

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEMELLERİN TAKVİYESİ VE UYGULAMADAN
ÖRNEKLER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Mustafa Serkan SARI**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

**Programı : ZEMİN MEKANİĞİ VE GEOTEKNİK
MÜHENDİSLİĞİ**

HAZİRAN 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEMELLERİN TAKVİYESİ VE UYGULAMADAN
ÖRNEKLER**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Mustafa Serkan SARI
(501051307)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 5 Mayıs 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2008**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. İsmail Hakkı AKSOY
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Recep İYİSAN
Prof. Dr. Erol GÜLER (B.Ü.)**

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Temellerin takviyesi ile ilgili hazırlanmış bu tez çalışmasında temel takviyesinin sebepleri, takviye yöntemleri ve bu yöntemlerin uygulandığı projelerden örnekler verilmektedir.

Lisans ve yüksek lisans derslerimde tarihi yapılara karşı bakış açımı değiştirerek ilgimi arttıran ve bu tez vasıtası ile daha detaylı bilgi almama vesile olan çok değerli hocam Doç. Dr. İsmail Hakkı AKSOY'a; bugün konulara yaklaşımlarım da bile etkili, bakış açım ve teknik bilgilerime katkılarından dolayı, kafamdaki soru işaretlerine farklı yönler kazandırdığı için değerli hocam Doç. Dr. M. Tuğrul ÖZKAN'a ve İ.T.Ü. Geoteknik Anabilim Dalı öğretim üyelerine, araştırma görevlilerine ve laboratuvar görevlilerine;

Çalışma hayatıma başladığım yer olarak bana katmış olduğu birçok farklı alandaki bilgi birikimi ve öğrenim hayatımla ilgili gösterdikleri anlayış nedeni ile başta ortakları olmak üzere TEKNOFOR İnşaat Taah. Ltd. Şti. ailesine;

Soruları ile teknik yanıma hep dinç tutarak lisans bitirme ödevimde ve yüksek lisans tezimde konsantrasyonumun hep yüksek seviyede olmasını sağlayan, eğlenceli kişiliği ile yoğun tempoda yaptığımız bu çalışmalarda motivasyonumun düşmesine izin vermeyen, her türlü problemimi çözmemde fikir kaynağım olan, sevgili arkadaşım ve değerli meslektaşım İnş. Müh. Candan Aydın'a;

Sabahları gün ışığını görünceye kadar yaptığım çalışmalarında beni yalnız bırakmayan ve kahvem eksik etmeyen sevgili ev arkadaşım Makine Müh. Aydın Osman RASİM'e, göstermiş olduğu sabır ve anlayıştan dolayı ev arkadaşım Moleküler Biyolog ve Genetikçi İ. Fırat TAŞ'a, bütün yoğunluğunun arasında ilgisini esirgemeyen İnş. Y. Müh. Aslı Taşköy ve Makine Y. Müh. Ceren Efsun Çayan'a, , karamsarlaştığım noktalarda bana mantıklı yollar sunarak ışık tutan sevgili iş arkadaşım Jeoloji Müh. Gonca RUBACI'ya; yoğun işlerinin arasında tezimin düzeltmelerinde beni yalnız bırakmayan Bengü AKDAMAR'a;

Aynı üniversiteden ve bölümden mezun olmamız sebebi ile beni anlaması, yönlendirmesi ve düşüncelerime olan saygısı ile aynı zamanda meslektaşım olan sevgili babam İnş. Y. Müh. Ahmet Selim SARI'ya; dualarının hep yanımda olmasına güvendiğim sevgili annem Müyesser SARI'ya; mesleğime, insanlara, hayata, bakış açım kattığı farklı yönlerle ve azimli olmamda bana aşıladığı kararlılık duygusuyla yoluma devam edebildiğim, sevgili ağabeyim Jeoloji Müh. Mehmet Serdar SARI'ya; Tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Haziran, 2008

Mustafa Serkan SARI

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	VI
TABLO LİSTESİ	VII
ŞEKİL LİSTESİ	VIII
SEMBOL LİSTESİ	XI
ÖZET	XII
SUMMARY	XIII
1. GİRİŞ	1
2. TEMEL TAKVİYESİ UYGULANMASININ NEDENLERİ	3
3. TEMEL TAKVİYESİ VE TEMEL TAKVİYE YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI	6
3.1 Geleneksel Yöntemler	6
3.2 Zemin İyileştirme Esasına Dayanan Yöntemler	16
3.2.1 Zemin iyileştirmesi hakkında genel değerlendirmeler	16
3.2.2 Enjeksiyon yöntemiyle zemin iyileştirmesi	24
3.2.2.1 Enjeksiyonun tarihçesi	25
3.2.2.2 Enjeksiyonun başlıca uygulama alanları	26
3.2.2.3 Enjeksiyon yönteminin tayini için yapılan ön çalışmalar	27
3.2.2.4 Enjeksiyon karışımı seçiminde kullanılan kriterler	28
3.2.2.5 Enjeksiyon teknikleri ve enjeksiyon işlemlerinin sınıflandırılması	29
3.2.3 Jet grouting (jet enjeksiyon) yöntemi	38
3.2.3.1 Jet grouting yönteminin tarihçesi	43
3.2.3.2 Jet grouting sistemleri	45
3.2.3.3 Jet grouting ekipmanları	50
3.2.3.4 Temel jet grouting parametreleri	53
3.2.3.5 Jet grouting sisteminin uygulanması	58
3.2.3.6 Jet grouting sisteminin uygulama alanları	63
3.2.3.7 Jet grouting yönteminin avantaj ve dezavantajları	69
3.3 Temel Yüklerinin Daha Derindeki Taşıyıcı Tabakalara Aktarılması	71
3.3.1 Mini kazıklar	77
3.3.1.1 Mini kazıkların tarihçesi	77
3.3.1.2 Mini kazık tanımlamaları	78
3.3.1.3 Mini kazıkların tipleri ve yapım yöntemleri	79
3.3.1.4 Mini kazık uygulamaları	83

3.3.1.5 Mini kazıkların faydaları	90
4.TEMEL TAKVİYE ÇALIŞMALARININ AŞAMALARI	92
4.1 Ön İncelemeler	93
4.2 Yapısal İncelemeler	94
4.2.1 Yapıların stabilitesini bozan etkenler	95
4.2.2 Yapıya etkiyen kuvvetlerin artması (aşırı yükleme)	95
4.2.3 Yeraltı suyunun yapı stabilitesine olan etkisi	96
4.3 Geoteknik İncelemeler	96
4.3.1 Zemin sondajları ve sondaj sonuçlarının değerlendirilmesi	97
4.3.2 Zemin numuneleri alınması	98
4.3.3 Temel oturmalarının gözlem ve değerlendirilmesi	98
4.3.4 Gözlem kuyuları	99
4.3.5 Yeraltı su seviyesinin belirlenmesi	99
5.TEMEL TAKVİYESİ UYGULAMALARINDAN ÖRNEKLER	101
5.1 Vakıf Gureba Hastanesinin Temel Takviyesi	101
5.1.1 Giriş	101
5.1.2 Zemin özellikleri ve temel sistemi	103
5.1.3 Değerlendirme	104
5.1.4 Sonuç	104
5.2 Küçüksu Kasrı Temel Takviyesi	106
5.2.1 Giriş	106
5.2.2 Zemin özellikleri ve temel sistemi	110
5.2.3 Değerlendirme	111
5.2.4 Sonuç	113
5.3 Ortaköy Camii Temel Takviyesi	116
5.3.1 Giriş	116
5.3.2 Zemin özellikleri ve temel sistemi	117
5.3.3 Değerlendirme	119
5.3.4 Sonuç	120
5.4 Konya Alaaddin Camii Temel Takviyesi	122
5.4.1 Giriş	122
5.4.2 Zemin özellikleri ve temel sistemi	122
5.4.3 Değerlendirme	123
5.4.3.1 Enjeksiyon ve mini kazık çalışmaları	126
5.4.3.2 Duvar ve kolon altı bağlantıları	127

5.4.3.3 Drenaj alışmaları	130
5.4.3.4 lüm ve gözlemler	131
5.4.3.5 Deneyler ve yerinde ölçümler	132
5.4.4 Sonuç	135
5.5 Fethi Ahmet Paşa Yalısı	136
5.5.1 Giriş	136
5.5.2 Zemin özellikleri ve temel sistemi	137
5.5.3 Değerlendirme	138
5.5.4 Sonuç	138
5.6 Fatih Camii Kütüphanesi Temel Takviyesi	140
5.6.1 Giriş	140
5.6.2 Zemin özellikleri ve temel sistemi	140
5.6.3 Değerlendirme	142
5.6.4 Sonuç	143
5.7 Hoca Ahmet Yesevi Türbesi Temel Takviyesi	144
5.7.1 Giriş	144
5.7.2 Zemin özellikleri ve temel sistemi	144
5.7.3 Değerlendirme	144
5.7.4 Sonuç	145
6. SONUÇ VE DEğERLENDİRME	146
KAYNAKLAR	151
EKLER	155
ÖZGEÇMİş	168

KISALTMALAR

JSG	: Jet Special Grout, özel jet enjeksiyon
CCP	: Chemical Churning Pile, kimyasal karıştırma kazığı
SSS-MAN	: Super Soil Stabilization Management, süper zemin stabilizasyon yönetimi
IGU	: Injection Globale et Unitaire

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 : Zeminlerde uygulanabilen çeşitli ıslah yöntemleri	17
Tablo 3.2 : Zemin cinsine göre soilcrete serbest basınç mukavemeti ve modülü ..	43
Tablo 3.3 : Jet grouting parametreleri (prEN 12761).....	56
Tablo 3.4 : Jet grouting imalat parametreleri [13].	57
Tablo 3.5 : Jet grouting uygulamaları [13].....	69
Tablo 5.1 : Sondaj ve deney sonuçları	141
Tablo A.1 : Zemin İyileştirme Yöntemleri Özet Tablosu [6]	156
Tablo A.2 : Jet grouting yöntemleri ve özgül parametreler	161
Tablo A.3 : Basınçlar, zemin tipi ve bunlara bağlı oluşan kolon çapları	162
Tablo A.4 : Çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri için maliyet analizi [5].....	162
Tablo A.5 : Jet grouting parametrelerine bağlı olarak iyileştirilmiş hacim	163
Tablo A.6 : Zemin tipi ve geri çekme hızının iyileştirme üzerindeki etkisi.....	164
Tablo A.7 : Jet grout ana ekipmanları ile ilgili bilgiler [21]	165
Tablo A.8 : Jet grout kolon tasarımında granüler zeminlerde kullanılan limit değerleri	166
Tablo A.9 : Jet grout kolon tasarımında kohezyonlu zeminlerde kullanılan limit değerler	166
Tablo A.10: Çeşitli uygulamalarda elde edilen zemin taşıma gücü ortalama değerleri	166

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1 : Çift taraflı yandan destekleme iskelesi [2].....	7
Şekil 3.2 : Orta destek kuleli havada destekleme iskelesi [2]	7
Şekil 3.3 : Havada destekleme iskelesi [2].....	8
Şekil 3.4 : (Solda) Boru ve bağlantı elemanlarından oluşan ölü destekleme iskelesi (Sağda) 30 elemandan imal edilmiş üçlü kafes sistem ölü destekleme iskelesi [2].....	8
Şekil 3.5 : Duvarın bir tarafında girişin mümkün olmadığı durumda destek manivelası [2]	10
Şekil 3.6 : Basit iğne ve ana ayak ile destekleme sistemi [2].....	10
Şekil 3.7 : Geleneksel temel takviyesi yönteminin aşamaları.....	11
Şekil 3.8 : DIN 4123'e göre kazı yapılmasının sınırlamaları	12
Şekil 3.9 : DIN 4123'e göre temel takviyesinin adımları ve inşaat boyutları.....	12
Şekil 3.10 : Temel takviyesi elemanının mevcut duvara bağlantı detayı.....	15
Şekil 3.11 : Zeminin konsolide olması durumunda temel takviyesi a) ağırlık duvarı b) ankrajlı duvar.....	18
Şekil 3.12 : Enjeksiyon ile temel takviyesi sisteminin statik hesap verileri	19
Şekil 3.13 : Enjeksiyon için manşetli boru uygulaması	21
Şekil 3.14 : Mesken binasının temel takviyesi için tam ve yarım kolon düzenlemesi.	23
Şekil 3.15 : Değişik enjeksiyon malzemelerinin kullanılabilirliği [12]	24
Şekil 3.16 : Enjeksiyon malzemelerinin kullanılabildiği zemin tipi	25
Şekil 3.17 : Enjeksiyon sistemleri şematik gösterimi [13].....	32
Şekil 3.18 : Permeasyon enjeksiyonu uygulanabilir alanı.....	34
Şekil 3.19 : Manşetli boru sistemi detayı	36
Şekil 3.20 : Kompaksiyon enjeksiyonu uygulanabilir alanı	37
Şekil 3.21 : Delme başlığı ve jet enjeksiyon çıkış delikleri (Monitör, nozul).....	40
Şekil 3.22 : Monitör ve nozuldan basınçlı su çıkışı	41
Şekil 3.23 : Tek akışkanlı sistem şematik gösterimi	46
Şekil 3.24 : Çift akışkanlı sistem şematik gösterimi	48
Şekil 3.25 : Üç akışkanlı sistem şematik gösterimi.....	48
Şekil 3.26 : Geniş çaplı jet grout kolonu	49
Şekil 3.27 : Jet grout kolonu imalat adımları [1].....	50
Şekil 3.28 : Ekipmanların sahadan görüntüsü.....	51
Şekil 3.29 : Jet grouting ekipmanları ve uygulama aşamaları.....	52
Şekil 3.30 : Delgi makinesi	53
Şekil 3.31 : Zemin cinslerine göre enjeksiyon uygulama aralığı	54
Şekil 3.32 : Zeminlerin sökülebilirliği	54
Şekil 3.33 : Jet grout ile iyileştirilmiş zemin mukavemet değerleri.....	56
Şekil 3.34 : Kolon ve panel perdelerin kesit ve kanat şekilleri [18].	64

Şekil 3.35 : Jet grout geçirimsizlik perdesi ve taban geçirimsizliği uygulamaları [34]	65
Şekil 3.36 : Jet grouting ile temel takviyesi uygulamaları [33]	66
Şekil 3.37 : Tünellerin, tünel kazılarının desteklenmesi ve suya karşı geçirimsizlik sağlamak amacı ile jet grout uygulaması [35]	67
Şekil 3.38 : Tünel girişlerinin jet grout kolonlarıyla desteklenmesi	67
Şekil 3.39 : Köprü temellerinin jet grout kolonları ile takviyesi	68
Şekil 3.40 : Düşey shaftların kazısında jet grout kolonlarının kullanımı	68
Şekil 3.41 : Kazık ve kavrama kirişi ile temel takviyesi uygulanması (Plan)[13]	72
Şekil 3.42 : Kazık ve kavrama kirişi ile temel takviyesi uygulanması (Kesit)[13]	72
Şekil 3.43 : Ahşap kazıklar [11]	74
Şekil 3.44 : Jack-down kazık sistemi (Franki)	75
Şekil 3.45 : Jack-down segment kazık sistemi (Erka)	76
Şekil 3.46 : Kök kazıkları (root piles) ile temel takviyesi uygulaması	77
Şekil 3.47 : Mini kazık yapım aşamaları [48]	79
Şekil 3.48 : Tip 1 Ağımsı kök kazıklar ile gevşek zeminin heyelanının önlenmesi	80
Şekil 3.49 : Tip 1 Mini kazık uygulaması örnekleri	81
Şekil 3.50 : Tip 2 Mini kazık uygulaması örnekleri	81
Şekil 3.51 : Mini kazıkların enjeksiyon yöntemine göre sınıflandırılması [4]	83
Şekil 3.52 : Askıya alma ve her iki yönden kazık uygulaması yöntemi ile temel takviyesi yapılması [13]	84
Şekil 3.53 : Dual düşey kazıklar ile temel takviyesi [13]	85
Şekil 3.54 : Çapraz dual kazıklar ile temel takviyesi [13]	86
Şekil 3.55 : Düşey ve eğik kazıklar ile tek taraftan temel takviyesi [13]	87
Şekil 3.56 : Konsol giriş ve kazık sistemi ile tek taraftan temel takviyesi [13]	87
Şekil 3.57 : Eğik kazıklar ile oluşturulmuş temel takviyesi [13]	88
Şekil 3.58 : Birleştirilmiş temel takviye sistemi (mini kazık, ankraj ve zemin çivisi [13])	89
Şekil 3.59 : Zeminde kazık ağları oluşturularak temel takviyesi yapılması	91
Şekil 5.1 : Vakıf Gureba Hastanesinin vaziyet planı	101
Şekil 5.2 : Vakıf Gureba Hastanesi ön cephe görünüşü (2008)	102
Şekil 5.3 : Vakıf Gureba Hastanesi ön cephe görünüşü (2008)	102
Şekil 5.4 : Vakıf Gureba Hastanesi plan görünüş	103
Şekil 5.5 : Vakıf Gureba Hastanesi kesit görünüş	104
Şekil 5.6 : Vakıf Gureba Hastanesi temel yanak girişleri bağlantı ankrajları yerleşimi	105
Şekil 5.7 : Vakıf Gureba Hastanesi yanak girişleri kesiti	106
Şekil 5.8 : Küçüksu Kasrı yol cephesi (2008)	107
Şekil 5.9 : Küçüksu Kasrı deniz cephesi ve rıhtım (2008)	108
Şekil 5.10 : Küçüksu Kasrı anakaya derinlikleri	111
Şekil 5.11 : Küçüksu Kasrı temel takviyesi jet grout uygulamaları kesiti	114
Şekil 5.12 : Küçüksu Kasrı jet grout kolonları, yanak girişleri	115
Şekil 5.13 : Ortaköy Camii vaziyet planı	116
Şekil 5.14 : Ortaköy Camii 2008	117
Şekil 5.15 : Ortaköy Camii Rıhtım Enkesitleri (1962)	118
Şekil 5.16 : Ortaköy Camii Kesitleri (1957-1958)	119
Şekil 5.17 : Ortaköy Camii Fore Kazıklarla yapılan temel takviyesi (1968)	120
Şekil 5.18 : Ortaköy Camii rıhtımı iskele tarafı	121
Şekil 5.19 : Ortaköy Camii rıhtımı boğaz tarafı	121

Şekil 5.20	: Konya Alaaddin Camii, zemin profili ve deformasyon mekanizması	123
Şekil 5.21	: Konya Alaaddin Camiiindeki farklı oturmalar ve çatlak oluşumu	124
Şekil 5.22	: Konya Alaaddin Camii eğik çatlakların oluşum mekanizması.....	125
Şekil 5.23	: A Tipi Bağlantı	129
Şekil 5.24	: B Tipi Bağlantı.....	130
Şekil 5.25	: Presyometre deney sonucu örneği	133
Şekil 5.26	: Sondaj vaziyet planı ve zemin profili	137
Şekil 5.27	: Jet grout kolonları yerleşim planı	139
Şekil 5.28	: Jet grout kolonlarının kesiti	139
Şekil 5.29	: Fatih Camii Kütüphanesi sondaj yerleşim planı	140
Şekil 5.30	: İdeal geoteknik model.....	142
Şekil 5.31	: Fatih Camii Kütüphanesinin geoteknik blok diyagramı	142
Şekil 5.32	: Fatih Camii Kütüphanesi için planlanan temel takviyesi	143
Şekil 5.33	: Hoca Ahmet Yesevi Türbesi temel takviyesi [1].....	145
Şekil A.11	: Mini kazıkların tarihçesi	167

SEMBOL LİSTESİ

τ	: Kayma gerilmesi
σ_D	: Efektif gerilme
N_{30}	: Ortalama standart penetrasyon deneyi değeri
w_n	: Tabii su muhtevası
w_L	: Likit limit
w_P	: Plastik limit
C_c	: Sıkışma indisi
$\emptyset$	: Donatı çapı
CL	: Düşük plastisiteli kil
SM	: Siltli kum
SC	: Killi kum

TEMELLERİN TAKVİYESİ VE UYGULAMADAN ÖRNEKLER

ÖZET

Temel takviyesi, mevcut yapının değişen koşullara uyum sağlaması için yapılan temel uygulamalarıdır. Değişen koşullar yapı yüklerinin değişmesi, temeli etkileyen zemin durumundaki değişimler, çevrede yapılan yapıların etkileri, projelendirmedeki eksik veya yanlış değerlendirme ve hesapların sonuçları olarak düşünülebilir. Yapıda yapılan yenilemeler, kat ilaveleri, restorasyon çalışmaları yapının yük sistemini değiştirebilir. Bu değişimler yapının ağırlaşmasına neden olmakta veya temele aktardığı yükleri değiştirmekte ve temel takviyesi gerekebilmektedir. Eski yapıların depreme karşı güvenliğinin sağlanarak ömürlerinin uzatılması için de takviye yöntemleri uygulanabilir.

Yapının altındaki zeminin yeterince sıkıştırılmamış olması, zayıf olması, yer altı su seviyesinin değişmesi, farklı zemin yapılarının davranış farklılıkları gibi durumlarda yapıyı tehlikeye sokan problemler ortaya çıkabilir ve yine takviye yöntemlerine ihtiyaç duyulabilir.

Temel uygulamaları ise mevcut temelin genişletilmesi, derinleştirilmesi, temel etrafındaki ve altındaki zeminin iyileştirilmesi veya yüklerin daha derindeki sağlam zemine aktarılması gibi yollarla yapılabilir.

Bu yöntemlere ilişkin yaygın uygulamalar; temele ankraj veya saplama ile bağlanan yanak kirişleri, temel altında anolar halinde yapılan kazı ve destekleme imalatları, enjeksiyon uygulamaları, jetgrout uygulamaları, minikazık, fore kazıklar, Franki ve Erka kazık uygulamaları olarak incelenmiştir.

Bu çalışmada temel takviye yöntemleri detaylı olarak incelenecek ve Vakıf Gureba Hastanesi, Küçüksu Kasrı, Ortaköy Camii, Konya Alaaddin Camii, Fethi Ahmet Paşa Yalısı, Fatih Camii Kütüphanesi, Hoca Ahmet Yesevi Türbesi gibi projelerde kullanılan temel takviye yöntemleri incelenecek ve değerlendirilecektir.

UNDERPINNING AND APPLICATIONS

SUMMARY

Underpinning is the adaptation of the construction to the changes of the conditions. Changing conditions can be accepted as the increase of the loads, the changing of soil conditions which affects the foundation, the effects of the buildings around, the results of problematic evaluation of the parameters used for design. The restoration of the building, additional floors can change the distribution of loads. These changes increase the weight of building and effect the transition of the loads which can result as underpinning requirement. Underpinning can be applied to protect historical buildings against earthquake to increase the life period.

There can be some conditions which disturb the stability of the construction such as poor compaction of the soil under the building, soft or loose soil, changing of ground water level, different soil layer behavior and also underpinning can be required.

The applications of underpinning can be done by conventional methods as make the foundation wider or deeper, improvement of the soil under and around the foundation and to transfer the loads to the deeper layers.

General applications about these methods can be studied as the side beams joint by anchors and needles, partial excavation under the foundation and support construction, soil injection applications, jetgrout applications, mini pile, cast in-situ pile, Franki and Erka pile applications.

This study includes the detailed information about underpinning methods and Vakıf Gureba Hospital, Küçüksu Kasrı, Ortaköy Mosque, Konya Alaaddin Mosque, Fethi Ahmet Paşa Waterside Residence, Fatih Mosque Library, Hoca Ahmet Yesevi Tomb projects are studied and evaluated as underpinning applications.

1. GİRİŞ

Temel takviyesi, mevcut yapının değişen koşullara uyum sağlaması için yapılan temel ile ilgili uygulamalardır. Sebeplerini gruplandırarak olursak mevcut yapı yakınlarında yapılan kazılar, yapılarda kat ilavesi gibi değişiklikler, zeminde kuruma veya ağaç köklerinin etkisi, sanayi yapılarında makinelerin değişikliği ve temele etkileri, ahşap kazıklarda çürüme ve bozuşma, sülfatlı ortamdaki temel donatılarında paslanma ve temel betonunda bozuşma, farklı oturma sonucu yatma veya yapısal hasar oluşması, mevcut yapıyı koruma, yeraltı su seviyesinin değişmesi sonucu oluşan etkiler olarak sıralayabiliriz.

Yapılarda ortaya çıkan hasarlar, yapı elemanlarında çatlama ve ayrılmalar, yapının bütün olarak batması veya düşeyden sapması şeklinde gözlenmektedir. Temel takviye yöntemine karar vermeden önce; sondajlar, deneme çukurları ve numuneler üzerinde yapılacak laboratuvar deneyleri ile dikkatli bir zemin incelemesi yapılmalıdır. İnşaat planlaması aşamasında çok çeşitli teknik incelemeler ile ayrıntılı zemin ve yeraltı suyu araştırmalarının sonuçları gereklidir.

Tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken konular; etkilenen binaların hizmet alanı, değeri, fırsat maliyeti, yapısal durumu, tazminat maliyetleri, proje konusu yapının değeri, temellerinin tipi, durumu ve güvenliği, proje konusu yapı tarihi ise veya etkilenen binalar içerisinde tarihi olanlar varsa korunma durumları da göz önüne alınmalıdır.

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.

Bir yapının temelini desteklenmesi yöntemlerinin seçiminde etkin birçok faktör vardır. Bu faktörler statik dinamik sabit ve hareketli temel yükleri, mevcut yapının ve etrafındaki yapıların temellerinin durumları ve yapısal durumları, izin verilebilecek yapısal hareketin tipi ve büyüklüğü, temel altı zemin ve yeraltı suyu durumları, ek yüklerdeki artmalarda da azalmalar, yapının genel dengesi (deprem ya da heyelan

bölgesi olma olasılığı), sismik yüklenme olarak sıralanabilir. Farklı yöntemlerin uygulanabilirliği ön inceleme sonuçlarına, etkilenen binaların yapısal performans ve korunma durumlarına bağlıdır.

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 gereklidir. Zemin ile ilgili araştırmalar sırasında daha önceden bilinmeyen durumlar ortaya çıkabilir ve bu durum tasarım değişikliklerini gerektirebilir. Yapısal araştırmalar sırasında mevcut temel sistemi sorgulanır ve bu sorgulamalar sırasında temel sistemine ilişkin farklı durumlarla karşılaşılabilir. Tasarımın ilk aşamasında değişik çözümlerin karşılaştırılması genellikle mümkün olmaz, çünkü bina maliyetleri ve diğer ek maliyetlerin bilinmesi genellikle mümkün değildir. Ancak uygulanacak tasarımın maliyeti her zaman önemli bir etken olmuştur. Mesken 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 ölçüm sistemi kurulmalı ve takip yöntemi belirlenmelidir. 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 gerekliliktir.

Temel takviyesi ve temel altı kazıları disiplinler arası bir çalışmadır. Bu çalışma, proje sorumlusu, geoteknik mühendisi, yapı mühendisi, yapının geçmişi hakkında bilgi sahibi olan uzman ve uzman inşaat mühendisi arasında çok yoğun bir diyalog gerektirir.

Temel takviyesi ve temel altı kazıları, yerel zemin şartlarına çok büyük ölçüde bağlı olan özel inşaatlardır. Her proje benzersizdir. Her proje için özel inşaat teknikleri kullanılmaktadır. İnşaat riskleri ve yasal riskler olduğundan pahalı çözümler oluşmaktadır. Mevcut yapıların temellerine ulaşım genellikle kısıtlıdır. Bu durum hem araştırmaları yürütmeyi hem de projenin gerçekleştirilmesini zorlaştırır.

Temel takviye yöntemleri, temelin genişletilmesi ve derinleştirilmesi gibi geleneksel yöntemler, temel altı zeminin iyileştirilmesine dayanan yöntemler ve yapı yükünün daha derindeki sağlam zemine aktarılmasına dayanan yöntemler olarak üç ana başlık altında toplanabilir[11,37,49].

2. TEMEL TAKVİYESİ UYGULANMASININ NEDENLERİ

Temel takviyesi üst yapı mekaniği, malzeme özellikleri, zemin mekaniği ve geoteknik mühendisliği ile tarih bilgisi içeren çok kapsamlı bir konudur. Eski eserlerin yanında çok sayıda yeni yapı da yanlış tasarım, zemin şartlarını doğru değerlendirememesi neticesinde hasara uğramakta ve temelleri ile ilgili takviye ve düzeltme gerekmektedir.

Eski ve tarihi yapıların yenilenmesi veya bunlara yeni bir işlev kazandırılması için öngörülen değişiklikler, yapı yüklerinin artmasına neden olabilir. Bu yüzden eski eserler hem üst yapıda hem de temellerde olmak üzere takviye edilmektedir. İkinci sınıf eski eser olarak tanımlanan yapıların dış cephelerinin korunması kaydı ile, içlerinde yapısal değişikliklere izin verilmektedir. Bu gibi değişiklikler ve ilave yükler, önemli temel sorunları çıkarabilmektedir.

Ayrıca, yapıların stabilitesinin çeşitli nedenlerle tehlikeye girmesi halinde, korunması ve iyileştirilmesi için de temel takviyesi gerekebilir.

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

- Mevcut yapı yakınlarında yapılan kazılar: Mevcut yapıların yakınından boru, kanal, tünel vs, geçirilmesi, komşu arsada derin bir kazı yapılması, madencilik faaliyetleri, benzer şekilde metro kazıları veya sokak kotunun alçaltılması sığ temelli yapılarda oturmalara ve temel zemininde hareketlere yol açar. Yapıyı emniyete almak amacı ile temellerin takviyesi ve derinleştirilmesi gerekebilir.
- Mevcut yapılarda değişiklikler: Mevcut yapılarda asma kat eklenmesi gibi değişiklik yapılması, yapı yüklerinin kaldırılması veya bodrum kazanmak için kazı yapılması sonucu zeminde önemli kalıcı ya da elastik deformasyonlar meydana gelebilir ve temel takviyesi gerekebilir. 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 taşıyabilmesi için takviye gerekir.

- Zeminde kuruma veya ağaç kökleri: Killi zeminlerin kurumasından veya ağaç köklerinden kaynaklanan oturmalar meydana gelebilir. Kurumaya karşı 1.50 m derinliğe inen sığ bir temel takviyesi yeterli olabilir. Ağaç köklerine karşı ise, temel takviyesi kök sisteminin iyice aşağısına doğru indirilmelidir.
- Sanayi yapıları: Endüstrinin devamlı gelişme sürecinde olması nedeni ile fabrikaların yeni üretim yöntemlerini benimsemeleri sonucunda bu yöntemlerin gerektirdiği makinelerin temellerinin imalatı için bu makinenin oluşturacağı titreşimlere karşı mevcut temellerin takviyesi zorunlu olabilir.
- Çürüme ve bozuşma (Ahşap kazıkların çürümesi, Sülfatlı ortamda temel donatısının paslanması ve betonun bozuşması): Ahşap kazıklar üzerine kurulu binaların yapısal deformasyonu sıkça rastlanılan bir problemdir. Bu deformasyon, yeraltı suyunun hareketi, ahşap kazıkların hava ile teması sonucu çürümesi ya da kazıkla zemin arasındaki sürtünme kuvvetlerinin azalması gibi nedenlerden kaynaklanabilir. Komşu yapılar mevcut temellerin zemin desteğini azaltabilir.
- Dalga etkisi: Yalı temeli gibi su ile irtibatta olan zeminlerde dalga hareketi veya vapur iskelesinin yakınlığı gibi denizde çalkantıya neden olan durumlarda oyulmaların ve oturmaların önlenmesi için temel takviyesi gerekebilir.
- Oturma: Bu durum binanın düzensiz yük yapısından, ağaç köklerinin ya da kohezyonlu zemin davranışlarından dolayı zemin hareketinin düzgün olmayan direncinden kaynaklanabilir. Düzenli veya farklı oturma şeklinde meydana gelebilir. Düzenli oturmada sıkışabilir zemin katmanı kalınlığı yapının altında aynı olduğu için yapı bütün olarak oturur. Yapının temel sistemi ve yapısı yeterince esnek veya sehimlere karşı yeterince rijit ise yapının kendisine zarar gelmez ancak çevreyle olan bağlantılarında problemler olduğu gözlenir. Yapı altındaki sıkışabilir zemin katmanı kalınlığı farklı ise, ağaç kökleri gibi yerel farklılık yaratan bir durum var ise veya yük sisteminde oluşan bir değişiklik kısmî etkilere sahipse farklı oturma oluşur. Yapı ve temel sistemi yeterince mukavemetli ise dönme ve yana yatma olarak gözlenir. Yapının mukavemetli olmadığı durumlarda çatlaklar, ayrılmalar şeklinde gözlenir.
- Koruma amacıyla: Yapıların stabilitesinin herhangi bir nedenle tehlikeye girmesi halinde, korunması ve iyileştirilmesi için temel takviyesi gerekebilir. Nedenlere deprem örnek verilebilir. Bazı durumlarda binada bir yenileme yapılmasa bile deprem güvenliği ve yönetmeliklerin yeniden gözden geçirilmesi durumlarında, yapının faydalı ömrünün arttırılması amacıyla binada takviye gerekebilir.

- Yeraltı su seviyesinin değişmesi: Yeraltı su seviyesinin değişmesinin yol açacağı ilave oturmalarla karşı da önlem alınması gerekir. Özellikle problemli zeminler olarak bilinen çöken zeminler, büyük oturmalarla veya şişen zeminler kabarmalara yol açabilmektedir. Yeraltı su rejiminde değişiklikler, su çekme, kontrolsüz kuyu açılması veya tam tersi olarak yer altı su seviyesinin yükselmesi gibi durumlarda müsait zeminlerde oturmalar oluşur. Özel durumlar olarak aşırı buharlaşma sonucu rötre oluşabilir.

Görüldüğü gibi oldukça çeşitli nedenler yapıların takviyesine yol açabilmektedir. İnceleme ve tasarım aşamasında oldukça dikkatli olunmalı ve sebepler iyi tahlil edilmelidir. Çözüme giden yolda bu sebeplerden hangisi veya hangilerinin etkili olduğu hem kılavuz olacak hem de yöntemi belirleyecektir[11,13,37,49].

3. TEMEL TAKVİYESİ VE TEMEL TAKVİYE YÖNTEMLERİNİN SINIFLANDIRILMASI

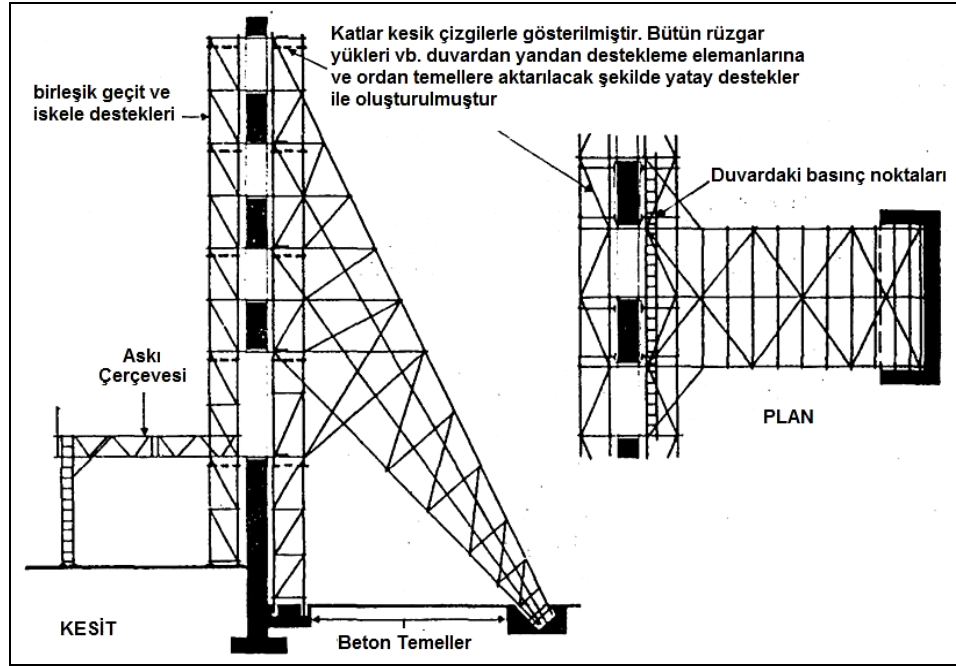
Son yıllarda gelişimi hızlanan yeni yöntemlerle çok farklı sistemler, projelerde tek veya birlikte çözüm olabilmektedir. Bu yöntemler temel takviyesi işlerinin yoğun olarak gerçekleştirildiği, tarihi eser yoğunluğu ve zemin özellikleriyle ön plana çıkan İtalya ayrıca bilimsel çalışmaları ve teknik gelişmelere önderlik etmesi sebebi ile Almanya gibi ülkelerde başlayarak yayılmaktadır. Teknoloji, komplike projelerdeki gereksinimler, imalat tekniklerindeki gelişmeler, arazi deneyimlerinin makine ve ekipmanların gelişimini yönlendirmesi yöntemlerin gelişmesini ivmelendirmiştir. Gelişen yöntemler geleneksel yöntemlere ilave yeni sistemlerin uygulanmasına imkan vermiştir. Temel takviye yöntemlerini dayandıkları esaslara göre sınıflandıracak olursak üç ana başlık ön plana çıkmaktadır.

1. Geleneksel temel takviye yöntemleri. Bu gruba dahil yöntemler ile temelin genişletilmesi ve/veya derinleştirilmesi yoluyla temel davranışının iyileştirilmesi amaçlanır.
2. Zemin iyileştirme esasına dayalı yöntemler. Bu grupta temel zemini, çimento enjeksiyonu, kimyasal enjeksiyon veya jet enjeksiyon (jet grouting) kullanılarak iyileştirilir.
3. Temel yüklerini derindeki taşıyıcı tabakaya aktarmak için kullanılan yöntemler. Bu amaçla fore kazıklar, itmeli kazıklar, mini ve mikro kazıklar, jet grout (jet enjeksiyon) kolonları kullanılır [1].

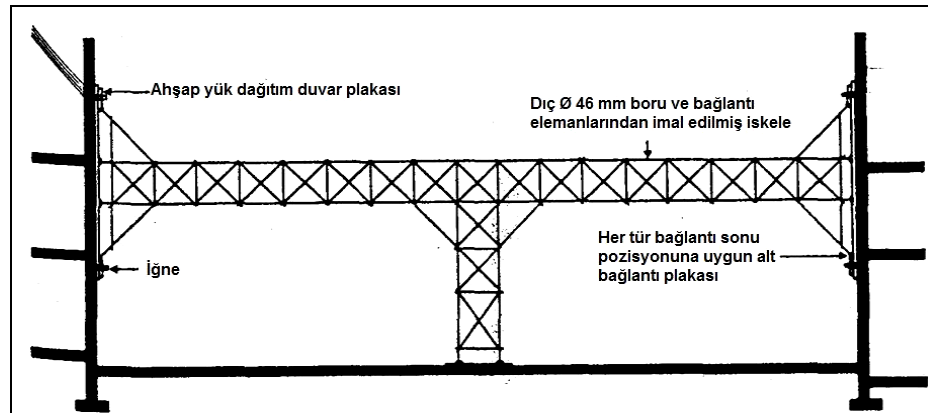
3.1 Geleneksel Yöntemler

Temel takviyesinde geleneksel yöntemlerden 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 veya yapı yüklerinin çok büyük olması durumunda da bir ilave beton kütlesi kabul edilemeyecek oturmalara neden olabileceğinden uygulanamamaktadır.

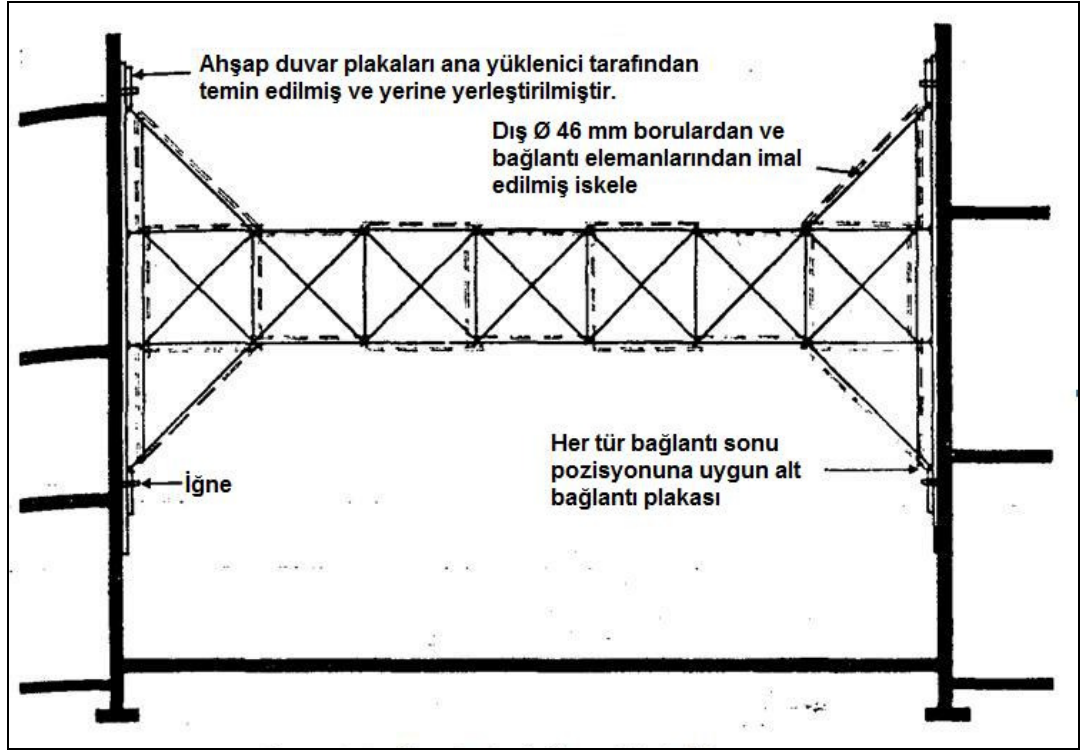
Bu yöntem sığ takviye olarak da adlandırılmakta, genellikle en fazla 4-5 m derinlikte ve yeraltı su seviyesinin daha düşük olduğu hallerde, planlı bir şekilde yapılan kazı ile yapının altına girilip yeni temel oluşturulması veya mevcut temelde değişiklikler yapılmasıdır. Genellikle duvar altlarına bir işçinin çalışabileceği dar ano çukurlar açılarak çalışılır ve aynı anda açılan iki ano arasında 2-3 ano atlanarak yapılır (bkz. DIN 4123). Kalıcı bir takviye yerine bazı durumlarda binayı askıya alarak uygulama yapılabilir. Askıya alma yöntemi, bina katları ve zeminde oluşturulan taşıma plakası arasında yandan destekleme elemanları (Şekil 3.1), karşı bina veya yapı ile mevcut yapı arasına yere bağlantısı olmayan havada destek elemanları (Şekil 3.2 ve Şekil 3.3) veya 'iğne' diye tabir edilen destekler oluşturulması ile binaya ölü destekler (Şekil 3.4) bağlanması ile yapılabilir.



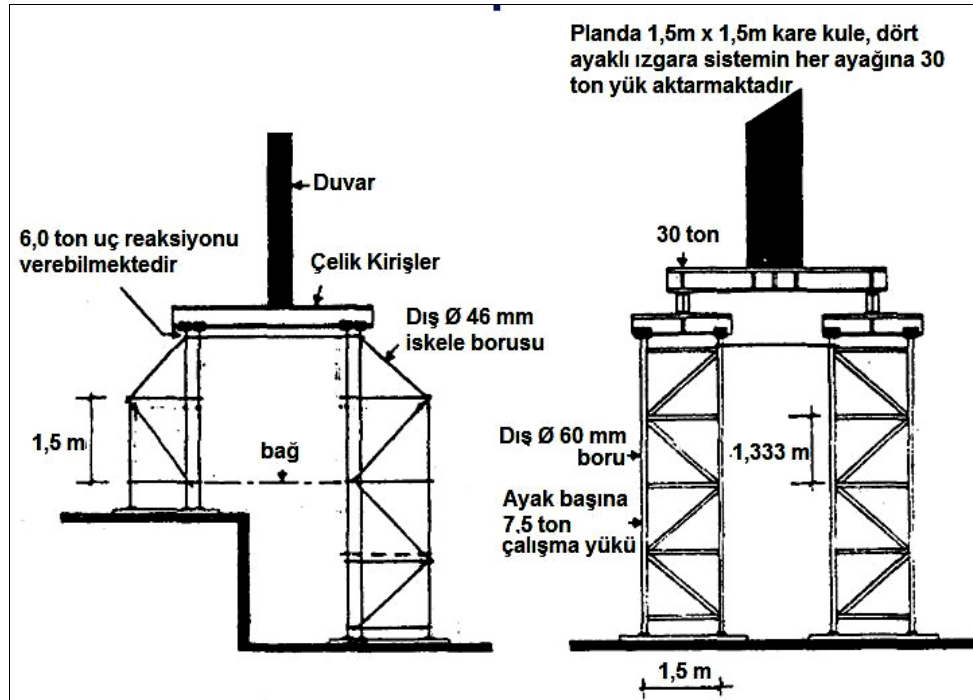
Şekil 3.1: Çift taraflı yandan destekleme iskelesi [2]



Şekil 3.2: Orta destek kuleli havada destekleme iskelesi [2]



Şekil 3.3: Havada destekleme iskelesi [2]



Şekil 3.4: (Solda) Boru ve bağlantı elemanlarından oluşan ölü destekleme iskelesi (Sağda) 30 elemandan imal edilmiş üçlü kafes sistem ölü destekleme iskelesi [2]

Geleneksel temel takviyesi 1972 DIN 4123 normuna göre kazı ve temel takviyesi alanındaki bina güvenliğinin sağlanması şeklinde tanımlanmıştır. DIN 4123 normu mevcut binaların yanında kohezyonsuz ya da kohezyonlu zeminlerde yapılan kazı ve temel işleri için geçerlidir. Geçerli olduğu durumlar:

- Beş tam kattan daha fazla olmayan ya da 250 kN/m temel yükünden fazla yüke sahip olmayan mesken ya da büro binalarında, ya da aynı yükseklikte ve temelleri 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

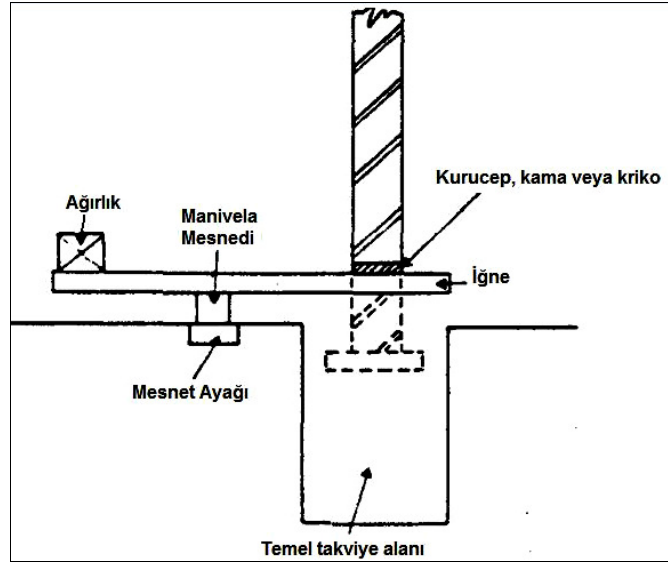
Bu gruba sadece kazı yapılarak temelin boyutlarının değiştirilmesi veya altında beton kütle imalatı olarak değil yatayda yapılan delgiler ile boru sürerek elde edilen yatay ızgara takviye tipi de dahil edilebilir.

Yumuşak kohezyonlu zeminlerde ve kohezyonsuz daneli kuru kumlarda ve çakıllarda geleneksel temel takviyesi yöntemi uygulanmamalıdır.

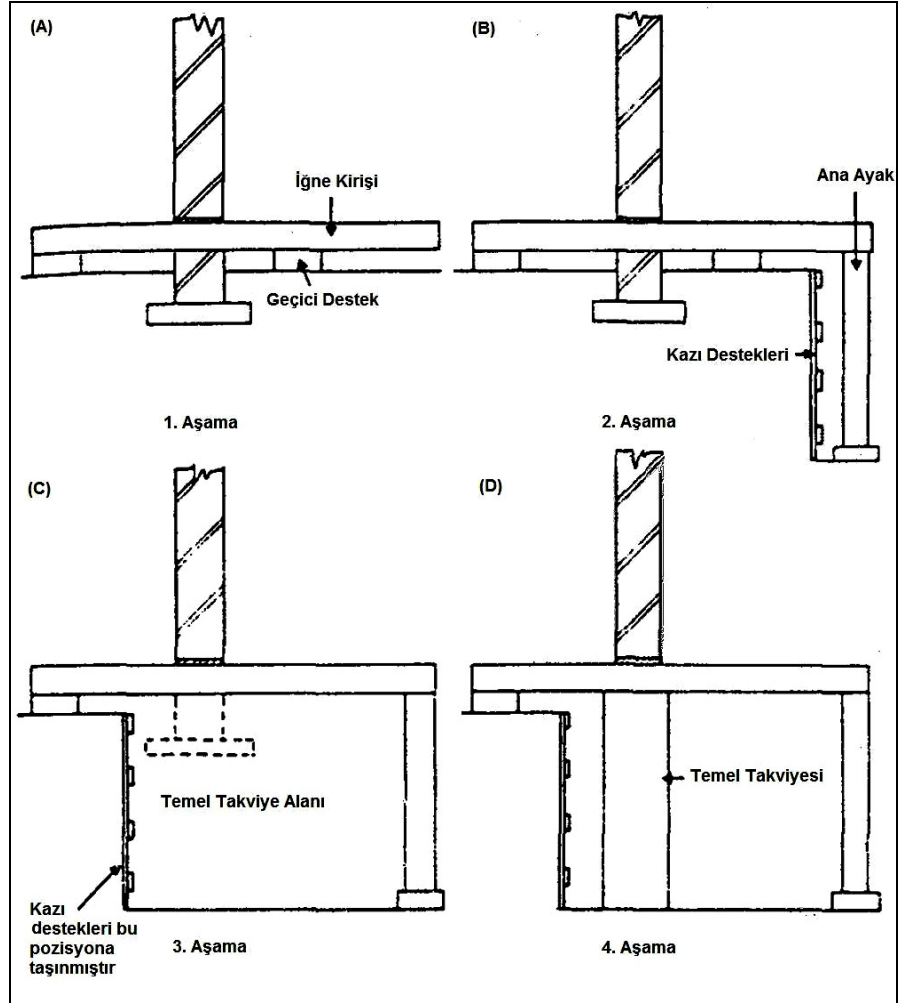
Mütemadi (sürekli) bir sömelin takviyesi için temelin altı, anolar halinde kazılır. Desteksiz bırakılabilecek mesafe, usulüne göre inşa edilmiş tuğla duvarlarda 1.50-2.00 m'yi geçmemelidir. Herhangi bir aşamada desteksiz kalacak uzunluk, yapı uzunluğunun dörtte birinden fazla olmamalıdır [3].

Betonlama, mevcut temelin 5-10 cm altına gelene kadar sürdürülmeli, betonun prizi ve çekmesi beklenmelidir. Daha sonra tam temas sağlama amacı ile kuru harç, çimento enjeksiyonu ve/veya plaka kullanılabilir.

Temel takviyesi inşası, elle kazma ve ulaşması sınırlı mekanlara girmeyi gerektirir. Böylece temel altında boşluklar yaratılabilir ve betonarme tesis edilebilir ve ana yapının deformasyonunu engellemek için bir dizi işlem gerçekleştirilebilir (Şekil 3.5 ve Şekil 3.6).



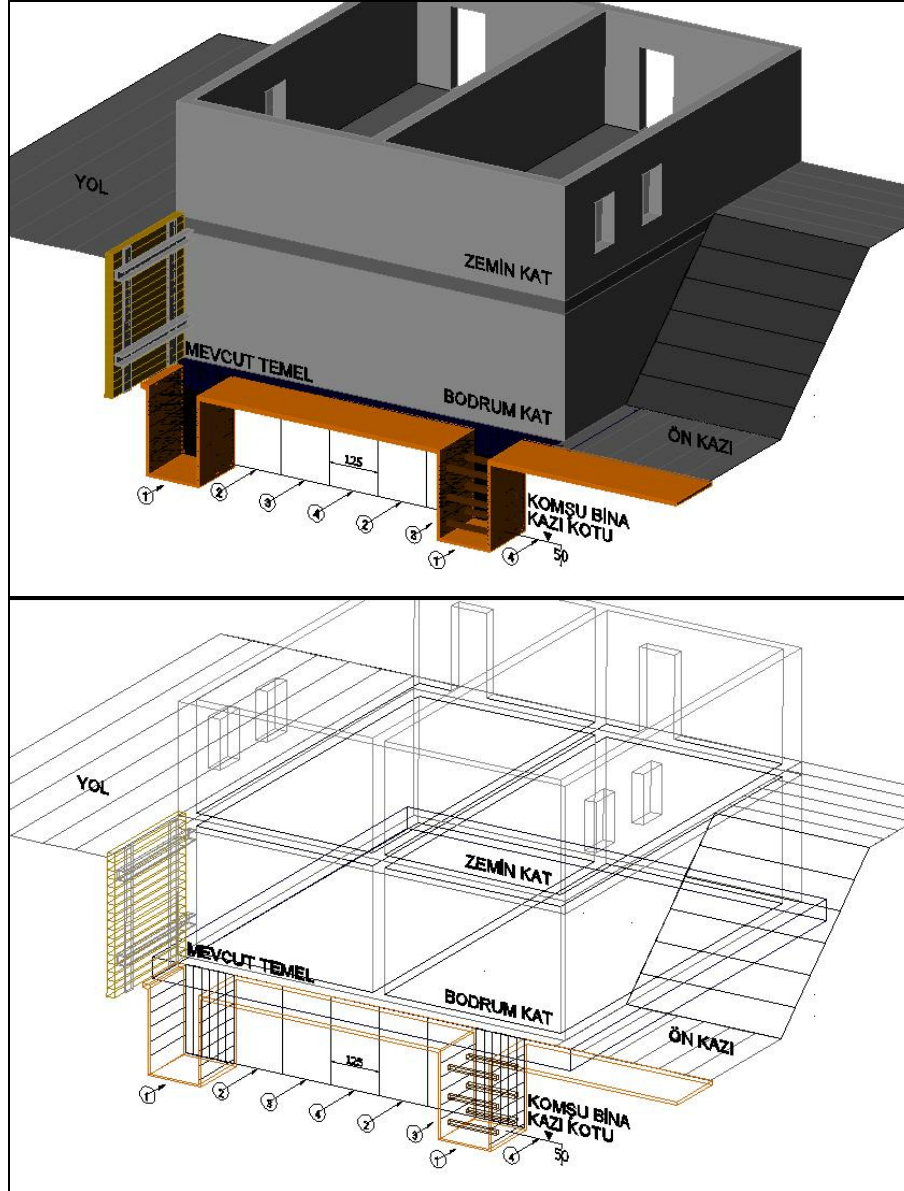
Şekil 3.5: Duvarın bir tarafında girişin mümkün olmadığı durumda destek manivelası [2]



Şekil 3.6: Basit iğne ve ana ayak ile destekleme sistemi [2]

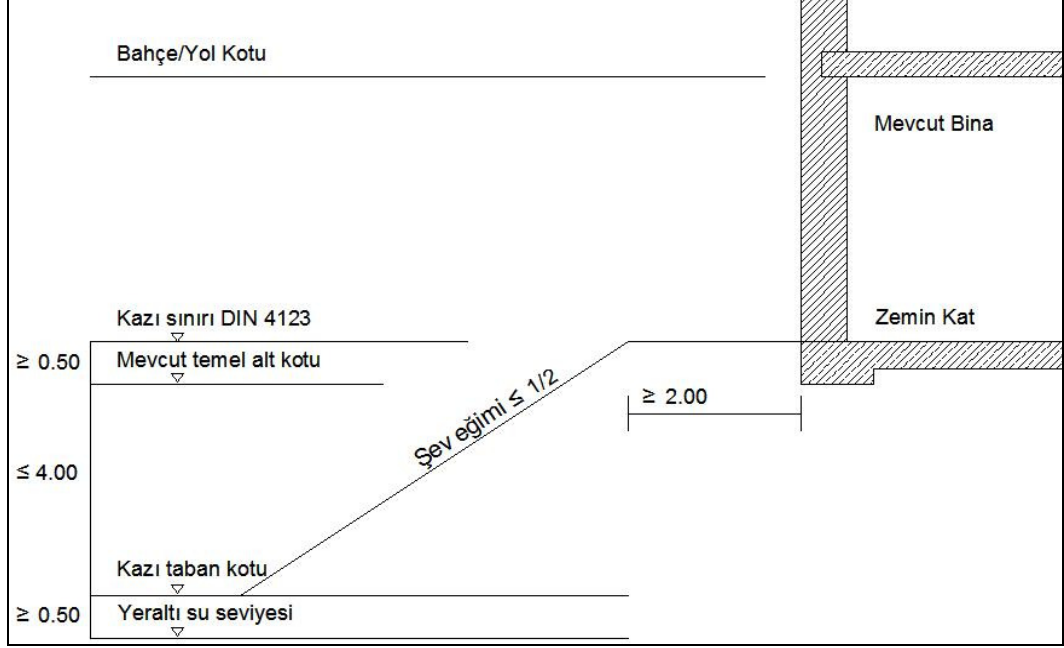
Temel altında kazı yapılması yöntemi uzun bir geçmişe sahip olmasına rağmen yapıda ortalama deformasyona neden olur ve güvenli olmayan çalışma koşulları sağlar. Son 20 yıl boyunca, birçok temel takviyesi yöntemi daha az deformasyona neden olmuş ve daha hızlı, daha ucuz ve güvenli sonuçlar vermiştir.

