

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TAŞ KOLONU İLE SEÇİLEN BİR BÖLGEDEKİ ZEMİN
İYİLEŞTİRMESİNİN VAKA ANALİZİ**

ALİ AYTAÇ AYDEMİR

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TAŞ KOLONU İLE SEÇİLEN BİR BÖLGEDEKİ ZEMİN
İYİLEŞTİRMESİNİN VAKA ANALİZİ

ALİ AYTAÇ AYDEMİR

Doç. Dr. Utkan MUTMAN
Danışman, Kocaeli Üniv.
Prof. Dr. Safa Bozkurt COŞKUN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL
Jüri Üyesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 08.07.2019

ÖNSÖZ VE TESEKKÜR

Öncelikle beni Yüksek Lisans öğrencisi olarak kabul eden ve çalışmalarım süresince değerli öneri ve eleştirileri ile yönlendiren, araştırmalarımın her safhasında benden desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Utkan MUTMAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında her zaman yanımda olan ve manevi desteklerini benden esirgemeyen iş arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Son olarak tüm yaşantım boyunca, birçok fedakârlığa katlanarak beni bu günlere getiren ve sürekli yanımda olarak beni destekleyen değerli aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

Haziran – 2019

Ali Aytaç AYDEMİR

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TESEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
TABLolar DİZİNİ	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ÖZET.....	viii
ABSTRACT.....	ix
GİRİŞ	1
1. TAŞ KOLONLAR.....	2
1.1. Giriş	2
1.2. Taş Kolon İmalatı	2
1.2.1. Taş kolonlar nasıl imal edilir?	2
1.2.2. Taş kolonlar zemini nasıl iyileştir?.....	2
1.3. Taş Kolon İmalat ve Vibratörlü Sistemlerde Zemin İyileştirme Yöntemleri	3
1.3.1. Vibro kompaksiyon yöntemi	3
1.3.2. Vibro yer değiştirme yöntemi.....	4
1.3.2.1. Kuru yöntem	5
1.3.2.2. Islak yöntem	5
1.3.3. Vibro öteleme yöntemi	5
1.3.4. Darbeli yöntem ve vibratörler.....	6
1.4. İmalat Yöntemlerinin Karşılaştırılması	9
1.4.1. Islak üstten besleme yöntemi.....	9
1.4.2. Kuru üstten besleme yöntemi	9
1.4.3. Dipten beslemeli kuru vibro-yerleştirme yöntemi.....	9
1.5. Taş Kolon Elemanlarının Özellikleri.....	10
1.5.1. Taş kolon çapı.....	10
1.5.2. Taş kolonun boyu	10
1.5.3. Taş kolon içsel sürtünme açısı.....	11
1.5.4. Taş kolon malzemesi dane çapı dağılımı.....	11
1.6. Taş Kolon Tasarımı	12
1.6.1. Tasarım koşulları	13
1.6.2. Taşıma kapasitesinin artırılması	13
1.6.3. İyileştirilmiş zeminde oturma	14
1.6.3.1. Toprak seviyesinin oturması.....	14
1.6.3.2. Zeminlerin oturma nedenleri	15
1.6.4. İyileştirilmiş zemin parametreleri.....	15
1.6.5. İyileştirme faktörü hesabı	15
1.6.6. Kolon sıkışabilirlik etkisinin değerlendirilmesi	16
1.6.7. Derinlik etkisinin dikkate alınması.....	18
1.6.8. Uyumluluk kontrolleri	20
1.6.9. İyileştirilmiş zemin temellerinde oturma hesapları	21
1.6.10. Taş kolonlarla iyileştirilmiş zeminde taşıma gücü hesabı	23

1.6.11. Taş kolon grupları için göçme mekanizmaları	24
1.6.12. Birim hücre kavramı ve taşkolon yerleşimi	25
1.6.13. Gerilme konsantrasyonu	27
1.6.14. Taş kolonların taşıma gücü hesabı	28
1.6.15. Tekil taş kolonların taşıma gücü	28
1.6.16. Boşluk genişleme teorisi	30
1.6.17. Taş kolon gruplarının taşıma gücü	33
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	36
3. SEÇİLEN BİR BÖLGEDE TAŞKOLON UYGULAMASI	44
3.1. Genel Bilgiler	44
3.1.1. Geoteknik tasarım raporunun amacı ve içeriği	44
3.1.2. Köprü ve köprü mahaline ait açıklamalar	44
3.2. Taş Kolon İhtiyacı İçin Gerekli Laboratuvar Deneyleri Ve Arazi Ölçümleri	45
3.3. Mühendislik Jeolojisi ve İnceleme Alanında Geçilen Formasyonlar	46
3.4. İnceleme Alanında Yapılan Çalışmalar	49
3.5. Sondaj Çalışmaları	50
3.6. Arazi Deneyleri	51
3.6.1. Standart penetrasyon deneyi	51
3.6.2. Numune alımları	51
3.6.3. Presiyometre deneyi	51
3.7. Laboratuvar Çalışmaları	52
3.8. Seçilen Bölgedeki Taş Kolon Hesabı	53
3.8.1. Taş kolon hesap raporu	53
3.8.2. Plan	54
3.9. Arazi uygulaması resimleri ve ölçümleri	65
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
KAYNAKLAR	72
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER	76
ÖZGEÇMİŞ	77
EKLER	78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Vibratör kesiti	7
Şekil 1.2. Vibro-kompaksiyon prensibi ve yatay düzlemde vibratör ivmesinin oluşumu	8
Şekil 1.3. Üstten beslemeli ıslak vibro-yerdeğiştirme yönteminin uygulaması.....	9
Şekil 1.4. Dipten beslemeli kuru vibro-değiştirme yöntemi	10
Şekil 1.5. $3/1=su$ için iyileştirme faktörü grafiği	16
Şekil 1.6. $33.0=su$ için kolon sıkışabilirlik düzeltmesi eğrileri.....	17
Şekil 1.7. $33.0=su$ için derinlik etki faktörü.....	20
Şekil 1.8. Derinlik faktörü limit değerleri.....	21
Şekil 1.9. $33,0=su$ için kolon yük oranları	23
Şekil 1.10. Homojen zeminde tekil taş kolonun göçme mekanizmaları	23
Şekil 1.11. Taş kolona etkiyen farklı tipteki yükler	24
Şekil 1.12. Taş kolon gruplarının göçme mekanizmaları.	24
Şekil 1.13. Taş kolonlarda eşkenar üçgen dizilimi	25
Şekil 1.14. Birim hücre yaklaşımı.....	26
Şekil 1.15. Ekil bir kolon üzerindeki rijit bir plakaya etkiyen yük sonucunda kolonda oluşacak kabarma göçmesi modu.....	29
Şekil 1.16. Vesic (1972) silindirik boşluk genişleme faktörleri.....	32
Şekil 1.17. Taş Kolon grup analizleri.....	33
Şekil 3.1. Köprü planı ve bölgede yapılmış sondajlar	44
Şekil 3.2. Sondaj noktalarına göre yass grafiği.....	49
Şekil 3.3. Yaklaşım dolgusu	53
Şekil 3.4. Kare patern.....	54
Şekil 3.5. Vesic silindirik genişleme faktörleri	56
Şekil 3.7. İyileştirilen zemin için oturma süresi.....	59
Şekil 3.8. Radyal zaman faktörleri.....	61
Şekil 3.9. Likit limit-konsolidasyon katsayısı (cv) ilişkisi.....	61
Şekil 3.10. Sıkışacak zemin tabakası için düşey basınç ve gerilme dağılımı grafiği	62
Şekil 3.11. Sıkışacak tabakalar için idealize zemin profili	63
Şekil 3.12. Sonsuz uzunluktaki dolgu altındaki derinliğe göre değişen (1) tesir değerleri.....	64
Şekil 3.13. Yol dolgusu altındaki tabakalar için konsolidasyon hesapları.....	65
Şekil 3.14. Yol dolgusu altındaki oturma değerleri	65
Şekil 3.15. Yerinde ölçümler	66
Şekil 3.16. Çalışma alanı görseli.....	66
Şekil 3.17. Gece çalışmalarının devam ettiği günlerden bir durum tespiti	67
Şekil 3.18. Çalışma alanından görüntü	67
Şekil 3.19. Taş kolon için uygun malzeme	68
Şekil 3.20. Taş kolon borusu.....	68
Şekil 3.21. Taş kolon virrasyonu.....	69
Şekil 3.22. Taş kolonun ikinci kademesi	69

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Uygulamada yaygın olarak kullanılan taş gradasyonlar	11
Tablo 1.2. Farklı kolon malzemeleri ölçülmüş kayma direnci açıları.....	12
Tablo 3.1. Çok yumuşak kil	46
Tablo 3.2. Orta katı siltli kil	46
Tablo 3.3. Orta katı siltli kil	47
Tablo 3.4. Katı kil	47
Tablo 3.5. Çok katı kil	47
Tablo 3.6. Sert siltli kil.....	47
Tablo 3.7. Gevşek kum	47
Tablo 3.8. Orta sıkı kum	48
Tablo 3.9. Çok sıkı kum.....	48
Tablo 3.10. Yeraltı su seviyesi ölçümleri.....	48
Tablo 3.11. Sondaj kuyularına ait detaylar	50
Tablo 3.12. Laboratuvar deney programı.....	52
Tablo 3.13. Dolgu yükünden ötürü oluşacak ekstra gerilmeler	64

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

F_a	: Derinlik faktörü
W_s	: Zemin ağırlığı
W_{1c}	: Kolon malzemesi ağırlığı
P_c	: Temelden dolayı kolona gelen yük
P_s	: Temelden dolayı zemine gelen yük
P	: Temel yükü
K_{oc}	: Kolonun malzemesinin sükûnetteki toprak basıncı kat sayısı
D_c	: Kolon malzemesi tek boyutlu sıkışma modülü
D_s	: Zeminin tek boyutlu sıkışma modülü
m	: Taş kolonlara binen yük oranı
A_c	: Sıkıştırılma işleminden sonra taş kolonun alanı
A	: Birim hücreye ait toplam alan şeklinde
σ_s	: Yapışma özellikli zemin içindeki gerilim
n	: Gerilme konsantrasyon faktörü
D	: Sıkıştırılan taş kolonun çapı
s	: Merkezden diğer merkeze taş kolonlar arası mesafe
C_1	: Taş kolonların dizilimine göre belirlenen sabit bir katsayı
σ_c	: Taş kolon içindeki gerilme
K_p	: Pasif zemin basıncı
σ_3	: Nihai drenajsız yanıl gerilim
σ_{ro}	: Kolon üretiminden sonraki toplam radyal gerilim
E_s	: Zeminin elastik modülü
c	: Drenajsız kayma mukavemeti
σ_3	: Yanıl çevresel gerilim
φ_c	: Taş kolon içsel sürtünme açısı gerilim oranı,
c_u	: Kilin drenajsız kohezyonu (yapışkanlığı)
q	: Hesap derinliğindeki ortalama normal gerilim
F_c, F_q	: Boşluk genişleme faktörleri
E	: Zeminin elastisite modülü
φ_s	: Zeminin kayma mukavemeti açısı
c	: Zeminin yapışkanlığını
v	: Zeminin poisson oranı
q	: Göçme bölgesindeki ortalama normal gerilim
$[tg\varphi]_{avg}$: Komposit içsel sürtünme açısının tanjantı
c_{avg}	: Temelin altındaki kesme yüzeyinin komposit kohezyonu
c_a	: Alan değişim oranı
c_μ	: Taş kolon için gerilim konsantrasyon faktörü
σ_3	: Ortalama yanıl çevre basıncı
γ_s	: Yapışkan zeminin doygun veya ıslak birim hacim ağırlığı
B	: Temel genişliği
B	: Göçme yüzeyinin eğimi
c	: İyileştirilmemiş zemindeki drenajsız kesme dayanımı
A_2	: Taş kolonun alanı

A : Birim hücrenin alanı
 A_c : Tek kolonun desteklediği kil yüzey alanı(kolon etki alanı)
 σ_2 : Taş kolondaki gerilme
 $c\sigma_c$: Taş kolonu çevreleyen zemindeki gerilme



TAŞ KOLONU İLE SEÇİLEN BİR BÖLGEDEKİ ZEMİN İYİLEŞTİRMESİNİN VAKA ANALİZİ

ÖZET

Problemlili zemin koşulları projenin yapılabilirliğini etkiler ve önemli sorunlara yol açabilir. Bu durumlarda uygulanabilecek yollar arasında arazi zemin koşullarının iyileştirilmesi de yer almaktadır. Diğer tercih edilebilecek yollar ise; inşaat alanın değiştirilmesi, zeminin değiştirilmesi ya da tasarımın zemin koşullarına uygun hale getirilmesidir. Sorunlu zeminlerde yapılabilecek en iyi çalışma, farklı yöntemler ile öngörülen tasarım kriterlerine ulaşmakla birlikte üst yapının güvenli, fonksiyonel ve ekonomik olması gerekmektedir. Mevcut zeminin değiştirilmesi, proje yerinin değiştirilmesi veya geleneksel bir çözüm yöntemi olan derin temel uygulaması ile yapı yükleri daha aşağıdaki sağlam zemin tabakalarına aktarılması pek mantıklı ve ekonomik olmadığı tespit edilmiştir. Bu tespitler neticesinde problemlili zeminler ile ilgili olarak zemin iyileştirme yöntemleri kullanılmıştır.

Bu çalışmada da inceleyeceğimiz projede bulvar üzerinde pek çok tesise ait giriş-çıkış bulunmakta ve bu giriş çıkışlar için ayrılma ve katılma şeritleri de yapılmadığı tespit edilmiştir. Bu durum transit geçen trafiği tehlikeye atmakta ve yavaşlamalara neden olarak yoğunluk oluşturmaktadır. Ayrıca sinyal ile kesilen kavşaklar da gecikmelere neden olmaktadır. Yoğun olarak hizmet veren güzergahta, trafik sıkışıklığını azaltmak için köprülü kavşak tasarlanmıştır. Tasarlanan bu kavşak hem yaklaşım dolguları altındaki zeminin taşıma gücünü arttırmak hem de bu tarz köprü yapılarındaki en büyük problem olan dolgu-köprü arasındaki farklı oturmalari minimize edebilmek adına zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olan taş kolon uygulaması projelendirilmiştir.

Yapılan bu kavşak çalışması sırasında projelendirilen taş kolon oturma miktarının analizler sonucu tamamlanmasından sonra çıkan değerden daha fazla oturmasının gözlemlenen kısımdaki nedenleri irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Taş kolon, Zemin iyileştirme.

CASE ANALYSIS OF SOIL IMPROVEMENT IN A SELECTED REGION WITH STONE COLUMN

ABSTRACT

Problematic ground conditions affect the feasibility of the project and can cause significant problems. Improving the soil conditions are among the ways that can be applied in these cases. Other preferred methods are; changing the construction area, changing the floor or adapting the design to the floor conditions. The best work that can be done on problematic floors is to achieve the design criteria envisaged by different methods, but the superstructure should be safe, functional and economical. It has been determined that it is not logical and economical to change the construction floor, relocate the project site or transfer the building loads to the solid ground layers below by using the traditional foundation method which is a deep foundation application. As a result of these findings, soil improvement methods were used for problematic soils. In this study, we will examine the entrance-exit of many facilities on the boulevard and it was found that there are no separation and joining lanes for these entrances and exits. This situation jeopardizes the traffic passing through transit and causes deceleration, creating density. In addition, interrupted junctions by signal cause delays. In order to reduce traffic congestion, the junction serves as a crossroad. This junction is designed to increase the bearing capacity of the ground under the approach fillings and to minimize the different settlements between the filler-bridge which is the biggest problem in this type of bridge structures.

During this junction study, the reasons of the settlement of the stone column sitting more than the value obtained after the completion of the analyzes were examined.

Keywords: Stone column, ground improvement.

GİRİŞ

Mühendislik yapılarında temel sistemlerinin tasarımı ile ilgili olarak; uygulanan birçok yöntem ile zeminde oturma problemi ortadan kaldırılmakta, deprem durumunda mukavemeti azalan zeminler sağlamlaştırılmaktadır. Yapılan bu iyileştirmeler neticesinde ekonomik olmayan ve daha uzun sürede yapımı tasarlanan derin temeller yerine yüzeysel temel çözümleri tercih edilmeye başlanılmıştır. Uygulamada en çok kullanılan zemin ıslahı veya zemin iyileştirmesi ile ilgili taş kolonlar, derin karıştırma, ön ve fazla yükleme, dinamik kompaksiyon, kompaksiyon enjeksiyonu, çatlama-girme enjeksiyonu, jet enjeksiyonu, patlatma, geotekstil ile güçlendirme ile kimyasal enjeksiyon geoteknik çözümler arasında değerlendirilmektedir.

Her mühendislik yapısının zemin durumu ve problemi kendisine özgün bir problemdir. Farklı zemin yapıları, yeraltı suyunun durumu için farklı zemin iyileştirmesi yöntemleri tercih edilmeli ve her mühendislik yapısının zemin problemi kendi içinde incelenmelidir. Bu incelemelerde çok detaylı ve çok sayıda zemin etüdü ile birlikte arazi ve laboratuvar deneyleri kesinlikle yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmada yapımı tamamlanmış kamu kuruluşuna ait bir kavşak uygulamasında yapılan taş kolonlar ile zemin iyileştirmesi sonucu oturma sonuçları incelenmiş ve öneriler sunulmuştur.

1. TAŞ KOLONLAR

1.1. Giriş

Bu çalışmada taş kolonların malzeme ve imalat, imalat şekli, tasarım, tekil ve grup olarak ve yerleştirme özelliklerinin zemin iyileştirilmesine olan etkilerinin literatürde ki çalışmalar ve deneysel ölçüm ile okuyuculara sunulması, sektöre ve literatüre katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

1.2. Taş Kolon İmalatı

Taş Kolon ve vibrokomaksiyonla zemin stablizasyonu teknikleri, 1950'lerden bu yana yararlanılan tüm dünyada kabul edilmiş bir zemin stabilizasyonu prosedürüdür. Taş kolonlar, taşıma kapasitesinin arttırılması, oturma seviyelerinin azaltılması, sıvılaşmanın engellenmesi, şev stabilitesinin yükseltilmesi ve dolgu yerlerinde lateral yayılımın temizlenmesi gibi nedenlerle imal edilirler.

Taş kolon zemini iyileştirmesi için zeminin en az 4m altına, temellerinin inşası için hazır sıkıştırılmış bir çakıl tabakası yerleştirilebilir. Taş kolon inşa etmek yılın herhangi bir zamanında yapılabilir.

1.2.1. Taş kolonlar nasıl imal edilir?

Taş kolonlar, İlgili ekipman kullanan deneyimli uzmanlar tarafından imal edilir. Taş, zemini beslemek için titreşimli bir sondaya sahip bir ekskavatör kullanarak açılan dikey bir delgi içine yerleştirilir ve böylece taş kolon oluşturur.

1.2.2. Taş kolonlar zemini nasıl iyileştir?

Taş kolonlar, sıvılaşma miktarını ve sonuçlarını aşağıdaki şekillerde sınırlandırmaya yardımcı olur:

- Toprağın titreşim yoluyla yoğunlaştırılması ve toprağın taş ile beslenmesi ile
- Toprağı güçlendirerek, sert bir kompozit toprak kütlesi oluşturması ile

Böylece, sıvılaşmayan toprak kabuğu, dalgalanma, eğilme ve düzensiz zemin yüzeyindeki çökme olasılığından uzaklaşmış olur.

Ek olarak, taş kolonlar bazen toprağa sıvılaşmaya yol açabilecek aşırı su boşaltma basıncını azaltmaya yardımcı olmak için artan bir drenaj yolu sağlayabilir, böylece kolonlar bu gerçekleştiğinde sıvılaşmanın olumsuz sonuçlarını engelleyebilir. Taş kolonların bir avantajı da, inşaat için susuzlaştırma veya kazı gerektirmemesi ve tipik olarak kısa bir inşaat süresine sahip olmalarıdır. Taş kolonlar en iyi kumlu topraklara uygundur. Daha yumuşak topraklarda daha fazla konsantrasyonda ki taş kolonlar gerekir [1].

1.3. Taş Kolon İmalat ve Vibratörlü Sistemlerde Zemin İyileştirme Yöntemleri

Taş kolon imalatında başlıca iki ana yöntem söz konusudur. Islak, Üstten Besleme Yöntemi (Değiştirme ve Yer Değiştirme). Bu teknikte, püskürme suyu yumuşak malzemeyi çıkarmak, sonda deliğini dengelemek ve taş dolgu maddesinin vibratörün ucuna ulaşmasını sağlamak için kullanılır. Bu, derin titreşimli metotların en sık kullanılan ve en uygun maliyetli yöntemidir. Bununla birlikte, işlem tarafından oluşturulan bozulmaların kullanılması, bu yöntemin kapalı alanlarda veya çevreye duyarlı alanlarda kullanılmasını zorlaştırabilir. Kuru, Alttan Besleme Yöntemi (Yer Değiştirme) standart Vibro-Yedek Taş Kolonlar ile aynı vibratör sondalarını kullanır, ancak taş dolgu maddesini doğrudan vibratörün ucuna beslemek için bir besleme hunisi ve besleme borusu ile birlikte kullanılır. Alttan Besleme Vibro Değiştirme, vibratörün inşaat işlemi sırasında yerde kaldığı tamamen kuru bir işlemdir. Yıkama suyunun ortadan kaldırılması, bozulma oluşumunu ortadan kaldırarak tedavi edilebilecek alanların aralığını genişletmektedir. İşlem 80 feet derinliğe kadar mümkündür ve yeraltı suyunun varlığı ile engellenmez [2].

1.3.1. Vibro kompaksiyon yöntemi

Vibro Kompaksiyon, zayıf zemin koşullarında yapısal yükleri uygun seviyelere getirmek için kullanılacak bir zemin iyileştirme tekniğidir. Titreşimin etkisi, zemini birleştirir ve güçlendirir, inşaat için uygun olmayan kum gibi yapılaşmayan toprakları sıkıştırmaya yardımcı olur. Yapışkan topraklar titreşime yanıt vermediğinden, bu işlem bu zemin koşulları için uygun değildir.

Kazıklı temellere ve derzlere uygun maliyetli bir alternatif olabilir ve binalar, bentler, barajlar, tanklar, kuleler ve benzeri yapılar için kullanılabilir. Ancak, saha, gerekli olan tesisi barındıracak ve gerekçelendirecek kadar büyük olmalıdır. Sal temellerin inşasından önce gevşek kumları birleştirerek, bu yöntem kazıktan daha ekonomik olabilir.

Vibro Kompaksiyon, tasarlanan derinliğe nüfuz etmek için vinçten askıya alınmış bir vibratör kullanarak uygulanır. Su jeti, penetrasyona yardımcı olmak için sıklıkla kullanılmaktadır. Titreşimlerin enerjisi, daha yoğun olmalarını sağlayan toprak parçacıkları arasında hareket eden kuvvetleri azaltır.

Planlanan derinliğe ulaşıldığında, su basıncı (eğer jetler kullanılıyorsa) azaltılır ve vibratörün etrafındaki taban seviyesinden sıkıştırılarak kum dolgusu dökülür. Daha fazla dolgu ilave edildiğinde ve sıkıştırıldığında, vibratör, dolgu zemin seviyesine gelinceye kadar kademeli olarak çıkarılır. Vibro-sıkıştırma, derinliği 29 metreye kadar olan gevşek topraklarda kullanılabilir ve 500 kN / m²'ye kadar yatak basınçlarıyla sığ temellerin inşa edilmesini sağlar [3].

1.3.2. Vibro yer değiştirme yöntemi

Vibro Yer Değiştirme yapısal yükleri, uygunsuz zemin koşullarında uygun seviyelerde taşıyabilmek için kullanılan bir zemin iyileştirme tekniğidir. Bu teknik için kullanılacak bir başka terim vibro taş kolonlardır. Teknikte kullanılan titreşimin etkisi, zemini pekiştirerek ve güçlendirir, inşaat için uygun olmayan granül zeminlerin stabilizasyona yardımcı olur.

Binalar, bentler, barajlar, tanklar ve kuleler gibi yapılar için kullanılabilen temelleri ve derzleri doldurmak için uygun maliyetli bir alternatif yöntemdir. Sahanın, gerekli olan tesisi barındıracak ve işlevleri gerçekleştirebilecek kadar büyük olmalıdır.

Vibro değiştirme, zayıf topraklara taş kolonlar yerleştirmek, yük taşıma ve oturma kapasitelerini arttırmak için vinç askılı bir kuyu içi vibratör kullanarak yapılır. Vibratör genellikle 4 metre derinliğe kadar uzanabilir, ancak bazen tabakaların yoğun olması durumunda tasarım derinliğine kadar önceden başka yöntemlerle delgi yapılması gerekebilir. Vibro yer değiştirme iki yöntem halinde uygulanır.

1.3.2.1.Kuru yöntem

Zayıf toprak içinde istenen derinliğe kadar nüfuz edilir ve oluşan boşluğu vibratöre bağlı bir besleme borusundan taş aktarılır. Vibratör daha sonra taşı sıkıştırmak ve çevresindeki toprağa sıkıca kilitlenmesini sağlamak için titretilir. Yer seviyesine kadar inşa edilmiş bir kolon oluşturmak için art arda tekraren taş eklenir ve yine titreşimle sıkıştırılır.

1.3.2.2.Islak yöntem

Zayıf toprak içinde istenen derinliğe, titreşimler ve ayrıca vibratörün ucundaki su jeti ile nüfuz edilir. Taş malzeme vibratör çıkarıldıktan sonra açılan boşluğa doldurulur ve ardından taşı sıkıştırmak için titreşim verilir. Bu metot için, genellikle teçhizat için saatte 10,000-12,000 litre su temini gerekir.

Her iki yöntemde de, operatörlerin oluşabilecek sapmalara hızlı bir şekilde müdahale etmelerini sağlayacak, belirli parametreleri izleyen bilgisayarlar da kullanılmaktadır [4].

1.3.3. Vibro öteleme yöntemi

Vibro öteleme yönteminde (kuru yöntem), zemin içerisinde istenilen derinliğe kadar itilen sondanın zemini yanal olarak ötelemesi ile bir kuyu oluşturulur. Kuyu dibine indirilen sonda çıkarılır ve kuyu içerisine tabakalar halinde taş doldurulur. Her tabakanın doldurulmasının ardından sonda tekrar kuyuya indirilir ve probun uyguladığı kuvvet yardımı ile taşın düşey ve kuyu çeperine doğru sıkışması sağlanır. Sıkışmış bir taş kolon oluşturulan bu yöntemde, kuyu açılmasından taşın kuyu içerisine doldurulmasına kadar geçen süre içerisinde mevcut zeminin kendini tutabilmesi gerekmektedir. Vibro öteleme yöntemi ile taş kolon imalatı, Vibro yerdeğiştirme yöntemine göre daha mukavim ($c_u = 30 - 60$ kPa) ve yeraltı su seviyesinin daha derinlerde olduğu zemin koşullarında uygundur. Probon kuyudan geri çekilmeden, kuyu içerisine taş doldurulması işlemine dayanan ve dolayısıyla kuyu çeperinin taş ile doldurulması sürecindeki stabilite problemini ortadan kaldıran ve alttan beslemeli yöntem olarak adlandırılan bir diğer yöntem vibro öteleme yönteminin bir modifikasyonu olarak geliştirilmiştir [5].

