

TEMEL TAKVİYE YÖNTEMLERİ VE UYGULAMADAN ÖRNEKLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Kemal BAŞ

(501031308)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 Mayıs 2006

Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Haziran 2006

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet SAĞLAMER (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mete İNCECİK (İTÜ)

Prof. Dr. Sönmez YILDIRIM (YTÜ)

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

“Temel Takviye Yöntemleri ve Uygulamadan Örnekler” konulu tez çalışmasının hazırlanması sırasında sonsuz desteklerini esirgemeyen, gerek meslek hayatım boyunca gerekse lisansüstü eğitimim sırasında her zaman bilgisine başvurduğum ve deneyimlerinden yararlandığım değerli hocam Sn. Prof. Dr. Ahmet Sağlamer’e çok teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitimim sırasında almış olduğum dersler ve katıldığım laboratuvar çalışmaları sırasında bana her zaman destek olan Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Anabilim Dalı’nın değerli Öğretim Üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin yazılmasında gerekli bilgi ve belgelerin temininde verdikleri destekten dolayı Keller Grundbau GmbH firması personeline, zemin mühendisliği konusunda gerek yurtiçinde gerekse yurtdışında başarılı projelere imza atan Temeltaş firması Genel Müdürü Sn. İhsan Mert’e ve Sn. Muhammed Rüştü Özcan’a, Zetaş firması Genel Müdürü Sn. Fatih Kulaç’a ve Sn. Cevdet Bayman’a, Do-ka Endüstri firmasından Sn. Cumhuriyet Korkmaz’a ve İMKB Yapı ve İşletme Müdürlüğü personeline çok teşekkür ederim.

Ayrıca, değerli eşim Esra Ataç Baş’a tez çalışmam sırasında gösterdiği anlayış ve özellikle Almanca ve İngilizce kaynaklardan yararlanabilmem için bana verdiği destek için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2006

Kemal BAŞ

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEMEL TAKVİYESİ VE TEMEL TAKVİYESİ YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI.....	4
2.1 Geleneksel Yöntemler	9
2.2 Zemin İyileştirme Esasına Dayanan Yöntemler.....	17
2.2.1 Enjeksiyon yapılması	25
2.2.1.1 Enjeksiyonun tarihçesi.....	26
2.2.1.2 Enjeksiyonun başlıca uygulama alanları	26
2.2.1.3 Temel enjeksiyon teknikleri	27
2.2.2 Jet grouting.....	35
2.2.2.1 Jet grouting tarihçesi.....	40
2.2.2.2 Tanımlar süreç ve ekipmanlar	42
2.2.2.3 Jet grouting sistemleri.....	44
2.2.2.4 Jet grouting ekipmanı	49
2.2.2.5 Temel jet grouting parametreleri	51
2.2.2.6 Jet grouting uygulama alanları.....	57
2.2.2.7 Jet Grouting uygulaması	64
2.2.2.8 Jet grouting yönteminin avantaj ve dezavantajları	69
2.3 Temel Yüklerinin Daha Derindeki Taşıyıcı Tabakalara Aktarılması	72
2.3.1 Mini kazıklar	73
2.3.1.1 Mini kazıkların tarihçesi	74
2.3.1.2 Mini kazık tanımlamaları.....	76
2.3.1.3 Mini kazıkların tipleri ve yapım yöntemleri.....	77
2.3.1.4 Mini kazık uygulamaları.....	81
2.3.1.5 Mini kazıkların faydaları	90

3. TEMEL TAKVİYESİ ÇALIŞMASININ AŞAMALARI	93
3.1 Ön İnceleme	94
3.2 Yapısal incelemeler	96
3.2.1 Yapıların stabilitesini bozan etkenler	96
3.2.1.1 Yapıya etkiyen kuvvetlerin artması (aşırı yükleme).....	97
3.2.1.2 Yeraltı suyunun yapı stabilitesine olan etkisi	99
3.3 Geoteknik incelemeler.....	100
3.3.1 Zemin numuneleri alınması.....	100
3.3.2 Zemin sondajları ve sondaj sonuçlarının değerlendirilmesi.....	100
3.3.3 Temel oturmalarının gözlem ve değerlendirilmesi	101
3.3.4 Gözlem kuyuları.....	103
3.3.5 Yeraltı su seviyesinin belirlenmesi	103
4. TEMEL TAKVİYESİ UYGULAMALARINA ÖRNEKLER	104
4.1 Kemer Kolej Temel Takviye Çalışmaları	104
4.1.1 Giriş.....	104
4.1.2 Binada oluşan hasarların nedenleri	105
4.1.3 Mevcut binanın statik sisteminin ve zeminin incelenmesi.....	105
4.1.3.1 Yapısal incelemeler	105
4.1.3.2 Geoteknik incelemeler	108
4.1.4 Binadaki oturmaların önlenmesi için alınması gereken önlemler.....	109
4.1.5 Sonuç.....	113
4.2 Büyük Tarabya Oteli Temel Takviye Çalışmaları	122
4.2.1 Giriş.....	122
4.2.2 Mevcut durumun değerlendirilmesi	125
4.2.3 Mühendislik jeolojisi-kaya mekaniği araştırmaları.....	128
4.2.3.1 Gözlem kuyusu incelemeleri	129
4.2.3.2 Yeraltı suyu durumu	142
4.2.3.3 Gözlem kuyuları verilerinin değerlendirilmesi.....	143
4.2.4 Sonuç.....	144
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	160
KAYNAKLAR	169
EKLER.....	171
ÖZGEÇMİŞ.....	188

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1 : Zemin cinsine göre soilcrete Serbest Basınç Mukavemeti ve Modülü	38
Tablo 2.2 : Jet grouting parametreleri (from prEN 12761).....	55
Tablo 2.3 : Jetgrout imalat parametreleri	56
Tablo 2.4 : Jet grouting uygulamaları	58
Tablo 2.5 : Soilcrete'in stabilizasyon amaçlı kullanımı	59
Tablo 2.6 : Soilcrete'in yalıtım amaçlı kullanılması.....	61
Tablo 4.1 : İstanbul bölgesi için depremsellik verileri	128
Tablo 4.2 : MK1 Gözlem kuyusu A duvarı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımları.....	130
Tablo 4.3 : MK1 Gözlem kuyusu A duvarı basınç dayanımı deney sonuçları ile minimum-maksimum ve tanjant elastisite modülü değerleri	130
Tablo 4.4 : MK1 Gözlem kuyusu A duvarı çekme dayanımı deney sonuçları	130
Tablo 4.5 : MK1 Gözlem kuyusu B duvarı Nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı	131
Tablo 4.6 : MK1 Gözlem kuyusu B duvarı basınç dayanımı deney sonuçları.	131
Tablo 4.7 : MK1 Gözlem kuyusu B duvarı çekme dayanımı deney sonuçları.	131
Tablo 4.8 : MK1 Gözlem kuyusu C duvarı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı	132
Tablo 4.9 : MK1 Gözlem kuyusu A duvarı basınç dayanımı deney sonuçları ile minimum-maksimum ve tanjant elastisite modülü değerleri	132
Tablo 4.10 : MK1 Gözlem kuyusu C duvarı çekme dayanımı deney sonuçları	132
Tablo 4.11 : MK1 Gözlem kuyusu B duvarı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı	133
Tablo 4.12 : MK1 Gözlem kuyusu D duvarı basınç dayanımı deney sonuçları ile minimum, maksimum ve tanjant elastisite modul değerleri.....	133
Tablo 4.13 : MK1 Gözlem kuyusu D duvarı çekme dayanımı deney sonuçları	133
Tablo 4.14 : MK2 Gözlem kuyusu tabanı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı	134

Tablo 4.15 : MK1 Gözlem kuyusu D duvarı basınç dayanımı deney sonuçları ile minimum, maksimum ve tanjant elastisite modul değerleri.....	135
Tablo 4.16 : MK2 Gözlem kuyusu tabanı çekme dayanımı deney sonuçları	135
Tablo 4.17 : MK2 Gözlem kuyusu A duvarı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı	136
Tablo 4.18 : MK2 Gözlem kuyusu A duvarı basınç dayanımı deney sonuçları ile minimum ve maksimum elastisite modul değerleri	136
Tablo 4.19 : MK2 Gözlem kuyusu D duvarı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı	137
Tablo 4.20 : MK2 Gözlem kuyusu D duvarı basınç ve çekme direnci deney sonuçları	137
Tablo 4.21 : MK3 Gözlem kuyusu tabanı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı	138
Tablo 4.22 : MK3 Gözlem kuyusu A duvarı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı	139
Tablo 4.23 : MK3 Gözlem kuyusu tabanı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı	140
Tablo 4.24 : Yeraltı suyu özellikleri.....	142

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Kazık ve kavrama kirişi ile temel takviyesi uygulanması (Plan)	11
Şekil 2.2 : Kazık ve kavrama kirişi ile temel takviyesi uygulanması (Kesit)	11
Şekil 2.3 : Geleneksel temel takviyesi yönteminin aşamaları	13
Şekil 2.4 : DIN 4123'e göre kazı yapılmasının sınırlamaları	14
Şekil 2.5 : DIN 4123'e göre temel takviyesinin adımları ve inşaat boyutları	14
Şekil 2.6 : Temel takviyesi elemanının mevcut duvara bağlantı detayı	17
Şekil 2.7 : Zeminin konsolide olması durumunda temel takviyesi	18
Şekil 2.8 : Enjeksiyon ile temel takviyesi sisteminin statik hesap verileri	20
Şekil 2.9 : Enjeksiyon için tube-manchette ve nozul uygulaması	21
Şekil 2.10 : Mesken binası için enjeksiyon yöntemi ile temel takviyesi yapılmasına ait örnek uygulama	24
Şekil 2.11 : Mesken binasının temel takviyesi için tam ve yarım kolon düzenlemesi	25
Şekil 2.12 : Enjeksiyon sistemleri şematik gösterimi	29
Şekil 2.13 : Permeasyon enjeksiyonu uygulama alanı	29
Şekil 2.14 : Tube a' manchette sistemi detayı	31
Şekil 2.15 : Kompaksiyon enjeksiyonu uygulama alanı	34
Şekil 2.16 : Hava-su nozüllerinin kesişimi	42
Şekil 2.17 : Monitor, hava-su nozülleri	44
Şekil 2.18 : Jet grouting süreci	45
Şekil 2.19 : Temel jet grouting sistemleri	46
Şekil 2.20 : Jet grout ekipmanları ve uygulama aşamaları	47
Şekil 2.21 : Superjet grouting yönteminin aşamaları	49
Şekil 2.22 : Jet grouting ekipmanları	50
Şekil 2.23 : Zemin cinslerine göre enjeksiyon uygulama aralığı	52
Şekil 2.24 : Zeminlerin sökülebilirliği	53
Şekil 2.25 : Tipik soilcrete dayanımları	54
Şekil 2.26 : Soilcrete S şematik gösterimi	63
Şekil 2.27 : Soilcrete D şematik gösterimi	63
Şekil 2.28 : Soilcrete T şematik gösterimi	64
Şekil 2.29 : Enjeksiyon sistemlerinin uygulama limitleri	70

Şekil 2.30 : Root piles ile temel takviyesi uygulaması	74
Şekil 2.31 : Mini kazıkların tarihçesi.....	75
Şekil 2.32 : Mini kazık yapım aşamaları	77
Şekil 2.33 : Tip-1 Mini kazık uygulaması örnekleri	78
Şekil 2.34 : Tip-2 Mini kazık uygulaması örnekleri	80
Şekil 2.35 : Mini Kazıkların enjeksiyon yöntemine göre sınıflandırılması	80
Şekil 2.36 : Askıya alma ve her iki yönden kazık uygulanması yöntemi ile temel takviyesi yapılması.....	82
Şekil 2.37 : Dual düşey kazıklar ile temel takviyesi	83
Şekil 2.38 : Çapraz dual kazıklar ile temel takviyesi	84
Şekil 2.39 : Düşey ve eğik kazıklar ile tek taraftan temel takviyesi	85
Şekil 2.40 : Konsol giriş ve kazık sistemi ile tek taraftan temel takviyesi	85
Şekil 2.41 : Eğik kazıklar ile oluşturulmuş temel takviyesi.....	86
Şekil 2.42 : Jacked tipi temel takviye kazığı yapım çalışması	87
Şekil 2.43 : Jack-down kazık sistemi (Franki)	88
Şekil 2.44 : Jack-down segment kazık sistemi (Erka).....	88
Şekil 2.45 : Birleştirilmiş temel takviye sistemi (mini kazık, ankraj ve zemin çivisi).....	90
Şekil 2.46 : Zeminde kazık ağları oluşturarak temel takviyesi yapılması	91
Şekil 3.1 : Taban basınçları	98
Şekil 3.2 : Temel dönmesi	99
Şekil 4.1 : Yerleşim planı	106
Şekil 4.2 : A blok zemin kat planı	107
Şekil 4.3 : Binada meydana gelen oturma çatlakları	110
Şekil 4.4 : A1 Araştırma çukuru	111
Şekil 4.5 : A2 ve A3 Araştırma çukurları.....	112
Şekil 4.6 : Casagrande M3D makinasının şematik gösterimi	114
Şekil 4.7 : Casagrande M3D ile tarihi binada temel takviyesi uygulaması	115
Şekil 4.8 : Casagrande C6 mini kazık ekipmanı	117
Şekil 4.9 : Kemer Kolej mini kazık uygulaması	117
Şekil 4.10 : M3D Mini Kazık makinası ile temel takviye çalışması yapılması	118
Şekil 4.11 : Kemer Kolej temel takviyesi mini kazık imalatı A-A kesiti	118
Şekil 4.12 : Kemer Kolej temel takviyesi mini kazık imalatı B-B kesiti.....	119
Şekil 4.13 : Kemer Kolej temel takviyesi mini kazık imalatı C-C kesiti.....	119
Şekil 4.14 : Kemer Kolej mini kazık yerleşim planı	120
Şekil 4.15 : Kemer Kolej temel takviyesi mini kazık imalatı I-I ve II-II kesitleri	121
Şekil 4.16 : Gözlem (muayene) kuyuları yerleşim planı.....	123

Şekil 4.17 : Büyük Tarabya Otelinin yakın dolayının yapısal haritası	124
Şekil 4.18 : İstanbul ili temel kayaçlarının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti	125
Şekil 4.19 : İnceleme alanının jeolojik ölçüm ve gözlemleri	126
Şekil 4.20 : İnceleme alanının jeolojik kesiti	127
Şekil 4.21 : Kuyulardaki gözlem yüzeylerinin adlandırılması	129
Şekil 4.22 : Eski ve yeni temeller arasındaki tipik bağlantı detayı (plan)	147
Şekil 4.23 : Eski ve yeni temeller arasındaki tipik bağlantı detayı (I-I kesiti)	148
Şekil 4.24 : Mevcut kolon etrafında donatı yerleşim detayı	149
Şekil 4.25 : Mevcut kolon etrafında donatı yerleşim 2-2 kesiti	149
Şekil 4.26 : Mevcut kolon etrafında donatı yerleşim 3-3 kesiti	150
Şekil 4.27 : Yeni temel ile mevcut bağ kirişi arası bağlantı detayı (plan)	150
Şekil 4.28 : Yeni temel ile mevcut bağ kirişi arası bağlantı detayı (1-1 kesiti)	151
Şekil 4.29 : Mevcut kolon çevresinde tipik donatı yerleşimi (plan)	151
Şekil 4.30 : Mevcut kolon çevresinde tipik donatı yerleşimi (2-2 kesiti)	152
Şekil 4.31 : Mevcut kolon çevresinde tipik donatı yerleşimi (3-3 kesiti)	152
Şekil 4.32 : F9 Temeli (plan)	153
Şekil 4.33 : F9 Temeli (A-A kesiti)	154
Şekil 4.34 : Temel bölgesi kolon-bağ kirişi birleşim detayı (1)	155
Şekil 4.35 : Temel bölgesi kolon-bağ kirişi birleşim detayı (2)	155
Şekil 4.36 : Temel çevresinde grobeton dökülmesi (1)	156
Şekil 4.37 : Temel çevresinde grobeton dökülmesi (2)	157
Şekil 4.38 : Bağ kirişi etrafında yeni temel oluşturulması	157
Şekil 4.39 : Yeni temel oluşturulması donatı detayı (1)	158
Şekil 4.40 : Yeni temel oluşturulması donatı detayı (2)	158
Şekil 4.41 : Yeni temel oluşturulması donatı detayı (3)	159

SEMBOL LİSTESİ

σ_{em} : Zeminin güvenli taşıma gücü

τ : Kayma gerilmesi

c : Kohezyon

A_0 : Bina etkin yer ivmesi katsayısı

Z : Zemin serbest yüzeyinden itibaren aşağıya doğru ölçülen derinlik

φ : Zeminin içsel sürtünme açısı

$\emptyset$: Donatı çapı

δ : Zeminle duvar arasındaki sürtünme açısı

TEMEL TAKVİYE YÖNTEMLERİ VE UYGULAMADAN ÖRNEKLER

ÖZET

Temel takviyesi, bir binanın mevcut yüklerinin tamamen ya da kısmen zararsız bir şekilde taşınacağı yeni temeller yaratmaktır. Bu durum, mevcut temelin altına daha derin bir temel inşa edilmesini gerektirdiğinden, temel takviyesi; yeniden inşa, destekleme, sağlamlaştırma ve mevcut temellerin adaptasyonu anlamına gelmektedir. Temel takviyesi sadece eski yapılar için değil aynı zamanda yeni inşa edilmiş bir yapının yanlış tasarım, zemin şartlarını doğru değerlendirememesi gibi nedenlerle hasar görmesi gibi durumlarda da uygulanabilir.

Değişik nedenler temel takviyesi çalışmalarını gerekli kılabilir, ancak çoğunlukla temeldeki yüklerde statik ya da dinamik artış bir temel takviyesi çalışması için önemli bir nedendir. Yenileme nedeniyle yapı davranış katsayısının değişmesi, kat ilavesi, ağır donanım ilavesi nedeniyle meydana gelen değişiklikler ve diğer yapısal değişiklikler de temel takviyesi nedenleri arasında sayılabilir. Bazı durumlarda binada bir yenileme yapılmasa bile deprem güvenliği ve yönetmeliklerin revize edilmesi durumlarında, yapının faydalı ömrünün arttırılması amacıyla binada takviye gerekebilir.

Bazı durumlarda temel takviyesi, yapının oturduğu zemin koşullarına bağlı olarak gerekli olmaktadır. Zemin altı dolgusunun zayıf ve iyi sıkıştırılamamış olması, yumuşak kohezyonlu zeminlerin yükleme durumunda konsolide olması, temel altında farklı kalitede zemin varlığı gibi nedenlerden ötürü temel takviyesine gerek duyulmaktadır. Kıyı yapılarında, temel takviyesi yakın iskelenin çürümesinden ve çelik yapıların korozyona uğramasından ya da temeli destekleyen zeminin erozyona uğramasından dolayı gerekli olabilir. Bütün bu problemlerin sonucu genellikle düzeltilemez deformasyonlardır.

Yukarıda yapılan genel açıklamalar çerçevesinde mevcut temellerin oturmalarını önlemek ve davranışlarını kontrol etmek için kullanılan yöntemlerin üç ana grupta ele alınabileceği ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemler; temelin genişletilmesi ve/veya derinleştirilmesi yoluyla temel davranışının iyileştirilmesi esasına dayanan geleneksel yöntemler, temel zemininin, çimento enjeksiyonu, kimyasal enjeksiyon veya “jet grouting” kullanılarak iyileştirilmesi ve temel yüklerini derindeki taşıyıcı tabakaya aktarmak için çakma kazıklar, itmeli kazıklar, mini kazıklar ya da jet grout kolonlarla temel takviyesi yapılması olarak üç ana sınıfta incelenmektedir.

Bu çalışmada, temel takviyesinin genel ve özel tanımlarının yapılmasından sonra, yukarıda sayılan temel takviye yöntemleri hakkında literatür araştırmaları yapılmış, bu yöntemlerin birbirlerine göre üstünlük ve zayıflıkları ele alınmış, uygulama alanları hakkında detaylı açıklamalar yapılmış ve günümüzde ulaştıkları gelişmelerden bahsedilmiştir.

Sonuç olarak, 1999 Marmara depreminden sonra hasar tespitleri yapılmış olan bir okul yapısı ile yenileme yapılmasına karar verilmiş olan ve sismik güçlendirilmesi kapsamında temellerinin incelenmesi sonucunda geleneksel yöntemler ile temel kesitlerinin büyütölmesine karar verilen bir otel binasına ait uygulamalara yer verilmiştir.

UNDERPINNING OF BUILDINGS AND APPLICATIONS

SUMMARY

Underpinning is the creation of new foundations by thoroughly or partly transferring the existing loads of the building. Because this means the construction of a deeper foundation under the existing foundation, underpinning is reconstruction, supporting, strengthening, and adaptation of the existing foundations. Underpinning is not only valid for historical buildings, but also for new buildings which require supporting because of faulty design and damages as a result of insufficient evaluation of the soil conditions.

Various reasons may result in the need for underpinning, but in most cases the need arises from an increase in static or dynamic foundation loading. Perhaps this resulted from building code upgrades stimulated by renovation, the addition of floors or installation of heavy equipment, and many other types of building modification. In certain regions of the country, seismic upgrades are being required for critical lifeline structures even without modifications.

Underpinning may be required because of a soil problem rather than a structure problem which may be poor fill, a soft cohesive soil that consolidated under load, or a sublevel karstic (sinkhole) condition. In port areas, underpinning may be required simply due to rotting of a nearby timber wharf, corrosion of steel bulkhead structures, or scouring and erosion of soils that support foundations. The result of each of these problems is often intolerable deformation.

In the framework of the previous explanations, the methods to prevent the settlement of the existing buildings and to control their behaviour can mainly be grouped into three parts. These methods are conventional methods based on the improvement of soil behaviour by foundation extension and/or deepening; the improvement of the foundation by soil cement injection, chemical injection or jet grouting; and transferring the foundation forces to the load carrying stratum by hand-dug underpinning piers, bracket piles, helical piers, jacked piles, screw piles and minipiles or jet grouting columns.

In this study, after providing the general and specific definitions related to underpinning, literature review about the basic underpinning methods is given which thereafter are compared according to their strengths and weaknesses, and for which detailed explanations about the applications and recent developments are provided.

Consequently, the examples of underpinning including a school building with damage identification after 1999 Marmara earthquake and a hotel building for which renovation process has been decided and for which in the framework of seismic strengthening the extension of the foundation details has been decided by applying the conventional methods are provided.

1. GİRİŞ

Temel takviyesi, bir binanın temel yüklerinin daha derin seviyelere dağıtılmasıdır. Temel takviyesinin amacı, mevcut yüklerin tamamen ya da kısmen zararsız bir şekilde taşınacağı yeni temeller yaratmaktır. Bunun için, mevcut temelin altına daha derin bir temel inşa edilir. Bu açıdan, temel takviyesi; yeniden inşa, destekleme ya da sağlamlaştırma yoluyla mevcut temellerin güçlendirilmesi anlamına gelir ki bu durum, sürekli yük artışı nedeniyle taşıma kapasitesinin dereceli olarak azalması nedeniyle zorunlu hale gelir [1].

Temel takviyesi, yerleşme alanlarında yeni bir binanın temel döşemeleri komşu binanın temel seviyesinin altına düştüğünde şarttır. Temel takviyesi yöntemleri ayrıca, yeniden inşa ya da mevcut binaların başka amaçlarla kullanımı durumunda temellerin geçici ya da sürekli adaptasyonu ve hasar görmüş temellerin onarılması için gerekli olabilir. Temel altı kazıları, ulaşım rotasının kısmen ya da tamamen yapı inşa alanını kestiği yeraltı ulaşım tesislerinin inşasında uygulanır. Temel takviyesi ve temel altı kazıları, yerel zemin şartlarına çok büyük ölçüde bağlı olan özel inşaatlardır. Benzersiz olmalarından, her bir proje için özel inşaat tekniklerinin kullanılmasının gerekmesinden ve yapım esnasında inşaat riskleri içermesinden dolayı pahalı çözümlerdir [1].

Temel takviyesi, destekleme amacıyla kullanıldığında yeni inşa edilecek binanın kazı işlemi yapılırken mevcut komşu yapının desteklenmesi amacıyla da kullanılır. Eğer komşu yapı temeli yeni inşa edilen binanın temelinden daha üst seviyede ise, kazı işlemi komşu yapının da taşıma kapasitesi dikkate alınarak gerçekleştirilmelidir. Eğer bu çalışmalar sırasında komşu yapı temeli için özel bir iyileştirme işlemi yapılacaksa bu iyileştirme, temel takviyesi olarak adlandırılabilir [2].

Verimli ve etkin çalışma için yasal risk ile ilgili durumlar projenin başlangıcında düşünülmelidir. Tasarım aşamasında da şu hususlara dikkat edilmelidir:

- Piyasa değeri ve etkilenen binaların fırsat maliyeti

- Etkilenen binaların önemi ve hizmeti
- Mevcut temellerin tipi, durumu ve güvenliği
- Etkilenen binaların yapısal durumu
- Tarihi yapılar için koruma yaklaşımları
- Tazminat maliyetleri

Tasarımın ilk aşamasında, bina maliyetleri ve diğer ek maliyetler ile ilgili olarak değişik çözümlerin ekonomik ve nesnel mukayesesi genellikle mümkün değildir. Çok çeşitli teknik incelemeler ve ayrıntılı zemin ve yeraltı suyu araştırmalarının sonuçları inşaat planlaması aşamasında gereklidir. Değişik yöntemlerin uygulanabilirliği bu sonuçlara, etkilenen binanın yapısal performansına ve koruma durumuna bağlıdır. İçerisinde yerleşik binalarda takviye çalışmalarının yapılması durumunda oturanların rahatsızlık düzeylerine dikkat edilerek yöntem seçilmelidir. Ayrıca, inşa süresince ve sonrasında deformasyonların ve yüklerin değişiminin izlenmesi için uygun bir strateji geliştirilmelidir. Temel takviyesi ve temel altı kazıları disiplinler arası bir görevi temsil eder. Bu görev, proje kontrolörü, geoteknik mühendisi, yapı mühendisi, yapının geçmişi hakkında bilgi sahibi olan uzman ve uzman inşaat mühendisi arasında çok yoğun bir diyalog gerektirir [1].

Bir yapının temelinin desteklenmesi yöntemleri aşağıda belirtilen birçok faktöre bağlıdır:

- Temel yükleri: statik ve dinamik, sürekli ve geçici.
- Mevcut temel(ler)in durumu.
- İzin verilebilecek yapısal hareketin tipi ve büyüklüğü.
- Genişletilmiş derin temellerin durumu.
- Temel altı zemin durumları.
- Temel altı yeraltı suyu durumları.
- Civardaki ek yüklerdeki artmalar ya da azalmalar.
- Yapının durumu.

- Temele ulaşım ve kolay yer değiştirebilme.
- Çevresel hasar oluşma olasılığı.
- Yapının genel dengesi (deprem bölgesi ya da heyelan olasılığı)
- Sismik yüklenme

Bütün bu faktörler, projeye uygun temel takviyesi yönteminin seçilmesi aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır [3].

Genel olarak aşağıdaki nedenlerden ötürü temel takviyesi yapılır [4]:

- a) Batma ve yana yatma özelliği gösteren bir yapının desteklenmesi;
- b) Temel seviyesi ya da daha alt seviyede bir kazı yapılması durumunda, yapının olası oturmasına karşı güvenlik tedbiri alınması amacıyla;
- c) Yapının temelinde ya da ana taşıyıcı elemanlarında değişiklik yapılması durumunda yapıyı desteklemek amacıyla;
- d) Bir binanın altına kat ilavesi gibi yapısal değişikliklerden kaynaklanan temeli daha da derinleştirme isteğine destek amacıyla;
- e) Kat arttırımı gibi nedenlerle daha ağır yükleri taşıyabilmesi için temelin genişliğini arttırma amacıyla;

Bir yapının temel takviyesine karar verilmesi aşamasında yapısal sistem hakkında detaylı bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Gerek doğrudan destekleme işlerinde gerekse önce askıya alıp sonra destekleme işlerinde yapı mekaniği ön plana çıkmaktadır [5].

İnşaat metotları ve uygulamalara ilişkin kısıtlamalar, detay çizimleri ile temel takviye yöntemlerine ilişkin özel hususlar bölüm 2 ve 3’de ayrıntıları ile açıklanmıştır.

2. TEMEL TAKVİYESİ VE TEMEL TAKVİYESİ YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

Temel takviyesi çok kapsamlı bir konudur. Eski eserlerin yanında çok sayıda yeni eser de yanlış tasarım, zemin şartlarını doğru değerlendirememesi neticesinde hasara uğramakta ve temelleri ile ilgili takviye ve düzeltme gerektirmektedir. Halen Stockholm, Venedik gibi çok sayıda antik Avrupa şehirlerinde çeşitli eski eser hem üst yapıda hem de temellerde olmak üzere takviye edilmektedir [5].

Eski ve tarihi yapıların yenilenmesi veya bunlara yeni bir işlev kazandırılması için öngörülen değişiklikler, yapı yüklerinin artmasına neden olabilir. Bu durumda temellerin yeni yükleri taşıyabilecek şekilde takviyesi gerekir. İkinci sınıf eski eser olarak ayrılan yapıların dış cephelerinin korunması kaydı ile, içlerinde yapısal değişikliklere izin verilmektedir. Bu gibi değişiklikler ve ilave yükler, önemli temel sorunları çıkarabilmektedir [6].

Ayrıca, yapıların stabilitesinin aşağıda sayılan nedenlerle tehlikeye girmesi halinde, korunması ve iyileştirilmesi için de temel takviyesi gerekebilir [6]:

- a) Komşu arsada yapılan derin bir kazı, sığ temelli yapılarda oturmalar ve temel zemininde hareketlere yol açar. Yapıyı emniyete almak amacı ile temellerin takviyesi ve derinleştirilmesi gerekebilir. Benzer şekilde metro kazıları veya sokak kotunun alçaltılması da temel takviyesini gerektirir.
- b) Mevcut yapıların tadilatında, yapı yüklerinin kaldırılması veya bodrum kazanmak için kazı yapılması sonucu zeminde önemli elastik veya kalıcı deformasyonlar meydana gelebilir ve temellerin takviyesi gerekebilir.
- c) Mevcut yapıların yakınından boru, kanal, tünel v.s. geçirilmesi gibi durumlarda temel takviyesi gerekebilir.
- d) Killi zeminlerde kuruma nedeni ile veya ağaç köklerinden kaynaklanan oturmalar meydana gelebilir. Kurumaya karşı, 1,50~2,00 m. derinliğe inen sığ bir temel

takviyesi yeterli olabilir. Ağaç köklerine karşı ise, temel takviyesi temel sisteminin iyice aşağısına doğru indirilmelidir.

- e) Endüstri devamlı gelişmekte, fabrikalar yeni üretim yöntemlerini benimsemektedir. Bu yöntemlerin getirdiği makinelerin oluşturacağı titreşimlere karşı temellerin takviyesi zorunlu olabilir.
- f) Yeraltı su seviyesinin değişmesinin yol açacağı ilave oturmalara karşı da önlem alınması gerekir.

Değişik nedenler temel takviyesi çalışmalarını gerekli kılabilir, ancak çoğunlukla temeldeki yüklerde statik ya da dinamik artış bir temel takviyesi çalışması için önemli bir nedendir. Yenileme nedeniyle yapı davranış katsayısının değişmesi, kat ilavesi, ağır donanım ilavesi nedeniyle meydana gelen değişiklikler ve diğer yapısal değişiklikler de temel takviyesi nedenleri arasında sayılabilir. Bazı durumlarda binada bir yenileme yapılmasa bile deprem güvenliği ve yönetmeliklerin yeniden gözden geçirilmesi durumlarında, yapının faydalı ömrünün arttırılması amacıyla binada takviye gerekebilir.

Bazı durumlarda temel takviyesi, yapının oturduğu zemin koşullarına bağlı olarak gerekli olmaktadır. Zemin altı dolgusunun zayıf ve iyi sıkıştırılmamış olması, yumuşak kohezyonlu zeminlerin yükleme durumunda konsolide olması, temel altında farklı kalitede zemin varlığı gibi nedenlerden ötürü temel takviyesine gerek duyulmaktadır. Kıyı yapılarında, temel takviyesi yakın iskelenin çürümesinden ve çelik yapıların korozyona uğramasından ya da temeli destekleyen zeminin erozyona uğramasından dolayı gerekli olabilir. Bütün bu problemlerin sonucu genellikle düzeltilemez deformasyonlardır.

Ahşap kazıklar üzerine kurulu binaların yapısal deformasyonu sıkça rastlanılan bir problemdir. Bu deformasyon, yeraltı suyunun hareketi, ahşap kazıkların hava ile teması ya da kazıkla zemin arasındaki sürtünme kuvvetlerinin azalması gibi nedenlerden kaynaklanabilir.

Komşu yapılar mevcut temellerin zemin desteğini azaltabilir, bu durum da temel takviyesi çalışmasını gerekli kılabilir.

Mevcut yapıların temel takviyesi sırasında bilinmeyen çok şeyler olduğunda takviye aşamasında zorluklarla karşılaşmaktadır. Mevcut yapıdaki temeli etkileyen yükün gerçek boyutunu belirlemek çoğunlukla zordur. Tasarım orijinal çizimleri mevcut olmayabilir. Binadaki değişiklik ile ilgili bilgiler ve binanın yaşı boyunca meydana gelen oturmalar genellikle bilinmez ve zeminin taşıma kapasitesinin incelenmesi gereği vardır. Zemin ile ilgili araştırmalar sırasında daha önceden bilinmeyen durumlar ortaya çıkabilir ve bu durum tasarım değişikliklerini gerekli kılabilir. Yapısal araştırmalar sırasında mevcut temel sistemi sorgulanır ve bu sorgulamalar sırasında temel sistemine ilişkin farklı durumlarla karşılaşılabilir [3].

Mevcut yapıların temellerine ulaşım genellikle kısıtlıdır. Bu durum hem araştırmaları yürütmeyi hem de projenin gerçekleştirilmesini zorlaştırır [3].

Çok ender durumlarda ise, yüzey kirlenmesi temel korozyonunu önemli ölçüde arttırabilir.

Temeller ile ilgili takviye gereksinimi aşağıdaki sebeplerden bir veya birkaçının sonucunda ortaya çıkmaktadır [5].

- a) Sıkışabilir zemin katmanlarının farklı kalınlık veya özellikte olması,
- b) Çok sıkışabilir katmanların varlığı,
- c) Yeraltı su rejiminde değişiklikler, su çekme,
- d) Çöken zeminler gibi özel zemin halleri,
- e) Komşu kazılar, tünel kazıları gibi tesirler,
- f) Yalıtım temeli gibi su ile irtibatlı olan zeminlerde dalga hareketinin sonucu olarak oyulmalar ve oturmaları engellemek [6],
- g) Çürüme veya bozuşma (ahşap kazıklar, paslanma, sülfatlı ortamda temeller)
- h) Diğer.

Yapılarda ortaya çıkan hasar genellikle ya tamamen yana yatma ya da farklı oturma sonucu üst yapı elemanlarında çatlama ve ayrılmalar şeklinde olmaktadır.

Geçici bir yöntem olan dondurma tekniği kritik şehir içi takviye işlerinde kullanılmaktadır. Ancak hacim artışından dolayı oluşan kabarmaların takviye işine zarar vermeyecek seviyede tutulması gerekmektedir.

Sonuç olarak, alttan destekleme veya temel takviye işlerinde sığ durumlarda doğrudan kazarak destekleme yöntemleri, kazıklı yöntemler ve enjeksiyon yöntemleri kullanılmaktadır.

Yapısal sistem hakkında detaylı bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Gerek doğrudan destekleme işlerinde gerekse önce askıya alıp sonra destekleme işlerinde yapı mekaniği ön plana çıkmaktadır.

Bu işler sırasında hassas, sık ve devamlı ölçümler çok önem taşımaktadır. Genellikle karakteristik çatlaklar mikro metrik olarak ölçülür. Hassas topoğrafik ölçüm ağı bütün destekleme işlerinde kaçınılmaz bir gerektir. Ayrıca, zemin tabakalarının konumu ve özelliklerinin detaylı olarak bilinmesi diğer çoğu geoteknik işlerde olduğu gibi zorunludur [5].

Temel takviyesi yöntemleri mevcut zayıf zeminin yer değiştirmesi için de kullanılabilir. Temel takviyesi çalışmaları yapılmasına yol açan nedenler aşağıda gruplar halinde verilmektedir:

- **Farklı oturma** : Bu durum binanın düzensiz yük yapısından, ağaç köklerinin ya da kohezyonlu zemin davranışlarından dolayı zemin hareketinin düzgün olmayan direncinden kaynaklanabilir [7].
- **Yükte artma (mevcut yapılarda değişiklik yapılması)** : Eski ve tarihi yapıların yenilenmesi veya bunlara yeni bir işlev kazandırılması için, kat ilavesinden ya da yapıyı farklı amaçlarla kullanma isteğinden dolayı yüklerin artmasından kaynaklanabilir. Bu durumda temellerin yeni yükleri taşıyabilecek şekilde takviyesi gerekir.
- **Koruma amacıyla** : Yapıların stabilitesinin aşağıdaki sayılan nedenlerle tehlikeye girmesi halinde, korunması ve iyileştirilmesi için temel takviyesi gerekebilir [8].

- o **Komsu yapıların temel seviyesi altına inilmesi** : Komsu arsada yapılan derin bir kazı, sıg temelli yapılarda oturmalar ve temel zemininde hareketlenmelere sebep olabilir. Yapıyı emniyete almak amacıyla temellerin takviyesi ve derinleştirilmesi gerekebilir. Benzer şekilde metro kazıları veya sokak kotunun alçaltılması da temel takviyesini gerektirebilir.
- o **Mevcut yapılarda değışiklikler** : Mevcut yapılarda değışiklik yapılması, yapı yüklerinin kaldırılması veya bodrum kazanmak için kazı yapılması sonucu zeminde önemli kalıcı yada elastik deformasyonlar meydana gelebilir ve temel takviyesi gerekebilir.
- o **Tesisat çalışmaları** : Mevcut yapıların yanından kanal, boru, tünel v.s. geçirilmesi gibi durumlarda temel takviyesi gerekebilir.
- o **Zeminde kuruma veya ağaç kökleri** : Killi zeminlerde kuruma nedeniyle veya ağaç köklerinden kaynaklanan oturmalar meydana gelebilir. Kurumaya karşı 1.50~2.00 m. derinliğe inen sıg bir temel takviyesi yeterli olabilir. Ağaç köklerine karşı ise, temel takviyesi kök sisteminin iyice aşağısına doğru indirilmelidir.
- o **Sanayileşme** : Endüstrinin devamlı gelişme sürecinde olması nedeni ile fabrikaların yeni üretim yöntemlerini benimsemeleri sonucunda bu yöntemlerin getirdiğı makinelerin oluşturacağı titreşimlere karşı temellerin takviyesi zorunlu olabilir.
- o **Yeraltı su seviyesinin değışmesi** : Yeraltı su seviyesinin değışmesinin yol açacağı ilave oturmalar karşı da önlem alınması gerekir.

Hangi amaçla kullanılırsa kullanılsın temel takviye yöntemine karar vermeden önce; sondajlar, deneme çukurları ve numuneler üzerinde yapılacak laboratuvar deneyleri ile dikkatli bir zemin incelemesi yapılmalıdır [8].

Yukarıda yapılan genel açıklamalar çerçevesinde mevcut temellerin oturmalarını önlemek ve davranışlarını kontrol etmek için kullanılan yöntemlerin üç ana grupta ele alınabileceğı ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemleri şöyle özetleyebiliriz.

1. **Geleneksel temel takviye yöntemleri.** Bu yöntem ile temelin genişletilmesi ve/veya derinleştirilmesi yoluyla temel davranışının iyileştirilmesine çalışılır.
2. **Zemin iyileştirme esasına dayalı yöntemler.** Temel zemini, çimento enjeksiyonu, kimyasal enjeksiyon veya “jet grouting” kullanılarak iyileştirilir.
3. **Temel yüklerini derindeki taşıyıcı tabakaya aktarmak için kullanılan yöntemler.** Bu amaçla çakma kazıklar, itmeli kazıklar, mini kazıklar, jet grout kolonları kullanılır [8].

2.1 Geleneksel Yöntemler

Temel takviyesinde ilk akla gelen yöntem, kazı yapılması ve mevcut temel altında bir beton kütlesi oluşturulmasıdır.

Bu yöntem, kazı derinliğinin fazla olması veya yeraltı suyunun meydana getirdiği sorunlar nedeni ile her zaman ekonomik olmayabilir. Ya da yapı yükleri çok büyüktür, bir ilave beton kütlesi kabul edilemeyecek oturmalara neden olabilir [8].

Sığ takviye olarak da adlandırılan bu yöntemde genellikle en fazla 4-5 m derinlikte ve yeraltı su seviyesinin daha düşük olduğu hallerde yapının altına planlı bir şekilde kazarak girip yeni temel ve/veya değişiklikleri yapmak şeklindedir. Genellikle duvar altlarına bir işçinin çalışabileceği en dar çukurlar ile ve ano ano çalışarak ve 2-3 ano atlayarak yapılır (örneğin DIN 4123). Duvar veya sömeller önce geçici desteğe alınır ve bilahare yeni temel sistemi inşa edilir. Yapının ve takviyenin nedenlerine göre çeşitli yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu gruba yatayda delerek veya boru sürerek elde edilen yatay ızgara takviye tipini de dahil edebiliriz [5].

Geleneksel temel takviyesi 1972 DIN 4123 normuna göre kazı ve temel takviyesi alanındaki bina güvenliğinin sağlanması şeklinde tanımlanmıştır [9].

DIN 4123 normu mevcut binaların yanında kohezyonsuz ya da kohezyonlu zeminlerde yapılan kazı ve temel işleri için geçerlidir. Geçerli olduğu durumlar [9]:

- Beş tam kattan daha fazla olmayan mesken ya da büro binalarında ya da aynı yükseklikte temelleri de benzer yapılarda,

- Temel takviyesi bölgesi dışında mevcut binaların sürekli temel ya da radye temel üzerine inşa edilmesi durumunda ve temel takviyesi yapılacak duvarların panel olarak etki etmesi durumunda,
- Planlanan kazının etki alanı içerisinde temelin gittikçe daha fazla düşey yüklerin etkisi altında kalması durumunda,
- Yeni kazının mevcut arsa yüzeyinden 5.00 m'den daha derinde gerçekleşmesi durumunda.

Yumuşak kohezyonlu zeminlerde ve belirgin kohezyon özelliği olmayan daneli kuru kumlarda ve çakıllarda klasik temel takviyesi yöntemi uygulanmamalıdır.

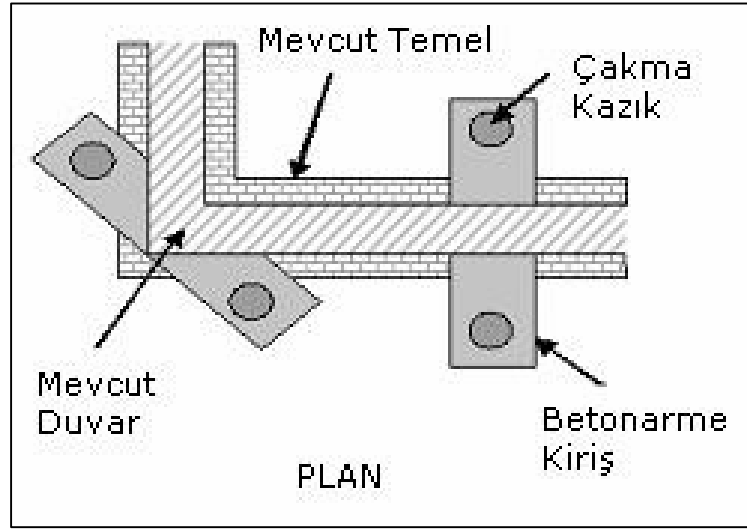
Mütemadi (sürekli) bir sömelin takviyesi için temelin altı, anolar halinde kazılır. Desteksiz bırakılabilecek mesafe, usulüne göre inşa edilmiş tuğla duvarlarda 1.50~2.00 m'yi geçmemelidir. Herhangi bir aşamada desteksiz kalacak uzunluk, yapı uzunluğunun dörtte birinden fazla olmamalıdır [8].

Betonlama, mevcut temelin 5~10 cm. altına gelene kadar sürdürülmeli, betonun prizi ve çekmesi beklenmelidir. Daha sonra kuru harç ile tam temas sağlanır. Bazen aradaki boşlukların çimento enjeksiyonundan yararlanılır [8].

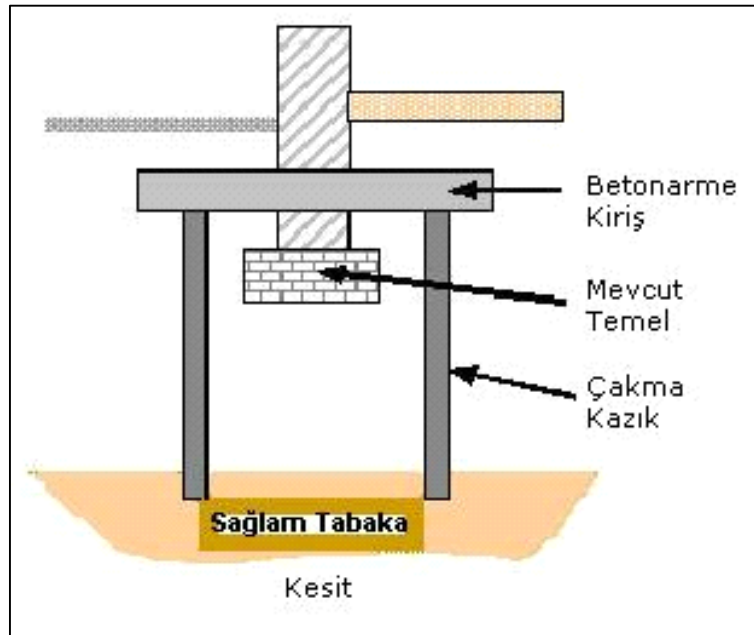
Bir uygulamada; münferit sömeller üzerine oturan kooperatif binalarının hemen yakınından yol geçmesi nedeni ile, 5~6 m. derinliğinde kazı yapılması sonucu, stabilitesinin bozulmasını önlemek için yol seviyesinin altına inen kuyu ayaklarla başarılı bir temel takviyesi yapılmıştır. Her sömel dört ano halinde takviye edilmiş, mevcut temel ile ayak arasındaki boşluk plaka sokularak sıkılanmıştır [8].

Bir temelin oturmaya devam etmesi halinde, alttan tutulması (desteklenmesi); normal olarak sürekli olan temel kütlesi içinde açılacak deliklerden getirilecek çelik ve betonarme kirişlerin iki ucundan kazıklarla desteklenmesi ile sağlanır (Şekil 2.1 ve 2.2).

Genellikle taşıma gücü azalmış temelerde bu tür bir önlem çok zordur.



Şekil 2.1 : Kazık ve kavrama kirişi ile temel takviyesi uygulanması (Plan)



Şekil 2.2 : Kazık ve kavrama kirişi ile temel takviyesi uygulanması (Kesit)

Bu tür temelerde uygulanabilecek daha sağlıklı bir yöntem, temeli iki taraftan kavrayan, temel doğrultusunda atılmış kirişlerle bir kazık ızgarasına oturtmaktır. Bu iki kiriş, bütünlüğü sağlamak amacı ile, temel kütlesine iyice bağlanmalıdır. Gerektiğinde, eski kütlesi de enjeksiyonla iyileştirilmelidir. Bu tür bir işlem için de, çeşitli uygulama yöntemleri vardır. Zemin iyi durumda ise, bazı hallerde kazık

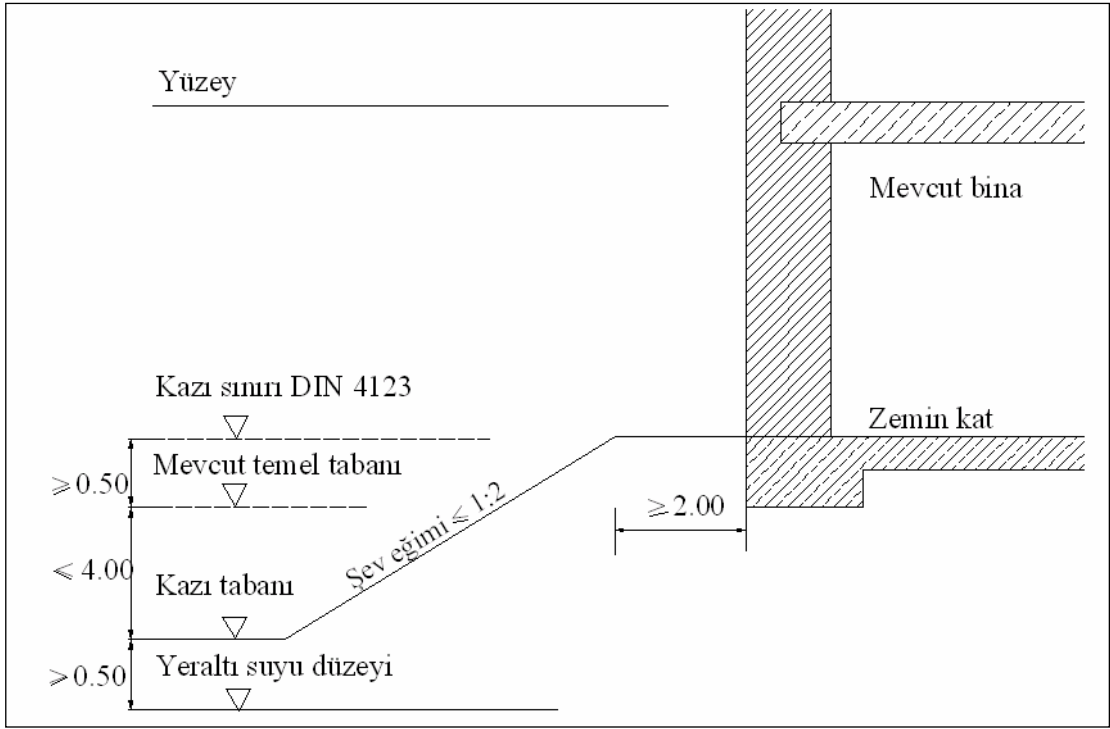
yapmaktan vazgeçilir. Bu durumda yalnız kirişler temelin bir parçası imiş gibi çalışarak temelin taban alanı genişler ve yükler geniş bir alana yayılır. Kazıklara gerek duyulması halinde de, kavrama kirişlerinin önüne kazık yerleştirilir. Kazıklar, fore tipi olarak düzenlenir. Bu tür bir yapım yöntemine göre, zemine açılan deliğe donatı konduktan sonra, kazık boşluğu betonlanır. Yapı hasarlarının, temel zeminin yanal hareketinden oluşturduğu zannedildiğinde de temelin iki yanına palplanş çakılması mümkündür. Farklı bölümlerin birbirine iyice bağlanması da çok önemlidir. Bunu garantilemek için de, verenler yardımı ile yapı içinde bir öngerilmenin uyandırılması gerekir. Bu öngerilme ile de, yüklerin istenildiği biçimde dağılımı sağlanır ve yapının hareketleri azaltılmış olur [10].

Geleneksel yöntemlerle temellerin takviyesi yüzyıllardan beri kullanılmaktadır ve günümüzde de kullanılmaktadır. Bu yöntem, mevcut yükleri temel altındaki zeminden çekmek ve betonarme ya da “shim packing grout” ile değiştirme yoluyla mevcut temellerin genişletilmesi ya da derinleştirilmesi esasına dayanır. Bazı durumlarda, yapı geçici olarak desteklenerek oturma engellenmiş olur. Temel takviyesi inşası, elle kazma ve ulaşması sınırlı mekânlara girmeyi gerektirir. Böylece temel altında boşluklar yaratılabilir ve betonarme tesis edilebilir ve ana yapının deformasyonunu engellemek için bir dizi işlem gerçekleştirilebilir [8].

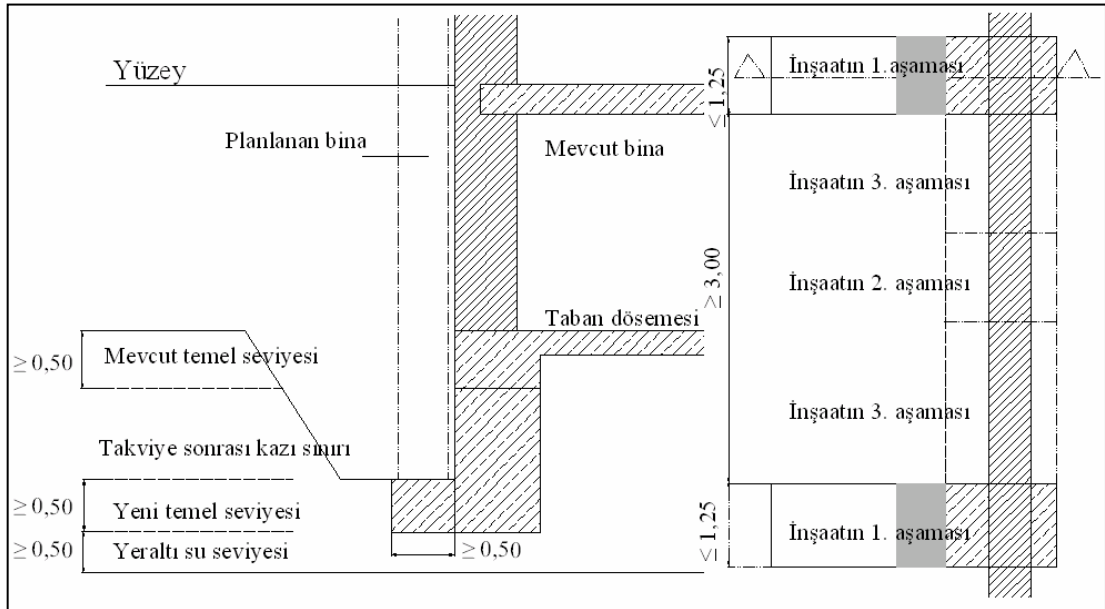
Temel altında kazı yapılması yöntemi uzun bir geçmişe sahip olmasına rağmen ortalama yapı deformasyonu ve güvenli olmayan çalışma koşulları sağlar. Son 20 yıl boyunca, birçok temel takviyesi yöntemi daha az deformasyona neden olmuş ve daha hızlı, daha ucuz ve güvenli sonuçlar vermiştir.

Yeni yöntemlerin ortaya çıkması ile birlikte, temel takviyesi sadece yük transferi ile değil, zemin işlemleri ile ya da her iki mekanizmanın birleştirilmesi ile de gerçekleştirilebilir. Yük transferi yöntemleri, yapısal yükleri destek için daha uygun bir alt tabakaya transfer ederler. Zemin işlemleri ise, mevcut zemini değiştirmeden ancak zeminin fiziksel özelliklerini değiştirerek zeminin güçlenmesini ve daha destekleyici olmasını sağlarlar. Bazı durumlarda, temel işlemleri hem temeli güçlendirmek hem de yükleri transfer etmek için kullanılırlar [3].

Sadece dış duvarların temel takviyesi gibi binanın sadece bir bölümünün temel takviyesinin söz konusu olduğu durumlarda, temel altındaki zemin kazılır. Daha



Şekil 2.4 : DIN 4123'e göre kazı yapılmasının sınırlamaları



Şekil 2.5 : DIN 4123'e göre temel takviyesinin adımları ve inşaat boyutları

Özellikle eski yerleşim bölgelerinde, yerel dolgular, eski kuyular ya da eski temeller ya da tarihi temeller gibi beklenmeyen durumlarla karşılaşılabilir. Eski ve tarihi binaların temel takviyesi için, yük transferi ile ilgili deneyim gerekli olmaktadır [1].

Zeminin kararlı durumunda yüzeysel temellerin alt seviyelerinde, temel takviyesinden tamamen sakınmak ya da geniş derin kazı yapmak gibi bir seçenek bulunmaktadır. Mevcut yapı temellerinin taşıma gücünün üst seviyelerinde yüklenmeleri durumunda yapının hasar görmesi riski bulunmakta olup, bu seçenek ancak uygun bağlantı yapılarına sahip taş yapılarda mümkün olabilir. Bununla birlikte, kısmi olarak ayrılmış ve aşınmış kayanın olduğu sert zeminlerde mali nedenlerden dolayı temel takviyesi yerine zemin çivileri yeterli olabilir [1].

Temel takviyesi çalışmaları nedeniyle, hareketlerin etkilerinin akışı geçici ya da sürekli olarak değişir. Bir hazırlık çalışması olarak, yapı bölümlerinin güçlendirilmesi ve koruyucu temel takviyesi belli durumlarda uygun olabilir. Geçici destek yapıları ve duvarların ankrajı da gerekli olabilir. Bu tür çalışmaların seçiminde yapısal performans ve temel takviyesi, yapılacak yapının gerçek durumu ve oturmaların uygunluğu önemli karar faktörleridir.

Benzer olarak, taşıma kapasitesi ve oturmanın uygunluğu da temel takviyesi bölümlerinin ölçüsünü ve sırasını belirlemektedir. Diğer bir kural ise Şekil 2.3’de görülebileceği gibi temel takviyesine, en fazla yük alan duvarlardan ve köşelerden başlanması gerektirir.

Sabit destekler, temel takviyesi bölümünün kenarlarında bulunmaktadır. Yapının iç bölümlerinde yapılan temel takviyesi, inşa sürecinde takviye edilmiş olan duvarın kenar kısmına statik bir destek sağlar. Temel takviyesinde kullanılan panel duvarlar için, DIN 4123 standardı maksimum $b = 1.25$ m genişliğine izin verirken İngiliz standardı BS 8004 ise $b = 1.4$ m’ ye kadar olan bir genişlik önermektedir. Temel kenarlarında yapılan ilk kazı boşluğu için DIN 4123 $e = 3b$ değerini önermektedir. Uygulamada bu genişlik duvarın toplam boyu, temel takviyesinin derinliği, ulaşılabilme, pencere açıklıkları, temel takviyesi yapılacak duvarın durumu gibi yerel özelliklere ve mevcut inşaat yöntemlerine bağlıdır. Ayrıca, temel takviyesi yapılacak duvarın denge durumu da dikkate alınmalıdır. Önerilen maksimum değerlerden farklı olarak, bir duvarın taşıma kapasitesinin %20 sinden fazlasına zorlanmamalıdır [1].

