

**T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**DERİN KAZILARDA JET GROUT GRUP KOLONLARLA PASİF DİRENCİ
ARTTIRILMIŞ İÇ DESTEKLİ DİYAFRAM DUVAR SİSTEMLERİNİN
DEFORMASYON ANALİZİ**

Hakan YILMAZ

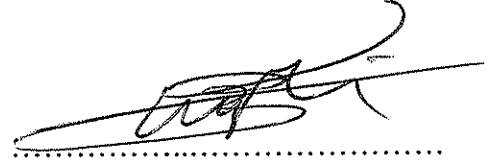
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2017**

Doç. Dr. Halil Murat ALĞIN danışmanlığında, Hakan YILMAZ'ın hazırladığı “Derin Kazılarda Jet Grout Grup Kolonlarla Pasif Direnci Arttırılmış İç Destekli Diyafram Duvar Sistemlerinin Deformasyon Analizi” konulu bu çalışma 12/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Prof. Dr. Halil Murat ALĞIN



Üye : Yrd. Doç. Dr. Recep ÇELİK.....



Üye : Yrd. Doç. Dr. Veysel GÜMÜŞ



Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. Halil Murat ALĞIN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
2.1. Uygulamadan Gözlemler.....	6
2.2. Sayısal Analizler.....	7
2.2.1. Üç boyutlu sayısal modellemeler	8
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	11
3.1. Materyal	11
3.1.1. Delgi kazıkları	11
3.1.2. Diyafram duvarlar	14
3.1.3. Jet grouting kolonlar	22
3.2. Yöntem	26
3.2.1. Diyafram duvar yöntemi.....	26
3.2.2. Destekli kazı sistemlerinde duvar inşa etkisi.....	35
3.2.3. Jet grout kolon çapının derinliğe bağlı değişimi.....	38
3.2.4. Jet grout uygulama yöntemi	43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	45
4.1. Temel Alınan Projenin Detayları.....	47
4.2. Zemin Koşulları.....	50
4.3. Yakın Binalarla İlgili Endişeler	53
4.4. Bina Koruma Tasarımı Konsepti.....	55
4.5. Kazının Arazideki Durumu	58
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ	71

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DERİN KAZILARDA JET GROUT GRUP KOLONLARLA PASİF DİRENCİ ARTTIRILMIŞ İÇ DESTEKLİ DİYAFRAM DUVAR SİSTEMLERİNİN DEFORMASYON ANALİZİ

Hakan YILMAZ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. H. Murat ALGIN
Yıl: 2017, Sayfa: 71

Aşırı yanal diyafram duvar deplasmanı ve temel oturmasının beraber oluşması, uygulama alanı yakınındaki binaların zarar görmesine sebep olabilir. Bu binaların yapısal güvenliğinin önemli olduğu durumlarda, hem bodrum kazısı sırasında hem de yapı yükü uygulama sonrasında diyafram duvarın deformasyonunu kontrol altına almak gerekmektedir. Bu tez çalışması, daha önce literatürde verilmiş gerçek bir durum analizini kullanarak, altı katlı bodrum kazısında jet grout grup kolonları ile pasif direnci arttırılmış iç destekli bir diyafram duvar sisteminin üç boyutlu sonlu elemanlar (3B SE) analizini sunmaktadır. Derin kazılarda kontrolsüz yapısal imalat veya gerçeği yansıtmayan tasarım durumları olduğunda, uygulama alanı yakınındaki binaların müsaade edilebilir sınırların ötesinde oturmaya sebep olabildikleri, benzer projelerdeki deneyimlerle sabittir. Diyafram duvarlar arasındaki kazı alanı altında jet grout grup kolonları inşa edilerek, diyafram duvarın pasif direnci arttırılmış ve bu sayede duvar deformasyonunu sınırlandırılmıştır. Bu bildiride sunulan nümerik analizlerde, görüntü işleme tekniği kullanılarak bu karmaşık geoteknik tasarımın 3B SE modellemesi yapılmıştır. Bu tez çalışmasında sunulan nümerik modelleme tekniği ile derin kazılarda jet grout kolonları ile desteklenmiş diyafram duvar sistemlerinin daha etkin tasarımının yapılması sağlanmaktadır.

ANAHTAR KELİMELELER: Sonlu elemanlar analizi, Üç boyutlu modelleme, Diyafram duvar, Jet grout, Bitişik yapıların etkisi

ABSTRACT

MSc Thesis

DEFORMATION ANALYSIS FOR THE INTERNALLY SUPPORTED DIAPHRAGM WALL SYSTEMS WITH JET GROUT GROUP COLUMNS USED TO INCREASE THE PASSIVE RESISTANCE IN DEEP EXCAVATION

Hakan YILMAZ

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Science
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. H. Murat ALGIN
Year: 2017, Page: 71

Excessive lateral diaphragm wall displacement and the associated ground settlement can cause damage to buildings near the area of application. It is necessary to control the deformation of the diaphragm wall during both basement excavation and building load application in the cases where the structural safety of these buildings is important. This thesis presents a three-dimensional finite element (3D FE) analysis of a jet-grout group column and a passive resistance-enhanced internally supported diaphragm wall system in a six-story basement excavation using a real-world situation analysis previously reported in the literature. In the deep excavations, uncontrolled structural application or non-realistic design situations are seen from the experience in similar projects where buildings near the application area can cause them to suffer the permissible limits. By constructing jet grout group columns under the excavation area between the diaphragm walls, the passive resistance of the diaphragm wall is increased and the wall deformation is limited. In the numerical analyzes presented in this thesis, 3D FE model of this complex geotechnical design has been conducted using image processing technique. Numerical modeling technique presented in this thesis provides more efficient design of diaphragm wall systems supported by jet grout columns during deep excavation.

KEY WORDS: Finite element analysis, Three-dimensional modeling, Diaphragm wall, Jet grout, Effect of adjacent structures

TEŞEKKÜR

Yapmıő olduğum bu tez çalışmasında katkılarında dolayı danışman hocam Sayın Prof. Dr. H. Murat ALGIN'a, çalıőmalarım esnasında benden desteklerini esirgemeyen aileme teőekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 3.1. (a) sekant kazıkların inşası: (1) başlangıçta kazıklar yerleştirilir; (2) kazıklara keski ile yiv açılır; (3) sıralı kazıkların yapımı. (b) sekant kazıkların imalatındaki dört aşama, bu sistemde bentonit-çimento kazıklar ve betonarme kazıklar kullanılmıştır	13
Şekil 3.2. Çift çeneli kepçe mekanizması	14
Şekil 3.3. Hidrolik donanım ve çift çeneli kepçe klavuzları	15
Şekil 3.4. Perküsyon (darbeli) keski mekanizması.....	15
Şekil 3.5. Sulu-öğütücü/sulu-freze/kesici ekipman mekanizması ve malzeme ayırıştırıcı (desandör ünitesi)	16
Şekil 3.6. Diyafram duvar kazısı öncesi hazırlık işlemleri.....	17
Şekil 3.7. Donatı takviyeli bir diyafram duvarın yapım aşamaları. Kazı çukurunun bentonit süspansiyonuyla doldurulduğu süre boyunca panellerin kazılması için genel bir prosedür sunulmaktadır.....	18
Şekil 3.8. Donatı sepetinin kazı çukuruna taşınması ve montajı.....	21
Şekil 3.9. Takviye kafesi ve montajı.....	21
Şekil 3.10. Kazı çukuruna tremi ile beton dökülmesi	22
Şekil 3.11. Jet grout ekipmanları	22
Şekil 3.12. Jet grout enjeksiyonun yapılabileceği zemin çeşitleri.....	23
Şekil 3.13. Jet grout kolon malzemesinin serbest basınç dayanım değerleri	24
Şekil 3.14. Jet grout makinasının matkap ve monitör kısımları.....	25
Şekil 3.15. Monitörlerin şematik görünüşleri.....	25
Şekil 3.16. İç destek sistemleri.....	27
Şekil 3.17. Kalıcı ankraj sistemi ile beraber geçici iç destek sisteminin beraber kullanımı.....	27
Şekil 3.18. Yukarıdan aşağı (top-down) inşa yöntemi	28
Şekil 3.19. Diyafram duvarın kendi kendini destekleyen yapılarda kullanımı.....	29
Şekil 3.20. Sulu-freze ile panel kenarlarında birleşim oluşturma	33
Şekil 3.21. Diyafram duvar panellerinde birleşim oluşturma yöntemleri	34
Şekil 3.22. Bazı birleşim oluşturma yöntemleri.....	35
Şekil 3.23. Yanal basınçlar ve kritik derinlik: a) Bentonit altında, b) taze beton altında, c) Bentonit altında betonlama (Lings ve ark., 1994).....	37
Şekil 3.24. a) 3B analiz, b) Pseudo-3B analizi, c) düzlem deformasyon analizi.....	38
Şekil 3.25. Algin (2016) tarafından modellenen Bojszowy Nowe (Modoni ve Bzowka, 2012) arazi deneme kolonunun eksik verilen geometrisi için kullanılan Amsterdam arazi deneme kolonu 4'ün geometrik değişimi (Langhorst ve ark., 2007).....	40
Şekil 3.26. Dönmüş sinisodial fonksiyon kullanılarak Algin (2017)'de kullanılan yaklaşımla, Modoni ve Bzowka (2012) tarafından sunulan deneme kolonunun eksik geometrik değişimi tamamlanmıştır.....	40
Şekil 3.27. Modoni ve Bzowka (2012); Bzówka (2009); Bzówka ve Pieczyrak (2008) tarafından literatürde sunulan arazi deneme jet grout kolonunun uygulandığı zeminin profili, bazı zemin parametrelerinin derinlikle değişimi ve görüntü işleme metoduyla oluşturulan zemin tabakalarının ortalama değerleri (Algin, 2016 ve 2017).....	42
Şekil 3.28. 3B SE modelinin geliştirilmesinde kullanılan görüntü işleme tekniğinin aşamaları (Algin, 2016).....	43
Şekil 4.1. Bu tez çalışmasına temel teşkil eden örnek uygulamadaki konut binası (Hsieh ve ark., 2003).....	48
Şekil 4.2. Diyafram duvar iç destek sisteminin plan düzeni	49
Şekil 4.3. İç destek sisteminin önyükleme düzeni	49
Şekil 4.4. Kazı zemininin iyileştirmesi	56
Şekil 4.5. Jet grout kolon aralıkları ve düzeni.....	57
Şekil 4.6. Projenin diyafram duvar deplasman eğrileri.....	59
Şekil 4.7. 3B SE modelinin mesh görüntüleri (komşu temel yapısı ve kazı alanının yakın plan görselleri)	63

Şekil 4.8. 3B SE modelinin mesh görüntüleri (zemin tabakaları, içsel mesh, jet grout kolonları ve komşu kazık temellerin yakın plan görselleri)	64
Şekil 4.9. 3B SE modelinin iç vacim mesh görüntüleri (jet grout kolonları ve kazık gruplarının yakın plan görselleri)	64
Şekil 4.10. 3B SE modelinin analiz sonuçları (a) Hsieh ve ark. (2003) tarafından sunulan SI-1, SI-2, SI-3 ve SI-4 duvarları için yanal diyafram duvar deplasmanının arazi ölçüm sonuçları, (b) bu tez kapsamında yapılan 3B SE analizlerinden elde edilen SI-4 duvarındaki analiz sonuçları, (c) bu tez kapsamında yapılan 3B SE analizlerinden elde edilen SI-1 duvarındaki analiz sonuçları, (d) bu tez kapsamında yapılan 3B SE analizlerinden elde edilen komşu binaların oturma değerlerindeki değişim	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 4.1. İç destek sisteminin ayrıntıları	50
Çizelge 4.2. Aşamalı kazı faaliyetleri	50
Çizelge 4.3. Bu tez çalışmasına temel teşkil eden örnek uygulamadaki konut binasının zemin profili	53
Çizelge 4.4. Projedeki ölçü enstrümanları	58
Çizelge 4.5. Projenin ulaşılan bazı zemin parametreleri	61

SİMGELER DİZİNİ

c'	zeminin kohezyonu (kPa)
E	elastisite modülü (kN/m ²)
E_{ur}	yükleme boşaltma modülü (kN/m ²)
$E_{50\%}$	sekant modülü (kN/m ²)
γ	birim ağırlık (kN/m ³)
γ'	batık birim ağırlık (kN/m ³)
ν	Poisson oranı
ϕ'	zeminin içsel sürtünme açısı (derece)
ψ	zeminin dilatensi açısı (derece)

1. GİRİŞ

Derin kazı inşaat uygulamaları dünya genelinde yaygın bir pratik haline gelmiştir. Bunun temel nedeni olarak, kentsel alanlardaki inşaat faaliyetleri için ihtiyaç olan alanların darlığı ve daha sıkışık alanlarda daha büyük mekanlara olan talep gösterilebilir. Sekant kazık duvarlar, diyafram duvarlar, tanjant kazık duvarlar, içsel veya ankraj destekleriyle beraber, bitişik temel zeminin kazılmasına bağlı olarak mevcut yapıları hasardan koruma amacıyla başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle, metro istasyonlarının inşası gibi destek sistemlerinin kullanıldığı birçok uygulama literatürde sunulmuştur (Finno ve ark., 2002; Koutsoftas ve ark., 2000) ayrıca derin bodrum kazıları konusunda da birkaç çalışma literatürde mevcuttur (örneğin, Ou ve ark., 2000; Ng 1992; Hsieh ve ark., 2003). Bununla birlikte, kentsel alanlardaki yeraltı inşaat projelerinin çoğunda, aşırı kazma işlemine bağlı deformasyonlar büyük endişeler yaratmaktadır. Bunun nedeni, bitişik yapıların hasar görmesine veya muhtemel çökmelerine neden olabilecek önemli yer değiştirmeler ve rotasyonların oluşmasıdır. Bu nedenle, yanal duvar deplasmanlarının ve zemin yüzeyinde oluşan buna bağlı oturmaların doğru tahmin edilmesi kazı destek sistemlerinin analizi ve tasarımında önemli bir kriterler olup, bu tahminlerin doğru yapılması ise gerektiğinde ek destek veya zemin iyileştirmesi kararlarının verilmesine yardımcı olacaktır.

Geleneksel olarak, kazı destek sistemleri yapısal limit denge metoduna dayanarak tasarlanmaktadır. Bu yaklaşım destek duvarın yapısal yetisizliğini önlemekle birlikte, aşırı duvar deformasyonları ve oturmalara neden olabilecek bir yüklemeye müsaade ediyor olabilir. Bu tasarımlar genellikle Peck (1969) veya Tschebotarioff (1951) tarafından geliştirilen görünür zemin basınç diyagramlarından hesaplanan tahmini zemin basınçlarına dayanmakta olup, bu yarı ampirik yaklaşımlar, maksimum kabul edilebilir yatay veya düşey deformasyon yerine, genel yapısal stabilite tarafından yönetilmektedir. Mevcut tasarım yöntemleri düzlem deformasyon durumunu temel almakta olup, stabilite durumu temelinde kazı ile destek sistemini ilintilendirmektedir. Buna ek olarak, bu yaklaşımlar sınırlı sayıdaki

duvar türleri ve konfigürasyonları için geliştirilmiş olup, zemin türleri açısından da sınırlı değerlendirmeler yapılmaktadır, ayrıca kazı destek türleri ve malzemeleri, kazı geometrisi, duvar montaj etkileri, inşaat teknikleri ve inşaat aşamaları konularındaki etkiler tasarıma dahil edilmemektedir. Mevcut tasarım yöntemlerindeki bu noksanları aşabilecek ve bu tür kompleks sistemleri komşu temel sistemlerini de içerecek şekilde düzlem deformasyon problemi yerine üç boyutlu sonlu elemanlar modellemesi yoluyla çözebilecek bir yaklaşım bu tez çalışması ile sunulmakta olup, görüntü işleme tekniğiyle bu modellemenin yapılabileceği açıklanmaktadır.

Kazı destek sistemlerinin performansının doğrudan ve niceliksel analizleri, kolay bir görev değildir. Bu, yalnızca sistemin karmaşıklığı yüzünden değil aynı zamanda duvar uygulama süreci ve kazı işleminin modellemesindeki güçlük yüzündendir. Zemin ile kazı destek sistemi arasındaki etkileşimin gerçekçi bir analizi için üç boyutlu sonlu elemanlar (3B SE) modelleri gereklidir. Bu araştırmanın amacı, bitişik yapıların kazı faaliyetinden etkilenme düzeyini de tahmin edebilen ve uygulama senaryolarını da içine alacak şekilde bu karmaşık problemi üç boyutlu olarak modelleyebilecek bir yöntem önermektir. Bu çalışma sayesinde, gerçekçi üç boyutlu sonlu elemanlar analizlerine dayanan ve kazı destek sisteminin rijitliğinin kazı ile ilgili yer hareketleri üzerindeki etkilerini gösteren yeni bir deformasyon temelli tasarım metodolojisinin ilerde geliştirilmesi olanağı doğmaktadır. Yakın tarihli çalışmalar (Ou ve ark., 2000; Lin ve ark., 2003; Zdravkovic ve ark., 2005; Finno ve ark., 2007; Hsieh ve ark., 2003) kazı destek sistemlerinin karmaşık bir zemin-yapı etkileşimi problemi olduğunu ve kazı kaynaklı zeminin deformasyonunun doğada üç boyutlu olduğunu göstermişlerdir. Bununla birlikte, literatürde derin kazıların üç boyutlu sonlu elemanlar analizini sunan sınırlı araştırma bulunmaktadır.

Kazı faaliyetleri sırasında zemin içindeki gerilmeler değiştiğinden, bu değişiklikler, büyüklüğü ve dağılımı bazı faktörlerle yakından ilişkili olan düşey ve yatay deformasyonlar biçiminde kendini göstermekte olup, bu faktörler zemin koşulları, kazı geometrisi, taban kabarmasına karşı stabilite, istinat yapısının türü ve

malzemesi, dikey ve yatay desteklerin rijitliği ve aralığı, inşaat prosedürleri ve aplikasyonun işçiliği. Kazı ile ilgili zemin oturmasının doğrudan ve nicel bir analizle belirlenmesi kolay bir iş olmayıp, sözü edilen parametrelerle alakalı karmaşık bir etkileşimin olduğu üç boyutlu bir deformasyon analizi ile sonuca yaklaşmak gereklidir.

Aşırı yanal diyafram duvar yer değiştirmesi ve bununla ilişkili oturmalar, genellikle yakındaki binaların hasar görmesine sebep olurlar. Bu nedenle bitişik binaların bütünlüğü açısından kaygı verici bir durum oluşmaması amacıyla, temel kazısı sürecinde diyafram duvarının yanal deformasyonunu en aza indirmek gerekmektedir. Bu tez çalışmasına temel teşkil eden örnek uygulamada, altı kat derinlikli bodrum kazısında (22.3 m) diyafram duvarların yer değiştirmesini azaltmak amacıyla temel zemine yapılmış bir jet grout grup kolon uygulaması incelenmiştir. Benzer projelerdeki arazi deneyimleri göstermiştir ki, şantiyeye bitişik binalarda herhangi bir koruma önlemi alınmamışsa, kazı yapıldığında kabul edilebilir sınırın çok ötesinde oturmalar oluşabilmektedir. Bu örnek kazı projesinde, diyafram duvarın yer değiştirmesini sınırlamak amacıyla kazı alanındaki zemin kütlesi, pasif direnci arttıran etkili bir önlem olarak jet grout kolonlarla güçlendirilmiştir. Bu tez çalışmasında ise, bu örnek uygulamanın üç boyutlu nümerik modellemeleri görüntü işleme tekniğiyle oluşturularak sonlu elemanlar metodu kullanılarak deformasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Yerinde alınan ölçümlerle kıyaslandığında geliştirilen üç boyutlu sonlu eleman (3B SE) analizleri uygun sonuçlar verdiği için, bu kullanılan yöntemin bu türden karmaşık problemlerin tasarımında kullanılabileceği teyit edilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Üç boyutlu sonlu elemanlar modellemesi temelinde kullanılan görüntü işleme tekniği, geoteknik tasarıma ilk olarak Algin (2013) tarafından tanıtılmış olup, jet grout kolon-zemin etkileşimi bu kapsamda modellenerek incelenmiştir. Daha sonraki yıllarda bu tekniğin alt yapısı güçlendirilerek farklı türden geoteknik problemlere uygulanabilmesi sağlanmıştır. Örneğin, NATM tüneli ile köprü temeli ve altındaki kazık sistemi üç boyutlu olarak Algin ve Ekmen (2015) tarafından analiz edilmiştir. Görüntü işleme tekniği kullanılarak darbeli kırmataş kolon gruplarına oturan radye temellerinin tepki yüzey metodu ile optimizasyonu Algin ve Ekmen (2016) tarafından yapılmıştır. Bu teknik kullanılarak gerçekleştirilen nümerik modeller yolu ile jet grout kolon grupları üzerindeki radye temeller için tasarım parametreleri geliştirilmiş ve bu tasarım parametrelerine göre tasarımın tepki yüzey metodu kullanılarak nasıl optimize edilebileceği Algin (2016) tarafından açıklanmıştır. Bu sistemin Algin (2016) tarafından daha önce geliştirilen tasarım metodu Ekmen ve Algin (2016) tarafından özetlenmiştir. Bu karmaşık problem üniform olmayan yükleme durumu için özel olarak tekrar incelenmiş ve bu yükleme durumunda tüm sistemin analizleri Algin (2017) tarafından açıklanmıştır. Algin (2017) tarafından tanıtılan dönmüş sinisodial fonksiyon yaklaşımı sayesinde jet grout kolonların düzensiz çap dağılımlerinin bu fonksiyon ile benzeştiği açıklanarak, geometrik değişimin bu fonksiyon kullanılarak tahmin edilebileceği açıklanmıştır. Algin (2016 ve 2017)'de jet grout kolonların karmaşık geometrisi 3B olarak modellenmiş olup, her bir araştırma için görüntü işleme tekniği kullanılmıştır.

Derin kazılar çoğu zaman büyük metropollerde sıkışık alanlarda yapılmakta olduğundan, şantiye bölgeleri genelde yakın çevredeki komşu binalarla çevrilidir. Kazı süreci ne kadar dikkatli yürütülürse yürütülün, yakın binalara yapısal ya da yapısal olmayan hasar verebilecek belirli bir miktar oturma oluşmaktadır (Peck 1969; Clough ve O'Rourke 1990). Woo ve Moh (1990) tarafından kazı derinliğinin üç veya dört katı kadar mesafeyi örten bir genişlikte bu kazının etkili olduğu ifade edilmiştir.

Bu etki alanı içersine giren mevcut binaların kazı faaliyetinden etkilenebileceği anlamına gelmektedir.

Kazı alanlarının kontrol edilmediği durumlar ve bu tür bina kazı faaliyetlerinden etkilenmeler çoğunlukla büyükşehir belediyelerinde sıkça yapılan şikayetlerle ortaya çıkmakta ve mahkeme yoluyla tazminat ödemeleriyle sonuçlanabilmektedir. Uzun dava süreçleri ve büyük mali kayıplar genellikle bu tür olaylar için kaçınılmazdır. Bu nedenle, derin kazılar planlandığında, bitişik binalarla etkileşimi proje sahiplerine, tasarım mühendislerine ve müteahhitlere büyük endişeler yarattığından, bu tür uygulamalarda detaylı defermasyon analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu tez araştırması kapsamında önerilen modelleme tekniği sayesinde komşu temel sistemlerini de dikkate alan tam bir analiz sunulurken, bu tür derin kazılarda uygulanacak yöntemlerin modellenerek üç boyutlu olarak etkilerinin araştırılması sağlanmaktadır.

Bitişik binaların bütünlüğü takviye sistemleri temel alınarak korunabilir. Ancak, çok sayıda binanın desteklenmesi finansal veya siyasi açıdan pratik olmayacağından, kazı ile ilgili deformasyonların yardımcı önlemlerle kabul edilebilir bir düzeye düşürülmesi uygun olacaktır. Yaygın olarak kabul edilen iki yardımcı önlemler olarak, destekleme sistemini güçlendirmek ve/veya zemin iyileştirme teknikleri ile pasif direnci arttırmak göz önünde bulundurulmaktadır. Değişik derecelerde başarı gösteren durum örnekleri rapor edilmiştir (Hsieh ve ark., 1995; Woo, 1996). Tipik yanal duvar yer değiştirmesi ve Zemin oturması sergileyen derin bir kazı, bitişik binaların bütünlüğünü garanti etmeyebilir. Bitişik binalara zarar verme riski, Zemindeki deformasyon büyüklüğüyle doğrudan bağlantılıdır. Normalde, kabul edilebilir deformasyonlar, iyi bağlantılandırılmış veya derin temeller tarafından desteklenen yapısal olarak sağlam binalara çok az veya hiç zarar vermeyebilir, ama daha az sağlam binalarda yer hareketi küçük olsa bile çatlama veya önemli hasarlar oluşabilir.