1.3.4. Darbeli yöntem ve vibratörler

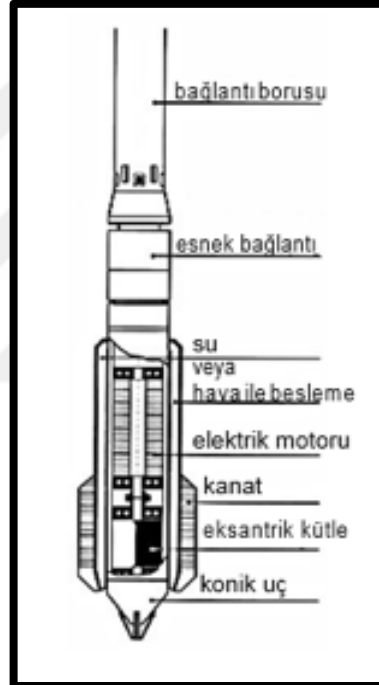
Darbeli Yöntem zayıf ve konsolide olmayan toprakları orta derinliğe kadar güçlendirmenin çok etkili bir yöntemidir. Darbeli işlem işlenmiş toprağın yoğunluk indeksi ve mekanik özelliklerinde belirgin bir iyileşme elde edilmesini sağlar. Mevcut toprağın daha iyi sıkıştırılmasını sağlamak, gücünü artırmak ve yerleşmesini azaltmak için gereken her yerde darbeli sıkıştırma teknolojisi uygulanabilir. Darbeli yöntem yaklaşık 60 ton ağırlığında, 5-12 ton hidrolik çekiçle donatılmış, yaklaşık 60 ton ağırlığındaki paletli ekskavatör alt takımındaki özel bir makine ile gerçekleştirilir, bu da yüksek frekansta 1,5 m çapında özel olarak imal edilmiş bir çelik ayakla sağlanır. Ayakları toprağa batmış olan makine sıkışmayı sağlamak için toprak katmanlarına darbelerle enerji iletir. Darbe kompaktörü genellikle darbenin bir zemin üzerinde kesin bir noktada yapılmasını sağlayan GPS yönlendirme sistemi ile ve sıkıştırma işleminin en önemli verilerini izleyen ve kaydeden elektronik kontrol modülü ile donatılmıştır.

Darbeli yöntem en çok kumlu topraklarda kullanılır. Kum, kumlu çakıl ve çakıl, darbe sıkıştırmasının nihai etkisini kabul edebilecek standart özelliklere sahip homojen toprak tabakalarıdır. Bu yöntem düzensiz sıkıştırma derecesi olan topraklar veya çok sayıda boşluk veya mağara bulunan alanlar için özel bir öneme sahiptir. Toprağın türüne bağlı olarak, sıkıştırmanın gerçek etkisi 4-6 m'ye kadar düşebilir.

Yapılan deneyler ve uygulamalar darbeli yöntemin, yapışkan toprakları, organik toprakları ve insan yapımı dolguları iyileştirmek ve endüstriyel atık lagünlerini, belediye ve maden atıklarını temizlemek için kullanılabileceğini göstermiştir. Bu tür topraklarda darbeli yöntem, çoğunlukla diğerlerinin yanı sıra geri dönüşümden gelen beton molozu ile doldurulmuş taş kolonlar oluşturmak için kullanılır. Darbe teknolojisi, düşük dayanımlı toprakların etkili şekilde güçlendirilmesine ve yaklaşık 3 m'ye kadar taş kolonların oluşturmalarına olanak verir. Daha yüksek toprak kalınlığı durumunda ve daha uzun kolonlar gerektiğinde, bir vince takılan ve 10-15 m'den düşürülen yaklaşık on beş tonluk bir tokmak kullanılır. Bu sayede kolonların uzunluğu neredeyse 5-6 m. artırılarak iki katına çıkarılabilir. Darbeli yöntem ile oluşturulan kolonlar çelik ayağa tekrar tekrar çekiçlenerek toprağa çakılarak yapılır. Bu şekilde 1,8 ila 2,5 m çapında ve iyileştirilen toprağın türüne bağlı olarak 0,80-1,0m derin krater yapılır. Krater daha sonra 20-120 mm'lik tane büyüklüğündeki

beton molozlarla doldurulur ve aynı noktada ardışık seyir yapılır. Düşük dayanımlı toprak kalınlığına ve gereken sütun uzunluğuna bağlı olarak, makine alt tabakada bir varil şeklinde taş kolon oluşana kadar birkaç kez çalıştırılır [6].

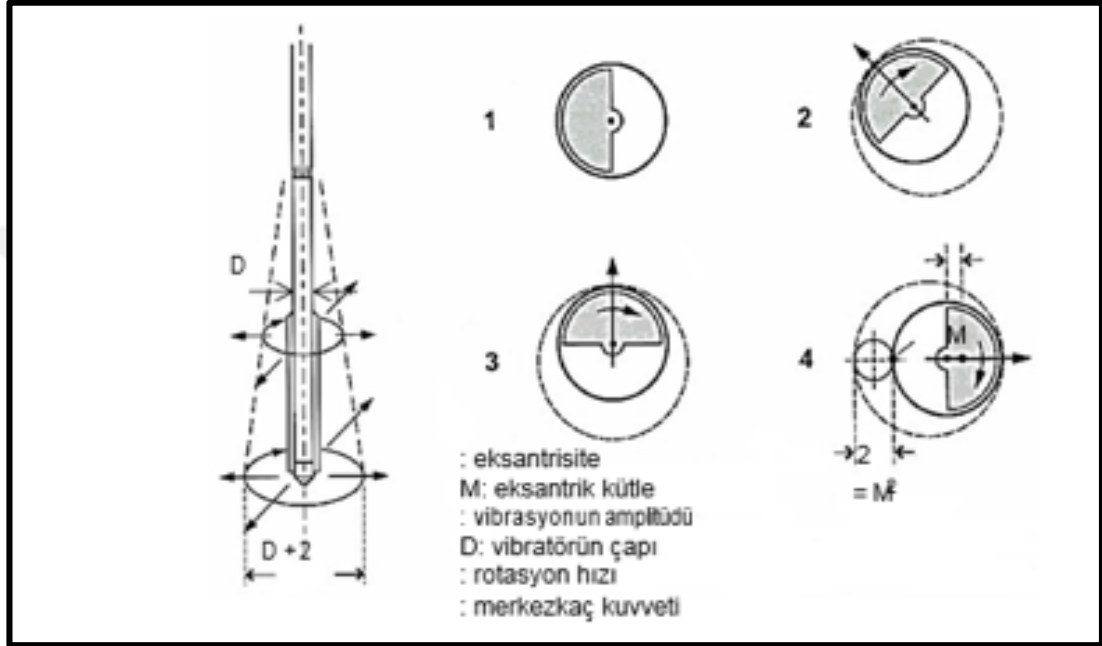
Granüler zeminlerin derinlik boyunca sıkıştırılmasında kullanılan vibratörler, çapları 300 mm ile 500 mm arasında değişen silindirik çelik tüplerdir. Tüpün tabanında eksantrik bir kütle ve üstünde kütleyle bağlı olduğu bir motor yer almaktadır. Vibratörlerin boyları 3 m ile 4,5 m arasında ve ağırlıkları 1,500 kg ile 4,500 kg arasında değişmektedir. Tipik bir vibratörün detaylarını gösteren kesit Şekil 1.1 'de verilmektedir.



Şekil 1.1. Vibratör kesiti

Vibratörün yatay düzlemdeki salınımının (osilasyonunun) eni, 2, vibratör boyunca Şek. 2.2'de gösterildiği gibi lineer olarak değişmektedir. "alınım, vibratörün esnek bağlantı ünitesinin üstünde sıfır, ve alt konik ucunda maksimum değere sahiptir. Maksimum değerler serbest salınım (havada asılı konumda) koşullarında 10 mm ile 50 mm arasında değişmektedir. "alınımın maksimum olduğu uç noktada ivme değeri de (2) maksimum değere ulaşmakta olup, bu değer 50g mertebesine kadar çıkabilmektedir. Burada; rotasyon hızı ve vibrasyonun amplitüdü olarak tanımlanmıştır.

Eksantrik kütlenin (M) rotasyonu esnasında yarattığı merkezkaç kuvveti ($= M\omega^2$) vibratörün temas halinde olduğu zemin yüzeyine darbe kuvveti olarak etkiyerek zeminin sıkışmasına neden olmaktadır. Vibratörün ağırlığına bağlı olarak merkezkaç kuvveti 150 kN ile 700 kN aralığında değişmektedir. Tablo 2.1.'de günümüzde kullanılan vibratörlerin özellikleri verilmektedir [7].



Şekil 1.2. Vibro-kompaksiyon prensibi ve yatay düzlemde vibratör ivmesinin oluşumu

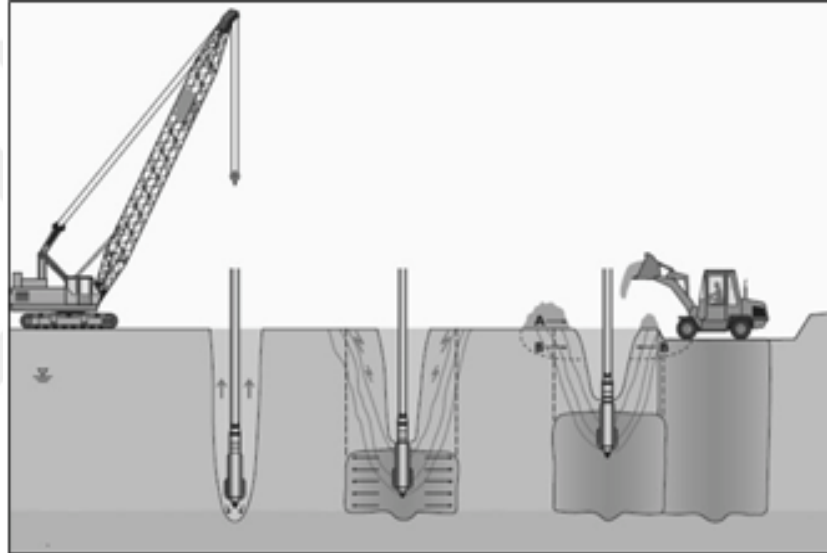
Vibratör tasarımındaki en önemli kriterlerden biri uygulama süresince zemine etkili olacak bir vibrasyon amplitüdünün sağlanabilmesidir. Vibrasyon amplitüdü, vibratör ile zemin etkileşimine bağlı olup farklı saha koşullarında, aynı sahada yatayda ve derinlik boyunca değişebilmektedir. Bu nedenle, operasyon esnasında vibratörün performansını izlemek, dolayısıyla zeminin sıkışmasının istenen düzeyde gerçekleşip gerçekleşmediğini kontrol etmek amacıyla sisteme bazı parçalar yerleştirilmektedir. Bu ekipmanlar operasyon süresince: vibratörün derinliğini motorlardaki akımın şiddetini (amperini) veya hidrolik basıncını operasyon frekansını hava veya su basıncını sürekli olarak kaydedebilmektedir.

1.4. İmalat Yöntemlerinin Karşılaştırılması

1.4.1. Islak üstten besleme yöntemi

Jet akışkanı olarak su kullanılır. Bu sayede, delginin hızlandırılması ve kuyu stabilitesi sağlanır. Bu yöntem ile en geniş taş kolon çapları elde edilir, daha sıkı ve sert zeminlere inilebilir.

Tüm zemin tiplerine uygulanabilir. Su temini sıkıntısı olmayan, özellikle büyük sahalar için idealdir. En yaygın, ekonomik ve hızlı yöntemdir.



Şekil 1.3. Üstten beslemeli ıslak vibro-yerdeğiştirme yönteminin uygulaması

1.4.2. Kuru üstten besleme yöntemi

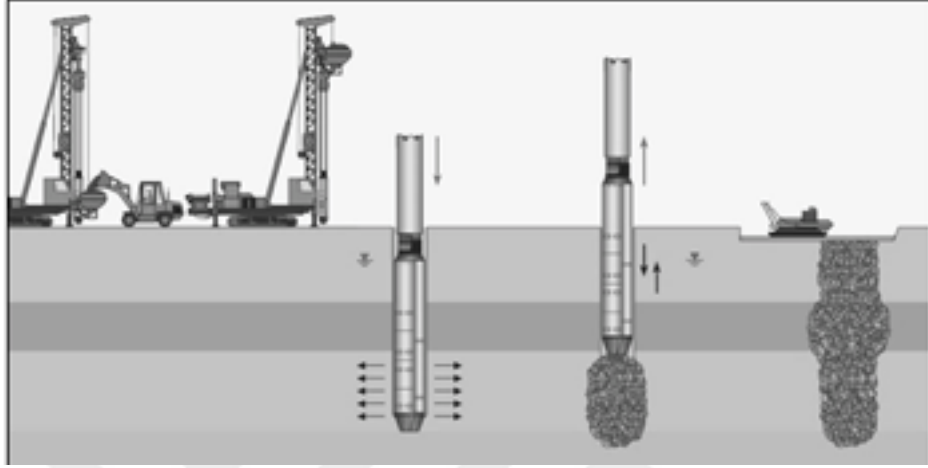
Bu yöntemde jet akışkanı olarak hava kullanılır. Bu sayede atık çamur oluşumu önlenmiş olur.

Kuyu çeperleri desteklenmediğinden, ancak kuyuların kendi kendine ayakta kalabildiği belli bir dayanım değerinin üzerindeki zeminlerde kullanılabilir. Uygulama alanları sınırlıdır.

1.4.3. Dipten beslemeli kuru vibro-yerleştirme yöntemi

Derin uygulamalarda vibratörün yüzeye çıkarılması aşamasında kuyudaki göçmeler oluşmakta ve kuyu stabilitesinin sağlanmasında sorunlar yaşanmaktadır. Bu nedenle

vibratörün kuyudan çıkarılmasını gerektirmeyen özel bir sistem geliştirilmiştir. Bu yöntem Dipten Beslemeli Kuru Vibro-Yerdeğiştirme Yöntemi olarak bilinmekte ve drenajsız kayma dayanımı düşük killerde de ($c_u \approx 10 \text{ kN/m}^2$) uygulanabilmektedir. Yöntemin uygulaması Şekil 1.4’de gösterilmektedir.



Şekil 1.4. Dipten beslemeli kuru vibro-değiştirme yöntemi

1.5. Taş Kolon Elemanlarının Özellikleri

Taş kolon elemanlarının çapları, boyları, içsel sürtünme açıları ve imalatta kullanılan malzemenin özellikleri aşağıda anlatılmaktadır.

1.5.1. Taş kolon çapı

Taş kolon elemanlarının çapı, uygulanan zeminin mukavemetine, imalat yöntemlerine ve uygulamada gerçekleştirilen sıkıştırma enerjisine önemli ölçüde bağlı olduğundan bu elemanların etkili çapları kesin olarak bilinmemektedir.

Vibro yer değiştirme ve vibro öteleme yöntemleri ile imal edilen kolonların çaplarının 100 cm civarında olduğu, tokmaklı yöntemle imal edilen kolonların çapları için 80 cm ya da daha küçük mertebelerde olduğu söylenebilir.

1.5.2. Taş kolonun boyu

Genellikle taş kolon elemanları ile zemin iyileştirme yönteminde, oturmaların azaltılabilmesi ve yüksek taşıma gücüne ulaşılabilmesi için kolon boylarının sağlam zemine kadar uzatılması istenir. Sağlam tabakanın derinlerde olması durumunda kolonlar yumuşak zemin tabakasında da sonlandırılabilirler ancak bu durumda taş

kolon herhangi bir uç mukavemetine sahip olamayacak ve yüzen kolon davranışı gösterecektir. Taş kolon elemanlarının sonlandırılacağı sağlam tabaka derinliği 6 m - 10 m civarında olduğu uygulamalar ile ekonomik bir çözüme ulaşılmış olur.

1.5.3. Taş kolon içsel sürtünme açısı

Taş kolon elemanları için içsel sürtünme açısı kullanılan malzemeye bağlı olmak üzere 40 ° ile 45 ° arasındadır [36]. Ancak, tasarım aşamasında güvenlik faktörünün dikkate alınmasıyla içsel sürtünme açısının 38 ° olarak kullanılması önerilir [20].

1.5.4. Taş kolon malzemesi dane çapı dağılımı

Taş kolon elemanlarının imalatında çapları 1,3 cm - 1,7 cm arasında değişen iyi derecelenmiş taş ve çakıl malzeme kullanılabildiği gibi, bu malzemelerin temininde zorlanıldığı durumda kırmataş malzeme de kullanılabilir. Eğer kırmataş ile imalat yapılacaksa, oturmaların azaltılabilmesi amacıyla malzemenin farklı dane çaplarından oluşturulması önerilmektedir [5].

Kolon teşkilinde bulunabilirlik, iyileştirilecek zemin koşulları ve uygulanacak yöntemle bağlı olarak değişik gradasyonda kırmataş veya doğal kum-çakıl malzemeler kullanılmaktadır. Kırma taşın ayrışmamış, sert, Los Angeles aşınma değerinin 5000 rotasyonda %45'ten az (ASTM C131) ve magnezyum sülfat direnci deneyinde (ASTM C88) ağırlık kaybının %15 'i aşmayan sert kayalardan elde edilmesi önerilmektedir. Uygulamada yaygın olarak kullanılan gradasyonlar Tablo 1.1'de verilmektedir [8]. Uygulamada 1 ve 2 nolu gradasyonların kullanılması tavsiye edilmektedir.

Tablo 1.1. Uygulamada yaygın olarak kullanılan taş gradasyonlar [8]

Elek Açıklığı (İnç)	Alternatif 1 Yüzde Geçen	Alternatif 2 Yüzde Geçen	Alternatif 3 Yüzde Geçen	Alternatif 4 Yüzde Geçen
4	-	-	100	-
3,5	-	-	90-100	-
3,0	90-100	-	-	-
2,5	-	-	25-100	100
2,0	40-90	100	-	65-100
1,5	-	-	0-60	-
1,0	-	2	-	20-100
0,75	0-10	-	0-10	10-55
0,50	0-5	-	0-5	0-5

Tablo 1.2. Farklı kolon malzemeleri ölçülmüş kayma direnci açıları [7]

Malzeme	ϕ_{cmaks}' (°)	σ_{3min} (kN/m ²)	ϕ_{cmin}' (°)	σ_{3maks} (kN/m ²)	Deney Türü
Kireçtaşı - Kırmataş	63,1	50	53,8	200	DS
Dere Çakılı	58,8	50	51,9	200	DS
Bazalt	70,0	8	51,1	120	TX
Kumtaşı	60,1	27	37,4	695	TX
Dolomit	64	15	43,0	500	TX

Darbeli yöntemle 0,65 m çaplı sıkıştırılmış taş kolonlar üzerinde yapılan plaka yükleme deneylerinde 10 mm – 50 mm aralığında gradasyona sahip kırmataş malzemelerin deformasyon modülü değerinin ortalama 39 MN/m² olduğu rapor edilmiştir [9]. Vautrain (1977) arazi deneyleri sonucu taş kolonlarda deformasyon modülünün 30 MN/m², Balaam (1978) 50 MN/m², Englehardt ve Kirsch (1977) 58 MN/m², Datye ve Nagaraju (1975) 48 MN/m² mertebesinde olduğunu rapor etmektedirler. Ortalama dane çapı 12,7 mm olan kireçtaşından elde edilmiş kırmataş malzemelerde yapılan üç eksenli basınç deneylerinde sürtünme direnci açılarının 41,5° ila 48,1° olduğunu, %50 sekant modülünün ise $E_{50}(N/m^2) = 8600(3)0,42$ korelasyonundan elde edilebileceğini rapor etmiştir [38,39,40,41].

Taş kolon malzemelerinin yeraltı suyundan kimyasal olarak etkilenmeyen ve vibratörün aşındırıcı titreşimlerinden ezilmeyecek/ufalanmayacak nitelikte olması gerekmektedir. Malzemenin gradasyonu kolonun sıkı bir konuma sıkıştırılabilmesine ve yüksek derecede geçirgenliğe sahip olmasını engellemeyecek nitelikte olması gereklidir. Avrupa normları EN 14371: vibratörlü derin sıkıştırma yöntemleri, EN 1097-2 ve EN 13450: kırmataş malzemelerin fiziksel özellikleri duraylı taş kolon malzemelerinin seçimi için gerekli özellikleri vermektedir.

1.6. Taş Kolon Tasarımı

Taş kolonların tasarımı elde edilmek istenilen iyileştirmeye göre seçilmelidir. Titreşim teknolojileri için tasarım kriterleri üç ana kategoriden birine veya birkaçına bağlıdır. Bunlar; Kesme Dayanımı, Oturma Kontrolü, Sıvılaşma Riski, olarak sıralanabilir. Bunların yanı sıra taşkolon tasarımında en önemli parametreler;

- Kolon çapı
- Kolon aralığı
- Kolon boyu
- Kolon malzemesinin rijitliği
- Kolon malzemesinin kayma direnci açısı

Tasarım için gerekli veriler;

- Toplam yük (Yapı, sürşarj, hareketli yükler, rüzgâr yükü ve deprem yükü),
- Zemin cinsi (Çeşitlilik, stratigrafi, yeraltı suyu konumu),
- Temel tasarımı,
- Yapı için izin verilebilir oturma miktarıdır [10].

1.6.1. Tasarım koşulları

Taş kolon tasarımında aşağıdaki koşullar idel olarak kabul edilmiştir.

- Kolonun dayanması için sert bir katman
- Sıkıştırılmaz kolon malzemesi
- Kolon ve toprağın kütle yoğunluğu ihmal edilmiştir

Bu koşulların sağlandığı kolon tasarımı idealde başarılı olur. Ancak yük binen alanda meydana gelecek bir oturma kolonun genişlemesine sebep olur [11].

1.6.2. Taşıma kapasitesinin artırılması

Taş kolonlar taşıma kapasitesini arttırmak ve zayıf veya yumuşak bir toprağın oturmasını azaltmak için kullanılmaktadır.

Taş kolon üzerinde toprak-çimento stabilize yatak oluşturulması yenilikçi bir Teknik olup taş kolonların kapasitesinin arttırılmasında kullanılmaktadır. Teknik kolaydır, ekonomiktir ve vasıflı emek gerektirmez. Teknik, kolon şişkinliğin boyutunu azaltır ve şişkinliğin derinliğini arttırmaktadır. Tekniğin uygulanması ile ilgili yapıpına deneysel ölçümlerde taşıma kapasitenin 5 kat artırılabilceği ve şişkinlik miktarının yüzde 25 oranında azaltılabileceği gözlenmiştir.

Taş kolonun taşıma kapasitesi normalde şişmenin derinliğine ve miktarına bağlıdır.

Eğer bir şekilde şişkinliğin derinliği artarsa, o zaman taş kolonun taşıma kapasitesi de arttırılmıştır. Birçok araştırmacı; Murugesan ve Rajagopal (2006), Chungsik Yoo (2010), Pulko ve diğerleri (2011), Keykhosropur ve diğerleri (2012), Fattah ve Majeed (2012), Deb ve Mohapatra (2013) ve diğerleri, şişkinlik miktarını azaltmak

ve şişkinlik derinliğini arttırmak için kullanılan geosentetik veya geogrid kaplı taş kolonların taşıma kapasitelerinin yüksek olduğunu bildirmişleridir [43,44,45,46,47,48].

Killi toprak zeminlerin yük taşıma kapasitesinin taş kolonların montajı ile arttığı, kapasitenin toprak-çimento stabilize yatak montajı ile ise daha da arttığı görülmektedir.

Taş kolonun kurulmasından sonra yumuşak toprağın taşıma kapasitesi neredeyse 2,5 kat artar ve toprak-çimento stabilizasyon yatağını taş kolonun üzerine yerleştirdikten sonra taşıma kapasitesi 5 kat daha artmaktadır [12].

1.6.3. İyileştirilmiş zeminde oturma

Yapının (dolayısıyla temelin) düşey yönde hareketidir. Yaş veya doygun zemin ortamının yüzeysel kısmının donması sonucu meydana gelen kabarma, şişen killerin su alıp şişmesi vb. yukarı doğru hareketi örnek verilebilir.

1.6.3.1. Toprak seviyesinin oturması

Oturma toprak zemin seviyesine (veya üst yüzeyine yakın bir seviyeden) uygulanan yüke bağlı olarak toprak zeminin seviyesinin sıkışması olarak tanımlanır. Toplam oturma üç bileşenden oluşur.

1. Ani veya elastik oturma
2. Birincil (primer) Konsolidasyon oturması
3. İkincil (seconder) konsolidasyon

Ani veya elastik oturma elastisite teorisi (zeminin elastisite modülü) kullanılarak hesaplanır.

Ani veya elastik oturma: Yük uygulanır uygulanmaz, zeminin düşük geçirirmliliğinden dolayı, hacim değişikliği olmaksızın meydana gelen oturmadır.

Birincil oturma: Suya doygun kil tabakasına aktarılan ek düşey gerilmelerden dolayı, zeminin boşluk suyu basıncı artar. Boşluk suyunun bir kısmı, zeminin düşük geçirirmliliğinden dolayı uzun sürede tabaka dışına çıkar işte, sabit bir gerilme altında, uzun sürede meydana gelen oturmadır.

İkincil konsolidasyon oturması: Ek boşluk suyu basıncının sönmesinden sonra, oturmanın sona ermesi gerekir ancak araştırmalar bazı durumlarda çok azda olsa zamanla devam ettiğini göstermiştir. İşte buna ikincil konsolidasyon oturması denir.

1.6.3.2.Zeminlerin oturma nedenleri

- Taneli zeminlerde meydana gelen titreşimler (depremler, kazık çakma işlemleri vb.) Yeraltındaki su akımlarının yol açtığı erezyon.
- Toprak kaymaları.
- Temel elamanlarının tahrip olması.
- Yer altı su düzeyinin alçalması veya indirilmesi.
- Zeminin yüklenmesi (Yapı,dolgu vb.) [13].

1.6.4. İyileştirilmiş zemin parametreleri

Yapışkan olmayan zeminlerde titreşimle sızdırmazlık derecesini artırarak zemini iyileştiren sıkıştırmanın aksine, zemin üzerinde iyi sıkıştırılmış ve iyi sınıflandırılmış granül malzemelerden, titreşim emici kolonlar oluşturulur. Burada sorun, yeni parametrelerin zeminde oluşturulan kolonun sıkıştırılmış taş malzemesiyle birleştirildiğinde ortaya çıkacak genişleme derecesinin belirlenmesinde yatmaktadır. Priebe'ye (1995) göre, taş kolonların davranışını belirlemek için geniş çaplı saha deneylerine ihtiyaç vardır. Bununla birlikte, ekstre etme derecesi, taş kolonla yumuşak zemin karşılaştırılarak belirlenebilir. Priebe'ye (1995) göre, yerleşim planının geometrisi ve dolgunun özellikleri göz önüne alındığında bunu belirlemek mümkündür. Priebe (1995) tarafından iyileştirilmiş zemin parametrelerinin belirlenmesi için önerilen yöntem aşağıda gösterilmiştir. Bu yöntemde, kolonun iyileştirme etkinliği, iyileştirilmiş zemin ve iyileştirilmemiş başlangıç zemin durumu ile karşılaştırılmış ve bir iyileştirme faktörü elde edilmiştir [14].

