

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TARİHİ YAPILARIN TEMEL SİSTEMLERİ VE TEMEL
TAKVİYESİ YÖNTEMLERİ**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Mücahit NAMLI
(501980160011)**

101447

101447

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Haziran 2001
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Haziran 2001**

Tez Danışmanı : Doç.Dr. İsmail Hakkı AKSOY

Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Oğuz TAN

Prof.Dr. Erol GÜLER (B.Ü.)

i. Aksoy
Oğuz Tan
Erol Güler

HAZİRAN 2001

ÖNSÖZ

Bugünlere gelmemde üzerimde çok büyük emeği geçen sevgili anne ve babama, tez çalışmam sırasında yardımlarını esirgemeyen muhterem hocam Sayın Doç. Dr. İsmail Hakkı AKSOY' a ve İnş. Müh. Çetin TUNCAY beyefendiye, ayrıca tezimin yazımı konusunda göstermiş olduğu ilgi ve alakadan dolayı Sayın Remziye PELİT hanımefendiye ve son olarak her türlü kolaylığı ve anlayışı gösteren sevgili eşime teşekkürü bir borç bilirim.

HAZİRAN 2001

Mücahit NAMLI

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	VIII
ŞEKİL LİSTESİ	IX
SEMBOL LİSTESİ	XI
ÖZET	XII
SUMMARY	XIV
1. GİRİŞ	1
2. TARİHİ YAPILARIN TEMEL SİSTEMLERİ	3
2.1. Konuya Giriş	3
2.2. Eski Temel İnşaatlarından Örnekler	4
3. İSTANBUL’ DAKİ TARİHİ YAPILARIN TEMEL SİSTEMLERİ	10
3.1. İstanbul Şehri Zemininin Geoteknik Özellikleri	10
3.1.1. Suriçinin geoteknik özellikleri	12
3.1.1.1. Suni dolgular	12
3.1.1.2. Kil ve kum tabakaları	12
3.1.1.3. Grovak ve killiçistler	14
3.1.2. Haliç kıyılarının geoteknik özellikleri	16
3.1.2.1. Haliç kıyılarındaki temel ve stabilite sorunları	17
3.2. İstanbul’ daki Tarihi Yapıların temel Sistemlerinden Örnekler	19
3.2.1. Süleymaniye Camii	19
3.2.2. Yeni Camii	22
3.2.3. Nur – u Osmaniye Camii	24
3.2.4. Ortaköy camii	27
3.2.5. Küçükusu Kasrı	29
3.2.6. Dar- ül Aceze	32
3.2.7. Sveti Stefan Bulgar Kilisesi	34
3.2.8. Sant Antonio Kilisesi	34
3.2.9. Medresetü’ l – Kuzat	38
3.2.10. Sonuç	40
4. TARİHİ YAPILARDA GÖRÜLEN HASAR TİPLERİ VE NEDENLERİ	42
4.1. Çatlaklar	43
4.1.1. Çatlağa neden olan oturmalar	43

4.1.2. Tarihi yapılardaki oturmaların sebepleri	44
4.1.2.1. Yeraltı su seviyesinin değişmesi	46
4.1.2.2. Yük sisteminde meydana gelen değişiklikler	46
4.1.2.3. Temel kazıklarının çürümesi	47
4.1.2.4. Yapı çevresindeki kazılar	48
4.1.2.5. Drenaj yetersizliği	49
4.1.2.6. Tarihi yapılarda deprem etkisi	49
4.1.3. Tarihi yapılarda oturma sonucu meydana gelen çatlaklar	50
4.1.3.1. Tek taraflı artan oturmalar sonucu oluşan çatlaklar	50
4.1.3.2. Yapının bel vermesinden dolayı meydana gelen çatlaklar	50
4.1.3.3. Yapı altındaki zeminin yanlara kaçması sonucu oluşan çatlaklar	51
4.1.4. Tarihi yapılardaki çatlak sınır değerleri	53
5. TEMEL TAKVİYESİNDEN ÖNCE YAPILMASI GEREKEN ARAŞTIRMALAR	55
5.1. Tarihçe Araştırması	55
5.2. Yapı Yerinde Yapılacak Araştırmalar	56
5.2.1. Zemin kesitinin saptanması.	56
5.2.2. Zemin numunelerinin alınması	57
5.2.3. Zemin sondaları	57
5.2.3.1. Dinamik sondalar	57
5.2.3.2. Statik sondalar	58
5.2.4. Zemin sondajları ve sondaj sonuçlarının değerlendirilmesi	58
5.2.5. Muayene kuyuları	60
5.2.6. Yer altı su seviyesinin belirlenmesi.	60
5.2.7. Temel oturmaların ölçülmesi.	60
5.2.8. Yapıdaki çatlakların gözlenmesi.	61
5.3. Zeminden Alınan Numuneler Üzerinde Laboratuvarda Yapılacak Araştırmalar	
5.3.1. Zemin sınıflarının belirlenmesi	62
5.3.2. Zeminlerin porozitesi ve boşluk oranı	64
5.3.3. Zeminlerin su muhtevası	65
5.3.4. Zeminlerin kayma direnci	65
5.3.5. Zeminlerin sıkışması	66
5.4. Sonuç	68

6. TARİHİ YAPILARDA UYGULANAN TEMEL TAKVİYESİ YÖNTEMLERİ	69
6.1. Geleneksel Yöntemler	69
6.1.1. Uygulama	70
6.2. Temel Zeminin İyileştirilmesine Dayalı Yöntemler (Enjeksiyon)	70
6.2.1. Enjeksiyonun tarihçesi	70
6.2.2. Enjeksiyonun başlıca uygulama alanları	71
6.2.3. Enjeksiyon işleminin projelendirilmesi için yapılan çalışmalar	72
6.2.3.1. Enjeksiyon yönteminin tayini için yapılan ön çalışmalar	72
6.2.3.2. Enjeksiyon karışımı seçiminde kullanılan kriterler	75
6.2.3.3. Enjeksiyon uygunluk deneyleri	75
6.2.4. Enjeksiyon işlemlerinin sınıflandırılması	75
6.2.4.1. Amaca göre sınıflandırma	76
6.2.4.2. Uygulama yerine göre sınıflandırma	76
6.2.4.3. İşlevlerine göre sınıflandırma	76
6.2.4.4. Uygulanan basınca göre sınıflandırma	78
6.2.5. Enjeksiyon karışımı	79
6.2.5.1. Enjeksiyon karışımının elemanları	79
6.2.5.2. Enjeksiyon karışımının özellikleri	80
6.2.6. Enjeksiyon yöntemleri	84
6.2.6.1. Açık taban boru yöntemi	84
6.2.6.2. Manşetli boru yöntemi	86
6.2.6.3. Enjeksiyon yöntemlerinin karşılaştırılması	87
6.2.7. Enjeksiyonda kalite kontrol	88
6.2.7.1. Sondaj deliği radarı yöntemi	89
6.3. Temel Yüklerinin Daha Derindeki Taşıyıcı Tabakalara Aktarılması	90
6.3.1. Ayaklar	90
6.3.2. Mini kazık	90
6.3.2.1. Tarihçe	90
6.3.2.2. Tanım	90
6.3.2.3. Enjeksiyon yöntemine göre sınıflandırma	92
6.3.2.4. Uygulama	94
6.3.2.5. Sonuç	95
6.3.3. İtme (Burgulu) kazık	96

6.3.3.1. Tarihçe	96
6.3.3.2. Tanım	96
6.3.3.3.İtme kazık tasarımı	98
6.3.3.4. İmalat teknikleri	99
6.3.3.5. Uygulama	100
6.3.3.6. Sonuç	101
6.3.4. Jet - Grouting	102
6.3.4.1. Tarihçe	103
6.3.4.2. Sınıflandırma	104
6.3.4.3. Jet - Grout yönteminin faydalı olduğu yerler	107
6.3.4.4. Uygulamanın başarısını belirleyen değişkenler	107
6.3.4.5. Sonuç	112
7. TARİHİ YAPILARDAKİ TEMEL TAKVİYESİ UYGULAMALARINDAN	
ÖRNEKLER	113
7.1. Vakıf Gureba Hastanesinin Temel Takviyesi	113
7.1.1. Giriş	113
7.1.2. Zemin profili ve temel sistemi	114
7.1.3. Değerlendirme	115
7.1.4. Sonuç	115
7.2. Fatih Camii Kütüphanesinin Temel Takviyesi	117
7.2.1. Giriş	117
7.2.2. Zemin profili ve temel sistemi	117
7.2.3. Değerlendirme	120
7.2.4. Sonuç	120
7.3. Ortaköy Camii Temel Takviyesi	123
7.3.1. Giriş	123
7.3.2. Zemin profili ve temel sistemi	123
7.3.3. Değerlendirme	123
7.3.4. Sonuç	124
7.4. Konya Alaaddin Camii Temel Takviyesi	125
7.4.1. Giriş	125
7.4.2. Zemin profili	125
7.4.3. Değerlendirme	126
7.4.4. Konya Alaaddin Camii'nde yapılan temel takviyesi çalışmaları	129

7.4.4.1. Enjeksiyon ve Mini Kazık Çalışmaları	129
7.4.4.2. Duvar ve kolon altı bağlantıları	130
7.4.4.3. Drenaj çalışmaları	135
7.4.4.4. Ölçüm ve gözlemler	135
7.4.4.5. Deneyler ve yerinde ölçümler	137
7.4.5. Sonuçlar	140
7.5. Fethi Ahmet Paşa Yalısının Temel Takviyesi	142
7.5.1. Giriş	142
7.5.2. Zemin profili ve temel sistemi	142
7.5.3. Değerlendirme	143
7.5.4. Sonuç	144
7.6. Küçüksu Kırınının Temel Takviyesi	146
7.6.1. Giriş	146
7.6.2. Zemin profili ve temel sistemi	146
7.6.3. Değerlendirme	147
7.6.4. Sonuç	148
8. EDİRNEKAPI MİHRİMAH SULTAN CAMİİ'NDEKİ HASARIN SEBEPLERİNİN ANALİZİ	152
8.1. Tarihçe	152
8.2. Taşıyıcı Sistem Özellikleri	153
8.3. Yapısal Analiz	153
8.3.1. Yapıda tespit edilen hasarlar	153
8.4. Zemin Profili ve Temel Sistemi	157
8.5. Dinamik Analiz	160
8.6. Sonuç	162
9. SONUÇLAR	163
KAYNAKLAR	167
ÖZGEÇMİŞ	168

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1. Grovak - Killişist numunelerinin fiziksel özellikleri	15
Tablo.5.1 Düşme sayısı ile sıklık ilişkisi	58
Tablo 6.1. Enjeksiyon yöntemlerinin mukayesesi.....	87
Tablo 7.1. Sondaj sonuçları.....	119



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 : Lamba zıvanalı batardo	5
Şekil 2.2 : Çift kazıklı batardo	5
Şekil 2.3 : Londra köprüsü ayak temeli.....	7
Şekil 2.4 : Ahşap kazıklar.....	7
Şekil 2.5 : Hexam köprüsü temelleri.....	9
Şekil 3.1 : İstanbul'un kısmi jeolojik haritası	11
Şekil 3.2 : Topkapı – Levent arası jeolojik kesit	11
Şekil 3.3 : Sirkeci rıhtımında oluşan oturma ve kaymalar.....	17
Şekil 3.4 : İstanbul haritası.....	20
Şekil 3.5 : Süleymaniye Camii jeolojik kesiti	20
Şekil 3.6 : Süleymaniye Camii temel rölemleri	21
Şekil 3.7 : Süleymaniye Camii temelleri	21
Şekil 3.8 : Yeni Camii jeolojik kesiti	22
Şekil 3.9 : Yeni Camii temelleri.....	23
Şekil 3.10 : Nur –u Osmaniye Camii boyuna kesiti	25
Şekil 3.11 : Nur –u Osmaniye Camii bodrum planı ve kesitleri.....	25
Şekil 3.12 : Nur –u Osmaniye Camii temel sistemi	26
Şekil 3.13 : Ortaköy Camii konum planı.....	28
Şekil 3.14 : Ortaköy Camii temel kesitleri	28
Şekil 3.15 : Darül Acezenin temel sistemi	33
Şekil 3.16 : Sveti Stefan Kilisesinin kazıklarının çakılmasında kullanılan şahmerdan	35
Şekil 3.17 : Sant Antonio Kilisesinin temel kesiti ve planı.....	36
Şekil 3.18 : Sant Antonio Kilisesinin planı.....	37
Şekil 3.19 : Bizans devrine ait temel detayı.....	41
Şekil 4.1 : Oturma türleri	44
Şekil 4.2 : Temel oturması ve göçme.....	45
Şekil 4.3 : Yer altı su seviyesinin değişmesi sonucu oluşan rötre.....	47
Şekil 4.4 : Temel kazıklarının çürümesi	48
Şekil 4.5 : Ağırlık ve rijitlik merkezi ilişkisi	50
Şekil 4.6 : Tek taraflı artan çatlaklar	51
Şekil 4.7 : Yapının orta kısmında yüklerin inzimam etmesi	51
Şekil 4.8 : Bel vermiş bir yapı	52
Şekil 4.9 : Zeminin yanlara kaçması	52
Şekil 4.10 : Çatlak genişliği – zaman eğrisi	53
Şekil 5.1 : Eğik sondajla temel derinliğinin bulunması	59
Şekil 5.2 : Çatlak genişliğinin gözlenmesi	61
Şekil 5.3 : Oturmalarla ilgili çatlaklar	63
Şekil 5.4 : Sıkışma (Ödometre) deneyi	67
Şekil 6.1 : Lugeon Deneyi	74
Şekil 6.2 : Marsh Hunisi.....	81

