine zemin ve bina özelliklerine bağlı güvenlik faktörü seçilerek her aşamada zemin, deprem ve yapı bir arada düşünülerek hesaplarla mühendislik şartlarına uygun güvenli taşıma gücü ortaya koyulmaya çalışılmıştır. Bu anlamda ele alınanlar Çinicioğlu (2005) tarafından ortaya koyulan düşüncelerle örtüşmektedir.

Day (2004), depremler sırasında rapor edilen taşıma gücü yenilme nedenlerini genel olarak tek tek ya da hepsi birada olmak üzere üç grupta ifade etmiştir:

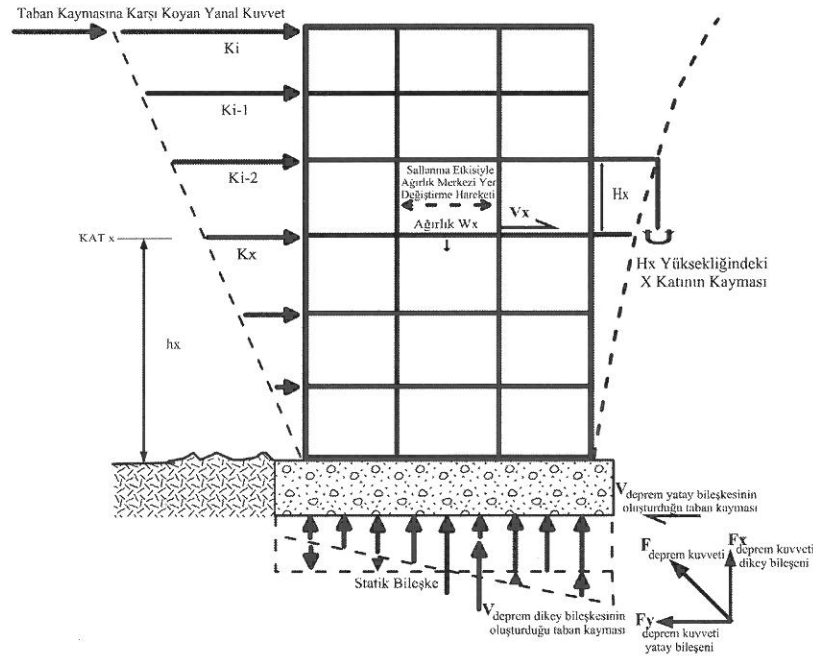
1. Zemin kayma direnci: Karşılaşılan problemlerin birçoğu kaya direncinin olduğundan fazla hesaplanmasıdır. Sıvılaşma ya da hassas killerde kayma direnci kaybı nedeniyle oluşan deprem sırasındaki kayma direnci kaybı.
2. Yapısal yük: Yapısal yükün tasarım aşamasında belirlenenden daha büyük olması. Deprem etkisiyle yapının ileri geri sallanması sonucu oluşur. Bileşke devrilme momentleri, temel elemanları ve zemin üzerinde önemli derecede devirsel düşey itkiler doğurur.
3. Saha koşullarında değişme: Örneğin, deprem sırasında yer altı su seviyesinin yükselmesi.

Deprem sırasında zeminde oluşacak deformasyon, kayma direnci kaybı yanında Day (2004) tarafından Madde 2 olarak tanımlanan ‘Yapısal yükün tasarımda belirlenenden daha büyük olması’ da mutlaka göz önünde tutulmalıdır. Deprem sırasında binanın sağa sola sallanması binadaki ağırlık merkezinin kaymasına dolayısıyla yapının eğildiği taraftaki zeminin daha fazla yüklenmesine sebep olacaktır. Statik halde hesaplanan kayma direncinde ve taşıma gücünde deprem

etkisiyle azalma olan zemine yapının fazladan yükü de eklenince göçme, batma gibi hasarların oluşması kaçınılmazdır.

Taşıma gücü kaybı sonucu oluşan önemli olaylardan biri oturmalaradır. Deprem sırasındaki sallanmanın etkisiyle oluşan oturma analizleri için Seed (1991) şöyle söylemiştir (Day, 2004):

“Deprem esnasında düşey ivmeler genellikle önemli temel oturmalarına neden olacak kadar itme oluşturmamaktadır. Diğer taraftan, yatay ivmeler bir yapının “sallanmasına” neden olabilir ve bileşke yapısal devrilme momentleri temel elemanları üzerinde önemli devrimsel düşey itkiler doğurabilir. Bu durum daha sonra sıvılaşma olsun ya da olmasın, gerçekleşen başka direnç kaybı ile gittikçe artan oturmalara neden olabilir. Bunlar genellikle cüsseli ve nispeten yüksek yapılar için potansiyel anlamda ciddi bir endişedir. Derin temeller üzerindeki yapılar da kesinlikle bu tehlikeden muaf değildir.”



Şekil 4.1. Deprem kuvvetinin (F) neden olduğu taban kesmesine (V) tepki olarak gelişen yanıl kuvvetleri (K) gösteren diyagram. Üniform statik taşıma basıncın, deprem tarafından temelin kenarı boyunca artacak şekilde değiştirildiğine dikkat ediniz (Krinitzsky vd., 1993’ den düzenlenmiştir).

Bu durumlar karşısında statik şartlarda hesaplanmış taşıma gücü değerine göre yapılan tasarımdaki Eşitlik 4.2'yi tekrar ele alalım.

$$Q_{\text{zemin}} - Q_{\text{deprem}} \text{ anında oluşacak taşıma gücü kaybı} = Q_{\text{bina}} + Q_{\text{deprem}} + Q_{\text{hesaplanandan fazla oluşan deprem etkisi}} \quad (4.3)$$

$$Q_{\text{zemin}} - Q_{\text{deprem}} \text{ anında oluşacak taşıma gücü kaybı} - Q_{\text{hesaplanandan fazla oluşan deprem etkisi}} = Q_{\text{bina}} + Q_{\text{deprem}} \quad (4.4)$$

Eşitlik 4.2' ye göre tasarlanmış bir yapının deprem sırasında oluşabilecek bu fazladan yük ya da kuvvetlerin eklenmesi sonucunda hasar görmesi kaçınılmazdır. Bu nedenle tezde bu ekstra iki yük göz önüne alınarak ve her iki yükte de deprem ivmesinin etkisi düşünülerek;

$$F_{\text{deprem kuvveti}} = Q_{\text{deprem}} \text{ anında oluşacak taşıma gücü kaybı} + Q_{\text{hesaplanandan fazla oluşan deprem etkisi}} \quad (4.5)$$

$$Q_{\text{zemin}} - F_{\text{deprem kuvveti}} = Q_{\text{bina}} + Q_{\text{deprem}} \quad (4.6)$$

ortaya koyulmuştur. $F_{\text{deprem kuvveti}}$, Newton'un II. kanunundan yola çıkılarak, m ; yapı altındaki zemin kütlesi, a ; deprem ivmesi olmak üzere Eşitlik 4.8 ile ifade edilmiştir.

$$F_{\text{deprem kuvveti}} = m \cdot a \quad (4.7)$$

Depremlerin neden olduğu yer hareketi genellikle yer yüzeyi yer değiştirmesi, hız ve ivme bakımından tanımlanır. Geoteknik mühendisleri geleneksel olarak hız veya deplasmandan çok ivmeyi kullanır. Çünkü ivme, zemin kütlesi üzerinde depremlerin neden olduğu dinamik kuvvetler ile doğrudan ilgilidir. Geoteknik analizlerde devirsel yer hareketinin miktarı, zemin yüzeyindeki maksimum yatay ivme ile a_{max} (pik yatay yer ivmesi) temsil edilir. Bir çok deprem için yatay ivme, düşey ivmeden büyüktür ve böylece pik yatay yer ivmesi, pik yer ivmesi olarak ortaya çıkar (Day, 2004).

Deprem sırasında oluşan oturmaların yatay ivme etkisindeki sallanma ile oluştuğunu da göz önünde tutacak olursak, deprem kuvvetini ifade ederken kullandığımız ivme değerini yatay ivme yani pik yer ivmesi olarak tanımlayabiliriz.

Bu tezde geliştirilen dinamik taşıma gücü bağıntısında kullanılacak ivme değeri Kanai (1961) eşitliğinden hesaplanmıştır (Eşitlik 4.9). Kanai (1961) bağıntısı, hem deprem hem de zemin parametrelerinden hesaplanan ve yapılan karşılaştırmalarda

gerçek ivme sonuçlarına en yakın değerleri veren bir ivme azalım ilişkisidir. Kanai (1961) ve diğer ivme azalım ilişkileri, avantaj ve dezavantajları “4.1. En Büyük İvme Değeri (a_{max})” başlığı altında ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

4.1. En Büyük İvme Değeri (a_{max})

Day (2004) çalışmasında, pik yer ivmesinin (a_{max}) gelecekte oluşacak bir depremin neden olacağı ivmeyi temsil ettiğini ve depremleri tahmin etmek mümkün olmadığından a_{max} değerinin önceki depremler ve fay çalışmalarından elde edildiğini ifade etmiştir. Pik yer ivmesi belirlenirken kullanılan yöntemleri şöyle sıralamıştır:

- Tarihsel deprem: Bir yaklaşım, sahanın deprem tarihçesini dikkate almaktır. Çok yeni depremler için pik yer ivmesini belirlemek amacıyla sismograf verileri kullanılabilir. Eski depremler için depremin yeri ve büyüklüğü, hasarın tarihsel tanımlarına dayandırılır.
- Kod veya diğer düzenleyici gereksinimler: Pik yer ivmesinin tasarım değerlerini açıkça belirleyen yerel yapı yönetmeliği veya diğer düzenleyici gereksinimler olabilir.
- Maksimum güvenilir deprem: Çoğu kez bilinen jeolojik ve sismolojik verilere dayanarak oluşması beklenen en büyük deprem olarak dikkate alınır. Maksimum güvenilir deprem belirli depremlerden veya yer sarsıntısı düzeylerinden belirlenir. Bu şekilde maksimum güvenilir depremi belirlemek için kullanılan analizden tipik olarak deterministik yöntem şeklinde söz edilir.
- Maksimum muhtemel deprem: Yaygın bir tanımı 50 veya 100 yıl gibi belirli bir süre içinde bir fayın üretebileceği en büyük depremdir.
- USGS (U.S. Geological Survey) deprem haritaları: Belirli sayıdaki yıllar içinde belirli bir aşılma olasılığına sahip a_{max} değerini belirlemektir. Tasarım tabanlı yer hareketi çoğu kez araziye özgü tehlike analizi ile belirlenebilir veya bir tehlike haritasından elde edilebilir.

Day (2004), pik yer ivmesinin belirlenmesinde yerel zemin ve jeolojik koşulların analize dahil edilmediğini ve USGS' nin belirli bir alan için $a_{\max}$ belirlenirken aşağıdaki faktörler için (gerekli ise) uyarlanmasını önerdiğini ifade etmiştir:

1. Belirli yönlerde güçlü sarsıntıya neden olabilen yer hareketinin yönü.
2. Pik yer ivmesini arttırabilen yumuşak zeminler. Sıvılaşmaya duyarlı bir sahada çoğu kez kalın ve yumuşak zemin çökelleri vardır. Kalın ve yumuşak bir kil çökelin durumu pik yer ivmesini arttırmak için en yaygın nedendir.
3. Yüzey dalgalarına dönüşme gibi havza etkileri ve alüvyal havzalardaki sahalar tarafından geçirilen yansıma.

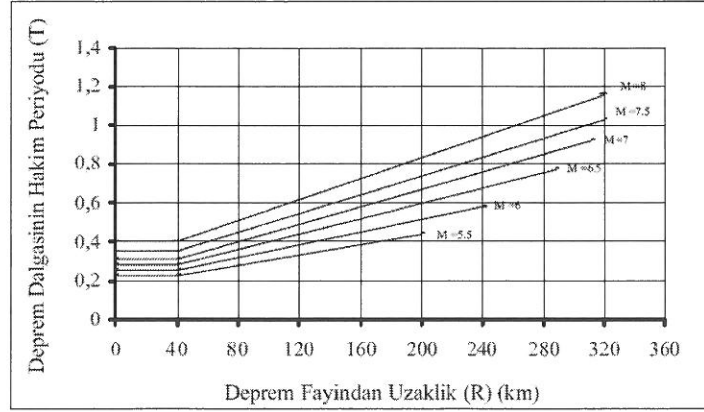
Bu tezde geliştirilen dinamik taşıma gücü hesaplanırken kullanılacak ivme değeri için Kanai (1961) eşitliğinden yararlanılması önerilmektedir (Eşitlik 4.8). Kanai (1961), diğer azalım ilişkilerine göre gerçeğe en yakın ivme sonuçlarını veren bir ivme azalım ilişkisidir. Yapılan araştırmalarda deprem ve zemine ait çok sayıda parametrenin bir arada kullanıldığı bir başka azalım ilişkisiyle karşılaşılmamıştır. Çok sayıda parametreyle denetlenmesi bu yaklaşımın avantajlarından birisidir.

$$a = \frac{10^{0,61M-1,73\log R+0,13}}{T} \left[1 + \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{1+a_0}{1-a_0}\right)\left(1-\left(\frac{T}{T_0}\right)^2\right)^2 + \left[\left(\frac{0,3}{\sqrt{T_0}}\right)\left(\frac{T}{T_0}\right)\right]^2}} \right] \quad (4.8)$$

$$a_0 = \frac{\rho_1 V_1}{\rho_2 V_2} \quad (4.9)$$

$$T_0 = 4 \left[\sum_{i=1}^n (h_i / V_{s_i}) \right] \quad (4.10)$$

T_0 ; zemin hakim titreşim periyodu, h ; tabaka kalınlığı, V_s ; h kalınlıklı tabakaya ait kayma dalga hızı, M ; deprem magnitüdü, ρ_1 ; dolgu tabakanın yoğunluğu, ρ_2 ; ana kayanın yoğunluğu, V_1 ; dolgu tabakanın sismik hızı, V_2 ; ana kayanın sismik hızı, R ; hiposantr (odak) uzaklığı (km), T ; deprem periyodudur. Buradaki T deprem periyodu için Seed vd. (1969) magnitüd, uzaklık, periyot ilişkisi önerilmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.2. Farklı magnitüdlü depremlerin odak uzaklığına göre hakim titreşim periyotları (Seed vd., 1969).

Uygulamada pratik olması ve Seed vd. (1969) grafiğinin bağıntılarına ulaşılamadığı için grafik sayısallaştırılarak periyot bağıntısı yaklaşımda bulunulmuştur (Eşitlik 4.11 ve 4.12).

$R \leq 40$ km için;

$$T = 0,0681M - 0,17 \quad (4.11)$$

$R > 40$ km için;

$$T = (0,0008M - 0,0031)R + 0,0322M - 0,0175 \quad (4.12)$$

Buradaki R; odak uzaklığı, M; deprem büyüklüğüdür (magnitüd). Kanai (1961) eşitliği kullanılırken etüt yapılacak sahanın bulunduğu bölgedeki en büyük tarihsel deprem dikkate alınacaktır. Etüt yapılacak her noktada deprem bekleyerek ivme kaydı almak mümkün değildir. Ayrıca var olan depreme ait ivmenin o saha koşullarındaki ivme değeri ile aynı olması kabulü de her zaman kesin değildir. Bu açıdan Kanai (1961)'nin maksimum tarihsel deprem verileriyle kullanılması günümüz koşullarında her iki noktada da doğru bir yaklaşım olarak tercih edilmiştir.

Çizelge 4.1'de AFAD (2012a, b, c, d; 2013a, b)'dan elde edilmiş yakın depremlere ait bilgiler kullanılarak Kanai (1961) eşitliğinden hesaplanan ivme değerleri ile deprem sırasında AFAD tarafından ölçülmüş gerçek ivme değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada 94 veride $3,7 \text{ cm/s}^2$ RMSE elde edilmiştir. Bu hata

oranı da gerçek değerlere oldukça yakın ivme sonuçları elde edilmesi anlamına gelmektedir. RMSE hata hesaplanırken Eşitlik 4.13'den yararlanılmıştır.

$$\%rms = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (a_{oj} - a_{ej})^2}{N}} \quad (4.13)$$

a_{oj} ; j inci ölçülen ivme değeri (j=1,2,...,N), a_{ej} ; j inci hesaplanan ivme değeri, N; ivme değerlerinin sayısıdır.