1.6.5. İyileştirme faktörü hesabı

Priebe (1995) tarafından ortaya konulan taş kolon tasarımı metoduna göre, kolonun form değiştirmeyen bir tabakaya yerleştirildiği ve kolon döşeme sisteminin sadece yatay deformasyonlar bağlı olduğu varsayılmıştır [14]. Kolon malzemesinin en baştan kesildiği varsayılsa da, zemin elastik özellik gösterirken, ilk yanal direncin, kolon üretimi sırasında zeminin yer değiştirmesinden dolayı sıvı durumuna (zeminin

yanal basınç katsayısının $K = 1$ olduğu) karşılık geldiği varsayılmaktadır. Buna göre, iyileştirme faktörü (n_0); aşağıdaki gibi sadeleştirilebilir,

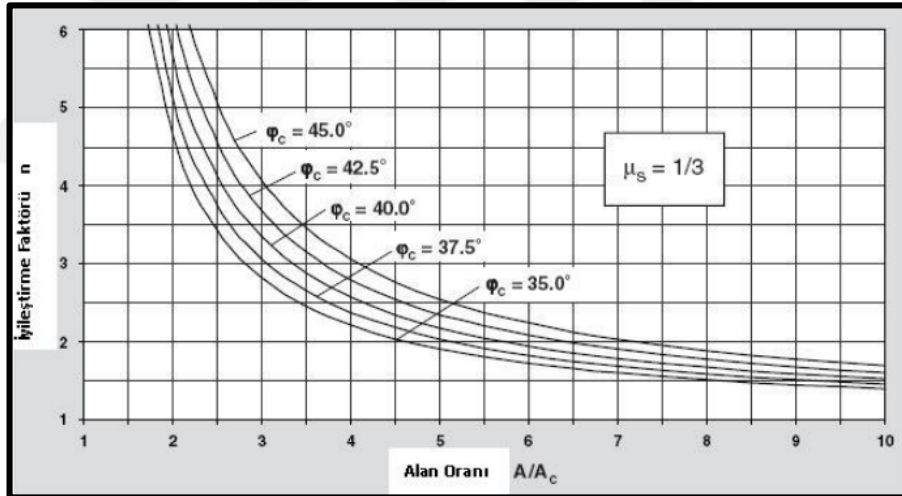
$$K_{AC} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi_c}{2} \right) \quad (1.1)$$

$$f \left(\mu_s, \frac{A_c}{A} \right) = \frac{(1-\mu_s)(1-\frac{A_c}{A})}{1-2\mu_s+\frac{A_c}{A}} \quad (1.2)$$

$$n_0 = 1 + \frac{A_c}{A} \left[\frac{1+f(\mu_s, A_c/A)}{K_{ac}f(\mu_s, A_c/A)} - 1 \right] \quad (1.3)$$

$$n_0 = 1 + \frac{A_c}{A} \left[\frac{5-A_c/A}{4K_{ac}(1-A_c/A)} - 1 \right] \quad (1.4)$$

İyileştirme faktörü n_0 ters alan oranı A/A_c ve kolon malzemesi içsel sürtünme açısı arasındaki bağlantı Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. $3/1=\mu_s$ için iyileştirme faktörü grafiği [14]

1.6.6. Kolon sıkışabilirlik etkisinin değerlendirilmesi

Sıkıştırılmış kolon dolgu malzemesi pratikte hala sıkışabilmektedir. Bu nedenle üzerine herhangi bir yük geldiğinde, kolonda dışarı doğru genişlemeyle ilgili olmayan oturmalar meydana gelecektir. Teoride oran 1 olarak kabul edildiğinde iyileştirme faktörünün sonsuz olacağı hesaplanmaktadır. Ancak gerçek durumda kolonun sıkışabilirlik oranına göre değişiklik göstermektedir. Priebe'a göre iyileştirme faktörü kolonun ve çevresindeki zeminin kendi aralarındaki tek eksenli sıkışma modülleri ($DCAA/c/Ds$) oranıyla sınırlıdır. Bu varsayım, kolonun

sıkışabilirlik özelliğinin iyileştirme faktörü üstündeki etkisini hesaplayabilmek için, hangi alan oranında iyileştirme faktörünün tek eksenli sıkışma modülleri oranına eşit olacağını belirlemek yeterli olacaktır. $\mu = 0,33$ için:

$$(A_c/A)_1 = -\frac{4K_{AC}(n_0-2)+5}{2(4K_{AC}-1)} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left[\frac{4K_{AC}(n_0-2)+5}{2(4K_{AC}-1)}\right]^2 + \frac{16K_{AC}(n_0-1)}{4K_{AC}-1}} \quad (1.5)$$

Kolon malzemesinin sıkışabilirliğini yaklaşık olarak dikkate almak için, alan oranına (A/A_c) aşağıdaki eklemeyi yaparak bir düzeltilmiş iyileştirme oranı bulunabilmektedir.

$$\Delta \left(\frac{A}{A_c} \right) = \frac{1}{\left(\frac{A_c}{A} \right)_1} - 1 \quad (1.6)$$

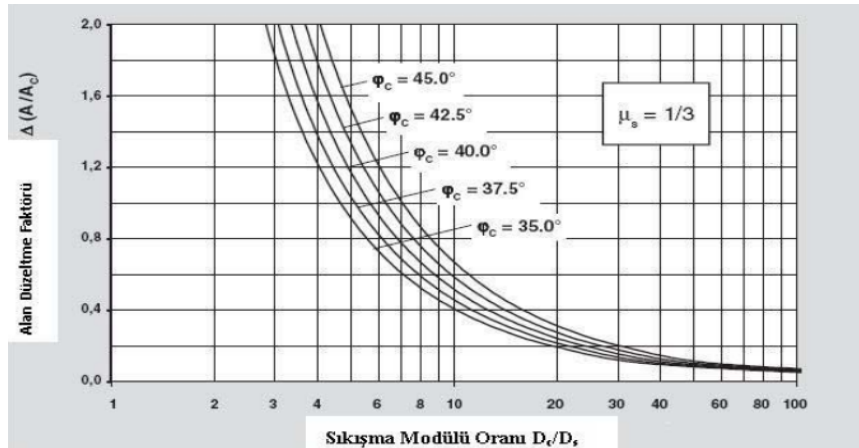
Düzeltilmiş alan oranı;

$$\left[\frac{\bar{A}_c}{A} \right] = \frac{1}{\frac{A_c}{A} + \Delta \left(\frac{A}{A_c} \right)} \quad (1.7)$$

Şeklinde elde edildikten sonra, düzeltilmiş iyileştirme faktörü hesaplanabilmektedir.

$$n_1 = 1 + \frac{\bar{A}_c}{A} \left[\frac{1 + f(\mu_s, \bar{A}_c/A)}{K_{ac} f(\mu_s, A_c/A)} - 1 \right] \quad (1.8)$$

Poisson oranı $0,33 = \mu_s$ olan zeminlerde değişik taş kolon malzemesi içsel sürtünme açıları ve tek eksenli sıkışma modülleri oranları için alan düzeltme faktörü grafiği Şekil 1.6'da gösterilmiştir.



Şekil 1.6. $0,33 = \mu_s$ için kolon sıkışabilirlik düzeltmesi eğrileri [14]

1.6.7. Derinlik etkisinin dikkate alınması

Kolonun ve zeminin birim hacim ağırlığını göz ardı etmek, kolonun dışı kısma doğru genişmesine neden olan (bulging) kolon ve zemin arasında meydana gelen ilk ever basınçlarındaki farkın yalnızca temelden gelen P yükünün, taş kolonlar ve zemin arasındaki dağılımına bağlı ve derinlik ile stabil olduğunu kabul etmek manasına gelmektedir. Realist bir bakış açısıyla, zeminin ve kolonun ağırlıklarını dışsal yüke eklemek gerekir. Bu ağırlıkların dikkate alınması ile başlangıçtaki basınç farkları derinlikle asimptotik olarak azalacak ve yanal genişlemenin de azalmasını sağlayacaktır. Başka bir ifadeyle derinlik arttıkça jeolojik yükün de artması sebebiyle kolonlar yanlardan da desteklenecek ve böylece taşıma kapasiteleri artacaktır. Basınç farkı, iyileştirme faktörünün sağlanmasında doğrusal olarak değişiklik gösteren bir parametre olduğu için, başlangıçtaki basınç farkı ile derinliğe bağlı olan farkın oranından faydalanılarak iyileştirme faktörü üzerinde bir düzeltme yapılabilecektir. Düzeltilmiş iyileştirme faktörü $n_2=f_d n_1$ olarak elde edilecektir. Örnek olarak basınç farkı miktarı başlangıç değerine nazaran %50 si kadar olan derinlikte, derinlik faktörü $f_d= 2$ olmaktadır. Derinlik faktörünün f_d derinlikle çizgisel olarak değişikliki yanal basınç çizgileri üzerinden değişen $(P_c+\gamma_c d)K_{ac}$ ve $(P_c+\gamma_s d)(K_s=1)$ hesaplanabileceği varsayılmaktadır. Bununla beraber, derinlikle yatay deformasyonların azalması ile kolonlardan, zemin basıncı aktif basınç katsayısı K_{ac} değerinden, K_{oc} değerine doğru değişmektedir. Basınç farkı olarak varsayılan doğrusal çizginin, var olan asimptotik çizgi ile kesiştiği derinlik seviyesine kadar öngörülen derinlik faktörü güvenli tarafta kalmaktadır. Pratikte iyileştirme derinliği bundan genellikle daha az olmaktadır.

$$f_d = \frac{1}{1 + \frac{K_{oc} \frac{W_s}{W_c} \frac{W_c}{P_c}}{K_{oc} \frac{W_s}{W_c} \frac{W_c}{P_c}}} \quad (1.9)$$

$$P_c = \frac{P}{\frac{A_c}{A} + \frac{1 - \frac{A_c}{A}}{\frac{P_c}{P_s}}} \quad (1.10)$$

$$\frac{P_c}{P_s} = \frac{\frac{1}{2} + f(\mu_s, \overline{A_c/A})}{K_{ac} f(\mu_s, \overline{A_c/A})} \quad (1.11)$$

$$W_c = \sum \gamma_c \Delta d \quad (1.12)$$

$$W_s = \sum (\gamma_s \Delta d) \quad (1.13)$$

$$K_{oc} = 1 - \sin \phi_c \quad (1.14)$$

$$n_2 = f_d n_1 \quad (1.15)$$

Burada;

Fa: Derinlik Faktörü

Ws: Zemin Ağırlığı

W_{1c}: Kolon Malzemesi Ağırlığı

P_c: Temelden Dolayı Kolona Gelen Yük

P_s: Temelden Dolayı Zemine Gelen Yük

P: Temel Yüğü

K_{oc}: Kolonun Malzemesinin Sükûnetteki Toprak Basıncı Kat sayısı olarak ifade edilir.

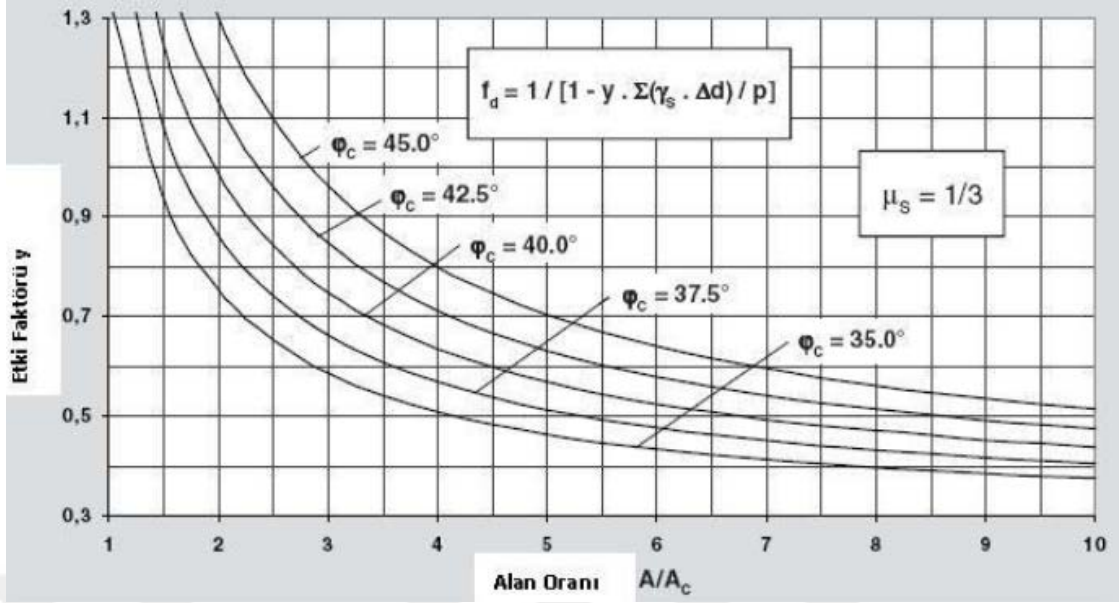
Şekil 1.6'da gösterilen basitleştirilmiş diyagramda, kolon malzemesi ve zemin için aynı birim hacim ağırlık değerleri kullanılmıştır. Güvenli yönde olmayan bu kabul nedeniyle daha düşük değere sahip olan zeminin birim hacim ağırlığı göz önüne alınmalıdır.

$$f_d = \frac{1}{1 + \frac{K_{oc}-1}{K_{oc}} \times \frac{W_c}{P_c}} = \frac{1}{1 + \frac{K_{oc}-1}{K_{oc}} \times \frac{\sum (\gamma_c \Delta d)}{P_c}} \quad (1.15)$$

Burada $W_c = \sum \gamma_c \Delta d$ ile ifade edilir. Fakat γ_c yerine γ_s değerinin kullanılması durumunda $W_c = \sum \gamma_s \Delta d$ olacaktır. $\gamma = \frac{1-K_0}{K_0}$ etki faktörü olarak tanımlanırsa, derinlik düzeltme faktörü aşağıdaki şekilde;

$$f_d = \frac{1}{1 + \frac{\gamma \sum (\gamma_s \Delta d)}{P_c}} \quad (1.16)$$

olarak elde edilir. Şekil 1.7 'de $33.0 = \mu$ için etki faktörünün (γ) alan oranı ve kolon malzemesi içsel sürtünme açısı ile değişimi gösterilmiştir.



Şekil 1.7. $0,33=\mu_s$ için derinlik etki faktörü [14]

1.6.8. Uyumluluk kontrolleri

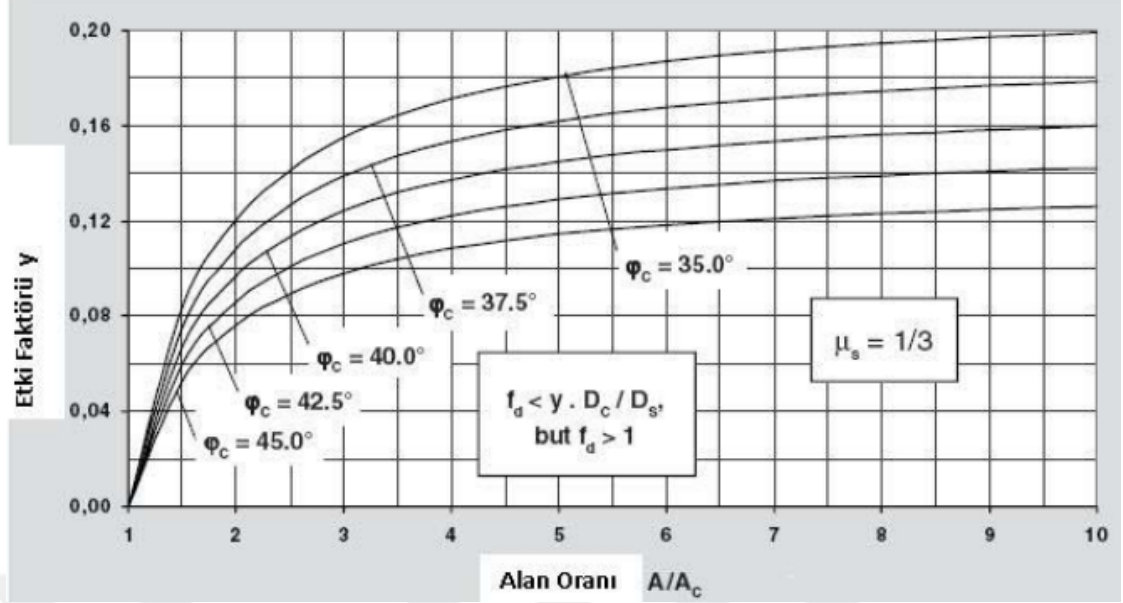
Uyumluluk kontrolü: Tasarım sırasındaki basit aşamalar matematiksel anlamda birbirleriyle ilintili olmayıp çeşitli basitleştirmeler ve varsayımlar içermektedir. Bu sebeple sınır yük pozisyonunda kolonların sıkışabilirliği ile bağlantılı olarak taşıyabilecekleri kapasiteden daha çok yüke maruz kalmaması için uyumluluk kontrolü yapılmalıdır. Derinlik fazlalaştıkça zemin vasıtasıyla sağlanan destek, kolonun bu aşamadan yanal olarak genişemeyeceği sınırlara ulaşır. Bununla beraber derinlik faktörü sonsuz şekilde artmaz. Bu sebeple ilk uyumluluk kontrolü derinlik faktörü sınırlarını belirlemek, böylece kolonu etkileyecek yük sınırlarını tespit etmek ve kolonun içsel sıkışabilirliği ile bağlantılı olarak meydana gelecek oturmanın, komposit sistemin oturma değerini geçmemesini sağlamak için yapılır. Bu kontrol özellikle arazideki zeminler oldukça sıkı ve katı olduğu zaman uygulanmalıdır. Derinliğe bağlı iyileştirme faktörü düzeltilmesinin sınır değeri;

$$f_d \leq \frac{D_c/D_s}{P_c/P_s} \quad (1.17)$$

Olmalıdır. Burada;

Dc: Kolon Malzemesi Tek Boyutlu Sıkışma Modülü

Ds: Zeminin Tek Boyutlu Sıkışma Modülü olmaktadır.



Şekil 1.8. Derinlik faktörü limit değerleri [14]

Şekil 1,8’de gösterilen grafiklerden alan oranı A/A_c ve kolon malzemesi içsel sürtünme açısına bağlı olarak etki faktörü y değeri bulunur ve bu değer kullanılarak derinlik faktörü $f_d < y \cdot \frac{D_c}{D_s}$ değeri kontrol edilir. Eğer derinlik faktörü $f_d < 1$ olarak hesaplanırsa göz önüne alınmamalıdır. Bu durumda zorunlu olarak iyileştirme faktörünün maksimum değeri ile alakalı ikinci bir uygunluk kontrolü gerekir. Bu kontrol ilk kontrolle benzerdir ve kolonların, her birine gelen yükten dolayı içsel sıkışabilirliklerinin neden olacağı oturmanın, çevreleyen zeminin oturmasını aşmamasını garantiler. İkinci kontrolün öncelikle arazide gevşek veya yumuşak zemin tabakalarının yer aldığı durumlarda uygulanması gerekmektedir.

$$n_{\text{maks}} = 1 + \frac{A_c}{S} \left(\frac{D_c}{D_s} - 1 \right) \quad (1.18)$$

1.6.9. İyileştirilmiş zemin temellerinde oturma hesapları

İyileştirilmiş zeminlerdeki kolonlar, taban alan oranı (A_c/A) ve iyileştirme faktörü (n)yle bağlantılı olarak uygulanan yükün belli bir kısmını taşımaktadır. Bu oranı $m = (n-1 + A_c/A)/n$ formülü ile hesaplamak mümkündür.

Buradaki; m : Taş Kolonlara binen Yük Oranı şeklinde ifade edilebilir.

Tavsiye edilen tasarım metoduna göre kolonların yanal yer değiştirme yapmalarından sonra zeminde meydana gelen hacim azalmaları göz önüne alınmamaktadır. Bu nedenle, özellikle yük alan oranlarında zemin, hesaplanandan daha çok yük taşıyabilmektedir. Kolonların kesme direncini reelde olması gerekenden daha çok miktarda almamak için, kolonların taşıdığı yük miktarı azaltılmalıdır. Priebe'a (1995) göre aşağıda tanımlanan yaklaşık bağlantı bu etkinin hesaba katılması için yeterli olacaktır [14].

Uygulanan yüklerin kolonlar ve çevre zemin arasında oranlanmasının sonrasında kompozit sistemin içsel sürtünme açısı aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır.

$$m=(n-1)/n \quad (1.19)$$

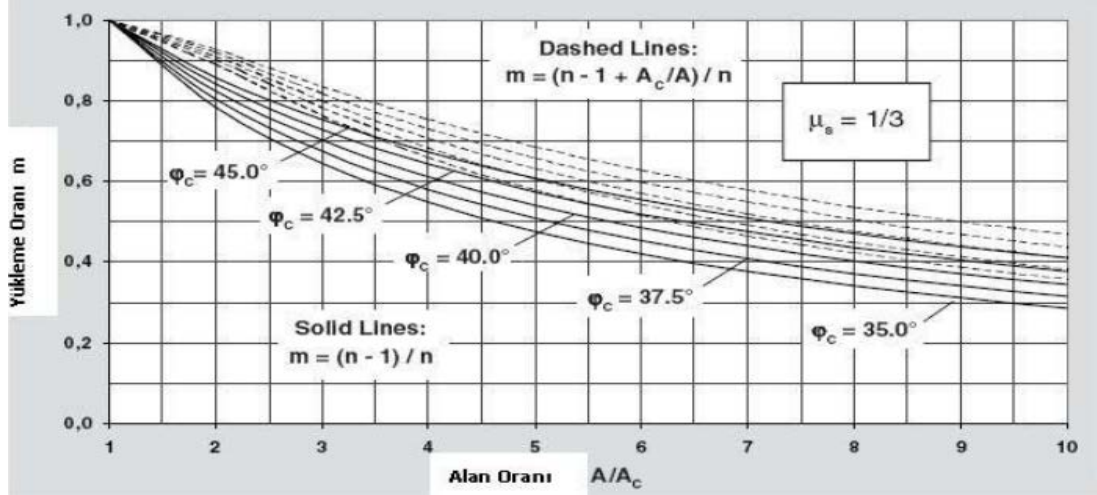
Kompozit zemine ait kohezyon ise;

$$c=(1-A_c/A)c_s \quad (1.20)$$

Bağıntısından hesaplanmaktadır. Kolonların imalatı sırasında çevre zemin örselenmekte ve yapısı bozulmaktadır. Bu yüzden Priebe kohezyonun yük oranlarına bağlı olarak değerlendirilmesini önermektedir. Bu şekliyle kompozit sistemdeki kohezyon değeri;

$$c'=(1-m')c_s \quad (1.21)$$

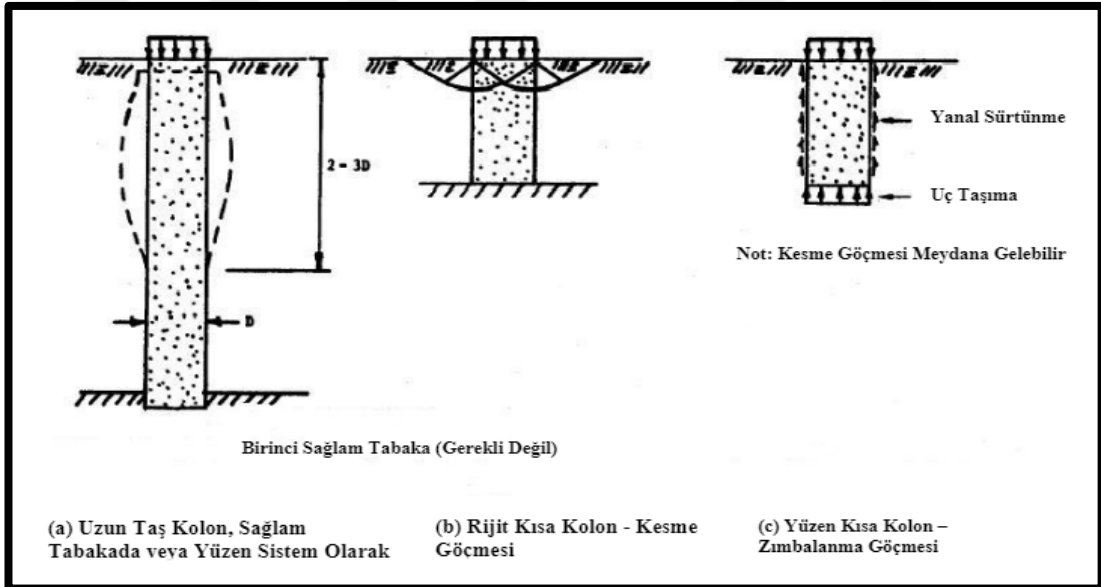
Bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Poisson oranı $33,0=\mu_s$ olan zeminlerde değişik alan oranları ve kolon içsel sürtünme açıları için kolonun taşıdığı yük oranlarının hesabına dair grafik Şekil 1.9'da gösterilmiştir.



Şekil 1.9. $0,33=\mu_s$ için kolon yük oranları

1.6.10. Taş kolonlarla iyileştirilmiş zeminde taşıma gücü hesabı

Tekil Kolon İçin Göçme Mekanizmaları: Taş kolonlar yumuşak zemin içinde üretilirken sağlam Zemin tabakasına kadar uzatılabilirler veya sağlam zemin tabakasına kadar uzatılmaksızın kolon ucu yumuşak tabaka içinde kalacak biçimde yüzen sistemler olarak üretilebilirler.