Sadece dış duvarların temel takviyesi gibi binanın sadece bir bölümünün temel takviyesinin söz konusu olduğu durumlarda, temel altındaki zemin kazılır. Daha derin temel elde edebilmek için, tuğladan ya da betondan bir duvar paneli mevcut temel ile yeni temel arasında oluşturulur (Şekil 3.7).

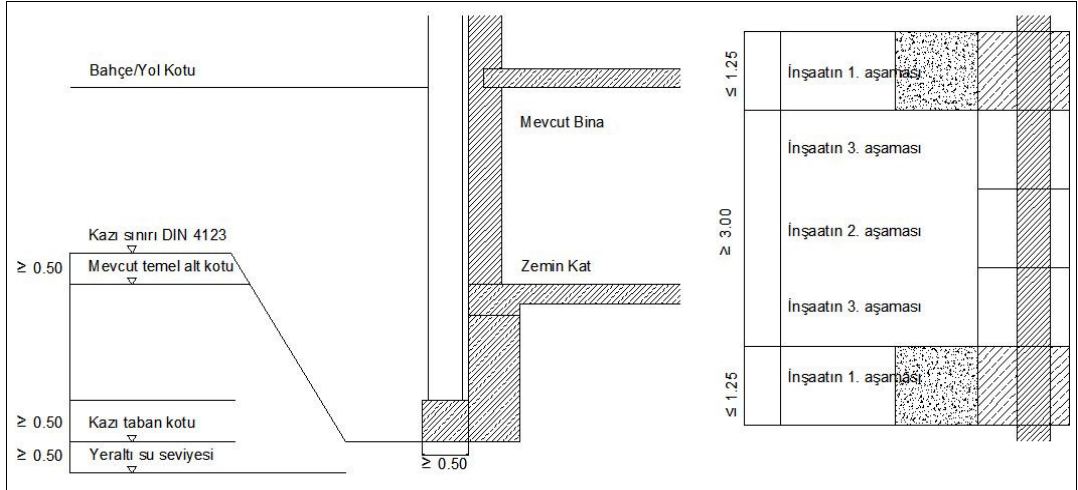


Şekil 3.7: Geleneksel temel takviyesi yönteminin aşamaları

Bu temel takviyesi yöntemleri ile ilgili koşullar ve inşa tekniklerinin anlatıldığı Alman DIN 4123 gibi standartlar özel durumlarla sınırlıdır. Basit durumlarda bile, temeldeki ya da temelden daha derin seviyelerdeki kazılara, yeterli destek olmadığı sürece izin verilmemelidir. DIN 4123 standardına göre komşu bina yakınında yapılacak kazı ve temel imalatlarında uyulması gerekli sınırlamalar Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da görülmektedir [3].



Şekil 3.8: DIN 4123’e göre kazı yapılmasının sınırlamaları



Şekil 3.9: DIN 4123’e göre temel takviyesinin adımları ve inşaat boyutları

Yerleşim alanlarındaki temel altı zemin araştırması, ulaşım sorunlarından dolayı istendiği kalitede gerçekleşmeyebilir. Bu nedenle zeminin katmanları ve yeraltı suyunun koşulları hakkında genel bir bilgi edinmek için maliyeti aşırıya kaçmayacak

bir ön inceleme yapılması uygun olabilir. Detaylı zemin incelemesi ise, mevcut binanın tahrip olması ile bağlantılı olarak gerçekleştirilebilir. Burada amaç, sadece gerçek zemin koşulları ile ilgili tam bir değerlendirme yapmak değil, aynı zamanda temel takviyesi yapılacak bina ile ilgili mevcut dökümanların ön tasarım varsayımları ile uyuşup uyuşmadığını kontrol etmektir.

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'nden fazlasına zorlanmamalıdır [3].

Temel takviyesi duvarı için önerilen yapı malzemeleri dolu tuğla, beton briket veya minimum C25/30 kalitesinde betondur.

Özellikle eski yerleşim bölgelerinde, yerel dolgular, eski kuyular, eski temeller ya da tarihi temeller gibi beklenmeyen durumlarla karşılaşılabilir. Eski ve tarihi binaların temel takviyesi için, yük transferi ile ilgili deneyim gerekli olmaktadır [3].

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.

Kısmî olarak ayrılmış ve aşınmış kayanın olduğu sert zeminlerde, mali nedenlerden dolayı temel takviyesi yerine zemin çivileri yeterli olabilir.

Temel takviyesi çalışmaları nedeniyle, hareketlerin etkilerinin akışı geçici veya 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

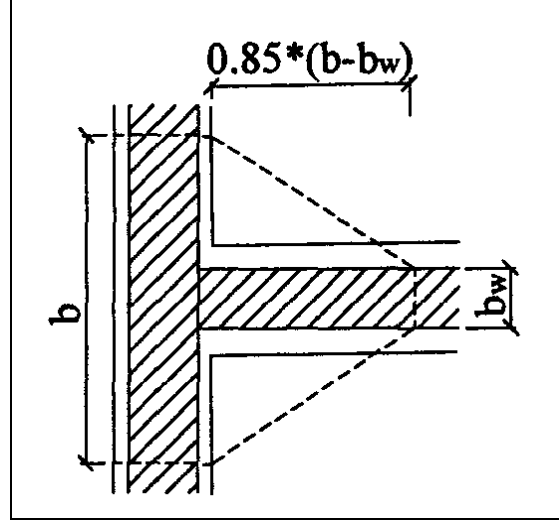
ölçüsünü ve sırasını belirlemektedir. Diğer bir kural ise Şekil 3.7’de görülebileceği gibi temel takviyesine, en fazla yük alan duvarlardan ve köşelerden başlanması gerektirir.

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 ulaşıncaya kadar ön gerilme verilir. İlk oturmalarından sonra, yüklenmiş duvar çelik millerle sabitlenir, hidrolik ön gerilme elemanı çıkarılır ve boşluk yukarıda bahsedilen şekilde doldurulur [3].

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 [3].

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 3.10).



Şekil 3.10 : 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. Kısmî 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 [44] (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9).

3.2 Zemin İyileştirme Esasına Dayanan Yöntemler

3.2.1 Zemin İyileştirmesi Hakkında Genel Değerlendirmeler

Yeni yöntemlerin ortaya çıkması ile birlikte, temel takviyesi yük transferi dışında zemin iyileştirme işlemleri ile veya her iki yöntemin birleştirilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Yük transferi yöntemleri, yapısal yükleri destek için daha uygun bir alt tabakaya aktarılması esasına dayanır. Zemin iyileştirme işlemleri ise, mevcut zemini değiştirmeden ancak zeminin fiziksel özelliklerini değiştirerek zeminin güçlenmesini ve daha destekleyici olmasını sağlarlar. Bazı durumlarda, takviye işlemleri hem temeli güçlendirmek hem de yükleri transfer etmek olarak uygulanır.

Zemin iyileştirmesi, zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi olarak tanımlanmaktadır [4]. Zeminin iyileştirilmesi ile mevcut zeminin

- Kayma mukavemeti artar,
- Gerilme-deformasyon modülü artar,
- Sıkışabilirliği azalır, şişme ve büzülme potansiyeli kontrol altına alınır,
- Permeabilitesi azalır,
- Çevre koşullarına bağlı olarak fiziksel ve kimyasal değişimleri önlenir,
- Sıvılaşma potansiyeli azalır.

Günümüzde, yeni yapılacak yapılar ile mevcut olan yapıların zemininde karşılaşılan problemlerin çözümünde uygulanan zemin iyileştirme tekniklerinde önemli gelişmeler kaydedilmiştir [5].

Zeminin iyileştirilmesinde temel ilke, zemin içersindeki mevcut boşlukların mekanik araçlarla azaltılması, zemin boşluklarının çeşitli bileşimdeki karışımlarla doldurulması, yeraltı su seviyesinin düşürülmesi veya zeminin su içeriğinin azaltılması ya da çeşitli elemanların kullanılması suretiyle mevcut zeminin güçlendirilmesidir [4,5].

Zemin iyileştirme yöntemleri ile ilgili detaylı bilgi tablosu Tablo A.1 olarak eklerde yer almaktadır.

Çok değişik zemin ıslah yöntemleri mevcuttur. İlk olarak zemin ıslah yöntemleri:

- Kohezyonlu zeminlerde uygulanabilen yöntemler
- Kohezyonsuz zeminlerde uygulanabilen yöntemler

olarak ikiye ayrılabilir. Çeşitli zeminlerde uygulanabilen çeşitli ıslah yöntemleri Tablo 3.1’de verilmektedir. Ayrıca zemin iyileştirme yöntemleriyle ilgili daha detaylı ve sistematik bilgi veren zemin iyileştirme yöntemleri özet tablosu Tablo A.1 olarak eklerde görülmektedir [6].

Tablo 3.1: Zeminlerde uygulanabilen çeşitli ıslah yöntemleri

ÇAKIL	KUM	SİLT	KİL
VİBROKOMPAKSİYON			
PATLATMAYLA SIKIŞTIRMA			
DANELİ ENJEKSİYON			
KOMPAKSİYON KAZIKLARI			
BİTÜMLE STABİLİZASYON			
ÇİMENTO İLE STABİLİZASYON			
KİMYASAL ENJEKSİYON			
KOMPAKSİYON (DEPLASMAN) ENJEKSİYONU			
ÖN YÜKLEME			
DİNAMİK KOMPAKSİYON (AĞIRLIK DÜŞÜRME)			
ELEKTRO OZMOZ			
ZEMİN GÜÇLENDİRMESİ (DONATILI ZEMİN)			
ISIL İŞLEMLER			
ZEMİN YERDEĞİŞTİRMESİ			
ISLATMA			
KİREÇLE STABİLİZASYON			

Diğer bir sınıflandırmaya göre zemin iyileştirme yöntemleri üç ana gruba ayrılmaktadır [8].

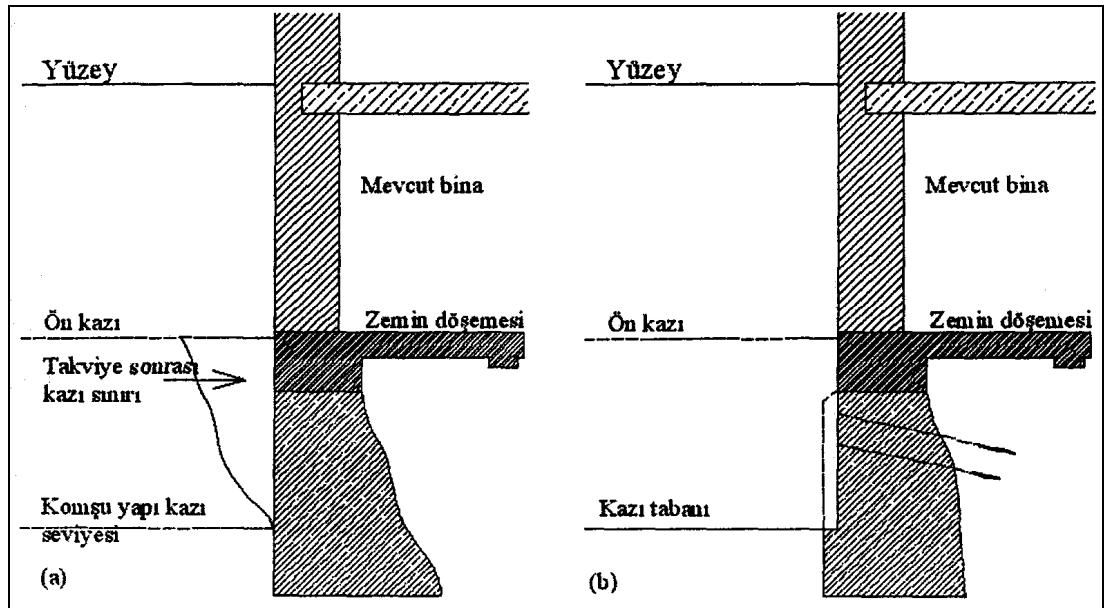
- Zemini geçici olarak iyileştirme teknikleri
- Herhangi bir madde katmadan zemini kalıcı olarak iyileştirme teknikleri
- Çeşitli maddeler katarak zemini kalıcı olarak iyileştirme teknikleri

Yeraltı su seviyesinin düşürülmesi, ısıl işlemler (zeminin dondurulması) ve elektro osmoz zemini geçici olarak iyileştirme teknikleri içerisinde yer almaktadır. Yüzey kompaksiyonu, patlatma ile sıkıştırma, vibro-kompaksiyon ve dinamik konsolidasyon, ikinci grupta sözü edilen ve herhangi bir madde katmadan zemini kalıcı olarak iyileştirme teknikleri içerisinde yer almaktadır. Kireç, çimento, bitüm

gibi katkı maddeleri ile zeminin üniform bir şekilde karıştırılması, kireç kazıkları, zeminin değiştirilmesi, ön yükleme ile birlikte dikey drenlerin kullanılması, enjeksiyon ve geotekstiller ile stabilizasyon ise çeşitli maddeler katarak zemini kalıcı olarak iyileştirme teknikleri içersinde yer almaktadır [6,8].

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.

Geleneksel bir yöntem olan kısmî temel takviyesine karşılık, temelin altındaki zeminin önceden stabilize edildiği ve sertleştirildiği durum Şekil 3.11’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 altı 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 [4].



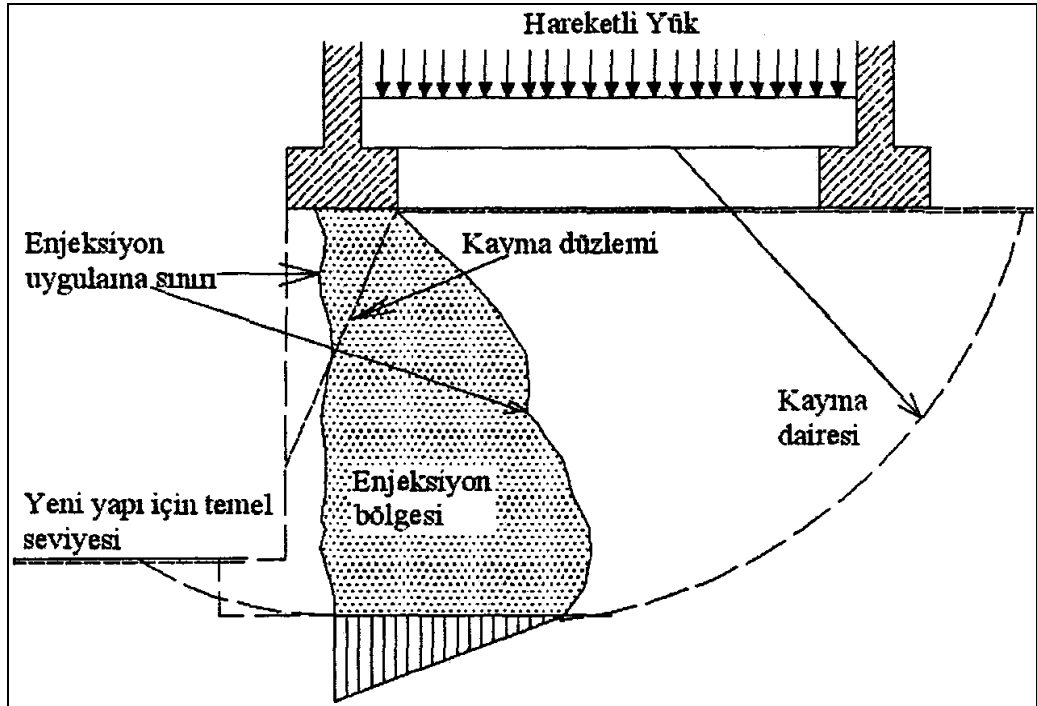
Şekil 3.11: Zeminin konsolide olması durumunda temel takviyesi a) ağırlık duvarı b) ankrajlı duvar

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, mikro 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 [3].

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 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 [3].

Geleneksel temel takviyesi uygulamasında olduğu gibi, jet grouting 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 3.12).



Şekil 3.12: Enjeksiyon ile temel takviyesi sisteminin statik hesap verileri [49]

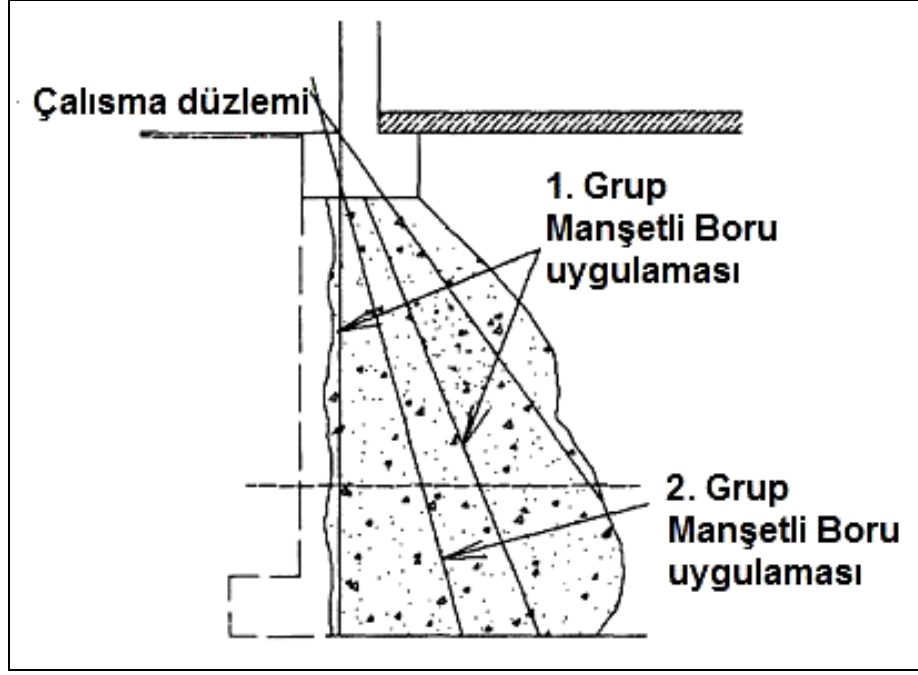
Kayma, eğilme, egzantrisite, taşıma gücü ve izin verilen taban basıncı kontrol edilmelidir. Temel takviye elemanı hareketli yükün en büyük değerine göre, kaymaya karşı direnç bakımından tahkik edilmelidir. Deplasman analizi de gerekli olabilir. Beton paneller ile yapılan temel takviyesine karşılık zemin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

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 2.12’de görülmektedir. İzin verilen kayma gerilmesi $\tau = 0.2 \sigma_D$ formülü ile değerlendirilebilir [3].

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.

Silikat jel ile yapılan enjeksiyon sırasındaki sondaj deliği düzenlemesi Şekil 3.13’de görülmektedir. Boşluk ve eğim tahmini kapsama bağlıdır ve bu kapsam enjeksiyon malzemesine, zeminin granüler yapısına ve enjeksiyon basıncına bağlıdır. Her nozul 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, monitörün 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 [3].



Şekil 3.13: Enjeksiyon için manşetli boru uygulaması

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.

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 nozuldan 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 [3].

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, sürşarjı ve dane ölçüsünün dağılımı ile belirlenir. Kohezyonlu zemindeki önemli faktörler, kohezyon, tutarlılık ve plastikleştirme gibi özelliklerdir. Uygulayıcı tarafından seçilen parametreler süspansiyon kompozisyonu (Su/Çimento 0.5-1.5), nozuldaki 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.

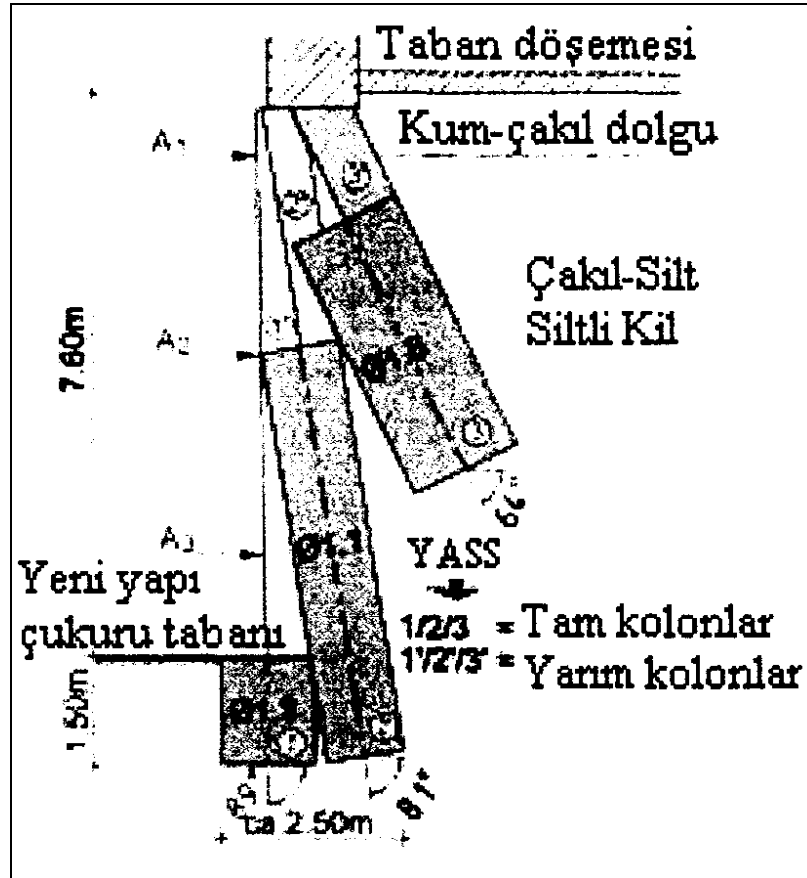
Temel altındaki boşlukların enjeksiyon ile doldurulması işlemleri sırasında temel altı malzemesi yük etkisine maruz olduğundan başlangıçta yerel olarak sıvılaşır ve daha sonra katılaşma sırasında daha fazla dayanıma ulaşır. Uygulamanın zayıf olduğu durumlarda bu husus oturmaya ve komşu bölgelerdeki temelin 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 iç komşu duvarların ve bina köşelerinin de temel takviyesinin yapılmasının gerekli olup olmadığı incelenmelidir [3].

Kabarma ile ortaya çıkan hasar artık zemin-çimento kitlelerin kontrol edilememiş geri akışından ve çok yüksek enjeksiyon basıncından kaynaklanmaktadır. Bu durum sadece temelleri etkilemez. Daha az yüklenmiş temel döşemelerindeki 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.

Bir yandan başarılı uygulamalara ait yayımlanmış raporlar ve bir yandan da ciddi hasarlar kalite kontrolünün hem tasarımcılar hem de uygulamacılar yönünden önemini arttırmaktadır [3].

Şekil 3.14’de tam ve yarım kolonlar ile oluşturulmuş takviye yapısı 9.50 m yüksekliğinde ve 3 sıra ankrajlıdır. İmalat süresi ve maliyeti sebebi ile oldukça tercih edilen bir yöntemdir.



Şekil 3.14 : Mesken binasının temel takviyesi için tam ve yarım kolon düzenlemesi

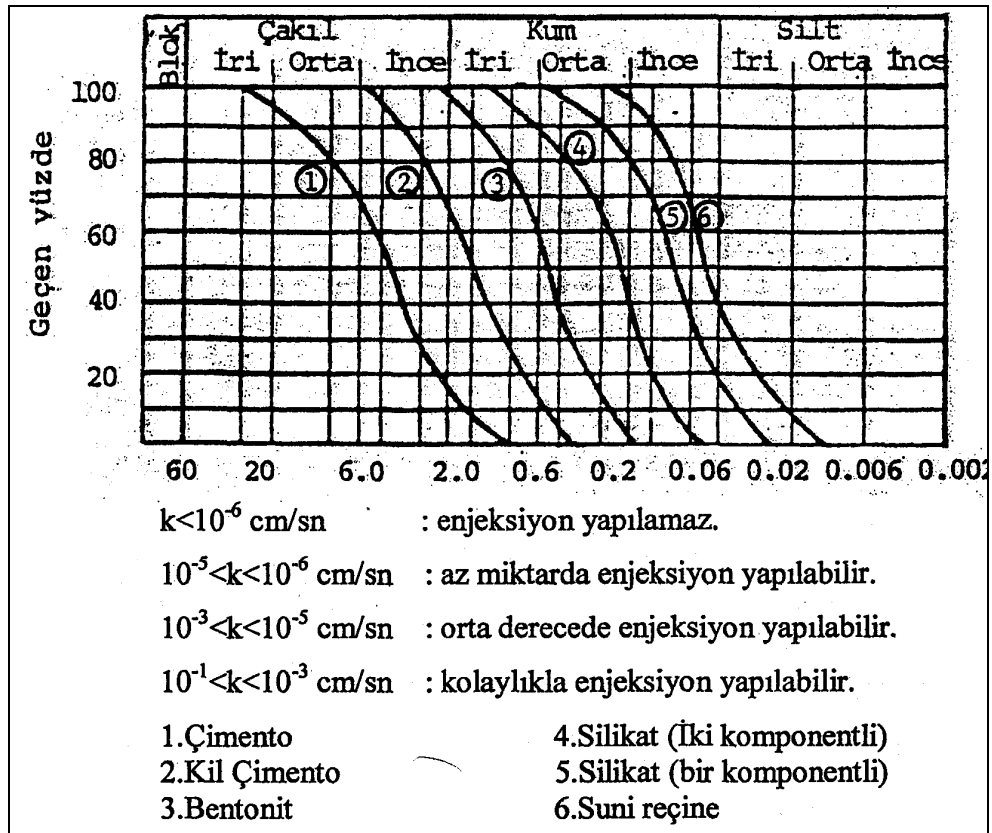
3.2.2 Enjeksiyon yöntemiyle zemin iyileştirmesi

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 [8].

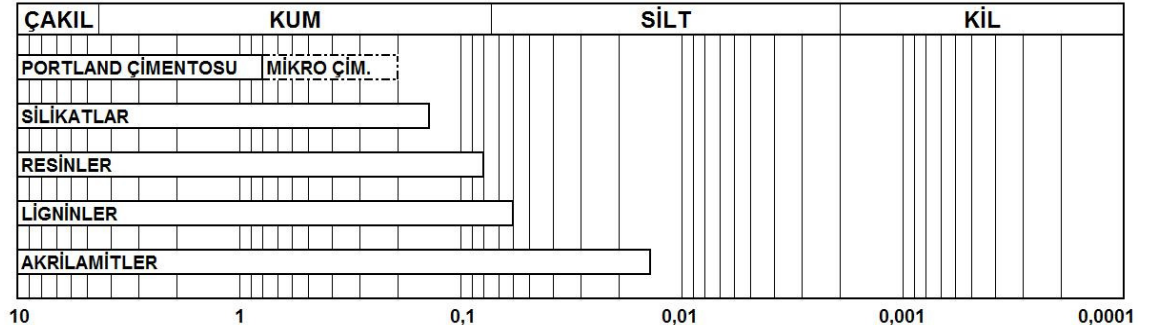
Temel zemininin veya ana kayanın kayma mukavemetini arttırmak ve geçirgenliğini azaltmak amacıyla kaya veya zemin içerisine basınç altında çeşitli bileşimdeki karışımların basılmasına “Enjeksiyon” adı verilmektedir [9].

Enjeksiyon malzemesinin zemin formasyonuna penetre olabilmesi için enjeksiyon karışımında kullanılan malzemenin dane çapının, enjeksiyon yapılacak zemin içerisindeki mevcut boşluklardan daha küçük olması gerekmektedir [10].

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. (Şekil 3.15 ve Şekil 3.16)



Şekil 3.15: Değişik enjeksiyon malzemelerinin kullanılabilirliği [12]



Şekil 3.16: Enjeksiyon malzemelerinin kullanılabildiği zemin tipi

3.2.2.1 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 metot 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. Enjeksiyon teknolojisinin tarihi gelişimi şu şekilde sıralamak mümkündür:

-1802'de Fransa'da Berigny tarafından çimento enjeksiyonu maden ocaklarında sızdırmazlık sağlamak amacıyla kullanılmaya başlandı.

-1920'de çimento enjeksiyonu baraj inşaatlarında çatlaklı kayalarda kullanılmaya başlandı.

-1925'de iki bileşenli kimyasal enjeksiyon olan Joosten yöntemi geliştirildi.

-1950'de tek bileşenli kimyasal enjeksiyon yöntemi geliştirildi.

-1970’li yıllarda kimyasal enjeksiyonların zamanla şekil değiştirme davranışları deneysel olarak incelendi.

-1980’li yıllarda çevre ve yeraltı suyu kirlenmesine önlem olarak kimyasal enjeksiyon kullanılmasında sınırlamalar getirildi ve çok ince öğütölmüş çimento (ince daneli çimento) enjeksiyonda kullanılmaya başlandı [11].

3.2.2.2 Enjeksiyonun başlıca uygulama alanları

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

- Geçirimsiz perdelerinin teşkil edilmesinde (perde enjeksiyonu),
- Aşırı oturmaların ve su kaçaqlarının önlenmesi amacıyla boşlukların doldurulmasında,
- Dinamit atımıyla 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 artırılmasında,
- Şey stabilitesinin sağlanmasında,
- Hacim değişimi gösteren zeminlerde şişme ve büzölmenin azaltılmasında,
- Boru İtme (Pipe Jacking) inşaatlarında çevre sürtölmesinin azaltılmasında.

Enjeksiyon işlemi yukarıda sıralanan kullanım alanlarında genelde şu ortamlara tatbik edilir:

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

3.2.2.3 Enjeksiyon yönteminin tayini için yapılan ön çalışmalar

Bir zemin üzerinde enjeksiyon işlemine karar vermeden önce sahanın iyi bir şekilde etüt edilmesi gerekmektedir. Bu etütlerde başlıca şu hususlar incelenir:

- Boşluk ve çatlakların yeri ve durumu
- Üç boyutlu olarak boşluk büyüklüğünün tespiti (kayaçlarda)
- Boşluklara enjeksiyon karışımının erişme durumu
- Enjeksiyon karışımının ortamda davranışı

Enjeksiyon yapılacak ortamın özelliği çok değişken olabileceğinden etüdün kapsamı enjeksiyon uygulanacak yere göre tespit edilmelidir. Enjeksiyon yönteminin tayini için yapılacak ön çalışmalar üç başlıkta toplanabilir.

- Yeraltındaki büyük boşlukların incelenmesi:

İnsan eli ile yapılmış büyük boşluklar (Galeri, kavern, içi boşaltılmış cevher damarları, kuyular), tabii boşluklar (Karstik boşluklar, mağaralar) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Büyük boşluklar genelde hava veya su ile doludur. 3 koordinatta da farklı boyut gösterebilirler. Yerleri ve büyüklükleri jeolojik bilgiler yardımı ile muayene kuyuları veya sondajlarla tespit edilir. Burada şu hususlara dikkat edilmelidir:

- a. Boşluk sınırlarının 3 boyutlu olarak tespiti
- b. Boşlukların birbirlerine bağlantılarının belirlenmesi
- c. Boşluklarda bulunması muhtemel darboğazların tespiti

- Kaya da çatlak ve yarıkların incelenmesi

Çatlak ve yarık gibi kayalardaki süreksizlik düzlemleri bir doğrultuda çok ince, diğer doğrultularda geniş alanlar kapsayabilmektedir. Çatlaklar muhtelif malzeme veya su ile doludur. Bu çatlakların durumu, sıklığı, açılan vb. bilgiler genel jeolojik esaslara göre belirlenmektedir.

- Daneli zemin durumunun incelenmesi:

Daneli zeminler için yapılan ön etütler klasik zemin etütlerinden farklı değildir. Burada daneli zeminler içinde granülometri değişimlerine dikkat edilmelidir. Bu arada yerleşim sıklığı, geçirgenlik katsayısı, boşluk oranı her tabakada tespit edilmelidir. Daneli zeminlerde örselenmemiş numune alma zor olduğundan arazi deneylerine ağırlık verilmelidir. Arazi deneyleri ile zemin tabakasının ortalama permeabilitesini belirlemek doğru bir yaklaşımdır [11].

3.2.2.4 Enjeksiyon karışımı seçiminde kullanılan kriterler

Enjeksiyon karışımını seçerken esas olarak aşağıdaki üç kriter göz önüne alınır.

- Enjeksiyonun amacı (Sağlamlaştırma veya geçirimsizlik)
- Enjeksiyon yapılacak ortamda boşluk özellikleri
- Enjeksiyon yayılma mesafesi ve karışımın akışkanlığı.

Ortamın boşluk çapları kesitte değişiyorsa, önce büyük boşluklara haiz tabaka enjekte edilir. Daha sonra daha küçük boşluklu zemine enjeksiyon yapılır.

Sağlamlaştırma amacıyla kullanılan karışımın, sertleştğinde yüksek mukavemet vereceği açıktır. Sızdırmazlık için uygulanan karışımların nihai mukavemetlerinin yüksek olması gerekmemektedir. Bunların içsel erozyona karşı koyacak mukavemette olması yeterli olmaktadır.

Enjeksiyon karışımındaki dane çapları, ortamın boşluk çapına göre ayarlanmalıdır. Boşluk çaplarının karışımın dane çapının çok üstünde olacağı açıktır. Ayrıca karışıma yeterli miktarda akışkan veya akışkanlık arttırıcı katkı maddesi ilave ederek, enjeksiyonun yeterli mesafelere erişmesi sağlanır [11].

3.2.2.5 Enjeksiyon teknikleri ve enjeksiyon işlemlerinin sınıflandırılması

Enjeksiyon uygulamaları birçok yönden sınıflandırılabilmekte ve aşağıda verilen sınıf ve gruplar ön plana çıkmaktadır.

Enjeksiyon işlemleri amaçları bakımından iki gruba ayrılırlar.

- Deney Enjeksiyonları: Proje alanında yapılacak asıl enjeksiyon işleminin özelliklerini, karakteristiklerini, maliyetini ve yapılabilirliğini saptamak için düzenlenen ön enjeksiyon çalışmalarıdır.
- Uygulama Enjeksiyonları: Denemeler sonunda yapılabilirliği belirlendikten sonra, saptanan karakteristiklere ve hazırlanan projeye uygun olarak yürütülen asıl enjeksiyon çalışmalarıdır.

Deney veya uygulama enjeksiyonunun uygulandığı yer açısından enjeksiyon çalışmalarını üçe ayırabiliriz.

- Pekişmiş formasyonlarda (Kaya ortam) yapılan enjeksiyon işlemleri
- Daneli zeminlerde yapılan enjeksiyon işlemleri
- Yapıları iyileştirme enjeksiyonları (Baraj gövdesi, tünel, temel, kanal gibi yapıların yapay ve doğal bölümlerini kaynaştırmak veya ortamın tümünü iyileştirmek için yapılan enjeksiyon işlemleridir).

Enjeksiyonlar, yapılan tüm araştırmaların sonucunda, belli bir işlevi yerine getirmek amacıyla yapılır. Bu açıdan enjeksiyon çalışmaları dört ayrı biçimde uygulanır.

- Perde Enjeksiyonları: Perde enjeksiyonları yeraltı suyuna karşı geçirimsiz perdeler veya bir başka deyişle yeraltı barajları oluşturmak amacıyla yapılır. Perde enjeksiyonları genellikle baraj ve gölet zeminlerinde yapılmakta olup belirlenmiş aralıklarla açılacak enjeksiyon sondaj deliklerinden enjeksiyon karışımları basılarak uygulanırlar. Enjeksiyon eksenini, barajın yapım biçimine bağlı olarak bir veya daha fazla sayıda olabilir.

Genellikle betonarme barajlarda baraj aksının memba tarafında, dolgu barajlarda ise baraj çekirdeği altında yer alır. Sondaj aralıkları genellikle başlangıçta 6 m olup, gerekirse ikinci aşamada ara yerlere de sondaj yapılarak aralıklar 3 m'ye kadar indirilir. Sondaj derinlikleri, geçirimsiz tabaka derinliğine yani geçirimli tabaka kalınlığına bağlıdır.

Sondaj deliklerinin jeolojik tabakalara ve çatlak sistemlerine dik olması istenir. Buna göre sondajlar eğimli olabilir. Açılan delikler enjeksiyon karışımı kabul etmeyinceye kadar, önceden kararlaştırılan basınçla karışım basılır. Başlangıç basıncı, üst tabakaların kabarmasına neden olacak kadar yüksek olmamalıdır.

- Sağlamaştırma (Konsolidasyon) Enjeksiyonları: Sağlamaştırma enjeksiyonları, bir yapının oturtulacağı zemini veya bitmiş bir yapının altında kalmış tabakaları sağlamaştırmak için veya yapı çukuru ve tünel kazılarında zemini tutmak için uygulanır.
- Dolgu (Kontakt) Enjeksiyonları: Büyük yapılardaki, yapay yapı ile doğal zemin arasındaki boşluklar, her zaman büyük sakinçalar meydana getirebilirler. Bu boşlukları doldurmak amacıyla yapılan enjeksiyon işlemine dolgu enjeksiyonları denir. Bu işleme tünel kazılarının pek düzgün olmaması nedeniyle ancak tünellerde gerek duyulduğundan bazen işleme tünel enjeksiyonu ismi de verilmektedir. Bu tip enjeksiyonlarda, sondaj sadece tavanda yapılır. Her kesitte, tavanda yönleri yaklaşık 30° açılı 3 delik açılır ve enjeksiyon karışımı basılır. Aynı işlem her 3 m de bir yinelenir.
- Alüvyon Enjeksiyonları: Alüvyonlar permeabilite katsayısı 0.1 ila 1.0 cm/s arasında olan ortamlardır. Bu nedenle alüvyonlarda yapılan enjeksiyonlar gerek enjeksiyon tekniği gerekse enjeksiyon karışımı hazırlanması bakımından en zor ve komplike işlemlerdir. Buna rağmen, gerek dünya da gerekse ülkemizde alüvyon enjeksiyon uygulamaları giderek artmaktadır. İlke olarak kaya enjeksiyonlarında kullanılan enjeksiyon karışımlarım alüvyon enjeksiyonunda kullanmak için alüvyonun sadece 5-10 mm'lik çakıldan oluşması gerekir.

Alüvyonlar içinde permeabiliteleri farklı kısımlar (cepler) bulunuyorsa önce daha geçirgen olan ceplerin, penetrasyonu daha az olan bir karışımla enjeksiyonu yapılır, daha sonra diğer kısımların uygun başka bir karışımla enjeksiyonu gerçekleştirilir.

Alüvyon içindeki yeraltı suyunun kimyasal bileşimi de enjeksiyon sırasında önemli bir faktördür. Yeraltı suyu içindeki kimyasal maddeler, karışımı çöktürüp, topaklanmaya neden olabilir. Bu gibi hallerin önceden incelenmesi gereklidir.

Uygulanan basınca göre sınıflandırma yapılacak olunursa aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Alçak Basınç Enjeksiyonları: Enjeksiyon karışımının 1 MPa'dan daha az bir basınçla basılması durumudur. Genellikle yüzeye yakın yerlere uygulanırlar. Sondaj derinliği 5-15 metredir.

- Orta Basınç Enjeksiyonları: Enjeksiyon basıncının 1-3 MPa arasında olduğu durumdur. Sondaj boyları da 15-30 m arasındadır.
- Yüksek Basınç Enjeksiyonları: Daha çok geçirimsiz perde oluşturmak için 3 MPa'ın üzerinde basınçla yapılan enjeksiyon işlemleridir. Uygulanan basınç duruma göre 7 MPa'a kadar çıkartılabilir.

Her kademedeki enjeksiyona başlandığı zaman basınçlar genellikle istenilen değere yükselmez. Enjeksiyona devam edildikçe kademedeki boşluk ve çatlakların karışımla dolması neticesinde basınçta bir yükseliş görülür. İstenilen basınç elde edilince zemine verilen karışım, mevcut dolgunun sıkıştırılmasını ve daha ince çatlakların doldurulmasını sağlarken basınçta da devamlı bir yükseliş ve zeminin karışımı kabul etmemesi hali görülür. Enjeksiyonda bu duruma 'refü' denilir.

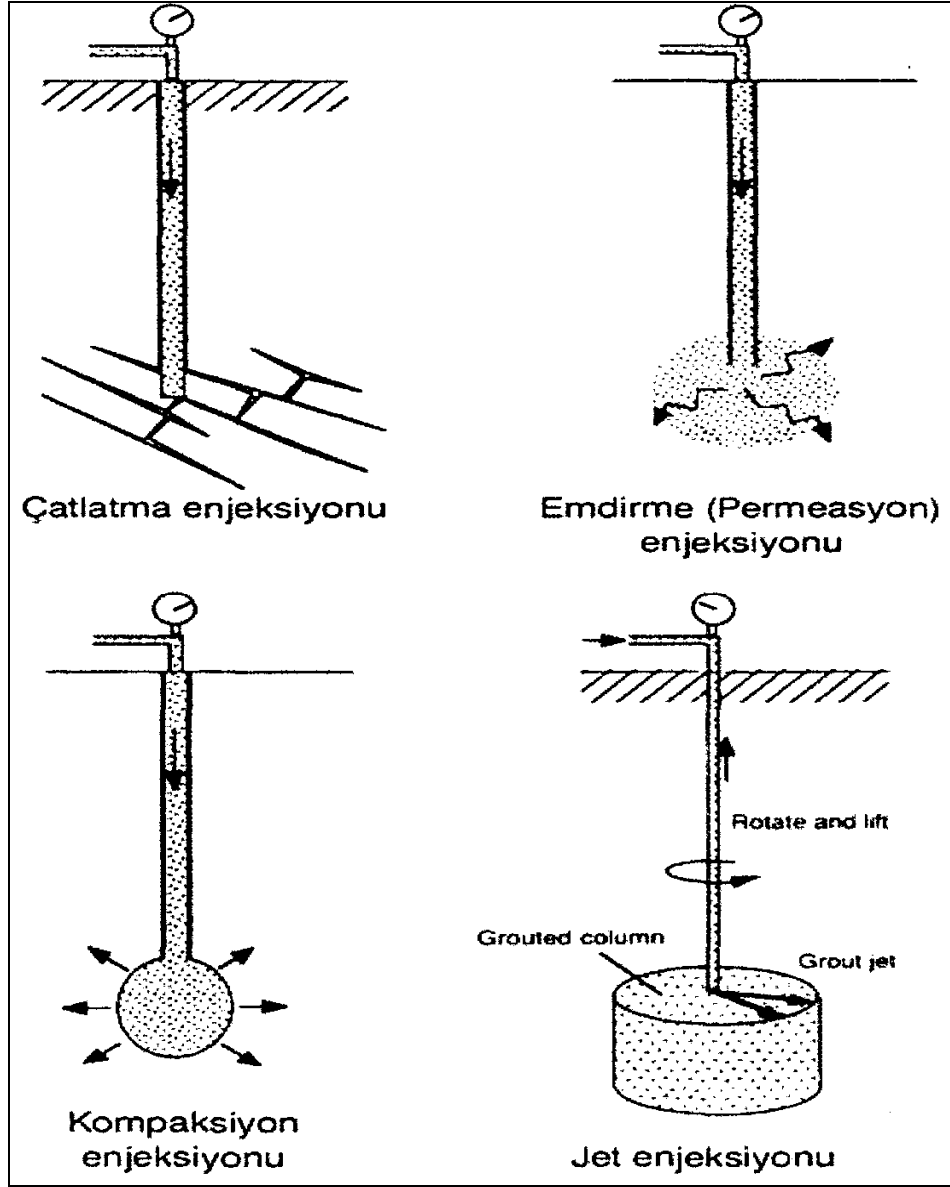
Enjeksiyonda zemine verilen karışımın gidişi ile basıncın yükselişi arasında ters orantı mevcuttur. Karışımın gidişi yavaşladıkça basınçta bir yükselme görülür. İnce karışımlarla yapılan enjeksiyonlarda basıncın istenilen değere yükselme süresi uzun, kalın karışımlarla yapılanlarda ise bu süre kısadır. Kalın karışımlarla yapılan enjeksiyonlarda basıncın ani olarak yükselmesi ile yanılmalar olabilir. Bu ya tij ve boruların tıkanmasından veya zeminde oluşan geçici bir tıkanmadan ileri gelebilir.

Bazı özel hallerde basınç istenilen değere yükseldiği halde basınçta ani bir düşüş görülür. Bu durum kuyunun yeni bir boşlukla karşılaşmasından kaynaklanır. Basıncın düşmesi ile enjeksiyon yeme kabiliyetinde bir artış görülür. Bu durumda enjeksiyona devam edilir ve durum eski haline döner.

Enjeksiyonda uygulanan basınç, kuyu ağzındaki manometrede tatbik edilen basınçla, kuyu içindeki karışımın yapmış olduğu basıncın toplamından oluşur. Karışımın yapmış olduğu basınç manometre seviyesi ile enjeksiyon seviyesi arasındaki derinliğe bağlıdır.

Enjeksiyon boyunca, basınçların tabakada kırılmaya ve zeminde kabarmaya sebep olacak basınçtan daha düşük olması istenir. İzin verilebilir enjeksiyon basıncı zeminin mukavemetine, yerel gerilmelere ve zeminin boşluklarındaki enjeksiyon öncesi basınçlara dayanır [12].

Zemin içerisine yerleştirilmesine göre temel enjeksiyon teknikleri Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17: Enjeksiyon sistemleri şematik gösterimi [13]

a) Çatlatma (Hydrofracture) Enjeksiyonu: Zeminin daneleri arasına girmek yerine biraz daha yüksek basınçla enjeksiyonu zemini çatlatarak yapraklanma şeklinde enjekte etmek çoğunlukla mümkün olabilmektedir [14].

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 geçirimsizliğe sahip, ince daneli zeminlerin stabilizasyonunda uygulanmaktadır. Çatlatma enjeksiyonunun gelişimi tünel veya kazı aktiviteleri esnasında meydana gelen oturmaları önleme veya dengeleme çalışmalarına dayanmaktadır [15].

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 manşetli boru 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 [15].

Bu tip enjeksiyon türünün uygulanmasında da manşetli tüp kullanılmakta ve örneğin tünel kazımı esnasında meydana gelen oturmalarla ilgili olarak aynı noktadan birden fazla gerektiğinde farklı enjeksiyon malzemeleriyle enjeksiyon yapılabilmektedir.

Literatürdeki yaka 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.

b) 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 [14].

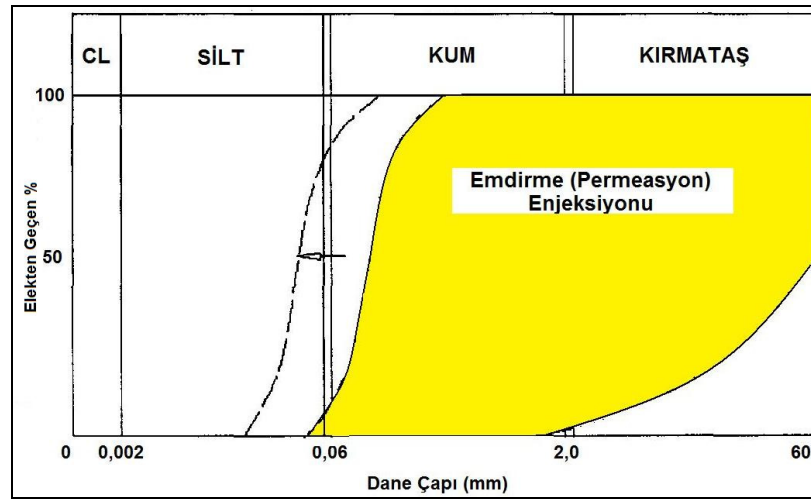
Daha ince daneli zeminlere girmek kimyasal enjeksiyon karışımları ile mümkün olabilmektedir. En genel kimyasal enjeksiyon karışımı olan silikatlar ile ince kumlara ve kaba şiltlere, daha ince (su viskozitesine yakın) özel rezinler ve diğerleri ile daha ince zeminlere girilebilmektedir [15].

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 [15].

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 için 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 3.18).

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 3.18: Permeasyon enjeksiyonu uygulanabilir alanı

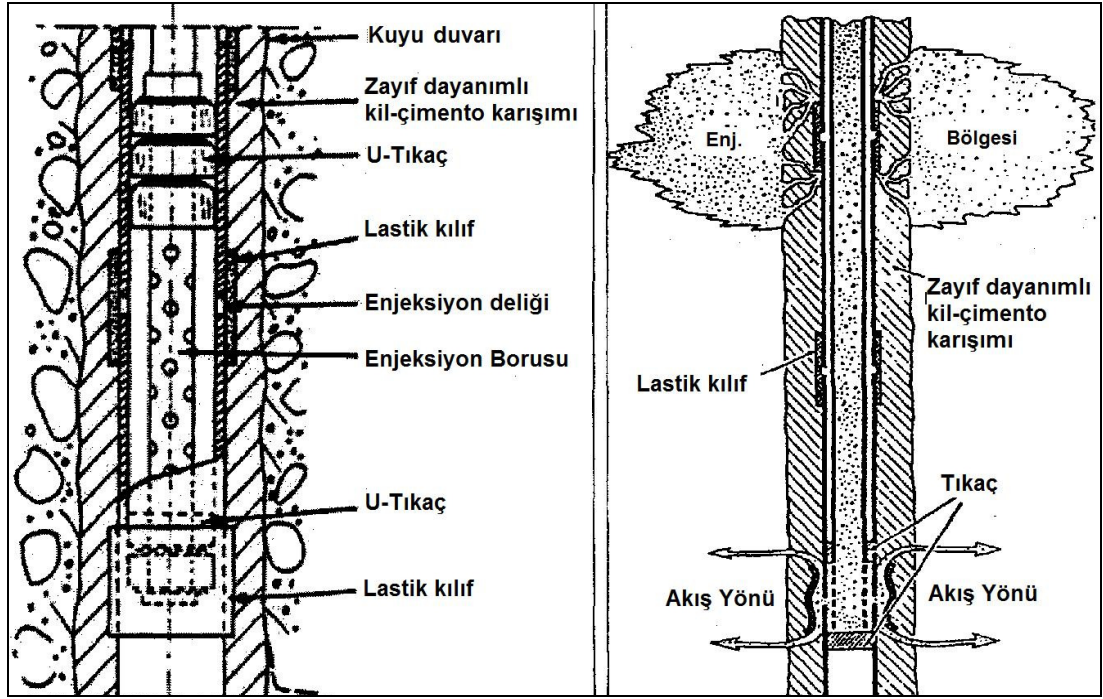
Yüzeysel derinliklerde enjeksiyon işlemi tek aşamada yapılabilir. Bu durumda enjeksiyon kuyusu tasarım derinliğine kadar açılır ve enjeksiyon borusu yardımıyla yukarıya doğru enjeksiyon işlemi gerçekleştirilir. Alternatif olarak kuyu açılırken de enjeksiyon işlemi yapılabilir. Kuyu belli bir derinlikte açıldıktan sonra enjeksiyon borusu indirilir ve açılan derinlik boyunca enjeksiyon işlemi gerçekleştirilir. Bu durum tasarım derinliğine kadar tekrar ettirilir [15].

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 [15].

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 Manşetli boru tipi enjeksiyon borusu hala en uygun sistem olarak görülmektedir.

Manşetli boru, 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 yana gibi çalışan lastik kılıflarla kapatılmışlardır (Şekil 3.19). Muhafaza borusu yardımıyla enjeksiyon kuyusu istenilen tasarım derinliğine kadar açıldıktan sonra manşetli boru kuyu içerisine indirilir. Daha sonra muhafaza borusu yukarı çekilir ve manşetli boru ile kuyu duvarı arasındaki boşluk zayıf dayanımlı bir enjeksiyon malzemesi olan kil-çimento veya bentonit karışımıyla doldurulur. Asıl enjeksiyon işlemi ise manşetli boru içerisine uç kısmı delikli ve U-tıkaçlarla kapalı olan küçük çaplı bir enjeksiyon borusu indirilerek gerçekleştirilir. Tıkaçlar manşetli boru üzerindeki delikli bölmelerden herhangi biri üzerine merkezlenebilir. Enjeksiyon işleminin başlamasıyla beraber lastik kılıf ve Manşetli boru ile kuyu duvarı arasındaki zayıf enjeksiyon malzemesi yırtılana kadar enjeksiyon basıncı artacaktır. Lastik kılıfların tek yönlü çalışması enjeksiyon malzemesinin Manşetli boru içerisine geri girmesini engelleyecek, Manşetli boru ile kuyu duvarı arasındaki zayıf enjeksiyon malzemesi de meydana gelebilecek sızıntıları önleyecektir [15].