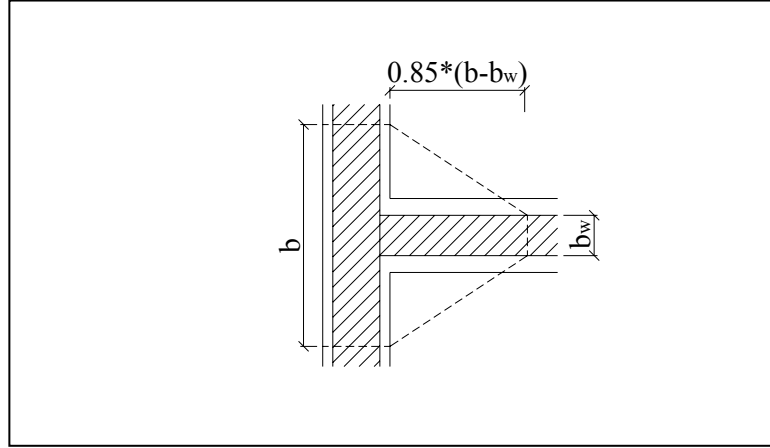
Temel takviyesi duvarı için önerilen yapı malzemeleri dolu tuğla, veya beton briket yada minimum C25/30 kalitesinde betondur. Bağlantı yerinde iyi bir temas sağlayabilmek için temelin alt seviyesinden 50 cm kadar yukarıda imalat devam ettirilmelidir. Böylece taze betonun hidrostatik basıncı ile iyi bir bağ sağlanmış olur. İlave olarak yapılan takviye elemanı ile mevcut temel yapısı arasında yaklaşık 80 mm. boşluk bırakılması yapının oturması yönünden önemlidir. Bu boşluk daha sonra özel hazırlanmış olan kimyasal bağlayıcılar ile doldurulmalıdır. Oturmanın gerekenden fazla olacağı beklentisine karşılık takviye elemanına hidrolik desteklerle ön gerilme verilebilir. Yük dağıtma kirişi (çelik profil) temel ile temel takviyesi için yapılan duvar arasına yerleştirilir. Daha sonra, temel takviyesi duvarına tahmin edilen yüke ulaşınca kadar ön gerilme verilir. İlk oturmalardan sonra, yüklenmiş duvar çelik millerle sabitlenir, hidrolik ön gerilme elemanı çıkarılır ve boşluk yukarıda bahsedilen şekilde doldurulur [1].

Temel takviyesi duvarlarının kalınlığı temel genişliği ile uyumlu olmalıdır. Beton temel takviyesi duvarı kullanılması durumunda, duvar ölçüsü orijinal duvarın kalınlığına eşit olabilir. Bu durumda yükün merkeze etkimesi ve iletilmesi dikkat edilmesi gereken konular olmaktadır. Kohezyonlu zemin durumunda gerekirse temel genişletilebilir.

Duvarın sadece bir bölümüne temel takviyesi yapılırsa, kenarların kademeli olarak dönülmesi yaklaşımı önerilmektedir. Böylece, esas temel ile temel takviyesi duvarı arasındaki beklenen göreceli oturmalar mümkün olduğunca üniform tutulabilir. Bu öneri, köşeler ve temel takviyesi yapılacak binanın çapraz duvarları için de geçerlidir. Kazı sırasında rampalar meydana geliyorsa, temel takviyesi bölümleri Şekil 2.3' de olduğu gibi kazıdan sonra gerçekleştirilebilir. Bunun için homojen, iyi taşıma kapasitesine sahip alt temel ön şarttır. Özellikle, temel takviyesinin kenarlarındaki düşey destekleme ile, üst üste gelen köşe elemanları kullanılabilir. Göreceli oturmaların üniform olması avantajı ile temel altının yanal ötelemesi dezavantajı karşılaştırılmalıdır [1].

Temel takviyesi duvarının kesme gerilmesine bağlı olarak, aşırı yüklenmiş duvar bölümlerinin altında kolon takviye sistemi alternatif olarak düşünülebilir. Herhangi bir temel takviyesinin tasarımı sırasında, temel takviyesi duvarları arasında uygun bir ilişki olup olmadığı ve yüklerin çapraz duvarlar tarafından ne kadar taşındığı kontrol

edilmelidir. Bu durumda, statik açıdan yeni temel takviyesi elemanına dik konumdaki duvarlarına komşu köşe bölgesinin temel takviyesi ile başlamak uygun olabilir. Şekil 2.6’de kesişme bölgesi temel takviyesine ilişkin detay gösterilmektedir.



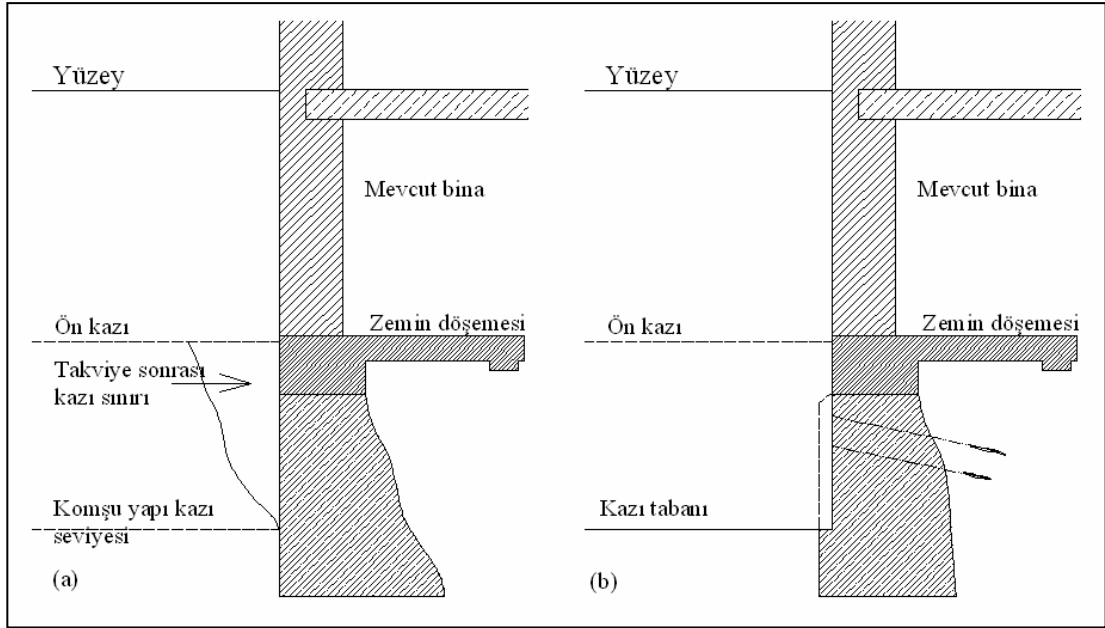
Şekil 2.6 : Temel takviyesi elemanının mevcut duvara bağlantı detayı

Genel olarak, mevcut binanın temel takviyesinin inşası koşullarını içeren stabilite analizi göz önünde bulundurulmalıdır. Mevcut binanın izin verilen temel basınçları aşılmamalıdır. Kısmi temel takviyesi yapılması ile ilgili olarak, Alman standartlarına göre, sınır koşullarının sağlanması ve taşıma kapasitesi ve kayma ile ilgili risklerin kontrol altında tutulması durumunda zeminin statik analizi ihmal edilebilir. Bu durum, sürekli yükün 1.3 katından daha az temel basınçlarının olduğu tasarım değerlerinde de geçerlidir. Bununla birlikte, tam kazı yapılan tamamlanmış temel takviyesi duvarının stabilite analizi için, sürekli yüklerle ilgili tasarım durumu analiz edilmelidir. İnşaatın aşamalarına ilişkin varsa diğer tüm sınırlamalar da göz önünde bulundurularak işin gerçekleştirilebilirliği son bir kez daha doğrulanmalıdır. Çok basit durumlar dışında, hizmet verilebilirlik limiti de dikkate alınmalı ve oturma tahmin edilmelidir (Şekil 2.4 ve 2.5) [1].

2.2 Zemin İyileştirme Esasına Dayanan Yöntemler

Geleneksel bir yöntem olan kısmi temel takviyesine karşılık, temelin altındaki zeminin önceden stabilize edildiği ve sertleştirildiği durum Şekil 2.7’de

gösterilmiştir. Uygulama sürekli temellerle sınırlandırılmamıştır, kolon altı temellerde de grouting ve katılaştırma yöntemleri ile temel takviyesi yapılabilir ve hasarlı temeller güçlendirilebilir ya da korunabilir. Ancak, temel altında uygulama yapılacak bölgenin belirlenmiş olması bu yöntem için ön koşuldur. Bu yöntemin ilginç yönü, temel takviyesi amacıyla yapılan duvar için açılmış olan çukura sızdırmazlık özelliği sağlamasıdır [1].



Şekil 2.7 : Zeminin konsolide olması durumunda temel takviyesi

a) ağırlık duvarı b) ankrajlı duvar

1970’li yılların başından beri, prEN 12715’e göre zemin içerisindeki boşluklara enjeksiyon yapılması metodu kohezyonsuz zeminlerin temel takviyesinde kullanılmaktaydı. Hidrolik bağlayıcılar süspansiyon şeklinde çakıllı zeminlerde, silikat tabanlı değişik kimyasallar ise kumlu zeminlerde kullanılmaktaydı. Özel bir uygulama olarak, ultra ince çimento kullanılmaktaydı. Çatlak enjeksiyonu sadece zeminin sertleştirilmesi amacıyla üretilmiş olup, bu yöntem ile belirli bir temel takviyesi yapısı elde etmek mümkün değildir. Günümüzde zemin sertleştirilmesi kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde özellikle jet grouting yöntemi kullanılarak mümkün olmaktadır. En uygun yöntemin seçiminde zemin ve yeraltı suyuna ek olarak ulaşılabilme, uygun çalışma alanı, uygulama süresi ve temel takviyesi yapılacak yapının durumu gibi etkenler önemli olmaktadır [1].

Boşluk enjeksiyonu ve jet grouting teknikleri ile, temel altında özellikle trapezoidal kesitli sürekli bir sertleştirme yapmak mümkün olmaktadır. Kesin ölçüler temelin geometrisine, inşaat kazısına ve de statik gerekliliklere bağlıdır. Temel takviyesi duvarının ön kısmı ana yapı cephesi ile aynı hizada olmalıdır. İnşaat sürecinin bir parçası olarak enjeksiyon bölgesinin genişletilmesi gerekli olabilir. Kazıya yapılan destek stabilite nedenlerinden dolayı faydalı olabilir, ancak komşu temellerin destek koşulları ile ilgili bir dengesizlik yaratabilir [1].

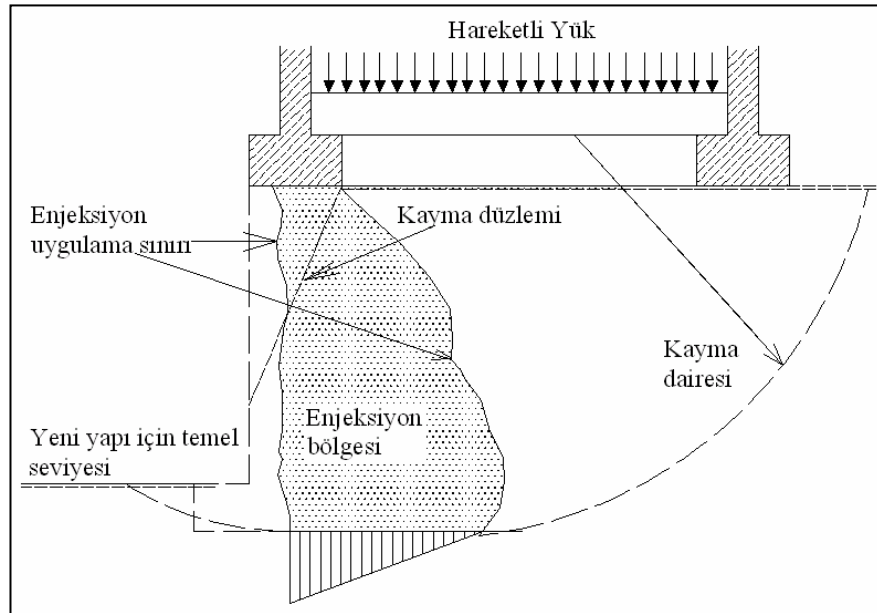
Geleneksel temel takviyesi uygulamasında olduğu gibi, Jet grout temel takviye elemanı da sabit yükler ve binaya etki eden toprak basıncının etkisi altında bulunmaktadır. Bu yöntemin yeraltı suyu seviyesi altında uygulanması durumunda, su basıncı da etki edebilir. Bu durumda, seçilen yöntem ve malzeme sadece istenen sertleşme amacıyla değil aynı zamanda geçirimsizlik sağlaması amacıyla da tasarlanır. Geleneksel temel takviyesi yönteminde olduğu gibi, takviye amaçlı ağırlık duvarı ve mevcut temelin taşıma gücü birlikte değerlendirilmelidir (Şekil 2.8).

Kayma, eğilme, egzantriklik, taşıma gücü ve izin verilen taban basıncı kontrol edilmelidir. Temel takviye elemanı hareketli yükün en büyük değerine göre, kaymaya karşı direnç bakımından tahkik edilmelidir. Deplasman analizi de gerekli olabilir. Beton paneller ile yapılan temel takviyesine karşılık zemin sertleştirilmesi için bir gerilme analizi yapılmalıdır. Ankrajsız temel takviyesi yapılarında düzgün sertleştirme için $\sigma_D = 1.5 \text{ Mpa}$ ve ankrajlanmış duvarlar için $\sigma_D = 3 \text{ Mpa}$ hedef değerleri yeterli olmaktadır. Dayanıklılık testleri için duvardan alınan silindir ya da küp numuneler tek eksenli basınç testlerinde kontrol edilmelidir [1].

Kimyasal enjeksiyon ile gerilmeler, sürtünme ve sıyrılma koşullarında kontrol edilmelidir. 2 m. derinliğinden başlayarak enjeksiyon ve harç kullanılarak temel takviyesi desteği sağlanmalıdır, bu durumda genellikle zemin ankrajları kullanılır. Statik kuvvetler ve destek kuvvetinin temel takviyesi yapısına iletimi dikkate alınmalıdır. Boşlukların enjeksiyon ile doldurulması yöntemi ile zeminde sürtünme açısının sabit kalacağı ve granül yapı içerisine enjekte edilen malzeme nedeniyle granüller arasında kohezyonun artacağı varsayılabilir. Limit durumda aktif toprak basıncı ve kayma düzlemi ilişkisi Şekil 2.8' de görülmektedir. İzin verilen kayma gerilmesi $\tau = 0.2 \sigma_D$ formülü ile değerlendirilebilir [1].

Grouting yöntemi kullanılarak yapılan temel takviyesinin tasarımı sırasında verilmesi gereken önemli kararlar; en uygun enjeksiyon karışımının seçimi, enjeksiyon basıncı ve sondaj yapılan delikteki boşluk miktarıdır.

Kimyasal enjeksiyonların kullanılması durumunda, dayanıklılık ve çevreye uyum gibi özellikler çalışmalara başlanılmadan önce iyice araştırılmalı ve enjeksiyon malzemesinin çevresel etkileri dikkate alınmalıdır. 1980’li yıllarda bazı kimyasal enjeksiyon bileşiklerinin yeraltı suyunda çözüldüğü anlaşılarak yeraltı suyu kirlenmesine engel olmak amacıyla kimyasal enjeksiyon kullanımına sınırlamalar getirilmiş ve yasaklama konulmuştur (örnek: Japonya).

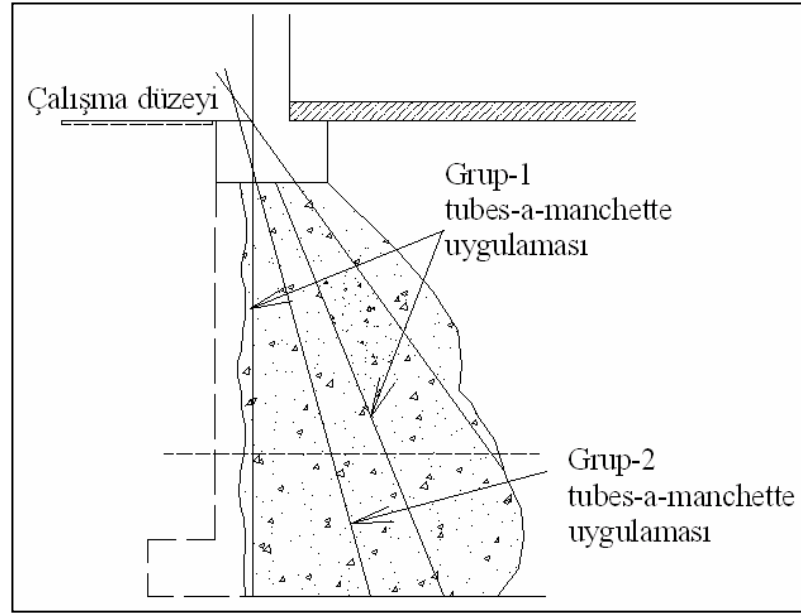


Şekil 2.8 : Enjeksiyon ile temel takviyesi sisteminin statik hesap verileri

Şekil 2.9’de silikat jel ile yapılan enjeksiyon sırasındaki sondaj deliği düzenlemesi görülmektedir. Boşluk ve eğim tahmini kapsama bağlıdır ve bu kapsam enjeksiyon malzemesine, zeminin granüler yapısına ve enjeksiyon basıncına bağlıdır. Her nozül için enjeksiyon malzemesinin miktarı sertleştirilmiş hacmin tasarlanmış şeklini elde etmek için eşleştirilir. Enjeksiyon sırası her durum için önceden tanımlanmış boşlukları doldurmak ve temelde tam bağ sağlanacak şekilde seçilmelidir. Başlangıçta, tubes-a-manchette’in dış nozulları ve daha sonra çekirdektekiler çalıştırılır. Bir birim iyileştirilecek zemin için gerekli olan sondaj deliği miktarı

enjeksiyonun kalitesini ve maliyetini önemli ölçüde etkilemektedir. Enjeksiyon yöntemi ile yapılan temel takviyesinde deneyim şarttır [1].

Temel takviyesi yapısının ön kısmındaki kazı işin başlangıcından birkaç gün sonra gerçekleştirilebilir. Kazı işlemi sırasında, bir uzman tarafından olası zayıf noktaların keşfi ve gerektiğinde yeniden enjeksiyon kararının verilmesi gerekebilir. Test ve gözlemlerle temel takviyesi yapılmış hacmin bütünlüğü kontrol edilmelidir.



Şekil 2.9 : Enjeksiyon için tube-manchette ve nozul uygulaması

Grouting yönteminin uygulama kısıtları özellikle temel altındaki homojen olmayan zemin yapısı tarafından belirlenir. Kötü derecelenmiş zemin tabakaları, geri doldurmalar, tabakalaşmalar ve eski yapıların kalıntıları, ölçüleri ve yerleri ile tam olarak önceden bilinmelidir ve böylece enjeksiyon süreci boyunca enjeksiyon basıncı ve işlem sırası açısından ön tahminler yapılması mümkün olabilmelidir. Karşılaştırma yapılması bakımından, jet grouting yöntemi homojen olmayan durumlara karşı daha toleranslıdır ve daha kısa uygulama zamanı gerektirir. Bu yüzden jet grouting yöntemi birkaç istisna dışında temel takviyesi işleri için tercih edilen bir yöntemdir.

Tek aşamalı jet grouting çimento hamurunun akışkan jeti olarak kullanıldığı ve böylece zeminin parçalanmasının ve çimentolaşmasının gerçekleştiği bir süreçtir. İki aşamalı jet grouting yönteminde ise, sürecin gerçekleştirilmesi için ikinci bir akışkan ile birlikte sıkıştırılmış hava kullanılır. Bu durumda, enjekte edilmiş enjeksiyon hamuru dairesel bir hava jeti ile çevrelenmiştir. Havanın koruyucu görevi ile belirli bir zemin tipi için enjeksiyon basıncı uzaklığını artırır. Üç aşamalı jet grouting yönteminde ise zemin önce yüksek enerjili su jeti tarafından kesilmekte ve daha sonra ayrı bir nozülde düşük enjeksiyon basıncı altında katılaşmaktadır. Bu süreçte, sıkıştırılmış hava desteği de sağlanabilir. Çimento hamuru kullanılmadığı durumda, bu aşamaları ön enjeksiyon fazı ile desteklemek de mümkündür. Ön enjeksiyon fazı delme işlemi sırasında gerçekleştirilir ve kendi kendini düzenleyen bir işlemdir. Bitmiş kolondaki zemin oranı, derecesine ve uygulama tekniğine göre %10 ile %60 arasında değişmekle birlikte ortalama %25 civarındadır. Temel takviyesi ve su yalıtımı aralığı için ortalama çapları kohezyonlu zeminlerde 0.60 m'den çakılda 1.80 m'ye kadar değişebilmektedir. Zemin-çimento karışımının bir kısmı delgi elemanı çevresindeki dairesel boşluktan yukarıya iletilir ve daha sonra depolandığı ya da geri dönüşüme uğratıldığı çalışma platformuna getirilir [1].

Yüzeye çıkan artık malzemenin gözlenmesi, jet akım hızının kontrolü yanısıra oluşan elemanın kalitesi ve geometrisinin kontrolü açısından da önemlidir. Jet Grouting imalatında kalite parametrelerinden birisi elemanın homojenliğidir.

Kohezyonsuz zeminlerde kesme direnci zeminin yoğunluğu, surşarjı ve dane ölçüsünün dağılımı ile belirlenir. Kohezyonlu zemindeki önemli faktörler, kohezyon, tutarlılık ve plastikleştirme gibi özelliklerdir. Uygulayıcı tarafından seçilen parametreler süspansiyon kompozisyonu ($W/C \sim 0.5$ to 1.5), nozüldeki basınç, akış oranı ve delme stringinin kaldırma ve dönme hızı gibi parametrelerdir. Büyük sahalarda ve çok özel sorunların beklendiği sahalarda, en uygun parametreler test kolonlarından değerlendirilmelidir.

Enjeksiyon yöntemi ile yapılan temel takviyesi sırasındaki inşaat riskleri sondaj deliği sapmalarından, elemanların uzunluğu ve çapındaki sapmalardan ve jet grouting kolonlarının çok yüksek ya da çok düşük gerilmelerinden kaynaklanmaktadır. Bu tür hatalar; temel ve temel altı hakkında tam bilgi sahibi olunması ve süspansiyonun gözlemlenmesi gibi yöntemlerle bertaraf edilebilir.

Kesme çapını doğrulamak ile ilgili yöntemler test aşamasındadır, ancak pratikte istenen etkiyi henüz yaratamamıştır.

Temel altındaki boşlukların enjeksiyon ile doldurulması işlemleri sırasında temel altı malzemesi yk etkisine maruz olduğundan başlangıçta yerel olarak sıvılaşır ve daha sonra katılaşma sırasında daha fazla dayanıma ulaşır. Uygulamanın zayıf olduğu durumlarda bu husus oturmaya ve komşu bölgelerdeki temelin kabarmasına neden olabilir. Komşu elemanların çok hızlı bir şekilde inşa edilmesi durumunda ana yapıdaki oturma ve kesme çatlamaları ortaya çıkar. Temel yükünün bir kısmı henüz sertleşmiş komşu zemin bölümlerine ve elemanlarına taşınmalıdır. Bu yüzden grouting düzenini ve uygulamanın sırasını değerlendirirken potansiyel gerilim dağılımını ve temel ile uyumluluğunu dikkate almak gerekir. Kolon altı temellerin takviyesinde geçici egzantriklikler ortaya çıkabilir. şerit temellerin temel takviyesi durumunda i komşu duvarların ve bina köşelerinin de temel takviyesinin yapılmasının gerekli olup olmadığı incelenmelidir [1].

Kabarma ile ortaya çıkan hasar artık zemin-imento kitlelerin kontrol edilememiş geri akışından ve çok yüksek enjeksiyon basıncından kaynaklanmaktadır. Bu durum sadece temelleri etkilemez. Daha az yüklenmiş temel dşemelerindeki çatlaklar tipik bir hidrolik kaldırma riski ile birleştiğinde çok tehlikeli olabilir. İnşaat sürecince basınç, miktar, oran gibi değerlerin sürekli kayıt edilmesi ile bu tehlikelerden sakınılabılır.

şekil 2.10 ve şekil 2.11’de temel takviyesi yapılan bir meskende enjeksiyon yönteminin kullanılışı görülmektedir. Temel altındaki zemin çok heterojen bir yapıda olup, kumlu, taşlı, çakıl tabakası üzerinde siltli ve taşlı dolgu zemin içermektedir. Ortalama yeraltı suyu kazı tabanından yaklaşık 1m. kadar yukarıdadır.

Temel takviyesi duvarı 9.30 m yüksekliğinde ve kazı sırasında  kademedede ankraj uygulanmıştır. Profil optimizasyonu yapmak için kesit tekli, çift ve yarım kolonlarla sağlanmıştır. Yarım kolonların tesisi için, sadece 180°’lik bir bölüm enjekte edilmiştir [1].

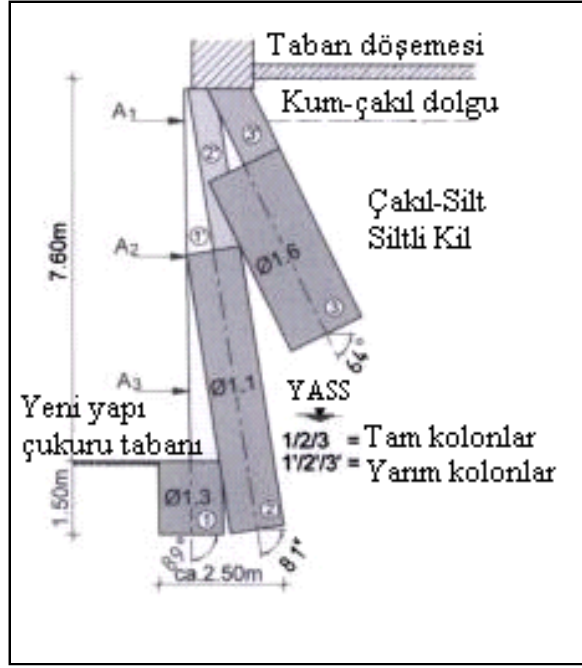
İNşaat risklerine rağmen, eğer özellikle taşıma ve geçirimsizlik fonksiyonları bir arada isteniyorsa, bu yöntem temel takviyesi ve koruma amaçları ile rutin bir yöntem olarak önemini korumuştur. Yöntemin başarısı önemli ölçüde esnekliğine ve kısa

uygulanma zamanına bağılıdır. Bu kısa uygulama zamanı ayrıca ekonomik bir avantaj sağlamaktadır. Tekniğin daha da iyileştirilmesi ve denetlenmesi kalite kontrolünün iyileştirilmesi amacı ile yapılmalıdır.

Bir yandan başarılı uygulamalara ait yayımlanmış raporlar ve bir yandan da ciddi hasarlar kalite kontrolünün hem tasarımcılar hem de uygulamacılar yönünden önemini arttırmaktadır [1].



Şekil 2.10 : Mesken binası için enjeksiyon yöntemi ile temel takviyesi yapılmasına ait örnek uygulama



Şekil 2.11 : Mesken binasının temel takviyesi için tam ve yarı kolon düzenlemesi

2.2.1 Enjeksiyon yapılması

Temel mühendisliği açısından enjeksiyon yöntemi temel takviye çalışmalarında önemli bir yer tutmaktadır. Enjeksiyon ile zemin iyileştirilmesi genellikle zemin içerisinde teşkil edilecek inşaat mühendisliği yapıları ve maden projeleri için kullanılmaktadır.

Temel zemininin veya ana kayanın kayma mukavemetini arttırmak ve geçirgenliğini azaltmak amacıyla kaya veya zemin içerisine basınç altında çeşitli bileşimdeki karışımların basılmasına “Enjeksiyon” adı verilmektedir [8].

Enjeksiyon malzemesinin zemin formasyonuna penetre olabilmesi için enjeksiyon karışımında kullanılan malzemenin dane çapının, enjeksiyon yapılacak zemin içerisindeki mevcut boşluklardan daha küçük olması gerekmektedir [8].

Enjeksiyon teknikleri enjeksiyon malzemesinin zemin içerisine yerleştirilme biçimine bağlı olarak değişmektedir. Fakat enjeksiyon malzemesinin özelliğine bağlı olarak da (çimento enjeksiyonu veya kimyasal enjeksiyon) bir ayırım yapılabilir.

2.2.1.1 Enjeksiyonun tarihçesi

Enjeksiyon yöntemiyle zemin iyileştirilmesi 19. yüzyılın başından beri bilinmesine rağmen ilk ciddi gelişmeler yirminci yüzyılın başında ortaya çıkmıştır. İlk enjeksiyon uygulaması Fransa'da Dieppe de Charles Berigny tarafından 1802 yılında yapılmıştır. Berigny, gelgit sonucu dalgaların aşındırmış olduğu bir köprü ayağının temelini, puzolanlı çimento ve su karışımından oluşan süspansiyonla, açmış olduğu enjeksiyon deliklerine enjeksiyon yaparak takviye etmiştir.

İlk başlarda enjeksiyon malzemesi olarak kil, puzolan ve hidrolik kireç kullanılmıştır. Portland çimentosu ise 1821'de bulunmuş olup ancak bu tarihten sonra bir enjeksiyon malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. 1900-1920 yılları arasında ise enjeksiyon uygulamaları enjeksiyon teknolojisine paralel bir gelişim göstermiştir. 1914 yılında Albert Francois kesonların zemine sokulmasında yüksek basınçlı çimento enjeksiyonu kullanmıştır. Nihayet 1925 yılında Hugo Joosten jel tipi enjeksiyon kullanmıştır. Böylelikle kalıcı sertlikte ve iyi derecede kırılma direnci elde edilen bu metod kimyasal enjeksiyon olarak tanımlanmıştır. II. Dünya Savaşı'ndan sonra ahşap elemanlardan oluşan pompaların yerini demir elemanlar içeren hidrolik pompalar almış ve böylece istenen basınca daha kolay ulaşılabilmiştir [11].

1950 yılında tek bileşenli enjeksiyon yöntemi geliştirilmiştir. 1970'li yıllarda kimyasal enjeksiyonların zamanla şekil değiştirme davranışları deneysel olarak incelenmiştir.

2.2.1.2 Enjeksiyonun başlıca uygulama alanları

Kullanım alanında büyük artışlar olan enjeksiyon özellikle barajlarda büyük ölçüde başvurulan bir zemin ıslah yöntemidir. Başlıca kullanım alanları şöyle sıralanabilir [11]:

- Geçirimsizlik perdelerinin teşkil edilmesinde (perde enjeksiyonu),
- Aşırı oturmaların ve su kaçaklarının önlenmesi amacıyla,

- Özellikle yol inşaatlarında dinamit atımları nedeniyle gevşeyen temel kayasının üst kısımlarının sağlamlaştırılmasında (konsolidasyon enjeksiyonu),
- Yapı ile ana kaya arasında kalması muhtemel boşlukların doldurulmasında (kontak enjeksiyonu),
- Tünel inşaatında, tünel aynasının stabilitesinin sağlanmasında ve üst tabakalarda kemerlenme sağlamak amacıyla,
- Temel çukuru duvarlarının stabilitesinin sağlanmasında,
- Komşu temellerin takviyesinde veya oturmuş temellerin düzeltilmesinde,
- Gevşek kumlarda sıvılaşmanın önlenmesinde,
- Yanal toprak basıncının kısıtlanmasında,
- Kazıkların yanall yük taşıma kapasitesinin arttırılmasında,
- Şev stabilitesinin sağlanmasında,
- Hacim değişimi gösteren zeminlerde şişme ve büzülmenin azaltılmasında,
- Boru itme (pipe jacking) inşaatlarında çevre sürtünmesinin azaltılmasında

Enjeksiyon işlemi yukarıda sıralanan kullanım alanlarında genelde şu ortamlara uygulanır [11]:

- Zeminlerin dane boşluklarının doldurulmasında,
- Kaya içinde mevcut galeri, kavern (Mağara), karst gibi büyük boşlukların doldurulmasında,
- Kayadaki çatlakların doldurulmasında.

2.2.1.3 Temel enjeksiyon teknikleri

Enjeksiyon teknikleri enjeksiyon malzemesinin zemin içerisine yerleştirilme biçimine bağlı olarak değişmektedir. Fakat enjeksiyon malzemesinin özelliğine bağlı olarak da (çimento enjeksiyonu veya kimyasal enjeksiyon) bir ayırım yapılabilir.

Zemin içerisine yerleştirilmesine göre temel enjeksiyon teknikleri Şekil 2.12’de gösterilmiştir.

a) **Emdirme (Permeasyon) Enjeksiyonu** : Daneler arasına zeminin yapısını bozmadan girecek şekilde bir enjeksiyon karışımı çimento/su’dan oluşmakta ise en çok orta kum ebadına girebilmekte, kil/çimento karışımları ise en çok kaba kumlara nüfuz edebilmektedir. Enjeksiyon harcındaki kumun ve suyun artması enjeksiyon yapılan zeminin direncini azaltmaktadır [5].

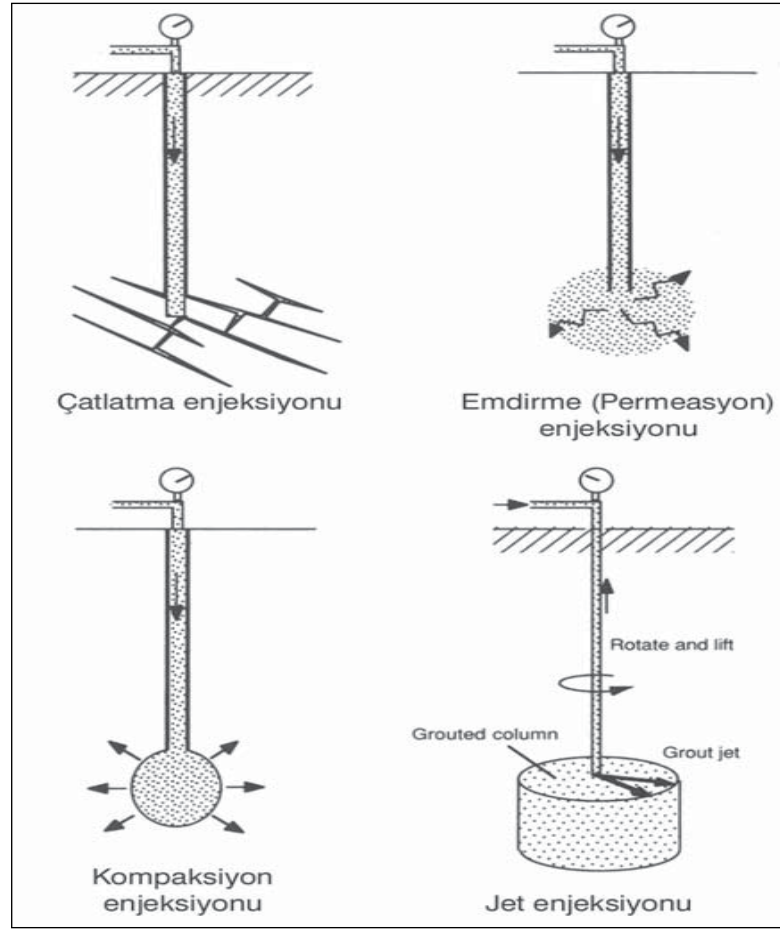
Daha ince daneli zeminlere girmek kimyasal enjeksiyon karışımları ile mümkün olabilmektedir. En genel kimyasal enjeksiyon karışımı olan silikatlar ile ince kumlara ve kaba şiltlere, daha ince (su viskozitesine yakın) özel rezinler ve diğerleri ile daha ince zeminlere girilebilmektedir [12].

Bu enjeksiyon tekniğinde düşük vizkoziteli enjeksiyon malzemesi, zemin içerisindeki boşluklara, düşük basınçlarda nüfuz etmekte dolayısıyla zeminin hacmi ve yapısında bir değişiklik meydana getirmemektedir. Zemin içerisine enjekte edilen malzeme zamanla sertleşmekte ve böylece zeminin mekanik ve hidrojeolojik özelliklerini değiştirmektedir [12].

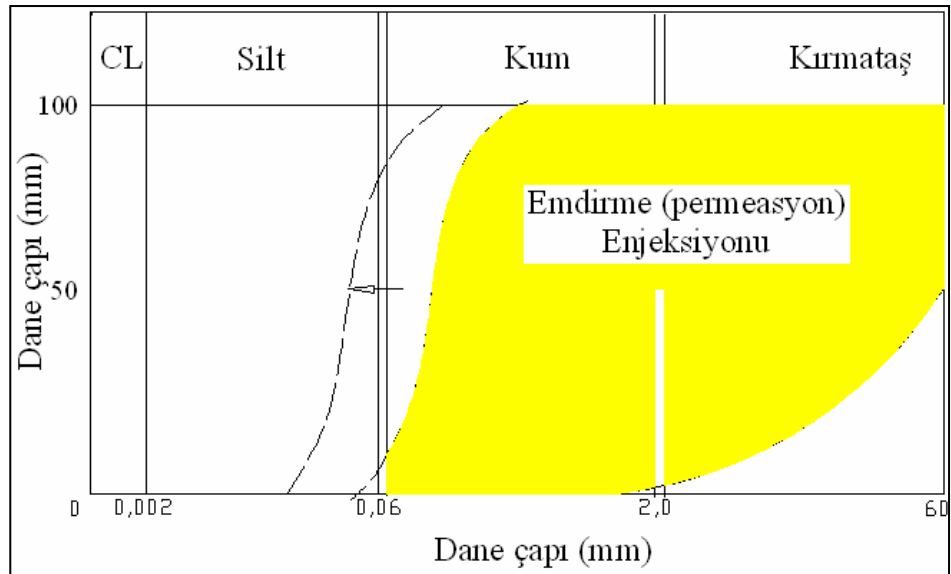
Emdirme enjeksiyonunda hem süspansiyon türünde olan çimento şerbeti hem de koloit yapıdaki saf kimyasal çözeltiler kullanılabilir. Fakat zeminin geçirimliliği azaldıkça hem teknik hem de ekonomik zorluklar artmaktadır. Zeminin geçirimlilik katsayısı, k , açısından baktığımızda silikat karışımlar için permeasyon limiti 10-3 cm/s , en pahalı reçine malzemeler içinse 10-4 cm/s civarındadır.

Emdirme (permeasyon) enjeksiyonu genellikle Kumlu, Çakıllı ve kötü derecelenmiş dolgu malzemeler ile çatlaklı zeminler ile parçalanmış kaya yapısındaki malzemelerde başarıyla kullanılmaktadır (Şekil 2.13).

Son yıllarda yeni çimento karışımları üzerinde çalışılmış ve normal portland çimentoları ile permeasyonu mümkün olmayan zeminler enjekte edilebilmeye başlanmıştır. Bu sayede daha ince daneli zeminlerin de iyileştirilmesi mümkün olmuş ve hem çevresel koruma hem de ekonomik açıdan olumlu sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 2.12 : Enjeksiyon sistemleri şematik gösterimi



Şekil 2.13 : Permeasyon enjeksiyonu uygulama alanı

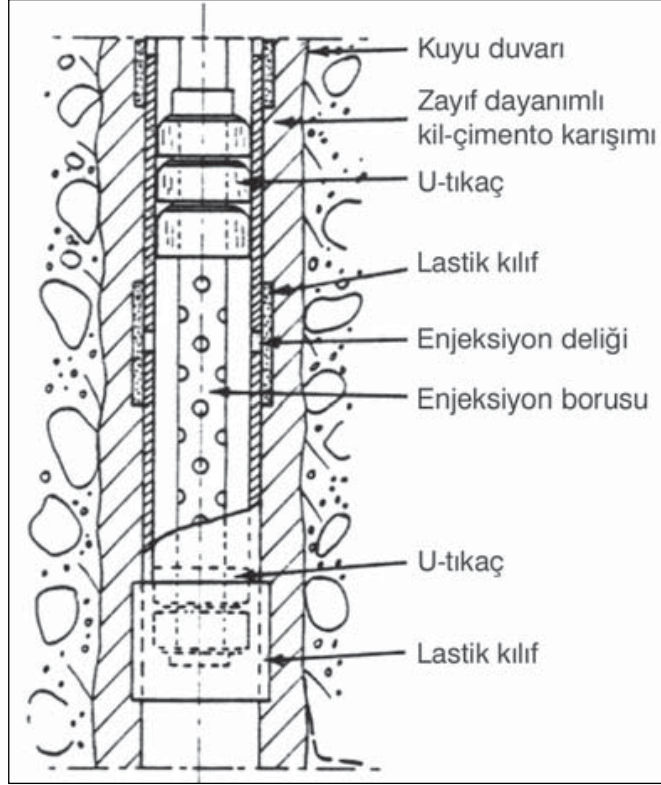
Yüzeysel derinliklerde enjeksiyon işlemi tek aşamada yapılabilir. Bu durumda enjeksiyon kuyusu tasarım derinliğine kadar açılır ve enjeksiyon borusu yardımıyla yukarıya doğru enjeksiyon işlemi gerçekleştirilir. Alternatif olarak kuyu açılırken de enjeksiyon işlemi yapılabilir. Kuyu belli bir derinlikte açıldıktan sonra enjeksiyon borusu indirilir ve açılan derinlik boyunca enjeksiyon işlemi gerçekleştirilir. Bu durum tasarım derinliğine kadar tekrar ettirilir [12].

Kademeli enjeksiyon işlemi ise rölatif olarak yüksek enjeksiyon basınçlarının gerektiği daha derin zeminlerde ve daha efektif bir permeasyon için uygulanır. Burada enjeksiyon kuyusu belli bir derinliğe kadar açılır ve enjeksiyon yapılır. Enjeksiyon malzemesi sertleştikten sonra kuyu biraz daha derinleştirilir ve tekrar enjeksiyon yapılır. Kademeli enjeksiyon derinliğin artması, enjeksiyon basıncının artırılmasını sağlar ve yüzeydeki sızıntıdan meydana gelebilecek enjeksiyon malzemesi kaybını engeller [12].

Herhangi bir zemin enjeksiyonu uygulamasında ve özellikle tüneller için enjeksiyon işleminin enjekte edilen malzeme hacmi cinsinden zamana bağlı kontrolü büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla her ne kadar uzun zaman önce kullanılmaya başlansa da Tube a' Manchette tipi enjeksiyon borusu hala en uygun sistem olarak görülmektedir.

Tube a' Manchette, üzerinde yaklaşık 8 mm çaplı küçük deliklerin bulunduğu bölmelerden oluşan ve çapı 37.5 ve 62.5 mm arasında değişen çelik bir borudur. Delikli bölmeler yaklaşık 30 cm aralıklı olup tek yönlü vana gibi çalışan lastik kılıflarla kapatılmışlardır (Şekil 2.14). Muhafaza borusu yardımıyla enjeksiyon kuyusu istenilen tasarım derinliğine kadar açıldıktan sonra tube a' manchette kuyu içerisine indirilir. Daha sonra muhafaza borusu yukarı çekilir ve tube a' manchette ile kuyu duvarı arasındaki boşluk zayıf dayanımlı bir enjeksiyon malzemesi olan kil-çimento veya bentonit karışımıyla doldurulur. Asıl enjeksiyon işlemi ise tube a'manchette içerisine uç kısmı delikli ve U-tıkaçlarla kapalı olan küçük çaplı bir enjeksiyon borusu indirilerek gerçekleştirilir. Tıkaçlar tube a' manchette üzerindeki delikli bölmelerden herhangi biri üzerine merkezlenebilir. Enjeksiyon işleminin başlamasıyla beraber lastik kılıf ve tube a' manchette ile kuyu duvarı arasındaki zayıf enjeksiyon malzemesi yırtılana kadar enjeksiyon basıncı artacaktır. Lastik kılıfların tek yönlü çalışması enjeksiyon malzemesinin tube a' manchette içerisine geri

girmesini engelleyecek, tube a' manchette ile kuyu duvarı arasındaki zayıf enjeksiyon malzemesi de meydana gelebilecek sızıntıları önleyecektir [12].



Şekil 2.14 : Tube a' manchette sistemi detayı

Tube a' manchette kullanımı, aynı enjeksiyon deliğinden birden fazla enjeksiyonun değişik enjeksiyon malzemeleriyle yapılabilmesini sağlamaktadır. Fakat yoğun şehir merkezlerinde veya çalışma alanı yetersizliğinde tube a' manchette sisteminin yer yüzeyinden, kuyulardan veya tünel yüzeylerinden kurulması uygun olmayabilir. Bu durumlarda tube a' manchette sisteminin yeni geliştirilen yatay yönlü foraj (horizontal directional drilling) sistemi ile yerleştirilmesi söz konusudur.

b) **Çatlatma Enjeksiyonu :** Zeminin daneleri arasına girmek yerine biraz daha yüksek basınçla enjeksiyonu zemini çatlatarak yapraklanma şeklinde enjekte etmek çoğunlukla mümkün olabilmektedir [5].

Çatlatma enjeksiyonunda zeminin kontrollü bir şekilde, kararlı fakat düşük vizkoziteli çimento enjeksiyonu ile yüksek basınçlarda (4 MPa) çatlatılması söz konusudur. Bu enjeksiyon tekniği temel olarak permeasyon enjeksiyonunun mümkün

olmadığı düşük geçirirliğe sahip, ince daneli zeminlerin stabilizasyonunda uygulanmaktadır. Çatlatma enjeksiyonunun gelişimi tünel veya kazı aktiviteleri esnasında meydana gelen oturmaları önleme (kompense etme) çalışmalarına dayanmaktadır [12].

Çatlatma enjeksiyonu sonucunda zemin içerisinde ağaç dallarına benzer bir şekilde sertleşmiş çimento kanalları oluşmakta ve bu sayede zemin kontrollü bir şekilde ve bölgesel olarak sıkıştırılmaktadır. Çimento şerbeti başlangıçta yüksek basınçlarda enjekte edilmekte ve zeminin çatlamasıyla beraber oluşan çatlaklar çimento ile doldurulmaktadır. Oluşan çatlakların boyu, genişliği ve hacmi enjeksiyon basıncına ve mevcut geostatik gerilmelere bağlıdır.

Teorik olarak bakılacak olursa, normal konsolide, homojen bir zemin içerisinde meydana gelecek ilk çatlaklar düşey doğrultuda (büyük asal gerilme doğrultusunda) olacak, bu sayede yatay gerilmeleri artıracak ve zemini sıkıştıracaktır (Raabe ve Esters, 1990). Eğer tube a' manchette sistemi ile aynı noktadan birden fazla enjeksiyon işlemi tekrarlanacak olursa asal gerilmelerin doğrultuları değişecek ve yatay yönde çatlaklar meydana gelmeye başlayacaktır. Bu da sonuç olarak (bazen ani bir şekilde) yer yüzeyinde ya da üst yapılarda kabarmaya neden olacaktır. Fakat pratikte, meydana gelecek çatlakların yönü zemin içerisinde mevcut çatlaklara, zayıf bölgelere veya fisürlere bağlı olarak değişmektedir [12].

Bu tip enjeksiyon türünün uygulanmasında da tube a' manchette kullanılmakta ve örneğin tünel kazımı esnasında meydana gelen oturmalara bağlı olarak aynı noktadan birden fazla gerektiğinde farklı enjeksiyon malzemeleriyle enjeksiyon yapılabilmektedir.

Literatürdeki vaka analizleri incelendiğinde çatlatma enjeksiyonunda kullanılan çimento şerbetinin su/çimento oranlarının nispeten daha yüksek olduğu ve karışıma mobilite vermek için başta bentonit olmak üzere değişik katkı malzemelerinin kullanıldığı görülmektedir. Bu açıdan kompaksiyon enjeksiyonundan ayrılmaktadır.

c) **Kompaksiyon enjeksiyonu** : Katı beton kıvamında malzemeyi biraz daha yüksek basınçla zemine enjekte ederek zemini tamamen deplase etmek mümkün olmaktadır. Kompaksiyon enjeksiyonu olarak adlandırılan bu yöntem özellikle yan yatmış veya oturmuş yapıların eski seviyelerine kaldırılmasında başarıyla

kullanılmaktadır. Aşağıdan yukarı veya yukarıdan aşağıya uygulanabilen bu yöntemde başlangıçta çevrede yapılan enjeksiyon özellikle daha yumuşak zeminlerde yöntemin tesirini artırmaktadır [5].

1980 yılında toplanan American Society of Civil Engineers (ASCE) Enjeksiyon Komitesi, kompaksiyon enjeksiyonunu 25 mm'den daha az çökme değeri olan, yeterli plastisiteyi sağlayacak kadar silt ve içsel sürtünmeyi sağlayacak kadar da kum içeren katı enjeksiyon malzemesinin, zemin boşlukları içerisine girmeksizin enjeksiyon noktası etrafında giderek genişleyen bir kütle oluşturacak ve bu sayede etrafındaki gevşek zeminleri sıkıştıracak şekilde yüksek basınçlarda enjekte edilmesi olarak tanımlamıştır [12].

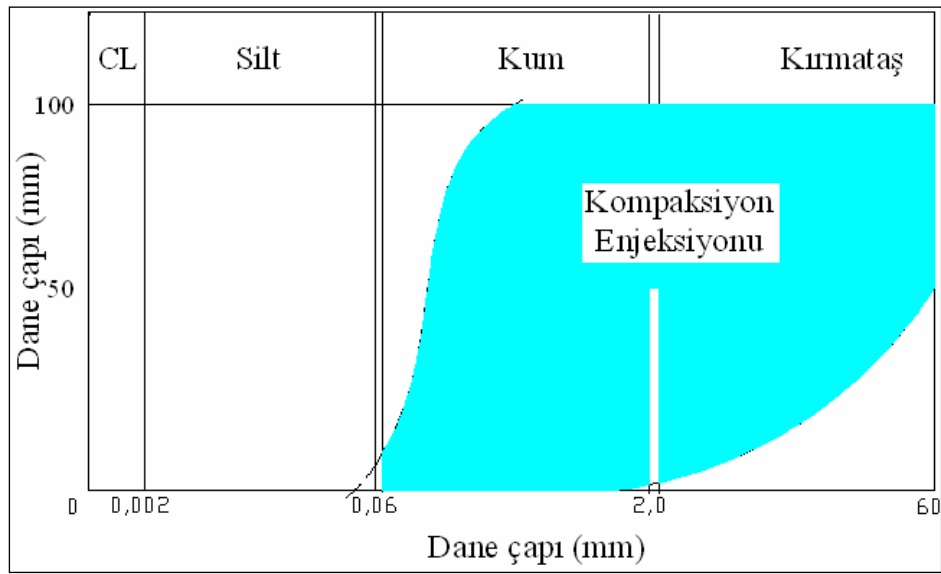
50 yıl kadar önce ABD'de uygulanmaya başlayan yöntem, çoğunlukla zayıf veya yumuşak zeminlerin sıkıştırılmasında, temel ve döşemelerin alttan desteklenmesinde, yapı oturmalarının kontrol edilmesinde, farklı oturmalar gösteren yapı temellerinin rehabilitasyonunda ve tekrar eski seviyelerine yükseltilmesinde kullanılmıştır.

Kompaksiyon enjeksiyonu ile permeasyon enjeksiyonu arasında hem enjeksiyon parametreleri hem de uygulanabilecek zeminler arasında büyük farklar vardır (Şekil 2.15). Kompaksiyon enjeksiyonunda çok katı bir enjeksiyon malzemesi ve çok yüksek basınçlar (3.5 MPa'a kadar) gerekmektedir. Dolayısıyla zeminin orijinal yapısı bozulmakta ve bu sayede radyal olarak sıkıştırılabilmektedir. Ayrıca kompaksiyon enjeksiyonu tüm zeminlere uygulanabilirken permeasyon enjeksiyonunun uygulanabilirliği, burada zemin içerisindeki boşluklara nüfuz etme söz konusu olduğundan, hem zeminin dane çapı dağılımı hem de enjeksiyon malzemesinin dane çapı dağılımı tarafından belirlenmektedir.

Literatür çalışmaları göz önüne alındığında kompaksiyon enjeksiyonunun başarılı sonuçlar vermesi enjeksiyon malzemesinin katı ve yüksek vizkozitede olmasına bağlıdır. Bu yüzden karışımlarda plastisiteyi gereğinden fazla artıracak silt ve gereğinden fazla mobilité sağlayacak bentonitin kullanılmaması öngörülmektedir [12].

Kompaksiyon enjeksiyonunun son 10 yıllık bir süreç içerisinde sivilaşmayı önleyici bir teknik olarak da kullanılmaya başlandığını görmekteyiz. Gerçekten Boulanger ve Hayden (1995) kompaksiyon enjeksiyonunun sivilaşmayı önlemek için kullanıldığı

geniş bir vaka analizleri özeti hazırlamışlardır. Vaka analizlerinde, bu enjeksiyon tekniğinin siltli kumlarla siltli zeminlerin SPT ve CPT direnç değerlerini önemli ölçüde artırdığı belirtilmiştir. Fakat şu da unutulmamalıdır ki kompaksiyon enjeksiyonu sonucu zemin içerisinde oluşturulan kütlenin uzun vadede de yeterli dayanımda olması gerekir. Ayrıca bu tekniğin çok yumuşak killerde uygulanması ekstra boşluk suyu basınçları oluşturacak bu da uzun vadede oturmalara yol açacaktır. Dolayısıyla bu hususların uygulama öncesinde enjeksiyon parametreleri ve enjeksiyon malzemelerinin tasarımı esnasında göz önünde bulundurulması gerekir [12].



Şekil 2.15 : Kompaksiyon enjeksiyonu uygulama alanı

d) **Jet enjeksiyonu** : Son senelerde popüler enjeksiyon yöntemi olarak ortaya çıkan jet enjeksiyonu temel takviye ve destek işlerinde kullanılmaya başlanmıştır. Jet malzemesi ve basıncı ile zemin cinsine göre farklılıklar gösteren bu yöntemde zemin ile enjeksiyon malzemesi farklı oranlarda karıştırılabileceği gibi zemin tamamen dışarı alınıp enjeksiyon ile doldurmak mümkündür [5].

Bu enjeksiyon türünde tasarım derinliğine kadar, su kullanılarak delgi yapılmakta ve delgi için kullanılan tijlerin ucundaki nozullardan yüksek basınçlarda çimento şerbeti zemine jetlenmektedir. Bu jetleme esnasında tijler de belirli bir hızla döndürülmekte ve yine belirli bir hızla da zemin içinde aşağıdan yukarıya doğru çekilmektedir. Böylece, belirli bir çapta ve boyda zemin içinde silindirik bir kolon

oluşturulmaktadır. Jetleme esnasında kolon çapını artırabilmek için çimento jeti yanında hava ve su jetleri de kullanılabilir. Buradaki mekanizmadan anlaşılabilir gibi jet enjeksiyonu aslında bir enjeksiyon tekniği değil bir karıştırma yöntemidir. Sonuçta zemin içerisinde beton-zemin karışımı yüksek dayanımlı ve geçirimsizliği düşük kolonlar elde edilmektedir. Bu yönüyle jet enjeksiyonu diğer enjeksiyon türlerinden kesin olarak ayrılmaktadır.

Jet enjeksiyonu sonucu zemin içerisinde oluşturulan kolonlar, temeller, döşemeler ve dolgular altında taşıma gücü ve oturma kontrolü için kullanılabilir gibi yumuşak zeminlerde açılan tünellerde tünel kesiti üzerinde taşıyıcı şemsiye, yine yumuşak killerdeki derin kazılarda kazı tabanı altında payanda elemanı olarak da kullanılabilir. Ayrıca bu enjeksiyon tekniğinin sıvılaşma riskinin azaltılması gayesiyle kullanımına ait örnekler de bulunmaktadır.

e) Çevreyi sınırlayıp yapı-zemin kontaklarına enjeksiyon bazı hallerde çok etkin olabilmektedir.

2.2.2 Jet grouting

İnşaat projeleri hâlihazırda kentlerde ve yoğun yapılaşmaların olduğu alanlarda yapılmaktadır. Bazı durumlarda yapı temelleri altındaki zayıf zeminin iyileştirilmesi ilave projelerden gelen yüklerin karşılanması için gereklidir [13].

Zemin iyileştirmesi, zeminin mekanik özelliklerini değiştirir ve geliştirir, özellikle zeminin taşıma gücünü ve elastisite modülünü artırırken aynı zamanda geçirgenliğini azaltır. Jet grouting yöntemi bu sonuçlara ulaşmak için en başarılı yöntemlerden birisidir [13].

Jet grouting, direk olarak küçük çaplı nozul ile çok yüksek basınçla zemine enjekte edilen stabilite malzemesinin (genellikle su-çimento karışımı) doğal zemin ile karıştırılmasıdır. Stabilite malzeme küçük çaplı nozülde 300-600 bar gibi yüksek basınçlarda püskürtülür. Bu yöntemde, enjeksiyon nozullarından çok yüksek basınçla püskürtülen malzeme ile zeminin doğal matrisi bozulmakta ve stabilite malzemesinin yerindeki zeminle karışması sağlanmaktadır. Sonuçta, homojen ve sürekli yapıya sahip ve temel karakteristikleri önceden belirlenebilen bir yapı elde edilmektedir [13].

Jet grouting, bir başka tanımlamaya göre, “soilcrete” olarak bilinen zemin-çimento ürünüdür ve bir aşındırma-yer değiştirme sistemidir. Birçok zemin tipi için uygundur ve zemin altındaki kısıtlı alanlara karşı gerçekleştirilebilir. Jetgrout; zemin stabilizasyonu, zemin takviyesi, kazı desteği ve yeraltı suyu kontrolü için kullanılan çok yönlü bir tekniktir [14].

Jet grouting kohezyonsuz az daneli zeminden kohezyonlu plastik killere kadar birçok zemin tipinde uygulanabilir. Jet grouting yöntemi bazı özellikleri itibariyle diğer grouting yöntemlerine göre üstün bir yöntemdir. Klasik enjeksiyon sistemleri ile zemin özellikleri büyük oranlarda değiştirilememekte, buna karşın jet groutin yöntemi ile zemin su-çimento karışımı ile karıştırıldığı için zeminin temel özellikleri değiştirilebilmektedir [13].

Jet grouting geleneksel grouting sistemlerine, temel takviyesi sistemlerine, mini kazıklara ve sıkıştırılmış hava kullanımı gibi yöntemlere alternatif bir yöntemdir.

Jet grouting yöntemleri genellikle mevcut tesislerin normal çalışmalarını engellemeden gerçekleştirilebilir. Jet gouting sadece en güvenli yöntemlerden biri olmayıp aynı zamanda zaman tasarrufu sağlayacak kadar da hızlı bir yöntemdir [14].