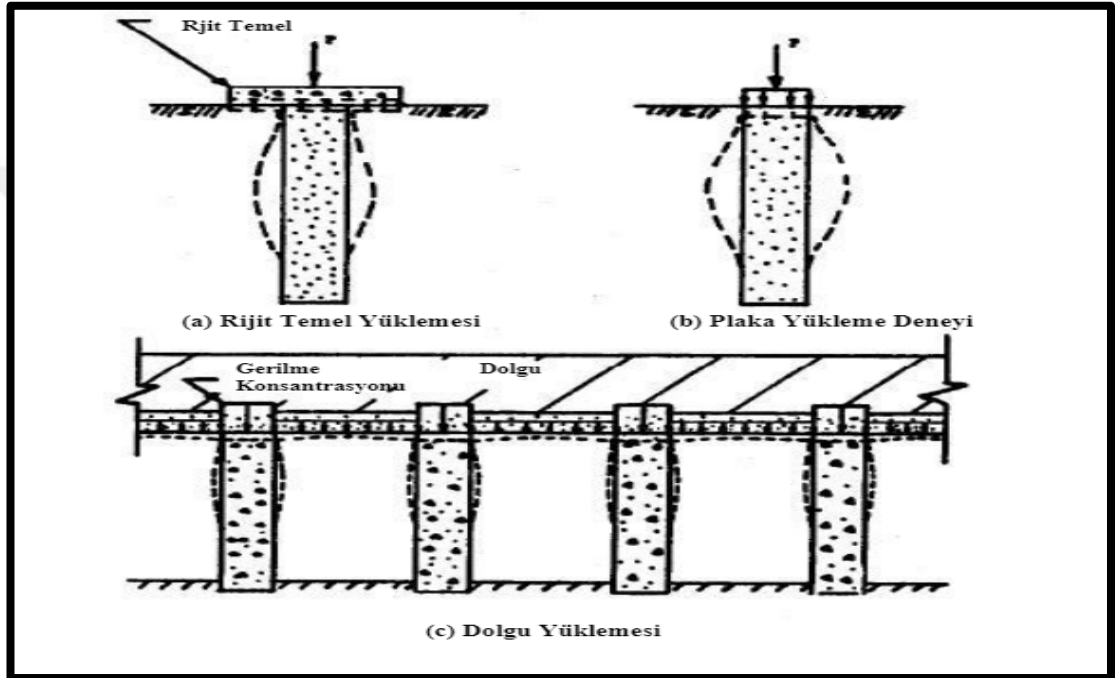
Şekil 1.10. Homojen zeminde tekil taş kolonun göçme mekanizmaları

Taş kolon sağlam tabakaya dek uzatılsa da veya yüzen bir sistem şeklinde üretilse de, eğer kolon uzunluğu fazla ise göçme malzemenin dış kısım doğru kabarması ve kolon çapında genişleme şeklinde olur. Eğer kolon çok kısa ise ve sağlam zemin tabakasına kadar inmiş ise, yüzey tabakada kolonu da kapsayacak şekilde genel ve

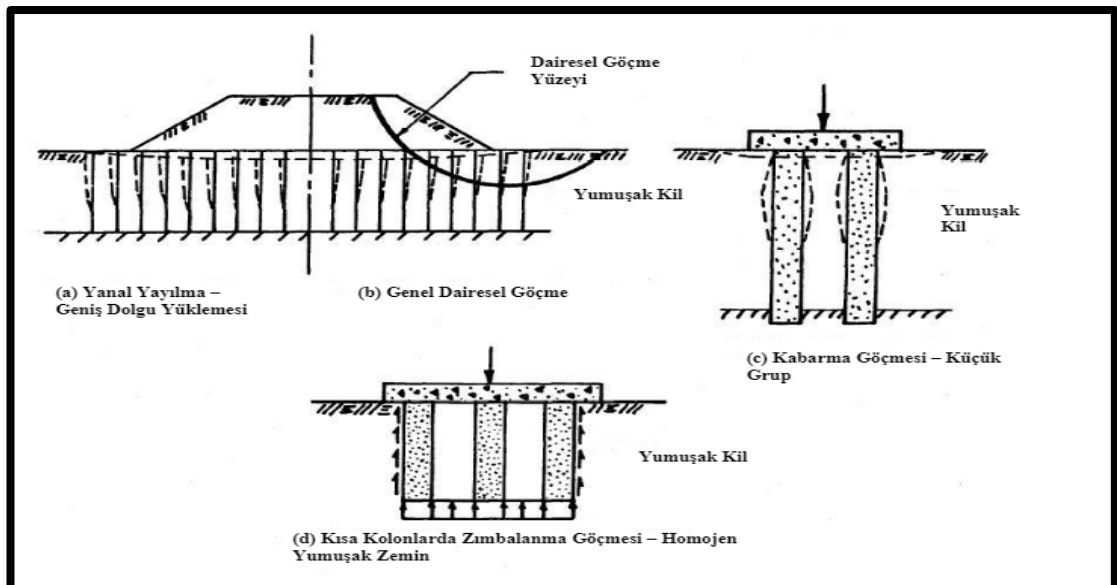
yerel göçmeler oluşabilir. Son olarak kolon kısa ise ve yüzen sistem şeklinde getirilmiş ise göçme uç kısımda oluşabilir.

1.6.11. Taş kolon grupları için göçme mekanizmaları

Tekil bir taş kolonun, taş kolon grubu ile karşılaştırılması halinde, nihai yük bindirme kapasitesi grup içindeki bir kolona göre az bir miktar daha düşük olduğu görülür.



Şekil 1.11. Taş kolona etkiyen farklı tipteki yükler

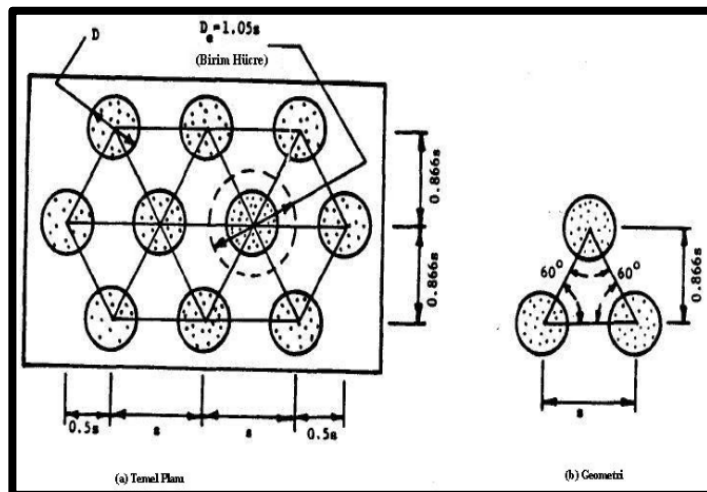


Şekil 1.12. Taş Kolon gruplarının göçme mekanizmaları.

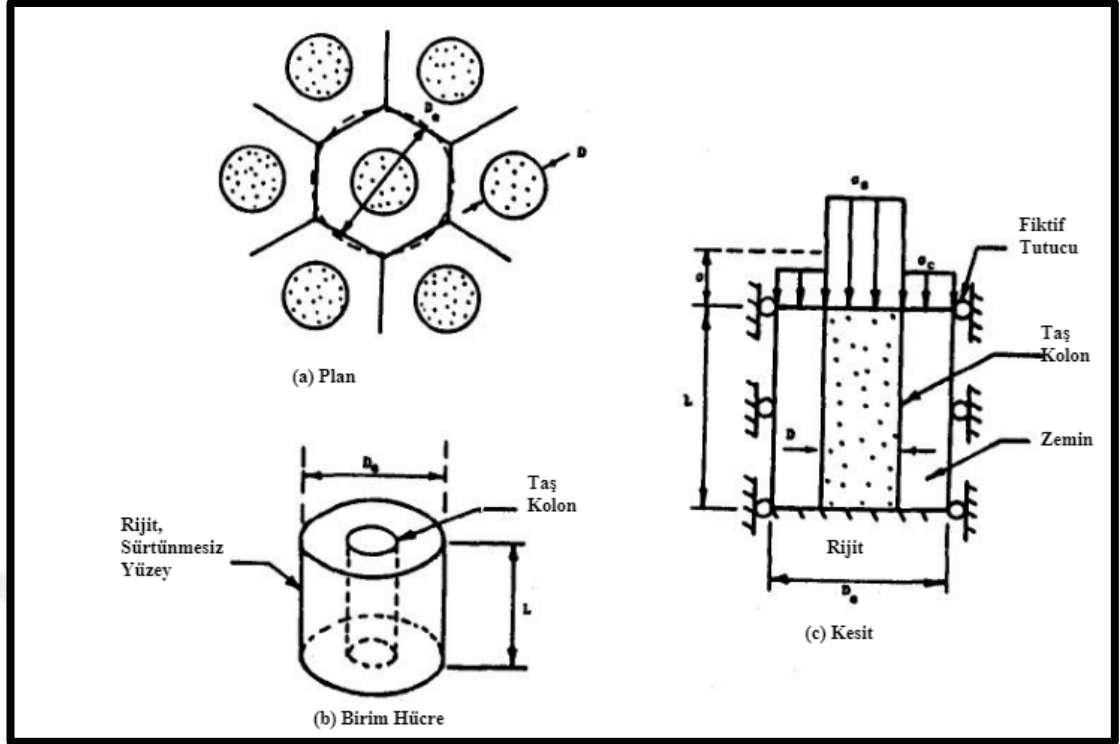
Çevreleyen kolonlar vasıtasıyla içteki kolonun hareket alanı sınırlandırılır ve çevresel zemin kuvvetlendirilir. Bu sebeple her kolonun nihai taşıma kapasitesinde bir oranda artma meydana gelir. Şekil 1.11 ve Şekil 1.12’de gösterilmiş dolgu inşaatı gibi yük bindirmenin geniş bir alan üzerinde yapıldığını ve zeminin taş kolonlar kullanılarak iyileştirildiğini kabulle, Vautrain (1977) sıkıştırılabilir zemin ve taş kolonda oluşan oturmanın dolgu altında aşağı yukarı eşit şekilde gerçekleştiğini bulmuştur [38]. Zayıf zeminlerde dolgu inşaatı ile bağlantılı şekilde temel altındaki zemin Şekil 1.12’de gösterildiği üzere yanal şekilde ötelenmektedir. Bu durum “yanal yayılım” olarak tanımlanır. Arazi deneyleri ve sonlu elemanlar analiz sonuçları, yanal yayılım meydana geldiğinde gözlenen oturmaların, yanal yayılım meydana gelmesinin engellenmesi durumunda oluşabilecek oturmalarından çok daha büyük çapta olduğunu göstermektedir. Yanal yayılım zemin ile taş kolon arasında bulunan yanal desteğin gücünü azaltmaktadır. Ayrıca yanal yayılım taş kolon içinde dış kısma doğru genişleme sebebiyle meydana gelebilecek göçme ihtimalini de az da olsa bir miktar arttırmaktadır.

1.6.12. Birim hücre kavramı ve taşkolon yerleşimi

Eşdeğer çap: Oturma ve stabilizasyon analizlerinin doğru yapılabilmesi için her bir kolonun çevresel zemin kolonu ile birlikte düşünülmesi gerekir. Bu kolonun çevresel zeminin alanı Şekil 1.13 ve Şekil 1.14 ’de belirtildiği üzere düzgün altıgen şekliyle meydana geldiği için buna yakın bir ölçüde, aynı alan ölçüsüne sahip bir daire şeklinde kabul edilebilir.



Şekil 1.13. Taş kolonlarda eşkenar üçgen dizilimi



Şekil 1.14. Birim hücre yaklaşımı.

Eşkenar üçgen şeklinde yerleşmiş kolonlar açısından bu eşdeğer daireye ait efektif çap; $D_e=1.05s$ kare şeklinde yerleşmiş kolonlar için ise; $D_e=1.13s$ olarak belirlenir. Burada “s” kolon merkezleri arasında bulunan mesafeyi emsil eder. Buna göre D_e çapındaki ve hesap yapılan alanı içine alan silindirik birim içinde zemin ve taş kolondan meydana gelen yapı “birim hücre” şeklinde tanımlanır. Taş kolon merkezi ve birim hücre merkezi aynı noktadadır.

Alan değişim oranı: Taş kolonlar vasıtasıyla değişikliğe uğrayan zemin hacmi iyileştirilmiş zeminin veriminde büyük bir etkiye sahiptir. Değişen zemin oranını tespit etmek için, alan değişim oranı;

$$a_c = \frac{A_c}{A} \quad (1.22)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada;

A_c : Sıkıştırılma işleminden sonra taş kolonun alanı

A : Birim hücreye ait toplam alan şeklinde tanımlanabilir.

Zemin alanı oranı ise;

$$a_s = \frac{A_s}{A} \quad (1.23)$$

$$a_s = 1 - a_c \quad (1.24)$$

Bağlantılarından hesaplamak mümkündür.

Alan değişim oranı ayrıca;

$$a_c = C_1 \left(\frac{D}{S} \right)^2 \quad (1.23)$$

Formülü ile hesaplanabilir. Burada;

D: Sıkıştırılan Taş Kolonun Çapı,

s: Merkezden diğer Merkeze Taş Kolonlar Arası Mesafe:

C₁: Taş Kolonların Dizilimine Göre Belirlenen Sabit Bir Katsayı

C₁ katsayısı, kare dizilim için $\pi/4$, eşkenar üçgen dizilimi için; $\frac{\pi}{2\sqrt{3}}$ olarak kabul edilir.

Eşkenar üçgen dizilimine göre a_s ;

$$a_c = 0,907 \left(\frac{D}{S} \right)^2 \quad (1.24)$$

Olarak alınır.

1.6.13. Gerilme konsantrasyonu

Taş kolon üstüne bir dolgu veya temel yerleştirildiği zaman, 1.15'te görüldüğü üzere taş kolonda büyük oranda bir gerilme artışı gözlenmekte ve çevresel zeminde meydana gelen gerilme miktarında azalma olmaktadır. Zeminde ve taş kolonda oluşan dikey oturmalar hemen hemen aynı olduğundan dolayı ve taş kolonun zemine göre daha çok form değiştirmesiz özellikte olduğu için gerilme konsantrasyonu taş kolon içinde meydana gelir. Şekil 1.15'de gösterilen düşey gerilme dağılımı aşağıda belirtilen gerilme konsantrasyonu faktörü, n ile belirtilebilir.

$$n = \frac{\sigma_c}{\sigma_s} \quad (1.25)$$

Burada;

σ_c : Taş Kolon İçindeki Gerilme

σ_s : Yapışma özellikli zemin İçindeki Gerilme

Şeklinde adlandırılır. Formülde de görüldüğü üzere temelden gelen yük sebebiyle kolonda ve zeminde oluşacak olan gerilme miktarı oranı gerilme konsantrasyon faktörü n şeklinde ifade edilir. Birim hücre içinde belirtilen bir derinlikte mevcut bulunması gereken ortalama gerilme, birim hücre içindeki dikey kuvvetlerin dengelenmesi için ayrılan alan değişim oranı ile aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$\sigma = \sigma_c a_c + \sigma_s (1 - a_c) \quad (1.26)$$

Bu denklemden yapışkan zemindeki ve taş kolondaki gerilmeler, gerilme konsantrasyon faktörü (n) kullanılarak;

$$\sigma_s = \frac{\sigma}{[1 + (n-1)a_c]} = \mu_s \sigma \quad (1.27)$$

$$\sigma_c = \frac{\sigma}{[1 + (n-1)a_c]} = \mu_c \sigma \quad (1.28)$$

hesaplanabilir. Buradaki μ_s ve μ_c , zemin ve taş kolon üstündeki gerilmelerin oranıdır. σ , $c\sigma$ ve $s\sigma$ etki eden yüklemeye bağlıdır. Ayrıca başlangıç efektif (veya toplam) dikey jeolojik gerilmeleri ve yanal gerilmeler de ayrıca önem arzeder. Yukarıdaki iki eşitlik, etki eden yüke göre taş kolondaki ve zemindeki gerilmeyi belirten oturma ve stabilizasyon analizleri için oldukça kullanışlıdır.

1.6.14. Taş kolonların taşıma gücü hesabı

Taş kolonların nihai taşıma kapasitesi aslen kolon geometrisine, taş kolon malzemesi özelliklerine ve doğal Zemin özelliklerine bağlıdır. Normal olarak kolon uzunluğu, uzun kolonun nihai taşıma kapasitesi üzerinde önemsiz bir etkiye sahiptir. Uygulanan yük, kolondan çevresel zemine aktarıldığı için, yükün küçük bir kısmı, tabandaki kolona iletilir.

1.6.15. Tekil taş kolonların taşıma gücü

Taş kolonun uzunluğunun çapına bölümü dört veya altıya eşit veya daha yüksek bir sayı ise genellikle taş kolonda dış kısma doğru kabarma (genleşme) şeklinde göçme oluşmaktadır. Kolon ucu yumuşak zemin tabakası içerisinde kalacak biçimde yüzen sistem şeklinde tasarlanmış veya sağlam Zemin tabakasına dek uzanmış olması

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{1 + \sin \phi_c}{1 - \sin \phi_c} \quad (1.29)$$

ϕ_c : Taş Kolon İçsel Sürtünme Açısı Gerilim oranı, $\frac{\sigma_1}{\sigma_3}$ taş kolon için pasif zemin basıncı K_p katsayısıdır.

1.6.16. Boşluk genleşme teorisi

İlk yaklaşımda çevresel zeminde meydana gelen nihai pasif direnç, simetri eksenini etrafında genişleyen sonsuz uzunluktaki bir silindir karşısında meydana gelen pasif direnç şeklinde modellenilebilir. Genleşebilen silindirik boşluk aşağı yukarı zemin içinde yanal olarak dışa doğru taşan kolonu temsil eder. Hughes ve Withers (1974) ve Datye vd. (1975) bu yaklaşım vasıtasıyla taş kolonun çevresel zeminde meydana gelen basıncı incelemişlerdir [49,41]. Taş kolon iki ya da üç çap kadar uzunlukta dışarıya doğru taşmasına rağmen, mühendislik yaklaşımı açısından sonsuz uzunlukta ve genişleyebilir silindir teorisi uygun sonuçlar vermektedir. Hughes ve Withers (1975), tek bir taş kolon üstündeki kabarma göçmesinin pressiyometre testi esnasında gelişen boşluk ile benzer nitelikler taşıdığını düşünmüşlerdir [49]. Yaklaşımlarına göre Gibson ve Anderson (1961) tarafından sürtünmesiz bir malzeme ve sonsuz uzunlukta genişleyebilir bir silindirik boşluk için geliştirilen elasto-plastik teori, çevresel zeminde meydana gelecek drenajsız nihai yanal gerilim miktarını hesap etmek için kullanılabilir [42].

$$\sigma_3 = \sigma_{vo} + c \left[1 + \ln \frac{E_s}{2c(1+v)} \right] \quad (1.30)$$

σ_3 : Nihai Drenajsız Yanal Gerilim

σ_{vo} : Kolon üretiminden Sonraki Toplam Radyal Gerilim

E_s : Zeminin Elastik Modülü

c : Drenajsız Kayma Mukavemeti

v : Poisson Oranı olarak ifade edilir. Eşitliğini kullanarak elde edilen taş kolonun çevresel zeminindeki gerilim değeri kullanılarak ve $q_{ult} = \sigma_1$ kabul edilerek;

$$q_{ult} = \left\{ \sigma_{ro} + c \left[1 + \ln \frac{E}{2c(1+v)} \right] \right\} \left(\frac{1 + \sin \phi_c}{1 - \sin \phi_c} \right) \quad (1.31)$$

Formülü ile taş kolona uygulanabilecek nihai gerilim hesaplanabilir.

Yumuşak yapışkan zeminin drenajsız elastisite modülü yaklaşık olarak drenajsız kesme dayanımı ile orantılı olarak alınabilir.

Vesic (1972) Boşluk Genişleme Teorisi: Genel silindirik boşluk genişleme teorisi Vesic (1972) tarafından sürtünmeli ve yapışkan zeminleri kapsyacak biçimde genişletilmiştir. Bir kez daha sonsuz uzunlukta bir silindir alınmış ve zemin elasto-plastik olarak kabul edilmiştir [37]. Çevresel zeminden dolayı meydana gelecek nihai yanal direnç σ_3 ;

$$\sigma^3 = c_u F'_c + q F'_q \quad (1.32)$$

Formülüyle hesaplanabilir. Burada;

c_u : Kilin Drenajsız Kohezyonu (yapışkanlığı)

q : Hesap Derinliğindeki Ortalama Normal Gerilim.

F_c, F_q : Boşluk Genişleme Faktörleri

Olarak adlandırılır. Zeminin içsel sürtünme açısına bağlı boşluk genişleme teorisi faktörleri F_c, F_q değerlerinin rijitlik indeksi I_{rye} bağlı değişim gösterir. Rijitlik indeksi;

$$I_{ry} = \frac{E}{2(1+\nu)(c+qtg\phi_s)} \quad (1.33)$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada;

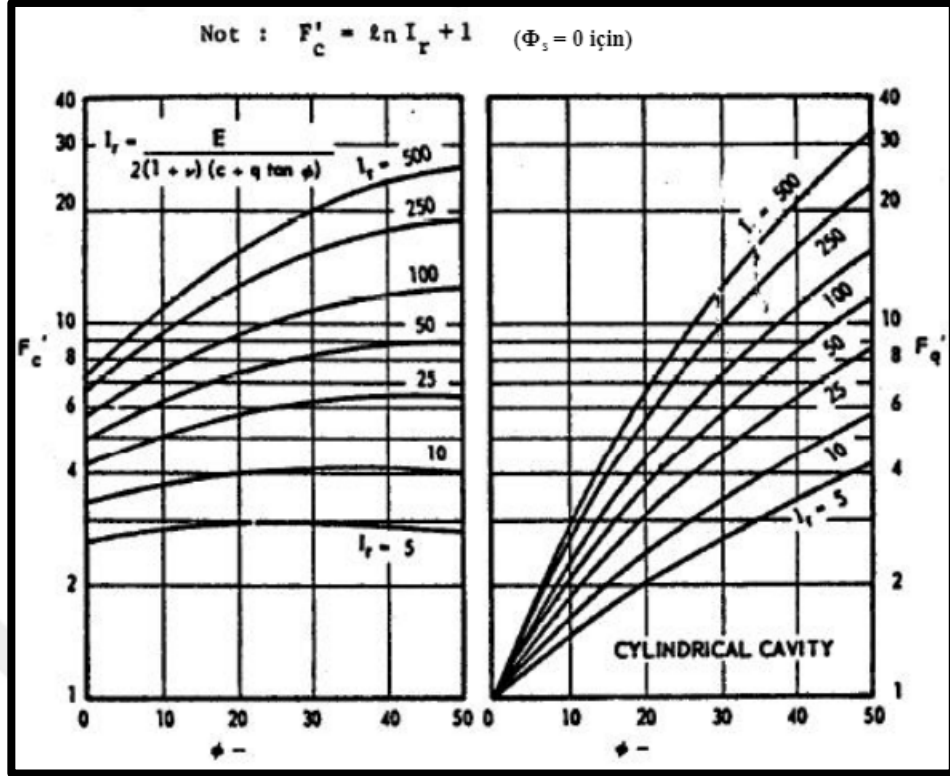
E : Zeminin Elastisite Modülü

ϕ_s : Zeminin Kayma Mukavemeti Açısı

c : Zeminin yapışkanlığını

ν : Zeminin Poisson Oranı

q : Göçme Bölgesindeki Ortalama Normal Gerilim olarak adlandırılır.



Şekil 1.16. Vesic (1972) silindirik boşluk genişleme faktörleri [53]

$q_{ult} = \sigma_1$ kabul edilirse ;

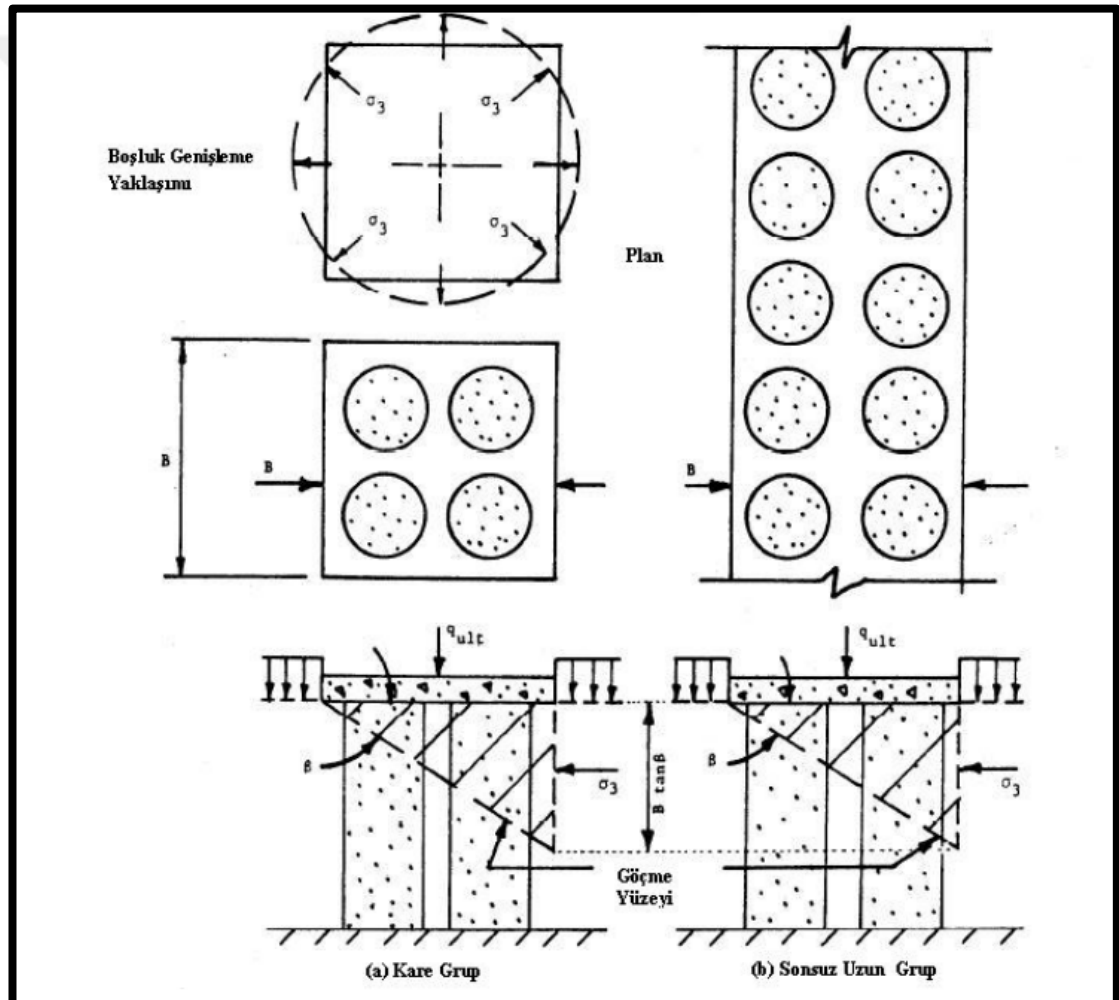
$$q_{ult} = \{cF'_c + qF'_q\} \left(\frac{1 + \sin \phi_c}{1 - \sin \phi_c} \right) \quad (1.34)$$

Denklemine ulaşılır.

Vesic (1972) tarafından ortaya konulan bu yöntem sürtünmesiz zeminler açısından, nihai yük bindirme altında Gibson ve Anderson (1961)'un geliştirdiği boşluk genişleme teorisi ile aynı sonuçları vermektedir [63,52]. Normal gerilim q analizlerde kabarma oluşan derinlikteki ortalama gerilim değeri olarak kabul edilmelidir. Normal gerilim q , başlangıç gerilimlerinin ve etki eden yükten dolayı meydana gerilim değişiminin toplamı şeklinde tanımlanabilir. Taş kolondaki gerilim konsantrasyonuna bağlı olarak taş kolonun kısa ve uzun dönem için nihai kapasitesi boşluk genişleme teorisi kullanılarak hesaplanabilir. Ayrıca inşaat esnasında ön yükleme ve konsolidasyon sebebiyle yumuşak Zemin mukavemetindeki artış göz önüne alınmalıdır.

1.6.17. Taş kolon gruplarının taşıma gücü

Şekil 1.16'de gösterilen, taş kolon ile iyileştirilmiş yapışkan zemin tabakası üstüne oturan kare ya da sonsuz uzunluktaki, form değiştirmeyen beton bir temelin taşıma gücünü tespit etmek için, yükün çok çabuk yüklendiğini, bu sebeple yapışkan zeminde drenajsız kesme durumu oluştuğunu ve içsel sürtünme açısının bu sebeple göz ardı edildiğini kabul edelim. Ayrıca, kesme dayanımının taş kolonda ve de zeminde tam olarak hareketlendiğini kabul edelim. Grubun nihai taşıma kapasitesi takribi olarak iki düz yırtılma çizgisi tarafından meydana getirilen bir göçme yüzeyi kabul edilip tespit edilebilir.



Şekil 1.17. Taş Kolon grup analizleri.