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



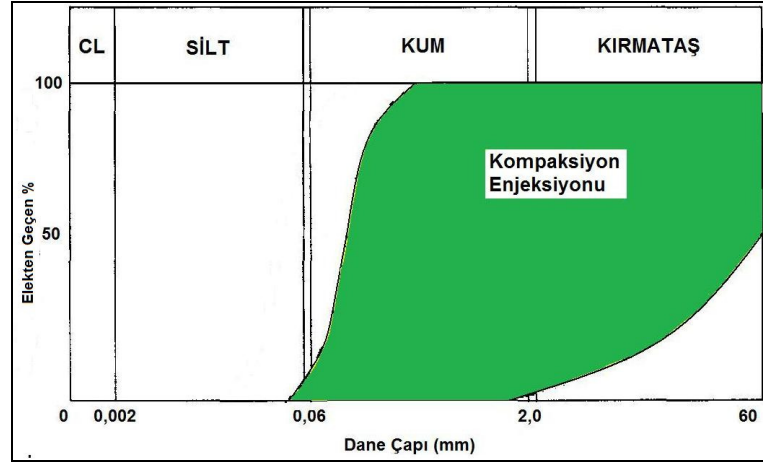
Şekil 3.19: Manşetli boru sistemi detayı

c) Sıkıştırma (Kompaksiyon) enjeksiyonu: Katı beton kıvamında malzemeyi biraz daha yüksek basınçla zemine enjekte ederek zeminin yer değiştirmesini sağlamak 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 [14].

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 [15].

50 yıl kadar önce ABD'de uygulanmaya başlanan 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 3.20). 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.



Şekil 3.20: Kompaksiyon enjeksiyonu uygulanabilir alanı

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 mobilite sağlayacak bentonitin kullanılmaması öngörülmektedir [15].

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 yaka 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 kütlelerin 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 [15].

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 oluşan boşluğu enjeksiyon ile doldurmak mümkündür [14].

Bu enjeksiyon türünde tasarım derinliğine kadar, su kullanılarak delgi yapılmakta ve delgi için kullanılan tijlerin ucundaki nozullardan yüksek basınçlarda çimento şerbeti zemine yüksek hız ve basınçla enjekte edilmektedir (jetleme). 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 anlaşılabildiği 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 kullanılabileceği 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 amacı ile de kullanılabilir.

3.2.3 Jet grouting (jet enjeksiyon) yöntemi

İnşaat projeleri zorunluluk hallerinde zeminin zayıf olduğu alanlara yapılmaktadır. Arsa fiyatlarının yüksek olduğu rağbet gören alanlara yapılan yapılarda veya mevcut yapıların altındaki zeminde değişen koşullar sonucu oluşan problemlerin çözümünde zemin iyileştirmesi uygulamaları zorunluluk olabilmektedir. Jet grouting yöntemi, zemin iyileştirmesi veya yapı yüklerini daha derindeki sağlam zemine aktarılması amacı ile kullanılmaktadır [17]. Hemen her tür zeminde uygulanabilirliği tercih edilme sebeplerindendir. Aynı zamanda hassas yapıların yakınında çalışma imkanı vermektedir [17].

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 bütünü içerisinde yer almaktadır. “European Code on Jet grouting, prEN 12716” terminolojisine göre, jet grouting yönteminin tanımı aşağıda belirtilmektedir:

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 verilmesidir” [18].

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 [19].

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 yöntemi ile ilgili bazı terimler:

- Delme ve enjeksiyon takımını taşıyan ve hareketini sağlayan rig
- Enjeksiyon malzemelerinin istenen derinliğe iletilmesini sağlayan string
- Delgi ucu ve nozul içeren jet grouting stringinin sonuna yerleştirilen bir başlık olan monitör (Şekil 3.21)
- String teki yüksek basınçlı akışını yüksek hızlı jete dönüştürmek için tasarlanmış bir çıkış olan nozul (Şekil 3.21) olarak sıralayabiliriz.



Şekil 3.21: Delme başlığı ve jet enjeksiyon çıkış delikleri (Monitor, nozul)

Nozul, jet akışkanının olabildiğince uzun dağılmadan kalmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Çünkü jetin dağılması jetin etkinliğini azaltır ve istenen çapın hassaslığını bozar. Jet grouting string ve monitörü rig tarafından istenen derinliğe daldırılır ve ardından yüksek basınç altında su-çimento enjeksiyonu püskürtülürken her ikisi de 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 grouting kolonunu oluşturur. Yan yana çoklu kolonlar oluşturmak, jet enjeksiyonu ile takviye edilmiş bir yapı meydana getirir [20].

Jet grouting, direk olarak küçük çaplı nozul ile çok yüksek basınçla zemine enjekte edilen genellikle su-çimento karışımı gibi stabilizör malzemenin doğal zemin ile karıştırılmasıdır. Stabilizör malzeme küçük çaplı nozul denilen enjeksiyon deliklerinden 300-600 bar gibi yüksek basınçlarda püskürtülür (Şekil 3.22). Bu yöntemde, enjeksiyon nozullarından çok yüksek basınçla püskürtülen malzeme ile zeminin doğal yapısı bozulmakta ve stabilizör malzemenin yerindeki zeminle karışması sağlanmaktadır [21,22].



Şekil 3.22: Monitör ve nozuldan basınçlı su çıkışı

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. Jet grouting; zemin stabilizasyonu, zemin takviyesi, kazı desteği ve yeraltı suyu kontrolü için kullanılan çok yönlü bir tekniktir [23].

Jet grouting kohezyonsuz az daneli zeminden kohezyonlu plastik killere kadar birçok zemin tipinde uygulanabilir. Jet grouting yöntemi, bazı özellikleri itibariyle diğer enjeksiyon 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 [22].

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

Jet grouting yöntemleri, genellikle mevcut tesislerin normal çalışmalarını engellemeden gerçekleştirebilir. Jet grouting, hem en güvenli yöntemlerden biri olmayıp hem de zamandan tasarruf sağlayacak kadar hızlı bir yöntemdir [23].

Jet grouting 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 [24].

Mevcut zeminin 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 yüksek basınçta 400-500 bar çimento şerbetinin yüksek hızla enjeksiyonu ile zeminin yerinde parçalanarak karıştırılması ve kullanılan özel tij ve monitörün belirli bir hızla döndürülerek yukarı çekilmesi suretiyle yerinde silindirik kolon teşkil edilmesidir. Bu inşa metodu jet grouting yöntemi olarak adlandırılmaktadır [24].

Jet grouting, çoğu zemin türü için zeminin yer değiştirmesi amacıyla çimento şerbetinin kontrollü bir şekilde püskürtülmesidir. Zemin, enjeksiyon sırasında su jeti ile parçalanır. En sık kullanım alanı olarak mevcut yapıların toplam ve farklı oturumlarını 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 iyileştirilmesinde de kullanılır. Diğer uygulamalar da açık kazılarda destek ve şev stabilizasyonu amacını taşımaktadır [25].

Jet grouting yöntemi, ülkemizde özellikle son on sene içinde çok yaygın olarak, çeşitli temel mühendisliği uygulamalarında kullanılmaktadır. Metodun ülkemizdeki ilk kullanımı 1980'li yılların son dönemlerine rastlamaktadır. Oluşan zemin-enjeksiyon karışımı (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 3.2'de özetlenen çeşitli zeminler için soilcrete deformasyon modülü ortalama E Mpa olarak alınabilir. Bu takdirde zemine göre kolon deformasyon modülü oranı E_{jg}/E_s 10-250+ olarak verilebilir [24].

Tablo 3.2: Zemin cinsine göre soilcrete serbest basınç mukavemeti ve modülü
(“*”%40 gerilme seviyesine karşılık gelen modül)

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

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 [24].

3.2.3.1 Jet grouting yönteminin tarihçesi

“Çok yüksek basınçlı enjeksiyon”, 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’ten 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.

Bir başka jet grouting tekniği ise 1970 yılında Japonya’da diyafram duvar teşkil etmek amacı ile Teuro Yahiro tarafından geliştirilmiş ve “jet grouting” olarak adlandırılmıştır. Bu yöntemin en belirgin özelliği zemini kesme, koparma ve sıkıştırma işlemleri için üç farklı akışkanın (su, hava, çimento şerbeti) kullanıldığı üçlü jet sisteminin uygulanmasıdır.

Jet grouting yönteminin diğer uygulama teknikleri 1970’li yılların ortalarında Japonya’da kullanılmıştır. Nakanishi ve arkadaşları tarafından CCP jet grouting sistemi, çimento karışımı ve havanın birlikte kullanılması ile geliştirilmiş ve “jumbo jet special grout (JSG)” olarak adlandırılmıştır. Hava kullanılarak teşkil edilen JSG kolonları aynı çalışma parametreleri kullanılarak teşkil edilen CCP kolonlarından 1.5-2.0 kat daha büyüktür [20,26].

Bundan sonra, Yahiro ve arkadaşları jet grout kolonlar teşkil etmişlerdir. Benzer prensip kullanılarak, hava jeti ile sarılmış bir su jeti sisteme eklenmiştir. Örselenmiş zemin, hava jetiyle kopar ve oluşan boşluk enjeksiyonla doldurulup karıştırılır.

1980 yılında, CCP grubu tarafından süper zemin stabilizasyon yönetimi “super soil stabilization management (SSS-MAN)” geliştirilmiştir. Bu sistemde amaçlanan, çok geniş çaplı kolonlar teşkil edilmesidir. Bu yöntemde, pilot bir delik açılır ve yüksek basınçlı dönen su jeti ile zemin örselenir. Açılan boşluk süpersonik dalga tekniği ile ölçülür ve enjeksiyonla doldurulur. SSS-MAN tekniği ile büyük hacimler ve 4.0 m çapa kadar katılmış yapılar özellikle kohezyonsuz zeminlerde oluşturulabilmektedir. Jet grouting yönteminin Japonya’da ortaya çıkmasından sonra bu teknoloji hızla batı Avrupa’ya, özellikle İtalya, Almanya ve Brezilya’ya yayılmıştır. Kuzey Amerika’da ise 1980’li yıllarda uygulanmaya başlanmıştır [27,28].

Jet grouting sisteminin en son uygulaması “X-jet” adı verilen sistemdir. Çok büyük bir doğrulukla büyük çaplı jet grouting kolonları elde edilmesine imkan sağlayan bu yöntem Japonya’da geliştirildi ve Avrupa’da Keller tarafından lisanslandı. Bu sistem, birbirleriyle kesişene kadar yüksek kesme enerjisine sahip iki jetten oluşur [21].

Lisanslı bir teknoloji olarak X-jet grouting delikten 1 m uzaklıkta kesişecek şekilde konumlanmış bir çift hava-su nozulunun, 2-2.5 m çapındaki ayırık kolonu parçalamak için kullanıldığı bir yöntemdir.

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 [20].

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 [29].

3.2.3.2 Jet grouting sistemleri

Değişik jet grouting sistemleri mevcuttur. Bununla birlikte geleneksel anlamda üç tip jet grouting sisteminden söz edilebilir. En uygun sistemin seçilmesi, uygulama yapılacak zeminin cinsine, imalat sonucunda iyileştirilmiş zeminden beklenen geometrik ve mekanik özellikler ile çevre koşullarına bağlıdır. Buna karşın, doğru tasarım ve işletme prosedürleri uygulandığı takdirde her sistem neredeyse her uygulama için kullanılabilir [23].

Temel jet grouting sistemleri şu şekildedir:

- Tek akışkanlı sistem (**Soilcrete S**, Single direct process, JET1)
- Çift akışkanlı sistem (**Soilcrete D**, Double direct process, JET2)
- Üç akışkanlı sistem (**Soilcrete T**, Triple separation process, JET3)

A) Tek Akışkanlı Sistem

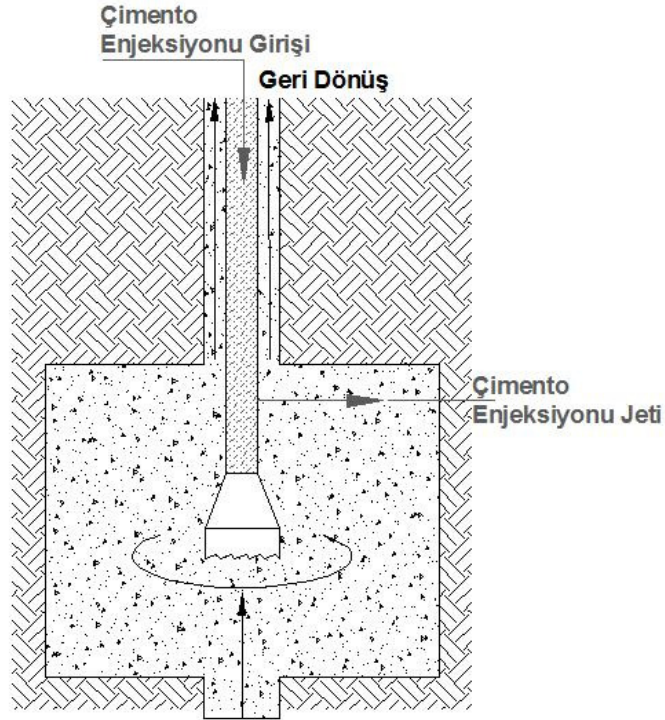
Tek akışkanlı jet grouting yöntemi, üç sistem arasında en basit olanıdır. Bu basitliğin sebebi zemini kesme, aşındırıp uzaklaştırma ve zemin ile enjeksiyonu karıştırma işlevlerini yerine getiren tek bir jet alıcısı olmasıdır. Sistemde enjeksiyonun iletildiği ve üzerinde alt uca yakın, 2.0-4.0 mm çapında bir veya birkaç püskürtme ağzı bulunmaktadır.

Çimento enjeksiyonu sistem ile 90° açı yapacak şekilde püskürtülür ve böylece zemin bir taraftan sökülürken, aynı anda sökülen zemin ile çimento enjeksiyonu yer değiştirmiş olur. İşlemin devamında püskürtme ağızlarının bulunduğu monitör, zemin tabakalarına bağlı olarak sabit hızlarla (gerekirse döndürülerek) geri çekilir ve böylece sökülmüş zemin ile çimento enjeksiyonu karışımından (döndürülerek geri çekilmesi durumunda silindirik geometride) jet grout elemanı oluşmuş olur. Çimento enjeksiyonu ile zemin danelerinden oluşan bu karışımın özellikleri, iyileştirilmiş zemin özelliklerini belirler.

Tek akışkanlı sistemde en önemli kısıtlayıcı faktör, kullanılan yüksek kapasiteli pompaların gücü ve pompalayabildikleri enjeksiyon akımı miktarlarıdır. Bu yöntemde kullanılan pompalar yaklaşık 600 bar (60 MPa) güçte, 150-475 lt/dak. enjeksiyon akımı basabilecek ve 1-8 saat aralıksız çalışabilecek kapasitede olmalıdır.

Tek akışkanlı sistemden farklı olarak diğer iki yöntem yalnızca jet akımına dayanmamakta, buna ek olarak sıkıştırılmış havanın kaldırma etkisinden de yararlanmakta, ancak bu etki düşeyden yataya gidildikçe azalmaktadır. Bu sebeple tek akışkanlı yöntem, yatay imalat yapılacak uygulamalarda (örneğin tünel inşaatlarındaki uygulamalarda) çoğunlukla tercih edilmektedir.

Tek akışkanlı yöntemde, halka şeklindeki boşluktan yüzeye alman artık malzeme, diğer jet grouting sistemlerine göre daha az olmaktadır. Araştırmalar göstermektedir ki jet grouting uygulaması sonucunda (özellikle tek akışkanlı sistem ile), oluşturan elemanın çevresindeki zeminde (yaklaşık yarıçap mesafeye kadar), belirgin bir kompaksiyon (sıkışma) oluşmaktadır. Bu etki, tünellerdeki uygulamalarda ve sıvılaşma potansiyeli olan zemin koşullarında faydalı olmaktadır. Tek akışkanlı sistem ile oluşturulan elemanlar diğer iki sisteme göre daha küçük boyutlu olmaktadır. Kolon tip elemanlar tek akışkanlı sistem ile kohezyonlu zeminlerde 40-80 cm, kohezyonsuz zeminlerde 50-120 cm çapa kadar oluşturulabilmektedir. Diğer taraftan püskürtülen enjeksiyon miktarının aynı olması durumunda granüler zeminlerde mukavemeti en yüksek elemanlar tek akışkanlı sistem ile oluşturulmaktadır. Ayrıca, yine tek akışkanlı sistem ile imal edilen jet grout elemanların boşluk oranları, diğer iki sistem ile yapılanlara göre daha az olmaktadır. Tek akışkanlı jet grouting sisteminin şematik gösterimi Şekil 3.23’de verilmiştir [8,21,28,30].



Şekil 3.23: Tek akışkanlı sistem şematik gösterimi

B) Çift Akışkanlı Sistem

Çift akışkanlı jet grouting sistemi tek akışkanlı sisteme göre daha karmaşık ve ileri bir sistemdir. Çift akışkanlı jet grouting sisteminin en belirleyici özelliği, yüksek hıza sahip enjeksiyon jetinin, 2-15 barlık sıkıştırılmış ve enjeksiyonu çevreleyen hava konisi ile beraber püskürtülmesidir. İçerik olarak bu sistem, tek akışkanlı sistemin geliştirilerek düzenlenmiş şekli olarak değerlendirilebilir. Sisteme eklenmiş olan bu sıkıştırılmış hava jeti, çimento enjeksiyonun sahip olduğu aşındırıcı etkiyi oldukça artırır ve oluşturulan kolon tipi jet grout elemanlarının çaplarında tek akışkanlı sisteme göre neredeyse iki kat artış olur. Oluşturulan elemanların boyutlarındaki bu artışın başlıca sebepleri şu şekilde sıralanabilir:

Bu hava konisi sayesinde kesilen zeminin jet akımının içine düşmesi engellenmiş olur. Böylece türbülanslı jet akımında enerji kaybı minimuma indirilmiş olur.

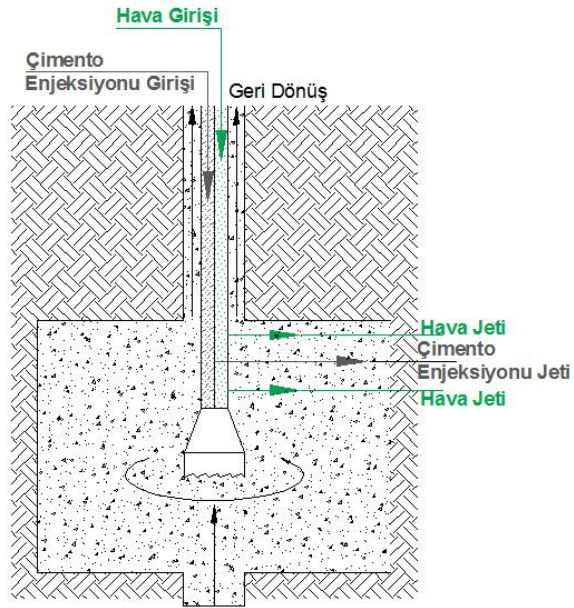
Kesilen zemin parçacıkları kabarcık etkisi ile kesme alanından daha verimli şekilde uzaklaştırılıp zemin yüzeyine kaldırılması, hava konisi sayesinde mümkün olmaktadır.

Sıkıştırılmış hava, jet akımı ile mevcut yeraltı suyu arasında tampon işlevi görmektedir. Dolayısıyla jet akımı, sıkıştırılmış havanın kullanılmadığı sisteme göre, iki kat daha uzun mesafede kesme ve aşındırma gerçekleştirebilmektedir.

Çift akışkanlı sistem enjeksiyon püskürtme ağızları ile sıkıştırılmış hava jetinin çıkış ağzı aynı eksenli olacak şekilde düzenlenmiştir.

Çift akışkanlı jet grouting sisteminin en büyük zaafı ise oluşturulan elemandaki hava (boşluk) oranının yüksek olmasıdır. Bu da üç sistem içinde en düşük mukavemetli elemanların çift akışkanlı jet grouting sistemi ile oluşturulan elemanlar olması sonucunu doğurmaktadır. Bu şekilde sıkıştırılmış hava jeti kullanılması daha karmaşık bir donanım gerektirmektedir. Basıncılı havanın iletilebilmesi için bir iç ve bir dış kabuk kullanılmakta, hava jetinin çıkışı ise 5 mm çaplı, halka biçimli bir ağızdan olmaktadır. Bu iletim yolunun sürekli açık ve işlev görür durumda olması gerekmektedir. Aksi halde sistem, tek akışkanlı sisteme dönüşmektedir. Çift akışkanlı jet grouting sistemi en çok karşılaşılan sorun halka çıkış ağzında oluşabilen tıkanmadır [8,21,28,30].

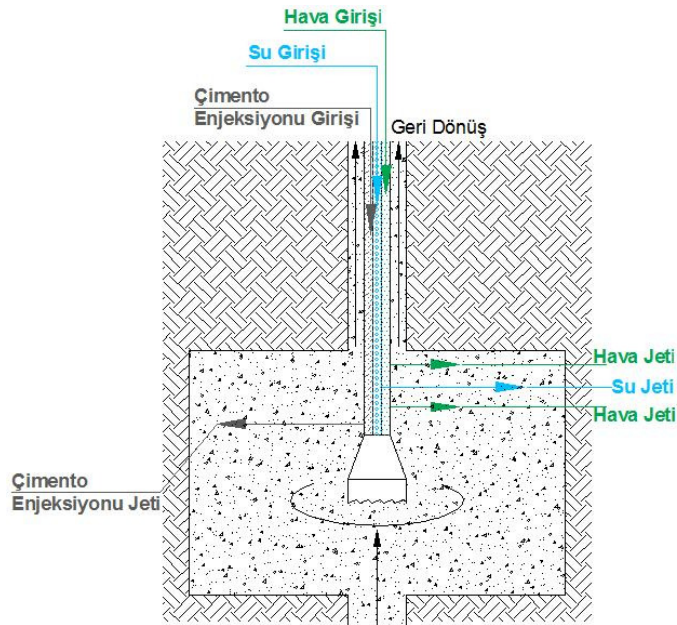
Bu sistem genellikle sızdırmazlık için cut-off veya perde inşasında ve çöp alanları ile sıvılaşma potansiyeline sahip alanların ıslahında kullanılmaktadır. Çift akışkanlı jet grouting sisteminin şematik gösterimi Şekil 3.24'de verilmiştir [5,28].



Şekil 3.24: Çift akışkanlı sistem şematik gösterimi

C) Üç Akışkanlı Sistem

Üç akışkanlı sistem, üç jet grouting sistemi içinde en ileri ve karmaşık sistemdir. Sistemde zeminin sökülmesi, sıkıştırılmış hava konisi tarafından çevrelenmiş su jeti ile yapılmakta ve bu jetten bir miktar aşağıya (birkaç desimetre) aynı eksenli olacak şekilde yerleştirilmiş olan püskürtme ağzından da çimento enjeksiyonu tek başına püskürtülmektedir. Üç akışkanlı jet grouting sisteminin şematik gösterimi Şekil 3.25’de verilmiştir.



Şekil 3.25: Üç akışkanlı sistem şematik gösterimi

Bu tasarım sayesinde, sistemin aşındırma enerjisi ve verimi önemli ölçüde artmaktadır. Üç akışkanın (hava, su ve çimento karışımı) ayrı ayrı iletilip püskürtülmesi daha fazla zeminin sökülüp uzaklaştırılmasına, zemin ile enjeksiyonun da tam anlamıyla yer değiştirmesine yol açmaktadır. Jet grout elemanına istenen geometriyi vermek, oluşan elemandaki çimento karışımının ve zeminin miktarlarını belirlemek amacı ile çimento karışımının, suyun ve sıkıştırılmış havanın basınçları ve akım miktarları (debileri) ayrı ayrı ayarlanabilir. Sistemdeki su jetinin basıncı 500 bara kadar çıkabilmekte, hava basıncı 5-12 bar ve çimento karışımının basıncı ise 5-30 bar değerinde olmaktadır. 0 akışkanlı sistem genellikle en büyük boyutlu elemanların oluşturulduğu sistemdir. Bu sistem ile kohezyonsuz zeminlerde 300 cm çapa kadar kolon tipi jet grout elemanlar, kohezyonlu zeminlerde ise 150 cm çapa kadar kolon tipi jet grout elemanlar oluşturulabilmektedir.

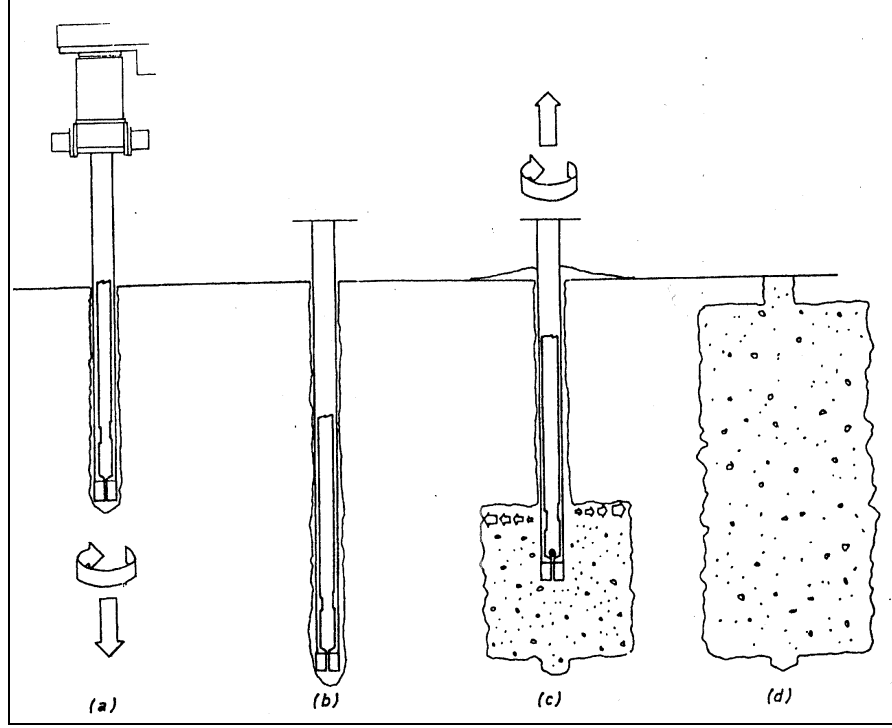
Zemini paralamada kullanılan su jetinin debisi 1lt/sn, basıncı 40 MPa'dır. Su jetinin hava kılıfının basıncı 0.8 MPa'dır. Borunun dönme hızı 5 devir/dak, yukarı çekilme hızı 50 mm/dak'dır [31].

Süper jet grouting saha kalitesi ve jet grouting yönteminin ekonomikliği açısından önemli bir gelişmedir. Geleneksel çift akışkanlı jet grouting sistemine benzer şekilde süper jet grouting sisteminde bir çift enjeksiyon nozulları zemini parçalama 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 grouting yöntemleri ile elde edilen tipik olarak 0.6-2 m çapındaki kolonlardan çok daha fazladır [29] (Şekil 3.26).



Şekil 3.26: Geniş çaplı jetgrout kolonu

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 3.27):



Şekil 3.27: Jet grout kolonu imalat adımları [1].

- 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 rodun kolon dışına çekilmesi

3.2.3.3 Jet grouting ekipmanları

Ekipman, tasarlanmış dönme ve çekme hızını sağlamalıdır. Karışım ünitesinden gelen enjeksiyon malzemesi istenilen basınçta ve akış oranında nozula iletilmelidir [20].

Her jet grouting uygulaması için değişik karıştırma ve grouting üniteleri gereklidir. Çimento ve diğer malzemelerin depolanması için karıştırma üniteleri, agitator tankları ve yüksek hızlı enjeksiyon pompası gereklidir. Ünite ayrıca bentonit karıştırma ve ayırıştırma üniteleri, bir hava kompresörü ve bir yüksek basınç su pompası içerebilir. Şekil 3.28’den de görülebileceği gibi, jet grouting ünitesi oldukça fazla yer kaplamaktadır [20].



Şekil 3.28: Ekipmanların sahadan görüntüsü

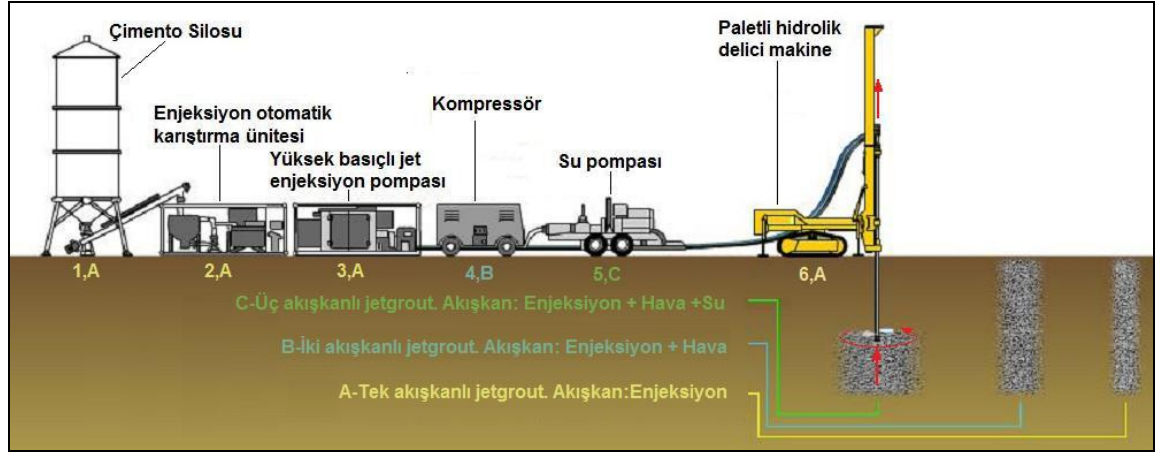
Jet grouting ekipmanı ve ilgili aksesuarları jet grouting yöntemlerinin her ikisini de yapabilecek kapasite ve nitelikte olmalıdır.

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

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

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

Grout karıştırma ve enjeksiyon ekipmanı jet grouting kolon malzemelerinin istenen basınçta yeterli miktarda tedarik edilmesi için grout karıştırıcıları, dinlendirme tankı, su tankları, hava kompresörleri, yeterli kapasitede pompalar içermelidir. (Şekil 3.29)



Şekil 3.29: Jet grouting ekipmanları ve uygulama aşamaları

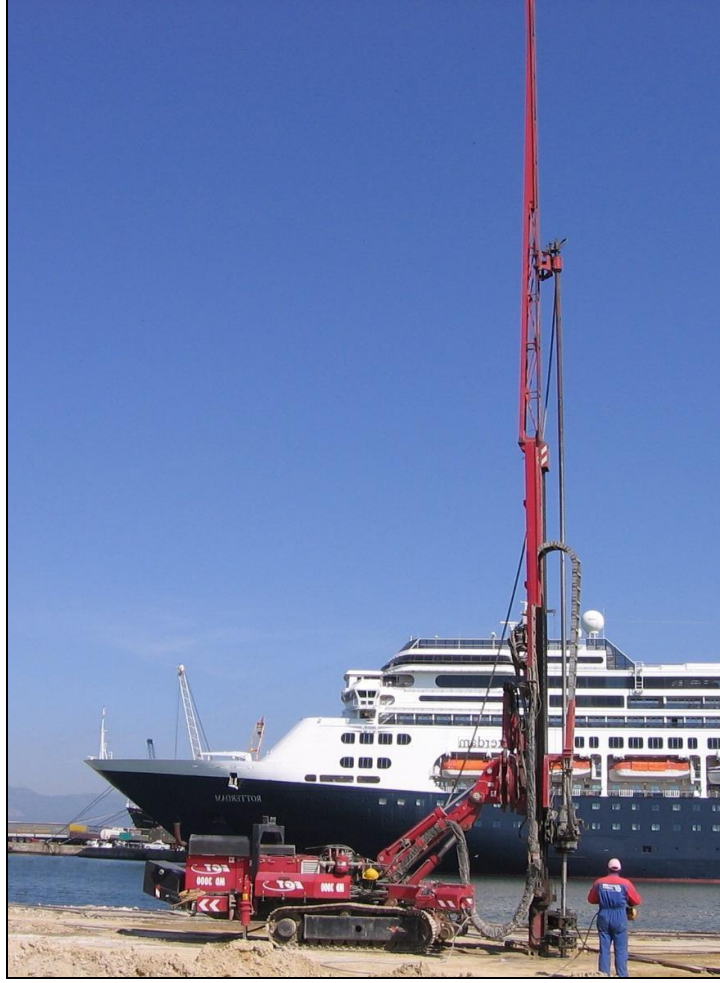
1. Çimento silosu
2. Karıştırma ünitesi (Batching plant)
3. Yüksek basınçlı jet enjeksiyon pompası
4. Hava jeti için kompresör
5. Su jeti için su pompası
6. Mobil delgi ve enjeksiyon ekipmanı

Delgi makinesi: Uygulama projesinde öngörülen derinliğe kadar yukarıdaki yöntemlerden biri ile delgi yapabilecek ve jet grouting kolon teşkil edebilecek kapasitede delgi makinesidir (Şekil 3.29 ve Şekil 3.30).

Pompa ünitesi: Jet grouting enjeksiyon karışımını, istenen çapta jet grouting kolon teşkil edebilecek basıncı verebilecek pompadan oluşacak jet grouting ünitesidir (Şekil 3.28 ve Şekil 3.29).

Karıştırma ünitesi: Jet grouting enjeksiyon karışımını istenen karışım oranında elektronik olarak tartarak karıştıracak mikser ve dinlendiriciden oluşan, jet grouting pompa ünitesini beslemeye yeterli kapasitede mikser ünitesidir (Şekil 3.28 ve Şekil 3.29).

Çimento silosu: Dökme çimento depolayabilen ve jet grouting mikser ünitesini yeterli düzeyde besleyecek çimento silosu ve konveyörüdür (Şekil 3.28 ve Şekil 3.29).



Şekil 3.30: Delgi makinesi

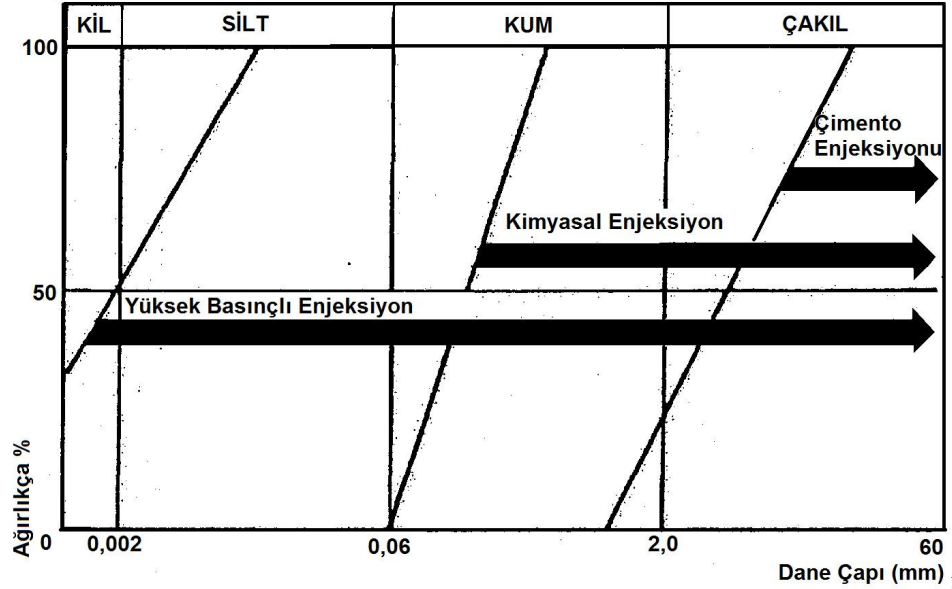
Su tankı: 15-25 ton kapasiteli sağlam su tankı-havuzu ve su pompası olmalıdır.

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

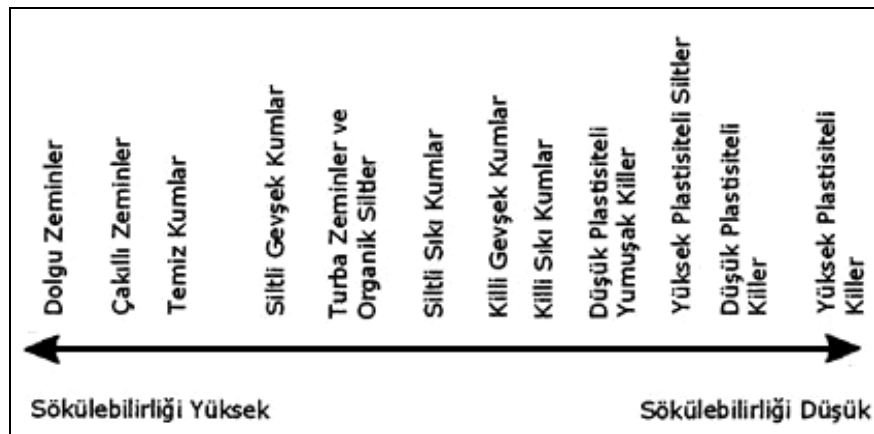
3.2.3.4 Temel jet grouting parametreleri

Jet grouting siltler ve killeri de dahil olmak üzere geniş bir zemin tipi aralığında kullanılabilir (Şekil 3.31). 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 [23].

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. Plastik killer genellikle küçük parçalara bölünürler ve delgi sırasında topaklanarak parçalar halinde koparlar. Bu durum çoğunlukla delik ağzının tıkanması ve geri dönmesi gereken artık malzemede kayıplar olmasına yol açar. Bu durum, ayrıca oluşturulacak jet grouting kolonunun kalitesinin ve geometrisinin iyi kontrol edilememesinin nedeni olabilir. Kesilen zeminin dışarı alınması, delicinin kaplanması, birden çok püskürtme ağzı kullanılması, püskürtme ağzlarının farklı doğrultulara yönlendirilmesi ve hava kılıfı oluşturulması gibi uygulamalar ile sağlanabilir. Jet grouting yönteminin uygulanabileceği zeminler sökülebilirliği en yüksek olan zeminden en düşük olana kadar aşağıda yer almaktadır (Şekil 3.32) [17].



Şekil 3.31: Zemin cinslerine göre enjeksiyon uygulama aralığı



Şekil 3.32: Zeminlerin sökülebilirliği

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

Havanın, suyun ve enjeksiyon 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 geometride elemanlar üretmektedir [23].

İyileştirme derinliği delgi yapılabilecek derinlik ve pompa güçleriyle sınırlıdır, ancak jet grouting 50 m (164 ft) den daha fazla derinliklerde ender kullanılmıştır.

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

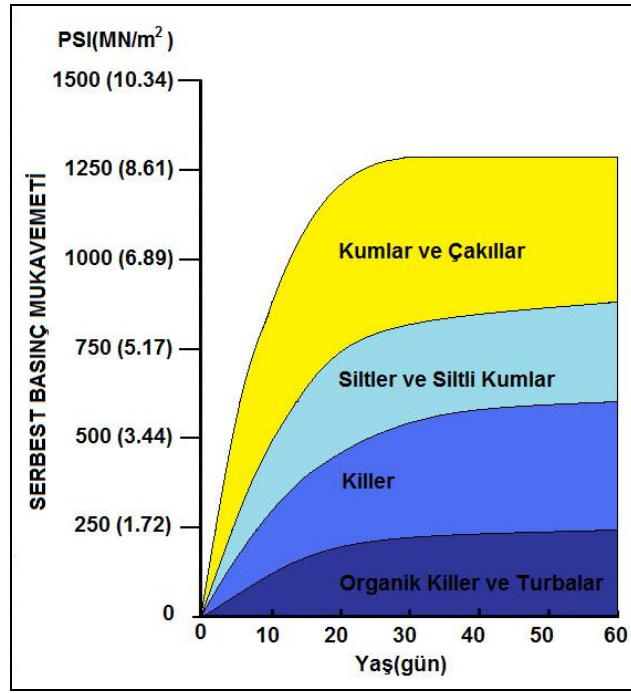
Zemin tipinin hassas, detaylı ve sık tasviri gerilmenin ve yoğunluğun makul değerlendirilmesi çerçevesinde tahminin güvenle yapılmasını sağlar. Gerekirse, kesme ve gerilmeye karşı güçlendirme de soilcrete'e dahil edilebilir.

Mukavemet değerleri: 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 3.33).

Genel olarak jet grout imalatı sırasında aşağıdaki parametreler gözlenmelidir.

- Akışkan basıncı
- Akışkanın akış oranı
- Enjeksiyon karışım kompozisyonu
- Jet grouting sitringinin dönme ve çekilme 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 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.33: Jet grout ile iyileştirilmiş zemin mukavemet değerleri

Tablo 3.3: Jet grouting parametreleri (prEN 12761)

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

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 su kullanılır.

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.

Jet grouting sisteminde kullanılan imalat parametreleri şu şekilde sıralanabilir:

- Enjeksiyon sistemi (JET1, JET2 veya JET3)
- 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 3.4’de verilmektedir. Jet grouting 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 [49].

Tablo 3.4: Jet grouting imalat parametreleri [13]

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

Jet grouting imalatında istenen mukavemet ve permeabilite değerlerine ulaşılabilmesi çeşitli ve birbirine bağlı faktörlere dayanmaktadır. Sonucu etkileyen bu faktörler şunlardır [8]:

- Zeminin sökülebilmesi için kullanılan jetin özgül enerjisi, sökülecek zeminin mukavemetinin artmasına bağlı olarak artar. Bu özgül 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 özgül enerjiye ve pompalanacak malzemenin miktarına bağlıdır.

- Belirli zemin mukavemetinde imal edilen elemanların çapı, uygulanan özgül 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 özgül 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 [17].

- 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.

3.2.3.5 Jet grouting sisteminin uygulanması

Jet grouting kolonu, bağlantı manşonlarında 500-700 bar basınca dayanıklı sızdırmazlık elemanları vasıtasıyla delgide 90 mm çapında tijler kullanılarak istenilen derinliğe kadar inilerek 400-450 bar basınçla püskürtülen su ve çimento karışımının zeminin boşluklarını doldurup ve sıkıştırılması suretiyle elde edilir. Yüksek basınç, sevk edilen enjeksiyonun 1.50-2.50 mm çapındaki 2-4 adet nozuldan

geçerken yüksek bir kinetik enerji kazanmasını sağlar. Delgi takımı sabit bir hızla dönerek yukarı doğru çekilirken su-çimento karışımının hızı 250 m/sn değerlerine ulaşarak, enjeksiyon zemini yırtarak zeminle birleşerek çimentolu zemin yapısı (soilcrete) oluşmaktadır.

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 mm nozul) baz alınabilir.

Uygulama safhaları:

- 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 öngörülmelidir. 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 grouting 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 dönmeye 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 Grouting:

- Jet grouting işlemi, uygun eğitim almış, bilgili personel vasıtasıyla yapılmalı ve kontrol edilmelidir.
- Projede belirtilen derinliğe inildiğinde delme ve enjeksiyon basma işlemi durdurulur.
- Çelik bilye grout borusuna yollanarak enjeksiyon 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 grouting üst kotuna kadar yapılır. Enjeksiyonun kinetik enerjisinden zarar görmemesi için, jet grouting 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 [32]:

- 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 grouting uygulaması yapılmadan önce aşağıda sıralanan hususlar incelenmeli ve açıklığa kavuşturulmalıdır [5,33].

- 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 ya da %15'den fazla silt içeren bölgeler geçilecek ise, kolon çapında oluşacak küçülme ve mukavemetteki düşüş göz önünde bulundurulmalıdır.
- Temel-enjeksiyon bağı: Aşındırıcı jet, mevcut temel plağının ya da pabucun altını temel ile iyileştirilmiş zemin arasında güçlü bağ olacak şekilde temizler.

Temel ile jet grouting 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.

Jet grouting yöntemleri ve özgül parametreler, jet grout uygulama basınçları, zemin tipi ve bunlara bağlı oluşan kolon çapları, jet grouting parametrelerine bağlı olarak iyileştirilmiş hacim, zemin tipi ve geri çekme hızının iyileştirme üzerindeki etkisi, jet grout ana ekipmanları ile ilgili bilgiler, jet grout kolon tasarımında granüler

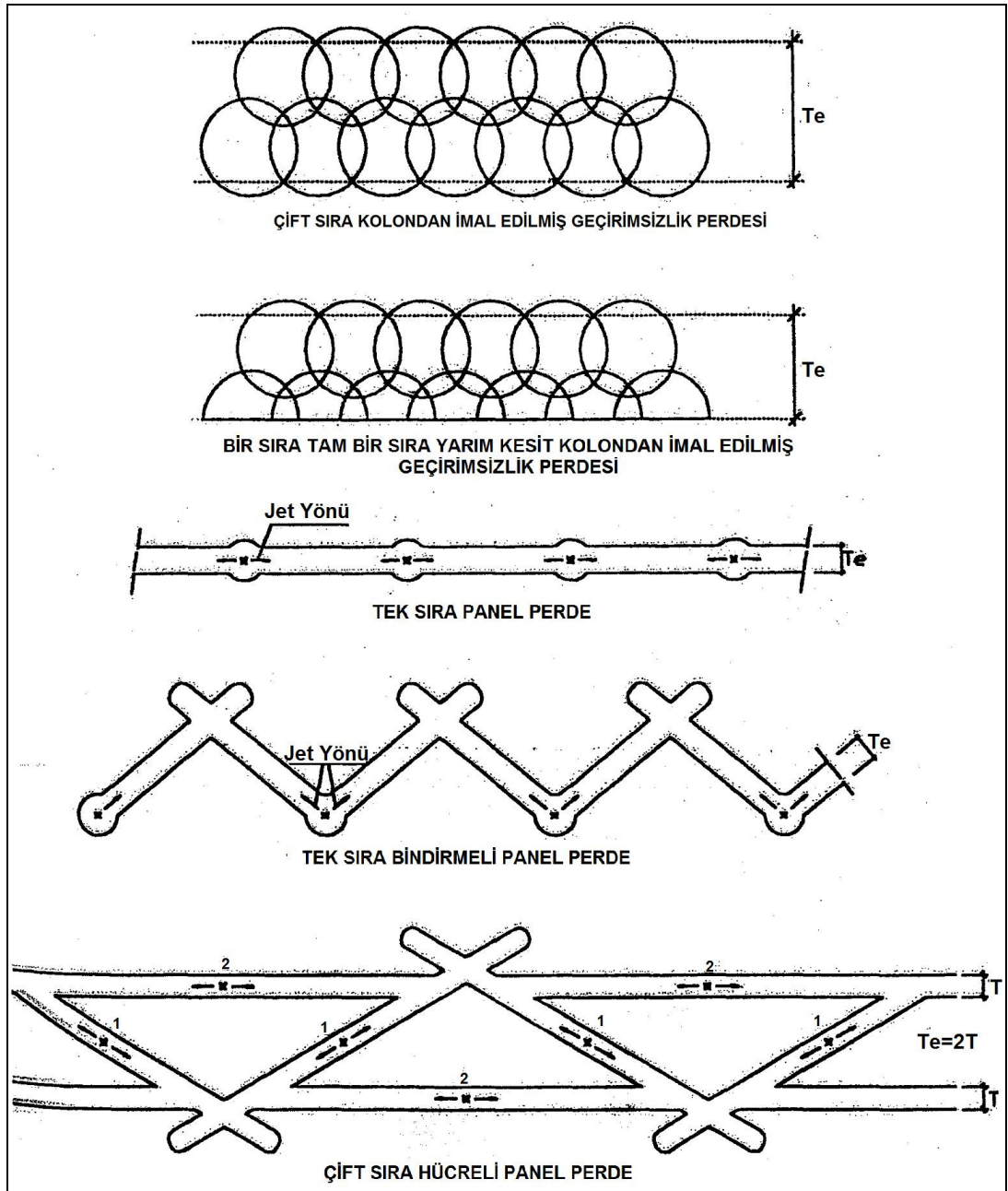
zeminlerde kullanılan limit değerler, jet grout kolon tasarımında kohezyonlu zeminlerde kullanılan limit değerler, çeşitli uygulamalarda elde edilen zemin taşıma gücü ortalama değerleri gibi birçok veri jet grout ile ilgili Tablo A.3–Tablo A.10 olarak eklerde verilmiştir.

3.2.3.6 Jet grouting sisteminin uygulama alanları

Jet grouting yeraltı akışkanının veya kararsız zeminin kazısının kontrol edilmesi gerektiği bütün durumlarda kullanılabilir [22]. Uygulama alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Temel takviyesi
- Kazı desteklenmesi ve stabilizasyonu
- Zemin iyileştirilmesi
- Tünel ve shaft inşaatlarında kazı desteklenmesi
- Kazı çukuruna gelen sızıntı sularının azaltılması
- Şey ve heyelan stabilizasyonu
- Mevcut yapı temellerinin stabilizasyonu
- Geçirimsizlik perdeleri (cut off)
- Binalara ilave temel yapılması
- Temel altı zeminlerin iyileştirilmesi
- Yeraltı sularının kontrolü
- Atık sahalarının geçirimsizliğinin sağlanması

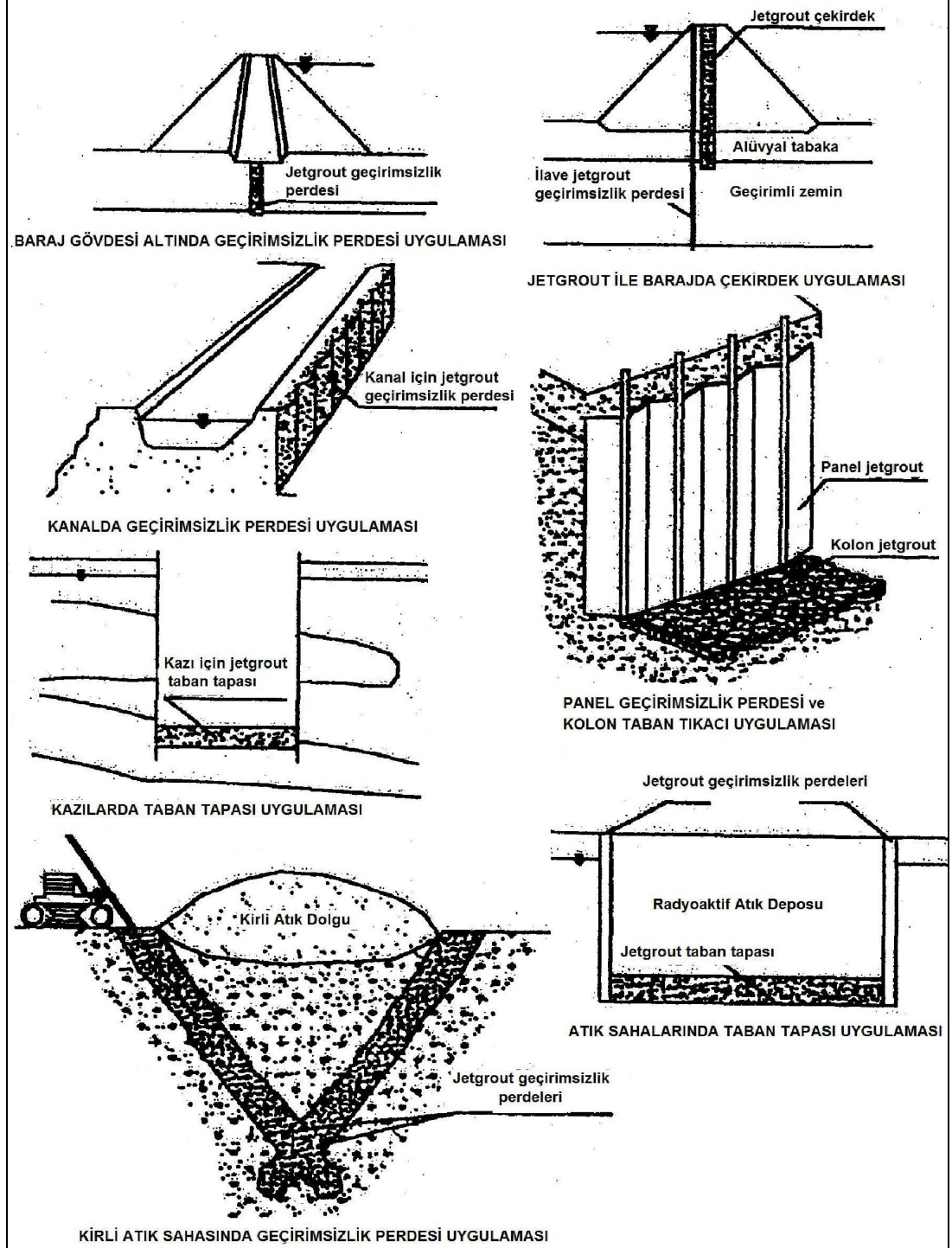
Yeraltı suyu kontrol amaçlı jet grouting uygulamaları geçici kazılarda sızıntı sularının azaltılmasında baraj gövdeleri altında oluşturulan kalıcı geçirimsizlik perdeleri oluşturulmasına kadar çeşitlilik göstermektedir. Geçirimsizlik perdeleri, kilitlenen şekilde imal edilen kolon, panel ya da kanat şeklinde elemanlardan oluşturulmaktadır. Kilitlenen şekilde imal edilen jet grout elemanları Şekil 3.34 ve Şekil 3.35’de görülmektedir.



Şekil 3.34: Kolon ve panel perdelerin kesit ve kanat şekilleri [18]

Bu elemanlar eğik ya da düşey şekilde oluşturulabilir ve yüzeye kadar çıkması gerekmiyor ise belli derinlikte kesilebilir. Sızdırmazlığın yanında stabilitesinde önemli olduğu durumlarda kalın paneller (bir veya birkaç sıra kolon tipi elemanları ile), sadece sızıntı sularının azaltılması amaçlı uygulamalarda ise ince panel duvarlar oluşturulabilir. Geçirimsizlik perdeleri yeni baraj inşaatlarında, mevcut barajlarda yapılan iyileştirme çalışmalarında, kazı ve tünellere gelen sızıntı sularının kontrolünde, nehir ya da kanal ıslah çalışmalarında ve kirlenmiş zeminler ile atık sahalarının geçirimsizliklerinin sağlanıp stabilize edilmesinde uygulanmaktadır. Geçirimsizlik amaçlı bu uygulamalara ait örnekler Şekil 3.35’de görülmektedir.