Jet grout kolonları mevcut zeminin yerinde bir katkı malzemesi ile karıştırılarak bir kolon teşkil edilmesi halinde oluşan kolonlardır. Katkı malzemesi olarak genellikle çimento şerbeti (çimento-su karışımı) kullanılmakla birlikte çok yumuşak ve hassas İskandinav ülkelerinin killlerinde, özellikle İsveç’te kireç veya belirli oranlarda kireç-çimento karışımı da kullanılmaktadır [15].

Mevcut zemin çimento ile mekanik karıştırıcılar vasıtası ile karıştırılması halinde yöntem “deepmix” olarak tanımlanır. Kolonların diğer bir teşkil yöntemi ise mevcut zeminin önce özel delgi makinesi ile delinmesi ve bilahare yüksek basınçta 400-500 bar çimento şerbetinin jetlenerek, zeminin yerinde parçalanarak karıştırılması ve kullanılan özel tij ve monitörün belirli bir hızla döndürülerek yukarı çekilmesi suretiyle yerinde silindirik kolon teşkil edilmektedir. Bu inşa metodu jetgrout yöntemi olarak adlandırılmaktadır [15].

Jet grouting, çoğu zemin türü için zeminin yer değiştirmesi amacıyla çimento hamurunun kontrollü bir şekilde püskürtülmesidir. Zemin, grouting sırasında su jeti

ile parçalanır. En sık kullanım alanı olarak mevcut yapıların toplam ve farklı oturmalarını azaltmak olup, tünellerde tıkaç betonları, açık kanallar ve barajlarda farklı amaçlı uygulamaları bulunmaktadır. Jet grouting ayrıca yeni yapılar, dolgular ve istinat duvarları için yumuşak zeminin konsolidasyonunda da kullanılır. Diğer uygulamalar da açık kazılarda destek ve şev stabilizasyonu amacını taşımaktadır [16].

(a) Jet grouting ya zemini parçalar ve doğal zemin parçacıkları ile karıştırır ya da parçalanmış zeminin bir bölümü dışarı atıldıktan sonra kalan zemin parçacıkları ile karışım oluşturur.

(b) Jet grouting yumuşak kil zeminin gücünü ve katılığını önemli derecede arttırabilir ve kumlu zeminin geçirgenliğini önemli derecede azaltabilir.

(c) Jet grouting genellikle çabuk priz alan çimento ve uçucu külle kullanılır. Uçucu kül, çimento ve kireç ile karıştırıldığında çimento kıvamında çok iyi yapısal özelliklere sahip malzeme elde edilir. Çimento yerine başka kimyasallar da kullanılabilir.

d) Bir jet nozulu, hem zemin yapısını bozmak hem de doğal zeminle çimento şerbetinin karışmasını sağlamak için kullanılır. Nozulların çapı ve boşaltma basıncı, geri çekilme ve rotasyon oranları, çimento şerbetinin tipi ve kalitesi, zemin tipi enjeksiyon kütlesinin kalitesi ve hacmi üzerinde önemli bir etki yapmaktadır.

Geri çekiş oranları ve nozul basınçları temel tasarım faktörleridir. Çekiş oranları dakikada 1-50 inç ve nozul basınçları zemin tipine bağlı olarak 3000-9000 psi arasında değişmektedir.

Çeşitli yöntemlerle ve malzemelerle inşa edilen kazıklı temeller rijit kolonlar olarak adlandırılmaktadır. Betonarme çakma kazıklar, fore kazıklar, mini kazıklar vb. bu gruba dahil edilebilir. Bu temel sisteminde üst yapıdan intikal eden yükler tamamen rijitliği yüksek çeşitli çap ve boydaki kazıklar tarafından uç ve/veya çevre direnci ile taşınır. Yatay yüklerin taşınması için tercihan zemine oturan kazık başlıkları ve/veya yatay taşıyıcı elemanları döşeme teşkil edilir [15].

Jetgrout yöntemi ülkemizde özellikle son on sene içinde çok yaygın olarak ve çeşitli temel mühendisliği uygulamalarında kullanılmaktadır. Metodun ülkemizdeki ilk

kullanımı 1980’li yılların son dönemlerine rastlamaktadır. Oluşan “soilcrete” mekanik özellikleri, serbest basınç mukavemeti R_f -Mpa, deformasyon modülü E_{jg} -Mpa diğer uygulama parametreleri ile birlikte mevcut zeminin cinsi ve su-çimento oranı ile kontrol edilmektedir. Aşağıda Tablo 2.1’de özetlenen çeşitli zeminler için soilcrete deformasyon modülü ortalama $E_{jg} \approx 500-12,500$ Mpa olarak alınabilir. Bu takdirde zemine göre kolon deformasyon modülü oranı $E_{jg}/E_s \approx 10-250+$ olarak verilebilir [15].

Tablo 2.1 : Zemin cinsine göre soilcrete Serbest Basınç Mukavemeti ve Modülü

Zemin Cinsi	Serbest Basınç Mukavemeti, f_{jg}' , Mpa	Modül Oranı(*), E/f_{jg}'
Kil	2-5	150
Silt	3-7	200
Kum	7-14	600
Çakıl	12-18	900

(*) %40 gerileme seviyesine tekabül eden modül

Böyle bir sistemde üst yapıdan veya deprem kayma dalgalarından zemine intikal eden yükler bu kolon elemanları ve zemin ile birlikte müştereken taşınmaktadır. Deformasyon şartından dolayı rijitliği fazla olan kolon elemanları yüklerin büyük bir kısmını taşıyabilmektedir [15].

Jetgrout kolonların çeşitli maksatlarla kullanımları aşağıda sıralanmıştır [15].

- Temeller altında, düşey yükler için basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deplasman kontrolü
- Döşemeler altında düşey ve özellikle yüksek yayılı yükler altında basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deplasman kontrolü
- Dolgular altında basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deplasman kontrolü

- Köprülerde yaklaşım dolguları altında düşey dolgu yüklerinin taşınması, dolgu altında oturma kontrolü ve kenar ayak kazıklarına negatif çeper sürtünmesi aktarılmasının önlenmesi
- Havuzlarda, yeraltı su depolarında ve su yapılarında, donatılı çekme elemanı olarak
- Kazılarda, ağırlık tipi istinat yapısı teşkili ile yanal zemin itkilerinin alınması
- Kazılarda donatı ile teçhiz edilerek düşey eğilmeye maruz iksa elemanı olarak
- Kazılarda ve ankrajlı istinat yapılarında özel donatı ile ankraj elemanı olarak
- Geçirimli zeminlerde ve yüksek YASS ile kazılarda taşıyıcı elemanlar arasında batardo kapama elemanı olarak
- Yumuşak killerdeki kazılarda kazı öncesi kazı taban seviyesi altında teşkil edilen payanda elemanı olarak
- Kazı tabanından kazıya gelecek yeraltı suyunun kontrolü için tıkaç elemanı olarak
- Şevlerde stabilitenin sağlanması için zemin takviye elemanı olarak veya ağırlık batardosu teşkili ile
- Yumuşak zeminde açılan yüzeye yakın tünellerde tünel üstündeki zeminin iyileştirmesi amacı ile
- Yumuşak zeminde açılan tünellerde tünel içinde ve ayna önünden yapılarak, kazı öncesi tünel kesiti üzerinde taşıyıcı bir şemsiye oluşturulması amacı ile
- Önemli ve ağır yapılarda sıvılaşma güvenlik sayısı düşük olan yerlerde kazıklı temellere gelecek yatay yüklerin ve oluşacak deplasmanların kontrolü için, kazıklarla birlikte
- Sıvılaşma sonucu oluşacak zemin yanal ve düşey deplasmanlarının sınırlandırılması için yapı etrafında veya altında kapama elemanları olarak

- Sıvılaşma riskine karşı güvenlik sayısının artırılması, zeminde oluşan kayma gerilmelerinin bir kısmının taşınarak deprem sonucu oluşabilecek düşey ve yanal deplasmanların sınırlandırılması

Bütün bu kullanımlardan, özellikle ülkemizin aktif deprem kuşağı içinde yer alması nedeni ile son kırk sene içinde dünyadaki diğer ülkelerdeki depremlerde depremlerde de güncellenen sıvılaşma riskinin azaltılması gayesi ile kullanıma ait yöntem, tasarım yöntemi ve ülkemizdeki uygulamalardan 17 Ağustos 1999 Gölcük Depremine münhasır örneklemelere bundan sonraki bölümlerde yer verilmiştir.

Jetgrout metodunda, imalatta yer alan üniteler, çimento silosu, karışım ünitesi, yüksek basınç pompası, su pompası, hava kompresörü ve delgi makinesi olarak sıralanabilir. Bir kolon, belirli bir derinliğe kadar su kullanılarak delgi yapılması, delginin sona erdirilmesini müteakip suyun tahliye olduğu nozulun kapanarak tijin ucunda yer alan jetleme monitörünün üzerindeki nozullardan yüksek basınç altında çimento şerbetinin jetlenmesinden ibarettir. Jetleme sırasında tijler belirli bir hızla döndürülmekte ve belirli bir hızla da zemin içinde aşağıdan yukarıya doğru çekilmektedir. Böylece, belirli bir çapta ve boyda zemin içinde silindirik bir “soilcrete” kolon teşkil edilmektedir [15].

2.2.2.1 Jet grouting tarihçesi

“Çok yüksek basınçlı grouting”, Almanya’da Hohe Druck Injektion (HDI) olarak da bilinen jet grouting 1950’li yıllarda ilk kez Pakistan’da “Cementation Co.” adlı firma tarafından uygulanmıştır. 1965’den itibaren Japonya’da “Yamakado Kardeşler” tarafından geliştirilmiştir. 1970’li yıllarda ise iki jet grouting yöntemi eşzamanlı olarak geliştirilmiştir. Nakanishi N.I.T. tarafından geliştirilen jet grouting yöntemi “Chemical Churning Pile” (CCP) jet grouting olarak adlandırılmıştır. Kimyasal ya da çimento şerbeti 1-2 mm çapındaki nozullardan çok yüksek basınçlarda püskürtülürken nozulun bulunduğu delme çubuğu çekilir ve döndürülür ve böylece zemin-çimento enjeksiyonu kolonu elde edilir. Yahiro tarafından bulunan diğer yöntem ise zeminin kesilmesi, yer değiştirmesi ve çimento hamuru ile karıştırılması esasına dayanır. Bu yöntemde eşmerkezli üç çubuk su, hava ve çimento enjeksiyonu sağlamak için kullanılır [17].

Japonya’da jet grouting sistemi ile ilgili birçok modifikasyonlar gerçekleştirilmiştir. Bunların arasında en önemlisi “Jumbo Special Grout” (JSG) adı verilen hava kapsüle edilmiş çimento hamurunun kullanılmasıdır. Bu yöntem, CCP kolonlarına göre çapı 1.5-2 kez daha büyük kolonlar sağlama kapasitesine sahiptir [17].

Japonya’daki ilk gelişmeleri takiben, daha sonraki gelişmeler 1980’li yıllarda Almanya’da, Fransa’da, Brezilya’da ve özellikle İtalya’da gerçekleştirilmiştir. Jet grouting sisteminin en son uygulaması “X-jet” adı verilen sistemdir. Çok büyük bir doğrulukla büyük çaplı jet grout kolonları elde edilmesine imkân sağlayan bu yöntem Japonya’da geliştirildi ve Avrupa’da Keller tarafından lisanslandı. Bu sistem, birbirleriyle kesişene kadar yüksek kesme enerjisine sahip iki jetten oluşur [17].

Lisanslı bir teknoloji olarak X-jet grouting delme deliğinden 1 m uzaklıkta kesişecek şekilde konumlanmış bir çift hava-su nozulunun, 2-2.5 m çapındaki ayrık kolonu parçalamak için kullanıldığı bir yöntemdir (Şekil 2.16).

Karşılaşma noktasında aşındırma enerjisi dağılarak kesme enerjisini büyük ölçüde azaltır. Çimento hamuru aşındırma nozullarının altında yer değiştirme ve yüksek kalitede soilcrete kolonunu oluşturmak için zemine enjekte edilir.

Çok yumuşak, değişken dayanıklılıkta ve oldukça tabakalı zeminlerde, bu durum belirli geometri ve hassas malzeme gereksinimleri açısından önemli bir avantaj sağlar [17].

İnşa yöntemi üç akışkanlı jet grouting yöntemininkine benzerdir ancak kaldırma oranı ve döndürme hızı jetin üst kısmının parçalanmasını ve kesişme enerjisine ulaşmasını sağlayacak kadar yavaştır. nozul ayarı jetlerin karşılaşmasını ve enerjinin dağılmasını sağlaması açısından kritiktir. Özel donanım bu akışkanları enjekte etmek için şarttır [18].



Şekil 2.16 : Hava-su nozullarının kesişimi

2.2.2.2 Tanımlar süreç ve donanımlar

Jet grouting tekniği zemin stabilizasyonunun sağlanması veya zeminin geçirgenliğinin azaltılması için mühendislik özellikleri geliştirilmiş zemin yapılarının elde edilmesinde sıkça kullanılan bir tekniktir. Teknik, zeminin yüksek enerjili grout jeti ile parçalanması yoluyla gerçekleştirilir.

Jet grout kolonu adı verilen bir ürün elde edilir ve bu zemin-çimento kolonu gerilme, dayanıklılık ve geçirgenlik bakımından orijinal zemine göre daha iyi durumdadır. Jet grouting süreci bir parçalama süreci olduğu için zeminde değişimlere neden olur.

Jet grouting sürecinin yerel zemin durumlarına ve komşu yapılara etkisi incelenirken farklı yer değiştirmeler, toplam gerilmeler ve boşluk suyu basıncı dikkate alınmalıdır.

Jet grouting terminolojisinde değişik tanımlar kullanılmaktadır. Bu tanımlar genellikle temelde aynı kavram konsepti içerisinde yer almaktadır. “European Code on Jet Grouting, prEN 12716” terminolojisine göre, “jet grouting” in tanımı aşağıda belirtilmektedir:

Jet grouting zemine enjekte edilen çimento enjeksiyonu tarafından orjinal zemin ile kısmi yer değiştirme ve karışma sonucu zeminin ayrıştırılması sürecidir [17].

Zeminin ayrıştırılması yüksek enerji jeti ile gerçekleştirilir.

Diğer tanımlar ise aşağıda belirtilmiştir:

Welsh, Rubright ve Coomber tarafından yapılan genel bir tanımlamaya göre jet grouting; “yüksek basınçlı su jetleri ile kesilmiş zeminin yerine kontrollü ve eşzamanlı olarak çimento enjeksiyonu verilmesi”dir [8].

ASCE Geoteknik Mühendisliği Grubu Enjeksiyon Komitesine göre jet grouting; “Yatay ve düşey su jetleri yardımı ile alüvyonel zemini delen, kesen ve yıkayan özel bir delici uç kullanıp ucun geri çekilmesi sırasında yüksek basınçla yatay püskürtme ağızlarından enjeksiyon pompalayıp zeminle karışmasını sağlayan ve böylece sağlam ve geçirimsiz kolonlar oluşturan bir tekniktir” şeklinde tanımlanmaktadır [8].

Jet grouting yönteminde önemli bir nokta, yapılan jet enjeksiyonu sonucu kesilen zemin parçacıklarının bentonit bulamacı ile beraber yukarı çıkıp gövde ile delik çeperi arasından dışarı çıkabilmesini sağlamak için kesici ucun, gövdeden daha kalın olması gereğidir. Bu sayede delici gövde ile delik çeperi arasında halka geometride bir boşluk oluşmakta ve oluşan artık malzeme buradan yüzeye taşınmaktadır. Artık malzemenin dışarı atılabilmesi enjeksiyonun zemine penetrasyonu açısından da önemlidir. Eğer basınçlı jetlerden birisi durursa, yenisi delik ağzından aşağıya verilir. Kesilmiş olan zemin parçacıklarının uzaklaştırılıp yukarı çıkartılması, zeminin akışkan akımları ile aşındırılması sırasında basınçların kontrol edilebilmesini ve hidrolik enerjinin boşa harcanmamasını sağlamaktır.

Jet grouting yöntemini açıklamadan önce, bazı tanımlar aşağıda verilmektedir.

- Rig döner bir rig olup, otomatik olarak jet groutun dönüşünü ve hareketini düzenler.
- String, enjeksiyon malzemelerini istenen derinliğe iletmek amacı ile kullanılır.
- Monitor, delgi biti ve nozul içeren jet grouting stringin sonuna yerleştirilen bir ayardır (Şekil 2.17).
- nozul, string teki yüksek basınçlı akışkan akışını yüksek hızlı jete dönüştürmek için tasarlanmış bir araçtır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17 : Monitör, hava-su nozulları

nozul, jet akışkanın olabildiğince uzun kompakt kalmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Çünkü jetin dağılması jetin etkinliğini azaltır ve istenen çapın hassaslığını bozar. Jet grout string ve monitörü rig tarafından istenen derinliğe daldırılır ve ardından yüksek basınç altında su-çimento enjeksiyonu püskürtülürken her ikiside çekilir ve döndürülür. Zemin parçalanır, kısmen çimento hamuru ile karışır ve kısmen de string boyunca yüzeye iletilir. Yüzeye itilen bu kısım spoil adını alır. Zeminde kalan karışım ise sertleşir ve jet grout kolonunu oluşturur. Yan yana çoklu kolonlar oluşturmak jet enjeksiyonu ile takviye edilmiş bir yapı meydana getirir [17].

2.2.2.3 Jet grouting sistemleri

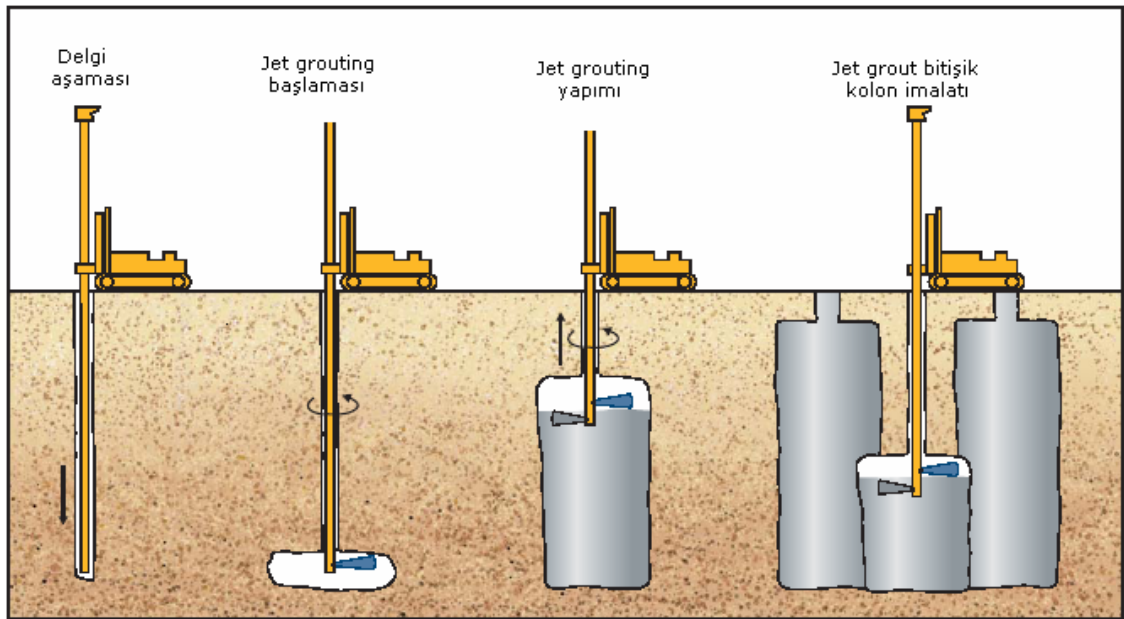
Değişik jet grout sistemleri mevcuttur. Bununla birlikte geleneksel anlamda üç tip jet grouting sisteminden söz edilebilir. En uygun sistemin seçilmesi, sahadaki zemine,

uygulamaya ve uygulama için istenen soilcrete'in fiziksel özelliklerine bağlıdır. Buna karşın, doğru tasarım ve işletme prosedürleri uygulandığı takdirde her sistem neredeyse her uygulama için kullanılabilir [14].

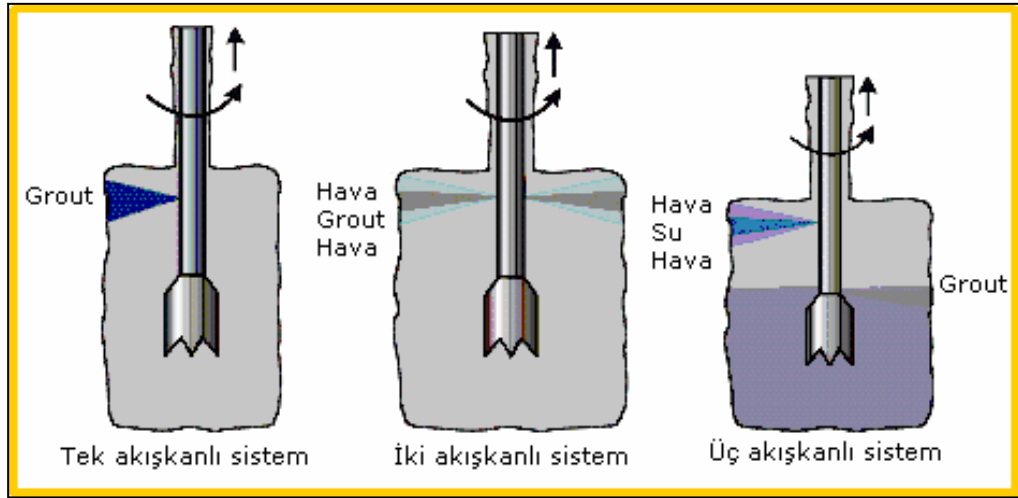
Temel jet grouting sistemleri şu şekildedir:

- Tek akışkanlı sistem
- Çift akışkanlı (hava) sistem
- Çift akışkanlı (su) sistem
- Üç akışkanlı sistem
- Tek akışkanlı sistem genellikle çimento enjeksiyonu kullanılarak zeminin aşındırılıp ayrıştırılması ve zemin ile enjeksiyonun karıştırılması işlevini yerine getirmek için yüksek enerjili tek akışkanlı su jetinin kullanılması esasına dayanan bir sistemdir. Enjeksiyon karışımını jetlemek için bir ya da daha çok dairesel nozul kullanılır. Çimento karışımının yüksek basınçtaki tedariki için sadece bir rod kullanılır [17]. Tek akışkanlı jet grouting yöntemi, üç sistem arasında en basit olanıdır.

Bütün bu sistemler aşağıdaki konu ve şekillerle anlatılmaktadır (Şekil 2.18-2.19).



Şekil 2.18 : Jet grouting süreci



Şekil 2.19 : Temel jet grouting sistemleri

Enjeksiyon malzemesi rod aracılığıyla pompalanır ve monitördeki yatay nozullardan yüksek bir hızla (yaklaşık 200m/sn.) püskürtülür. Bu enerji zeminin aşınmasına ve enjeksiyonun yer değiştirerek zeminle karışmasına neden olur.

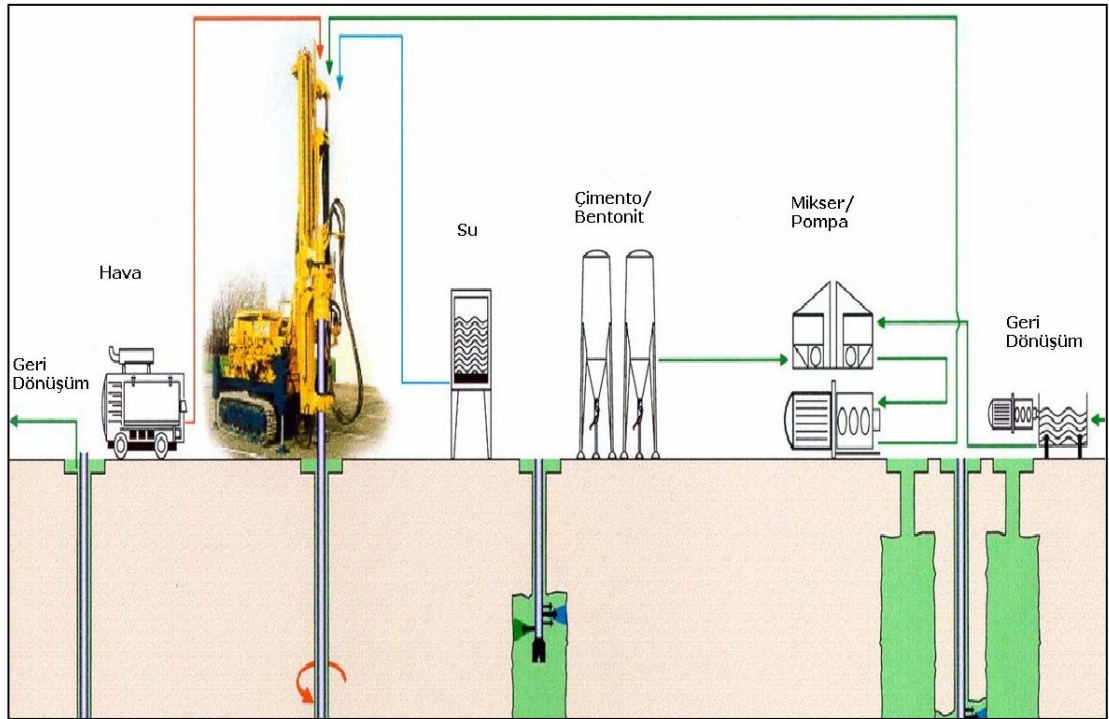
Enjeksiyon ve havanın farklı ve aynı merkezli nozullara ayrı olarak temini için iki fazlı iç rod sistemi kullanılır. Enjeksiyon zemini parçalama ve karıştırma amacı ile kullanılır. Hava, zeminin parçalanması etkinliğini artırır. Çift rod sistemi kohezyonlu zeminlerde tek rod sistemine göre daha etkilidir.

- Çift akışkanlı hava sistemi zeminin ayrıştırılması ve çimento haline gelmesinin genellikle çimento hamuru olan bir akışkan ve ikinci bir akışkan olarak düşünülen hava jeti ile gerçekleştirildiği bir sistemdir. Bir ya da daha çok çift nozüller havanın ve enjeksiyonun eşzamanlı olarak püskürtülmesi için kullanılır. İki akışkanı iletmek için iki rod kullanılır.

Çift akışkanlı su sistemi, zeminin ayrıştırılmasının ve çimento ile karıştırılması işleminin yüksek enerjili su jeti ile gerçekleştirildiği ve çimento-zemin karışımının eşzamanlı olarak ayrı bir enjeksiyon jeti tarafından sağlandığı bir sistemdir. Bir ya da daha çok nozül suyun yüksek basınçlı olarak püskürtülmesi için kullanılır. Bir ya da daha çok derin nozullar çimento karışımının püskürtülmesi ve enjekte edilmesi için kullanılır.

- Üç akışkanlı jet grout sistemi zeminin ayrıştırılmasının hava jeti ile desteklenmiş yüksek enerjili su jeti ile gerçekleştirildiği ve çimento-zemin karışımının eşzamanlı olarak ayrı bir enjeksiyon jeti tarafından sağlandığı bir sistemdir. Özel durumlarda su yerine diğer uygun akışkanlar ya da süspansiyonlar kullanılabilir. Bir ya da daha çok çift nozüller havanın ve suyun eşzamanlı püskürtülmesi için; daha derin seviyeye yerleştirilmiş bir ya da daha çok tek nozüller ise grout enjeksiyonu için kullanılır. Üç adet rod, yüksek basınçlı su, sıkıştırılmış hava ve basınçlı çimento enjeksiyonu sağlamak için kullanılır.

Grout, hava ve su ayrı yollardan monitöre pompalanır. Yüksek hızlı koaksiyal hava ve su zeminin parçalanması amacıyla aracı görevi görürler. Grout, aşındırma jetinin altında ayrı nozüllerden daha düşük hızla çıkar. Üç rodlu jet grout sistemi kohezyonlu zeminler için en etkili sistemdir (Şekil 2.20).



Şekil 2.20 : Jet grout ekipmanları ve uygulama aşamaları

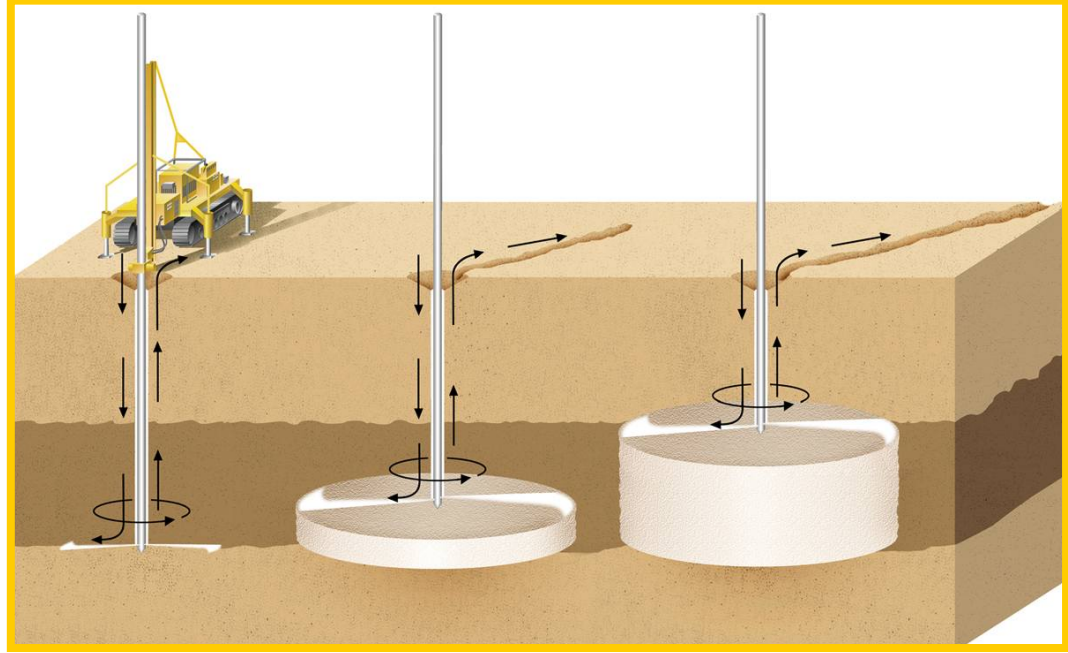
- Ön ayrıştırma, kohezyonlu zemin tabakalarında isteğe bağlı olarak kullanılır. Bir elementin jet groutu tek akışkanlı sistem ya da su-hava jet sistemi gerçekleştirilen bir ön ayrıştırma ile desteklenir.
- Süper jet grouting saha kalitesi ve jet groutun ekonomikliği açısından önemli bir gelişmedir. Geleneksel çift akışkanlı jet grouting sistemine benzer şekilde süper jet grouting sisteminde bir çift enjeksiyon nozulları zemini parçalamak ve enjeksiyon karışımı için kullanılır. Japonya'dan lisanslı bir teknoloji olarak süper jet grouting enjekte edilmiş çimento hamuru ve havanın enerjisine odaklanabilmek için monitörün tasarımı sırasında elde edilen etkinliği kullanır. Uygun rotasyon ve kaldırma parametreleri ile 5 m çapa kadar kolon inşaatının mümkün olduğu kanıtlanmıştır. Bu, diğer jet grout yöntemleri ile elde edilen tipik olarak 0.6-2 m çapındaki kolonlardan çok daha fazladır [18].

Bu özel monitör, akışkanın akışının etkinliğini arttırmak için uzun yıllar boyunca yapılan çalışmanın sonucudur. İki tür monitör geliştirilmiştir: Superjet ve superjet midi. Superjet üçlü dairesel rod ve swivel kullanır ve kendi kendine delme aracıdır. Superjet midi çift dairesel rod ve swivel kullanır, düşük profillidir fakat önceden açılmış deliğe ihtiyaç duyulur. Kolon inşa aşamaları şu şekildedir (Şekil 2.21):

- Tasarlanan derinliğine kadar delme işlemi
- Hava ve çimento hamurunun yavaş dönen çubuk ile yüksek hızda enjeksiyonu
- Rod yavaşça dönerken zemin tipine bağlı olarak yavaşça yukarıya çekilme aşaması
- Enjeksiyon kolonunun tamamlanması ile birlikte enjeksiyon hızının düşürülmesi ve rod un kolon dışına çekilmesi

Superjet sisteminin birçok potansiyel uygulama alanları vardır. Kolonların birbirine bağlanmasıyla yapıların yatay ve düşey desteklenmesi için yapı sistemi olarak tasarlanabilir; yeraltı suyunun izole edilmesi amacıyla, tünel inşaatları sırasında karşılaşılan yumuşak zeminleri stabilize edilebilir. Yenileme ve

modifikasyon için derin altyapı sistemlerinin güvenliği amacıyla, sıvılaşmaya müsait zeminlerin stabilizasyonu amacıyla kullanılır [19].



Şekil 2.21 : Superjet grouting yönteminin aşamaları

2.2.2.4 Jet grouting ekipmanı

Ekipman, tasarlanmış hızda stringin rotasyon el yer değiştirmesini gerçekleştirerek jet grout işini yapmaya kabildir. Karışım ünitesinden gelen enjeksiyon malzemesini Stringe istenen basınçta ve akış oranında sağlamak şarttır [17].

Her jet grouting uygulaması için değişik karıştırma ve grouting üniteleri gereklidir. Çimento ve diğer malzemelerin depolanması için koloidal karıştırma üniteleri, agitator tankları ve yüksek hızlı enjeksiyon pompası gereklidir. Ünite ayrıca bentonit hidrasyon tesisleri, bir hava kompresörü ve bir yüksek basınç su pompası içerebilir. Şekil 2.21’den de görülebileceği gibi, jet grout ünitesi oldukça fazla yer kaplamaktadır [17].

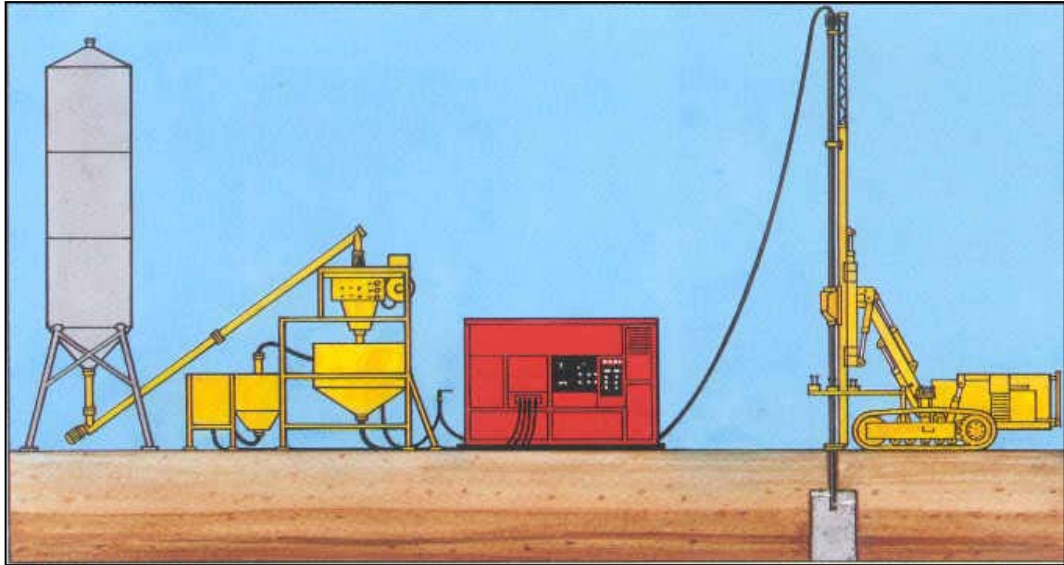
Jet grout ekipmanı ve ilgili aksesuarları jet grout yöntemlerinin her ikisini de yapabilecek kapasite ve nitelikte olmalıdır.

Seçilen ekipman gerektiğinde zeminin kabarmasına mani olmak veya istenen kazık çap ve mukavemetine ulaşmak üzere İşverenin talimatı doğrultusunda “prewashing” (ön yıkama) gerçekleştirilebilecek nitelikte olmalıdır.

Delme ekipmanı istenen ölçüde ve derinlikte delmek, jet grout kolonlarını elde etmek amacıyla jet grout ekipmanını indirmek, kaldırmak ve döndürmek için uygun kapasitede ve tipte olmalıdır.

Jet grouting ekipmanı istenen ölçüde ve derinlikte jet grout kolonlarını ilgili zemin tiplerinde elde etmek amacıyla kullanılacak tekli, çift ya da üçlü fazlı akışkan delme borusu içermelidir.

Grout karıştırma ve enjeksiyon ekipmanı jet grout kolon malzemelerinin istenen basınçta yeterli miktarda tedariki için grout karıştırıcıları, dinlendirme tankı, su tankları, hava kompresörleri, yeterli kapasitede pompalar içermelidir.



Şekil 2.22 : Jet grouting ekipmanları

Şekil 2.22’de şematik olarak gösterilen Jet Grout Ekipmanları aşağıda açıklanmaktadır. Bunlar:

1. Çimento Silosu
2. Batching plant

3. Yüksek basınçlı jet pompası
4. Çimento karışımı için yüksek basınçlı pompa
5. Hava Kompresörü
6. Mobil delgi ve enjeksiyon ekipmanı

Delgi makinesi: Uygulama projesinde öngörülen derinliğe kadar yukarıdaki yöntemlerden biri ile delgi yapabilecek ve jet grout kolon teşkil edebilecek kapasitede delgi makinesidir.

Pompa ünitesi: Jet grout enjeksiyon karışımını istenen çapta jet grout kolon teşkil edebilecek basıncı verebilecek pompadan oluşacak jet grout ünitesidir.

Mikser ünitesi: Jet grout enjeksiyon karışımını istenen karışım oranında elektronik olarak tartarak karıştıracak mikser ve dinlendiriciden oluşan, jet grout pompa ünitesini beslemeye yeterli kapasitede mikser ünitesidir.

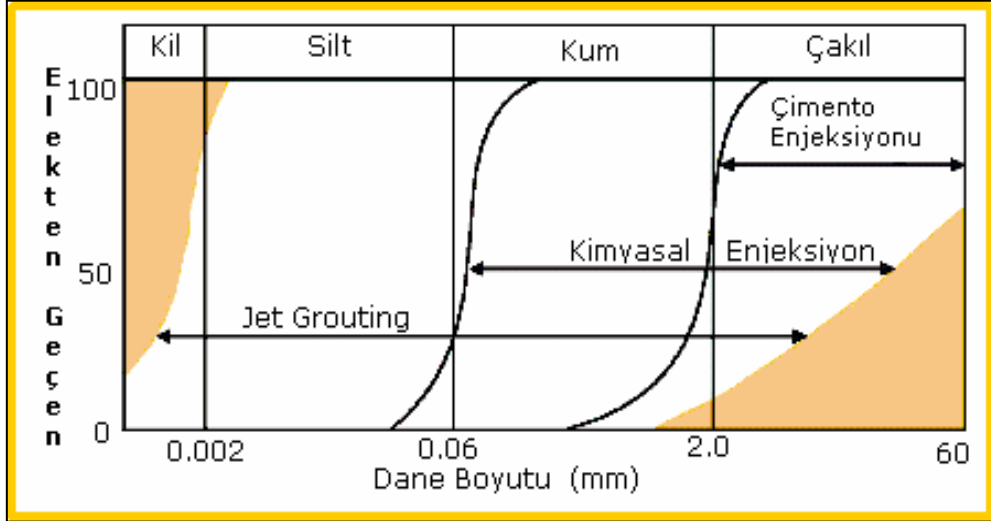
Çimento silosu: Dökme çimento depolayabilen ve jet grout mikser ünitesini yeterli düzeyde besleyecek çimento silosu ve konveyörüdür.

Su tankı: 15-25 ton kapasiteli sağlam su tankı-havuzu ve su pompası olmalıdır.

Diğer ekipmanlar: 8-12 bar basınçlı kompresör, kaynak makinesi ve elektrik kesintilerinin olması halinde 50KVA' lık bir jeneratör bulundurulmalıdır.

2.2.2.5 Temel jet grouting parametreleri

Jet grouting siltler ve killeri de dahil olmak üzere geniş bir zemin tipi aralığında kullanılabilir (Şekil 2.23). Aşındırma esasına dayalı bir sistem olduğu için, zeminin aşınabilirliği geometri, kalite ve üretim tahmininde önemli bir rol oynar. Kohezyonsuz zeminler, kohezyonlu zemine göre daha çok aşınabilirler. Soilcrete'in geometrisi ve fiziksel özellikleri incelendiğinde, iyileşme derecesi rahatlıkla ve tam olarak tahmin edilebilir [14].

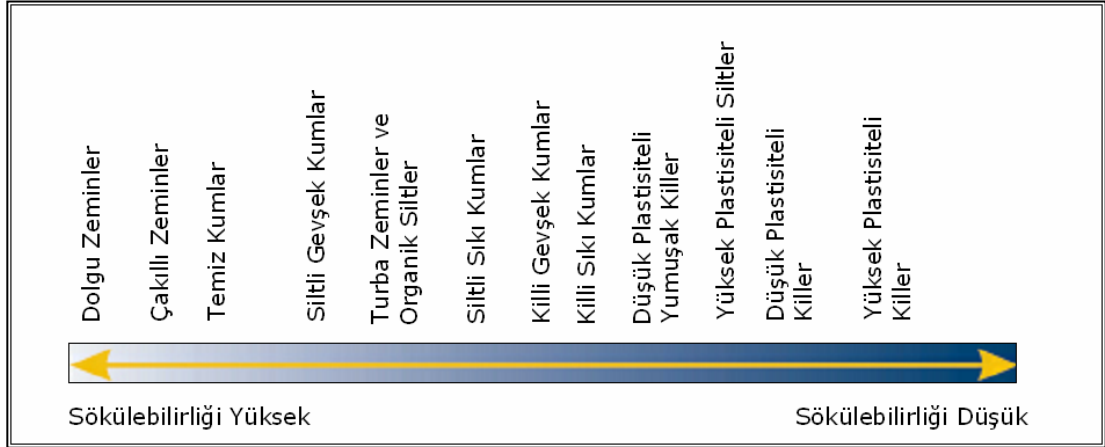


Şekil 2.23 : Zemin cinslerine göre enjeksiyon uygulama aralığı

Zeminlerin sökülebilirliği: Değişik zemin tipleri farklı parçalanma karakteristikleri gösterir. Kohezyonsuz zeminler, daneleri arasında (nemden başka) bir bağlayıcı olmadığı için göreceli olarak daha kolay parçalanırlar ve türbülanslı bir ortama maruz kaldıklarında kendi kendilerine parçalanabilirler. Öte yandan, yüksek derecede plastik killer kohezyon ile bağlandıkları için zor parçalanırlar. Up-hole hızları iyi derecelenmiş kumdan daha büyük partikülleri parçalayacak kadar büyük değildirler. Plastik killer genellikle küçük parçalara bölünürler ve delgi sırasında toplanarak parçalar halinde koparlar. Bu durum çoğunlukla delik ağzının tıkanması ve geri dönmesi gereken artık malzemede kayıplar olmasına yol açar. Bu durum, ayrıca oluşturulacak jet grout kolonunun kalitesinin ve geometrisinin iyi kontrol edilememesinin nedeni olabilir. Kesilen zeminin dışarı alınması, delicinin kaplanması, birden çok püskürtme ağzı kullanılması, püskürtme ağızlarının farklı doğrultulara yönlendirilmesi ve hava kılıfı oluşturulması gibi uygulamalar ile sağlanabilir. Jet grout yönteminin uygulanabileceği zeminler sökülebilirliği en yüksek olan zeminden en düşük olana kadar aşağıda yer almaktadır (Şekil 2.24) [8].

Projenin amaçlarına uygun yöntem ve prosedürlerin bulunması için deneyimden yararlanılmalı ve alan testleri kullanılmalıdır.

Havanın, suyun ve grout akışının işletme parametreleri monitör rotasyonu ve çekme hızı ile birlikte seçilir ve inşaat boyunca otomatik olarak kontrol edilir ve gözlenir. Azaltılmış akış ve arttırılmış çekme hızı daha küçük soilcrete geometrisi üretmektedir [14].



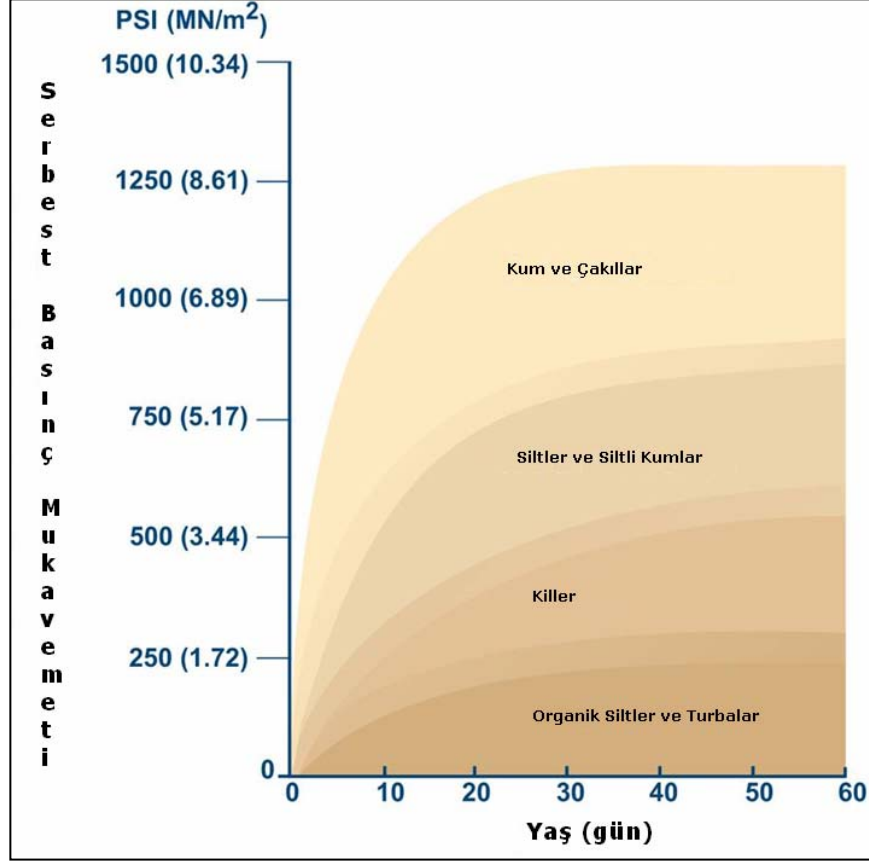
Şekil 2.24 : Zeminlerin sökülebilirliği

Teorik olarak iyileştirme derinliği sınırsızdır, ancak jet grouting 164 ft (50 m) den daha fazla derinliklerde ender kullanılmıştır.

İyileştirme ayrıca spesifik bir katmana odaklanacak şekilde gerçekleştirilebilir. Soilcrete kitlesinin ölçüsü belirli bir uygulama için belirlenir. Her panelin çapı ya da genişliği tasarım aşaması sırasında belirlenir.

Zemin tipinin hassas, detaylı ve sık tasviri gerilmenin ve yoğunluğun makul değerlendirilmesi çerçevesinde tahminin güvenle yapılmasını sağlar. Gerekirse, kesme ve gerilmeye karşı güçlendirme de soilcrete'e dahil edilebilir.

Tipik soilcrete dayanımları : Soilcrete serbest basınç mukavemetleri değişkendir ve özellikle katmanlı zeminlerde tahmin edilmesi güçtür. Ballarin ve Forti'nin (1998) yapmış olduğu çalışmaların sonuçlarına göre çimento karışımının serbest basınç direnci killer ve siltler için 1.2 – 4 Mpa, siltler ve kumlar için 3-12 mPa, kumlar ve çakıllar için 6-12 Mpa olabildiği belirlenmiştir. Sıkıştırılmış silt dolgu içinde yapılan jet-grout kolonunun serbest basınç mukavemeti 10 Mpa, elastisite modülü 5400 Mpa, Poission oranı 0.27 bulunmuştur (Şekil 2.25).



Şekil 2.25 : Tipik soilcrete dayanımları

Genel olarak Jet grouting sırasında aşağıdaki parametreler gözlenmelidir.

- akışkan basıncı
- akışkanın akış oranı
- grout kompozisyonu
- jet grout stringinin dönüştürme ve dönme hızı

Akışkan basıncı ve akış oranı jet grouting stringe girmeden önce ortak olarak pompa basıncı olarak ölçülürler. Değişik jet grouting sistemleri için çalışma parametreleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Parçalanma etkisi, jetin yüksek hızıyla sağlanır ve büyük oranda kullanılan akışkanın basıncına bağlıdır. Bu tek akışkanlı ve çift (hava) akışkanlı sistemlerde enjeksiyon şerbeti, iki (su) akışkanlı ve üç akışkanlı sistemlerde suludur.

Tek ve çift (hava) akışkanlı sistemlerde enjeksiyon basıncı 30 ve 50 Mpa arasında değişir. Çok gevşek zeminlerde küçük çaplı jet enjeksiyon sütunları gibi bazı özel uygulamalarda 10 Mpa gibi düşük değerler de kullanılmıştır.

Tablo 2.2 : Jet grouting parametreleri (from prEN 12761)

Çalışma Parametreleri	Tek Akışkanlı Sistem	Çift Akışkanlı Sistem (Karışım+Hava)	Çift Akışkanlı Sistem (Su+Karışım)	Üçlü Akışkanlı Sistem
<i>Enjeksiyon basıncı (Mpa)</i>	30-50	30-50	>2	>2
<i>Debi (L/min)</i>	50-450	50-450	50-200	50-200
<i>Su basıncı (Mpa)</i>	N/A	N/A	30-60	30-60
<i>Su debisi (L/min)</i>	N/A	N/A	50-150	50-150
<i>Hava basıncı (Mpa)</i>	N/A	0.2-1.7	N/A	0.2-1.7
<i>Hava debisi (L/min)</i>	N/A	3-12	N/A	3-12

Jetgrout sisteminde kullanılan imalat parametreleri şu şekilde sıralanabilir:

- Jet sistemi (Jet-1, Jet-2, Jet-3)
- Enjeksiyon Basıncı (Bar)
- Nozul Sayısı ve Çapı (rpm)
- Tij Dönme Hızı (rpm)
- Tij Çekme Hızı (cm/dak)
- Su/Çimento Oranı
- Pompa Kapasitesi (lt/dak)

Bu parametrelerin tipik değerleri Tablo 2.3' de verilmektedir. Jetgrout uygulaması sonucu seçilen sisteme ve zemin cinsine bağlı olarak oluşan kolon çapı değişken olmaktadır. Kolon çapı jetleme esnasında çimento yanında, hava ve su kullanmak suretiyle arttırılmaktadır. Ülkemizde genellikle yaygın olarak Jet-1 ve Jet-2 sistemleri kullanılmaktadır [8]. Jet grouting imalatında istenen mukavemet ve permeabilite değerlerine ulaşılabilmesi çeşitli ve birbirine bağlı faktörlere dayanmaktadır. Sonucu etkileyen bu faktörler şunlardır [20]:

Tablo 2.3 : Jetgrout imalat parametreleri

Sistem	Enjeksiyon Tipi	Basınç (bar)	Nozul Adedi ve Çapı (adet, mm)	Çekme Hızı (cm/dak)	Dönme Hızı (rpm)	Su / Çimento Oranı	Pompa Kapasitesi (lt/dak)
JET 1	Çimento	400 – 550	1-2 x 2-5	15 –100	5 – 15	1.0 – 1.5	70–600
JET 2	Çimento	400 – 550	1-2 x 2-5	10 – 30	4 – 8	1.0 – 1.5	70–600
	Hava	10 – 12	-	10 – 30	-	-	4000-10 000
JET 3	Çimento	50 – 100	1-2 x 4-5	6 – 15	4 – 8	1.2 – 1.5	80–200
	Hava	10 –12	-	6 – 15	-	-	4000–10 000
	Su			6 – 15	-	-	40–100

- Zeminin sökülebilmesi için kullanılan jetin spesifik enerjisi, sökülecek zeminin mukavemetinin artmasına bağlı olarak artar. Bu spesifik enerji, jet hızına ve dolayısıyla uygulanan basınca ve püskürtme ağzı çapına bağlıdır.
- Kullanılan jetin basınçlı hava ile çevrelenerek kılıflaşması, kesme enerjisini ve verimliliğini artırır.
- Gereksinilen pompaj kapasitesi spesifik enerjiye ve pompalanacak malzemenin miktarına bağlıdır.
- Belirli zemin mukavemetinde imal edilen elemanların çapı, uygulanan spesifik enerjinin ve/veya etkili kesme süresinin artması ile artar. Bu ise dönme ve geri çekme hızları ile kontrol edilir.
- Sabit boyutlarda elemanların imal edilebilmesi için, derinlik arttıkça spesifik enerjinin ve/veya etkili sürenin artırılması gerekir. Zemin mukavemetinin derinlik ile birlikte artması bunun sebebidir.
- İmal edilen elemanların mukavemeti, çimento karışımının nihai mukavemetine, çimento karışımı ile zemin karışım oranlarına, imalat öncesi doğal zemin özelliklerine ve oluşturulacak elemanın homojenliğine bağlıdır.

- Genel olarak, imal edilen elemanın mukavemeti homojenliği arttıkça permeabilitesi azalır. Mukavemeti düşük kohezyonlu zeminlerde oldukça düşük permeabilite değerlerine ulaşılabilir. Ancak imalatı karışım oranının düşüklüğü ve elemanın homojen olmaması istenmeyen şekilde aşınabilirliğe yol açmaktadır.

Tüm bu faktörler göz önüne alındığında, sonucun başarılı olması için dikkatli bir tasarım ve işçilik gerekmektedir ve başarının kanıtlanmasında en geçerli yol arazi deneylerinin yapılmasıdır.

Bunlara ek olarak jet grouting yönteminde çalışma programı da ayrıca önem taşımaktadır. Bu konuda önemli birkaç nokta şu şekilde belirtilebilir [21]:

- Düşeyle 30°'den daha fazla açı yapan uygulamalarda, zeminde kırılma ve kabarmalara yol açabileceği gibi hava ayrı bir akışkan olarak kullanılmamalıdır.
- Genel olarak düşük gerilme altındaki bölgelerden, yüksek gerilme altındaki bölgelere doğru ilerlenmelidir. Yani temel takviyesi yapılırken temellerin köşe ve kenarlarından ortasına doğru ilerlenmelidir. Böylece zeminde kemerleme oluşur ve iyileştirilen zemin yük taşıyacak duruma gelinceye kadar yapıdaki deformasyonlar ve oturmalar minimize edilmiş olur.

2.2.2.6 Jet grouting uygulama alanları

Jet grouting yeraltı akışkanının veya kararsız zeminin kazısının kontrol edilmesi gerektiği bütün durumlarda kullanılabilir [13].

Jet grouting geçici ya da sürekli işlerde değişik amaçlar için kullanılabilir. Kullanım alanlarına örnekler aşağıda verilmiştir [17]:

- a) Yeni yapılar için temeller sağlamak
- b) Mevcut temellerin temel takviyesini yapmak
- c) Düşük geçirgenlik bariyerleri yaratmak
- d) Destek yapıları yaratmak

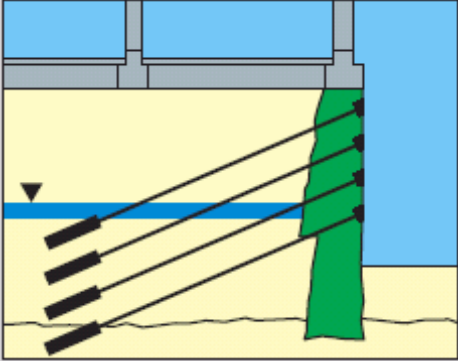
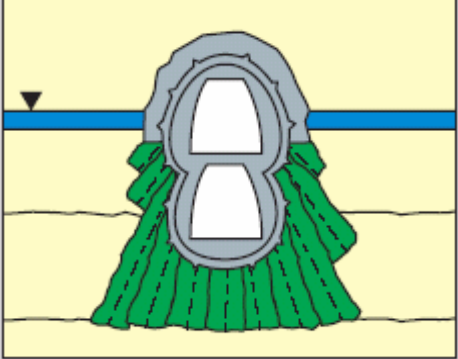
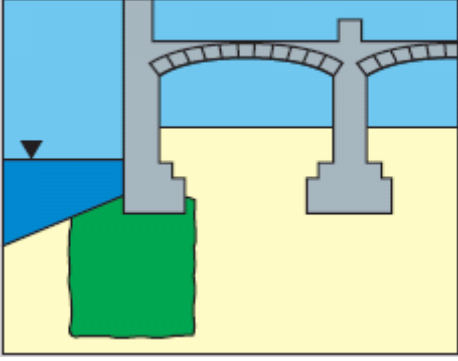
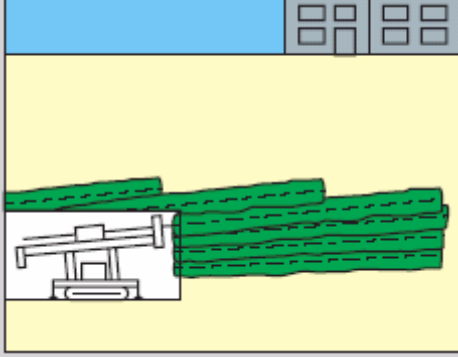
- e) Geçici stabilizasyon gibi diğer geoteknik işlere tamamlayıcı bir etkide bulunmak
- f) Zemin kitlesini desteklemek

Tablo 2.4 : Jet grouting uygulamaları

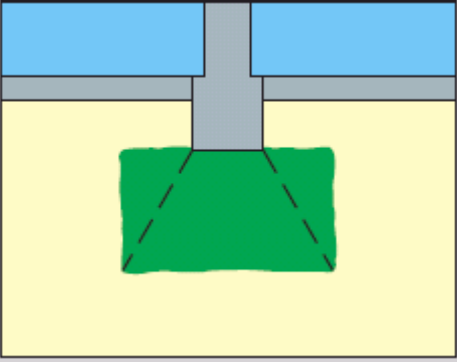
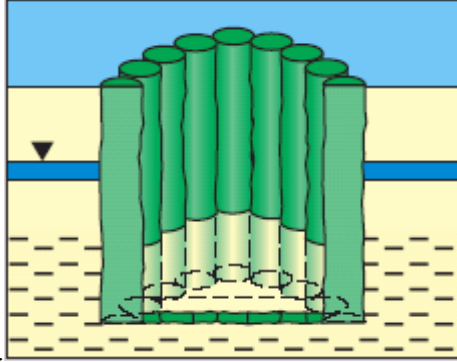
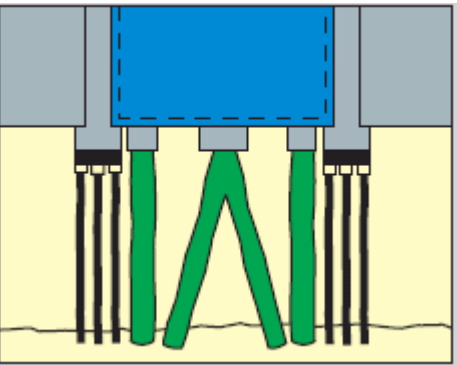
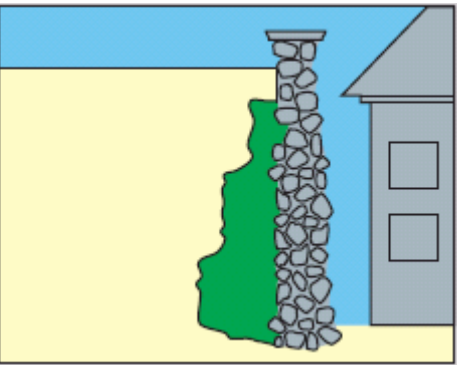
Sistem S (Tek akışkanlı sistem)	Sistem D (Çift akışkanlı sistem)	Sistem T (Üç akışkanlı sistem)
- Boşluklu zeminde geçirimsizlik perdeleri - Tünel çatı için zemin konsolidasyonu - Yumuşak zeminde derin hendeklerin takviyesi - Ankrajlar - Geçirimsizlik uygulamaları	- Zemin stabilizasyonu - Boşluklu zeminde temel takviyesi - Panel geçirimsizlik perdeleri - Yumuşak zeminde derin hendeklerin takviyesi	- Temel takviyesi ve kazı desteği - Döşeme/yeraltı suyu kontrolü - Panel geçirimsizlik perdeleri - Geçirimsizlik uygulamaları - Çoğu ince daneli zeminlerin stabilizasyonu

Soilcrete'in zemin stabilizasyonu amacıyla kullanımında en önemli kullanımlarının başında bitişik inşaat alanında açılacak çukur nedeniyle yapılan temel takviyesi gelmekte olup bunu temel modifikasyonu ve restorasyon çalışmaları izlemektedir. Soilcrete aynı zamanda zayıf zeminlerde tünel açılması çalışmalarına büyük kolaylıklar getirmiştir. Soilcrete'in stabilizasyon amacıyla kullanımına ilişkin detay ve açıklamalar aşağıda Tablo 2.5'de gösterilmektedir.