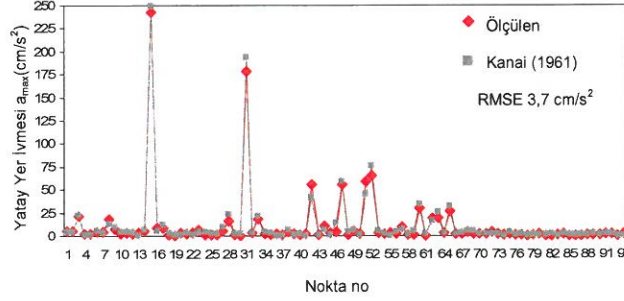
Çizelge 4.1. Beş farklı deprem kullanılarak Kanai (1961)'den hesaplanan ivmelerle AFAD tarafından belirlenmiş gerçek ivme değerlerinin karşılaştırılması

h (km) Derinlik	Vs (m/s)	ρ (gr/cm ³)	M _L	R(km) Odak Uzaklığı	Hesaplanan (gal) (Kanai,1961)	Ölçülen (gal) AFAD
03.05.2012 Kütahya-Simav Depremi (AFAD, 2012b)						
11	259	1,77	5,4	11	248,97	242,12
11	343	1,89	5,4	30	75,66	65,21
11	336	1,88	5,4	41	44,78	58,33
11	267	1,78	5,4	83	11,24	8,73
11	326	1,87	5,4	140	4,72	1,33
11	629	2,20	5,4	142	2,08	1,39
11	296	1,83	5,4	140	4,49	2,28
11	346	1,90	5,4	138	4,87	2,72
11	456	2,03	5,4	121	4,95	4,31
11	252	1,75	5,4	110	6,37	5,10
11	251	1,75	5,4	154	3,37	2,40
11	265	1,78	5,4	117	5,80	8,38
11	366	1,92	5,4	143	4,31	2,05
11	459	2,04	5,4	117	5,40	1,96
11	274	1,79	5,4	137	4,42	6,21
11	488	2,07	5,4	127	3,82	2,17
11	232	1,72	5,4	134	4,18	1,90
11	283	1,80	5,4	213	1,91	1,17
11	285	1,81	5,4	57	23,44	15,89
11	771	2,32	5,4	194	0,85	0,28
11	270	1,78	5,4	180	2,70	1,06
11	352	1,91	5,4	188	2,01	2,20
11	289	1,81	5,4	187	2,57	1,39
11	300	1,83	5,4	178	2,86	1,59
11	305	1,84	5,4	194	2,30	0,95
11	278	1,80	5,4	170	3,04	1,59
11	757	2,31	5,4	187	0,93	0,31
11	701	2,26	5,4	187	0,96	0,35
07.06.2012 Marmara Denizi Depremi (AFAD, 2012c)						
27	325	1,87	5,1	13	59,03	55,60
27	409	1,98	5,1	35	31,84	26,27
27	225	1,70	5,1	72	9,28	7,63
27	321	1,86	5,1	60	13,61	4,08
27	283	1,80	5,1	74	9,23	5,72
27	304	1,84	5,1	89	6,80	3,85
27	380	1,94	5,1	190	1,61	0,19
27	757	2,31	5,1	175	0,88	0,12

Çizelge 4.1. Beş farklı deprem kullanılarak Kanai (1961)'den hesaplanan ivmelerle AFAD tarafından belirlenmiş gerçek ivme değerlerinin karşılaştırılması (devam)

27	701	2,26	5,1	130	1,94	0,53
27	289	1,81	5,1	175	1,95	0,49
27	193	1,64	5,1	217	1,03	1,68
27	270	1,78	5,1	274	0,82	0,36
27	629	2,20	5,1	243	0,42	0,06
27	274	1,79	5,1	117	3,96	1,22
27	370	1,93	5,1	114	4,83	1,46
10.06.2012 Fethiye Depremi (AFAD, 2012d)						
34	372	1,93	6	68	34,61	29,72
34	393	1,96	6	78	25,93	19,22
34	367	1,93	6	129	7,35	9,95
34	294	1,82	6	186	3,38	2,80
34	198	1,65	6	215	3,57	4,68
34	273	1,79	6	243	1,51	3,19
34	270	1,78	6	273	1,02	2,86
34	771	2,32	6	275	0,60	1,10
34	629	2,20	6	289	0,54	1,17
34	304	1,84	6	329	0,78	2,18
34	193	1,64	6	346	0,78	2,18
08.01.2013 Ege Denizi Depremi (AFAD, 2013a)						
27	192	1,64	6,2	87	22,47	21,28
27	387	1,95	6,2	102	15,53	19,41
27	223	1,70	6,2	123	13,21	17,81
27	328	1,87	6,2	150	6,27	5,32
27	414	1,98	6,2	180	2,68	2,49
27	397	1,96	6,2	182	2,69	3,62
27	460	2,04	6,2	182	2,42	1,94
27	459	2,04	6,2	184	2,35	2,45
27	145	1,53	6,2	185	4,63	5,02
27	413	1,98	6,2	188	2,38	2,50
27	131	1,49	6,2	188	4,25	5,67
27	836	2,37	6,2	189	1,83	1,69
27	771	2,32	6,2	191	1,81	1,05
27	196	1,65	6,2	191	5,78	4,11
27	875	2,39	6,2	192	1,76	1,85
27	270	1,78	6,2	195	3,70	2,45
27	468	2,05	6,2	195	1,99	1,74
27	249	1,75	6,2	195	4,43	3,64
27	745	2,30	6,2	195	1,73	1,79
27	827	2,36	6,2	200	1,60	1,35
27	369	1,93	6,2	248	1,17	1,39
27	561	2,14	6,2	261	0,88	1,53
27	639	2,21	6,2	273	0,76	1,91
27	1602	2,78	6,2	327	0,46	1,97
27	701	2,26	6,2	348	0,41	0,81
27	300	1,83	6,2	356	0,47	2,29
27	251	1,75	6,2	360	0,51	3,18
27	300	1,83	6,2	370	0,42	0,69
27	352	1,91	6,2	377	0,37	2,69
27	305	1,84	6,2	386	0,37	2,15
27	1013	2,48	6,2	394	0,29	0,50
23.10.2011 Van (Merkez) Depremi (AFAD, 2013b)						
19	293	1,82	6,7	42	193,86	178,50
19	311	1,85	6,7	95	41,68	56,00
19	295	1,82	6,7	121	21,46	18,45
19	315	1,85	6,7	170	6,26	10,30
19	463	2,04	6,7	211	2,65	4,58
19	329	1,87	6,7	307	1,08	2,11
19	320	1,86	6,7	289	1,30	3,43
19	314	1,85	6,7	358	0,72	1,53
19	469	2,05	6,7	521	0,25	1,12

Çizelge 4.1'deki gerçek değerler ve Kanai (1961) ile elde edilenler grafiklendiğinde noktasal olarak da birbirine oldukça yakın olduğu görülebilmektedir. Genel hatanın küçük olması artı ve eksi hataların birbirini örtmesiyle oluşabilmektedir. Fakat Kanai (1961) azalım ilişkisi ile hem genel hatanın diğer ilişkilere göre oldukça düşük olduğu hem de noktasal değerlerin birbirine yakınlığı Şekil 4.3'de ifade edilmiştir.

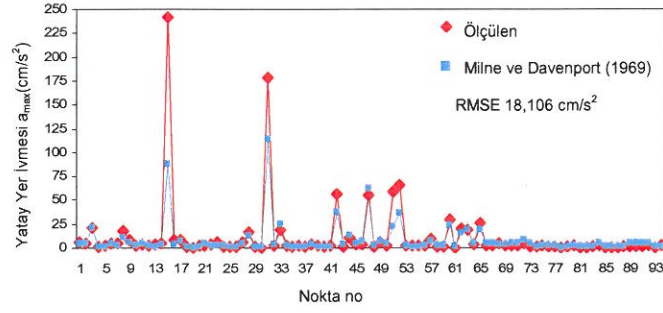


Şekil 4.3. Kanai (1961) ile gerçek ivme değerlerinin noktasal dağılımı

Kanai (1961) bağıntısının avantajlarını görebilmek için literatürde öne çıkan ulusal ve uluslar arası bazı ivme azalım ilişkileri sonuçları da gerçek ivme değerleriyle karşılaştırılmıştır. Kullanılan Milne ve Davenport (1969), Esteva (1970), Esteva ve Villaverde (1973), Esteva (1974), Denham vd. (1973), McGuire (1978) ivme azalım ilişkileri Douglas (2011) kaynağından, İnan vd. (1996), Aydan (2001) Ulusay vd. (2004)'den alınmıştır. Elde edilen ivme değerleri gal (cm/s²) cinsindendir. Magnitüd değeri belirtilmeyen ilişkilerde M_L kullanılmıştır. X; episentr (depremin olduğu yer içindeki merkezin yeryüzündeki izdüşümü) uzaklığı (km), R; hiposentr (odak) uzaklığı (km), M; magnitüd (büyüklük) olarak tanımlanmıştır.

Milne ve Davenport (1969) (Eşitlik 4.15) sonuçları ile gerçek değerler arasında hata 18,106 cm/s² elde edilmiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde hata oranına göre noktasal farkların fazla olduğu görülebilir. Özellikle ölçülen büyük ivme değerleri için Milne ve Davenport (1969) ivme azalım ilişkisiyle oldukça düşük sonuçlar elde edilmiştir.

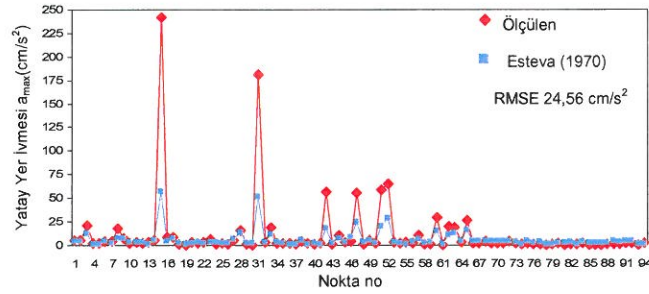
$$a = \frac{6,77e^{1,64M}}{1,1e^{1,1M} + X^2} \quad (4.14)$$



Şekil 4.4. Milne ve Davenport (1969) ile gerçek ivme değerlerinin noktasal dağılımı

Esteva (1970) ivme azalım ilişkisi uygulaması sonucu RMSE 24,56 cm/s² olarak bulunmuştur. Genellikle gerçek değerlerin yüksek olduğu noktalarda düşük, düşük olduğu noktalarda ise yüksek değerler elde edildiği Şekil 4.5’de gösterilmiştir.

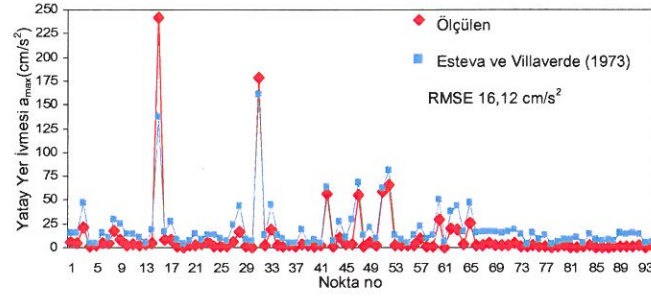
$$a = \frac{1230e^{0,8M}}{(R + 25)^2} \quad (4.15)$$



Şekil 4.5. Esteva (1970) ile gerçek ivme değerlerinin noktasal dağılımı

Esteva ve Villaverde (1973), Esteva (1974) çalışmaları birçok bağıntıda olduğu gibi sadece odak uzaklığı ve magnitüde bağlı olmasına karşın Kanai (1961) ve Ulusay vd. (2004)’den sonra en iyi hata oranını vermiştir (16,12 cm/s²). Fakat Şekil 4.6 incelendiğinde hata oranının küçük olmasının + ve – sapmaların birbirini örtmesinden kaynaklandığı gerçek değerlerle birebir uyum olmadığı görülebilir.

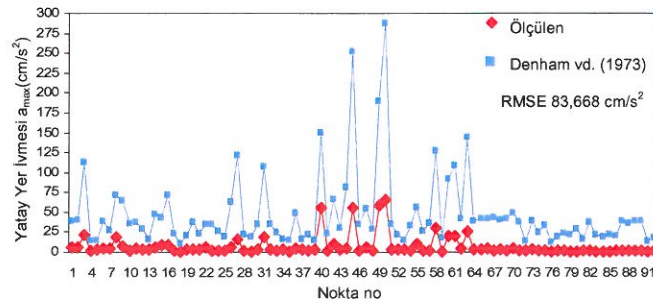
$$a = \frac{5600e^{0,8M}}{(R + 40)^2} \quad (4.16)$$



Şekil 4.6. Esteva ve Villaverde (1973) ile gerçek ivme değerlerinin noktasal dağılımı

Denham vd. (1973), diğer azalım ilişkilerine oranla en yüksek hata değerini (RMSE 83,668 cm/s²) vermiştir. Sapmaların daha net görülebilmesi ve grafik görselliğinin bozulmaması amacıyla Şekil 4.7 elde edilirken en büyük iki ivme değeri çıkartılmıştır. RMSE elde edilirken 94 veri kullanılırken grafik 92 veriyle oluşturulmuştur. Bunun nedeni ölçülen değerlere göre oldukça uç değerler hesaplanmasıdır. Ölçülen ivmenin 242,12 cm/s² olduğu noktanın ivme değeri 817,7 cm/s². Diğer noktada ise ölçülen değer 178,5 cm/s² iken hesaplanan ivme 438,08 cm/s². Bu sapmalar kabul edilebilir değerleri oldukça aşmaktadır.

$$\log a = 2,91 + 0,32M_L - 1,45 \log R \quad (4.17)$$



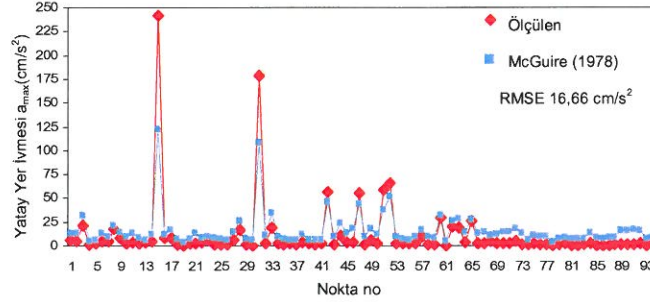
Şekil 4.7. Denham vd. (1973) ile gerçek ivme değerlerinin noktasal dağılımı

McGuire (1978) çalışmasının zemin türünü dikkate alması nedeniyle iki parametrelili azalım ilişkilerine göre daha doğru bir yaklaşım olduğu söylenebilir. Fakat zemin türünün iki grup olarak ele alınması ve başka parametrelerle denetlenmemesi bağıntının yetersiz kalmasına neden olmuştur. Hata oranı diğer çalışmalara göre küçük (16,66 cm/s²) olmasına karşın Şekil 4.8 incelendiğinde küçük ivmede gerçek değerden büyük, büyük ivmede gerçek değerden küçük sonuçlar vermiştir. Bu da genel hatanın düşük çıkmasına neden olmuştur.

$$\ln a = 3,4 + 0,89M - 1,17 \ln R - 0,2Y_s \quad (4.18)$$

$Y_s=0$ Kaya; sedimater ya da taban kaya ya da 10m kalınlığından daha az zemin.

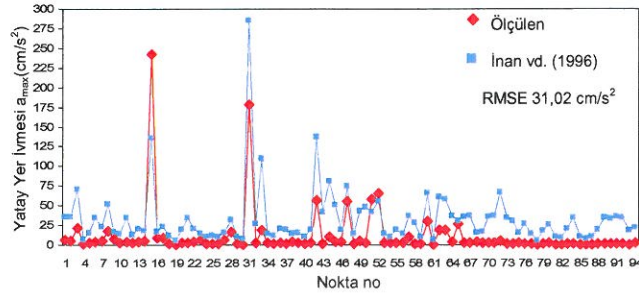
$Y_s=1$ Zemin; alüvyon ya da 10m kalınlığından daha fazla yumuşak malzeme.



Şekil 4.8. McGuire (1978) ile gerçek ivme değerlerinin noktasal dağılımı

İnan vd. (1996) çalışmasında önerilen ivme bağıntısıyla hata $31,02 \text{ cm/s}^2$ elde edilmiştir. Gerçek değerler ile hesaplanan değerlerin noktasal dağılımları da birbiriyle oldukça uyumsuzdur (Şekil 4.9).

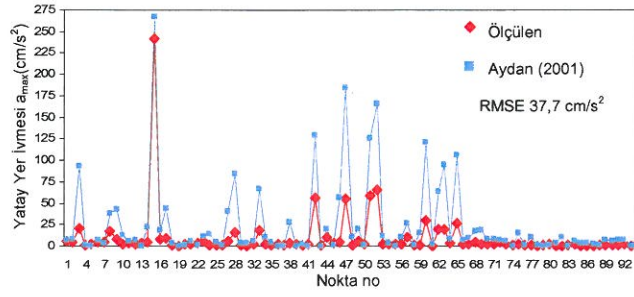
$$\log a = 0,65M - 0,9 \log X - 0,44 \quad (4.19)$$



Şekil 4.9. İnan vd. (1996) ile gerçek ivme değerlerinin noktasal dağılımı

Aydan vd. (1996; 1999), Aydan ve Kumsar (1997), Aydan (2001), Türkiye'de kuvvetli yer kayıt ağıının kurulmasından sonra elde edilen kayıtları göz önünde bulundurarak zeminin en yüksek ivme değerleri için Eşitlik 4.20' yi önermişlerdir. Hata oranı $37,7 \text{ cm/s}^2$ bulunmuştur. Gerçek ivme değerinin $178,5 \text{ cm/s}^2$ olduğu noktada $483,36 \text{ cm/s}^2$ hesaplanmıştır. Bu noktadaki fark oldukça yüksek olduğundan grafikteki diğer dağılımların daha net gözlenebilmesi için verilerden çıkartılmıştır (Şekil 4.10).

$$a = 2,8e^{-0,025R}(e^{0,9M_s} - 1) \quad (4.20)$$

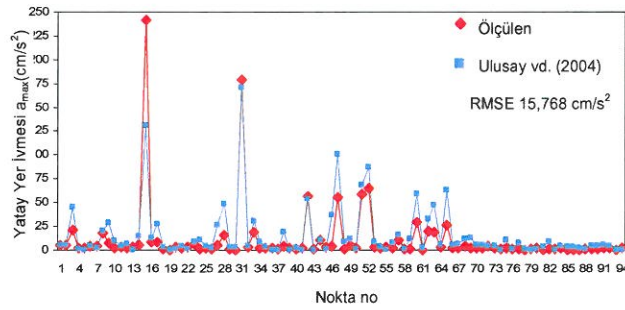


Şekil 4.10. Aydan (2001) ile gerçek ivme değerlerinin noktasal dağılımı

Ulusay vd. (2004), geçmiş deprem verilerinden yararlanarak kaya, zemin ve yumuşak zemin sınıflandırması ile zemin etkisini üç sınıfta ele alarak pik ivme azalım ilişkisi geliştirmiştir (Eşitlik 4.21). Kayalar için; $S_A=0$, $S_B=0$, zeminler için; $S_A=1$, $S_B=0$, yumuşak zeminler için; $S_A=0$, $S_B=1$ alınması önerilmiştir.

$$PGA = 2,18e^{0,0218(33,3M_w - X + 7,8427S_A + 18,9282S_B)} \quad (4.21)$$

Ulusay vd. (2004), zemini üç grupta dikkate almıştır fakat bu zemin türlerinin ayırt edilebilmesi amacıyla herhangi bir kriter belirtmemiştir. Bu tezde S_A ve S_B katsayıları uygulanırken V_s kayma dalga hızına göre sınıflandırma yapılmıştır (Çizelge 3.1, 3.2, 3.3). Buna bağlı olarak $V_s \leq 350$ m/s yumuşak zemin, $350 \text{ m/s} < V_s \leq 750$ m/s orta ve sıkı zemin, $750 \text{ m/s} < V_s$ kaya kabulü yapılmıştır.



Şekil 4.11. Ulusay vd. (2004) ile gerçek ivme değerlerinin noktasal dağılımı

Ulusay vd. (2004) azalım ilişkisi ivme sonuçları AFAD (2012a, b, c, d; 2013a, b) tarafından belirlenen gerçek değerlerle karşılaştırıldığında $15,768 \text{ cm/s}^2$ hata elde

edilmiştir. Genel hata düşük olmasına karşın Şekil 4.11'deki gerçek değerlerle hesaplanan değerlerin birbiriyle oldukça uyumsuz dağıldıkları görülebilmektedir.

Gerçek değerlerle hesaplanan değerlerin noktasal uyumu, genel hata oranları, kullanılan parametreler göz önüne alındığında en güvenilir sonuçları Kanai (1961) çalışmasının verdiği görülebilmektedir. Sadece var olan deprem kayıtlarından yola çıkılarak ve sadece uzaklık ve büyüklük parametreleriyle ivme azalım ilişkisi ortaya koymak yetersiz kalmaktadır. Çünkü var olan depremler ile yeni meydana gelecek depremlerin özellikleri, oluştukları ve geçtikleri zemin özellikleri aynı değildir. Bunlar göz önüne alındığında Kanai (1961) çalışmasının, hem deprem hem de zemin özelliklerini birden fazla parametre ile denetleyerek uluslar arası bölgelerde de gerçek değerlerle uyumlu sonuçlar veren bir ivme azalım ilişkisi olduğu söylenebilir.