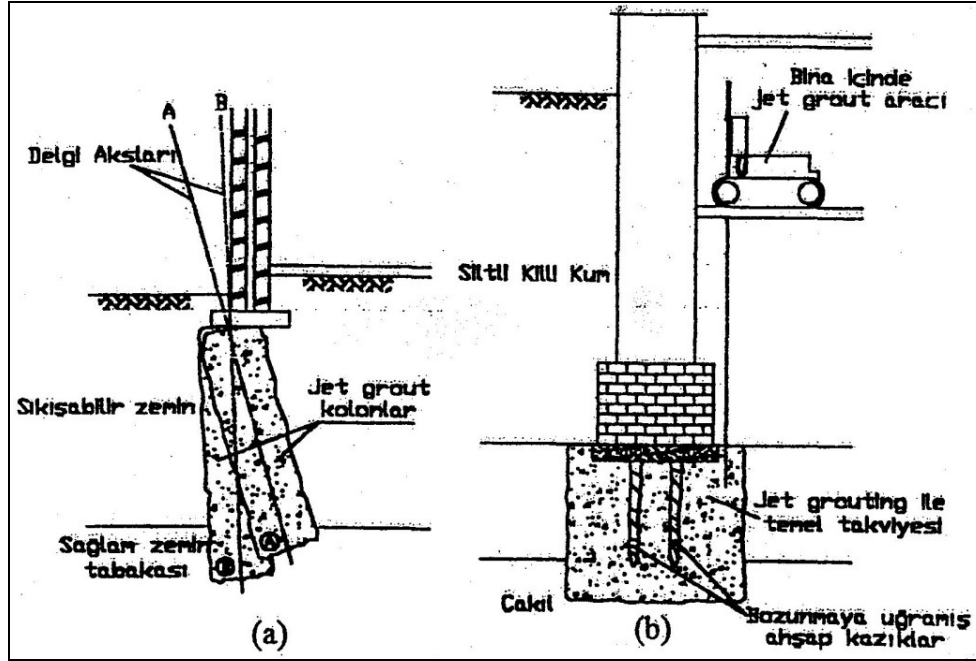
Binaların ve her türlü mühendislik yapılarının temel takviyesi amacı ile jet grouting yönteminin kullanımı özellikle son 15 yılda geniş bir uygulama alanı bulmuştur. Bunun birincil sebebi zemin koşullarına bağlı kalmadan, mevcut temelin yerleşimi ve geometrisinden etkilenmeden ve temele zarar vermeden yöntemin uygulanabilir olmasıdır. Yöntem ile iyileştirilen zeminin eriştiği mukavemet değerleri, büyük oturma problemleri olmaksızın önemli yapısal yüklerin temel tarafından taşınabilmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 3.35: Jet grout geçirimsizlik perdesi ve taban geçirimsizliği uygulamaları [34]

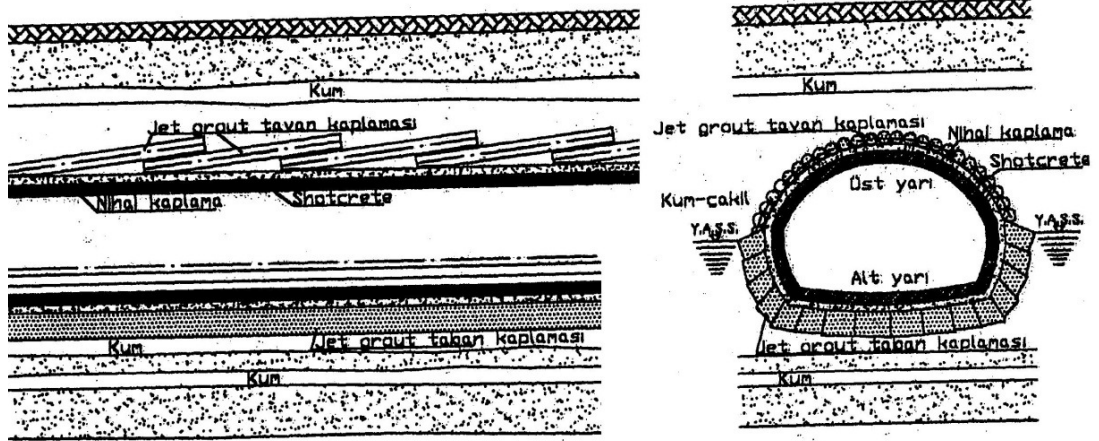
Yöntem ile komşu yapıların, dış duvarlarının ve yapı geometrisinin müsaade etmesi durumunda eğimli imalat yapılabilme şansı, temelin altında istenilen bölgeye ulaşarak iyileştirme yapılabilmesine ve böylece mevcut temel jet grout eleman bütünleşmesinin sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesine yol açmaktadır. Bu şekilde yapı dışından jet grouting uygulaması Şekil 3.36-a’da görülmektedir.

Jet grouting yöntemi ile ayrıca yapıların içersinden tünel kazısının içinden ve bu gibi kapalı mekanlardan, üstteki kısıtlayıcı yüksekliğin (tavan döşemesi gibi) 3 m ve daha fazla olması durumunda uygulanabilmektedir. Ancak böyle iç mekan jet grouting imalatında artık malzemenin tam anlamıyla kontrol altına alınarak toplanması gerekmektedir. Jet grouting ayrıca yeraltı su seviyesi altında imal edilmiş ve zamanla çürümüş olan veya çürüme eğilimi gösteren temellerin takviyesinde de kullanılmaktadır. Çürümüş olan bu kazıkların yerlerinden sökülmesini gerektirmeden, jet grouting yöntemi sayesinde kazık başlıkları ile taşıyıcı tabaka arasında mükemmel yapısal bağlantı sağlanabilmektedir. Bu tip kapalı mekandan ahşap kazıklı temel takviyesi uygulaması Şekil 3.36-b’de görülmektedir.



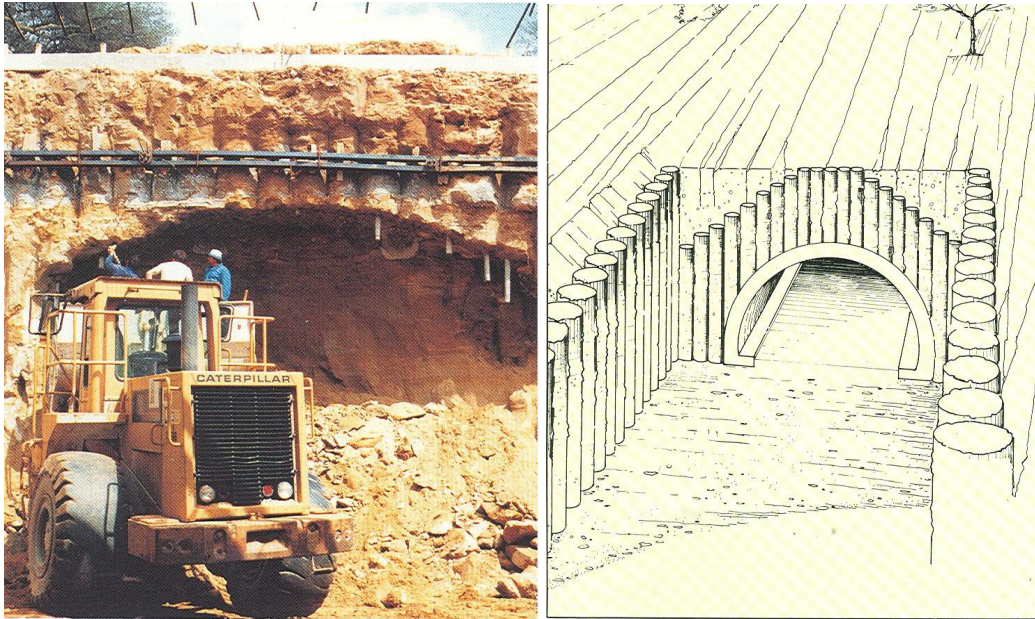
Şekil 3.36: Jet grouting ile temel takviyesi uygulamaları [33]

Tünellerde kazı yapılacak kesitin üst ve altı yatay jet grout uygulaması ile kaplanır. Kesitin üstündeki elemanlar parça dökülmesini engeller ve ardışık kazıdan hemen sonrası için destek görevi görür. Alt yarıdaki jet grout kolonları yer altı su seviyesinin altındaki uygulamalarda geçirimsizlik sağlayarak kazı yapılmakta olan ortama su dolmasını önler ve aynı zamanda tünel kesitine ön temel teşkil edilmiş olunur (Şekil 3.37).



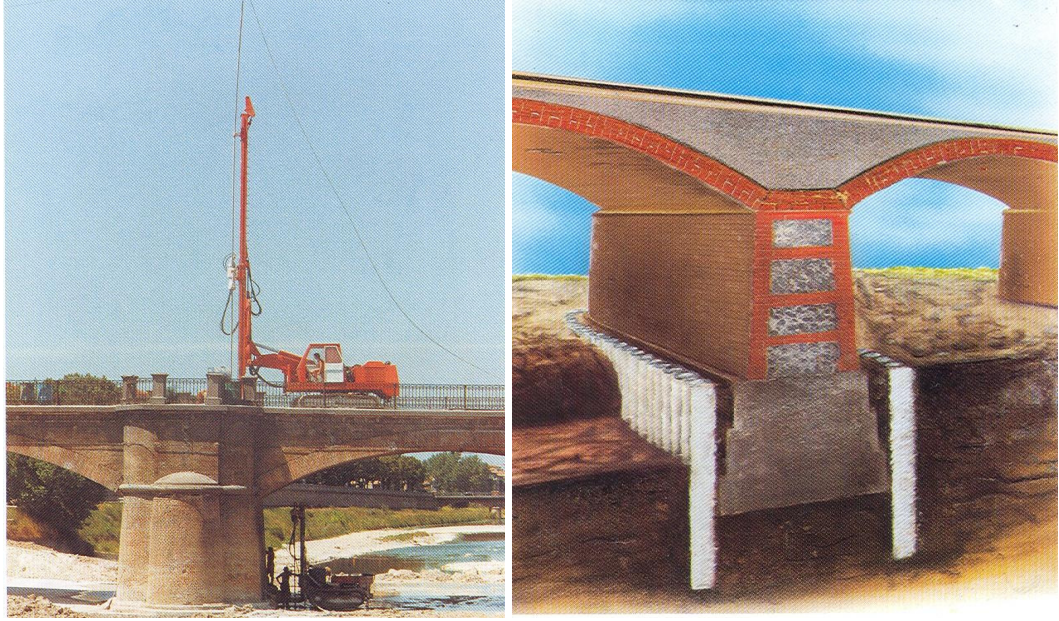
Şekil 3.37: Tünellerin, tünel kazılarının desteklenmesi ve suya karşı geçirimsizlik sağlamak amacı ile jet grout uygulaması [35]

Tünel girişlerinde ayna kazısını yapabilmek için ağırlık duvarı veya kazık yerine kazılması daha kolay ve aynı etkinlikte jet grout kolonları ile destekleme yapılabilmektedir. Fore kazıklarda olduğu gibi ankrajla birlikte kullanılabilir (Şekil 3.38).



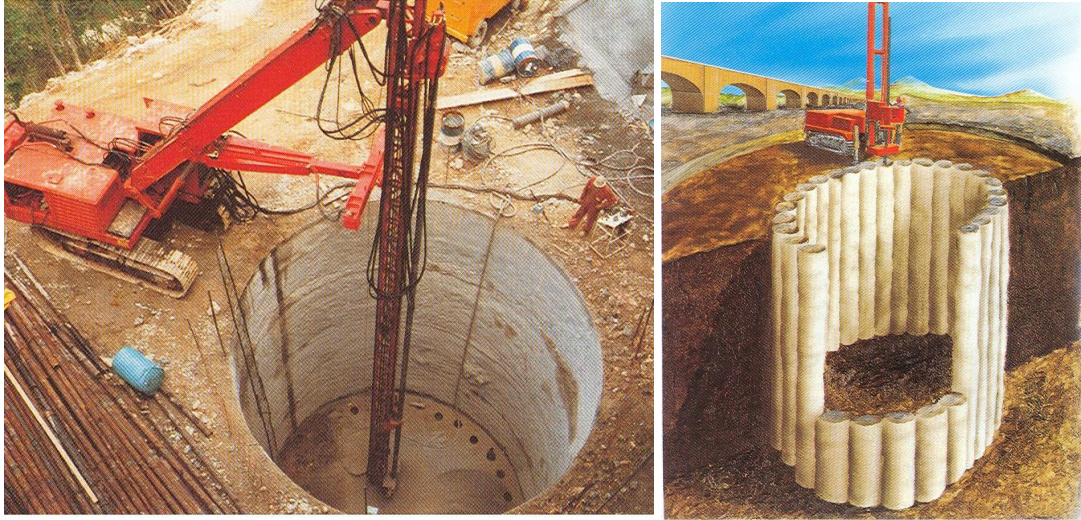
Şekil 3.38: Tünel girişlerinin jet grout kolonlarıyla desteklenmesi

Köprü ayakları gibi akıntı etkisi veya değişken su seviyesinin yol açtığı etkilere maruz kalan temellerin etrafına koruma için veya temelin daha derin tabakalar ile bağlantısını sağlayarak düşey deformasyonunu kısıtlama amaçlı kullanılabilir (Şekil 3.39).



Şekil 3.39: Köprü temellerinin jet grout kolonları ile takviyesi

Düşey shaftların kazılmasında da kazık kenarı desteklenmesi ve geçirimsizlik sağlamak amacı ile jet grout kolonları imalat hızı ve etkin su kesme özellikleri sebebi ile kullanılmaktadır (Şekil 3.40).



Şekil 3.40: Düşey shaftların kazısında jet grout kolonlarının kullanımı

Jet grout kullanım amaçlarını değerlendirirken yapım metoduna göre kullanım alanlarını ele alacak olursak, Tablo 3.4, genel bir fikir açısından jet grout yapım metodlarını ve hangi metodun hangi amaçla kullanıldığını özetlemektedir.

Tablo 3.5: Jet grouting uygulamaları [13]

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

3.2.3.7 Jet grouting yönteminin avantaj ve dezavantajları

Jet grouting yönteminin avantajları aşağıdaki şekilde belirtilebilir [21,23,28,32]:

- Genel olarak her türlü zemin tipine uygulanabilir.
- 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 ya da hiç olmaz.

- Önceden belirlenebilecek geometrik ölçüler çerçevesinde uygulanacağından ötürü malzeme sarfiyatı, büyük yaklaşımla önceden hesaplanabilir.
- Bu yöntem ile, yalnızca 13 cm'lik bir enjeksiyon deliğinden bir seferde 3 m'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 mukavemette ve permeabilitede 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 duvarlar da yapılabilmektedir.
- Yüksek riskli inşaatlarda can güvenliği sağlanır.
- Arazi şartlarına bağlı olarak inşaat suresini %30 ile %60 kısaltır.

Bu avantajlarının yanında yöntemin bazı dezavantajları ve zayıf noktaları da mevcuttur. Bunlar aşağıda belirtilmiştir [21,23,28,32]:

- En önemli güçlük, zemin koşulları nedeni ile geometri ve mukavemette ortaya çıkan değişkenliktir. Yük taşıyan kolonların çapının mümkün olduğu 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 değişiklikler 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 değildir 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.

Jet grouting yönteminin uygulanmasında dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda maddeler halinde verilmektedir [32]:

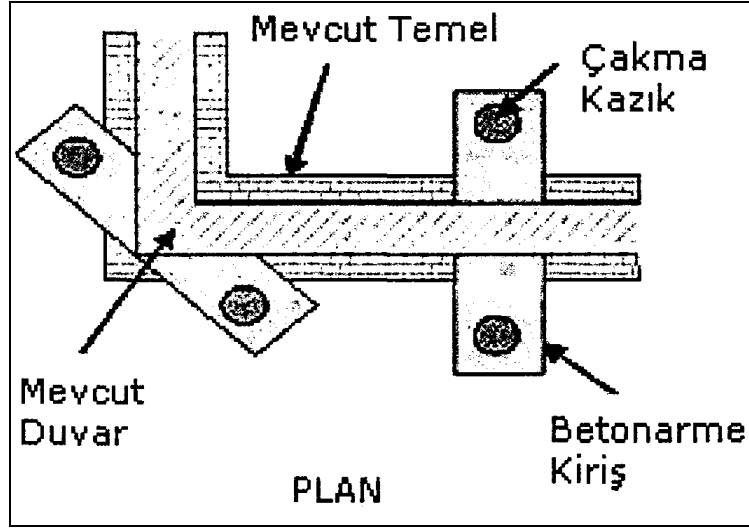
1. Bu konuda özenli ve dikkatli gözlem ve testler yapılmalı, iş konusunda tecrübe ve bilgi sahibi mühendislerce kontrol ve idare edilmelidir. Geniş emniyet tedbirleri alınmalıdır.
2. Yüksek basınçla çalışırken püskürtme ağızlarının tıkanmalarını önleyici tedbirler alınarak, enjeksiyon hortumlarının patlamasının önüne geçilmelidir.
3. Aşınmanın yüksek oluşundan dolayı tamir ve bakım süresi mümkün olduğu kadar kısa tutulmalıdır.
4. Enjeksiyon sırasında uygulanan basıncın kontrollü olarak ortadan kaldırılabilmesi sağlanarak zeminde arzu edilmeyen kabarma, çatlama ve kırılmaların önüne geçilmelidir.
5. Mutlak suretle yapılması gereken periyodik bakımın (bilhassa pompanın temizliği ile) ve yedek parça sarfiyatının minimum seviyede tutulması gereklidir.

3.3 Temel Yüklerinin Daha Derindeki Taşıyıcı Tabakalara Aktarılması

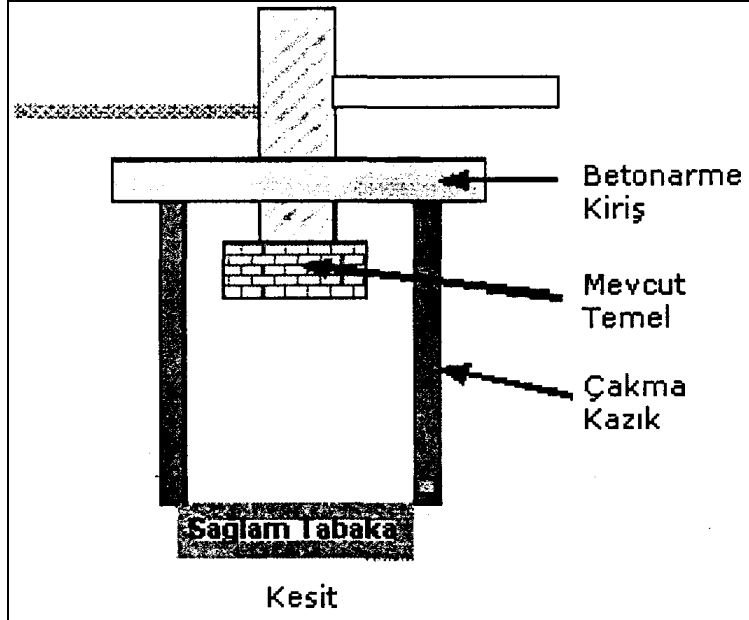
Eğer temelin oturmalara karşı takviyesi gerekiyor ise temel yükleri oturmalardan etkilenmeyecek bir derinliğe aktarılmalıdır. Bunun için arazi profilinin ve zemin özelliklerinin bilinmesi gerekir. Öte yandan, temelin takviye edilmesini gerektiren neden iyice belirlenmelidir. Oturmaların kaynağı çok derinde ise (Maden ocağı açılması gibi), temellerin kazıklar üzerine oturtulmaları bir yarar sağlamayacaktır [4].

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, tamamiyla temel takviyesi anlamına gelmektedir.

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 3.41 ve Şekil 3.42). Genellikle taşıma gücü azalmış temelerde bu tür bir önlem çok zordur.



Şekil 3.41: Kazık ve kavrama kirişi ile temel takviyesi uygulanması (Plan) [13]



Şekil 3.42: Kazık ve kavrama kirişi ile temel takviyesi uygulanması (Kesit) [13]

Bu tür temellerde 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 kütesine iyice bağlanmalıdır. Gerektiğinde, eski kütesi 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 parçasıymış 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 [37].

Alttan destekleme veya takviye kazıkları olarak da isimlendirilen bu tür temel takviye yöntemleri grubuna bütün kazık ve benzer elemanları toplayabiliriz [4].

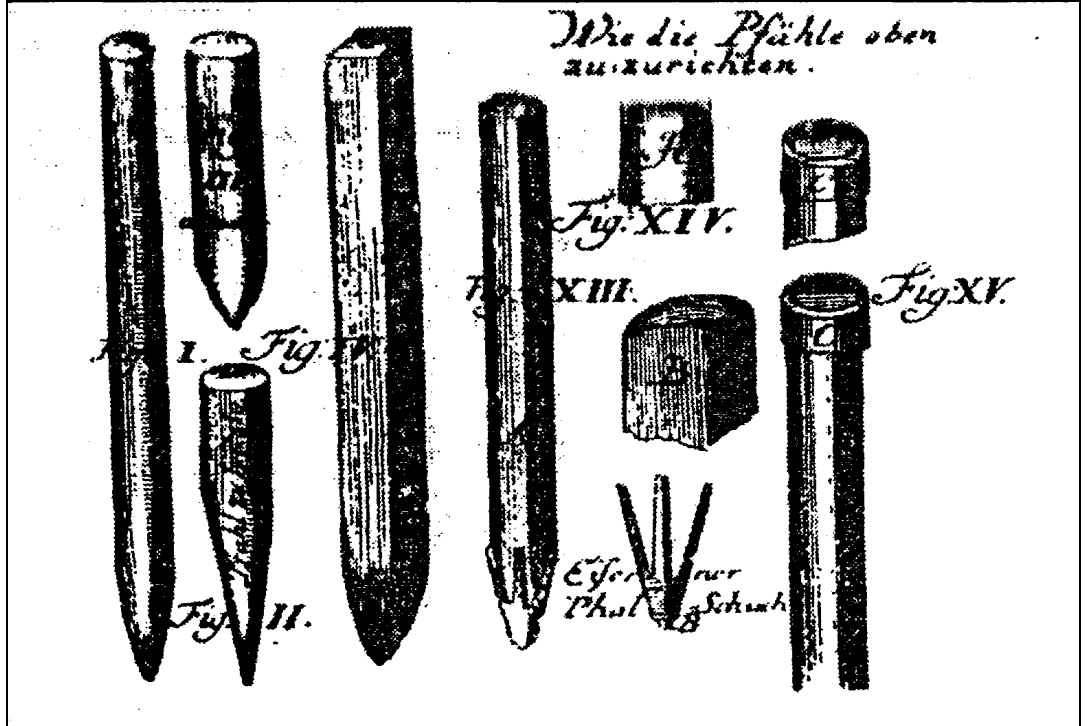
Normal çapta (30-80 cm) delme kazıklar dışarıdan çalışılacaksa normal makineler ile, bodrumda çalışılacaksa 2-4 m yükseklikte makineler ile yapılır.

- a) Parçalı itme kazıklar genellikle 20-60 cm çapında ve 0.50-1.50 m parçalar halinde zemine itilerek sokulmaktadır. Çeşitli patentler mevcuttur.
- b) Mini veya mikro kazıklar 7-30 cm çaplı olup daha küçük (sondaj veya ankraj) makineleri ile yapılabilir. Kapalı hacimlerde çalışabilecek özel tipleri bulunmaktadır. Büyük çaplı kazıklara göre bir avantajları da çeşitli eğimlerde yapılabilirlerdir.
- 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 yapıyı 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 [14].

Kazıkların yanında, önceki konuda anlatılan jet grout yöntemi de, yapı yüklerinin daha derindeki taşıyıcı tabakalara aktarılmasında kullanılan yöntemlerdendir.

Kazıklar çakma kazıklar ve fore kazıklar olarak iki genel ana başlık altında gruplandırılabilirler. 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, kılıfı veya kılıfsız olabilirler. Fore kazıklar açılan bir kazı çukuru içine donatı yerleştirilmesinin ardından, çukurun betonla doldurulması sonucu oluşmaktadır [12]. Tarihi yapılarda gözlemlenen ahşap kazıklar Şekil 3.43’de görülmektedir.

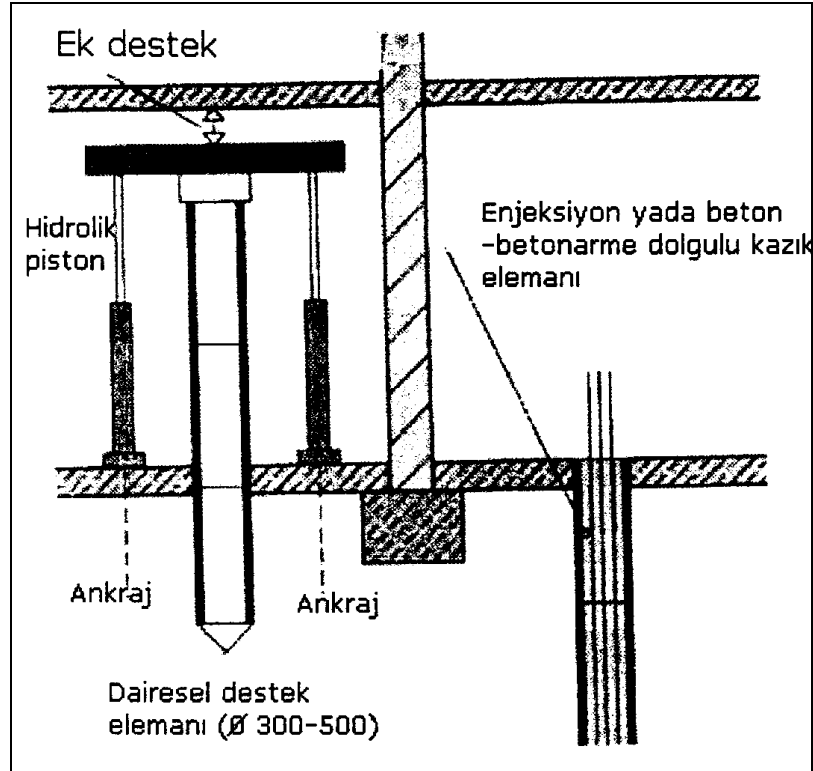


Şekil 3.43: Ahşap kazıklar [11]

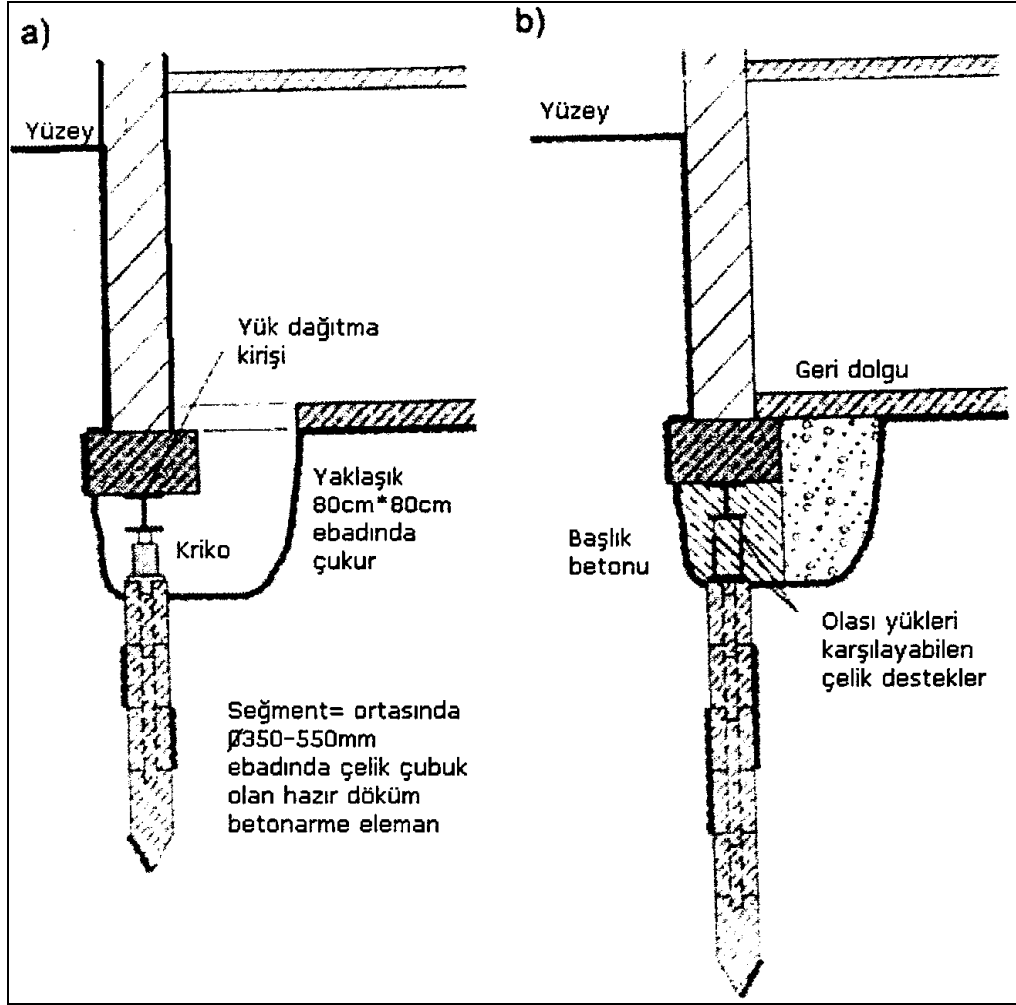
Temel takviyesi amacıyla kazı işlemine başlamadan önce temeller kısmî olarak ya da tamamen askıya alınmalıdır. Temel yüklerinin askıya alınma işlemi yapıldıktan sonra, temelin altında kazı işlemine başlanabilir ve sürekli yük taşıma takviye sistemine geçilir. Kazı işlemleri sırasında hasar görmüş yapıları 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. Mini kazıklar ve mikro kazıklar yerinde dökme kazıklar veya kompozit kazıklar olarak imal edilmekte, prekast elemanların krika ile itilmesiyle oluşan kazıklar (jack-down piles) olarak bahsedilebilir [34].

“Jacked-down” veya “segment kazıklar” özellikle çok sınırlı alanlarda vibrasyonsuz ve gürültüsüz temel takviyesi çalışmalarına imkan sağlayan özel tekniklerdir. Çelik ya da özel hazırlanmış betonarme elemanlar temel takviyesi yapılacak yapının altına merkezi olarak yerleştirilirler. Zemin ankrajları, betonarme kirişler, çelik ızgaralar, ağırlıklar 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 3.44’de gösterilen duvar yanına uygulanabilen çelik boru parçası ve Şekil 2.45’de gösterilen temel altına monte edilen beton veya çelik tüp parçasıdır.



Şekil 3.44: Jack-down kazık sistemi (Franki)



Şekil 3.45: Jack-down segment kazık sistemi (Erka)

“Jacked-down” veya “segment kazıkların” esas uygulama alanları, taşıma gücünü yitirmiş temellerin rehabilitasyonunu ve binanın kullanımının değişmesi sonucunda ortaya çıkan ilave yüklerin temele intikalini sağlamaktır. Bu metot kazıların yanında yapılan temel takviye sistemleri için kullanılmaz, 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.

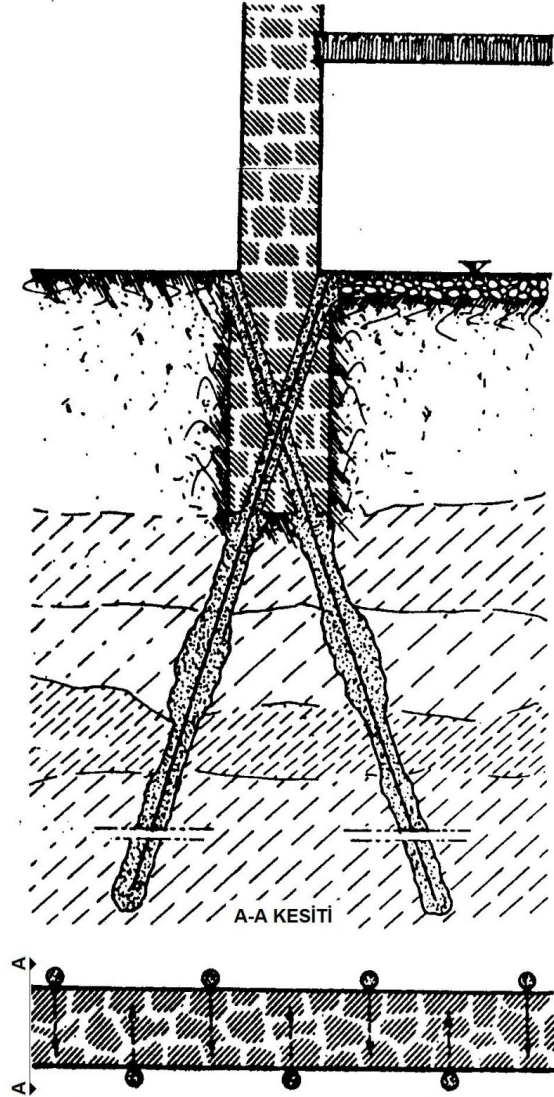
Mevcut yapının takviyesi için fore kazıklar, mini kazıklar, mikro kazıklar ve itmeli kazıklar kullanılabilir. Fore kazıklar, mini ve mikro kazıklar yapının temeline yanak kirişleri ile bağlanabilir. Mini ve mikro kazıklar, kök kazıkları veya ağımsı kök kazıkları şeklinde düzenlenerek zemin, temel ve kazıkların birlikte çalıştığı bütün bir yapı halinde çalışmasını sağlarlar.

3.3.1 Mini kazıklar

Mini kazıklar, özel kullanım yöntemi ve avantajları sebebi ile ayrı bir başlık olarak incelenmektedir.

3.3.1.1 Mini kazıkların tarihçesi

Mini kazıklar özellikle tarihi yapıların temel takviyesinin yapılabilmesi için geliştirilmiş bir tekniktir. Mini kazık sistemi bugün temelde küçük çaplı olarak değerlendirilmekte ve bir İtalyan firması olan Fondedile’de teknik yönetici olarak çalışmakta olan Dr. Fernando Lizzi tarafından geliştirilmiş olan “pali radice” “kök kazıkları” olarak da adlandırılmaktadır [36]. Kök kazıklarının temel takviyesi için kullanımını gösteren klasik bir uygulama örneği Şekil 3.46’da gösterilmektedir.



Şekil 3.46: Kök kazıkları (root piles) ile temel takviyesi uygulaması

1950'lerde İtalya'da, 1962 yılında İngiltere'de tarihi yapıların takviyesinde kullanılmaya başlanmıştır. Almanya'da Münih Metrosu inşasında kullanılmıştır. Almanya'da mikro kazık diye adlandırılan mini kazıklar için DIN 4128 1983'de oluşturulmuştur. 1950'lerde Avrupa'da kullanılmaya başlanmış olan mini kazığın Amerika'da 1980'lerde kullanılmaya başlanmasının 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, mini kazıkların Amerika'da geç kullanılmaya başlanmasının nedenlerindendir [36].

Bugün, dünya ülkelerinde genelde yapı maliyetleri ve teknik gerekler birbirlerine benzemekte olup, özellikle geoteknik çözümler için mini kazıklara gereksinim artmaktadır [36].

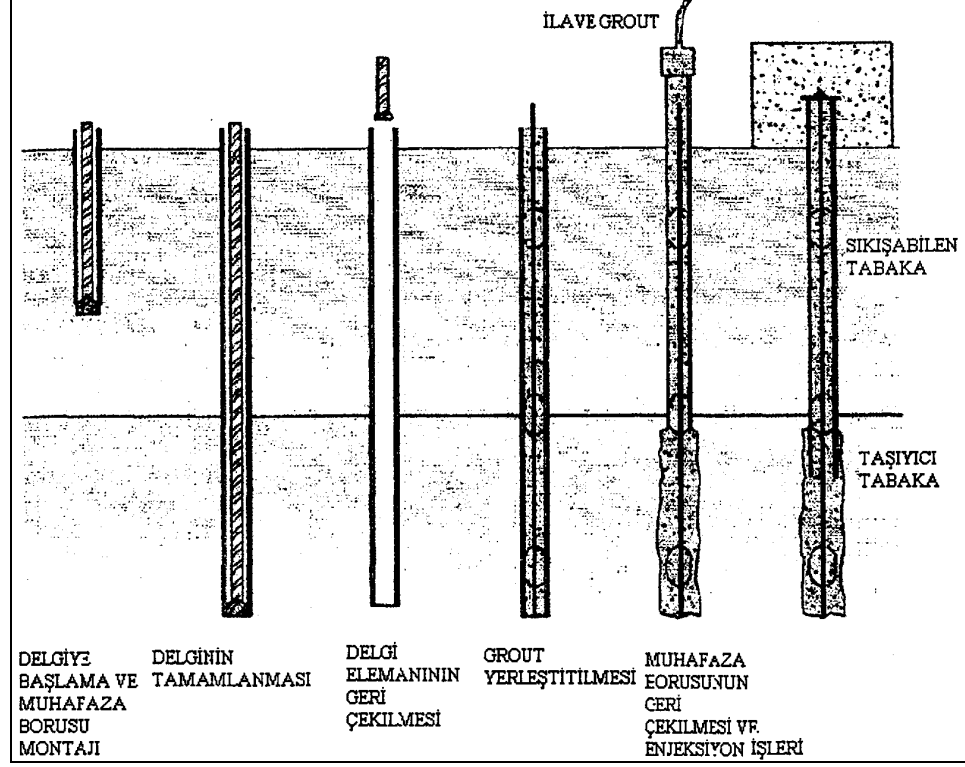
3.3.1.2 Mini kazık tanımlamaları

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 [39].

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 60 m'ye 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 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 arttırarak, oturmaları azaltarak ve özellikle mevcut yapıları güçlendirerek birçok zemin iyileştirme uygulamalarında etkili olduklarını kanıtlamışlardır [3].

Mini kazıkların yapım aşamalarının açıklamalı tipik inşaat sırası Şekil 3.47’de görülmektedir.



Şekil 3.47: Mini kazık yapım aşamaları [48]

3.3.1.3 Mini kazıkların tipleri ve yapım yöntemleri

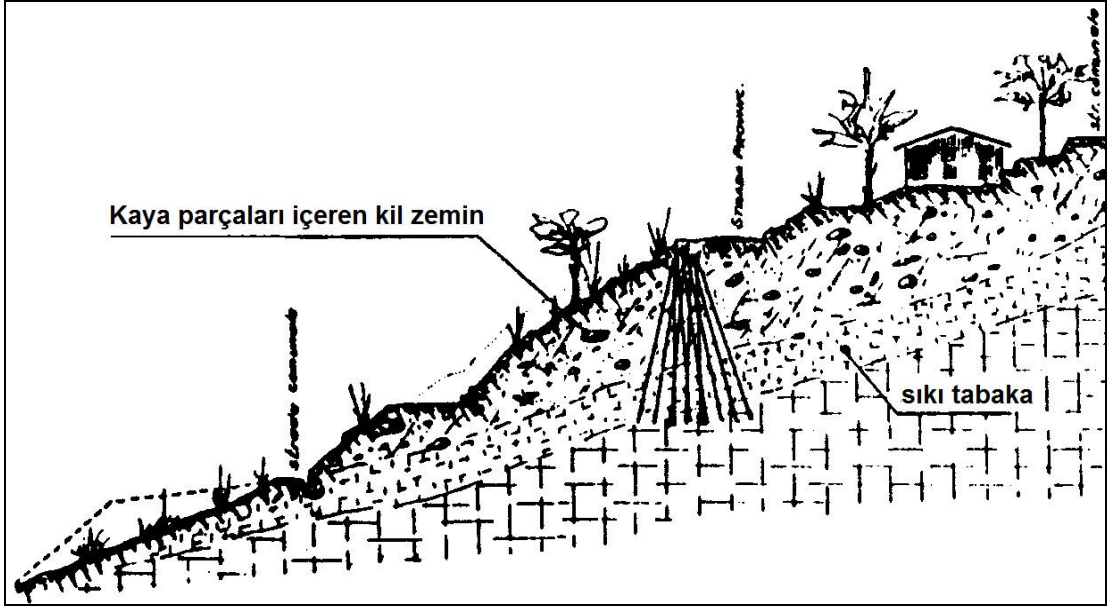
Mini kazıklar genellikle ilk olarak tasarım uygulamalarına ve enjeksiyon yöntemine göre sınıflandırılırlar. Yük etkisinde çalışma prensibine göre mini kazıklarda fonksiyonun tanımlanması önemlidir. Enjeksiyon yöntemine göre ise enjeksiyon ve enjeksiyonun bağlama kapasitesi önemlidir [24].

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 şey 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 Kazığın doğrudan yükü karşılaması durumu, münferit kazıklar içinde, grup halinde kullanılan kazıklar için de geçerlidir. Bu bağlamda bir mini kazık grubundaki her bir kazık yükü doğrudan karşılamaktadır (Şekil 3.48 ve Şekil 3.49).

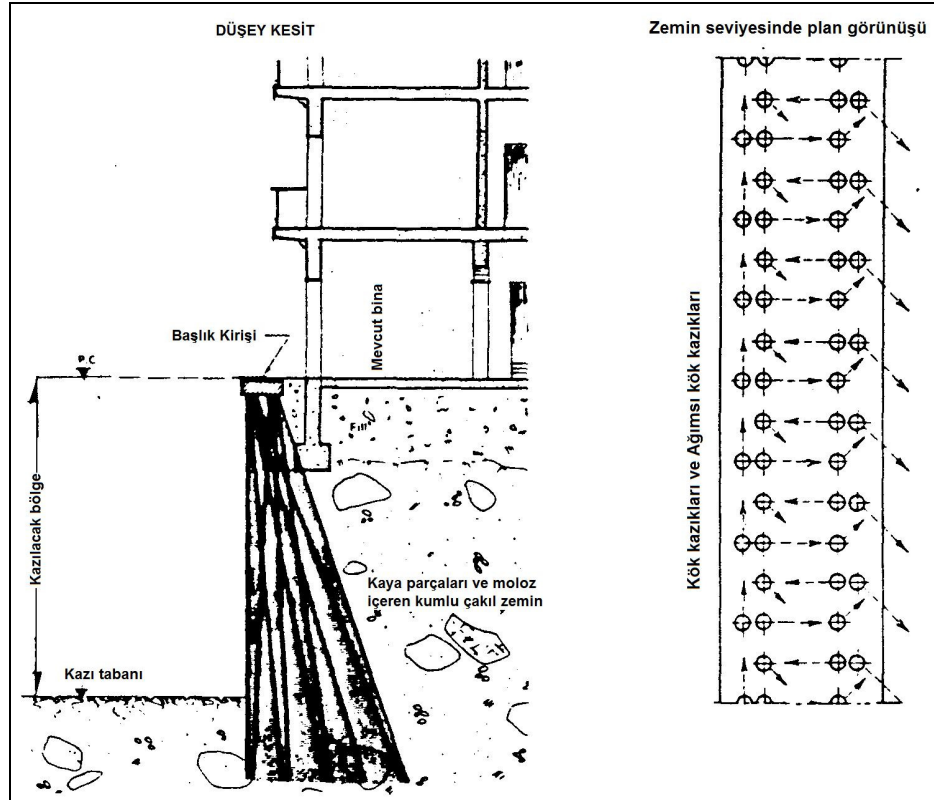
Doğrudan yük alacak mini kazıklar, yapı yükü almadan önce eğer eksenel yük taşıyacaklar ise bir ön yükleme ile kazık uç hareketleri kontrol edilmeli ve tasarlanan kazığın yerinde eksenel yük almaya başlayacağı zaman oturma yaparak yapıda hasara sebep olmayacağı ispatlanmalıdır.



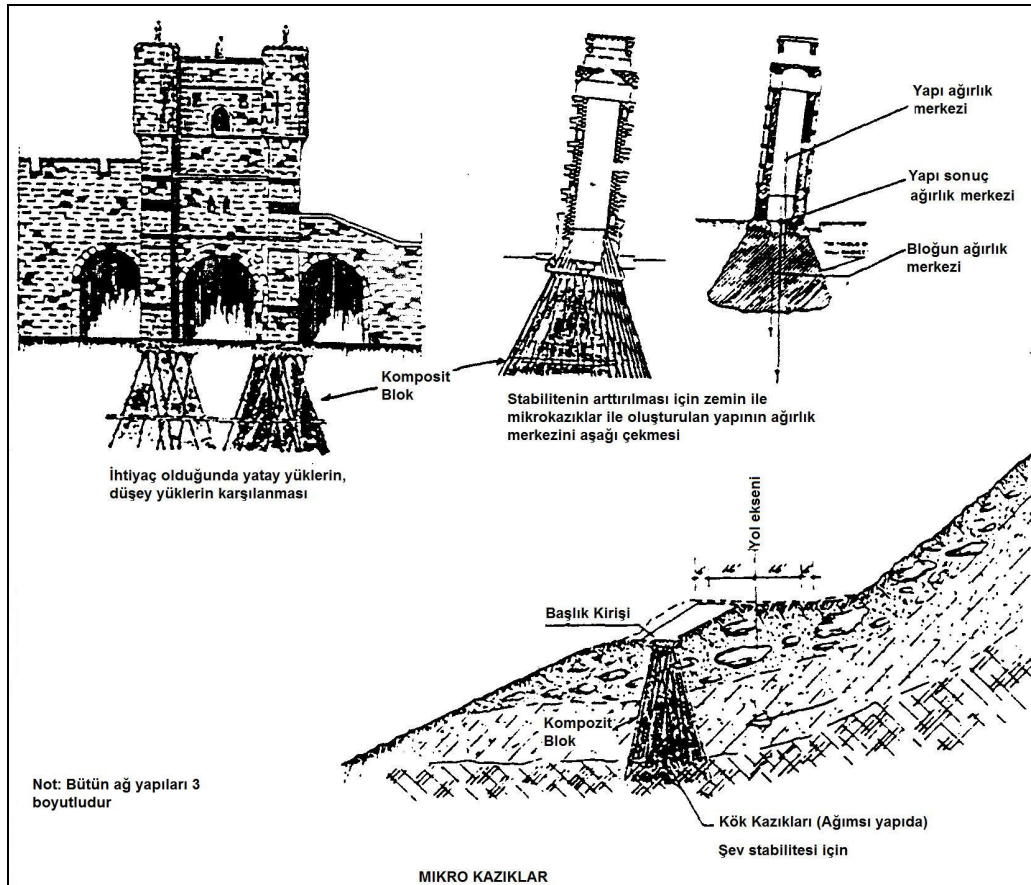
Şekil 3.48: Tip 1 Ağımsı kök kazıklar ile gevşek zeminin heyelanının önlenmesi

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 ne de aşırı donatı söz konusudur. Uygulama sonucu belirli bir alanı kapsayan, donatılı, kompozit bir malzeme elde edilerek zemin hareketleri sınırlandırılmaktadır. Çeşitli mini kazık uygulamaları Şekil 3.50’de gösterilmiştir.



Şekil 3.49: Tip 1 Mini kazık uygulaması örnekleri



Şekil 3.50: Tip 2 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 ya da 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.

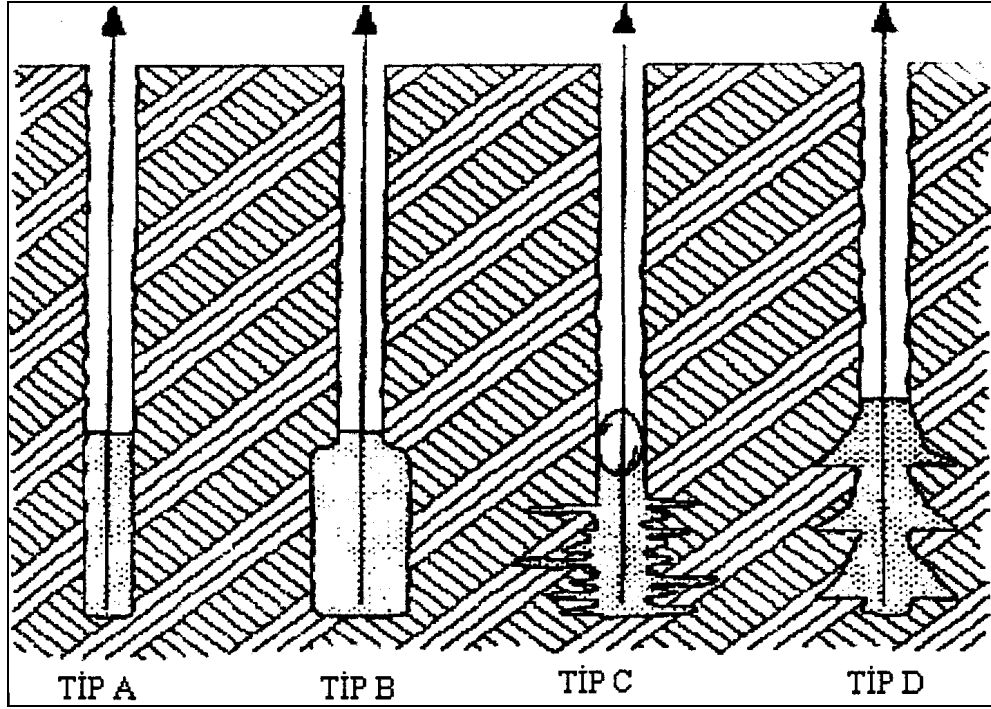
Mini kazıkların enjeksiyon yöntemine göre sınıflandırılması şematik olarak Şekil 3.51’de gösterilmektedir.

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 borusundan kazık imal edilmiş olur. Bu metot 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 manşetli boru kullanılarak 2-8 Mpa basınçla harç basılır ve istenen tabaka şeklinde yerleştirilmiş tıkaç sayesinde, harcın hedeflenen tabakaya, dış oluşturulacak şekilde yayılması temin edilir.



Şekil 3.51: Mini kazıkların enjeksiyon yöntemine göre sınıflandırılması [4]

3.3.1.4 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

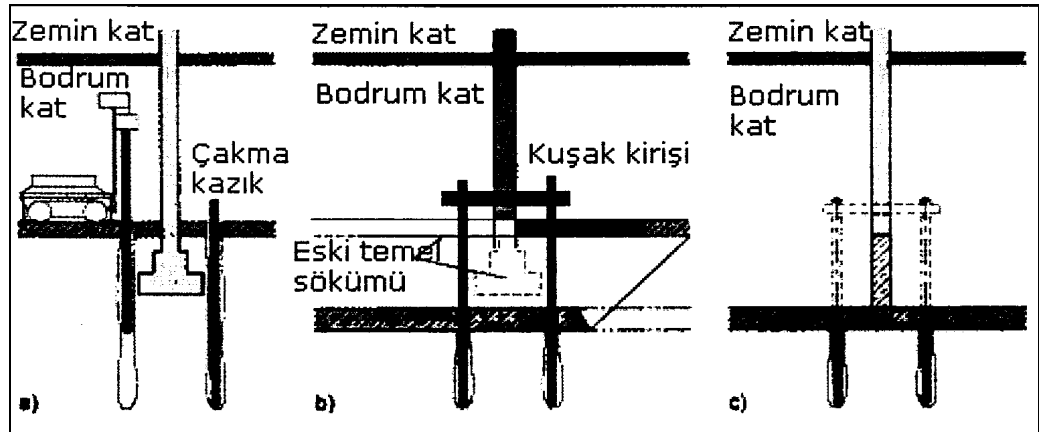
girmelidir. Sürtünme “post grouting” kullanılarak artırılabilir. Kazıklar temel takviyesi için kullanıldıkları zaman 250 kN’dan (kohezyonlu zeminler) 450 kN’a (kohezyonsuz zeminler) eksenel yük taşıyacak şekilde tasarlanırlar. Kazıklar bir sonraki kazı aşamasında yük altında kalırsa burkulma ihtimali 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 [3].

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 ile işin değişik aşamalarında deformasyonların statik olarak uygunluğudur.

İşin gerçekleştirme tekniği ya da statik etkiler düşünüldüğünde aşağıdaki taşıyıcı yapılar dikkate alınmalıdır [3]:

- 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 3.52’de yukarıda bahsedilen sistemlerin şematik gösterimi verilmiştir.

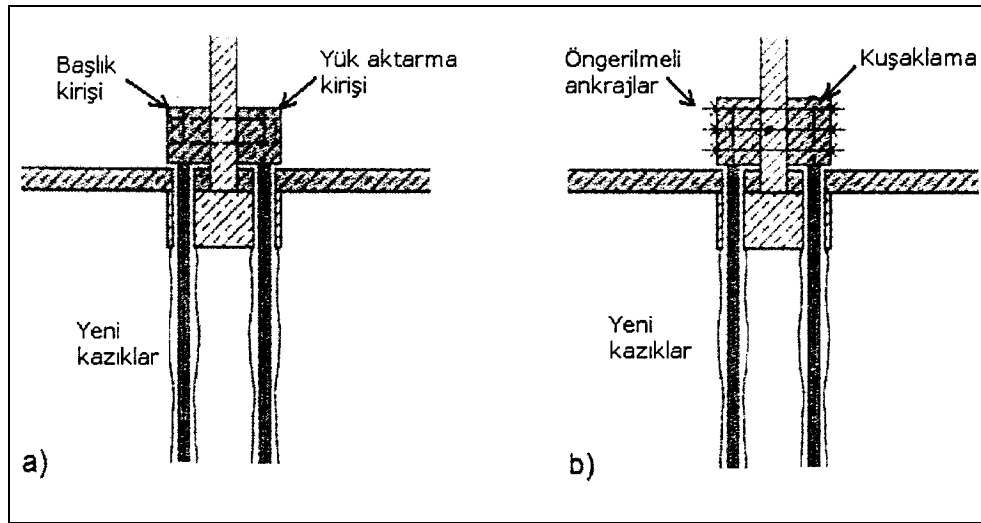


Şekil 3.52: Askıya alma ve her iki yönden kazık uygulaması yöntemi ile temel takviyesi yapılması [14]

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

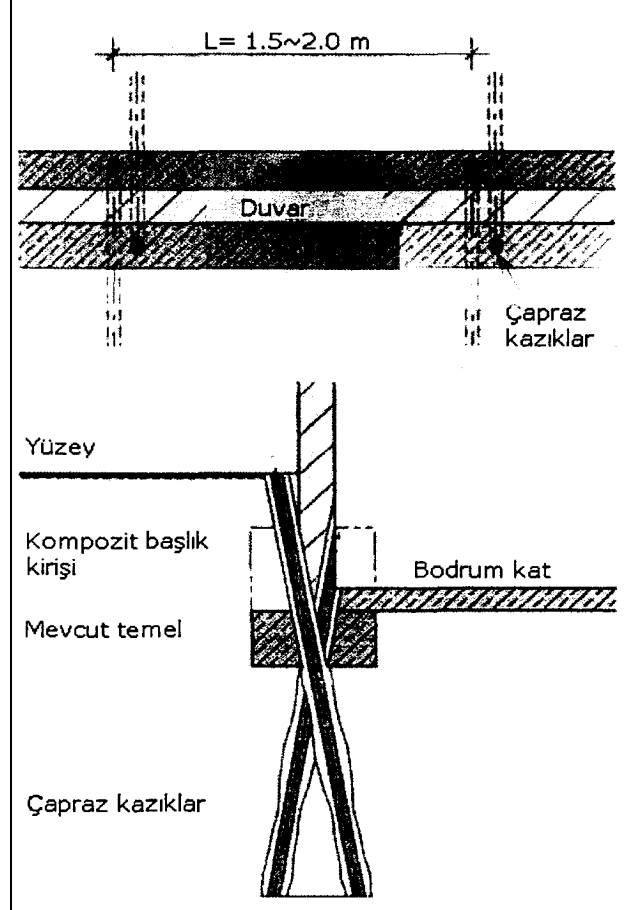
Bu yöntemde yapı yükleri, duvarın her iki tarafından temele çakılan dikmelerin duvar hizasında bağ kirişleri ile bağlanması sonucunda oluşturulan askı sistemi ile kazıklara iletilir ve kazıklar vasıtasıyla da temele aktarılırlar. Duvar altına yapılacak takviye elemanının başlangıçta yük almasını engellemek için hidrolik sistem vasıtasıyla, bağ kirişleri kullanılarak oluşturulan askı sistemi ile yükler alınır. Takviye elemanı imalatının yapılmasından ve bu yeni elemanın yük taşıma kapasitesine ulaşmasından sonra, eski yapı temeli ile yük aktarma sistemi kaldırılır, zeminde yeni döşeme imalatı tamamlanır. Böylece yeni yük taşıma yapısı tamamlanmış olur. (Şekil 3.53)

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 ya da 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 ya da kazıkların zemine ankre edilmesinin daha uygun olacağı sistem görülmektedir. Bu sistemin, kazıkların birbirlerine göre simetrik pozisyonda olmasına gerek olmaması gibi avantajları vardır.