Tablo 2.5 : Soilcrete'in stabilizasyon amaçlı kullanımı

	Temel Takviyesi : Bazı zamanlarda yeraltı suyu sızıntı bariyeri olarakta kullanılan düşük deformasyonlu ağırlık duvarları ile yapılan temel takviyesi sınırlı çalışma alanları içinde güvenle kullanılabilir.
	Tünellerde koruma : Jet grout tünel koruması, zayıf zemine oturan tehlike altındaki yapıların altında inşa edilecek olan tünel kazısı sırasında yeraltı suyu
	Temellerin restorasyonu : Tarihi yapıların temelleri oturma durumunda zarara uğrayabilir. Bu durumlarda jet grout uygulaması ile maksimum yapısal koruma ve güvenli bir temel yapılmış olur.
	Yatay uygulamalar : Yatay soilcrete kolonları, zayıf zemin formasyonlarında tünel yüzeylerini koruyabilir. Yatay yada hafif meyilli uygulamalar yapılabilir

Tablo 2.5 : Soilcrete'in stabilizasyon amaçlı kullanımı (devam)

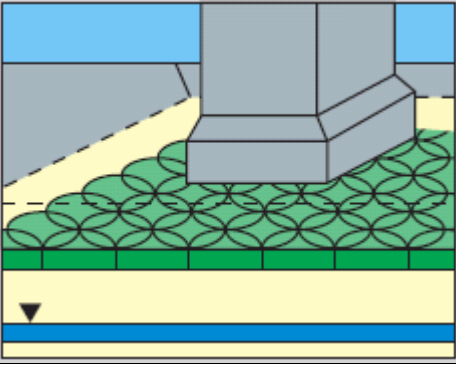
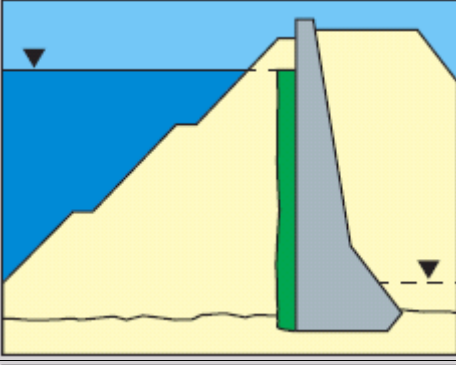
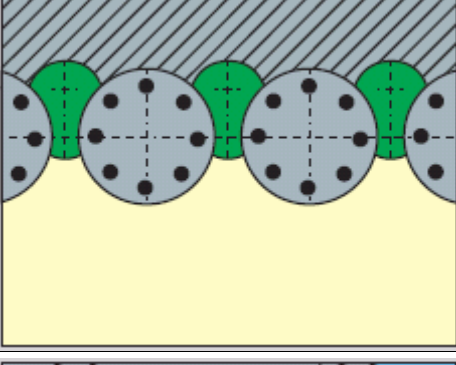
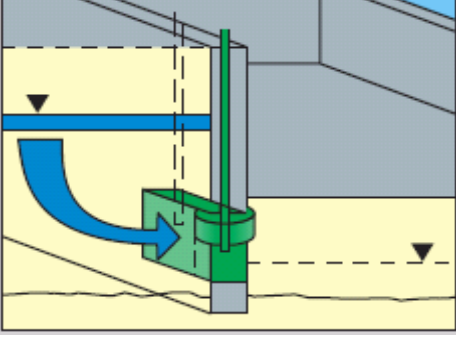
	Temellerin modifikasyonu : Binalarda farklı kullanım amaçlarına gerek duyulması durumunda genellikle temellerin genişletilmesine yada değiştirilmesine gerek duyulur. Soilcrete bu durumlar için ekonomik ve esnek çözümler sağlar
	Şaft destekleri : Titreşim istenilmeyen tesisatlar için oluşturulacak şaftlar yada su taşıyıcı tabakalara kadar girecek olan şaftlar için birbirine bitişik şekilde yapılan kolonlar ile imalat yapılabilir.
	Derin temeller : Soilcrete mevcut yapıların içerisinde, tarihi binalar yada bilgi işlem merkezleri gibi özel yapılar için yeni temeller inşaatı gerektiği durumlarda kullanılabilir.
	Toprak basıncı : Tarihi duvarlar, avalanş galerileri, rıhtım duvarları gibi toprak itkilerine maruz kalan yapılar statik hesaplamaları yapılmış olan soilcrete yapılarına bağlanabilir.

Soilcrete'in bir diğer geniş amaçlı kullanımı ise Yalıtım amaçlı kullanımlardır. Yapı çukurlarında kullanılan duvarların yeraltı suyundan deforme olmaması için soilcrete temel takviye elemanı, düşük permeabiliteli döşemeler ile birlikte geniş alanların geçirimsizliğini sağlamak için kullanılabilirler. Soilcrete elemanları için çevreye zararı olmayan malzemeler kullanılır.

Tablo 2.6 : Soilcrete'in yalıtım amaçlı kullanılması

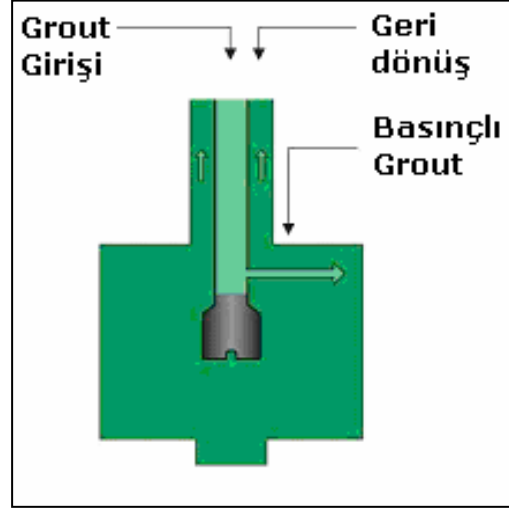
	Panel duvarlar : Soilcrete panel duvarlar, yol yada yapı amacıyla açılalan çukurları ayırmak, kesişen tesisat borularına karşı önlem almak, yeraltı suyuna karşı önlem almak amacıyla kullanılırlar. Yalıtım gereksinimine göre tek yada çoklu panel duvarlar inşaa edilebilir.
	Tampon kat döşemeleri : Kısa açıklıklı soilcrete döşemeler yapılarak özellikle küçük yapıların temel çukurlarında suyun kaldırma kuvvetine karşı koruma amacıyla, normalde daha kalın yapılacak yapı döşemesinin kalınlığı azaltılmış olur.
	Diyafram duvarları : Kesme kuvveti yoluyla daha yüksek mekanik gerilmeler oluşması durumunda, yüksek derecede geçirimsizlik beklentilerinin tehlikeye atılmaması için birbirini kesen yanyana kolonlar ile diyafram duvarı oluşturulabilir.

Tablo 2.6 : Soilcrete'in yalıtım amaçlı kullanımları (devam)

	Yalıtım kaplaması : Yapıların altındaki yeraltı suyunun yapı aktivitelerinden ve toksik atıklardan korunması amacıyla kullanılabilir.
	Baraj enjeksiyon perdesi : Barajların geçirimsizlik çekirdeklerinin tamirinde yada geçirimsizlik perdelerinin genişletilmesinde kullanılabilir.
	Yalıtım bağları : Kazıklar ve perde yapıların arasında sızıntıların önlenmesi için kullanılabilir.
	Yeraltı suyu bariyerleri : Geçirimsizlik perdeleri genellikle yeraltı suyu bariyerleri olarak kullanılırlar.

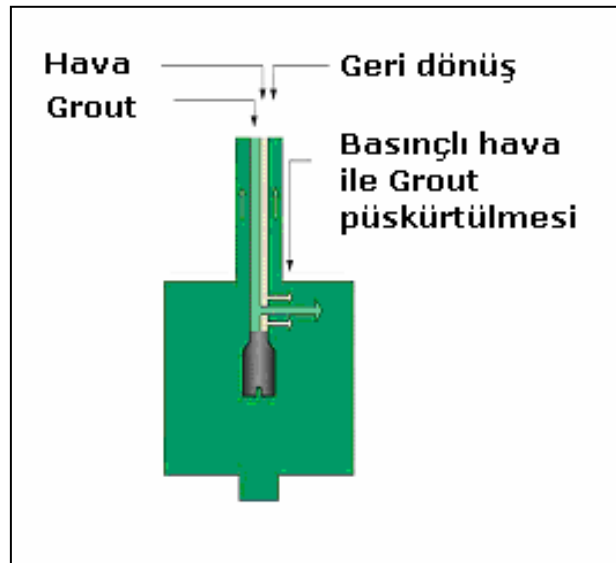
Jet Grout elemanları üç farklı tipte üretilirler. Bu yöntemler, üretilecek elemanların, zemin koşullarına, geometrik şekillerine ve jet grout elemanının taşıma kapasitesine göre belirlenir. Bu sistemler aşağıdaki şemalarda da açıklanmaktadır.

Soilcrete S : (Single direct process) Grout min. 100 m/sec hızla püskürtülür. Zeminin kesilmesi ve karışımı işleminde hava kullanılmamaktadır. Bu yöntem ile küçük ve orta boyutlarda jet grout elemanı üretilir (Şekil 2.26).



Şekil 2.26 : Soilcrete S şematik gösterimi

Soilcrete D : (Double direct process) Grout, 100 m/sec hızla zemin içerisine püskürtülür ve zemin ile kesintisiz bir karışım elde edilir. Zeminin parçalanmasının derecesinin yükseltilmesi için jet nozullarından hava püskürtülür. Bu yöntem genellikle panel duvar oluşturulması, temel takviyesi ve yalıtım işleri için uygundur (Şekil 2.27).



Şekil 2.27 : Soilcrete D şematik gösterimi

2.2.2.7 Jet Grouting uygulaması

Başlangıç imalat parametreleri olarak min. 160 kg/m çimento dozajı, PÇ 42.5 veya muadili çimento ve 450 bar basınç ve 120 sn/m çekme hızı (2.0 nozul) baz alınabilir.

Uygulama safhaları aşağıda verilmektedir.

- Projede belirtilen uzunluktaki delgi işlemi.
- Deliğin sonuna jet enjeksiyon tipine bağlı bir monitör yerleştirilmesi. Monitör vasıtasıyla çimentolanan ve ayrıştırılan akışkanın püskürtülmesi ve aynı zamanda önceden belirlenmiş çekme ve döndürme hızları, pompa basıncı ve akışkanın debisi gibi jet enjeksiyonu parametreleri ile tijin çekilmesi ve döndürülmesi.

Saha Hazırlıkları:

- Kararlı ve kuru bir çalışma ortamı hazırlanmalıdır. Uygun yüzey suyu drenaj sistemi teşkil edilmelidir.
- Her bir delgi noktasının konumu hassas bir şekilde tespit edilmeli ve işaretlenmelidir.
- Çalışma sahası delgi makinesi, paletli vinç, beton mikseri, beton pompası ve iş makinelerinin batmadan çalışmalarına olanak sağlayacak şekilde düzeltilip sıkıştırılacaktır. Dolgular, delme işini zorlaştırmayacak uygun malzemelerle yapılmalıdır.
- Artık akışkanın depolanıp atılmasına yönelik bir sistem öngörülmalıdır. Yeraltı suyu sürekli olarak sahadan uzaklaştırılarak çalışma sahasının bozulması önlenmelidir.
- İmalat sahasında bilinen ve yüzeye yakın engeller çalışmalara başlamadan önce sahadan uzaklaştırılmalıdır. Bu engellerin kaldırılmasıyla oluşan boşluklar uygun granüler malzeme ile doldurulmalıdır.

Delgi İşlemi:

- Delme işlemi için malzeme olarak su, hava, çamur, enjeksiyon şerbeti veya köpük kullanılabilir. Gerektiğinde muhafaza borulu delgi yapılabilir.

- Delgide kuyunun kararlı olmadığı veya akışkanda büyük kayıplar varsa veya kirlenmiş akışkan suyunun atılmasında zemin koşullarının zorluk çıkarması muhtemel ise uygun tedbirler alınmalıdır.
- Aksi belirtilmedikçe delgi noktası teorik konumundan 50 mm'den fazla sapmamalıdır.
- Delgi noktasının teorik eksenden sapması 20 m derinliğe kadar % 2'den fazla olmalıdır.
- Jet grout kolon imalatını takip eden 24 saat süresince kolona yeni imalat yapmak amacıyla yatayda 2 m'den daha fazla yaklaşılmamalıdır.
- Delgi çapı ve çubuklar arasındaki sirkülasyon hacmi kirlenmiş akışkanın serbestçe delgi başına dönmesine yetecek kadar büyük olmalıdır.
- Yeraltında tahmin edilemeyen engellere rastlanırsa, jet enjeksiyon aşamasında istenmeyen etkilerin ortaya çıkmaması için uygun tedbirler alınmalı ve proje müellifi uyarılmalıdır.

Jet Enjeksiyon:

- Jet enjeksiyon işlemi, uygun eğitim almış ve bilgili personel vasıtasıyla yapılmalı ve kontrol edilmelidir.
- Projede belirtilen derinliğe inildiğinde delme ve enjeksiyon basma işlemi durdurulur.
- Çelik bilye grout borusuna yollanarak groutun yönü “monitör” diye adlandırılan ve delgi ucunun hemen arkasında bulunan nozulları taşıyan takıma çevrilir.
- Yüksek basınçlı enjeksiyon malzemesinin pompalanmaya başlanması ile enjeksiyon fazına geçilir.

- Grout hızla birlikte, delici takımın rotasyon hareketi ile dairesel kesitli bir grout tabakası formunu alır. Delici takımın önceden belirlenmiş dönme hareketi sabit hızla çekme hareketi ile birleşince düşey kolon şeklinde bir yapı meydana gelir.
- Zemine çimento enjeksiyonu, istenilen jet grout üst kotuna kadar yapılır. Enjeksiyonun kinetik enerjisinden zarar görmemesi için, jet grout üst kotu her zaman 50 cm. yukarıda bırakılmalıdır.
- Enjeksiyon işlemine ara verildiği durumlarda, işleme elemanın sürekliliğini sağlayıcı uygun tedbirler alındıktan sonra başlanmalıdır.

Kirlenmiş Akışkanın Dönüşü:

- Jet enjeksiyonun yapılması esnasında kirlenmiş akışkanın dönüş miktarı ve niteliği devamlı kontrol edilmelidir.
- Jet enjeksiyonunda kirlenmiş akışkanın dönüşünde beklenmeyen değişiklikler olursa uygulama parametreleri ve yöntemleri gözden geçirilmelidir.
- Kirlenmiş akışkanın dönüşünde beklenmeyen bir azalma olduğunda derhal inceleme yapılmalıdır. Bu dönüş yolunda tıkanmayı işaret edebilir.

Jet grouting yönteminin uygulanmasında dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda maddeler halinde verilmektedir [8].

- Bu konuda özenli ve dikkatli gözlem ve testler yapılmalı, iş konusunda tecrübe ve bilgi sahibi Mühendislerce kontrol ve idare edilmelidir. Geniş emniyet tedbirleri alınmalıdır.
- Yüksek basınçla çalışırken püskürtme ağızlarının tıkanmalarını önleyici tedbirler alınarak, enjeksiyon hortumlarının patlamasının önüne geçilmelidir.
- Aşınmanın yüksek oluşundan dolayı tamir ve bakım süresi mümkün olduğu kadar kısa tutulmalıdır.

- Enjeksiyon sırasında uygulanan basıncın kontrollü olarak ortadan kaldırılabilmesi sağlanarak zeminde arzu edilmeyen kabarma, çatlama ve kırılmaların önüne geçilmelidir.
- Mutlak suretle yapılması gereken periyodik bakım (bilhassa pompanın temizliği ile) ve yedek parça sarfiyatının minimum tutulması gereklidir.

Temel takviyesi amaçlı jet grout uygulaması yapılmadan önce aşağıda sıralanan hususlar incelenmeli ve açıklığa kavuşturulmalıdır [22].

- **Tasarım :** Mevcut yapının durumu ve temellerin kapasitesi, imalattan sonra priz sağlanana kadar taşıma gücünü kaybeden zeminin durumu açısından incelenmelidir.
- **İmalat sırası :** İmalat sırası imal edilmiş kolonun yeterli mukavemet kazanarak, bitişik kolonun imalatından etkilenip bozulmasını engelleyecek şekilde düzenlenmelidir.
- **Kolon çapı :** Uygulanan jet grouting sisteminin daha büyük çaplı kolonlar imal edilecek olması halinde daha küçük çaplı (1.2 m veya daha küçük çaplı) kolonlar imal edilebilmektedir.
- **Kilitlenme :** Zeminde süreksizlikler oluşmayacak şekilde iyileştirme yapılabilmesi ve yetersiz özelliklere sahip zeminin minimize edilebilmesi için tasarım kolonların birbirine kilitleneceği şekilde yapılmalıdır.
- **Çimento miktarı :** Mevcut zemin koşullarına bağlı olarak, iyileştirilmiş zeminin yeterli mukavemete erişebileceği enjeksiyon karışım oranları ve çimento miktarları belirlenmelidir.
- **Kohezyonlu zeminlerin varlığı :** İyileştirme yapılacak derinlik boyunca kil yada % 15'den fazla silt içeren zonlar geçilecek ise, kolon çapında oluşacak küçülme ve mukavemetteki düşüş göz önünde bulundurulmalıdır.
- **Temel-enjeksiyon bağı :** Aşındırıcı jet, mevcut temel plağının yada pabucun altını temel ile iyileştirilmiş zemin arasında güçlü bağ olacak şekilde temizler.

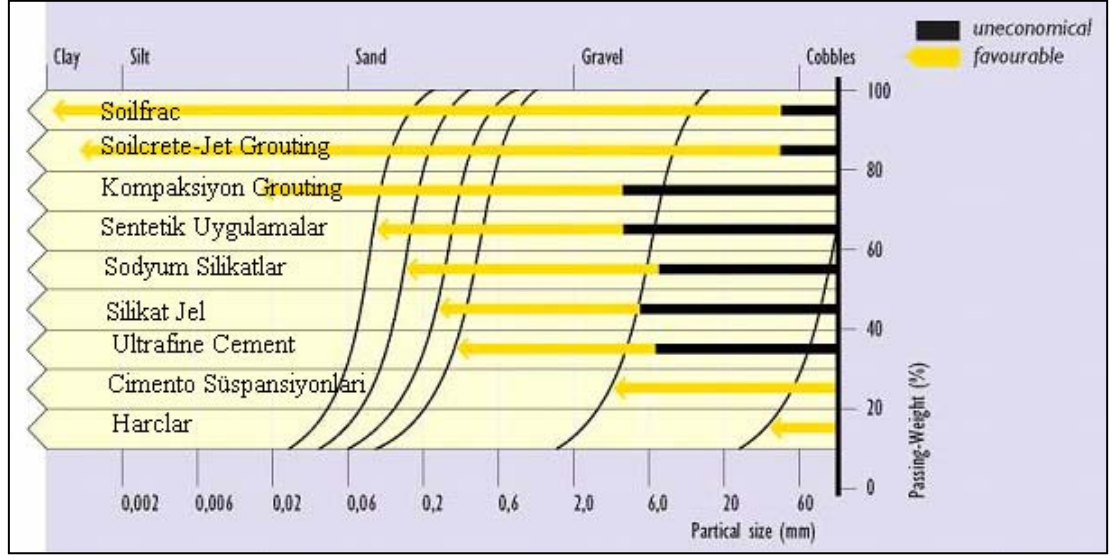
Temel ile jet grout eleman arasındaki kontağın sağlanması için enjeksiyon temel kotunun biraz üzerine kadar sürdürülmelidir.

- **Yapıların hareketi :** Tüm delgi ve enjeksiyon işlemleri sırasında yapıda aletsel gözlemler yapılmalıdır. Bunun için en sağlıklı yöntem, zeminde oluşacak oturma ve kabarmaların da bir an önce fark edilebilmesi açısından optik seviye takibi yapılmasıdır.

2.2.2.8 Jet grouting yönteminin avantaj ve dezavantajları

Jet Grout yönteminin avantajları aşağıdaki şekilde belirtilebilir [8] ve [14]:

- Genel olarak her türlü zemin tipini uygulanabilir (Şekil 2.29).
- Diğer inşaat yöntemlerine kıyasla daha hafif ve küçük ekipmanla gerçekleştirilebilir.
- En yumuşak zemin ortamlarından kaya ortamlarına kadar tüm uygulamalarda ve zemin koşullarında aynı ekipman kullanılmaktadır.
- Kullanılan su jetinin aşındırma etkisi sayesinde metot klasik enjeksiyon yöntemlerine göre daha verimli ve ekonomik olmaktadır.
- Küçük boyutlu makineler kullanılarak, mevcut binaların bodrum katından veya bitişik bina arasındaki dar sahadan enjeksiyon işi gerçekleştirilebilir.
- Yöntemin uygulanışı sırasında herhangi bir gürültü, titreşim ve kirlilik problemi olmaz. Çimento, bentonit ve su karışımı kullanıldığı için; kimyevi enjeksiyonlar gibi çevre kirlenmesi söz konusu olmaz. Zararlı vibrasyon etkisi yaratmadığı için hassas ve tarihi yapılar yakınında uygulanabilir. Temel takviyesi sırasında yapıda deformasyon çok az yada hiç olmaz.
- Önceden belirlenebilecek geometrik ölçüler çerçevesinde uygulanacağından ötürü malzeme sarfiyatı, büyük yaklaşımla önceden hesaplanabilir.



Şekil 2.29 : Enjeksiyon sistemlerinin uygulama limitleri

Yöntem ile, yalnızca 13 cm.'lik bir enjeksiyon deliğinden bir seferde 3 m²'lik (uygun parametre ve zemin koşulları ile 7~8 m²'ye kadar) temel zemininin iyileştirilmesi mümkün olmaktadır. Yani delinen küçük çaplı (~10 cm.) delgi deliğinden başlayarak geniş çaplı (50~300 cm.) kolonlar elde etmek mümkündür.

- İstenilen derinlikten başlatılıp, zemin yüzeyi altında istenilen derinlikte bitirilebilir. Bu yüzden, taban kabarmasının önlenmesi veya tünel yapımında geçirimsizliğin zemin yüzünden sağlanması gibi problemlerin ekonomik çözümüne elverişlidir.
- Klasik enjeksiyona göre kontrolü çok daha kolaydır. İstenilen mukavemet ve permeabilite de tasarlanabilir.
- Yöntemde kullanılan enjeksiyon malzemeleri çok basit çimento karışımlarıdır. Ancak karışımların basitliğinin yanında minimum birim maliyetteki sarfiyat yüksektir.
- Monitör ve püskürtme ağızlarının tasarımındaki serbestlik, yükleniciye, yapılan uygulamanın amacına uygun olacak şekilde farklı geometride elemanlar imal etme şansını verir. Yöntem ile düşey duvarlar yapılabildiği gibi, yatay, eğimli ve dik duvarlarda yapılabilmektedir.
- Yüksek riskli inşaatlarda can güvenliği sağlanır.

- Arazi şartlarına bağılı olarak inşaat süresini %30 ile %60 kısaltır.
- Sahada spesifik yer değıştirme mümkündür.
- Özel yeraltı yapıları iyileştirilebilir.
- Bakım istenmez.
- Gömülmüş aktif elemanların çevresinde çalışmak mümkündür.
- Alternatif yöntemlere nazaran daha hızlıdır.

Bu avantajlarının yanında yöntemin bazı dezavantajları ve zayıf noktaları da mevcuttur. Bunlar aşağıda belirtilmiştir [8] ve [14] :

- En önemli güçlük, zemin koşulları nedeni ile geometri ve mukavemette ortaya çıkan değışkenliktir. Yük taşıyan kolonların çapının mümkün olduğı kadar aynı olması istenir. Bu yüzden iyileştirmeye daha az cevap veren tabakalar geçilirken dikkatli olunmalıdır. Kolonlar genellikle üniform zeminlerde çok başarılıdır. Bütün uygulamalarda, çap ve mukavemette meydana gelebilecek değışiklikler göz önünde tutulmalıdır.
- Yöntem henüz gelişme aşamasındadır ve ekipmanların geliştirilmesi ile ilgili bazı sorunlar henüz çözüme kavuşmamıştır ve bu durum da imalatın durumunu etkilemektedir. İşe başlanmadan önce maliyet tam olarak belirlenemeyebilir. Zemin cinsine göre aşırı çimento tüketimi gözlenebilir. Çift ve üç akışkanlı sistem için daha kompleks parçalar gerekli olup sıklıkla yenilenmesinin gerekli olması halinde, beklenenden daha pahalı olabilir.
- Tasarımda yararlanabilecek kesin kurallar mevcut değıldir ve tecrübe ile yapılmış uygulamalardan elde edilmiş sonuç ve gözlemler kullanılmaktadır. Teknolojinin nispeten yeni oluşu ve teorik bilgi eksikliği sebebi ile esas olarak geçerli olan kriter “ilerledikçe tasarla” (design-as-you-go) şeklinde özetlenebilir.
- Zemin içinde enjeksiyonun dağılımının ve oluşan geometrinin bilinmesi zordur. Çok yüksek basınç zeminde çatlak ve kırıklara sebep olabilir. Bunun sonucunda da zeminin taşıma gücünde düşüş olabilmekte ve komşu yapılarda bazı oturmalar gözlenebilmektedir.

2.3 Temel Yüklerinin Daha Derindeki Taşıyıcı Tabakalara Aktarılması

Eğer temelin oturmalarına karşı takviyesi gerekiyor ise temel yükleri oturmalarından etkilenmeyecek bir derinliğe aktarılmalıdır. Bunun içinde arazi profilinin ve zemin özelliklerinin bilinmesi gerekir. Öte yandan, temelin takviye edilmesini gerektiren neden iyice belirlenmelidir. Oturmaların kaynağı çok derinde ise (Maden ocağı açılması gibi), temellerin kazıklar üzerine oturtulmaları bir yarar sağlamayacaktır [5].

Temel takviyesi çalışmasının ana amacı temel yükünü, mevcut taşıyıcı tabakasından daha derin seviyelere taşımaktır.

Kazıklı sistemler, temel takviyesinden bağımsız olarak yapı yüklerinin daha derin seviyelere aktarılması gerektiği durumlarda uygundur. Bu, tamamıyla temel takviyesi anlamına gelmektedir.

Alttan destekleme veya takviye kazıkları olarak da isimlendirilen bu tür temel takviye yöntemleri grubuna bütün kazık ve benzer elemanları toplayabiliriz [5].

Normal çapta delme kazıklar 30-80 cm arası kazıklar dışarıdan normal makinalar ile bodrumda da çalışılacak ise 2-4 m yükseklikte makinalar ile yapılır.

- a) Parçalı itme kazıklar genellikle 20-60 cm çapında ve 0.50-1.50m parçalar halinde zemine itilerek sokulmaktadır. Çeşitli patentler mevcuttur.
- b) Mini veya mikro kazıklar 7-30 cm çaplı olup daha küçük (sondaj veya ankraj) makinalar ile yapılabilmektedir. Kapalı hacimlerde çalışabilecek özel tipleri bulunmaktadır. Büyük çaplı kazıklara göre bir avantajları da çeşitli eğimlerde yapılabilmeleridir.
- c) Zemin çivilemesi uygulaması kısmen mikro kazıklara benzemektedir, itilerek veya delerek yerleştirilen donatı genellikle eğimli ve pasif bir eleman olarak çalışmaktadır.
- d) Kalıcı veya sürekli öngermeli ankrajlar bu grupta düşünülebilir. Yana yatma ve benzeri deformasyon hallerinde deformasyonları önleyecek şekilde öngermeli ankrajlar uygulanmaktadır.

- e) Delme kazıkların yanında çamurlu duvar yöntemi ile yapılan dikdörtgen kazıkları da saymadan geçmemek yerinde olacaktır. Bu elemanlar yüksek taşıma kapasitelerine sahip olup bentonit karışımı desteğiyle yapılmaktadırlar.

Bütün kazık ve benzeri elemanların ön yüklenmesi bir alternatiftir. Bu takdirde proje yükleri altında kazıkların deplasman yapmaları önlenmektedir. Diğer taraftan hemen çoğu takviye yönteminde karşılaşılan esas sorun, mevcut üst yapı veya temel elemanlarını yeni hazırlanan sisteme bindirmeden önce geçici destekleme ve daha sonra hazırlanan yeni sisteme yüklemektir. Bu işlem sırasında yapı elemanlarını sıfır deplasmanda tutmak gerekmektedir. Ayrıca bağlantı sistemi ve detayları çok önem taşımaktadır. Bazı hallerde yeni destek sistemine basarak yapının kaldırılması ve düzeltilmesi gerekmekte ve genellikle paralel bağlı kriko sistemleri ile olan bu operasyon sırasında yüklerin aktarılması ve mevcut yapının analizi daha fazla önem kazanmaktadır [5].

2.3.1 Mini kazıklar

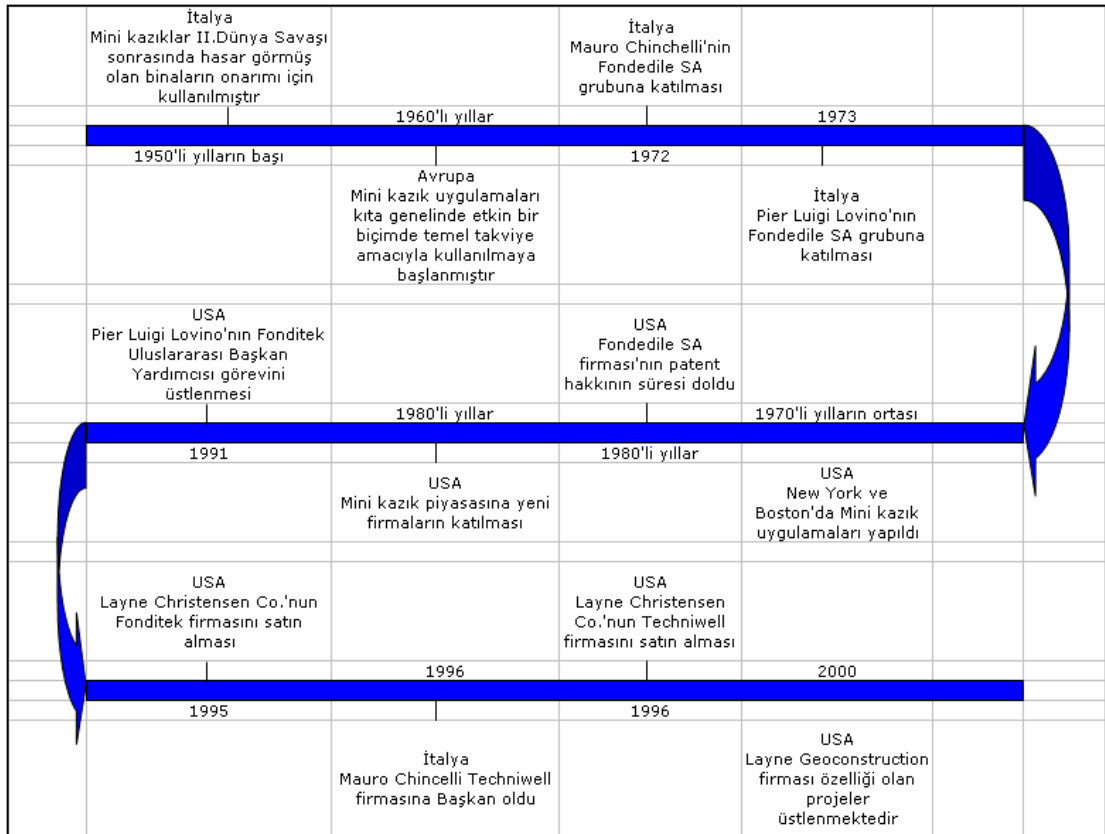
Kazıklar temel anlamda çakma kazıklar ve fore kazıklar olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Çakma kazıklar da kendi aralarında; Hazır çakma kazıklar (ahşap, betonarme, çelik) ve Yerinde dökme çakma kazıklar (beton, betonarme, kılıflı veya kılıfsız) olarak isimlendirilirler. Fore kazıklar ise sondaj kazıkları olarak isimlendirilirler ve beton ve betonarme, kılıflı veya kılıfsız olabilirler. Fore kazıklar açılan bir kazı çukuru içine donatı yerleştirilmesinin ardından, çukurun betonla doldurulması sonucu oluşmaktadır. Bu şekilde zeminin yerini kazık almaktadır [11].

Temel takviyesi amacıyla kazı işlemine başlamadan önce temeller kısmi olarak ya da tamamen askıya alınmalıdır. Temel yüklerinin askıya alınma işlemi yapıldıktan sonra temelin altında kazı işlemine başlanabilir ve sürekli yük taşıma takviye sistemine başlanır. Kazı işlemleri sırasında hasar görmüş yapıları güçlendirmek ya da binanın değişmiş yapısına adapte olması için temel takviyesi sırasında değişik kazık sistemleri kullanılır. Sınırlı çalışma alanı ve yük taşıma davranışı gibi özel gereksinimlerden dolayı değişik kazık sistemleri geliştirilmiştir. Bunlar mikro kazıklar (yerinde dökme kazıklar ve kompozit kazıklar) ve prekast beton kazıklar (jack-down piles) olarak gruplara ayrılabilir [1].

DIN 4128 1983’de oluşturulmuştur. 1950’lerde Avrupa’da kullanılmaya başlanılmış olan mini kazığın Amerika’da 1980’lerde kullanılmaya başlamasının nedeni, Avrupa’da savaş sonrası, çeliğin hasar görmüş yapıların takviyesine yeterli olamayacak kadar azalmış olmasıdır. Bu sıkıntı Amerika’da çekilmemiş ve bu yüzden mini kazık uygulaması Avrupa’da gelişmiştir [11].

Mini kazıkların Amerika’da kullanılması, New York ve Boston bölgelerinde çeşitli temel takviyeleri amacıyla başlamıştır. Çeliğin Amerika’da bu dönemlerde ucuz olması ve nispeten yüksek işçilik ücretleri de mini kazıkların Amerika’da geç kullanılmaya başlanmasının nedenlerindendir [23].

Bugün, dünya ülkelerinde genelde yapı maliyetleri ve teknik gerekler birbirlerine benzemekte olup, özellikle geoteknik çözümler için mini kazıklara gereksinim artmaktadır [23].



Şekil 2.31 : Mini kazıkların tarihçesi

2.3.1.2 Mini kazık tanımlamaları

Mini kazıklar küçük çaplı kazıklar olup kazık gereksinimi olan ve tasarım yüklerinin 3 ton kadar küçük ve 500 ton kadar büyük olduğu her türlü zeminde kullanılabilir. Mini kazıklar, iğne kazıklar, kök kazıklar olarak da bilinen mikro kazıklar özellikle ulaşımın kısıtlı olduğu alanlarda geleneksel kazık yöntemlerine uygun bir alternatif oluştururlar [24].

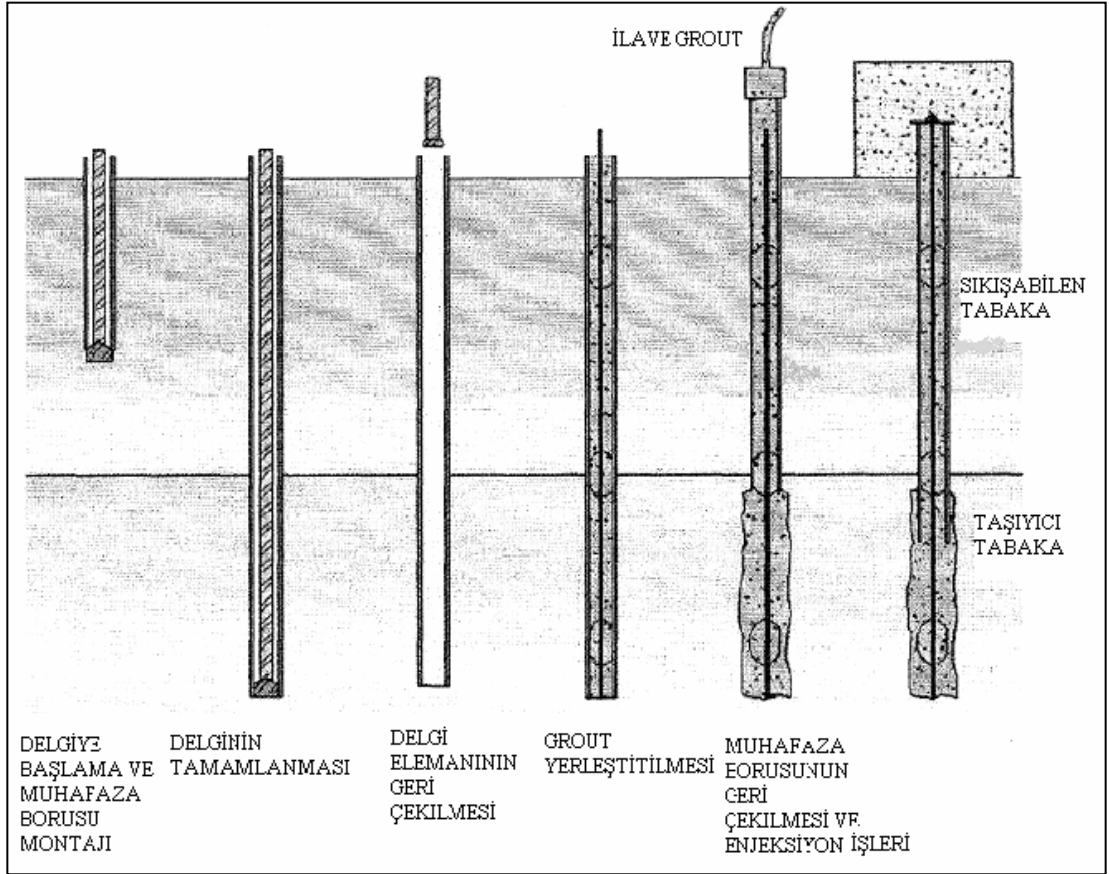
Mini kazıklar, küçük çaplı olmalarından ötürü her türlü zemin koşullarında destek yapılarına çakılırlar ve enjekte edilirler. Bu kazıklar 300 tona varabilen çalışma yüküne ulaşabilirler ve yaklaşık 200 feet'e varabilen derinliklerde tesis edilebilirler. Ayrıca, mini kazıklar çelik donatılar ve çelik muhafaza borusu ile birlikte kullanılabilirler.

Mini kazık, 300 mm. çapın altında foraj yapıp, planlanan hesap yükünü alacak donatının konmasından sonra enjeksiyon harcının yerleştirilmesiyle ya da enjeksiyon yapılmasıyla fore kazık olarak da adlandırılabilir.

Çoğu zaman çelik muhafaza borusu içerisine çimento enjeksiyonu doldurmak suretiyle kazıklar imal edilebilir, bazen de boru içerisinde çelik donatı kullanılır. Çelik ya da betonarme olarak imal edilen geleneksel kazıklar, genellikle oldukça ağırdır ve bunların tesis edilebilmeleri için ağır ekipman ve geniş çalışma alanlarına ihtiyaç vardır. Mini kazıklar geleneksel kazık sistemlerin uygun olmadığı durumlarda kullanılabilirler.

Mini kazıklar yük taşıma kapasitesini artırarak ve oturmaları azaltarak ve özellikle mevcut yapıları güçlendirerek birçok zemin iyileştirme uygulamalarında etkili olduklarını kanıtlamışlardır [1].

Mini kazıkların yapım aşamalarının açıklamalı tipik inşaat sırası Şekil 2.32'de görülmektedir.



Şekil 2.32 : Mini kazık yapım aşamaları

2.3.1.3 Mini kazıkların tipleri ve yapım yöntemleri

Mini kazıklar genellikle ilk olarak tasarım uygulamalarına ve enjeksiyon yöntemine göre sınıflandırılırlar. Yük etkisinde çalışma prensibine göre mini kazıklarda fonksiyonun tanımlanması önemlidir. Enjeksiyon yöntemine göre ise enjeksiyon ve enjeksiyonun bağlama kapasitesi önemlidir [25].

Yük etkisinde çalışma prensibine göre mini kazıklar Tip 1 ve Tip 2 olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

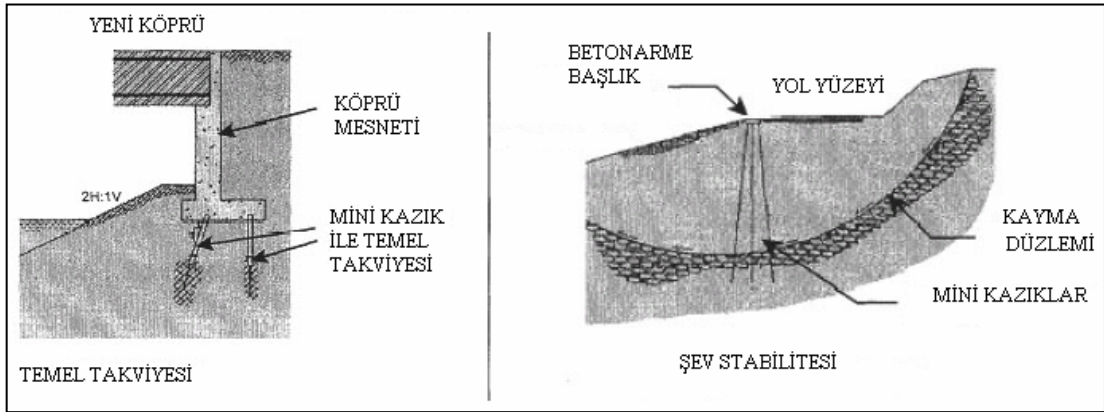
Tip 1 : Genelde mini kazıklar yükü daha kararlı veya sağlam bir tabakaya aktaracak şekilde tasarlanırlar. Özellikle şev stabilitesi tahkiklerinde bilhassa şevin kayması muhtemel en kritik kayma yüzeyinde kazık-zemin teması söz konusu olmaktadır. Eksenel yüklenmiş kazıklarda da zemin-kazık etkileşimi kazığın çevrelediği tabaka ile sınırlanmaktadır. Söz konusu her iki durumda da kazık doğrudan yükü karşılamaktadır (Şekil 2.33). Kazığın doğrudan yükü karşılaması durumu, münferit

kazıklar içinde, grup halinde kullanılan kazıklar içinde geçerlidir. Bu bağlamda bir mini kazık grubundaki her bir kazık yükü doğrudan karşılamaktadır.

Doğrudan yük alacak mini kazıklar, yapı yükü almadan önce eğer eksenel yük taşıyacaklar ise bir ön yükleme ile kazık uç hareketleri kontrol edilmeli ve tasarlanan kazığın yerinde eksenel yük almaya başlayacağı zaman oturma yaparak yapıda hasara sebep olmayacağı ispatlanmalıdır.

TİP 2 : Bir başka çalışma prensibine sahip kazıklar da Dr. Lizzi tarafından İtalya’da 1952’de gündeme getirilmiş olan “palo radice” “kök kazıkları”dır. İsminden de anlaşılacağı gibi bir ağacın köklerine benzeyen üç boyutlu bir kazık ağı örgüsü zeminde kilitlenme sayesinde stabilizasyon sağlamaktadır. Bu uygulamada yanıl olarak sınırlanmış bir zemin-kazık kompozit malzeme oluşturularak takviye ıslah ve zemin dayanımı sağlanmaktadır.

TİP 2’de ne bir kazığın yük alması nede aşırı donatı söz konusudur. Uygulama sonucu belirli bir alanı kapsayan, donatılı, kompozit bir malzeme elde edilerek zemin hareketleri sınırlandırılmaktadır.



Şekil 2.33 : Tip-1 Mini kazık uygulaması örnekleri

Enjeksiyon yöntemine göre sınıflandırma durumunda mini kazıklar üç aşamadan oluşur.

- 1) Delme çukur açma işlemi,
- 2) Donatının yerleştirilmesi,
- 3) Harcın yerleştirilmesi yada enjekte edilmesi

Delme tekniğinin harç ile zemin arasında meydana gelecek bağların büyüklüğünü etkilediği hususunda hiç şüphe yoktur. Diğer yandan zemin ile kazık arasında oluşacak bağlara kazık donatısının bir etkisinin olmayacağı da muhakkaktır. Uluslararası mini kazık uygulamaları, tatbik edilen enjeksiyon yönteminin kazığın imalatından sonra oluşacak zemin-kazık bağının gelişmesinde en belirleyici etken olduğunu doğrulamaktadır. Enjeksiyon yöntemine göre TİP A, TİP B, TİP C ve TİP D olmak üzere dört tip mini kazık imal edilebilmektedir.

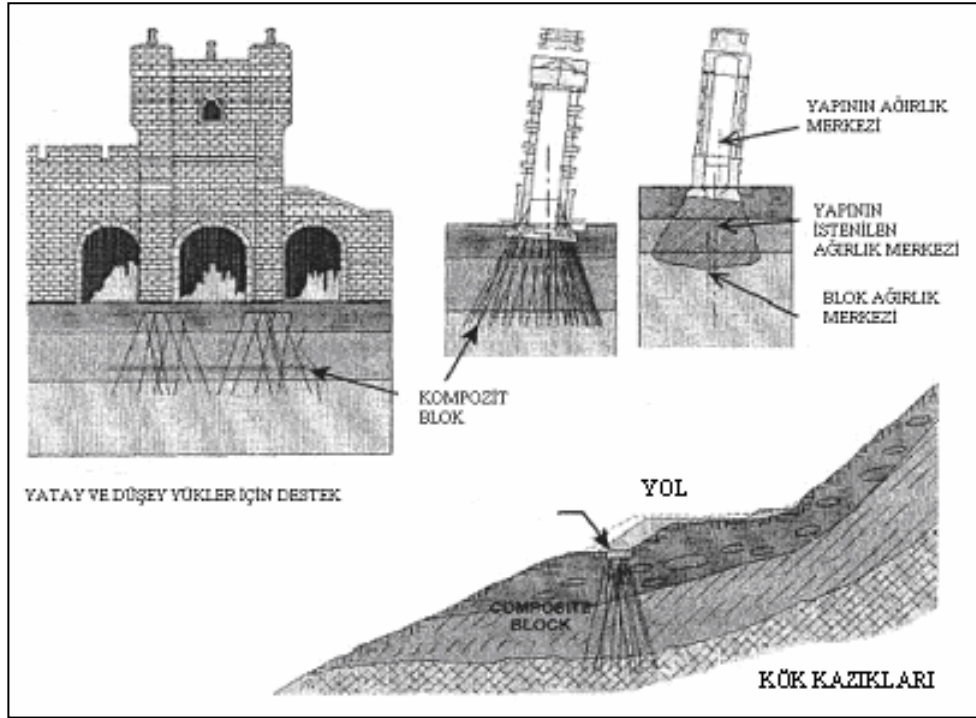
Çeşitli mini kazık uygulamaları Şekil 2.34’de, mini kazıkların enjeksiyon yöntemine göre sınıflandırılması şematik olarak Şekil 2.35’de gösterilmektedir.

Tip A : Açılan kazı çukuruna tremi yöntemi ile harç dökülür. Bu tip kazıklar genelde pek kullanılmamaktadır.

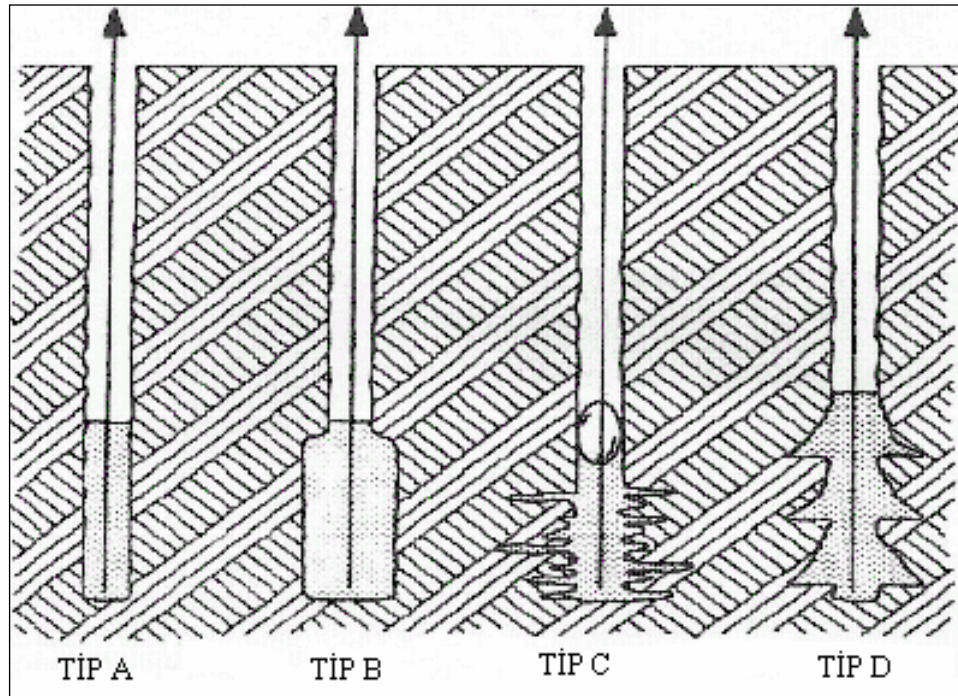
Tip B : Katkısız çimento harcı, delgi kaplama borusu geri çekilirken 0.5 -1 Mpa basınçla enjekte edilir. Geri çekme işlemi sırasında kaplama borusu etrafının doldurulması ve sızdırmazlık sağlanması sonucu da mini kazık elde edilebilir.

Tip C : Tip A’daki gibi imal edilen kazığa harç donmadan yaklaşık 15-20 dakika içinde en az 1 Mpa basınçla aynı nitelikte bir harç enjekte edilerek, yukarıdaki tıkaç sayesinde aşağı kısım önceden yerleştirilmiş delikli kaplama borusundanr kazık imal edilmiş olur. Bu metod bazen IGU (Injection Globale et Unitaire) olarak adlandırılır.

Tip D : Tip C’dekine benzer şekilde, Tip A’daki gibi bir harç döküldükten sonra, ilk harcın donmasından sonra belirli bir bölgeye nüfuz edecek şekilde tube a manchette kullanılarak 2-8 Mpa basınçla harç basılır ve istenen tabaka şeklinde yerleştirilmiş tıkaç sayesinde, harcın hedeflenen tabakaya, dış oluşturulacak şekilde yayılması temin edilir.



Şekil 2.34 : Tip-2 Mini kazık uygulaması örnekleri



Şekil 2.35 : Mini Kazıkların enjeksiyon yöntemine göre sınıflandırılması

2.3.1.4 Mini kazık uygulamaları

Temel takviyesi ve zemin güçlendirilmesi amacıyla kullanılan mini kazıkların tercih edilme sebepleri genel olarak aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

- Düşük gürültü ve titreşim
- Kısıtlı alanlarda yeni destek sistemi kurulabilmesi
- Sismik güçlendirme
- Yapısal oturmaları engellemek
- Kabarma ve dinamik yüklere karşı koyabilme
- Temel takviyesi
- Kısıtlı alanlarda kazı desteği
- Ağ yapısında kazık duvar

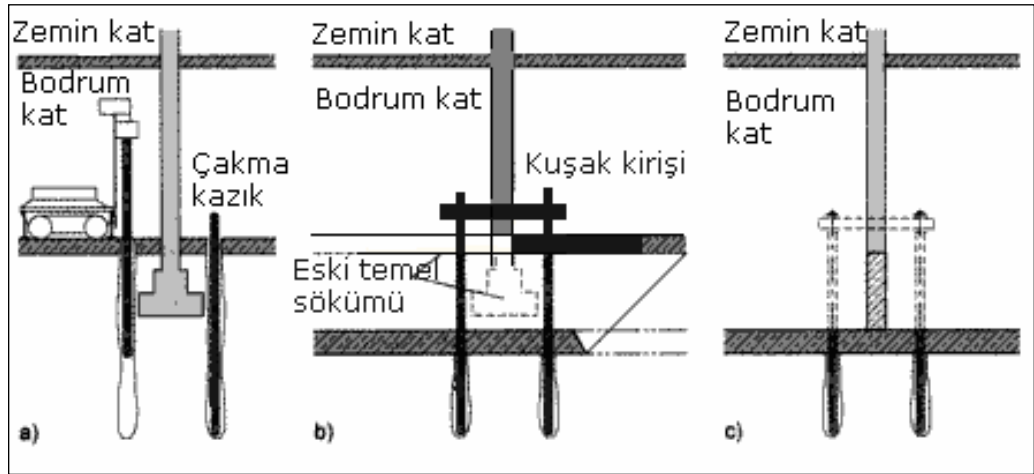
Temel takviyesi amacıyla kullanılan yerinde dökme ve kompozit kazıklar çapları 100 ila 300 mm arasında olup bunlar “mikro-piles” olarak adlandırılmaktadır. Mikro kazıklar kompakt delme ekipmanı kullanılarak gerçekleştirilebilir. Düşey yükler büyük ölçüde sürtünme ile temele iletilir. Kazıklar taşıyıcı tabaka içerisine en az 3 m girmelidir. Sürtünme “post grouting” kullanılarak artırılabilir. Kazıklar temel takviyesi için kullanıldıkları zaman 250 kN’dan (kohezyonlu zeminler) 450 kN’a (kohezyonsuz zeminler) eksenel yük taşıyacak şekilde tasarlanırlar. Kazıklar bir sonraki kazı aşamasında yük altında kalırsa burkulma ihtimali kontrol edilmelidir. Eğer kazık sistemi oluşturulmuşsa burkulma tehlikesi genelde yoktur. Değişik inşaat teknikleri ve yük taşıyıcı yapılar ile güvenli bir şekilde temel takviyesi yapmak en az oturma ile duvar ve kolonları inşa etmek mümkündür [1].

Farklı inşaat teknikleri ile ve yük taşıyıcı sistemler oluşturarak duvarlar ve kolonlar en az oturma yapacak şekilde takviye edilebilir. Ekonomi faktörünün yanı sıra tasarım kriterleri, çalışma alanının yeterliliği, koşullar, temel takviyesi yapılacak yapıda işin yükü ve etkisi ve işin değişik aşamalarında deformasyonların statik olarak uygunluğudur.

İşin gerçekleştirme tekniği ya da statik etkiler düşünüldüğünde aşağıdaki taşıyıcı yapılar dikkate alınmalıdır [1].

- a) Her iki yanda düşey kazıklar, başlık kirişi ile bağlantılı
- b) Her iki yanda düşey kazıklar, başlık kirişi veya ön gerilmeli eleman ile bağlantılı
- c) Her iki tarafta eğik kazıklar
- d) Kısa başlık kirişi ile tek taraftan temel takviyesi
- e) Düşey kazıklar tek bir tarafta; çelik destekli kiriş
- f) Eğilmeye ve ankraja dayanıklı kazıklarla tek taraflı temel takviyesi

Şekil 2.36’da yukarıda bahsedilen sistemlerin şematik gösterimi görülmektedir.



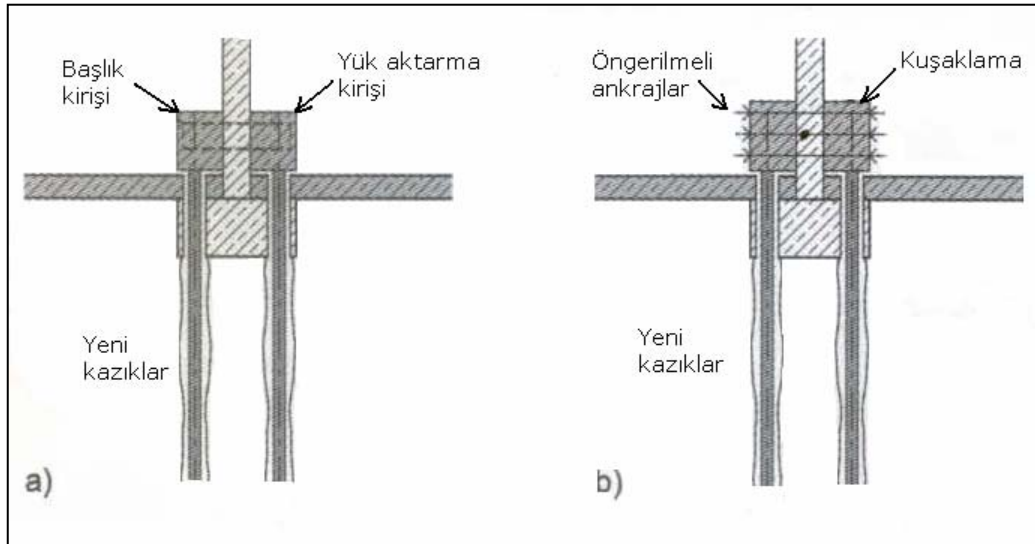
Şekil 2.36 : Askıya alma ve her iki yönden kazık uygulanması yöntemi ile temel takviyesi yapılması

Şekil:2.36’da:

- a) Enjeksiyon sistemi ile kazıkların üretimi
- b) Temel üst seviyesinden itibaren oluşturulan askı sistemi ile yükün kazıklara aktarılması, mevcut temelin imha edilmesi, yeni döşeme imalatı
- c) Yeni imal edilen perde sistemi vasıtasıyla yükün döşemeye aktarılması, askı sisteminin kaldırılması görülmektedir.