Şekil 6.3	: Prepakt Hunisi.....	82
Şekil 6.4	: Açık Taban Boru Yöntemi.....	85
Şekil 6.5	: Manşetli Boru Yöntemi.....	86
Şekil 6.6	: Mini kazık tipleri.....	93
Şekil 6.7	: Enjeksiyon yöntemine göre mini kazık tipleri.....	94
Şekil 6.8	: Mini kazık uygulaması.....	94
Şekil 6.9	: İtme (burgulu) kazık kesiti.....	97
Şekil 6.10	: İtme (burgulu) kazık başlığı.....	100
Şekil 6.11	: Jet grout kolonu imalatı.....	102
Şekil 6.12	: Jet grout kolonu oluşturma yöntemleri.....	106
Şekil 7.1	: Vakıf Gureba Hastanesinin vaziyet planı.....	113
Şekil 7.2	: Vakıf Gureba Hastanesinde uygulanan temel takviyesi.....	116
Şekil 7.3	: Fatih Camii Kütüphanesinin sondaj yerleşim planı.....	118
Şekil 7.4	: İdeal geoteknik model.....	119
Şekil 7.5	: Fatih Camii Kütüphanesinin geoteknik blok diagramı.....	121
Şekil 7.6	: Fatih Camii Kütüphanesinde uygulanan temel takviyesi.....	122
Şekil 7.7	: Ortaköy Camii zemin profili ve temel takviyesi.....	124
Şekil 7.8	: Konya Alaaddin Camii zemin profili ve deformasyon mekanizması.....	126
Şekil 7.9	: Konya Alaaddin Camiiindeki farklı oturmalar ve çatlak oluşumu.....	127
Şekil 7.10	: Konya Alaaddin Camiiindeki eğik çatlakların oluşum mekanizması.....	128
Şekil 7.11	: A tipi bağlantı.....	133
Şekil 7.12	: B tipi bağlantı.....	134
Şekil 7.13	: Presiometre deney sonucu örneği.....	138
Şekil 7.14	: Sondaj vaziyet planı ve zemin profili.....	143
Şekil 7.15	: Jet Grout kolonlarının yerleşim planı.....	145
Şekil 7.16	: Jet Grout kolonlarının kesiti.....	145
Şekil 7.17	: Anakaya derinlikleri.....	146
Şekil 7.18	: Küçükso Kasrında uygulanan temel takviyesi.....	149
Şekil 7.19	: Jet Grout kolonu detayları.....	150
Şekil 7.20	: Jet Grout kolonlarının kesiti.....	151
Şekil 8.1	: Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii kesiti ve planı.....	154
Şekil 8.2	: Kible cephesinde yan sahindaki hasarlı kemer ve pandantif.....	155
Şekil 8.3	: Kible cephesinde galeri seviyesindeki hasarlı kemer.....	155
Şekil 8.4	: Kible cephesinin dış yüzündeki hasarlar.....	156
Şekil 8.5	: Vaziyet planı.....	157
Şekil 8.6	: Zemin profili.....	158
Şekil 8.7	: Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii temel kesiti.....	159
Şekil 8.8	: Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii modeli (Timurhan,2000).....	160
Şekil 8.9	: Yapının 1.mod şekli doğu cephesinden görünüşü (Timurhan,2000)	161
Şekil 8.10	: Yapının 2.mod şekli güney cephesinden görünüşü(Timurhan,2000)	161

SEMBOL LİSTESİ

e	: Boşluk oranı.
n	: Porozite
c	: Kohezyon
ϕ	: Kayma mukavemeti açısı
u	: Boşluk suyu basıncı.
τ_f	: Kayma mukavemeti
σ	: Normal gerilme
I_p	: Plastisite indisi
W_n	: Tabii su muhtevası
W_p	: Plastik limit
W_L	: Likit limit
q_u	: Drenajsız basınç mukavemeti
ΔH	: Oturma miktarı
Q	: Toplam yapı yükü
Q_k	: Göçme yükü
G_s	: Güvenlik sayısı
T	: Periyot
δ	: Çatlak genişliği
t	: Zaman
γ_s	: Dane birim hacim ağırlığı
γ_n	: Tabii birim hacim ağırlığı
γ_k	: Kuru birim hacim ağırlığı

TARİHİ YAPILARIN TEMEL SİSTEMLERİ VE TEMEL TAKVİYESİ YÖNTEMLERİ

ÖZET

İstanbul tarih içerisinde bir çok medeniyetin yaşamış olduğu bir coğrafi konumda bulunması sebebiyle, çok sayıda anıt niteliğinde tarihi yapıya sahiptir. Ülkemizde bu yapıların inşasına ait, temel yapılarıyla ilgili bilgilere, teknik resimleri ihtiva eden devirlerine ait yazılı eserlere ulaşmak kolay olamamaktadır.

Bu çalışmada tarihi yapıların temel sistemleri ve tarihi yapılarda uygulanan temel takviyesi yöntemleri sekiz bölüm halinde incelenmiştir. Birinci bölümde konuya genel bir giriş yapılmakta, çalışmanın kapsam ve amacından bahsedilmektedir.

İkinci bölümde tarihi temel sistemlerine örnekler verilmektedir. Üçüncü bölümde İstanbul Şehri zeminin geoteknik özelliklerinden bahsedildikten sonra İstanbul'daki tarihi yapılardan bazılarının temel sistemleri incelenmiştir.

Dördüncü bölümde tarihi yapılarda görülen hasar tipleri ve bunların sebepleri incelenmiştir. Bu bölümde özellikle yapıda çatlak oluşumuna sebep olan temel – zemin sisteminden kaynaklanan faktörler ele alınmış ve tarihi yapılarda temel takviyesi uygulamasının aciliyetinde en belirleyici etken olan çatlak sınır değerleri irdelenmiştir.

Beşinci bölümde temel takviyesi öncesi yapılması gereken araştırmalardan bahsedilmektedir. Altınca bölümde temel takviyesi yöntemleri incelenmiştir. Bu bölümde ayaklarla / kuyu temelle, enjeksiyonla, mini kazık, itme kazık ve jet grout kolonlarıyla temel takviyesi ele alınmıştır. Yedinci bölümde ise temel takviyesi yöntemlerine ait uygulamalardan örnekler verilmiştir.

Sekizinci bölümde Edirnekapi Mihrimah Sultan Camii' nin temel sistemi incelenmiş camideki çatlakların sebebi araştırılmıştır. Mihrimah Sultan Camii'ndeki hasarın sebebinin tespit edilmesi amacıyla, caminin kible ve batı cephesinde, beden duvarlarının yanında açılan muayene kuyularıyla temel altına kadar inilmiş ve temel altına galerilerle girilmiştir. Yapılan çalışmalar sırasında Mihrimah Sultan Camii' nin, aşağıya doğru anpatmanlı bir şekilde genişleyen bir mütemadi temele sahip olduğu görülmüştür.

FOUNDATION SYSTEMS OF THE ANCIENT STRUCTURES AND UNDERPINNING METHODS

SUMMARY

There are many historical and monumental buildings in Istanbul because of its geographical and historical situation. Although there are many historical structures in Turkey, there is not much written about them. In this thesis, the foundation systems of the ancient structures and underpinning methods are studied in eight parts. The first part is a general introduction of the subject in which the purpose and the scope of the thesis are given.

In the second part of the thesis, examples from old European and Turkish foundation constructions are given in order to compare construction methods and equipment in Turkey and abroad. In the third part, the soil conditions of Istanbul City and the foundation systems of some ancient structures exist in Istanbul are given. In the fourth part of the thesis, the types of damage and the reasons of the damages are studied. In this part especially, the factors which cause cracks result from foundation system are studied and the crack limits for the masonry structures are given.

In the fifth part of the thesis, the investigations which have to be done before the underpinning are studied. In the sixth part, piers, injection, mini piles, helical screw anchors and jet grouting are studied as the underpinning methods for ancient structures. In the seventh part, some case studies of the underpinning methods are given.

In the eighth part of the thesis, the foundation system of Edirnekapı Mihrimah Sultan Mosque and the reasons of cracks at this mosque are studied. It is seen that the mosque has a continuous footing which gets larger up to down, by observing wells beside the walls of the mosque.

1.GİRİŞ

İstanbul ‘da Osmanlı döneminden günümüze kadar ayakta kalmış çok sayıda anıt niteliğinde tarihi kargir yapı bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında, İstanbul’daki tarihi yapılardan bazılarının temel sistemleri incelenmekte, bu yapılarda görülen hasarların sebepleri araştırılmakta ve sonuç olarak tarihi yapılarda uygulanabilecek temel takviyesi yöntemlerinden bahsedilerek bu uygulamalara ait örnekler verilmektedir.

Temel sistemleri belirlenen tarihi yapıların uzun süreli davranışlarının, inşaat tarihçelerinin ve hasar kayıtlarının incelenmesi, benzer özelliklerdeki zeminlerde inşa edilecek yapılar için bugünkü uygulamalara ışık tutulabilecek nitelikte bir çalışma olacaktır.

Tarihi yapılar, bugün, inşa edildikleri devirlerde söz konusu olmayan günümüz şartlarından etkilenmektedir. İnsanın doğaya gün geçtikçe artan müdahaleleri tünel, metro, kanalizasyon, boru hatlarının yapılması, derin kazılar, yer altı suyu kullanımı yağışların zemin tarafından emilmesini önleyici geçirimsiz yüzeylerin oluşturulması yer altı su seviyesinin eskiye nazaran alçalmasına neden olmaktadır.

Tarihi yapıların temellerinde kullanılan ahşap ızgara ve kazıklar daima su altında kaldıkları takdirde uzun ömürlüdürler. Ancak, bir ay süreli yer altı su seviyesinin düşmesi dahi ahşap malzemelerin hasar görmesine neden olmaktadır. Bu nedenle genellikle tarihi yapıların temelleri altında kullanılmış ahşap ızgara ve kazıklar, yer altı su seviyesinin alçalması nedeniyle çürümekte ve yapı hasar görmektedir.

Tarihi yapıların yakınlarındaki önemli ölçüdeki hafriyatın gerektiği inşaatlardan yapının ne derecede etkilenebileceğinin bilinmesi için temel cinslerinin ve özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Avrupa’ da şehir içinde yapıların planlanmasında ve korunmasında, jeolojik ve geoteknik haritalarla birlikte temel haritaları da kullanmaktır. Temel haritaları; yapının inşa yılını, yapıların temel cinslerini, oturma hasar kayıtlarını, yer altı su seviyesini ve temelle ilgili özellikleri kapsamaktadır. Ülkemizde de tarihi yapıların, temel cinslerinin belirlenmesi, yapı temelleri hakkındaki dokümanların elde edilmesi, saklanması, derlenmesi, bölgesel temel haritalarının hazırlanması; günümüz mühendislik yapılarının ekonomik şekilde planlanmasında ve tarihi yapıların korunmasında yararlı olacaktır.



2. TARİHİ YAPILARIN TEMEL SİSTEMLERİ

2.1 Konuya Giriş

17. ve 18. Yüzyıllarda Avrupa’ da bilim ve teknoloji alanında kaydedilen büyük gelişmeler neticesinde inşaat mühendisliği konusunda da önemli yayınlar yapılmıştır. Bu yayınların bir kısmı uygulanan projelerin açıklanmasını, bir kısmı da teorik konuları içermektedir. Ayrıca bu yayınlarda eski yapı temelleri hakkında da bilgiler mevcuttur. 19.yy başlarından itibaren inşaat mühendisliğine ait periyodikler ve el kitapları yayınlanmaya başlanmıştır.

Buna karşın Türkiye’ de ancak batılılaşma süreci içerisinde ilk olarak 1727’ de matbaa kurulmuştur. Düzenli ilk teknik eğitimin yapıldığı okul, Mühendishane- i Bahr-i Hümayun 1773 yılında öğretime başlamıştır. Ülkemizde 19.yy. sonlarına kadar birçok bina , köprü gibi mühendislik yapıtları inşa edilmesine rağmen, bu yapıların inşasına ve temel yapılarına ait bilgileri , teknik resimleri ihtiva eden başlı başına bir yazılı esere, bugüne kadar rastlanmamıştır.