Şekil 3.53: Dual düşey kazıklar ile temel takviyesi [13]

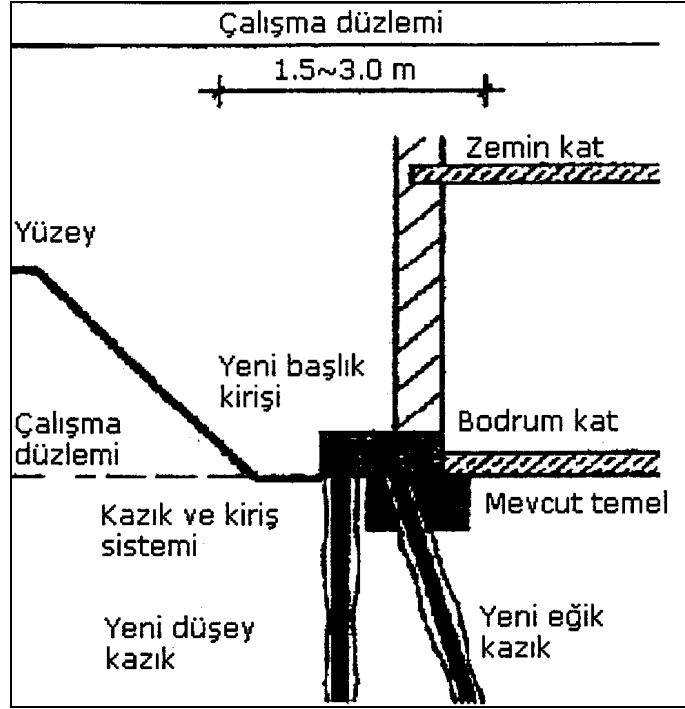
Şekil 3.54'den görülebileceği gibi simetrik yük alan kazık tipi seçilmesi durumunda bağ kirişi vb. yük aktarma elemanlarına gerek kalmadan temel takviyesi çalışmaları yapılabilir. Duvar yükleri kazıklar ile mevcut temel arasında kesme kuvveti aracılığıyla iletilir. Yük ve iç kuvvetlere bağlı olarak kazıklar, çift olarak çaprazlanır ya da alternatif şekillerde yerleştirilirler. Eğer ankrajın sabit uzunluğu kısa ise veya temel içerisinde yetersiz mesnetlenmiş ise ek kazıklarla duvar içindeki nişlere mesnetlenirler.



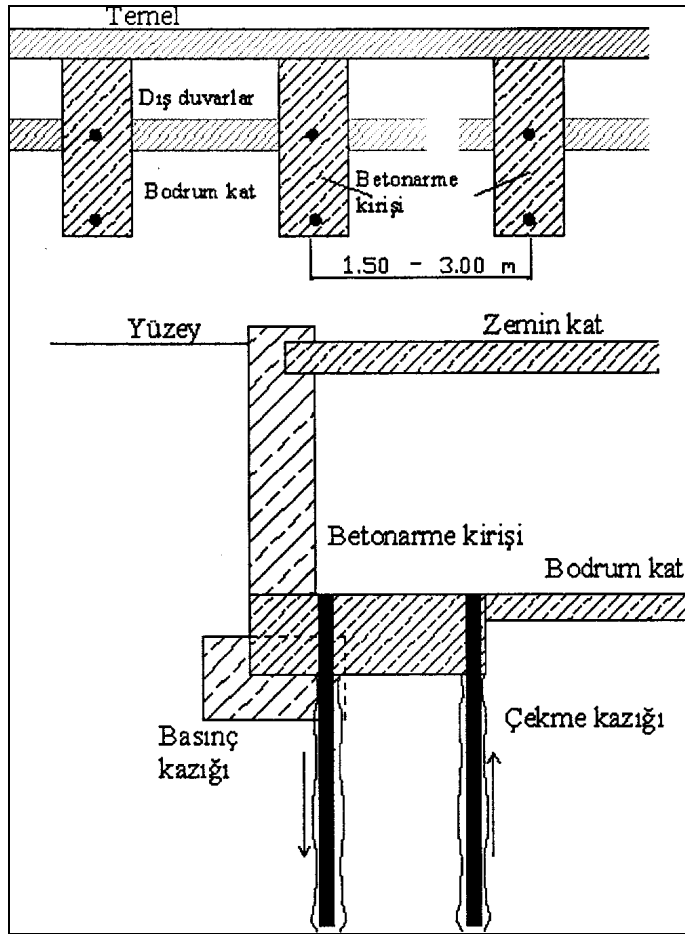
Şekil 3.54: Çapraz dual kazıklar ile temel takviyesi [13]

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 3.55 ve Şekil 3.56'da gösterilmektedir. Kazıklar çiftler halinde veya alternatif diğer şekillerde yerleştirilebilirler. Yük aktarmak amacıyla tek bir başlık elemanı yerine plaka ile yük aktarması yapılabilir.

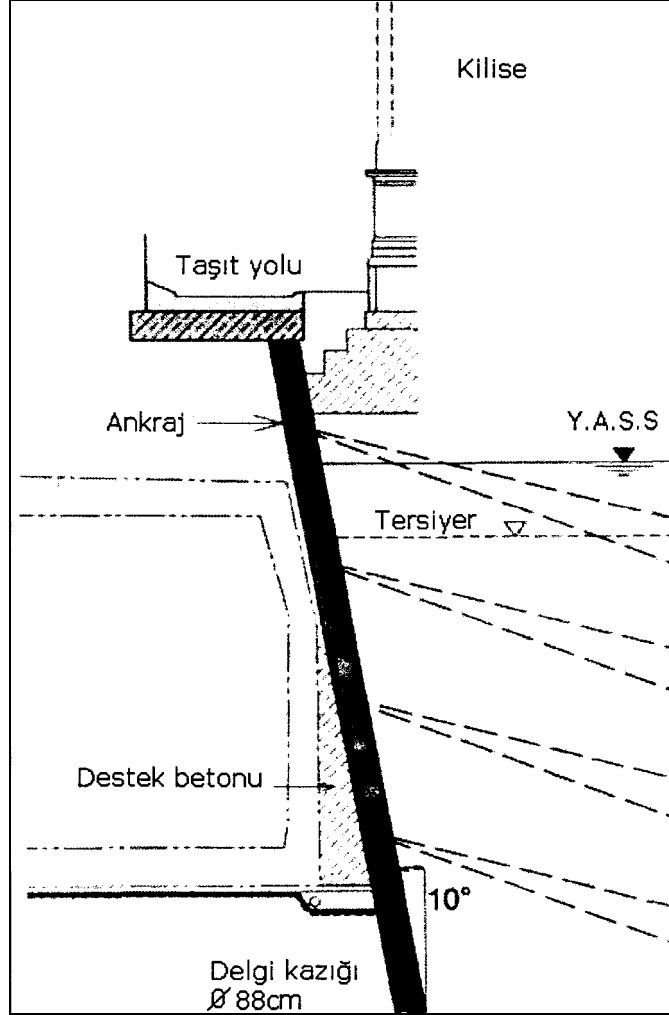


Şekil 3.55: Düşey ve eğik kazıklar ile tek taraftan temel takviyesi [13]



Şekil 3.56: Konsol kiriş ve kazık sistemi ile tek taraftan temel takviyesi [13]

(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 3.57’de tarihi bir binanın temellerinin 1:10 eğiminde delme kazıklar ile takviyesine ilişkin bir örnek kesit verilmektedir.



Şekil 3.57: Eğik kazıklar ile oluşturulmuş temel takviyesi [13]

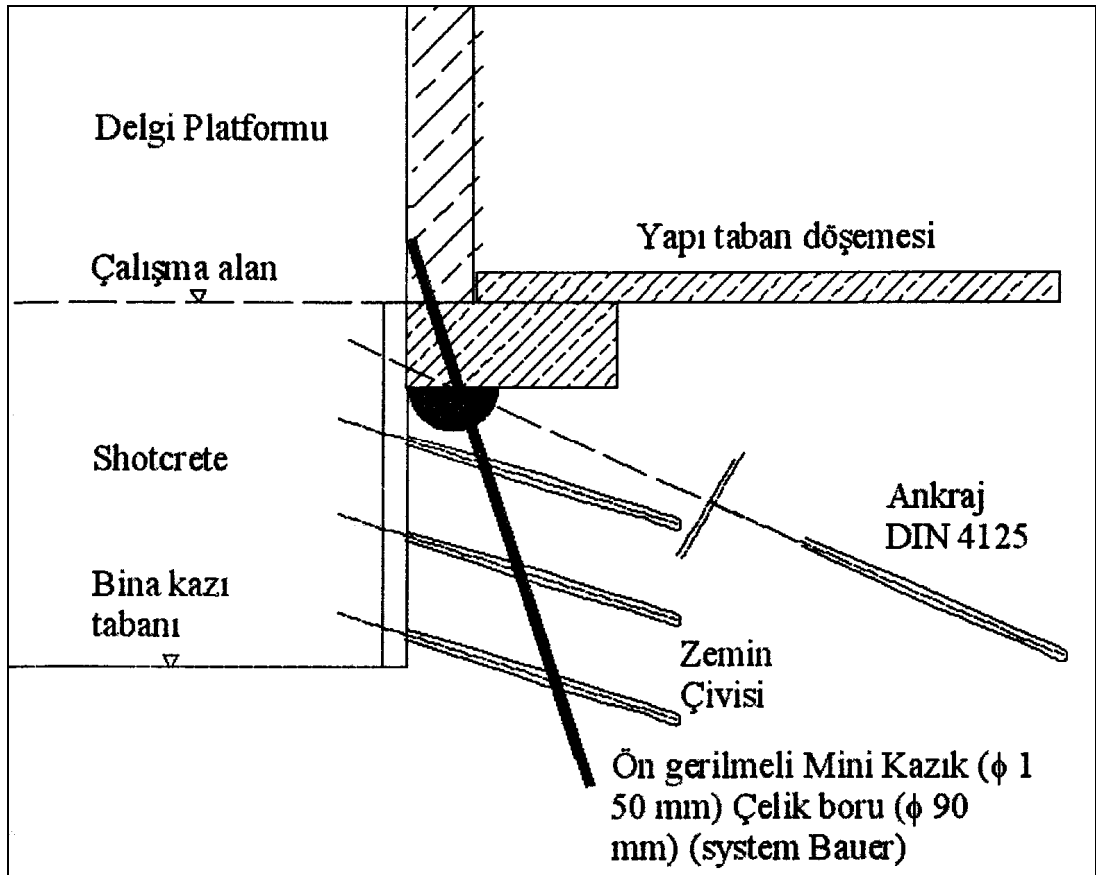
Bütün kazıklar, yapım aşamasında bir kabul testine tabi tutulurlar. Temel takviyesi uygulamalarında kazık uygulamalarının avantajı, saha koşullarına uygun çalışma ortamını sağlayacak şekilde projeye özgü olmasındandır.

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 metotların 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 3.58’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 3.58: Birleştirilmiş temel takviye sistemi (mini kazık, ankraj ve zemin çivisi)
[13]

3.3.1.5 Mini kazıkların faydaları

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

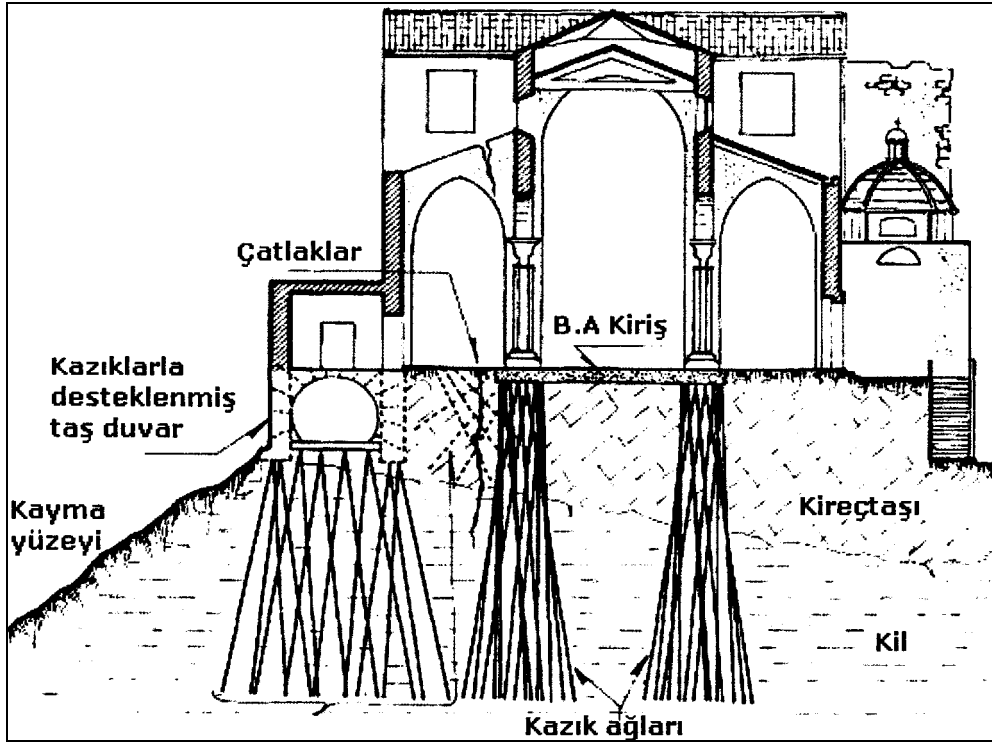
- Yüksek performans
- 3 ile 500+ ton arasında tasarım yapılabilmesi
- Gerilme ve kaldırma kuvvetlerine karşı kolay uygulanabilir tasarım
- Çoğu zemin koşullarına uygunluk
- Düşük kat yükseklikleri ve kısıtlı alanlarda çalışabilme kolaylığı
- Düşük titreşim ve gürültü oluşturmaları

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

Mini kazıklar, oturma ve/veya 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, şey 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 şey stabilitesi, tünellerin desteklenmesi ve destek duvarları için uygun bir çözüm olmaktadır [40]. Tarihi bir yapının bu şekilde temelinin takviye edilmesi Şekil 3.59'da gösterilmektedir.



Şekil 3.59: Zeminde kazık ağırları oluşturarak temel takviyesi yapılması

Mini kazıklar Dr. Lizzi'ye göre aşağıdaki sayılan nedenlerden ötürü temel takviyesi için ideal bir seçimdir [41]:

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

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 vs, 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 ya da kuyu yapılamayabilir. Bu gibi durumlarda kazıklar ya da jet grouting kolonları kullanılır [1].

4. TEMEL TAKVİYE ÇALIŞMALARININ 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 yöntemi, 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 artırımı gibi nedenlerle daha ağır yükleri taşıyabilmesi için temelin genişliğini arttırma amacıyla yapı sisteminde tadilat yapılması,
- Mevcut bir yapının yakınında boru, kanal, tünel vb. altyapı çalışmalarının yapılması,
- Yapının oturduğu zeminin şişen ya da kaba olan özellikler göstermesi nedeniyle yapıda oturmalar meydana gelmesi,
- Endüstriyel bir tesisin yenilenmesi kapsamında yeni tesis edilecek makine 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 başlanmadan 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 vs, 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.

4.1 Ön İncelemeler

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 [16].,

- Yapının oturduğu zeminin şişen ya da kabaran özellikler taşıması gibi oturma potansiyeli olma durumu kontrol edilmiş midir?
- Yapı hangi tarihte kimler tarafından inşa edilmiştir?

- Hangi mevsimde inşa edilmiştir? 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 meydana gelen 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.

4.2 Yapısal İncelemeler

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 gözlem 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.

4.2.1 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 yol açan 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 kuvvetlerde bir artışın veya karşı koyan tepki kuvvetlerinde bir azalmanın söz konusu olduğu anlamına gelir.

4.2.2 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 değişir, zeminin taşıma gücü yer yer azalır ve temelde farklı veya düzenli oturmalar oluşabilir. Bu oturmaların belli sınırları geçmesi halinde taşıyıcı elemanlarda çatlamlar başlayabilir.

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

4.2.3 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 “çatlamlar” oluşur. Suyun oturmasıyla kuruyan zemin tabakalarında ayrıca ‘rötre’ oluşur. Rötre sonucu, özellikle killi zeminlerde, aşırı hacim küçülmesi olacağından, oturmalar bir önceki 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 [37].

Yeraltı suyunun yükselmesi sonucunda ise, zemin boşlukları tamamen su ile dolacağından, “doygun” 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 çatlamlar oluşur [37].

4.3 Geoteknik İncelemeler

Temel takviye çalışmaları sırasında yapıda yapılacak kazılar (forajlar) ve sondajlar yardımı ile temel zemin ilk olarak tanınmalıdır. Ancak zemin durumu incelendikten sonra, yapıda oluşmuş ya da 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.

4.3.1 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 geçerler. 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. Sistemik 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 (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 tespit edilebilmektedir [11].

4.3.2 Zemin numuneleri alınması

Foraj ve sondajlarla zemin tabakalarının durumu belirlenir. Ayrıca zeminin mekanik özelliklerinin tanımlanabilmesi için bu işlemler sırasında, zeminden “örselenmemiş” (doğal hali bozulmamış) numuneler alınır. Sondaj deliği içinde, yerinde, örneğin; presyometre aletleri ile yanıl basınç deneyleri yapılır. Örselenmiş numunelerde, zemin endeks özellikleri, tabaka cinsleri ile tabaka kalınlıkları belirlenir. Örselenmemiş numuneler üzerinde de laboratuarda deneyler yapılarak zeminlerin mekanik özellikleri saptanır [37].

4.3.3 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 ya da kazık yükünün bulunması bakımından gereklidir [41].

Bir temelde meydana gelen oturmalar, yapıda göçmeye/kırılmaya varabilen inşaat sorunları meydana getirebilir. Bu bakımdan toplam oturmaların yanında farklı oturmalar ile açılal oturmaların yönetmeliklerin izin verdiği değerleri aşmamasına özen gösterilmelidir. Bu değerler üst yapının inşaa özellikleri ve kullanım şekline göre değişiklikler göstermektedir [41].

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 [37].

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 [37].

4.3.4 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 [37].

4.3.5 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 ya da 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 bilgileri ışığında bu zaman sürecinde, zemindeki oturmaların yapıyı etkileyip etkilemeyeceği hususunda bir hesap yapma olanağı elde edilir. Bu hesap sonuçlarına göre çok uzak

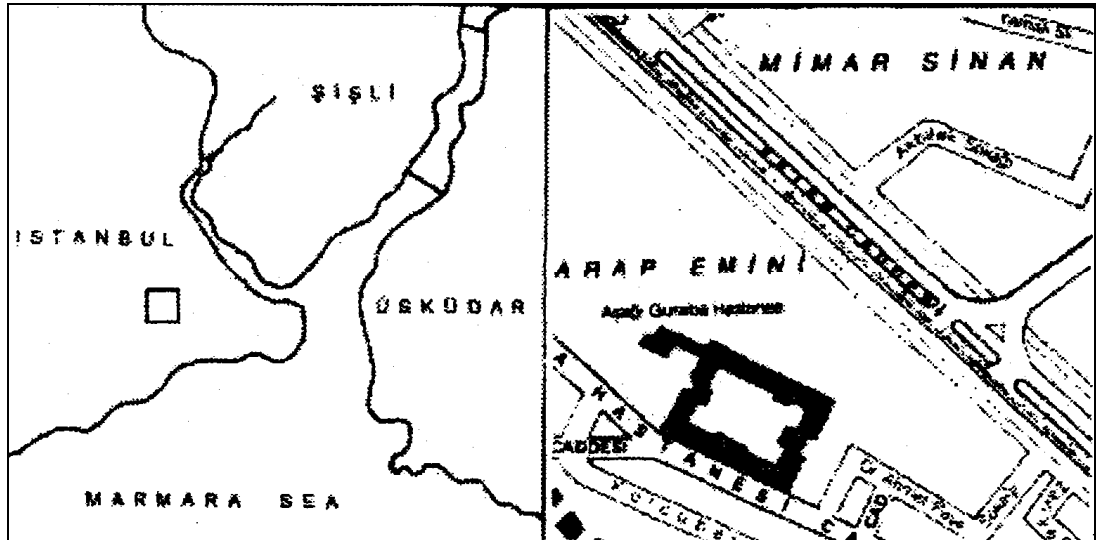
geçmişteki zemin davranışları ile ilgili bir ekstrapolasyon yaparak, daha somut sonuçlara ulaşılabilir. Örneğin, geçmişteki bu değişimlerin mertebesi bilinir ve yapıdaki çatlamlar gözlenirse, gelecekteki olası çatlaklar ile ilgili önlemler, optimum bir maliyetle alınabilir [37].

5. TEMEL TAKVİYESİ UYGULAMALARINDAN ÖRNEKLER

5.1 Vakıf Gureba Hastanesinin Temel Takviyesi

5.1.1 Giriş

İstanbul Vakıf Gureba Hastanesi 1843 yılında, Sultan 1. Abdülmecit'in annesi olan Bezm-i Alem Sultan tarafından yaptırılmıştır. 1864 ve 1877 yıllarında tamirattan geçen yapı, 1894 yılında meydana gelen Mercalli ölçeğinde X şiddetindeki depremden ağır hasar görmüştür. Yapının kuzey doğu cephesindeki çatı ve duvarlar neredeyse tamamen göçmüş ve yapının geriye kalan kısımları tahliye edilerek yapı bir yıllık tamirat süresince kapalı kalmıştır. 1924 yılında Haydarpaşa'da bulunan İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi Asya'dan Tarihi Yarımada'ya taşınınca Vakıf Gureba Hastanesi üniversiteye tahsis edilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: Vakıf Gureba Hastanesinin vaziyet planı

Hastane 130 m x 90 m ebatlarında olup 58 m x 94 m ebadında bir iç bahçeye sahiptir. Kuzey ve doğu kanatları iki katlı olan yapının, güney ve batı kanatları tek katlıdır. Yapının orta kısmında bir çatı katı ve doğu köşesinde de binanın merkezi ısıtma sisteminin bulunduğu bir bodrum mevcuttur. Günümüzdeki hali Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.2: Vakıf Gureba Hastanesi ön cephe görünüşü (2008)



Şekil 5.3: Vakıf Gureba Hastanesi ön cephe görünüşü (2008)

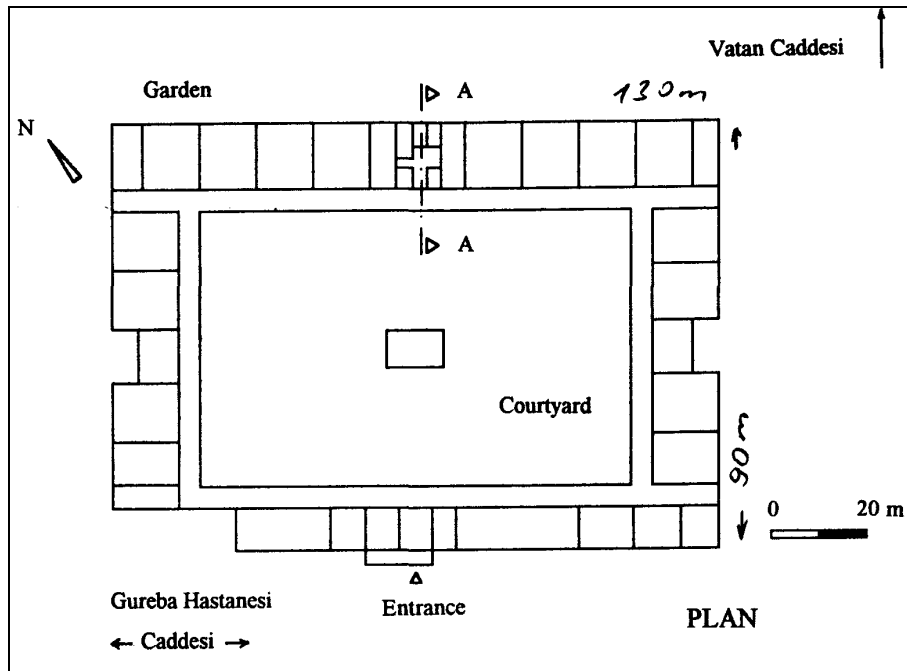
Yapının taşıyıcı, kısmı kalın yığma taş duvarlardır. Ahşap döşeme ve çatı bu duvarlar tarafından taşınmaktadır. Yapıda yapılan güçlendirme ve tamirat çalışmaları sırasında ahşap döşemelerin yerini öngermeli prefabrik elemanlar, ahşap çatının yerini de çelik elemanlar almıştır [43].

5.1.2 Zemin özellikleri ve temel sistemi

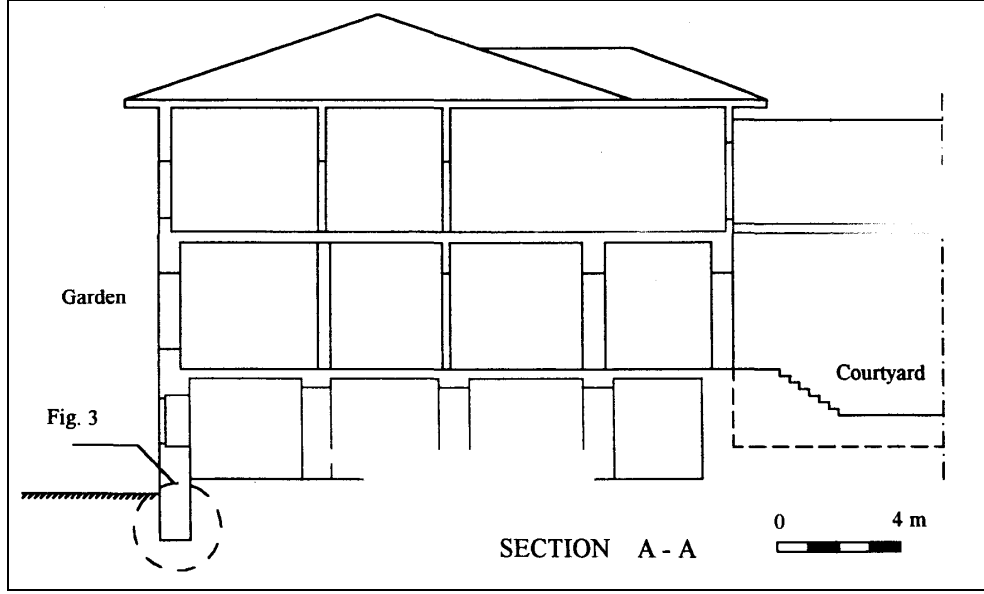
Yapı, şehrin jeolojik ve geoteknik olarak iyi bilinen bir kesiminde bulunmaktadır. Yapının zemin şartlarını ve temel sistemini öğrenmek amacı ile, mevcut temellerin yanından temel altına kadar inen muayene kuyuları açılmıştır. Zemin profili üstte 2 m kalınlığında eski dolgu ve altında, sarmasiene ait üniform, ince daneli kum bantları içeren neogene ait yüksek plastisiteli aşırı konsolide yeşil kildir. Kiremit, horasan parçaları ve organik maddelerden oluşan dolgunun ortalama standart penetrasyon değeri $N_{30} = 14$ olarak bulunmuştur. Organik madde muhtevası % 2.5 ile % 6 arasında değişen dolgu tabakasının elastisite modülü 1.1 MPa ile 3.6 MPa arasında olup, presiometre deneyi ile bulunan limit basıncı 660 KPa'dır.

Aşırı konsolide yeşil kum tabii su muhtevası (W_n) % 31, plastik limiti (W_p) % 31 ve likit limiti (W_L) % 58 olduğundan, tabii su muhtevasının plastik limit civarında olması sebebi ile zeminin orta-sert sert kıvamda olduğu söylenebilir. Drenajsız basınç mukavemeti (q 150-250 KPa olan yeşil kilin sıkışma indisi (C_c) 0.15'dir. Yeşil kil tabakası içerisinde bulunan sarı renkli, üniform, kum bantlarındaki kumun dane çapı 0.1-0.4 mm olup sıkı-çok sıkı olduğu söylenebilir.

Temel sistemini görmek için açılan muayene kuyularından, temel genişliğinin duvarların genişliğiyle aynı (1 m) olduğu, bazı yerlerde temel derinliğinin 1 m olacak kadar yüzeysel olduğu ve dolgu tabakasına oturduğu görülmüştür. Taşıyıcı duvarlar kesitte herhangi bir genişletme yapılmadan doğrudan zemine oturmaktadır [43].



Şekil 5.4: Vakıf Gureba Hastanesi plan görünüşü



Şekil 5.5: Vakıf Gureba Hastanesi kesit görünüşü

5.1.3 Değerlendirme

Yapıda, zayıf temel koşullarından dolayı tehlikeli üstyapı çatlakları oluşmuştur. Yapının kuzey kanadındaki avlu duvarı 1/40 mertebesinde düşeyden sapmıştır. Yapıda yapılan gözlemler ve incelemeler neticesinde şu gerekçelerden dolayı temel takviyesinin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır:

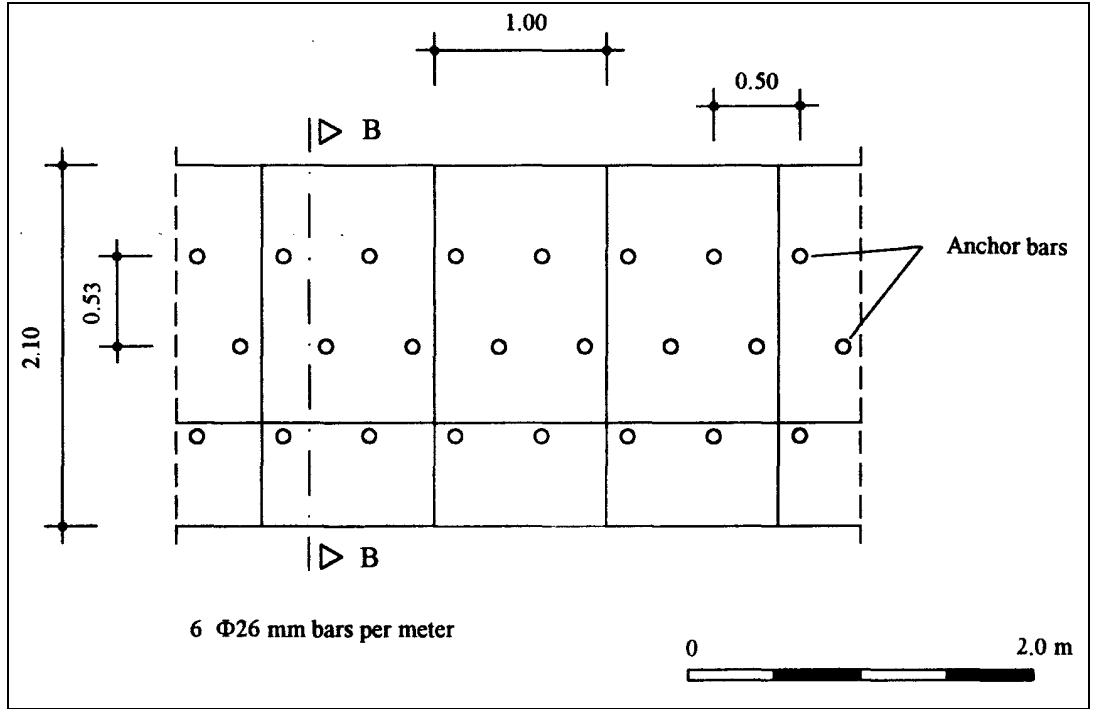
1. Yapı temelleri yüzeysel olup dolgu tabakasına oturmaktadır.
2. Taşıyıcı duvarlar yapı yüklerini temelde herhangi bir kesit genişlemesi olmadan, doğrudan zemine aktarmaktadır.
3. Taşıyıcı duvarlar düşük kaliteli malzeme ve işçilikle yapılmıştır.
4. 2. derece deprem bölgesinde bulunan yapı 1894 depreminde ağır hasar görmüştür.
5. Vakıf Gureba Hastanesi, Osmanlı'dan günümüze Türk tıbbının gelişmesinde önemli bir tarihi değere haizdir. Hastanenin aynı amaç doğrultusunda kullanımına devam ettirilebilmesi için takviye edilmesi gerekmektedir [43].

5.1.4 Sonuç

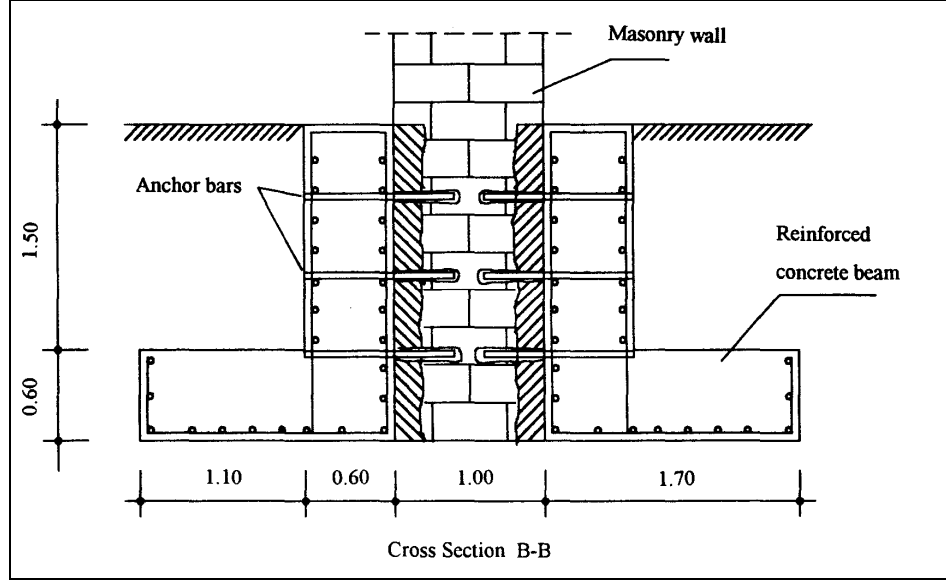
Yapılan gözlem ve incelemeler göstermiştir ki, bu tarihi yapının gelecekte de ayakta kalabilmesi için temel takviyesi gereklidir. Yapının taşıyıcı duvarları, yükü herhangi bir kesit genişlemesi olmadan zemine aktardığından zeminde oluşması beklenen

gerilme 250 KPa iken, ahşap döşeme ve çatıda yapılan değişiklikler neticesinde bu gerilme 300 KPa değerine yükselmiştir. Bununla birlikte, yapıda yapılan tamirat çalışmalarında tamir edilen kısımlarda kullanılan farklı malzemelerden dolayı taban gerilmesi dağılımının üniformluğu bozulmuştur.

Sonuç olarak, Vakıf Gureba Hastanesi'ndeki esas problem; yapı yüklerinin, taşıyıcı duvarlardan herhangi kesit genişlemesi olmadan zemine aktarılması ve bunun sonucunda zeminde çok yüksek gerilmeler oluşmasıdır. Bu durumun ortadan kaldırılması için temelin genişletilmesi en uygun bir yöntem olarak görülmüş ve sürekli bir temele sahip olmayan taşıyıcı duvarların iki yanına hem genişlemeyi hem de sürekliliği sağlamak amacı ile L şeklinde betonarme kirişler yapılmıştır. Eski temel ile yeni betonarme kirişler arasındaki bütünlüğü sağlamak amacı ile bağlantıyı sağlayan çelik ankrajlar konmadan önce, ankraj deliğinden içen epoksi enjekte edilmiştir (Şekil 5.6 ve Şekil 5.7). Bu sayede çelik ankraj ile taş duvarın irtibatı kuvvetlendirilmiştir. Takviye sonrası yapılan gözlemlerde, çatlak ilerlemesinin durduğu görülmüştür [43].



Şekil 5.6: Vakıf Gureba Hastanesi temel yanak kirişleri bağlantı ankrajları yerleşimi



Şekil 5.7: Vakıf Gureba Hastanesi yanak kirişleri kesiti

5.2 Küçükse Kasrı Temel Takviyesi

5.2.1 Giriş

Küçükse Kasrı, Boğaziçi'nin Anadolu yakasında, Küçükse Çayı'nın deniz tarafındadır. Kasır, benzerlerine göre ufak ise de, Boğaz'ın dar bir yerinde bulunuşu, zengin süslemeleri ve doğaya uyumu ile dikkati çekmektedir.

Kasır, bir zemin ve iki kattan oluşmaktadır. Deniz cephesinin orta bölümü iki yandan dışbükey kanatlarla sarılmıştır. Birinci kattan denize inen yay biçimli, iki taraflı süslü merdiven, ufak bir havuzu sarmalamaktadır. Merdiven iki kollu, mermerle kaplı bir yolla rıhtım tarafındaki görkemli kapıya bağlanmaktadır. Kasrın deniz cephesi aşırı bir biçimde süslüdür. Kasrın yan cephelerindeki balkonlar, mimariye hareketlilik kazandırmaktadır. Kara cephesi, nispeten sade bir görünüme sahiptir. Deniz cephesindeki aşırı süslü merdivenle karşılaştırılamayacak sadelikte bir merdivenle birinci kata çıkılmaktadır. Kasrın eski fotoğraflarından, çatıyı çevreleyen parmaklıklı kornişe yer yer taş oyma vazolar konulmuş olduğu anlaşılmaktadır. Kasrın bahçesi, süslü parmaklıklar ve dört tarafa açılan süslü kapılarla çevrilidir. Kasrın içi de özenle süslenmiştir. Her katta dört oda bulunmaktadır. Her oda, hem hole açılmakta hem de arkasındaki odaya kapısı bulunmaktadır. Deniz tarafındaki odalarda ikişer, kara tarafındaki odalarda birer şömine bulunmaktadır. Her odanın şöminesi ayrı bir tarzda işlenmiştir. Kasrın aynaları, avizeleri, tavan ve yer döşemeleri çarpıcı bir uyum sergilemektedir. Zemin katı, üst katlarla ilgisi olmayan, basit bir hizmet mahali görünüşündedir. Burada mutfak, kiler ve hizmetli odaları yer almaktadır.

Küçüksu Kasrı, İstanbul'un en eski mesire yerlerinden birinde bulunmaktadır. Sedat Hakkı Eldem, mesirenin tarihteki yerini belirlerken, "Büyük ve Küçük Göksu"ların meydana getirdikleri, birbirine paralel iki vadi ve aralarındaki çayır, İstanbul şehrinin Kağıthane ile birlikte en meşhur ve "Asya'nın tatlı suları" olarak tanınan mesiresi idi. Bir taraftan Göksu Deresi, Gölcük bahçeleri ve Göksu Bendi üç-dört kilometrelik mesafeyi en şairane bir dekor içinde sürdürüyordu. Diğer taraftan Küçüksu daha küçük ölçüde ve daha dar bir vadi içinde Hekimbaşı Çiftliği'ne kadar uzanıyordu." demektedir. Kağıthane mesiresi, Patrona Halil Ayaklanması (1730) ile yok olunca Küçüksu daha fazla önem kazandı. Dönemin en önemli dinlenme ve eğlenme yeri oldu. Dereye kayıklarla dolaşıldı. Dere boyunca da yayalar, atlılar ve arabalılar gezinirdi. Bugünkü Göksu Çayırı'nın yerinde bulunan Has Bahçe'de 16. yüzyılın sonunda 66 bostancı çalışıyordu. Kasrın günümüzdeki görüntüsü Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.8: Küçüksu Kasrı yol cephesi (2008)



Şekil 5.9: Küçükse Kasrı deniz cephesi ve rıhtım (2008)

18. yüzyılın ortalarında Sadrazam Divittar Mehmet Emin Paşa, kıyıdaki iki eski yalının yerine klasik Osmanlı üslûbunda ahşap bir kasır yaptırdı (1751-1752). Bu ilk kasır, şimdiki Küçükse Kasrı'nın yerinde idi. Divittar Mehmet Emin Paşa (öl. 1753), donanma kaptanlarından Aşçızade Mehmet Paşa'nın oğlu Nevşehirli Damat İbrahim Paşa'nın divittarı (vezir katibi) idi. Daha sonra Divan-ı Hümayun Kâtibi oldu. Patrona Halil İsyanı'ndan sonra bir süre açıkta kaldı. Çeşitli devlet görevlerinde bulunduktan sonra 1750'de sadrazam oldu. Şehirde çıkan yangınlar bahane edilerek 1752'de azledildi. Zamanın padişahı I. Mahmut'un Küçükse'ya düşkünlüğünü iyi değerlendirerek burada bir saray (kasır) yaptırmaya karar verdi. Eski Şehremini ve o tarihte Muhasebeci-i Evvel olan Ağametçi'nin kardeşi Yusuf Efendi'yi inşaatı yürütmek üzere "bina emini" olarak görevlendirdi.

Mehmet Emin Paşa, yaptırdığı kasrı I. Mahmut'a hediye etti. Kasrın inşaat giderlerinin kim tarafından karşılandığı açık değildir. Sadrazamın masrafları hazineden mi, yoksa kendi kesesinden mi karşıladığı bilinmemektedir. Yalnız kasrın tefriş giderlerinin sadrazam tarafından devletin ileri gelenleri arasında bölüştürüldüğü anlaşılmaktadır.

I. Mahmut (1696-1754), amcası III. Ahmet tarafından yetiştirilmiştir. Patrona Halil İsyanı ile III. Ahmet'in indirilmesi üzerine 1730'da tahta çıktı. I. Mahmut,

Avusturya, Rusya ve diğer Avrupa devletleri ile dostluk anlaşmalarını yeniledi. Anadolu'daki eşkıya hareketlerini bastırdı. Askeri Islahat'ın gereğine inanmakla birlikte, yeniçeri ve kapıkulu ocaklarına dokunmadı. Bu konuda tek teşebbüsü, Humbaracı Ocağı'nın kurulması oldu.

Kasr-ı Ali ahşap olarak inşa edilmişti. Bugünkü Küçüksu Kasrı'ndan daha büyük bir alan kaplıyordu. İçinde, "Kasr-ı Hümayun" denilen büyük köşk odasından başka, 9 büyük oda, biri büyük biri daha küçük iki sofa, bir ara sofası, dehlizler, kahveci ve şerbetçi odaları vardı. Kasr-ı Ali ile ilgili kapsamlı bir araştırma yapmış olan Sedat Hakkı Eldem, yapı hakkında tanınmasına yetecek bilgiler ortaya koymuştur.

Ahşap kasır iki kısımdan oluşuyordu. Denize doğru uzanan kısım, yapı alanının büyük bir kısmını kaplıyor, bunun arkasında, kıyıya paralel iki katlı kısım yer alıyordu. Denize uzanan kısım, kısmen kazıklar üzerine inşa edilmişti. Eldeki kayıtlara göre, sağlam ağaçlardan yapılmış olan kazıkların boyları 6.00 m kadardı.

Kasrın onarımı ile ilgili 1791 tarihli keşifte, bu kazıkların bir kısmının tahrip oldukları ve yenilenmelerinin gerektiği kaydedilmiştir. 1792'de III. Selim, kasrı yeniden yaptırıncasına onarttı. II. Mahmut zamanında da kasır esaslı bir onarım gördü. III. Selim 1806'da Mihrişah Valide Sultan için kasrın yanındaki çeşmeyi inşa ettirdi. III. Selim (1761-1808), III. Mustafa'nın oğludur. Amcası I. Abdülhamit'ten sonra 1789'da tahta çıkmıştır. Saltanatın ilk yıllarında çeşitli cephelerdeki başarısızlıklardan sonra sağlanan barış döneminde yenilik hareketlerini başlatmıştır. Mühendishane-i Bahr-i Hümayun onun zamanında kurulmuştur (1773). III. Selim, Kabakçı Mustafa İsyanı ile tahttan indirilmiştir.

Ahşap kasır zamanla tahrip olmuş ve sonunda tamamen sökülerek yerine, Abdülmecid döneminde, yeni bir kasır yapılmıştır (1865). Yeni kasır (bugünkü Küçüksu Kasrı) bir "biniş kasrı" idi, yani günübirlik ziyaretler için yaptırılmıştı. O yüzden yatak odaları yoktur. Kasrı yaptıran Abdülmecit, Dolmabahçe Sarayı'nın bir minyatürü olan bu kasrın inşasından altı yıl sonra ölmüştür. Abdülmecit'in (1826-1861) tahta çıkışı, babası I. Mahmut'un 1839'da ölümünden sonradır. Tahta çıkışından bir süre önce Osmanlı ordusu Nizip'te, Kavalalı Mehmet Ali Paşa güçlerine yenilmişti. Ardından Kaptan-ı Derya Hain Ahmet Paşa donanmayı kaçırarak Mısır Valisi Mehmet Ali Paşa'ya teslim etmişti. Abdülmecit bu kayıpları telafi etmek, halkın ve Avrupa devletlerinin desteğini sağlamak amacı ile bir takım yenilik hareketlerine girişmişti. Bu çerçevede, Hariciye Nazırı Mustafa Reşit Paşa'nın önerisiyle, 1839'da Gülhane Hatt-ı Hümayunu'nu yayınladı.

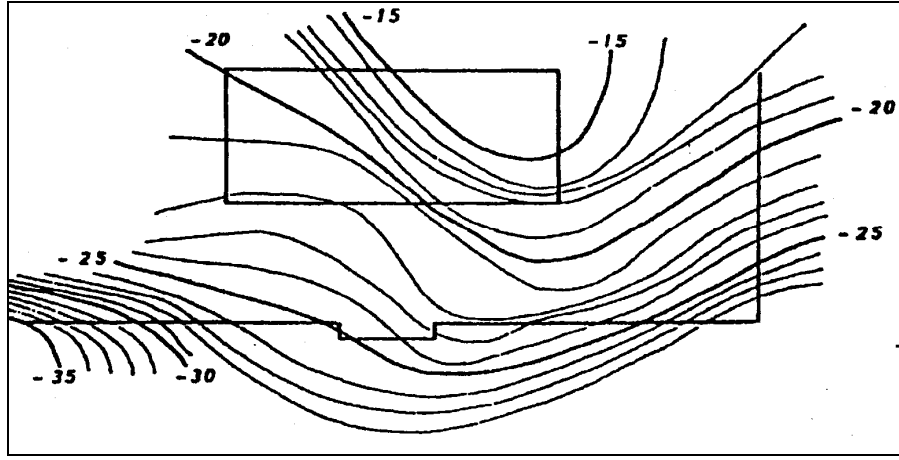
Yeni kasır, eski ahşap kasrın ferah, cüretli ve mağrur mimari anlayışı yerine, dönemin insanlarını etkilemeye yönelik, süsü ön plana alan anlayışını yansıtmaktadır. Abdülmecit'in ölümü üzerine 1861'de tahta çıkan Abdülaziz (1830-1876), bu anlayışı daha belirgin hale getirmiş, Küçüksu Kasrı'nın dış görünüşünü çok sade bularak cephelerdeki kabartma süslerini ekletmiştir. Yenilik hareketleri, Abdülaziz döneminde de sürmüştür. Abdülaziz, Avrupa ülkelerini ziyaret eden ilk Osmanlı Padişahı olması ile tanınır. Abdülmecit döneminde olduğu gibi Abdülaziz döneminde de bunalımlar had safhaya geldiğinde sadrazam değiştirilmiştir. Balkanlardaki karışıklar sonucu huzursuzluğun artması üzerine, devlet yönetiminde yetersiz kaldığı, devlet hazinesini kişisel zevkleri için harcadığı ileri sürülerek, bu kez Abdülaziz tahttan indirilmiştir. Abdülaziz döneminde, Küçüksu Kasrı'nın cephelerine konulan süslemeler, gösterişli hale getirilen bahçe kapıları ve parmaklıkların belli bir üslup özelliği yoktur. Küçüksu Kasrı, bir süre uluslararası konukların ağırlandığı bir saray olarak kullanılmıştır. Abdülaziz tahta geçtiği yıl, gayri resmi bir ziyaret yapan İngiliz veliahdını burada ağırladı. Üç yıl sonra Eflak ve Boğdan Prensi Couza, kasra konuk edildi. Prens, Bükreş'e döndüğünde Romanya Kralı I. Aleksandr olarak taç giydi. Zamanın sultanlarının kasra saltanat kayığı ile gelişleri de ayrı bir olaydı. Cumhuriyet döneminde Küçüksu Kasrı ulusal bir saray olarak korunmaya alındı. 1930'lu yıllarda Atatürk, boğaz gezintisine çıktığı zaman kasra uğradı. Cumhurbaşkanı olarak Celal Bayar'ın kasırda kaldığı söylenir.

5.2.2 Zemin özellikleri ve temel sistemi

Küçüksu Kasrı, kalınlığı deniz tarafında, 20-23 m, kara tarafında 13-15 m'yi bulan, deniz oluşumu gevşek tabakalar üzerine inşa edilmiştir. İnce bir dolgu tabakası altında güney tarafta 5.60 m kalınlığında cıvık kıvamda az çakıllı siltli kil, bu tabakanın altında 11.00 m kalınlığında gevşek az killi orta kabuk, daha altta 3m kalınlığında orta sıkı, az kumlu ince kabuk; kuzey tarafta 3.00 m kalınlığında kum çakıl, altında 1.50 m kalınlığında cıvık kıvamda ince çakıllı siltli kil, altında 10.00 m kalınlığında gevşek az killi iri kabuk, daha altta ise 3.00 m kalınlığında yumuşak kıvamda iri kabuklu kil arazi profilini oluşturmaktadır. Taban kayası, batıya doğru 13°-15 ° eğimlidir (Şekil 5.10). Yer altı su seviyesi 0.70-0.80 m derinliktedir [44].

Kireçtaşı taban kayasının derinliği, kuzey tarafındaki rıhtım kazıklarında 35-37 m'yi bulmaktadır. Kaya eğimi kuzeydoğuya doğrudur. Kasrın ortalama 1.50 m kalınlıktaki duvarları, 5.00 m'yi bulan ve yaklaşık 0.25x0.25 m kesitindeki ahşap kirişlerin oluşturduğu ızgara üzerine oturmaktadır. Bu ahşap ızgaranın altında, uçları demir çarıklı ve yaklaşık 0.45x0.45 m kesitinde kısa ahşap kazıklar bulunmaktadır. Temel takviyesi sırasında ortaya çıkan bu eski temeller başarılı bir uygulamayı

sergilemektedir. Şimdiki kasrın yerinde bulunan eski ahşap kasrın zaman zaman onarılması gerekmiştir. 1856 yılında inşa edilen Küçüksu Kasrı'nın ise gerek nasıl yapıldığına gerekse 1970 yılından önce gördüğü onarımlara ilişkin tarihi belgelere veya ciddi araştırmalara rastlanılmamıştır. Eldeki bilgilere bakılırsa, 1905 yılında yöre büyük bir sel baskınına maruz kalmıştır. Fakat bu yüzden binanın herhangi bir hasar görüp görmediği bilinmemektedir. Kasır, Cumhuriyet döneminde ciddi onarım görmüştür. 1970'li yıllarda, binada statik bazı arızalar ortaya çıkmıştır. Gerek kasrın iç dekorasyonunda ve duvarlarında meydana gelen çatlak ve deformasyonlar, gerekse bahçede görülen zemin çatlakları ve ayrılmaları endişe kaynağı olmuştur. Türkiye Büyük Millet Meclisi Başkanlığı'nın yakın ilgisi ile hareket ve deformasyonların izlenmesine ve çareler aranmasına başlanmıştır [44].



Şekil 5.10: Küçüksu Kasrı anakaya derinlikleri

5.2.3 Değerlendirme

Onarım sırasında ortaya çıkan çatlak ve deformasyonların incelenmesi amacıyla 1975 ve 1976 yıllarında bir çalışma yapılmıştır (Toğrol, Yorulmaz, 1976). Bu çalışmada, yapının rijit bir cisim gibi döndüğü ve oturduğu belirlenmiştir. Kasrın 120 yıllık mazisine ait kayıt bulunmadığı için bir süre gözlem yapılmasının yararlı olacağı, bu ilk çalışmanın sonuçları arasındadır. Bu tarihten 1989 yılına kadar, çeşitli zamanlarda, çeşitli kişi ve kuruluşlar tarafından, yapının stabilitesini arttırmak amacı ile çalışmalar yapılmıştır. Hareketlerin arızı nedenleri olarak görülen kasrın arkasındaki yoldan geçen ağır vasıtalar yasaklanmış, kasrın hemen yanındaki iskeleye yapılan vapur seferleri durdurulmuştur.

Kıyı şevlerinin iyileştirilmesi amacı ile deniz içinde dolgu yapılmış (1980), bahçede kasrı çevreleyecek şekilde, kayaya kadar ulaşan 55 adet sıkılama enjeksiyonu yapılmış (1983-1984) ve nihayet beton bloklarla rıhtım yapılmasına başlanılmıştır (1987).

Küçüksu Kasrı'ndaki çatlak ve deformasyonlar, ilk kez 1975 yılında, fotogrametrik olarak ölçülmüştür (Toğrol, Yorulmaz, 1976). Kasrın düşeyden sapması ve özellikle iç mekanlardaki çatlakları iyi bir şekilde belirlenmiştir. Daha gelişmiş fotogrametrik yöntemler kullanılarak Nisan 1993 ve 1 Haziran 1994 tarihlerinde iki seri ölçme alınmıştır.

Bu ölçmelerde kasrın köşelerinin 4 seviyede düşeyden ayrılmaları ve hareket doğrultuları belirlenmiştir. Bu ölçmelerden kasrın yaklaşık doğu-batı doğrultusunda denize doğru eğilmiş olduğu görülmüştür. Düşeyden en büyük ayrılma, güney-doğu köşesinde ve 17.4 cm'dir.