Buradaki ivme azalım ilişkilerinde kullanılan magnitüd türünün farklı olduğu belirlenmiştir. Uygulamalar ve karşılaştırmalar esnasında AFAD (2012a, b, c, d; 2013a, b) verileri kullanılmıştır. Bu verilerdeki magnitüd türü M_L yani lokal magnitüd olduğundan magnitüd türleri arasında dönüşüm ilişkileri kullanılmıştır. Magnitüd dönüşümleri için Yenier vd. (2008) tarafından Türkiye verilerinden yola çıkılarak ortaya koyulan magnitüd ilişkileri uygulanmıştır.

$$M_w = 1.104M_b - 0.194 \quad (3.5 \leq M_b \leq 6.3) \quad (4.22)$$

$$M_w = 0.571M_s + 2.484 \quad (3.0 \leq M_s < 5.5) \quad (4.23)$$

$$M_w = 0.817M_s + 1.176 \quad (5.5 \leq M_s \leq 7.7) \quad (4.24)$$

$$M_w = 0.953M_L + 0.422 \quad (3.9 \leq M_L \leq 6.8) \quad (4.25)$$

$$M_w = 0.764M_d + 1.379 \quad (3.7 \leq M_d \leq 6.0) \quad (4.26)$$

Buradaki M_s ; yüzey dalgası magnitüdü, M_b ; cisim dalgası magnitüdü, M_L ; lokal magnitüdü, M_d ; genellikle küçük ve yerel depremler için deprem süresi kullanılarak belirlenen magtitüd türüdür.

İvme azalım ilişkilerinde bazı eşitliklerde episantr (merkez üssü) uzaklığı bazılarında ise hiposantr (odak/merkez) uzaklığı kullanıldığı ifade edilmiştir. Bilindiği gibi

episantr uzaklığı kadar odak derinliği de ivme değerini oldukça etkilemektedir. Bu nedenle episantr mesafesi (X) yerine hiposantr uzaklığının (R) kullanılması daha doğru bir yaklaşım olacağı düşünülmektedir. Ayrıca ivme bağıntıları ortaya koyulurken magnitüd türü seçimi belirli şartlara bağlanmalı ya da mümkünse özellikle büyük depremler için moment magnitüdü (M_w) kullanılmalıdır.

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (2013)'ne göre deprem büyüklüğünü belirlerken, tüm ölçek için tek bir yöntem kullanılamaz. Çünkü belirli bir yöntem belirli bir büyüklük aralığında ve belirli uzaklıktaki depremler için geçerlidir. Örneğin; M_w ; en güvenilir büyüklük olmasına rağmen belirlenmesi oldukça zordur ve $M > 4$ için, M_L ; $M < 6$ ve uzaklığı 700 km'den az depremler için, M_d ; $M < 5$ ve uzaklığı 300 km'den az depremler için, M_s ; M_L ve M_d yöntemlerinin yetersiz kaldığı $M > 6$ ve özellikle uzak depremler için belirlenebilmektedir.

4.2. Kayma Dalgası Hızına ve İvmeye Bağlı Dinamik Taşıma Gücü Bağıntısının Geliştirilmesi

Taşıma gücü, temelin taban seviyesine kadar zeminden alınan toprağın ağırlığına yani D derinliğindeki birimin düşey gerilmesine eşittir.

$$q = \gamma D \quad (4.27)$$

Bilindiği gibi depremler büyük deformasyonlar oluşturan dinamik etkilerdir. Bu deformasyonlardan biri zeminde oluşacak taşıma gücü kaybıdır. Depremin zeminde oluşturacağı taşıma gücü kaybının, deprem kuvvetine eşit kabul ederek Newton'un II. Kanunu olan Eşitlik 4.29'dan yararlanılmıştır.

$$F = ma \quad (4.28)$$

Newton'a göre, değişken hızla hareket eden bir kütle ivmeli bir kuvvet oluşturur ve bu kuvvet ivme ile kütlenin çarpımına eşittir. Eşitlikten de görüleceği gibi eşit kabul edilen iki kuvvetten kütlesi küçük olanın ivmesi büyük, kütlesi büyük olanın ise ivmesi küçüktür. F biriminin deprem kuvveti olarak zeminde ilerlediği düşünülürse

eşit büyüklükteki iki kuvvetin yoğunluğu küçük olan gevşek zeminde oluşturacağı ivme büyük, yoğunluğu büyük olan sağlam zeminde oluşturacağı ivme ise küçüktür.

Kütle, maddenin değişmez özelliği olup hacim ile yoğunluğun çarpımına eşittir. Hacim üç boyutlu bir kavramdır fakat taşıma gücü yaklaşımında tek boyutlu düşey gerilme göz önüne alınmaktadır (Eşitlik 4.27). Bu nedenle deprem etkisiyle taşıma gücü değerinin, düşey gerilmenin ivmeyle çarpımı kadar azalacağı kabul edilmiştir.

Buna bağlı olarak Eşitlik 4.28'deki m kütle yerine düşey gerilme eşitliği olan birim hacim ağırlık ile derinlik çarpımını kullanırsak;

$$F = \gamma D \frac{a}{g} \quad (4.29)$$

Basit olarak tanımlanan taşıma gücü denkleminde (Eşitlik 4.27) deprem kuvveti ve depremde oluşacak taşıma gücü kaybı olarak kabul edilen 4.29 eşitliği çıkartılarak taşıma gücü;

$$q = \gamma D - \gamma D \frac{a}{g} \quad (4.30)$$

$$q = \gamma D \left(1 - \frac{a}{g}\right) \quad (4.31)$$

şeklinde elde edilir. Güvenli taşıma gücü ise taşıma gücü eşitliğinin birimsiz güvenlik faktörüne bölünmesi ile elde edilir:

$$q_a = \frac{\gamma D \left(1 - \frac{a}{g}\right)}{GF} \quad (4.32)$$

D derinliği, Keçeli (2000; 2009; 2010; 2012) çalışmalarından faydalanılarak, Vs kayma dalgası hızıyla T₀ saniyede alınan yol olarak kabul edildiğinde;

$$D = h = V_s T_0 \quad (4.33)$$

$$q_a = \frac{\gamma V_s T_0 (1 - \frac{a}{g})}{GF} \quad (4.34)$$

elde edilir. Yine Keçeli (2000; 2009; 2010; 2012) çalışmalarında T_0 'ı bir değişken olmaktan çıkarmak amacıyla yapılan kalibrasyon işlemleri benzer şekilde güvenli taşıma gücü eşitliğine (Eşitlik 4.34) uygulanır. Bu durumda en sağlam kaya parametre değerleri referans alınarak $q_a=10000 \text{ kN/m}^2$, $V_s=4000\text{m/s}$, $\gamma=35 \text{ kN/m}^3$, güvenlik faktörü $GF=1,5$, sağlam kayada elde edilebilecek ivme değeri $a/g=0,1$ alınarak birim düzeltmesiyle birlikte T_0 değeri 0,1s bulunur.

$$T_0 = \frac{q_a GF}{\gamma V_s (1 - a/g)} \quad (4.35)$$

$$T_0 = \frac{10000.1,5}{35.4000.(1-0,1)} \cong 0,1s \quad (4.36)$$

Kayadaki maximum ivme değerinin 0,1g alınması araştırmalar sonucunda elde edilen genel sonuçlara dayanmaktadır. Örneğin; Thonen ve Windes 1942 çalışmalarında ivme değerine bağlı bir sınıflama yapmışlardır (Kuzu, 2013):

- < 0,1 g güvenli bölge
- 0,1 – 1,0 g riskli bölge
- > 1,0 g hasar bölgesi

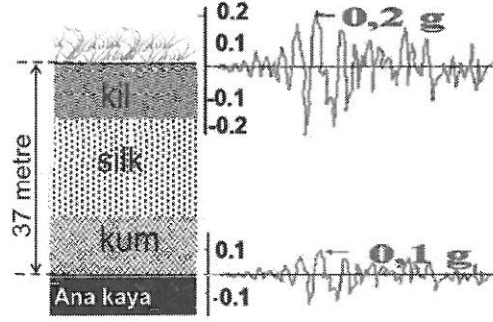
AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından Türkiye'deki deprem bölgeleri, ivme değerlerine göre derecelendirilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. Türkiye deprem bölgelerinin ivme değerlerine göre derecelendirilmesi (AFAD, 2012a)

1. Derece deprem bölgesi	beklenen ivme değeri 0.40 g 'den büyük
2. Derece deprem bölgesi	beklenen ivme değeri 0.40 g ile 0.30 g arasında
3. Derece deprem bölgesi	beklenen ivme değeri 0.30 g ile 0.20 g arasında
4. Derece deprem bölgesi	beklenen ivme değeri 0.20 g ile 0.10 g arasında
5. Derece deprem bölgesi	beklenen ivme değeri 0.10 g 'den az

Özçep (2013), I maks.=VIII şiddetinde kaya zeminde olası ivmenin değerinin $a=0.1g$, kötü zemin koşullarında maksimum yer ivmesi büyüklüğünün $a=0.6-0.7g$ gibi çok yüksek değerlere ulaşabildiğini ifade etmektedir.

Kaplan (2009) tarafından zeminin bina projelendirilmesindeki önemini vurgulamak amacıyla yapılan çalışma sonucu, ana kayada deprem ivmesinin yerçekimi ivmesinin 0,1 katı, 37 metre yukarıda üç farklı tabaka üzerinde aynı deprem ivmesinin iki kat arttığı deneysel olarak elde edildiği belirtilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Deprem ivmesinin ana kaya ve yüzeyde değişimi (Kaplan, 2009)

Ayrıca genel bir yargıya göre 0,1 g sıvılaşma için eşik değer kabul edilerek 0.1 g' den daha küçük bir maksimum yatay yer ivmesinin söz konusu olduğu yerler için, sıvılaşma analizine gerek olmadığı ifade edilmektedir (Yağcı, 2013).

$T_0=0,1$ s değeri Eşitlik 4.34'de yerine koyulduğunda ve birim hacim ağırlık γ (kN/m^3) yerine $\gamma = \rho(kg/m^3)g(10m/s^2)$ eşitliği kullanıldığında;

$$q_a = \frac{\rho(kg/m^3)g(10m/s^2)V_s(m/s)0,1(s)(1-\frac{a}{g})}{GF} \text{ kPa} \quad (4.37)$$

$$q_a = \frac{\rho V_s(1-\frac{a}{g})}{100GF} \text{ kg/cm}^2 \quad (4.38)$$

güvenli taşıma gücü eşitliği elde edilmiş olacaktır.

Eşitlikteki ivme değerinin geçmişteki en büyük depreme ve etüt yapılacak sahaya ait veriler kullanılarak Kanai (1961) metodundan hesaplanması önerilmektedir. Yapılan araştırma ve karşılaştırmalarda gerçek değerlere en yakın ivme değerleri elde edilmesi nedeniyle bu tezde Kanai (1961) ivme azalım ilişkisi (Eşitlik 4.8) uygulanmıştır. Dinamik taşıma gücünde ivme değeri hesaplanırken kullanılan deprem periyodu Seed vd. (1969) grafiğinden belirlenmektedir (Şekil 4.2). Fakat yakın depremlerin periyodu ivmeyi aşırı derecede arttırmaktadır. Taşıma gücü değerinde aşırı azaltma yapılması istenilmediğinden 40km sınır kabulü yapılmıştır. Yani tarihsel deprem 40km'den yakın ise uzaklık 40km (Eşitlik 4.11), 40km'den uzak ise gerçek uzaklık değeri (Eşitlik 4.12) kullanılmalıdır.

Bu tez kapsamında ortaya koyulan temel şekil ebatlarına bağlı düzeltme katsayısı ile birlikte taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü, eşitlik 4.39 ve 4.40'de ifade edilmiştir.

$$q_f = \frac{\rho V_s (1 - \frac{a}{g})}{100} K \text{ kg/cm}^2 \quad (4.39)$$

$$q_a = \frac{\rho V_s (1 - \frac{a}{g})}{100 GF} K \text{ kg/cm}^2 \quad (4.40)$$

Eşitliklerdeki q_f ; taşıma gücü, q_a ; güvenli taşıma gücü, a ; hesaplanan ivme değeri (gal), g ; yer çekimi ivmesi (≈ 1000 gal), ρ ; yoğunluk (gr/cm^3), V_s ; kayma dalga hızı (m/s), GF ; güvenlik faktörü, K ; temel ebatlarına bağlı düzeltme katsayısı.

4.3. Temel Boyutlarına Bağlı Düzeltme Katsayısı

Temel, üst yapı yüklerini zemine aktaran yapı elemanıdır. Dolayısıyla taşıma gücü konusunda hem yapı hem de zemin açısından önemlidir. Yapı yükünün zemine güvenle aktarılması zeminin mukavemetine, güvenli taşıma gücü değerine, zemin tabakalarının özelliklerine, yer altı suyu gibi faktörlere bağlıdır. Gürer (2007)'e göre iyi bir temel tasarımında yerine getirilmesi gereken hususlar:

- Temel tabanı sağlam zemine oturmalıdır.
- Temel tabanı don seviyesi altında olmalıdır.

- Temeldeki düşey çökmeler oturmalar 1.00-3.00 cm' den fazla olmamalıdır.
- Temele yatay ya da eğik yüklerin gelmesi önlenmeli ve temel tabanına gelen yükler üniform yayılmalıdır.
- Zemin tabakalarının birbirleri üzerinden kaymasına yol açan eğik tabakalaşma ve zeminde homojen olmayan yapı üzerine bina inşa edilmemelidir.

Temeller yüzey temeller ve derin temeller olmak üzere iki ana grupta incelenir:

1. YÜZEY TEMELLER

1. Tekil Temel (Münferit)
2. Sürekli Temel (Şerid yada mütemadi)
3. Radye Temel (Radye Jeneral)
 1. Düz radye temel
 2. Kirişli radye temel
 - a. Alttan kirişli radye temel
 - b. Üstten kirişli radye temel
 3. Mantar şeklinde radye temel
 4. Ters Kemer Şeklinde radye temel
 5. Rijit temel

2. DERİN TEMELLER

1. Ayak Temel
2. Kazık Temel
3. Kesonlar

Bilindiği gibi temellerin özellikleri yapının oturacağı alan, derinlik ve şekil karakterlerini belirler. Dolayısıyla temel ebatları ve zemin taşıma gücü doğrudan ilintilidir. Geçmişten günümüze yapılan çalışmalar da zemin - yapı ilişkisi için temel tasarımının önemine işaret etmektedir.

Gündüz ve Arman (2005) tarafından yapılan 17 Ağustos 1999 depremi sonrası Adapazarı ve civarındaki incelemelerde yapı hasarlarının başlıca iki nedeni:

- Yapının taşıyıcı sisteminden kaynaklanan sorunlar,
- Yapının zemininden kaynaklanan sorunlar.

Ayrıca Gündüz ve Arman (2005) yapının taşıyıcı sisteminden kaynaklanan sorunların; malzeme yetersizliği, taşıyıcı sistem düzensizlikleri, imalat hataları, imar düzensizlikleri gibi nedenlerden, yapının zemininden kaynaklanan sorunlarının ise genelde temel tasarımından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Geliştirilen hemen hemen her yöntemde temel ebatları etkileri taşıma gücü hesabında kullanılmıştır. Literatür çalışmalarındaki temel ebatları ve taşıma gücü üzerindeki etkileri incelenerek geliştirilen depreme dayanıklı yapı tasarımı için dinamik taşıma gücü bağıntısında temel özellikleri kullanılmıştır.

Terzaghi (1943) taşıma gücü ve temel ebatları (Çizelge 4.3) şöyledir:

$$qf = K_1 c N_c + \gamma_1 D_f N_q + K_2 N_\gamma B \gamma_2 \quad (4.41)$$

K_1 ve K_2 : temel tabanı şekline bağlı katsayılar (Çizelge 4.3), c :kohezyon, ϕ : içsel sürtünme açısı, D_f : derinlik, γ_1 : temel tabanı üstündeki birim hacim ağırlık, γ_2 : temel tabanı altındaki birim hacim ağırlık, B : temel genişliği, N_γ , N_c , N_q : temel tabanı altındaki içsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayıları.

Çizelge 4.3. Terzaghi (1943) formülünün K_1 ve K_2 katsayıları

Temel Tabanı Şekli	Şerit $L=\infty$	Dikdörtgen $B < L$	Kare $B=L$	Daire $L=B=D$
K_1	1	$1 + 0,2(B/L)$	1,3	1,3
K_2	0,5	$0,5 - 0,1(B/L)$	0,4	0,3

Terzaghi (1943)'nin incelenmesiyle şu sonuçlar çıkarılabilir (Önalp, 1983):

1. Son taşıma gücü gömme derinliği ile artar.
2. Kohezyonlu zeminin ($\phi=0$) yüzeyinde oturan bir temelin taşıma gücü Prandtl yönteminde de olduğu gibi temel genişliğine bağlı olarak artmaz.
3. Kohezyonsuz zeminde ($c=0$) oturan temelin son taşıma gücü doğrudan genişliğe bağlıdır ancak gömme derinliğinin etkisi genişlikten daha büyüktür.

Genel taşıma gücü ile şekil ve derinlik faktörlerinin deneysel ya da ampirik olarak araştırmacılar tarafından önerildiği şekli Das (1999) tarafından özetlenmiştir. λ_{cs} , λ_{qs} , $\lambda_{\gamma s}$: şekil faktörleri, λ_{cd} , λ_{qd} , $\lambda_{\gamma d}$: derinlik faktörleri (Çizelge 4.4).

$$q_f = cN_c \lambda_{cs} \lambda_{cd} + \gamma D_f N_q \lambda_{qs} \lambda_{qd} + \frac{1}{2} N_{\gamma} B \gamma \lambda_{\gamma s} \lambda_{\gamma d} \quad (4.42)$$

Çizelge 4.4. Şekil ve derinlik faktörleri özeti (Das, 1999)

Faktör	İlişki	Referans
Şekle	$\phi=0$ için: $\lambda_{cs} = 1 + 0,2(B/L)$, $\lambda_{qs} = 1$, $\lambda_{\gamma s} = 1$ $\phi \geq 10^\circ$ için: $\lambda_{cs} = 1 + 0,2(B/L) \tan^2(45 + \phi/2)$ $\lambda_{qs} = \lambda_{\gamma s} = 1 + 0,1(B/L) \tan^2(45 + \phi/2)$	Meyerhof (1963)
	$\lambda_{cs} = 1 + (N_q / N_c)(B/L)$ $\lambda_{qs} = 1 + (B/L) \tan \phi$, $\lambda_{\gamma s} = 1 - 0,4(B/L)$	DeBeer (1970)
Derinlik	$\phi=0$ için: $\lambda_{cd} = 1 + 0,2(D_f/B)$, $\lambda_{qd} = 1$, $\lambda_{\gamma d} = 1$ $\phi \geq 10^\circ$ için: $\lambda_{cd} = 1 + 0,2(D_f/B) \tan(45 + \phi/2)$ $\lambda_{qd} = \lambda_{\gamma d} = 1 + 0,1(D_f/B) \tan(45 + \phi/2)$	Meyerhof (1963)
	$D_f/B \leq 1$ için: $\lambda_{cd} = 1 + 0,4(D_f/B)$ $\lambda_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 (D_f/B)$, $\lambda_{\gamma d} = 1$ $D_f/B > 1$ için: $\lambda_{cd} = 1 + 0,4 \tan^{-1}(D_f/B)$ $\lambda_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1}(D_f/B)$, $\lambda_{\gamma d} = 1$ [Not: $\tan^{-1}(D_f/B)$ radyan]	Hansen (1970)

Skempton (1951), killer için aşağıdaki düzeltme faktörlerini önermiştir:

- $D=0$ için; şerit temel uygulamasında; $N_{c0}=5$ ve kare ya da silindir temel uygulamasında $N_{c0}=6$.
- $D_f/B < 2,5$ ise; $N_{cd} = (1 + 0,2D/B) \cdot N_{c0}$
- $D_f/B \geq 2,5$ ise; $N_{cd} = 1,5N_{c0}$
- Herhangi bir derinlikteki dikdörtgen temelde;
(dikdörtgen) $N_c = [1 + 0,2(B/L)]N_c(\text{şerit})$

- Buradan dikdörtgen temellerde $D_f/B < 2,5$ ve $B < L$ için taşıma gücü;

$$q_a = 5[1 + 0,2(D_f/B)][1 + 0,2(B/L)]c \quad (4.43)$$

- Buradan dikdörtgen temellerde $D_f/B \geq 2,5$ için taşıma gücü;

$$q_a = 7,5[1 + 0,2(B/L)]c \quad (4.44)$$

Yıldırım (2002), Bowles (1988) çalışmasında δ (mm) oturmaya izin verilen temel için net taşıma gücünü q_{net} Eşitlik 4.45 ve Eşitlik 4.46 ile ifade ettiğini belirtir.