Bu teori ilk kez homojen zeminler için Bell (1978) tarafından geliştirilmiş daha sonra Sowers (1979) tarafından yenilenmiştir. Homojen zeminler için Bell'in taşıma gücü teorisi, Terzaghi'nin yerel göçme teorisine yakın sonuçlar vermektedir [36,32]. Şekil

1.17’da görüldüğü üzere temelin hemen altındaki zeminin düz bir yırtılma çizgisi ile üçgen bir blok meydana getirecek şekilde göçtüğünü kabul edelim. Zeminin kompozit kesme dayanımı kesme yüzeyinde gerçekleşebilir. Kompozit zeminin direnç gösterebileceği nihai gerilim, bloğun yanal harekete nihai direnci, σ_3 ’e ve eğimli kesme yüzeyinde meydana gelecek kompozit kesme direncine bağlıdır. Bloğun dengesi dikkate alındığında blok içindeki ortalama kesme dayanımı parametreleri;

$$[\text{tg}\phi]_{\text{avg}} = \mu_c a_c \text{tg}\phi_c \quad (1.35)$$

$$c_{\text{avg}} = (1 - a_c)c \quad (1.36)$$

Denklemleri ile hesaplanabilir. Burada;

$[\text{tg}\phi]_{\text{avg}}$: Kompozit İçsel Sürtünme Açısının Tanjantı

c_{avg} : Temelin Altındaki Kesme Yüzeyinin Kompozit Kohezyonu

a_c : Alan Değişim Oranı

μ_c : Taş Kolon İçin Gerilim Konsantrasyon Faktörü

Şeklinde ifade edilebilir. Daha önceden de belirtildiği gibi taş kolonun yapışkanlığı ve zeminin içsel sürtünme açısı göz ardı edilmiştir. Göçme yüzeyi temelle bir β açısı yapmaktadır. Kompozit zemin için bu açı;

$$\beta = 45 + \frac{\phi_{\text{avg}}}{2} \quad (1.37)$$

Olarak alınabilir. Taş kolon grubunun nihai taşıma kapasitesini hesap etmek için öncelikle nihai yanal gerilimi σ_3 hesaplamak gerekir. Klasik Zemin basıncı teorisinde, suya doymun killerde sonsuz uzun bir temelde;

$$\sigma_3 = \frac{\gamma_s B \text{tg}\beta}{2} + 2c \quad (1.38)$$

Bağıntısı kullanılabilir. Burada;

σ_3 : Ortalama Yanal Çevre Basıncı

γ_s : yapışkan Zeminin Doymun veya Islak Birim Hacim Ağırlığı B: Temel Genişliği

β : Göçme Yüzeyinin Eğimi

c: İyileştirilmemiş Zemindeki Drenajsız Kesme Dayanımı

Kare temel için yanal gerilim; Vesic'in bağıntısı ile tanımlanan boşluk genişmesi teorisi ile hesaplanabilir. Vesic silindirik genişme teorisi göçme bloğuna etki eden nihai yanal gerilimi verir. Nihai dikey gerilim q_{ult} ve nihai yanal gerilim σ_3 asal gerilimler olarak var sayılırsa, bloğun dengesinden, $q_{ult} = \sigma_3 tg^2\beta + 2c_{avg}tg\beta$ olarak alınabilir. Burada 3σ (2,42) eşitliği kullanılarak hesaplamak mümkündür. Kamadaki zeminin ağırlığı göz ardı edilmiştir. Kamadaki zeminin ağırlığı kompozit kesme dayanımını arttırabilir ve (2,40a)'nın modifiye edilmesiyle analizlerde göz önüne alınabilir. Taş kolon gruplarının nihai taşıma kapasitesinin hesaplanması için öngürülen bu yöntemde, temel şekli, temel boyutları, taş kolonun içsel sürtünme açısı, taş kolonla güçlendirilmiş kompozit zeminin kayma mukavemeti ve üzerine etkiyen jeolojik gerilim ile çevresel zeminin rijitliğine ilişkin indeks ile ifade edilen sıkışabilirliği dikkate alınmaktadır [15].

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Han ve Ye (1991), 0,85 m çapında ve toplam 12 m derinliğe monte edilmiş tek ayaklarla agrega(kırılmış çakıl) üzerinde, 1-m kalınlığındaki üst kabuk, 23 kPa'nın serbest kuvvetinde, çok yumuşak olarak konsolide edilmiş, 1,23 likidite indeksli ve 15 kPa kuvvetindeki ipeksi kilden bir tabakada yük testi gerçekleştirmişleridir. Bu araştırmacılar, bazı yük artışlarında, 24 saat sonra bile, yerleşim oranının hala 0,25 mm / s'den daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Basınca karşı yerleşim eğrilerini gösteren sonuçlar,% 100'lük en yüksek alan değiştirme oranına sahip testin (kolona yük yükleme), yaklaşık 280 kPa'lık (yaklaşık 10 cm'lik bir deplasmanda) bir basınçla sonuçlandığını gösterirken, % 36 daha küçük alan değiştirme oranı ile yapılan iki test, aynı yerleşim seviyesinde yaklaşık 170 kPa'lık bir basınçla sonuçlanmıştır [16].

Ambily ve Shailesh(2000), yaptıkları çalışmada toprağın kayma dayanımının, taşların iç sürtünme açısının ve taş kolonlar arasındaki boşluğun, taş kolonların davranışları üzerindeki etkisini incelemiş, yapıları deneysel ve tamamlayıcı analizleri tarif etmişlerdir. Sırasıyla, taş kolon üzerindeki sınırlayıcı aksel gerilimi ve toprağın sertliğini incelemek için, sütun alanı ve tüm birim hücre alanına yük bindirerek deneyler yapmışlardır. Elde edilen sonuçlar çerçevesinde, tasarım çizimleri belirlenmiş ve gerekli güvenlik faktörlerini sağlayan ve yerleştirmeyi kontrol eden bir tasarım prosedürü ortaya konulmuştur. Bu çalışma sonunda ulaşılan sonuçlar şu şekildedir;

- 1) Tek başına kolon alanına yük bindirildiğine, taş sütunun yaklaşık 0,5 katı kadar bir derinlikte şişkinlik maksimum düzeydedir ve kolon stabil değildir
- 2) Boşluk arttıkça, kolonun aksel kapasitesi azalır ve ihmal edilebilir bir s / dof 3 değerine yükselir
- 3) Kolon üzerindeki sınırlayıcı aksel geriliminin, kolon çevresindeki kilin karşıt kesme mukavemetine oranının, herhangi bir s / d ve taşların iç sürtünme açısı için sabit olduğu ve çevreleyen kilin kesme kuvvetinden bağımsız olduğu tespit edilmiştir

- 4) Birim yüzeydeki yük yerleşim davranışı yük binen alanın tamamında doğrusaldır ve bu sayede toprağın sertliğini bulmak mümkündür
- 5) Tüm birim alan yüküne ilişkin tek sütun testleri, grup testleri sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu birim alan konseptine sahip tek sütun davranışı, çok sayıda sütuna yük bindirildiğinde, iç sütun için simüle edilebilir nitelikte görülmüştür
- 6) Sertlik artırma faktörünün, çevredeki kilin kayma dayanımından bağımsız olduğu ve esas olarak kolon boşluğuna ve taşların iç sürtünme açısına bağlı olduğu anlaşılmıştır [17].

Zahmatkesh ve Choobasti(2010), Bir grup taş kolonla güçlendirilmiş toprağın yerleşim özelliklerini değerlendirmek için bir dizi sayısal analiz yapılmıştır. Kil tabakasının homojen olduğu varsayılmıştır. Analizlerde Mohr-Coulomb stabilitesizlik kriterini izleyen elastik, plastik bir yapı modeli kullanılmıştır. Bu sayısal çalışmanın sonuçları aşağıdaki gibidir:

1. Yük bindirilen alanın tamamı yüklü olan modelin yük yerleşim davranışı hemen hemen doğrusaldır ve böylece zeminin sertliğini bulmak mümkündür.
2. Yerleşme oranı yumuşak toprağı çevreleyen sıkıştırma ile azalır, ancak Yerleşme oranının düşmesi temel olarak yumuşak kildeki kolonun daha sert malzeme özelliğindedir.
3. Hesaplaşma oranı değerleri esas olarak sütun aralığına bağlıdır (alan değiştirme yüzdesi).
4. Belirli alan değiştirme yüzdesinde, sütun çapındaki azalma yerleşme oranı değerini düşürür ve bu düşüş sütun boşluklarının azalmasından kaynaklanır. Alan değişim yüzdesindeki artış, kolon çapının yerleşim oranı üzerindeki etkisinin artmasına neden olmaktadır [18].

Juran ve arkadaşları (1988) siltli toprak numunesinin($D=10$ cm) kısmi drenajının etkisini araştırmak için % 4 ve 16 ($D = 20$ ve 40 mm) alan oranlarında sıkıştırılmış nehir kumu kolonları ($D_r = \% 80$, / $\phi = 38^\circ$) ile güçlendirilmiş üç eksenli bir hücre kullanmışlardır.

Kolonların boşaltılmasını sağlanmış 0,05 mm / daki deformasyon hızında testler yapmışlardır. Ayrıca, hem kum sütunu hem de çevre toprağını drenaj için ıslah etmeden testler yapmışlardır. (serbest testler). Sonuçlar, boşaltılan kolonun, güçlendirilmiş toprağın uygulanan zorlanma direncini önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir. Dahası, kolonlar tarafından taşınan yük ile ilgili sonuçlar, 'boşaltılmış' kolon tarafından taşınan maksimum yükün, boşaltılmamış kolon tarafından taşınan yükün yaklaşık iki katı olduğunu göstermiştir. Gerilme derişimi oranı, kolonlarla takviye edilmiş numuneler için 3'e, drenajlı kolon ile güçlendirilmiş numuneler için 6'ya eşit olmuştur [19].

Besaçon (1984), balastlı kolonların boyutlandırılmasında yer alan hesaplama parametrelerine ilişkin analizinde, kolonun teorik çapının temel verilerin bir işlevi olduğunu belirtmiştir. Bu temel veriler

- 1) Toprağın jeoteknik özellikleri,
- 2) Kolonların işlev şekli (malzeme, püskürtme akışkanının yapısı),
- 3) Tutulan dolgu malzemesinin parçacık büyüklüğü.

Besaçon'a (1984) göre, çok kırılğan olan göstergelere rağmen, kolon yerleştirilmesinde projeler için göz önüne alınması gereken bazı hususları önermek ve benimsemek uygun görünmektedir. Bu husulsar

- 1) Nispeten ince bir agrega ($\leq 50\text{mm}$) durumunda 38° lik değeri ve doğal kil toprağı,
- 2) Daha büyük bir dolgu maddesi durumunda (100 mm'ye kadar) 42° değeri ve daha doğal bir toprak,

Bu değerler parçalı toprak için belirlenmiştir. Sıkıştırılmış toprak malzemesi durumunda, 38° değeri daha uygun görünmektedir [20].

Welsh (1986), yapışma özellikleri sergileyen ve yüzde 12 ila 15 arasında değişen parçalı içeriğe sahip granül topraklarda, vibro sıkıştırma sırasında yer değıştirme ve drenajı arttırmak ve ardından yoğunlaştırma işlemine yardımcı olmak için bir taş dolgu maddesi kullanmıştır [21].

Bu işlem vibro yerleştirme olarak adlandırılır. Drenajın artması, yeraltı kütesinin sismik olarak aktif bir bölgede sıvılaşmadan korunmasına da katkıda bulunur. Daha

fazla yapışkan toprakta, yoğunlaşmış halindeki taş dolgu maddesi kütlenin taşıma kapasitesini arttırmak için yapısal bir takviye elemanı olarak görev yapar ve toplam farksal yerleşimleri büyük ölçüde azaltır. Bu teknikteki en son gelişme, taş dolumunun bir besleme borusundan doğrudan vibratörün dibine bir besleme hunisinden beslendiği alt besleme yöntemidir [21].

Welsh (1986), Granül topraklarda standart penetrasyon testi, con penetrasyon testi, basınçölçer testi ve dilatometre testi sonuçlarında yer değiştirme düzeninin potansiyel kaynaklarını açıklamıştır [21].

Andreou ve Papadopoulos (2006) Taş kolonların sertleştirici etkisinin ve iyileştirilmiş siltli zeminlerin tepkisi üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi için santrifüj testleri gerçekleştirmiştir. Eksenel simetrik bir sonlu eleme modeli ile taş kolonların saha performansını, orta kolonu çevreleyen sütun gruplarının yerine, eşdeğer kalınlığa sahip bir taş malzeme halkası ile karşılaştırmışlardır. Andreou ve Papadopoulos (2006) birim hücre kavramına dayanan sonlu elemanlar analizini gerçekleştirmiştir. Farklı faktörlerin etkisini araştırmış ve taş kolonların tasarımı üzerine bazı pratik sonuçlar elde etmişlerdir [22].

(Priebe) 1991, sıvılaştırılabilir toprakta sert malzemenin (taş) tanımlanması potansiyel daha yüksek stres seviyeleri tespitini sağlayabileceğini ve böylece stresin azalabileceğini belirtmiştir. Esasen taş kolonun vibro replasman ile montajı, oluşan aşırı basınçları azaltarak drenaj sağlar ve döngüsel yükleme ve dağılımını hızlandırarak ve çevrimli direnç oranını arttıran çevre toprağın yoğunluğunu artırır [14].

Lee ve Pande, Kolon kurulumu nedeniyle topraktaki değişikliklerin ötesinde, bu değişikliklerin toprağın iyileştirilmesi üzerindeki etkisinin bilgisinin sınırlı olduğunu belirtmişlerdir. Eğer bu değişiklikler göz önünde bulundurulursa, dairesel bir ayağın yerleşmesinin azaldığını, ancak yalnızca yüksek yük seviyeleri için olduğunu tespit etmişlerdir. İyileşme, toprağın daha fazla yük taşımasını sağlayan ve sırayla kolonlar için daha iyi bir yan destek sağlayan kildeki ortalama stresin artmasıyla oluşur. Bu nedenle, yerleşim beklendiği gibi yakın mesafeli sütunlar için azaltılmıştır. Dolgu yükünün etkisi o kadar açık bir şekilde öngörülmemiştir. Ancak sayısal olarak kolon kurulumunun etkileri göz önüne alındığında, yerleşimin yalnızca yüksek yük

seviyeleri için azaltıldığını görmüştür. Düşük dolgu yükleri için toprak aşırı konsolidedir; Kolon kurulumunun yeniden tutma etkisi toprağı aşırı konsolidasyondan çıkarır ve sonuç olarak yerleşim üzerinde olumsuz bir etki yaratır. Lee ve Pande (1998) tarafından yapılan sayısal analiz, taş kolonlarla takviye edilen toprak kütleinin çökme düzeninin, genel kesme stabilitesizlik mekanizmasına, taş kolonun uzunluğuna ve yerleşimine göre değiştiğini göstermiştir [23].

Diğer bir çalışmada, daha büyük bir taban genişliği varsayılmış ve dayanma gücü olmayan toprağın yeni taban genişliği ve kayma özellikleri kullanılarak taşıma kapasitesi belirlenmiştir. Takviyeli toprağın kompozit özellikleri kavramını ortaya koymuş, güçlendirilmiş toprağın taşıma kapasitesini ve yerleşimini tahmin etmek için sonlu elemanlar tekniğini kullanmışlardır.

Son otuz yılda taş kolonlar üzerine yayınlanan çalışmalar içinde, Lee ve Pande (1998), tarafından yapılan saha gözlemleri ve sayısal çalışmalar yumuşak topraklara taş kolonların yerleştirilmesinin sadece kolonun taşıma kapasitesini arttırmakla kalmayıp aynı zamanda konsolidasyonu da hızlandırdığını ortaya koymuştur. Lee ve Pande taş kolonların yük yerleşim özelliklerini incelemek için toprak ve taş kolon bileşimi için eşdeğer malzeme oluşturmuşlar ve eksen simetrik sonlu elemanlar analizi gerçekleştirmişler [23].

Kildeki kum kolon grupları ile testler, Hu (1995) vd. tarafından, bir grup taş kolonun deformasyon mekanizmalarını daha yakından tanımak için yapılmıştır. Model testlerinin toprakları, 27 plastisite indeksine sahip bir bulamaçtan ve $c_u = 13$ kPa'nın boyanmamış kohezyonu ve düşük dereceli bir Loch Aline kumundan ($d_{50} = 0,32$ mm, $e_{max} = 0,80$, $e_{dk} = 0,56$, $0,67 < e < 0,74$) hazırlanmıştır. Testlerin hazırlanması, kurulması ve kullanılan tüm toprak ve sütun parametreleri Hu (1995) tarafından ayrıntılı olarak tarif edilmiştir.

Hu, (1995) önceki sadece 40 dakikalık bir test süresinde yapılan testlere kıyasla, Hu daha gelişmiş testlerinde sekiz kat daha küçük parçacıklara dek inceleme yapmış ve bunun kilin sertleşme hızında ihmal edilemez bir rolü olduğunu, kil sertliği n_p test süresiyle daha da arttığını belirlemiştir. Ek olarak, yaptığı esneme testiyle kildeki küçük kalınlıklar nedeniyle daha önceki model alınmış testlerinde görünmeyen kesme bölgeleri tespit edilmiştir [24].

Tan ve Khine(2005), Taş kolonlarla güçlendirilmiş toprağı iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analiz etmişlerdir. Taş kolon ünitesi için eksenel simetrik modelden eşdeğer düzlem gerilme modeline nasıl dönüştüğünü şema ile göstermişleridir. Taş kolon takviyeli Malezya'daki dolgu sistemi analiz edilmiş ve sonuçlar saha ölçüm verileri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilebilecek ana bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir: Dolgu altındaki taş kolon topraklandırılmış, düzlem gerilme koşulunu kullanarak iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Bunun sonucunda sertlik ve alan değiştirme oranının dönüşüm sürecinde hayati bir rol oynadığı görülmüştür [25].

Seed ve Booker (1976), potansiyel olarak sıvılaştırılabilir bir kum birikintisinin dengelenmesi için cazip ve ekonomik bir drenaj sistem prosedürü ortaya koymuşlardır. Yöntem nispeten gevşek bir kum birikintisinde taş kolonların inşasında kullanılmış olup, sıvılaşma geliştirdiği bilinen orta yoğunlukta bir kum tabakasının stabilizasyonu için önerilmektedir. Meydana gelen depremlerin incelenmesinden elde edilen sonuçlara göre mevcut prosedürleri kullanarak daha fazla yoğunlaştırma ve stabilizasyon sağlamak pek mümkün olmamaktadır. Potansiyel olarak sıvılaştırılabilir bir kum birikintisinin etkili bir şekilde stabilize olabilmesi için uygun bir tahliye sisteminin tasarımı ve seçiminin gerekli olduğunu öne sürmüşlerdir. Bunun için sıvılaşmaya yatkın bir toprak birikintisinin dengelenmesi için çakıl veya kayadan taş kolon drenajı, aynı zamanda su basıncı üreten ve dağıtan bir sistem tasarlamışlar, bunlarla ilgili analizleri bir dizi grafik olarak özetlemişlerdir [26].

Bir yarı-eleman programı kullanan Millea (1990), granül sütunların, aşırı basınç basıncını iki kolonun çapına kadar bir mesafeye kadar azaltmada etkili olduğunu belirtmiştir. Millea (1990) sonlu eleman yazılımı 'DYNAMFLOW' ile doymuş kum birikintilerinde aşırı gözenek basıncı oluşumu Leighton-Buzzard kum 120/200 niteliğindeki bir zemine dayanan bir yapının santrifüj testinin sayısal modellemesini yapmıştır.

Oluşturulan modeller;

- 1) Temelden balastlı ve kolonsuz yüklü kum
- 2) Temelli ve dört balastlı sütunlu yüklü kum, modelleridir.

Parametrik bir çalışmadan sonra, taş kolonların uzunluğu ve düşey ve yatay gerilmeler, kayma gerilmeleri v.s hesaplanmıştır.

Millea, taş kolonların, dinamik yükleme sırasında kolonlara yük binmesi ile birlikte temel altındaki aşırı gözenek basıncını başarıyla düşürdüğü sonucuna varmıştır [27].

Durgunoğlu, taş kolonların yüksek hidrolik geçirgenlikleri dolayısıyla, zemin içinde aynı zamanda dren olarak görev yapabildiklerini belirtmiştir. Durgunoğlu'na göre, ayrıca, taş kolonların yerleştirilmesi sırasında kolonlar arasındaki zemin de sıkıştığından kolon yerleşimi sonrası ara zemin de kısmen stabilize edilmiş olmaktadır. Bu iki husus, bu tip kolonların deprem yükleri altında sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının artırılmasında dünyada çok yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır. Ancak taş kolonlar sınırlı rijitlikleri dolayısı ile statik ve deprem yükleri altında özellikle zayıf killi ve siltli zeminlerde düşük yanıl zemin direnci dolayısıyla kolayca deforme olabilmekte ve böylece üst yapıda arzu edilmeyen düşey toplam ve farklı deplasmanların oluşmasına neden olabilmektedir [28].

Raju, ıslak üst besleme yöntemi ile kolon montajını uygulamıştır. Bu yönteminde, vibratörün ucuna yerleştirilmiş yüksek basınçlı su jetleri vibratörün toprağa girmesine yardımcı olur. İşlem boyunca su kullanıldığından, çalışma alanına yakın mesafede su kaynağı ve sedimantasyon havuzları oluşturmak için uygun alanlar bulunmalıdır.

Her kolon için uygulanan işlemler şöyledir;

- Vibratör su jetleri yardımı ile yere nüfuz ettirilir.
- Tasarlanan derinliğe ulaşıldığında, vibratör zemin yüzeyine geri çekilir ve helozonik boşluğu temizlemek için istenen derinliğe kadar tekrarlanır. Sonuç, toprak-su karışımı ile stabilize edilen, vibratör ile aynı çapta bir sondaj deliğidir.
- Agregalar daha sonra bir yükleyici kullanılarak taşınır, prob noktasının etrafına yerleştirilir ve helozonik boşluğa düşmesine izin verilir.
- Titreşim yavaşça çekilir ve taşın vibratörün ucuna düşmesine izin verilir. Vibratör daha sonra bir taş kolon uzunluğu oluşturarak tekrar deliğe indirilir. Vibratörün hareketi taşı radyal olarak çevresindeki toprağa sıkıştırır ve aynı zamanda taşı helozonik boşlukta sıkıştırır.

- Bu sıkıştırma işlemi, taş kolonun tam uzunluğu tamamlanana kadar taş besleme ile birlikte tekrar tekrar yukarı ve aşağı hareketiyle devam eder [29].

Liew ve Tan (2007), yumuşak toprakta inşa edilen taş kolon bileşenlerinin davranışını yükleme testleri ile incelemiştir. Özellikle elverişsiz zemin şartlarında ağır yapıları desteklemek için taş kolon tasarlanırken aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

1) Priebe'nin metodu gibi basitleştirilmiş metodu kullanmaktan ziyade tasarım yönü (kabarma, genel makaslama, taşıma kapasitesi, stabilite kontrolü) dikkate alınmalıdır.

2) İnşaat sırasında kalite güvencesi ve kalite kontrol testleri (taş derecelendirme, doğrulama testleri, uygun sonlandırma kriterleri) yapılmalıdır

Kapsamlı enstrümantasyon şemaları yolu ile stratejik yerlerde sonlu elemanlar analizini kullanarak tasarım tahminlerini saha ile karşılaştırılmalı, yapının performansı doğrulamalı ve güvenliği sağlanmalıdır [30].

Egan vd (2008) çevresel toprakta kolon yerleştirilmesi esnasında meydana gelen değişiklikler genellikle göz önünde bulundurulmasa ve de kurulum etkileri olumlu, olumsuz veya ihmal edilebilir olsa bile, doğru bir tasarım açısından en önemli sorunlardan biri haline gelebilir. Egan vd. nümerik modeli geliştirmiştir. Buna göre nümerik model sahada ölçülen değerlerle aynı aralık içindeki aşırı gözenek basınçlarını gösterir.

Egan vd. (2008), yumuşak toprakların taş kolonları taşıma kapasitesinin, bitişik toprağın taş kolona sağladığı yan destek, oluşturulan taş kolonun çapı ve taş kolonun merkezden merkeze uzaklığı gibi faktörlere bağlı olduğunu, yapışkan olmayan tortular ve yumuşak killer de dahil olmak üzere çeşitli zemin koşullarının başarılı bir şekilde stabilize edilmesinin yöntemlerini literatürde yaygın olarak paylaşmışlardır [31].

3. SEÇİLEN BİR BÖLGEDE TAŞKOLON UYGULAMASI

3.1. Genel Bilgiler

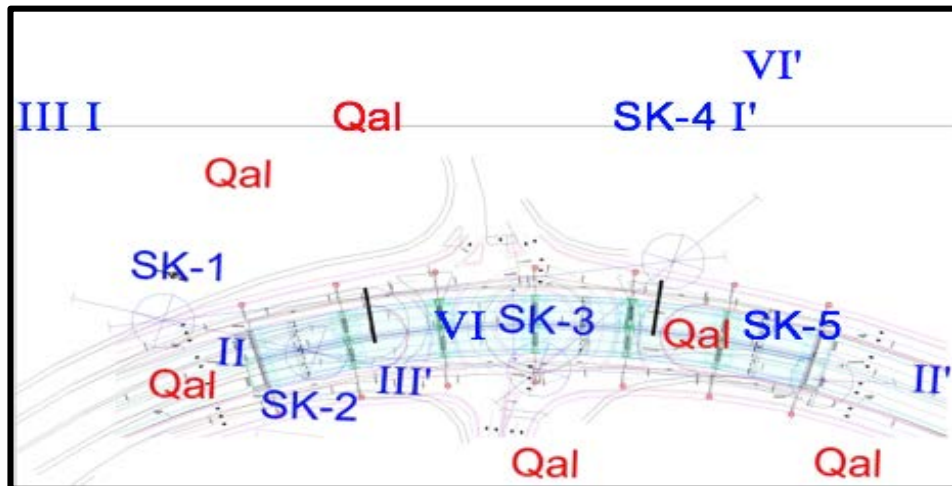
Bu raporda, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, için yapılan zemin incelemesi ve buna mukabil sanat yapısı için hazırlanan geoteknik rapor konu edilmektedir. Zeminin mühendislik özelliklerini ortaya koymak amacıyla, firma tarafından sondaj çalışmaları, arazi ölçüm, gözlem ve deneyleri ile laboratuvar çalışmaları yapılmıştır.

3.1.1. Geoteknik tasarım raporunun amacı ve içeriği

Hazırlanan bu geoteknik tasarım raporunun amacı, ilgili mühendislik hizmetleri kapsamında proje üzerinde bulunan Köprü'nün (yaklaşık Km: 0+437 - 0+612) kenar ve orta ayak taşıyıcı temel sistemlerinin belirlenmesi ve kontrolüdür. Bunun dışında yaklaşım dolgularının analizleri de rapora konu edilmiştir.

3.1.2. Köprü ve köprü mahaline ait açıklamalar

Proje alanının yeri ekteki bulduru haritasında (Ek-4) gösterilmiştir. Projede planlanan, Outlet Center alışveriş merkezinin trafik akışının yönlendirilmesi ve kesintisizliğinin sağlanmasıdır. Köprü'nün planı ve yapılan sondajların işlenmiş hali Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Köprü planı ve bölgede yapılmış sondajlar

3.2. Taş Kolon İhtiyacı İçin Gerekli Laboratuvar Deneyleri Ve Arazi Ölçümleri

İmalatı yapılan Proje kapsamında şantiye içinde aldığımız 2 farklı numuneye (taşkolon ve şerit donatılı duvar imalatı için) laboratuvarımızda elek analizi, modifiye proktor, Kaliforniya Taşıma oranı (CBR), birim hacim ağırlık, özgül kütle, su emme, MgSO₄ çözeltisi ile don kaybı, Los Angeles deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları ektedir.