Ocak 1989 tarihinden itibaren Kasrın ve bahçesinin hareket ve deformasyonlarının incelenmesine yeniden başlanmıştır. Binanın yakın çevresinde bahçe içinde 5 adet, dışında 2 adet, binanın deniz tarafında 2 adet ve binadan yaklaşık 390 m ve 320 m uzaklıktaki, Ömür Tepe'nin üzerine 2 adet olmak üzere toplam 11 adet "pilye" yerleştirilerek bir mikro jeodezik ağ oluşturulmuştur. Mayıs 1989'dan başlayarak bu noktalar gözlenmiş, çalışmalar Ağustos 1991'e kadar sürdürülmüştür. Aralık 1991'de tahrip edilme tehlikesine karşı birinci derece triyangülasyon noktası olarak inşa edilmiş, 6 noktalı bir kontrol ağı kurulmuştur. Ağda 4 sabit noktadan ikisi Küçüksu Sevda Tepesi'nde, biri Boğaziçi Üniversitesi Atatürk Korusu'nda, diğeri Anadolu Hisarı'ndadır. Deformasyon noktalarının üçü de Kasrın çatısında yer almaktadır. Bu ölçmeler, 16 Ekim 1992'de başlayan temel takviyesi çalışmalarına yetişmiş ve inşaat sırasında yapıda herhangi bir hareket meydana gelip gelmediğini kontrol etmek amacıyla da kullanılmıştır.

Ölçme sonuçları, kasrın bahçesinde, denize doğru hareket ve çökme şeklinde hareketler olduğunu göstermiştir. Mayıs 1989 tarihinden başlayarak yapılan ölçmelerde bir artış eğilimi gözlenmiştir. Önce bahçedeki ölçmelerde görülen bu eğilim, bina için tehlikeli boyutlara varmış, son ölçmelerde binada da oturmalar görülmüştür. Özellikle Ekim 1989'dan sonra deniz tarafındaki oturma ve hareketler artmış, gözle görülür hale gelmiştir. Rıhtım ve deniz tarafındaki duvar su altında kalmış, deniz tarafındaki süslü kapı tehlikeli bir biçimde denize doğru yatınca sökülerek korumaya alınmıştır.

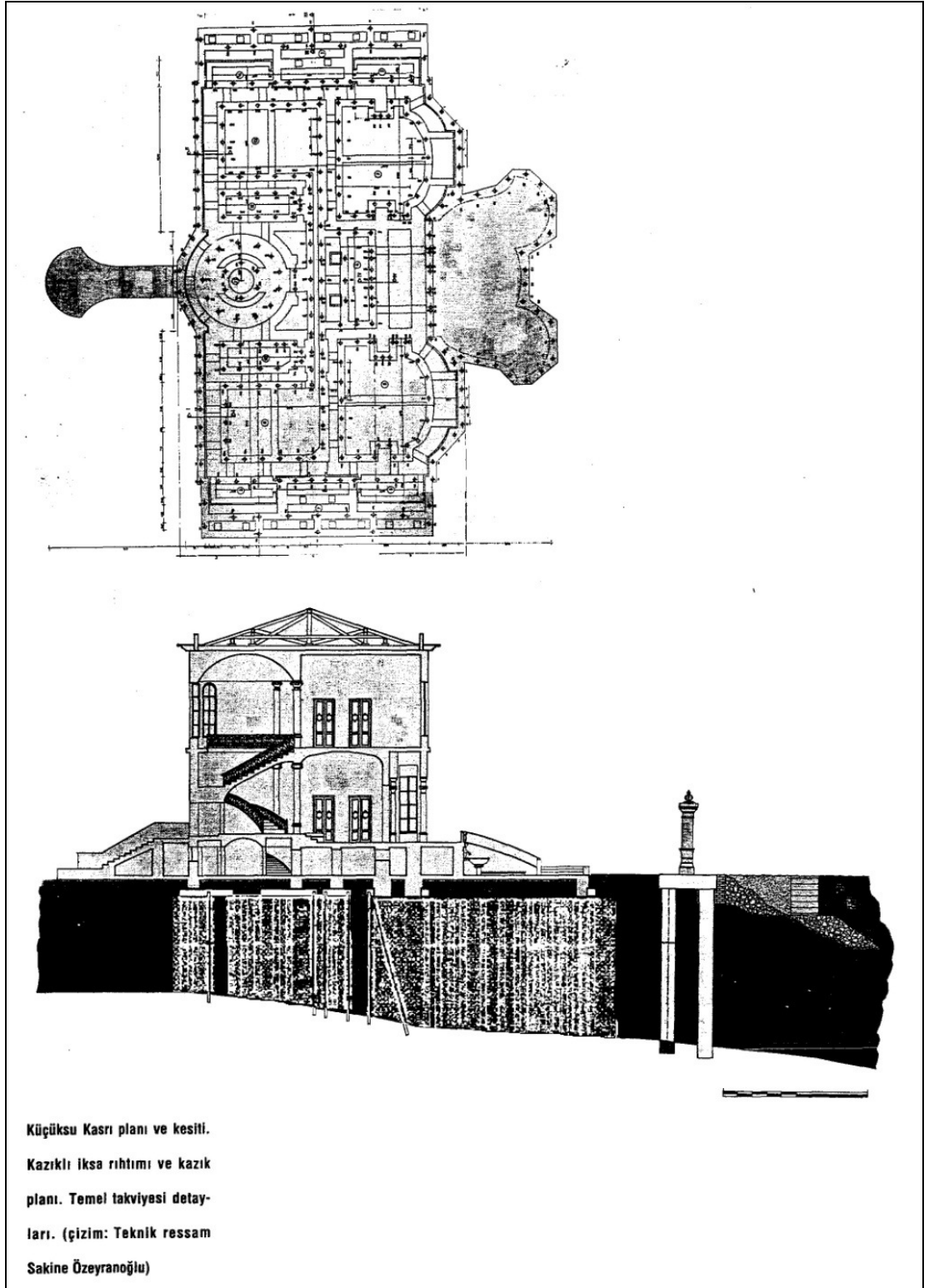
Binanın bir yandan denize doğru yatarken bir yandan da oturduğu anlaşılmaktadır. Bu hususta önceki yıllara ait ölçme ve rasatlar bulunmamaktadır. Kasrın çeşitli öğelerinin bugünkü durumlarına bakılarak bu güne kadar 0.50-0.60 m mertebesinde bir toplam oturma meydana gelmiş olduğu tahmin edilebilir. Kasrın temellerini oluşturan ahşap ızgara ve bu ızgara altındaki ahşap kazıklar bir radye gibi davranmış, bu çapta oturmalar karşısında yapının daha fazla hasar görmesini önlemiştir [44].

5.2.4 Sonuç

Oturma ve deformasyonların hızlanması ve üst yapıda çatlak, ayrılma ve bahçede gözle görünür hareketlerin meydana gelmesi, temel takviyesini güncel hale getirmiştir. Takviye, yapı yüklerinin “jet-grout” kolonları ile kaya tabakasında aktarılması ilkesine göre yapılmıştır. Kolonların boyları, kuzey cephesinde 23 m’ye ulaşırken, kaya derinliğine bağlı olarak güney cephesinde 15 m civarında kalmıştır. “Jet-grout” kolonlarının yapımına başlanılmadan deneme kolonları imal edilmiş ve çimento su oranı 1/1, enjeksiyon basıncı 10 MPa olarak belirlenmiştir. Yapımda esas olarak tek akışkanlı yöntem uygulanmıştır. Jet grout kolonlarının içine dış çapı 89 mm, et kalınlığı 9 mm olan ucu açık çelik boru yerleştirilmiştir.

Temellerin her iki yanına da kolonlar teşkil edildikten sonra bina temelleri yer yer açılarak her iki yana 0.60x0.60 m kesitinde betonarme yanak kirişleri dökülmüştür. Bu kirişler, duvar içine 0.20 m kadar sokulmuş; ayrıca duvarda oyuklar açılarak yanak kirişleri enine kirişlerle birbirlerine bağlanmıştır (Şekil 7.18). Yanak kirişlen içine giren jet grout kolonları, yanak kirişlerinin omuzladığı duvar yüklerini kaya tabakasına aktarmaktadır (Şekil 5.11 ve 5.12).

Temel takviyesi sırasında, yapıda ilave gerilme ve deformasyonlar ortaya çıkmaması için azami itina gösterilmiş, kazı ve imalat anolar halinde ve dengeli bir biçimde gerçekleştirilmiştir. İnşaat sırasında ve sonrasında alınan ölçüm sonuçları bunu doğrulamaktadır [44].

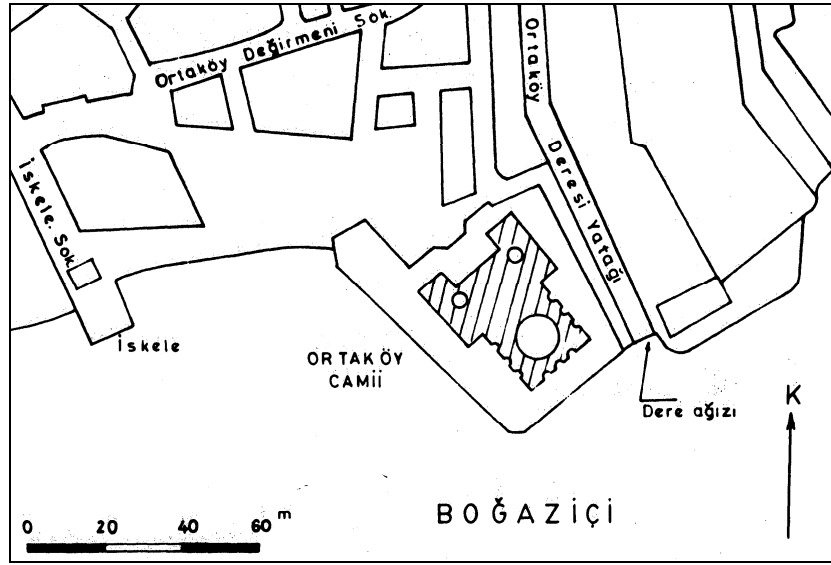


Şekil 5.11: Küçüksu Kasrı temel takviyesi jet grout uygulamaları kesiti

5.3 Ortaköy Camii Temel Takviyesi

5.3.1 Giriş

Ortaköy Camii, Boğaz'ın Avrupa yakasında Ortaköy deresi ile Ortaköy vapur iskelesi arasındaki sahada 19.00x19.50 m alana inşa edilmiş kagir bir yapıdır (Şekil 5.13 ve Şekil 3.14). Bugünkü cami, Sultan Abdülmecit tarafından 1854 yılında aynı yerde bulunan eski caminin yıktırılmasından sonra yaptırılmıştır.



Şekil 5.13: Ortaköy Camii vaziyet planı

Yapıda oturma ile ilgili çatlakların tarihçesi eski olmakla birlikte saptanabilen en eski onarım 1894 depreminden sonra 1909 yılında yapılmıştır. Bu onarım sırasında yıkılan minareler yeniden yapılmış, oluşan çatlaklar onarılmıştır. 1957-58 yıllarında yapıda yeniden oturma ve çatlaklar, rıhtımda deformasyonlar görülmüştür. Vakıflar İdaresince yapı ve zemin durumu incelenmiştir. 1962 yılında öncelikle, bozulan rıhtım ile birlikte kıyıya taş dolgu yapılmıştır. Camideki oturmaların devam etmesi ve yapının tehlikeli bir durum göstermesi üzerine yapı içten ve dıştan askıya alınmıştır. 1962 yılında rıhtımdaki çöküntüleri önleme amacıyla taş dolgu yapılmıştır.

Osmanlı döneminde, İstanbul'da dolgu zeminler, boğaz kıyılarında suni dolgu veya alüvyal zeminler üzerine yapılmış kagir yapılarda, oturmayı önlemek ve zemini sıkıştırmak için çakılmış kısa ahşap kazıklara ve onların üzerinde ahşap ızgaraya rastlanmaktadır. Ahşap kazıklı temel tipi, eski temel inşaatlarında yaygın şekilde kullanılmıştır.

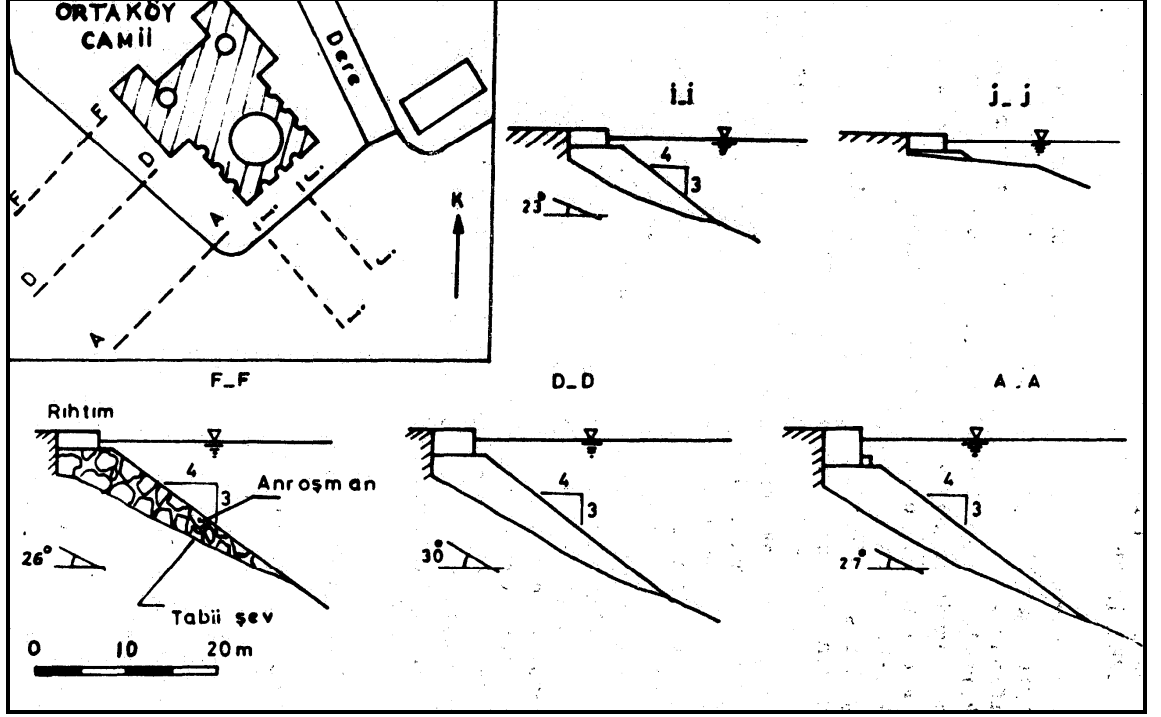


Şekil 5.14: Ortaköy Camii (2008)

5.3.2 Zemin özellikleri ve temel sistemi

1964 yılında yapılmış sondajlardan anlaşıldığına göre, bahçe seviyesinden itibaren ortalama 5.5 m kalınlığında gevşek suni dolgu bulunmaktadır. Suni dolgu tuğla kırıkları, horasan atıkları ve ağaç parçaları gibi maddeleri de içinde bulundurmaktadır. Yapay dolgu ile 20 m derindeki ana kaya grovak-killi şist arasında kalın bir çakıl kum tabakası yer almaktadır. Bu alüvyal dolgu Ortaköy Deresinin yığıldığı genç birikintilerdir. Çok az miktarda (%5) silt ve kil ihtiva etmektedir. Yer altı su seviyesi rıhtımdan 80 cm aşağıdadır, lodos ve poyraz rüzgarlarına bağlı olarak deniz seviyesindeki değişimler, yer altı su seviyesini etkilemektedir. Caminin rıhtımına dik ve kuzeydoğu istikametinde yapılan iskandil ölçmelerine göre deniz altında doğal şev 26° - 30° arasındadır. Dere ağzına yaklaşıldığında şev eğimi azalmakta ve deniz sağlamlaşmaktadır.

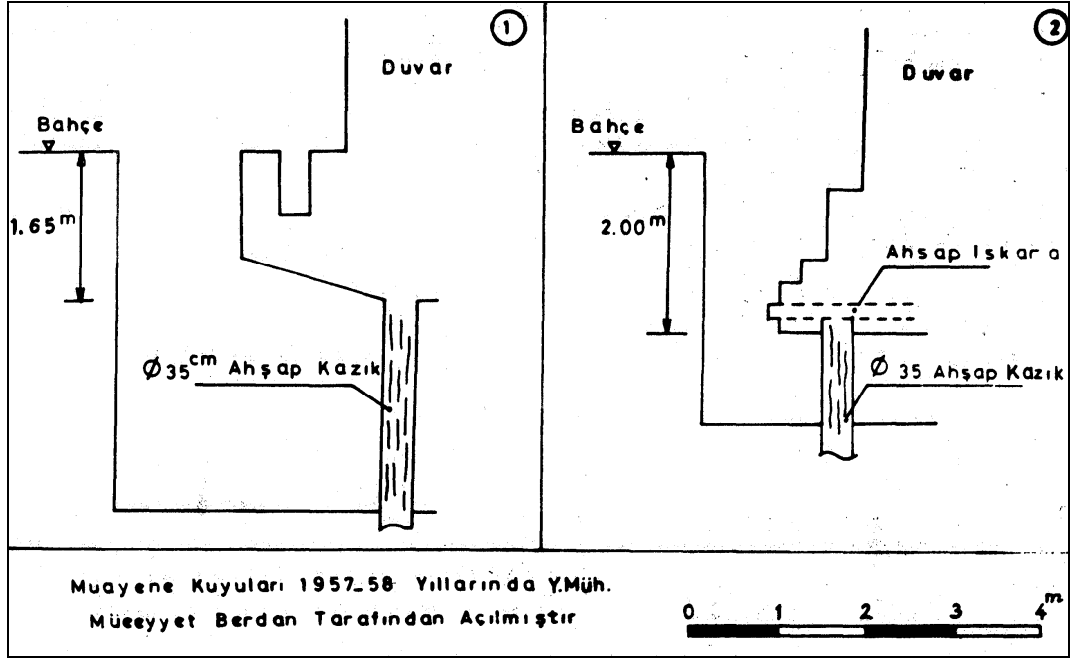
Dere ağzına yaklaşıldığında, şey eğimi azalmakta ve deniz sığlaşmaktadır. 1962 yılında rıhtımdaki çöküntüleri önleme amacıyla anroşman atılmıştır (Şekil 5.15). Boğaz kıyılarında suni dolgu veya alüvyal zeminler üzerine inşa edilmiş kagir yapılarda, oturma ve rıhtımlarda deformasyonlara rastlanmaktadır. Yapı temellerinde ve rıhtımda oluşan oturmalar zeminin kendi özelliklerinden olabileceği gibi dış etkenlerle rıhtım altındaki boşalma ve kıyıdaki muhtemel oynamalardan da kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.15: Ortaköy Camii Rıhtım Enkesitleri (1962)

Osmanlı döneminde İstanbul'da dolgu zemin üzerine inşa edilmiş eski kagir yapıların temellerinde, zemini sıkıştırmak için çakılmış kısa ahşap kazıklara ve bunların üzerinde ahşap ızgaraya rastlanmaktadır. Ahşap kazıklı temel tipi eski temel inşaatlarında yaygın şekilde kullanılmıştır.

Ortaköy Camii'nin duvarları, temellerini incelemek amacıyla açılmış muayene kuyularından anlaşıldığına göre temeller bahçe seviyesinden itibaren 2 m'den daha derine inmemektedir. Yapay dolgu zemine oturan temellerin altına 35 cm çaplı ahşap sıkıştırma kazıkları çakılmıştır ve kazıkların üzerinde de ahşap ızgara vardır (Şekil 5.16) [45].



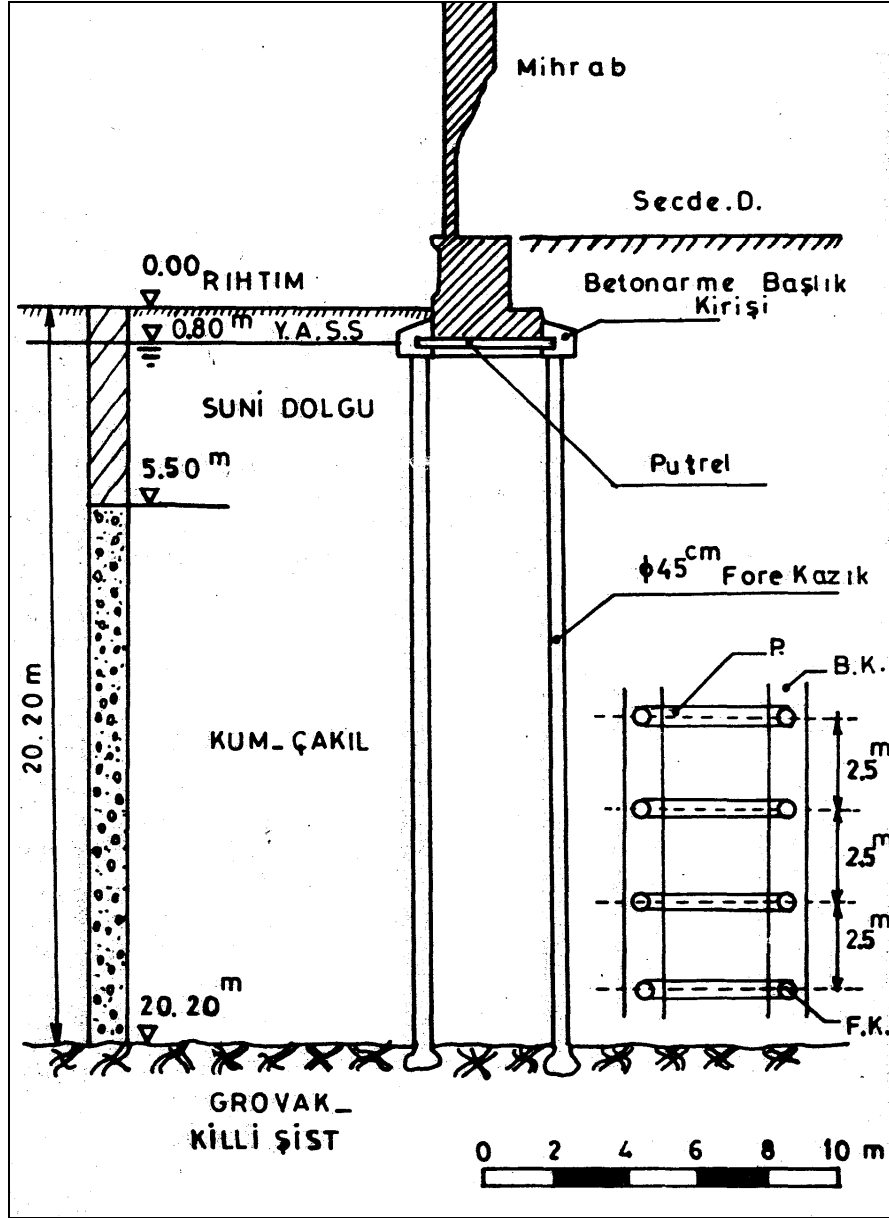
Şekil 5.16: Ortaköy Camii Kesitleri (1957-1958)

5.3.3 Değerlendirme

Yapı temelleri suni dolgu zemine oturmaktaydı. Zamanla oluşan hasar nedeniyle 1968 yılında temel takviyesi yapılmış, yapı yükü fore kazıklarla ana kayaya aktarılmış ve üst yapı restore edilmiştir.

Bu incelemeler neticesinde, yapı temelini gevşek suni dolguya oturduğu, yapıda kullanılmış malzemelerin kalitesiz olduğu gözlenmiştir. Düşünülen tedbirlerden temel duvarlarını içten ve dıştan imal edilecek fore kazıklara oturan putrellerle taşıtmak fikri uygulanmıştır. Orjinal kalınlığı 60 cm olan ana kubbe sökülüş, 1968 yılında tamamlanan temel takviyesinden sonra çift cidarlı betonarme olarak yapılmıştır. Yapının restorasyonu 1969 yılında tamamlanmıştır.

Temele gelen yükler, cami beden duvarları boyunca içten ve dıştan karşılıklı imal edilen 45 cm çaplı fore kazıklara, kazık başlarına oturan çelik putrellerle aktarılmaktadır. İç ve dış fore kazık sıraları betonarme başlık kirişi ile bağlanmıştır. Fore kazıklar ortalama 20 m derinliğindeki grovak-killi şistlerden oluşan ana kayaya oturmaktadır (Şekil 5.17). Temel takviyesi için 64 adet 45 cm çaplı kazıklar caminin beden duvarları boyunca imal edilmiştir. Mevcut temeli ve zemini takviye amacıyla 80 ton çimento enjeksiyonu yapılmıştır.



Şekil 5.17: Ortaköy Camii fore kazıklarla yapılan temel takviyesi (1968)

5.3.4 Sonuç

Ortaköy Camii'nin ve rıhtımının hasara uğramasının başlıca sebepleri; yapı temellerinin gevşek suni dolguya oturması, rıhtımın lodos dalgalarına maruz kalması, Ortaköy iskelesine yanaşan eskiye göre güçleri artan şehir hattı vapurlarının doğurduğu çalkantılar, kullanılan inşaat malzemesinin düşük kalitede olmasıdır.

Vakıflar idaresince 1962 yılında kıyıya anroşman atılarak rıhtım yeniden yaptırılmış, 1968 yılında yapı yükü fore kazıklarla ana kayaya aktarılarak yapı yıkılmaktan kurtarılmıştır.

Abide niteliği taşıyan yapılar için kısa bir yapı ömrü söz konusu değildir. O nedenle değişken günümüz koşullarına karşı tarihi yapıların korunması, gerekli tedbirlerin önceden alınabilmesi için eski yapı temelleri hakkındaki dökümanların elde edilmesi saklanması derlenmesi gereklidir. Ortaköy Camii’nde oluşan hasarlar ve daha sonra alınan tedbirler bu incelemede topluca yenilenmiştir. Caminin bugünkü rıhtımından görüntüler Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’dadır. Şekil 5.18’de denize doğru yatma görölmektedir.



Şekil 5.18: Ortaköy Camii rıhtımı iskele tarafı



Şekil 5.19: Ortaköy Camii rıhtımı boğaz tarafı

5.4 Konya Alaaddin Camii Temel Takviyesi

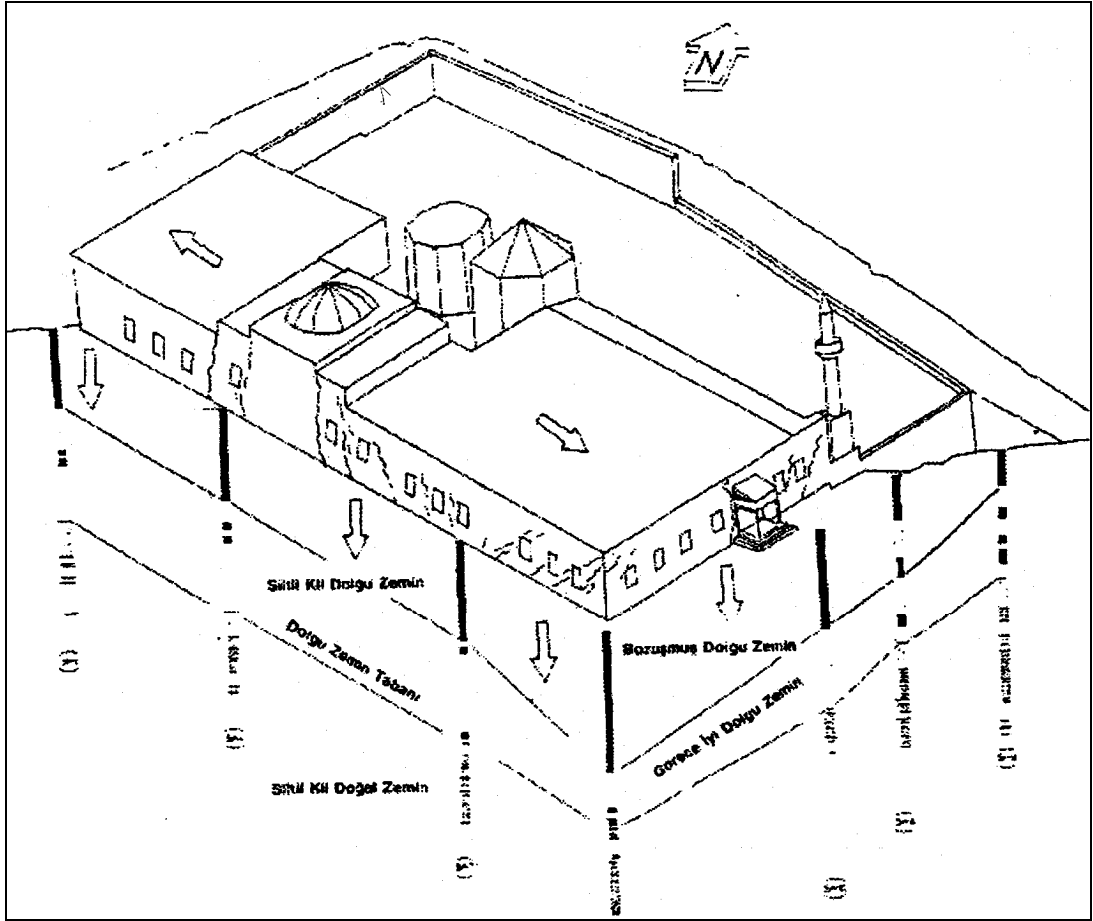
5.4.1 Giriş

Konya Alaaddin Camii, dolgu bir tepe ve muhtemelen eski bir höyük olduğu bilinen Alaaddin tepesi üzerine inşa edilmiştir. Konya Alaaddin Camii'nin büyük kısmının inşası 12. yy'da olmasına rağmen daha sonradan zaman içerisinde yapılan eklentilerle büyütülmüştür. Cami, ortada bulunan kubbeli bölümle, onun doğu ve batı yanlarında bulunan düz tavanlı, değişik nitelikteki bölümlerden oluşmaktadır. Caminin taşıyıcı yapısı taş kolon ve kolon başlıkları üzerine oturmakta olan bir tuğla kemer sisteminden oluşmaktadır.

Konya Alaaddin Camii'nde ilk sorunlar 1964 yılında cami batı kenarı avlusu dış duvarlarında görülen çatlamlar ile tespit edilmiştir. Bu kesimde 1964 yılından önce açılmış olan bir foseptik mevcut olduğu ve o yıllarda gözlenen çatlamların muhtemelen bu çukurdan taban zeminine sızan sular sonucu ortaya çıktığı belirlenerek foseptik iptal edilmiş ve cami avlu duvarı onarılmıştır. Camideki çatlamların devam etmesi üzerine cami civarında sondaj yapılmıştır. Bu sondajlardan, temel ve taban zemininin takriben 30-32 m kalınlıkta, içerisinde kömür cürufu, tuğla ve kiremit parçaları, kum, çakıl, blok içeren bir dolgudan oluştuğu tespit edilmiştir. 1967 yılında camideki çatlamların durdurulması ve caminin takviyesi amacıyla caminin doğu ve kuzey duvarları betonarme hatıllarla desteklenmiştir. Ancak bu uygulama da, çatlakların ilerlemesine mani olamamıştır. [8]

5.4.2 Zemin özellikleri ve temel sistemi

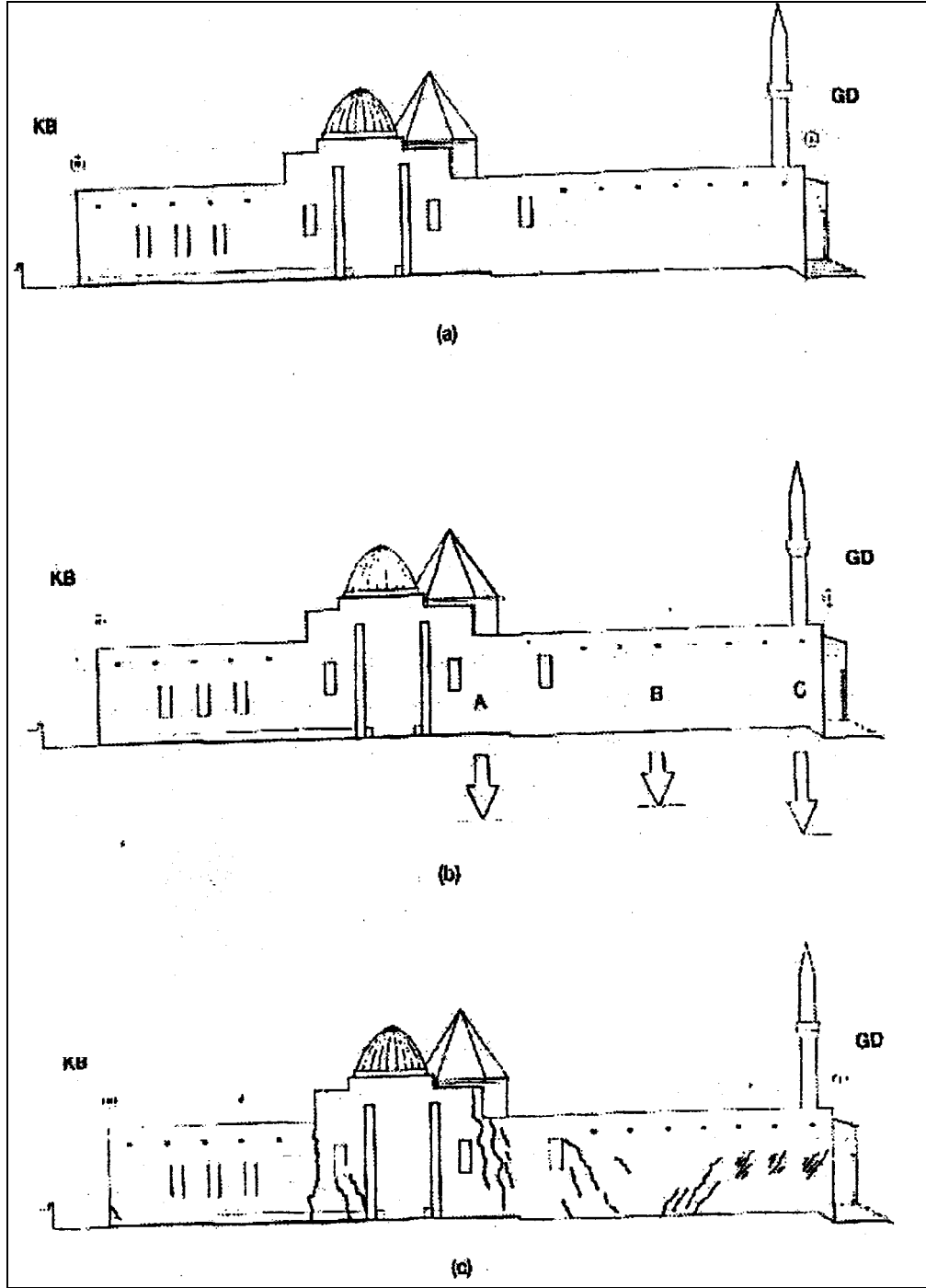
Konya Alaaddin Camii kalınlığı 17-30 m arasında değişen, yer yer kiremit tuğla, mermer parçaları ihtiva eden ve organik madde kalıntılarından müteşekkil bir dolgu üzerine oturmaktadır. Yer altı su seviyesi 24-33 m arasında değişmektedir. Dolgunun altında 300-400 m yataya yakın alüvyon tabaka bulunmaktadır. Dolgu zemin düşük plastisiteli, aktif olmayan, orta derecede sıkışabilen yarı sert kıvamda killi silttir (Şekil 5.20).



Şekil 5.20: Konya Alaaddin Camii, zemin profili ve deformasyon mekanizması

5.4.3 Değerlendirme

Konya Alaaddin Camii'nde yapılan araştırmalar neticesinde caminin drenaj kanalının hasar gördüğü tespit edilmiştir. Cami zeminin dolgu olması ve yağmursuyu gibi sızan suların temel zemini içinde yıkanma yoluyla boşluklar meydana getirmesi, farklı oturmalar sonucu üst yapıda çatlaklara sebep olmaktadır. Konya Alaaddin Camii'ndeki hasarların sebebi cami temellerinde meydana gelen farklı oturmalar (Şekil 5.21). Farklı oturma sonucu meydana gelen düşey deformasyonlar, yapıda çatlamlara sebep olmuştur. Yapıda görülen düşey eğilme çatlakları bu tespiti doğrulamaktadır. Ancak cami duvarlarında görülen eğik çatlaklar, yapıda yatay deformasyonların da söz konusu olduğunu göstermektedir. Yapıdaki yatay deformasyonun sebebini bulmak amacı ile yapılan şey stabilitesi analizleri neticesinde, yatay deformasyona sebep olacak bir durum tespit edilememiştir.

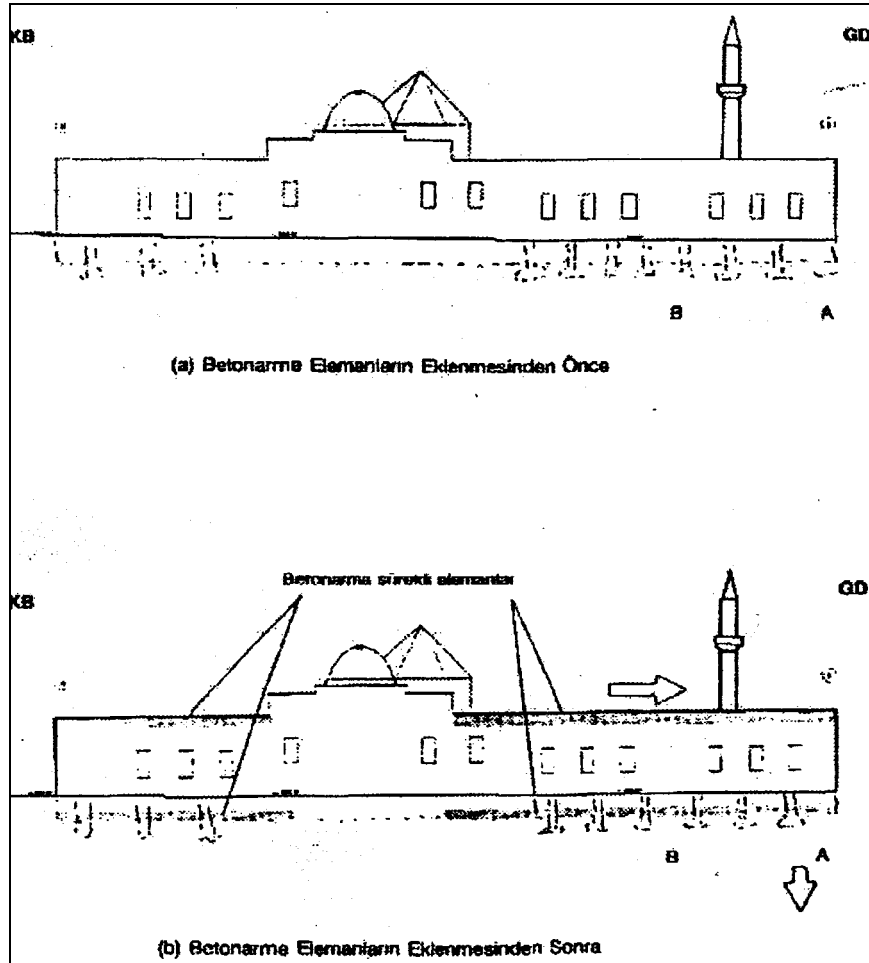


Şekil 5.21: Konya Alaaddin Camii'ndeki farklı oturmalar ve çatlak oluşumu

1967 yılında yapılmış olan takviye çalışması, üstyapıda farklı farklı oturmaları sınırlamış olsa da, zemindeki oturmalar devam etmektedir. Takviye amacı ile yapılmış olan betonarme hatıllar, yapının düşey deformasyonunu sınırlamakla birlikte, zeminde devam eden oturmalar, yapının taşıyıcı sistemini dönmeye zorlamakta ve bunun neticesinde yapıda meydana gelen yatay deformasyonlar sonucu kesme çatlakları oluşmaktadır. Bu açıklama cami duvarlarında görülen eğik çatlakların sebebini izah etmektedir (Şekil 5.22). Bu bağlamda, bir temel takviyesi

alışması yapılmadan evvel, yapıdaki hasarın sebebinin teşhis edilmesinin ve zemin araştırması neticesinde zemin davranışının anlaşılmasından sonra önlemlerin alınmasının ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır.

Yapıda görülen çatlaklar farklı oturmaların devam ettiğini göstermektedir. Bütün bu hususlar göz önüne alınarak, yapıda zemin ıslahı ile birlikte bir temel takviyesi çalışmasının gerekli olduğu ortaya çıkmıştır. Çözüm olarak caminin içi ve dışı enjeksiyonla ıslah edilmiş ve taşıyıcı sistemlerin tabanları mini kazıkla desteklenmiştir [46].



Şekil 5.22: Konya Alaaddin Camii eğik çatlakların oluşum mekanizması

Konya Alaaddin Camii'nin temel takviyesi projesi kapsamında, zemin ıslahı ve temel takviyesi amacıyla bölgesel ve yapısal enjeksiyon ve mini kazık çalışmalarının yanı sıra drenaj çalışmaları da yapılmıştır. Zemin ıslahı ve temel takviyesi uygulamalarını yönlendirmek ve uygulamanın başarı derecesini ölçmek amacı ile, tatbikat sonrasında da deneyler ve yerinde ölçümler yapılmıştır.

5.4.3.1 Enjeksiyon ve mini kazık çalışmaları

Ölçüm ve gözlem sisteminin teşkilini müteakip enjeksiyon çalışmaları iki aşamada yapılmıştır. Birinci aşamada bölgesel nitelikte cami dış ve iç enjeksiyonları yapılmıştır. Bu kapsamda toplam 6092 m derinliğinde, 221 adet enjeksiyon kuyusu açılarak toplam 836.388 kg çimento enjeksiyonu yapılmıştır. Enjeksiyon işlemi, takriben 25 m kalınlıktaki dolgu zemininin varlığı nedeni ile, dolgu kalınlığı artı 2 m derinlik kriterini sağlayacak şekilde, tabandan yukarıya doğru üçer metrelik kademeler halinde gerçekleştirilmiştir. Cami duvarları etrafında iki sıra enjeksiyon yapıldıktan sonra, caminin avluya bakan iç duvarı boyunca ve türbelerin etrafında enjeksiyon yapılmıştır. Daha sonra caminin avlusu taranarak cami içi enjeksiyonlarına geçilmiş ve son olarak da enjeksiyonun çok alış yaptığı yerlerde kontrol kuyuları açılarak enjeksiyon yapılmıştır. Enjeksiyon miktarının derinlikle değişimini gösteren kayıtlara bakıldığında, zeminin enjekte edilebildiği ve kayda değer miktarda enjeksiyon karışımı aldığı görülmektedir. Bu da uygulanan zemin iyileştirme yönteminin başarılı olduğunu, başka bir ifadeyle, zeminin seçilen karışımlar ile enjekte edilebildiğini göstermektedir. Enjeksiyon sonrası zeminin mekanik özelliklerinde meydana gelen iyileşme, enjeksiyon öncesi ve sonrası yapılan presyometre deneyleri ile kanıtlanmıştır.

İkinci aşamada teçhizatlı enjeksiyonlar (mini kazık), taban ve temel zemini enjeksiyonları ve taşıyıcı elemanlarla mini kazıkların bağlantılarını sağlamaya yönelik eğimli mini kazık çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca cami içinde ve dışında yerleştirilen ölçüm ve gözlem aletleri ile gerçekleştirilen mini kazık yükleme ve çekme deneyleri için toplam 2207 m uzunlukta 59 adet kuyu açılmış ve toplam 6880 kg çimento enjekte edilmiştir. Taban zemini enjeksiyonları dolgu zemin kalınlığınca değişik derinliklerde yapılırken, temel zemini enjeksiyonları zemin yüzeyinden 4 m derinlikte olacak şekilde uygulanmıştır. Mini kazıklar cami duvarlarının iç ve dış taraflarında duvardan 0.50 m uzaklıkta, dolgu zemin altında yer alan alüvyon tabii zemin içerisinde takriben 1 m girecek şekilde inşa edilmiştir. Mini kazıklarda donatı olarak bir adet 28 mm çapında çelik kullanılmıştır.

Cami içi çalışmalarının kapsamında duvar kenarlarında ve kolonların etrafına mini kazık uygulaması ile birlikte kolonlar ve duvarlar arasında kalan bölmelerde enjeksiyon yapılması da bulunmaktadır. Bu çalışmalara caminin içinde öncelikle caminin doğu bölümünden başlanmış, bilahare caminin mihrap ve batı kesimlerindeki enjeksiyon ve mini kazık işleri tamamlanmıştır.

Yukarıda özetlenen bu çalışmalar Konya Alaaddin Camii'nin doğu bölümü, iç avlu duvarlarını ve avlu dış duvarlarını içerecek şekilde tamamlanarak üst yapı restorasyona hazır duruma getirilmiştir. Doğu kesiminde enjeksiyon ve mini kazık çalışmalarının tamamlanmasına müteakip, duvar altı temel bağlantı detayları hazırlanmış ve uygulanmıştır. Düşey yöndeki mini kazık, temel ve taban zemini enjeksiyonlarının tamamlanmasını takiben cami taşıyıcı elemanlarına gelecek yüklerin inşa edilen mini kazıklar aracılığıyla daha derin seviyelere aktarabilmesi amacıyla, eğimli mini kazık imalatına geçilmiş ve tamamlanmıştır. Aşağıda duvar ve kolon altı bağlantı detayları açıklanmıştır [46].

5.4.3.2 Duvar ve kolon altı bağlantıları

Konya Alaaddin Camii'nde, temel takviyesinin yanı sıra askıya alınmış taşıyıcı sistemin askılarının alınmasını ardından üst yapıdan gelecek ilave yüklerin sağlam zemine aktarılabilmesi amacı ile mini kazık uygulaması yapılmıştır. Bu arada duvarların kenarında içten ve dıştan olmak üzere uygulanan mini kazıklara üst yapı yüklerinin etkili bir şekilde aktarılabilmesi amacı ile duvar altında uygulanması gereken bağlantı detayları geliştirilmiştir. Bağlantı detaylarının inşası aşağıda belirtilen iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

- 1 - Taş kolon duvarların kenarında inşa edilen düşey mini kazıklara üst yapıdan gelebilecek ilave yükleri aktarmaya yönelik eğimli mini kazıklar
- 2 - Taş duvarların iç ve dış tarafındaki eğimli ve düşey mini kazıklan birbirine bağlayacak bağlantı kirişleri

Caminin doğu ve batı kesimi için A (Şekil 5.23) ve B (Şekil 5.24) tipi olmak üzere iki tip detay geliştirilmiştir.

A Tipi bağlantı detayı aşağıdaki sıraya göre uygulanmıştır:

1. Cami içinde ve dışında duvar boyunca uzanacak betonarme kirişin inşası için yeterli çalışma rahatlığı sağlayacak boyutlarda bir kazı yapılmıştır. Cami içinde bu uygulama duvar boyunca yer alan kolonlar arasında yer alacak şekilde, cami dışında ise tüm cami duvarı boyunca yapılmıştır.
2. İç ve dış bağ kirişlerini bağlamaya yönelik bağlantı donatısının duvar içinden geçebilmesi için iç ve dış mini kazıkları karşılıklı bağlayacak yatay delikler açılmıştır. Donatının içinden geçeceği bu bağlantı deliği bilahare enjekte edilmiş olup yatay bir mini kazık niteliğindedir.

3. Duvardan gelen ilave düşey yüklerin, mini kazıklara etkili bir şekilde aktarılabilmesi için duvar ile inşa edilecek kirişler arasındaki kesme kuvvetini aktaracak donatı yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla cami duvarları içten ve dıştan olmak üzere kesme kuvveti donatısının yerleştirilebilmesi için delinmiş ve ilgili detaylar gereğince bu işlem uygulanmıştır. Duvar boyunca 20.0 cm ara ile takriben 30.0 cm derinliğinde yatayla 45° açı yapan 5-6 cm çapında delikler açılmıştır. Cami içinde bu donatıların birbirine çok yakın olması nedeni ile delik açmak yerine cami duvarı takriben 20.0 cm daha fazla dışa doğru kazılarak inşa edilecek kirişin duvarın altına doğru girmesi temin edilmiştir. Kesme kuvvetim alacak donatı ise bu kesime yerleştirilmiştir.

4. Öncelikle inşa edilmiş olan düşey ve eğimli mini kazıkların uç kısımlarının da içine alacak şekilde duvarlar boyunca kazılar tamamlandıktan sonra kiriş donatısı yerleştirilmiştir.

5. Üç tip donatı kullanılmıştır:

(a) Boyuna Donatı: Duvarlar boyunca uzanan dışta 10 adet, içte 6 adet 20 mm çapında donatı mevcuttur.

(b) Etriye ve kesme kuvveti donatısı: Kesme kuvvetlerini almaya yönelik kirişler içinde, etriye biçiminde ve duvar içine uzanan kesme kuvveti donatısı olup Ø10 mm çapında donatılardır. Bu donatı duvar boyunca 20.0 cm ara ile yerleştirilmiştir.

(c) Bağlantı Donatısı: Bu donatı, içteki ve dıştaki kirişleri birbirine bağlayacak olan donatıdır. Bu donatı yatay olup karşılıklı iç ve dış mini kazıkları birbirine bağlamaktadır. Ø28 mm çapında olan bu donatıya yüklerin daha etkili intikal edebilmesi amacıyla mümkün olan kesimlerde düşük oranda çekme gerilmesi uygulanarak bir ard-germeli olarak (post-tensioning) teşkil edilmiştir. Detayları aşağıda anlatılan bu uygulama için donatının cami içindeki kiriş içinde kalacak ucu, ankraj amacı ile mini kazıklara ve diğer donatılara kaynaklanmış veya ucuna ilave bir parça kaynakla tutturulmuştur.

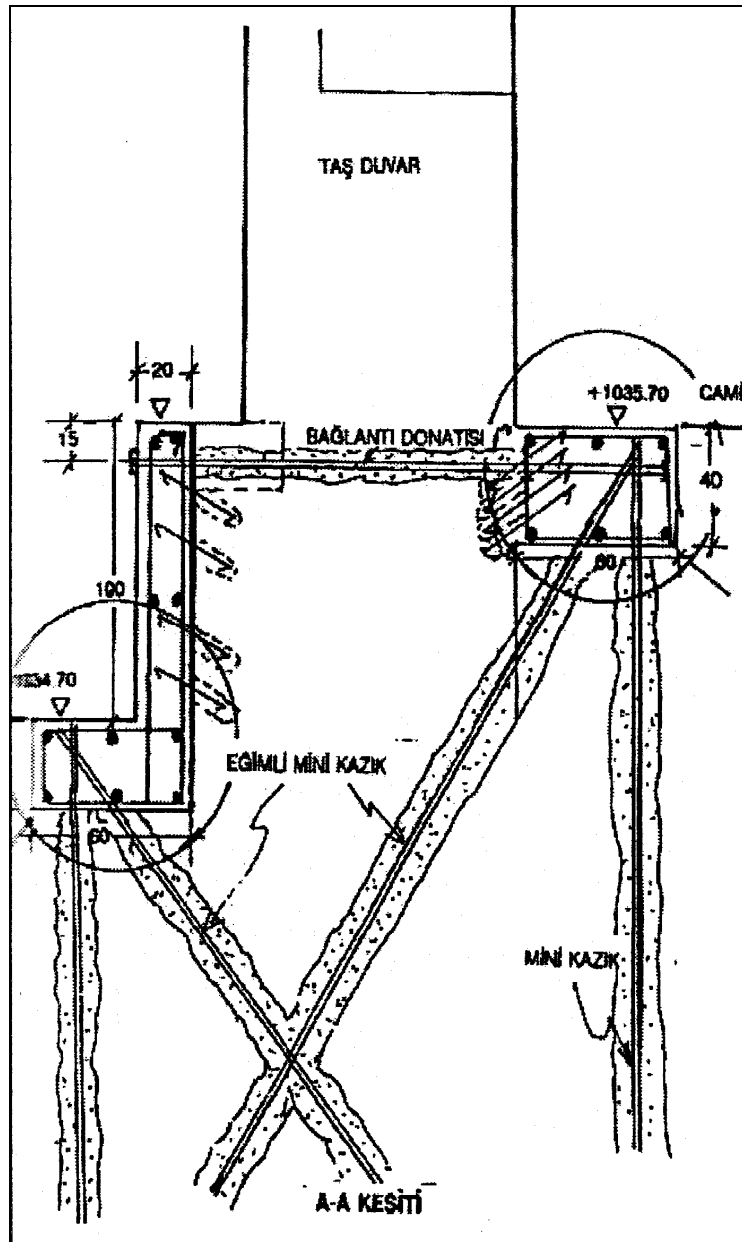
6. Tüm donatılar yerleştirildikten sonra öncelikle cami içindeki bağ kiriş betonu dökülmüştür.

7. Cami dışındaki bağ kirişi betonu dökülmeden önce, yatay bağlantı donatısına germe kuvveti uygulanabilmesi için yatay bağlantı donatısının dıştaki kiriş içinde kalan kısmı PVC boru içine alınmıştır. Boru içine alınan yatay bağlantıya dıştaki kirişin betonu dökülmesi esnasında betonun adhezyonu böylelikle önlenebilmiştir.

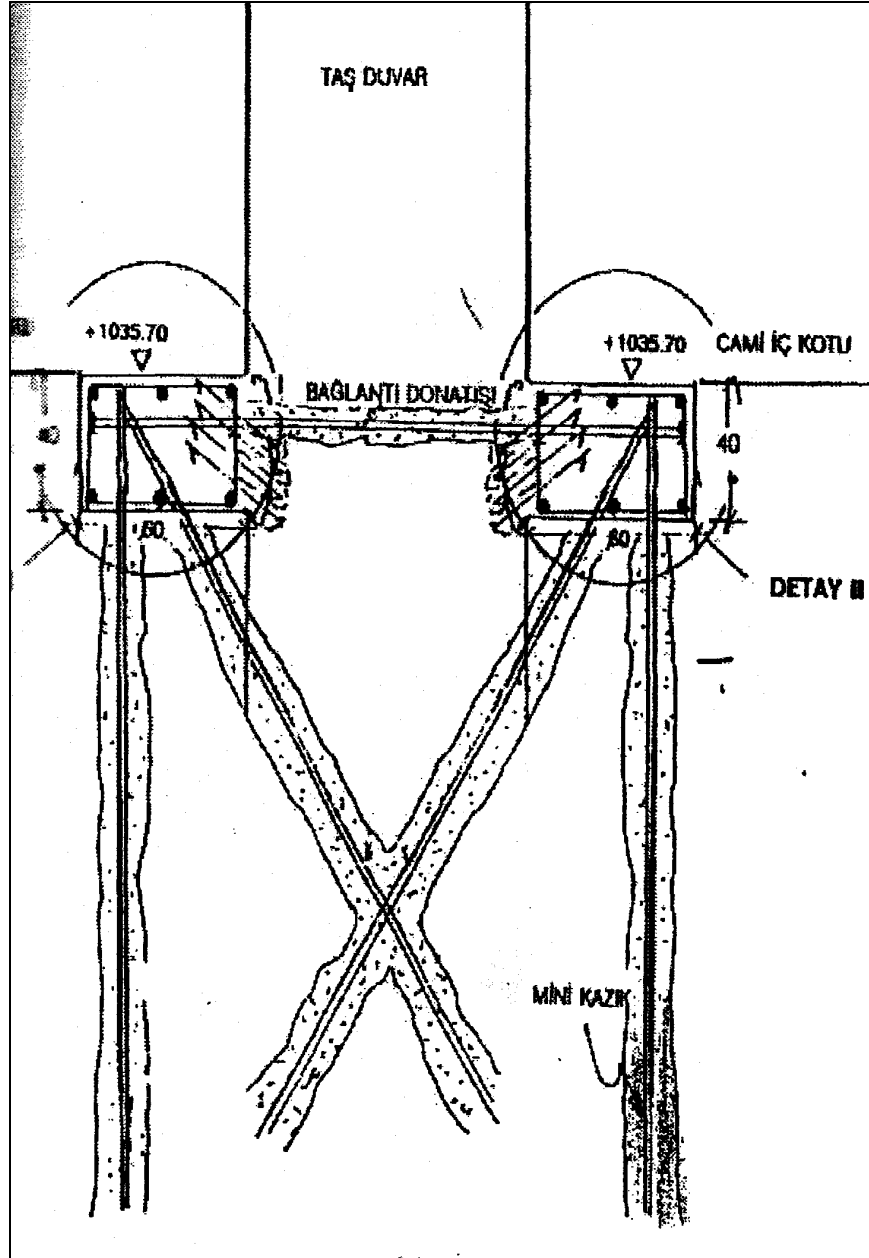
8. Bu işlemden sonra dıştaki kiriş betonu dökülmüştür.