Bu yöntemde yapı yükleri, duvarın her iki tarafından temele çakılan dikmelerin duvar hizasında bağ kirişleri ile bağlanması sonucunda oluşturulan askı sistemi ile kazıklara iletilir ve kazıklar vasıtasıyla da temele aktarılırlar. Duvar altına yapılacak takviye elemanının başlangıçta yük almasını engellemek için hidrolik sistem vasıtasıyla ve bağ kirişleri kullanılarak oluşturulan askı sistemi ile yükler alınır ve takviye elemanı imalatının yapılmasından ve bu yeni elemanın yük taşıma kapasitesine ulaşmasından sonra, eski yapı temeli ve yük aktarma sistemi kaldırılır, zeminde yeni döşeme imalatı tamamlanır. Böylece yeni yük taşıma yapısı tamamlanmış olur.

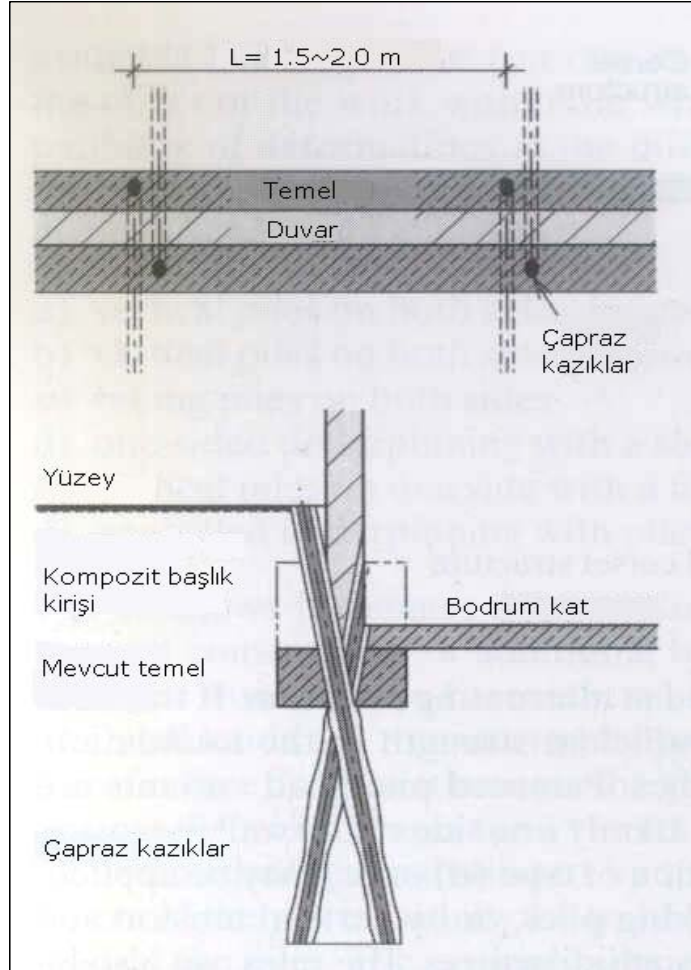
Yük aktarma ve askıya alma sistemi sırasında kullanılan bağ kirişlerinin boyuna uzunluklarını kazıkların çalışma yükleri ve duvar yükleri etkilemekte ve genellikle 1.0 m ile 1.5 m arasında olabilmektedir. İki yada üç katlı yapılarda düşük duvar yüklerinden dolayı kazık boşluğunu arttırmak genellikle daha ekonomiktir. Şekil 2.37’de ise yüklerin aktarılması için ön yüklenmiş elemanlar kullanılması yada kazıkların zemine ankre edilmesinin daha uygun olacağı sistem görülmektedir. Bu sistemin, kazıkların birbirlerine göre simetrik pozisyonda olmasına gerek olmaması gibi avantajları vardır.



Şekil 2.37 : Dual düşey kazıklar ile temel takviyesi

Şekil 2.38’den görülebileceği gibi simetrik yük alan kazık tipi seçilmesi durumunda bağ kirişi v.b. yük aktarma elemanlarına gerek kalmadan temel takviyesi çalışmaları yapılabilir. Duvar yükleri kazıklar ile mevcut temel arasında kesme kuvveti

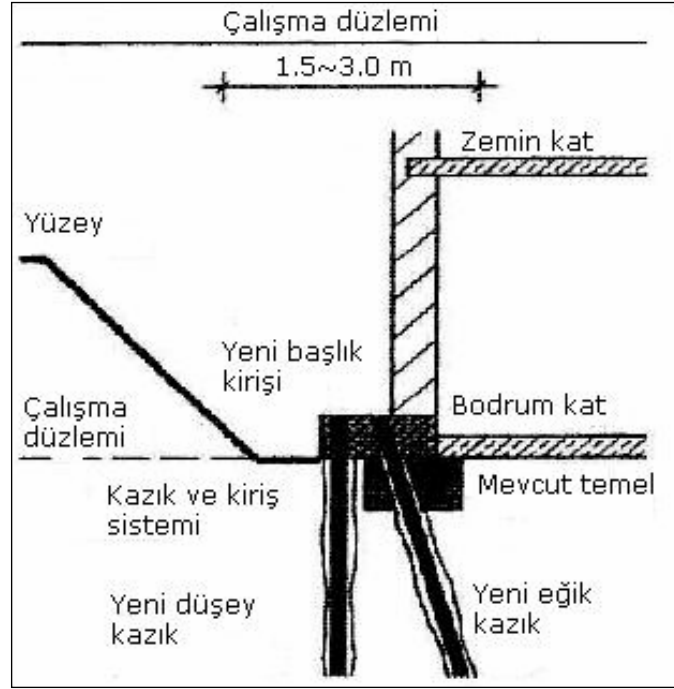
aracılığıyla iletilir. Yük ve iç kuvvetlere bağlı olarak kazıklar, çift olarak çaprazlanır yada alternatif şekillerde yerleştirilirler. Eğer ankrajın sabit uzunluğu kısa ise veya temel içerisinde yetersiz mesnetlenmiş ise ek kazıklarla duvar içindeki nişlere mesnetlenirler.



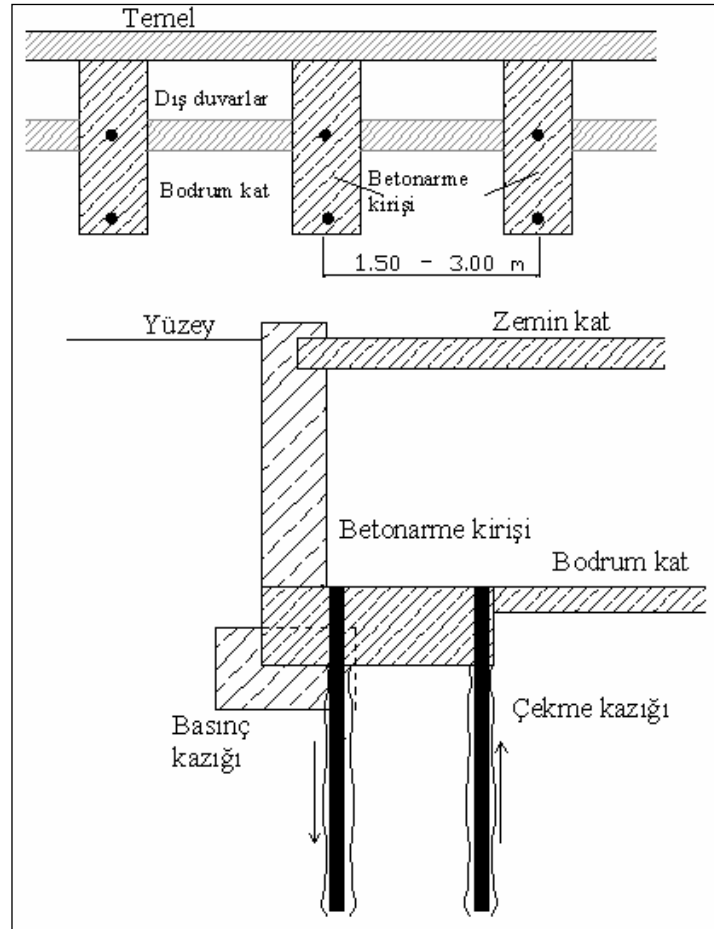
Şekil 2.38 : Çapraz dual kazıklar ile temel takviyesi

Patentli değişik kazık başlık elemanları mevcuttur. Eğer takviye çalışması sırasında duvarın sadece tek tarafından çalışma imkanı varsa bu durumda yukarıda belirtilen, kısa başlık kirişi ile tek taraftan temel takviyesi ve düşey kazıklar ile tek taraftan çelik destekli kiriş ile takviye yapılması yöntemleri uygulanabilir.

Bu türden temel takviye sistemlerine ait örnekler Şekil 2.39 ve Şekil 2.40'da gösterilmektedir. Kazıklar çiftler halinde veya alternatif diğer şekillerde yerleştirilebilirler. Yük aktarmak amacıyla tek bir başlık elemanı yerine plaka ile yük aktarması yapılabilir.

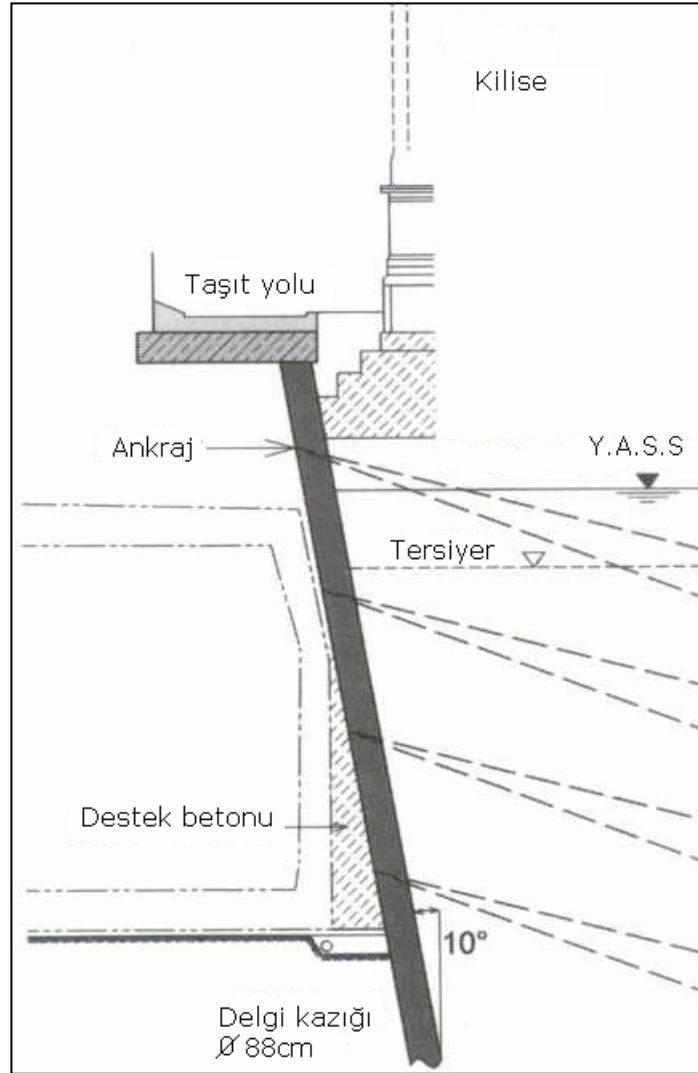


Şekil 2.39 : Düşey ve eğik kazıklar ile tek taraftan temel takviyesi



Şekil 2.40 : Konsol kiriş ve kazık sistemi ile tek taraftan temel takviyesi

(a) ve (d) arasında belirtilen uygulamalar iç duvarların, dış duvarların ve kolon altı tekil temellerin temel takviyesi için kullanılmaktadır. (f) Maddesinde ise geniş çaplı eğik kazıkların, mevcut binaların temel seviyesinde yapılan kazıların desteklenmesi hususu ile ilgilidir. Şekil 2.41’de tarihi bir binanın temellerinin 1:10 eğiminde delme kazıklar ile takviyesine ilişkin bir örnek kesit verilmektedir.



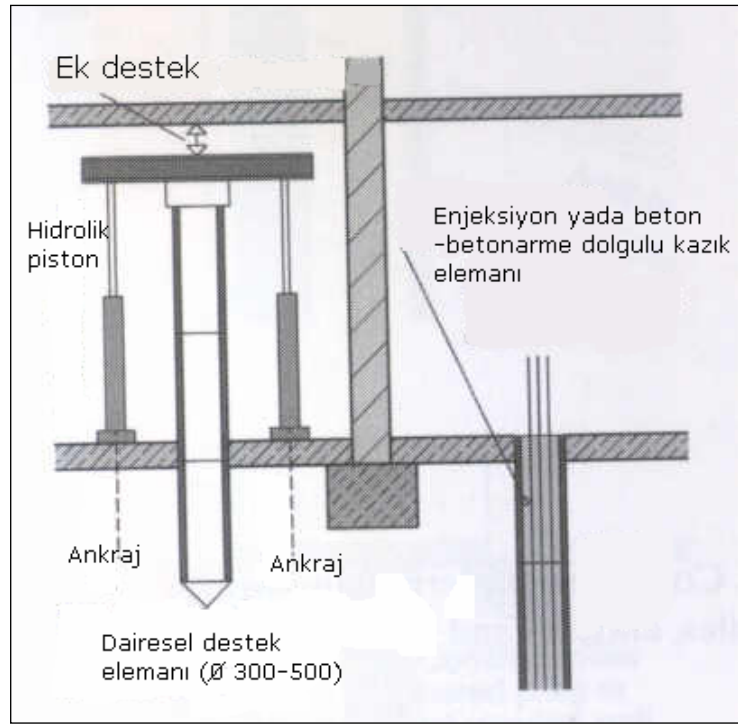
Şekil 2.41 : Eğik kazıklar ile oluşturulmuş temel takviyesi

Şekil 2.42’de görülebileceği gibi, “Jacked-down” veya “segment kazıklar” özellikle çok sınırlı alanlarda vibrasyonsuz ve gürültüsüz temel takviyesi çalışmalarına imkan sağlayan özel tekniklerdir. Çelik yada özel hazırlanmış betonarme elemanlar temel takviyesi yapılacak yapının altına merkezi olarak yerleştirilirler. Zemin ankrajları, betonarme kirişler, çelik ızgaralar, kentlajlar veya mevcut temel pabuçlarından temel takviyesi sırasında mesnet elemanı olarak yararlanılır. Tasarlanan kazık direncine

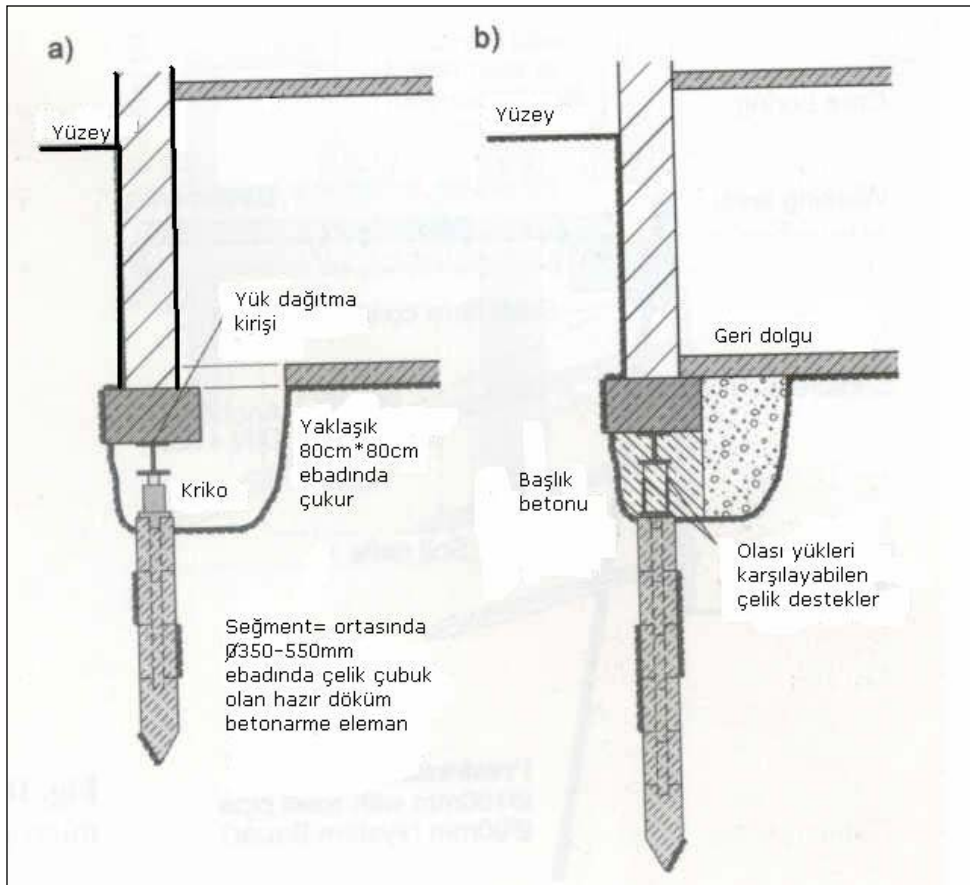
ulaşıldığında, krikolar çelik kazıklar ile değiştirilir. Temel takviyesi uygulamalarında iki sistem yaygındır. Bunlar, Şekil 2.43’de gösterilen duvar yanına uygulanabilen çelik boru segmenti ve Şekil 2.44’de gösterilen temel altına monte edilen beton veya çelik tüp segmenti’dir.



Şekil 2.42 : Jacked tipi temel takviye kazığı yapım çalışması



Şekil 2.43 : Jack-down kazık sistemi (Franki)



Şekil 2.44 : Jack-down segment kazık sistemi (Erka)

“Jacked-down” veya “segment kazıkların” esas uygulama alanları taşıma gücünü yitirmiş temellerin rehabilitasyonunu sağlamak ve binanın kullanımının değişmesi sonucunda ortaya çıkan ilave yüklerin temele intikalini sağlamaktır. Bu method kazıların yanında yapılan temel takviye sistemleri için kullanılmazlar, çünkü kazıdan sonra bu kazıklar açıkta kaldıklarından burkulmaya maruz kalabilirler. Eğer bu kazıklar sadece eksenel yüklerin taşınması için kullanılırlarsa kolay kullanılmaları ve esnekliklerinden ötürü konvansiyonel kazık çözümlerine göre daha az pahalıdırlar. Her kazık beklenen yükün 1.5 katına kadar ön yükleme ve tasarlanan yükle kilitlenirler.

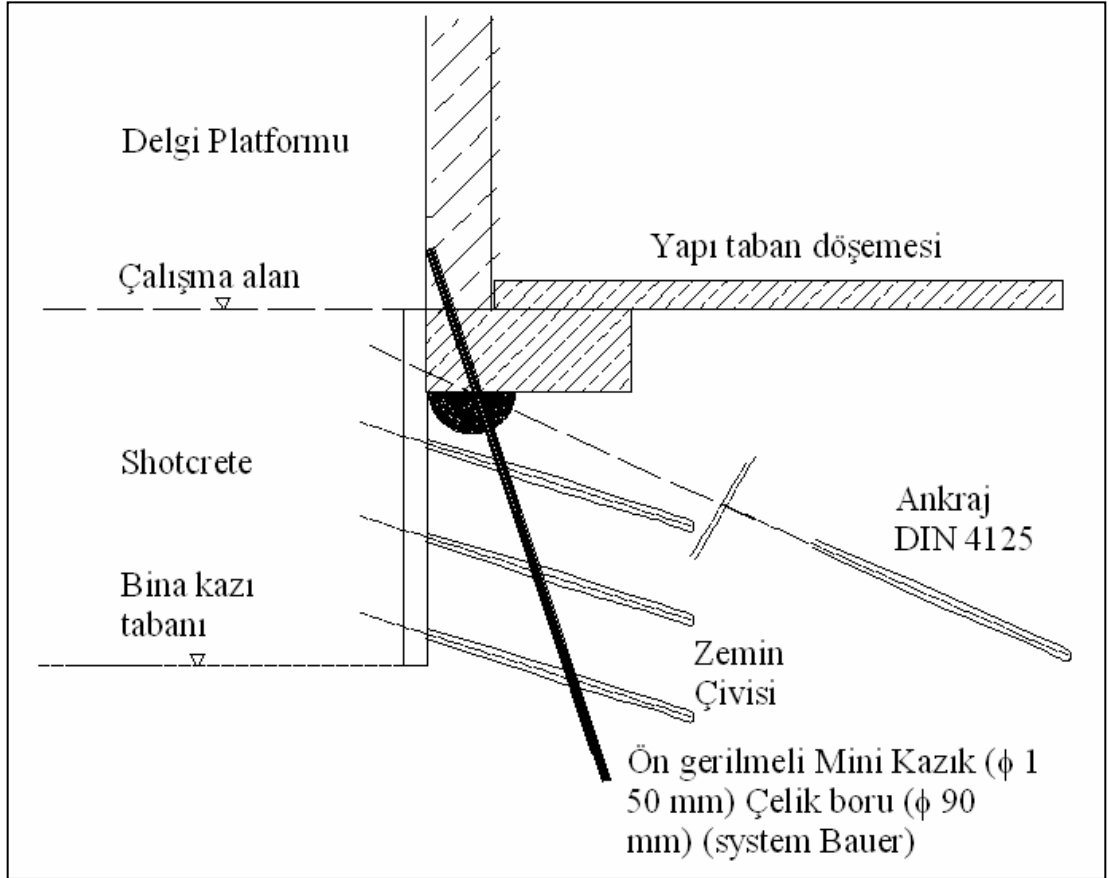
Bütün kazıklar, yapım aşamasında bir kabul testine tabi tutulurlar. Temel takviyesi uygulamalarında kazık uygulamalarının avantajı, saha koşullarına uygun çalışma ortamının sağlayacak şekilde projeye özgü olmasındandır.

Ekonomik bir temel takviye sisteminin tasarımı için takviye yapılacak binanın yük taşıma yapısının, temelini ve temel sisteminin bilinmesi, zemin ve yeraltı suyu koşullarının bilinmesi, değişik yöntemlerin uygulama limitlerinin göz önüne alınması gerekmektedir.

Tasarım aşamasında mümkün olduğunca yük taşıma kapasitesi statik olarak belirli sistemlerin seçilmesine dikkat edilmelidir. Diğer methodların aksine kazık sistemleri ile derin temelli yapıları ve duvar altına yeni takviye elemanlarının yapılacağı yapıların yüklerini temel takviye çalışmalarını rahatlıkla yapabilmek için askıya almak mümkündür. Temel takviyesi yapılan bir duvarın yanında kazı yapılması durumunda kazık sistemlerinin kullanılması normal olarak çok etkili değildir. Böyle durumlarda kazıkların arasındaki zemin tutulmalı ve kazıkların hasar görmesi önlenmelidir.

Çalışma şartlarının zor ve kısıtlı olduğu durumlarda ve temel takviyesi uygulaması kazı yapılan bir bölgede ise; mini kazıklar, ankrajlı perde yapılması ve zemin çivisi uygulaması gibi yöntemlerin kombinasyonu en uygun çözüm olabilir.

Şekil 2.45’de birleştirilmiş kazı koruma sistemine ait bir kesit yer almaktadır. Burada duvara etkiyen düşey yükler kazıklar vasıtasıyla karşılanmakta, ve zemine enjeksiyon kazıklarıyla aktarılmaktadır. Ankrajlı perde sistemi ve zemin çivisi uygulaması da toprak basıncının karşılanması amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 2.45 : Birleştirilmiş temel takviye sistemi (mini kazık, ankraj ve zemin çivisi)

2.3.1.5 Mini kazıkların faydaları

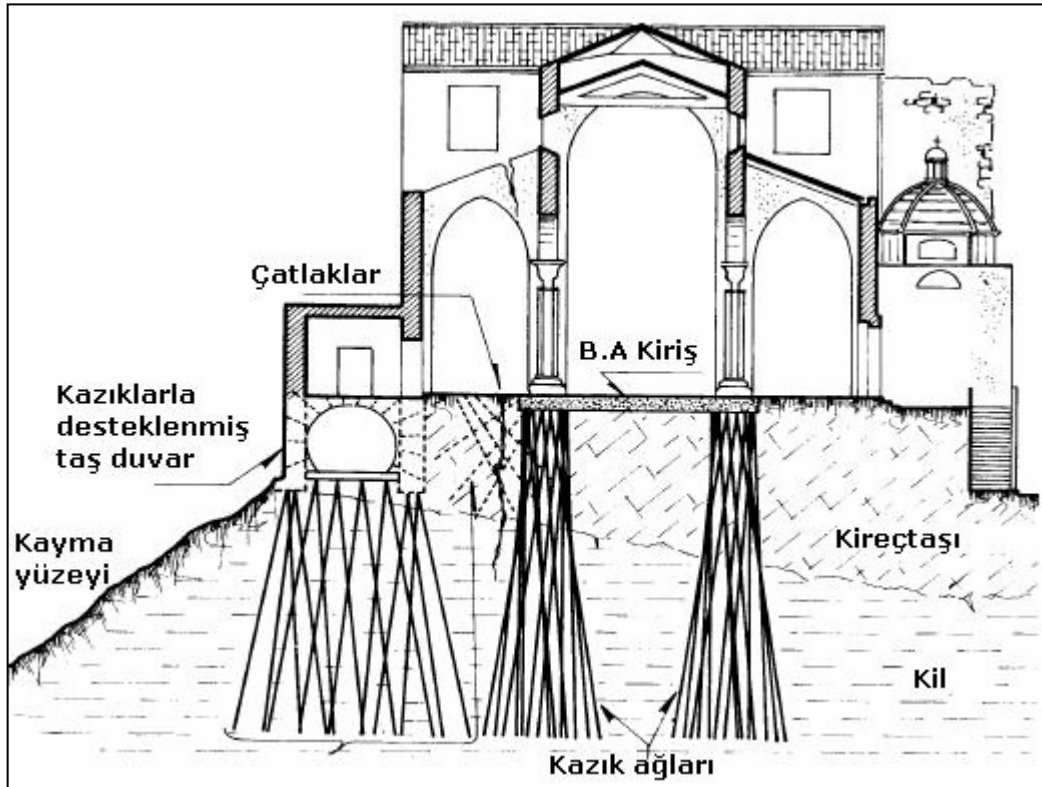
Konvansiyonel kazık makinalarının giremediği yerlerde dahi kolayca imal edilebilen ve enjeksiyon için kullanılan araç ve gereçler kullanılmak suretiyle imal edilebilen mini kazıkların faydaları aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

- Yüksek performans
- 3 ile 500+ ton arasında tasarım yapılabilmesi
- Gerilme ve kaldırma kuvvetlerine karşı kolay uygulanabilir tasarım
- Çoğu zemin koşullarına uygunluk
- Düşük kat yükseklikleri ve kısıtlı alanlarda çalışabilme kolaylığı
- Düşük titreşim ve gürültü oluşturmaları

Yukarıda sayılan belirgin faydalarının yanında mini yada mikro kazıklar, daha büyük kazıkların temelini dışında yapılmaları zorunluluğundan kaynaklanan sorunları ortadan kaldırmaktadır.

Mini kazıklar hem oturma hem de zeminin kabarması nedeniyle hasar görmüş yapılarda hem temel takviyesi hem de oturmaların durdurulması amacıyla kullanılmaktadır.

Temel takviyesi amacıyla kullanılan mini kazıklar; basınca ve çekmeye çalışan derin temel elemanı olarak da kullanılmaktadır. Geleneksel kullanım alanı olan kule ve boru hatlarının temellerinin desteklenmesine ek olarak mini kazıklar, temel takviyesinde, şev stabilitesinde, rüzgar, zemin kabarması, deprem sarsıntısı ve hidrolik basınç gibi etkilerin karşılanması amacıyla da kullanılmaktadır [11]. Özellikle tarihi binaların altındaki zemin yapısının taşıyıcı bir zemin yapısı haline getirilmesi için zemine eğik bir şekilde enjeksiyon uygulanarak tesis edilen kazık ağları şev stabilitesi, tünellerin desteklenmesi ve destek duvarları için uygun bir çözüm olmaktadır [26]. Tarihi bir yapının bu şekilde temelini takviye edilmesi Şekil 2.46'da gösterilmektedir.



Şekil 2.46 : Zeminde kazık ağları oluşturarak temel takviyesi yapılması

Mini kazıklar Dr.Lizzi'ye göre aşağıdaki sayılan nedenlerden ötürü temel takviyesi için ideal bir seçimdir [23]:

- 1) Uygulama sırasında gerek yapıda gerekse zeminde geçici olarak bile olsa aşırı zayıflık ya da ekstra gerilmeye rastlanmaz.
- 2) İlave yapısal hareketlere anında cevap verebilme kabiliyetleri vardır.
- 3) Mini kazıklar, (n) yeni güvenlik faktörü oluştururlar

$$n = n_{temel} + n_{kazik}$$

Mini kazıklar, üst yapıya zarar verilmemesi ve zeminde örselenmenin az olması gereken, çalışma ortamının sınırlı olduğu dar alanlarda, değişen zemin şartlarına (yer altı su seviyesinin düşmesi) ve deprem gibi oluşabilecek afetlere karşı tarihi yapıların korunması amacıyla, tarihi yapıların temel takviyesinde kullanılabilecek uygulanması kolay bir yöntemdir [11].

Çevredeki inşaat nedeniyle veya yüklerin artması, v.s. yüzünden meydana gelecek oturmaları önlemek için yapılan geleneksel temel takviyesi yöntemleri bazen temeli derinleştirerek bir ayak oluşturulmasına dönüşür. Yurdumuzda bu amaçla kuyu tipi temel sistemleri geliştirilmiştir. Taşıyıcı tabakanın derinde olması durumunda kazı yapılmasındaki zorluklar nedeniyle ayak yada kuyu yapılamayabilir. Bu gibi durumlarda kazıklar yada jet grout kolonları kullanılır [6].

3. TEMEL TAKVİYESİ ÇALIŞMASININ AŞAMALARI

Bölüm 1 ve 2’de belirtildiği gibi temel takviyesi bazen zorunluluktan bazen de yapı sahibinin kendi isteği ile ortaya çıkabilmektedir. Temel takviyesi çalışmaları sırasında amaç mevcut yüklerin tamamen ya da kısmen zararsız bir şekilde taşınacağı yeni temeller yaratmak olduğundan, ilk akla gelen takviye yöntem mevcut temelin altına daha derin bir temel inşa etmektir. Bu açıdan bakıldığında, temel takviyesi; yeniden inşa, destekleme, sağlamlaştırma ve mevcut temellerin adaptasyonu anlamına gelir. Yapıda sürekli yük artışı olması durumunda temel sisteminin taşıma kapasitesinin dereceli olarak azalması hali ortaya çıkacağından temel takviyesi yapılması zorunlu hale gelecektir. Temel takviyesine gerek duyulması çeşitli nedenlerden kaynaklanmaktadır. Bunlar:

- Eski ve tarihi yapıların yenilenmesi veya bunlara yeni bir işlev kazandırılması,
- Yapıların stabilitesinin bitişik arsada yapılan bir derin kazı nedeniyle etkilenmesi,
- Mevcut bir yapıda yeni kullanım alanları kazanmak amacıyla kazı yapılması,
- Kat arttırımı gibi nedenlerle daha ağır yükleri taşıyabilmesi için temelin genişliğini arttırma amacıyla yapı sisteminde tadilat yapılması,
- Mevcut bir yapının yakınında boru, kanal, tünel v.b. altyapı çalışmalarının yapılması,
- Yapının oturduğu zeminin şişen yada kabaran özellikler göstermesi nedeniyle yapıda oturmalar meydana gelmesi,
- Endüstriyel bir tesisin yenilenmesi kapsamında yeni tesis edilecek makina ve ekipmanların meydana getireceği titreşimlerden yapının temellerinin korunması,

- Yeraltı su seviyesinin değişmesinin yol açacağı ilave oturmalarla karşı önlem alınmasıdır.

Yukarıda sayılan nedenlerden ötürü temel takviyesi çalışmaları yapılmaktadır.

Bu çalışmalara başlanılmadan önce aşağıda sıralanan hususlara dikkat edilmesinin önemi büyüktür.

1. Temel takviyesi yapılacak yapının sahiplerine yapılacak çalışmalar hakkında ve karşılaşılabilecek sorunlar hakkında detaylı bilgi verilmeli ve yapılacak geçici destek ve takviye konusunda gerekli özen gösterilmelidir.
2. İş sahasının detaylı inceleme ve ölçümleri yapılmalıdır.
3. Mevcut yapı özellikle hasar görmüş bir tarihi bina ise, hasarların son durumu dikkatlice tespit edilmeli, varsa çatlaklar v.s. gerekli ölçmeler yapılarak çatlakların ilerlemesi hakkında bilgi alınabilmesi için bu noktalarda gerekli hassas ölçme cihazları yerleştirilmelidir.
4. Eğer temel takviyesinin nedeni yapının oturması ise, oturmanın nedenleri hakkında ayrıntılı inceleme yapılmalı ve gerekli onarım çalışmalarının detaylı bir klavuzu hazırlanmalıdır.
5. Temel takviyesi çalışmaları başlamadan önce takviye edilecek bölgedeki elemana gelmekte olan mevcut yükler askıya alınarak yükler azaltılmalı ve geçici destekler tesis edilmelidir.
6. Takviye çalışmaları yapılacak olan yapının yakın komşuluğunda bulunan yapıların sahiplerine gerekli uyarılar yapılmalı, çevrede yapılması muhtemel bütün işler tespit edilmeli, izlenmeli, herhangi bir hasar olmaması için desteklenmeli ve gerektiğinde korunmalıdır.

3.1 Ön İnceleme

Temel takviyesi, özellikle tarihi bir binada yapılacak ise takviye çalışmalarını yapacak personelin konusunda uzman olması ve daha önce benzer işlerde tecrübe kazanmış olması gerekmektedir. Temel takviyesine karar verilmeden önce, yapının

tarihsel gelişimi hakkında detaylı ve yeterli bilgiye sahip olunması birincil önem arz etmektedir. Yapılacak incelemeler sırasında yapının yapım aşamaları ve kullanım amacının iyi tespit edilmesiyle edinilecek bilgiler ışığında, yapının statik sistemi hakkında bilgi edinilebilecektir. Bu durum, yapının statik davranışı hakkında bilgi edinilmesine yardımcı olacaktır.

Eğer yapı bir tarihi eser ise aşağıdaki sorulara yanıt aranması gerekmektedir [7]: Yapının oturduğu zeminin şişen yada kabaran özellikler göstermesi nedeniyle yapıda oturmalar meydana gelmesi,

- Yapı hangi tarihte kimler tarafından inşaa edilmiştir?
- Hangi mevsimde inşa edilmiş? İklim koşulları nedir?
- Yapının inşası sürecinde kesintiler olmuş mudur?
- Yapının tarihsel sürecinde yaşamış olduğu hasar deneyimleri ve sonuçları nelerdir?
- Yapının inşa edildiği yer deprem bölgesi ise daha önceki depremlerden hasar görmüş müdür?
- Yapının yakın çevresinde gelişmeler olmuş mudur? Farklı zaman dilimlerine ait yapılaşmalar mevcut mudur?
- Yapı çevresinde yapıların ve bölgenin kullanım şeklinde değişimler olmuş mudur?
- Yapının taşıyıcı sisteminde ve kullanım şeklinde değişimler olmuş mudur?

Takviye çalışmaları yapılacak bina mesken amacıyla kullanılıyor ve çalışmalar sırasında yapı kullanılmaya devam edecek ise, takviye çalışmalarında kullanılacak yöntemlere karar verilmesi aşamasında oturanların rahatsızlık düzeylerine dikkat edilmelidir.

3.2 Yapısal incelemeler

Verimli ve etkin bir çalışma yapılabilmesi için temel takviyesinin tasarımı aşamasında şu hususlara da özen gösterilmelidir:

- Temel takviyesine başlanılacak yapıdan etkilenecek diğer binaların önemi ve hizmet amacı
- Mevcut temellerin tipi, durumu ve güvenliği,
- Etkilenen binaların yapısal durumu
- Takviye edilecek bina tarihi değeri olan bir bina ise yapıların koruma derecesi,

Temel takviyesi aşamasına başlanılmadan önce çok çeşitli teknik incelemeler ve ayrıntılı zemin ve yeraltı suyu araştırmaları yapılmalı, yapılacak çalışmaların ayrıntılı bir planı hazırlanmalıdır.

Yapıda gözle yapılan incelemeler sırasında herhangi bir çatlak olup olmadığı incelenmeli, varsa bunlar gözlemlenmelidir. Çatlak ve oturmaların nedenleri ancak inşaat alanında yapılacak kazılar ve sondajların yardımı ile anlaşılabilceğinden zemin yapısı hakkında ayrıntılı inceleme yapılmalıdır.

3.2.1 Yapıların stabilitesini bozan etkenler

Mevcut bir yapının yapıldığı dönemdeki koşullardan farklı olarak insan gereksinimlerinin artması, toprak kazıları, metro, kanalizasyon, su hatları, yapının yeraltı suyunun kullanımı, yağışların zemin tarafından emilmesini önleyen (yol ve alan kaplamaları) stabilitesinin bozulmasına etki eden etkenler yeraltı su seviyesinin eskiye oranla alçalmasına neden olmaktadır. Bu gibi durumlar yapının yapıldığı dönemdeki koşulların değişmesine neden olmaktadır. Bu durum özellikle tarihi yapılar için önem arz etmektedir. Örneğin, İstanbul'daki bazı Osmanlı devri camileri temelleri ahşap kazıklı sistemler üzerine oturtulmuştur. Yeraltı su seviyesinin alçalması sonucu hava ile temas eden ahşap kazıklar çürüyebilir. Tünel ve metro kazılarıyla geleneksel yapılara yakın yerlerde yapılacak kazılar heyelan ve kaymaların oluşmasına neden olabilir. Bütün zemin hareketleri etkisi ile geleneksel yapı taşıyıcı sisteminin dengesi bozulabilir.

Bir yapıda stabilitenin bozulabilmesi için yapıya etkiyen kuvvetler sisteminin oluşturacağı "poligonun" kapanma koşullarının değişmesi gerekir. Bu etkiyen kuvvetler de bir artışın veya karşı koyan tepki kuvvetlerinde de bir azalmanın söz konusu olduğu anlamına gelir.

3.2.1.1 Yapıya etkiyen kuvvetlerin artması (aşırı yükleme)

Bir yapı kendi ağırlığı dışında, çevreden de etkilenir. Binada ilave kat çıkılması gibi ilave yüklerin yanında aşırı yüklemeye etki eden çevre yükleri kar, rüzgar, deprem, temel oturması ve sıcaklık değişimi gibi etkilerden en önemli olanları deprem ve temel oturmasından kaynaklanan ilave yüklemelerdir.

Bir yapıya yapılacak olan ek bölümler sonucu, yapı yüklerinin artması veya yapının taşıyıcı sisteminde yapılacak değişiklikler (masif duvarlara delik veya pencere açma gibi işlemler) nedeni ile temel zemini farklı biçimde zorlanarak, yapıda çatlamlar oluşabilir.

Yamaçlarda bulunan, kaymaya zorlanan kohezyonsuz (kumlu çakıllı) zeminler üzerindeki yapılarda, deprem büyük zararlara neden olabilir. Deprem yükleri öz ağırlıkla orantılı olarak yapı taşıyıcı elemanlarına yatay yük etkisi yapar.

Yapı altındaki zemin koşulları çevreden gelen etkilerle değişerek, zemin taşıma gücü yer yer azalır ve (farklı temel) oturmalar oluşabilir. Bu oturmaların belli sınırları geçmesi halinde taşıyıcı elemanlarda çatlamlar başlayabilir.

Yanal kuvvetlerin etkisi, taşıyıcı elemanlarda (dönme) rotasyona; zemin taşıma gücünün azalması da, düşey doğrultuda (ötelenmelerin), yani deplasmanların meydana gelmesine neden olur.

Şekil 3.1’de gösterilen bir temel elemanına etkiyen yükler H ve Q olsun,

Temel Alanı : $A \text{ (m}^2\text{)}$

Temel Mukavemet Momenti : $W \text{ (m}^3\text{)}$

Döndürme Momenti : $H \cdot h$

Yatay ve Düşey yükler : (H, Q)

olduğuna göre temelin 1 ve 2 noktalarındaki gerilmeler bilindiği gibi

$$\sigma_1 = \frac{Q}{A} + \frac{H * h}{W}$$

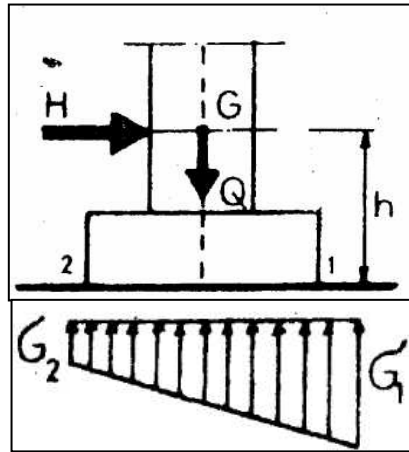
$$\sigma_2 = \frac{Q}{A} - \frac{H * h}{W}$$

olur. Zemin taşıma gücü (σ_T) olduğuna göre, stabilitenin var olması için

$$(\sigma_1) < \sigma_{Tem} \quad \sigma_{Tem} = \sigma_T / G$$

$$\sigma_2 > 0 \quad G : \text{Güvenlik sayısı olması gerekir.}$$

$\sigma_2 = 0$ olması halinde, temel taban basınçları üçgen bir dağılım gösterir.

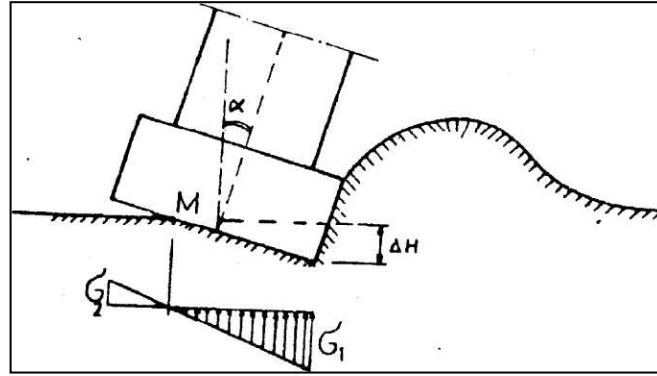


Şekil 3.1 : Taban basınçları

Stabilitenin bozulması:

- σ_T 'nin azalması sonucu yani $\sigma_1 = \sigma_T$ olması halinde, veya
- H değerinin büyümesi sonucu $\sigma_2 = 0$ (negatif) durumunda olması söz konusudur.

Bu durumda temelin zeminle olan temas alanı azalır. (2) noktasının zeminle teması kesilerek yapı düşey doğrultusuna göre (a) açısı kadar döner (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 : Temel dönmesi

(1) noktasında $\sigma_1 > \sigma_T$ olması halinde, (2) noktası (AH) kadar zemin içine girer. Bu şekilde taşıyıcı sistemin dengesi bozulur. (H) kuvvetinde bir artış olması da, (σ_T)'nin azalması sonucunda, (1) noktası (2) noktasına oranla zemin içine daha fazla gireceğinden, sistemde yine de (dönme) yani (rotasyon) olacaktır.

3.2.1.2 Yeraltı suyunun yapı stabilitesine olan etkisi

Yumuşak zeminlere oturan yapılarda, yeraltı suyunun alçalması ve yükselmesi de “yapının çatlamasına” neden olur.

Yeraltı suyunun alçalması sonucu, su içinde yüzen zemin danelerinin ağırlıkları artacağından, daha altlardaki zeminlere, ilave yükler gelir. Bu ilave yükler nedeniyle zemin tabakaları tekrar oturmaya başlar. Bu oturmaların belli değerlere ulaşması sonucu yapıda “çatlamalar” oluşur. Suyun oturmasıyla kuruyan zemin tabakalarında ayrıca “Rötre” oluşur. Rötre sonucu, özellikle killi zeminlerde, aşırı hacim küçülmesi olacağından, oturmalar bir evvelki durumdan daha büyük boyutlara ulaşır. Aynı durum buharlaşmanın söz konusu olduğu zeminler içinde geçerlidir. Aşırı buharlaşma sonucu kuruyan zeminde yine “rötre” olayı oluşacağından, oturmalar ani olarak başlar [10].

Yeraltı suyunun yükselmesi sonucunda ise, zemin boşlukları tamamen su ile dolacağından, “doymuş” hale geçer. Bu durumda zemin yumuşayacağından, zeminin kayma direncinin azalması ile, taşıma gücü de azalır. Bu durumda yine oturmalar başlar ve belli değerlere ulaştıktan sonra, yapıda yine çatlamalar oluşur [10].

3.3 Geoteknik incelemeler

Temel takviye çalışmaları sırasında yapıda yapılacak kazılar (forajlar) ve sondajlar yardımı ile temel zemini ilk olarak tanınmalıdır. Ancak zemin durumu incelendikten sonra, yapıda oluşmuş yada olması muhtemel hasarlar ve nedenleri hakkında bilgi sahibi olunabilir.

Bu amaçla yapı alanında uygun bulunan yerlerde gözlem çukurları açılmalı ve çukur içerisinde ve yüzeylerinde gerekli gözlem ve ölçmeler yapılmalıdır. Kuyu tabanı ve yüzeylerinden blok numuneler alınarak gerekli laboratuvar incelemeleri yapılmalıdır.

Muayene kuyuları duvarlarında ve tabanında tabakalaşma düzlemi, dalım, çatlak sıklığı ve çatlak yönelimi ölçümleri yapılmalı, eğer zemin yapısı kaya zemin ise kaya elemanların ayrışma dereceleri saptanmaya çalışılmalıdır. Yeraltı suları hakkında da gözlem ve numune alma yöntemi ile sular hakkında bilgi edinilmelidir.

3.3.1 Zemin numuneleri alınması

Foraj ve sondajlarla zemin tabakalarının durumu belirlenir. Ayrıca zeminin mekanik özelliklerinin tanımlanabilmesi içinde, bu işlemler sırasında, zeminden “örselenmemiş” (doğal hali bozulmamış) numuneler alınır. Sondaj deliği içinde, yerinde, örneğin; presiometre aletleri ile yanıl basınç deneyleri yapılır. Örselenmiş numunelerde, zemin endeks özellikleri, tabaka cinsleri ile tabaka kalınlıkları belirlenir. Örselenmemiş numuneler üzerinde de laboratuvarla deneyler yapılarak zeminlerin mekanik özellikleri saptanır [10].

3.3.2 Zemin sondajları ve sondaj sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapı yerinde sondaj yapma ilk akla gelen çarelerdendir. Sondajlar, zemin içinde, daha geniş bir ortam içinde gelişir. Sondajlar, belirli bir düşey doğrultu üzerinde her bir tabakayı katederler. Bu durumda her derinlikte, yerinde elde edilecek bilgilerle, laboratuvar verileri arasında bir bağıntı kurmak düşünülebilir.

Dinamik sondajlar yapılması kolay olan sondajlar olduklarından, bunlardan vazgeçmemek gerekir. Bu tür sondajlardan elde edilecek sonuçlar yardımı ile forajlardan elde edilecek sonuçlar ayarlanmalıdır.

Özellikle, kohezyonsuz zeminlerde, kesme direnci ve sıkışabilme özelliği sondajlarla elde edilmelidir. Çünkü sondaj yapımı sırasında, zemindeki su, sondaj yerinden kolaylıkla uzaklaşır. Kohezyonlu zeminlerde ise, sondajlar sırasında su hemen sondaj yerini terk edemeyeceğinden, zemine düşürülecek penetrasyon aletinin ağırlık kütesinin bir kısmı su tarafından alınacaktır. Dolayısıyla, zemin danelerinin yüklenmesinden söz edilemez. Ancak belli bir süre sonra, basınç etkisi ile su sondaj yerini terk ettikten sonra zemin daneleri yük taşımaya başlayabilir. Sistematik araştırmalarla, zemin birim ağırlığı, standart penetrasyon deneyi darbe sayıları veya sondanın uç basıncı arasında, bağıntılar kurularak basit denklemler geliştirilebilir [11].

Bu nedenle kohezyonlu zeminlerde bu tür bir yöntem seçilmemelidir. Bu yöntem ancak kumlu ve çakıllı zeminlerde yani (kohezyonsuz) zeminlerde uygulanmalıdır.

Sondajların sonuçlarından zeminin fiziksel özellikleri ve yapısı hakkında bilgi edinilemez. Yalnız çeşitli zemin tabakalarından birinin diğerine oranla sağlam olup olmadığı anlaşılır. Aynı karakteristiği koruyan derinliklerde zeminin aynı olduğu, karakteristiğin değiştiği yerde ise tabakanın değiştiği anlaşılır. Bu şekilde yapı altındaki zemin tabakalarının durumu ve tabaka derinlikleri bu tür sondaj sonuçlarından yararlanılarak belirlenir. Ayrıca yapı yanında yapılan eğik sondajlarla temel derinliği tesbit edilebilmektedir [11].

3.3.3 Temel oturmalarının gözlem ve değerlendirilmesi

Temel aracılığıyla zemine aktarılan yapı yükleri altında zemin yüzünde (temel tabanında) meydana gelen düşey deplasmanlar oturma (tasman) olarak adlandırılır. Oturmaların bilinmesi sığ temellerde zeminin güvenli taşıma gücünün, derin temellerde ise güvenli ayak yada kazık yükünün bulunması bakımından gereklidir [27].

Bir temelde meydana gelen oturmalar yapıda göçmeye/kırılmaya varabilen inşai sorunlar meydana getirebilir. Bu bakımdan toplam oturmaların yanında farklı oturmalar ile açısız oturmaların yönetmeliklerin izin verdiği değerleri aşmamasına özen gösterilmelidir. Bu değerler üst yapının inşai özellikleri ve kullanım şekline göre değişiklikler göstermektedir [27].

Yapımdan sonra yükler sabit kalmasına rağmen, oturma süresinin sonuna dek, oturmalar devam eder. Yeni oturmaların olması için, yapıya ilave yüklerin gelmesi gerekir. Her yük artımında bir önceki oturmalara benzer oturmalar oluşur.

Yapının belli bölümlerindeki farklı temel oturmalarını saptamak için gözlemlere gereksinim duyulmaktadır. Çatlak oluşumu saptanmış bir yapıdaki çatlakların nedenlerinin bilinebilmesi ve yapının iyileştirilebilmesi için yaklaşık oturmaların değerlendirilmesi özellikle önemlidir. Uygulamadan gelen bir deneyimle aşağıdaki önerilere göre oturmalar değerlendirilebilir [10].

- 1) Henüz temel oturması yapmamış çevredeki yapılarla, sözü edilen yapı karşılaştırılmalıdır. Aynı derinlikte, aynı zemine oturan çevredeki bu yapılar az miktarda oturmuş veya hiç oturmaya başlamamıştır. Bu tür yapılar, tam kesin olmamakla beraber, belli ölçüde bir karşılaştırma örneği oluşturabilirler.
- 2) Zaman süreci içindeki yer altı su seviyesinin değişmediği hallerde, su içindeki temel malzemesinin durumunu, yapıldığı zamanki durumuna oranla belirlemek mümkün olabilir.

Buradan hareketle temelin su içine batışını ve dolayısıyla oturmayı değerlendirmek mümkün olabilir.

- 3) Temel zemininin birbirinden belirgin tabakalardan oluşması hallerinde, her bir tabakanın sıkışma miktarından hareket ederek, yapının oturmalarını hesap etmek mümkün olabilir.
- 4) Yapıda dışa çıkan merdivenler veya zemin yüzüne çıkışlar varsa, yapı dışındaki bir noktasının şimdiki durumu ile ilk yapıldıkları durumu karşılaştırmak sureti ile oturmalar hakkında bilgi sahibi olunabilir.

Sonuçta, yukarıda bahsedilen veya başka çeşitli yöntemler ile elde edilen sonuçların, karşılaştırılmasında bir uyum görülürse, yapının yapıldığı tarihten bugüne dek yaptığı oturmaları değerlendirmek büyük olasılıkla mümkün olabilir [10].

3.3.4 Gözlem kuyuları

Mevcut binaların temel durumlarının ve derinliklerinin belirlenmesi için yapı kenarında gerekli sayıda kontrol kuyuları açılmalıdır. Yüzeysel temellerin biçimi ve derinliği hakkında yeterli bilgi edinildiği kadar, kazıklı temellerde de kazığın başlık kotu ve yer altı suyunun başladığı yer belirlenir. Bu şekilde yapı yakınında yapılması muhtemel kazı çalışmalarının hangi mesafe ve derinlikte yapıya olumsuz etkisi olabileceği belirlenir [10].

3.3.5 Yeraltı su seviyesinin belirlenmesi

Yer altı su seviyesi, sondaj delikleri ve foraj yardımı ile her ne kadar saptanırsa da, seviyenin zamanla değişiminin gözlenmesi için özel kontrol kuyularının açılması gerekir. Yapı çevresinde mevcut su kuyularının gözlenmesi ile de yeterli bilgileri elde etmek mümkündür.

Bu tür bilgileri elde etmek için, yer altı sularının durumunu inceleyen kamu yada özel sektör bürolarının bölgede yapmış olduğu çalışmalardan da faydalanılır. Bu tür bilgiler, yer altı suyunun uzun zaman sürecindeki değişimini içerdiğinden daha sağlıklı olur. Eğer yapı belirli bir geçmişe sahip ise en azından on beş yıllık zaman sürecindeki verilerin elde edilmesi çok faydalı olacaktır. Ancak bu bilgilerin, ışığında bu zaman sürecinde, zemindeki oturmaların yapıyı etkileyip etkilemeyeceği hususunda bir hesap yapma olanağı elde edilir. Bu hesap sonuçlarına göre de, çok uzak geçmişteki zemin davranışları ile ilgili bir ekstrapolasyon yaparak, daha somut sonuçlara ulaşılabilir. Örneğin, geçmişteki bu değişimlerin mertebesi bilinir ve yapıdaki çatlamlar gözlenirse, gelecekteki olası çatlaklar ile ilgili önlemler, optimum bir maliyetle alınabilir [10].

4. TEMEL TAKVİYESİ UYGULAMALARINA ÖRNEKLER

4.1 Kemer Kolej Temel Takviye Çalışmaları

Temel Takviye çalışmalarına örnek olarak İstanbul İli, Sarıyer İlçesi sınırları içerisinde yer alan Zeynep Mutlu Eğitim Vakfına ait Özel Kemer İlköğretim Okulunda yapılan çalışmalar ele alınmaktadır. Okulun (A) blok binasında meydana gelmiş olan bazı oturumların durumunun tespiti amacıyla yapı yerinde yapılan gözlem ve incelemeler sonucunda meydana gelen hasarların tespiti sonrasında yapı güvenliği amacıyla alınması gerekli temel takviyesine yönelik önlemler için yapı alanının geoteknik ve yapısal incelemeleri yapılmış, daha önce yapılmış olan sondaj ve diğer etüdler değerlendirilmiş, açılan muayene çukurlarında yapılan gözlem ve incelemelerin sonucunda yapı güvenliği amacıyla binanın temelleri mini kazıklarla desteklenmiştir.

4.1.1 Giriş

Özel Kemer İlköğretim Okulunun (A) blok binasında bazı oturumlar tesbit edilmesi üzerine bina yerinde incelenmiş, meydana gelen hasarların tesbiti sonrasında yapı güvenliği amacıyla alınması gerekli temel takviyesine yönelik önlemler için geoteknik ve yapısal incelemeler yapılmıştır.

Bu incelemeler sırasında, Özel Kemer İlköğretim Okulunun, bazı oturumlar tesbit edilmiş olan A Blok binası ile aynı bölgede bulunan B ve C bloklarında daha önce Geoteknik A.Ş. tarafından zemin araştırması yapılmış olduğu ve bu araştırmalar sırasında B ve C blokların inşa edileceği alanlarda yedi adet araştırma çukuru açılmış olduğu tesbit edilmiştir. Geoteknik A.Ş. tarafından yapılan incelemeler sonucunda ortalama 3.50 m kalınlığındaki toprak dolgu tabakasının, temel mühendisliği açısından sıyrılması, daha sonra civardan alınan kum zemin ile kontrollü dolgu yapılması önerilmiştir.

Oturmaların meydana geldiği A blok temelleri altında üç adet araştırma çukuru açılarak incelenmiştir.

Yapılan incelemeler sonucunda, (A) blok temellerinin, pratik anlamda taşıma gücü olmayan killi kum ve kumlu kilden oluşan çok gevşek dolgulara oturtulmuş olduğu, Geoteknik A.Ş. tarafından hazırlanan raporda da belirtildiği gibi, daha önce bu sahada stabilize malzeme ocağı bulunması nedeniyle yer yer oldukça kalın dolgular yapılmış olması ihtimali bulunduğundan, (A) blok temellerinin altında tamamının veya bir kısmının gelişigüzel doldurulmuş, oldukça kalın bir dolgu istifi bulunduğu kanaatine varılmıştır [28].

4.1.2 Binada oluşan hasarların nedenleri

A Blok binasının oturduğu zeminin killi kum zeminden oluşan dolgu zeminde su birikmiş olması nedeniyle taşıma kapasitesinin azaldığı, bununla birlikte zeminin temel yükleri altındaki sıkışma özelliğinin artmış olduğu, diğer taraftan, temeller dolgu zemine oturtulurken Geoteknik A.Ş. tarafından “dolgu zemine oturtulan temeller için zeminin güvenli taşıma gücü $\sigma_{em} = 5 \text{ t/m}^2$ alınmalıdır” önerisine de uyulmadığı, ve böylece, temeller altında kalan ve 10 t/m^2 dolayında taban basıncı ile yüklenen dolgu zeminin konsolide olmaya başlamasıyla üst yapıdaki hasarların ortaya çıktığı sonucuna varılmıştır [28].