2.1. Uygulamadan Gözlemler

O'Rourke (1981), yumuşak killerde ve kumlarda yapılan kazılarla oluşan oturmanın, bir diyafram duvarın açılması sırasında zemin kaybı sonucu veya sekant ve teğet kazık duvarlar için kazıkların ayrılması sonucu meydana geldiğini belirtmiştir. Ayrıca kaydedilen toplam oturmanın %50-70'inin duvarın inşası ile ilişkili olduğunu durum incelemelerinden elde edildiğini belirtmiştir. Ng (1992), İngiltere'deki Cambridge'te, sert çatlaklı kilde 10 m derinliğindeki kazının yukarıdan aşağıya yapım performansını raporlamıştır. Kazı, tipik olarak 8.5 m uzunluğundaki panel formuyla bentonit kullanılarak inşa edilmiş 17 m derinliğinde ve 0.6 m kalınlığındaki bir beton diyafram duvar içinde yapılmıştır. Duvarın inşası sırasında arazi gözlemleri, sadece küçük zemin oturmaları ile ilişkili yanıl gerilmelerde önemli bir azalma olduğunu göstermiştir. Poh ve Wong (1998), duvar inşasının zemin oturmaları, zemin gerilmeleri ve boşluk suyu basıncı üzerine etkilerini araştırmış ve inşaat sırasında bir diyafram duvar panelinin performansını incelemiştir. Zemindeki yanıl ve düşey hareketleri yakından takip ederek, zemin ve boşluk suyu basınçları, duvar betonunun döküldüğü aşamalarında yeraltı su düzeyindeki değişimler, betonlama öncesi geçen zaman, bulamaç basıncının değişimi ve panelin betonlanması aşamaları izlenmiştir. Daha sonra, Poh ve ark. (2001), diyafram duvarın yapımına bağılı olarak yanıl zemin hareketleri ve zemin oturmaları konusunda dört vaka incelemesi daha sunmuşlardır. Duvar panellerinin yapımından kaynaklanan yanıl zemin hareketlerinin duvar boyutunun artmasıyla artış gösterdiği ve bu nedenle duvar panellerinin boyutlarının azaltılması ile bu değerlerin en aza indirilebileceği belirtilmiştir. Buna ek olarak, duvar panellerinin yapımı sırasında yüksek bulamaç düzeyinin kullanılmasının, yanıl zemin hareketlerinin büyüklüğünü en aza indirmeye yardımcı olacağı ifade edilmiştir. Bryson (2002), Finno ve Bryson (2002) ve Finno ve ark. (2002) yumuşak ila orta sertliğe sahip kilde de destekli kazı sisteminin performansı konusunda tanıtımlar yapmışlardır. Kazı, 13 m derinliğinde ve 0.9 m kalınlığına sahip secant kazıklı duvarla, çapraz iç destek sisteminden oluşmakta olup, iki düzeyde ankraj geri saplama kullanılmıştır. Sekant kazık duvarının çoğu, delgi işlemi 1.5 m aralıklı birincil şaftlarda sadece 10 gün içinde gerçekleştirilmiş, deliklere ı profili yerleştirilmiş, beton mikserlerden grout

yerleştirilmiştir. Ana şaftlar arasında, 150 mm çakışma sağlayan ikincil şaftlar yerleştirilmiştir. Arazi performans verileri, kazı bitiminde kaydedilen 38.1 mm'lik maksimum yanal deformasyonun 9.0 mm lik kısmının duvar imalatı sırasında gerçekleştiğini göstermiştir.

2.2. Sayısal Analizler

Duvarı "yerinde arzulan (wished-in-place)" olarak modellemek, duvar inşa sürecinin etkilerinin ihmal edildiği durumu yansıtan sayısal analizleri ifade etmekte olup, bu yöntemle yapılan analizlerin, iç destek yüklerini fazla olarak ve genel zemin deformasyon değişimlerinin yeterince uygun tahmin edemediğini göstermiştir (Ng ve Lings, 1995; Ng ve Yan, 1998). Bunun nedeni, arazideki duvarın yapımından dolayı zemindeki gerilme azaltımı olarak belirtilmiştir. Ng ve Yan (1998), Ng ve ark. (1995), İngiltere'de kil içine inşa edilmiş diyafram duvar imalatının üç boyutlu etkilerini araştırmışlardır. Duvar paneli etrafındaki zemin kütlesi içindeki gerilimin azaltılmasında yatay kemerlenme ve aşağı doğru yük transferi olarak ifade edilen iki farklı mekanizmanın hakim olduğunu belirtmişlerdir ve gerilmelerin yeniden dağıtımlarına imkan veren üç boyutlu tekniklerle sadece bu mekanizmanın modellenebileceğini ifade etmişlerdir. Bu mekanizmalar, daha sonra, üç diyafram duvar panelinin yapım sırasının üç boyutlu bir geri analizi gerçekleştirilerek Ng ve Yan (1999) tarafından doğrulanmıştır. Bu araştırmacılar, bu iki mekanizmanın eşzamanlı hareket ettiğini ve direk olarak kazık taban ucu üzerinde duvarın arkasında yatay gerilimin ortalama bir azalma gösterdiğini, ancak komşu zemindeki duvarın uzunlamasına yönünde ve kazık ucu altında olan yatay gerilmesinin artmasına neden olduğunu belirtmişlerdir.

Gourvenec ve Powrie (1999), tam bir duvar oluşturmak için bir dizi bitişik panelin sırayla yerleştirilmesinin etkisini ve panel uzunluğunun üç boyutlu zemin oturumları ve yanal gerilmelerdeki değişime olan etkisini araştırmışlardır. İnşaat esnasında bir diyafram duvarın yakınındaki yanal gerilme azalmasının büyüklüğü ve boyutunun, panel uzunluğuna bağlı olduğunu ve düzlem birim deformasyon koşullarını varsayan analizlerde aşırı olarak tahmin edildiğini belirtmişlerdir. Üç

boyutlu etkiler, düzlem birim deformasyon durumuna kıyasla, inşa sürecinde panel formundaki diyafram duvarın yanal deplasmanını azaltma eğilimindedir.

Literatürde arazide istinat duvarının inşası çeşitli sonlu elemanlar analizleri ile bildirilmiştir (örneğin, De Moor, 1994; Ng ve ark., 1995; Ng ve Lings, 1995; Ng ve Yan, 1998; Ng ve Yan, 1999; Gourvenec ve Powrie, 1999; Gourvenec ve ark., 2002; Schafer ve Triantafyllidis, 2004). Bu araştırmalar, analiz türü, zemin profili, duvar modeli ve boyutları, zemin modeli ve yazılımı ve drenaj koşullarına göre farklılıklar göstermektedir. Tüm bu analizler genel olarak zemin koşulları ve duvar geometrileri bakımından farklı olup, farklı şekillerde sonuçları çıkarılmış olup, genel bir sonuç çıkarmak zordur, ancak bu çalışmaların hiçbiri bu tez çalışmasında sunulan modelleme gibi komşu temellerin etkisini de içerecek şekilde bir deformasyon analizi sunmamıştır.

2.2.1. Üç boyutlu sayısal modellemeler

Kentsel bir ortamda kazı yaparken kazıya bitişik zemin oturmasının büyüklüğü ve dağılımının tahmini, analiz ve tasarım sürecinin önemli bir parçasıdır. Sayısal teknikler, bu amaçla tartışmasız olarak önemli bir rol oynamaktadır. Genel olarak uygulamada, düzlem birim deformasyon koşullarını varsayarak sonlu elemanlar yöntemlerine dayanan analizler yaygın olarak kullanılmaktadır. İki boyutlu analizler, köşelerin sertleşme etkisini yakalayamamakta ve genel olarak zemin oturmasını aşırı tahmin etmektedirler. Zemin ile kazı destek sistemi arasındaki etkileşimin gerçekçi bir analizi için üç boyutlu sonlu elemanlar modellerinin gerekli olduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte, tam üç boyutlu analizler, nadiren yapılmakta olup, karmaşıklığı ve zaman-maliyet kısıtlamaları nedeniyle sıkça gerçekleştirilmektedir.

Ou ve ark. (2000), Ou ve Shiau (1998) ve Ou ve ark. (1996) tarafından zemin yüzeyi oturması ve yanal deformasyon üzerindeki geometrik etkiler üç boyutlu analizlerle incelenmiştir. Ou (1996), sayısal bir analizde üç boyutlu geometrinin sağladığı kısıtlamanın bir göstergesi olarak düzlem birim deformasyon oranı olarak bir oran tanıtmıştır. Düzlem birim deformasyon oranı, üç boyutlu geometriyle

gözlemlenen (veya hesaplanan) maksimum zemin deformasyonu ile düzlem birim deformasyon koşulları altında hesaplanan zemin deformasyonu arasındaki oran olarak tanımlanmıştır. Bire yaklaşan oran değeri, düzlem birim deformasyon koşullarına yaklaşan bir kazı konfigürasyonunun ifade etmektedir. Düşük oran değeri ise, geometri ve destek rijitliği nedeniyle belirgin kısıtlayıcı etkilere işaret etmektedir. Ou ve ark. (1996) zemin için hiperbolik Duncan-Chang modelini kullanmış ve sonlu elemanlarda analiz yapmışlardır. Bu hiperbolik model, yükleme ve boşaltma elastik modüllerini ayırt ederek elastikiyeti yakalayan bir pseudo-elastik doğrusal olmayan modeldir. Hiperbolik yaklaşımın kayma kaynaklı hacim değişimini içermediği ifade edilmiştir. Sonuç olarak, model kazıya bitişik dikey zemin oturmasını eksik olarak tahmin edebilmiştir. Sınır elemanlarının mesafesini azaltmak için sonsuz elemanlar uygulanmış ve böylece gerekli eleman sayısı azaltılmıştır. Lee ve ark. (1998) düzensiz şekilli kazıların deformasyonlar üzerindeki etkilerini incelemek için üç boyutlu analizler gerçekleştirmişlerdir. İki boyutlu ve üç boyutlu analizleri karşılaştırarak geometri etkilerinin önemini değerlendirmişlerdir.

Karmaşık zemin davranışını daha iyi yansıtabilmek amacıyla, beklenen gerilme-deformasyon davranışını yakından temsil edebilen bir zemin yapısal modeli kullanmak gereklidir. Zemin davranışıyla ilgili faktörler, küçük birim deformasyon doğrusal olmama, anizotropi, hacim değişimi, gerilme izi, yükleme ve boşaltma özellikleri, ve gerinim yumuşaması veya sertleşmesi içermektedir. Kazı destek sistemine bitişik dikey deplasmanların duvar yanal deformasyonuna göre kullanılan zemin modellerinden daha fazla etkilendiği kabul edilmektedir. Bunun nedeni, düşey deplasmanların ağırlıklı olarak, zemin kütlesinin boşaltma-tekrar yük sertliği özellikleri tarafından yönetilmesidir. Duvar yanal deformasyonu ise esasen destek sisteminin yapısal rijitliği ve yanal zemin basıncının bir fonksiyonudur.

Üç boyutlu analizler için gelişmiş zemin modeli kullanmaya yönelik bir girişim, Zdravkovic ve ark. (2005) tarafından yapılmıştır. Doğrusalsızlığın Jardine ve ark. (1986)'nin küçük-gerinme sertliği modeli yaklaşımıyla simüle edildiği, doğrusal olmayan elasto-plastik Mohr-Coulomb modelini (Potts and Zdravkovic, 1999) kullanmışlardır. Bu araştırmada kare ve dikdörtgen kazılar için, kazının köşesindeki

farklı yönlerde duvar sertliğinin dönme sabitliği ve üç boyutlu etkiler araştırılmıştır. Seçilen geometri, inşaat sırası ve zemin koşulları, Londra, Moorgate'de yapılan derin kazı çalışmalarına dayanmaktadır. Çalışma, duvar ve zemin deplasmanları ile yapısal kuvvetler hakkında gerçekçi tahminler elde etmek için üç boyutlu analizlerin önemini ortaya koymuştur. Blackburn (2005) ise bir derin kazının üç boyutlu sonlu elemanlar analizi yapmak için izotropik sertleşen zemin modelini kullanmıştır. Analiz, kazı sırasının doğru modellenmesinin etkisini belirlemek ve derin kazılarda üç boyutlu geometrilerin sağladığı köşe kısıtlamasının derecesini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Sonuçları, tahmin edilen davranış ile gözlenen davranış arasında iyi bir eşleşme bulunmuştur. Üç boyutlu sayısal modellemelerin kullanıldığı çalışmalar için Taiwan'dak Hai-Hua binası için Ou ve Chiou (1993), Ou ve ark. (1996) tarafından yapılan çalışma, yine Taiwan zemini temelinde Ou ve ark. (1996) tarafından yapılan hipotetik kazı çalışması, Singapur'daki bir ticaret merkezi kazı alanı için Chew ve ark. (1997) tarafından yapılan çalışma, Singapur'daki göçmen binası kazı alanı için Lee ve ark. (1998) tarafından yapılan çalışma, Roboski (2004), Blackburn (2005) ve Hsieh ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmalar örnek olarak verilebilir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Delgi kazıkları

Bitişik delgi kazıklar, sıkça binaların bodrum katları için sığ ve derin kazılarla ilgili olarak kullanılmaktadır. Çakma prefabrik ve levha kazık sistemleriyle kıyaslandığında inşaat gürültüsü az bir uygulama olup, kentsel alanlarda ve titreşimin istenmediği durumlarda tercih edilebilirler. Bitişik kazıklar, dikey olarak zeminde oluşturulurlar ve yatay deformasyonlarını önlemek amacıyla gerekli durumlarda zemine ankrajlanır veya desteklenirler. Ankraj durumunda bir kazı çalışması alanını sınırlayan dikmelerin gerekliliği ortadan kalkmakta ve tasarım açısından gerekli kazık çapında bir azaltma yapmaktadır.

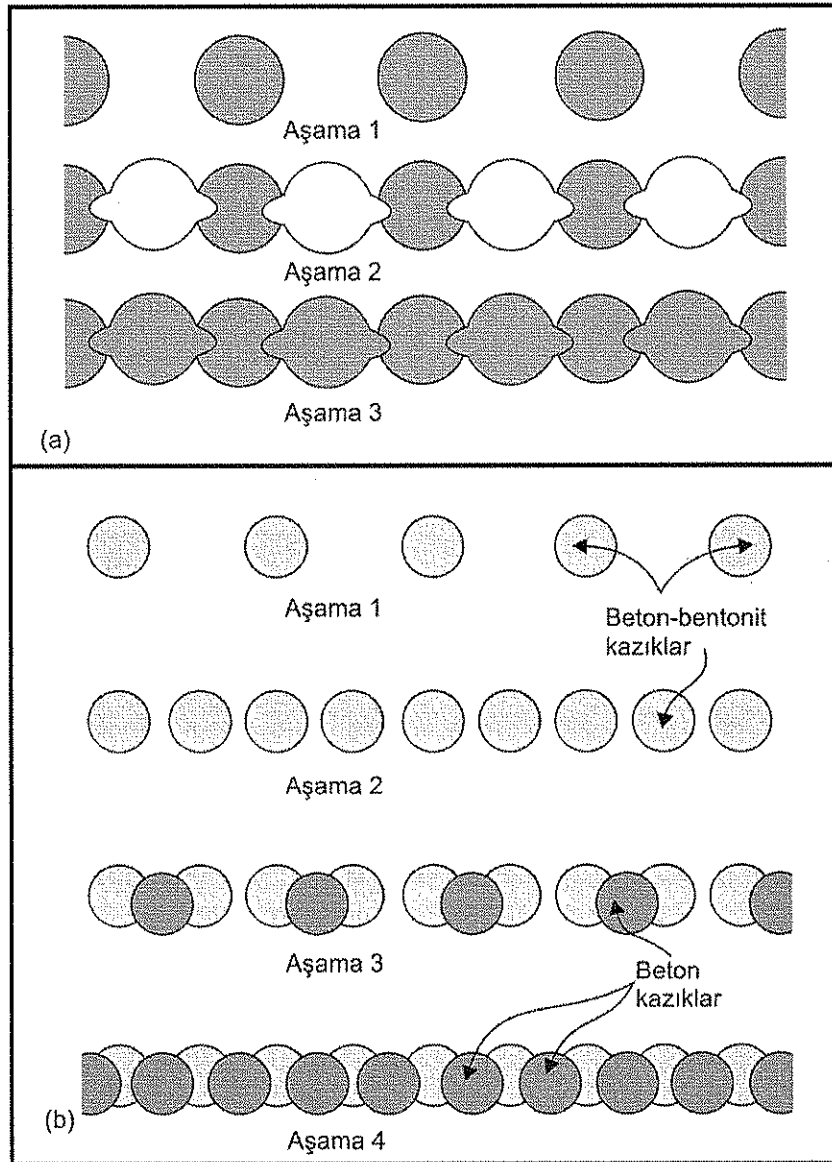
Delgi kazıklarının uzunlukları zemin koşullarına uyacak şekilde değiştirilebilir. Geçici kılıflama kazıkların inşası sırasında kullanılabilir. Bitişik delgi kazıklar normal olarak kohezyonlu zeminler için en uygun yöntemdir. Sıvılaştıran zemin nedeniyle doygun gevşek dizilimli silt veya kumlara inşa edilemeyebilirler. Dahası, bitişik yapıların muhtemel oturması ile kazıkların kohezyonsuz zeminlerde gruplar halinde inşası durumunda zemin kaybı meydana gelebilir. Örneğin sondajın yavaş veya zor olduğu zeminlerde, örneğin kayaç varlığına bağlı olarak, aralıkların çok yakın merkezlenmesi nedeniyle sıkışmadan kaynaklı örselenme, geniş aralıklı kazıklardan kaynaklanan örselenmeden muhtemelen daha fazladır. Su taşıyan zeminlerde kazıklar oluşturulurken sıkıştırmadan kaynaklı zorluklar ortaya çıkabilir. Örneğin, betonlama işlemleri devam ederken, muhafaza geri çekilirken muhafazanın alt kısmı betonarme kazının tabanını yukarı kaldırır, su delgi bölgesine girebilir ve betonun mukavemetini düşürebilir. Artezyen şartları altında, su, kazık shaftına zarar verebilir. Zeminde sıkışma hareketi olursa, kazıkta eğilme olabilir.

İstinat duvarı için bitişik kazıklar kullanıldığında, kazıklar tekli veya çift sıralı olarak, birbirlerine dokunacak veya birbirlerine çok yakın olacak şekilde yerleştirilir. Kazıklar, bu şekilde, uygulanan eğilme momentlerine ve kesme kuvvetlerine direnç gösterecek şekilde desteklenirler. Kazık çapının seçimi açısından çok esneklik söz konusudur, ancak, genel olarak, dairesel kesit, eşdeğer bir direnç momenti üreten diyafram duvarın sabit kesitinden daha fazla ana donatı gerektirmektedir.

Muhafaza kılıfının uzadığı derinlik, zemin koşullarına bağlıdır. Örneğin kazıklar kil içinde olduğu zaman, kilin üst kısmında bir conta oluşturmak için genel olarak kısa bir gövde uzunluğu gereklidir. Bundan sonra delgi muhafazasız devam edilebilir. Geçici kılıf kullanımı kazıkların arasında boşluklara neden olabilir. Bu boşluklar normalde kazığın baş kısmında 75 mm'yi geçmemelidir ve kazıklar dikeyde genelde kabul edilen 1:75 eğimden fazla sapmamalıdır. Bitişik kazıkların betonları, kuru koşullar için kısa bir oluk ve huniden boşaltılarak veya su altında tremie tekniği ile doğrudan kazık shaftına dökülür. Alternatif kazıklar yapılmakta ve beton orta kazıkları sıkmadan önce sertleşmesine izin verilmektedir. Delikler, genelde içine alan bir hazne kazıcı ile veya delici auger burguyla yapılmaktadır.

Su pompalama yoluyla bir kuyu deliğinden çıkarılmadığında, yanların çökmesini önlemek amacıyla kılıflama yapılması gerekir. Beton dökülmeden önce kılıf çok hafif bir şekilde döndürülerek ve yukarı doğru oynatılarak zeminle sıkışması önlenir. Bitişik kazıkların su taşıyan katmanlardan geçtiği yerlerde, derz birleşimlerini kapatmak için çeşitli enjeksiyon teknikleri kullanılabilir. Derzlerin kapatılması kazı başlamadan önce yapılır. Sızdırmazlığa, birbirine kenetleyen sekant kazıkları kullanılarak da ulaşılabilir. Alternatif yöntemde, Şekil 3.1.(a)'da gösterildiği gibi ilk kademe kazıkları inşa edildikten sonra, ara kazıklar, zemin boşaltarak ve kazık shaftlarının kenarlarına bir oluk açılarak, yivler de dahil olmak üzere deliklere beton yerleştirilir ve böylece tamamen birbirine geçen su geçirmez bir duvar oluşturulmuş olur. Sekant kazık duvarları oluşturmanın daha yeni bir yöntemi Şekil 3.1.(b)'de gösterilmiştir. Bu yöntemde bentonit-çimento kazıkları kullanılarak sürekli bir duvar sağlamak üzere birbirine kenetlenmiş betonarme kazıklar oluşturulmaktadır. Bentonit-çimento kazıkları ilk aşamada aralıklı olarak inşa edilir,

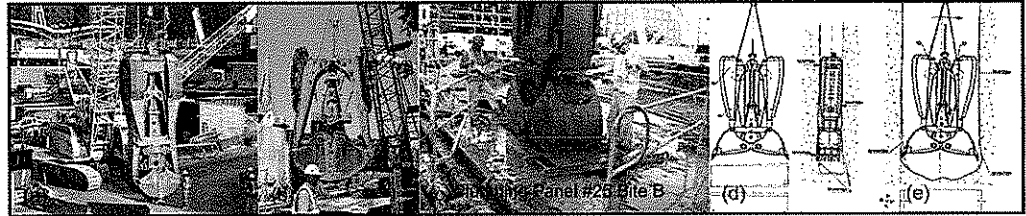
daha sonra ara bölgelere tekrar bentonit-çimento kazıkları inşa edilir, daha sonraki aşamada betonarme kazıklar bunların ortasında aşamalı olarak inşa edilir. Bentonit-çimento kazıkları iki sırayla oluşturulur. Bentonit-çimento kazıkları sondaj için yeterli gücü kazandığında betonarme kazıklar yerleştirilir (Şekil 3.1. (b)), buda, genellikle, bentonit-çimento kazıklarının yapılmasından en az 36 saat sonraya tekabül etmektedir.



Şekil 3.1. (a) sekant kazıkların inşası: (1) başlangıçta kazıklar yerleştirilir; (2) kazıklara keski ile yiv açılır; (3) sıralı kazıkların yapımı. (b) sekant kazıkların imalatındaki dört aşama, bu sistemde bentonit-çimento kazıklar ve betonarme kazıklar kullanılmıştır.

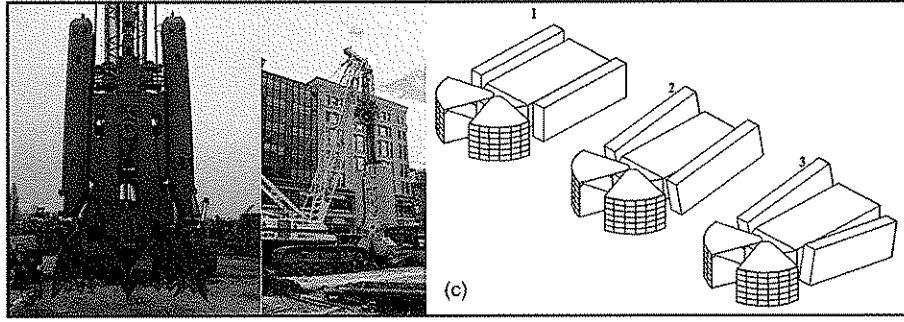
3.1.2. Diyafram duvarlar

İlk diyafram duvar 1950'lerde bentonit çamuru desteği kullanılarak İtalya'da, baraj inşaatında geçirimsizlik perdesi oluşturmak amacıyla yapılmıştır. Bunu takiben Milan Metro çalışmalarında yapısal duvar formundaki imalatları aç-kapa geçitlerin yapımında kullanılmıştır. Milan metrosundaki bu aşırı kullanımından sonra üstten-alta imalat (top-down) metodu Milan metodu olarak geliştirilmiştir. İngiltere'de Londra, Hyde Park Corner'da 1961 yılında kullanılmış ve bu kullanımı tüm Avrupa'ya ve dünyaya yayılmıştır. Bodrum inşasında, alt geçit işlerinde, kıyı yapılarında ve metro işlerinde halata asılı kazıcı ağızların kullanılmasıyla yapılan kazılarda bu ağızlar önceleri üç ayaklı sistemde askıdayken sonraki yıllarda vinçlerle askıya alınmıştır. Daha sonraki yıllarda ise bu ekipmanlar gelişerek günümüzde kullanılan formuna dönüşmüştür. Bu kazıcıların kırıcı çeneli olanları parçalı kaya formasyonlarında da kullanıma imkanı sağlamışlardır. Şekil 3.2.'de diyafram duvar inşasında kazı aşamasında kullanılan çift çeneli kepçe mekanizması görülmektedir. Bu mekanizma halatla vinçlere asılı olarak kullanılmaktadır.



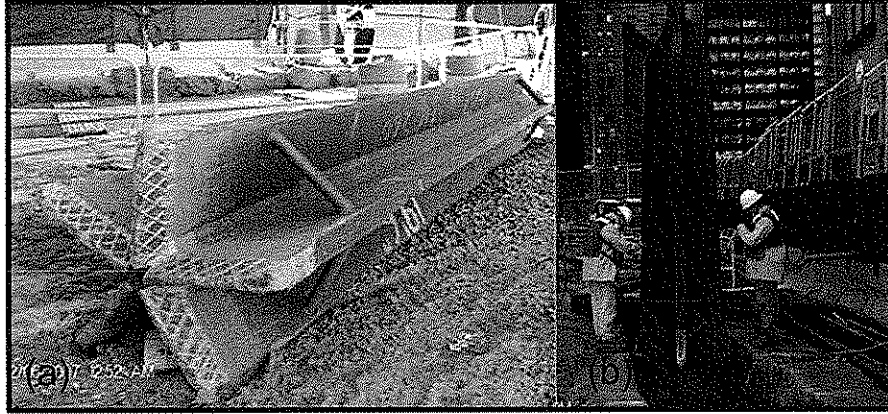
Şekil 3.2. Çift çeneli kepçe mekanizması

Zamanla ihtiyaçlara göre gelişen bu kazma mekanizmalarında düşey ilerlemeyi daha kontrollü yapabilmek ve daha fazla malzeme kazılmasını sağlamak amacıyla hidrolik sistem geliştirilmiş (Şekil 3.3.) ve çift çeneli kepçe kılavuzları ile ön ve arka sapma eğilimlerini kontrol etmek amacıyla herhangi bir yönde yönlendirilebilmeleri sağlanmıştır (Şekil 3.3.(c)).