Ancak bazı yapılar hakkında devrin tarihçileri tarafından kaleme alınan ve teknik açıdan detaya inmeyen kısa bilgiler mevcuttur. Eski belgelerden ve inşaat muhasebe defterleri ve yazışmalarından dolayı bilgiler elde etmek mümkün olmaktadır. Bu bölümde; oldukça geniş bir zaman aralığında Avrupa’ da ve ülkemizde uygulanmış eski temel inşaatlarına ait örnekler verilmektedir. Ülkemizde mevcut eski mühendislik yapılarının temel inşaatı uygulamaları konusuna ışık tutulması istenmektedir.[2]

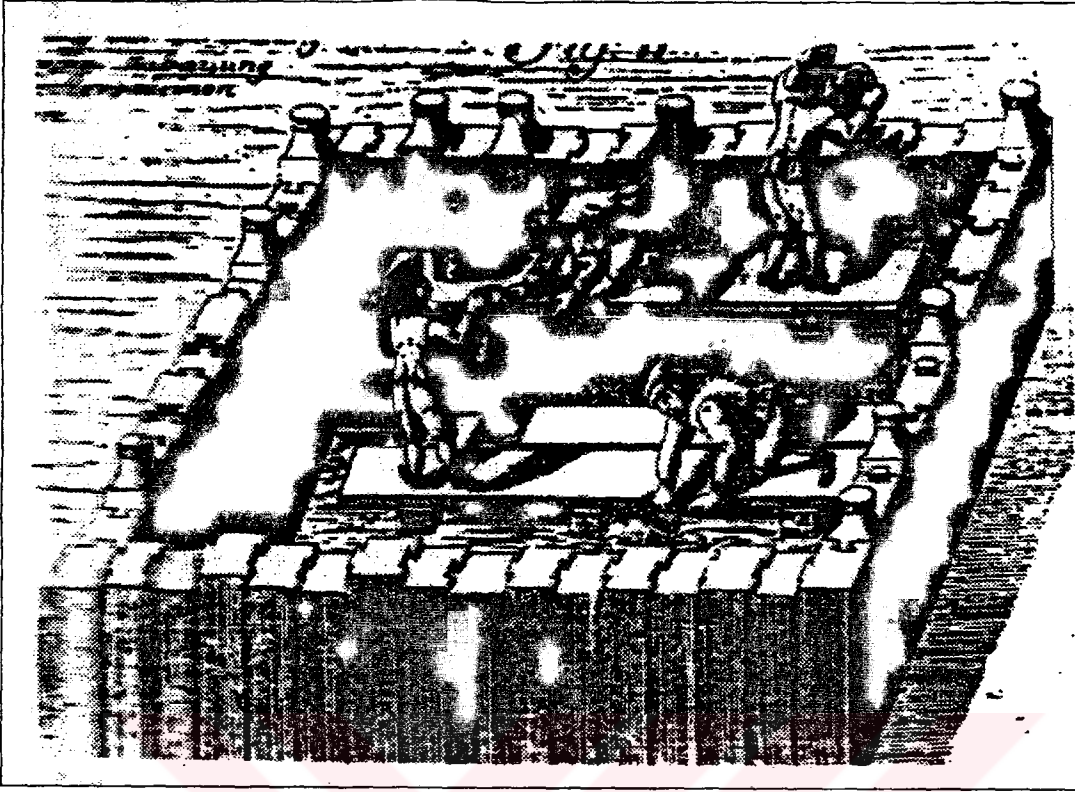
2.2. Eski Temel İnşaatlarından Örnekler

Temel inşaatlarından bahseden eski kaynaklardan biri, Vitruvius' un (M.Ö. 100) yazdığı mimarlık ile ilgili eseridir. Vitruvius tapınak gibi büyük yapıların temellerinin sert zemine ve mümkün olduğu kadar derine oturtulmasının gerekli olduğunu belirtir. Temel yapılacak yerde, sert zemin bulunmazsa yumuşak zemin kazılıp temizlenmeli köprü ayaklarında olduğu gibi ahşap kazıklar sık olarak çakılmalıydı. Limanlarda, su içine temel yapımında ise, temelin inşa edileceği alana yan yana çift sıra kazıklar çakılıp, kazık araları kille doldurulup batardo teşkil olunurdu. Batardo içindeki su, su boşaltma araçları ile boşaltılır, temel çukuru kurutulur ve taban, sert zemine kadar kazılır ve temeller inşa edilirdi. Eğer taban yumuşaksa kazıklar çakılırdı. Vitruvius ayrıca ahşabın devamlı su altında kalmasının uzun süre sağlam kalması için gerekli olduğunu da belirtmiştir.

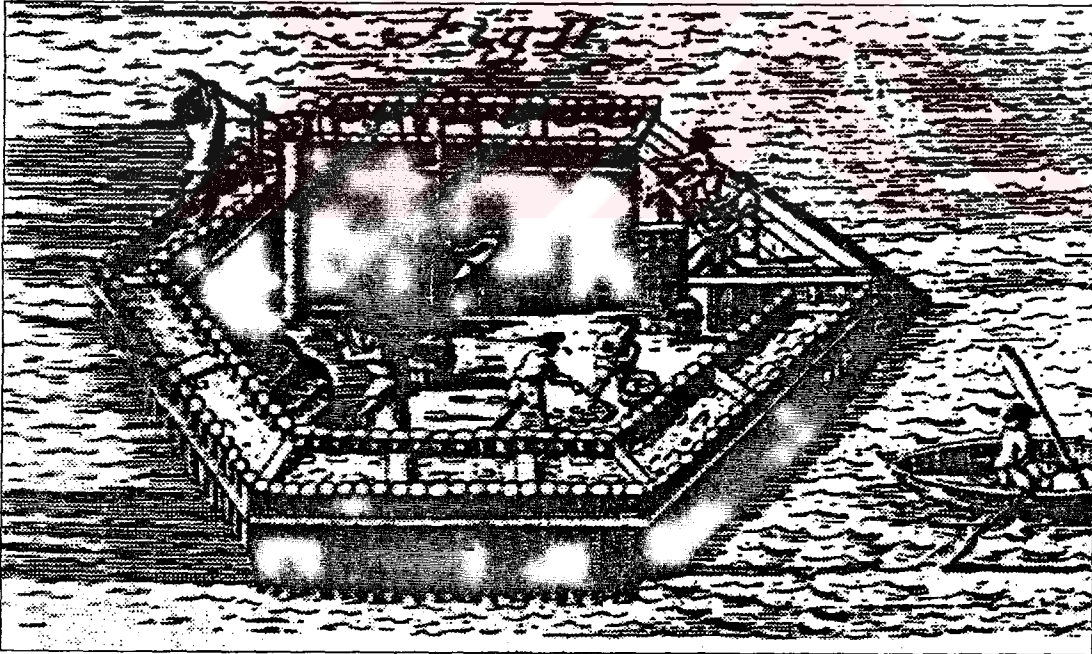
Su seviyesinin yüksek olduğu yerlerde, temel inşaatları için batardo kullanımı, çok eski tarihlerden günümüze kadar ulaşmıştır. Batardo ahşap zıvanalı geçme tek sıra kazıklarla veya çift sıra kazıklarla ve kazık aralıklarının kille doldurulması neticesinde teşkil olunmaktadır. Şekil 2.1 ve Şekil 2.2 'de 18 .yy.' daki uygulamaları görülmektedir.

Mimar Sinan 1567 yılında Büyükçekmece Köprüsü ayak temelleri inşaatında batardo kullanılmıştır. Su boşaltılarak 4 m - 6 m. uzunluğunda ahşap kazıklar zemine şahmerdanla çakılmıştır. Temeller kazıkların üzerine örülmüştür.

18.yy' da İngiltere' de köprü ayağı temeli inşaatlarında genellikle uygulanan yöntem şöyledir; önce su geçirmez batardo yapılır, nehir tabanı 1m. kazılır ve ahşap ızgara veya platform yerleştirilir, gerekirse alta ahşap kazıklar çakılıp temeller ızgara veya platform üzerine örülürdü.



Şekil 2.1 Lamba zıvanalı batardo



Şekil2.2 Çift kazıklı batardo

Türkiye’ de Erzurum Pasinler Çoban Köprüsü (1271-1297) ayak temelleri ahşap ızgaraya oturtulduğunu bilmekteyiz. 1825 yılında John Rennie, Londra köprüsü ayak temelleri inşaatında batardo kullanmıştır. Zemin kazılarak birbirinden 1.20m. uzaklıkta, 30 cm. çaplı, 6m. uzunluğunda kazıklar çakılmıştır. Kazıkların ucunda ve başında zedelenmeyi önlemek için demir çarık ve başlık kullanılmıştır. Kazıkların üzerine ahşap ızgara yapıp temeller örülmüştür. Temel çevresine 5.4m uzunluğunda ahşap palplanş çakılmıştır (Şekil 2.3.). Bu klasik bir köprü ayak temeli uygulamasıdır. Temellerde kullanılan ahşap kazıkların uç ve başlarının çakarken korunması için 18.yy’ da kullanılan demir çarık ve başlıklar ile kazık tiplerini Leupold (1724) göstermiştir (Şekil2.4) .

18.yy’ da Telford Glasgow ve Gloucester (1825) köprüleri temellerinde batardo kullanılmıştır. Glasgow köprü ayağı temelleri altına ahşap kazıklar çakmış ve Gloucester köprüsünde ise ahşap platform üzerine temelleri inşa etmiştir.

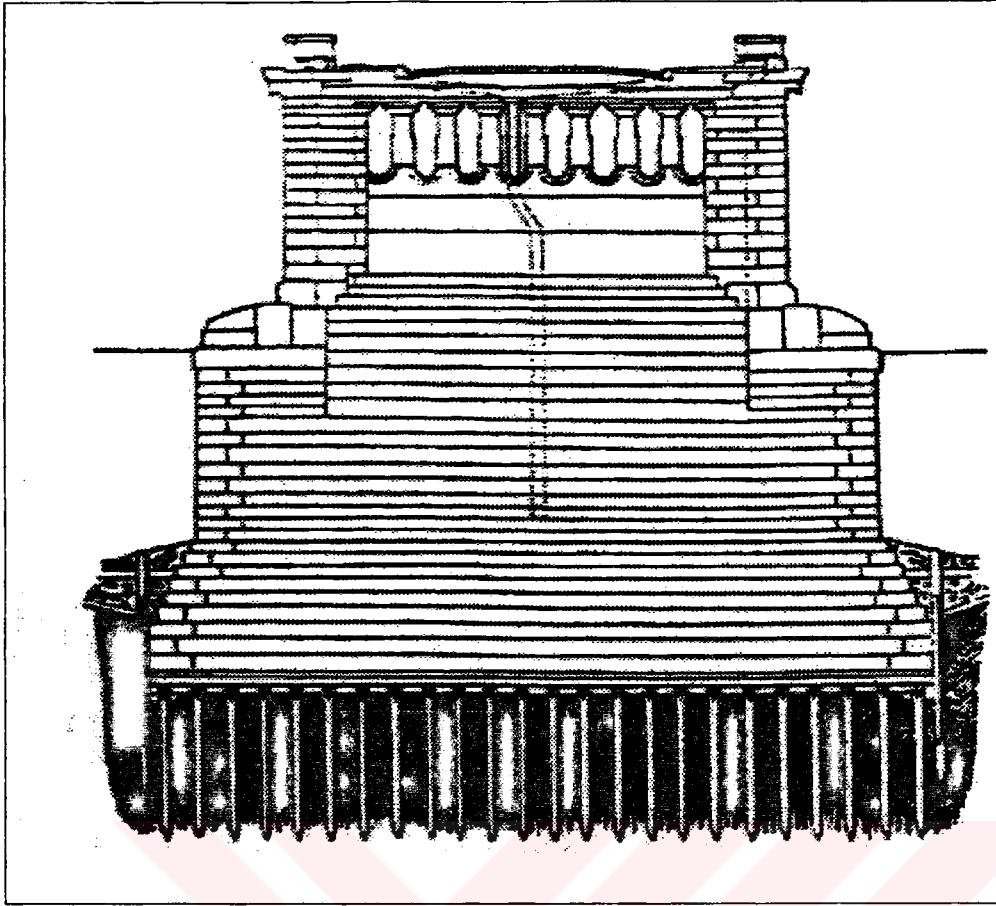
18.yy’ da İsveç’ te batardo ile su tutulma işleminin büyük çapta uygulaması yapılmıştır. Carlsrona ‘ da liman inşaatı için bir koyu kapatan, 120 m. uzunluğunda ve 7m yüksekliğindeki suyu tutan iki kademeli batardo sistemi uygulanmıştır. Koydaki su boşaltılarak 11 sene süreyle koy kuru tutulmuştur.

Batardonun oturtulduğu zeminin geçirimli olması ve içerisindeki suyun boşaltılmasının güç olduğu durumlarda, keson kullanılmaktaydı.