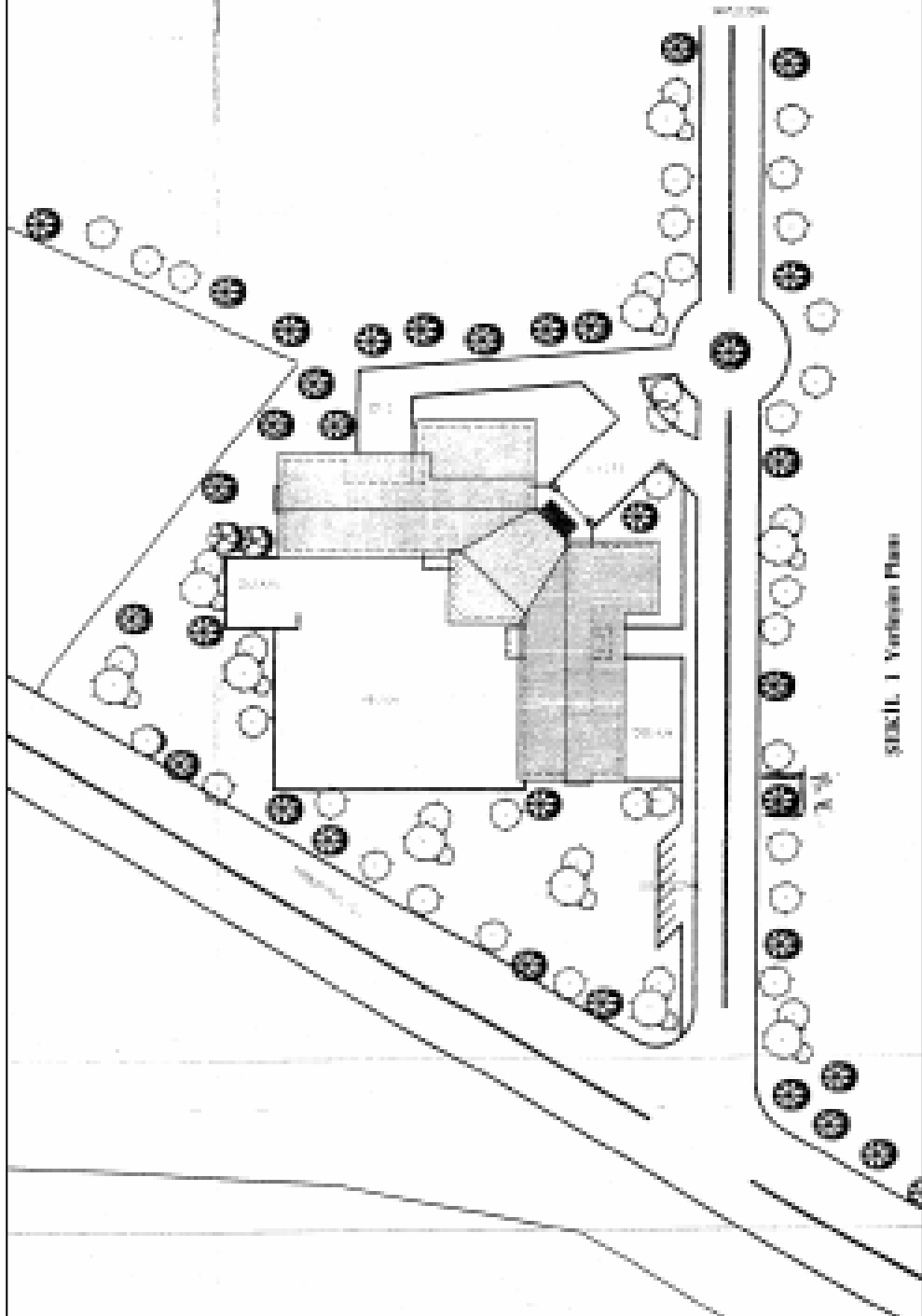
4.1.3 Mevcut binanın statik sisteminin ve zeminin incelenmesi

4.1.3.1 Yapısal incelemeler

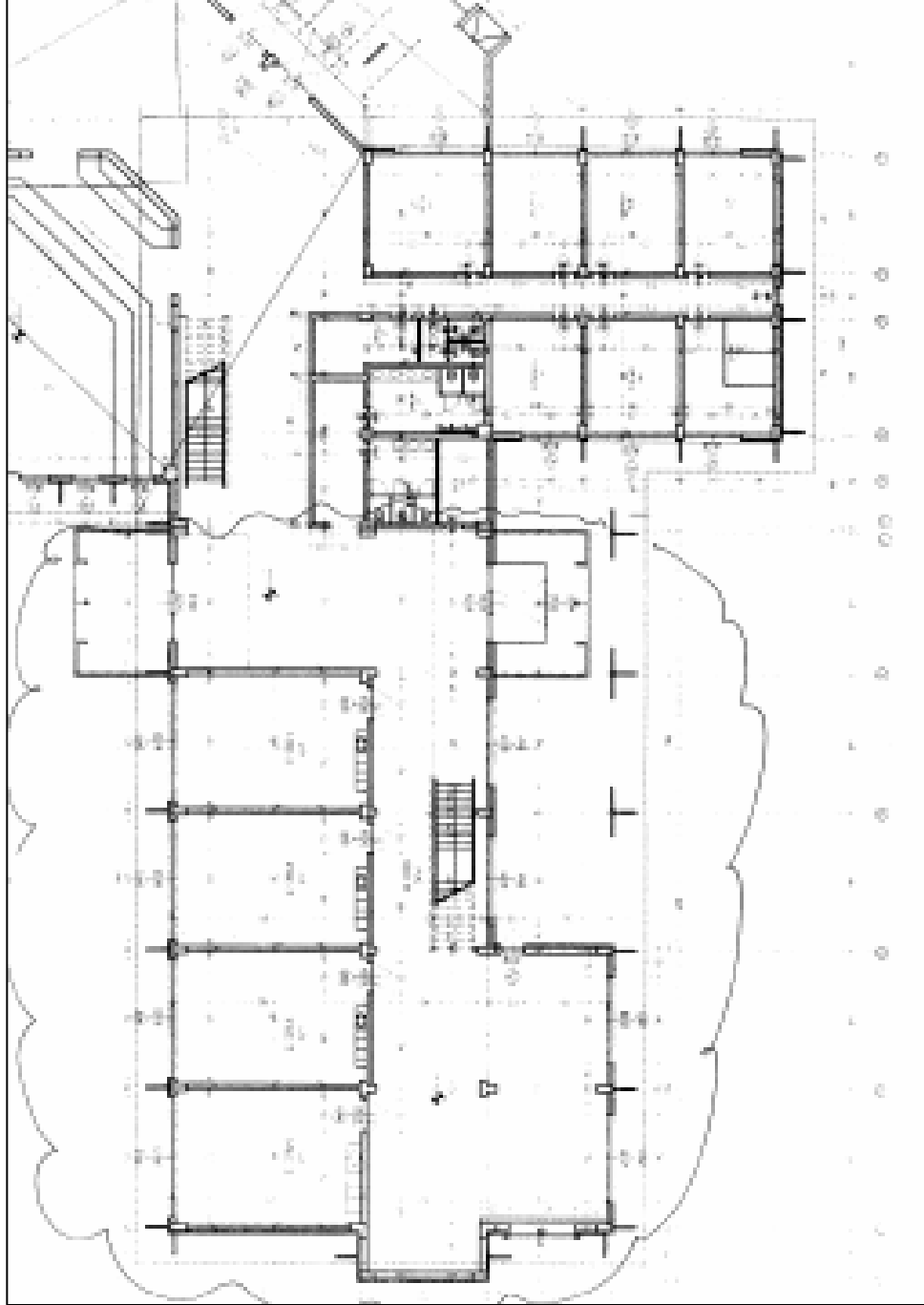
Zeynep Mutlu Eğitim Vakfına ait Özel Kemer İlköğretim Okulunun vaziyet planına göre (Şekil 4.1), Okul binası, zemin ve birinci katlardan oluşmaktadır. Zemin kat planına göre (Şekil 4.2), Zemin kat döşeme üstü kotu $\pm 0.00 \text{ m}$ alındığında, birinci kat döşeme üstü kotu $+ 3.65 \text{ m}$ ’ dir. Dolayısıyla, zemin kattaki temiz kat yüksekliği 3.50 m ’ dir.

A blok binasının plandaki boyutları $32.35 \text{ m} \times 25.00 \text{ m}$ olup diğer bloklardan dilatasyonla ayrılmıştır. A blokta akslar binanın uzun yönünde 6.00 m , dar yönünde ise 5.00 m ve 8.00 m olarak düzenlenmiştir. Zeminin güvenli taşıma gücü $\sigma_{em} = 1.00 \text{ kg/cm}^2$ seçilerek bütün bloklar gibi A blok binası da sürekli temellere taşınmıştır.

A blokta dört adet sürekli temel bulunmaktadır. T2 temel kirişı 120 cm x 80 cm, T1, T3 ve T4 temel kirişleri ise 100 cm x 80 cm.'dir. Temellerin taban genişlikleri, T2 temelinde 260 cm, diğerlerinde ise 200 cm.' dir.



Şekil 4.1 : Yerleşim planı



Şekil 4.2 : A blok zemin kat planı

4.1.3.2 Geoteknik incelemeler

Yapı arazisi üzerinde, ilk zemin araştırmaları Nisan 1994 içerisinde, Geoteknik A.ř. tarafından yapılmıştır. Bu araştırmaya göre inceleme alanında, zemin yüzeyinde kalınlığı 0.50 m. ile 2.50 m. arasında değişen killi, bloklu, çakıllı inşaat artığı içeren gevşek bir dolgu tabakası mevcuttur. Daha altta ise arazinin doğal zeminini olan sarımsı-kahverengi Belgrad Formasyonuna ait az killi ince kum-kaba kum ve çakıl tabakaları yer almaktadır. Araştırma çukurları içinde yapılan gözlemlere ve deneylere göre, killi kum tabakaları orta sıkı-sıkı; kumlu kil tabakaları ise çok katı'dır. Araştırma çukurlarının derinlikleri içinde (3.50 m.) yeraltı suyu ile karşılaşılmamıştır. Ayrıca, arazinin geometrisinin düzensiz olduğu tespitleri yapılmıştır. Ayrıca inceleme sonuçlarında varılan kanaat gereğince ortalama 3.50 m kalınlığındaki toprak dolgu tabakasının, temel mühendisliği açısından sıyrılması, daha sonra civardan alınan kum zemin ile kontrollü dolgu yapılması gerektiği tespitleri yapılmıştır. Temeller projelendirilirken, %95 Modifiye Proktor sıklığına kadar sıkıştırılmış kontrollü dolguya oturtulacak temeller için zeminin güvenli taşıma gücü olarak $\sigma_{em} = 5 \text{ t/m}^2$; doğal zemin olan killi kum ve kumlu kil tabakalarına oturtulacak temeller için ise $\sigma_{em} = 10 \text{ t/m}^2$ değerlerinin seçilmesi tavsiye edildiği anlaşılmaktadır. Geoteknik A.ř. tarafından hazırlanan raporda, okul sahasının içinde bulunduğu bölgenin 1. Derece deprem bölgesi olduğu belirtilmiş ve proje depremi karakteristikleri olarak $6.50 < M < 7.00$, $A_0 = 0.40 \text{ g}$, $T_0 = 0.50 \text{ sn}$ değerleri önerilmiştir.

A Blokta hasar oluşumlarının gözlenmesinden sonra binada, 14 Aralık 1999 tarihinden başlayarak çeşitli tarihlerde incelemeler yapılmıştır. Bu incelemelerde gözlenen ve tespit edilen hususlar aşağıda belirtilmiştir [28]:

- A blok binasının gerek tören alanı ve gerekse i bahçe tarafında bulunan dış cephe duvarlarında ilerlemiş oturma çatlakları ortaya çıkmıştır (şekil 4.3). Benzer çatlaklar, sınıfların koridor tarafındaki duvarlarında da gözlenmiştir.
- Okulun Eylül 1999'da hizmete girmesinden sonra oturma çatlakları yakın zamanda kendini göstermeye başlamış ve çatlakların gelişmesi son zamanlarda hızlanmıştır.

- Oturmalar henüz betonarme taşıyıcı sistemi etkilememiştir. Bununla birlikte, dikkatle incelendiğinde kolon-kiriş birleşimlerinde yer yer kılcal çatlaklar görülmüştür.
- Meydana gelen oturmaların sebeplerini incelemek amacıyla (A) blok çevresinde üç adet araştırma çukuru açılmıştır. Araştırma çukurları, temel tabanlarındaki zemin incelenecek şekilde, yeterli derinlikte açılmıştır. Her üç araştırma çukurunda, sürekli temellerin tabanında genelde çok gevşek ve aşırı ıslanmış killi kum ve bazen bitkisel topraktan oluşan dolgu zemin bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.4 ve 4.5). Dolgu zeminin killi seviyelerinde cep penetrometresi ve tork vane ile yapılan ölçmelerde drenajsız kayma mukavemeti değerinin pratik anlamda sıfır dolayında olduğu tespit edilmiştir.
- Araştırma çukurları görelî olarak sığ olduğu için temeller altındaki dolgu zeminin kalınlığını belirlemek mümkün olmamıştır.

Sonuç olarak; inceleme alanında daha önce Geoteknik A.Ş.’nin yapmış olduğu tesbitlerden ve yapının hizmet vermeye başlaması sonrasında meydana gelmiş olan hasar tesbitlerinden sonra açılmış olan gözlem kuyularından edinilen bigiler çerçevesinde (A) blok sürekli temellerinin tabanında, genelde çok gevşek ve aşırı ıslanmış taşıma kapasitesi pratik anlamda olmayan killi kum ve kumlu kilden oluşan çok gevşek dolgulara oturtulmuş olduğu anlaşılmıştır [28].

4.1.4 Binadaki oturmaların önlenmesi için alınması gereken önlemler

Yapılan inceleme ve kontroller çerçevesinde, (A) blok temel sisteminde ve temel zemininde ortaya çıkan ve giderek artan oturmaların ilerlemesinin durdurulamaması durumunda farklı oturmaların 2.5 cm’den daha büyük değerlere ulaşacağı tahmin edilmiş ve genelde duvarlarda görülen çatlakların taşıyıcı sisteme intikal etmeden durdurulmadığı takdirde binanın kullanılamaz duruma geleceği kanaatine varılmıştır. Oturmaların önlenmesi için temeller tarafından çok zayıf taşıma kapasitesine sahip zayıf dolgu zemine aktarılan üst yapı yüklerinin, zemin profilinde dolgu zemin altında bulunan taşıma kapasitesi yeterli ve kompressibilitesi düşük olan doğal zemine aktarılması zorunlu olarak değerlendirilmiştir. Temel takviyesi olarak tanımlanabilecek bu işlemle ilgili aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır [28].



Şekil 4.3 : Binada meydana gelen oturma çatlakları



A1 Araştırma Çukuru



A1 Araştırma Çukurunda Temel Altındaki Dolgu Zemin

Şekil 4.4 : A1 Araştırma çukuru



A2 Araştırma Çukuru



A3 Araştırma Çukuru

Şekil 4.5 : A2 ve A3 Araştırma çukurları

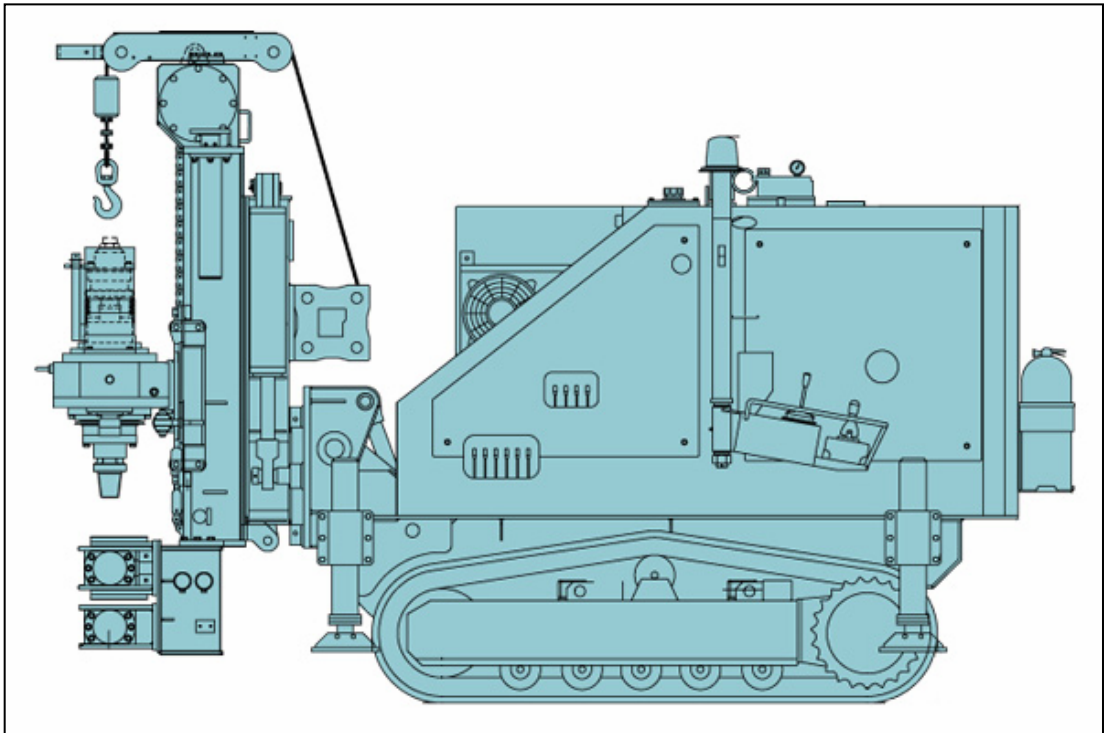
- Temel takviyesi işlemi bina dışında olduğu kadar, bina içinde de yapılmalıdır. Bina içinde, sınıflar tarafındaki kat yüksekliği 3.50 m ile sınırlı olduğundan bu sebeple, bina içinden yapılacak temel takviyesi çalışmaları için 3.50 m gabaride çalışabilen makinalar tercih edilmelidir. Mevcut taşıyıcı sisteme ve duvarlara en az hasar verilmesi açısından temel takviyesinde kullanılacak makinaların mümkün olduğu kadar küçük olması gerekmektedir.
- Temel takviyesinin sürekli temeller altında jet grout kolonları imal edilerek de yapılması mümkündür. Ancak bu durumda, 400-450 bar dolayındaki basınçlar nedeniyle temel sisteminde ve bina zemin kat döşemelerinde yükselme meydana gelmesi, diğer bir deyişle binada hasarlar oluşması ihtimali söz konusudur.
- Yukarıda açıklanan sebeplerden ötürü temel takviyesi işleminin mini kazıklar ile yapılmasına karar verilmiştir. Mini kazık boyunun belirlenmesi için mini kazık imalatına başlanmadan önce (A) blokta, doğal zemine girilecek şekilde sondajlar yapılması kararlaştırılmıştır.
- Genelde 2.00 m genişlikteki sürekli temel sistemi, boyuna yönde zemine 20 ton/m dolayında yayılı yük aktarmaktadır. Bu durumda, 10 ton güvenli yük taşıyan mini kazıkların s= 1.00 m ara ile imal edilmesi uygun bulunmuştur.

4.1.5 Sonuç

Özel Kemer İlköğretim Okulunun (A) blok binasında meydana gelmiş olan bazı oturmaların durumunun tesbiti amacıyla yapı yerinde yapılan gözlem ve incelemeler sonucunda (A) blok temel sisteminde ve temel zemininde ortaya çıkan ve giderek artan oturmaların ilerlemesinin durdurulmaması durumunda farklı oturmaların 2.5 cm'den daha büyük değerlere ulaşacağı bu durumda da meydana gelen hasarların yapı güvenliğini tehdit eder boyuta ulaşması ihtimali bulunduğu kanaatine varılarak, düşük taşıma kapasitesine sahip zayıf dolgu zemine aktarılan üst yapı yüklerinin, zemin profilinde dolgu zemin altında bulunan taşıma kapasitesi yeterli olan doğal zemine aktarılması için temel takviyesi yapılmasına karar verilmiştir.

- Temel takviyesi bina içinde ve dışında yapılacağından, bina içinde çalışma şartlarının zorluğundan dolayı çalışmada 3.50 m. gabaride çalışabilen Cassagrande M3D makinası ile yapılması tercih edilmiştir (Şekil 4.6 ve 4.7).

- Temel takviyesinin alternatif diğer teknikler ile yapılması durumları da analiz edilmiştir. Temel takviyesinin mini kazık yöntemine alternatif olarak zamandan tasarruf edilmesi amacıyla jet grout yöntemi ile yapılması durumunda, sürekli temeller altında imal edilecek jet grout kolonları için zemine uygulanacak 400-450 bar dolayındaki basınçlar nedeniyle temel sisteminde ve bina zemin kat döşemelerinde yükselme meydana gelmesi, diğer bir deyişle binada hasarlar oluşması ihtimali bulunduğundan temel takviye sisteminin mini kazık yöntemi ile yapılmasının en uygun çözüm olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.6 : Casagrande M3D makinasının şematik gösterimi



Şekil 4.7 : Casagrande M3D ile tarihi binada temel takviyesi uygulaması

- Temel takviyesi işlemlerinin mini kazıklar ile yapılmasına karara verilmiş olduğundan bina dışında 5.00 m dolayında gabariye ihtiyaç gösteren C6 modeli mini kazık makinaları tercih edilmiştir (Şekil 4.8). Bina içinde yapılacak mini kazık imalatının ise, M3D modeli mini kazık makinası ve yerli üretim sondaj makinaları ile yapılması tercih edilmiştir. Mini kazık çapı olarak $D = 13.00$ cm dolayında çapların uygun olacağı öngörülmüştür. Mini kazık imalatı için delgi makinaları ile öngörülen derinliğe inildikten sonra delik içine $\varnothing = 100$ 'lük çelik boru indirilmiş ve daha sonra borunun içi enjeksiyonla doldurularak, bir anlamda temel yüklerinin, çelik boru kazıklarla zemine aktarılması yöntemi uygulanmış, çelik boru kazık için boru et kalınlığı, her mini kazık elemanının 10 ton emniyetli yük taşıyabilmesi için $t=3$ mm. olarak belirlenmiştir. Mini kazık boyunun belirlenmesi için mini kazık imalatına başlanmadan önce (A) blokta yapılan sondajlar neticesinde $\varnothing = 13$ 'lük mini kazıkların yaklaşık 12 m. boyunda olması gerektiğine karar verilmiştir.
- Yapı sisteminde genişlikleri 2.00 m dolayında olan sürekli temel sistemi, boyuna yönde zemine 20 ton/m dolayında yayılı yük aktarmaktadır. Bu durumda, 10 ton güvenli yük taşıyan mini kazıkların $s = 1.00$ m ara ile imal edilmesi gerektiğine karar verilmiş, yapının 5~7 aksları arasında mini kazıkların birbirlerine mesafeleri $s=0.75$ m olarak uygulanmıştır.
- Yapı projesi gereği temel sistemi anpatmanlardan oluştuğu için çelik boru kazıkların yapılmasından önce temellerin anpatmanları sondaj makinalarıyla delinmiştir. Mini kazık imalatı tamamlandıktan sonra mini kazık içine yerleştirilen çelik borular ile betonarme temeller arasındaki boşluklar epoksi harcıyla doldurulmuştur (Şekil 4.9).
- (A) blokta, temellerin takviyesi işlemini takiben bina çevresinde yaklaşık 1.00 m genişlikte tretuvar yapılmasının faydalı olacağı kanaatine varılmıştır.
- Temel takviye işlerinin işinin ehli personel tarafından yapılması her zaman tercih edilmelidir. Uygulayıcı firmaların daha önce benzer işleri yapmış olması ve makina ve ekipmanlarının işin fen ve sanat kaidelerine uygun şekilde tamamlanması için yeterli adet ve kapasitede olması gerek şartlardandır. İşin her

aşamasında olduğu gibi uygulama projeleri dalında uzman kişi ya da kuruluşlarca hazırlanmalı ve işin kalite kontrolü ve denetimi yapılmalıdır.



Şekil 4.8 : Casagrande C6 mini kazık ekipmanı

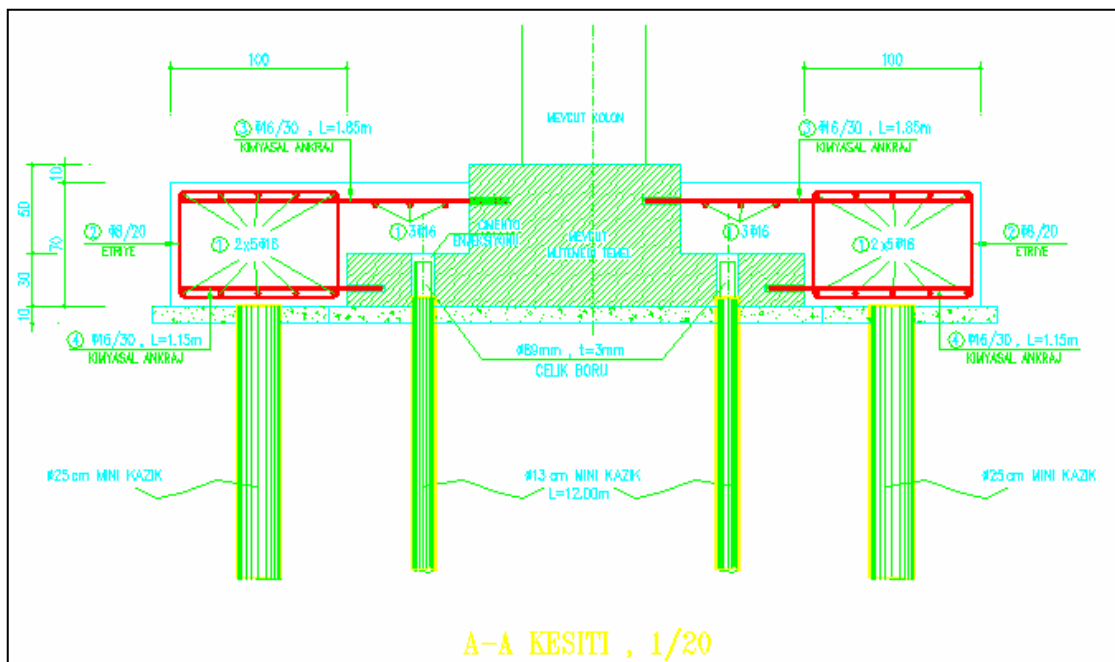


Şekil 4.9 : Kemer Kolej mini kazık uygulaması

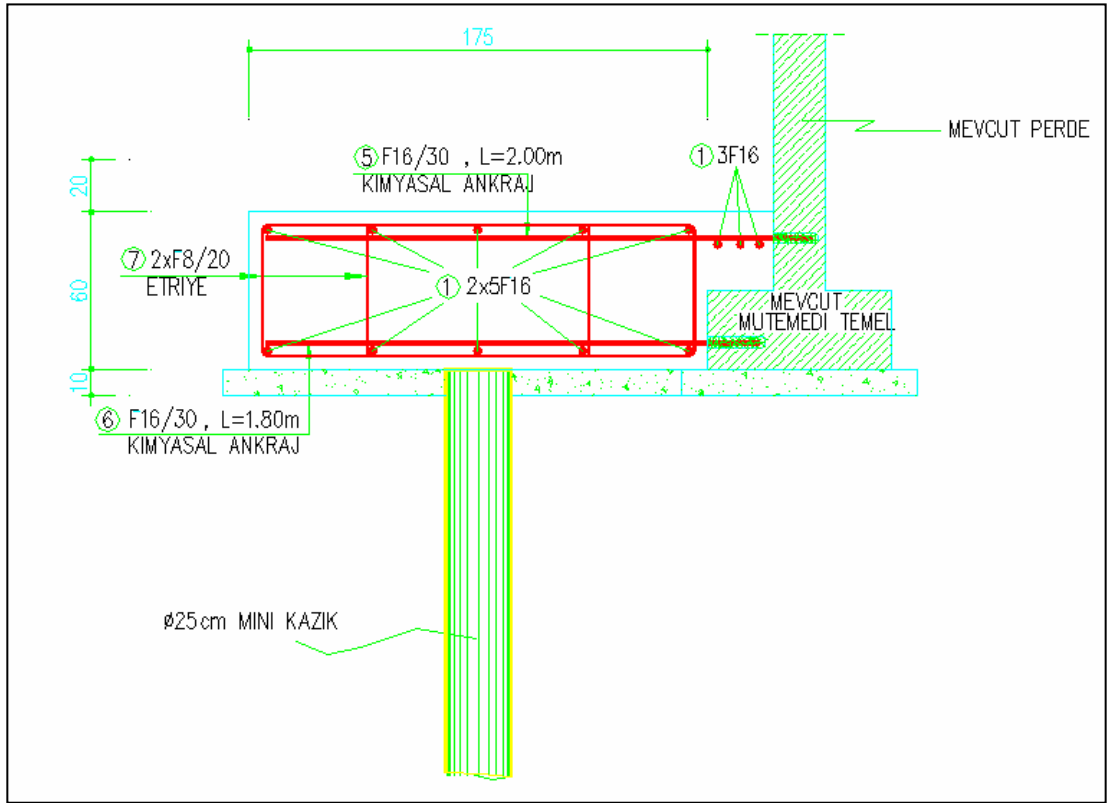


Şekil 4.10 : M3D Mini Kazık makinası ile temel takviye çalışması yapılması

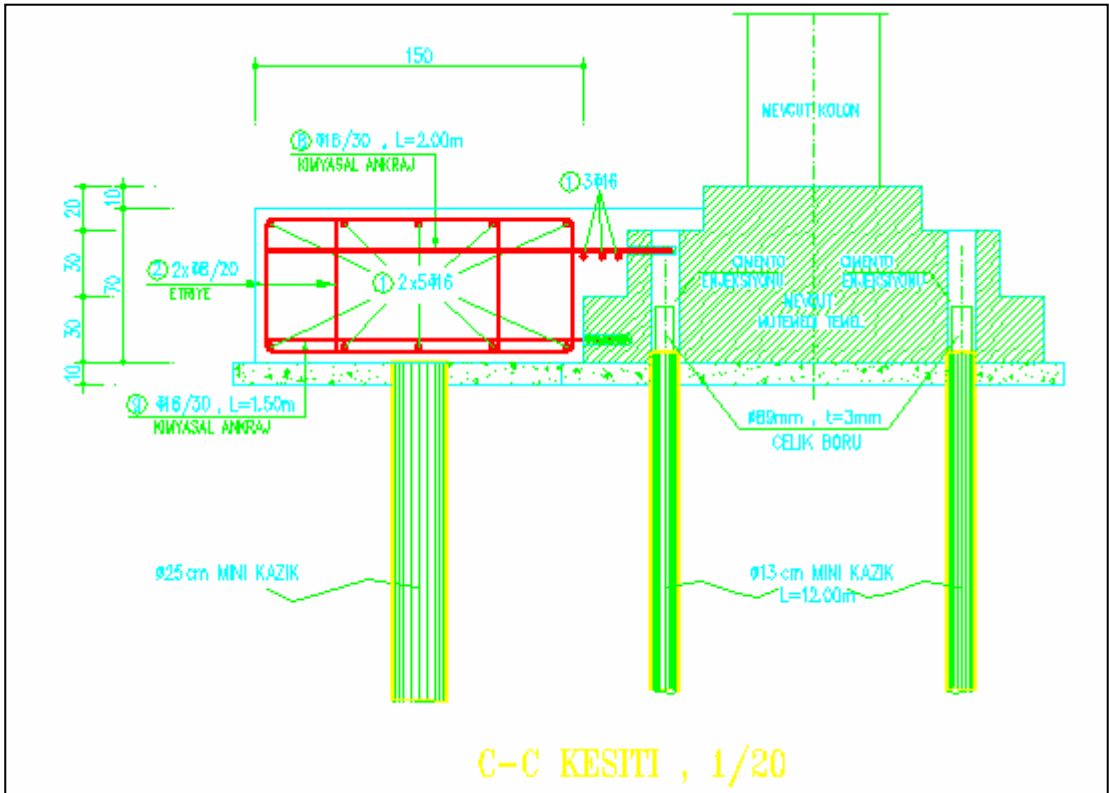
- Bu değerlendirmeler çerçevesinde temel takviye çalışmaları için işin başında hazırlanması gerekli proje ve detaylar 03/01/2000 tarihli Geoteknik rapor doğrultusunda yürürlükteki yönetmelik ve şartnameler çerçevesinde hazırlanmış ve işin uygulama aşamaları yerinde izlenerek, yapılan çalışmalarda tekniğin gerektirdiği kalite kontrol adımları aşama aşama takip edilmiştir.



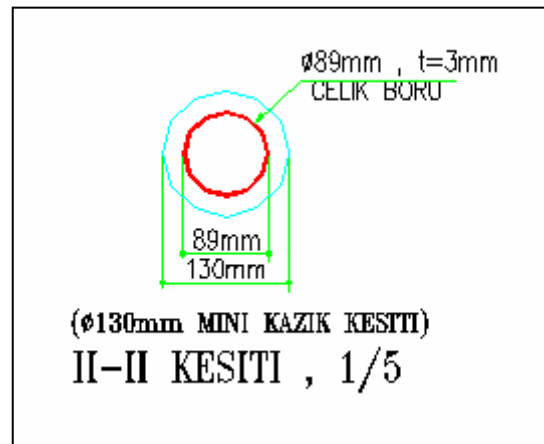
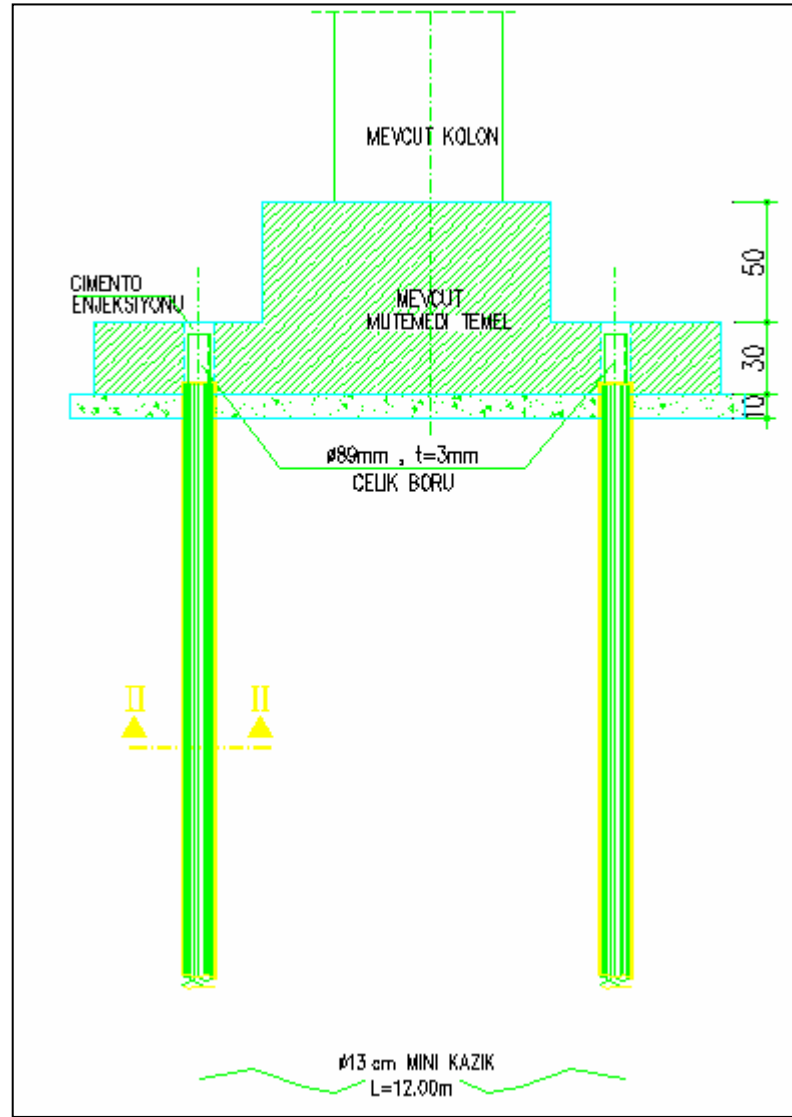
Şekil 4.11 : Kemer Kulej temel takviyesi mini kazık imalatı A-A kesiti



Şekil 4.12 : Kemer Kolej temel takviyesi mini kazık imalatı B-B kesiti



Şekil 4.13 : Kemer Kolej temel takviyesi mini kazık imalatı C-C kesiti



Şekil 4.15 : Kemer Kolej temel takviyesi mini kazık imalatı I-I ve II-II kesitleri

4.2 Büyük Tarabya Otelı Temel Takviye Çalışmaları

1955 yılında projelendirilen Büyük Tarabya Otelı'nın 2003 yılında yenilenmesine karar verilmiş olması nedeniyle bina faaliyetleri durdurulmuş ve yapının boşaltılmasına da karar verilerek, depreme karşı güçlendirme çalışmalarına başlanmıştır. Bu aşamada binanın temel mühendisliği açısından incelenmesi amacıyla, İTÜ Maden Fakültesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Mahir Vardar ile Araş. Gör. Erkan Bozkurtoğlu ile Prof. Dr. Remzi Ülker tarafından binanın temellerinin oturduğu kaya ortamının mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve yapısal özellikleri hakkında bilgi sahibi olunması amacıyla detaylı incelemeler yapılmıştır.

4.2.1 Giriş

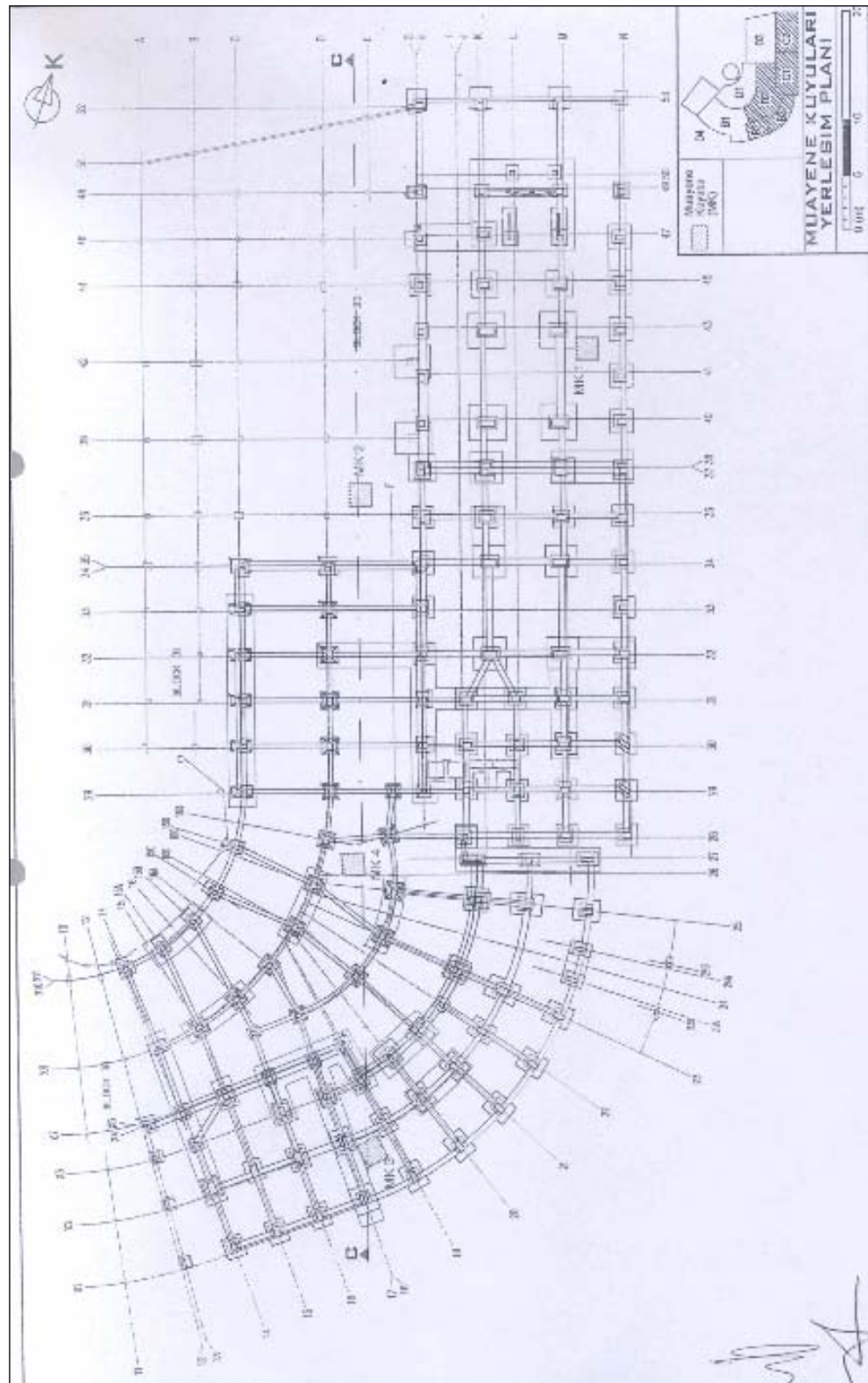
Büyük Tarabya Otelinin temel zemininde, temellerin oturduğu kaya ortamı özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, temel altındaki jeolojik koşulları ve temellerin durumunu doğrudan inceleyebilmek için bina içinde araştırma kuyuları açılmıştır.

B3, C2, D2 ve D3 Bloklarında açılan ve derinlikleri 2,5 m ile 5,60 m arasında değişen bu muayene kuyularının yerleşim planı Şekil 4.16' da verilmektedir. Kuyuların açılması sırasında kuyu stabilitesi aralıklı iksa ile sağlanmış, böylece duvar yüzeylerinde gerekli gözlem ve incelemeler yapılabilmektedir. Her muayene kuyusu tabanından ve duvar yüzeylerinden blok numuneler alınmış, numuneler üzerinde İ.T.Ü. Maden Fakültesi Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı Laboratuvarı'nda ilgili deneyler gerçekleştirilmiştir.

Muayene kuyularının duvarlarında ve tabanında tabakalaşma düzlemleri, dalım, çatlak sıklığı ve çatlak yönelimi ölçülmüş, çatlak dolgu malzemeleri belirlenmiş, kaya elemanının ayrışma dereceleri saptanmıştır. Kuyularda rastlanılan yeraltı sularından numuneler alınarak suların özellikleri belirlenmiştir.

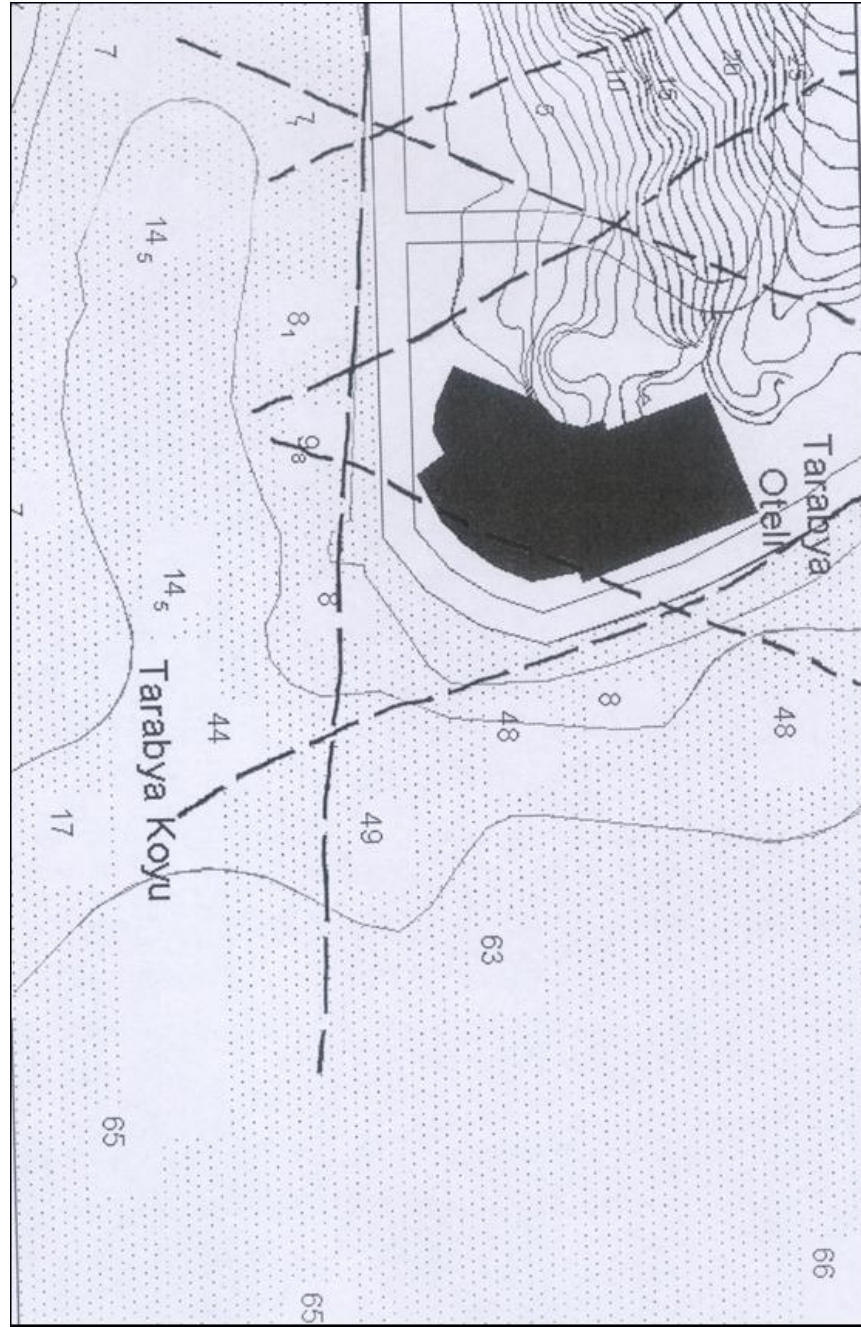
Tarabya Otelı'nın Temel Mühendisliği incelemeleri aşamasında jeolojik değerlendirme ve yorumlar, muayene kuyularına ilişkin bilgiler, kayaların mühendislik özellikleri, laboratuvar deneyleri, jeolojik harita ve kesitler değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen tüm çalışmaların sonuçlarına dayanılarak, inceleme alanının güncel durumu, temellerin oturduğu ortamın özellikleri, yeraltı

suyu durumu, zeminin güvenli taşıma gücü ve tasarım deprem parametreleri belirlenmiştir [29].



Şekil 4.16 : Gözlem (muayene) kuyuları yerleşim planı

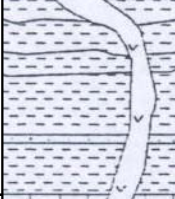
Büyük Tarabya Otelinin yapı alanı ve çevresinin topoğrafik yapısı ve jeolojisi hakkında bilgi alınması için çeşitli kurumların arşivlerinde araştırmalar yapılmıştır. Şekil 4.17’de Büyük Tarabya Oteli’nin yakın planı verilmiştir. 31.01.1963 tarihinde onaylanan topoğrafik plana göre; Otelin güney yönündeki deniz tarafından yaklaşık 75,0 m kadar kuzeybatı yönüne doğru kotlar +8 den +30’a artmaktadır. Deniz tarafında doğu - batı doğrultusunda doğuya doğru, kıyıdan yaklaşık 40,0 m' lik bir mesafeden sonra kotlar ani olarak -48 mertebelerine düşmekte, yaklaşık 90,0 m sonra ise -65 kotuna ulaşılmaktadır [29].



Şekil 4.17 : Büyük Tarabya Otelinin yakın dolayının yapısal haritası

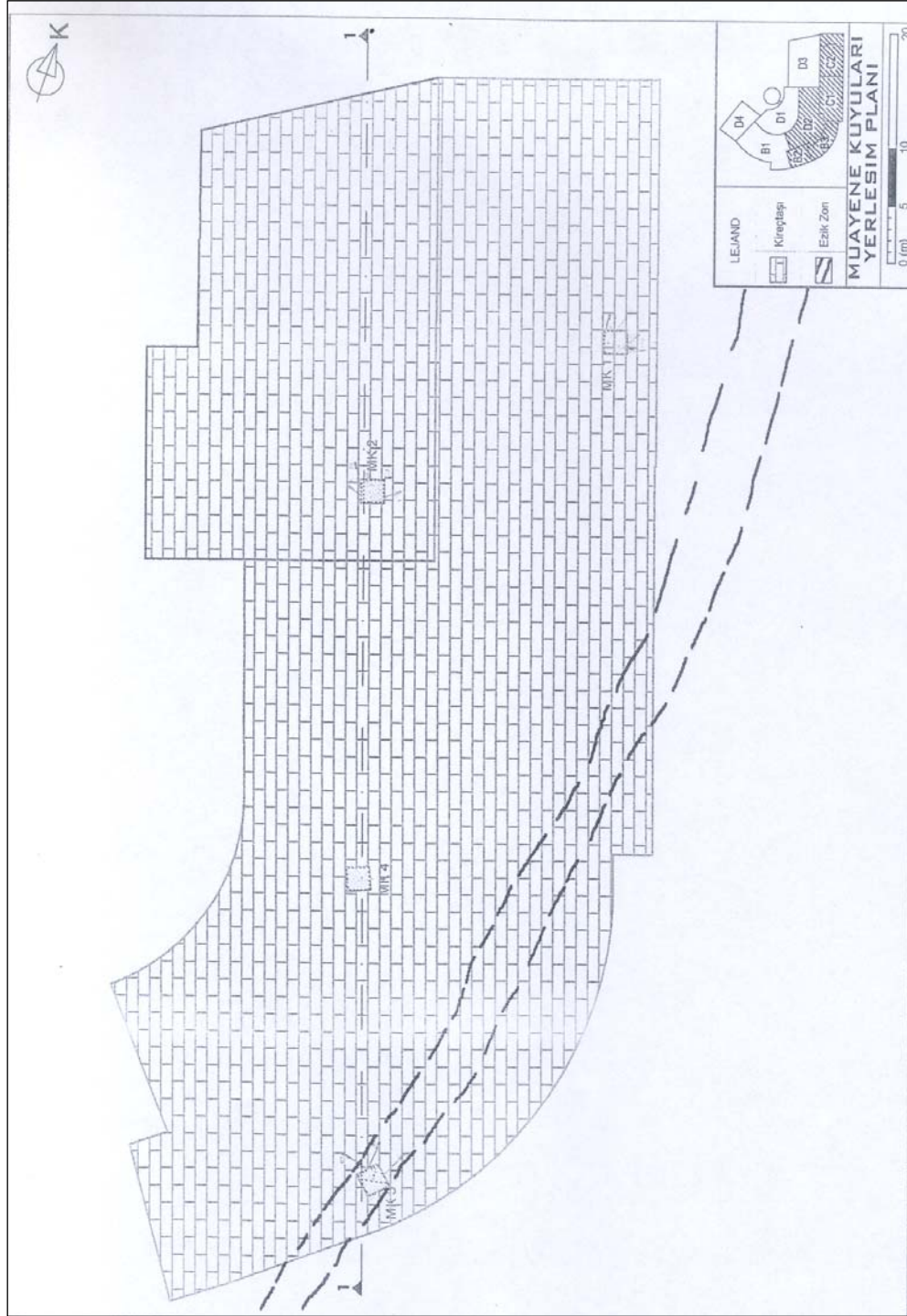
4.2.2 Mevcut durumun değerlendirilmesi

İnceleme alanı; Ordovisiyen - Permokarbonifer (505-360 milyon yıl) arasında kesintisiz transgresif çökel ortam özelliği sunan İstanbul - Zonguldak Paleozoik istifi içerisinde yer alan Üst Siluriyen-Alt Devoniyen yaşlı (Dolayoba formasyonu) İstinye Kireçtaşı (Sd1) üzerinde yer almaktadır (Şekil 4.18).

YAŞ		KAT	FORMASYON	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SİSTEM	SERİ					
KUVATERNER		BOLOSEN	-	0-25		ALÜVYON: Gevşek çakıl, kum, silt, kil
		PLEYİSİSEN		0-30		Çakıl, kum, silt, kil
PALEOZOYİK	KARBONİFER	ALTKARBONİFER	TRAKYA	> 1500		TRAKYA FORMASYONU Şeyl: Koyu gri, türbiditik kumtaşı-çakıltaşı aratabakalı
			BALTALİMANI	25-30		BALTALİMANI FORMASYONU Çört-Lidit; siyah, ince paralel laminalı, fosfat yumrulu ve radiolarialı
	DEVONİYEN	ÜST DEVONİYEN	TUZLA	> 65		TUZLA FORMASYONU Masif kireçtaşı - yumrulu kireçtaşı
		ALT-ORTA DEVONİYEN				
	SİLÜRİYEN	DOLAYOBA	KARTAL	>750		KARTAL FORMASYONU Şeyl : sarımsı yeşilimsi kahve, ince paralel laminalı alttan ince silttaşı-kumtaşı aratabakalı, üst kesimde kalsitürbidit aratabakalı bol brachiopad ve mercan fosilli
				>600		DOLAYAOBA FORMASYONU Biyolitit - Mikrit; koyu grimsi mavi, bol mercanlı, üst kesimi yumrulu, alt kesimde yersel dolomitik, ince-kalın tabakalı ve bentik fosilli

Şekil 4.18 : İstanbul ili temel kayaçlarının genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti

Çalışma alanı kesiminde birimde gözlemlenen tabakalanma düzlemleri çok ince ve ince lamine ($<1-10$ mm) seviyelerden oluşur. Tabakalanma yer yer ince-orta kalınlıkta laminalanma ile de gelişmiştir. İnceleme alanında gözlem (muayene) kuyuları içinde alınan jeolojik ölçümler Şekil 4.19’da gösterilmektedir. Bu ölçüm ve gözlemler ile çizilmiş 1-1 jeolojik kesit Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.19 : İnceleme alanının jeolojik ölçüm ve gözlemleri



Şekil 4.20 : İnceleme alanının jeolojik kesiti

Deprem Araştırma Enstitüsünün haritasına göre, inceleme alanı 2. derece Deprem Kuşağında yer almakta olup, ana kaya yüzeyinde maksimum zemin ivmesi $a = 0,2g$, $M = 5.5$ ve $M = 6.6$ depremlerinin oluşumunun olasılığı 50 yıllık bir dönem için sırasıyla %54 ve %13 olarak tahmin edilmektedir. 100 yıllık bir süre içinde $m=8$ şiddetinde bir depremin oluşumu % 70 olasılıkla öngörülmektedir (Tablo 4.1) [29].

Tablo 4.1 : İstanbul bölgesi için depremsellik verileri

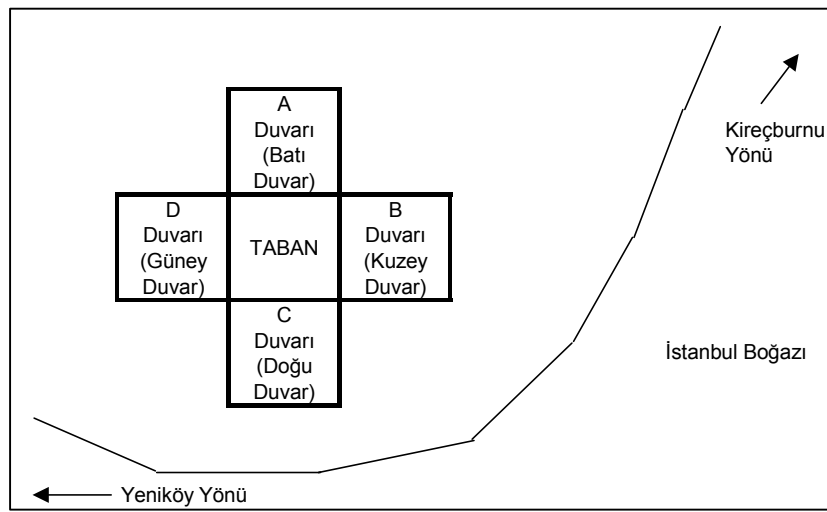
Özellik	Olasılık (%)	
	70	95
İvme (m/s ²)	1,19	1,66
Hız (m/s)	105	170
Deplasman (mm)	56	102

4.2.3 Mühendislik jeolojisi-kaya mekaniği araştırmaları

İstanbul ili Tarabya semtinde yer alan Tarabya Otelinin temellerinin üzerinde bulunduğu İstinye Kireçtaşlarının otel temel alanı kesiminde mühendislik özelliklerinin belirlenmesi için otel içerisinde B3, C2 D2 ve D3 bloklarda birer tane olmak üzere 4 adet gözlem kuyusu açılarak mühendislik jeolojisi amaçlı incelemelerde bulunulmuştur. Yapılan incelemelerde kireçtaşlarındaki tabakalanmanın çok ince - ince lamine seviyelerden oluştuğu, deniz kesiminden otelin B3 bloğuna olan kısımda 10-11° lik eğim ile yataya yakın tabakalanmalı olan birimin B3 bloktan D2 bloğa doğru 15-20° lik eğim kazandığı, buradan da D3 ve C2 bloğa doğru yaklaşık 40-45° lik bir eğimle yönelen bir antiklinalin kanadı olduğu anlaşılmıştır. Lamine tabakalanmanın, çok ince - ince çatlaklı, çatlakları dolgusuz ve/veya kalsit dolgulu, yer yer kendi malzemesinin ayrılmış materyali ile dolgulu olan birim etkisi altında kaldığı tektonik olaylar ile sıkışmış olduğu tahmin edilmiştir. Eğim yönelimleri denizden D3 bloğa doğru olan birimin tabakalanma yönelimleri B3 ve D3 blokların bulunduğu kesimlerde, etkisi altında kalmış olduğu kuvvetler nedeniyle sıkışmış ve tabakalanma yönelimlerinin değişmiş olduğu anlaşılmaktadır. İnceleme alanındaki mühendislik jeolojisi özellikleri aşağıda her bir gözlem kuyusuna ait başlıklar altında verilmiştir.

4.2.3.1 Gözlem kuyusu incelemeleri

Tarabya Otelı temellerının oturduğu ortamın mühendislik özelliklerinin belirlenmesi için otel içinde B3, C2 D2 ve D3 bloklarda açılmış 4 adet gözlem (muayene) kuyusu MK1, MK2, MK3 ve MK4 olarak isimlendirilmiştir. Kuyular; yerleşim planında İstanbul Boğazına bakan kesimi Doğu (C) duvarı, karşısındaki duvar Batı (A) duvarı, İstanbul Boğazı Karadeniz çıkışına bakan duvar Kuzey (B) duvarı ve bu duvarın karşısındaki duvar (İstanbul Boğazı Marmara çıkışına bakan duvar) Güney (D) duvarı olarak isimlendirilmiştir (Şekil 4.21).