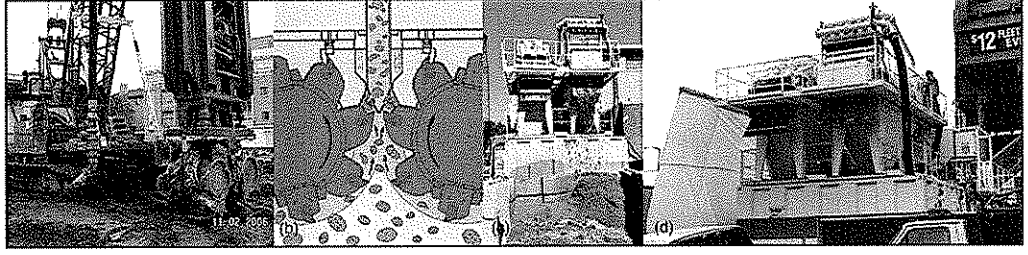
Şekil 3.3. Hidrolik donanım ve çift çeneli kepçe klavuzları

Zeminde kaya ile karşılaşılması kazı işleminde önemli gecikmelere sebep verdiğinden, bu durumlar için Şekil 3.4.'de gösterilen perküsyon (darbeli) keski mekanizması kullanılarak kaya zeminin kırılma ve daha kolay kazılma işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.4. Perküsyon (darbeli) keski mekanizması

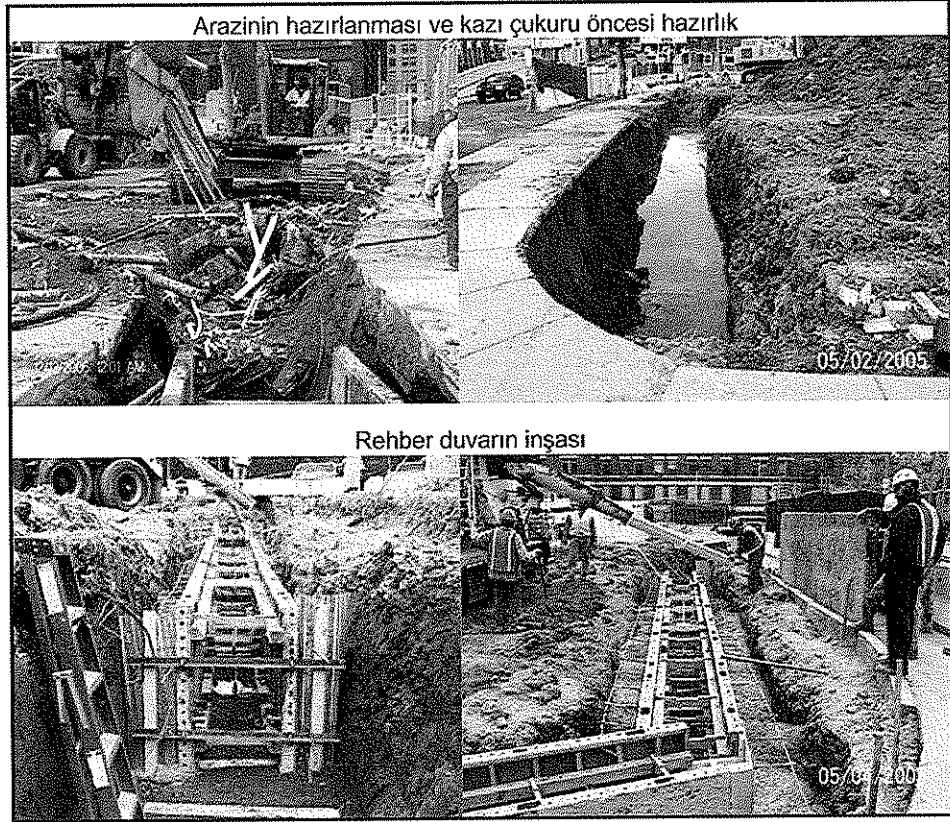
Daha derine kazı yapılmasına imkan veren ve düşeyde sapmayı minimize ederek nisbeten daha zorlu zemin şartlarında da kullanılabilen yeni sistemlerden Şekil 3.5.'de sulu-öğütücü/sulu-freze/kesici ekipman mekanizması görülmektedir. Bu sistemde kazı işlemi ters dönüşle bentonit çamuru içerisinde öğütme işlemi yaparak, malzeme üst zemine taşınmakta ve desandör yardımıyla ayrıştırma işlemi yapılmaktadır (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Sulu-öğütücü/sulu-freze/kesici ekipman mekanizması ve malzeme ayrıştırıcı (desandör ünitesi)

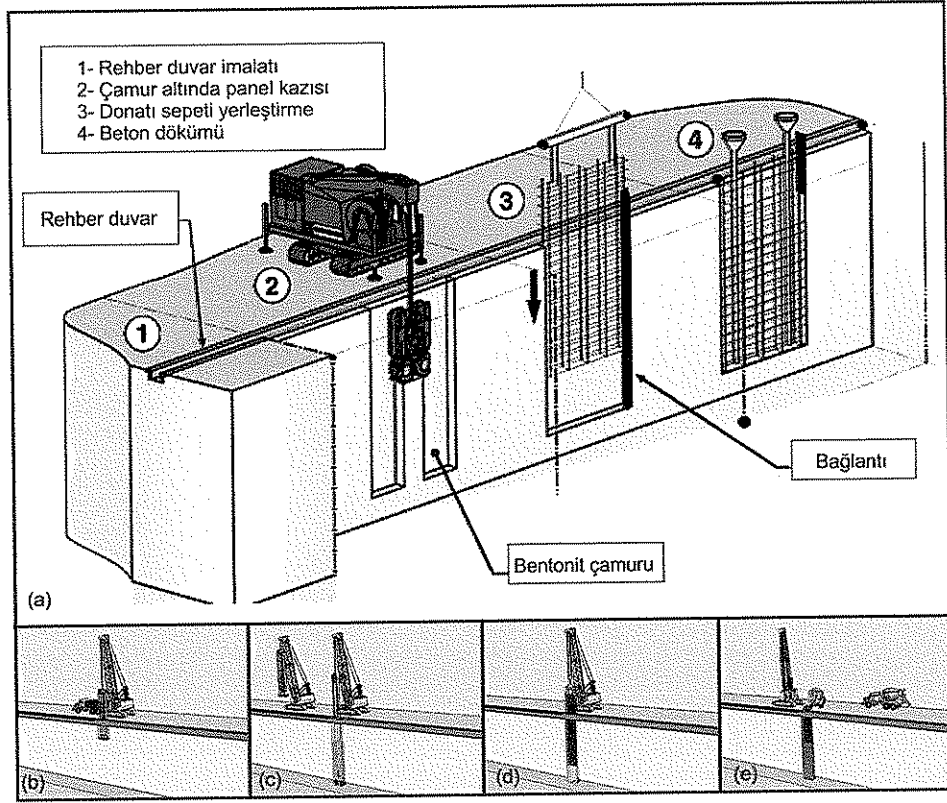
Diyafram duvarlar genelde fiyat ve inşaat süresi açısından verimli olup, kalıcı ve geçici altzemin duvar retansiyonlarında orta ve büyük derinliklerde kullanılan bir duvar yapım yöntemidir. Diyafram duvarlar bina üst yapısından gelen düşey yükleri bodrum altındaki alt zemine transfer etme konusunda verimli sistemlerdir. Bu duvar yapım tekniği minimum oranda gürültü ve vibrasyon rahatsızlığı verir. Bu sürekli bir imalat tekniği olup bağlantısızlık oluşturmaz. Her ne kadar tesiste önceden üretilen çeşitleri varsada bu duvar tekniği genelde arazide yerinde üretilir. Diyafram duvarlar yerinde dökme donatılı duvarlar olup, derin kazılarda sıkça başvurulan bir istinat duvarı yapma yöntemidir.

Diyafram duvar imalatına başlamadan önce duvarın kazılacağı güzergah boyunca klavuz veya rehber duvar olarak adlandırılan bir duvar yapılır. Şekil 3.6.'da gösterilen bu duvar genelde zeminin 1 m derinine kadar inmekte ve hem çeneli kazıcı mekanizmanın hemde bentonit çamurunun üst zemin yüzeyinde tahribat yapmasını önlemek ve düşey eksenden sapmadan derinlikçe doğru ilerlemeyi hedeflemektedir.



Şekil 3.6. Diyafram duvar kazısı öncesi hazırlık işlemleri

Diyafram duvarların inşa aşamalarında, önce kazı ve kazının bir destek sıvısı ile desteklenmesi gelir. Bu sıvı çoğu zaman bentonit çamuru olup, bu şekilde açılan deliklerin yanal toprak basıncı sebebi ile dolması önlenmektedir. Daha sonra donatı sepeti kuyu içerisine indirilir. Beton dökülür, beton dökümü kuyunun dibinden başlar ve beton döküm boruları kademeli olarak yukarı çekilir (Şekil 3.7.). İlk olarak bir taraftan daha sonra diğer taraf ve orta kısım olmak üzere kazı işlemi yapılır.



Şekil 3.7. Donatı takviyeli bir diyafram duvarın yapım aşamaları. Kazı çukurunun bentonit süspansiyonuyla doldurulduğu süre boyunca panellerin kazılması için genel bir prosedür sunulmaktadır.

Kentsel mekanlarda yetersiz alan bulunmasına bağlı olarak, kamusal olanakların iyileştirilmesi, otopark, konut hizmetleri, endüstriyel kitle depolaması vb sebeplerle daha derine inme gerekliliğinden doğan ihtiyaca diyafram duvar imalatı cevap vermektedir. Bu inşaat sistemiyle konut, alışveriş merkezleri ve metro çalışmaları gibi derin bodrum kazıları gerektirme ihtimali olan yapılar için sıkça başvurulan bir teknik olmuştur. Ayrıca, yer altı enerji santralleri, barajların altındaki su perdeleri, ağır altyapı tesislerinde bulunan yer altı yapılarından bazıları da bu kullanım alanı içerisinde sayılabilir. Çok yüksek yeraltı su seviyesi durumu, zorlu zemin koşulları, yakındaki mevcut yeraltı kuruluşları, yanal zemin hareketlerine karşı sıkı kısıtlamalar gibi nedenler, bu yer altı yapılarının inşası için açık kazıları imkansız hale getirmektedir. Kazı aşamasında bu koşullar altında destek sistemleri gerekli hale gelmektedir. Bununla birlikte, uygun kazı destek sisteminin sağlanması, dikkatli bir mühendislik değerlendirmesinden sonra yapılabilir.

Kazı derinliği, zemin koşulları, yer altı suyu seviyesi, bitişik zeminin izin verilen düşey ve yatay yer değiştirmeleri, destek sisteminin su geçirmezlik gereksinimleri, yapını gereksinimi, maliyet faktörleri, müteakip yapım metodolojisi, çalışma alanı sınırlamaları gibi sebepler derin destek sistemlerinin tiplerinin seçiminde göz önünde bulundurulması gereken faktörlerdir. Bu derin destek sistemleri, diyafram duvarlar, sekant veya tanjant kazık duvarlar, levha kazık duvarlar, I profilli duvarlar gibi çeşitliliğe sahiptir. Diyafram duvar, kazı yüzeylerini yanal toprak basıncı ve su basıncından korumak ve yer altı yapısına su geçirmezliği kazandırmak için kazı öncesi yerinde inşa edilmiş bir yeraltı duvar çeşidi olup, kalıcı veya geçici formlarda düşünülebilirler.

Diyafram duvarların tipik duvar kalınlıkları 0.6-1.5 m arasında değişmektedir. Duvar paneli tarafından tam derinlikte inşa edilirler. Panel genişliği çeşitli koşullara bağlı olarak genelde 2.5-6.5 m arasında değişir. 2.5 m'lik kısa genişlikler, daha az stabil zeminlerde, çok yüksek sürşarj veya çok derin duvar durumlarında tercih edilirler. Geleneksel düz kısım dışında T, L gibi farklı panel şekilleri özel amaçlar için oluşturulabilir. Geleneksel olarak, panel kazısı kabloyla desteklenen çift çeneli kepçe kullanılarak gerçekleştirilir. Serbest halat düzeni yerine Kelley düzenlemesi ile yataklanmış düzenek ile hidrolik kepçeler yakın zamanda kullanılmaya geçmiş sistemlerdir. Ayrıca yakın zamanda geliştirilen hidrolik kesici tip makineler de kullanılmaya başlamıştır, bu makinelerin yanında pompalar, tanklar, ayıklama ünitesi gibi ekipmanlar da kullanılmaktadır.

Diyafram duvarının inşasında yer alan adımlar, hizalamada kullanılan kılavuz duvar konstrüksiyonu, vinçle çalışan çift çeneli kepçe, hidrolik kepçe, sulu-öğütücü hendek kesici makineler gibi makinelerle yapılan kazı işlemi, bentonit yıkama, takviye kafesi veya doatı sepetinin kazı çukuruna indirilmesi, tremi kullanarak betonlama işlemi olarak sıralanabilir.

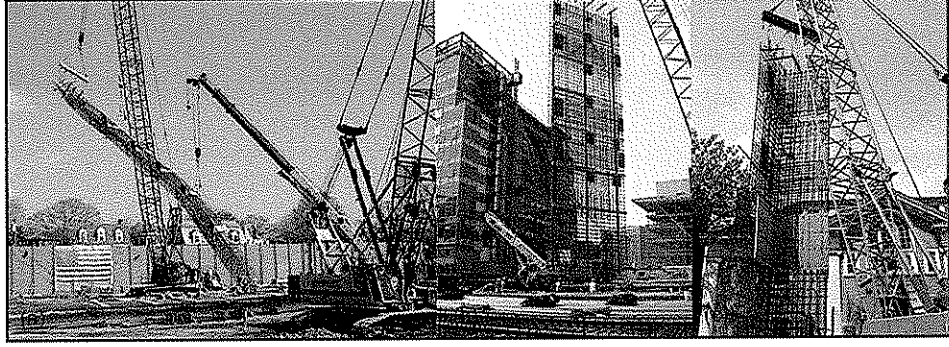
Diyafram duvarlarının bir dizi alternatif primer ve sekonder panel olarak yapıldığı unutulmamalıdır. Önce birincil paneller oluşturulur ve bunlar durdurma-bitiş boruları ile her iki tarafta tutulur. Ara orta panel kazısı alınmadan önce, borular

çıkarılır ve panel, sürekliliği sağlamak için her iki tarafta iki ana panel üzerine dökülür. Yer altı suyunun sızmasını önlemek için bitişik paneller arasındaki inşaat derzlerinde bazen su tıkaçları kullanılır.

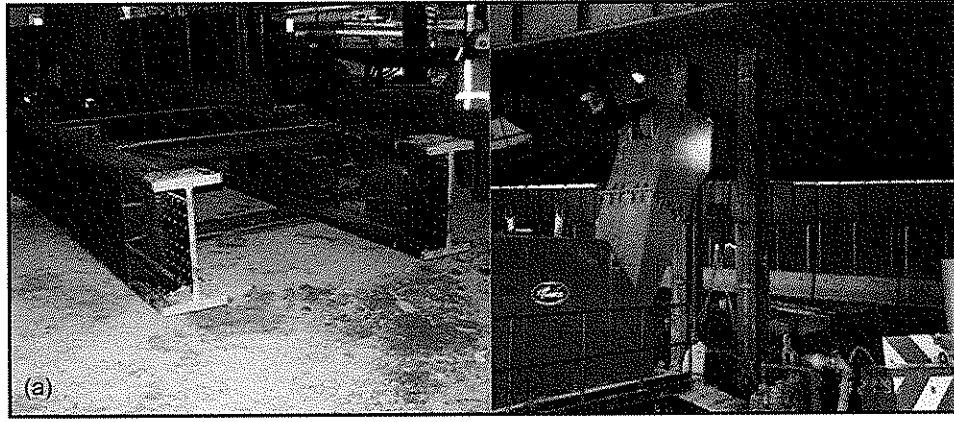
Diyaframlı duvar inşaatı ağır inşaat ekipmanları içermektedir. Bu ekipmanlar, üç önemli faaliyeti temel alarak gruplandırılabilir, bunlar kazı, takviye yerleştirme veya donatı yerleştirme, ve betonlamadır. Kazı aktivitesi hendek kazısı teçhizatı, tek kepçe veya desandör ve bulamaç işleme pompalarından oluşan bir ekipman ağı içerir.

Sert zeminleri ve yumuşak kayaları kazmak için güçlü bir çamur pompasına bağlı bir darbeli keski kullanılmaktadır. Mekanik çift çeneli kepçe sisteminin uzunluğu 6-10 m olup, yeterli kaldırma kuvveti ile serbest düşme düzenlemesine sahip çift halatlı bir vinç üzerine asılmaktadır. Bir vinç çene gövdesini tutar ve diğer vinç ise kapanma kuvvetlerini kasnaklardan geçirerek uygular.

Hidrolik çeneli kepçe ise genellikle halat asma veya Kelly düzenlemesi ile yataklanmış monteli olabilir. Bu sistemde daha güçlü bir çene kapama kuvveti uygulanabilir. Bu özellikler bu mekanik çenelerin, panelin açılması, iyi bir dikey kontrol ve daha yüksek üretkenliğe sahip her türlü zemin ve sert formasyonlarda kazı yapılmasına imkan vermektedir. Bu zorluğun yüksek düzeyde olduğu durumlarda ise sulu-öğütücü, sulu-freze veya sulu-kesici makine tiplerine başvurulabilir. Sulu öğütücü sistemde bulamaç desandör ve bulamaç işleme ünitelerinden geçerek ayrıştırma işlemi yapılır. Kazı işlemi sonrasında bentonit yıkaması yapılabilir. Donatı sepeti veya takviye kafes sistemi yerleştirilir. Bu, Şekil 3.8.'de gösterildiği gibi, donatı sepetinin kaldırılma ve indirilme faaliyetleri için bir veya iki vinç ihtiyacını gerektirebilir. Bazen donatı sepeti yerine takviye kafesi de kullanılabilir (Şekil 3.9.). 12-25 m uzunluklu 10-25 ton kütleli donatı sepetleri veya takviye kafesler tek parça halinde taşınabilir. Bununla birlikte, boşluğun ve vinç kapasitesinin mevcudiyetine bağlı olarak, bu işlem dikkatli olarak yapılmalıdır.



Şekil 3.8. Donatı sepetinin kazı çukuruna taşınması ve montajı



Şekil 3.9. Takviye kafesi ve montajı

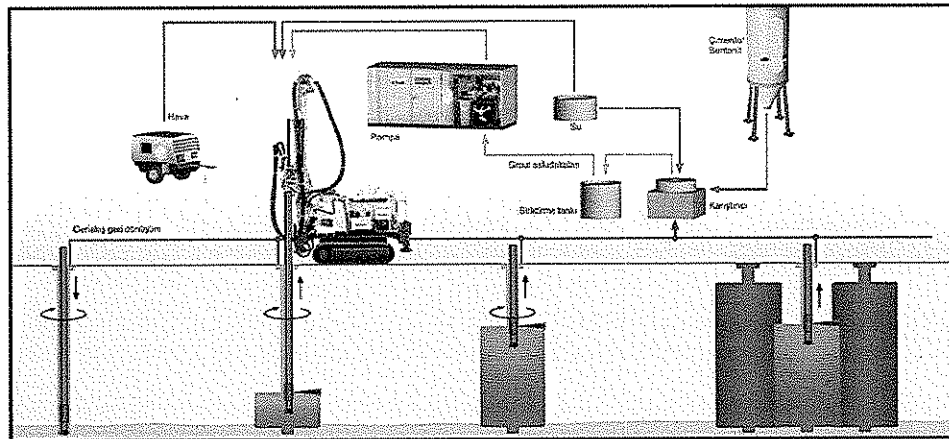
Diyafram duvar betonlaması tremi yöntemi ile yapılır (Şekil 3.10.) ve beton panel altından panelin üstüne doğru akışı sağlamak için uygun işlenebilirliğe sahip olan beton kullanılmalıdır. Tipik olarak, her diyafram duvar paneli 4 saatlik bir sürede yaklaşık 50-200 m³ beton gerektirdiğinden, diyaframlı duvar betonlarının üretimi, yakın çevredeki hazır beton tesislerinden sağlanması gerekir. Tipik bir beton dökme işlemi Şekil 3.10.'da gösterilmektedir.



Şekil 3.10. Kazı çukuruna tremi ile beton dökülmesi

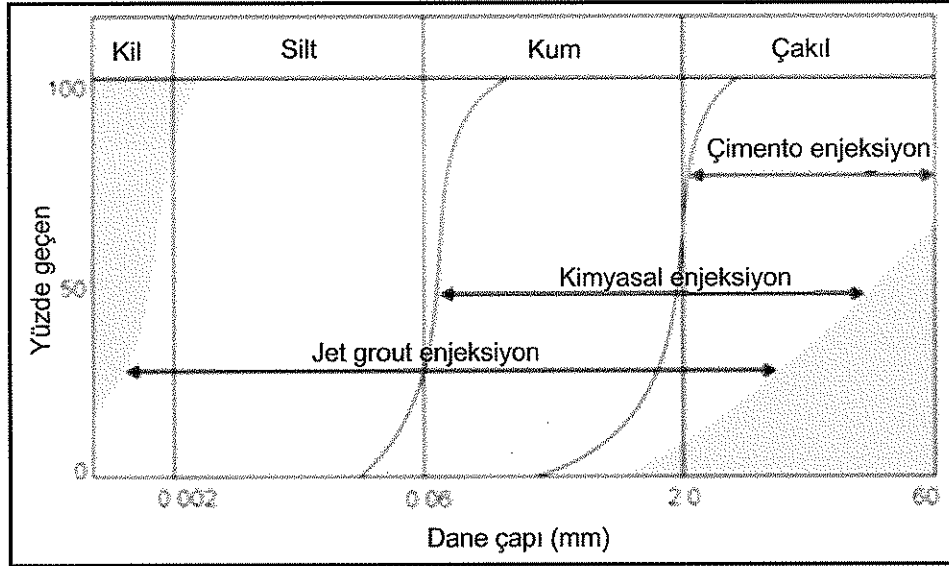
3.1.3. Jet grouting kolonlar

Jet grouting ekipmanları klasik enjeksiyon yöntemine göre bir miktar farklılık göstermekte olup, bu ekipmanlar, yüksek kapasiteli pompa, delgi ve enjeksiyon kısımlarından oluşmaktadır (Şekil 3.11.).

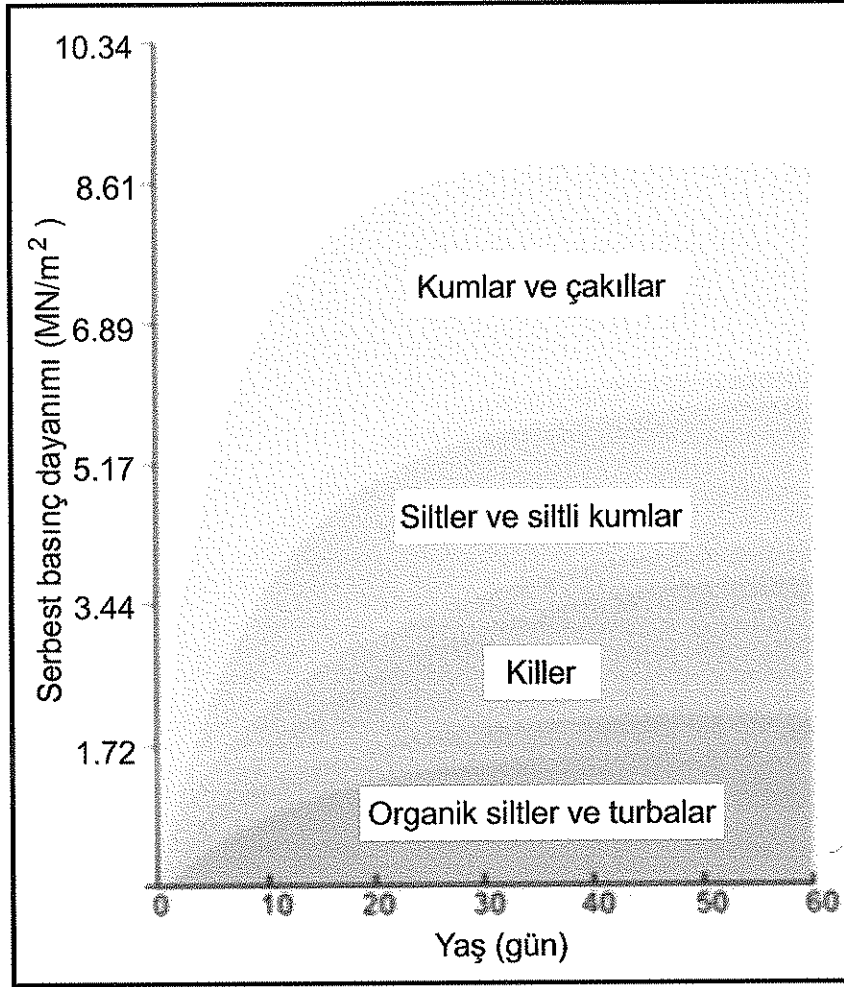


Şekil 3.11. Jet grout ekipmanları

Kullanılan delgi pekçok zeminde işlem yapacak özelliklerle tasarlanmış olup, bağlantı ekipmanları ve tijler özel olarak imal edilmektedir. Jet grout işlemlerinde, zeminde oluşan kolonun çapı, kesilen zeminin özelliklerine ve seçilen jet grout uygulama teniğinde kullanılan parametrelere bağlıdır, örneğin, dönme ve geri çekme hızları, uygulanan basınçlar gibi değerler, bu kolon çapının değişimine sebep olmaktadır. Bazı deliciler bu parametrelerde değişimler yaparak daire, daire yayı, yarım daire, panel gibi çok çeşitli geometrilerin elde edilmesine imkan yaratırlar. Şekil 3.12.'de gösterildiği gibi bu teknik çoğu taneli zemin türlerinde kullanılabilir. Jet grout yöntemiyle oluşturulan kolonun serbest basınç dayanımlarındaki değişimlerin, zemin türüne göre varyasyonu Şekil 3.13.'de sunulmuştur.