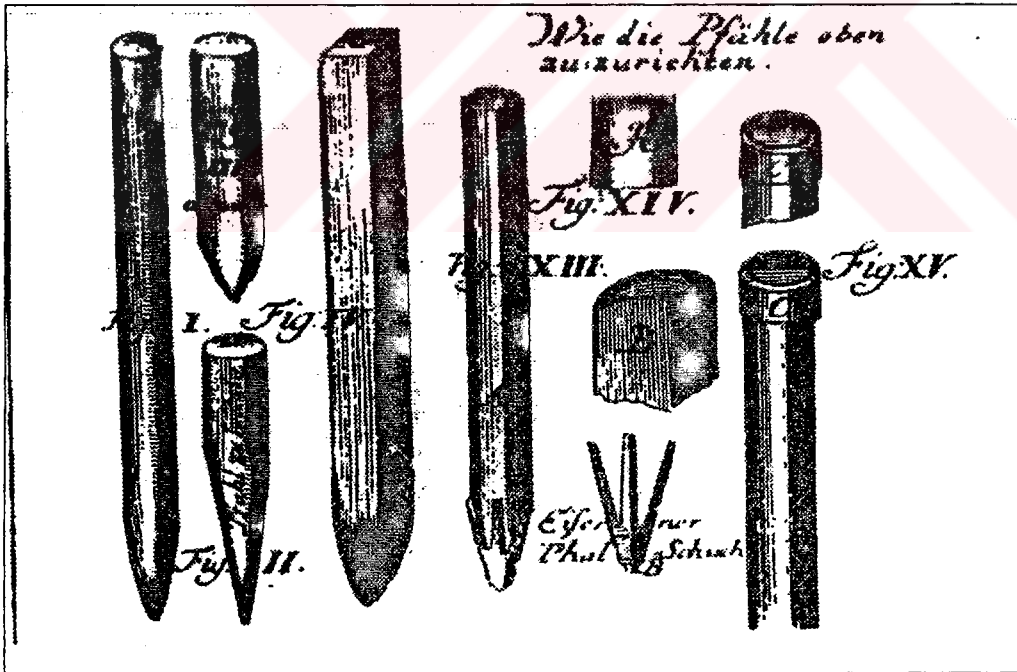
Labelye 1738’ de Westminster köprüsü ayak temeli inşaatı için 24 m x 9 m boyutunda 4.8 m. yüksekliğinde ahşap keson imal edilmiştir. Kesonun oturtulacağı zemin tarakla kazılmış, keson batırılarak temel keson içinde kuruda örülmüştür. Keson dibini teşkil eden ızgara şeklindeki taban temel altının bir parçası olarak kalmıştır, kesonun yan kısımları ise köprü ayağı su seviyesi üzerine ulaşınca sökülmüştür.

Belidor (1697 – 1761) , Toulon ve Nice’ te liman inşaatlarında ve Toulon kızak inşaatlarında kesonların kullanılmasını anlatmıştır.

Keson’un büyük çapta uygulaması , 1774 – 1777’ de Youlon’ da 1. Nolu kuruhavuz inşaatında yapılmıştır. 100 m x 30 m x 11 m boyutlarında hazırlanan ahşap keson içinde kuruhavuz inşa edilmiştir.



Şekil 2.3 Londra köprüsü ayak temeli



Şekil2.4 Ahşap kazıklar

Basınçlı kesonu Coulomb 1779' da açıklamıştır. Basınçlı keson 1830' da Cochrane tarafından imal edilmiş ve 1841' de Triger tarafından ilk defa kullanılmıştır.

Köprü ayağı temellerinin derin temellerle veya uzun kazıklarla inşa edilemediği dönemlerde, köprünün stabilitesinde karşılaşılan en önemli problem, nehir akıntısı ile temel altının oyulması ve üst yapının göçmesiydi.

Hexam Tyne' de 18 yy. da birçok köprü temel tabanı oyulması ile yıkılmıştır. Temel oyulmasını önlemek için ayak çevresine moloz taş atmak, çepeçevre kazık çakmak, taş kuşak yapmak yöntemleri yaygın şekilde kullanılmıştır.

Köprü ayağı temel altının oyulmasını önleme amacı ile kullanılan diğer bir usul, köprü eksenı boyunca radye inşa etmektir. Bu sistem ülkemizde de uygulanmıştır.

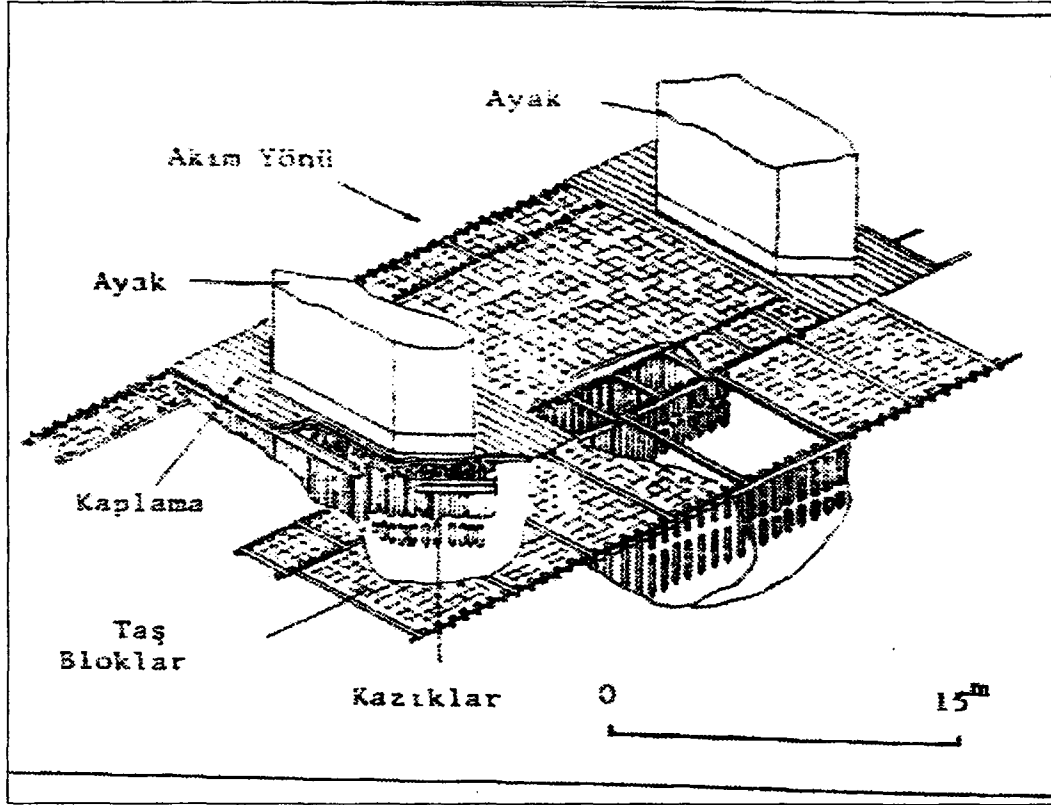
1484' de Çorum Osmancık' ta Sultan Beyazıt Veli köprüsü (Koyun Baba) temellerinde menba ve mansap taraflarına kadar uzanan bir radye yapılmıştır. Radyeyi teşkil eden taş bloklar birbirlerine demir kenetlerle bağlanmıştır. Taş bloklar altına ardıc ağacından kazıklar çakılmıştır.

Edirne' de 1452 yılında Fatih Sultan Mehmet Köprüsü temellerinde blok taşlar döşenerek radye teşkil edilmiştir.

Eski bir belgeden öğrendiğimize göre 1831' de Edirne' de ikinci köprünün ayak temelleri inşası için; “ sandık inşa etmek”, “ kazık dokumak” ve “ boyboyuna rıhtım dokumak” (radye) usullerinden, sandık ile temel yapılması tercih olunmuştur. Ayrıca ayaklar sudan bir miktar yukarı çıktıktan sonra oturup sağlamlaşması için üst yapıya gelecek sene devam edilmesi uygun görülmüştür.

Robert Mylene 1796' da Hexam Köprüsü ayak temellerini kazıklara oturtmuş ve nehir tabanını köprü eksenı boyunca menba ve mansaba taşan radye ile kaplamıştır (Şekil 2.5). 19.yy da Fransa' da Tours Köprüsü ayak temelleri de radye olarak planlanmıştır.

Bina temeli altında ilk yüzen radye uygulamalarından olan Albion Mill temelleri, 1783 – 1786' da Samuel Wyatt tarafından 48 m x 36 m boyutunda ve 2,7m derinliğinde inşa edilmiştir.



Şekil 2.5 Hexam köprüsü temelleri

19 yy. da yapının inşa edileceği zemin ıslahı yönünde de çalışmalar yapılmıştır. Suya doygun yumuşak killi zeminlerin konsolide edilerek sağlamlaştırılmasının önemi anlaşılmıştır. Belford 1810 – 1812’ de Caledonian kanalı inşaatında, 16.5m derinliğine kadar yumuşak çamur tabakasını tesbit etmiştir. Bu tabaka üzerine 6 ay süreli ön yükleme yaparak zeminin konsolide olmasını sağlamıştır. Moreau 1827’ de Bayenne’ de bataklık zeminin ıslahı için kum kazıkların kullanılmasına ait geniş bir çalışmanın yapıldığını bildirir.

Berigny 1802 yılında enjeksiyon tekniğini bulmuştur. Enjeksiyonda kil kireç , puzolan harcı ve daha sonra çimento kullanılmıştır. Hawksley 1867’ de kayaya oturan baraj temellerinde çimento enjeksiyonu uygulamıştır. 1839’ da Tours köprüsünün oyulan ayak temeli enjeksiyon tekniğiyle tamir edilmiştir.

19 yy. da teknolojinin gelişmesi ile suyun inşaat mahalinden uzak tutulması için değişik yöntemler de kullanılmıştır. Michaux 1852’ de zemin suyunu dondurma yöntemi ile tutulması fikrini ortaya atar. 1862’ de South Wales’ de ayrık daneli zeminde ilk defa bu yöntem uygulanmıştır. R. Stephenson 1883’ de Kilsby tünel inşaatında kuyular vasıtasıyla yer alt su seviyesini indirmiştir. [2]