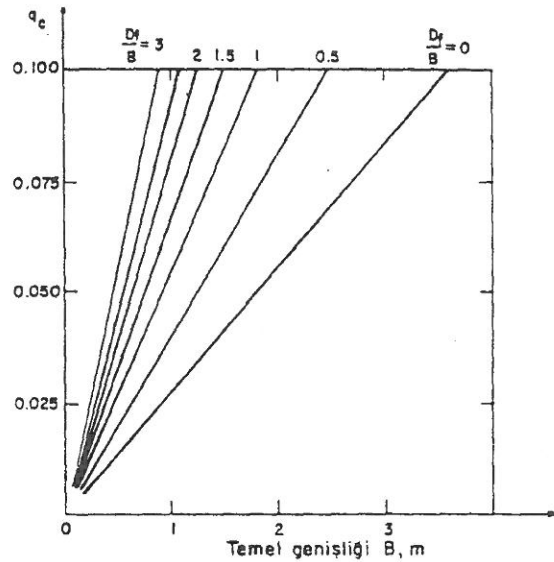
$$q_{net} = 19,16N \left(\frac{\delta}{25,4} \right) K_d \quad B \leq 1,22 \text{ m} \quad (4.45)$$

$$q_{net} = 11,98N \left(\frac{3,28B+1}{3,28B} \right)^2 \left(\frac{\delta}{25,4} \right) K_d \quad B > 1,22 \text{ m} \quad (4.46)$$

Buradaki N değeri temel düzeyinden 0,5B kadar yukarıdan, (2-3)B kadar derinlikteki bir bölgede ortalama SPT darbe sayısıdır. Yer altı suyu etkisi SPT deneyine yansıtacağından ayrıca yer altı suyu düzeltmesi yapılmaması gerektiği ifade edilir.

Sanglerat (1972), statik penetrasyon test uç direncini (q_c kN/ M²) kullanarak temel ebatlarına bağlı taşıma gücünü Eşitlik 4.47 ile ifade etmektedir. B = Temel genişliği (m), D_f = Temel derinliği (m).

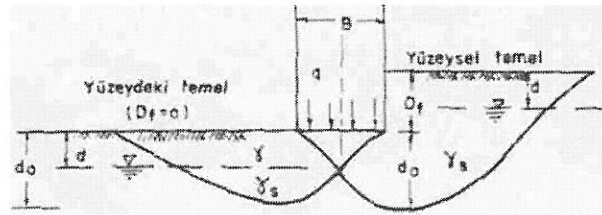
$$q_a = \frac{B}{40} \left[1 + \frac{D_f}{B} \right] \cdot q_c \quad (4.47)$$



Şekil 4.13. Statik penetrasyon deneyinde müsaade edilebilir taşıma basıncı (Sanglerat, 1972)

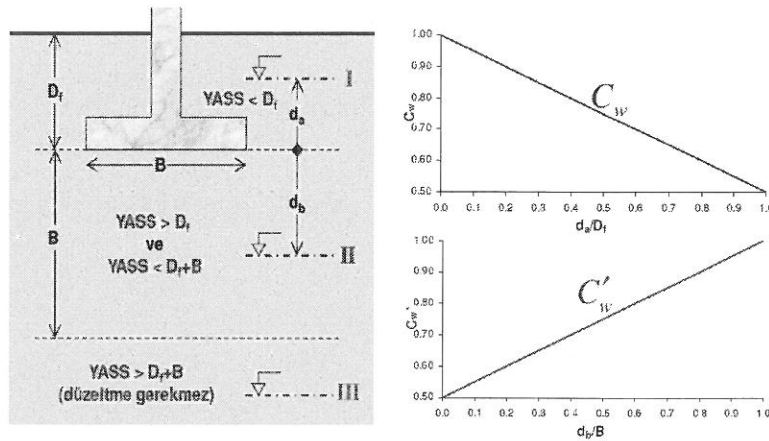
Taşıma gücü belirlenirken özellikle statik yöntemlerde ortamdaki yer altı suyu seviyesine bağlı olarak düzeltmeler yapılır.

Yer altı suyu tablasının pozisyonu ve duraylılığı taşıma gücü analizlerinde önemle dikkate alınması gereken bir faktördür. Eğer su seviyesi yüzeye kadar ulaşıyorsa, zeminin taşıma gücü yaklaşık olarak yarı değerine düşecektir. Çünkü zeminin yüzer birim hacim ağırlığı (γ_s), birim ağırlığın (γ) yaklaşık yarısına eşit olacaktır. Eğer kalıcı su tablası; temel tabanında temel genişliğinden büyük bir derinlikte ise, düşey basıncın; hesaplanmasında zeminin toplam birim ağırlığı kullanılacaktır. Eğer yer altı suyu seviyesi temel tabanına yakın veya temel tabanının üstünde ise yüzer birim hacim ağırlık kullanılmalıdır. Yeraltı suyu seviyesinin duraylı olmaması durumunda, dalgalanma sırasında suyun ulaştığı en yüksek seviye, yer altı suyu seviyesi olarak dikkate alınıp hesaplarda kullanılacaktır (Şekil 4.14) (Tosun, 1989).



Şekil 4.14 Yüzeysel temeller ve yer altı suyu (Canadian Manual, 1975)

Yer altı suyu etkisi dikkate alınarak taşıma gücü bağıntıları yeniden formüle edilmiştir. Çözümler yer altı suyu seviyesinin yatay, temel tabanının pürüzlü olduğu ve kohezyonlu zeminlerde yer altı suyunun etkili olmadığı varsayımlarına göre yapılmıştır (Tosun, 1989).



Şekil 4.15. Yer altı suyu durumu ve düzeltme katsayıları (https://dosya.sakarya.edu.tr/Dokumanlar/2013/304/904766628_inm304_03_ssebao_uyumluluk_modu.pdf)

$$q_f = K_1 c N_c + C_w \gamma_1 D_f N_q + K_2 C_w' \gamma_2 B N_\gamma \quad (4.48)$$

Sismik hızlardan belirlenen taşıma gücü bağıntılarında kullanılan Vs kayma dalga hızının özelliklerine bağlı olarak ayrıca yer altı suyu düzeltmesine gerek duyulmadan doğrudan taşıma gücü hesapları yapılabilmektedir.

Sismik hızlardan yapılan taşıma gücü konusunda yapılan çalışmalarda da temel ebatlarının etkileri farklı şekillerde ele alınmıştır.

Keçeli (2000; 2009; 2010; 2012), Meyerhof (1974) SPT müsaade edilebilir taşıma kapasitesi q_{aN} deneysel tanımına (Eşitlik 4.49 ve Eşitlik 4.50) uygun olarak bağıntılardaki 12N ve 8N yerine q_{as} koyarak temel ebatlarına bağlı taşıma gücü eşitliklerini elde ettiğini belirtmiştir.

$$q_{aN} = 8N \left(\frac{B + 0.305}{B} \right)^2 K_d \quad B > 1,22 \text{ m} \quad (4.49)$$

$$q_{aN} = 12N K_d \quad B \leq 1,22 \text{ m} \quad (4.50)$$

Buradaki $K_d = 1 + 0,33(D_f / B) \leq 1,33$, B temel genişliği ve D_f temel derinliğidir. q_a taşıma gücü, q_{as} temel ebatlarına bağlı müsaade edilebilir taşıma gücü olmak üzere Keçeli (2012) tarafından Eşitlik 4.51 ve Eşitlik 4.52 ile ifade edilmektedir.

$$q_a = q_{as} \left(\frac{B + 0.305}{B} \right)^2 K_d \quad B > 1,22 \text{ m} \quad (4.51)$$

$$q_a = q_{as} K_d \quad B \leq 1,22 \text{ m} \quad (4.52)$$

Keçeli (2012), $D_f=0$ ve $B \leq 1,22$ m koşulu için $q_{as} = (q_a / K) = 0.833 q_a$ elde edildiğini ifade ederek sonuçların literatürle uyumlu olduğunu belirtmiştir.

Kurtuluş (2000), Krinitzsky vd. (1993) eşitliğini kullanarak temel ebatlarını taşıma gücü hesabına eklemiştir (Çizelge 2.1).

$$P = 1 + 0,33 D / B \quad (4.53)$$

Tezcan ve Özdemir (2012), taşıma gücüne temel şekil faktörü etkisini β çarpanını olarak tanımlamıştır (Çizelge 2.1).

$$\beta=1,00 \quad (0 \leq B \leq 1,20 \text{ m}) \quad (4.54)$$

$$\beta=1,13-0,11B \quad (1,20 \leq B \leq 3,00 \text{ m}) \quad (4.55)$$

$$\beta=0,83-0,01B \quad (3,00 \leq B \leq 12,00 \text{ m}) \quad (4.56)$$

Bu tezde, Meyerhof (1963), Hansen (1970), Skempton (1951) bağıntılarından yola çıkılarak temel ebatlarının taşıma gücü üzerindeki etkilerini geliştirilen dinamik taşıma gücü bağıntısına uygulayabilmek amacıyla aşağıdaki eşitlikler önerilmiştir:

$$q_a = qK \quad (4.57)$$

q_a ; temel şekil faktörüne bağlı taşıma gücü, q ; taşıma gücü, K ; temel şekil faktörü.

Sığ temeller için $D_f/B < 2,5$ için;

$$K = [1 + 0,05(D_f / B)][1 + 0,05(B / L)] \quad (4.58)$$

Derin temeller için $D_f/B \geq 2,5$ için;

$$K = 1,125[1 + 0,05(B / L)] \quad (4.59)$$

Bu tezde taşıma gücü hesabında kullanılan kayma dalga hızı V_s , kohezyon ve içsel sürtünme açısı parametrelerine göre daha geniş bir aralıkta değiştiğinden K temel şekil faktöründe büyük katsayılar kullanılması taşıma gücü değerlerini çok fazla etkileyecektir. Bu nedenle ve sadece killer için önerilen Skempton (1951) bağıntısının (Eşitlik 4.43 ve 4.44) daha genel bir bağıntıya dönüştürülebilmesi amacıyla katsayılar azaltılmıştır. Temel şekil faktörlerinin taşıma gücüne uygulanmasıyla literatürde ifade edildiği gibi temel genişliğinin, temel derinliğinin ya da ikisinin birden artması taşıma gücünün artmasına neden olacaktır. Böylece temel tasarımı yapılırken taşıma gücü değişimi de göz önünde tutulmuş olacaktır.

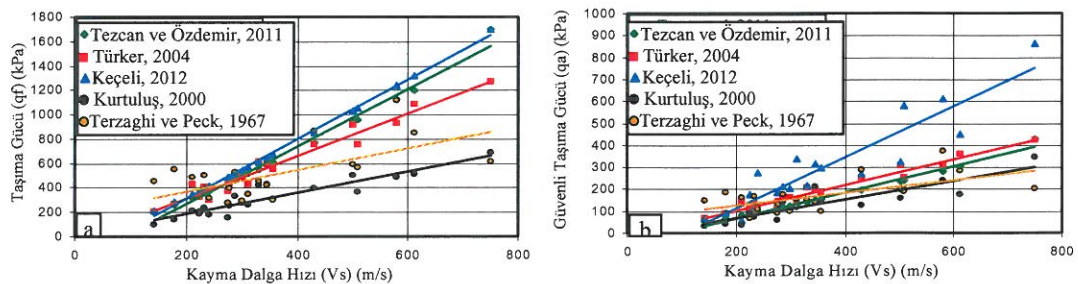
4.4. Güvenlik Faktörü (GF)

Güvenlik faktörü, güvenli taşıma gücü değerini elde etmek amacıyla taşıma gücü değerinin bölüldüğü birimsiz bir katsayıdır. Güvenli taşıma gücü değerinin sağlıklı sonuçlar vermesi için taşıma gücü kadar güvenlik faktörü de önemlidir.

Klasik yöntem Terzaghi ve Peck (1967) ve benzer statik taşıma gücü bağıntılarında güvenlik faktörünün 1,5-5 arasında değiştiği ifade edilse de çoğunlukla 3 sabit alınır.

Türker (1988), Keçeli (1990; 2000; 2009; 2010; 2012), Kurtuluş (2000) çalışmalarında güvenlik faktörü olarak zemin özelliklerine bağlı olarak değişen V_p/V_s oranı kullanılmıştır. Sismik hızların tek başına ifade ettiği zemin özelliklerinin yanında V_p/V_s oranı da zeminin gözenekliliği, sıvı ya da gaz içeriği hakkında ayrıntılı bilgi vermektedir. Birçok araştırmacı bu konuyla ilgili çalışmalar gerçekleştirmiştir. Pickett (1963) çalışmasında laboratuvar ölçümlerini kullanarak sismik dalga hızları oranının litolojik bir gösterge olduğunu ifade etmiştir. Tatham (1982) V_p/V_s oranının litolojik bir gösterge olduğunu ayrıca akışkan içeriği, düşey ölçeğin yatay ölçeğe oranı ve gözeneklilik hakkında bilgi verdiğini belirtir. Jain (1987) sismik hızlarla ilgili çalışmasında sismik hız oranının, düşey ölçeğin yatay ölçeğe oranı, porozite, mineral içeriği, sıvı veya gaz içeriği ile ilişkili olduğu sonucuna varmıştır. Uyanık (2010) da sismik hız oranının gözeneklerdeki akışkanın (gaz yada su) tipine hassas olduğunu belirtmiştir. Uyanık (2011) de suya doymun ortamların gözenekliliğini sismik hızlardan analitik olarak bulmuş ve sismik hız oranına bağlı gözeneklerdeki akışkan tipini yorumlamıştır. Ayrıca sismik hız oranı zemin özelliğini yansıtan elastik parametrelerin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Zemin özelliklerine bağlı olarak değişmesi ve kişisel karara bağlı olmaması nedeniyle V_p/V_s oranının güvenlik faktörü olarak kullanımı doğru bir uygulamadır. Tez kapsamında yapılan ön çalışmalarda da genellikle güvenilir sonuçlar alındığı belirlenmiştir. Örneğin kil zemine ait veriler araştırmacıların taşıma gücü bağıntılarına uygulanarak sonuçları grafiklenmiştir (Şekil 4.16a, Şekil 4.16b).

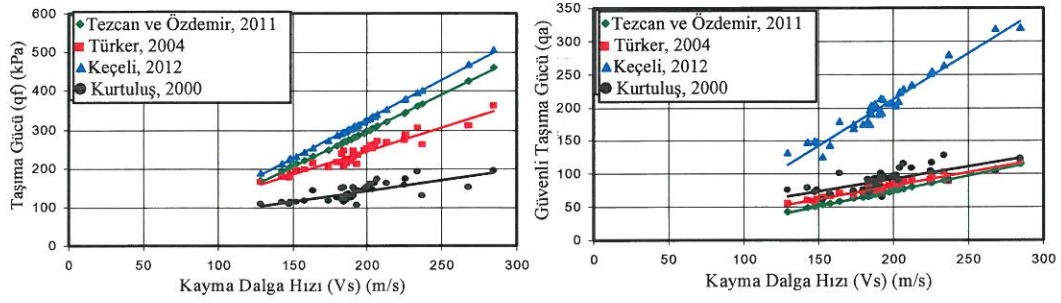


Şekil 4.16. Kil zeminler için farklı araştırmacılara ait bağıntıların önerilen uygun olarak hesaplanan a) taşıma gücü b) güvenli taşıma gücü sonuçları (Uyanık ve Gördesli, 2012).

Uygulamada güvenlik faktörü olarak Tezcan ve Özdemir (2011) 4 Türker (2004) ile Terzaghi ve Peck (1967) 3, Kurtuluş (2000) ve Keçeli (2012) için V_p/V_s kullanılmıştır (Çizelge 2.1). V_s kayma dalga hızına bağlı zemin sınıflandırması yapıldığında 150 m/s ile 750 m/s aralığında zemin özellikleri gevşekten sıkıya doğru oldukça değişmektedir. Zemin özelliklerinin bu kadar değişmesine karşın 3 ya da 4 gibi sabit ve yüksek güvenlik faktörü kullanan araştırmacıların güvenli taşıma gücü değerleri çok fazla düşmüştür. Ayrıca taşıma gücü eğrilerinin hıza bağlı gösterdiği değişim, güvenlik faktörünün büyük olması nedeniyle güvenli taşıma gücü eğrilerinde görülememekte ve zemin özelliklerinin bu sonuçlara etkileri ayırt edilememektedir. Şekil 4.16'daki taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü sonuçları karşılaştırıldığında güvenlik faktörü olarak V_p/V_s oranının kullanıldığı Keçeli (2012) ve Kurtuluş (2000) sonuçlarında diğerlerine göre tek düze bir azalış değil daha çok saçılım olduğu görülmektedir. Bu da zemin özelliklerinin sadece V_s kayma dalga hızına değil V_p/V_s oranına göre de değiştiğini işaret eder. Kayma dalga hızı zeminin katılık-sıklık gibi özelliklerini yansıtırken V_p/V_s oranı gözeneklilik ve bu gözenelerdeki sıvı ya da gaz hakkında bilgi vermektedir. Bu nedenle birbirine yakın hızlarda çok farklı güvenli taşıma gücü ve düşük hızda büyük ya da yüksek hızda küçük taşıma gücü değerleri elde edilebilmektedir. Böylece zemin özellikleri birden fazla parametre ile güvenli taşıma gücü sonuçlarına yansımış olacaktır.