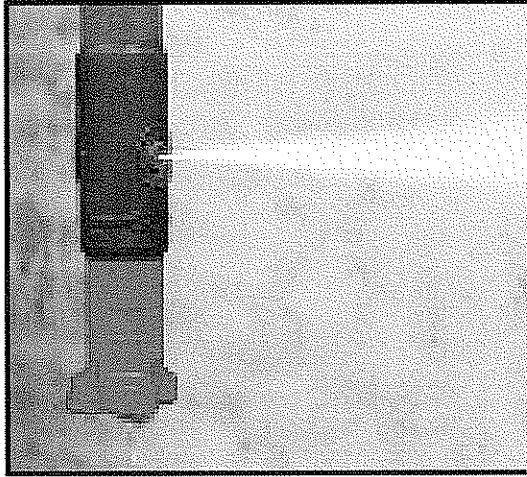


Şekil 3.12. Jet grout enjeksiyonunun yapılabileceği zemin çeşitleri

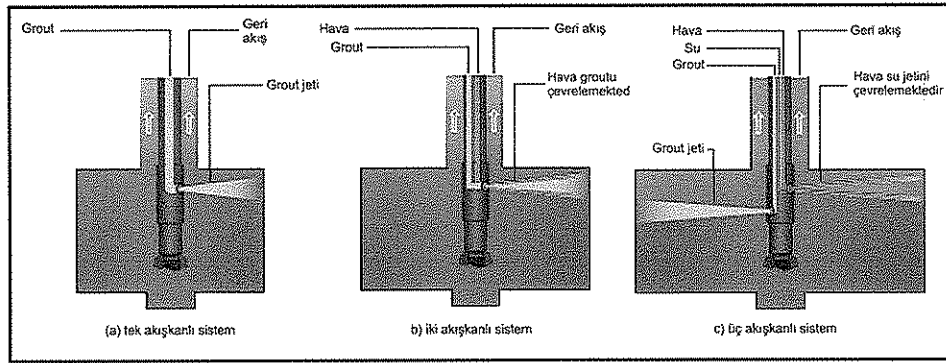


Şekil 3.13. Jet grout kolon malzemesinin serbest basınç dayanım değerleri

Jet grout delgi makinelerinde çoğunlukla, delginin yönü ve eğimi, malzemenin pompaj hızının yanı sıra dönme, ilerleme ve geri çekme hızları kontrol edilebilir ve kayıt altına alınırlar. Jet grout uygulamasında kullanılan delginin ucunda kullanılan ve üzerinde püskürtme ağızların bulunduğu kısımlar monitör (bit sapı) ve matkap (rock bit) Şekil 3.14. ve 3.15.'de görülmektedir. Yüksek hızlı akışkan jeti, zemini aşındırmak ve grout ile karıştırmak amacı ile kullanılır.



Şekil 3.14. Jet grout makinasının matkap ve monitör kısımları



Şekil 3.15. Monitörlerin şematik görünüşleri

Üç akışkanlı sistem kullanıldığında, yerinde karıştırma daha fazla olmaktadır. Monitör jet grout yönteminde püskürtme işlemini gerçekleştirir (Şekil 3.15.). Püskürtme ağızlarının sayısı, seçilen jet grout sistemine bağlı olup, bunlar tek, iki veya üç akışkanlı sistemlerdir (Şekil 3.15.). Her akışkan jeti için, ki bunlar hava, su, grout dır, bir veya daha fazla püskürtücü ağız bulunur ve bunlar jetin tije dik olarak püskürtülmesini sağlamaktadır. Püskürtülen jetin hızı seçilen püskürtme ağızı çapına bağlı olup, bu kısım uygulanan basınç ile birlikte aşındırma enerjisini belirler. Bu üç farklı akışkanlı sistemlerde kullanılan monitörlerin şematik gösterimi Şekil 3.15.'de görülmektedir.

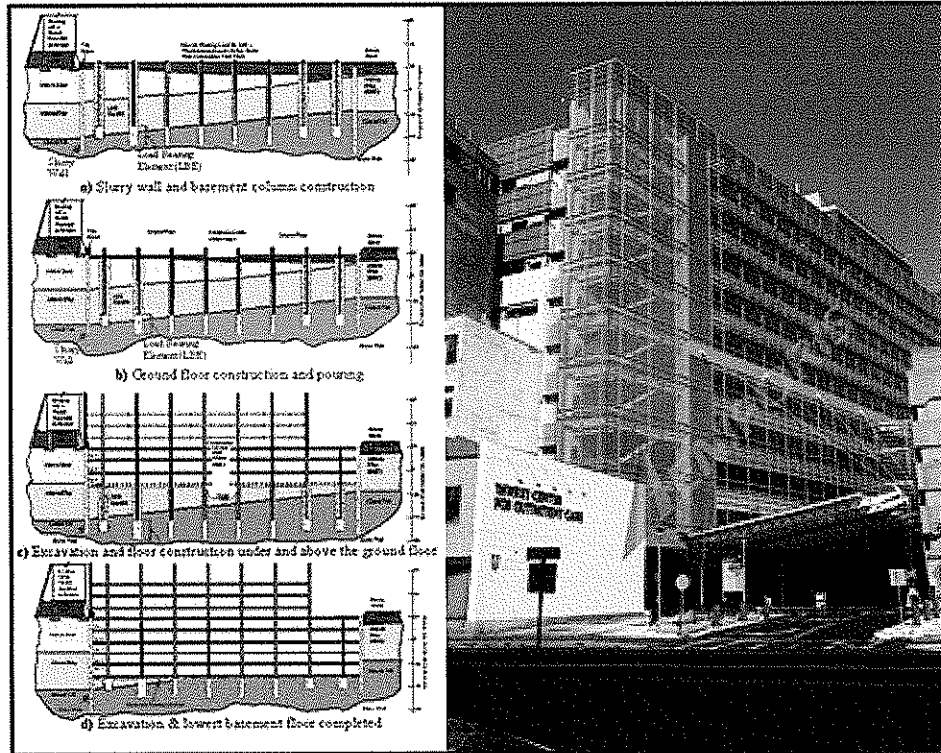
3.2. Yöntem

3.2.1. Diyafram duvar yöntemi

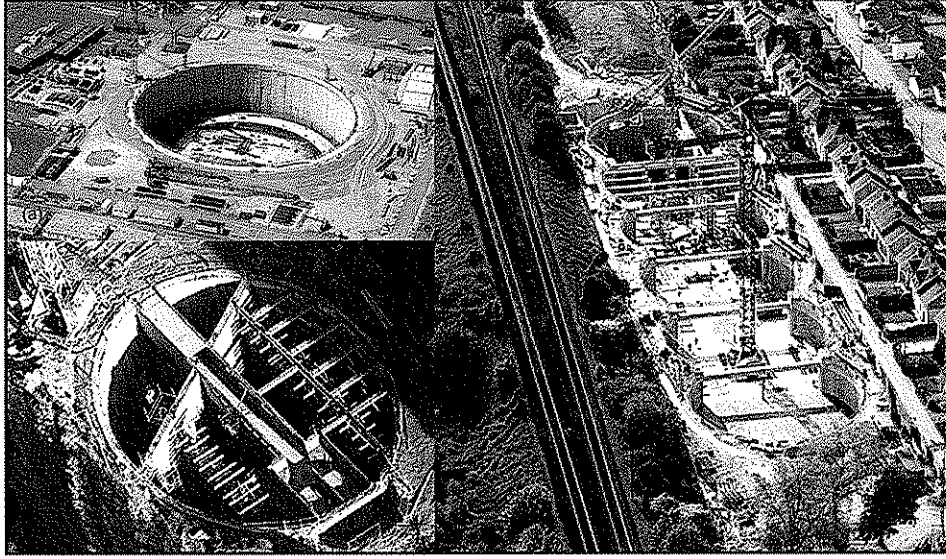
Diyafram duvarlar, bentonit bulamacıyla doldurulmuş dar bir hendekte zemin içerisinde duvar inşa etmenin bir yöntemidir. Diyafram duvarlar, su geçirmezlik, sağlamlık ve mekanik mukavemet açısından, diğer alternatiflerinden bazı özellikleriyle üstün durumdadır, bu alternatifler arasında, çelik levha kazıklar, prekast kazıklar, yerinde dökme kazıklar sayılabilir. Diyafram duvarlarının yük taşıma elemanı olarak kullanıldığı durumlarda donatı kafesi ile imalatı gerekir. Diyafram duvarlar, kalıcı yük taşıyan yapının bir parçası olarak kullanıldığında genellikle daha ekonomik sonuçlar sunar.

Diyafram duvarlar sıralı panellerden oluşur. Bazen paneller sırayla birbirinin yanında, bazen de paneller düzenli aralıklarla oluşturulur ve daha sonra aralar ikincil paneller yapılarak oluşturulur. Genelde su geçirmez bağlantılar ile panellerin arasına bağlantı yerleştirilir. Artezyen basıncının bulunduğu zeminde, panellerin birbirine göre hafif bir eğimi veya yetersiz betonlama derin kazılarda felaketsel taşkınlara neden olabilir. Birçok uygulamada beton diyafram duvarlarının iç kısımları, metro kazılarında veya bodrum otoparklarında olduğu gibi desteklenir (Şekil 3.16.). Nadiren de olsa bazen arka zemine ankrajlama işlemiyle beraber de bu iç destek kullanımı mümkün olabilir (Şekil 3.17.). Bu uygulamalarda ankraj sistemlerinin kalıcı eleman olarak düşünülür.

elemanları inşa edildikten sonra, doğrusal taşıyıcı elemanlar (LBE) inşa edilir. Delinmiş şaftların, LBE'lerin zemin içinde konstüksiyonu yapılı, gerektiği durumda çelik kazıklar kullanılır, zemin kat oluşturulduktan sonra, üstyapıların inşası gerçekleşirken, aynı zamanda yeraltı bodrum kazıları da başlatılır. Şekil 3.19.'de görüldüğü gibi diyafram duvar imalatları kendi kendini destekleyen, zemin içinde ankrajlama veya iç destek elemanları gibi ek bir dış desteğe gerek duymadan kendi kendini destekleyen yapıların oluşturulmasında da kullanılmaktadır.



Şekil 3.18. Yukarıdan aşağı (top-down) inşa yöntemi



Şekil 3.19. Diyafram duvarın kendi kendini destekleyen yapılarda kullanımı

Kazı sırasında geçirgen tabakaların varlığına atfedilebilecek herhangi bir potansiyel problemin ortaya çıkmaması için yeraltı koşulları iyice araştırılmalıdır. Özellikle, kazı çevresindeki yeraltı suyu koşulları özellikle araştırılmalıdır. Buna, mevsimsel değişikliklerin yanı sıra, anormal hava koşullarından kaynaklanan yer altı su seviyelerindeki değişim potansiyeli dahildir. Bir diyafram duvarının inşasında, bir kazı ilk önce bir metre derinliğe kadar yapılır, daha sonra kılavuz duvarlar oluşturulur, kılavuz duvarlar, ana kazının seviyesi göz önüne alınarak açılır. Kılavuz duvarlar, çukurun yükseldiği ve düştüğü seviyelerde, makinenin ağır inşaat sürtünme basıncına karşı kazı yüzeyini destekleyerek, kazı sırasında veya taze bulamaç girişinde oluşan dalga hareketine karşı kazı yüzeylerini korurlar. Diyafram duvarın betonlama işleminde birden fazla tremi borusu kullanıldığında koordinasyon problemleri ortaya çıkabilir.

Bentonit çamur panele yerleştirilir ve bitişik zemine dökülmeden mümkün olduğunca yüksek bir seviyede tutulur, böylece yanlara azami destek sağlanmış olur. Bireysel paneller, her iki uçta istenen derinliğe kadar kazılır ve daha sonra orta bölüm kazılır. Diyafram duvar makineleri tam bir panel genişliği kazacak şekilde tasarlanmışlardır. Kazının bentonit seviyesinin kazma sırasında kaçınılmaz olarak dalgalanması dikkate alınmalıdır. Genellikle kazıda sulu çamur seviyesinin, çevresindeki yer altı suyu düzeyinden en az 1.25 m yukarıda olması önerilir. Eğer bu

gerçekleşmiyorsa, seviye su düzeyine göre iyi bir noktaya getirilir ve bulamaça kum veya toz barit (baryum sülfattan oluşan bir mineral) eklenerek ağırlık artışı sağlanır.

Panel kazılmasından sonra, kazının tabanında biriken bulamaç-zemin tortuları çıkarılır ve yeni bulamaçla değiştirilir veya kimyasallarla işlenir. Genellikle, çukurun kepçe ile temizlenmesi yeterli olmaktadır. Bir donatılı diyafram duvarında, önceden dışarıda kafes haline getirilmiş donatı sepeti veya takviye kafesi, bu yeni bulamaç yoluyla yerine indirilir ve hendeğin beton kılavuz duvarlarından desteklenir.

Beton tremi borusu ile yerleştirilir. Çamur beton yerleştirilirken oluktan pompalanır ve yavaşça hareket ettirilir. Borularda tıkanıklıklar ve betonun yukarı doğru sürüklenmeye bağlı olarak kafesin yüzme durumunu önlemek için asgari bir süre (30 m³/saate kadar) süreksizlikle döküm işlemi tamamlanır. Bir panel için tüm beton dökülmeden önce önemli miktarda sertleşme meydana gelecek aralıklarla bu işlem tekrarlanır, bu aralık uygulamada genellikle 3-3.5 saat demektir.

Her panel için beton sarsıldığından, önceden dökme panelinin her iki ucuna geçici olarak yerleştirilen dairesel çelik bir dayanma profili ile kalıplanması sağlanır. Bitişik paneller arasındaki mafsal-bağlantı, normal diyafram duvar çalışması için yeterli bağlantı sağlar. Bununla birlikte, paneller arasındaki bu basit birleşim suyun nüfuz etmesini tamamen engellemese de önemli sızıntılar nadirdir. Bunun nedeni muhtemelen, bağlantı kenarlarında kirli bentonitin ince bir tabakasının bulunmasından kaynaklanmaktadır.

Bentonit, geçirimsiz killere nüfuz etmediğinden, bu zemin koşullarında filtre kek (bentonitin zemin danelerini tıkadığı ince fimum tabakasına verilen isim) oluşmaz. Bu durumda süspansiyon tamamen beton ile yer değiştirerek iyi bir zemin-beton teması elde edilmiş olur. Pratik amaçlar için diyafram duvarlar için kullanılan beton geçirimsiz kabul edilebilir. Kürlenme, gerçekleşen nemli koşullar nedeniyle büzülme çatlakları neredeyse tamamen ortadan kalkar.

Dikey yönde yaygın kabul gören tolerans 1:80 olup, kazı kontrol altında yapılır. Kayalar veya sert katmanlar gibi engeller zorlukları gözle görülür şekilde artırır ve düzeltme normal olarak uzun, ağır perküsyon (darbeli) keski kullanımını gerektirir. Bazı araştırmacılar, duvarların 122 m'yi aşan derinliklere, dikeyden 150 mm'den daha az sapma ve 1:800'lük bir toleransa göre inşa edilebileceğini raporlamıştır. Bununla birlikte, çift çeneli kepçeli teçhizatla kazılmış diyafram duvarlarının derinlik sınırı genellikle 40-50 m arasındadır, zira bu derinliklerin ötesinde, bu tür teçhizat dikey toleransın ötesine sapma eğilimi gösterir ve bu nedenle panellerin bağlantı derz kalitesinde zayıflıklar oluşabilmektedir. Bu teçhizatlarda çift çeneli kepçelerin doğrultusunu ayarlama işlemi yapılır. Doğru veya ters çamur dolaşımı perküsyon aletlerinin kullanılması, bu derinlik sınırının aşılmasına müsaade edebilir, ancak, bu durum çalışma hızını düşürmektedir. Sulu-öğütücü, sulu-freze veya sulu-kesici, diyafram duvarların 100 m'den daha fazla açılmasına imkan veren yeni teknolojik makinelerdir.

Kazı çalışmaları düzgün bir şekilde gerçekleştirilmezse, kazı çevresinde zemin hareketi meydana gelebilir. Kılavuz duvarların çökmesi ve yüzeydeki çöküntü ile yarıların kayması veya boşlukların oluşması durumları olabilir. Bu tür problemlerin kaba ve ince taneli zeminlerde olması daha olasıdır. Kuru iri taneli zeminlerde kazmaya başlamadan önce grouting veya grout kompaksiyonu işlemleri zemine yapılarak bu problem önlenirler. Kaba taneli topraklar nemli ise, filtre kekinin gelişimi için yeterli süre sağlanabilmesi amacıyla kazma işi olağandan daha yavaş yapılmalıdır.

Çok düşük mukavemetli zeminlerde normal yöntemlerle diyafram duvarları oluşturmak imkansız olabilir. Bunun nedeni, kazıyı mümkün kılan bentonitin iç basıncının komşu zeminin aktif basıncından daha düşük olabilmesidir. Örneğin, yumuşak deniz killlerinde bu durum sıkça görülmektedir. Kohezyonun 10 kN/m^2 'den az olduğu herhangi bir zeminde dikkatli olunması gerektiği ve bu durumda panellerin kısa ve karmaşık olmaması gerektiği ifade edilmektedir.

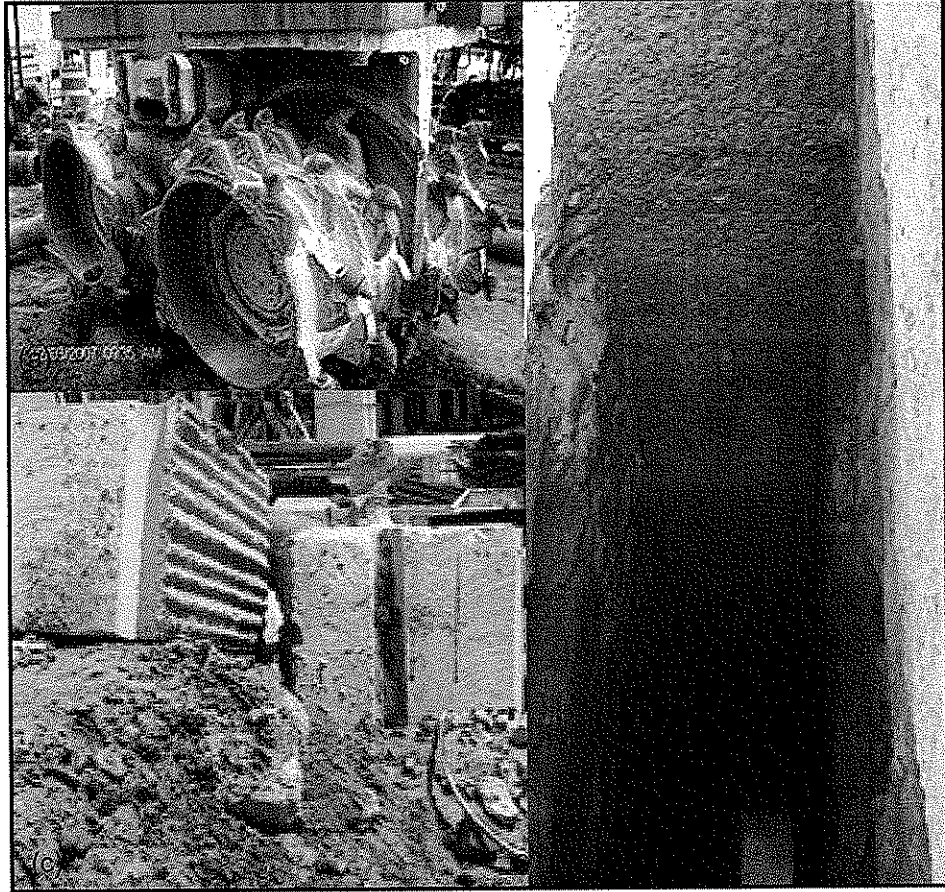
Bir diyafram duvarının yapımı ile ilgili bir diğer zorluk, yüksek bir su düzeyinin varlığıdır. Bu kılavuz duvarların dökümünü engelleyeceği gibi, kazı içindeki basınç ile komşu zeminin aktif basıncı arasındaki farkı azaltacaktır. Bunun sadece stabilite koşulları üzerine değil, aynı zamanda filtre keki oluşumunu olumsuz şekilde etkileyebileceği de açıktır.

Önceki tabakalarda aşırı miktarda bentonit kaybı meydana gelirse, özellikle viskozite ve jel kuvveti düşükse, filtre keki oluşumu zayıf veya mevcut olmayabilir, veya sadece yavaş yavaş gerçekleşebilir. Bentonit süspansiyonu tamamen sulu değilse, viskozite ve jel kuvveti yeterince gelişmeyebilir. Gerçekte, kazının gerçekleşme oranı, çamurun filtre keki özelliklerine ve zeminin mukavemetine bağlıdır. Bentonit veya çimento ilave edilerek çamurun yoğunlaştırılması da dahil olmak üzere bitişik zeminin bulamaç kaybına karşı koymak için birkaç önlem alınabilir ve bu önlemlerin derhal alınması önem arz eder, zira, çamur seviyesi azaldığında kazı yüzey çeperleri çökmeye başlayabilir.

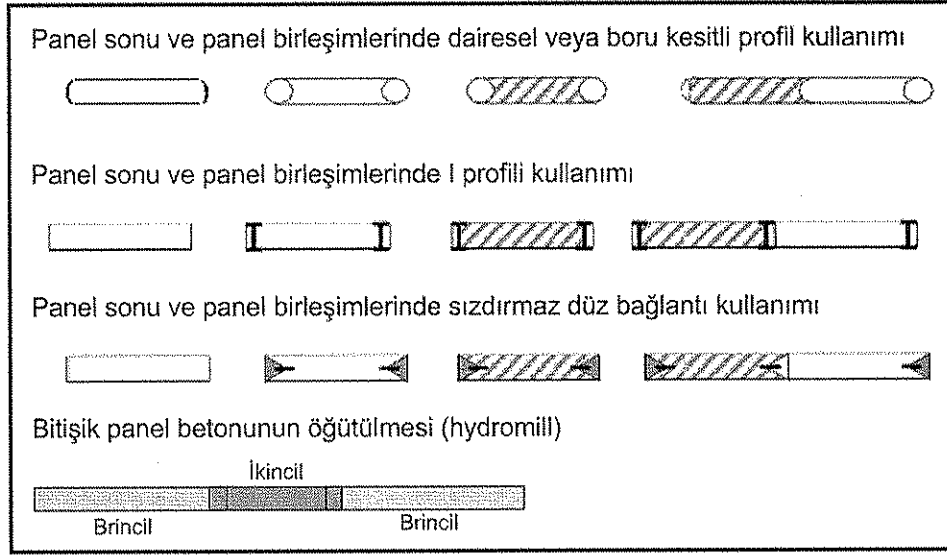
Granüle zeminlerde veya çok sert zeminlerde derin kazı için geliştirilen sulu-öğütücü kazma mekanizması vardır. Paletli vinçten asılan kazma makinesi, dikey olarak yuvayı gereken genişliğe keser ve kazılan malzemeyi yönelik hidrolik bir ters çamur dolaşım sistemi kullanır. Kazı, bentonit altında, vinçle askıdaki sistemle yapılmaktadır. Bu sistemde, kazma ünitesiyle kazmaya başlamadan önce, kılavuz duvarlar arasına çelik bir kılavuz çerçeve takılır. Desandör kullanılarak malzemenin ayrıştırılması yapılmaktadır. Panel daha sonra tremi yöntemi ile betonlanır. İkincil paneller bitişik primer panellerin betonu içine kesilerek su geçirmez bir conta oluşturma işlemi yapılabilir (Şekil 3.20.), bu sistem boru bağlantıları veya uç durdurma bağlantıları (Şekil 3.21.) ile ilgili gereklilikleri ortadan kaldırmaktadır. Taze betonun ikincil panellerin kazılanmasına müsaade edebileceği yeterli dayanıma ulaşması yaklaşık 7 gün sürecektir. Betonarme panellerde gerekli mukavemet çok daha hızlı bir şekilde kazanılmaktadır.

Şekil 3.17.'de genel birleşim oluşturma yöntemleri şematik olarak açıklanmıştır. I profil kazıkları kalıcı olarak son kısım olarak veya paneller arası

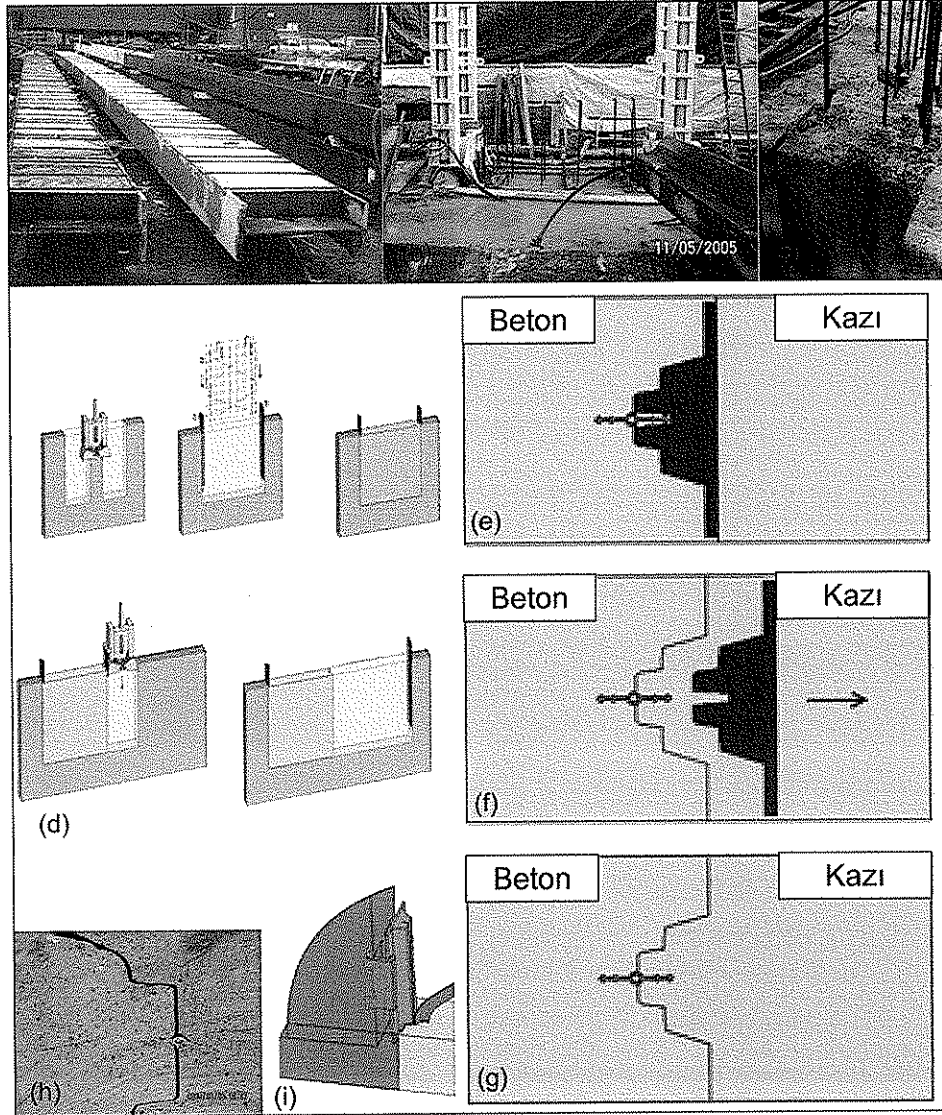
bağlantıyı sağlamak amacıyla kullanılabilir (Şekil 3.18.(a)), ayrıca düşey hareketle oluşturulan uç kısım bağlantıları Şekil 3.22.(b-d)'de gösterilmiştir. Yanal hareketle oluşturulan uç kısım bağlantı detayları Şekil 3.22.(e-i)'de gösterilmiştir. Ayrıca PVC sızdırmazlık contaları da gerekirse monte edilebilmektedir.