Şekil 4.21 : Kuyulardaki gözlem yüzeylerinin adlandırılması

- **MK 1 Gözlem Kuyusu**

Tarabya Otelı C2 blokta açılan kuyu 1.80 m genişlikte, 2.45 m derinliktedir. Üst kesiminde yapay dolgu bulunan gözlem kuyusunun Batı (A) duvarı ile Kuzey (B) duvarının kesişiminde sızıntı şeklinde, Kuzey (B) duvarda yüzeyden 1.85 m derinlikte yayılma şeklinde ve Batı (A) duvarı ile Güney (D) duvarının kesişiminde tabandan sızıntı şeklinde su gelişi gözlemlenmiştir.

Gözlem kuyusunun tabanı : Kuyu tabanı çukurun açılması sırasında kırıcı etkisi ile ezilip ufalandığı için ayrıntılı jeolojik inceleme yapılamamış, tabanda; dolgusuz çatlak düzlemlerinin sınırladığı çeşitli boyutta birim kaya elemanlarının yer yer değişik kalınlıkta kalsit dolgusu içerdiği tespit edilmiştir.

Gözlem Kuyusunun Batı Duvarı (A duvarı) : D duvarı ile olan kesişiminde yüzeyden itibaren 0,4 m de, B duvarı ile olan kesişiminde 1,6 m de yapay dolgu, bu derinliklerden sonra tabakalaşma sergilemeyen, ancak ondülasyon ve yapraklanma gözlenen, Kuzey (B) duvarına eğimli, lamine kireçtaşları gözlenmiştir.

Gözlem kuyusuna ait incelemelere ait tabakalaşma düzlemine paralel ve dik yönde nokta yük direnci sonuçları Tablo 4.2’ de, basınç dirençleri ile minimum, maksimum ve tanjant elastisite modül değerleri Tablo 4.3’de, endirekt çekme deneyleri ile kaya malzemenin çekme dirençleri Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.2 : MK1 Gözlem kuyusu A duvarı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımları

Örnek No	Yüklemeye (Tabakalanma Düzlemi)	Nokta Yük Değeri (kg/cm ²)	Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)
1	Dik	10,36	243,05
2	Dik	4,55	105,00
3	Paralel	4,64	104,56
4	Paralel	0,95	13,36
5	Belirsiz	6,44	184,70
Nokta Yük Değerleri Ortalaması		4,22	
Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)			91,98

Tablo 4.3 : MK1 Gözlem kuyusu A duvarı basınç dayanımı deney sonuçları ile minimum-maksimum ve tanjant elastisite modülü değerleri

Örnek No	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)		
		(min. değer)	(max.değer)	(tanjant)
1	260,48	$8,904 \cdot 10^4$	$2,226 \cdot 10^5$	$1,665 \cdot 10^5$
2	872,14	$4,743 \cdot 10^3$	$2,609 \cdot 10^5$	$7,920 \cdot 10^4$

Tablo 4.4 : MK1 Gözlem kuyusu A duvarı çekme dayanımı deney sonuçları

Örnek No	Endirekt Çekme Direnci (kg/cm ²)
1	14,16
2	35,00
3	45,28
4	54,22
5	58,26

Kuzey Duvarı (B duvarı) : A duvarı ile olan kesişiminde yüzeyden itibaren 1,6 m de C duvarı ile olan kesişiminde yüzeyden itibaren 0,5 m.'de yapay dolgu bulunmaktadır. Duvar yüzeyinde bu derinliklerden sonra A duvarı kesiminde yüzeyden 1,2 m ve C duvarı kesiminde yüzeyden 0,95 m derinliğe inen volkanik sokulum gözlenmiştir.

MK 1 gözlem kuyusunun B duvarında yapılan incelemeler sonucunda tabakalaşma düzlemine paralel ve dik yönde nokta yük direnci sonuçları Tablo 4.5’de, basınç dirençleri ile minimum, maksimum ve tanjant elastisite modül değerleri Tablo 4.6’da, indirekt çekme deneyleri ile kaya malzemenin çekme dirençleri Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.5 : MK1 Gözlem kuyusu B duvarı Nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı

Örnek No	Yüklemeye (Tabakalanma Düzlemine)	Nokta Yük Değeri (kg/cm ²)	Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)
1	Dik	3,67	82,86
2	Dik	7,29	172,47
3	Paralel	6,19	141,10
4	Belirsiz	10,51	264,60
5	Belirsiz	3,20	72,80
Nokta Yük Değerleri Ortalaması		5,61	
Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)			131,18

Tablo 4.6 : MK1 Gözlem kuyusu B duvarı basınç dayanımı deney sonuçları

Örnek Sayısı	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)
1	190,9
2	515,21

Tablo 4.7 : MK1 Gözlem kuyusu B duvarı çekme dayanımı deney sonuçları

Örnek Sayısı	Çekme Direnci (kg/cm ²)
1	46,88
2	48,50

Doğu Duvarı (C duvarı) : B duvarı ile olan kesişiminde yüzeyden itibaren 0,85 m’ de D duvarı ile olan kesişiminde yüzeyden itibaren 0,7 m’ de yapay dolgu bulunmaktadır. Bu derinliklerden sonra volkanik sokulumun uzantısı yüzeyden 0,95 m derinliğe inmekte ve duvarın orta kesimine doğru (D duvarına doğru) uzanıp 0,7 m derinlikte sonlanmakta olduğu gözlenmiştir.

MK 1 gözlem kuyusunun C duvarında yapılan incelemeler sonucunda tabakalaşma düzlemine paralel ve dik yönde nokta yük direnci sonuçları Tablo 4.8’ de, basınç dirençleri ile minimum, maksimum ve tanjant elastisite modül değerleri Tablo 4.9’da, indirekt çekme deneyleri ile çekme dirençleri Tablo 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.8 : MK1 Gözlem kuyusu C duvarı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı

Örnek No	Yükleme (Tabakalanma Düzlemine)	Nokta Yük Değeri (kg/cm ²)	Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)
1	Dik	4,24	95,31
2	Dik	2,57	57,96
3	Paralel	0,94	21,66
4	Paralel	7,22	178,45
5	Belirsiz	6,88	168,78
Nokta Yük Değerleri Ortalaması		3,48	
Olası Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)			81,54

Tablo 4.9 : MK1 Gözlem kuyusu A duvarı basınç dayanımı deney sonuçları ile minimum-maksimum ve tanjant elastisite modülü değerleri

Örnek No	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)		
		(min. değer)	(max.değer)	(tanjant)
1	514,94	3,282*10 ⁴	1,313*10 ⁵	9,766*10 ⁴
2	641,7	4,021*10 ⁴	1,408*10 ⁵	8,098*10 ⁴

Tablo 4.10 : MK1 Gözlem kuyusu C duvarı çekme dayanımı deney sonuçları

Örnek No	Çekme Direnci (kg/cm ²)
1	6,14
2	19,19
3	40,02
4	59,22
5	65,33

Güney Duvarı (D duvarı)

C duvarı ile olan kesişiminde yüzeyden itibaren 0,7 m de A duvarı ile olan kesişiminde yüzeyden itibaren 0,4 m de yapay dolgu bulunmaktadır. Bu derinliklerden sonra masif görünümlü kireçtaşı kazı yüzeyinde pürüzlü olduğu gözlemlenmiştir. D duvarı sonuçlar Tablo 4.11,4.12 ve 4.13’de verilmiştir.

Tablo 4.11 : MK1 Gözlem kuyusu B duvarı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı

Örnek No	Yükleme (Tabakalanma Düzlemine)	Nokta Yük Değeri (kg/cm ²)	Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)
1	Dik	2.67	64.30
2	Dik	5.71	147.62
3	Paralel	0.16	3.63
4	Paralel	1.40	31.85
5	Belirsiz	1.04	25.65
Nokta Yük Değerleri Ortalaması		1.29	
Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)			30.90

Tablo 4.12 : MK1 Gözlem kuyusu D duvarı basınç dayanımı deney sonuçları ile minimum, maksimum ve tanjant elastisite modul değerleri

Örnek No	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)		
		(min. değer)	(max. değer)	(tanjant)
1	79,29	8,644x10 ²	3,133x10 ⁴	1,318x10 ⁴
2	114,66	Ölçüm yapılamadı	Ölçüm yapılamadı	Ölçüm yapılamadı
3	158,31	Ölçüm yapılamadı	Ölçüm yapılamadı	Ölçüm yapılamadı
4	329,24	Ölçüm yapılamadı	Ölçüm yapılamadı	Ölçüm yapılamadı
5	429,23	Ölçüm yapılamadı	Ölçüm yapılamadı	Ölçüm yapılamadı
6	430,61	1,948x10 ⁴	1,948x10 ⁵	9,732x10 ⁴

Tablo 4.13 : MK1 Gözlem kuyusu D duvarı çekme dayanımı deney sonuçları

Örnek No	Çekme Direnci (kg/cm ²)
1	24,67
2	25,51
3	34,40
4	56,21
5	67,32

Tarabya oteli C2 blokta kayanın belirlenmiş özellikleri; Deere (1963) sınıflamasına göre ince laminalı, sık çatlaklı, çok ince - ince çatlak açıklıklı kaya sınıfındadır, Kayadan alınan örnekler üzerinde yapılan Nokta yükleme deneyi sonuçları Bieniawski (1975) sınıflamasına göre çok düşük dirençli kaya sınıfında yer almaktadır [29].

Nokta yük dayanım değerlerinden hareketle elde edilen olası tek eksenli basınç dayanım değerleri Deere ve Miller (1966) sınıflamasına göre de çok düşük dirençli kaya sınıfında yer almaktadır. Birimde yapılan tek eksenli basınç dayanım değerleri ise kayanın bu kesimde çok düşük - orta dirençli kaya sınıfında olduğunu göstermektedir. Birimin Schmidt çekici geri darbe sayılarına göre dayanımı de Beer (1967) sınıflamasına göre çok yumuşak kaya ile sert kaya sınıfına girmektedir [29].

• MK 2 Gözlem Kuyusu

Tarabya Oteli D3 blokta açılan muayene kuyusu 1.80 m genişlikte ve 1,00 m derinliğinde açılmıştır. Gözlem kuyusunun üst kesiminde yapay dolgu bulunduğu ve kuyu tabanında sızıntı şeklinde su gelimi gözlenmiştir.

MK2 Gözlem Kuyusu Tabanı : Gözlem kuyusu tabanında sızıntı şeklinde su gelimi gözlenmiştir. Tabakalaşma düzlemine paralel ve dik yönde nokta yük direnci, tek eksenli basınç dirençleri ile çekme dirençleri araştırılmış olup, sonuçlar Tablo 4.14, 4.15 ve 4.16'da verilmiştir.

Tablo 4.14 : MK2 Gözlem kuyusu tabanı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı

Örnek No	Yükleme (Tabakalanma Düzlemine)	Nokta Yük Değeri (kg/cm ²)	Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)
1	Dik	1,43	36,95
2	Dik	4,45	34,51
3	Dik	1,65	43,75
4	Paralel	17,14	503,54
5	Belirsiz	6,40	153,08
Nokta Yük Değerleri Ortalaması		3,27	
Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)			84,47

Tablo 4.15 : MK1 Gözlem kuyusu D duvarı basınç dayanımı deney sonuçları ile minimum, maksimum ve tanjant elastisite modul değerleri

Örnek No	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)		
		(min. değer)	(max.değer)	(tanjant)
1	191,04	Ölçüm yapılamadı	Ölçüm yapılamadı	Ölçüm yapılamadı
2	252,56	$7,225 \cdot 10^3$	$9,634 \cdot 10^4$	$1,376 \cdot 10^5$
3	264,38	$3,279 \cdot 10^4$	$1,036 \cdot 10^5$	$6,675 \cdot 10^4$
4	433,32	$2,222 \cdot 10^4$	$1,389 \cdot 10^5$	$8,960 \cdot 10^4$
5	447,15	$4,077 \cdot 10^4$	$3,058 \cdot 10^5$	$9,936 \cdot 10^4$
6	466,05	$4,452 \cdot 10^4$	$5,343 \cdot 10^5$	$1,158 \cdot 10^5$
7	624,51	$6,766 \cdot 10^4$	$2,706 \cdot 10^5$	$4,324 \cdot 10^4$

Tablo 4.16 : MK2 Gözlem kuyusu tabanı çekme dayanımı deney sonuçları

Örnek No	Çekme Direnci (kg/cm ²)
1	46,44
2	47,38
3	52,21
4	53,32
5	53,62
6	55,75
7	66,46

Batı Duvarı (A duvarı)

Yüzeyden ilk 30 cm de yapay dolgu olduğu, masif, onduleli ve gevrek görünümündeki kireçtaşının tabakalanma yüzeylerinin (düzlemleri) belirsiz ve duvar yüzeyinde verevine gelişmiş çatlak düzlemlerinin dolgusuz olduğu anlaşılmıştır. Kireçtaşı duvar yüzeyinde okunan Schmidt çekici değerleri; 12-14-22 olarak okunmuştur.

MK 2 gözlem kuyusunun A duvarında yapılan incelemeler sonucunda tabakalaşma düzlemine paralel ve dik yönde nokta yük direnci sonuçları Tablo 4.17’de, basınç dirençleri ile minimum, maksimum ve tanjant elastisite modül değerleri Tablo 4.18’de verilmiş, kazı duvarı kaya örnekleri üzerinde endirekt çekme deneyi yapılamamıştır.

Tablo 4.17 : MK2 Gözlem kuyusu A duvarı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı

Örnek No	Yüklemeye (Tabakalanma Düzlemine)	Nokta Yük Değeri (kg/cm ²)	Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)
1	Dik	4,62	116,85
2	Dik	0,66	15,63
3	Paralel	0,83	21,88
4	Paralel	0,35	8,25
5	Belirsiz	1,84	55,87
Nokta Yük Değerleri Ortalaması		1,10	
Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)			28,38

Tablo 4.18 : MK2 Gözlem kuyusu A duvarı basınç dayanımı deney sonuçları ile minimum ve maksimum elastisite modul değerleri

Örnek No	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)	Elastisite Modülü (kg/cm ²)		
		(min. değer)	(max.değer)	(tanjant)
1	302,96	$9,119 \cdot 10^3$	$1,945 \cdot 10^5$	$2,847 \cdot 10^4$
2	381,5	$1,290 \cdot 10^4$	$2,365 \cdot 10^5$	$3,166 \cdot 10^4$

Kuzey Duvarı (B duvarı)

Yüzeyden ilk 30 cm de yapay dolgu olduğu, tabaka ölçümü yapılacak uygun yüzey açıklığı bulunmayan duvarda kireçtaşının tabakalanma doğrultusunun A ve C duvarına, eğimi D duvarına doğru olduğu, kireçtaşı duvarında gelişmiş hakim çatlak yönelimi K65D, 60KB olarak gözlemlenmiştir. Kireçtaşı duvar yüzeyinde okunan Schmidt çekici değerleri; 14-20-28 olarak belirlenmiştir.

Doğu Duvarı (C duvarı)

Yüzeyden ilk 30 cm de yapay dolgu olduğu gözlemlen kireçtaşı yüzeyinin aşırı parçalı, kırıklı iş olup, tabakalanma yüzeyleri seçilememiştir. Gevrek bir görünüm sunan kayacın ezilip ufalandığı kesimleri çevresinde küçük boyutlu geometrik şekilli ve şekilsiz kayacın kendi malzemesinin ayrışması ile oluşmuş kum - silt boyutlu parçalar ile dolgulu birim kaya elemanları bulunduğu görülmüştür.

Kireçtaşı duvarında gelişmiş hakim çatlak yönelimi K83B, 73GB doğrultusunda ve kireçtaşı duvar yüzeyinde okunan Schmidt çekici değerleri; 32-38-46 dir.

Güney Duvarı (D duvarı)

Yüzeyden ilk 30 cm de yapay dolgu gözlemlenmiştir. Kireçtaşı tabakalanma yüzeyleri 10-15 cm kalınlıkta olup, tabaka ölçümü yapılacak uygun yüzey açıklığı bulunmayan kayaçta tabakalanmanın D duvarı içine eğimli olduğu, kayaç yüzeyinde gözlemlenen çatlak sistemlerinin; tabakalanma doğrultusu ile bu doğrultuya verev geliştiği gözlemlenmiştir [29].

Çatlakların çoğu dolgusuz olan bu düzlemlerden, açıklığı 0,1 mm den büyük olanlarda kayacın kendi malzemesinin ayrışması ile oluşmuş kum - silt boyutlu parçalardan oluşma dolgu malzemesi gözlenmiştir. Kireçtaşı duvarında gelişmiş hakim çatlak yönelimi K32B, 81KD olduğu anlaşılmıştır. Kireçtaşı kazı duvarı yüzeyinde okunan Schmidt çekici değerleri; 18-21-22-39 olarak belirlenmiştir.

MK 2 gözlem kuyusunun D duvarında yapılan incelemeler sonucunda tabakalaşma düzlemine paralel ve dik yönde nokta yük direnci sonuçları Tablo 4.19’de, tek eksenli basınç direnci ile endirekt çekme deneyi değerleri Tablo 4.20’de, verilmiştir.

Tablo 4.19 : MK2 Gözlem kuyusu D duvarı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı

Örnek No	Yükleme (Tabakalanma Düzlemine)	Nokta Yük Değeri (kg/cm ²)	Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)
1	Dik	11,55	306,25
2	Dik	1,65	43,75
3	Dik	13,43	338,10
4	Paralel	2,40	57,43
5	Belirsiz	7,11	174,25
Nokta Yük Değerleri Ortalaması		5,35	
Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)			135,30

Tablo 4.20 : MK2 Gözlem kuyusu D duvarı basınç ve çekme direnci deney sonuçları

Örnek No	Tek Eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)	Çekme Direnci (kg/cm ²)
1	57,79	54,66

Tarabya oteli D3 blokta kayanın belirlenmiş özellikleri; Deere (1963) sınıflamasına göre ince tabakalı, sık çatlaklı, çok ince - ince çatlak açıklıklı kaya sınıfındadır. Kaya ortamdan alınan örnekler üzerinde yapılan Nokta Yükleme deneyi sonuçları Bieniawski (1975) sınıflamasına göre çok düşük dirençli kaya sınıfında yer almaktadır. Nokta yük dayanım değerinden hareketle elde edilen olası tek eksenli basınç dayanım değerleri Deere ve Miller (1966) sınıflamasına göre de çok düşük dirençli kaya sınıfında yer almaktadır. Birimde yapılan tek eksenli basınç dayanım değerleri ise kayanın bu kesimde çok düşük-orta dirençli kaya sınıfında olduğunu göstermektedir. Birimin Schmidt çekici geri darbe sayılarına göre dayanımı de Beer (1967) sınıflamasına göre çok yumuşak kaya ile sert kaya sınıfına girmektedir [29].

• MK 3 Gözlem Kuyusu

Tarabya Oteli B3 blokta açılan muayene kuyusu 1.60 m genişlikte ve 5,60 m derinliğinde açılmıştır. Üst kesiminde yapay dolgu bulunan gözlem kuyusunun Batı (A) duvarı ile Kuzey (B) duvarın kesişiminden yüzeyden 3,5 m derinlikte sızıntı şeklinde, Doğu (C) ve Güney (D) duvar kesişiminde ise yaklaşık aynı derinlikte boşalım şeklinde su gelimi gözlenmiştir.

Gözlem Kuyusu Tabanı: Gözlem kuyusunun tabanı, çukurun açılması sırasında kırıcı ile ezilip parçalanmıştır. Birimin korunabildiği kesimlerindeki gözlemlerde kireçtaşı tabakalarının laminal olduğu görülmüştür.

Tabakalanma özellikli örneklerde tabakalaşma düzlemine paralel ve dik yönde nokta direnci sonuçları Tablo 4.21’de verilmektedir.

Tablo 4.21 : MK3 Gözlem kuyusu tabanı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı

Örnek No	Yükleme (Tabakalanma Düzlemine)	Nokta Yük Değeri (kg/cm ²)	Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)
1	Dik	4,74	108,89
2	Dik	5,31	125,25
3	Paralel	4,67	117,60
4	Paralel	8,75	221,13
5	Belirsiz	5,71	147,62
Nokta Yük Değerleri Ortalaması		5,67	
Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)			139,25

Batı Duvarı (A duvarı)

A duvarında yapılan incelemelerde yüzeyden 3,5 m derinlikte yapay dolgu olduğu görülmüştür. Bu derinlikten sonra masif görünümlü kireçtaşı birimine girilmektedir. Laminalanmalı, plastik deformasyon izli ve yapraklanmalı olan yüzeyin tabakalanma yönelimi, taban ile benzerdir.

Kireçtaşı kazı yüzeyinde ölçülen Schmidt çekici değerleri; 30-31 olup tüm ölçümler de bu iki değer elde edilmiştir.

Tabakalanma özellikli örneklerde tabakalaşma düzlemine paralel ve dik yönde nokta yük direnci araştırılmış ve MK3 gözlem kuyusunun A duvarını temsil eden sonuçlar Tablo 4.22’de verilmiştir.

Tablo 4.22 : MK3 Gözlem kuyusu A duvarı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı

Örnek No	Yükleme (Tabakalanma Düzlemine)	Nokta Yük Değeri (kg/cm ²)	Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm ²)
1	Dik	3,11	74,88
2	Kasit Dolgu	3,05	72,58
3	Belirsiz	1,96	48,20
4	Belirsiz	3,30	87,50
5	Belirsiz	3,51	88,20
Nokta Yük Değerleri Ortalaması		2,93	
Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm2)			72,63

Kuzey Duvarı (B duvarı)

Yüzeyden 3,5 m derinlikte yapay dolgu gözlemlenmiştir. Bu derinlikten sonra kireçtaşı birimi laminalı prizmatik şekilli küçük boyutlu birim kaya elemanlarından oluşmaktadır. Tabakalanma düzleminin taban ile benzerlik sunduğu yüzeyde çatlak düzlemine tabakalanma yüzeylerine paralel, dik ve dike yakın verrev şekilde gelişmiştir. A ile B duvarı tabakalanma boyunca gelişmiş çatlak düzlemlerinin yönelimi K87B, 67GB olarak gözlenmiştir.

Kireçtaşı kazı yüzeyinde ezik zon yanında okunan Schmidt çekici değeri; 18, Kireçtaşı kazı yüzeyinde okunan Schmidt çekici değeri; 33, kireçtaşı kazı yüzeyinde

tabakalanma boyunca gelişmiş çatlak düzlemlerine yerleşmiş kalsit dolguda okunan Schmidt çekici değeri; 41 dir.

Doğu Duvarı (C duvarı)

B duvarı ile olan kesişiminde yüzeyden 3,5 m’de D duvarı ile olan kesişiminde yüzeyden 3,8 m de yapay dolgu, bu derinliklerden sonra genişliğin yarısından itibaren B duvarına doğru olan kesimi masif görünümlü, onduleli, pürüzlü yapıda ve tabakalanma düzlemleri lamineli seviyelerden oluştuğu gözlemlenmiştir. Tabaka düzlemlerinin prizmatik şekilli küçük boyutlu birim kaya elemanlarından oluştuğu yüzeyin özellikleri Batı duvarı (A duvarı) ile benzerdir.

Kireçtaşı kazı yüzeyi ezik zonda okunan Schmidt çekici değeri; <10, Kireçtaşı kazı yüzeyinde okunan Schmidt çekici değeri; 32, Kireçtaşı kazı yüzeyinde tabakalanma boyunca gelişmiş çatlak düzlemlerine yerleşmiş kalsit dolguda okunan Schmidt çekici değeri; 32-33 ve Kireçtaşı tabakalanma yüzeyinde okunan Schmidt çekici değeri; 18-20 dir.

Tabakalanma özellikli örneklerde tabakalanma düzlemine paralel ve dik yönde nokta yük direnci sonuçları Tablo 4.23’de verilmiştir.

Tablo 4.23 : MK3 Gözlem kuyusu tabanı nokta yükleme deney sonuçları ile olası basınç dayanımı

Örnek No	Yükleme (Tabakalanma Düzlemine)	Nokta Yük Değeri (kg/cm²)	Olası Tek eksenli Basınç Direnci (kg/cm²)
1	Belirsiz	4,22	131,7
2	Kalsit Dolgu	7,12	162,95
3	Belirsiz	4,64	113,5
4	Belirsiz	3,05	72,58
5	Belirsiz	0,02	0,76
Nokta Yük Değerleri Ortalaması		1,54	
Olası Tek Eksenli Basınç Dayanımı Değerleri Ortalaması			42,23

Güney Duvarı (D duvarı)

Tamamen ezik zon olan duvar çeşitli boyutlarda gelişmiş prizmatik şekilli ve şekilsiz küçük birim kaya elemanlarından oluşmaktadır. Duvarın A duvarı ile kesişim noktasında tabandan itibaren 40 cm yüksekliğinde sağlam ana kaya görülmektedir.

Tarabya oteli B3 blokta kayanın belirlenmiş özellikleri; Deere (1963) sınıflamasına göre ince lamine - çok ince tabakalı, sık çatlaklı, çok ince - ince çatlak açıklıklı kaya sınıfındadır. Kaya ortamdan alınan örnekler üzerinde yapılan Nokta yükleme deneyi sonuçları Bieniawski (1975) sınıflamasına göre çok düşük dirençli kaya sınıfında yer almaktadır. Nokta yük dayanım değerlerinden hareketle elde edilen olası tek eksenli basınç dayanım değerleri Deere ve Miller (1966) sınıflamasına göre de çok düşük dirençli kaya sınıfında yer almaktadır. Birimin Schmidt çekici geri darbe sayılarına göre dayanımı de Beer (1967) sınıflamasına göre çok yumuşak kaya ile sert kaya sınıfına girmektedir [29].

- **MK 4 Gözlem Kuyusu**

Tarabya Otel D2 blokta açılan kuyu 1.60 m genişlikte, 2,80 m derinlikte olup, üst kesiminde yapay dolgu bulunan gözlem kuyusunun duvarlarından sızıntı şeklinde su gelimi gözlemlenmiştir.

Taban: Lamine seviyelerden oluşan kireçtaşı tabakalanması kuyu tabanında, D duvarından C, A ve B duvarına doğru 50 cm lik kesimde kırıcı etkisi ile parçalı kırıklı olarak açılabilmiştir. Lamine seviyelerden oluşan kireçtaşı tabakaları bu kesimden B duvarına doğru 1,10 m genişlikte A ve C duvarı boyunca uzanımli olup düşeye yakın tabakalanma düzlemi izli olup, tabakalanma yönelimi K60D, 43KB olan kireçtaşı tabaka kalınlığı 8-10 cm, çatlak açıklığı <0-0,1 mm ve çatlak sıklığı 10-13 1/m olduğu gözlemlenmiştir. Schmidt çekici okumaları <10 olarak belirlenmiştir.

Batı Duvarı (A Duvarı)

Gözlem kuyusunun bu duvarı yapay dolgu içerisinde yer almaktadır.

Kuzey Duvarı (B Duvarı)

Gözlem kuyusunun yüzeyden itibaren ilk 80 cm'si yapay dolgu içerisinde yer almaktadır. Kireçtaşı kazı yüzeyi boyunca yatay (A ve C duvarlarına) uzanımli olup yamaç içine eğimlidir. Tabaka yönelimi taban ile aynıdır. Gelişmiş çatlak sistemleri <0,1-0,1 mm açıklıklı ve sıklığı metrede 5-8'dir. Kaya yüzeylerinde okunan Schmidt çekici değerleri ; <10-12-15-16-20-22-26-30-34'dür.

Doğu Duvarı (C Duvarı)

Gözlem kuyusunun batı duvarı ile olan kesişiminde yüzeyden 80 cm’de, D duvarı ile olan kesişiminde yüzeyden 2,0 m’de yapay dolgu gözlemlenmiştir. Bu derinliklerden sonra masif görünümlü, ondüleli ve pürüzlü yapıli laminalı taban ile aynı yönelimli kireçtaşı tabakaları yer almaktadır. Gelişmiş çatlak düzlemleri aralığı <0,1-0,1 mm ve sıklığı metrede 9-13’dür. Kazı duvarları yüzeylerinde okunan Schmidt çekici değerleri; <10-16-18-26-32’dir.

Güney Duvarı (D Duvarı)

C duvarı ile kesişiminden A duvarına doğru 1,35 m kireçtaşı tabakası gözlenmiş olup, bu kesimden A duvarına kadar olan kısmı yapay dolgudur. B ve C duvarları ile benzer özellikte masif görünümlü, ondüleli ve pürüzlü yapıli laminalı tabaka düzlemleri gözlenmiştir. Gelişmiş çatlak sistemleri tabaka doğrultusunda olup, aralığı 30-85 cm’dir. Kazı duvarı yüzeylerinde okunan Schmidt çekici değerleri; <12-14-16-18-26-36’dır.

Tarabya oteli D2 blokta kayanın belirlenmiş özellikleri; Deere (1963) sınıflamasına göre çok ince-ince laminalı ve çok ince tabakalı, sık çatlaklı, çok ince - ince çatlak açıklığı kaya sınıfındadır. Birimin Schmidt çekici geri darbe sayılarına göre dayanımı de Beer (1967) sınıflamasına göre çok yumuşak kaya ile sert kaya sınıfına girmektedir [28].

4.2.3.2 Yeraltı suyu durumu

Tarabya oteli içerisinde açılan 4 adet gözlem kuyusunda da yeraltı suyu ile karşılaşmıştır. Yeraltı suyunun eğimi MK1 kuyusunda MK3 kuyusuna doğrudur. Suların yerinde görülen özellikleri Tablo 4.24’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre sahil kesimine yakın bulunan kesimlerin denizden de beslendiği anlaşılmaktadır.

Tablo 4.24 : Yeraltı suyu özellikleri

Gözlem Kuyusu	EC (µS/cm)	pH	T(C)	SO ₄ (mg/l)	CL ⁻ (mg/l)
MK1	>2000	7,52	18,80	625	4633
MK2	>2000	7,30	19,90	275	1114
MK3	>2000	7,35	18,20	425	4114
MK4	>2000	7,43	18,90	275	1114

4.2.3.3 Gözlem kuyuları verilerinin değerlendirilmesi

İnceleme alanı yakın çevresinde yapılmış olan daha önceki çalışmalar ve bu çalışmalar sırasında açılmış sondaj verileri de incelendiğinde; birimin laminalı ve ince tabakalı olduğu, birimde çatlak düzlemlerinin sık geliştiği ve çatlakların çoğunun kalsit dolgulu olduğu anlaşılmaktadır. Dolgusuz çatlakların açıklığı <0.1 mm ile 1 mm arasında değişen birimde bu çatlakların 1 mm'den daha büyük olduğu kesimleri çoğunlukla kayacın ayrışması sonucu oluşan malzemesi ile dolguludur. Kalsit dolgulu kesimlerde de ayrışma gözlenen birimde, oksitlenme ve ayrışma sonucu kum, silt ve kil boyutlu daneler ile çok küçük boyutlu geometrik şekilli ve şekilsiz birim kaya elemanları oluşmuştur.

İncelenen kireçtaşı örneklerinin çatlaklı olması, ayrışmanın farklılığı ve laminalı yapı nedeniyle elde edilen tek eksenli basınç dirençleri en düşük 57,79 kg/cm² ve en yüksek 872,14 kg/cm² değerleri arasında değişmektedir. Bu deney sonuçlarının geometrik ortalaması 299,86 kg/cm²'dir. Kayacın her yerinden yeterli sayıda karot örneği hazırlanamadığı için, ortamın basınç dirençleri nokta yük deneyleri üzerinden dolaylı şekilde ayrıca belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda temel kayacının minimum direncinin aşırı ayrışma ve milonitleşme sonucunda $[(\sigma_{arazi})_{min}]$ 2,311 kg/cm²'ye inebileceği ve en fazla $[(\sigma_{arazi})_{min}]$ 34,886 kg/cm² değerine çıkabileceği hesaplanmıştır.

Ancak, araştırmalar sırasında aşırı ayrılmış olan üst seviyelerin otelin temel kazısı sırasında sıyrılarak alındığı ve ezilmiş zonların da grobeton ile doldurulmuş olduğu saptandığından bina temelleri altında bu düşük değerlerin geçerli olmadığı değerlendirilmiştir.

Sondaj verileri incelendiğinde, kaya ortamı genel özellikleri Bieniawski (1989) tarafından önerilen RMR (Rock Mass Rating) sınıflamasında değerlendirildiğinde, Tarabya oteli temelindeki kireçtaşlarının “orta kaya” sınıfı içerisinde kaldığı kanaatine varılmaktadır [29].

Temel Sistemi ve zemin profili : 1955 yılında projelendirilen Tarabya oteli'nin temel sistemi ve bağ kirişleri ile bağlı münferit temellerden oluşmaktadır. 3 numaralı muayene çukuru, B3 blokta, X1-X2, 18 ~19 aksları arasında C92 nolu temel

yakınında açılmıştır. 3 numaralı muayene çukurunda yüzeyden itibaren 3.5 m derinliğe kadar niteliği son derece yetersiz ve kontrollü bir sıkıştırma yapılmadan yerleştirilmiş dolgu tabakası ile karşılaşmıştır. Ancak temelin dolgu tabakasına oturtulmadığı, temel alt kotu ile kireçtaşı tabakası arasında kalan kısımda grobeton ile dolgu yapılarak temelin grobeton üzerinde oturtulmuş olduğu gözlemlenmiştir.

C2 blokta M-N, 41~43 aksları arasında ve C141 temeli yakınında açılan 1 numaralı muayene kuyusunda ise temellerin kireçtaşına oturtulduğu saptanmıştır. 2 ve 4 numaralı muayene kuyularında, kazı sırasında altyapı sistemleri ile karşılaşıldığından bu kuyular başlangıçta tasarlanan yerlerinin dışına kaydırılmıştır. Ayrıca muayene kuyularından edinilen bilgiler ışığında temel derinlikleri en az 1,5 m aşağısına kadar devam ettirilmiştir [29].

Zeminin güvenli taşıma gücü : Zeminin güvenli taşıma gücü hesabında; temel şekli, temel boyutları, temel derinliği, birim hacim ağırlık, kayma mukavemeti açısı, kohezyon yeraltı suyu durumu ve üst yapı özelliği gibi faktörler etkili olmaktadır.

İnceleme alanındaki kireçtaşı tabakalarının çok ince çatlaklı, çatlakların dolgusuz ve/veya kalsit dolgulu veya kendi malzemesinin ayrılmış materyali ile dolgulu olması, olumsuz bir faktör olarak görülebilir. Ancak kireçtaşı biriminin diğer özellikleri (kayma mukavemeti parametreleri, fiziksel özellikler, tek eksenli basınç dayanımları v.b.) dikkate alındığında taşıma gücü yönünden bir sorun beklenmemelidir. Bu durumda kireçtaşı tabakalarına oturtulacak temel sisteminin projelendirilmesinde zeminin güvenli taşıma gücü

$$q_{all} = 12,0 \text{ kg/cm}^2$$

alınabilecektir. Toplam ve farklı oturmalar yönünden sorun beklenmemelidir [29].

4.2.4 Sonuç

1955 yılında projelendirilen ve 1960'lı yıllarda ülkemizin turizm tesisi ihtiyacının karşılanması çalışmaları çerçevesinde yapılmış olan Büyük Tarabya Oteli'nin inşaatı 1966 yılında tamamlanmış bulunmaktadır. Geçen süreçte yapının güvenliği amacıyla önlemler alınması gereği doğmuştur. 1999 Marmara depreminden sonra yapının boşaltılmasıyla yapıda genel bir tadilat ve yenileme çalışmaları başlatılmıştır. Bu

çerçevede 2003 yılında yenilenmesine karar verilmiş olması nedeniyle bina faaliyetleri durdurulmuş ve yapının boşaltılmasına da karar verilerek, depreme karşı güçlendirme çalışmalarına başlanmıştır.

Bu aşamada binanın temel mühendisliği açısından da incelemeler başlatılmış ve İTÜ Maden Fakültesi Öğretim Üyesi Prof. Dr. Mahir Vardar ile Araş. Gör. Erkan Bozkurtoğlu ile Prof. Dr. Remzi Ülker tarafından binanın temellerinin oturduğu kaya ortamının mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve yapısal özellikleri hakkında bilgi sahibi olunması amacıyla detaylı incelemeler yapılarak bu çalışmalar rapor haline getirilmiştir [29].

11.389 m² alan üzerine oturan ve 40.996 m² toplam alana sahip otel, 14 katlı 2 blok, 12 katlı 2 blok, 4 katlı 4 blok ve bir de havuz bloğu olmak üzere toplam 9 blok olarak tasarlanmıştır.

Bugünkü deprem şartnamesi ve standartlara göre yetersiz kalmış olan bu otellerin, İstanbul'daki mevcut deprem tehlikesini de göz önünde bulundurarak depreme karşı güçlendirilmeleri gereği ortaya çıkmıştır. Ön tasarım çalışmalarında yapının; asimetrik oluşu, zemin koşullarının ve temel yapısının yetersizliği, binada yatay yükleri karşılayacak perde duvarların bulunmaması ve yapının çerçeve sisteminin sadece düşey yükler ve rüzgâr yüklerine göre tasarlanmasından dolayı yapının depreme karşı son derece güvensiz olduğu görülmüştür. Konvansiyonel yöntemle yapılan ilk tasarımda çok fazla sayıda perde duvarlar kullanılmış, bu durum binanın bir otel yapısı olması nedeniyle mimari açıdan uygun bulunmamıştır. Bu aşamada binada sismik izolasyon teknolojisine karar verilmiştir.

Bu çerçevede başlatılan çalışmalar sırasında temel incelemeleri için aşağıdaki prensip kararları alınmıştır:

- Temel sistemi bağ kirişleri ile birbirine bağlanmış tekil temellerden oluştuğu için temel çevresinin ve bağ kirişlerinin altındaki temel seviyesine kadar olan bölümlerde kazı yapılarak betonarme elemanların ortaya çıkarılmasına karar verilmiştir.
- Bazı yerlerde 5m'ye kadar kazı yapılmıştır. Kazı sırasında sağlam zemine kadar inilmesine karar verilmiştir.

- Belirli bölgelerde açılan sondaj kuyularında yapılan incelemeler neticesinde zemin koşulları belirlenmiştir.

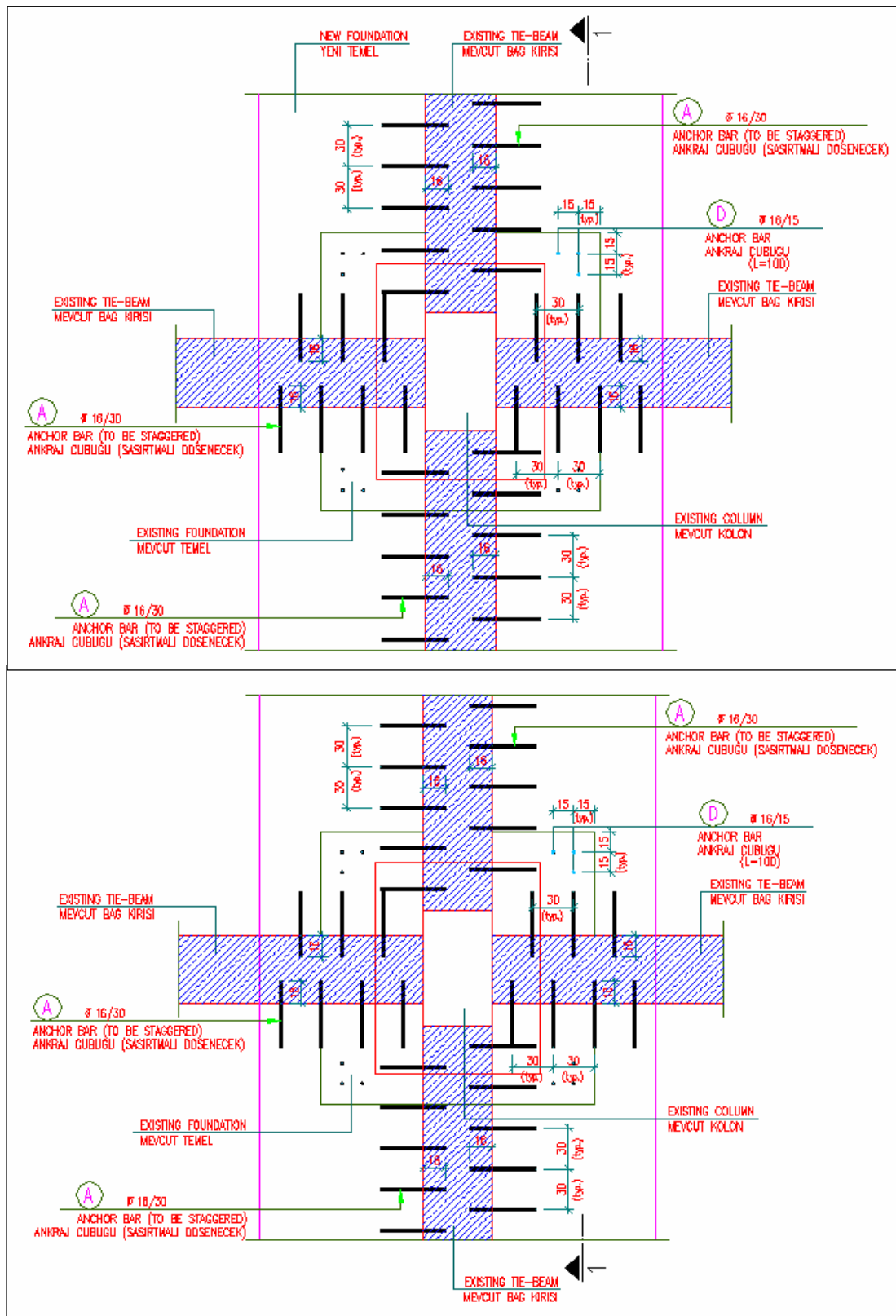
Yukarıda belirtildiği üzere yapının deprem güvenliği amacıyla konvansiyonel yöntemlerin kullanılmamasına karşın özel deprem izolatörlerinin monte edilebilmesi için perde ve kolon elemanlarında yapılan özel mantolama sistemi nedeniyle temel seviyesine kadar betonarme elemanların kaplamaları sökülerek temelden itibaren betonarme manto uygulaması yapılmıştır.

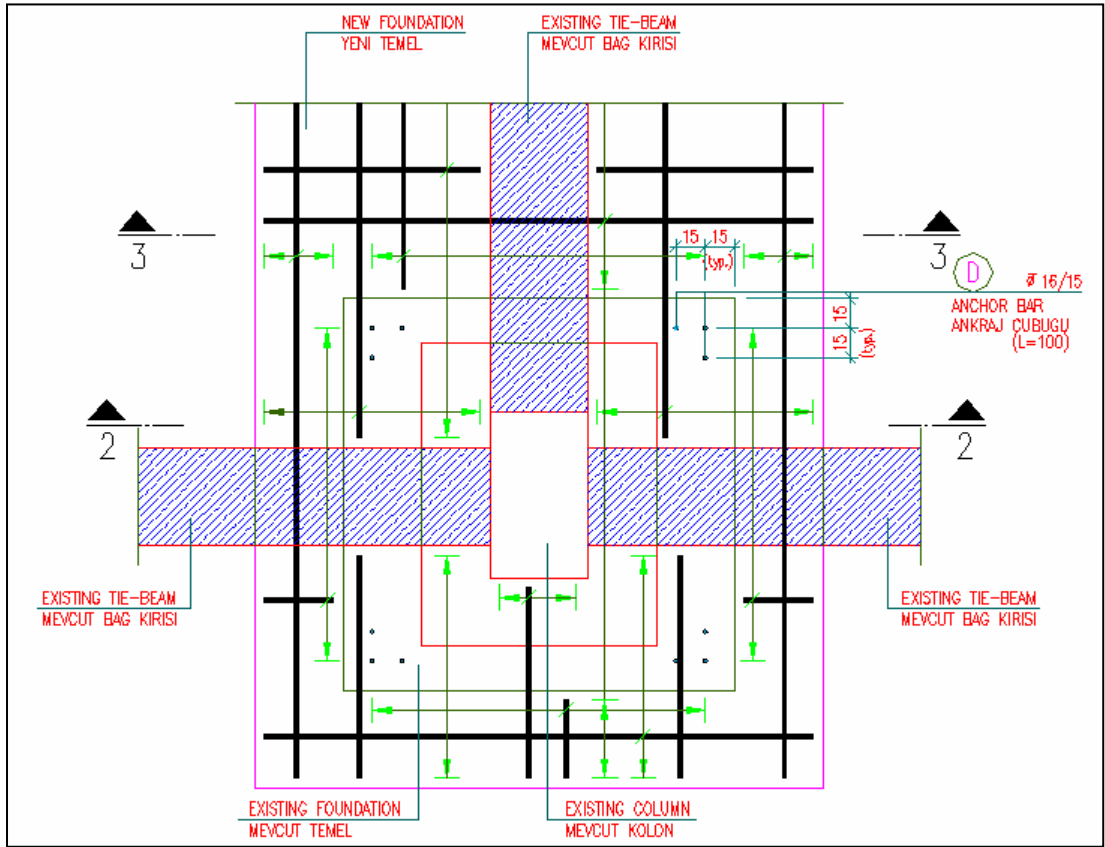
Mevcut temel yapısına özel epoksi malzemeler ile 16 mm çaplı ankraj elemanları ile filiz ekilmesi yapılarak yeni temel imalatı ile eski temelin birbirine entegrasyonu yapılmıştır. Temel imatları 70 cm. kalınlığında ve bağ kirişleri boyunca genişletilmiştir (Şekil 4.22 ~4.33).

Ortaya çıkarılan temel elemanları ve bağ kirişleri etrafı 300 doz grobeton ile doldurulmuş, temel genişletmelerinde BS 30 Betonarme betonu uygulanmıştır (Şekil 4.34~4.41).

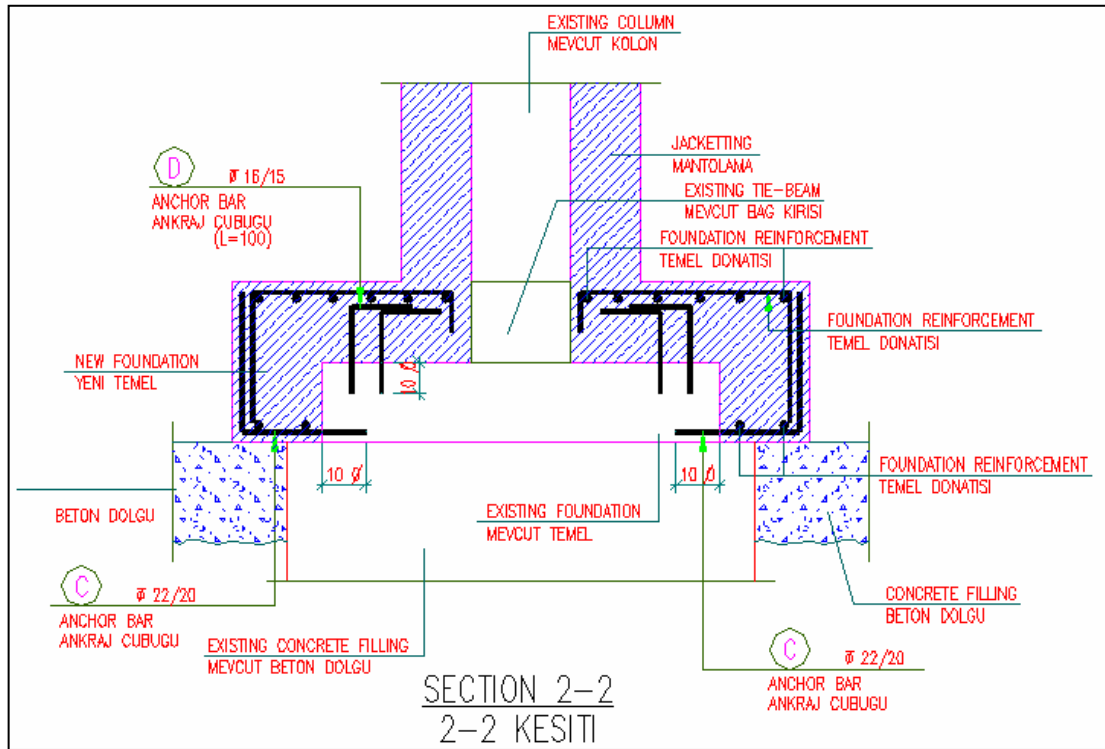
Binanın muhtelif yerlerinde kalınlığı 25 ile 50cm arasında değişen betonarme perdeler mevcut kolon ve kiriş sistemlerine ankraj çubukları ile bağlanarak inşa edilmiştir. İzolatörlü bloklarda perdeler, izolatör üst kotundan başlayarak en üst kata kadar çıkmıştır.

Sonuç olarak Büyük Tarabya otelinde, zemininde bulunan kireçtaşı tabakalarının önemli bir stabilite sorunu olmaması, toplam ve farklı oturmalar yönünden bir sorun beklenmemesi nedenleriyle başarılı bir geleneksel yöntemler ile temel takviyesi uygulaması yapılarak binanın deprem güvenliği amacıyla yapılan takviye çalışmaları tamamlanmıştır.

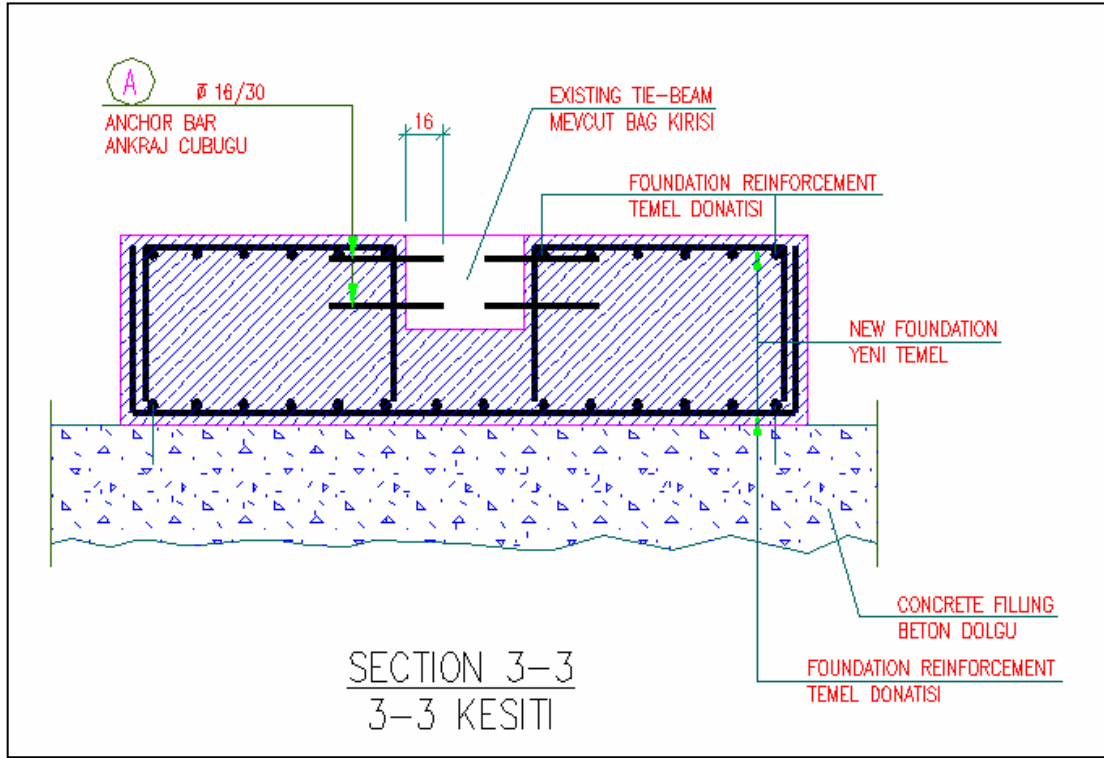




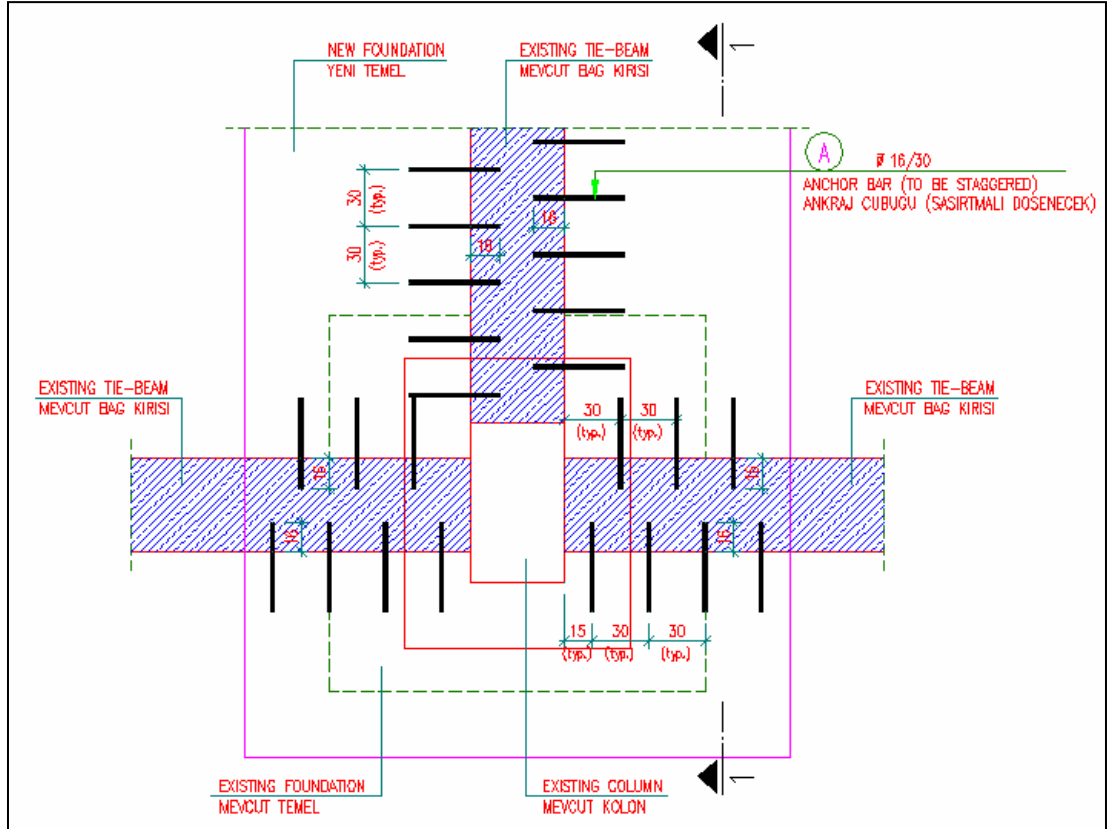
Şekil 4.24 : Mevcut kolon etrafında donatı yerleşim detayı



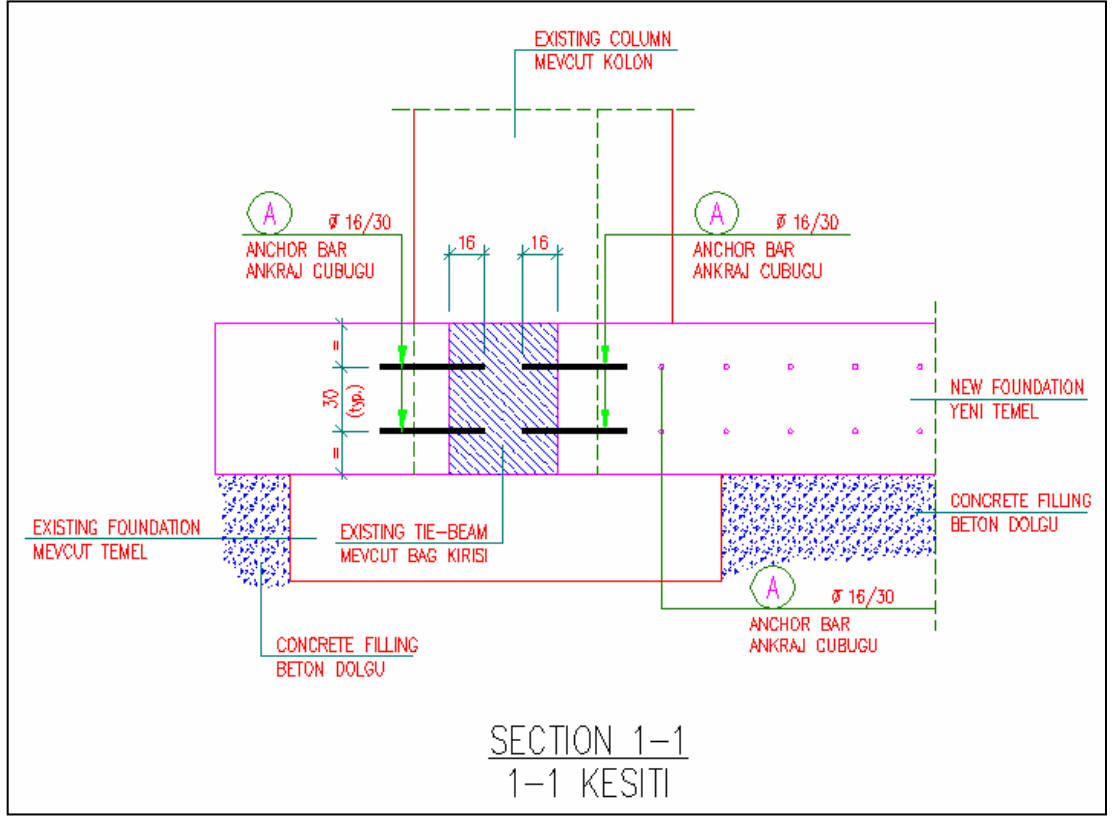
Şekil 4.25 : Mevcut kolon etrafında donatı yerleşim 2-2 kesiti