İnceleme alanı Kocaeli ili sınırları içerisinde, İzmit ovası düzlüğündedir. İzmit ovası batıda İzmit körfezi, doğuda ise Sapanca gölü ile sınırlanmış dar ve uzun bir çöküntü havzasıdır. Bu çöküntü havzasının kuzeyinde ve güneyinde iki farklı jeolojik istif yer almaktadır. Bu iki farklı jeolojik istifin nedeni Kuzey Anadolu Fayıdır (KAF). KAF sağ yönlü doğrultu atımlı olup kuzey ve güneyde bulunan iki farklı tektonik birliği bir araya getirmektedir.

Kocaeli penepeni olarak tanımlanan kuzey istifte temelde Paleozoik yaşlı sedimanter kayalar yer almaktadır. Paleozoik temel üzerine Mesozoik yaşlı sedimanter kayalar yer yer uyumlu veya diskordanstır. Bu kayaları Ordovisien-Alt Karbonifer yaşlı ve uyumlu gelişmiş bir pasif kıta kenarı çökel istifi şeklinde olduğunu belirtilmişlerdir. Paleozoik'i oluşturan kayalar arkoz, vake, arenit, kuvarslı arenit, kuvarsit, ortokuvarsit, grovak, kireçtaşı, kumtaşı ve çakıltası gibi farklı litolojileridir.

Paleozoik yaşlı kayalar Alt Ordovisiyen ve Devoniyen devirlerinde çökelmiştir. Paleozoik temel üzerine Mesozoyik yaşlı sedimenter kayalar diskordanstır. Mesozoyik kayalar çakıltası, marn, kireçtaşı, taşlı vake, dolomitli kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, kumtaşı litolojilerinden oluşmaktadır. Senozoik yaşlı genç birimler ile Mesozoyik yaşlı birimler arasındaki ilişki de diskordanstır. Senozoik birimler Neojen ve Kuvaterner devirlerinde çökelmişlerdir.

Armutlu yarımadası yükselimi veya Samanlı dağları olarak da tanımlanan güney istif ağırlıklı olarak magmatik ve metamorfik kayalardan oluşmuştur. Temelde Paleozoik yaşlı İznik metamorfikleri yer almaktadır. Temel üzerinde Alt-Orta Eosen yaşlı kırıntılı ve volkanik kırıntılı sedimenter kayalar ile bunları yer yer örten Orta-Üst Eosen yaşlı volkanik kayalar vardır.

Kuzey ve Güney istiflerin bir araya geldikleri KAF zonu boyunca çöküntü havzalar meydana gelmiştir. Bu çöküntü havzalarından biri olan İzmit Havzası'nda ise jeolojik birimleri Neojen ve Kuvaterner yaşlı sedimenter çökeller oluşturur. Havzada çökelişini sürdüren Kuvaterner yaşlı birimler henüz sıkışmamış veya pekiştirilmiş olmamıştır. Bu çökel istifinde ince taneli kırıntılılar genelde havzanın merkezinde, iri taneli kırıntılılar ise çoğunlukla güney yamaçta izlenir. Havza merkezindeki alüvyon düzeyleri genelde yumuşak, organik madde katkılı ve kavkı kırıntılı siltli kil, kil boyutundadır. Havza kenarlarındaki kum ve çakıl düzeyleri ise genelde yarı köşeli, orta sıkı, sıkı ve kil matrikslidir.

3.3. Mühendislik Jeolojisi ve İnceleme Alanında Geçilen Formasyonlar

Eski Gölcük Yolu, proje mevkiindeki inceleme alanı, toplam derinlikleri 182,25 m. olan 5 adet sondaj ile araştırılmıştır.

İnceleme sondajları, bu projede yapılması düşünülen köprü için Gölcük karayolu üzerinde yol güzergahı boyunca yapılmıştır. Sondajların 3 tanesi köprü bölgesi alanını kapsarken, 2 adet sondaj da köprü giriş ve çıkışında başta ve sonda yaklaşım dolgularını temsil edecek şekilde yapılmıştır. Bu sondajlarda rastlanan birimler ve özelliklerine göre, inceleme alanında izlenen zeminlerin özellikleri aşağıdaki özetlenmiştir.

Tablo 3.1. Çok yumuşak kil

Zemin Sınıfı	CL
İnce Dane Miktarı	F (%) = 50 – 67
Çakıl Miktarı	G (%) = 0 – 28
Likid Limit	LL (%) = 30 - 55
Plastik Limit	PL (%) = 17 - 32
Zemin Sınıfı	CL
İnce Dane Miktarı	F (%) = 50 – 67
SPT N ₆₀ (Ortalama)	2

Tablo 3.2. Orta katı siltli kil

Zemin Sınıfı	CL
İnce Dane Miktarı	F (%) = 34 – 99
Çakıl Miktarı	G (%) =
Likid Limit	LL (%) = 25 – 47
Plastik Limit	PL (%) = 6 – 20
Plastisite Indisi	PI (%) =
Su Muhtevası	W _n (%) = 26,40
SPT N ₆₀ (Ortalama)	6

Tablo 3.3. Orta katı siltli kil

Zemin Sınıfı	CH
İnce Dane Miktarı	F (%) = 92 – 99
Çakıl Miktarı	G (%) = 0
Likid Limit	LL (%) = 61 – 69
Plastik Limit	PL (%) = 20 - 24
Plastisite Indisi	PI (%) = 41 – 45 ort:43
Su Muhtevası	W _n (%) = -
SPT N ₆₀ (Ortalama)	8

Tablo 3.4. Katı kil

Zemin Sınıfı	CL
İnce Dane Miktarı	F (%) = 40 - 98
Çakıl Miktarı	G (%) = 0 – 28
Likid Limit	LL (%) = 30 - 46
Plastik Limit	PL (%) = 15 – 25
Plastisite Indisi	PI (%) = 12 – 25 ort: 18
Su Muhtevası	W _n (%) = -
SPT N ₆₀ (Ortalama)	12

Tablo 3.5. Çok katı kil

Zemin Sınıfı	CL
İnce Dane Miktarı	F (%) = 45 – 96
Çakıl Miktarı	G (%) =
Likid Limit	LL (%) = NP – 43
Plastik Limit	PL (%) = NP – 20
Plastisite Indisi	PI (%) =
Su Muhtevası	W _n (%) = -
SPT N ₆₀ (Ortalama)	21

Tablo 3.6. Sert siltli kil

Zemin Sınıfı	CL
İnce Dane Miktarı	F (%) =
Çakıl Miktarı	G (%) =
Likid Limit	LL (%) =
Plastik Limit	PL (%) =
Plastisite Indisi	PI (%) =
Su Muhtevası	W _n (%) =
SPT N ₆₀ (Ortalama)	32

Tablo 3.7. Gevşek kum

Zemin Sınıfı	SC - SM
İnce Dane Miktarı	F (%) = 26 – 45
Çakıl Miktarı	G (%) =
Likid Limit	LL (%) =
Plastik Limit	PL (%) = 16 – 20
Plastisite Indisi	PI (%) =
Su Muhtevası	W _n (%) =
SPT N ₆₀ (Ortalama)	8

Tablo 3.8. Orta sıkı kum

Zemin Sınıfı	SM, SC-SM
İnce Dane Miktarı	F (%) =
Çakıl Miktarı	G (%) =
Likid Limit	LL (%) = NP – 27
Plastik Limit	PL (%) = NP – 21
Plastisite Indisi	PI (%) = NP – 8 ort: 7
Su Muhtevası	W _n (%) = -
SPT N ₆₀ (Ortalama)	21

Tablo 3.9. Çok sıkı kum

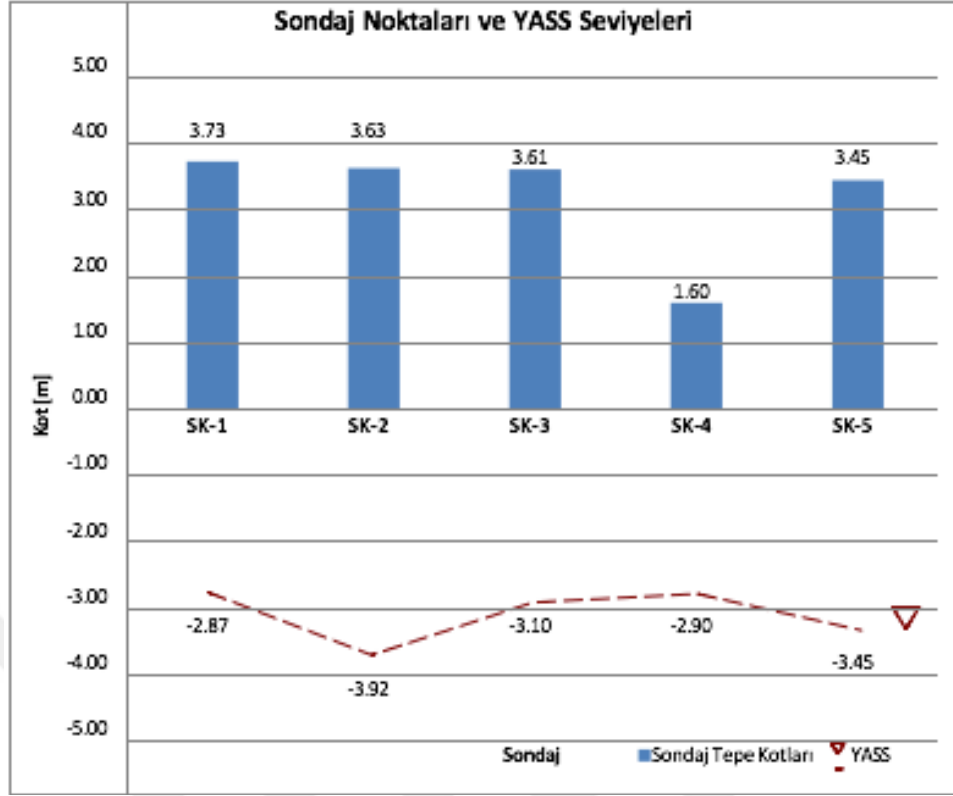
Zemin Sınıfı	SM, SC-SM
İnce Dane Miktarı	F (%) = 20 – 58
Çakıl Miktarı	G (%) =
Likid Limit	LL (%) = NP – 33
Plastik Limit	PL (%) = NP – 16
Plastisite Indisi	PI (%) = NP – 17 ort:15
Su Muhtevası	W _n (%) = -
SPT N ₆₀ (Ortalama)	55

Köprü inceleme alanında geçilen zemin tabakaları yer altı suyu taşıma potansiyeline sahip kum, silt ve kil seviyelerden oluşmaktadır. Proje karayolu üzerindeki planlanan köprü ve yaklaşım dolguları bölgesinde açılan 5 sondajda da yeraltı suyu gözlemlenmiştir. Yeraltı suyu seviyeleri 4,50~7,55 arasında değişmektedir. Sondaj çalışmaları süresince yapılan yer altı su seviyesi ölçümlerine ait bilgiler Tablo 3.10 'da sunulmuştur.

Tablo 3.10. Yeraltı su seviyesi ölçümleri

Sondaj No	Tarih	YASS (m)	
		Derinlik [m]	Kot [m]
SK-1	28.01.2015	6,60	-2,87
SK-2	28.01.2015	7,55	-3,92
SK-3	28.01.2015	6,71	-3,10
SK-4	28.01.2015	4,50	-2,90
SK-5	28.01.2015	6,90	-3,45

Bu YASS verilerine göre oluşturulmuş grafik için bakınız Şekil 3.2.



Şekil 3.2. Sondaj noktalarına göre yass grafiği

3.4. İnceleme Alanında Yapılan Çalışmalar

Proje alanında, 21–28.01.2015 tarihleri arasında, toplam 5 adet zemin araştırma sondajı yapılarak, sahayı temsil edecek şekilde numuneler alınmış ve loglanmıştır. Bunun dışında arazi deneyleri olarak 3 noktada presiyometre deneyi (Sk-1, Sk-4 ve Sk-5 kuyularında), jeofizik deneyler (Masw, mikrotremor ve rezistivite) ve laboratuvar deneyleri de yapılmıştır. Arazi çalışmaları sonucunda oluşturulan sondaj logları Ek-1’de verilmiştir.

Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından yayımlanan (1996) ‘‘Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası’’, inceleme alanının bulunduğu Gebze ve çevresini ‘‘Birinci Derece Deprem Bölgesi’’ olarak sınıflamaktadır.

Marmara bölgesi, tarihi kayıtlara göre, birçok yıkıcı depreme maruz kalmıştır. Kuzey ve kuzeybatı Anadolu’nun ve bu arada inceleme alanının da deprenselliğinin ana kaynağı olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), bir yay şeklinde Doğu Anadolu’dan Marmara Denizi’nin içine kadar uzanır. Marmara Denizi içinde daha

fazla dallanarak, Ege Graben Sistemi ile birleşir. KAFZ, dünyanın en aktif fay zonlarından biridir.

İstanbul – İzmit bölgesinde, olasılık yönünden,

1 yıllık periyotta karşılaşılabilecek azami deprem büyüklüğü: $M = 2,4$;

25 yıllık periyotta karşılaşılabilecek azami deprem büyüklüğü: $M = 5,4$;

50 yıllık periyotta karşılaşılabilecek azami deprem büyüklüğü: $M = 6,0$;

100 yıllık periyotta karşılaşılabilecek azami deprem büyüklüğü: $M = 6,7$;

475 yıllık periyotta karşılaşılabilecek azami deprem büyüklüğü: $M = 8,1$;

olarak hesaplanmaktadır.

Proje yapım aşamasında yürürlükte bulunan “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (2007)” esaslarına göre, etkin yer ivme katsayısının, $A_0 = 0,40$ olarak alınmalıdır. Mevcut zemin durumu da göz önünde bulundurularak jeolojik raporda Z4 yerel zemin sınıfı için spektrum karakteristik periyotları verilmiştir.

3.5. Sondaj Çalışmaları

Köprü kenar ve orta ayak temellerinin projelendirilmesi amacıyla sondaj çalışmalarının yapılması işi 02.06.2014 - 09.06.2014 tarihinde yürütülmüştür. Sondaj çalışması ile ilgili bilgiler Tablo 3.11’de verilmektedir.

Tablo 3.11. Sondaj kuyularına ait detaylar

Sondaj No.	Koordinatlar		Yaklaşık Sondaj Ağzı Kotu (m)	Derinlik (m)	Yaklaşık Dip Kotu (m)	Yaklaşık Yeraltı Suyu Kotu (m)
	x	y				
SK-1	4513311	495686	3,73	34,95	-31,22	-2,87
SK-2	4513262	495690	3,63	34,95	-31,32	-3,92
SK-3	4513194	495707	3,61	45,45	-41,84	-3,10
SK-4	4513166	495757	1,60	31,95	-30,35	-2,90
SK-5	4513108	495731	3,45	34,95	-31,50	-3,45

3.6. Arazi Deneyleri

3.6.1. Standart penetrasyon deneyi

Sondajlar sırasında, hem örselenmiş temsili numuneler almak, hem de zeminin kıvamını / sıklığını ölçmek amacıyla standart penetrasyon deneyleri (SPT) yapılmıştır. Dünyada 1920'lerden beri yapılagelen Standart Penetrasyon Deneyi, ekonomik ve yıllar boyunca üzerinde çok çalışma yapıldığından hemen bütün zemin parametrelerine ampirik korelasyonları bulunan bir arazi deneyidir. Sondajlar boyunca 1,5 m ara ile yapılmıştır. 63,5 kg ağırlığındaki bir tokmağın 76 cm yükseklikten düşürülmesi suretiyle 50 mm çapında ve 450mm boyundaki standart penetrasyon numune alıcısının, beher 150 mm uzunluğundaki kısmının zemine girmesi için gereken darbe adedinin (N) sayılması şeklinde yapılmaktadır. İlk 150 mm için sayılan darbe adedi dikkate alınmaz. İkinci (150 - 300 mm arası) ve son (300 - 450 mm arası) kısımların penetrasyonu için gerekli toplam darbe sayısı (N - değeri) dikkate alınır. Her hangi bir aralıkta 50 darbeye 150 mm penetrasyon sağlanamazsa "refü" alındığı kabul edilir. Tüm sondajlarda yapılan Standart Penetrasyon Testi sonucu elde edilen SPT-N darbe sayıları ve grafik olarak N değerleri sondaj loglarında gösterilmiştir (Ek-1).

3.6.2. Numune alımları

Sondajlar sırasında yapılan SPT (Standart Penetrasyon Testi) ile her 1,50 m'de bir örselenmiş zeminin numunesi alınmıştır. İnceleme alanında sondajlar sırasında yapılan arazi deneyleri Tablo 3.12'de görülmektedir.

3.6.3. Presiyometre deneyi

Zeminlerin yerinde deformasyon modülü ve dayanımını ölçmek için Presiyometre Deneyleri yapılmıştır. Bu deney için Menard GA tipi presiyometre aleti kullanılmıştır. Presiyometre aleti başlıca iki parçadan oluşur. Kuyu içinde indirilen bir prob ve yüzeyde bulunan ölçüm hücresinden oluşmaktadır.

Yöntemi ise test; yapılması istenilen derinliğe yarıklı ve esneyebilen bir boru içinde muhafazaya alınmış 60 mm çaplı prob indirilir. Bu proba yüzeydeki ölçüm hücresinden hortumlar vasıtası ile basınçlı hava verilerek kuyunun radyal olarak genişlemesi sağlanır.

Yüzeiden uygulanan basınçların kademeli olarak arttırılması sonucu kuyu genişlemeye başlar ve hacim değışikleri ölçülür. Elde edilen basınç -hacim değışikliği grafiğinden zeminin Elastisite Modülü (E), Limit Basınç (PL) ve Net Limit Basınç (PL*) değeri bulunur.

İnceleme alanındaki SK-1 sondajında 7 adet, SK-2 sondajında 6 adet, SK-3 sondajında 7 adet muhtelif derinliklerde presiyometre deneyi yapılmıştır. Presiyometre deney sonuç föyleri Ek-2’de verilmiştir.

3.7. Laboratuvar Çalışmaları

Sondajlardan alınan SPT ve zemin karot numunelerinden seçilenler üzerinde, Bayındırlık Bakanlığı Belgeli bir laboratuvarında, zeminin indeks özelliklerini belirlemek amacıyla TS 1900 standardına uygun olarak zemin mekaniği sınıflama deneyleri yaptırılmıştır. Ayrıca zemin karot numunelerinden seçilenler üzerinde dayanım ve sıkışabilirlik - oturma parametrelerinin belirlenmesi için de deneyler yapılmıştır. Deney programı Tablo 3.12’de gösterilmiştir. İnce ve iri malzeme içeriğine sahip zeminlerin hepsinde sınıflama amaçlı olarak yapılan deneyler; Elek Analizi, Atterberg Limitleri ve ek olarak Doğal Su İçeriği Tayini deneyleridir. Ayrıca alınan zemin karot numunelerinden dayanım için Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU) deneyleri yapılmıştır.

- Elek analizi ve Atterberg testleri: 71 ad.
- Doğal su içeriği: 2 ad.
- Doğal birim hacim ağırlık: 2
- Üç Eksenli Test: 2 ad.
- Presiyometre: 20 ad.

Tablo 3.12. Laboratuvar deney programı

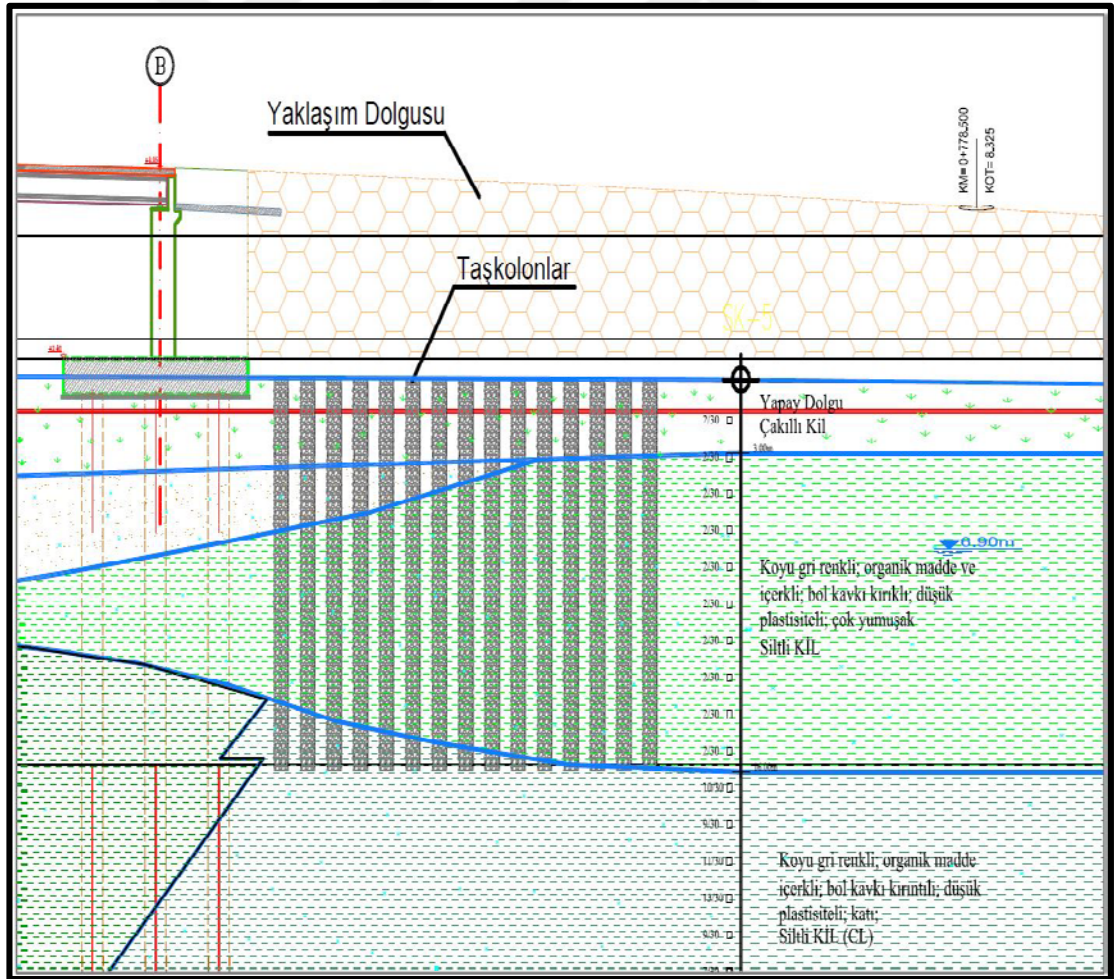
Proje:						
Sıra No.	Sondaj No.	Elek Analizi+Att	Su Muhtevası	DBHA	Üç Eksenli(UU)	Presiyometre
1	SK-1	11	1	1	1	7
2	SK-2	13	1	1	1	
3	SK-3	20				
4	SK-4	14				6
5	SK-5	13				7
	TOPLAM:	71	2	2	2	20

3.8. Seçilen Bölgedeki Taş Kolon Hesabı

3.8.1. Taş kolon hesap raporu

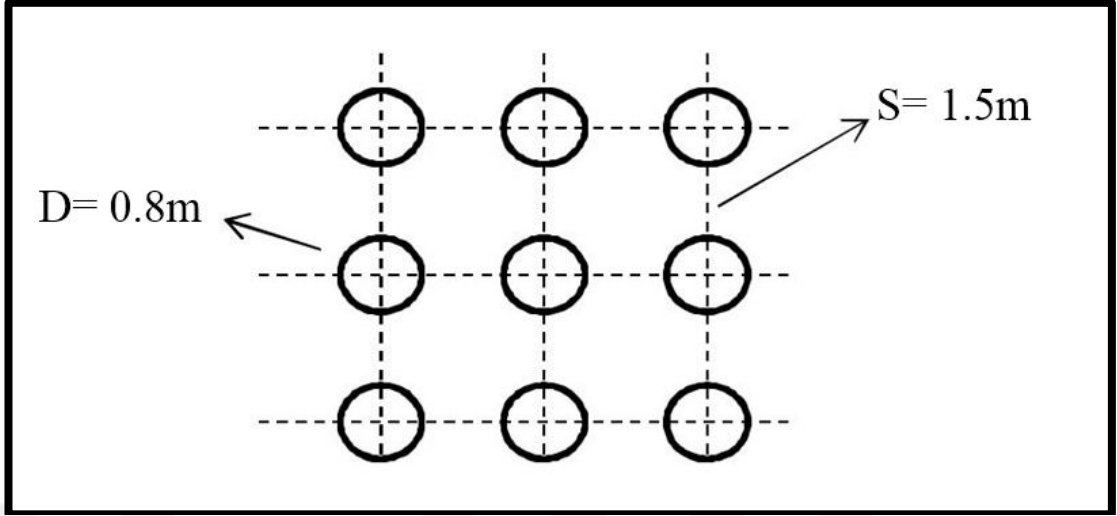
Dolgu altlarına imal edilecek taşkolonlar hem düşey dren gibi çalışıp oturma süresini kısaltacak, hem de taşıma gücünün yeterli seviyeye yükseltilmesini sağlayacak olmasından dolayı bu bölgedeki çözüm olarak da projede Taş Kolon'lu çözüm önerilmiştir.

Taşkolonların yerleşimi aşağıdaki profile temsili olarak gösterilmiştir. Aşağıdaki şekilde sondaj logunun değerlerinin okunmasına engel olmaması için profile taşkolonların imal edilmesi gereken bölge, olması gerekenden daha düşük gösterilmiştir. Projede taşkolonlar, üstteki yaklaşım dolgusunun yüksekliği 2m.'ye ininceye kadar imal edilecektir.



Şekil 3.3. Yaklaşım dolgusu

3.8.2. Plan



Şekil 3.4. Kare patern

Vesic boşluk genişleme teorisine (Cavity Expansion Theory) göre analiz:

Yapılan kabuller:

Kare Patern

Taşkolon özellikleri: $D=0,8$ m , $L=16,0$ m, $S=1,5$ m, $\varphi=45^\circ$

Bu paterne göre birim hücrenin eşdeğer çapı: $De= 1,13s$, $De= 1,695$

Birim hücrenin alanı (A): $\pi De^2/4 \rightarrow 2,256$ m²

Taş kolon için alan yer değiştirme oranı (a_s);

$$a_s = \frac{A_s}{A} \quad (3.1)$$

A_s : Taş kolonun alanı

$$A_s = 0,503 \text{ m}^2$$

$$A = 2,256 \text{ m}^2$$

A: Birim hücrenin alanı $a_s = 0,223$

Taş kolonu çevreleyen zemin için alan oranı (a_c)

$$a_c = \frac{A_c}{A} = 1 - a_s \quad (3.2)$$

$$a_c = A_c / A = 1 - a_s$$

$$A_c = 1,754 \text{ m}^2$$

$$a_c = 0,777$$

A_c : Tek kolonun desteklediği kil yüzey alanı(kolon etki alanı)

Gerilme konsantrasyonunun çarpanı(n)

$$n = \frac{\sigma_s}{\sigma_c} \quad (3.3)$$

σ_s =Taş kolondaki gerilme

σ_c =Taş kolonu çevreleyen zemindeki gerilme

Literatürde(Mitchell, 1982) n sayısının 2-6 arasında değiştiği, genellikle de 3-4 değerlerine sahip olduğu ifade edilmektedir. Bu modelde n için 3 değeri kullanılmıştır.

$$\sigma = \sigma_s \cdot a_s + \sigma_c (1 - a_s) \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir.