Şekil 3.20. Sulu-freze ile panel kenarlarında birleşim oluşturma



Şekil 3.21. Diyafram duvar panellerinde birleşim oluşturma yöntemleri



Şekil 3.22. Bazı birleşim oluşturma yöntemleri

3.2.2. Destekli kazı sistemlerinde duvar inşa etkisi

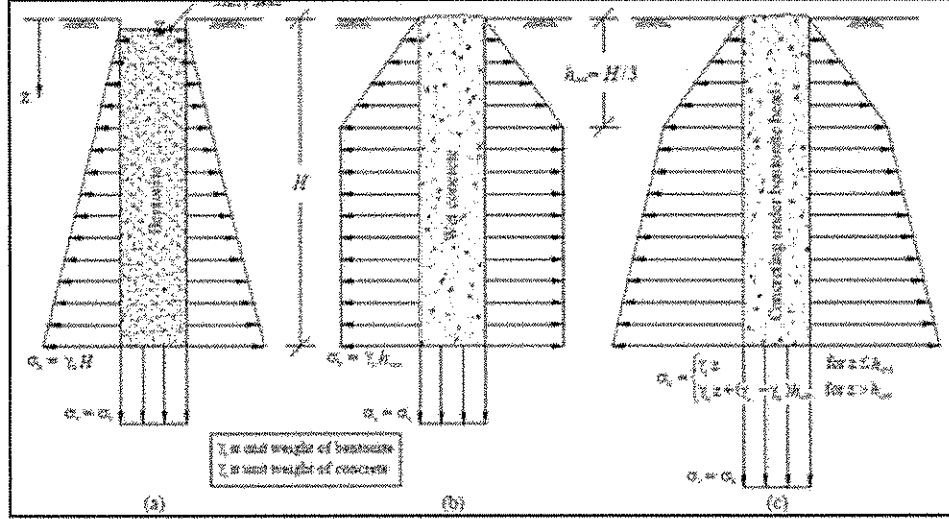
Derin kazıları içeren inşaat projeleri dünya çapında birçok kentsel alanda yaygın olup, tipik olarak sekant ve teğet kazık duvarlar ile diyafram duvarlar şeklinde, yerinde inşa edilen istinat duvarları, kazma işlemini müteakiben yanal ve düşey deplasmanları en aza indirmek için, yaygın olarak kullanılan destek sistemleri ile inşa edilmektedirler.

Kazı destek sistemi tasarımı için yaygın uygulama, sınır denge yaklaşımı kullanmak ve tam destek sisteminin "yerinde arzulan (wished-in-place: WIP)"

varsayımıyla modellenmesidir. Bu, duvar unsurunun inşasının ve desteklerin yerleştirilmesinin, durağan gerilme halinde herhangi bir değişikliğe veya harekete neden olmadığını ima etmektedir. Bununla birlikte, inşa süreci çevredeki zeminde önemli hareketlere neden olabilir ve bu da yerdeki zemin gerilme koşullarında kayda değer değişiklikler ile sonuçlanabilir (Ng, 1992; Ng ve Yan, 1999; Gourvenec ve Powrie, 1999). Finno ve ark. (2002) bir proje kazısı sırasında bu durumu gözlemlemişlerdir. Bu projede, yumuşak-orta sertlikteki kilde 13 m'lik bir kazı sağlamak için, üç seviyede desteğe sahip sekant bir kazık duvarın inşası yapılmaktaydı. İfade edildiği gibi, duvar inşası sırasında kaydedilen deformasyonlar toplam yer değiştirmenin yaklaşık yüzde 25'i seviyesinde olmuştur. Bu inceleme, bir WIP sisteminin varsayılmasının, kazı ile ilgili yanal hareketlerin önemli ölçüde hafife alınmasına yol açtığını göstermiştir. Özellikle yakınlarda hassas yapılar olduğunda özellikle bu büyüklüklerde deplasmanların ihmal edilemeyeceği ve destek sistemleri tasarlanırken bu durumun dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

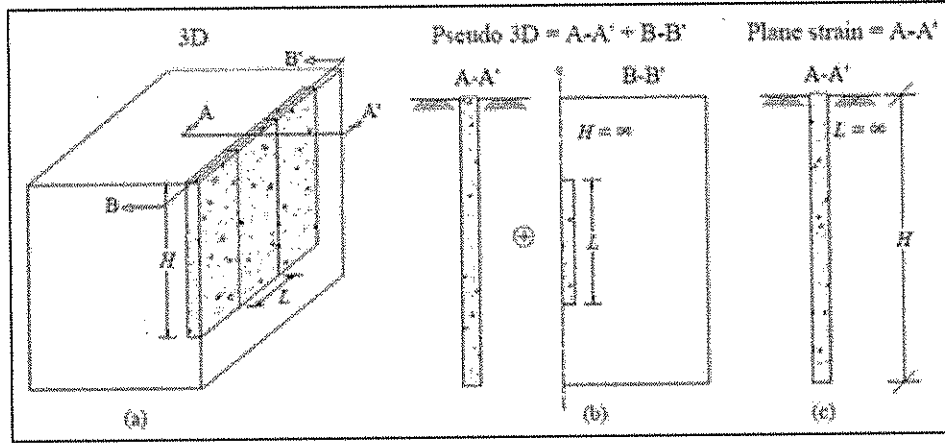
Ng (1992) tarafından yapılan araştırmada, bir derin kazı işleminin inşa aşamaları sonlu elemanlar analizi ile araştırılmıştır. Analiz, bu projedeki aşırı konsolide, çatlaklı kilde 10 m derinliğinde, çok destekli bir kazının yukarıdan aşağıya inşasını simüle etmiştir. Ng (1992), duvar inşa etkisi olan ve olmayan koşulları analiz etmiş ve zemin davranışını temsil etmek için doğrusal olmayan bir model (Simpson, 1992) kullanmıştır. "yerinde arzulan (wished-in-place: WIP)" model ve "duvar inşa modeli (wall installation model: WIM)" yaklaşımları kullanılmıştır. WIM'de istinat duvarının yapım sıralaması şu şekilde modellenmiştir: (i) çamur bulamaç seviyesi altındaki zeminin kazılması, zeminin kazılması ve kazı çukurunun yan yüzeylerine yanal basıncın uygulanması; (ii) çamur bulamaç içersine beton dökülmesini simüle etmek için basınç dağılımını değiştirerek kazı çukurunun yan yüzeylerine taze beton basıncı uygulamak (Şekil 3.23.); ve (iii) yanal basınçları kaldırarak ve kazı çukrunu beton doldurarak beton duvar panelini inşa etmek. Ng (1992), sayısal sonuçları ölçülen verilerle karşılaştırarak duvar inşası modellemesinin tahmini, yanal deformasyonlar ve zemin gerilmeleri üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Ng (1992), duvar montaj prosedürlerini (yani, WIM: wall installation model) içeren modelin, elde edilen yatay gerilme verileriyle ve kazı

seviyesindeki yanal deformasyonla yakından eşleştiği sonucuna varmıştır. Bununla birlikte, duvarın "yerinde arzulan" (yani WIP: wished-in-place) varsayımla analizi, kazı seviyesindeki yatay gerilmeleri yaklaşık yüzde 100 oranında fazla tahmin etmiş ve yanal deformasyonları ise yaklaşık yüzde 20 az tahmin etmiştir.



Şekil 3.23. Yanal basınçlar ve kritik derinlik: a) Bentonit altında, b) taze beton altında, c) Bentonit altında betonlama (Lings ve ark., 1994)

Ng (1992), duvar inşa etkilerini araştırmak için iki boyutlu (2B) bir düzlem deformasyon sonlu elemanlar modelini ve üç boyutlu (3B) sonlu elemanlar analizlerini kullanarak tam duvar inşa sırasını modellemiştir. Üç boyutlu modelleme için en yaygın iki yaklaşım "pseudo-3B" ve "gerçek" 3B modellerdir. Şekil 3.24., üç model tipinin karşılaştırmasını göstermektedir. Pseudo-3B ve düzlem deformasyon analizlerinin "gerçek" 3B analizinin basitleştirilmesidir. Yalancı 3B analizler (Şekil 3.24.(b)), iki düzlem birim deformasyon analizini (A-A 've B-B' kesitleri, Şekil 3.24.(a)) ele alırken, düzlem birim deformasyon analizleri (Şekil 3.24.(c)) sadece A-A kesitini temel almaktadır.



Şekil 3.24. a) 3B analiz, b) Pseudo-3B analizi, c) düzlem deformasyon analizi

Ng ve Yan (1999) bir diyafram duvar inşasında pseudo-3B analizi ile "gerçek" 3B analizini karşılaştırmıştır. Sonuçlar duvarın altında, özellikle de duvarın uç kısmı altında farklılıklar gösterdiği sonucuna varmışlardır. Ng ve Yan (1999), bunun hem aşağı doğru yük transferi hem de yatay kemerlenme mekanizmalarınca atfedilen gerilme düşüşünden kaynaklandığını ileri sürmüştür. Bu davranışın yalnızca 3B analizi ile modellenebileceğini ifade etmişlerdir. Gourvenec ve Powrie (1999) ayrıca 3B model sonuçlarını düzlem birim deformasyon analizlerinden elde edilenlerle karşılaştırarak durağan durumdaki yanal zemin basınç katsayısının (K_0), arazideki ve 3B analizindeki durumda pek değişmediğini ancak düzlem birim deformasyon durumunda özellikle ilk 1.5 m'lik derinlikte yaklaşık yarı yarıya az olduğunu ifade etmişlerdir.

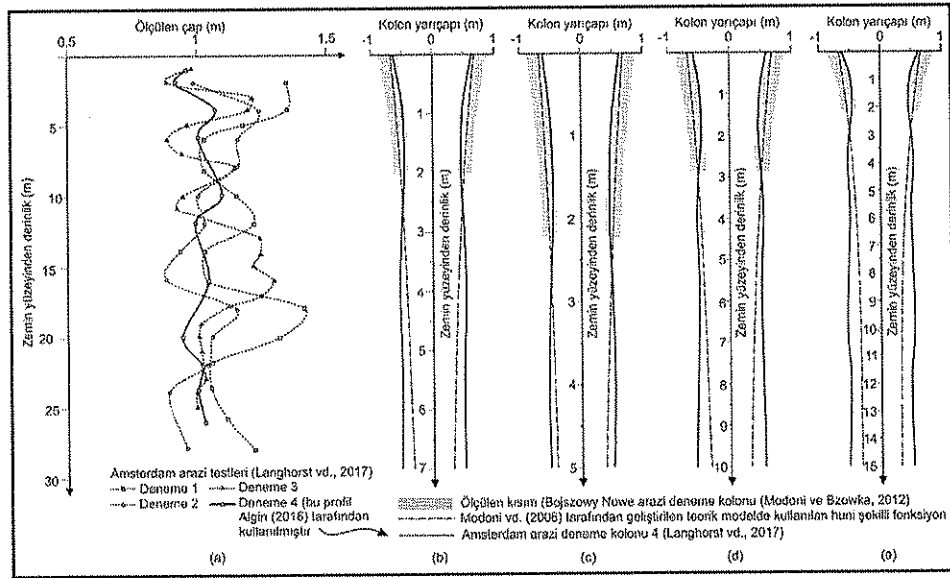
3.2.3. Jet grout kolon çapının derinliğe bağlı değişimi

Jet grout yöntemi, çevresindeki zemini keserek, yüksek basınçla püskürtülen enjeksiyonla zeminin karıştırılması yoluyla silindirik şekle benzeyen Jet grout kolon olarak adlandırılan kolonların oluşturulması esasına dayanır (Yahiro ve Yoshida, 1973). Bu teknik, temel zemininin çok değişkenli ve parçalı kayaç içerdiği durumlar gibi zemin özelliklerinin kazık uygulamaları için uygun olmadığı durumlarda, kazıklara alternatif olarak değerlendirilebilir. Jet grout kolonların yük iletme mekanizmalarıyla ilgili Croce ve ark. (2014) tarafından derlenmiş bilinen bazı ilişkiler mevcuttur. Ancak, jet grout kolonlu radyelerin tasarımının aşırı

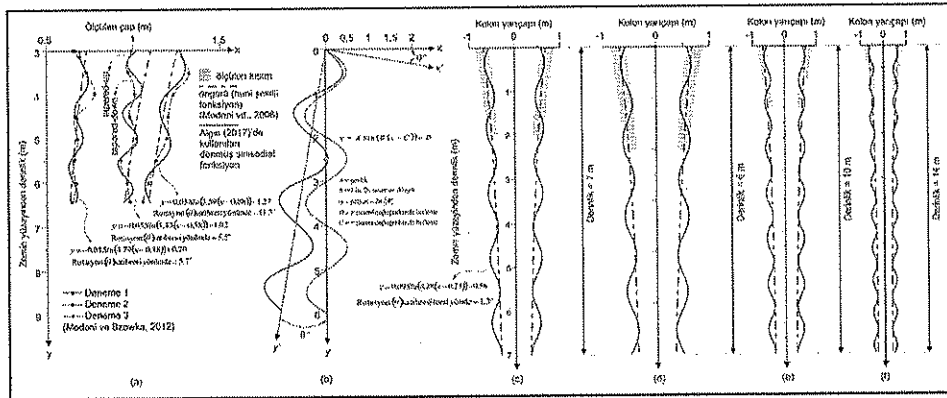
basitleştirilmiş öznel ve ampirik metotlardan kurtarılması, bu bilinen ilişkilerle radye temel tasarım prensiplerinin birlikte değerlendirilmesiyle mümkün olmuş ve jet grout kolonlu radyelerin tasarım parametreleri Algin (2016) tarafından sunulmuştur. Bu tasarımın kompleks olmasının en önemli sebebi jet grout kolonların farklı boyutlarda olması, kolonların grup etkileri ve taşıyıcı malzemelerin gerilme şekil değiştirme özellikleridir (Algin, 2016). Çeşitli standart ve rehberler (örneğin, BS-EN-12716, 2001; GI-ASCE, 2009), derinliğe bağlı jet grout kolonların özellikleri ve çap farklılıkları gibi bilgileri elde etmek gayesiyle, arazi deneme kolonlarının yapılması gerektiğini vurgulamaktadırlar. Proje zeminine özgü elde edilen Jet grout kolon geometrisini yakın bir şekilde temsil eden üç boyutlu sonlu eleman (3B SE) modelinin, arazi şartlarına uyarlanması gerekmektedir. Bu tez çalışmasına temel teşkil eden jet grout kolonlarının geometrik benzetimi ise bu teze temel teşkil eden temel takviyesinde arazi deneme kolon verilerine literatürde ulaşamadığından, Algin (2017)'de açıklanan dönmüş sinisodial fonksiyon yaklaşımı ile kolon geometrisindeki değişim ele alınmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan görüntü işleme tekniği sayesinde, kolon bütünlük ve ön arazi testlerinden elde edilen veriler 3B SE modellerinin geliştirilmesinde kullanılabilir. Jet grout kolon geometrileri ne kadar kompleks olursa olsun Algin (2016) sayesinde sunulan bu görüntü işleme tekniği sayesinde, kolonların oryantasyonu ve geometri modellenilebilir. Bu tez çalışmasında da bu sebepten dolayı görüntü işleme tekniği kullanılmıştır.

Algin (2016, 2017) tarafından sunulan 3B SE modellemeleri, Modoni ve Bzowka, (2012); Bzówka, (2009); Bzówka ve Pieczyrak, (2008) tarafından verilmiş Jet grout kolonyükleme test sonuçlarını ve arazi test sonuçlarını temel almıştır. Bu test sonuçlarına geriye doğru analiz yapılarak 3B SE modelleriyle ulaşılarak analizler için ara yüz sürtünme parametrelerine ulaşılmıştır. Algin (2016)'da eksik olan bazı kolon geometrileri için Amsterdam'da yapılan ve Langhorst ve ark. (2007) tarafından verilen kolon geometrisindeki değişim kabul edilerek kullanılmıştır (Şekil 3.25.). Algin (2017)'de ise bu kolon geometrisindeki değişim dönmüş sinisodial fonksiyon kullanılmıştır. Bu yaklaşımla Modoni ve Bzowka (2012) tarafından sunulan kolon geometrilerindeki değişim göz önüne alındığında tatminkar sonuçlara ulaşılmıştır. Bu

geliştirilen dönmüş sinisodial fonksiyon yaklaşımı kullanılarak Modoni ve Bzowka (2012) tarafından sunulan kolon yükleme testinde baz alınan kolon geometrisine, geliştirilen bir dönmüş sinisodial fonksiyonla yaklaşılmıştır. Bu sayede Modoni ve Bzowka (2012) tarafından sunulan Jet grout kolon yükleme test sonuçlarının baz alındığı jet grout kolonunun derinliğe bağlı olan geometrik değişimi için geçerli olabilecek bir kabul yapılmıştır. Algin (2017) tarafından geliştirilen dönmüş sinisodial fonksiyon yaklaşımı verilen deneme kolonları için türetilerek Şekil 3.26.'de sunulmuştur.



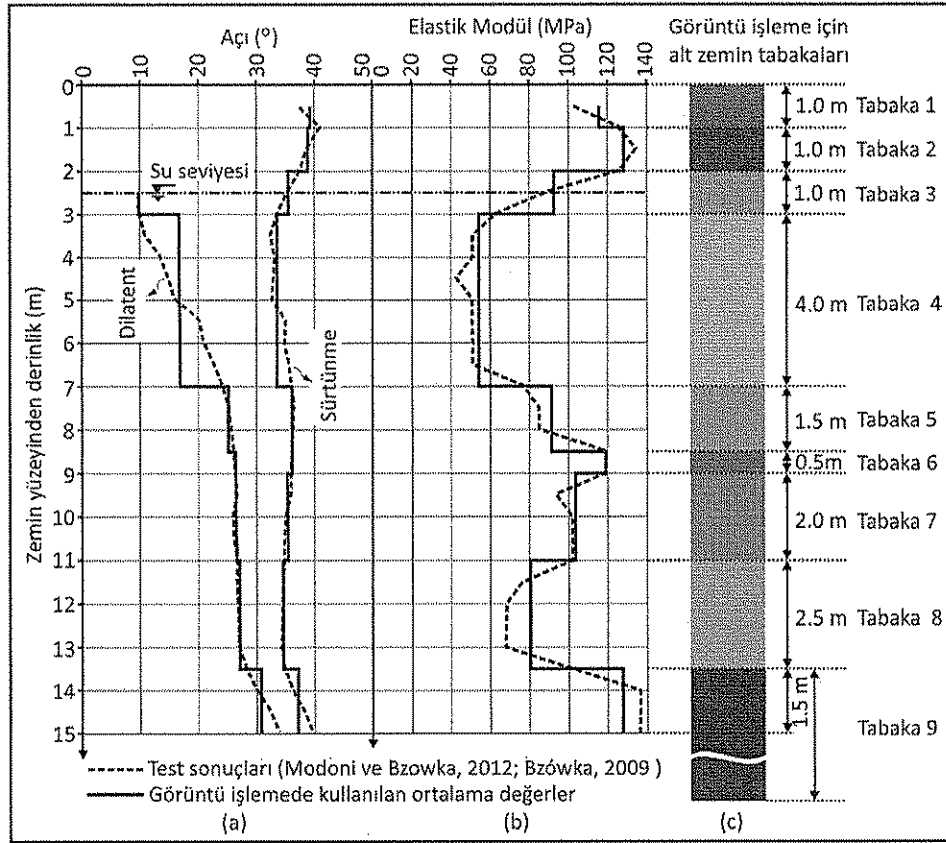
Şekil 3.25. Algin (2016) tarafından modellenen Bojszowy Nowe (Modoni ve Bzowka, 2012) arazi deneme kolonunun eksik verilen geometrisi için kullanılan Amsterdam arazi deneme kolonu 4'ün geometrik değişimi (Langhorst ve ark., 2007)



Şekil 3.26. Dönmüş sinisodial fonksiyon kullanılarak Algin (2017)'de kullanılan yaklaşım, Modoni ve Bzowka (2012) tarafından sunulan deneme kolonunun eksik geometrik değişimi tamamlanmıştır.

Algin (2016)'da 3B SE metodu kullanılarak yapılan modelde, jet grout kolonların geometrik çeşitliliği Amsterdam'da yapılan (Langhorst ve ark., 2007) gerçek geometrik şeklini temsil eden bir deneme kolonundan adapte edilmiştir. Tüm jet grout kolonlu radye sistemlerini simüle etmek için geliştirilen 3B SE modelleri, her faktörün değişim seviyelerini, jet grout kolonlu radye elemanlarının nasıl etkileştiğini ve tasarım tepkilerini nasıl etkilediğini ölçmek için analiz edilmiş ve sonuçlar Algin (2016 ve 2017) 'de sunulmuştur. Optimize edilen temellerde, minimum maliyet seviyeleri ile birlikte performans parametrelerinin de sağlanması gerektiği açıklanarak, en ekonomik çözüme ulaşılmıştır. Buna bağlı olarak jet grout kolonlu radyenin tasarım stratejileri açıklanarak tasarım optimizasyonunda tepki yüzey metodunun nasıl kullanılabileceği açıklanmıştır.

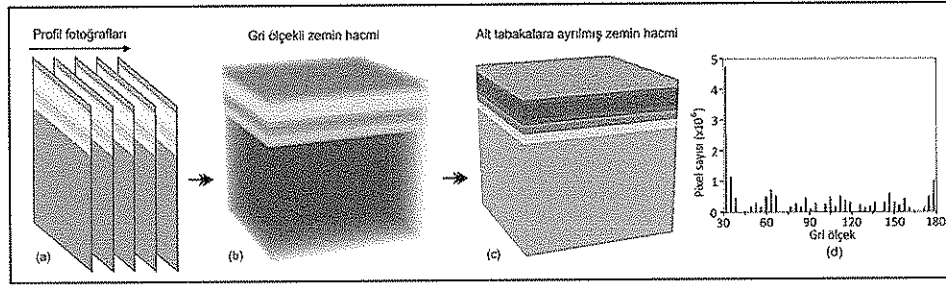
Şekil 3.27.'da , Modoni ve Bzowka (2012) tarafından benimsenen Bojszowy Nowe arazi denemesinin (Bzówka, 2009; Bzówka ve Pieczyrak, 2008) yapıldığı zeminin profilini ve derinliğe bağlı olarak belirlenmiş bazı zemin parametrelerinin değişimini özetlemektedir. Bu zemin profili Algin (2016 ve 2017) tarafından, elde edilen yük-oturma eğrilerinin geri analiz ile birlikte bu sonuçların geçerliliğine izin verdiği sonlu elemanlar analizinde kullanılmıştır. Zemin katmanlarının özellikleri hakkında detaylı bilgi Modoni ve Bzowka, (2012) tarafından sağlanmıştır. Jet grout kolon simülasyonu ve jet grout kolonlu radye sistemlerinin analizinde aynı zemin profili kullanılmıştır.



Şekil 3.27. Modoni ve Bzowka (2012); Bzówka (2009); Bzówka ve Pieczyrak (2008) tarafından literatürde sunulan arazi deneme jet grout kolonunun uygulandığı zeminin profili, bazı zemin parametrelerinin derinlikle değişimi ve görüntü işleme metoduyla oluşturulan zemin tabakalarının ortalama değerleri (Algin, 2016 ve 2017)

Algin (2016 ve 2017)'de bir basitleştirme yapılarak belli aralıklarda zemin parametrelerinin ortalama derinliklerine göre zemin 9 alt tabakaya ayrılmış ve Şekil 3.27.(c)'de gösterilmiştir. Her bir zemin katmana ilk aşamada Şekil 3.27.(c)'de gösterildiği gibi bir gri tonlu değer atanmakta ve sonrasında görüntü işleme tekniğiyle temel zemini katmanlarından oluşan zeminin filtrelenmiş hacimsel 3B verilerini oluşturmak için kullanılmıştır. Şekil 3.28.(a-c) uygulanan bu görüntü işleme aşamalarını göstermektedir. Şekil 3.28.(d) hacimsel 3B verilerinin alt parçalara ayrılması için kullanılan gri tonlu aralıktaki piksellerin sayılarının değişimini göstermektedir. Diğer taraftan, Algin (2017)'de ise bu kolon geometrisindeki değişim için dönmüş sinüzoidal fonksiyon kullanılmıştır. Bu yaklaşımla Modoni ve Bzowka (2012) tarafından sunulan kolon geometrilerindeki değişim göz önüne alındığında tatminkar sonuçlara ulaşılmıştır. Bu geliştirilen dönmüş sinüzoidal fonksiyon yaklaşımı kullanılarak Modoni ve Bzowka (2012) tarafından sunulan

kolon yükleme testinde, baz alınan kolon geometrisine geliştirilen bir dönmüş sinisodial fonksiyonla yaklaşılmıştır. Bu sayede Modoni ve Bzowka (2012) tarafından sunulan Jet grout kolon yükleme test sonuçlarının baz alındığı jet grout kolonunun derinliğe bağlı olan geometrik değişimi için geçerli olabilecek bir kabul yapılmıştır. Algin (2017) tarafından geliştirilen dönmüş sinisodial fonksiyon yaklaşımı verilen deneme kolonları için türetilerek Şekil 3.26.'de sunulmuştur.



Şekil 3.28. 3B SE modelinin geliştirilmesinde kullanılan görüntü işleme tekniğinin aşamaları (Algin, 2016)

3.2.4. Jet grout uygulama yöntemi

Genel uygulamalar göz önünde tutulduğunda, jet grout püskürtme ağızlarının yerleşimi, monitörün tipinde değişiklik ve kullanılan akışkan seçenekleri ile etkili yarıçap üzerinde değişim sağlanabilir. Bu değişik donanımlarla genelde üç farklı sistemde uygulama yapılmaktadır. Bu jet grout türlerinin hangisinin tercih edileceği, uygulama yapılacak zeminin cinsine, imalat sonucunda iyileştirilmiş zeminden beklenen geometrik ve mekanik özelliklere ve çevre koşullarına bağlıdır. Bu jet grout sistemleri, tek akışkanlı, iki akışkanlı ve üç akışkanlı sistemler olarak üzere üç çeşit olup, Şekil 3.15.'de şematik olarak gösterilmişlerdir.