V_p/V_s oranının kullanılması sabit, yüksek ve kişisel karara göre seçilen güvenlik faktörlerine göre birçok yönden avantajlıdır. Fakat her zemin için uygulanabilirliği sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Uyanık ve Çekmen (2009) tarafından yapılan çalışmada araştırma çukurları içerisinde karşıt kuyu tekniği ile pomza zemin üzerinde ölçümler alınmıştır. Uyanık ve Çekmen (2009) çalışmasında kayma dalga hızlarının 129-285 m/s ve boyuna dalga hızlarının 184-449 m/s arasında V_p/V_s oranının ise 1.42-1.69 arasında değiştiği belirtilmiştir. Jeolojik olarak incelendiğinde pomza, 1 gr/cm³ civarında oldukça düşük yoğunluğa sahip gözenekli yapıda, camsı volkanik bir kayaç olarak tanımlanmaktadır. Ancak kepçeyle rahatlıkla kazılabilen ve sismik hızların bu kadar düşük olduğu birimler mühendislik açısından oldukça zayıftır ve kayaç olarak nitelendirilmez. Kayaç olamayacak kadar dayanıksız olan bu birimde güvenlik faktörü olarak V_p/V_s oranı yani yaklaşık 1,5 gibi bir değer kullanıldığında taşıma gücü değerinde yeterli azaltma yapılmış olmaz ve güvenli bir taşıma gücü değeri elde edilemez.

Tez kapsamında Uyanık ve Çekmen (2009)'e ait verilerden taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü hesaplanarak grafiklenmiştir (Şekil 4.17a ve 4.17b).



Şekil 4.17. Pomza zeminler için farklı araştırmacılara ait bağıntıların önerilen tanımlarına uygun olarak a) taşıma gücü b) güvenli taşıma gücü sonuçları (Uyanık ve Gördesli, 2012).

Pomza biriminde kohezyon ve içsel sürtünme açısı belirlenemediğinden Terzaghi ve Peck (1967) taşıma gücüne bu karşılaştırmada yer verilememiştir. Güvenlik faktörü olarak Keçeli (2012) ve Kurtuluş (2000) V_p/V_s , Türker (2004) 3 ve Tezcan ve Özdemir (2011) 4 (Çizelge 2.1) önermiştir. Temel şekil faktörleri ve birim hacim ağırlık bağıntıları gibi farklı kullanılan parametreler dışında birbirinin aynı olan ve Türker (1988) ve Keçeli (2000) çalışmalarına dayanan Türker (2004), Tezcan ve Özdemir (2011) ve Keçeli (2012) taşıma gücü eğrileri birbirine oldukça yakınken güvenli taşıma gücü eğrileri tamamen değişmiştir. Özellikle güvenlik faktörü olarak V_p/V_s öneren Keçeli (2012) taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü sonuçları arasında değişimin oldukça küçük olması yeterli azaltmanın yapılmadığı ve yeterli güvenliğin sağlanmadığını gösterir. Kurtuluş (2000) V_p/V_s kullanmasına rağmen güvenli taşıma gücü sonuçlarında yüksek değerler vermemiştir. Bunun nedeni taşıma gücü değerlerinin suya doymun ve zayıf zeminlerde olması gerektiği kadar düşük çıkmasıdır. Ayrıca bağıntısında yoğunluk kullanmayan Kurtuluş (2000) zemin özelliklerini diğer çalışmalar kadar iyi yansıtamamaktadır.

Güvenlik faktörü olarak Türker (2004)'in 3 ve Tezcan ve Özdemir (2011)'in 4 önermesi pomza biriminin bataklık gibi sulu ve zayıf bir zemin gibi kabul edilerek azaltma yapıldığını ifade etmektedir. Fakat pomza genellikle su içermemekte ve yoğunluğu küçük olsa da jeolojik kaya olarak nitelendirilmektedir. Pomza için oldukça düşük elde edilen sismik hızlar için bu azaltmalar kabul edilebilir olmasına rağmen 750 m/s civarı kayma dalga hızı ölçülen kil birimi için de aynı azaltmaların

yapılması ve bu iki farklı zeminin aynı kabul edilmesi bu bağıntılardaki eksikliği göstermektedir. Tezcan ve Özdemir (2011) güvenlik faktörü için kayma dalga hızına (V_s) bağlı koşullar önermiştir (Çizelge 2.1) fakat uygulamada da görüldüğü üzere mühendis çalışmaları açısından yeterli değildir. Taşıma gücü hesabında kullanılan birçok zemin özelliği güvenlik faktörü seçiminde de mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Tez kapsamında yapılan araştırmalar ve uygulamalarla literatür güvenlik faktörü yaklaşımlarındaki artılar ve eksiler belirlenerek yeni bir güvenlik faktörü ortaya koyulmuştur. V_p/V_s güvenlik faktörü olarak kullanıldığında genellikle olması gereken ve zemin şartlarına bağlı değerler verse de bazı özel zeminlerde (pomza vb.) yanıltıcı sonuçlara neden olmaktadır. Yeni güvenlik faktöründe birçok zemin özelliğini yansıtan V_p/V_s oranı kullanılmış ve sağlıklı sonuçlar alabilmek için bağıntıya denetleyici parametre olarak V_s kayma dalga hızı eklenmiştir.

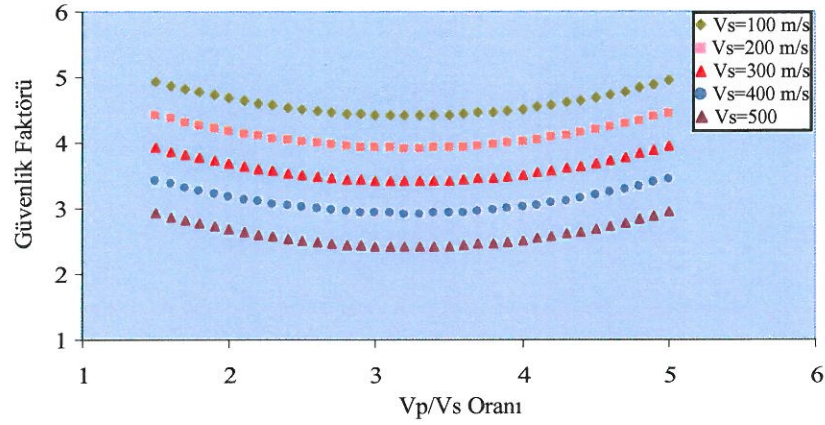
Çizelge 4.5. Kayma dalga hızına ve V_p/V_s oranına bağlı güvenlik faktörü

Koşul	Zemine Bağlı Güvenlik Faktörü (GF_z)
$V_s \leq 500$ m/s	$0,17\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1,1\left(\frac{V_p}{V_s}\right) - 0,005V_s + 6,7$
500 m/s $< V_s \leq 1000$ m/s	$0,1551\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1,01\left(\frac{V_p}{V_s}\right) - 0,001V_s + 4,566$
1000 m/s $< V_s$	$0,155\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - \left(\frac{V_p}{V_s}\right) - 0,00014V_s + 3,67$
$V_p/V_s \geq 5$ için $V_p/V_s = 5$	

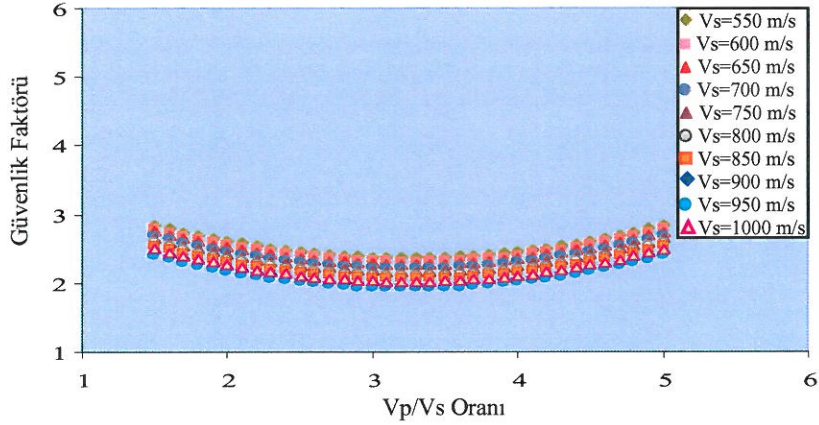
Güvenlik faktörü eşitliklerinin V_s kayma dalga hızı koşuluna bağlanmasının nedeni zemin özellikleridir. Kayma dalga hızına bağlı olarak zemin sınıflandırılması yapılmaktadır (Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3). Buna bağlı olarak kayma dalga hızının $V_s \leq 500$ m/s olduğu şartlarda zemin genellikle zayıf ve daneli yapıdadır. Ayrıca hızın değişmesi zemin özelliklerinin oldukça değiştiğini dolayısıyla güvenlik faktörünün de değişmesi gerektiğini ifade eder (Şekil 4.18).

Zemin sağlamlaştıkça yapısal özelliklerinin değişkenliği azalmaktadır. Şekil 4.18’de $V_s \leq 500$ m/s için güvenlik faktörleri arasındaki fark oldukça fazla iken 500 m/s $< V_s \leq 1000$ m/s için (Şekil 4.19) değerler birbirine yaklaşmaktadır. Bunun nedeni

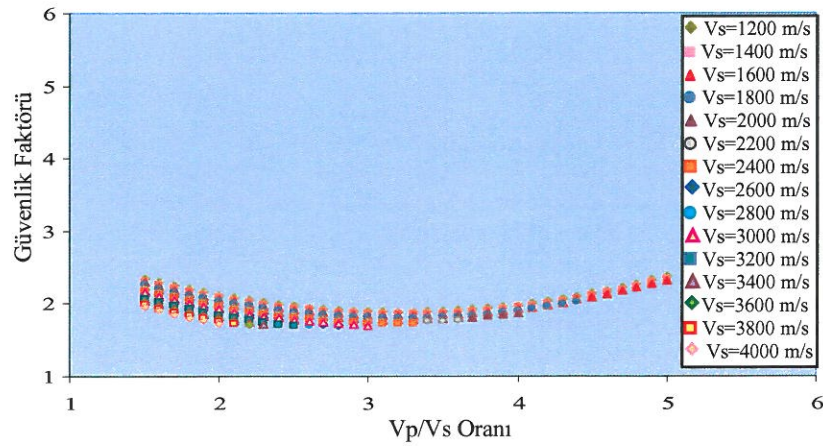
zeminin daha sıkı özelliklere sahip olmasıdır. Zemin sıkı durumdayken gözenek yapısının ve gözeneklerdeki sıvı ya da gaz türünün zemin sağlamlığı üzerindeki etkileri gevşek durumdaki zemine göre daha düşüktür. V_s kayma dalgası büyüdükçe zemin sıkılaştığından güvenlik faktörü değişimi de azalmaktadır.



Şekil 4.18. $V_s \leq 500$ m/s için güvenlik faktörünün V_p/V_s oranına bağlı değişimi



Şekil 4.19. $500 \text{ m/s} < V_s \leq 1000$ m/s için güvenlik faktörünün V_p/V_s oranına bağlı değişimi



Şekil 4.20. $1000 \text{ m/s} < V_s$ için güvenlik faktörünün V_p/V_s oranına bağlı değişimi

Vs kayma dalga hızının 1000 m/s üzerinde olduğu zeminler kısmen kaya olarak nitelendirilir. Bu nedenle diğer grafiklere göre hız farkları artmasına rağmen güvenlik faktörü değeri neredeyse değişmez. Literatürde doğada bulunan zemin türleri içinde en yüksek Vp hızının yaklaşık 7500- 8000 m/s civarında olduğu ifade edilir. Şekil 4.20 oluşturulurken bu husus göz önüne alındığından Vs hızı arttıkça veri sayısının azaldığı görülmektedir.

Güvenlik faktörü güvenli taşıma gücü elde edebilmek için önemli bir parametredir. Güvenli yapılaşmayı sağlayabilmek için bu parametrenin özenle seçilmesi gerekir. Bu nedenle sadece zemin özelliklerine değil yapı türüne de bağlı olması doğru bir yaklaşım olacaktır. Depreme dayanıklı yapı için oluşturulan tasarım depremlerinde halkın yoğun olarak bulunduğu ve depremden hemen sonra kullanılması gereken binalar için yapı önem katsayısı ile büyütme uygulanmaktadır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Yapı önem katsayısı (Celep ve Kumbasar, 2000)

Yapı Önem Katsayısı	I
Depremden hemen sonra kullanımı zorunlu binalar veya tehlikeli madde içeren binalar; Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye, istasyon ve terminaller, PTT ve diğer haberleşme binaları, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, yönetim binaları, ilkyardım ve afet planlama merkezleri, zehirli, patlayıcı ve parlayıcı özellikleri olan maddelerin depolandığı binalar.	1,5
İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar ve değerli eşyaların saklandığı yerler; Okullar, eğitim ve bina tesisleri, yurt ve yatakhaneler, cezaevleri, müzeler, askeri kışlalar.	1,4
İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar; Spor tesisleri, sinema ve tiyatrolar, konser salonları, toplantı salonları ve ibadet yerleri.	1,2
İnsanların az yığıldığı binalar; Konutlar, işyerleri, oteller ve lokantalar, bina türü endüstri yapıları.	1

Güvenlik faktörü kullanılırken bu yapıların göz önüne alınması güvenli ve sağlıklı yapı tasarımı için önemli bir yaklaşımdır. Bu nedenle geliştirilen güvenlik faktörünün yapı önem katsayısı kadar artırılması önerilmektedir.

$$GF = GF_z \cdot I \quad (4.60)$$

GF_z ; zemine bağlı güvenlik faktörü, I ; yapı önem katsayısı, GF ; hem zemine hem yapı türüne bağlı güvenlik faktörü. Yapı önem katsayısının uygulanmasıyla insanların az yığılı olduğu konut tipi yapılarda güvenlik faktörü ($GF = GF_z$), özellikle depremden hemen sonra kullanılması gereken insanların yoğun olduğu binalarda ise güvenlik faktörünün %50 fazlası ($1,5GF_z$) uygulanmış olacaktır. Böylelikle özel yapılar için özel ve daha güvenli taşıma gücü elde edilmiş olacaktır.

Yeni güvenlik faktörünün özellikleri:

- Bazı literatür kaynaklarında güvenlik faktörünün yapının ve özellikle zeminin özelliklerine bağlı olarak en sağlam zeminden en gevşek zemine göre sırayla 1,5-5 arasında (Venkatramaiah, 1993; Keçeli, 2010; Ercan, 2011) bazılarında 2-5 arasında değiştiği (Uzuner, 2013) ifade edilmektedir. Yeni güvenlik faktörü zeminin sağlamlığına bağlı olarak değişen Vs kayma dalga hızının literatürdeki (Keçeli, 2010) en yüksek değerinde (4000 m/s) olduğu zeminlerde 1,5-2 arasında, 85 m/s olduğu zeminlerde ise 4,5-5 arasında değişmektedir. Vs kayma dalga hızının 100 m/s altında olduğu ortamlar yapılaşma için uygun dayanımda olmadığından güvenlik faktörü için yaklaşık sınır kabul edilebilir.
- Yeni güvenlik faktöründe Vs kayma dalga hızı kullanılarak zeminin sıklık-sağlamlık özelliği, Vp/Vs oranı kullanılarak gözeneklilik ve içerik özellikleri güvenli taşıma gücü sonuçlarına yansımaktadır.
- Yapı önem katsayısı ile birlikte hem bina önemine hem de zemin özelliklerine bağlı bir güvenlik katsayısı ortaya koyulmuştur.
- Vp/Vs oranının 1,5 civarında olması zeminin gaza doymuş, 4,5-5 civarında olması ise suya doymuş olduğunu ifade eder. Aynı kayma dalga hızı değeri için Vp/Vs oranının bu değerlerde olduğu ortamlarda yeni güvenlik faktöründe artmalar görülür (Şekil 4.18, 4.19, 4.20). Örneğin kayma dalga hızının 4000 m/s olduğu ortamlarda Vp/Vs 1,5 ve 5 iken güvenlik faktörü yaklaşık 2, Vp/Vs 3-3,5 arasında iken güvenlik faktörü yaklaşık 1,5 değerini vermektedir. Böylece zeminin içeriğine bağlı olan özel koşullar da dikkate alınmış olmaktadır.
- Özellikle klasik taşıma gücü uygulamalarında kişisel karara göre seçilen ve genellikle 3 sabit alınan güvenlik faktörü bu yeni yaklaşımla tamamen zemin ve bina koşullarına bağlı olarak hesap yöntemine dayandırılmıştır. Böylelikle sağlam zeminde fazla azaltma yapılmayarak saha kapasitesine göre kullanılmış ya da gevşek zeminde az azaltma yapılmayarak güvenli bir mühendislik çalışması gerçekleştirilmiş olacaktır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu tezde geliştirilen yeni dinamik taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü bağıntılarının literatür bağıntılarıyla karşılaştırılabilmesi ve iki boyutlu modellerle sunulabilmesi amacıyla saha verileri elde edilmiştir. Karşılaştırma aşamasında Terzaghi (1943) klasik yönteminin de uygulanabilmesi için kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) içeren ve literatürden derlenen veriler kullanılmıştır. Taşıma gücü sonuçlarının yanal ve düşey olarak iki boyutlu değişiminin görülebildiği modeller için tez kapsamında sismik kırılma ölçümleri gerçekleştirilmiş ve geliştirilen bağıntılar uygulanmıştır.

Saha verileri daha çok Isparta il merkezi ve civarından elde edilmiştir. Geliştirilen bağıntıda kullanılacak deprem verileri çalışılan alana en yakında gerçekleşen en büyük tarihsel depreme ait olmalıdır. Bu nedenle uygulamada 3 Ekim 1914 Isparta (Burdur) depremi kullanılmıştır. $37,70^{\circ}\text{K}$ - $30,40^{\circ}\text{D}$ koordinatlarında gerçekleşen ve IX şiddetinde etki gösteren $M_s=6,9$, $M_b=7,3$, $M_w=7,1$ büyüklüğündeki deprem sonucu Burdur Ovasında, Isparta yakınlarında ve Dinar'da ağır hasarlar meydana gelmiş ve çok sayıda insan hayatını kaybetmiştir. GB-KD doğrultulu ve 40 km uzunluğunda bir yarık oluşumuna neden olan depremin derinliği ise 10 km'dir.