Buna göre zemin ve taş kolonlar üzerindeki gerilme oranları aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\mu_c = 1 / 1 + (n-1)a_s = 0,692$$

$$\mu_s = n / 1 + (n-1)a_s = 2,075$$

Önceki çalışmalar ışığında(Huges & Withers, 1974) killi zeminlerde taş kolon için genişleme zonunun yüzeyden 2 ila 3D derinlikte gerçekleşeceği kabul edilmiştir.

Vesic boşluk genişleme teorisine(Cavity Expansion Theory) göre nihai yanal direnç;

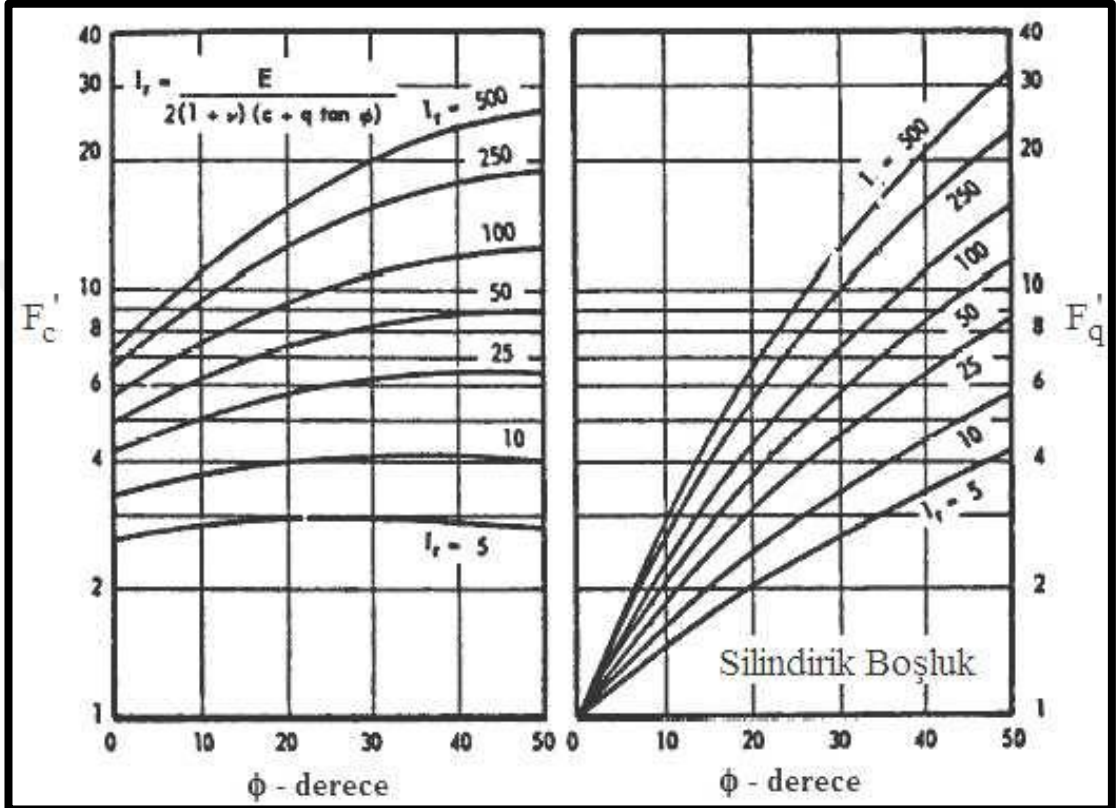
$$\sigma^3 = cF'c + qF'q \quad (3.4)$$

Burada:

q: Göçme bölgesinin ortasındaki ortalama gerilme

c: Taş kolon çevresi zeminin kohezyonu

F'_c ve F'_q: Boşluk genişleme katsayılarıdır. Bu katsayılar Rijitlik indeksi (I_r) ve içsel sürtünme açısına (φ) göre değişmektedir.



Şekil 3.5. Vesic silindirik genişleme faktörleri

$$I_r = \frac{E}{2(1+\nu)(c+q \tan \phi)} \quad (3.5)$$

Burada:

E=Boşluk genişlemesinin olduğu taş kolon çevresi zemin elastisite modülü

ν= Taş kolon çevresi zeminin Poisson oranı

E= 7500 kPa ν= 0,40 φ= 33 0 c=2kPa için I_r= 65

Belirlenmiş I_r ve φ değerlerine göre:

$$F'_c = 9,5$$

$F'q = 7$ olarak grafikten elde edilir.

$$q_{ult} = \frac{(cF'c + qF'q)(1 + \sin\phi_s)}{1 - \sin\phi_s} \quad (3.6)$$

formülü ile:

$$c = 2 \text{ kPa}$$

$$K_0 = 1 - \sin(33^\circ) \quad \text{-----} \quad K_0 = 0,46$$

$$q = 0,46 \times (36 + 140 \times 0,692) = 60 \text{ kPa}$$

$$\phi_s = 45 \text{ kPa} \quad \text{-----} \quad \frac{1 + \sin\phi_s}{1 - \sin\phi_s} = 5,828$$

$$q_{ult} = 2579 \text{ kPa}$$

Kil zeminlerde teşkil edilen kolonun emniyetli taşıma yükü(*DLH:Geoteknik Tasarım Esasları)

$Q_{ncm} = 25 c_u / GS \times A_s$ formülü ile hesaplanacaktır. Bu formüle göre gerilme:
 $q_{ncm} = 25c_u$

Tasarımda kullanılacak gerilme böylelikle 750 kPa olarak alınacaktır.

Taş kolonun çevresindeki kil tabakanın taşıyabileceği maksimum gerilme:

$$\sigma_{c \text{ ult}} = 5 c_u \quad 150 \text{ kPa} \quad \sigma_c = \mu_c \sigma \quad \sigma_s = \mu_s \sigma$$

Kil tabakası için gerilme kontrolü:

$\sigma_c = \mu_c \sigma$ ve $\sigma_s = \mu_s \sigma$ olduğundan gerilme konsantrasyonu katsayılarına göre kilde oluşacak gerilme $\sigma_c \leq \mu_c \sigma$ olmalıdır. Yukarıdaki eşitlikten, bu denklem $\sigma_c = (\mu_c \times \sigma_s) / \mu_s$ şeklinde ifade edilebilir.

150 < 250 kPa en küçük değer, maksimum gerilmeyi sınırlandırmaktadır. Dolayısıyla kil tabakasının taşıyacağı maksimum gerilme 150 kPa olarak alınmıştır.

Dolgu sonrası limit taşıma gücünün aşılmadığı kontrolü için elde edilen gerilmeler alan oranlarıyla σ' yi bulmak için kullanılır.

$$\sigma = \sigma_s A_s + \sigma_c (A - A_s) \quad (3.7)$$

formülünden

$$q_{ult} = (750 \times 0,5 + 150 \times 1,75) / 2,26$$

$q_{ult} = 284$ kPa Güvenlik sayısı $GS = 2$ için

$$q_{em} = 142 \text{ kPa}$$

Dolgu yükünün güvenle taşınabilmesi için, dolgu yüzünden oluşacak gerilmelerin emniyet gerilmesinden küçük olması gerekmektedir.

$$H \text{ dolgu} \times \gamma_{dolgu} = 140 \text{ kPa} < 142 \text{ kPa}$$

Dolgu yükünden ötürü oluşacak gerilme artışı taş kolonlar tarafından güvenle taşınmaktadır.

İyileştirilen zemin için oturmalar ise aşağıdaki gibi hesaplanabilir [8]:

$$\frac{S'_t}{S} = \frac{1}{1+(n-1)a_s} = \mu_c \rightarrow S'_t = \mu_c S_t \quad (3.8)$$

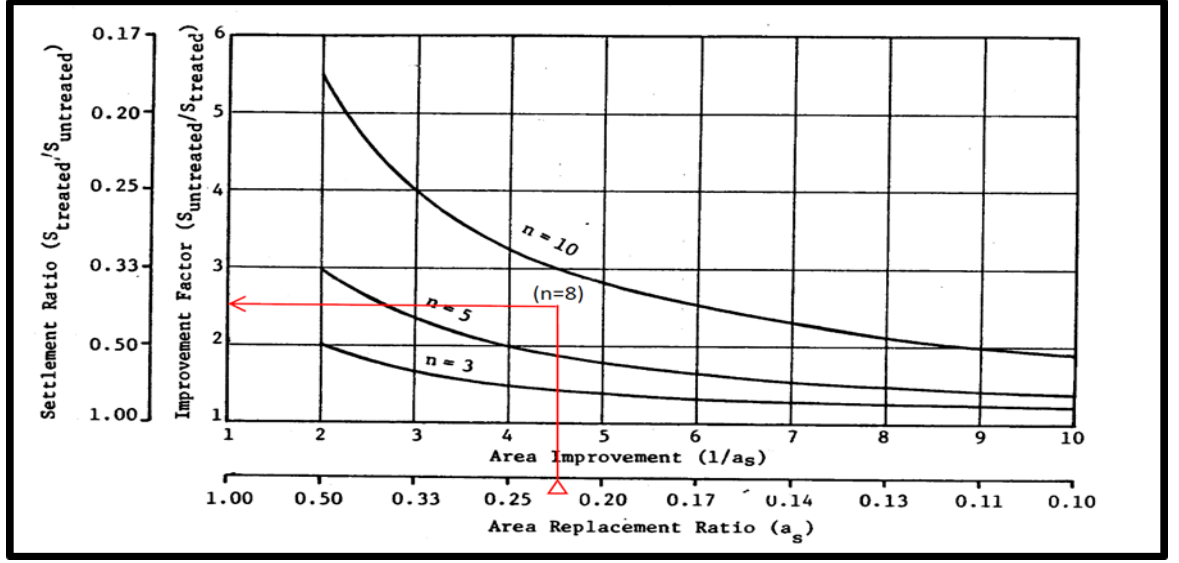
$S'_t = t$ süre içerisindeki birincil konsolidasyon oturması

$S_t =$ İyileştirilmiş zeminin nihai birincil konsolidasyon oturması

$a_s = 0.223$ & $n = 8$ değerleri için tablodan (Gerilem Oranı için $n=8$ kabulüyle)

$$\frac{S_{iyileştirilmiş}}{S_{iyileştirilmemiş}} = 0.40 \quad (3.9)$$

Bu durumda iyileştirilmiş zemindeki oturma miktarı da 10 cm olarak hesaplanır.



Şekil 3.6. İyileştirilen zemin için oturma süresi [8]

Taş kolon uygulaması sonrasında kil tabakasının oturma süresinin hesaplanması:

Burada kritik önem oturma miktarından çok oturma süresidir. Projede yaklaşım dolguları için beklenen imalat süresi 2 aydır. İyileştirme sonrasında tüm konsolidasyon oturmalarının bu süre zarfı içerisinde tamamlanması beklenmektedir. Tasarım bu süre göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Konsolidasyon oranı için:

$$U=1-(1-U_z)(1-U_r) \quad (3.10)$$

Formülünden faydalanılacaktır. Burada:

U_z = Düşey konsolidasyon değeri.

U_r = Radyal konsolidasyon değeri.

U = Düşey ve radyal konsolidasyonun birlikte hesaba katıldığı ortalama konsolidasyon değeri.

%90 konsolidasyonun tamamlanması gerekli süre hesabı:

Düşey konsolidasyon değeri U_z çok küçük olması hasebiyle ihmal edilmiştir.

$C_v=0,0010\text{cm}^2/\text{s}$, $\frac{k_h}{k_v} = 3$ olarak kabul edilmiştir. Buna göre;

$$C_{v_r} = C_v \left(\frac{k_h}{k_v} \right) \quad (3.11)$$

$$C_{v_r} = 0.0030 \text{ cm/s}$$

Tas kolon ve kum dren imalatında kolona bitişik bölgedeki zemin yoğrulur ("smear effect"). Tas kolon kenarındaki bu yoğrulmuş zemin, kazığın dış kenarlarındaki boşluklara girer. Sonuç olarak kazık çevresindeki bölgenin permeabilitesi ve radyal drenajın etkisi azalır. Bu yüzden azaltılmış bir dren çapı kullanılması önerilir [8].

Azaltılmış dren çapı hesaplanırken $D=0,3 D$ kabul edilmiştir (Bu değer $1/2 \sim 1/15$ D aralığında değişmektedir).

D_e = Birim hücrenin eşdeğer çapı

$$n = r_c / r_w = D_e / D'$$

r_c = Birim hücrenin yarıçapı

r_w = Drenaj boyunun yarıçapı

$$n\phi = 1,695 / 0,3 \times 0,8$$

$n\phi = 5,7$ olarak hesaplanır. Bu değer yaklaşık 6 alınmıştır.

$U = \% 90$ konsolidasyon tamamlama oranı için

$$0,9 = 1 - (1 - 0)(1 - U_r) \quad \text{Buna göre } U_r = 0,90$$

$U_r = 0,90$ & $n\phi = 6$ için $T_t = 0,32$ olarak grafikten elde edilir.

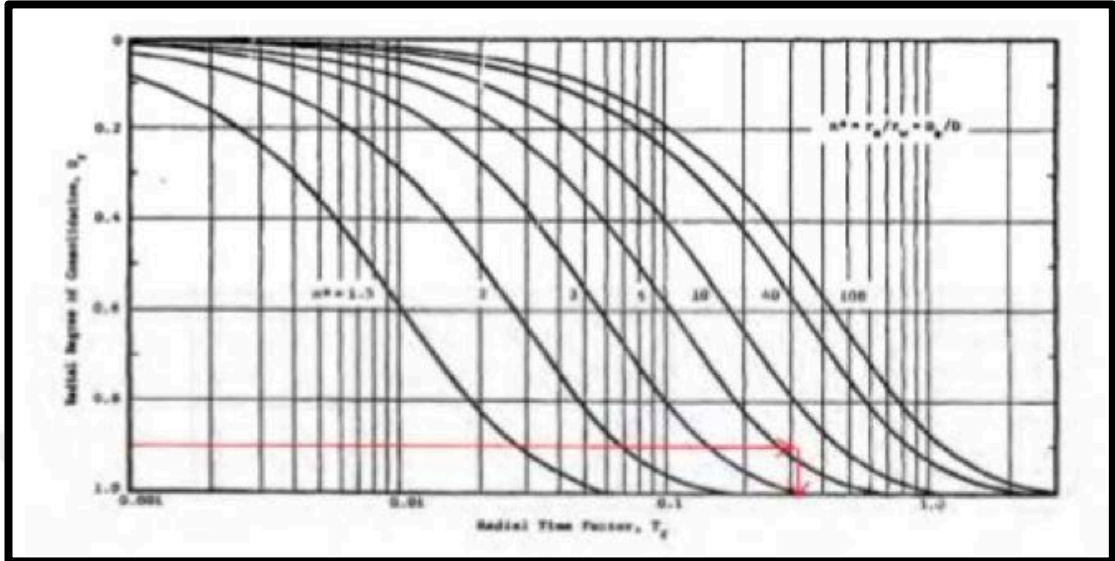
$$T \gamma = C_v \gamma t / D_e^2 \quad \text{-----} \quad t = T \gamma (D_e^2) / C_v \gamma$$

T t = Radyal drenaj için zaman katsayısı

$C_v \gamma$ = Radyal yöndeki konsolidasyon katsayısı

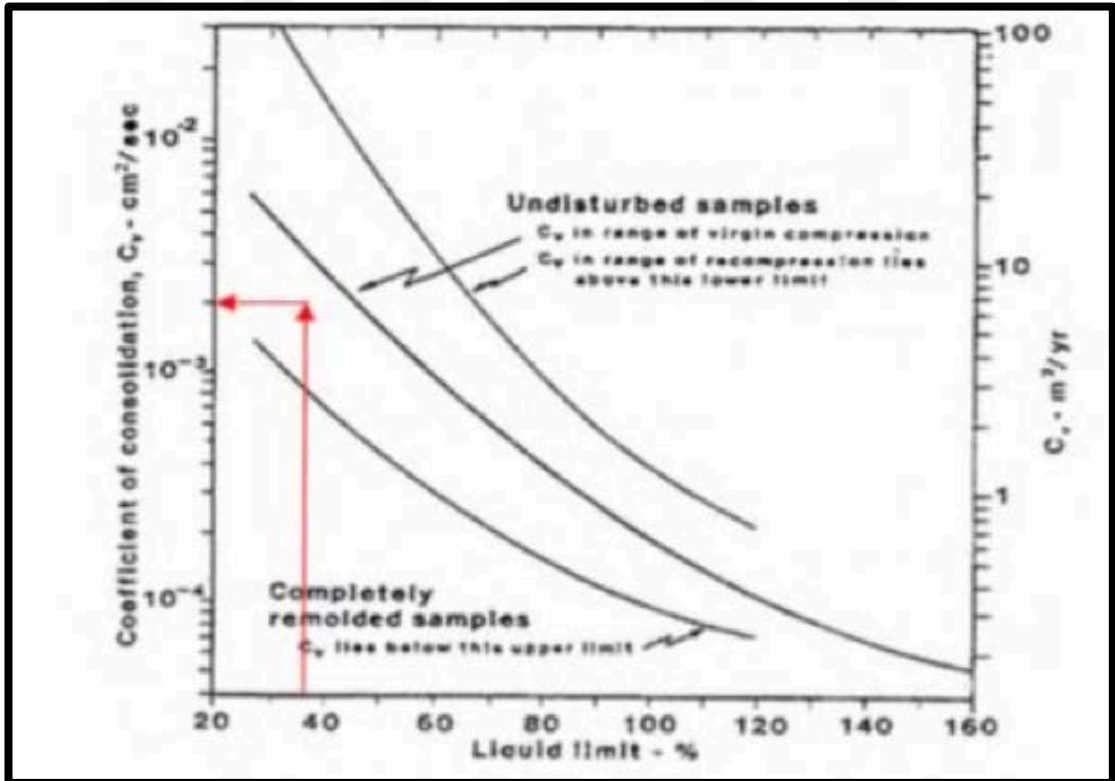
t = Konsolidasyon süresi

$t=0,32 \times 170^2/3,0 \text{ E-}03= 35$ gün(%90 konsolidasyonun tamamlanması için gereken süre)



Şekil 3.7. Radyal zaman faktörleri

İlgili bölgedeki CV katsayısı hesaplanırken aşağıdaki şekilden yararlanılmıştır.



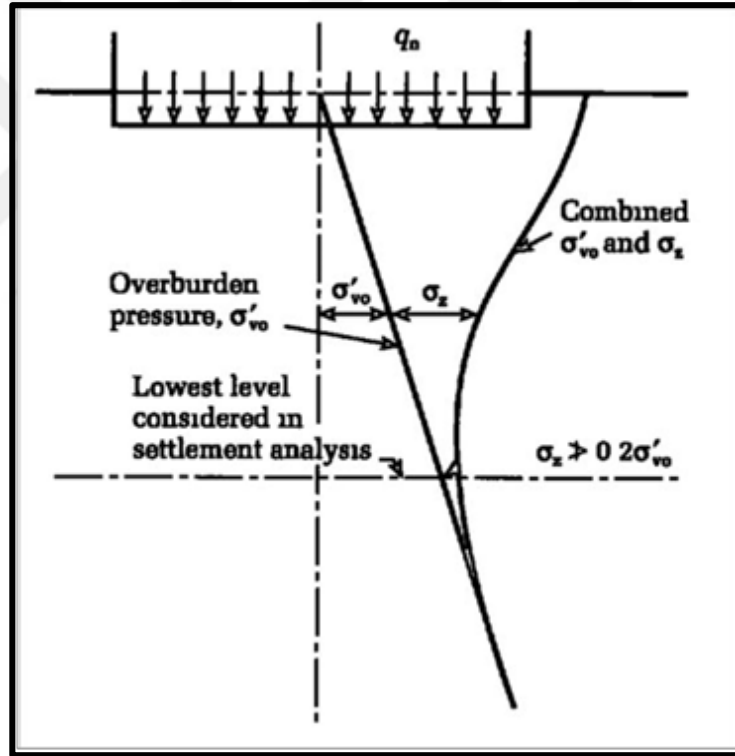
Şekil 3.8. Likit limit-konsolidasyon katsayısı (cv) ilişkisi [33]

Taş kolonla iyileştirme yapılacak bölgenin altındaki oturma miktarı hesaplamaları:

Taşıma gücü ve oturma süresinin hızlandırılması için yaklaşım dolguları altında taşkolon yapılacağı belirtilmiştir. TK boyu olarak nispeten sağlam kil tabakasına girilebilmesi amacıyla 16m'lik boylar seçilmiştir.

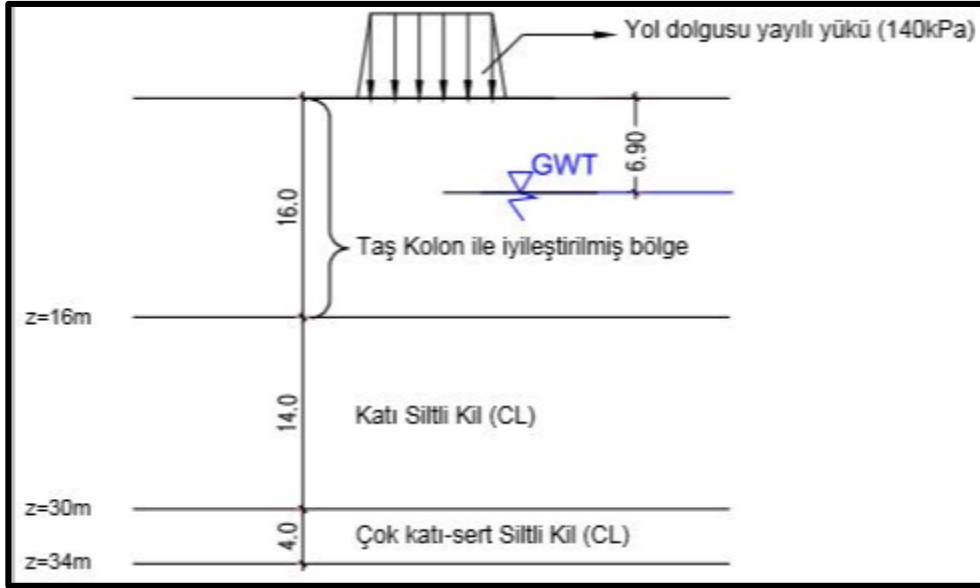
Bundan daha yüksek boyların ekonomik olarak uygulanması da tercih edilmemiştir. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer husus, iyileştirilmemiş zemin tabakası içerisinde oluşacak uzun dönemli (konsolidasyon) oturmalarının miktarının belirlenmesidir.

Sıkışan tabakanın tayini için üstyapı yükü yüzünden oluşan gerilmenin sahadaki efektif gerilmenin %20'sinden daha düşük olduğu derinliğe kadar inilmiştir. Pratikte bu tabakadan daha derindeki tabakanın sıkışmadığı kabul edilmektedir [34].



Şekil 3.9. Sıkışacak zemin tabakası için düşey basınç ve gerilme dağılımı grafiği [34]

Sahadaki mevcut düşey efektif gerilmeler ile üstteki dolgu yükünden ötürü oluşacak gerilmeler incelendiğinde, çok sıkı killi Kum tabakasının başlangıcına kadar sıkışmaların olacağı görülmektedir. İlgili bölge için gerilmelerin kıyaslandığı tablo ve idealize zemin profili Tablo 3.13 ve Şekil 3.11'de görülmektedir.



Şekil 3.10. Sıkışacak tabakalar için idealize zemin profili

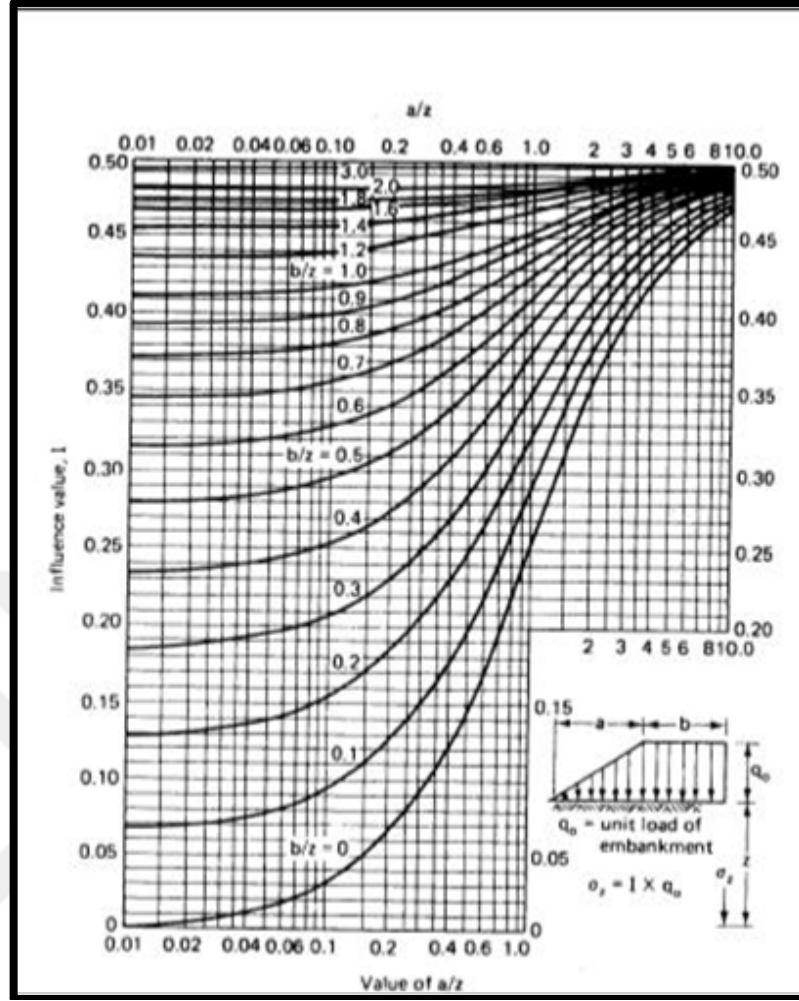
Dolgular için toprakarme duvar düşünüldüğünden şev eğimi olarak 90° 'ye yakın bir değer alınmıştır ($a=0$). Plandan yol genişliği incelendiğinde, $b=10,60$ olduğu görülmüştür. Bu şekildeki dolgu için de muhtelif derinlikteki gerilme artışları grafikten okunarak hesaplanmıştır.

Burada

$a=0$ m

$b=10,60$ m değeri kullanılmıştır.