Tek akışkanlı sistem (Şekil 3.15.(a)) en yaygın kullanılan teknik olup, 70'li yılların başında Japonya'da, 70'lerin ortalarında ise İtalya'da kullanılmıştır. Bu sistemde tek akışkan olarak genellikle çimento şerbeti kullanılmakta ve tek bir akışkanın yüksek bir basınçla uygulandığı enjeksiyon işlemidir. Bu yöntemde delgi ve grout tek çeperli bir borudan ibarettir ve enjeksiyon boru dışına yaklaşık 200 m/sn hızla, 300-500 kg/cm² (bar) basınçla püskürtülür. Bu şekilde meydana gelen kolonlar

genelde 0.6-1.2 m çapında olup, kolon çapları zemin türü ve uygulanan jet hız ve basıncı gibi parametrelerdeki değişimden önemli bir oranda etkilenmektedir.

İki akışkanlı sistemlerde (Şekil 3.15.(b)), zeminin parçalanması ve enjeksiyonlama için groutın yanında ikinci bir akışkan olarak hava jeti kullanılmaktadır. Enjeksiyon şerbeti orta borudan geçerken basınçlı hava (8-12 bar) ise dış borudan geçer. Bu uygulama sisteminde basınçlı hava kinetik enerji sürtünme kayıplarını kısmen azalttığından meydana gele kolon çapları jet 1'e kıyasla %60- 80 daha büyük olmaktadır. Bu uygulama sisteminde kolon çapları orta sıkı zeminlerde yaklaşık 1.0 m'den, gevşek zeminlerde ise yaklaşık 1.8 m'den fazla kalınlığa sahip olabilirler. Jet 2 metodu kohezyonlu zeminlerde tek akışkanlı sisteme göre daha etkili sonuçlar vermektedir. Kum içindeki bir uygulamada, Jet 2 sistemiyle kolon oluşturulurken zeminin örselenmesi için 45 MPa basınç uygulanmış, monitör dönme hızı 8-10 devir/dk, harcanan çimento miktarı 930 kg/m, grout çıkış debisi 130 lt/dk, enjeksiyon birim hacim ağırlığı 16-17 kN/m³ değerlerine sahip olduğunda elde edilen ortalama kolon çapının 1.4 m olduğu ifade edilmiştir.

Üç akışkanlı sistemlerde (Şekil 3.15.(c)), zeminin parçalanmasının su jeti ile sağlandığı, enjeksiyonun ise eş zamanlı olarak ayrı bir nozzle ile yapıldığı jet enjeksiyon işlemidir. İç içe üç borulu sistem kullanılan bu yöntemde 400-600 bar lık bir basınçlı su uygulaması ortadaki borudan, 8-12 bar basınçlı hava ara kısımdaki borudan geçilerek monitöre iletilmektedir. 30-80 MPa basınçlı enjeksiyon ise en dış borudan ayrı bir nozzleden, su-hava karışımı içine enjekte edilmektedir. Yapılan kolonlar bu yöntemle 2 m'den fazla çapa ulaşabilmektedir. Bu yöntem kohezyonlu zeminlerde oldukça etkilidir.

4. ARASTIRMA BULGULARI ve TARTISMA

Aşırı yanal diyafram duvar yer değiştirmesi ve bununla ilişkili oturmalar, genellikle yakındaki binaların hasar görmesine sebep olurlar. Bu nedenle bitişik binaların bütünlüğü açısından kaygı verici bir durum oluşmaması amacıyla, temel kazısı sürecinde diyafram duvarının yanal deformasyonunu en aza indirmek gerekmektedir. Bu tez çalışmasına temel teşkil eden örnek uygulamada, altı kat derinlikli bodrum kazısında (22.3 m) diyafram duvarların yer değiştirmesini azaltmak amacıyla temel zemine yapılmış bir jet grout grup kolon uygulaması incelenmiştir. Benzer projelerdeki arazi deneyimleri göstermiştirki, şantiyeye bitişik binalarda herhangi bir koruma önlemi alınmamışsa, kazı yapıldığında kabul edilebilir sınırın çok ötesinde oturmalar oluşabilmektedir. Bu örnek kazı projesinde, diyafram duvarın yer değiştirmesini sınırlamak amacıyla kazı alanındaki zemin kütlesi, pasif direnci arttıran etkili bir önlem olarak jet grout kolonlarla güçlendirilmiştir. Bu tez çalışmasında ise, bu örnek uygulamanın üç boyutlu nümerik modellemeleri görüntü işleme tekniğiyle oluşturularak sonlu elemanlar metodu kullanılarak deformasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Yerinde alınan ölçümlerle kıyaslandığında geliştirilen üç boyutlu sonlu eleman (3B SE) analizleri uygun sonuçlar verdiğinden, bu kullanılan yöntemin bu türden karmaşık problemlerin tasarımında kullanılabileceği teyit edilmiştir.

Derin kazılar çoğu zaman büyük metropollerde sıkışık alanlarda yapılmakta olduğundan, şantiye bölgeleri genelde yakın çevredeki komşu binalarla çevrilidir. Kazı süreci ne kadar dikkatli yürütülürse yürütülsün, yakın binalara yapısal ya da yapısal olmayan hasar verebilecek belirli bir miktar oturma oluşmaktadır (Peck, 1969; Clough ve O'Rourke, 1990). Woo ve Moh (1990) tarafından kazı derinliğinin üç veya dört katı kadar mesafeyi örten bir genişlikte bu kazının etkili olduğu ifade edilmiştir. Bu etki alanı içersine giren mevcut binaların kazı faaliyetinden etkilenebileceği anlamına gelmektedir.

Kazı alanlarının kontrol edilmediği durumlar ve bu tür bina kazı faaliyetlerinden etkilenmeler çoğunlukla büyükşehir belediyelerinde sıkça yapılan şikayetlerle ortaya çıkmakta ve mahkeme yoluyla tazminat ödemeleriyle sonuçlanabilmektedir. Uzun dava süreçleri ve büyük mali kayıplar genellikle bu tür olaylar için kaçınılmazdır. Bu nedenle, derin kazılar planlandığında, bitişik binalarla etkileşimi proje sahiplerine, tasarım mühendislere ve müteahhitlere büyük endişeler yarattığından, bu tür uygulamalarda detaylı deformatsiyon analizlerinin yapılması gerekmektedir. Bu tez araştırması kapsamında önerilen modelleme tekniği sayesinde komşu temel sistemlerini de dikkate alan tam bir analiz sunularak, bu tür derin kazılarda uygulanacak yöntemlerin modellenerek üç boyutlu olarak etkilerinin araştırılması sağlanmaktadır.

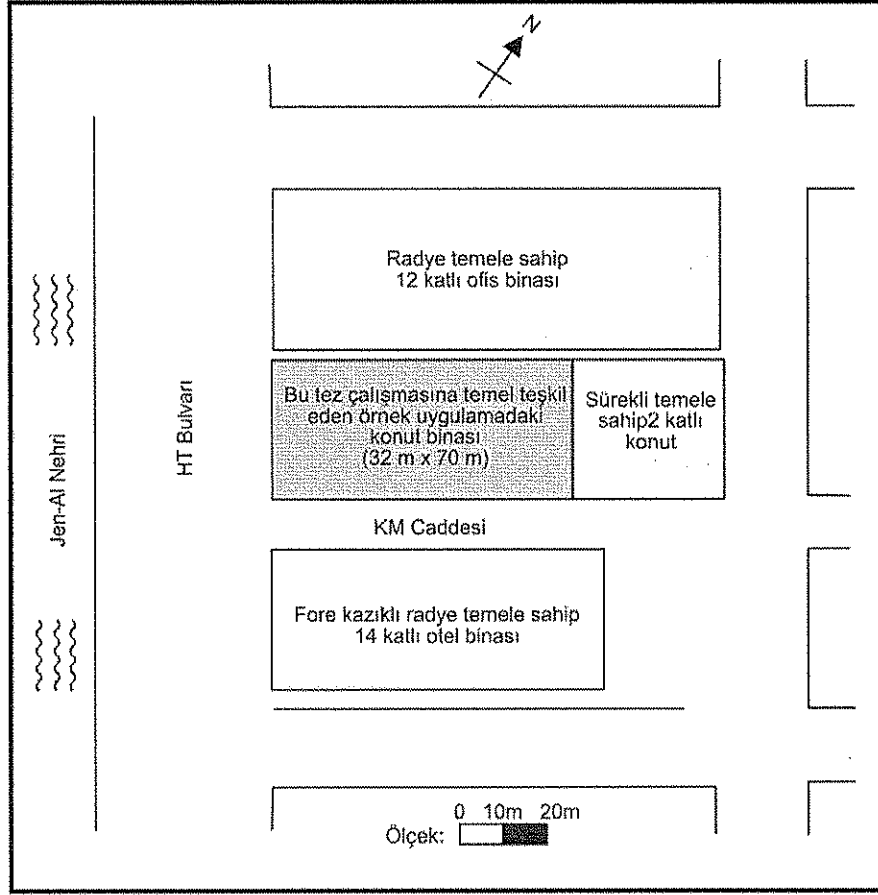
Bitişik binaların bütünlüğü takviye sistemleri temel alınarak korunabilir. Ancak, çok sayıda binanın desteklenmesi finansal veya siyasi açıdan pratik olmayacağından, kazı ile ilgili deformatsiyonların yardımcı önlemlerle kabul edilebilir bir düzeye düşürülmesi uygun olacaktır. Yaygın olarak kabul edilen iki yardımcı önlemler olarak, destekleme sistemini güçlendirmek ve/veya zemin iyileştirme teknikleri ile pasif direnci arttırmak göz önünde bulundurulmaktadır. Değişik derecelerde başarı gösteren durum örnekleri rapor edilmiştir (Hsieh ve ark., 1995; Woo, 1996). Tipik yanal duvar yer değiştirmesi ve Zemin oturması sergileyen derin bir kazı, bitişik binaların bütünlüğünü garanti etmeyebilir. Bitişik binalara zarar verme riski, Zemindeki deformatsiyon büyüklüğüyle doğrudan bağlantılıdır. Normalde, kabul edilebilir deformatsiyonlar, iyi bağlantılandırılmış veya derin temeller tarafından desteklenen yapısal olarak sağlam binalara çok az veya hiç zarar vermeyebilir, ama daha az sağlam binalarda yer hareketi küçük olsa bile çatlamlar veya önemli hasarlar oluşabilir.

Bu tez çalışmasına temel teşkil eden örnek uygulamada, altı katlı bir bodrum kazısının diyafram duvarının deformatsiyonunu azaltmak amacıyla bir zemin iyileştirme uygulaması tasarlanmış ve bu pratiğin uygulanması sırasında deformatsiyonlar kaydedilmiştir. Kazının saha performansını değerlendirmek amacıyla ölçüm değerleri incelenmiştir. Bu örnek uygulamada, kazı tarafında zeminin pasif

direncini arttırmak amacıyla jet grout enjeksiyon yapılarak kolon grubu teşkil edilmiştir. Zemin iyileştirmesinin toplam zemin mukavemetine katkısı incelenmiş olup, diyafram duvarının yer değiştirmeyi azaltma üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Uygulamada, grout basıncının bir ön yüklemeye etkisi yaparak diyafram duvarın deformasyonunu azaltmada faydalı olduğu görülmüştür (Hsieh ve ark., 2003). Bu tez çalışmasına temel teşkil eden örnek uygulamada, altı kat derinlikli bodrum kazısında diyafram duvarların yer değiştirmesini azaltmak amacıyla temel zemine yapılmış bir jet grout grup kolon uygulaması incelenmiştir. Hsieh ve ark. (2003) tarafından sunulan bu örnek kazı projesinde, diyafram duvarın yer değiştirmesini sınırlamak amacıyla kazı alanındaki zemin kütlesi, pasif direnci arttıran etkili bir önlem olarak jet grout kolonlarla güçlendirilmiştir. Bu tez çalışmasında ise, bu örnek uygulamanın üç boyutlu nümerik modellemeleri görüntü işleme tekniğiyle oluşturulmuş ve sonlu elemanlar metodu kullanılarak deformasyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Yerinde alınan ölçümlerle kıyaslandığında geliştirilen üç boyutlu sonlu eleman (3B SE) analizleri uygun sonuçlar verdiği için, bu kullanılan yöntemin bu türden karmaşık problemlerin tasarımında alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır.

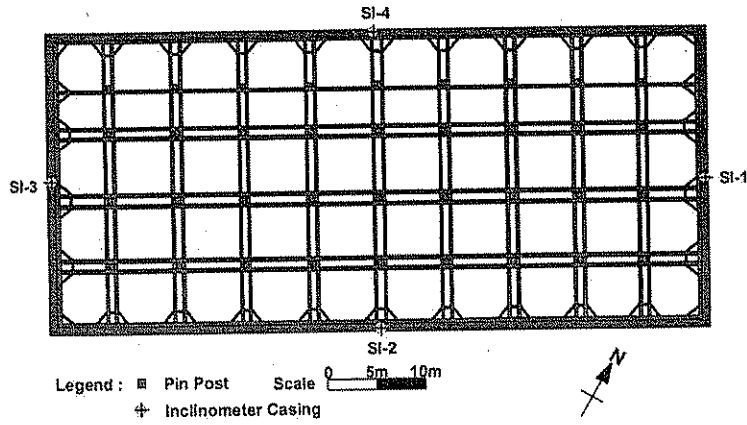
4.1. Temel Alınan Projenin Detayları

Bu tez çalışmasına temel teşkil eden örnek uygulamadaki konut binası, altı katlı bodruma sahip olarak tasarlanmış olan ve toplam 35 kattan oluşmuş bir betonarme yapıdır. Esas itibarıyla bu bodrum otopark amaçlı tasarlanmıştır. Bu bina yaklaşık 2240 m² (32 m × 70 m) bir alan kaplamakta olup, Tayland'ın güney kesiminde yoğun nüfuslu bir liman şehri olan Kaohsiung'nun şehir merkezinde 2003 yılında inşa edilmiştir (Hsieh ve ark., 2003). Proje bölgesi, Kaohsiung limanından yaklaşık 500 m uzaklıkta olup, Şekil 4.1.'de gösterildiği gibi mevcut binalarla sınırlanmıştır. Proje sahası ile mevcut binalar arasındaki boşluk 0.2 ila 12 m arasında değişmektedir.

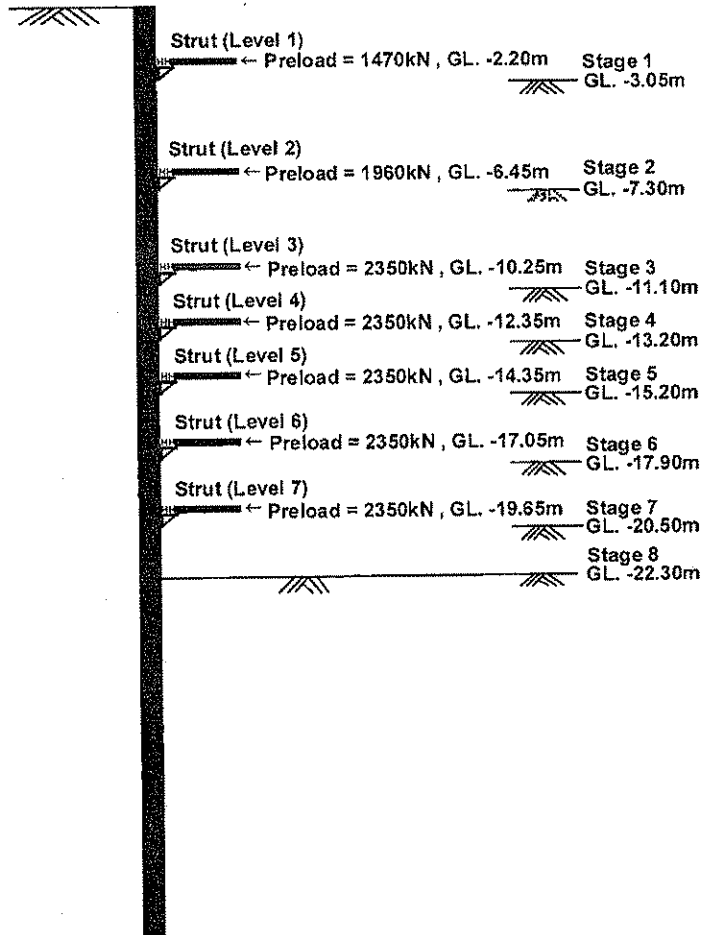


Şekil 4.1. Bu tez çalışmasına temel teşkil eden örnek uygulamadaki konut binası (Hsieh vd., 2003)

Bu tez çalışmasına temel teşkil eden örnek uygulamadaki konut binası tabanının kazı derinliği 22.3 m'dir. Tasarım, yerinde döküm diyafram duvar ile duvarı yedi seviyede içten geçici destekleyen sistem içermektedir. Diyafram duvarının kalınlığı 1.0 m olup, zemin yüzeyinden 36 m derinliğe kadar uzanmaktadır. Geçici iç destek sistemi, sıralı kazı aşamasından hemen sonra aşamalı olarak çelik H kesitli profillerle yapılmış ve öngerilme uygulanmıştır. Gergi sıraları arasındaki tipik olarak 6.5 m yatay aralık kullanılmıştır. Destek sisteminin plan ve önyükleme düzenleri Şekil 4.2. ve 4.3.'de gösterilmektedir. H profilleri ile ilgili detay bilgiler Çizelge 4.1.'de sunulmuştur. Diyafram duvar yapımı ve zemin iyileştirmesinin ardından, yapının bodrum katı kazılmış ve sekiz aşamada tamamlanmıştır. Yapım sırasının ayrıntıları Çizelge 4.2.'de sunulmuştur.



Şekil 4.2. Diyafram duvar iç destek sisteminin plan düzeni



Şekil 4.3. İç destek sisteminin önyükleme düzeni

Çizelge 4.1. İç destek sisteminin ayrıntıları

Destek düzeyi	Boyutlar (mm)	Profilin kesit alanı (cm ²)	Uygulama derinliği (m)	Önyükleme (kN)
1	2H350X350X12X19	347.8	ZD -2.20	1,470
2	2H400X400X13X21	437.4	ZD -6.45	1,960
3	2H400X400X13X21	437.4	ZD -10.25	2,350
4	2H400X400X13X21	437.4	ZD -12.35	2,350
5	2H400X400X13X21	437.4	ZD -14.35	2,350
6	2H400X400X13X21	437.4	ZD -17.05	2,350
7	2H400X400X13X21	437.4	ZD -19.65	2,350

Not: ZD: Zemin düzeyi seviyesini ifade etmektedir.

Çizelge 4.2. Aşamalı kazı faaliyetleri

Aşamalar	İnşaat faaliyetleri
1	ZD -3.05 m derinliğine kadar kazı, ilk düzeydeki iç desteğin montaj ve önyüklemesi
2	ZD -7.30 m derinliğine kadar kazı, ikinci düzeydeki iç desteğin montaj ve önyüklemesi
3	ZD -11.10 m derinliğine kadar kazı, üçüncü düzeydeki iç desteğin montaj ve önyüklemesi
4	ZD -13.20 m derinliğine kadar kazı, dördüncü düzeydeki iç desteğin montaj ve önyüklemesi
5	ZD -15.20 m derinliğine kadar kazı, beşinci düzeydeki iç desteğin montaj ve önyüklemesi
6	ZD -17.90 m derinliğine kadar kazı, altıncı düzeydeki iç desteğin montaj ve önyüklemesi
7	ZD -20.50 m derinliğine kadar kazı, yedinci düzeydeki iç desteğin montaj ve önyüklemesi
8	ZD -22.30 m derinliğine kadar kazı, sekizinci düzeydeki iç desteğin montaj ve önyüklemesi

4.2. Zemin Koşulları

Bu tez çalışmasına temel teşkil eden örnek uygulamadaki konut binası, Tayvan'ın Kaohsiung şehri merkezinde bulunmaktadır. Bu şehir, alüvyonlu bir ovanın merkezinde yer almakta olup, zemin esasen kumlu ve killi değişen tabakalardan oluşmaktadır. Bu proje için toplam sekiz sondaj deliği delinmiş olup, maksimum 90 m derinliğe kadar delme işlemi yapılmıştır. Ana kayaya herhangi bir sondajda rastlanılmamıştır. Sondaj bilgileri, zemin tabakalarının proje alanı üzerinde

üniform dağılımlı olduğunu göstermiştir. Her katmanın kısa bir açıklaması aşağıda sunulmuş olup, toplam sekiz ana tabakaya rastlanılmıştır.

1. Dolgu malzemesi: üst tabaka çoğunlukla 2 m ortalama kalınlığa sahip granüler dolgu maddesinden oluşmakta olup, beton bloklar, tuğla ve diğer artıklar da dahil olmak üzere inşaat atığının bir karışımı şeklindedir.

2. Siltli kum: Dolgu tabanında, zemin yüzeyinin 11.1 m altındaki derinliğe kadar uzanan siltli kum tabakası bulunmaktadır. Ortalama standart penetrasyon test değeri yaklaşık yedi olup, bu siltli kum tabakasının nispeten gevşek olduğunu göstermektedir. Bu tabakada sürtünme açısı SPT N değerleri ile korelasyonlara dayanılarak 29° olarak söylenebilir.

3. Siltli kil: Yaklaşık 1.3 m kalınlığında siltli bir kil tabakası siltli kum tabakasının altında yer almakta olup, bu zeminde plastisite indisi (I_p) yaklaşık 12.1 ve ortalama SPT N değeri 5'dir. Bu, 80 kPa bir serbest basınç dayanımına sahip tipik bir orta sert kil katmanıdır.

4. Siltli Kum: Silt kil tabakasının altında siltli kum alt katmanları bulunur. Bu alt katmanların toplam kalınlığı yaklaşık 8.6 m'dir ve tek tek alt katmanların kalınlıkları 0,5 ila 1,0 m arasında değişir. Kumlu silt kohezyonlu değildir. Analiz amaçlı olarak, bu alt tabakaların, ortalama SPT N değeri 10 olan tek bir kohezyonsuz ve sürtünme açısı 28° olan bir zemin gibi düşünülebilir.

5. Killi silt: killi silt içeren alt katmanlar, yerden 21-30.5 m altta olup, bu alt katmanlar için ortalama SPT N değeri 12 ve zeminin kohezyonlu sert bir zemin olduğu anlaşılmaktadır. Temsili plastisite indisi (I_p) yaklaşık 10 olarak ve tipik serbest basınç direnci 180 kPa olmaktadır.

6. Kumlu silt ve siltli kil: zemin yüzeyinin altında 30.5 ve 44.7 m arasında bulunan kumlu silt ve siltli kil içeren alt tabakalar bulunmaktadır. Bu alt katmanlar aynı zamanda düşük yumuşaklığa sahip kohezif malzemelerdir. Bunlar, ortalama

SPT N değeri 12 olan tek sert bir kohezif zemin olarak kabul edilebilir. Temsili plastisite indisi (I_p) yaklaşık olarak 7.3 ve tipik serbest basınç direnci yaklaşık 320 kPa olarak belirlenmiştir.

7. Kumlu silt ve siltli kil: zemin yüzeyinin 44.7 m ve 57 m arasında bulunan kumlu silt ve siltli kilden oluşan alt katmanlar bulunmaktadır. Bu alt katmanların fiziksel özellikleri zemin düzeyi (ZD) -30.5 m ve ZD -44.7 m arasında bulunan malzemelere benzemektedir. Analiz amaçlı olarak, ortalama SPT N değeri 25 olan tek bir kohezif tabaka olarak görülebirlirler. Temsili plastisite indisi (I_p) yaklaşık 8.4 olup, yaklaşık 430 kPa'lık tipik bir serbest basınç dayanımı olarak düşünölebilen, çok sert bir zemin mevcuttur.

8. Siltli kum, kumlu silt ve siltli kil: zemin yüzeyinin 57 m altında bulunan zemin 90 m'yi aşan derinliğe kadar değişen kalınlıktaki siltli kum, kumlu silt veya siltli kil tabakalarından oluşmaktadır. Bu katmanların yapı zemini kazısı üzerinde çok az etkisi olduğu düşünöncesiyle Hsieh ve ark. (2003) tarafından bu tabakanın mühendislik özellikleri sunulmamıştır.