9. Son olarak mümkün olan kesimlerde, yatay bağlantı donatısına, cami dışından 5 ton mertebesinde bir yük ile çekme gerilmesi uygulanmış ve donatının geçtiği delik enjeksiyon ile doldurulmuştur. Enjeksiyon sertlik kazandıktan sonra uygulanan çekme kuvveti bırakılmıştır. Böylelikle, bağlantı donatısına, düşük mertebede bir ard-germe (post-tensioning) uygulanmıştır. Bazı kesimlerde çalışma güçlüğü nedeni ile yatay bağlantı donatısına ard germe işlemi uygulanamamıştır.

B tipi bağlantı detaylarında inşaat sırası aynı olup yalnızca kiriş boyutları ve donatı detaylarında bazı farklılıklar vardır.



Şekil 5.23: A Tipi Bağlantı



Şekil 5.24: B Tipi Bağlantı

5.4.3.3 Drenaj çalışmaları

Drenaj çalışmalarının Konya Alaaddin Camii zemin ıslah çalışmalarında çok önemli bir yeri bulunmaktadır. Ayrıca, yüzey suyu drenajının cami avlusu ve caminin yakın civarı ile birlikte düşünülmesi gerekmektedir. Bu yüzden drenajla ilgili çalışmalara caminin ve yakın civarının topografik haritalarının çıkarılması ile başlanmıştır.

Konya Alaaddin Camii güney ve batı cephesi boyunca uzanan, yüzey sularının cami altı taban zeminine sızmasını önlemek amacı ile daha önce inşa edilmiş bir drenaj hendeği mevcuttur. Ancak, bu drenaj hendeğinin zaman içinde açık olan

mazgallardan dökülen malzeme ile dolduğu tespit edilmiştir. Drenaj hendeği temizlenerek taban kotları ölçülmüş ve uygun evsafa kum-çakıldan müteşekkil bir drenaj malzemesi kullanılarak drenaj sistemi ıslah edilmiştir [46].

5.4.3.4 Ölçüm ve gözlemler

Konya Alaaddin Camii taş duvar ve kolonlarında mevcut çatlakların ve zeminde oluşabilecek deformasyonların, zemin enjeksiyonu sırasında davranış ve hareketini gözlemek amacı ile cami içinde ve dışında hassas ölçüm aletleri yerleştirilerek bir ölçüm ve gözlem sistemi oluşturulmuştur.

Bu amaçla, Konya Alaaddin Camii'nde mevcut çatlak sistemleri başlıca üç ayrı ölçüm sistemi çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Bunlar:

1. Duvar ve taş kolon gibi taşıyıcı elemanlardaki çatlakların gözlenmesine yönelik ölçüm aletleri yerleştirilmesi,
2. Enjeksiyonlar esnasında zemindeki deformasyonları ve oturmaları gözlemeye yönelik ölçüm aletleri yerleştirilmesi,
3. Enjeksiyonlar esnasında zemindeki deformasyonları ve yapıdaki hareketleri genel hatları ile gözlemeye yönelik ölçüm aletlerinin yerleştirilmesi, olarak özetlenebilir.

Yukarıda anılan üç bölüm sisteminin ilk ikisinin kapsamı hem cami içindeki, hem de cami dışındaki çatlak ve hareketleri gözlemeye yönelik olarak oluşturulmuştur.

Üçüncü sistem ise daha çok genel gözlem amacı ile caminin dış duvar köşeleri, iç kolon aralıkları ve avlu duvarı hareketlerini gözleyecek şekilde oluşturulmuştur.

Bu ölçüm ve gözlemler için caminin duvar ve kolonlarındaki çatlakları hem içten hem de dıştan gözleyecek şekilde 0.01 mm hassasiyetli ekstansometreler (ölçüm aletleri) kullanılmaktadır. Ölçümler için ekstansometreler çatlağın iki kenarında ankre edilmiş ve çatlakta oluşabilecek açılma ve kapanma hareketlerini gözleyebilecek şekilde kurulmuştur.

Duvar ve kolonlardaki çatlak ve yarıkları gözlemek amacı ile 28 adedi cami içinde ve 28 adedi cami dışında olmak üzere toplam 56 adet 0.01 mm hassasiyetli ekstansometre aleti yerleştirilmiştir. Ancak, zaman zaman çalışmalar esnasında bazı ölçüm aletlerini sökmek gerekmiştir. Bu ölçüm aletleri günlük olarak alınan okumalarla izlenmiş çatlaklardaki hareketler, enjeksiyon çalışmalarına paralel olarak gözlenmiştir.

Ayrıca, Konya Alaaddin Camii'nde temel ve taban zeminini güçlendirmeye yönelik enjeksiyonlar esnasında zemindeki deformasyonları ve oturmaları gözlemek amacı ile kuyu ekstansometreleri tesis edilmiştir. Kuyu ekstansometreleri mevcut zemin yüzeyinden itibaren 5.00 m ve 10.00 m derinlikteki deformasyonları gözleyecek şekilde yerleştirilmiştir. Bu ölçüm aletleri, deformasyon ve oturmaları uçları 5.00 m ve 10.00 m derinliğe ankre edilmiş olan iki ayrı çubuğun (rod) ortada yer alan ve ucu yeterli derinlikte sağlam zemine ankre edilmiş bulunan bir başka çubuğu referans olarak, ekstansometre düzeneği aracılığıyla ölçmektedir.

Bu amaçla 0.01 mm hassasiyetli ekstansometreler 5.00 m ve 10.00 m derinliğe ankre edilmiş olan çubuklarla, referans kuyusundaki donatıyı referans alacak şekilde bağlanmış olup kuyuda oluşabilecek oturma ve şişme hareketlerini gözleyebilecek nitelikte tesis edilmiştir. Bu ekstansometrelerin 29 adedi 5.0 m derinlikteki 29 adedi de 10.0 m derinlikteki deformasyonları gözleyecek şekilde olmak üzere toplam sayılan 58 adettir.

Yukarıda söz edilen ölçüm aletlerinin yanı sıra Konya Alaaddin Camii temel ve taban zeminini güçlendirme enjeksiyonları esnasında zemindeki deformasyonları ve yapıdaki hareketleri genel hatları ile gözlemeye yönelik ölçüm aletleri mevcuttur.

Bu amaçla, yapıdaki genel hareketleri belirlemeye yönelik toplam 9 adet ölçüm aleti, yapının köşe noktalarında ve özellikle avlu duvarındaki hareketleri gözleyecek şekilde kurulmuştur. Ancak, cami dışında oluşturulan ve cami köşe noktalarının hareketlerini gözlemeye yönelik konverjans ölçüm aletlerinden dış etkenler nedeniyle verim alınamamasından dolayı bu ölçüm sistemi okumalarına devam edilmemiştir.

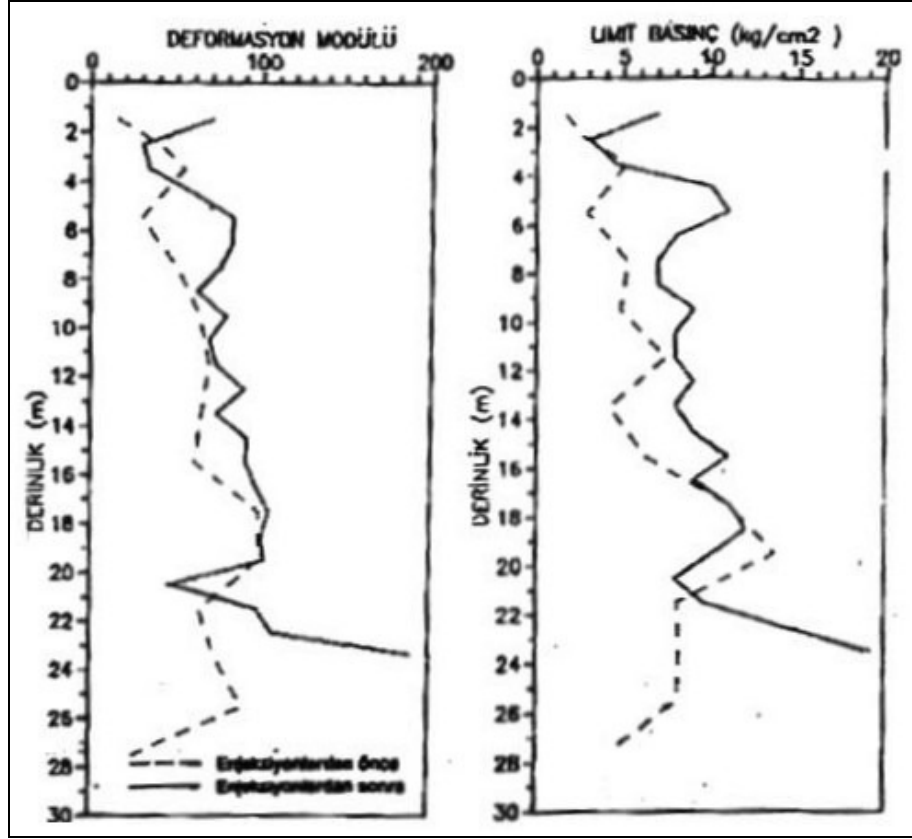
5.4.3.5 Deneyler ve yerinde ölçümler

Konya Alaaddin Camii'nde yapılan çalışmaların teknik değerlendirmelere esas olan sonuçlarını vermek açısından deneyler ve yerinde ölçümler çok önemli bir kaynak teşkil etmektedir. Bu amaçla çeşitli yerinde ölçümler ve deneyler programlanmış ve yapılmıştır.

a) Presyometre Deneyleri: Bu yerinde ölçüm deneyinde esas zeminin enjeksiyondan sonra mekanik özelliklerindeki değişimin gözlenmesidir. Enjeksiyon öncesinde ve hemen ilk enjeksiyonlar sonrasında belirlenen yerlerde toplam 5 ayrı yerde ve çeşitli derinliklerde (takriben 1.5 m ara ile) presyometre deneyleri yapılarak zeminin taşıma gücü ve deformasyon özelliklerinin derinlikle değişimi belirlenmiştir.

Bir örnek olmak üzere Şekil 5.25’de yapılan deneylerde ölçülen limit basınç ve deformasyon modüllerinin derinlikle dağılımları enjeksiyon öncesi ve sonrası olmak üzere grafikler halinde ifade edilmektedir. Bu ölçümlerde limit basınç, zeminin kayma mukavemetindeki artışa; deformasyon modülündeki artış ise, sıkışabilirliğindeki azalmaya tekabül etmektedir. Sonuç olarak zemin özelliklerinde önemli bir iyileşmenin yanı sıra enjeksiyon sonrası zeminin daha homojen bir yapıya sahip olduğu enjeksiyon sonrası alınan karotlarda gözlenmiştir [46].

b) Mini kazık yükleme ve çekme deneyleri: Konya Alaaddin Camii’nde inşa edilen mini kazıkların çekme ve basınç kapasitelerinin ve böylece servis yüklerinin belirlenmesine yönelik olarak mini kazık yükleme ve çekme deneylerinin yapılması planlanmıştır.



Şekil 5.25: Presyometre deney sonucu örneği

Konya Alaaddin Camii, mini kazık yükleme ve çekme deneyleri için Çabuk Sabit Yüklemeli (Quick ML) tipi kazık yükleme deneyi uygulanmıştır. Bu deney yönteminde, mini kazık tahmin edilen kapasitesinin % 200 fazlasına kadar aşamalı olarak yüklenerek test edilir. Her bir aşamadaki yük artırımını toplam uygulanacak yükün % 20’si mertebesindedir ve her yük seviyesinde 15 dakika süre ile beklenir. Bu 15 dakikalık sürede üçer dakika ara ile yük-deformasyon okumaları alınır. Test yöntemi detaylı olarak aşağıda sunulmaktadır.

Yükleme ve boşaltma sırası:

- Mini kazık, tahmin edilen kapasitesinin iki katı fazlasına kadar yüklenecektir. Bu yük uygun bir hidrolik krika ile uygulanmalıdır.
- Test yükü toplam yükün % 20'si mertebesinde kademeli olarak uygulanmalı ve her yük kademesinde 15 dakika beklenmelidir. Toplam deney yükü (maksimum yük) ise 60 dakika süre ile yüklü tutulmalıdır. Her kademedede 3 dakika ara ile yük-deformasyon-zaman okumaları alınmalıdır.
- Boşaltma ise bir aşamada yapılmalı ve boşaltma esnasında deformasyon ölçümleri alınmalıdır.
- Yüklemeye ve boşaltma esnasında deformasyonlar 0.01 mm hassasiyetli mikrometre (dial gage) ile ölçülmelidir.

Deney kazığı ile ankraj kazıkları arasında bir mesafe bulunmalıdır. Bu mesafe deney kazığı yakınındaki deformasyonların ankraj kazıklarından etkilenmesini en aza indirmek amacı ile 2.00 m olarak seçilmiştir. Ayrıca, ankraj kazığı olarak deney kazığının iki yanında ikişer tane olmak üzere toplam 4 adet ankraj kazığı kullanılması önerilmektedir.

Ayrıca dikkat edilmesi gereken diğer bir husus deformasyon okumaları için kullanılacak mikrometre düzeneğinin uygun bir şekilde kurulması gerektiğidir. Bu amaçla mikrometre, mini kazık yakınındaki deformasyonlardan etkilenmeyecek şekilde bir destek kirişi üzerine yerleştirilmeli ve deformasyonlar bu destek kirişi referans alınarak yapılmalıdır. Mikrometre destek kirişi de mini kazık civarındaki deformasyonlardan etkilenmeyecek şekilde mesnetlenmelidir.

Destek kirişi mesnetlerinin deney kazığından minimum uzaklığı 5.00 m olarak seçilmiştir. Ancak bu mesafenin uygulama açısından daha kısa tutulmasının zorunlu olduğu hallerde, mesnet mesafesi mutlaka ölçülmeli ve mümkün olduğunca deney kazığı yakınındaki deformasyonlardan etkilenmeyecek şekilde olmalıdır. Kazık yükleme deneyinde deformasyon okumaları için ayrıca ikinci bir mikrometre, deney kazığının ankraj kazıklarına göre hareketini tespit etmek amacı ile yükleme yapılan kirişi referans alacak şekilde yerleştirilmelidir.

Bu deneye göre, Ø120 mm çaplı mini kazığın takriben 20 ton mertebesinde bir basınç ve 8 ton mertebesinde bir çekme kapasitesi olduğu sonucuna varılabilir. Bu durumda nihai kazıkların her biri için emniyetli servis yükleri, basınç için 10 ton, çekme için ise 3 ton olarak kabul edilebilir [46].

5.4.4 Sonuç

Konya Alaaddin Camii'nde yürütülen çalışmalar üç aşamada gerçekleştirilmiş olup; birinci aşamada, enjeksiyonlar sırasında ve sonrasında cami üst yapısındaki çatlaklardaki ve temel zeminindeki hareketleri gözlemeye yönelik ölçüm ve gözlem aletleri tesis edilmiştir. İkinci aşamada, bölgesel nitelikte enjeksiyonlar yapılmıştır. Bu enjeksiyon çalışmaları sonucu, taban zemininde iyileşmeler gözlenmiştir. Üçüncü aşamada ise yapısal enjeksiyon ve mini kazık (donatılı enjeksiyon) inşası yapılarak ve cami temel ve taban zemini güçlendirilerek, cami üst yapı restorasyonuna hazır duruma getirilmiştir [46].

Konya Alaaddin Camii'nde yürütülen tüm bu çalışmalar esnasında, cami üst yapısının azami düzeyde korunmasının yanı sıra yapılan çalışmaların etkilerini ve başarı derecesini gözlemeye yönelik ölçüm, gözlem ve deneyler, camideki çalışmalara paralel olarak yürütülmüştür. Enjeksiyon ve mini kazık imalatı esnasında temel ve taban zemininden kaynaklanabilecek hareketleri gözlemeye yönelik kapsamlı bir ölçüm ve gözlem sistemi tesis edilmiş, cami duvarlarındaki ve üst yapısındaki mevcut çatlakların hareketleri büyük bir hassasiyetle gözlenmiştir. Sürekli gözlemlerin yanı sıra yapılan güçlendirme çalışmalarının başarı derecesinin tespitine yönelik presyometre deneyleri ile zemin koşullarındaki iyileşme incelenmiş, yapılan çeşitli ve özel laboratuvar deneyleri ile imalatın her aşaması kontrol edilmiştir.

Yukarıda özetlenen tüm bu çalışmalar sonucunda Konya Alaaddin Camii temel ve taban zemini çeşitli ıslah yöntemlerinin birlikte uygulanması ile güçlendirilmiş ve cami üst yapı onarım ve restorasyonuna hazır duruma gelmiştir.

Bu arada cami temel ve taban zemininin davranış modellemesi yapılarak, evvelce görülen ve bu nedenle tamamı ile askıya alınan üst yapının aşırı deformasyonlarına neden olan etkenler incelenmiş ve uygulanan ıslah ve güçlendirme çalışmalarının başarısı tahkik edilmiştir.

Bu değerlendirmeler ışığında aşağıdaki sonuçlar özetlenebilir:

- Konya Alaaddin Camii temel ve taban zemini güçlendirme çalışmaları enjeksiyon ve mini kazık uygulamalar ile tamamlanmıştır.
- Yapılan enjeksiyonlar sonucu taban zemini koşu gerek taşıma gücü ve gerekse deformasyon yönünden iyileşme gerçekleştirilen presyometre deneyleri ile tahkik edilmiştir.

- Çalışmalar esnasında cami içinde ve dışında tesis edilen gözlem aletleri ile camide oluşan deformasyonlar ve hareketler gözlenmiştir. Bu ölçüm sistemi cami üst yapısında mevcut çatlaklardaki ve cami temel zeminindeki hareketleri enjeksiyonlar ve mini kazık imalatı sırasında gözlemeye yönelik olup, sonuçta günlük olarak yapılan deformasyon okumaları zamana bağlı grafikler halinde ifade edilmiştir. Tüm çalışmalar boyunca yürütülen gözlem ve ölçümler sonucunda uygulama çalışmaları esnasında meydana gelen deformasyonların mertebesinin birkaç milimetre civarında olduğu belirlenmiştir.
- Üst yapı restorasyonu öncesinde taş duvar ve kolonların altında inşa edilen mini kazıklara restorasyon sonrasında gelebilecek ilave yükleri sağlam zemin katmanlarına mini kazıklar aracılığıyla aktarılabilmesi amacı ile taş duvar ve kolon altlarında bağlantı detayları geliştirilmiş ve bu detaylar uygulanarak gelebilecek üst yapı yüklerinin mini kazıklara aktarılabilmesine olanak sağlanmıştır.
- Bu uygulama çalışmalarına paralel olarak Konya Alaaddin Camii temel zemininin davranış modellemesi yapılarak, cami üst yapısında hasara neden olan deformasyonlara kaynak teşkil edebilecek unsurlar incelenmiştir. Sonuçta uygulanan güçlendirme çalışmalarının amaca uygun şekilde ilerlediği belirlenmiştir.
- Cami temel ve taban zemininin bozuşmasına başlıca nedenin, yüzeyden ve cami çevresinden temel zeminine sızan sular olduğu göz önünde bulundurularak cami çevresinde ve avlusunda kapsamlı drenaj önlemleri uygulanmıştır.

5.5 Fethi Ahmet Paşa Yalısı

5.5.1 Giriş

İstanbul Üsküdar'da ikametgah olarak kullanılan istenilen tarihi Fethi Ahmet Paşa yalısının taşıyıcı sisteminde gözle görülen dönmeler, bazı temel duvarlarında oturmalar ve buna bağlı olarak çatlaklar belirlenmiştir. Yapının geoteknik ve statik açıdan incelenmesi sonucu, binanın takviye edilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. 1995 yılı Nisan ayı içerisinde yalıda çeşitli incelemeler yapılmıştır. Ayrıca bina etrafında sondajlar yapılarak, temel zeminin özellikleri ve tabakalaşma durumu belirlenmiştir.

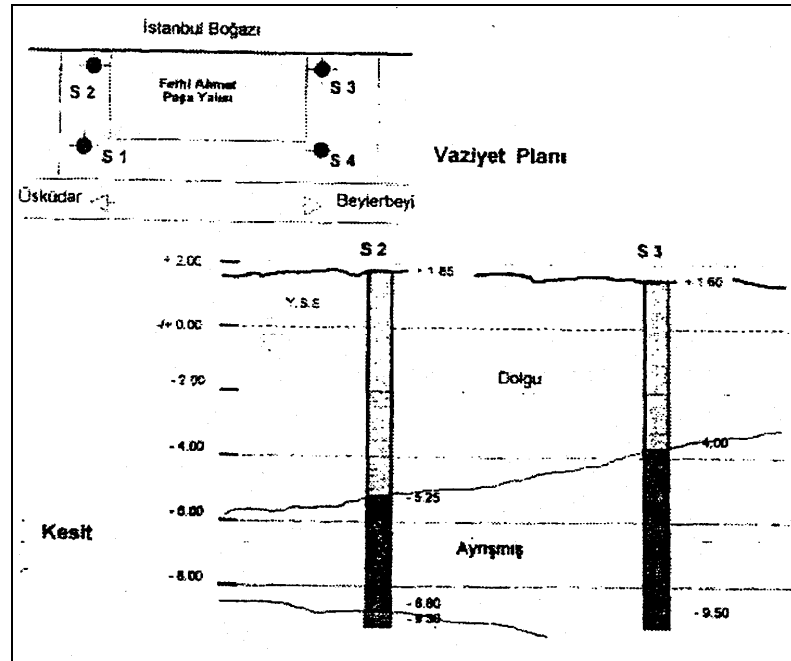
5.5.2 Zemin özellikleri ve temel sistemi

Bir zemin ve üst kattan oluşan söz konusu tarihi yalı binası, tam deniz kenarında inşa edilmiştir. Zemin katta oturma alanının dıştan dışa boyutları, 23.54 m ve 29.94 m'dir. Binanın köşelerinde 4 adet sondaj yapılmıştır. Sondajlar ana kayaya kadar sürdürülmüştür. Sondajlarda arazi profili, yüzeydeki dolgu tabakası altında ayrılmış kilaşı ve kilaşı olarak belirlenmiştir. Dolgu tabakası kalınlığı, kara tarafında 2.50-2.80 m ve deniz tarafında 4.00-5.25 m'dir. Sondaj yerleşim planı ve yapının deniz cephesi boyunca zemin profili, Şekil 5.26'da gösterilmektedir.

Zemin numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda, kohezyonlu zemin örneklerinin düşük plastisiteli kil (CL) ve daneli zeminlerin siltli kum-killi kum (SM / SC) olduğu görülmektedir.

Yalı temelleri, binanın taşıyıcı duvarları altında yer alan taş duvarlardan oluşmaktadır. Temel sistemi, her iki doğrultuda mütemadi temel şeklindedir. Çeşitli genişliklerdeki temel duvarları, harçla işlenmiş kaba yontu taştan imal edilmiştir.

Binanın boyuna doğrultusunda boğaz tarafındaki temeli, aynı zamanda rıhtım görevi de görmektedir. Genişliği yaklaşık 2.00 m olan bu temel, deniz seviyesine kadar yükselmektedir. Bu temele dik yöndeki temeller 0.50-1.00 m genişlikte olup, derinlikleri kara tarafına doğru azalmaktadır. Kara tarafındaki diğer temelin yer yer yüzeye yakalaşan ana kayaya oturtulduğu ve genişliklerinin 1.00 m civarında olduğu anlaşılmıştır [47].



Şekil 5.26: Sondaj vaziyet planı ve zemin profili

5.5.3 Değerlendirme

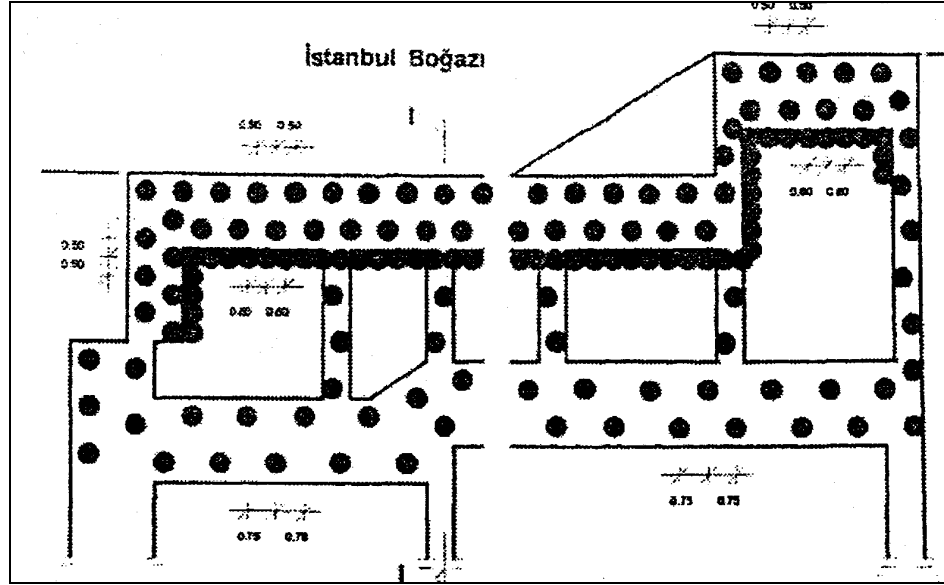
Yalı binasındaki incelemeler sonucunda, üst yapıda görülen dönme ve sehimlerin büyük bir bölümünün temellerdeki oturmalarından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Oturmalar genelde deniz tarafına doğrudur. Yapının deniz tarafına ve sağ köşeye doğru daha fazla oturduğu görülmektedir. Ayrıca, yalının deniz tarafında zemin katta açtırılan muayene kuyularındaki gözlemlere göre, yapı temellerinde her iki doğrultuda yer yer çatlama ve ayrılmalar görülmüştür. Denize doğru olan oturumların miktarı, bazı bölümlerde 135 mm değerine ulaşmakta olup en az 80 mm değerindedir. Rıhtım bölümünde görülen toplam ve farklı oturmalarda; akıntı, uskur hareketi, yer sarsıntısı vb. şekillerde ortaya çıkan etkilerin rolü olduğu anlaşılmaktadır.

5.5.4 Sonuç

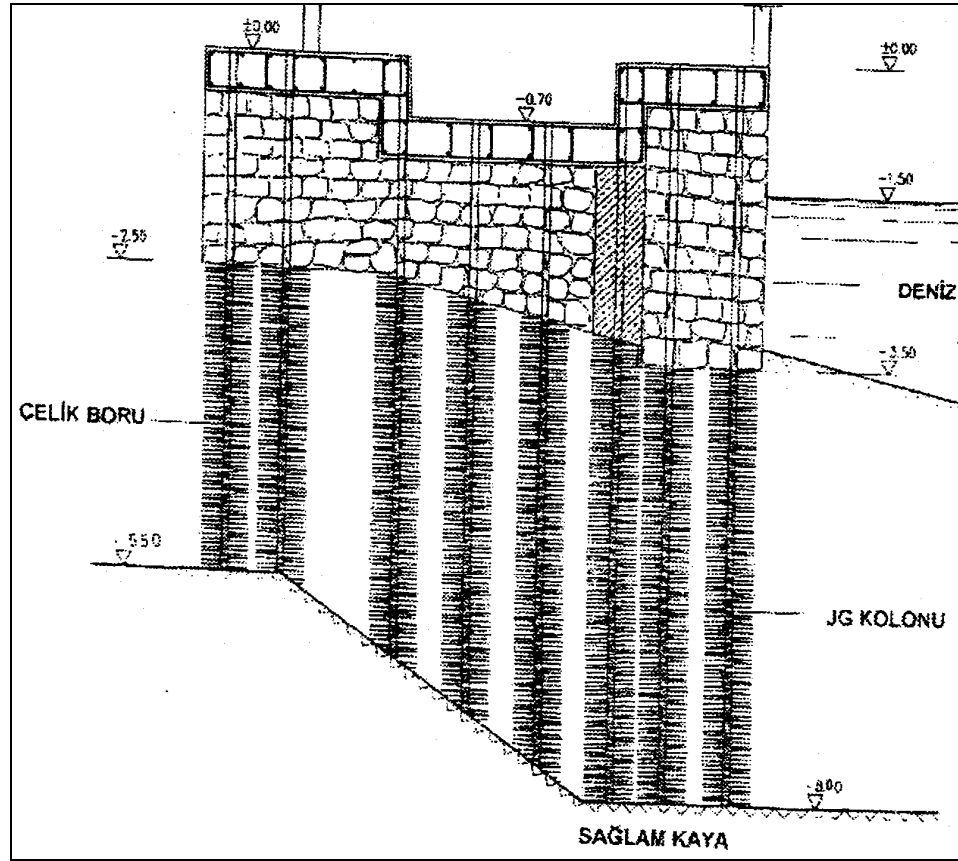
Oturumların önlenmesi ve binada yeterli güvenliğin sağlanması için temel zemini, yapının deniz tarafında, temel alt kotundan itibaren ana kayaya kadar “jet grouting” yöntemi ile taşlaştırılmıştır. İmal edilen jet grout kolonları ile, bina yükleri dolgu altındaki sağlam tabakaya aktarılmıştır. Ayrıca jet grout yöntemi ile oluşturulan geçimsiz perde yardımı ile temel altı zemininin deniz etkisinden korunması sağlanmıştır.

Şekil 5.27’de verilen vaziyet planı ve Şekil 5.28’de verilen kıyıya dik kesitte görüldüğü gibi temel duvarları altına, taşıyıcı jet grout kolonu imali için taş duvarlarda karotiyerle delikler açılmıştır. Açılan deliklerden uygulama projesine göre ana kayaya kadar, çelik boru ile donatılandırılmış, yaklaşık 0.80 m çapında jet grout kolonları imal edilmiştir. Daha sonra donatı olarak kullanılan etli çelik borular (9 mm) duvar üst seviyesinden çıkarılmış ve bir başlık kirişi ile birbirlerine bağlanarak süreklilik ve rijitlik sağlanmıştır.

Jet grout imalatı sırasında, yapıda ilave gerilme ve deformasyonların meydana gelmemesi için gereken özen gösterilmiştir. Temel takviyesi sırasında ve sonrasında alınan ölçümler, belirlenen deformasyonların ihmal edilebilir miktarda olduğunu göstermiştir. Dolayısıyla bu tarihi yapı, temel takviyesi projesi ile gelecek kuşaklara aktarılmıştır [47].



Şekil 5.27: Jet grout kolonları yerleşim planı



Şekil 5.28: Jet grout kolonlarının kesiti

5.6 Fatih Camii Kütüphanesi Temel Takviyesi

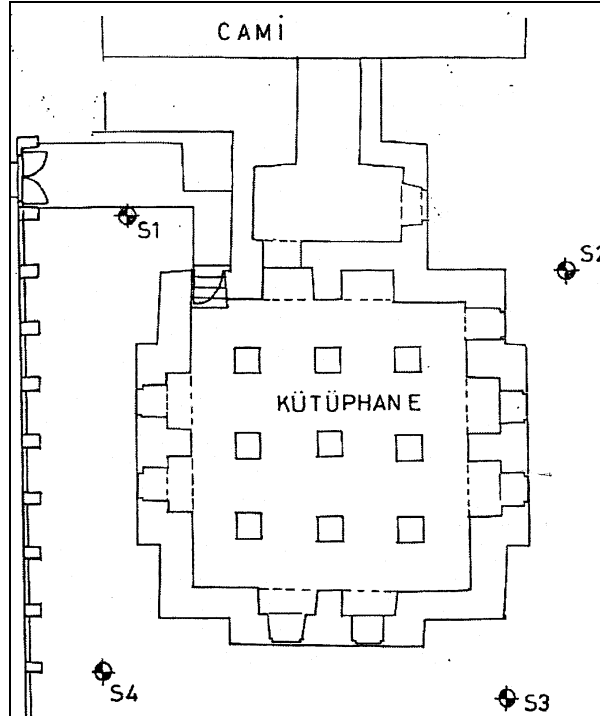
5.6.1 Giriş

Fatih Camii Kütüphane Binası, Fatih Külliyesi'nin içinde caminin kible cephesinde bulunmaktadır. Fatih Camii'nin bitişiğinde yer alan kütüphane binasında, oturmalar sonucu oluşan çatlakların ilerlemesini durdurmak ve yapıyı güvenlik altına almak amacı ile bina, çelik levhalarla dört bir tarafından askıya alınmıştır. Binadaki hasarların ana nedeni olarak görülen zemin ve temel sistemini ortaya çıkarmak amacı ile bina çevresinde geoteknik çalışmalar yapılmıştır.

5.6.2 Zemin özellikleri ve temel sistemi

Fatih Camii Kütüphane Binası tek katlı bir yapı olup Fatih Camii'nin güney bahçesinde bulunmaktadır. Yapı temelleri, binanın taşıyıcı duvarlarının altında yer alan taş duvarlardan oluşmaktadır. Temel sistemi her iki doğrultuda mütemadi temel şeklindedir.

Kütüphane binasının bulunduğu mahalde dört adet sondaj yapılmıştır (Şekil 5.29). Bu sondajların ve alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinin sonuçları Tablo 5.1'de özetlenmiştir.



Şekil 5.29: Fatih Camii Kütüphanesi sondaj yerleşim planı

Yapılan sondajlar sonucunda yapının bulunduğu yerin zemin profili üstte 1.5-2.0 m kalınlığında siltli kumlu, kiremit parçalı, yer yer çakıllı, karbonatlı, horasan artıklı heterojen dolgu, onun altında 2.0-3.5 m kalınlığında Bakırköy formasyonu ve en altta da Güngören formasyonu bulunmaktadır.

Bakırköy formasyonu, beyaz ve açık renkli, yumuşak ila orta sert, fosilli kireçtaşı ve kireçtaşı ile, açık gri ile yeşilimsi renkli mavi, sert konsolide kil ve kilaşı araldanmasından oluşan bir formasyondur. Kütüphane binasının zemin profilinde Bakırköy formasyonu 2.0-3.5 m kalınlığında olup marnlı, karbonatlı, yer yer plastik killi, killi silt, krem renklidir. Yapılan Standart Penterasyon deneyleri sonucunda ortalama $N_{30} = 33$ olarak bulunmuştur.

Güngören formasyonu, mavimsi- yeşil renkli kilaşı, daha açık renkli marn ve seyrek bantlar halinde killi kireçtaşı ile kireçtaşı araldanmasından meydana gelmektedir. Kütüphane binasının zemin profilindeki Güngören formasyonu üstte çok katı - sert kıvamda siitli kil, ortada fisürlü, konsolide, mavi renkli, çok katı - sert kıvamda kil ve en altta konsolide, alaca renkli, sıkı-çok sıkı ila sert kıvamda siltli kum- kumlu siltten müteşekkildir. Binanın oturduğu zeminin ideal geoteknik modeli Şekil 5.30'daki gibidir.

Tablo 5.1: Sondaj ve deney sonuçları

SONDAJ NO BOREHOLE NO	NUMUNE SAMPLE		w _n %	γ _n ton/m ³	γ _s ton/m ³	ATTERBERG LİMİTLERİ- LIMITS			Rizik Analizi Sieve Analysis		MEKANİK ÖZELLİKLER MECHANICAL PROPERTIES					
	NO	DERİNLİK DEPTH m				LL %	PL %	PI %	+ 4 %	-200 %	UNIFIED	q _u kg/cm ²	P _s kg/cm ²	c kg/cm ²	cc T+e _s	cc
S1	SPT3	7.95	67			104	60	44			MH					
	SPT8	12.45	57			93	54	39			CH					
	SPT10	15.45	55			92	54	38			MH					
	SPT12	18.95							2	88	ML					
S2	SPT4	4.95							27	47						
	KAROT	9.00	48	1.67		90	51	39			MH		0.50	1.20	0.12	0.29
	SELBY	11.00	65	1.60		97	58	39			MH			0.80	0.12	0.33
	SPT8	13.45	57			86	36	50			CH		0.75	1.4	0.10	0.22
	KAROT	14.50	52	1.70		90	55	35			MH					
S3	SPT3	3.45							48	20						
	SPT6	6.45	35			44	23	21			CL					
	SPT7	8.95	57			82	51	41			MH					
	SPT12	19.95	38			46	31	15	0	78	ML					
S4	SPT3	4.95							9	73						
	SPT8	13.45	48			118	63	55			MH					
	SPT10	16.95	52			106	49	57			MH					
	SPT11	18.95							0	30	SM					

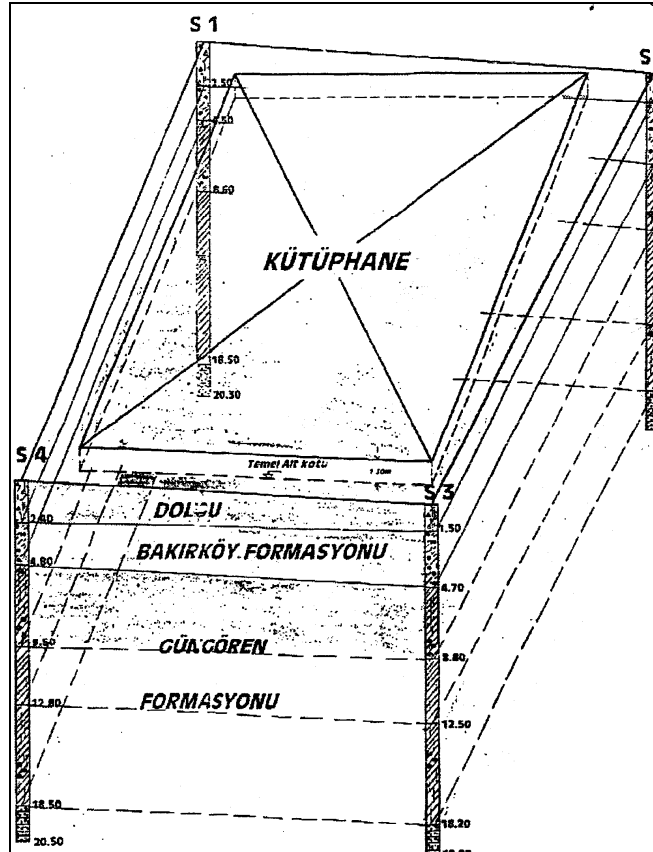
Kalınlık m	LOG	AÇIKLAMALAR	SPT N ₆₀	WR %	LL %	PL %	PI %	γ_n t/m ³	c t/m ²	Kv t/m ²	σ_{cm} t/m ²	ϕ ($^\circ$)	Emniyetli Zemin Sıkılaşma Sınırı	P _s kg/cm ²
1.50-2.50		HETEROJEN DOLGU: SİLİ, KUMLU, SİREMLİ BARTIN, yer yer çabuk ve karbonatlı silt BAKIRKÖY FORMASYONU, Marnlı, siyah konsolidasyonlu, karbonatlı, az tırn SİREMLİ, SİLİ-SİYAH RENK												
2.50-3.50		SİLİ Kİ: FİSİRLİ, konsolide, yer yer plastik SİLİ Kİ: Alaca renkli, ÇOK KATI-SERT	33											
		SİLİ Kİ: FİSİRLİ, konsolide, yer yer plastik SİLİ Kİ: Alaca renkli, ÇOK KATI-SERT	30	45	90	98	36	1.67	10.00	6500	1.75	0	MM	0.30
		Kİ: FİSİRLİ, konsolide, yer yer plastik Kİ, yer yer ince karbonatlı, Mavi renkli, ÇOK KATI-SERT	30	55	91	92	39	1.70	12.00	8.000	1.75	0	CH-MM	0.75
		SİLİ KUM-KUMLU SİLİ, Az tırn, ince daneli SİLİ kum bürle silt ardalanması, Mavi renkli, SİLİ - ÇOK SİLİ N. SERT.	50					1.85	0	10.000	2.50	35	SİLİ-Kİ	

SPT N ₆₀ : Standart Penetrasyon Testi	c : Drenajsız Kayma Mukavemeti
WR : TMM su MUKTASARI	Kv : Düşey VİSKAZİTE
LL : Likit Limit	σ_{cm} : Emniyetli Zemin Gerilimi
PL : Plastik Limit	ϕ : Drenajsız Kayma Mukavemeti Açısı
PI : Plastisite İndeksi	P _s : Sigma Basıncı
γ_n : Taahhüt Birim Ağırlığı	

Şekil 5.30: İdeal geoteknik model

5.6.3 Değerlendirme

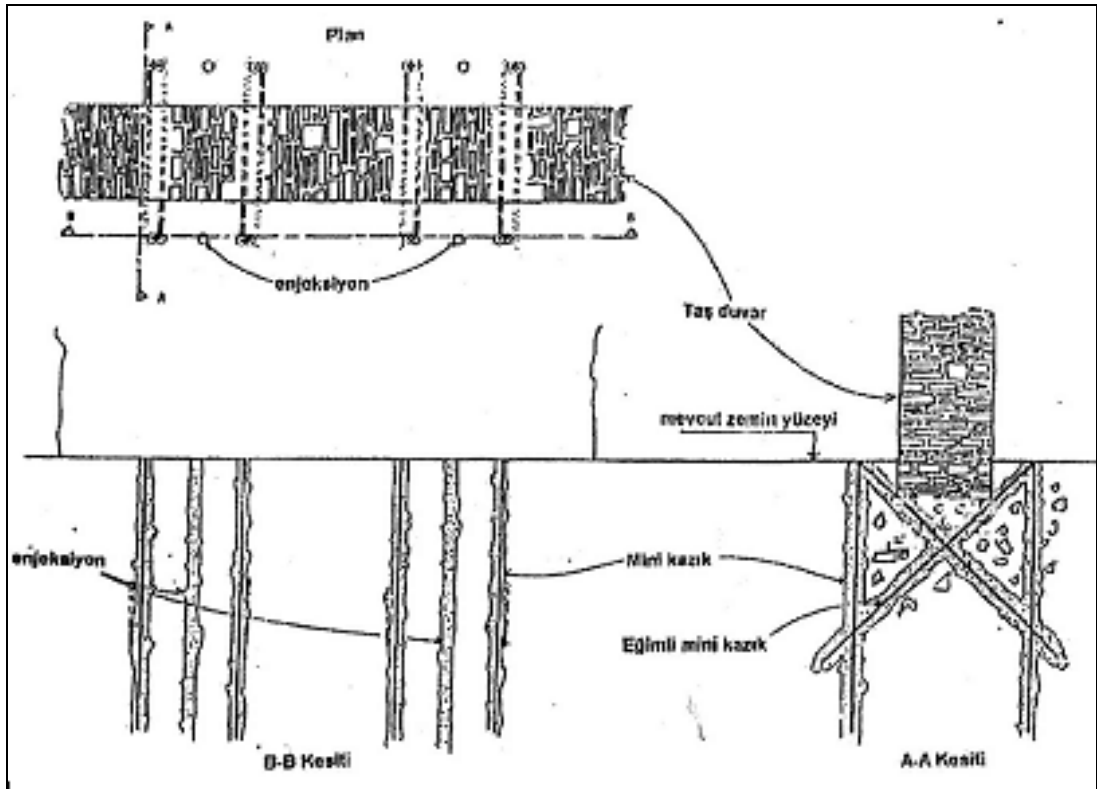
Fatih Camii Kütüphane Binası'nın temelleri, kalınlığı 1.5-2.0 m arasında değişen heterojen dolguya oturmaktadır. Bu dolgu tabakasının altında ise marnlı, karbonatlı Bakırköy formasyonu yer almaktadır (Şekil 5.31).



Fatih Camii'nin bahçesinde bulunan kütüphaneye özellikle cami çatısından gelen yağmur suları, dolgu tabakasının altında bulunan 2.0-3.5 m kalınlığındaki marnlı, karbonatlı tabakadaki karbonatlan yıkayarak erime boşlukları oluşturmaktadır. Bunun sonucu olarak oturmalar ve üst yapıda çatlaklar meydana gelmektedir. Çözüm olarak, ilk başta camiden gelen suların kontrollü bir şekilde kütüphane binasının temellerine ulaşmadan drene edilmesi gerekmektedir. Zemin profili ve temel sistemi dikkate alındığında, bu yapıda uygulanacak temel takviyesi yönteminin temel zemininin ıslahını da içermesi gerektiği açıktır.

5.6.4 Sonuç

Fatih Camii Kütüphanesi'ndeki oturmaları durdurmak amacı ile yapılan temel takviyesi projesi, zeminin sistematik bir şekilde enjeksiyon ile ıslah edilmesinden ve duvar altına üst yapı yüklerini taşıyacak 12-25 cm çapında mini kazık imal edilmesini içermektedir (Şekil 5.32).



Şekil 5.32: Fatih Camii Kütüphanesi için planlanan temel takviyesi

Enjeksiyon işlerinde başlangıç kademeleri 0.80 m olarak düşünülmüş, enjeksiyon aralıklarının 1.00x1.00 m yerleşim planı ile delinmesine ve refü alana kadar enjeksiyon yapılmasına devam edilmiştir. Enjeksiyon uygulamasında su-çimento 1/1 ağırlık oranında hazırlanmış ve basınç başlangıçta 1-2 barı geçmeyecek ve derinlikle

artacak şekilde uygulanmıştır. Fatih Camii Kütüphanesi Temel Zemin Islahı kapsamında 5 noktada 12 m'lik, 2 noktada 11 m'lik karotlu sondaj kuyusu açılmış, kütüphane çevresinde ve içinde derinlikleri 8 m'yi bulan 250 adet 0.80 m'lik kademeler halinde 3020.80 m enjeksiyon deliği açılmıştır. Açılan 3020.80 m enjeksiyon deliğine 50.18 m³ çimento-su karışımı enjekte edilmiştir [49]. Ortalama enjeksiyon derinliği 9 m olarak belirlenmiştir. Enjeksiyon işleminden sonra zeminden karotla alınan numuneler üzerinde yapılan incelemeler neticesinde enjeksiyon uygulamasının yeterli olduğu sonucuna varılmış ve mini kazık imalatına gerek duyulmamıştır.

5.7 Hoca Ahmet Yesevi Türbesi Temel Takviyesi

5.7.1 Giriş

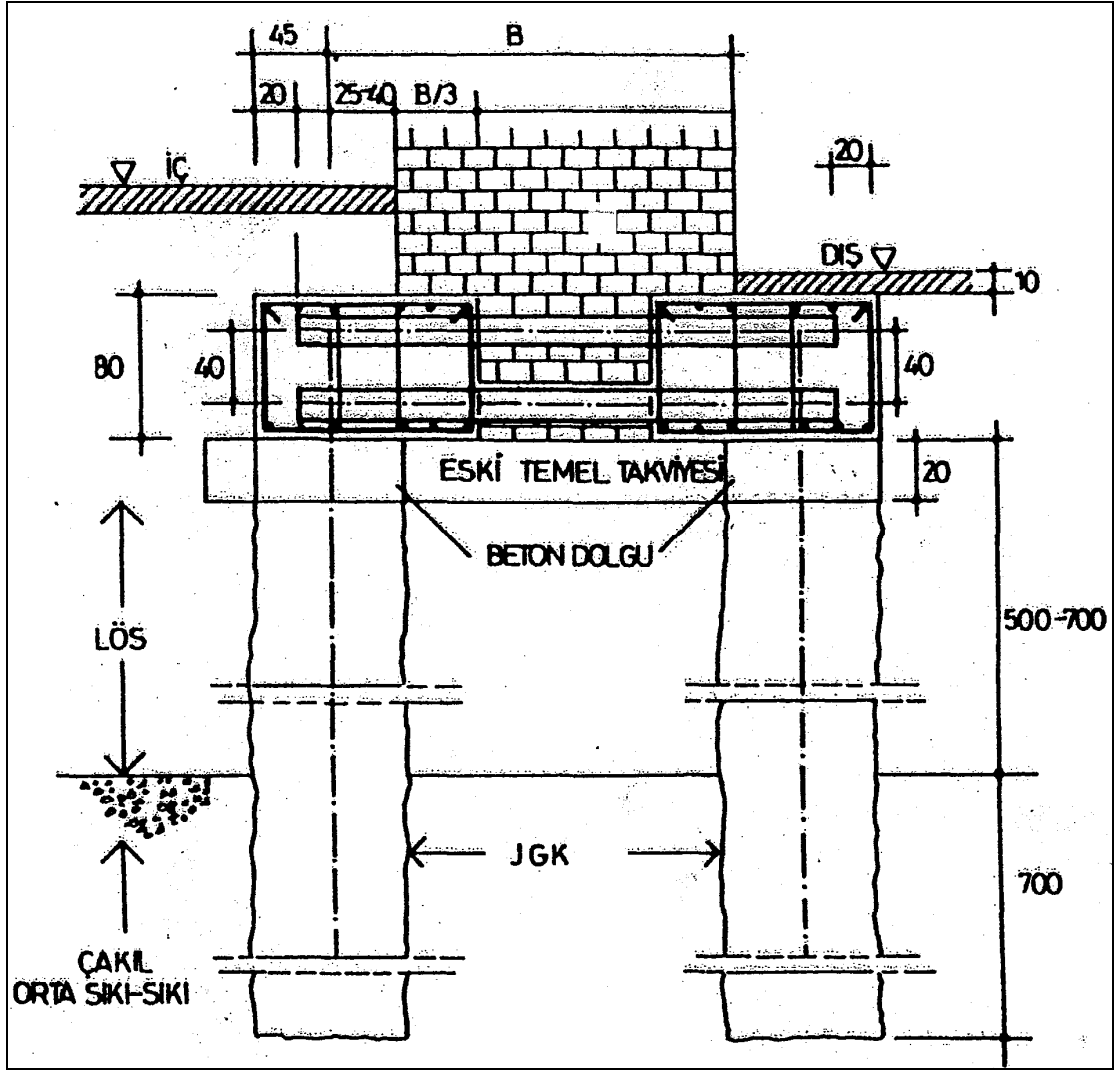
Küçüksu Kasrı'ndakine benzer bir uygulama, Kazakistan'ın Türkistan kentinde bulunan Hoca Ahmet Yesevi Türbesinin temellerinin takviyesinde yapılmaktadır. Türbe; 14. yüzyılda inşa edilmiş, yüksekliği 30 m'yi geçen, tuğla bir yapıdır. Çeşitli zamanlarda hasara uğramış onarım görmüştür. Yapı ile ilgili, 1870'den beri alınan oturma kayıtları vardır. Yerel uzmanlar, oturmaların 0.70 m mertebesinde olduğu sonucuna varmıştır.

5.7.2 Zemin özellikleri ve temel sistemi

Yapı temelleri ince kum ve silt olarak nitelendirilebilen bir lös oluşumuna oturmaktadır. Kalınlığı 5-7 m olan bu tabakanın altında sık çakıl tabakası vardır. Yeraltı su seviyesi zeminden 1 m aşağıdadır, fakat zaman zaman zemin yüzeyine kadar yükselmektedir [1]. Bu görkemli, Orta Asya'da büyük önem verilen yapının, ne yazık ki düzenli bir temeli bulunmamaktadır. Çeşitli zamanlarda yapılmış, onarım ve temel takviyeleri ise durumu bir hayli karmaşık hale getirmiştir.

5.7.3 Değerlendirme

Temel takviyesi, lös zemin tabakasını geçerek çakıl tabakasına giren jet grout kolonları ile yapılmaktadır. Temeller yanak kirişleri ile omuzlanmakta, betonarme yanak kirişleri duvarın içinden geçirilen raylarla birbirine bağlanmaktadır (Şekil 5.33).



Şekil 5.33: Hoca Ahmet Yesevi Türbesi temel takviyesi [1]

5.7.4 Sonuç

Jet grouting yöntemi yapı yüklerinin daha derindeki taşıyıcı zemine iletilmesinde etkin şekilde kullanılmıştır. Jet grout kolonlarının imalattaki avantajları ve bu gibi durumlarda vermiş olduğu tatmin edici sonuçlar sebebi ile tercih edilmiş, sonuç olarak yapı korumaya alınmıştır.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada temel takviyesinin nedenleri, uygulanan takviye yöntemleri ve bu yöntemlerle ilgili örnekler verilmiştir. Temel takviye işleri ile ilgili çok çeşitli nedenler olduğundan, mühendislik dalları ve tarih bilgisi çözüm yollarını bulmada etkili olmaktadır. Çok riskli projelerdir. Mevcut binayı ve çevredeki diğer yapıları riske soktuğundan fırsat maliyetleri, ön inceleme maliyetleri, oluşabilecek tazminat maliyetleri yüksek olduğundan çok özel projelerdir. Her proje tek ve kendi koşullarına sahip olduğundan benzersizdir.

Temel takviyesi uygulamaları, mevcut yapının herhangi bir nedenle stabilitesinin bozulması durumunda veya daha uzun süre dayanmasını sağlamak amacı ile uygulanmaktadır. Nedenleri daha detaylı irdelenecek olursak; yapı yakınlarında yapılan boru, kanal, tünel, metro, derin temel çukuru gibi kazılar; kat ilavesi veya yapıda yapılacak restorasyon ya da yeni işlev kazandırma amaçlı bazı değişiklikler; zeminde kuruma veya ağaç köklerinin bulunması; sanayi yapılarında yeni makinelerin kurulması ve bu makinelerin titreşimlerinin etkisi; ahşap kazıkların çürümesi; temel betonunda sülfatlı ortamlarda bozulma veya donatılarda korozyon; dalgaların yol açtığı oyulma; temel altındaki zeminde farklı kalınlıkta sıkışabilen tabakaların olması, deprem etkilerine karşı koruma amacıyla, yer altı su seviyesinin değişmesi sonucu çökebilen zeminlerde veya şişebilen zeminlerde büyük oturmalar oluşması gibi sebepler sıralanabilir.