Dolgu düzgün yayılı yük için: $q_0 = \gamma \times H = 20 \times 7 = 140 \text{ kPa}$ $\sigma_z = I \times q_0$



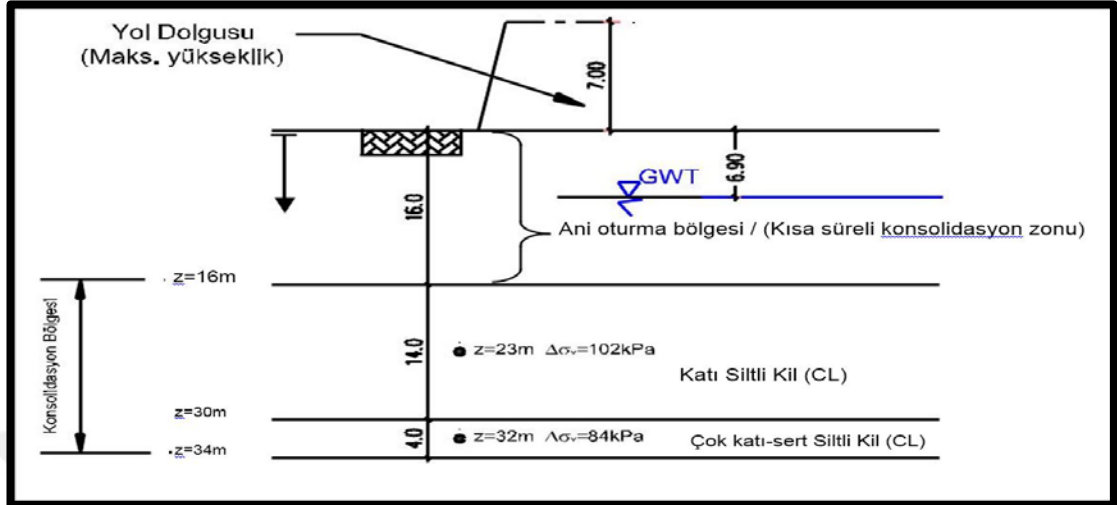
Şekil 3.11. Sonsuz uzunluktaki dolgu altındaki derinliğe göre değişen (I) tesir değerleri [35]

Tablo 3.13. Dolgu yükünden ötürü oluşacak ekstra gerilmeler

Derinlik [m]	Dolgu yükünden ötürü gerilme artışı (+ $\Delta\sigma_v$) [kPa]	Sahadaki mevcut düşey efektif gerilme (σ'_{v0}) [kPa]	Oran [%]
16	118	197	60
21	106	237	45
26	95	277	34
31	86	317	27
36	77	357	22

Tablo 3.13'de de görülebileceği gibi dolgu yükünden dolayı oluşacak ekstra düşey gerilmeler, kum tabakasına ulaşıldığından bile efektif düşey gerilmelerin ancak %22'si mertebesine düşmektedir. Bu sebeple tüm bu 18m (14+4) kalınlığındaki kil tabakası uzun dönemde konsolide olacaktır. Sıkışacak kil tabakalarının orta

noktalarındaki gerilme artışlarına göre yapılan hesaplar neticesinde iyileştirilmemiş tabaka altında 8cm konsolidasyon oturması beklenmektedir.



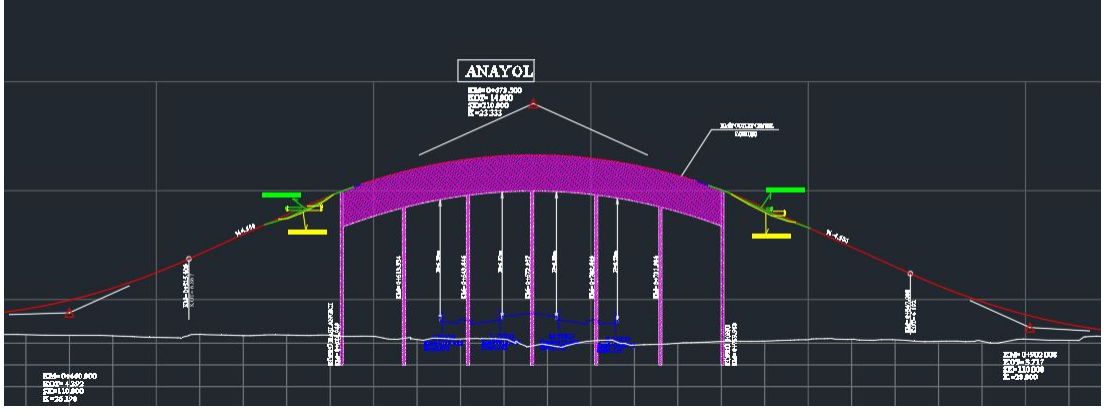
Şekil 3.12. Yol dolgusu altındaki tabakalar için konsolidasyon hesapları

Yüzeiden itibaren derinlik [z=m]	Sıkışan Tabaka Kalınlıkları [m]	Dolgudan Ötürü Oluşan Gerilme Artışı [$\Delta\sigma_v$ =kPa]	α_{av} [1/E]	$\delta_{\text{konsolidasyon}}$ (m)
23	14	102	5 E-0.5	71.4
32	4	84	2.86 E-0.5	9.6
				=Σ 8cm

Şekil 3.13. Yol dolgusu altındaki oturma değerleri

3.9. Arazi uygulaması resimleri ve ölçümleri

Arazide yapılan ölçümler neticesinde 2017 yılı yapılan ölçümde gölcük tarafı 0,097, kent merkezi tarafı 0,139 ölçülmüşken 2019 yılı gölcük tarafı 0,182 kent merkezi 0,178 olarak oturma miktarları ölçülmüştür.



Şekil 3.14. Yerde ölçümler



Şekil 3.15. Çalışma alanı görseli

Şekil 3.16’te görüldüğü gibi arazin ilk 4 metresi kontrollü dolgu olması sebebi ile vibratörlü boru indirilmeden önce spt yüksek olan katman burgu vasıtasıyla malzemenin çıkarılmadan delinmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.16. Gece çalışmalarının devam ettiği günlerden bir durum tespiti



Şekil 3.17. Çalışma alanından görüntü

Şekil 3.18’de görüldüğü gibi proje de belirtilen derinliğe indirildikten sonra onylı uygun malzeme nin kademeli olarak zemine tatbikinin kontrol eşliğinde yapıldığı görülmektedir.



Şekil 3.18. Taş kolon için uygun malzeme

Şekil 3.19’da görüldüğü gibi taş kolon için uygun malzemenin stok alanıdır.



Şekil 3.19. Taş kolon borusu

Şekil 3.20’de görüldüğü gibi kontrollü sıkışmış zeminde burgu ile delinmeyen bölgelerde taş kolon borusunun kırıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.20. Taş kolon virasyonu

Şekil 3.21’da görüldüğü gibi taş kolon vibrasyonu gerçekleşmektedir.



Şekil 3.21 Taş kolonun ikinci kademesi

Kademeli olarak imalatı yapılan taşkolonun birinci kademesi bittikten sonra ikinci kademe çalışması.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında ilk olarak taş kolonlar ile ilgili literatürde yer alan önceki çalışmalar kısaca özetlenmiştir. Daha sonra ise taş kolon yöntemi hakkında genel bilgiler verilmiştir.

İnşa edilecek taş kolon için uygun malzeme seçimi önemlidir. Mıcır malzemesi granülometrik özellikleri ve imalat sırasında uygun bir şekilde sıkıştırılması gereklidir. Parametrik sayısal analiz sonuçlarından kolon malzemesinin kayma mukavemeti açısı $\phi_c > 40$ ve rijidlik modülü oranı ise $E_c/E_s > 10$ olmalıdır.

Uygulamada taş kolonların çapı, kolonlar arası mesafe ve dolayısıyla yerleşim oranı önemlidir.

Taş kolonlar zemindeki boşluk suyu basınçlarının ve efektif gerilmelerin önemli ölçüde değişmesine neden olmaktadır.

Taş kolonların yapımı ile birlikte ilave boşluk suyu basıncı ani olarak artmıştır. Taş kolon uygulaması yapılan zeminlerde kolon içerisinde ilave boşluk suyu basıncı çok daha hızlı bir şekilde sönmülmektedir, Taşkolon dışında ise kolondan uzaklaştıkça ilave boşluk suyu basıncının sönmülenme hızı azalmaktadır. Bu nedenle ilk zamanlarda taş kolonlu zeminde daha fazla oturmalar meydana gelmektedir.

Tez konusu olarak incelenen vaka analizinde ise;

Saha ile ilgili jeolojik haritalara, arazi sondaj ve laboratuvar çalışmalarına göre köprü sahasında üst yüzeyde yapay dolgu, bu dolgunun altında da ağırlıklı olarak düşük plastisiteli çok yumuşak-yumuşak Kil geçildiği görülmektedir.

Bölgenin depremselliği, mevcuttaki sondaj sonuçları ve yeraltı suyu göz önünde bulundurularak sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Sıvılaşma sorunu ile karşılaşılacağı görüldüğünden bir zemin iyileştirme metodu olarak temelaltı kazıklarının çevresinde Jet Grout uygulaması yapılması gerekmektedir.

Bunun dışında dikkat edilmesi gereken yine bu zayıf kil tabakaları üzerine oturacak olan, yaklaşık 7m yüksekliğindeki yaklaşım dolgularıdır. Bu bölgedeki çözüm olarak da projede Taş Kolon'lu çözüm önerilmiştir. Dolgu altlarına imal edilecek taşkolonlar hem düşey dren gibi çalışıp oturma süresini kısaltacak, hem de taşıma gücünün yeterli seviyeye yükseltilmesini sağlayacaktır.

Taşkolon hesaplamaları teoriye uygun olmasına rağmen kolon özellikleri ve davranışı direkt olarak imalat yöntemine bağlıdır. Bu sebeple uygulamacı firmanın tasarım parametrelerinin doğruluğunu, yerinde yapılacak deneylerle teyit etmesi gerektiği tespit edilmesine rağmen 10 cm oturma öngörülmesine rağmen; uygun malzeme ve tekniğine uygun yapılmamasından dolayı %50 oranında oturma miktarında fazlalık tespit edilmiştir (Şekil 4.8).

KAYNAKLAR

- [1] Mokhtari M., Kalantari B., Soft soil stabilization using stone columns A review, *Electronic journal of Geotechnical engineering*, 2012, **17**, 1456-1459.
- [2] Ghanti R., Kashliwal A., Ground Improvement Techniques–with a focussed study on stone columns. *Dura Build Care PVT LTD. Retrieved on January, 2008.*
- [3] Holmes R., Introduction to civil engineering construction, College of Estate Management, 1983.
- [4] Baker H, Holmes R., *Vibro-replacement techniques 'Introduction to Civil Engineering Construction* (3rd ed.), The College of Estate Management, 1995.
- [5] Kurt E., Darbeli Kırmataş Kolon ve Taş Kolon Elemanlarına Ait Yükleme Testlerinin Sayısal Analizi ve Sonuçlarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
- [6] Dobrzycki P., Rychlewski P., Site control procedures for applicability and quality of Rapid Impulse Compaction. In MATEC Web of Conferences, EDP Sciences, 2018, **251**, 18-20.
- [7] Kirsch K., Kirsch F., Ground improvement by deep vibratory methods, Taylor & Francis, 2010.
- [8] Barksdale R. D., Bachus R. C. Design and construction of stone columns, Turner-Fairbank Highway Research Center, 1983, **83/026**, 83-104.
- [9] Özkeskin A., Settlement reduction and stress concentration factors in rammed aggregate piers determined from full scale load tests, Doctoral dissertation, Thesis presented to the Middle East Technical University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, Ankara, 2004.
- [10] URL-1:https://www.academia.edu/2477689/Ta%C5%9F_kolon, (Ziyaret tarihi:10.06.2019)
- [11] Babu S., Ground improvement nptel Course, Department of Civil Engineering Indian Institute of Science Bangalore, 2012.
- [12] Das M., Dey A.K., An innovative approach to increase the bearing capacity of stone columns, *Indian Geotechnical Conference*, Madras, Chennai, India, 15-17 December 2016.

- [13] URL-2:<http://insaat.cumhuriyet.edu.tr/wp-content/uploads/8.SUNUM-ATIK-VE-ZEM% C4% B0NLER% C4% B0N-OTURMASI.pdf>, (Ziyaret tarihi: 10.06.2019)
- [14] Priebe H.J., The prevention of liquefaction by vibro replacement, Proceedings of the 2nd International Conference on Earthquake Resistant Construction and Design, Rotterdam, Netherlands, 1991.
- [15] Demir H, Taş Kolon ve Geopier Uygulaması ile Zemin iyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2007.
- [16] Han J, Ye S., *Field tests of soft clay stabilized by stonecolumns in coastal areas of China*, Balk-ema Press, Rotterdam, Netherlands, 243–248, 1991.
- [17] Ambily A. P., Gandhi S. R., Behavior of stone columns based on experimental and FEM analysis, *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 2007, **133**(4), 405-415.
- [18] Zahmatkesh A., Choobbasti A. J., Settlement evaluation of soft clay reinforced by stone columns, considering the effect of soil compaction, *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 2010, **3**(2), 159-166.
- [19] Juran I., Guermazi A., Settlement response of soft soils reinforced by compacted sand columns, *Journal of Geotechnical Engineering*, 1988, **114**(8), 930-943.
- [20] Besançon G., Iorio J. P., Soyez B., Analyse des paramètres de calcul intervenant dans le dimensionnement des colonnes ballastées, *In Renforcement En Place Des Sols Et Des Roches-Comptes Rendus Du Colloque International*, Paris, France, 9-11 Octobre 1984.
- [21] Welsh J. P. (). In situ testing for ground modification techniques, In Use of In Situ Tests in Geotechnical Engineering, *ASCE*, 1986, 322-335.
- [22] Andreou P., Papadopoulos V., Factors affecting the settlement estimation of stone column reinforced soils, *Geotechnical and Geological Engineering*, 2014, **32**(5), 1175-1185.
- [23] Lee J. S., Pande G. N., Analysis of stone-column reinforced foundations, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 1998, **22**(12), 1001-1020.
- [24] Hu W., Physical modelling of group behaviour of stone column foundations, Doctoral dissertation, University of Glasgow, 1995.
- [25] Tan S.A., Khine Khine, Department of Civil Engineering, National University of Singapore, Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 1425-1428, 2005.

- [26] Seed H.B., Booker J.R., Earthquake engineering research center stabilization of potentially liquefiable sand deposits using gravel drain systems, EERC, A Report on Research Sponsored by the National Science Foundation College of Engineering University of California Berkeley, California, April, 1976.
- [27] Millea M. T. (). Liquefaction mitigation technology, Naval Civil Engineering Lab Port Hueneme Ca, NCEL-TN-1808, 1990.
- [28] Durgunoğlu, TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri, 2004, **431**, 41.
- [29] Raju V. R., Sondermann W., Ground improvement using deep vibro techniques, *In Elsevier Geo-Engineering Book Series*, 2005, **3**, 601-638.
- [30] Liew S. S., Tan S. K., Performance of Reinforced Soil Wall Supported on Stone Columns. In Proc, 16th Southeast Asian Geotechnical Conferences, Malaysia, 2007.
- [31] Egan D., Kamrat-Pietraszewska D., McCabe B. A., Ground heave induced by installing stone columns in clay soils, Proceedings of ICE Geotechnical Engineering, 2013.
- [32] Sowers G. F. Introductory Soil Mechanics & Foundations, *Geotechnical engineering*, 1979, **92**, 114-117.
- [33] Navy U. S., Diving manual, Washington, Navy Department, 1988.
- [34] Tomlinson M. J., Boorman R., Foundation design and construction. Pearson education, 2001.
- [35] Holtz R. D., Kovacs W. D., Kansas Geotechnical Survey, *Current Research in Earth Science Bulletin*, 1981, **244**.
- [36] Bell T. H., Progressive deformation and reorientation of fold axes in a ductile mylonite zone: the Woodroffe thrust. *Tectonophysics*, 1978, **44**(1-4), 285-320.
- [37] Vesic A. S., Expansion of cavities in infinite soil mass, *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div*, 1972, **98**-3.
- [38] Vautrain L. H., 1977, Washington, DC, Patent No. 4,033,727, U.S. Patent and Trademark Office.
- [39] Balaam N. P., Load settlement behaviour of granular piles, 1978.
- [40] Englehardt K., Kirsch K., Soil improvement by deep vibratory techniques, *In Proceedings of the 5th Southeast Asian Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1977.
- [41] Datye K. R., Nagaraju S. S., Installation and testing of rammed stone columns, In Proceedings of IGS specialty session, 5th Asian Regional Conference on Soil Mechanic and Foundation Engineering, Bangalor, India, 1975.

- [42] Gibson R. E., Anderson W. F., Civil Engineering and Public Works Review, 1961.
- [43] Murugesan S., Rajagopal K., Geosynthetic-encased stone columns: numerical evaluation, *Geotextiles and Geomembranes*, 2006, **24**(6), 349-358.
- [44] Yoo C., Performance of geosynthetic-encased stone columns in embankment construction: numerical investigation, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2010, **136**(8), 1148-1160.
- [45] Pulko B., Majes B., Logar J., Geosynthetic-encased stone columns: analytical calculation model, *Geotextiles and Geomembranes*, 2011, **29**(1), 29-39.
- [46] Keykhosropur L., Soroush A., Imam R., 3D numerical analyses of geosynthetic encased stone columns, *Geotextiles and Geomembranes*, 2012, **35**, 61-68.
- [47] Fattah M. Y., Majeed Q. G., Finite element analysis of Geogrid encased stone columns, *Geotechnical and Geological Engineering*, 2012, **30**(4), 713-726.
- [48] Deb K., Mohapatra S. R., Analysis of stone column-supported geosynthetic-reinforced embankments, *Applied Mathematical Modelling*, 2013, **37**(5), 2943-2960.
- [49] Hughes J. M. O., Withers N. J., Greenwood D. A., A field trial of the reinforcing effect of a stone column in soil, *Geotechnique*, 1975, **25**(1), 31-44.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Aydemir A.A., Mutman U., Taş Kolon Uygulaması İle Zemin İyileştirme: Vaka Analizi, *3.Uluslararası Mühendislik Mimarlık Ve Tasarım Kongresi*, Kocaeli, 04-05 Mayıs 2018.



ÖZGEÇMİŞ

Ali Aytaç AYDEMİR, 1977 yılında Karamürsel’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kastamonu’da tamamladı. 1994 yılında lisans eğitimini görmek üzere girdiği Süleyman Demirel Üniversitesi’nden, 1999 yılında İnşaat Mühendisi unvanı ile mezun oldu. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans öğrenimine, tez çalışmasıyla devam etmektedir.





EKLER

EK-A

Donatılı zemin duvarı dolgu malzemesi özellikleri:

DENEY ADI	LİMİT DEĞER	DOLGU MALZEMESİ	STANDART NO
Zemin Tanımı (USCS)	-	GM SİİTLİ ÇAKIL	TS 1900 AASHTO T-88
Kil+Silt Oranı (No200 elekten geçen %)	<15	14,66	TS 1900 AASHTO T-88
Plastisite İndeksi (PI)	≤6	NP	TS 1900 AASHTO T-90
Maks.kuru birim ağırlık (Modifiye Proktor)	≥1,450t/m ³	2,188	TS 1900 AASHTO T-99
Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR)	>10	24,56	TS 1900 AASHTO T-193

Taş Kolon imalatı dolgu malzemesi özellikleri:

Elek Açıklığı (mm)	Limit Değer (%)	Dolgu Malzemesi Geçen (%)
76,20	90-100	100
50,80	40-90	75,41
19,05	0-10	0,77
12,70	0-5	0,52

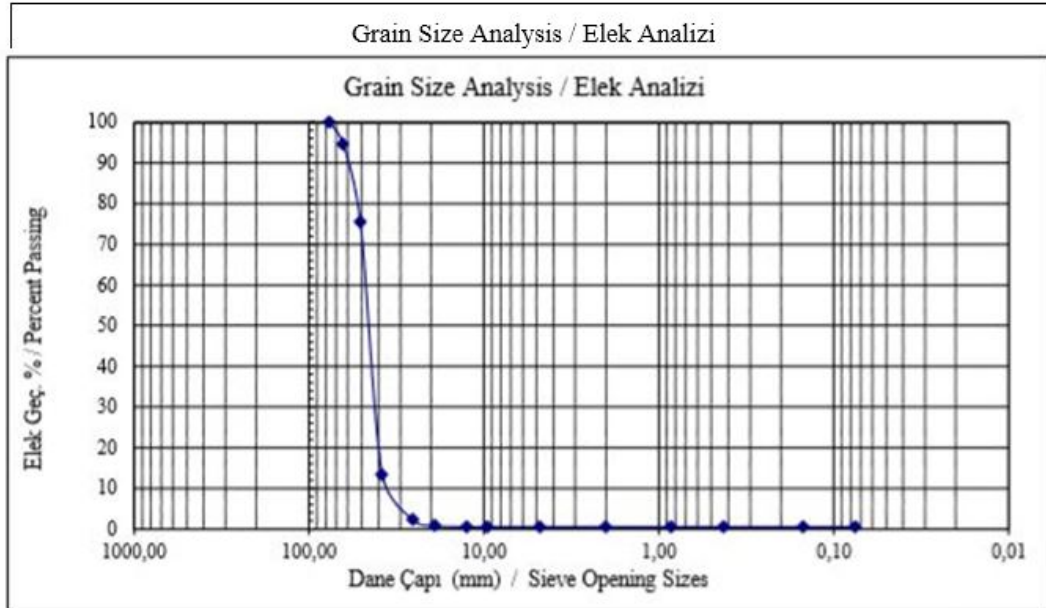
DENEY ADI	LİMİT DEĞER	DOLGU MALZEMESİ
MgSO ₄ ile aşınma kaybı, Maksimum %	<15	1,13
Aşınma kaybı (Los Angeles) Maksimum %	<45	20,06
Su emme %	<4	0,77

EK-B

GRAIN SIZE DISTRIBUTION TEST
ELEK ANALİZİ(SINIFLANDIRMA) TESTİ (TS 1900 - 1)

Mass of dry soil before wash / Yıkamadan önce kuru zemin ağırlığı	5424,00
Mass of dry soil after wash / Yıkamadan sonra kuru zemin ağırlığı	5396,00
Mass of washed material / Yıkamadaki kayıp ağırlık	28,00
Clay+Silt ratio / Kil + Silt oranı (%)	0,52

Sieve No Elek No	Sieve Diameter Elek Çapı mm	Passing Geçen gr	Mass Retained Elekte Kalan gr	% Retained % Kalan	% Passing % Geçen
3"	76,200	5424,00	0,00	0,00	100,00
2 1/2"	63,500	5128,00	296,00	5,46	94,54
2"	50,800	4090,00	1334,00	24,59	75,41
1 1/2"	38,10	724,00	4700,00	86,65	13,35
1"	25,40	122,00	5302,00	97,75	2,25
3/4"	19,05	42,00	5382,00	99,23	0,77
1/2"	12,50	28,00	5396,00	99,48	0,52
3/8"	9,53	28,00	5396,00	99,48	0,52
No 4	4,760	28,00	5396,00	99,48	0,52
No 10	2,000	28,00	5396,00	99,48	0,52
No 20	0,845	28,00	5396,00	99,48	0,52
No 40	0,425	28,00	5396,00	99,48	0,52
No 100	0,149	28,00	5396,00	99,48	0,52
No 200	0,075	28,00	5396,00	99,48	0,52
PAN			28,00		
TOTAL / TOPLAM			5424,00		



D ₆₀ =	47,299	Cu = D ₆₀ /D ₁₀	= 1,40	PL (%)	N.P
D ₃₀ =	41,158	Cc=(D ₃₀ ² /D ₆₀ *D ₁₀)	= 1,06	LL (%)	N.L
D ₁₀ =	33,714			PI (%)	N.P

USCS Class. / USCS Sınıf: **GP**
Soil Definition /Zemin Tanımı: **ÜNİFORM ÇAKIL**

TS1500 / 2000	ASTM 2487-90 (USCS)
2,00 mm passing / geçen % = 0,52	4,75 mm passing / geçen % = 0,52

EK-C

**LOS ANGELES (BİLYALI TAMBURLA) AŞINMA
ORANI TAYİNİ (TS EN 1097 - 2)**

DENEY NO 1

Aşınma Deneyi Numune Tipi :	A
Aşınma Deneyi Devir Sayısı :	500
Deney numunesi ağırlığı (gr) :	5009
Dönüş sonunda elek üzerinde kalan agrega ağırlığı (gr) :	4009
Aşınma Dayanıklılık Oranı (%) :	19,96

DENEY NO 2

Aşınma Deneyi Numune Tipi :	A
Aşınma Deneyi Devir Sayısı :	500
Deney numunesi ağırlığı (gr) :	5003
Dönüş sonunda elek üzerinde kalan agrega ağırlığı (gr) :	3995
Aşınma Dayanıklılık Oranı (%) :	20,15

ORTALAMA AŞINMA ORANI (%) :	20,06
--------------------------------------	--------------

EK-D

ÖZGÜL AĞIRLIK DENEYİ (TS 1097-6)
BİRİM HACİM AĞIRLIK DENEYİ (TS 1097-6)
SU EMME DENEYİ (TS 1097 - 6) |

ÖZGÜL AĞIRLIK DENEYİ		
Piknometre no :	1	2
Piknometre ağırlığı : (W1 gr.)	124,800	124,800
Piknometre + Kuru örnek ağırlığı gr. : (W2)	174,950	174,560
Piknometre + ağırlı Su ğı + örnek ağırlığı gr.:(W3)	286,000	286,090
Piknometre + ağırlı Su ğı gr. : (W4)	254,370	254,770
Örnek ağırlığı gr. : (W2 - W1)	50,150	49,760
Piknometreyi dolduran su ağırlığı gr. : (W4 - W1)	129,570	129,970
Örneğe eklenen su ağırlığı gr. : (W3 - W2)	111,050	111,530
Numune Hacmi ml. : (W4-W1) - (W3-W2)	18,520	18,440
Zemin örneğinin Özgül ağırlığı $G_s = \frac{(W2 - W1)}{(W4 - W1) - (W3 - W2)}$	2,708	2,698
ORTALAMA ÖZGÜL AĞIRLIK (t/m3)	2,703	

BİRİM HACİM AĞIRLIK DENEYİ					
Kap Ağırlığı	Kap + Su Ağırlığı	Kap + Su + Malzeme Ağırlığı	Hacim (cm3)	Numune Ağırlığı (gr)	Birim Hacim Ağırlık (t/m3)
320,00	2208,00	3334,00	675,00	1801,00	2,668
325,00	2224,00	3351,00	694,00	1821,00	2,624
ORTALAMA BGRGM HACİM AĞIRLIK (t/m3)					2,646

SU EMME DENEYİ		
Kuru Numune Ağırlığı (gr) - W1	Doğun Kuru Yüzey Malzeme Ağırlığı (gr) - W2	Su Emme Oranı (%) (W2-W1) / W1
3125	3149	0,77

EK-E

AGREGA DON KAYBI DENEYİ
MAGNEZYUM SÜLFAT (MgSO₄) ÇÖZELTİSİ YÖNTEMİ
(TS EN 1367-2)

DENEY NO 1				
Elek Açıklığı		Deney Öncesi Malzeme Miktarı (gr)	Deney Sonrası Malzeme Miktarı (gr)	Don Kaybı Oranı (gr)
14 mm	10 mm	501,05	495,32	5,73
TOPLAM DONMA - ÇÖZÜNME KAYBI (%)				1,14

DENEY NO 1				
Elek Açıklığı		Deney Öncesi Malzeme Miktarı (gr)	Deney Sonrası Malzeme Miktarı (gr)	Don Kaybı Oranı (gr)
14 mm	10 mm	500,12	494,56	5,56
TOPLAM DONMA - ÇÖZÜNME KAYBI (%)				1,11

ORTALAMA DONMA - ÇÖZÜNME KAYBI (%)				1,13
---	--	--	--	-------------