Çizelge 4.3., zemin katmanlarının fiziksel özellikleri ve kayma mukavemet parametrelerinin bir özetini sunmaktadır. Killi zeminin serbest basınç mukavemeti ya serbest basınç testiyle ya da drenajsız konsolidasyonsuz kesme testiyle edilirken, kumlu zeminin sürtünme açısı SPT N değerleri ile korelasyonlarla belirlenmiştir. Yeraltında su koşulu da önem arz etmektedir, proje sahasında kurulan gözlem kuyuları, yer altı suyunun yerden yüksekliğini 3.1 ve 3.3 m arasında vermektedir. Piezometrik okumalar, çeşitli derinliklerde yeraltı sularının hidrostatik bir durumda olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.3. Bu tez çalışmasına temel teşkil eden örnek uygulamadaki konut binasının zemin profili

Tabaka	Derinlik (m)	Sınıflama	Ortalama SPT-N	γ_n (kN/m ³)	w_n (%)	I_p (%)	q_u (kPa)	ϕ (°)
1	0-2	Dolgu	3	19.2	23.2	—	—	—
2	2-11.1	SM	7	19.5	27.6	—	—	29
3	11.1-12.4	CL	5	18.7	26.8	12.1	80	—
4	12.4-21	SM	10	18.9	29.1	—	—	28
5	21-30.5	CL	12	19.2	22.4	10	180	—
6	30.5-44.7	CL	12	18.8	29.3	7.3	320	—
7	44.7-57	CL	25	19	28.5	8.4	430	—
8	57-90	CL	30	19.5	25	9.6	—	—

Not: γ_n =doğal birim ağırlık, w_n doğal su muhtevası, I_p plastisite indisi, q_u serbest basınç dayanımı, ϕ içsel sürtünme açısı

4.3. Yakın Binalarla İlgili Endişeler

Bu tez çalışmasına temel teşkil eden örnek uygulamadaki konut binasının taban kazısı 22.3 m derinliğe kadar olup, yüksek yeraltı su düzeyine sahip, nispeten gevşek alüvyon çökellerinde gerçekleştirilmiştir. Kazı destek duvarı olarak diyafram duvar kullanılmış olsa da, kazının neden olduğu oturma yerlerinde hala izin verilen sınır değerlerin aşılabileceği düşünülmüştür. Yerel deneyimler, normal inşaat koşullarında tek başına bodrum kazılarından kaynaklanan diyafram duvarlarının yanıl olarak yer değiştirmesinin bodrum kazı derinliğinin % 0.3-0.5'ine kadar ulaşabileceğini göstermiştir. Bu nedenle, bu tez çalışmasına temel teşkil eden örnek uygulamadaki konut binası için, sınır değer 7-11 cm arasında olacağı değişen bir maksimum değerdir. Benzer kazı projelerinin sonuçlarının incelenmesi, zemin yüzeyi oturmasının, maksimum duvar yanıl deformasyonunun % 50-100'ü arasında olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, bu proje alanına bitişik zemin yüzeyinin, kazıdan dolayı 4-11 cm arasında oturma yapabileceği düşünülmektedir. Bodrum kazı derinliğinin 3-4 misli bir genişliği etkileyeceği belirtilmiştir (Woo ve Moh, 1990). Bu, proje alanında yaklaşık 70-90 m'lik bir yarıçap içinde yer alan binaların etkilenebileceği anlamına gelmektedir. Bu durumda komşu binaların, bu kazı çalışmasından ötürü 4-11 cm oturmaları beklenmektedir.

Bu tez çalışmasına temel teşkil eden örnek uygulamadaki konut binasının karşısındaki otel, yerinde dökme kazıkların üzerine oturan 14 katlı bir binadır (Şekil 4.1.). Temel kazıklarının derinliği ve çapı Hsieh ve ark. (2003) tarafından sunulmadığından ve sığ bir derinlik içinde var olan bir yataklama tabakası bulunmadığı için bu kazıkların sürtünme kazıkları olması muhtemeldir. Bu otelin kazı ile ilişkili yer hareketinin ne olabileceği Hsieh ve ark. (2003) tarafından karmaşık bir zemin-yapı etkileşim problem olarak tanımlanmıştır. Bu tez çalışması kapsamında ise 3B SE oturma analizi bu otelin kazık sistemini de içerecek şekilde kapsamlı bir model üzerinde yapılmıştır.

Bu tez çalışmasına temel teşkil eden örnek uygulamadaki konut alanının kuzeyinde yer alan 12 katlı ofis binası radye temellidir. Bu temelin derinliği zemin yüzeyinin 5.1 m altındadır. Genel olarak bir radye temel, düzensiz yerleşime direnerek mütemadi temellerden daha iyi rijitlik sağlıyorsa da, 12 katlı yapının 4-11 cm'lik olası bir oturmaya dayanabileceğinin garantisi bulunmamaktadır.

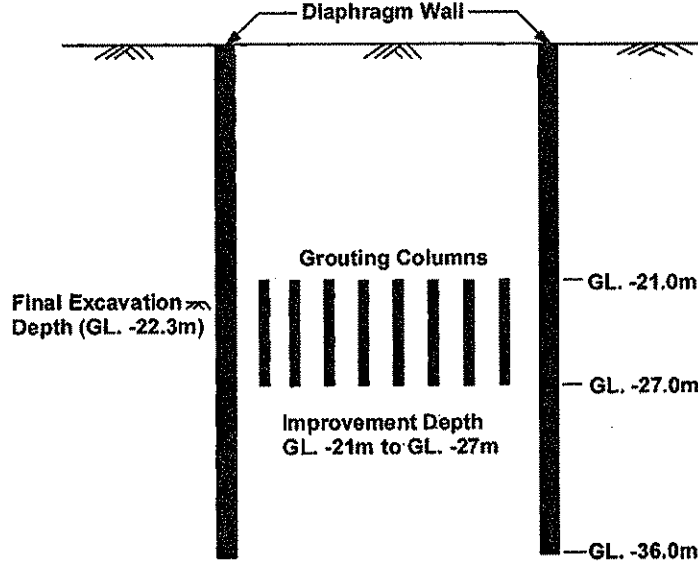
Zemin yüzeyindeki oturma konusunda esas problem, proje alanının doğusunda bulunan iki katlı konuttur. Bu iki katlı bina, yüzeysel mütemadi temelle desteklenen hafif bir tuğla yapıdır. Tecrübeler, kazı işleminden önce önleyici önlemler alınmadığı takdirde, bu tip yapıların diferansiyel oturmalarından dolayı hasara karşı oldukça duyarlı olduğunu göstermiştir.

Tipik olarak, benzer kazılar için bildirilen bina hasarları güvenlik konusu değildir. Diğer bölgelerde bildirilen bina hasarlarının büyük bir kısmı, çarpık pencere veya kapı çerçeveleri, duvarlarda veya döşemelerde hafif yapısal olmayan çatlaklar şeklinde raporlanmıştır. Bununla birlikte, bu tür hafif veya yüzeysel cephe çatlakları veya dış giydirmelerdeki bozulmalar, mahalle içinde halkın endişesini tetikleyebilecek türden olup, inşaatın ertelenmesine ve hukuki davaların başlamasına neden olabilir. Bu sebepten dolayı, bodrum kazı çalışmaları sırasında bitişik yapıların bütünlüğünü korumak tasarımın bir diğer amacıdır.

4.4. Bina Koruma Tasarımı Konsepti

Bu tez çalışmasına temel teşkil eden örnek uygulamadaki konut binasının bodrum kazısı için proje sahibi, danışman mühendisleri ve müteahhitler arasında, olası bina hasarlarına karşı koruma önlemleri alınması konusunda bir fikir birliği sağlanmıştır. Mevcut temellerin takviyesi, yaygın bir şekilde benimsenen bir tedbirdir (Xanthakos ve ark., 1994). Bununla birlikte, bu yaklaşım işin maliyeti nedeniyle pratik de değildir. Temel takviyesi oluşturmak için temellere erişim sağlamak sadece zor değil, aynı zamanda mahalle sakinleri arasında gereksiz kaygılar da beraberinde getirebilir. Alttan temel takviyeleri çatlamaya ve diğer hasarlara neden olabileceğinden bunların da onarılması gerekliliği doğmaktadır. Kazı, zemin kaybını telafi etmek için komşu binaların altında jet enjeksiyonu ya da sıkıştırma enjeksiyonu ya da konsolidasyon enjeksiyonu alternatiflerdir. Enjeksiyon teorik olarak mümkün bir yaklaşım olmakla birlikte uygulama işlemi zor ve risklidir. Yerel deneyim, bitişik binaların altındaki groutın ne derece etkin olabileceği konusunda belirsizliklerin olabileceğini göstermiştir. Yeraltı elektrik hatlarının tıkanması veya zemininin kabarması gibi olumsuz yan etkileri de vardır. Belirsizliklere bağlı olarak, bitişik binaların altındaki enjeksiyonlama bu durumda önleyici bir önlem olarak bu proje için kabul edilmemiştir.

Seçilen koruma önlemi derin kazı sırasında yan diyafram duvarların deformasyonunu azaltmak gibi aslında basit bir konsepti temel almıştır. Kazının neden olduğu deformasyonun aşırı olmaması durumunda bitişik binaların daha sağlam kalacağı bilinmektedir. Olası tüm faktörler arasında, zemin yüzeyindeki oturma miktarı, çoğunlukla, yanal diyafram duvarının yer değiştirmesinden etkilenir. Bu nedenle, diyafram duvar hacminin kabul edilebilir bir büyüklüğe getirilmesi, ilgili bölgelerdeki oturmaları kabul edilebilir bir miktara düşürebilir. Proje sahibi, tasarım mühendisleri ve müteahhitler arasındaki uzun bir tartışmanın ardından nihayet jet enjeksiyonu şeklindeki zemin iyileştirmenin kazı alanı tabanında uygulanacağı konusunda anlaşmaya varılmıştır (Şekil 4.4.). Jet enjeksiyonunun amacı, zemin kütlelerinin pasif direncini yatay gerilmeleri arttırarak sağlamak ve böylece kazı sırasında diyafram duvarın yanal deplasmanını azaltmaya yardımcı olmaktır.

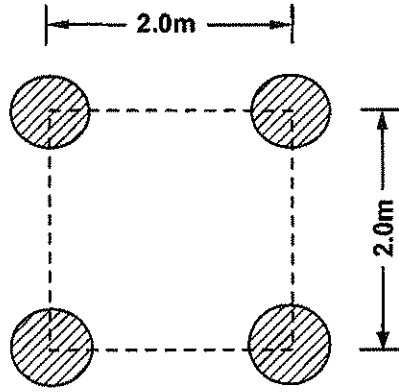


Şekil 4.4. Kazı zemininin iyileştirmesi

Ayrıca sızdırmazlık paneli inşaatı ve yeraltı suyu çekilmesi gibi diğer inşaat faaliyetleri, bitişik zeminin oturmasının olası nedenlerini oluşturacağından, bu proje için diyafram duvar nispeten geçirimsiz zemin katmanlarına nüfuz ettiğinden bodrum kazısında da bir sızdırmazlık duvarı görevi görmektedir. Kazı bölgesinde yeraltısuyu azalımı ile ilişkili bitişik zeminin oturması ihmal edilebilir olarak düşünülmüştür. Proje bölgesindeki saha deneyimleri, çamur paneli konstrüksiyonunun sebep olduğu zemin hareketinin genelde belirgin olmadığını göstermektedir. Bu sebeplerden dolayı, Hsieh ve ark. (2003) tarafından sadece kazının neden olduğu yer hareketlerinin tartışıldığı belirtilmiştir.

Şekil 4.5., her biri ortalama 0,6 m çaplı jet grout kolonlarının, kazı tabanı boyunca 2 m aralıklarla oluşturulduğunu göstermektedir. Jet grout kolonları, 20 MPa'lık bir basınç altında çimento enjeksiyonu ile yapılmış olup, bu enjeksiyon yönteminde püskürtülmüş zeminin kısmen değiştirilmesini içeren bir tek akışkan sistemi kullanılmıştır. Enjeksiyonun su/çimento oranı, ağırlıkça 1:1 olup, enjekte edilen hacim, jet grout kolonun her bir metresi için yaklaşık 0.375 m³ olmuştur. Uygulanan derinlik, zemin yüzeyinin 21 ila 27 m derinlikleri arasında olmuştur (Şekil 4.4.). Kabaca söylemek gerekirse, her Jet grout kolon yaklaşık 1.350 kg çimento tüketmiştir. Diyafram duvarlarının tamamlanmasının ardından jet grout

kolon makinası harekete geçirilmiştir. Toplam 500 jet grout kolon yapılmış olup, arazi raporunda belirtildiği üzere yaklaşık 680000 kg çimento nihayetinde zemine enjekte edilmiştir. Tasarım spesifikasyonu, her jet grout kolon örneğinin tek eksenli basınç dayanımının 1500 kPa'ı aşması gerektiğini belirtmekte olup, jet grout yüklenicisi tarafından bu kolaylıkla sağlanmıştır.



Diameter of Jet Grout Piles (d) = 60 cm
Treated Area = $\pi d^2/4 = 0.28 \text{ m}^2$
Total Area = $2 \times 2 = 4 \text{ m}^2$
Improvement Ratio (Ir) = $0.28/4 = 7\%$

Şekil 4.5. Jet grout kolon aralıkları ve düzeni

Enjekte edilen hacim yer değiştiren zeminin teorik hacminden daha büyük ($0.375 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 'e karşılık $0.28 \text{ m}^3/\text{m}^3$) olduğu kaydedilmiştir. Enjekte edilen grout, enjeksiyon esnasında sadece zeminlerde aşınmış, kesilme ve çimentolama olmadığını aynı zamanda jet grout kolon çevresinde hidrolik kırılmayada yol açmaktadır. Enjekte edilen groutun küçük bir kısmı atık malzeme olarak zemin yüzeyine geri dönmüş olup, geri kalan ise jet grout kolonları oluşturmuş ve hidrolik kırılmadan kaynaklanan çatlakları doldurmuştur. Bununla birlikte, hidrolik kırılmadan kaynaklanan çatlaklar, çevre diyafram duvarların ötesine geçemeyeceği için enjekte edilen grout inşaat sahası içersinde kalmıştır. Hidrolik kırılma, hedef bölgedeki formasyon enjekte edildiği kadar çabuk groutı bünyesine alamazsa, enjeksiyon basıncı formasyonun kırılmasına veya çatlmasına sebep olması olarak tanımlanabilir. Bu durumda enjeksiyonun bir kısmı zemin yüzeyine geri dönecektir.

Tasarım mühendisleri, iyileştirme kalınlığını (ZD-21 m - ZD-27 m) teorik bir bakış açısıyla optimum seviye olarak tespit ettiklerini ifade etmişlerdir. Tasarım aşamasında yapılan elastik-temelli bir analiz türünün iyileştirme bölgesinin tasarım derinliğinin (ZD-21 m'den ZD-27 m'ye) üstünde veya altında uzatılması sadece diyafram duvarın yer değiştirmesini azaltmada marjinal etkilere sahip olduğunu ortaya koymuş olduğu ifade edilmektedir. Proje sahibi, iyileştirme programını, maliyet etkinliği açısından kabul edilebilir bulmuştur.

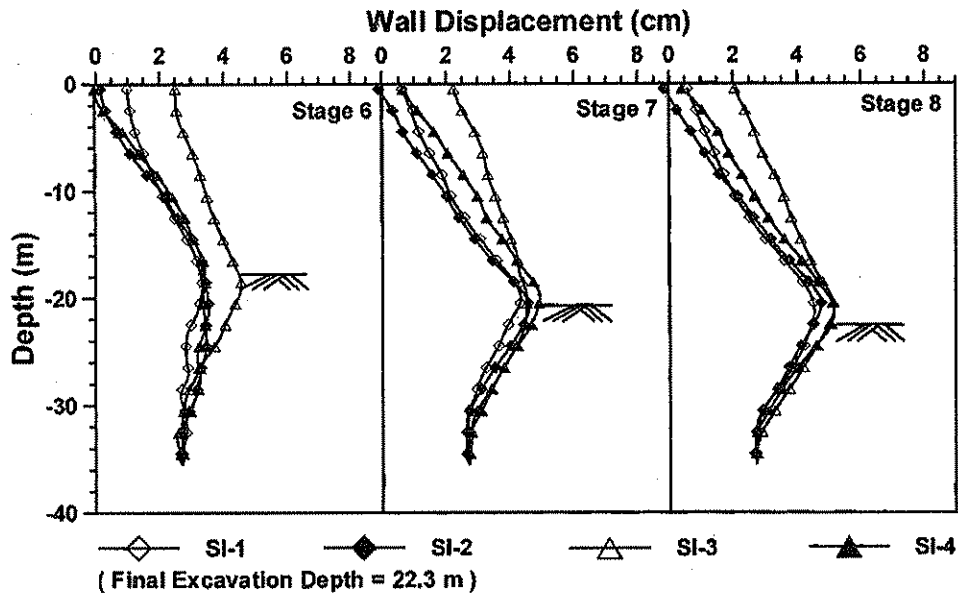
4.5. Kazının Arazideki Durumu

Bu tez çalışmasına temel teşkil eden örnek uygulamadaki konut binasının bodrum kazısı, Çizelge 4.4.'te listelenen enstrümanlarla izlenmiştir. Enstrümantasyon esasen inşaat güvenliğinin kontrolü ve araştırma amaçları için kurulmamıştır. Bütçe kısıtlamaları ve komşu binalara tam erişim eksikliği, tam kapsamlı bir enstrümantasyon sisteminin uygulanmasını mümkün kılmamıştır. Hsieh ve ark. (2003) tarafından sadece diyafram duvarın yanal yer değiştirme değişimi değerlendirilmiştir. Yanal diyafram duvar yer değiştirmelerini izlemek için, her biri 36 m derinlikte dört inklonometre muhafazası (SI-1-SI-4) her iki tarafın orta noktasındaki diyafram duvarlara yerleştirilmiştir (Şekil 4.2.). Diyafram duvarlar akmayan zeminde ankrajlanmadığından, duvarlar tabanları bodrum kazıları sırasında içe doğru hareket edebileceğinden sabit referans noktaları olarak kabul edilemezler. Projenin enstrümantasyon programı için, inklonometre muhafazalarının tepelerindeki hareketler, belirli bir referans noktasına göre bağımsız olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.4. Projedeki ölçü enstrümanları

Enstrümanlar	Yer	Adet
İnklonometre muhafazası	Diyafram duvarın içi	4
Donatı gerilme transdüseri	Diyafram duvarın içi	24
Gözlem kuyusu	Inşaat sahası civarı	4
Piezometre	Inşaat sahası civarı	4
Kabarma ölçme	Direğin üstü	8
Tiltmetre	Bitişik binalarda	10
Oturma ölçme	Inşaat sahası civarı	64
Strenggeç	Yatay destek elemanları	104

Zemin yüzeyinde yapılan yüzey araştırmalarına dayanan diyafram duvarların yanal hareketleri ile kazı aşamalarının sonunda eğim ölçer değerleri Şekil 4.6.'da verilmiştir. Sonuçlar, diyafram duvarlarının toplam maksimum yanal yer değiştirmelerinin 5.3 cm'den (kazı derinliğinin% 0.2'si) daha düşük olduğunu göstermektedir. Sonuçlar, ZD -22.3 m'lik son kazı derinliğinin yaklaşık 14 m altındaki diyafram duvarlarının tabanında (GL -36 m) yaklaşık 2.5 cm'lik içe doğru hareketi de göstermektedir. Şekil 4.6.'da gösterilen yer değiştirme eğrileri istikrarlı bir kazı için tipik eğrilerdir. Tipik bir yer değiştirme eğrisi genellikle konveks bir şekil alır. Bu, diyafram duvarının üst ve altının sırasıyla iç destekler ve pasif zemin direnci tarafından aşırı hareketlerden kaçındığını gösterir. Maksimum duvar yer değiştirmesi genellikle son kazı derinliğine yakın bir yerde gerçekleşir, bu durumda kritik derinlik ZD -22.3 m'dir. Dikkatlice yürütölen bir enströmantasyon programı dahilinde, eğim ölçerin hassasiyeti genellikle 0,2-0,3 cm / 30 m aralığı içerisinde olup, bu maksimum diyafram duvar deplasmanının yaklaşık% 7'sine denk gelmektedir (5.3 cm / 36 m).



Şekil 4.6. Projenin diyafram duvar deplasman eğrileri

Bu proje kapsamında, diyafram duvar geçici ve kalıcı kazı destek duvarı olarak kullanılmaktadır. İç destekler, inşaat temelden yukarı doğru yapıldıkça kademeli olarak kaldırılmıştır. Sonuç olarak, yanal zemin basıncı daha rijit bodrum betonarme elemanlara aktarılmıştır. İnklinometre okumaları, bu süreçte ek diyafram duvar yer

değiştirmesinin 0,5 cm'den daha az olduğunu göstermiştir. Bu miktar kazı aşamasıyla mukayese edildiğinde maksimum duvar deplasmanından daha azdır. Bu nedenle, bu tez kapsamındaki 3B SE analizleri yalnızca kazı aşamasına yoğunlaşmıştır ve bodrum yapısının inşasında i desteklerin kaldırması aşamaları modellenmemiştir.

Bitişik binaların oturması ve dönmesi de büyük endişe kaynağıdır. Komşu binalara stratejik veya elverişli yerlere toplam 64 oturma ölçer ve 10 tiltmetre yerleştirilmiştir. Aletlerin temel okumaları bodrum kazı başlangıcından önce alınmıştır. Bulamaç paneli yapımı sırasında yer hareketiyle ilgili hiçbir bilgi mevcut değildir. İzleme sonuçları, kazı bitiminde bitişik binaların oturmasının ve dönmesinin kabul edilebilir sınırlar dahilinde olduğunu göstermektedir. Bodrum çalışmalarının sonunda, yakınlardaki otel, 12 katlı ofis binası ve 2 katlı evin maksimum oturma değerleri sırasıyla 3, 2.8 ve 1.9 cm olarak belirlenmiştir. Çevredeki binaların ortalama sapma oranı 1/800'den az iken, genel olarak bitişik binaların ortalama oturmaları 2 cm'den daha az olmuş ve en önemlisi, bitişik binalar bozulmadan kalabilmişlerdir. Mahalle sakinleri tarafından herhangi bir hasar raporu veya şikayet olmamıştır.

Yeraltısuyu seviyesi, bodrum inşaat süresince hemen hemen değişmeden kalmış olup, ZD -3 m ila ZD -3.5 m arasında bir seviyesi dalgalanması gözlenmiştir. Dalgalanma, büyük olasılıkla mevsimsel değerimin sonucu olarak yorumlanmıştır. Hsieh vd. (2003) tarafından bu projenin bazı parametreleri için benzer bir projenin verilerinin kullanıldığı belirtilmiş olup, bazı kullanılan amprik yaklaşımlar sonrası izelge 4.5.'de sunulan proje verilerine ulaşılmıştır.

Çizelge 4.5. Projenin ulaşılan bazı zemin parametreleri

Zemin tabakası (m) Zemin sınıfı	γ_n (kN/m ³)	E (kPa)	μ	q_u (kPa)	ϕ (°)
0–11.1 SM	19.2	5,270	0.3	0	29
11.1–12.4 CL	18.7	24,200	0.48	40	0
12.4–21.0 SM	18.9	12,000	0.3	0	28
21.0–27.0 CL	19.2	48,700/78,000a	0.48	82/130a	0
27.0–30.5 CL	19.2	59,400	0.48	100	0
30.5–44.7 CL	18.8	96,000	0.48	160	0
44.7–57.0 CL	19	130,000	0.48	215	0
a) İyileştirilmiş zeminin parametresi					

Bu tez araştırmasında, diyafram duvarlı derin kazıların yanal pasif direncini kazı tabanında jet grout grup kolonları teşkil ederek arttırmaya yönelik olan tasarım elemanlarının ve komşu temelerin performanslarının görüntü işleme tekniği kullanarak geliştirilen üç boyutlu sonlu elemanlar (3D FE) modellemesi ile tespit edilmesi ve bu tekniğin bu türden karmaşık problemlerin analiz edilmesi için geçerli bir yöntem olduğu açıklanmaktadır. Geoteknik uygulamaları göz önüne alındığında, bu tez çalışması kapsamında yürütölen tasarım senaryosunun ve koşullarının, diyafram duvarlı derin kazılarda tasarım açasından kullanılabileceğini ve kullanılan yöntemlerle gerđerçi olarak modellenebileceğini açıklanmaktadır. Bu kapsamda oluşturulan 3D FE modellemesine temel teşkil eden uygulama projesi olarak Hsieh ve ark. (2003) tarafından yayınlanan örnekle uygulama baz alınmıştır.

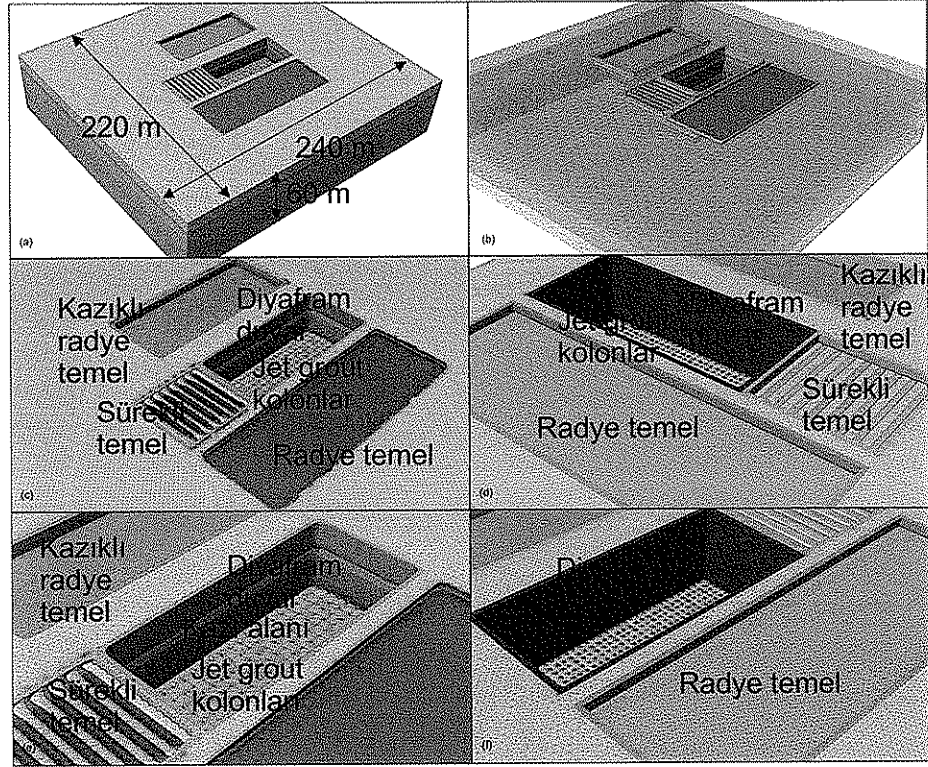
Bu tez araştırmasında Hsieh ve ark. (2003) tarafından jet deneme kolonunun tam geomerisi verilmediğinden yapılan 3B SE modellemesi için gerekli olan jet grout kolonunun derinliğe bağlı geometrik değişimi için Algin (2017) tarafından açıklanmış olan bir geometrik kabul kullanılmıştır. Şekil 3.26.'da açıklanan bu kabulde, Modoni ve Bzowka (2012) tarafından sunulan deneme kolonunun eksik geometrik değişimi tamamlamak amacıyla dönmüş sinisodial fonksiyonun kullanılabileceği açıklanmıştı. Bu çalışmada da eksik bu geometrik değişim için benzer zemin Şartları gözleendiğinden, Algin (2017)'de açıklanan dönmüş sinisodial fonksiyon kullanılarak oluşturulmuş geometrik değişim kullanılmıştır. Görüntü işleme tekniği kullanılarak

yukarıda detayları verilen uygulamanın 3B SE modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerin mesh'leri ile ilgili bazı görseller Şekil 4.7.-4.9.'da sunulmuştur.