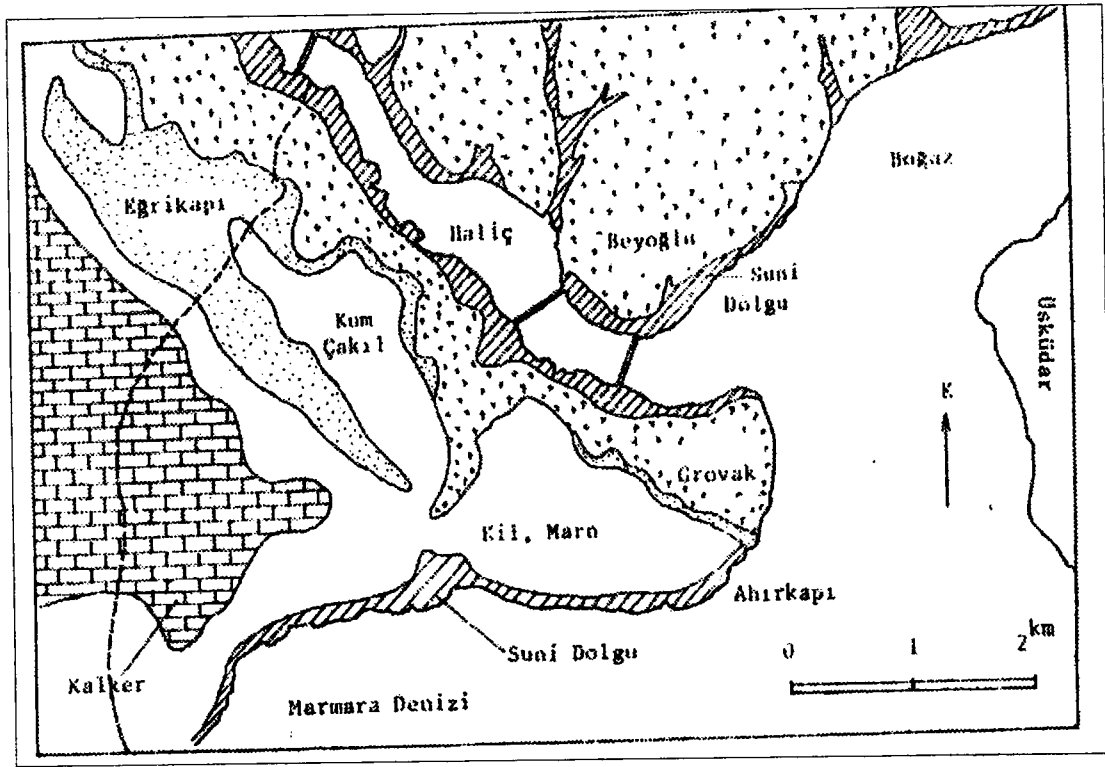
3. İSTANBUL' DAKİ TARİHİ YAPILARIN TEMEL SİSTEMLERİ

3.1. İstanbul Şehri Zemininin Geoteknik Özellikleri

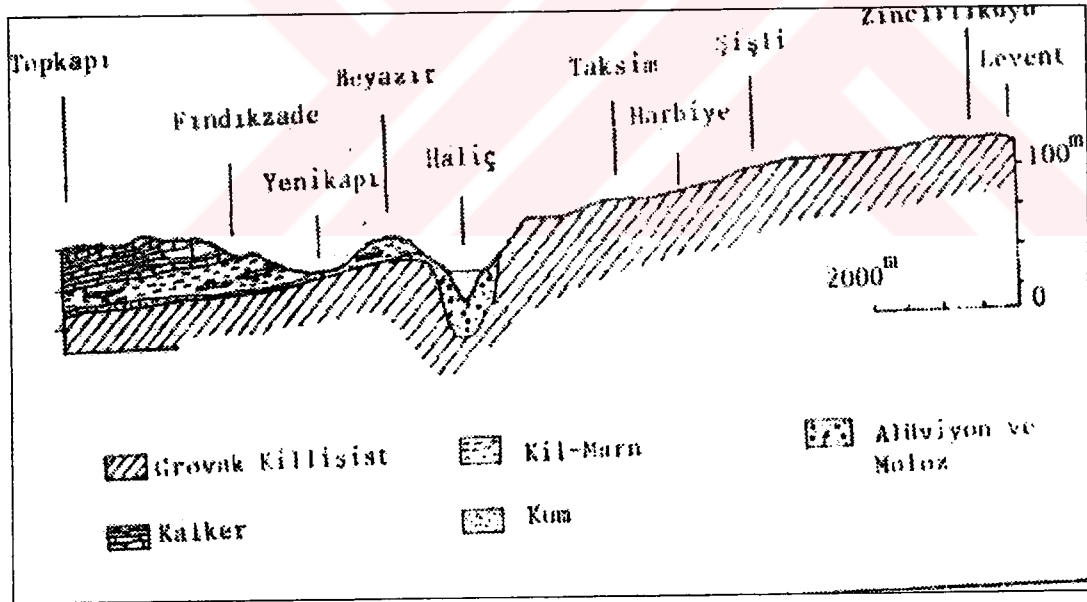
İstanbul şehri arazisinin jeolojik yapısını ve geoteknik özelliklerini muhtelif tarihlerde yapılan metro ve bina sondajları ve çeşitli incelemelerle öğrenmek mümkün olmuştur. İstanbul' un surlar içindeki kısmında Eğrikapı' dan Ahırkapı civarına doğru çizilen dalgalı bir hattın kuzeydoğu kısmı grovak killiştirlerden oluşmuş eski temel, Paleozoik' e aittir. Bu hattın güneybatı kesimi ise bu eski temel üzerinde diskordan olarak bulunan Sarmasien teşekkülü yeşil, sarı renkli kil marn, kum, çakıl ve bazen de maktralı kalkerlerden oluşan üç ayrı litolojik seviye gösterir (Şekil 3.1). [2]

Grovak ve killiştirler Haliç' te kalın dolgu tabakaları altında olup İstanbul' un Beyoğlu yakasında Karaköy – Levent arasındaki geniş bir sahayı kaplamaktadır (Şekil 3.2). İstanbul Şehri'nin Çekmece göllerine doğru gelişim sahaları da Sarmasien'e ait, kil - marn, kum – çakıl, kalkerlerden oluşmaktadır. Surların içindeki kısımda gerek grovak ve killiştirler, gerek sarmasien' e ait tabakalar yer yer değişik kalınlıktaki suni dolgular altındadır. Haliç' te çok derinlerdeki grovak ve killiştirler üzerinde kalın tabii alüvyon ve suni dolgular mevcuttur. Haliç kıyıları, İstanbul' un güç ve pahalı temel yapımını gerektiren, binalarda oturmaların, yan yatmaların meydana geldiği bir kesimi olarak özellik arzeder. Boğaziçi' nde ise vadilerin denize ulaştığı kesimlerde de kalın dolgular olup, bu zeminlerde inşa edilmiş yapılarda oturma ile ilgili hasarlara rastlanmaktadır.

İstanbul' da bugüne kadar inşa edilen yapılar, suni dolgulara, Sarmasien' e ait tabakalara, grovak killiştirlerle oturtulmuştur. Bu nedenle bu zeminlerin geoteknik özellikleri açıklanacaktır.



Şekil 3.1 İstanbul'un kısmi jeolojik haritası



Şekil 3.2 Topkapı – Levent arası jeolojik kesit

3.1.1. Suriçinin geoteknik özellikleri

3.1.1.1. Suni dolgular

Suni dolgular Suriçi kısmında gerek grovak ve killiistlerin gerekse Sarmasien tabakaların üzerini kaplar. Suni dolgu tabakası yüzlerce yıldan beri devam eden imar faaliyetleri, depremler, yangınlar sonucu oluşan materyalin daha çukur yerlere doldurulması ile teşekkül etmiştir. Bu tabakalar vadilerde daha kalındır.

İstanbul' un topografyası ve yüzölçümü dahi zamanla imar faaliyetleri ile değişmiş eski limanlar, kıyılar, vadiler doldurulmuştur. Bu gelişim Haliç kıyılarında da bariz surette gözlenmektedir. Suni dolgu tabakaları taş, çakıl, kum, silt, moloz, yanmış ahşap, kemik, cam, kireç, tuğla ve kiremit kırıkları, horasan harcı atıkları v.s. den oluşmaktadır. Ayrıca bazı yerlerde bu dolgu içerisinde büyük boyutta sütun gibi mimari parçalar ve yapı artıkları da mevcuttur.

Metro sondajlarından, suni dolgu kalınlıklarının, Yenikapı civarında 8 – 11 m, Kadırga' da 6 – 7 m, Adalet Sarayı arazisinde 5 – 8 m, Beyazıt' ta 4 – 11 m, Eminönü Vakıf İşhanı temellerinde 27.5 m olduğu tespit edilmiştir.[2]

Suni dolgular, nisbeten gevşek ve heterojen karakterde olduklarından temel inşaatlarında, sık tabakalar halinde mevcut olmaları durumunda uzaklaştırılmalıdır.

3.1.1.2. Kil ve kum tabakaları

Sarmasien' e ait bu tabakalar surlar içinde Eğrikapı – Ahırkapı dalgalı hattının, güneybatı kesiminde bulunur. Yeşil kil – marn, kum – çakıl, kalkerler münavebeli olarak yer alırlar. Sultanahmet' te 6-7 m kalınlığındaki bu tabakalar Yedikule civarında 100-150 m civarındadır. Bu bölümde Sarmasin'e ait bu tabakalar yeşil kil ve kum çakıl olmak üzere iki başlık altında açıklanacaktır.

Yeşil Kil

İstanbul' un gerek Suriçinin bir kısmını, gerekse Çekmece gölüne kadar olan araziye kaplarlar. Yeşil, sarı killer aşırı konsolide olmuş yüksek plastiseli, fisürlü ve serttirler. Avcılar sahasındaki yeşil kilin likit limiti $W_L = \% 70$, plastik limiti $W_p = \% 45$ ve tabii su muhtevası genellikle plastik limitin üstünde fakat bu limite yakındır.

Aşırı konsolide olmuş yeşil killeri taşıma gücü ve oturma yönünden bir problem arzetmezler. Ancak bu tür zeminlerde dengeyi bozabilecek bir kazının veya dolgunun yapılması, geniş bir zemin kütleğinde fisürlerin açılmasına, açılan yerlere su hücum edip zeminin yumuşayarak, kayma direncinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu da şev stabilitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

İstanbul' un Çekmece gölüne kadar olan yeni yerleşim sahalarında şev stabilitesi problemleriyle sık sık karşılaşmaktadır. Yeşil killerde artık kayma mukavemet açısı; dilim metodu için $\phi_r = 20^\circ$, basitleştirilmiş Bishop yöntemi ile yapılacak analizlerde $\phi_r = 19^\circ$ olarak tespit edilmiştir.

Yeşil killeri ilgili yapılan bir çalışmada, numuneler Fatih Camii yanında 18 m ve Topkapı' dan 4 m derinlikten alınmıştır. Bu numunelere ait özellikler ; dane birim hacim ağırlığı $\gamma_s = 2.76 \text{ gr/cm}^3$, likit limiti $W_L = \%109$, plastik limiti $W_p = \% 40$, plastisite indisi $I_p = \% 69$ olarak bulunmuştur. Dinamik yüklerin efektif kayma direnci parametrelerini etkilemediği tespit edilmiştir. Aşırı konsolide yeşil killeri şev stabilitesi yönünden problem arzetmektedir. Ancak taşıma gücü ve oturma yönünden güvenilir bir temel zeminidir.

Kum – Çakıl

Kumlar aşırı konsolide yeşil kil ve kalkerlerle münavebeli olarak bulunmaktadır. Kumlar aynı kalınlıkta değildir, şehir içindeki temel hafriyatlarında 3-4 m kalınlıkta görülmüştür.

Avcılar sahasında rastlanılan kum tabakaları ve mercekleri, sıkı ve yüksek mukavemetlidir. Sarı renkli bol mikalıdır. Kalınlıkları 5-15 m arasında değişmekte olup, kil, marn mercekleri de ihtiva etmektedirler. Kum daneleri 0.1-0.4 mm. boyutundadır. Kumun kayma mukavemeti açısı $\phi = 26^\circ - 28^\circ$ olarak bulunmuştur. Küçükçekmece gölünün batısında Sarmasien' e ait kum tabakaları 5-15 m kalınlıkta olup, bu bölgedeki kum ince ve üniformdur. Kumun dane birim hacim ağırlığı $\gamma_s = 2.7 \text{ gr/cm}^3$, tabii birim hacim ağırlığı $\gamma_n = 1.90 \text{ gr / cm}^3$ tür. Kayma mukavemeti açısı $\phi = 40^\circ$ dir. Kumda S.P.T. değerleri $N > 50$ ' nin üzerindedir. [2]

İstanbul' da Suriçi ve Çekmece gölü sahalarında rastlanılan, kum ince ve üniform ve sıktır. Sarmasien kumun temel zemini olarak taşıma gücü yüksektir.

3.1.1.3. Grovak ve killiştirler

Paleozik temel grovak ve killiştirler, İstanbul' un Suriçi kısmında Ahırkapı-Eğrikapı hattının güneybatı kısmında kalınlığı Yedikule'ye doğru artan sarmasien tabakalarının altındadır. Bu hattın kuzeydoğu kısmında kalınlığı az suni dolgu altında olup, şehir içinde yer yer aflormanlara rastlanır.

Grovak killiştirler, muhtelif istikametlerde mevzii faylar ihtiva ederler. Yüzeyde ayrılmış ve çatlaklıdır. Ayrılan kısımlar sarı ve kahverenkli. Derinlerde ise mavi renkli kompakt tabakalar mevcuttur.

Grovak ve killiştirlerde ayrılmış zonun kalınlığı homojen olmayıp yer yer değişmekte, Galatasaray - Harbiye arasında 15 – 18 m , Osmanbey - Şişli civarında 6-7 m , Mecidiyeköy - Levent taraflarında 2.5 – 3 m dir. Grovak ve killiştirlerin mühendislik özellikleri, şehrin muhtelif yerlerinden alınan numunelerle çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir.

Şehir içinde ayrılmış ve bozulmuş grovak killiştir numunelerde serbest basınç dirençleri 150 – 200 kg/cm², kompakt numunede 1650 kg/cm²'dir. Taksim-Sheraton oteli temellerinde serbet basınç direnci değerleri 174-230 kg/cm²' dir. Bir sondajda ise 915 kg/cm² elde edilmiştir.

Harbiye-Orduevi temellerinden alınan numuneler laboratuarda değerlendirilmiştir. Basınç dirençleri muhtelif derinlikler için 500 – 1540 kg/cm²' dir. Kayma direnci olarak (3.1) denklemi verilmiştir.

$$\tau_f = 100 \text{ (kg/cm}^2\text{)} + \sigma \cdot \text{tg } 50^\circ \quad (3.1)$$

Grovak ve killiştirlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan bir çalışmada, laboratuarda fiziksel özellikler Taksim, Zeyrek, Zincirlikuyu'dan alınan numunelerde belirlenmiştir (Tablo 3.1). Taşkılla binası altındaki numunelerin serbest basınç dirençleri 36 – 113 kg/cm²' dir. Kayma direnci ifadesi olarak denklem (3.2) bulunmuştur. Arazide yapılan plaka yükleme deneylerinde de kırılma gerilmesi olarak 25 – 35 kg/cm²' lik gerilme aralığı verilmiştir.

$$\tau_f = 15 \text{ (kg/cm}^2\text{)} + \sigma \text{tg } 45^\circ \quad (3.2)$$

Tablo 3.1 Grovak - Killişist Numunelerinin Fiziksel Özellikleri

	Zeyrek Altgeçitİnş.	İ.T.Ü Bahçesi DeneyÇukuru	Taksim SheratonOtel	Zincirlikuyu İşhanı İnşaatı
Numunenin alındığı derinlik (m)	4 - 6	0 – 2	8 – 10	6 - 10
Tabii birim hacim ağırlığı γ_n (gr / cm ³)	2.36-2.46	2.38-2.54	2.46-2.56	2.42-2.54
Dane birim hacim ağırlığı γ_s (gr / cm ³)	2.74	2.78-2.82	2.80-2.82	2.78-2.80
Su muhtevası (%W)	7.3-8.3	2.36-8.05	1.83-5.51	5.92-7.23
Porozite (n)	0.175-0.185	0.142-0.17	0.136-0.14	0.142-0.195
Boşluk oranı (e)	0.212-0.227	0.166-0.205	0.156-0.163	0.170-0.242
Kuru birim hacim ağırlığı γ_k (gr / cm ³)	2.23-2.26	2.32-2.40	2.41-2.45	2.26-2.40
Doygunluk derecesi S (%)	98.5-100.0	32.5-100.0	32.0-82.2	83.5-97.6

Süleymaniye Camii etüdü için yapılan sondajlarda 10m derinden alınan numunelerin serbest basınç dirençleri 200 – 400 kg/cm²arasındadır. Grovak killişist üstte çatlaklı ve ayrışmıştır. Ayasofya’da 1937 – 1941 yıllarında temellerini de kapsayan bir inceleme yapılmıştır. Ana kubbeyi taşıyan grovak ve killişistlere oturan dört fil ayağı altındaki gerilme 10.5 kg/cm² dir. Fil ayağı temellerinin altındaki grovak ve killiçistlerin bu mertebedeki bir gerilme ile zamanla krip etkisiyle oturduğu belirlenmiştir.