Sayılan sebeplerden hangisinin etkin olduğu belirlenmeli, yapının geçmişi bilinmeli, yapının çevresiyle olan ilişkileri çözülmeli ve çözümle ilgili tasarım bu bilgilerin ışığında yapılmalıdır. Tasarımı takiben yapılacak uygulama, çok dikkatli takip edilmelidir. Temel takviye işlerinde çözüm bulmada verilecek kararlarda ve projenin takibinde, tecrübenin çok önemli bir yeri vardır. Ayrıca projenin takibinde dikkatli bir ölçüm ağı kurulmalı ve takip metodu izlenmelidir. Ön incelemede ve tasarımın ilk aşamalarında birçok bilgiye ulaşmak zor olabilir. Etraftaki binaların maliyetlerini bulmak, sıkışık yapılarda zemin ile ilgili araştırma yapmak, yapı altındaki zeminin yapı öncesi ve sonrası arasındaki farkları bulmak ve yorumlamak, yapının mevcut yük durumunu bulmak genelde zor ve maliyetli işlerdir.

Temel takviye yöntemleri ise; geleneksel yöntemler, zemin iyileştirme esasına dayanan yöntemler ve yüklerin daha derindeki taşıyıcı tabakalara aktarmak için kullanılan yöntemler olarak üç grupta toplanabilir.

Geleneksel yöntemlerde temel altında beton kütlesi oluşturmak veya yandan, havadan veya alttan destek iskeleleri kurarak askıya almak gibi yollar izlenmektedir. Ancak bu yöntemler yer altı su seviyesinin yüksek olması, derin kazma imkanı olmaması, can güvenliğinin düşük olması gibi sebeplerden uygulanamayabilir.

Zemin iyileştirme esasına dayanan yöntemler; enjeksiyon, jet grouting ve çok nadiren zeminin dondurulması şeklinde sıralanabilir. Enjeksiyon birçok çeşidiyle uygun dane çaplarında kullanılabilir. Çimento ve çeşitli kimyasal enjeksiyonlar olarak farklı malzemeler kullanılabilir. Ayrıca basınçları açısından düşük, orta ve yüksek basınçlı enjeksiyonlar mevcuttur. Başka bir sınıflandırma, zeminde oluşturulan etkiye göre çatlatma, emdirme, sıkıştırma ve jet enjeksiyonlarıdır. Jet enjeksiyonu dışındaki diğer enjeksiyon çeşitleri mevcut zemin özelliklerini mekanik ve geçirgenlik gibi açılardan geliştirmeye yöneliktir. Ayrıca yine enjeksiyonun etkinliği, büyük ölçüde zeminin geçirgenlik özelliğiyle ve dane çapı dağılımıyla ilgilidir. Enjeksiyonun etkinliği, çeşitli ön ve proje sonrası deneylerle kontrol edilmelidir. Jet grouting yöntemini enjeksiyondan ayrı bir başlık ile değerlendirmek çok hatalı olmamaktadır. Çünkü enjeksiyondan farklı olarak mevcut zemini enjeksiyon ile karıştırmak veya zemin ile tamamen yer değiştirmesini sağlamak şeklinde uygulanır. Ayrıca yüklerin daha derindeki tabakalara aktarmak işlevi de bulunmaktadır.

Jet grouting 9-13 cm çapında istenilen derinliğe kadar üzerinde delgi başlığı ve nozul denilen küçük deliklerin bulunduğu monitör ile delgi yapıldıktan sonra noullardan yüksek basınçla enjeksiyonun zemini parçalayarak yerinde karışmasının sağlanması şeklinde uygulanır. Jet groutig yönteminin tek, çift ve üç akışkanlı olarak üç tip sistemi vardır. Tek akışkanlıda sadece enjeksiyon, çift akışkanlıda hava ve enjeksiyon, üç akışkanlı da ise hava, su ve enjeksiyon zemine jetlenerek gönderilmektedir. Bu sistemler enjeksiyonun zemine nüfuzunu arttırmak için geliştirilmiştir. Sonuçta oluşan yapıya jet grout kolonu denilmekte çapı ve mukavemet değerleri kullanılan yöntem ve zemin cinsine bağlı olmaktadır.

Yapı yüklerinin daha derindeki taşıyıcı tabakalara aktarılmasını sağlamak amacı ile jet grout kolonları, fore kazıklar, itmeli kazıklar, mini kazıklar, mikro kazıklar, kullanılabilir. Jet grout kolonları zemin ile karışmış bir beton kütlesi olarak yük aktarabilmektedir. Fore kazıklar çeşitli yöntemlerle yapı temellerine bağlanarak yükün aktarılması sağlanabilmektedir. İtmeli kazıklar kriko yardımı ile beton veya

elik kazık parçalarının genelde yapıdan alınan yükle zemine itilmesi şeklinde imal edilirler. Krikoya bağlı okumalardan uygulanan yük net olarak bilindiğinden aktarılan yük de net olarak bilinmektedir. Mini ve mikro kazıklar ise çapları 8-30 cm olan kazıklardır. Küçük makinelerle imal edilebilmeleri sınırlı alanlarda da imalat olanağı sağlamakta olup takviye işlemlerinde çokça rastlanan bodrumdan yapılacak imalatlara uygundur. Ayrıca bu çaptaki kazıklar çok sayıda veya belirli bir düzenle imal edildiklerinde zemin ile birlikte bütün bir yapı olarak çalışarak kök kazıkları ve ağımsı kök kazıkları gibi isimler alırlar. Bu uygulama birçok tarihi yapının temel takviyesinde etkin çözümler sunmaktadır.

Bu yöntemlerin kullanıldığı Vakıf Gureba Hastanesi'nin, Küçüksu Kasrı'nın, Ortaköy Camii'nin, Konya Alaaddin Camii'nin, Fethi Ahmet Paşa Yalısı'nın, Fatih Camii Kütüphanesi'nin, Hoca Ahmet Yesevi Türbesi'nin temel takviyelerini örnek projeler olarak verebiliriz.

Vakıf Gureba Hastanesi, 1843'de Bezm-i Alem Sultan tarafından yaptırılmış ömrü boyunca çeşitli derecelerde hasarlar görmüş ve tamir edilmiş bir yapıdır. Yapı altında 2 m kiremit, horasan parçaları ve organik malzemelerden oluşan dolgu tabakası sonrasında kum bantları içeren yüksek plastisiteli aşırı konsolide yeşil kil bulunmaktadır. Yapının temelleri kesit genişlemesi olmadan dolgu tabakasına oturmaktadır. Bu sebeple st yapıda tehlikeli boyutta düşeyden sapma ve çatlamalar oluşmuştur. zm olarak hem temel hem taşıyıcı duvar olan bölgelerde duvarın iki tarafına L şeklinde kirişler imal etmek yoluyla yükleri daha geniş bir alana yayma yolu izlenmiştir. Kirişleri mevcut duvara belirli bir dağılımla ve epoksi ile yerleştirilen donatı çubukları ile bağlanmıştır.

Küçüksu Kasrı, Abdülmecit döneminde eski kasrın yerine yaptırılmıştır. Anadolu yakasında Anadolu Hisarı ile Küçüksu Deresi arasında yer alır. Mesire amaçlı mekanda günübirlik ziyaret ve dinlenme amaçlıdır. Yapı; vapurların çalkantı yaratması, ağır kamyon trafiği gibi nedenlerle yapı altında bulunan ahşap kazıklı ve ahşap ızgaralı sisteme rağmen batmaya başlamış ve birçok yerinde çatlaklar oluşmuştur. Yapı altında anakaya deniz tarafında 20-23 m, kara tarafından 13-15 m derindedir. Yapının altında ahşap ızgara ve kazıklar bulunmaktadır. Zemin profili olarak ilk 3-5 m cıvık kıvamda az çakıllı siltli kil, altında 10-11 m kalınlığında gevşek az killi iri orta kabuk görülmekte taban batıya doğru 13^o-15^o eğimlidir. zm olarak yapının önündeki rıhtımın uzatılması, bloklı malzeme ile deniz tarafına dolgu yapılması, rıhtım duvarı altına ve yapı altına jet grout ile kolonlar oluşturularak bu kolonların temele yanak kirişleri ile bağlanması şeklinde uygulama yapılmış ve başarılı olmuştur.

Ortaköy Camii, Avrupa yakasında Ortaköy deresi yanında 1854 yılında Abdülmecit tarafından yerinde bulunan caminin yerine yaptırılmıştır. Yapı İstanbul'daki tarihi yapılarda sıkça rastlanan 35 cm çapında ahşap kazıklar üzerine kurulmuş ahşap ızgaralar üzerine inşa edilmiştir. Zemin profili olarak 5.5 m kalınlığında gevşek tuğla kırıkları, horasan atıkları ve ağaç parçaları içeren suni dolgu, altında 20 m'ye kadar Ortaköy Deresinin yığıldığı genç alüvyal çakıl kum tabakası yer almakta, bunların altında da ana kaya olarak grovak-killi şist bulunmaktadır. Deniz altında doğal şev 26° - 30° arasındadır. 1962 yılında rıhtımda oluşan çöküntüleri önleme amaçlı dolgu malzemesi atılmıştır. Yapı için çözüm 45 cm çapında fore kazıkların yanak kirişleri ve putreller ile yapı temellerine bağlanarak yüklerini ana kayaya aktarmak şeklinde uygulanmıştır.

Konya Alaaddin Camii, höyük olduğu bilinen Alaaddin tepesi üzerine 12. yy'dan başlamak üzere inşa edilmiş zaman içerisinde eklentilerle büyütülmüştür. 1964 yılında görülen dış duvardaki çatlamalar üzerine su sızdırdığı tespit edilen foseptik kapatılmıştır. Yapının altında 17-30 m arasında değişen kalınlıkta kiremit parçalı, mermer parçalı, organik madde ihtiva eden dolgu ve dolgunun altında 300-400 m kalınlığında alüvyon tabaka bulunmaktadır. Özellikle yüzeye yakın olan dolgu sızıntı suların etkisiyle oyulabilmekte ve oluşan boşluklar yapıda oturmalarla sebep olabilmektedir. Çözüm olarak zemin iyileştirmesi olarak enjeksiyon, ayrıca yapı yüklerini derine aktarmak için mini kazık uygulaması yapılacak ve bu mini kazıklar bağlantı kirişleri ile duvarlara bağlanmıştır. Bağ kirişleri de kendi aralarında bağlantı donatıları ile bağlanmışlardır. Bu çalışmalara ilave olarak drenaj çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca yapıda oluşan hasarları takip etmek, uygulamaların etkilerini görmek için ölçüm sistemleri kurulmuştur.

Fethi Ahmet Paşa Yalısı, İstanbul Üsküdar'da bulunan yapı 1995'de yapılan incelemeler sonucu binanın takviye edilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır. Zemin profili olarak 2.5-5.25 m arasında dolgu tabakası ve altında kilaşı olarak belirlenmiştir. Üst yapıda görülen sehim ve dönmeler sonucu temel takviyesi gerekli olmuştur. Yapı duvarlarına açılan karot deliklerinden imal edilen 80 cm çapında jet grout kolonlarıyla yapılan temel takviyesiyle çözüm bulunmuştur.

Fatih Camii Kütüphanesi, Fatih Külliyesinin içinde caminin kible cephesinde bulunmaktadır. Oluşan oturmalar sonucu çatlaklar oluşmuş ve yapı çelik levhalarla askıya alınmıştır. Zemin profili olarak, 1.5-2.0 m kalınlığında siltli, kumlu, kiremit parçalı, çakıllı, karbonatlı horasan artıklı heterojen dolgu altında 2.0-3.5 m kalınlığında Bakırköy formasyonu, altında Güngören formasyonu bulunmaktadır. Karbonatlı tabakada oluşan yıkanma sonucu boşluklar oluşmaktadır. Bunun önlenmesi

için önce drenaj önlemleri alınmıştır ancak asıl çözümün enjeksiyon ve mini kazıkları birlikte kullanılması olarak ön görülmüştür. Sonuç olarak enjeksiyon uygulaması zemin parametrelerini yeterince geliştirmiş ve mini kazık imalatları yapılmamıştır.

Hoca Ahmet Yesevi Türbesi, Kazakistan'ın Türkmenistan kentinde 14. yüzyılın başında inşa edilmiştir. Yüksekliği 30 m'yi geçen tuğla bir yapıdır. Yapının altında kum ve silt olarak nitelendirilen kalınlığı 5-7 m olan lös tabakası bulunmaktadır. Su ile teması sonucu büyük oturmalar yapabilen lös zemin ile ilgili çözüm aşağıdaki sağlam zemine bir miktar girecek şekilde jet grout kolonlarının yapılmasıdır. Yapı içinden ve dışından yapılan jet grout kolonları, yapı duvarından geçirilen putreller ile birleştirilmiş yanak kirişlerine bağlanmaktadır. Yapı altında daha önce yapılan takviye çalışmaları durumu karmaşık hale getirmiş ancak jet grouting yönteminin uygulama esnekliği sayesinde imalat başarıyla tamamlanmıştır.

Görüldüğü gibi, bahsedilen projelerde farklı sistemler birlikte veya tek olarak gereklilik, maliyet gibi analizlerden geçtikten sonra karar verilerek uygulanmaktadır. Aynı proje, çeşitli yöntemlerle koşulların izin verdiği ölçüde çözülebilir. Hangi yöntemin seçileceği konusunda mevcut firmaların makine parkları, firmaların tecrübeleri etkilidir. Görüldüğü gibi proje öncesi incelemeler yapılması ve sonrasında ölçüm ve takip sistemleri kurulması kaçınılmazdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Toğrol, E.**, 1994. “Temel Takviyesi Yöntemlerine Yeni Bir Bakış”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği V. Ulusal Kongresi*, ODTÜ, Ankara, Cilt III, s. 887- 917.
- [2] **Hutchison, J.F.**, 1993. Traditional methods of support, *Underpinning and Retention*, pp. 41-53, Blackie Academic & Professionals, an imprint of Chapman & Hall, Glasgow, UK,
- [3] **Witt, K.J. and Smolczyk, U.**, 2002. Geotechnical Engineering Handbook, 1st edition, Vol.2, Chap.2.3, Ernst und Sohn, Berlin.
- [4] **Haussmann, M.R.**, 1990. Engineering Principles of Ground Modification, McGraw-Hill, Singapore.
- [5] **Moseley, M.P.**, 1993. Ground Improvement, Chapman & Hall, Boca Raton.
- [6] **Bell, F. G.**, 1993. Engineering Treatment of Soils, E & FN Spon, London.
- [7] **Van Impe, W. F.**, 1989. Soil Improvement Techniques and their Evolution, A.A. Balkema, Rotterdam.
- [8] **Kutzner, C.**, 1996. Grouting of Rock and Soil, A.A. Balkema, Rotterdam
- [9] **Nonveiller, E.**, 1989. Grouting Theory and Practice, Elsevier, Amsterdam.
- [10] **Welsh, J. P. and Burke, G. K.**, 1991. Jet Grouting - *Uses for Soil Improvement, Proceedings of the Geotechnical Engineering Congress* 1991, Boulder-California, 10-12 June 1991, Vol. 1, pp. 335-345, ASCE, New York.
- [11] **Namlı, M.**, 2001. Tarihi Yapıların Temel Sistemleri ve Temel Takviyesi Yöntemleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] **Özocak, A.**, 1994. İnce Daneli Çimento ile Enjeksiyon Modelleri, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] **Baş, K.**, 2006. Temel Takviye Yöntemleri ve Uygulamadan Örnekler, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

- [14] **Ergun, U.**, 1994. Temel takviyesi ve eski eserlerin korunması, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği III. Ulusal Kongresi*, ODTÜ, Ankara, s.887-917.
- [15] <http://www.imo.org.tr/Yayinlar/tmh/tmh430/FTuncdemir.pdf>
- [16] **Toğrol, E.**, 1998. “Jet Grout Kolonların Yapımında Kalite Denetimi”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 7. Ulusal Kongresi*, İstanbul, 22-23 Ekim 1998, Cilt 2 s: 393-402, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [13]
- [17] **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 the Geoinstitute of the ASCE*, Geotechnical Special Publication No: 69.
- [18] **Welsh, J.P., Rubright, R.M. & Coomber, D.B.**, 1986. “Jet grouting for Support of Structures Session”, ASCE Spring Convention - Seattle.
- [19] **ASCE Committee on Replacement and Improvement of Soils**, 1986. “Soil Improvement A Ten Year Update”, *Proceedings of Symposium at ASCE Convention*, Atlantic City, New Jersey, April 28, Edited by J.P. Welsh.
- [20] **Stoel, A.V.D.**, 2001. Grouting for Pile Foundation Improvement, *PhD Thesis*, Deif University, Amsterdam, Netherlands.
- [21] **Juran, I., Ider, H.M. and Acar, Y.B.**, 1988. Soil Improvement Methods for Reinforcing Foundation Soils-*Jet Grouting and Compaction Grouting*, Vol. 7, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana.
- [22] <http://www.laynegeo.com>
- [23] http://www.tagteam.com/ttserverroot/Download/387214_G32JetGrouBrochurer ev.7-04.pdf
- [24] **Durgunoğlu, H.T.**, 2004. Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, İstanbul.
- [25] **U.S. Army Corps of Engineers**, 1990. Engineering and Design SETTLEMENT ANALYSIS, Engineers Manual EM 1110-1-19043 0, Washington.
- [26] **Novatechna Co**, 2001. history of jet grouting, <http://www.novatechna.com.br/4000htm>
- [27] **Gökmen, C.**, 1992. Compaction Grouting and Jet Grouting, CE 7335, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana.

- [28] **Kauschinger, J.L., Perry, E.B. and Hankour, R.**, 1992. Jetgrouting: State of the Practice, *Proceedings of the Conference of Grouting Soil Improvement and Geosynthetics*, New Orleans, Louisiana, 25-28 February 1992, Vol. 1, pp. 169-181, ASCE, New York.
- [29] **Welsh, J.P., Burke, G.K.**, 2000. Advances in Grouting Technology, *Int. Conference on Geotechnical & Geological Engineering (GeoEng2000)*, Melbourne, Australia, November 19-24.
- [30] **Bell, A.L., Burke, G.K.**, 1994. "The Compressive Strength of Ground Treated Using Triple System Jet Grouting", *Grouting in the Ground*, Thomas Telford, London, pp: 525-538.
- [31] **Petropages**, 2001. <http://www.petropages.com/keywords/k563htm>
- [32] **Okyay, S.**, 1987. Yüksek Basıncılı enjeksiyon, *Rapor*, BAUER Spezialtiefbau GmbH, İstanbul.
- [33] **Moseley, M.P.**, 1993, "Ground Improvement", Blackie A&P, Maryland, U.S.A.
- [34] **Coomber, D.B. & Bell, A.L.**, 1985. "Groundwater Control By Jet Grouting", *21st Regional Conference of the Geological Society on Groundwater in Engineering Geology*, University of Sheffield, September 15-19, pp: 485-498.
- [35] **Arslan, U., Katzenbach, R., Quick, H., Schmitt, A.**, 1998. "Tünelling in Cities and Urban Areas", *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 7. Ulusal Kongresi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 22-23 Ekim, Cilt 2 pp: 332-343.
- [36] **Micropiles Design and Construction Guidelines**, 2000. US Department of Transportation, FHWA, Report number FHWA-SA-97-070.
- [37] **Çamlıbel, A.N.**, 2000. Temellerin Takviyesi, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [38] http://www.structural.net/news/Media_coverage/media_concretemonthlymicropile.html
- [39] **Liew, S.S. & Fong, C.C.**, 2003. "Design & Construction of Micropiles", Geotechnical course lecture for Pile Foundation Design & Construction, Ipoh, 29-30 September 2003.
- [40] **Brandl, H.**, 2000. Ground Support-Reinforcement, Composite Structures, *Int. Conference on Geotechnical Engineering (GeoEng2000)*, Melbourne, Australia, November 19-24.
- [41] **Kumbasar, V., Kip, F.**, 1999. Zemin Mekaniği Problemleri, Çağlayan Kitapevi, İstanbul.
- [42] <http://www.property.nu.ac.za/contech2/underpinning/underpinning.doc>

- [43] Aksoy, İ.H. ve Tan, O., 1995. 70 Years of Soil Mechanichs, *Turkish National Comitte for ISSMFE*, İstanbul.
- [44] Toğrol, E., 1993. Milli Saraylar 1993, TBMM Basımevi, Ankara
- [45] Aksoy, İ.H., 1981. Ortaköy Camii Temel Takviyesi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi Bülteni*, c 3, sayı 1, s. 47-57.
- [46] Durgunoğlu, T.,vd., 1991. Vakıflar Genel Müdürlüğü Konya Alaaddin Camii Zemin İyileştirmesi Uygulama Raporu, Konya.
- [47] Toğrol, E.,vd., 1996. Fethi Ahmet Paşa Yalısının Temel Takviyesi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği VI. Ulusal Kongresi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Cilt II, s. 426-432.
- [48] Ülker, R., 2000. Fatih Camii Kütüphane Binası'nın Geoteknik Raporu, İstanbul
- [49] Fırat, A.T., 2001. Jet grouting yöntemi ile temel takviyesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EKLER

Tablo A.1: Zemin İyileştirme Yöntemleri Özet Tablosu [7] (Syf. 1/5)

YÖNTEM	ZEMİN	KULLANIM ALANLARI	FAYDALARI	SAKINCALARI
1. DONDURMA:				
1.1.AMONYAK / TUZLU SU İLE SOĞUTMA	%10 su muhtevasını aşan her türlü zeminde	-Boşluklardaki su akışının zor olduğu yerlerde buzun oluşumu sağlanır -Kuyular ve dar-derin kazılarda	-Zeminlerin geçici mekanik mukavemetlerini vermektedir -Dışarıdaki yüzey çalışmalarından daha etkili bir iyileştirme -Uzun vadeli büyük uygulamalarda daha etkindir	-İyileştirmenin gelişmesi zaman almakta -Başlangıçtaki kurulum fiyatı yüksektir ve soğutucu pahalıdır -Dikkatli şekilde arazi kontrolü gerekmektedir -Zeminde bazı problemler olabilir -Yağışlı havalarda uygun değildir
1.2.LİKİT NİTROJEN	%10 su muhtevasını aşan her türlü zeminde	-Boşluklardaki su akışının zor olduğu yerlerde buzun oluşumu sağlanır -Kuyular ve dar-derin kazılarda -Sık sık geçici çözüm olarak kullanılır	-Zeminlerin geçici mekanik mukavemetlerini vermektedir -Dışarıdaki yüzey çalışmalarından daha etkili bir iyileştirme -Dondurma işleminin hızlı yapılması gerektiği yerlerde yada kısa süreli küçük uygulamalarda daha etkindir -Su akışının 50 m/gün 'e kadar olduğu yerlerde kullanılabilir	-Likit nitrojen pahalıdır -Arazi kontrolü gerekmektedir -Zeminde bazı problemler olabilir
2.DRENAJ:				
2.1.FİLTRE DRENLER	Kumlu siltler, siltler, killer ile buzulların etkisi ile oluşmuş kum ve çakıl yığınları	Arazi drenajı, şev ve dolgu topuklarının drenajı	Nispeten fiyatı düşüktür	Doku yırtılmasından sakınılmalı aksi halde filtre tıkanabilir
2.2.DRENAJ GALERİLERİ	Herhangi bir su taşıyıcı tabaka altında, düşük permeabilite tabaka yakınında galeri açmak uygundur	-Baraj ayakları ve sızdırmazlık perdeleri gibi yerlerde, büyük miktarlarda suyu tahliye etmek amacı ile -Şevlerin stabilitesinde	Suyun çok büyük bir miktarı, klasik büyük ölçekli pompalar vasıtasıyla tahliye edilebilir veya galeriden drene edilebilir	-Çok pahalıdır -Galerilerin betonndan veya nihai enjeksiyondan olmaları gerekir
2.3. KUM VE BANT DRENLER	Yumuşak kil,silt ve organik zeminlerde	Zeminlerin konsolidasyonu 20 m. derinliğe kadar çok geniş alanlarda daha hızlı	-Yapılması kolaydır, sonuç üniformdur -Fiyatı düşüktür	Nispeten yavaştır
2.4.KİREÇ KOLONLAR	Silt,organik zemin,siltli kil, kil	Yaklaşık 10 m. derinliğe kadar, çok geniş alanlarda zeminde donatı ve konsolidasyon, drenaj amacı ile	Yapılması kolay, sonuca ulaşmak hızlıdır	-Üniform değildir -Fiyatı yüksektir

Tablo A.1: (Syf. 2/5)

3. YER ALTI SU SEVİYESİNİN DÜŞÜRÜLMESİ İL R SUYUN TAHLİYESİ:				
3.1.ÇAMUR POMPALARI (SUMP PUMPING)	Temiz çakıl ve kaba kumlarda	Açık, sık kazılarda	Basit pompa ekipmanı	-İnce daneler kolaylıkla taşınabilir ve formasyonda stabilite problemleri yaratabilir
3.2.EMME POMPALI NOKTA KUYU YÖNTEMİ	Kumlu çakıldan ince kuma kadar (siltli kum dahi olabilir)	-Açık kazılarda (inişli-çıkışlı boru hendek kazılarını kapsamakta) -Şehir dışında özellikle yatay sistem ile ilgili boru hendek kazılarında	-Uygun zeminler içine yerleştirmek hızlı ve kolaydır -Haftada birkaç kez kısa süreli pompalama için ekonomiktir	-Çok iri çakıl ve iri taş içeren zemine yada çakıllı zemine yerleştirilmesi zordur -Pompanın gürültüsü ve sürekli pompalama sonucu binaların bulunduğu bir alanda problem olabilir -Emme basma sınırı yaklaşık 4.00 ile 5.50 m.'dir ve zemine bağlıdır; eğer fazla düşüşler gerekli ise çok katlı yerleştirme gereklidir
3.3.EMME POMPALI SIĞ KUYU YÖNTEMİ	Kumlu çakıldan siltli ince kuma kadar	-Nokta kuyu yöntemine benzemekte -Birkaç ay içinde veya siltli zeminlerde (filtrasyonun doğru yapılması önemlidir) pompanın yerleştirilmesi daha uygundur	-Genellikle nokta kuyu yöntemine göre fiyatı düşüktür, eğer; pompalama birkaç ay sürecek ise karşılaştırmak gerekir -Doğru filtrasyon ile, siltli zeminlerden daha incelerin yok olmasını önlemek amacıyla, nokta kuyu yönteminden daha iyi kontrol edilebilir	-Başlangıçtaki kurulma fiyatı yüksektir -Pompanın gürültüsü ve sürekli pompalama sonucu binaların bulunduğu bir alanda problem olabilir -Emme basma sınırı yaklaşık 4.00 ile 5.50 m.'dir ve zemine bağlıdır; eğer fazla düşüşler gerekli ise çok katlı yerleştirme gereklidir
3.4.DALGIÇ POMPALI-DERİN FİLTRELİ KUYU YÖNTEMİ	Çakıldan, siltli ince kuma kadar	Su taşıyan formasyonların üstünde veya arasında, derin kazıların içinde	-Emme pompalarda geçerli olan alt çizgi miktarındaki sınırlama burada yoktur -Vakum, ince zeminlerin drenajına yardım için uygulanabilir -Kuyular çalışma alanının açığa çıkarılır -Eğer elektrik destekli ise ses problemi yoktur	-Başlangıçtaki kurulma fiyatı yüksektir
3.5."JET EDUCTOR" SİSTEMİNİ KULLANARAK SUYUN YÜKSELTİLMESİ İLE KUYUYA KADAR VAKUM YARATARAK YÜKSEK BASINÇLI SU ELDE EDİLMESİ	Kumlu zeminlerde (Özellikle siltli kum ve kumlu siltlerde bile kullanılabılır)	-Boşluk içindeki derin kazılarda çok katlı nokta kuyu yöntemi kullanılamaz -Genellikle permeabilitesi düşük zeminlerde daha uygundur	-Alt çizgi miktarındaki sınırlama yoktur -Delikleri eğik olabilir	-Başlangıçtaki kurulma fiyatı yüksektir -Eğer yüksek basıncı altında su patlarsa kazıda kabarma tehlikesi oluşur
3.6.VAKUMLA SUYUNU ALMA	Siltli ve siltli killerde	Vakum pompası yitzyedir	Sonuç hızlı ve üniformdur	Sogutma ile etkin değildir
4. ELEKTROOSMOZ VE ELEKTROKİMYASAL STABİLİZASYON:				
4.1.ELEKTRO OSMOZ	Siltlerde, siltli killerde ve bazı organik zeminlerde	-Doğru akım sonucu anottan katoda doğru su akışı olmaktadır -Uygun zemin içindeki açık kazılarda yada boşluk suyu basıncı sonumünü hızlandırmak için	-Uygun zeminlerde suyu düşürme yöntemlerinden hiçbir zaman kullanılmadığı uygulanabilir	-Yerleştirilmesinin ve çalışmasının fiyatı genellikle yüksektir -Tuzlu zeminlerde faydasız -Zamanla birlikte daha az efektif olmaya başlar -İyileştirme sonucu rehidratasyon oluşur

Tablo A.1: (Syf. 3/5)

4.2.ELEKTRO KİMYASAL STABİLİZASYON	Normal konsolide siltler, siltli killler, killler, akıcı killler ve lölser	-Yaklaşık 15 m. derinlikte -İyileştirici kimyasallar, elektroosmoz vasıtasıyla zemine nakledilir	-Oldukça hızlı -Yumuşak killerde oturma olmaksızın (ör:sıkışabilir- ligin artması) kayma mukavemetini iyileştirir	-Yapılması pahalıdır -Tuzlu zeminlerde faydalı değildir
5. KOMPAKSİYON TEKNİKLERİ:				
5.1.ÖN YÜKLEME	Yumuşak kil, siltli organik zemin, turba ve löl	-Sıkışabilen zemin,dolgu ve filtre malzemesi gerekli -Yapı yapılmadan önce yeterli yük uygulayarak yumuşak zeminin sıkışması tamamlanır.Drenler ile birlikte de kullanılabilir	-Kolaydır ve düşük fiyatta üniform sonuç elde edilir -Su muhtevası azaldıkça mukavemet artar -Geniş bir alan önemli derinliklere kadar iyileştirilebilir	-Çok yavaştır
5.2.SÜRSARJ (İLAVE) DOLGU	Normal konsolide yumuşak kil, silt,organik birikimler,turba ve löl	-Drenaj şilte için çakıl veya zemin hareketi için kum yüklemesi -Daha kısa zamanda sürekli oturma miktarını elde etmek için aşırı dolgu gerekmektedir. Daha sonra aşırı dolgu kaldırılır -Konsolidasyon süresini kısaltmak için düşey drenler kullanılabilir	-Su muhtevası, boşluk oranı ve sıkışabilirliği azaltmak; mukavemeti artırmak -Ön yüklemesiz sürşarj daha hızlıdır -Fiyatı uygundur	
5.3.ÖNCEDEN İSLATMA (PREWETTING)	Şişen ve göçen zeminler de (ör:löl)	Farklı oturmalari azaltmak	-Fiyatı oldukça düşüktür -4.00 m' den daha derin alanlarda iyileştirmeler yapılabilir	-Yavaş ve kontrol edilememesi
5.4.HİDROKOMPAKSİYON	Göçebilen zeminler de (ör:kuru iklimlerdeki siltlerde ve lölserde)	-Göçebilen zeminlerdeki oturmalari önlemek	-Hızlı ve fiyatı düşük	-Sadece kuru silt ve lölü dağıtmak (gevşetmek) için kullanılır
BROKOM PAKSİYON	Çakıl ve kum	- Vinç den 20 m. derinliğe kadar asılı vibroflot ile zeminin sıkıştırılması	Uygun fiyatla üniform zemin şartlarının elde edilmesi	Nispeten işlem yavaştır
5.5.1.VİBROFLOTASYON				
5.5.2.VİBRO-YERDEĞİŞTİRME (VİBRO-REPLACEMENT)	Yaklaşık 20 kN/m ² nin üzerinde mukavemet veren silt ve kil	- Taş kolonların (kazık davranışına benzer bir hareketle) dahil edilmesiyle yerin sıklığında ve mukavemetinde	-Oturmanın azaltılması ve taşıma gücünde önemli iyileştirme -Drenaj, kolonlar vasıtasıyla kolaylaştırılabilir	-Kolonlar etrafındaki zemin oturabilir
5.5.3.TERRA-PROBE	Suya doygun yada kuru, temiz kum	-Titreşimli kazık çıkıcı (şahmerdan) ve 750 mm. Çapında çelik muhafaza ile 20 m. derinliğe kadar iyileştirme (3-4 m.'den daha derin ise etkisiz) -Vibrasyonla sıkıştırma: örtü tabaka altındaki oturmanın nedeni sıvılaşmadır.	-%80 in üzerinde relatif sıklık elde edilebilir. Bazı kumlu zeminlerde etkisizdir -Hızlı,basit, su altında uygulanabilir ve fiyatı uygundur	-Vibrasyonla alttaki yumuşak tabakalar kalkabilir, tabakaların üstünden penetrasyon yapmak güçtür, kısmen suya doygun zeminlerde başarılı değildir

Tablo A.1: (Syf. 4/5)

5.6.DİNAMİK KOMPAKSİYON	Hemen hemen bütün zeminler de	200 ton'a kadar, vince bağlı ağır bir tokmağın zemine serbest düşürülmesi (bir çok kez geçiş yapılır)	-30 m. derinliğe kadar, geniş alanlar iyileştirilebilir. Taşıma kapasitesi oldukça artırılabilir	-Kohezyonlu zeminlerde; geçişler arasında boşluk suyu basıncının dağılması için beklenmeli
5.7.KOMPAKSİYON KAZIKLARI	Gevşek kumlu zeminler, kısmen suya doygun kumlu zeminler, lös,turba	-Çakma sırasında titreşim ve kazığın yer değiştirmesi ile sıkılaştırma -20 m.'ye kadar olan derinlikler iyileştirilebilir	-Kazıklar arasında iyi bir eşdeğerlilik ve yüksek sıkılık elde edilebilir -Sonuçları kontrol etmek kolaydır, kompaksiyon üniformdur, çok ince daneli zeminlerde faydalıdır	1 ile 2 m. arasındaki iyileştirmeler yavaştır -Fiyatı yüksek olmasına rağmen uygundur
5.8.ELEKTRİK ŞOKU	Islak kumlarda ve siltlerde	-Yüksek voltajlı jeneratör ve sıvılaştırıcı gerektirmektedir -10 m.'ye kadar derinlikler iyileştirilebilir	-Basittir -Fiyatı düşüktür	1 m. derinliğin üzerinde yararlı değildir
5.9.PATLATMA	Kısmen suya doygun ve suya doygun kumlar, siltli lös	Patlayıcıları yerleştirmek için sondaj makinesi gereklidir (30 m. derinliğine kadar geniş alanları iyileştirmek için)	-Hızlı ve ucuzdur -%70-80 arasında relatif sıkılık değerine ulaşılabilir	-Kısmen suya doygun zeminlerde özellikler değişebilir. Yüzeye yakın yerlerde iyileştirme yapılamaz
5.10.MEKANİK KOMPAKSİYON	Çakıl, kum, silt ve kil	Zemin cinsine bağlı olarak kullanılan farklı özelliklerde silindirler	-Hızlı, basit ve ince tabakaların maliyeti düşüktür	-
6.DONATI:				
6.1.DONATILI ZEMİN	Kum, silt, çakıl	-İstinat duvarı, dolgu gibi yerlerde zeminin mukavemetini artırmak için: geotekstiller, ağlar ve metal şeritler kullanılır	-Dayanıklıdır ve yerleştirilmesi basittir -Fiyatı oldukça uygundur	-
6.2.ZEMİN ÇİMLEME VE KÖK KAZIKLARI	Hemen hemen bütün zeminler de	-Temellerin ve şevlerin stabilizasyonunda -Kök kazıkları, temel takviyesi amacı ile de kullanılır	-Uygun fiyatla zeminin mukavemeti artırılır	-
7.ENJEKSİYON:				
7.1.ÇİMENTO, KİL VE ÇİMENTO-KİL ENJEKSİYONU	Kum ve çakıl	-Su haricindeki boşlukları doldurmak -Düşey veya yatay geçirimsizlik perdesi oluşturmak -"Uzun süre bükülebilme" şartına uygun olması istenir. Ör: Baraj çekirdeğinde -Büyük derinliklerin iyileştirilmesine gidilebilir	-Ekipmanı basittir ve sınırlı boşluklarda kullanılabilir -Uzun süreli bir iyileştirmedir -Enjeksiyon borusunun anlamı, enjeksiyonun yayılma sınırdır -Ağır ve düzensiz tabakaların içine yerleştirilebilir -Fiyatı en düşük olan enjeksiyon yöntemidir	-Nispeten kalıcı bir bariyer ile sürekliliği sağlamak gereklidir -En az 4.00 m.(yada eşdeğeri) doğal örtü gereklidir
7.2.SİLİKAT ENJEKSİYONU	Orta-kaba kum, çakıl, lös	-Su haricindeki boşlukları doldurmak -Düşey veya yatay geçirimsizlik perdesi oluşturmak -Büyük derinliklerin iyileştirilmesine gidilebilir	-Nispeten mekanik mukavemeti yüksektir -Enjeksiyon dağılımının kontrol derecesi yüksektir -Ömrü süresizdir -Su seviyesi altındaki temel takviyesi işlerinde kolaylaştırıcıdır	-Nispeten kimyasalların fiyatı yüksektir -En az 2.00 m. (yada eşdeğeri) doğal örtü gereklidir -Kil yada silt merceğinin olduğu veya siltli malzeme içindeki iyileştirme, tamamlanamayabilir

Tablo A.1: (Syf. 5/5)

7.3.REÇİNE ENJEKSİYONU	Siltli ince kum	-Su haricindeki boşlukları doldurmak -Düşey veya yatay geçirimsizlik perdesi oluşturmak -"Biraz bükülebilirlik" gösterir -Büyük derinliklerin iyileştirilmesine gidilebilir	-Çok ince tabakaların iyileştirilmesinde, kil ve çimento enjeksiyonu ile beraber kullanılabilir	-Genellikle fiyatı yüksektir -Sadece çok büyük İnşaat Mühendisliği işlerinde ekonomiktir -Mutlaka arazi kontrolü gerekir
7.4.KOMPAKSİYON ENJEKSİYONU	Yumuşak, ince daneli zeminler, büyük boşluklu temel zemini, lös	-Viskozitesi yüksek olan enjeksiyon, yüksek basınç altında pompalandığı zaman, radyal (ışmsal) hidrolik kırko gibi davranır -İyileştirme derinliği genellikle birkaç m.'dir	-Zemin yapısı içeride sıkıştığından enjeksiyon yumrusu şeklini alır -Büyük boşlukların doldurulmasında, farklı oturmalarm düzeltilmesinde iyi sonuçlar verir	-Dikkatli kontrol gerektirir -Nispeten fiyatı yüksektir
7.5.JET GROUTING	Hemen hemen bütün zeminlerde	Derin kazılarda yüksek hızlı jet ile, kolon veya panel şeklinde, zemini enjeksiyonla yada karışımla stabilize etmek	-Kolon ve duvarlar kalınlaştırılır -Permeation(Nüfuz etme) enjeksiyonun yapılmadığı zeminlerde yararlı	-İyileştirilecek bölgenin doğru olarak belirlenmesi gereklidir
8. ZEMİN STABİLİZASYONU:				
8.1.ÇİMENTO VE KİREÇLE STABİLİZASYON, DİĞER KATKI MADDELERİ(Bittüm, diğer kimyasallar v.s.)	Hemen hemen bütün zeminlerde	-Zemin ve katkı malzemelerinin her ikisi de, ya arazi üzerinde yada bir yerde karıştırılarak tabakalar halinde sıkıştırılır -Genellikle geniş alanlar ve sığ derinlikler iyileştirilir -Yol ve havaalanı yapımında, kanal kaplamasında -Çimento şilte	-Üniform zemin şartlarında, Mühendislik performansını artırır -Fiyatı uygun, hızlı ve basit bir yöntemdir	Katkı malzemeleri tüm zemini eşit olarak etkilemez
8.2.YERİNDE KARIŞTIRMA KAZIKLAR,V.S.	Silt ve kil(yumuşak ve şişen cinsleri de kapsayan), lös	-Kirecin çatlaklar içine girmesi ile ağ oluşturulur -10 ile 20 m. derinliğe kadar geniş alanlarda iyileştirme yapılabilir	-Zeminin mukavemeti artar, etkisi hızlıdır ve fiyatı uygundur	
8.3.ISITMA	Suya doygun olmayan silt, kil ve lös	-Pişirme ile nispeten sığ derinlikte küçük alanlar iyileştirilir -Temellerin ve şevlerin stabilizasyonunda	-Hızlı ve uzun süreli mukavemet elde edilir	-Suya doygun zeminlerde yararlı değildir -Fiyatının yüksek olmasına rağmen uygundur

Tablo A.2: Jet goruting yöntemleri ve özgül parametreler

Yöntemin Orijinal Adı	Operasyon Prensipleri	Jet Basıncı (Mpa)	Püskürtme Ağız Çapı (mm)	Monitör Dönme Hızı (rpm)	Kolon Çapı	Notlar
Jet Grout (JG)	Üstte su jeti Altta enjeksiyon jeti	20	1	-	-	*Sadece panel *0.8-1.5 m ile enjeksiyon deliği önce açılır
Kimyasal Karıştırma Kazığı (CCP)	Yalnız enjeksiyon jeti	20~40	1.2~3.0	20	0.3~0.6	*Genelde çimento kullanılır *Tek akışkan sistem gibi
Jumbo Özel Grout (JSG)	Basıncılı hava konisi içinde enjeksiyon jeti	20	3.0~3.2	6~10	0.6~2.0	*Çift akışkan sistem gibi
Kolon Jet Grout (CJG)	Üstte basınçlı hava konisi içinde su, altta enjeksiyon jeti	40~50	Üst 1.8~3.0 Alt 3.0~5.0	5~15	0.8~3.0	*Üç akışkan sistem gibi
Mini Max (MM)	CCP gibi ancak kimyasal çimento kullanılıyor	20	1.2	20	0.8~1.6	*Yeraltı suyu altında yumuşak zeminler için (killi turba)
Jumbo Mini Max (JMM)	MM gibi 20-40 cm.'lik kanat var	20	1.2	20	0.2	*Yeraltı suyu altında yumuşak zeminler için
Süper Zemin Stabilizasyonu (SSS)	Hava-su jeti ile aşındırma yapıp ultrasonik gözlem yapıyor	20~60	2.0~2.8	3~7	2.0~4.0	*Kolon karış ve geometrid tam kontrol *Maliyet yüksek

Tablo A.3: Basınçlar, zemin tipi ve bunlara bağlı oluşan kolon çapları

İşlem	Basınç (MPa)			Kolon Çapı (m.)				
	Enjeks.	Hava	Su	Orta Katı kil	Orta Sıkı kum	Killi silt	Siltli kum	Kumlu çakıl
Tek Akışkanlı Sistem	25~40				-	0.4~0.5	0.8~0.9	0.9~1.0
	40~60				0.85			
Çift Akışkanlı Sistem	25~40	0.5~0.6				0.6~0.8	1.1~1.3	1.3~1.5
	40~60	0.5~0.6			1.7			
Üç Akışkanlı Sistem	1.5~4.0	0.5~0.6	30~40			0.8~1.0	1.4~1.6	2.0~2.4
	1.5~4.0	0.5~0.6	40~60	1.4		1.5~1.7	2.0~2.3	2.5~2.8

Tablo A.4: Çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri için maliyet analizi [5]

Yöntem yada malzeme		Maliyet / metre	Maliyet / m ² Zemin yüzeyi	Maliyet / m ³ İyileştirilen hacim
Beetonarme				100-250
Kimyasal enjeksiyon			200-400	150-250
Klasik Enjeksiyon	Malzeme			250-650
	Zemin			3-30
Zemin ankrajları		50-100		
Dinamik konsolidasyon			7.50-30	1.5-3.0
Diyafram duvar			400-750	500-750
Geçirimsizlik perdesi			80-120	125-250
Jetle imal edilen perde			30-50	125-250
Taş kolon		40-75	100-150	13-20
Jet grout				~250

Tablo A.5: Jet grouting parametrelerine bağı olarak iyileştirilmiş hacim

Zemin Tipi	Su/Enj. Basıncı	Püskürtme Ağız Çapı (mm.)	Jet Grout Yöntemi Tek A.(I) Çift A.(II) Üç A.(III)	Geri Çekme Hızı (cm/dak)	Dönme Hızı (dev/dak)	İyileşt. Hacim (m ³ /m)	Kolon Çapı (m)
Yumuşak Kaya	25~30					0.17~0.21	0.47~0.50
Sıkı	30	2.4~2.6	(II)				
Çakıl	30		(I)	10~16		0.79~1.24	1.00~1.40
Sıkı Kum	30~40			3~11		0.15~0.18	0.42~0.48
Ve Çakıl	34~41			20		0.25~1.81	0.57~1.52
Çakıl	41	2.4		15	10		
	41	2.4~2.6	(II)	13		1.77	1.50
Siltli Kum Çakıl Kr.	30~43	2.4	(III)	10~20	2.5	1.13	1.20
Orta Sıkı Kum-Ç.	33~40		(III)	8	6	0.79	1.00
	34~41			13~23		0.17~0.24	0.46~0.55
Orta	20~40			9~10		0.13~1.54	0.41~1.40
Sıkı	36			11		0.19	0.45
Kum	30			21		0.28	0.60
	31~41			30~110		0.35~0.40	0.68~0.72
	3~4			30~50		0.20~1.00	0.51~1.13
İnce	20	3.0	(I)	8	10		
Orta	30	2.2	(I)	34	10	0.44~0.30	0.75~0.80
Kum	30	2.2	(I)	17	10	0.57~0.64	0.85~0.94
	40	2.4	(III)	16~17	10	1.13	1.20
Gevşek	30~40			23~26		0.22~0.25	0.53~0.56
Kum	20			30	22.5	0.45	0.75
Siltli	30		(I)	34	10	0.33~0.36	0.65~0.70
Kil	30		(I)	17	10	0.44~0.50	0.75~0.80
Kil	30~40			31~36		0.24~0.27	0.55~0.59
ve	30~40			9~10		0.15~1.24	0.41~1.40
Silt	30			27		0.20	0.60
Kil ve	30~40			30~110		0.04~0.30	0.22~0.63
Silt	5~6			30~50		0.08~0.12	0.31~0.41
Kil	20	2.2	(III)	34	10	0.24~0.26	0.55~0.60
	30	2.2	(III)	17	10	0.33~0.38	0.65~0.70
Siltli Kil	20		(III)	12		1.54	1.40
Turba	20		(III)			3.14	2.00
Gevşek K.Ç.	20~30	2.4~3.0		8	8~12		

Tablo A.6: Zemin tipi ve geri çekme hızının iyileştirme üzerindeki etkisi

Zemin Tipi	Monitör Geri Çekme Hızı (cm/dak)	Delgi Aralığı (m.)	İyileştirme (m ² /gün)
Kum ve Çakıl	50~120	1.0~1.7	15~45
Kum	100~200	1.5~2.0	35~40
Silt	70~120	1.3~1.8	50~70
Kil	50~80	1.0~1.5	50~70

Tablo A.7: Jet grout ana ekipmanları ile ilgili bilgiler [22]

<u>Kılavuz delgi ekipmanı</u>	*Sondaj ekipmanı ve auger *Zemin koşullarına ve cinsine göre çekilir *Delik çapı $\Rightarrow 10\sim 13$ cm.
<u>Yüksek basınçlı pompa</u>	*Dalgıç pompa *İşletme basıncı $\Rightarrow 200\sim 700$ kg/cm² (20~70 Mpa) *Kapasite > 1 m³/dak
<u>Kompresör</u>	*İşletme basıncı > 8 kg/cm² (0.8 Mpa) *Kapasite > 1 m³/dak
<u>Enjeksiyon pompası</u>	*Basınç < 10 kg / cm² *Kapasite $\Rightarrow 100\sim 150$ lt/dak
<u>Monitör</u>	*Üçlü iletim borusu (su, hava ve enj. Karışımı için) *Su jeti için püskürtme ağzı çapı $\Rightarrow 1.6\sim 2.2$ mm. *Hava jeti için püskürtme ağzı çapı $\Rightarrow 1\sim 2$ mm. (halka)
<u>Monitör için geri çekme ekipmanı</u>	*Sondaj makinası *Mobil vinç (araca monte) *Geri çekme hızı $\Rightarrow 5\sim 200$ cm/dak
<u>Diğer</u>	*Mikser *Kum pompası *Hava hortumu *Yüksek basınçlı yük asansörü *Kılıf hortumu *Su tankı

Tablo A.8: Jet grout kolon tasarımında granüler zeminlerde kullanılan limit değerler

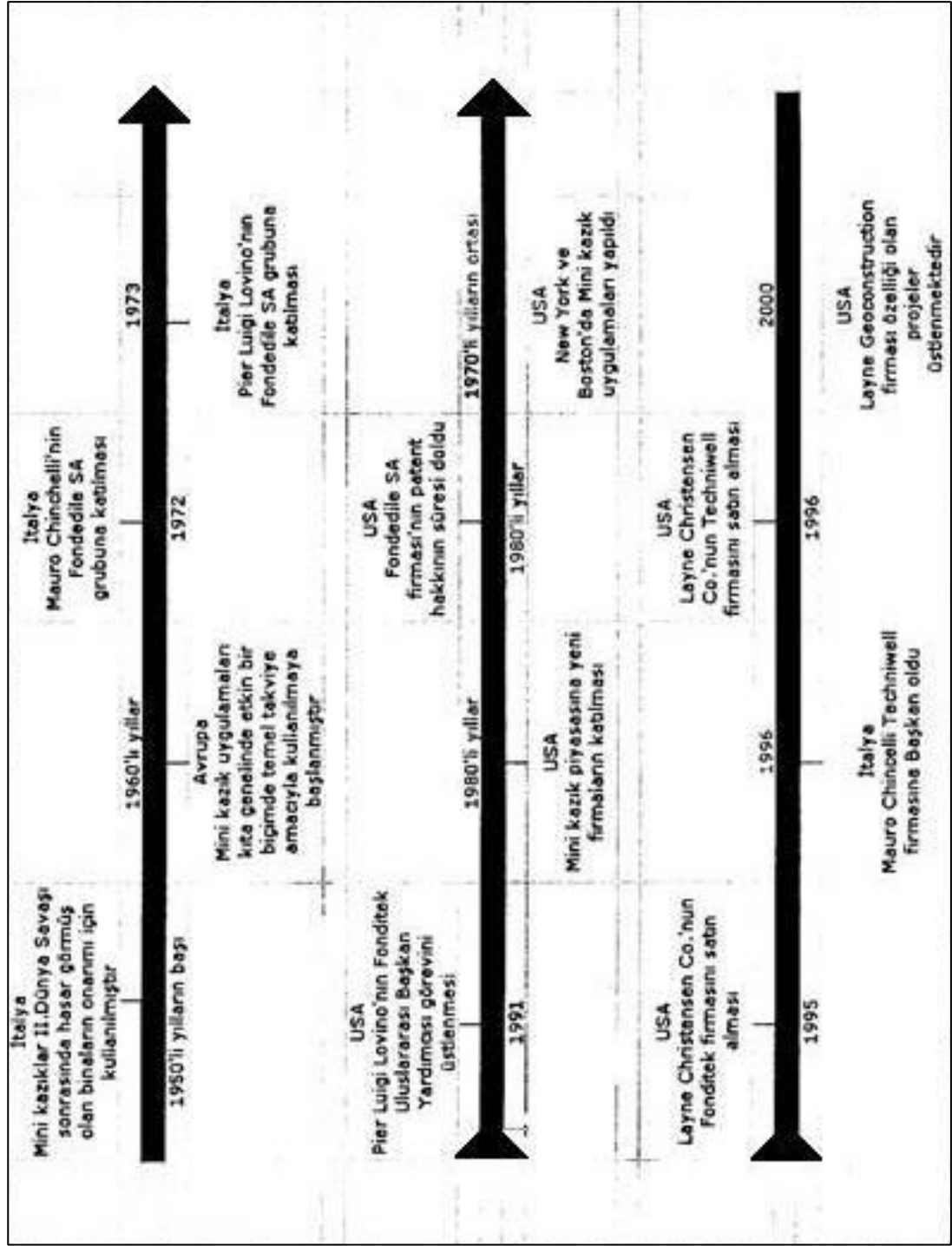
Yapılış Tipi	Çeper sürtünmesi için azaltma faktörleri α	Birim çeper sürtünmesi limit değeri τ (kPa)	Uç mukavemeti azaltma faktörleri ξ	Birim uç mukavemeti limit değeri σ (MPa)
Fore kazık	0.6 0.50~0.65	100~200	0.33~0.50	4.5
Çakma kazık (açık uç)	2/3 0.65~0.95	120	0.7~0.8	12
Çakma kazık (kapalı uç)	0.75 1.0~1.5	120~180	1.0	15
Jet grouting	1.0 1.0~2.0	>180	1.0	Kolon direnci

Tablo A.9: Jet grout kolon tasarımında kohezyonlu zeminlerde kullanılan limit değerler

Yapılış Tipi	Çeper sürtünmesi için azaltma faktörleri α	Birim çeper sürtünmesi limit değeri τ (kPa)	Uç mukavemeti azaltma faktörleri ξ	Birim uç mukavemeti limit değeri σ (MPa)
Fore kazık	0.6 0.9	275	0.66	4.00
Çakma kazık (açık uç)(e:dış, i:iç)	0.95e 0.40e 0.80i 0.35i	200	0.70	1.50
Çakma kazık (kapalı uç)	0.75 0.45	200	0.80	5.0
Jet grouting	1.0 0.45	280	1.00	Kolon direnci

Tablo A.10: Çeşitli uygulamalarda elde edilen zemin taşıma gücü ortalama değerleri

Organik Zeminler	3 kg/cm ²
Kil	18~30kg/cm ²
Silt	30~45kg/cm ²
Kum	60~90kg/cm ²
Çakıl	100kg/cm ²



Şekil A.11: Mini kazıkların tarihçesi

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Serkan SARI, 1982 yılında Fethiye’de doğdu. İlk okul 2. sınıftan itibaren Muğla’da öğrenimine devam etti. Ortaokul ve liseyi Muğla Anadolu Lisesi’nde tamamladıktan sonra 2000 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. Hazırlık sınıfı ile birlikte 2005 yılında İnşaat Müh. olarak mezun oldu. Aynı sene İ.T.Ü. Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği programında yüksek lisans eğitimi ile birlikte, Teknofor İnşaat Taah. Ltd. Şti. firmasında Ürün Müdürü/İnşaat Müh. olarak çalışma hayatına başladı. Halen aynı firmada çeşitli alanlarda çalışmaları sürmektedir.