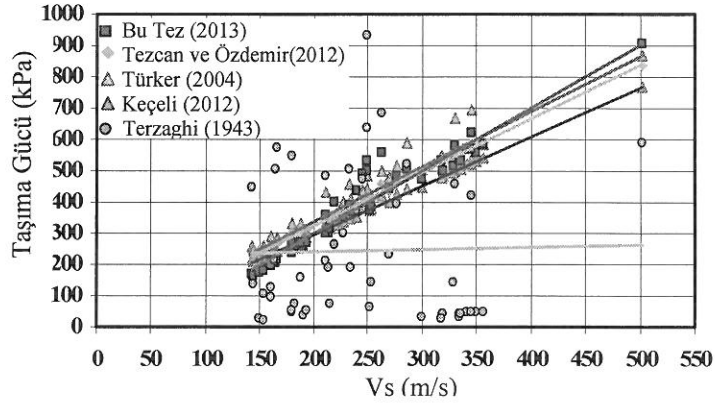
5.1. Taşıma Gücü ve Güvenli Taşıma Gücü Bağıntılarının Karşılaştırılması

Geliştirilen yöntem ile literatür karşılaştırmaları için günümüzde de klasik yöntem olarak en çok tercih edilen Terzaghi (1943) eşitliği, sismik hızlardan hesaplanan teorik taşıma gücü çalışmalarından en güvenilir sonuçları veren Türker (2004), Tezcan ve Özdemir (2012), Keçeli (2012) bağıntıları kullanılmıştır. Veriler, Tezcan vd. (2006), Çekmen (2009) çalışmalarından ve Gürdal ve Yılmaz (2009) raporundan derlenmiştir. Daha çok Isparta merkezi ve civarına ait olan veriler gerçek arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilmiş genel olarak çakıllı kumlu siltli kil, kil, killi-siltli kum, inorganik kil-silt ve çok ince kumlar, killi çakıl zemin türlerine aittir (Çizelge 5.1).

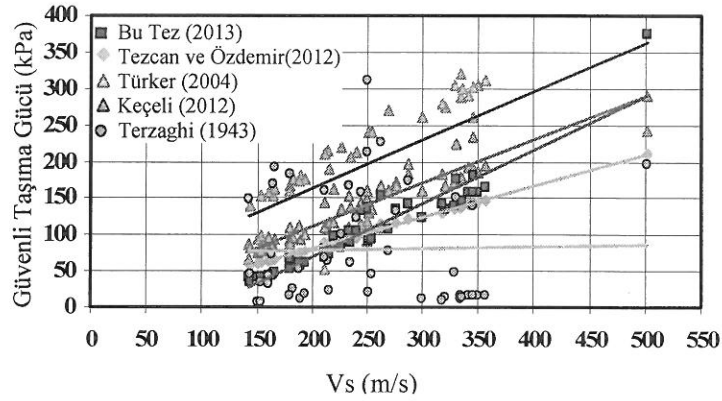
Çizelge 5.1. Yeni bağıntı ile literatür karşılaştırmasında kullanılan saha verileri

Kaynak	Zemin türü	Derinlik Df (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Vp/Vs	Yoğunluk γ (gr/cm ³)	Kohezyon (c)	İçsel Sürt. Açısı (ϕ)
Tezcan vd. (2006)	Kil	5,0	709	277	2,56	1,88	58,9	--
	Kil	2,5	460	142	3,24	1,86	78,5	--
	Kil	8,0	698	287	2,43	1,89	72,6	--
	Kil	6,0	1278	211	6,06	1,87	72,6	--
	Kil	9,5	933	330	2,83	1,86	54,9	--
	Kil	9,0	709	346	2,05	1,89	49,1	--
	Kil	6,0	1595	502	3,18	1,87	93,2	--
	Kil	3,0	577	180	3,21	1,88	96,1	--
	Kil	6,0	756	233	3,24	1,86	76,5	--
Gürdal ve Yılmaz (2009)	ÇKSK	1,5	400	240	1,67	1,78	--	24,42
	ÇKSK	3,0	820	250	3,28	1,88	--	24,42
	ÇKSK	4,5	1100	250	4,40	1,92	--	24,42
	ÇKSK	1,5	440	220	2,00	1,78	--	21,38
	ÇKSK	3,0	818	245	3,34	1,88	--	21,38
	ÇKSK	4,5	998	263	3,79	1,91	--	21,38
Çekmen (2009)	SM	0,45	294	190	1,55	1,76	1,22	1,62
	SM	0,80	312	214	1,46	1,76	0,7	24,80
	SM	1,15	285	180	1,58	1,76	1,12	1,49
	SM	1,50	275	182	1,51	1,76	0,94	7,44
	ML	3,95	345	227	1,52	1,77	1,77	15,39
	SM	1,40	312	211	1,48	1,76	1	19,52
	ML	0,80	298	180	1,66	1,76	2,6	0,52
	ML	1,00	312	194	1,61	1,76	2,47	0,63
	SM	1,00	394	252	1,56	1,78	1,54	5,58
	SM	1,30	536	329	1,63	1,81	0,84	16,96
	SM	1,60	397	254	1,56	1,78	0,79	15,24
	SM	1,90	358	215	1,67	1,77	2,23	2,15
	SM	0,80	257	164	1,57	1,75	0,79	33,62
	SM	1,20	240	163	1,47	1,75	0,8	22,24
	SM	2,00	223	154	1,45	1,74	1,27	8,44
	SM	2,40	214	144	1,49	1,74	1,11	9,36
	ML	2,50	248	166	1,49	1,75	0,48	25,87
	ML	3,30	235	160	1,47	1,75	1,05	5,94
	ML	4,50	400	270	1,48	1,78	1,04	9,27
	SM	0,70	235	160	1,47	1,75	11,22	1,10
	SM	3,40	300	188	1,60	1,76	12,1	1,20
	SM	3,70	400	235	1,70	1,78	15,84	1,50
	ML	1,25	564	320	1,76	1,81	5,97	2,76
	ML	1,50	590	335	1,76	1,82	6,51	3,07
	SM	1,75	530	335	1,58	1,81	4,88	1,09
	SM	2,00	520	300	1,73	1,8	5,16	1,45
	GC	3,25	610	342	1,78	1,82	6,62	1,71
	SM	4,00	545	318	1,71	1,81	3,6	0,97
	ML	1,45	570	336	1,70	1,81	6,51	2,7
	ML	1,70	610	350	1,74	1,82	7,16	2,89
	GC	2,70	620	356	1,74	1,82	6,51	2,7
	GC	2,95	600	345	1,74	1,82	6,62	2,86
	SM	0,30	355	150	2,37	1,77	3,26	1,19
	SM	0,50	352	153	2,30	1,77	3,36	1,38
Temel genişliği (B) ve temel boyu (L)= 2m alınmıştır.								

ÇKSK: Çakıllı kumlu siltli kil, SM: Killi-siltli kumlar, ML: İnorganik kil-silt ve çok ince kumlar, GC: Killi çakıllar.



Şekil 5.1. Literatür çalışmaları ile geliştirilen dinamik taşıma gücü bağıntısı sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 5.2. Literatür çalışmaları ile geliştirilen dinamik güvenli taşıma gücü bağıntısı sonuçlarının karşılaştırılması

Taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü grafikleri incelendiğinde güvenlik faktörünün ne kadar etkili ve önemli olduğu görülebilir. Taşıma gücü sonuçları nispeten düşük olan Keçeli (2012), düşük sismik hızlara yani zayıf zemine rağmen V_p/V_s oranı 1,5 civarında olduğundan güvenli taşıma gücü grafiğinde en yüksek eğriyi vermektedir.

Hem taşıma gücü değerlerindeki düşük değerler hem de güvenlik faktörünün 3 alınması nedeniyle yapılan azaltma Terzaghi (1943) güvenli taşıma gücü sonuçlarının en düşük eğriyle sonuçlanmasına neden olmuştur. Kohezyon (c) ve özellikle içsel sürtünme açısı (ϕ) oldukça hassas parametrelerdir ve bu parametrelerin taşıma gücü sonuçlarını doğrudan etkilemesi bu yöntemin özenle uygulanması gerektiğini gösterir. Çizelge 3.3' deki kayma dalga hızına (V_s) bağlı zemin sınıflamasına göre V_s arttıkça zemin sağlamlaşmaktadır. Buna göre taşıma gücü değeri de artmalıdır. Fakat Terzaghi (1943) sonuçlarında bu özellik çok fazla

görülememektedir. Zemini denetleyen tek parametre Vs değildir bu nedenle saçılımlar olması beklenilir fakat 160 m/s kayma dalga hızına karşılık 200 kPa güvenli taşıma gücü değerine karşın 350 m/s kayma dalga hızına karşılık 10 kPa gibi düşük bir değer birbiriyle oldukça çelişmektedir.

Sismik hızlardan belirlenen taşıma gücü bağıntıları düşey gerilme ($\sigma=D.\gamma$) teorisine dayandığından kısmen birbirine yakındır. Fakat temel ebatlarının ve güvenlik faktörünün farklı ele alınması dağılımları değiştirmektedir. Özellikle bu tezde ortaya koyulan Bu Tez (2013) taşıma gücü sonuçları zemin sağlamlaşmasının etkilerini daha fazla yansıtır. Bunun nedeni diğer bağıntılara göre zemin parametrelerinden daha fazla yararlanılması buna ek olarak deprem etkilerinin de kullanılmasıdır.

5.2. Dinamik Taşıma Gücü ve Güvenli Dinamik Taşıma Gücü Bağıntılarının İki Boyutlu Modellenmesi

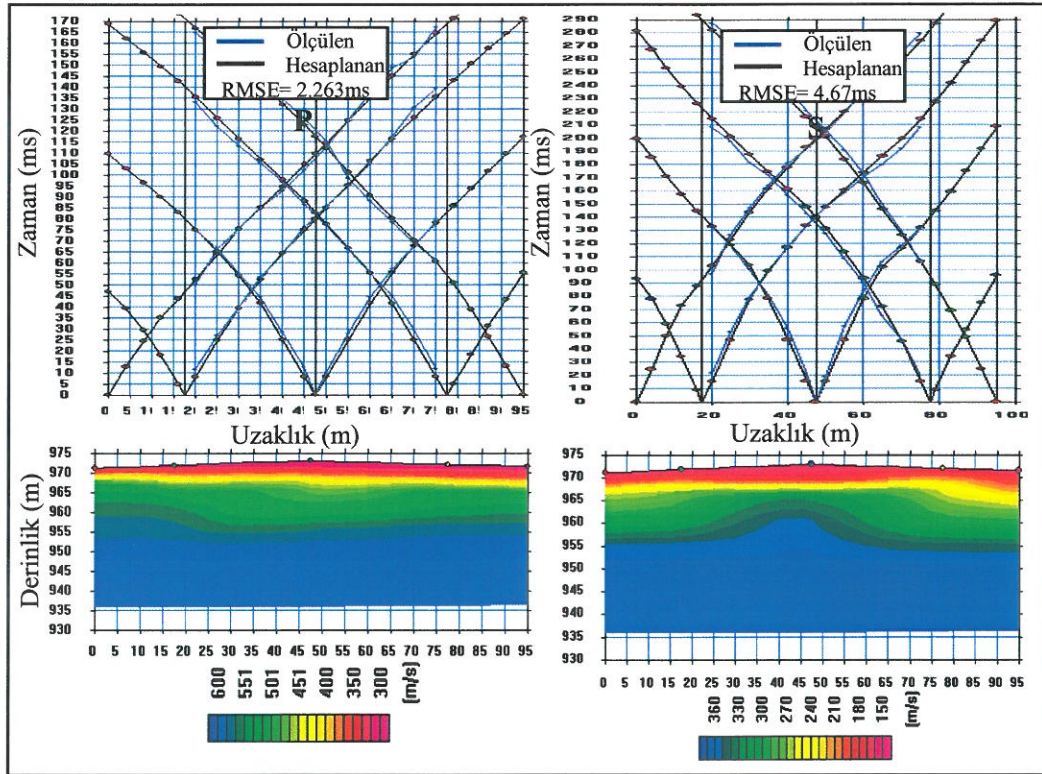
Bilindiği gibi zemin özellikleri saha şartlarına bağlı olarak hem heterojendir hem de düşey ve yanal yönde değişimler gösterir. Fakat özellikle klasik taşıma gücü belirlenirken etüt yapılan sahada yapılan bir-iki sondajla taşıma gücü değerleri belirlenir ve bu değerlerin tüm sahayı temsil ettiği kabul edilerek planlama yapılır.

Bu tezde hem geliştirilen bağıntıların uygulanması hem de elde edilecek iki boyutlu sismik hız modelleri kullanılarak iki boyutlu taşıma gücü modellerinin elde edilmesi amacıyla sismik kırılma yöntemi uygulanmıştır. Ölçümler tez kapsamındaki 2961-YL-11 numaralı SDÜ BAP desteğiyle gerçekleştirilmiştir. En az 30 m derinliğe inilmesi amacıyla jeofon aralıkları 5m, 12 kanallı, 2,5m ve 20m ofsetli düz ve ters olarak uzak, yakın, orta olmak üzere beş atışlı sismik kırılma yöntemi uygulanmıştır.

Ölçümler Isparta il merkezi ve yakın çevresinde gerçekleştirilmiştir. Isparta şehir merkezi, Çünür, Gelendost, Eğirdir olmak üzere farklı zemin türlerinde ölçümler alınmıştır. Isparta ovası genel olarak allokton ve otokton iki kaya birimden oluşmaktadır. Otokton birimler yaşlıdan gence doğru; Söbüdağı formasyonu, Senirce formasyonu, Kızılkırma formasyonu, Kayıköy formasyonu, Kayıköy formasyonu ve alüvyon ile birikinti konisinden oluşur. Allokton birim ise; Gökçebağ ofiyolitli

karmaşığı ve Akdağ kireçtaşı birliğidir (Uyanık, 2011). Çalışılan saha genel olarak volkanik tüfler, kil, çakıllı kil, alüvyon, moloz, kireçtaşı birimlerinden oluşmaktadır.

Saha verileri Seisimager programıyla değerlendirilerek sismik hızlar elde edilmiştir (Şekil 5.3). Yazılan ara programlarla sismik hızların ölçüm boyunca hücreler halinde önce tabloya aktarılması sonra düşey ve yatay değişimlerinin program çıktısı şeklinde modellenmesi sağlanmıştır. Düşey ve yatay yönde değişen hücreler ve bu hücrelere ait sismik hızlar kullanılarak geliştirilen dinamik taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü bağıntıları uygulanmıştır. Geliştirilen programda yoğunluk, güvenlik faktörü, ivme hesapları da yapılarak taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü sonuçları iki boyutlu olarak modellenmiştir. Böylece zemin özelliklerinin düşey ve yatay olarak değiştiği yer içindeki taşıma gücü değişimleri de görselleştirilmiştir.



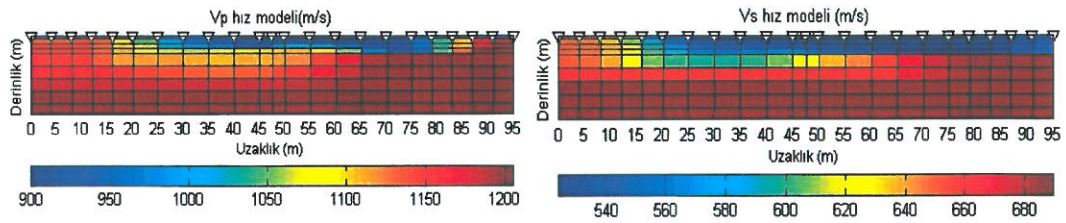
Şekil 5.3. Çok atışlı sismik kırılma verilerinin Seisimager paket programıyla değerlendirilmesi ve elde edilen sismik hız modelleri.

Değerlendirmeler yapılırken 3 Ekim 1914 Isparta (Burdur) depremi verilerinden yararlanıldı. Isparta için uzaklık 21,45 km olduğundan 40km sınır uzaklık, Gelendost için 74km, Eğirdir için 47.85km uzaklık uygulanmıştır. Temel genişliği (B) ve temel

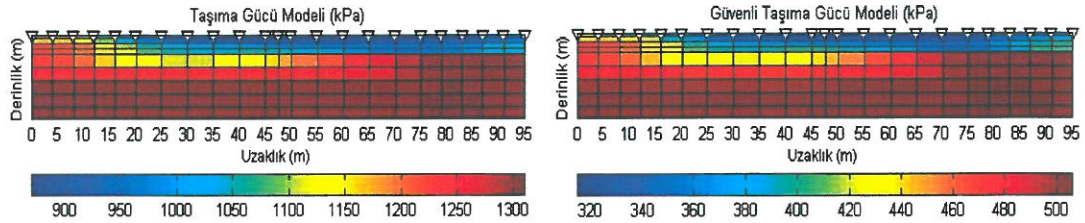
boyu (L) 2m kabul edildi. Temel derinliği ise sismik hızların ait olduğu derinlik olarak doğrudan alındı. Yani temel ebatlarına bağlı düzeltme yapılırken temel derinliği etkisi sonuçlara doğrudan yansıtılmıştır.

Geliştirilen ara programlara sahada alınan sismik kırılma verileri uygulanarak hem sismik hız modelleri hem de yeni dinamik taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü modelleri iki boyutlu olarak elde edilmiştir (Şekil 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19).

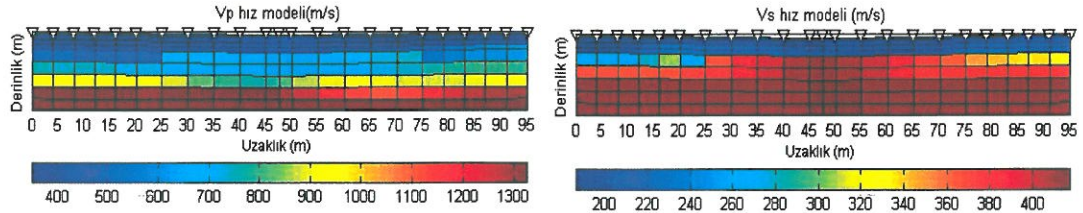
Buradaki 1. sismik ölçüm verileri SDÜ DEMAR arkasındaki moloz malzeme üzerinde (Şekil 5.4, 5.5), 2. Eğirdir bölgesinde suya doymun zeminde (Şekil 5.6, 5.7), 3. Mavikent yakınında 6m kil, 7-9m mucur malzemedan oluşan sahada (Şekil 5.8, 5.9), 4. Isparta tren yolu yakınında kil sahada (Şekil 5.10, 5.11), 5. Halıkent bölgesindeki gevşek zeminde (Şekil 5.12, 5.13), 6. TOKİ yakınındaki alüvyon sahada (Şekil 5.14, 5.15), 7. Sütçüler ilçesinde gevşek ve suya doymun killi kum zeminde (Şekil 5.16, 5.17), 8. SDÜ Tıp Fakültesi arkasındaki kireçtaşından oluşan sahada (Şekil 5.18, 5.19) gerçekleştirilmiştir.