Paleozik temeli teşkil eden grovak ve killiştirlerin üst kısımları çatlaklar, fisür ve ayrışma nedeniyle kompakt kaya ile mukayese edilemeyecek düzeyde düşük mukavemetler gösterirler. Grovak ve killiştirlerin çatlak düzlemlerinde ayrışma sonucu killer oluşmakta ve su tesiriyle de bu kesitlerde kaya mukavemeti düşmektedir. Bu zeminlerde açılmış temel, kanal çukuru ve şevlerde kısmi blok kaymalarına İstanbul’ da sık olarak rastlanmaktadır.

Laboratuar deneyleri masif numunelerden seçilerek yapıldığından, arazi şartlarını tam olarak temsil etmeyebilir. Çatlaklı kayaların taşıma gücünün tayininde arazi deneyleri önemlidir. Grovak ve killiştirler üzerine inşa edilecek ve oturmalara hassas yapılarda müsaade edilebilir zemin gerilmesi, krip özelliği de göz önüne alınarak tespit edilmelidir. [2]

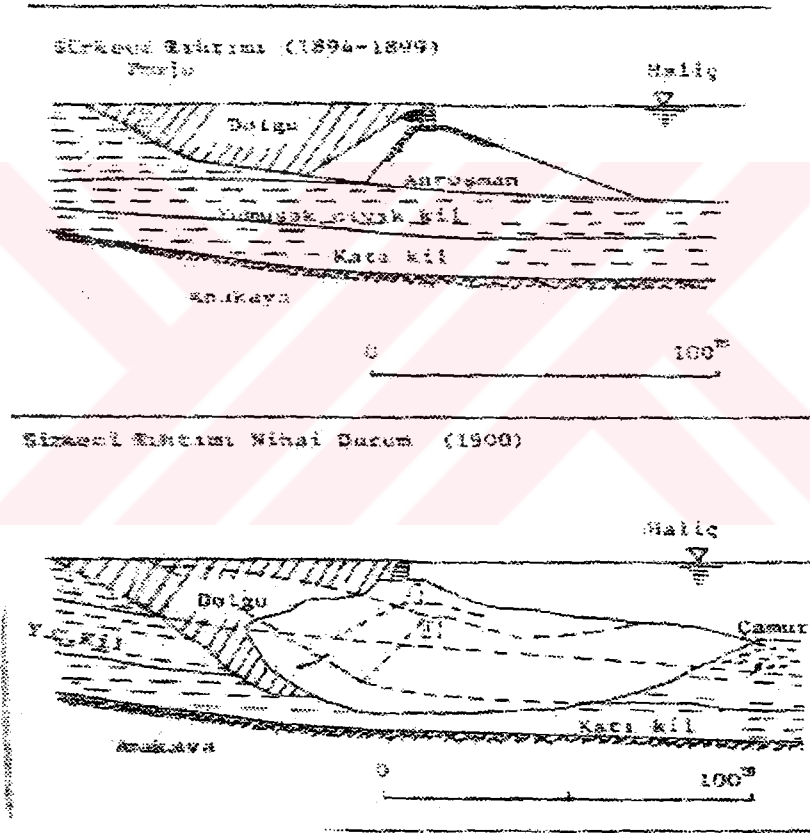
3.1.2. Haliç kıyılarının geoteknik özellikleri

Haliç tabii olarak, Alibey ve Kağıthane dereleri ve Haliç’ e akan diğer derelerin getirdikleri alüvyonlar ile, suni olarak da şehir artıklarının kıyılara dökülmesi ile dolmaktadır. 18. ve 19. yy ait belgelerden dereden gelen kumların Eyüp ve civarını doldurduğunu ve Kağıthane ile Söğütçe boğazlarının sığlaştığından her sene temizlenmesinin öngörüldüğünü öğrenmekteyiz. Eminönü’de bugünkü kıyıdan 150 m, Atatürk Bulvarında 750 m, Sirkeci meydanında 250 m içerde sondajlarda çıkan kavrıllı killi kumlar, Haliç kıyısının zamanla dolduğunu göstermektedir.

Sarayburnu-Ayvansaray arasındaki Haliç surları hemen deniz kenarında yapılmıştı. 13. yy. başlarında dahi surlar önünde çok ince bir kıyı şeridi bulunmaktaydı. Aradan geçen 800 yıla yakın bir zamandır, surlarla deniz arası doldurulmuş, yapıla inşa edilmiş, yıkılmış tekrar yapılmıştır. 19. yy’ a ait bir belgede Yemiş ve Limon bölgesinde denizin çöple doldurulduğundan bahsedilmektedir. Bugün Sarayburnu-Ayvansaray arasında surlar ile deniz arasında 50-200m genişliğinde bir kıyı şeridi mevcuttur. Bu kıyı şeridi Beyoğlu yakasında Galata surları ile kıyı arasında 50-100m genişliğindedir. Haliç sahillerinde birkaç metreden 40 m kalınlığa kadar suni dolgu, bunun altında yine birkaç metreden 20-30 m kalınlığa kadar değişen tortul yığınlar sahil zeminini oluşturmaktadır. Suni dolgu homojen bir kalınlık arzetmez, fakat sahilden uzaklaştıkça kalınlık azalır. Suni dolgu ve tortul tabakaların altına denize doğru eğimli anakaya grovak ve killiştir yer almaktadır. [2]

3.1.2.1. Haliç kıyılarındaki temel ve stabilite sorunları

Haliç kıyı zeminini oluşturan, gevşek suni dolgular, yumuşak tortul tabakalar ve denize doğru eğimli anakaya, bu kıyılarda oturma ve stabilite sorunları ortaya çıkarmaktadır. Bu kıyılarda metre mertebesine varan düşey ve yatay hareketler, göçmeler uzun yıllardan beri bilinen ve gözlenen olaylardır. 1894-1900 yıllarında Sirkeci rıhtımları inşaatında, yumuşak cıvık kil tabakasına 2,0-2,5 kg/cm² lik basınç ileten anroşman ve üzerine rıhtım duvarı yapılmıştır. Anroşman kile gömülmüş ve oluşan kaymalarda dikey ve yatayda 10 m yi geçen hareketler olmuştur. Rıhtımın 1900 yılındaki oturması 15 cm/ sene, 1907 yılındaki oturması 1,7 cm/ sene ölçülmüştür (şekil 3.3).



Şekil 3.3 Sirkeci rıhtımında oluşan oturma ve kaymalar

Silahtarağa termik santralinde 1915-1955 yıllarında inşa edilmiş ve zemine yaklaşık 0,5 kg/cm² lik gerilme aktaran yapılarda 0,08-1,00m lik oturmalar meydana gelmiştir. Unkapanı'nda 1810 yılında inşa edilmiş kısa ahşap kazıklara oturan tarihi çeşme 1,80m den fazla oturmuştur. Hasköy' de Şark Değirmenlerinin kutu temelleri yaklaşık zemine 1kg/cm² lik basınç iletmektedir. Oturma göz önüne alınarak $i = 0.0053$ lük ters eğimle inşa edilmiştir. Bugün eğim kapanmış ve oturmalar devam

etmektedir. Haliç tersanesinde kıyıda 480 m uzunluğundaki rıhtımların %7,3 ü tamamen, % 52,7 si kısmen hasar görmüştür. Rıhtımların maksimum düşey çökmesi 0,40 m dir. Haliç surlarının, karasurları ile birleştiği Ayvansaray bölgesinde kıyıdan 200 m içeriye kadar olan surlar ve kuleler oturmuş ve yana yatmıştır.. Kıyıya en yakın olan kule Haliç' e doğru kaykılmış, daha sonra yapılan tamirde düşey duvar örgüsü ile esas kule bariz şekilde fark edilmektedir. Ayvansaray surlarının, 1932 yılında yapılmış rölevelerinden , oturmalar tesbit edilebilmektedir. Yemiş bölgesinde 1962 de Ticaret Sarayı temelleri radye olarak inşa edilmiştir. Radye 15-25 m derinliğe kadar kum kazıklarla sıkıştırılmış suni dolguya oturtulmuştur. Kıyıda deniz dibindeki çamur konsolide edilmiştir. Yapıda bugüne kadar bir hareket görülmemiştir.

Haliç kıyılarında son elli yılda uygulanmış temel sistemleri ya çoğunlukla ana kayaya kadar oturan kazıklı sistemlerdir, ya da sıkıştırılmış suni dolgu üzerinde 0,5 kg/cm² mertebesinde gerilme aktaran yüzeysel temeller olmaktadır. Suni dolguların sıkıştırılıp, yapının düşük gerilme aktaran yüzeysel temele oturtulmasında, bir miktar oturmayı göz önüne almak gerekmektedir. Unkapanı - Galata köprüleri arasında Haliç ve Galata surları önündeki kıyılarda, 100-150 yıl önce yapılmış yapılar oturmuş kaykılmış ve birbirlerine yaslanmışlardır.

Meydana gelen oturmaların bir nedeni de, yapıların normalden fazla yüklenmeleridir. Kaykılmalardan doğan mahzurları gidermek için çoğunlukla uygulanan yöntem, üst katların yıkılması ve yapıyı hafifletme şeklinde olmaktadır. Haliç kıyılarındaki oturmaların sebepleri; kıyı zeminini oluşturan yumuşak kil tabakalarının konsolidasyonu, krip hareketi, gevşek suni dolgunun sıkışması ve suni dolgu içerisinde mevcut organik maddelerin ayrışmasıdır. Haliç' te deniz kotunun altı aylık bir zaman aralığında maksimum 0.44 m lik bir seviye farkı göstermektedir ve bu nedenle de suni dolgu içerisinde ki organik maddelerin ayrışması hızlanmaktadır.

Bitişik nizam halinde inşa edilmiş, yüzeysel temelli eski yapılardan ortadaki bir yapının yıkılması komşu yapılarda da hasara sebep olmaktadır. Bitişik yapılar bir blok olarak davranmaktadır. Ayrıca ortadaki bir yapının temel takviyesi komşu yapıları da etkilemektedir. Bu nedenle Haliç' te Yemiş bölgesinde olduğu gibi 100-150 yıllık veya daha eski yapı bloklarının bulunduğu sahil kesimlerinde, temel takviyelerinde yapılar tek tek değil, yapı bloğunun tümü ele alınmalıdır. [2]

3.2. İstanbul' daki Tarihi Yapıların Temel Sistemlerinden Örnekler

İstanbul' da özellikle büyük bir kısmı sur içi kısmında inşa edilmiş korunması gereken anıt niteliğinde birçok tarihi yapı vardır. Bu bölümde İstanbul' da inşa edilmiş bazı yapıların temel sistemleri ile ilgili elde olunan bilgiler verilmektedir. (Şekil 3.4)

3.2.1. Süleymaniye Camii

Süleymaniye Camii İstanbul' un Haliç' e hakim yedi tepesinden biri üzerinde, 1550-1557 yılları arasında inşa edilmiştir . Mimarı Sinan' dır.