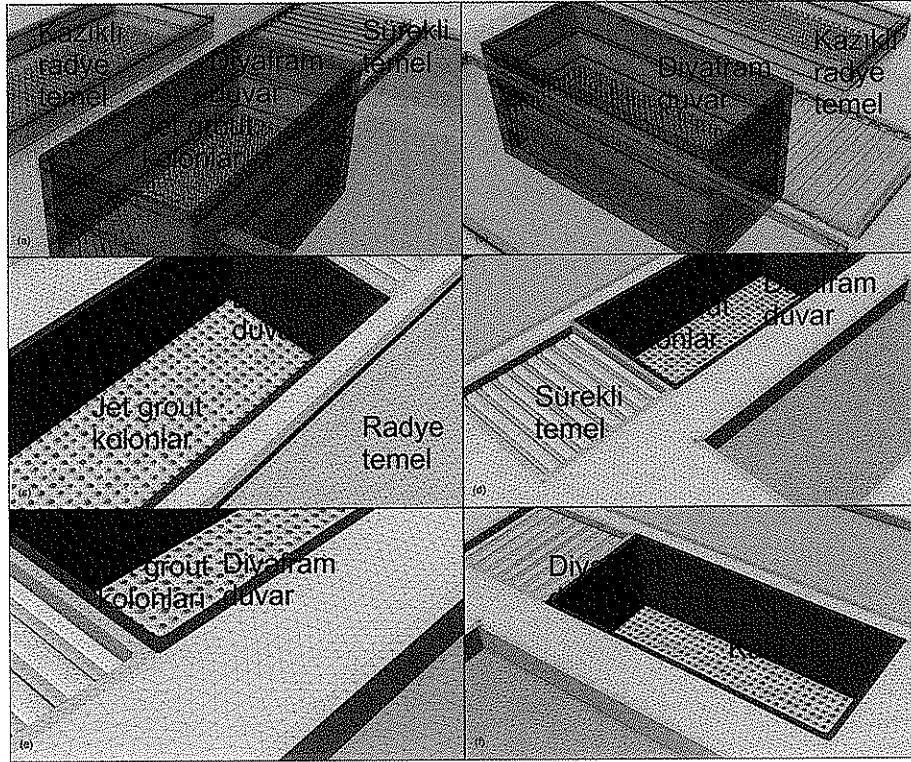
Şekil 4.7.-4.9.'de sunulan bu 3B SE meshleri diyafram duvarlı derin kazı alanına, bu alanın altında oluşturulan jet grout kolonlarını, radye komşu ve kazıklı radye kmşu temellerle berabe, komşu sürekli temel yapılarının meshlerini göstermekte olup, bu derece kompleks bir sistemin bile önerilen görüntü işleme tekniği kullanılarak yapılabileceğini göstermektedir. Geoteknik uygulamalar dikkate alınarak, diyafram suvarlı derin kazılardan etkilenen bitişik yapıların da dahil olmak üzere, uygulama temel tasarım senaryoları dahilinde gerçek arazi koşulları altında, kompleks temel tasarımlarının 3B SE modellerinin yapılarak diyafram duvarlı derin kazılarda bu nümerik oturma analizlerinin gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir. Döndürülmüş sinüzoidal fonksiyon yaklaşımı kullanılarak kolonların derinliğe bağlı geometrik değişim kabulleri diyafram duvarlı derin kazı örneği için boyutlu olarak modellenebileceği açıklanmıştır. Diyafram duvarlı derin kazıların tabanında pasif direnci arttırmak amacıyla kullanılmış jet grout kolon grubunun 3B SE meshleri bu varsayıma dayalı olarak modellenmiştir.

Şekil 4.10.'da yapılan 3B SE modelinin analiz sonuçları verilmekte ve Hsieh vd. (2003) tarafından sunulan arazi ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırmalar yapılmaktadır. Şekil 4.10 (a)'da Hsieh vd. (2003) tarafından sunulan SI-1, SI-2, SI-3 ve SI-4 duvarları için yanıl diyafram duvar deplasmanının arazi ölçüm sonuçları gösterilmekte olup, Şekil 4.10.(b)'de sunulan bu tez kapsamında yapılan 3B SE analiz sonuçları ile kıyaslandığında, SI-4 duvarındaki analiz sonuçları ile ölçüm sonuçlarının son derece uyumlu olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, Şekil 4.10.(c)'de sunulan 3B SE analiz sonuçlarıyla ölçüm sonuçları SI-1 duvarı için karşılaştırıldığında uyumlu sonuçların elde edildiği görülebilir. Şekil 4.10.(d)'de ise bu tez kapsamında yapılan 3B SE analizlerinden elde edilen komşu binaların oturma değerlerindeki değişim sunulmaktadır. Dolayısıyla, bu yüksek lisans tezi kapsamında yapılan analizler ve sunulan 3B SE karmaşık modeller, diyafram duvarlı derin kazıların yanıl pasif direncini kazı tabanında jet grout grup kolonlarla sağlanmasına yönelik tüm tasarım elemanlarının ve bu konuyla sıkı ilişkil olan etkilenen komşu

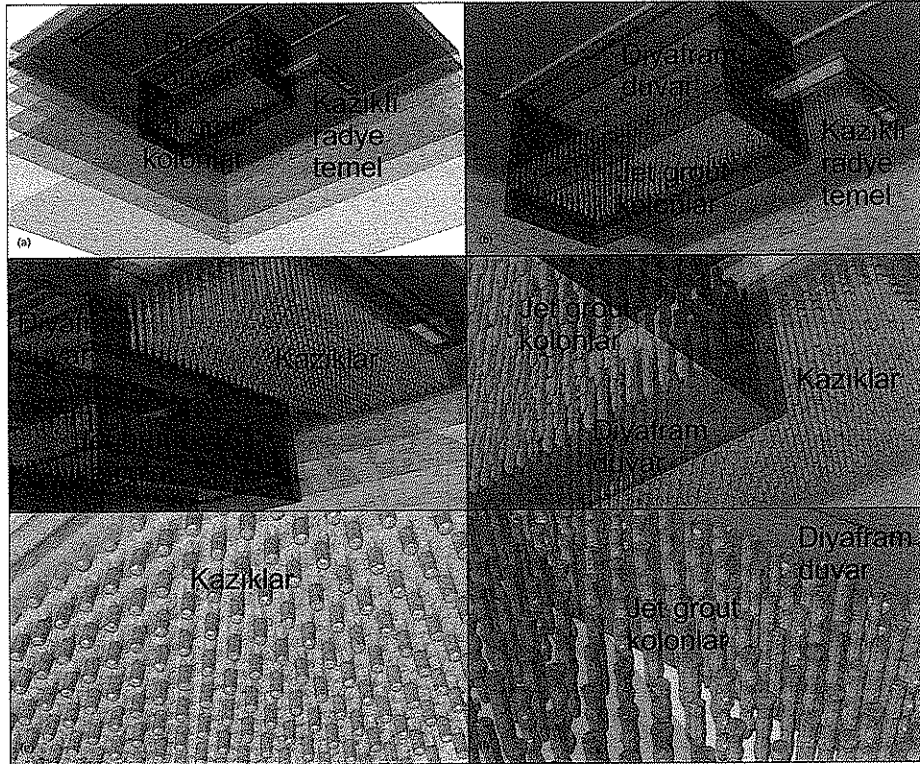
temelerin performanslarının görüntü işleme tekniği kullanarak 3B SE modellemesi temelinde daha gerçekçi çözümler sağlayan görüntü işleme tekniği kullanılarak üç boyutlu formda elde edileceği ve 3B SE analizlerinin kapsamlı bir şekilde yapılabileceği sonucuna varmıştır.



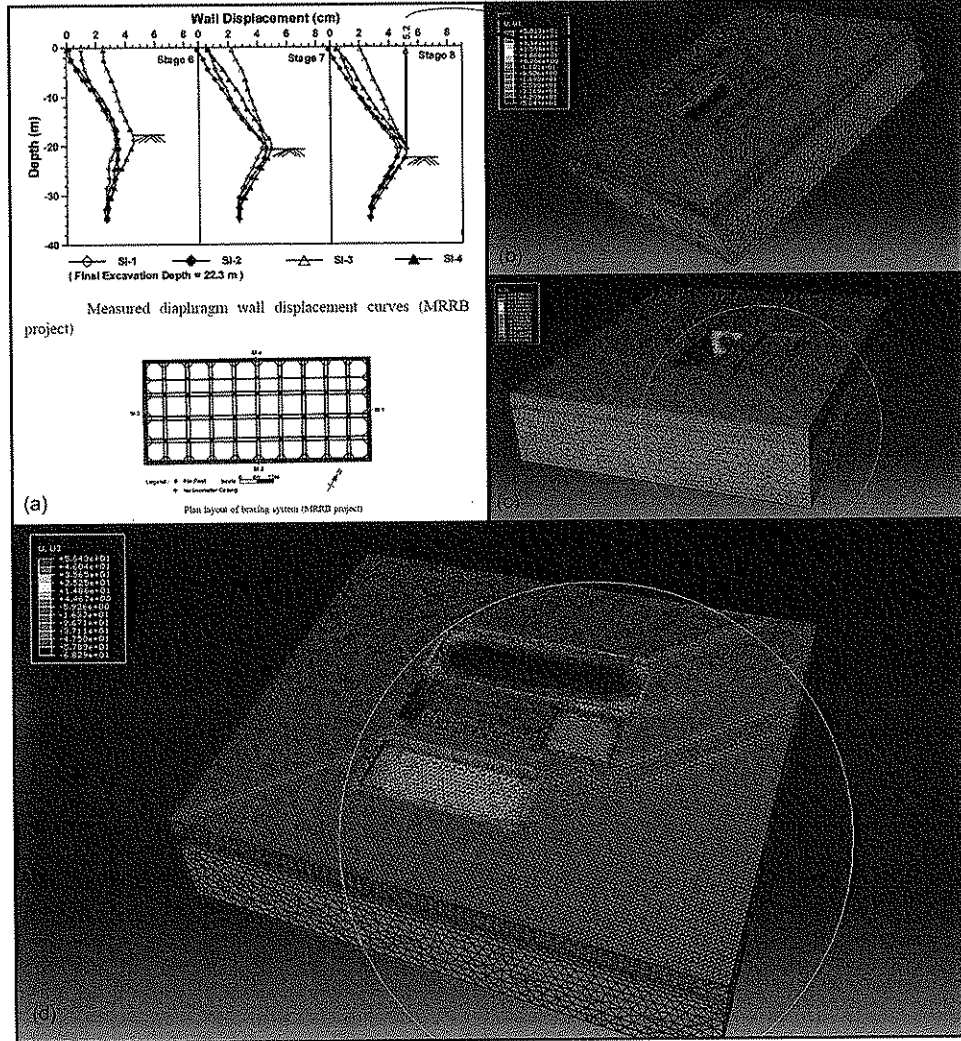
Şekil 4.7. 3B SE modelinin mesh görüntüleri (komşu temel yapısı ve kazı alanının yakın plan görselleri)



Şekil 4.8. 3B SE modelinin mesh görüntüleri (zemin tabakaları, içsel mesh, jet grout kolonları ve komşu kazık temellerin yakın plan görselleri)



Şekil 4.9. 3B SE modelinin iç vacim mesh görüntüleri (jet grout kolonları ve kazık gruplarının yakın plan görselleri)



Şekil 4.10. 3B SE modelinin analiz sonuçları (a) Hsieh ve ark. (2003) tarafından sunulan SI-1, SI-2, SI-3 ve SI-4 duvarları için yanıl diyafram duvar deplasmanının arazi ölçüm sonuçları, (b) bu tez kapsamında yapılan 3B SE analizlerinden elde edilen SI-4 duvarındaki analiz sonuçları, (c) bu tez kapsamında yapılan 3B SE analizlerinden elde edilen SI-1 duvarındaki analiz sonuçları, (d) bu tez kapsamında yapılan 3B SE analizlerinden elde edilen komşu binaların oturma değerlerindeki değişim

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Derin kazılarda diyafram duvar elemanlarının kullanıldığı iç destekli takviye durumunda bu duvarın direncini arttırmak amacıyla kazı tabanında jet grout grup kolonları teşkil edilerek oluşturulan tasarımla, kazı alanının çevresindeki komşu binaların deformasyonlardan daha az etkilenmeleri sağlanmış bir durum örneği temelinde bu tez kapsamında bu kompleks temel sistemleri bir bütün olarak tüm elemanlarıyla birlikte 3B SE modellemesi temelinde oluşturulmuştur. Bu sistemin performansının görüntü işleme tekniği kullanarak geliştirilen üç boyutlu sonlu elemanlar (3D SE) modellemesi ile tespit edilmesi ve bu tekniğin derin kazılarda diyafram duvar elemanlarının tasarımı için de geçerli bir yöntem olduğu açıklanmıştır. Bu kapsamda oluşturulan 3D FE modellemesine temel teşkil eden uygulama projesi olarak Hsieh ve ark. (2003) tarafından yayınlanan örnek uygulama baz alınmıştır. Sunulan bu 3B SE meshleri diyafram duvarlı derin kazı alanı, bu alan altında oluşturulan jet grout kolonlarını, radye komşu ve kazıklı radye komşu temellerle berabe, komşu sürekli temel yapılarının meshlerini göstermekte olup, bu diyafram duvarlı derin kazı uygulamasının tasarımının görüntü işleme tekniği kullanılarak yapılabileceği gösterilmiştir. Döndürülmüş sinüzoidal fonksiyon yaklaşımı kullanılarak kolonların derinliğe bağlı geometrik değişim kabulleri diyafram duvarlı derin kazı örneği için üç boyutlu olarak modellenebileceği açıklanmıştır. Bu yüksek lisans tezi kapsamında yapılan analizler ve sunulan 3B SE karmaşık modelleri, diyafram duvarlı derin kazıların yanıl pasif direncini kazı tabanında jet grout grup kolonlarla sağlanmasına yönelik tüm tasarım elemanlarının ve bu konuyla sıkı ilişkil olan etkilenen komşu temelerin performanslarının görüntü işleme tekniği kullanarak 3B SE modellemesi temelinde daha gerçekçi çözümler sağlayan görüntü işleme tekniği kullanılarak üç boyutlu formda elde edileceği sonucuna varmıştır.

Bu kapsamsamda bir sonraki aşama bu modellerin zenginleştirilerek parametrik çözümlerinin yapılması yoluyla bu konudaki sayısal metodolojinin geliştirilmesine yardımcı olmaktır.

KAYNAKLAR

- ALGIN, H. M., ve EKMEN, A. B., 2015. NATM Tüneli İle Köprü Temel Etkileşiminin Üç Boyutlu Sayısal Analizi. 6. Geoteknik Sempozyumu, 26-27 Kasım, Adana, s.20-27.
- ALGIN, H. M., ve EKMEN, A. B., 2016. DKTK Grupları Üzerindeki Radyelerin Tepki Yüzey Metodu İle Optimizasyonu. Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 16. Ulusal Kongresi, 13-14 Ekim, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- ALGIN, H. M., 2013. Jet-Grout Kolon-Zemin Etkileşiminin Realistik Modellemesi ve Arayüz Geometrisinin Geoyapısal Sistemin Davranışına Etkisi. 5. Geoteknik Sempozyumu, 5-7 Aralık, Adana, s.40-47.
- ALGIN, H. M., 2016. Optimised Design Of Jet-Grouted Raft Using Response Surface Method. *Computers and Geotechnics*, 74: 56–73.
- ALGIN, H. M., 2017. Optimised Design Of Jet-Grouted Rafts Subjected To Nonuniform Vertical Loading. *KSCE, Korean Society of Civil Engineers*, 1-15.
- BLACKBURN, J. T., 2005. Automated Sensing and Three-dimensional Analysis of Internally Braced Excavations. Northwestern University, PhD Thesis, Evanston, IL, 332p.
- BRYSON, L. S., 2002. Performance of a Stiff Excavation Support System in Soft Clay and the Response of an Adjacent Building. Northwestern University, PhD Thesis, Evanston, IL, 340p.
- BS-EN-12716, 2001. Execution Of Special Geotechnical Works: Jet Grouting. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 38p.
- BZÓWKA, J., and PIĘCZYRAK, J., 2008. Pull Out And Load Tests For Jet Grouting Columns. Proc, XI Baltic Sea Geotechnical Conf, Polish Committee on Geotechnics and Gdansk Univ of Technology, Gdansk, Poland, p.929-33.
- BZÓWKA, J., 2009. Współpraca kolumn wykonywanych techniką iniekcji strumieniowej z podłożem gruntowym (Interaction of jet grouting columns with subsoil). Gliwice, Poland: Silesian University of Technology, 290p.
- CHEW, S. H., YONG, K. Y., and LIM, A. Y. K., 1997. Three-dimensional Finite Element Analysis of a Strutted Excavation. *Computer Methods and Advances in Geomechanics*, Yuan (editor), Balkema, Rotterdam, p.674-698.
- CLOUGH, G. W., and O'ROURKE, T. D., 1990. Construction Induced Movements of In-Situ Walls. Design and Performance of Earth Retaining Structures, Proceedings of a Specialty Conference at Cornell University, ASCE, New York, pp.439-470.
- CROCE, P., Flora, A., Modoni, G., 2014. Jet Grouting: Technology, Design and Control. Boca Raton, Florida: Taylor & Francis, 302p.
- DE MOOR, E. K., 1994. An Analysis of Bored Pile/Diaphragm Wall Installation Effects. *Geotechnique*, 44(2): 341-347.
- EKMEN, A. B., ve ALGIN H. M., 2016. Jet Grout Kolonlarla Desteklenmiş Radye Temellerin Tasarım Prensipleri. 1. Ulusal Genç Geoteknik Mühendisleri Sempozyumu, 12 Ekim, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, s.69-77.
- FINNO, R. J., and BRYSON, L. S., 2002. Response of Building Adjacent to Stiff Excavation Support System in Soft Clay. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, ASCE, 16(1): 10-20.

- FINNO, R. J., BLACKBURN, J. T., and ROBOSKI, J. F., 2007. Three-Dimensional Effects for Supported Excavations in Clay. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 133(1): 30-36.
- FINNO, R. J., BRYSON, L. S., and CALVELLO, M., 2002. Performance of a Stiff Support System in Soft Clay. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 128(8): 660- 671.
- GI-ASCE, 2009. Jet Grouting Guideline. Geo Institute of ASCE-Grouting Committee-Jet Grouting Task Force, USA, 29p.
- GOURVENEK, S. M., and POWRIE, W., 1999. Three-Dimensional Finite-Element Analysis of Diaphragm Wall Installation. *Geotechnique*, 49(6): 801-823.
- GOURVENEK, S. M., POWRIE, W., and DE MOOR, E. K., 2002. Three-Dimensional Effects in the Construction of a Long Retaining Wall. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Geotechnical Engineering*, 155(3): 163-173.
- HSIEH, H., WANG, C., and Ou C., 2003. Use of Jet Grouting to Limit Diaphragm Wall Displacement of a Deep Excavation. *ASCE, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129(2):146-157.
- HSIEH, H. S., LU, F. C., WU, L. H., and LIN, Y. K., 1995. Application of JG and DMP to Reduce Excavation Induced Diaphragm Wall Deflection. *Proc., 10th Asian Regional Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, International Academic Publisher, Beijing, 403– 406.
- JARDINE, R. J., POTTS, D. M., FOURIE, A. B., and BURLAND, J. B., 1986. Studies of the Influence of Nonlinear Stress-Strain Characteristics in Soil-Structure Interaction. *Geotechnique*, 36(3): 377-396.
- KOUTSOFTAS, D. C., FROBENIUS, P., WU, C. L., MEYERSOHN, D., and Kulesza, R., 2000. Deformations during Cut-and-Cover Construction of MUNI Metro Turnback Project. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 126(4): 344-359.
- LANGHORST, O. S., SCHAT, B. J., DE WIT, J. C. W. M., BOGAARDS, P. J., ESSLER, R. D., MAERTENS, J., et al., 2007. Design and Validation of Jet Grouting for The Amsterdam Central Station. *14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ECSMGE)*, Madrid, Spain: IOS Press, pp.18-21.
- LEE, F. H., YONG, K. Y., QUAN, K. C., and CHEE, K. T. 1998. Effect of Corners in Struttred Excavations: Field Monitoring and Case Histories. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 124(4): 339-349.
- LIN, D. G., PHUEN-WEJ, N., and CHUNG, T. C., 2003. Quantitative Evaluation Of Corner Effect On Deformation Behavior Of Multi-Struttred Deep Excavation In Bangkok Subsoil. *Journal of the Southeast Asian Geotechnical Society*, 34(1): 41-57.
- MODONI, G., and BZOWKA, J., 2012. Analysis of Foundations Reinforced with Jet Grouting. *J Geotech Geoenviron.*, 138(12): 1442-54.
- NG, C. W. W., 1992. An Evaluation of Soil-Structure Interaction Associated with a Multi-Propped Excavation. University of Bristol, Ph.D. Thesis, UK, 270p.
- NG, C. W. W., and LINGS, M. L., 1995. Effects of Modeling Soil Nonlinearity and Wall Installation on Back-Analysis of Deep Excavation in Stiff Clay. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 121(10): 687-695.

- NG, C. W. W., and YAN, R. W. M., 1998. Stress Transfer and Deformation Mechanisms around a Diaphragm Wall Panel. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 124(7): 638-648.
- NG, C. W. W., and YAN, R. W. M., 1999. Three-Dimensional Modeling of a Diaphragm Wall Construction Sequence. *Geotechnique*, 49(6): 825-834.
- NG, C. W. W., LING, M. L., and NASH, D. F. T., 1995. An Approximate Analysis of the Three-Dimensional Effects of Diaphragm Wall Installation. *Geotechnique*, 45(3): 497- 507.
- O'ROURKE, T. D., 1981. Ground Movements Caused by Braced Excavation. *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 107(9): 1159-1178.
- OU, C. Y., and CHIOU, D. C., 1993. Three-dimensional Finite Element Analysis of Deep Excavation. *Proceedings of 11th Southeast Asian Geotechnical Conf.*, The Institute of Engineers, Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia, pp.769-774.
- OU, C. Y., and SHIAU, B. Y., 1998. Analysis of the Corner Effect on Excavation Behaviors. *Canadian Geotechnical Journal*, 35(3): 532-540.
- OU, C. Y., CHIOU, D. C., and WU, T. S., 1996. Three-dimensional Finite Element Analysis of Deep Excavations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 122(5): 473-483.
- OU, C. Y., SHIAU, B. Y., and WANG, I. W., 2000. Three-Dimensional Deformation Behavior of the Taipei National Enterprise Center (TNEC) Excavation Case History. *Canadian Geotechnical Journal*, 37(2): 438-448.
- PECK, R. B., 1969. Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground. *State-of-the-Art Rep.*, 7th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, pp.225-290.
- PECK, R. B., 1969. Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground. *Proceedings 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, State-of-the-Art Volume, pp.225-290.
- POH, T. Y., and WONG, I. H., 1998. Effects of Construction of Diaphragm Wall Panels on Adjacent Ground: Field Trial. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 124(8): 749-756.
- POH, T. Y., CHEE GOH, A. T., and WONG, I. H., 2001. Ground Movements Associated with Wall Construction: Case Histories. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 127(12): 1061-1069.
- POTTS, D. M., and ZDRAVKOVIC, L., 1999. *Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering: Theory*. Thomas Telford, London, 440p.
- ROBOSKI, J. F., 2004. Three-dimensional Performance and Analyses of Deep Excavations. Northwestern University, PhD Thesis, Evanston, IL, 310p.
- SCHAFER, R., and Triantafyllidis, T. H., 2004. Modeling of Earth and Water Pressure Development during Diaphragm Wall Construction in Soft Clay. *Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech.*, 28(13): 1305-1326.
- SIMPSON, B., 1992. Thirty-Second Rankine Lecture: Retaining Structures: Displacement and Design. *Geotechnique*, 42(4): 541-876.
- TSCHEBOTARIOFF, G. P. 1951. *Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures*. McGraw-Hill Book Co., Inc., New York, NY, 420p.
- WOO, S. M., 1996. Some Methods to Reduce Wall Movement in Deep Excavation. *Proc.*, 12th Southeast Asian Geotech. Conf., Southeast Asian Geotechnical Society, Kuala Lumpur, Malaysia, pp.281-286.

- WOO, S. M., and MOH, Z. C., 1990. Geotechnical Characteristics of Soils in The Taipei Basin. Proc., 10th Southeast Asian Geotech. Conf., Southeast Asian Geotechnical Society, Taipei, Taiwan, pp.51– 65.
- XANTHAKOS, P. P., ABRAMSON, L. W., and BRUCE, D. A., 1994. Ground Control and Improvement, Wiley, New York, 910p.
- YAHIRO, T., YOSHIDA H., 1973. Induction Grouting Method Utilizing High Speed Water Jet. Proc, VIII Int Conf Soil Mechanics and Foundation Engineering. Moscow, Russia: USSR National Society, pp.402-404.
- ZDRAVKOVIC, L., POTTS, D. M., and ST JOHN, H. D., 2005. Modeling of a 3D Excavation in Finite Element Analysis. *Geotechnique*, 55(7): 497-513.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hakan YILMAZ
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Trabzon 15.08.1974
Telefon : 0532 433 84 61
E-mail : hakanyilmaz_6161@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe / İl	Bitirme Yılı
Lise:	Kurtuluş Lisesi	Merkez/Ankara	1995
Önlisans:	Ankara Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu	Kuzeykent/Kastamonu	1998
Üniversite:	Süleyman Demirel Üniversitesi	Merkez/Isparta	2003
Yüksek Lisans:	Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	Merkez /Şanlıurfa	2017

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2008-2012	Genç İnşaat	Teknik Ofis Şefi
2012-2014	Ayık İnşaat	Teknik Ofis Şefi

UZMANLIK ALANI

Geoteknik

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

ALGIN H.M., EKMEN A.B., YENMEZ L., GUMUS V. YILMAZ H., 2017. Derin Kazılarda Jet Grout Grup Kolonlarla Pasif Direnci Arttırılmış İç Destekli Diyafram Duvar Sistemlerinin Üç boyutlu Sonlu Elemanlar Analizi. 7. Geoteknik Sempozyumu, 22-24 Kasım 2017, İTÜ, İstanbul (Kabul edilmiştir.)