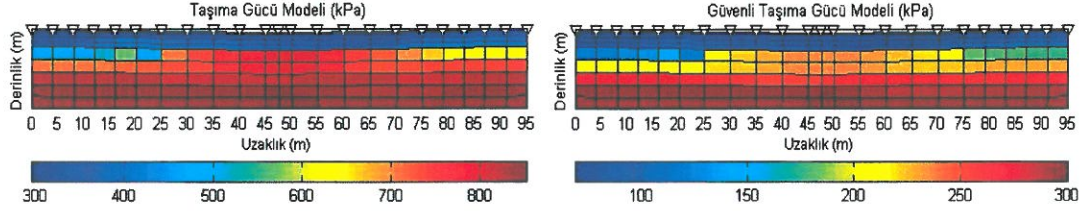
Şekil 5.4. 1. Sismik kırılma ölçümlerinin P ve S hızlarının iki boyutlu modelleri



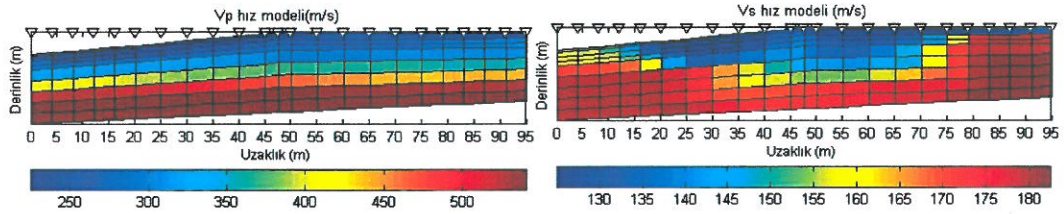
Şekil 5.5. 1. Sismik kırılma ölçümlerinin taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modelleri



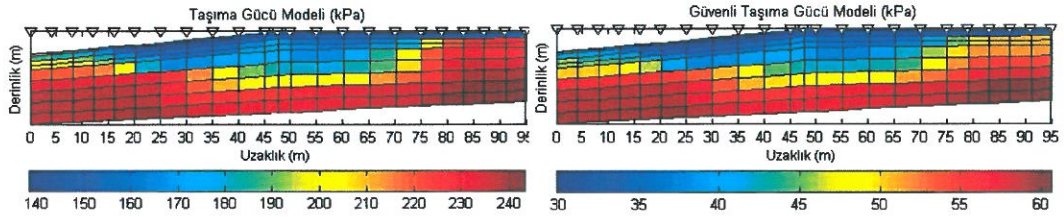
Şekil 5.6. 2. Sismik kırılma ölçümlerinin P ve S hızlarının iki boyutlu modelleri



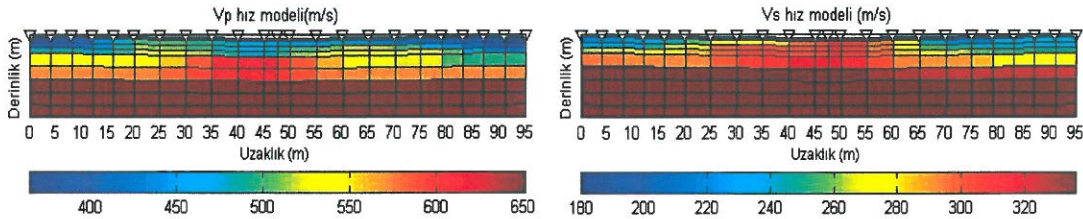
Şekil 5.7. 2. Sismik kırılma ölçümlerinin taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modelleri



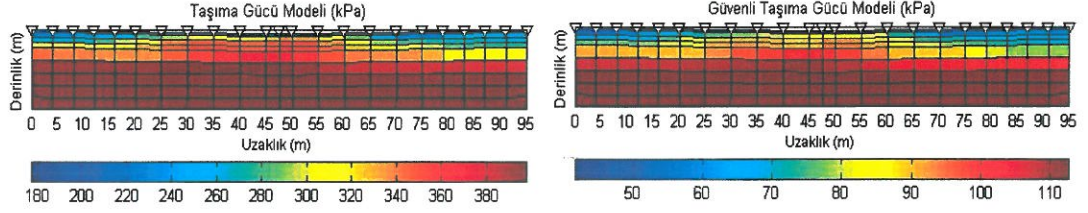
Şekil 5.8. 3. Sismik kırılma ölçümlerinin P ve S hızlarının iki boyutlu modelleri



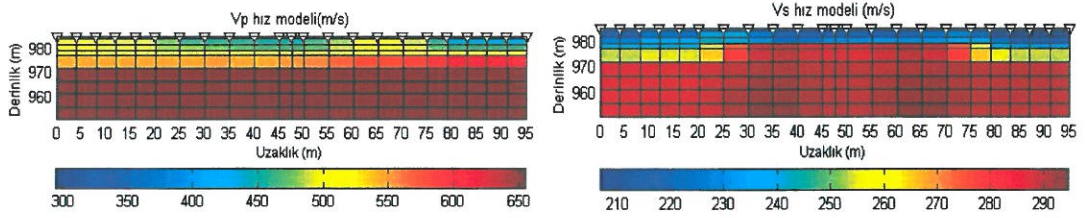
Şekil 5.9. 3. Sismik kırılma ölçümlerinin taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modelleri



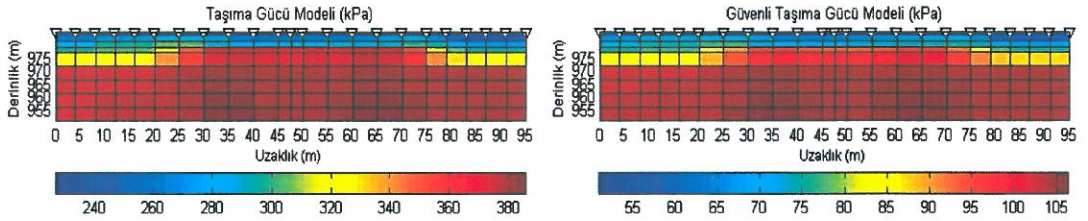
Şekil 5.10. 4. Sismik kırılma ölçümlerinin P ve S hızlarının iki boyutlu modelleri



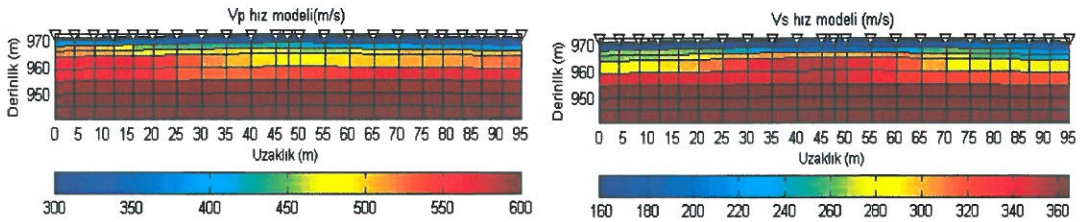
Şekil 5.11. 4. Sismik kırılma ölçümlerinin taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modelleri



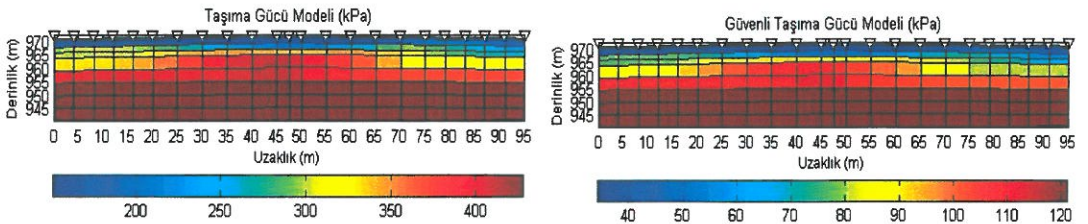
Şekil 5.12. 5. Sismik kırılma ölçümlerinin P ve S hızlarının iki boyutlu modelleri



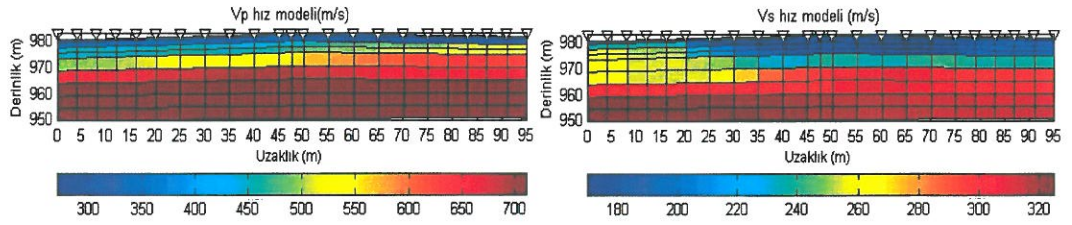
Şekil 5.13. 5. Sismik kırılma ölçümlerinin taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modelleri



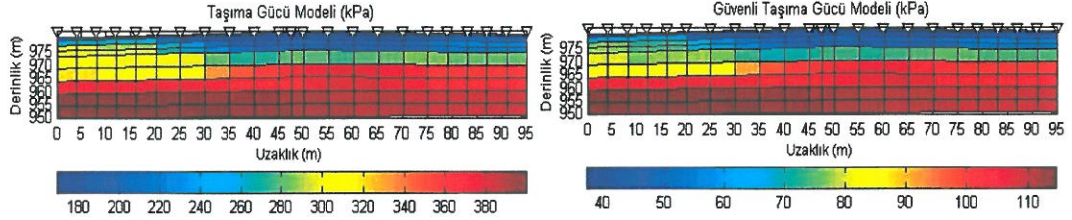
Şekil 5.14. 6. Sismik kırılma ölçümlerinin P ve S hızlarının iki boyutlu modelleri



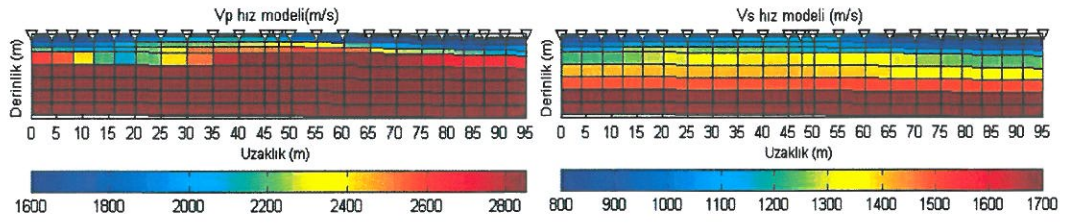
Şekil 5.15. 6. Sismik kırılma ölçümlerinin taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modelleri



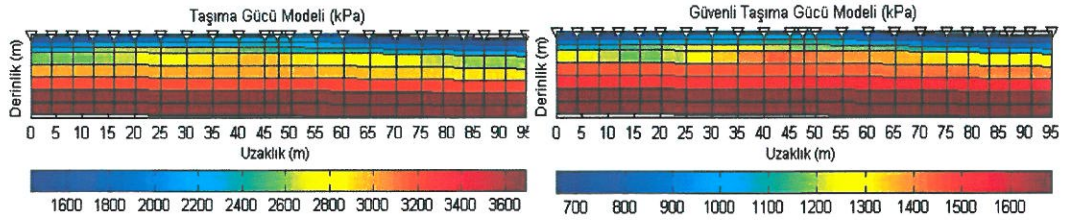
Şekil 5.16. 7. Sismik kırılma ölçümlerinin P ve S hızlarının iki boyutlu modelleri



Şekil 5.17. 7. Sismik kırılma ölçümlerinin taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modelleri



Şekil 5.18. 8. Sismik kırılma ölçümlerinin P ve S hızlarının iki boyutlu modelleri



Şekil 5.19. 8. Sismik kırılma ölçümlerinin taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modelleri

Modeller incelendiğinde bir serim boyunca yanal ve düşey yönde zemin özelliklerinin dolayısıyla taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin nasıl değiştiği görülebilir. Serimler 95 m' lik dar bir alanı temsil etmesine rağmen özellikle yanal değişimler oldukça fazladır. Bu tür küçük saha tasarımlarında sondaj sayısı genellikle bir ya da iki ile sınırlandırılır. Fakat bu sondaj ya da sondajların yerlerinin belirlenmesi ayrı bir problemdir. Yapılan sondajların yerleri itibariyle modellerdeki ayrıntılı jeolojik değişimi verme ihtimali oldukça düşüktür. Sondaj

sayısını arttırmak ise maliyeti oldukça arttırır. Bunun yerine tezde önerilen yöntem kullanılarak maliyeti düşük sismik kırılma ile sorunlu ve düşük taşıma gücü değeri veren bölgeyi belirlemek ve burada seçilen sondajla ayrıntılı bilgi elde etmek oldukça ekonomik ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.

Şekil 5.6, 5.10 modellerini incelediğimizde yüzeye yakın seviyedeki yanal değişimi görebiliriz. Orta noktadaki yüksek Vs kayma dalga hızları, serimin başında ve sonunda düşüş göstermektedir. Bu değerlerin taşıma gücü modellerindeki sonuçları ya da Vs kayma dalga hızına bağlı zemin sınıflaması çizelgelerindeki (Çizelge 3.1, 3.2, 3.3) karşılıkları incelendiğinde farklılıkların önemi görülebilmektedir. Bu tür sahalar için yüksek hızın elde edildiği nokta ve derinlikte yapılacak sondaj sonuçlarının yanıltıcı olacağı kesindir. Çünkü sıkı zemine ait veriler kullanılarak yapılan tasarımda binanın oturtulacağı alan içinde kalan gevşek seviyeler zamanla problemler oluşmasına belki bir deprem etkisiyle büyük hasarlar meydana gelmesine sebep olabilir.

Sismik kırılma yöntemi kullanılarak serim boyunca, hedeflenen derinliğe kadar olan sismik hızların belirlenmesi ve bunlarla hesaplanan hücresel taşıma ve güvenli taşıma gücü sonuçları elde edilerek;

- Düşey ve yatay yöndeki zemin özellikleri ve değişen litoloji gözlemlenebilir,
- Taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerine göre yapı planlaması şekillendirilebilir (Örneğin; zayıf birimin olduğu bölge yerine zeminin sağlamlaştığı bölgeye bina yerleştirilebilir),
- Düşük hızlı tabaka varsa ya da saha geneli sağlam olmasına rağmen belli bir derinlikte gevşeklik varsa alansal yerine bölgesel iyileştirme yapılarak ekonomik çözümler getirilebilir,
- Yerinde saha şartları korunarak derine doğru zemin sağlamlığının ve taşıma gücünün değişimine göre bina temelinin oturtulacağı derinlik belirlenebilir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez ile taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü yöntemleri ele alınmış ve literatür çalışmaları incelenerek yeni taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü bağıntıları ortaya koyulmuştur. Yeni bağıntılarda literatürde karşılaşılan eksikler giderilerek deprem, zemin ve yapı parametrelerinden yararlanılmıştır. Geliştirilen bağıntılar, farklı kaynaklardan derlenen veriler kullanılarak literatürde öne çıkan çalışmalarla karşılaştırılarak diğer çalışmalara göre artıları ortaya koyulmuştur.

Depreme dayanıklı yapılaşma için sağlıklı bir tasarım yapılmak isteniyorsa zemin ve yapı bir arada düşünülmelidir. Bu tez ile sadece bina üzerindeki etkileri ele alınan deprem kuvveti, tasarım için önemli bir parametre olan taşıma gücünde de kullanılmıştır. Böylece deprem sırasında ve sonrasında zeminde oluşan deformasyonların oluşturacağı taşıma gücü kayıpları önceden hesaba katılarak daha sağlıklı ve güvenilir yapılar ortaya koyulabileceği düşünülmüştür.

Dinamik yük altında zeminde oluşan taşıma gücü kaybı ortaya koyulurken Newton'un ikinci kanunu olan $F=ma$ eşitliğinden yararlanılmıştır. Kullanılan ivme değeri için literatürdeki ivme azalım ilişkileri incelenerek birbiriyle ve AFAD verilerinden elde edilen gerçek ivme değerleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak gerçek ivme değerlerine en yakın sonuçları veren hem deprem hem de zemin parametrelerinin kullanıldığı Kanai (1961) eşitliğinin kullanılması uygun bulunmuştur.

Bu tez hem deprem ivmesinin, hem zeminin kayma dalga hızının (V_s) hem de temel ebatlarının bir arada kullanıldığı tek taşıma gücü çalışmasıdır. Yapılan literatür araştırmalarında böyle bir yaklaşımla karşılaşılmamıştır. Ayrıca güvenli taşıma gücü elde edilebilmesi için gerekli olan güvenlik faktörü için de yeni bir yaklaşım ortaya koyulmuştur. Özellikle klasik yöntemde genellikle sabit olarak 3-4 kullanılırken bazı araştırmacılar da güvenlik faktörü olarak V_p/V_s oranını tercih etmektedir. Taşıma gücü belirlenirken ayrıntılı parametreler kullanılıp düzeltmeler yapılan detaylı çalışma sonunda her türlü zemin aynı kabul edilerek sabit katsayıyla güvenli taşıma gücü elde edilmesi ve bunun kişisel karara dayanması eksik bir çalışma olduğunu gösterir. Çünkü bu gibi durumlarda zayıf zeminde az azaltma yapılarak sağlıksız bir

çalışma ya da sağlam zeminde çok azaltma yapılarak ekonomik olmayan bir çalışma ortaya çıkabilir. Diğer yandan zemin içeriğine bağlı olarak değişen V_p/V_s oranı genel olarak uygulanması gereken güvenlik katsayılarıyla uyumlu olmasına karşın bazı gazı doygun özel zeminlerde (Örn; pomza) yanıltıcı sonuçlara neden olmaktadır. Bütün bunlar göz önüne alınarak hem V_p/V_s oranına hem de V_s kayma dalga hızına bağlı güvenlik faktörü geliştirilmiştir. Yapılan uygulamalarda zemin özelliklerine uygun sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ayrıca güvenlik faktörüne yapı önem katsayısı da eklenerek özellikle hastane, okul, nükleer santral merkezi gibi önemli yapılar için daha yüksek güvenlik faktörü elde edilerek bu özel yapılarda en üst düzeyde güvenli yapılaşma gerçekleştirilmesi önerilmiştir.

Tez kapsamında 2961 - YL - 11 numaralı SDÜ BAP desteğiyle Isparta merkezinde ve yakın çevresinde alınan sismik kırılma ölçümleri paket program ile değerlendirilerek iki boyutlu sismik hız modelleri elde edilmiştir. Program çıktıları kullanılarak hücreler halinde yatay ve düşey olarak değişen sismik hızlar, yazılan ara programlar aracılığıyla, hem yeniden modellenmiş hem de bağıntıların uygulanmasıyla dinamik taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modellenmesinde kullanılmıştır. Böylelikle taşıma gücü ve güvenli taşıma gücü değerlerinin yatay ve düşey olarak nasıl değiştiği gözlemlenebilmiştir. Taşıma gücü değerlerinin iki boyutlu modellenerek sunulmasının yapı planlaması aşamasında birçok kolaylık sağlayabileceği öngörülmüştür. Örneğin düşük hız tabakasının olduğu ya da boşluklu zayıf birim seviyesinde sadece o noktada yapılacak iyileştirmeler gibi ekonomik ya da yapının oturtulacağı alanın daha homojen seçilmesi gibi sağlıklı çözümlerin yönlendirilmesi aşamasında böyle bir yöntemin büyük katkısı olacaktır.