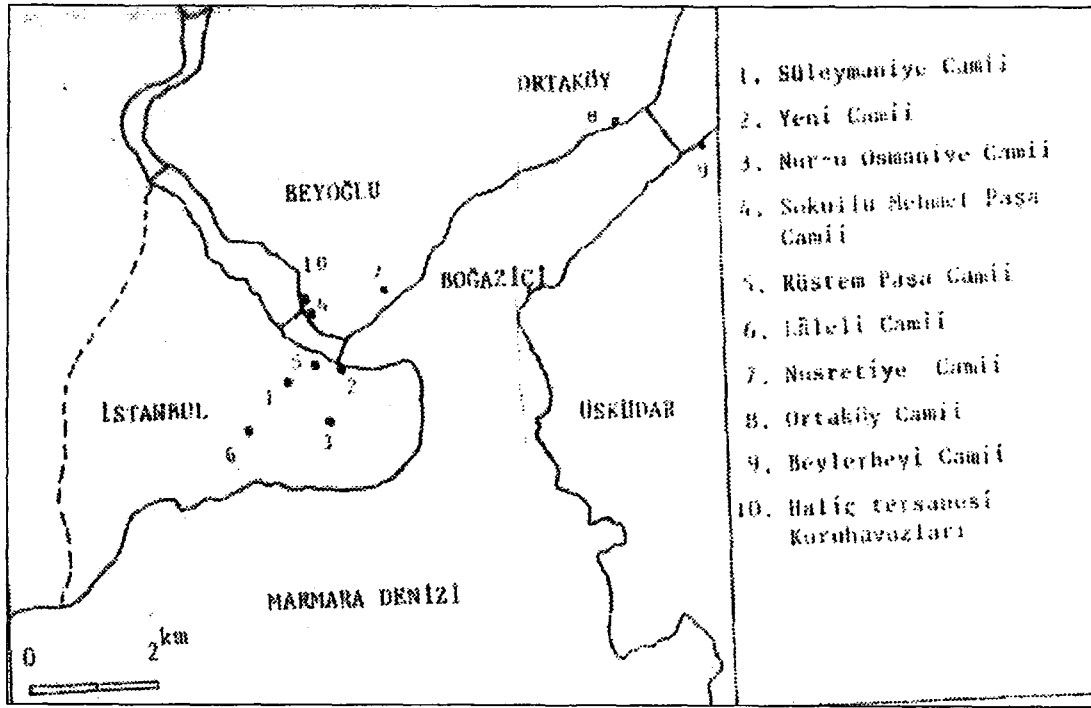
Süleymaniye Camii' nin bulunduğu yerin zeminini incelemek için 1975 yılında altı adet sondaj yapılmıştır. Bu sondajlardan dört tanesi bahçe içinde yapının yakınında, iki tanesi bahçe dışındadır. Caminin yakınında yapılan sondajlarda anakaya grovak ve killiçistinin bahçe seviyesinden 4-5 m derinlikte olduğu tespit edilmiştir. Grovak ve killiçistlerin üst yüzü killi ve ayrıışmıştır. Su seviyesine rastlanmamıştır. Kaya tabakasının üzerinde suni dolgu mevcuttur (Şekil 3.5.).

1957 yılında yapının restorasyonu sırasında, yapı dış duvarları dibinde beş yerde muayene kuyusu açılmış ve temeller ait kısmi rölemler çizilmiştir. Bu rölemler İstanbul Vakıflar Başmüdürlüğü arşivindedir. (Şekil 3.6)

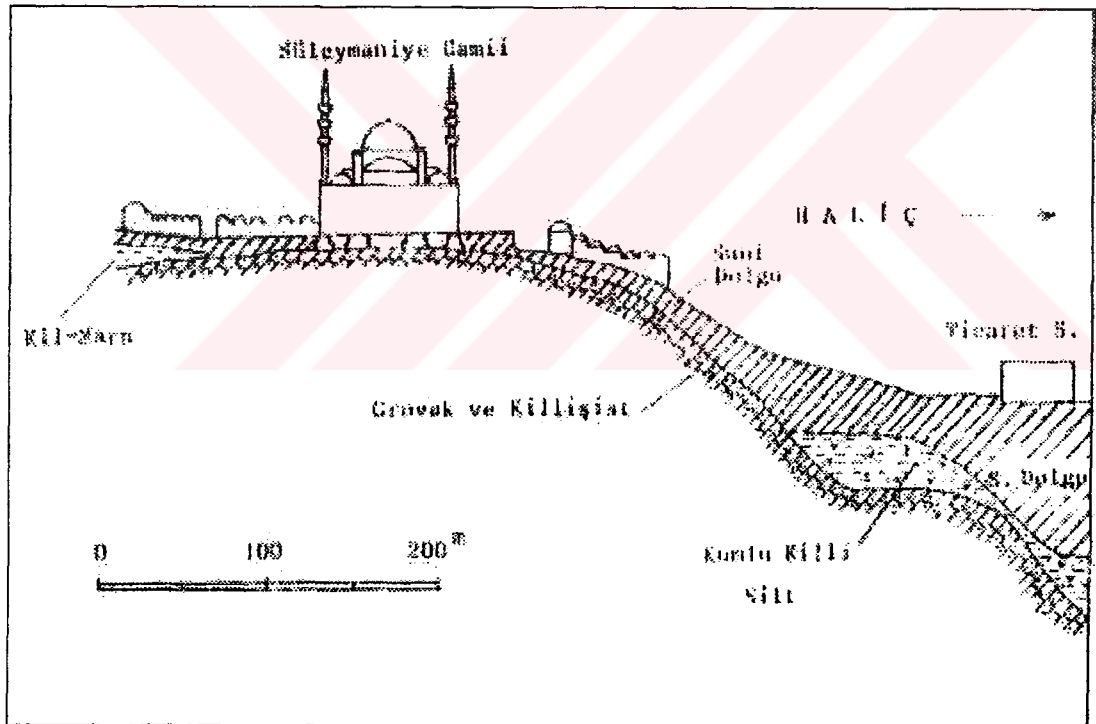
Sondaj neticeleri ve kısmi temel rölemleri karşılaştırılarak, Süleymaniye Camii' nin grovak ve killiçistlere oturduğu tesbit edilmiştir. (Şekil 3.7)

Kısmi rölemlere göre, temeller genişleyerek anpatman şeklinde inmekte olup 0.20 m kalınlığında horasan harç içersinde meşe ahşap ızgaralar da mevcuttur. Taşıyıcı niteliği olan cami beden duvarı ve minare temellerinde anpatmanlar geniş, avlu temellerinde ise dardır.

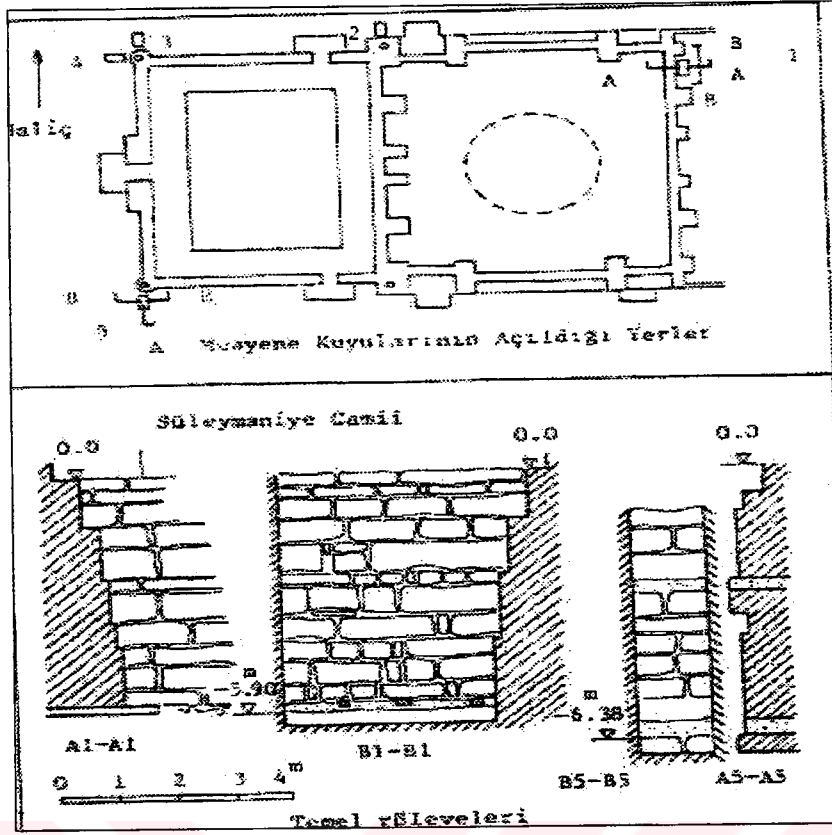
Temel rölemlerinden faydalanılarak yaklaşık hesap yapıldığında, mütemadi beden duvarı temellerinden, ana kayaya aktarılan gerilme 4.37 kg/cm^2 olmaktadır. Ana kubbeyi taşıyan dört adet fil ayağı temellerinin münferit olduğu ve aynı mertebede gerilmeyi zemine aktardığı sanılmaktadır. [2]



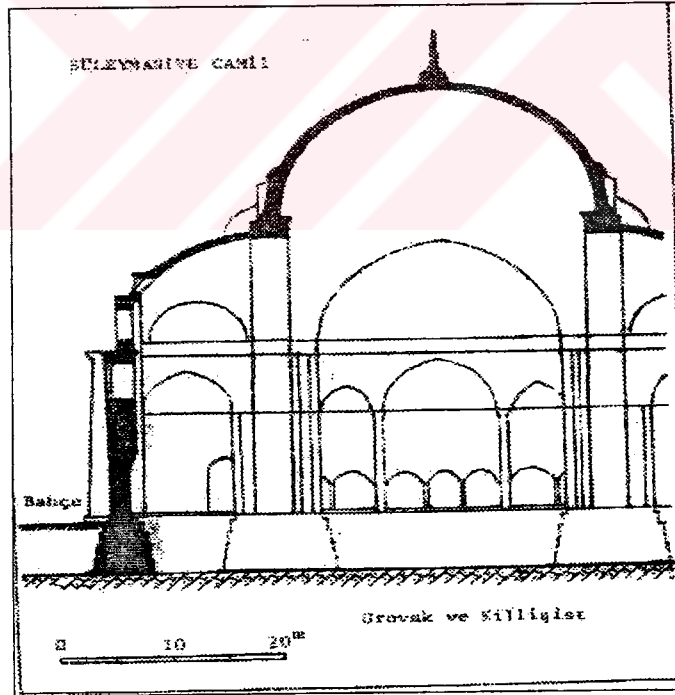
Şekil 3.4 İstanbul haritası



Şekil 3.5 Süleymaniye Camii jeolojik kesiti



Şekil 3.6 Süleymaniye Camii temel röleveleri



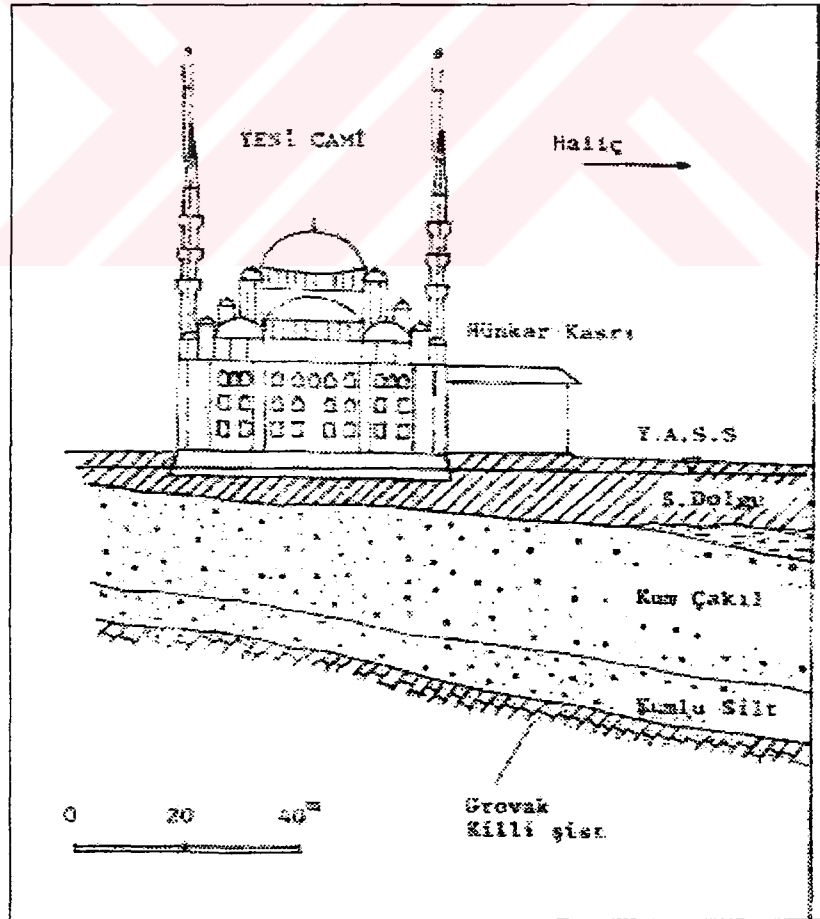
Şekil 3.7 Süleymaniye Camii temelleri

3.2.2. Yeni Camii

Yeni Camii Haliç kıyısında sur hattının hemen gerisinde bulunmakta ve kıyı ile arsında Eminönü yer almaktadır. Yeni Cami temel inşaatı 1597 – 1598 yıllarında Mimar Davud Ağa tarafından yapılmıştır. 1603 yılında alt yapı tamamlandıktan sonra inşaat ara verilmiş ve yapı 1661 – 1664 yıllarında tamamlanmıştır.