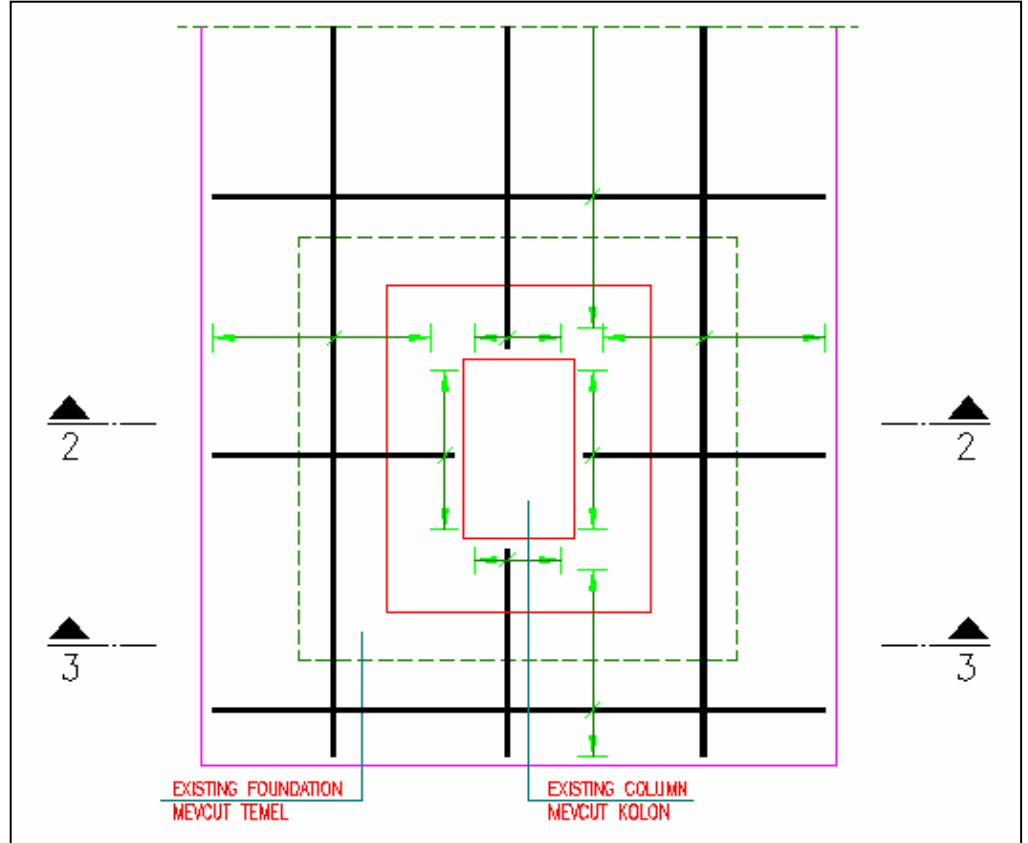
Şekil 4.26 : Mevcut kolon etrafında donatı yerleşim 3-3 kesiti



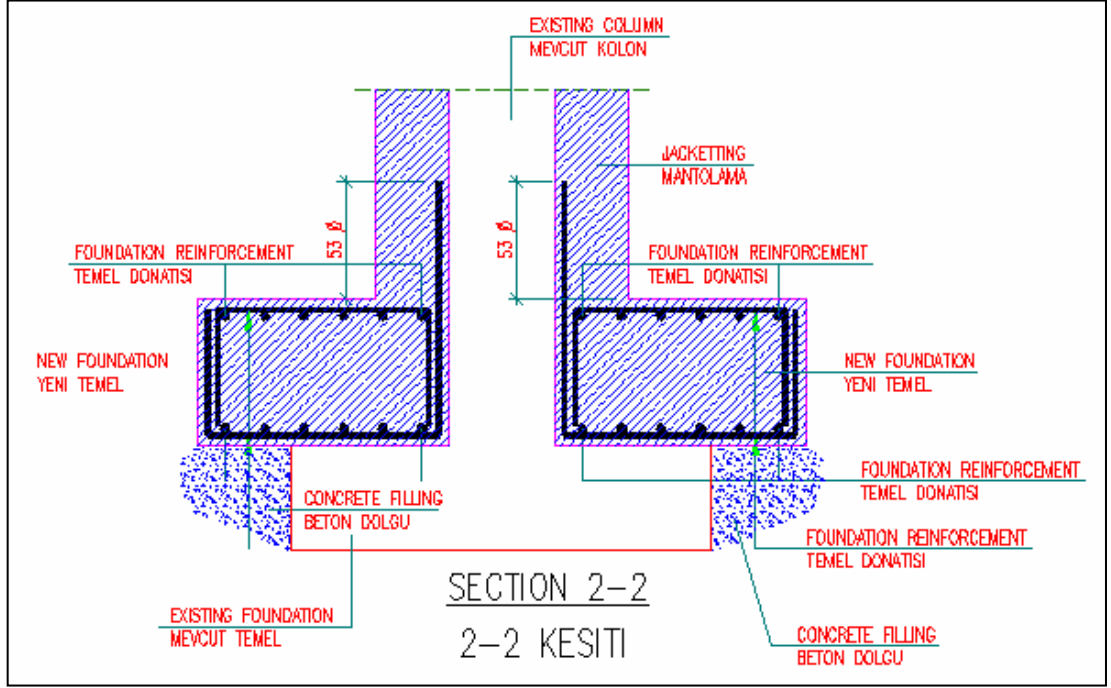
Şekil 4.27 : Yeni temel ile mevcut bağ kirişi arası bağlantı detayı (plan)



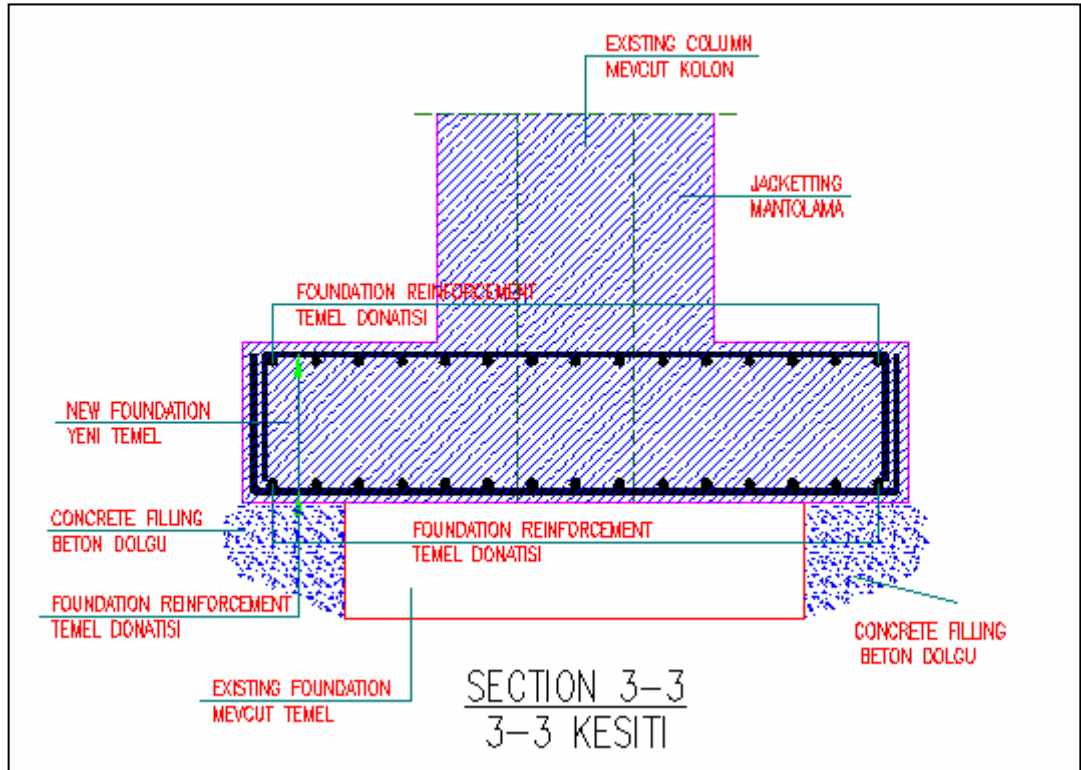
Şekil 4.28 : Yeni temel ile mevcut bağ kirişi arası bağlantı detayı (1-1 kesiti)



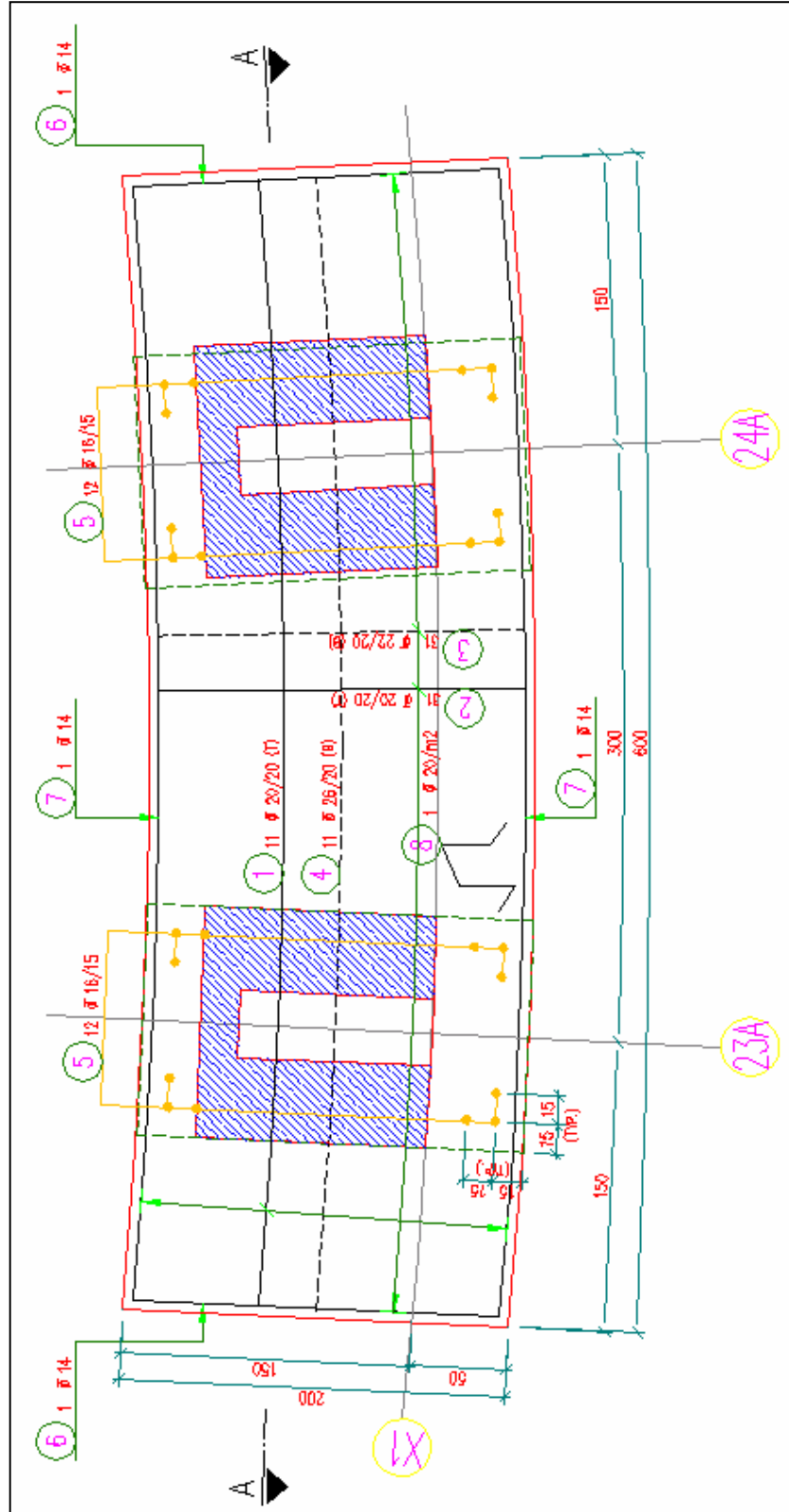
Şekil 4.29 : Mevcut kolon çevresinde tipik donatı yerleşimi (plan)



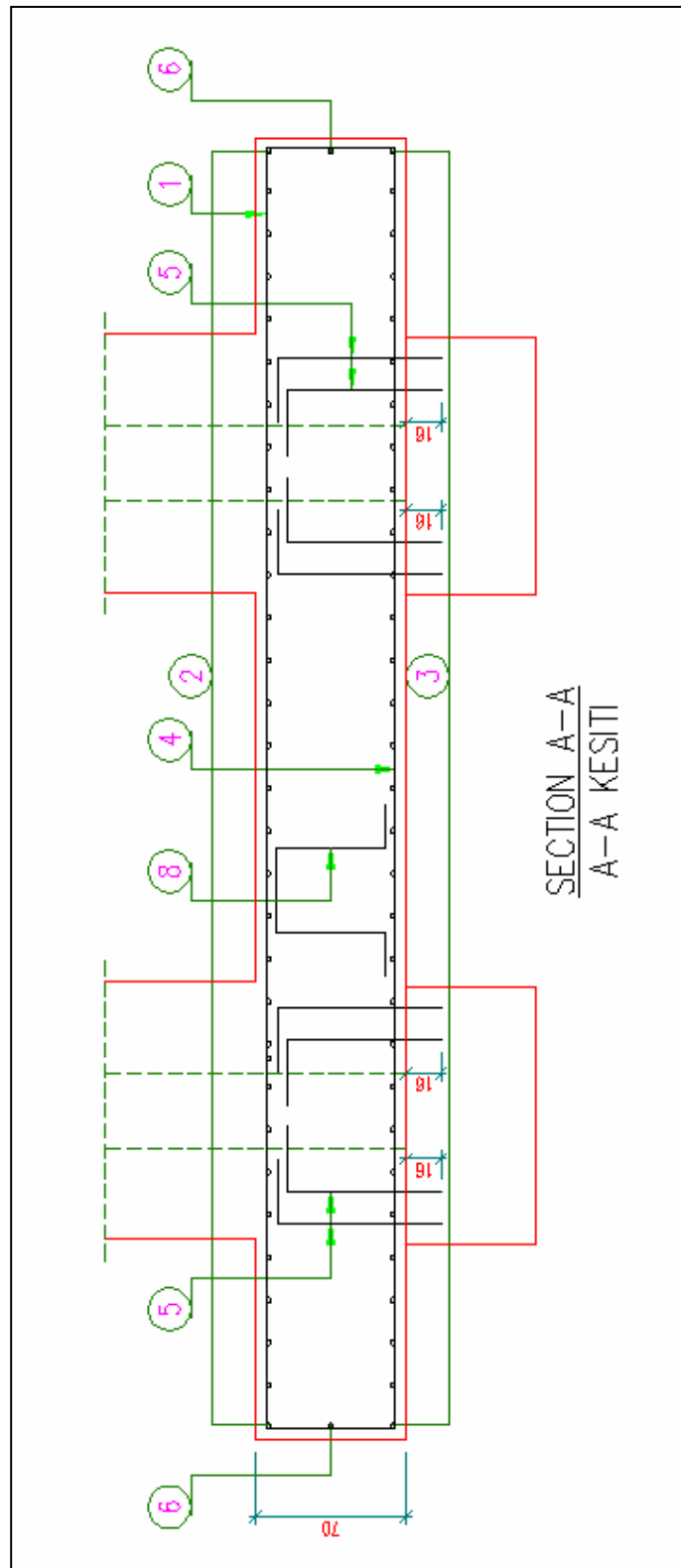
Şekil 4.30 : Mevcut kolon çevresinde tipik donatı yerleşimi (2-2 kesiti)



Şekil 4.31 : Mevcut kolon çevresinde tipik donatı yerleşimi (3-3 kesiti)



Şekil 4.32 : F9 Temeli (plan)



Şekil 4.33 : F9 Temeli (A-A kesiti)



Şekil 4.34 : Temel bölgesi kolon-bağ kirişi birleşim detayı (1)



Şekil 4.35 : Temel bölgesi kolon-bağ kirişi birleşim detayı (2)



Şekil 4.36 : Temel çevresinde grobeton dökülmesi (1)



Şekil 4.37 : Temel çevresinde grobeton dökülmesi (2)



Şekil 4.38 : Bağ kirişi etrafında yeni temel oluşturulması



Şekil 4.39 : Yeni temel oluşturulması donatı detayı (1)



Şekil 4.40 : Yeni temel oluşturulması donatı detayı (2)



Şekil 4.41 : Yeni temel oluşturulması donatı detayı (3)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mimari yapıtlar tasarlayıcısı mimar tarafından mekan ile birlikte taşıyıcı sistemi de birlikte geliştirilmelidir. Fonksiyonlarına uyumlu, doğru bir taşıyıcı sisteme sahip, optimum ekonomik koşullarda sağlam ve dengeli, yapıya etkiyecek olan dış yüklere karşı dengeli bir taşıyıcı statik sisteme sahip bir yapı tasarımcısının başarısını vurgulamakla birlikte yapının uzun yıllar sağlam (mukavemetli) ve dengeli (stabil) olmasını sağlayacaktır.

Yukarıda vurgulanan özelliklere sahip bir yapının uzun yıllar kalıcı olabilmesi için temel sisteminin, değişik çevre ve zemin koşullarına göre iyi tasarlanması gerektiği anlaşılmaktadır.

Deprem ve temel oturmalarından dolayı yapıya etkiyen kuvvetlerin artması (aşırı yükleme) bir yapının stabilitesinin bozulmasına neden olan etkilere dendir.

Temel takviyesinin amacı, mevcut yüklerin tamamen ya da kısmen zararsız bir şekilde daha derin seviyelere dağıtılmasıdır. Sürekli yük artışı nedeniyle taşıma kapasitesi dereceli olarak azalmış bir yapının desteklenmesi, sağlamlaştırılması ve mevcut temellerin adaptasyonu zorunlu hale gelir.

Temel takviyesi, yeni bir binanın temel döşemeleri komşu binanın temel seviyesinin altına düştüğü durumlarda ayrıca, yeniden inşa ya da mevcut binaların başka amaçlarla kullanımı durumunda, tünel ve metro gibi yeraltı ulaşım tesislerinin inşası sırasında yapı temellerine yakın yerlerde yapılacak yapı kazıları sırasında meydana gelmesi muhtemel heyelan ve kaymaların oluşması nedenleri ile meydana gelecek zemin hareketi etkisi ile yapının taşıyıcı sistem dengesi bozulabilir ve sonuçta temellerin takviyesi gereksinimi ortaya çıkar.

Temel takviyesi ve temel altı kazıları, yerel zemin şartlarına çok büyük ölçüde bağlı olan özel inşaatlardır. Benzersiz olmalarından, her bir proje için özel inşaat

tekniklerinin kullanılmasının gerekmesinden ve yapım esnasında inşaat riskleri içermesinden dolayı kendine özgü ve pahalı çözümlerdir.

Temel takviyesi çalışmaları yapılmasına yol açan nedenler aşağıda gruplar halinde verilmektedir:

- Binanın düzensiz yük yapısından, ağaç köklerinin ya da kohezyonlu zemin davranışlarından dolayı zemin hareketinin düzgün olmayan direnci nedeniyle yapıda meydana gelen farklı oturmalar,
- Eski ve tarihi yapıların yenilenmesi veya bunlara yeni bir işlev kazandırılması için, kat ilavesinden ya da yapıyı farklı amaçlarla kullanma isteğinden dolayı yüklerin artması,
- Komşu arsada yapılan derin bir kazı nedeniyle sığ temelli yapılarda meydana gelen oturmalar ve temel zeminindeki hareketlenmeler,
- Mevcut yapıların tadilatında, yapı yüklerinin kaldırılması veya bodrum kazanmak için kazı yapılması sonucu zeminde önemli kalıcı yada elastik deformasyonlar meydana gelmesi,
- Mevcut yapıların yakınında kanal, boru, tünel v.s. geçirilmesi gibi durumlar,
- Killi zeminlerde kuruma nedeniyle veya ağaç köklerinden kaynaklanan oturmalar,
- Endüstrinin devamlı gelişme sürecinde olması nedeni ile fabrikaların yeni üretim yöntemlerini benimsemeleri sonucunda bu yöntemlerin getirdiği makinelerin oluşturacağı titreşimler,
- Yeraltı su seviyesinin değişmesinin yol açacağı ilave oturmalar,

Bazı durumlarda temel takviyesi, yapının oturduğu zemin koşullarına bağlı olarak gerekli olmaktadır. Zemin altı dolgusunun zayıf ve iyi sıkıştırılamamış olması, yumuşak kohezyonlu zeminlerin yükleme durumunda konsolide olması, temel altında farklı kalitede zemin varlığı gibi nedenlerden ötürü temel takviyesine gerek duyulmaktadır.

Yukarıda sayılan nedenlerden ya da başka nedenlerle hangi amaçla kullanılırsa kullanılsın temel takviye yöntemine karar vermeden önce; sondajlar, deneme çukurları ve numuneler üzerinde yapılacak laboratuvar deneyleri ile dikkatli bir zemin incelemesi yapılmalıdır.

Çok çeşitli teknik incelemeler ve ayrıntılı zemin ve yeraltı suyu araştırmalarının sonuçları inşaat planlaması aşamasında gereklidir. Değişik yöntemlerin uygulanabilirliği bu sonuçlara, etkilenen binanın yapısal performansına ve koruma durumuna bağlıdır. İçerisinde yerleşik binalarda takviye çalışmalarının yapılması durumunda oturanların rahatsızlık düzeylerine dikkat edilerek yöntem seçilmelidir. Ayrıca, inşa süresince ve sonrasında deformasyonların ve yüklerin değişiminin izlenmesi için uygun bir strateji geliştirilmelidir.

Temel takviyesi ve temel altı kazıları disiplinler arası bir görevi temsil eder. Bu görev, proje kontrolörü, geoteknik mühendisi, yapı mühendisi, yapının geçmişi hakkında bilgi sahibi olan uzman ve uzman inşaat mühendisi arasında çok yoğun bir diyalog gerektirir.

Bu açıklamalar çerçevesinde mevcut temellerin oturmalarını önlemek ve davranışlarını kontrol etmek için kullanılan yöntemleri üç ana grupta ele alabiliriz:

1. Temelin genişletilmesi ve/veya derinleştirilmesi yoluyla temel davranışının iyileştirilmesine dayanan Geleneksel temel takviye yöntemleri.
2. Temel zemininin, çimento enjeksiyonu, kimyasal enjeksiyon veya “jet grouting” kullanılarak zemin iyileştirme esasına dayalı yöntemler.
3. Bu amaçla çakma kazıklar, itmeli kazıklar, mini kazıklar, jet grout kolonları kullanılarak temel yüklerini derindeki taşıyıcı tabakaya aktarmak için kullanılan yöntemler.

Bu çalışmada bu sayılan yöntemlerin uygulama alanları, tarihsel gelişimi, uygulama detayları, avantaj ve dezavantajları hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiş ve 1999 Marmara depremi sonrasında üst yapısında çeşitli hasarlar gözlenmiş olan bir okul yapısı ile yenileme nedeniyle takviye çalışmaları yapılmasına karar verilmiş olan bir otel binasında yapılan temel takviye çalışmaları örnek uygulamalar olarak ele alınmıştır.

Geleneksel temel takviye yöntemi, kazı yapılması ve mevcut temel altında bir beton kütlesi oluşturulması suretiyle uygulanan bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.

Bu yöntem, kazı derinliğinin fazla olması veya yeraltı suyunun meydana getirdiği sorunlar nedeni ile her zaman ekonomik olmayabilir. Ya da yapı yükleri çok büyüktür, bir ilave beton kütlesi kabul edilemeyecek oturmalara neden olabilir.

Sığ takviye olarak da adlandırılan bu yöntemin esası genellikle en fazla 4-5 m derinlikte ve yeraltı su seviyesinin daha düşük olduğu hallerde yapının altına planlı bir şekilde kazarak girip yeni temel ve/veya değişiklikleri yapmak şeklindedir. Genellikle duvar altlarına bir işçinin çalışabileceği en dar çukurlar ile ve ano ano çalışarak ve 2-3 ano atlayarak yapılır (örneğin DIN 4123). Duvar veya sömeller önce geçici desteğe alınır ve bilahare yeni temel sistemi inşa edilir. Geleneksel temel takviyesi 1972 DIN 4123 normuna göre kazı ve temel takviyesi alanındaki bina güvenliğinin sağlanması şeklinde tanımlanmıştır.

Geleneksel yöntemlerle temellerin takviyesi yüzyıllardan beri kullanılmakta ve günümüzde de kullanılmaya devam edilmektedir. Bu yöntem, mevcut temellerin genişletilmesi ya da derinleştirilmesi esasına dayanır. Bazı durumlarda, yapı geçici olarak desteklenerek oturma engellenmiş olur. Temel takviyesi inşası, elle kazma ve ulaşması sınırlı mekanlara girmeyi gerektirir. Böylece temel altında boşluklar yaratılabilir ve betonarme takviye elemanları tesis edilebilir.

Geleneksel bir yöntem olan kısmi temel takviyesine karşılık, temelin altındaki zeminin önceden stabilize edildiği ve sertleştirildiği yöntemler de kullanılmaktadır. Uygulama sürekli temellerle sınırlandırılmamıştır, kolon altı tekil temellerde de enjeksiyon ve katılaştırma yöntemleri ile temel takviyesi yapılabilir ve hasarlı temeller güçlendirilebilir ya da korunabilir. Ancak, temel altında uygulama yapılacak bölgenin belirlenmiş olması bu yöntem için ön koşuldur.

Temel zemininin veya ana kayanın kayma mukavemetini arttırmak ve geçirgenliğini azaltmak amacıyla kaya veya zemin içerisine basınç altında çeşitli bileşimdeki karışımların basılmasına “Enjeksiyon” adı verilmektedir.

Enjeksiyon malzemesinin zemin formasyonuna iyi etki edebilmesi için enjeksiyon karışımında kullanılan malzemenin dane çapının, enjeksiyon yapılacak zemin içerisindeki mevcut boşluklardan daha küçük olması gerekmektedir.

Geleneksel temel takviyesi uygulamasında olduğu gibi, duvar, sabit yükler ve binaya etki eden toprak basıncı temel takviyesi yapısına etki eder. Bu yöntemin yeraltı suyu seviyesi altında uygulanması durumunda, su basıncı da etki edebilir. Bu durumda, seçilen yöntem ve malzeme sadece istenen sertleşme amacıyla değil aynı zamanda geçirimsizlik sağlaması amacıyla da tasarlanır. Taşıma kapasitesi için, temel takviyesi yapısı geleneksel temel takviyesi yönteminde olduğu gibi dikkate alınmalıdır.

Temellerin altındaki zemin içerisindeki boşlukların enjeksiyon ile doldurulması yöntemi ile zeminde sürtünme açısının sabit kalacağı ve granül yapı içerisine enjekte edilen malzeme nedeniyle granüller arasında kohezyonun artacağı varsayılabilir.

Zemin boşluklarına enjeksiyon malzemesi uygulanması yöntemi kullanılarak yapılan temel takviyesinin tasarımı sırasında verilmesi gereken önemli kararlar; en uygun enjeksiyon karışımının seçimi, enjeksiyon basıncı ve sondaj yapılan delikteki boşluk miktarıdır.

Enjeksiyon yönteminin uygulama kısıtları özellikle temel altındaki homojen olmayan zemin yapısı tarafından belirlenir. Kötü derecelenmiş zemin tabakaları, geri doldurmalar, tabakalaşmalar ve eski yapıların kalıntıları, ölçüleri ve yerleri tam olarak önceden bilinmelidir.

Temel altındaki boşlukların enjeksiyon ile doldurulması işlemleri sırasında temel altı malzemesi yük etkisine maruz olduğundan başlangıçta lokal olarak sıvılaşır ve daha sonra katılaşma sırasında daha fazla dayanıma ulaşır. Uygulamanın zayıf olduğu durumlarda bu husus oturmaya ve komşu bölgelerdeki temelin kabarmasına neden olabilir. Komşu elemanların çok hızlı bir şekilde inşa edilmesi durumunda ana yapıda oturma ve kesme çatlamları ortaya çıkabilir.

Kullanım alanında büyük artışlar olan enjeksiyon özellikle barajlarda büyük ölçüde başvurulan bir zemin ıslah yöntemidir. Başlıca kullanım alanları şöyle sıralanabilir:

- Geçirimsizlik perdelerinin teşkil edilmesinde (perde enjeksiyonu),
- Aşırı oturmaların ve su kaçaklarının önlenmesi amacıyla,
- Özellikle yol inşaatlarında dinamit atımları nedeniyle gevşeyen temel kayasının üst kısımlarının sağlamlaştırılmasında (konsolidasyon enjeksiyonu),
- Yapı ile ana kaya arasında kalması muhtemel boşlukların doldurulmasında (kontakt enjeksiyonu),
- Tünel inşaatında, tünel aynasının stabilitesinin sağlanmasında ve üst tabakalarda kemerlenme sağlamak amacıyla,
- Temel çukuru duvarlarının stabilitesinin sağlanmasında,
- Komşu temellerin takviyesinde veya oturmuş temellerin düzeltilmesinde,
- Gevşek kumlarda sıvılaşmanın önlenmesinde,
- Yanal toprak basıncının kısıtlanmasında,
- Kazıkların yanall yük taşıma kapasitesinin arttırılmasında,
- Şev stabilitesinin sağlanmasında,
- Hacim değişimi gösteren zeminlerde şişme ve büzülmenin azaltılmasında,
- Boru itme (pipe jacking) inşaatlarında çevre sürtünmesinin azaltılmasında,

kullanılmaktadır.

Zemin iyileştirmesi, zeminin mekanik özelliklerini değiştirir ve geliştirir, özellikle zeminin taşıma gücünü ve elastisite modülünü arttırırken aynı zamanda geçirgenliğini azaltır. Jet grouting yöntemi bu sonuçlara ulaşmak için en başarılı yöntemlerden birisidir.

ASCE Geoteknik Mühendisliği Grubu Enjeksiyon Komitesine göre jet grouting; “Yatay ve düşey su jetleri yardımı ile alüvyonel zemini delen, kesen ve yıkayan özel bir delici uç kullanıp ucun geri çekilmesi sırasında yüksek basınçla yatay püskürtme

ağızlarından enjeksiyon pompalayıp zeminle karışmasını sağlayan ve böylece sağlam ve geçirimsiz kolonlar oluşturan bir tekniktir” şeklinde tanımlanmaktadır

Jet grouting yöntemi birçok zemin tipi için uygundur ve zemin altındaki kısıtlı alanlara karşı gerçekleştirilebilir. Jet grout uygulaması, zemin stabilizasyonu, zemin takviyesi, kazı desteği ve yeraltı suyu kontrolü için kullanılan çok yönlü bir tekniktir.

Jet grouting kohezyonsuz az daneli zeminden kohezyonlu plastik killere kadar birçok zemin tipinde uygulanabilir. Jet grouting yöntemi bazı özellikleri itibariyle diğer grouting yöntemlerine göre üstün bir yöntemdir. Klasik enjeksiyon sistemleri ile zemin özellikleri büyük oranlarda değiştirilememekte, buna karşın jet grouting yöntemi ile zemin su-çimento karışımı ile karıştırıldığı için zeminin temel özellikleri değiştirilebilmektedir.

Zemin, jet grouting uygulaması sırasında su jeti ile parçalanır. En sık kullanım alanı olarak mevcut yapıların toplam ve farklı oturmalarını azaltmak olup, tünellerde tıkaç betonları, açık kanallar ve barajlarda farklı amaçlı uygulamaları bulunmaktadır. Jet grouting ayrıca yeni yapılar, dolgular ve istinat duvarları için yumuşak zeminin konsolidasyonunda da kullanılır. Diğer uygulamalar da açık kazılarda destek ve şev stabilizasyonu amacını taşımaktadır.

Eğer temelin oturmalara karşı takviyesi gerekiyor ise temel yükleri oturmalardan etkilenmeyecek bir derinliğe aktarılmalıdır. Bunun içinde arazi profilinin ve zemin özelliklerinin bilinmesi gerekir. Öte yandan, temelin takviye edilmesini gerektiren neden iyice belirlenmelidir. Oturmaların kaynağı çok derinde ise (Maden ocağı açılması gibi), temellerin kazıklar üzerine oturtulmaları bir yarar sağlamayacaktır.

Temel takviyesi çalışmasının ana amacı temel yükünü, mevcut taşıyıcı tabakasından daha derin seviyelere taşımaktır. Kazıklı sistemler, temel takviyesinden bağımsız olarak yapı yüklerinin daha derin seviyelere aktarılması gerektiği durumlarda uygundur.

Mini kazıklar küçük çaplı kazıklar olup kazık gereksinimi olan ve tasarım yüklerinin 3 ton kadar küçük ve 500 ton kadar büyük olduğu her türlü zeminde kullanılabilir. Mini kazıklar, iğne kazıklar, kök kazıklar olarak da bilinen mikro kazıklar özellikle

ulaşımın kısıtlı olduğu alanlarda geleneksel kazık yöntemlerine uygun bir alternatif oluştururlar.

Mini kazıklar özellikle tarihi yapıların temel takviyesinin yapılabilmesi için geliştirilmiş bir tekniktir.

Bugün, dünya ülkelerinde genelde yapı maliyetleri ve teknik gerekler birbirlerine benzemekte olup, özellikle geoteknik çözümler için mini kazıklara gereksinim artmaktadır.

Ekonomik bir temel takviye sisteminin tasarımı için takviye yapılacak binanın yük taşıma yapısının, temelinin ve temel sisteminin bilinmesi, zemin ve yeraltı suyu koşullarının bilinmesi, değişik yöntemlerin uygulama limitlerinin göz önüne alınması gerekmektedir.

Tasarım aşamasında mümkün olduğunca yük taşıma kapasitesi statik olarak belirli sistemlerin seçilmesine dikkat edilmelidir. Diğer yöntemlerin aksine kazık sistemleri ile derin temelli yapıları ve duvar altına yeni takviye elemanlarının yapılacağı yapıların yüklerini temel takviye çalışmalarını rahatlıkla yapabilmek için askıya almak mümkündür. Temel takviyesi yapılan bir duvarın yanında kazı yapılması durumunda kazık sistemlerinin kullanılması normal olarak çok etkili değildir. Böyle durumlarda kazıkların arasındaki zemin tutulmalı ve kazıkların hasar görmesi önlenmelidir.

Konvansiyonel kazık makinalarının giremediği yerlerde dahi kolayca imal edilebilen ve enjeksiyon için kullanılan araç ve gereçler kullanılmak suretiyle imal edilebilen mini kazıkların; yüksek performans, 3 ile 500+ ton arasında tasarım yapılabilmesi, gerilme ve kaldırma kuvvetlerine karşı kolay uygulanabilir tasarım, çoğu zemin koşullarına uygunluk, düşük kat yükseklikleri ve kısıtlı alanlarda çalışabilme kolaylığı, düşük titreşim ve gürültü oluşturmaları gibi faydaları vardır.

Yukarıda sayılan belirgin faydalarının yanında mini yada mikro kazıklar, daha büyük kazıkların temelini dışında yapılmaları zorunluluğundan kaynaklanan sorunları ortadan kaldırmaktadır.

Mini kazıklar hem oturma hem de zeminin kabarması nedeniyle hasar görmüş yapılarda hem temel takviyesi hemde oturmalara durdurulması amacıyla kullanılmaktadır.

Jet grout yönteminin genellikle her türlü zemine uygulanabilmesi, büyük rijitlik sağlaması, yük taşıma elemanının taşıma gücünü artırması, su geçirimsizliği sağlaması gibi avantajlarının yanında yüksek çimento tüketilmesi ve uygulamanın kontrolündeki zorlukları vardır. Buna karşın mini kazık uygulamasının da daha büyük çekme direnci sağlaması, daha az miktarda çimento kullanımı, daha kolay takip edilmesi gibi avantajları yanında sadece belirli zeminlerde yanal sürtünme mobilizasyonunun mümkün olması, daha düşük rijitlik, daha düşük nihai taşıma kapasitesine sahip olmaları birbirlerinin alternatifi olarak değerlendirilmelerine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada, okul yapısında yapı güvenliği amacıyla alınması gerekli temel takviyesine yönelik önlemler için yapı alanının geoteknik ve yapısal incelemeleri yapılmış, daha önce yapılmış olan sondaj ve diğer etütler değerlendirilmiş, açılan muayene çukurlarında yapılan gözlem ve incelemelerin sonucunda yapı güvenliği amacıyla binanın temelleri mini kazıklarla desteklenmiştir. Ancak saha şartları, temel altı zemininde yer alan kireçtaşının sıvılaşma potansiyelinin bulunmaması sınıflama olarak orta kaya sınıfında yer alması ve temel sisteminin gerektirdiği diğer hususlar göz önüne alınarak otel binasında temel boyutlarının büyütülmesi ve temel elemanlarının birbirlerine bağ kirişleri ile bağlanması gereğinden dolayı geleneksel temel takviye yöntemi kullanılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] **Witt, K.J. and Smolczyk, U.**, 2002. Geotechnical Engineering Handbook, 1st edition, Vol.2, Chap.2.3, Ernst und Sohn, Berlin.
- [2] **Macnab, A.**, 2002. Earth Retention Systems, Mc Graw-Hill, Newyork.
- [3] **Burke, G., K.**, 2000. Underpinning Structures, *Structurel Engineer*.
- [4] **Tomlinson, M.J.**, 1995. Foundation Design & Construction 6th edition, Longman.
- [5] **Ergun, U.**, 1994. Temel takviyesi ve eski eserlerin korunması, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği III. Ulusal Kongresi*, ODTÜ, Ankara, s.887-917.
- [6] **Toğrol, E.**, 1994. Temel takviyesi yöntemlerine yeni bir bakış, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği V. Ulusal Kongresi*, ODTÜ, Ankara, Cilt III, s.887- 917.
- [7] <http://www.property.nu.ac.za/contech2/underpinning/underpinning.doc>
- [8] **Fırat, A., T.**, 2001. Jet grouting yöntemi ile temel takviyesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **Hilmer, K.**, 1991. Schäden im Grundungsberich, Ernst & Sohn Verlag für Architektur und techn. Wiss., Berlin.
- [10] **Çamlıbel, A. N.**, 2000. Temellerin Takviyesi, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [11] **Namlı, M.**, 2001. Tarihi yapıların temel sistemleri ve temel takviyesi yöntemleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] <http://www.imo.org.tr/Yayinlar/tmh/tmh430/FTuncdemir.pdf>
- [13] <http://www.laynegeo.com>
- [14] [http://www.tagteam.com/ttserverroot/Download/387214_G32JetGrouting Brochure rev.7-04.pdf](http://www.tagteam.com/ttserverroot/Download/387214_G32JetGrouting_Brochure rev.7-04.pdf)
- [15] **Durgunoğlu, H., T.**, 2004. Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, İstanbul.

- [16] **U.S. Army Corps of Engineers**, 1990. Engineering and Design SETTLEMENT ANALYSIS, Engineers Manual EM 1110-1-19043 0, Washington.
- [17] **Stoel, A.,V., D.**, 2001. Grouting for Pile Foundation Improvement, PhD Thesis, Delf University, Amsterdam, Netherlands.
- [18] **Welsh, J., P., Burke, G., K.**, 2000. Advances in Grouting Technology, *Int. Conference on Geotechnical&Geological Engineering (GeoEng2000)*, Melbourne, Australia, November 19-24.
- [19] **Burke, G., K., Cacoilo, D.M. and Chadwick, K.R.** 2000. SuperJet Grouting: A New technology for In Situ Soil Improvement, Proceedings of Transportation Research Board 79th Annual Meeting, Washington D.C., USA.
- [20] **Kutzner, C.**, 1996. Grouting of Rock and Soil, Balkema, Rotterdam
- [21] **Schaefer, V., R.**, 1997. Ground Improvement, Ground Reinforcement, Ground Treatment Developments 1987-1997, Proceedings of Sessions sponsored by the Committee of Soil Improvements and Geosynthetics of Geoinstitute of thr ASCE, Geotechnical Special Publication No:69.
- [22] **Moseley, M., P.**, 1993. Ground Improvement, Chapman & Hall, Boca Raton.
- [23] **Micropiles Design and Construction Guidelines**, 2000. US Department of Transportation, FHWA, Report number FHWA-SA-97-070.
- [24] http://www.structural.net/news/Media_coverage/media_concretemonthly_micropile.html
- [25] **Liew, S. S. & Fong, C. C.**, 2003. "Design & Construction of Micropiles", Geotechnical course lecture for Pile Foundation Design & Construction, Ipoh, 29 – 30 September 2003.
- [26] **Brandl, H.**, 2000. Ground Support-Reinforcement, Composite Structures, *Int. Conference on Geotechnical&Geological Engineering (GeoEng2000)*, Melbourne, Australia, November 19-24.
- [27] **Kumbasar, V., Kip, F.**, 1999. Zemin Mekaniği Problemleri, Çağlayan Kitapevi, İstanbul.
- [28] **Sağlamer, A.**, 2000. Zemin ve Temel Mühendisliği Değerlendirme Raporu, İTÜ, İstanbul.
- [29] **Ülker, R.**, 2003. Temel Zemini ve Temel Mühendisliği Değerlendirme Raporu, İstanbul.

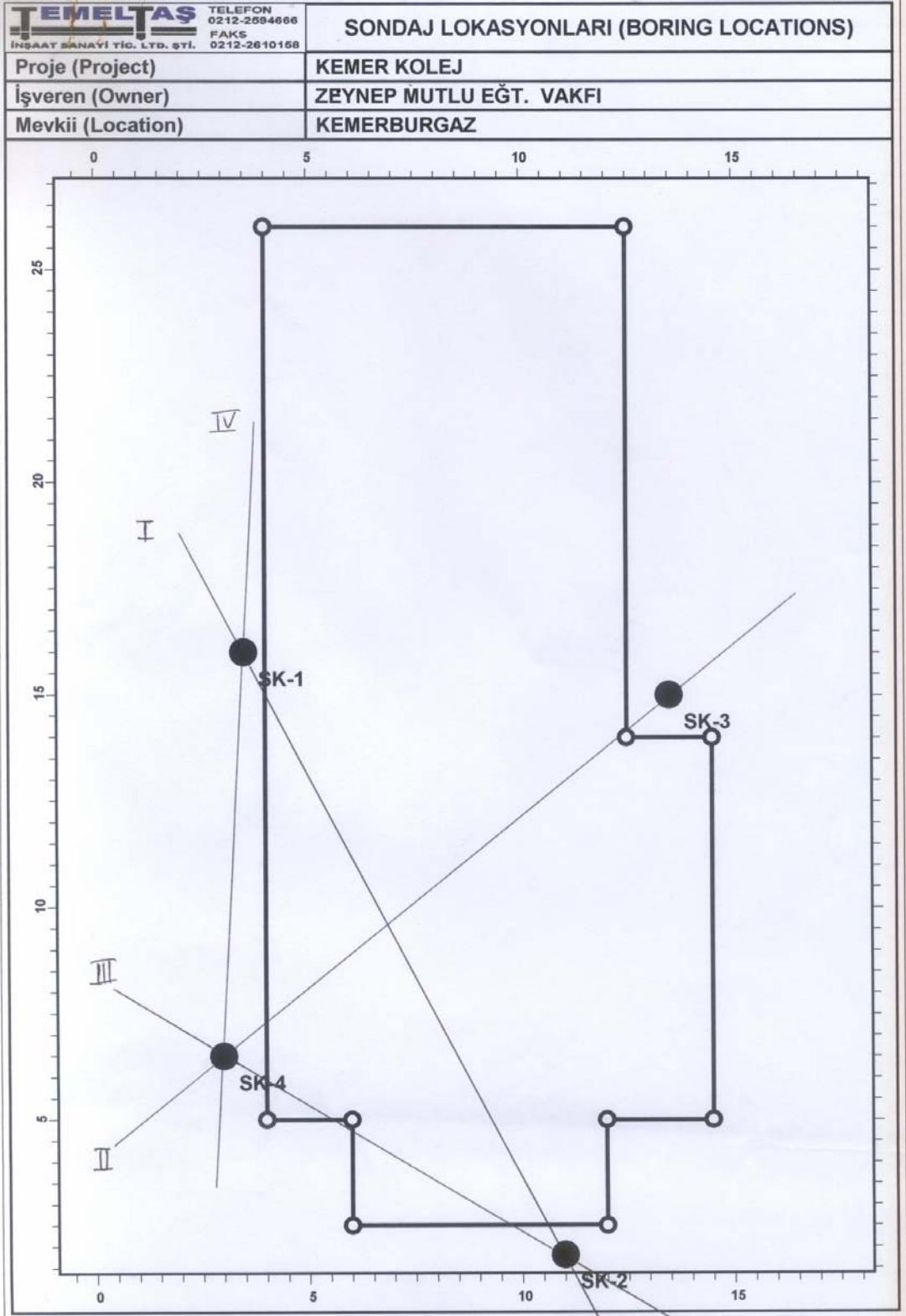
EKLER

EK – A : SONDAJ LOKASYONLARI, LOGLARI VE KESİTLERİ

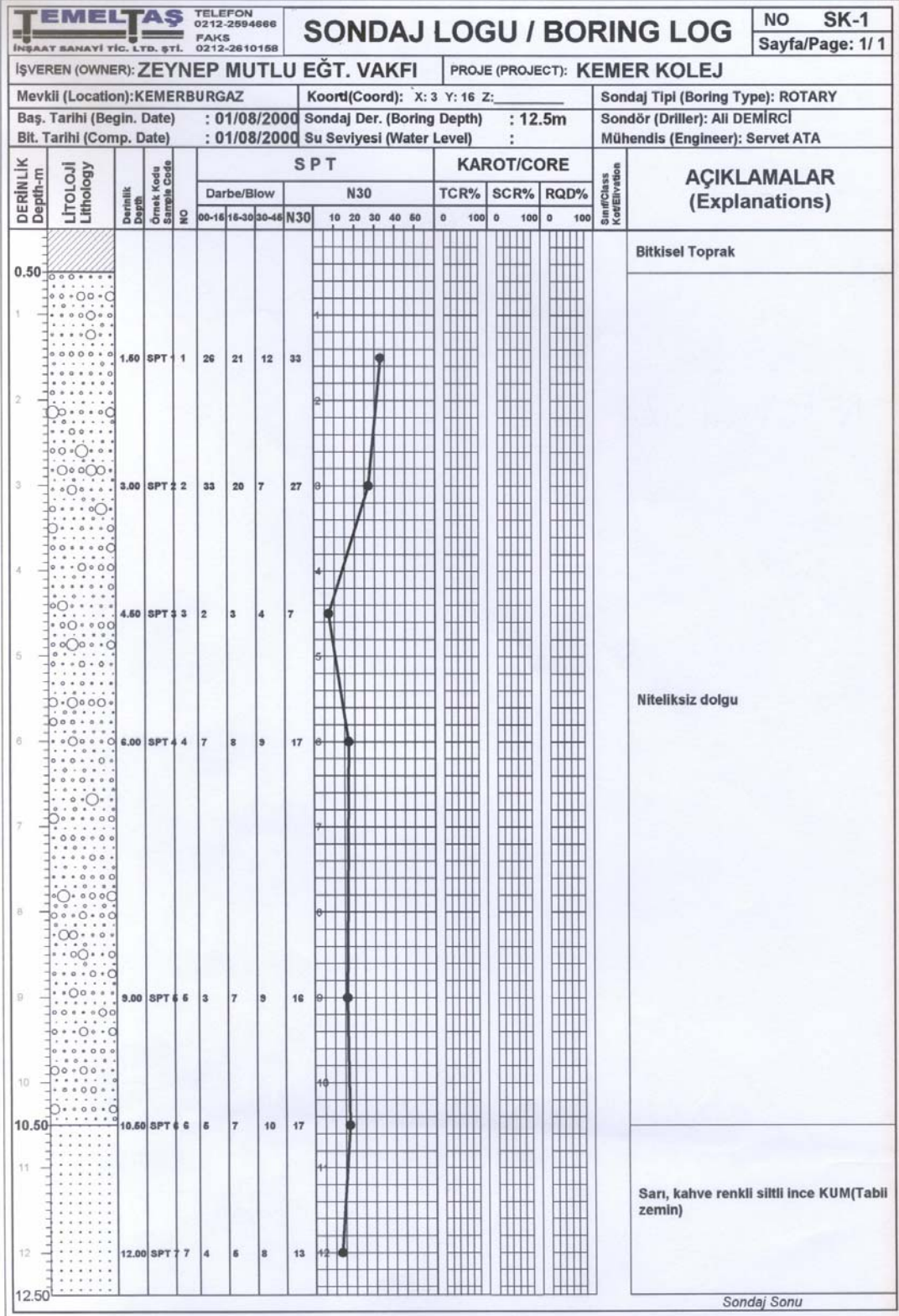
EK – B : KEMER KOLEJ TEMEL TAKVİYESİ PLAN VE KESİTLERİ

EK – C : TARABYA OTELİ TEMEL TAKVİYESİ PLAN VE KESİTLERİ

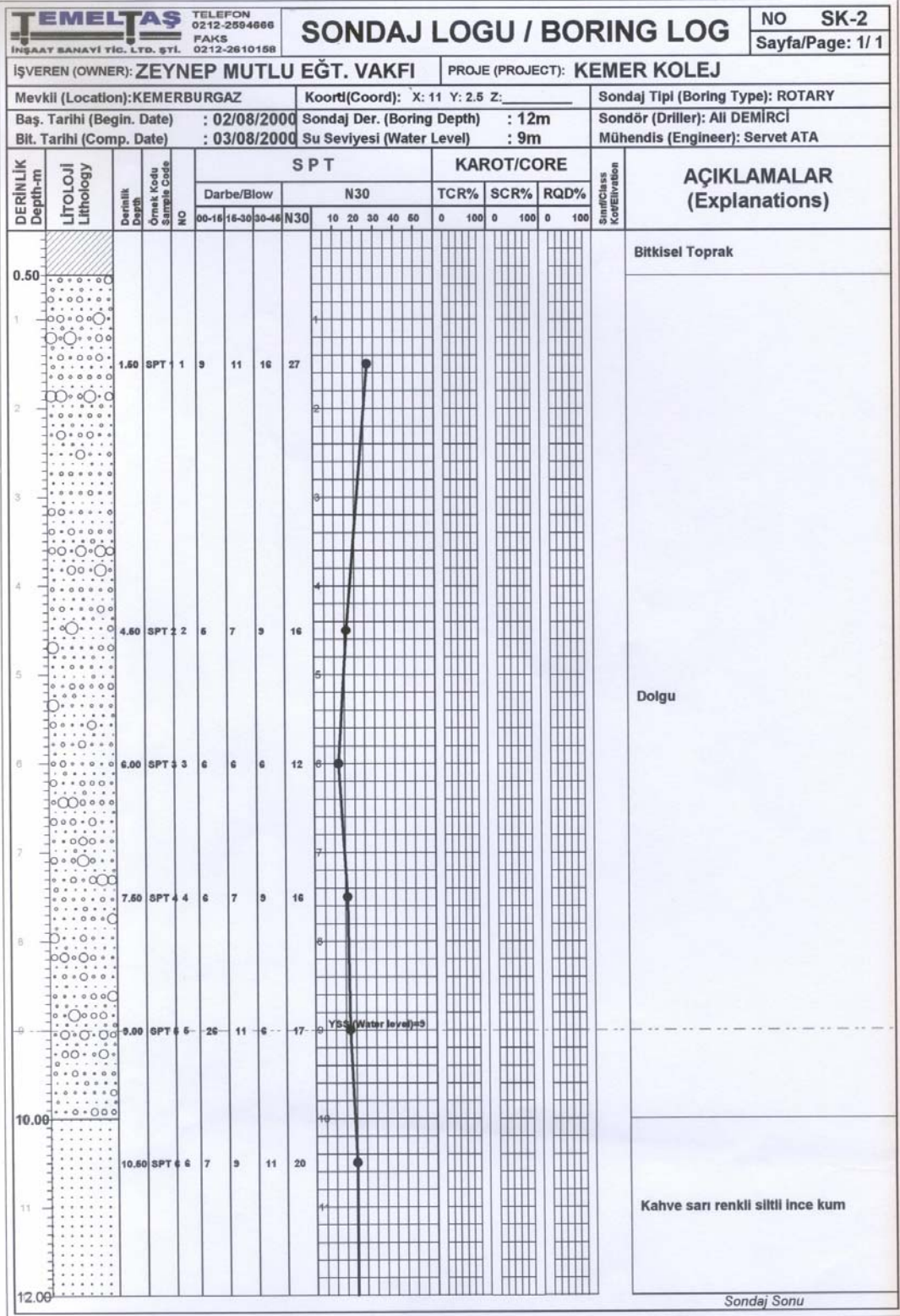
EK – A : SONDAJ LOKASYONLARI, LOGLARI VE KESİTLERİ



Şekil A.1 : Sondaj lokasyonları



Şekil A.2 : SK-1 Sondaj logu



Şekil A.3 : SK-2 Sondaj logu

TEMELTAŞ İNŞAAT SANAYİ TİC. LTD. ŞTİ.		TELEFON 0212-2594666 FAKS 0212-2610158		SONDAJ LOGU / BORING LOG				NO SK-3 Sayfa/Page: 1/ 1											
İŞVEREN (OWNER): ZEYNEP MUTLU EĞT. VAKFI				PROJE (PROJECT): KEMER KOLEJ															
Mevkil (Location): KEMERBURGAZ				Koorđ (Coord): X: 18 Y: 15 Z:				Sondaj Tipi (Boring Type): ROTARY											
Baş. Tarihi (Begin. Date) : 04/08/2000				Sondaj Der. (Boring Depth) : 15m				Sondör (Driller): Ali DEMİRCİ											
Bit. Tarihi (Comp. Date) : 04/08/2000				Su Seviyesi (Water Level) :				Mühendis (Engineer): Servet ATA											
DERİNLİK Depth-m	LİTOLOJİ Lithology	Derinlik Depth	Örnek Kodu Sample Code	NO	S P T				KAROT/CORE				Sınıf/Class Kor/Elevation	AÇIKLAMALAR (Explanations)					
					Darbe/Blow			N30	TCR%	SCR%	RQD%								
					00-15	16-30	30-45	N30	10	20	30	40	50	0	100	0	100	0	100
0.50																			
1		1.50	SPT 1	1	5	7	13	20											
2																			
3		3.00	SPT 2	2	2	4	6	10											
4																			
5		4.50	SPT 3	3	4	7	9	16											
6																			
7		6.00	SPT 4	4	6	8	10	18											
8																			
9																			
10		10.50	SPT 5	5	8	9	11	20											
11																			
12		12.50	SPT 6	6	10	10	13	23											
13																			
14		14.50	SPT 7	7	9	12	13	25											
15.00																			

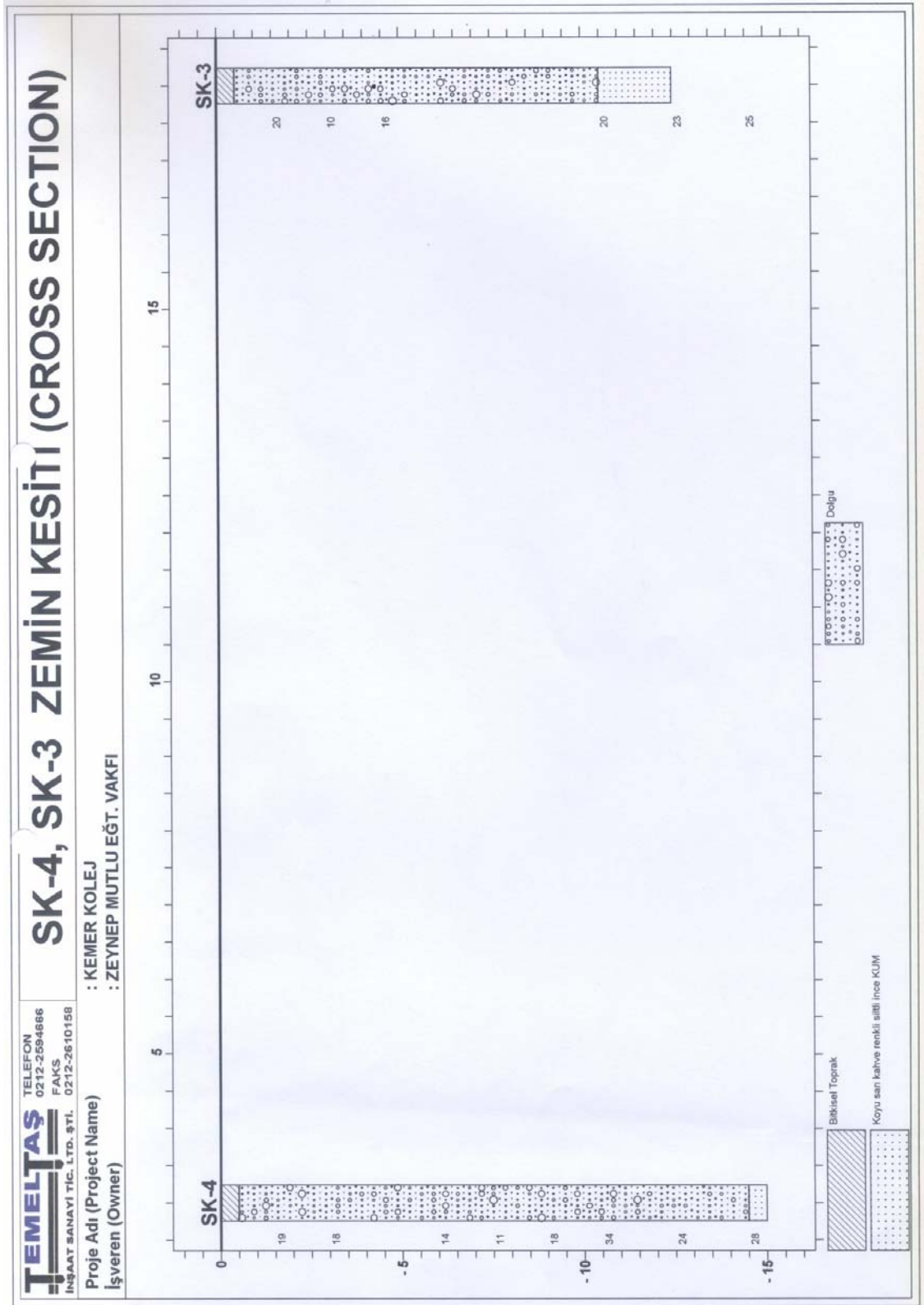
Sondaj Sonu

Şekil A.4 : SK-3 Sondaj logu

Şekil A.5 : SK-4 Sondaj logu



Şekil A.6 : SK-4 SK-2 Zemin kesiti



Şekil A.7 : SK-4 SK-3 Zemin kesiti



Şekil A.8 : SK-4 SK-1 Zemin kesiti



Şekil A.9 : SK-1 SK-2 Zemin kesiti

EK – B : KEMER KOLEJ TEMEL TAKVİYESİ PLAN VE KESİTLERİ

EK – C : TARABYA OTELI TEMEL TAKVIYESİ PLAN VE KESİTLERİ



ÖZGEÇMİŞ

İnşaat Mühendisi Kemal Baş 1966 yılında Bafra’da doğdu. 1983 yılında girmiş olduğu İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun olduktan sonra mesleki hizmetlerine bir süre özel sektörde devam etti. Daha sonra 1992 yılında İMKB’de mühendis olarak çalışmaya başladı. İMKB’de yerine getirdiği mesleki hizmetleri sırasında Yeditepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü’ne devam ederek 2000 yılında İşletme Yüksek Lisans (MBA) derecesi aldı. Halen İMKB Yapı ve İşletme Müdürlüğü’nde mesleki çalışmalarına devam etmektedir.