Günümüzde en çok tercih edilen klasik yöntem olan Terzaghi (1943)'nin uygulama zorlukları ve hesaplarda oluşabilecek küçük hataların yanıltıcı sonuçlara neden olabilmesi nedeniyle araştırmacılar tarafından sismik hızlardan belirlenen taşıma gücü yöntemi geliştirilmiştir. Genel olarak güvenilir sonuçlar veren sismik hızlardan taşıma gücü yöntemine bu tez kapsamında deprem ivmesi de eklenerek yeni bir bakış açısı kazandırılmıştır. Her aşamasında var olan verilerden yararlanarak kişisel kararlara gerek kalmadan hesaplanan bu yöntemin ulusal ve uluslararası alanlarda da yeni görüşlere ışık tutacağı düşünülmektedir. Tezde kullanılan ara programların da

geliştirilmesiyle genel olarak etüt uygulamalarında da rahatlıkla kullanılabileceği düşünülen bu yöntem sonuçlarının, iki boyutlu modellenmesinin de mühendise pratiklik kazandıracağı öngörülmektedir. Her an depremlerin meydana geldiği ülkemiz başta olmak üzere bütün dünyada dinamik etkilerin yapı tasarımının her aşamasında hesaplara dâhil edilmesi, güvenilir yapılar oluşturulmasını ve dolayısıyla depremler sonrasındaki can ve mal kayıplarının en aza indirgenmesini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Ansal, A., Tönük, G., Kurtuluş, A., 2011. Zemin Büyütme Analizleri ve Sahaya Özel Tasarım Depremi Özelliklerinin Belirlenmesi. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim 2011, ODTÜ – Ankara.
- Aydan, Ö., 2001. İstanbul Boğazı Denizaltı Geçişi için Tip Tünel ile Kalkan Tünelin Uygunluğunun Karşılaştırılması. Jeoloji Mühendisliği, 25 (1), 1 –17.
- Aydan, Ö., Kumsar, E.L., 1997. Yeni bir sıvılaşma tahmin yöntemi ve uygulamaları. İzmir ve Çevresinin Jeoteknik Sorunları Sempozyumu, İzmir, Bildiri Özleri Kitabı.
- Aydan, Ö., Sezaki, M., Yazar, R.T., 1996. The seismic characteristics of Turkish Earthquakes. 11th. World Conference on Earthquake Engineering., Acapulco, Mexico, 1-8.
- Aydan, G., Ulusay, R., Hasgür, Z., Taşkın, B., 1999., A site investigation of Kocaeli Earthquake of August 17, 1999. Turkish Earthquake Foundation, 180pp.
- Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 2013. Büyüklük (Magnitüd) Nedir?. Erişim Tarihi: 20.02.2013. <http://www.koeri.boun.edu.tr/bilgi/buyukluk.htm>
- Bowles, J.E., 1988. Foundation Analysis and Desing. Mc.Graw-Hill Book Co. 4. th Edition.
- BSSC (Building Seismic Safety Council), 1997. NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures. Part 1, Provisions (FEMA 302), Building Seismic Safety Council, 334 p.
- Burdur Depremi 3 Ekim 1914, 2013. Erişim Tarihi: 22.04.2013. http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/Depremler/onemliler/16_03_2011_Kizilkaya_Burdur_Depremi.htm
- Canadian Manual, 1975. Foundation Engineering. Canada Printing and Publishing, 318 p, Ottawa, Canada.
- Çekmen, V., 2009. Kayma Direnç Parametrelerinin Sismik Hızlar İle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, 101s, Isparta.
- CEN, 2004. Eurocode 8—design of structures for earthquake resistance. Part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings. European Standard EN 1998-1, December 2004, European Committee for Standardization, Brussels.
- Çinicioğlu, F., 2005. Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı. İMO İstanbul, 21-22.
- Das, B.M., 1999. Shallow Foundations Bearing Capacity and Settlement. CRC Pres, 364, London NewYork Washington.

- Day, R.W., 2004. Geoteknik Deprem Mühendisliği El Kitabı. Çev. Mollamahmutoğlu, M., Kayabalı, K. Gazi Kitabevi, 600s, Ankara.
- DeBeer, E.E., 1970. Experimental determination of the shape factors of sand, *Geotechnique*, 20(4), 307.
- Denham, D., Small, G.R., Everingham, I.B., 1973. Some strong-motion results from Papua New Guinea 1967–1972. *Proceedings of Fifth World Conference on Earthquake Engineering*, 2, 2324–2327.
- Douglas, J., 2011. Ground-Motion Prediction Equations 1964–2010. Pacific Earthquake Engineering Research Center University of California, Berkeley, Peer 2011/102 April, Geosciences for a Sustainable Earth Brgm, 443, California.
- Ercan, A., 2011. Güvenli Taşıma Gücünün (Zemin Emniyet Gerilmesinin) Jeofizikten Bulunması, Uygun Yapı Temeli Tasarımı. *Jeofizik Mühendisleri Bülteni*, Nisan (2011), 82-99.
- Erken, A., Özay, R., Kaya, Z., Ülker, M.B.C., Elibol, B., 2004. Depremler Sırasında Zeminlerin Sıvılaşması ve Taşıma Gücü Kayıpları. *TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri*, 431(3), 23-26.
- Esteva, L., 1970. Seismic Risk and Seismic Design Decisions. *Seismic Design for Nuclear Power Plants*, MIT Press, 142-182.
- Esteva, L., Villaverde, R., 1973. Seismic risk, design spectra and structural reliability. *Proceedings of Fifth World Conference on Earthquake Engineering*, 2, 2586–2596.
- Esteva, L., 1974. Geology and probability in the assessment of seismic risk. In: *Proceedings of the 2nd International Conference of the Association of Engineering Geology*.
- Geometrics inc., 2003. OYO inc. SeisImager manual, version 3.
- Gördesli, F., 2012. Sismik Hızlardan Taşıma Gücünün Saptanması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Semineri, 40s, Isparta.
- Gündüz, Z., Arman, H., 2005. Zemin Davranışına Uygun Yapı Tasarımı İlkeleri ve Uygulanabilirliği. *Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005*, 1237-1243.
- Gürdal, M.İ., Yılmaz, H., 2009. Gelendost Jeoteknik Etüt Raporu. 32s.
- Gürer, C., 2007. Yapı Teknolojileri-I Dersi Temel Sistemleri. T.C. Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü. Erişim Tarihi: 02.04.2013. http://www.cahitgurur.com/FileUpload/ks172985/File/yapi_teknolojileri_i_ders_4.pdf

- Hansen, J.B., 1970. A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity. Bulletin No. 28, Danish Geotechnical Institute, Copenhagen.
- Imai, T., Yoshimura, M., 1975. The Relation of Mechanical Properties of Soils to P and S Wave Velocities for Soil Ground in Japan. Oyo Corporation.
- Inan, E., Colakoglu, Z., Koc, N., Bayulke, N., Coruh, E., 1996. Earthquake Catalogs with Acceleration Records from 1976 to 1996 General Directorate of Disaster Affairs, Earthquake Research Department, 98 pp., Ankara, Turkey.
- Jain, S., 1987. Amplitude – Vs – Ofset Analysis: A Review With Reference to Application in Western Canada. Journal of the Canadian Society of Exploration Geophysicists, 23, 27-36.
- Kanai, K., 1961. An Empirical Formula for the Spectrum of Strong Earthquake Monions. Bulletin Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Vol.39, 85-95.
- Kaplan, S.A., 2009. Depremin Yıkamadığı Yapılar. Erişim Tarihi: 13.01.2013. http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/277c768aae57c2f_ek.pdf?dergi=145
- Keçeli, A., 1990. Sismik Yöntemlerle Müsaade Edilebilir Dinamik Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması. Jeofizik, 4(2), 83-92.
- Keçeli, A., 2000. Sismik Yöntemle Kabul edilebilir veya Güvenli Taşıma Kapasitesi Saptanması. Jeofizik, 14(1-2), 61-72.
- Keçeli, A., 2009. Uygulamalı Jeofizik. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları, 479s. Ankara.
- Keçeli, A., 2010. Sismik Yöntem ile Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması. Jeofizik Bülteni, 22(63), 65-76.
- Keçeli, A., 2012. Soil Parameters Which Can Be Determined With Seismic Velocities. Jeofizik, 16(1), 17-29.
- Krinitzsky, E.L., Gould, J.P., Edinger, P.H., 1993. Fundamentals of Earthquake Resistant Construction. John Wiley, New York.
- Kumbasar, V., Kip, F., 1984. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği. Çağlayan Kitapevi, 350, İstanbul.
- Kurtuluş, C., 2000. Sismik Yöntemle Belirlenen Ampirik Taşıma Gücü Bağıntısı ve Uygulaması. Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, 6, 51-59.
- Kuzu, C., 2013. Patlatma İşlerinde Ortaya Çıkan Çevresel Etkiler. Erişim Tarihi: 13.01.2013. <http://web.itu.edu.tr/~kuzu/pro/part1.html>

- McGuire, R.K., 1978. Seismic ground motion parameter relations. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 104(GT4), 481–490.
- Meyerhof, G.G., 1963. Some Recent Research on The Bearing Capacity of Foundations, Canadian Geotech. J., 1(1), 16.
- Meyerhof, G.G., 1965. Shallow Foundations. State of the Art Review Paper, Proc. ASCE, V.91.
- Meyerhof, G.G., 1974. Ultimate Bearing Capacity of Footing on Sand Layer Overlying Clay. Canadian Geotechnical Journal, 11, pp. 223-229.
- Milne, W.G., Davenport, A.G., 1969. Distribution of Earthquake Risk in Canada. Bulletin of The Seismological Society of America, 59(2), 729–754.
- Muratoğlu, Ö., Özkan, Ö., 2005. Zemin Sınıfları ve Deprem Bölgelerinin Bina Yatay Yüklerine Etkisi. Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart 2005, 1097-1104.
- Önalp, A., 1983. İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi. T.C. Karadeniz Üniversitesi, 1225s, Trabzon.
- Özçep, F., Üstüner, V., Yener, S., 2006. Zemin Tasıma Gücünün Dinamik Etkiler İle (Deprem İvmesi) Değişimi : İstanbul Zeminlerinden Örnekler. Türkiye 17. Uluslar Arası Jeofizik Kongre ve Sergisi, 14-17 Kasım 2006, 1-4.
- Özçep, F., 2013. Deprem Risk Analizi. Erişim Tarihi: 13.01.2013. <http://www.istanbul.edu.tr/eng2/jfm/ozcep/zemin/depremdersnot.pdf>
- Pickett, G.R., 1963. Acoustic Character Logs and Their Applications in Formation Evaluation. 1. Can. Petr. Tech, 15, 659-667.
- Prandtl, L., 1921. Über Die Eindringungs-Festigkeit Plastischer Baustoffe Und Die Festigkeit Von Schneiden, Z. Ang. Math. Mech., 1(1), 15.
- Rankine, W.J.M., 1857. On the Stability of Loose Earth, Phil. Trans. Roy. Soc. London, 147.
- Reissner, H., 1924. Zum Erddruck Problem. In Proc., First Intl. Conf. Appl. Mech., Delft, The Netherlands, 295.
- Sanglerat, G., 1972. The Penetrometer and Soil Exploration, Elsevier Publ. Co., Amsterdam.
- Seed, H.B., Idriss, I.M., Kiefer, F.W., 1969. Characteristics of Rock Motion During Earthquakes. Journal of the Soil Mechanics & Foundations Division, ASCE, 9 (SMS).
- Seed, R.B., 1991. Liquefaction Manual. Course Notes for CE 275: Geotechnical Earthquake Engineering, College of Engineering, University of California, Berkeley.

- Skempton, A.W., 1951. The Bearing Capacity of Clays. Proceedings, Building Research Congress, London.
- Tatham, R.H., 1982. Vp/Vs and Lithology. Geophysics, 47, 336-344.
- T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD) Ulusal Yer Hareketi Gözlem Ağı, 2012a. Kuvvetli Yer Hareketi Gözlemleri Çalışma Grubu. Erişim Tarihi: 11.11.2012. <http://kyh.deprem.gov.tr/index.htm>
- T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD) Ulusal Yer Hareketi Gözlem Ağı, 2012b. Kuvvetli Yer Hareketi Gözlemleri Çalışma Grubu. Erişim Tarihi: 11.11.2012. http://kyh.deprem.gov.tr/rapor/20120503_ML5_4_Kutahya_Simav_Deprem_Formu.pdf
- T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD) Ulusal Yer Hareketi Gözlem Ağı, 2012c. Kuvvetli Yer Hareketi Gözlemleri Çalışma Grubu. Erişim Tarihi: 11.11.2012. http://kyh.deprem.gov.tr/rapor/20120607_ML5_1_MarmaraDenizi_Deprem_Formu.pdf
- T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD) Ulusal Yer Hareketi Gözlem Ağı, 2012d. Kuvvetli Yer Hareketi Gözlemleri Çalışma Grubu. Erişim Tarihi: 11.11.2012. http://kyh.deprem.gov.tr/rapor/20120610_ML6_0_FethiyeAciklari_Deprem_KYH_Formu.pdf
- T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD) Ulusal Yer Hareketi Gözlem Ağı, 2013a. Kuvvetli Yer Hareketi Gözlemleri Çalışma Grubu. Erişim Tarihi: 04.02.2013. http://kyh.deprem.gov.tr/rapor/20130108_ML6_2_Ege_Denizi_Deprem_KYH_Formu.pdf
- T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı (AFAD), 2013b. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası Hakkında Açıklamalar. Erişim Tarihi: 13.01.2013. <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/haritaaciklama.aspx>
- TDY (Türk Deprem Yönetmeliği), 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Esaslar. AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı, p.159 Ankara/Turkey.
- Terzaghi, K., 1925. Structure and Volume of Voids of Soils, Pages 10, 11, 12, and part of 13 of Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer Grundlage, Translated by A. Casagrande in from Theory to Practice in Soil Mechanics, New York, John Wiley and Sons, 1960, 146-148.
- Terzaghi, K., 1943. Theoretical Soil Mechanics. Wiley Publishing, New York, USA.

- Terzaghi, K., Peck, R.B., 1948. Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley and Sons Inc. N.Y.
- Terzaghi, K., Peck, R.B., 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice. Second Edition, John Wiley and Sons, London.
- Tezcan, S., Keçeli, A., Özdemir, Z., 2006. Kayma Dalgası Hızı Yardımı ile Zemin Emniyet Gerilmesi Tayini. Şantiye Dergisi, 214, 102-105.
- Tezcan, S., Özdemir, Z., 2006. Sismik Yöntem ile Zemin Emniyet Gerilmesi Tayininde Temel Boyutları. Şantiye Dergisi, 217, 106-108.
- Tezcan, S., Keçeli, A., Özdemir, Z., 2007. Zemin ve Kayaçlarda Emniyet Gerilmesinin Sismik Yöntem ile Tayini. Dünya İnşaat, 01, 90-95.
- Tezcan, S., Keçeli, A., Özdemir, Z., 2008. Zemin ve Kayaçlarda Emniyet Gerilmesinin Sismik Yöntem ile Belirlenmesi. Şantiye Dergisi, 244, 122-125.
- Tezcan, S., Özdemir, Z., 2011. A Refined Formula for the Allowable Soil Pressure Using Shear Wave Velocities. The Open Civil Engineering Journal, 5, 1-8.
- Tezcan, S., Özdemir, Z., 2012. A Refined Formula for the Allowable Soil Pressure Using Shear Wave Velocities. Journal of Civil Engineering and Architecture, 6(4), 470-478.
- Thonen, J.R., Windes, S.L., 1942. Seismic Effects of Quarry Blasting. Bulletin 441, US Bureau of Mines, Washington, DC. 83 pp.
- Tohumcu, P., Kılıç, H., Özaydın, K., 2003. Yerel Zemin Koşullarının Depremler Sırasında Yapısal Davranış Üzerinde Etkileri Yönünden Sınıflandırılması. Araştırma Makalesi, YTÜD, 2003/4, 85-101.
- Tosun, H., 1989. Temel Zemini Taşıma Gücü. DSİ, 140s, Ankara.
- Türker, E., 1988. Zemin Taşıma Gücünün Sismik Yöntemlerle Saptanması. Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 205s. Isparta.
- Türker, E., 2004. Computation of Ground Bearing Capacity from Shear Wave Velocity. Continuum Models and Discrete Systems, 173-180, Kluwer Academic Publisher, Netherland.
- Ulusay, R., Tuncay, E., Sönmez, H., Gökçeoğlu, C., 2004. An Attenuation Relationship Based on Turkish Strong Motion Data and Iso-Acceleration Map of Turkey. Engineering Geology, 74, 265-291.
- Uyanık, O., 2009. Yerinde Sismik Hızları Belirleme Teknikleri Dinamik Parametreler ve Mikrobölgeleme Kurs Notları, Süleyman Demirel Üniversitesi MMF Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 80s, Isparta.

- Uyanık, O., Çekmen, V., 2009. Kayma Direnç Parametrelerinin Sismik Hızlar ile Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, Proje No: 1625-yl-08, Isparta.
- Uyanık, O., 2010. Compressional and Shear-Wave Velocity Measurements in Unconsolidated the Top-Soil and Comparison of the Results. International Journal of the Physical Sciences, 5(7), 1034-1039.
- Uyanık, O., 2011. The Porosity of Saturated Shallow Sediments from Seismic Compressional and Shear Wave Velocities. Journal of Applied Geophysics, 73(1), 16-24.
- Uyanık O., Gördesli F., 2012. Examination of Bearing Capacity from Seismic Velocities. International Construction Congress, 2012 ICONC2012-SDÜ, 108.
- Uzuner, B.A., 2013. Temel Mühendisliğine Giriş. Erişim Tarihi: 27. 03. 2013. <http://insaat.balikesir.edu.tr/dokumanlar/tins/3.pdf>
- Venkatramaiah, C., 1993. Geotechnical Engineering. Third edition, John Wiley Eastern, New Delhi.
- Yağcı, B., 2013, Sıvılaşma. Erişim Tarihi: 13.01.2013. <http://insaat.balikesir.edu.tr/dokumanlar/gdm/geo7.pdf>
- Yenier, E., Erdoğan, Ö., Akar, S., 2008. Empirical Relationships for Magnitude and Source-To-Site Distance Conversions Using Recently Compiled Turkish Strong-Ground Motion Database. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17 2008, Beijing, China, 1-8.
- Yıldırım, S., 2002. Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı. Birsen Yayınevi, 466s, İstanbul.
- Yüzeysel Temellerin Taşıma Gücü. Erişim Tarihi: 10.04.2013. https://dosya.sakarya.edu.tr/Dokumanlar/2013/304/904766628_inm304_03_s_sebao_uyumluluk_modu.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Fatma Gül GÖRDESLİ

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 08.08.1986.

Medeni Hali : Bekâr

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : fatmagulgordesli@hotmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Konak 50. Yıl Lisesi, 2004

Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği, 2010

Yayınları

Uyanık O., Gördesli F., 2013. Sismik Hızlardan Taşıma Gücünün İncelenmesi, SDÜ Uluslararası Teknoloji Bilimler Dergisi 5(2), (Basımda).

Uyanık O., Gördesli F., 2012. Examination of Bearing Capacity from Seismic Velocities. International Construction Congress, 2012 ICONC2012-SDÜ, 108.

Gördesli, F., 2012. Sismik Hızlardan Taşıma Gücünün Saptanması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Semineri, s40, Isparta.