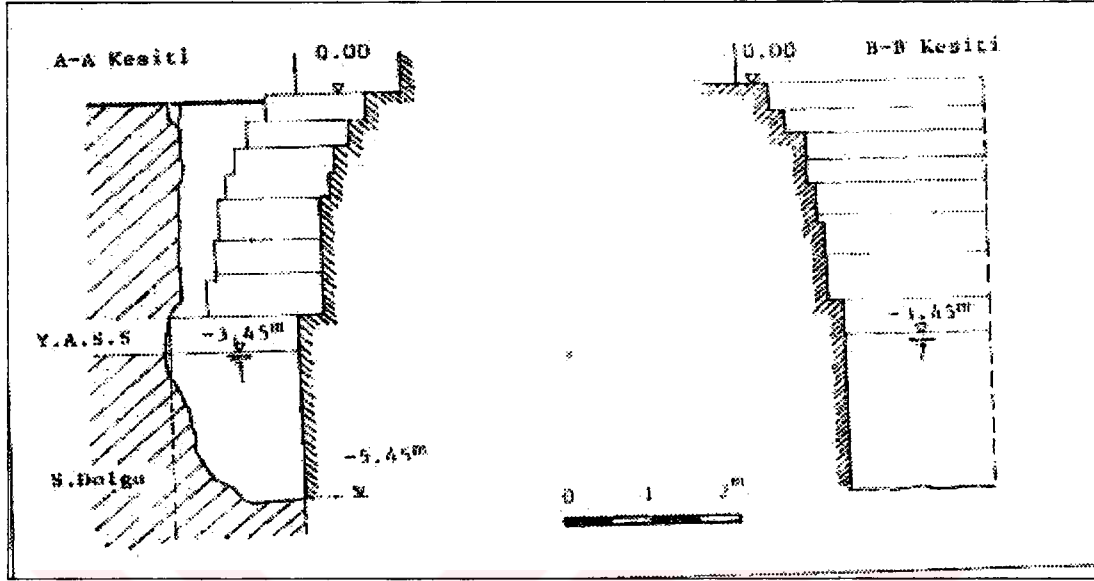
Yeni Camii temel inşaatı ile ilgili tarihi bilgilerden kısa olmakla birlikte, en açığı Selaniki tarihinde yer alır. Deniz kenarında ağır bina yapılacağından, zemin kazıldıkça çıkan suyun tulumbalarla boşaltılması güçlükler arzemiştir.

Temel incelenmesi için 1977 yılında caminin bahçesinde üç adet sondaj yaptırılmış ve beden duvarı dibinde de bir muayene kuyusu açılmıştır. Sondajlara göre, bahçe seviyesinden itibaren 10 m kalınlıkta suni dolgu altında ortalama 20 m kalınlığındaki kum çakıl tabakası bulunmaktadır. Denize doğru eğimli anakaya grovak killi silt ile kum çakıl tabakası arasında, ortalama 8 m kalınlığında kumlu silt tabakası yer almaktadır. (Şekil 3.8)



Şekil 3.8 Yeni Camii jeolojik kesiti

Sondajlarda ve muayene kuyusunda rastlanılan yeraltı su seviyesi bahçeden yaklaşık 3.5 m aşağıdadır. Muayene kuyusu bahçe seviyesinden 5.50 m derinliğe kadar açılmıştır. Temeller anpaşman şeklinde genişlemektedir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Yeni Camii temelleri

16.yy' da gevşek dolgu zeminde, mevcut aletlerle iki metreden daha fazla su seviyesinin indirilerek temellerin inşa edilmesi temel inşaatı yönünden önemlidir.

Yeni Camii temellerinin ahşap kazık çakılıp radye üzerine oturtulmuş olabileceği A. Saim Ülgen tarafından ileri sürülmüştür. Onaltıncı yüzyıl teknolojisi, Nur-u Osmaniye Camii inşaatı ile ilgili belgelere ve yerindeki incelemeye göre Yeni Camii' nin temel sistemi radye olabilir. Bu durumda yapının secde kısmı altındaki ortalama üniform basınç 2.2 kg/cm^2 mertebesindedir.

Haliç kıyılarında inşa edilmiş ağır kargir yapıların oturması, yana kaykılması bilinen olaylardandır. Yeni Camii minaresi 1953 yılında oturmalarından dolayı tehlikeli bir hal arz etmiştir. Gevşek suni dolgu, sıkışabilir kumlu silt ve halice eğimli anakaya oturmaının sebepleridir. Yapının muhtelif yerlerinde yapılan ölçümlere göre, caminin kuzey tarafı güney tarafına nazaran daha çok oturmuştur. Bu yönde maksimum % 5 lik bir meyil ölçülmüştür.

Yeni Camii' nin 1597-1603 yılları arasında temellerinin inşa edilip yapı bir miktar yükseldikten sonra, inşaat 58 yıl durmuştur. 1661 yılında tekrar başlayıp 3 yılda tamamlanmıştır. Yapının fasılalı inşaatı, yapı ağırlığından doğan oturmaların önemli bir kısmının inşaat süresince tamamlanmasını sağlamıştır. [2]

3.2.3. Nur-u Osmaniye camii

Nur-u Osmaniye Camii İstanbul' un suriçi kısmında 1748-1755 yılları arasında inşa edilmiştir.

Caminin bulunduğu yerin zemini, 8m kalınlığında suni dolgu altında kum-çakıl tabakalı yeşil kil-marn, 20.50 metrede ayrıışmış grovak ve 22 metrede anakaya grovak ve killiışistlerden oluşmaktadır.

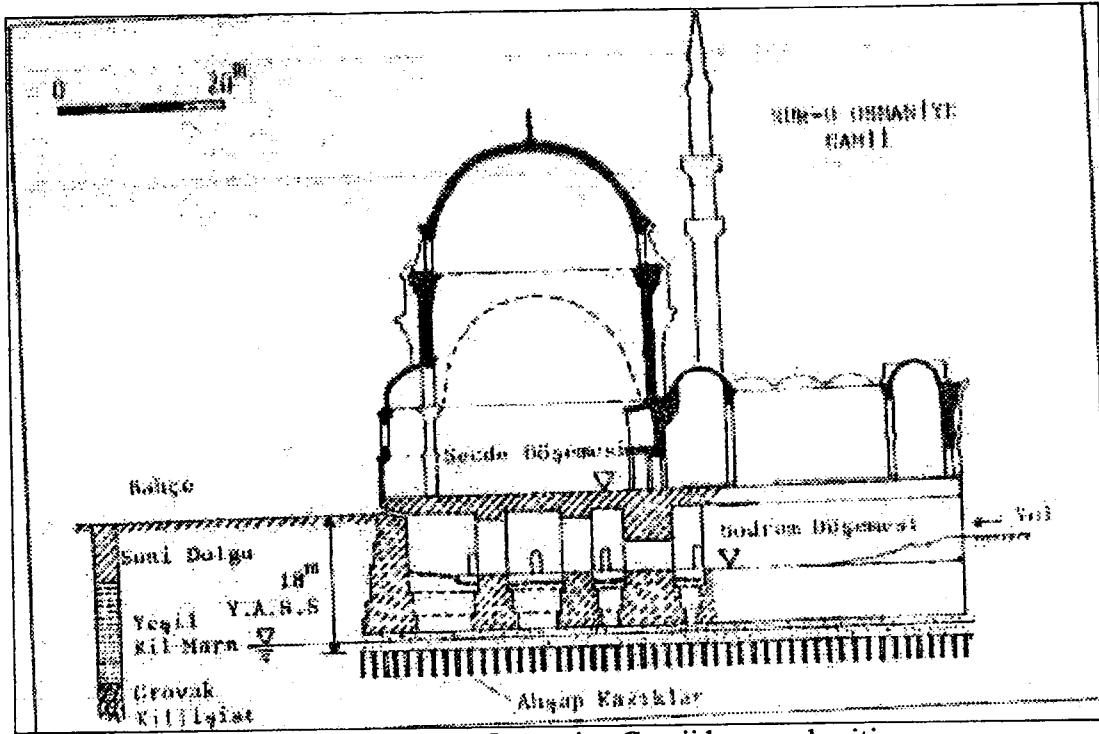
Yapının temel inşaatına ait bilgileri Osmanlı Tarih Encümeninin bir yayınından öğreniyoruz. “Camii arsasının orta yerine kılavuz kuyu kazılarak zemin şartları hakkında bilgi edinilmiştir. İnşaat sahası 16.5 m derinliğinde harf edilince, yeraltı su seviyesine rastlanılmış ve su seviyesinden itibaren 1.5 m daha kazılmış, birkaç yere tulumbacı mikrasları kurulmuştur. Bütün inşaat sahasına uçları demirli 2.63 m uzunluğunda, ahşap kazıklar çakılmıştır. Bu kazıkların üzerine moloz, horosan kireçten oluşan bir rıhtım yapılmıştır. Bu rıhtımın üzerine ayaklar ve ayakların aralarına da sarnıç gibi odalar inşa edilmiştir.”

Zemin profilinden ve verilen ölçülerden anlaşıldığına göre suni dolgu, kil, marn tabakaları ve kum çakıl bantları tamamen kazıldıktan sonra çakılan kazıkların uçları ana kayaya oturtulmuştur (Şekil 3.10). Kazık çakılmasında mikras adı verilen şahmerdanlar kullanılmıştır.

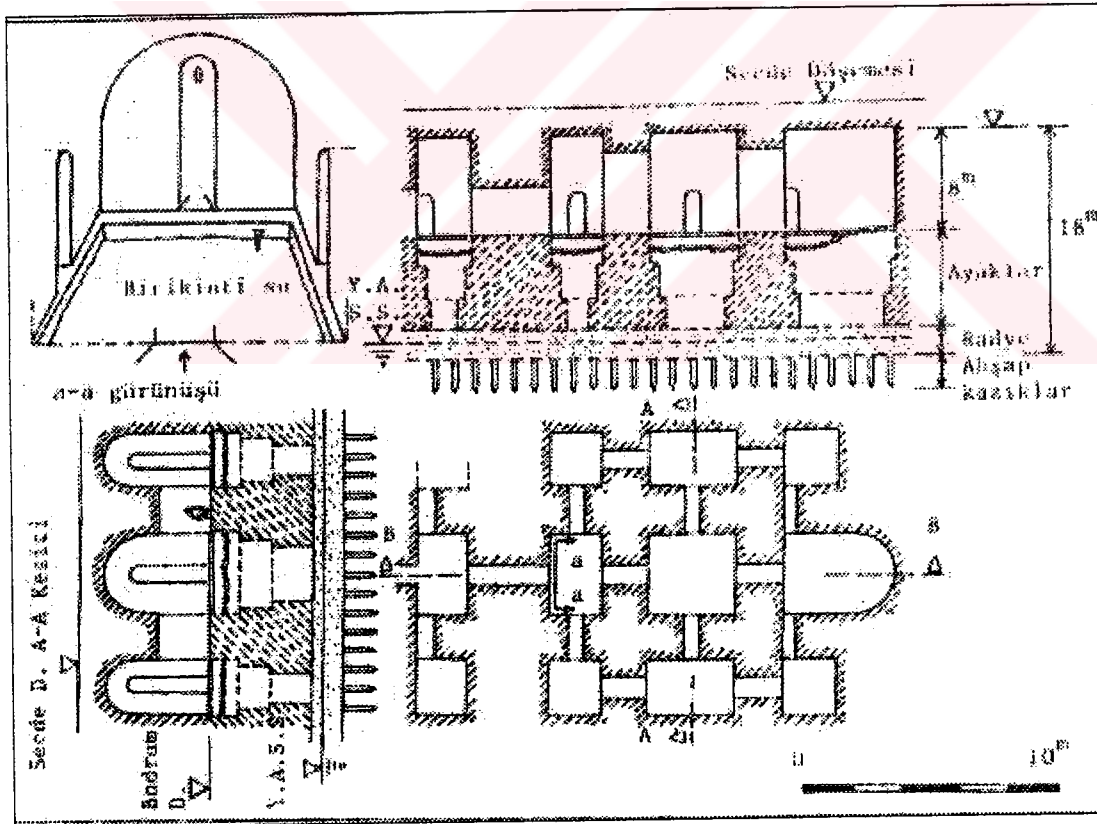
Ahşap kazıklar daima su altında kalırsa pratik olarak ömürleri sonsuz olduğundan, kazıklar yer altı su seviyesinin altında bırakılmıştır. Kazıkların üstüne yapılmış olan rıhtım bugünkü anlamda radyedir. Radye üzerine ayaklar ve daha sonra da tonozlu odalar inşa edilerek bahçe seviyesine çıkılmıştır. Caminin bodrumunda secde döşemesi altında oniki adet tonozlu oda bulunmaktadır (Şekil 3.11) .

Nur-u Osmaniye Camii ve yakınındaki bazı yapıların depremdeki davranışları

Nur-u Osmaniye Camii'nin hemen yanındaki Kapalıçarşı (Bedesten), Bizans zamanında da çarşı olarak kullanılıyordu. Fatih ve daha sonraki devirlerde genişletilmiş ve zaman zaman ilaveler yapılmıştır. Çeşitli yıllarda meydana gelen depremlerde, 1766, 1802, 1894' de Kapalıçarşı hasar görmüştür. 1894 yılındaki depremde çarşı ağır hasar görerek Bitpazarı, Yağlıkçılar, Çadircılar kısımları yıkılmıştır. Bu depremten sonra çarşıda tamirat iki yıl sürmüştür.



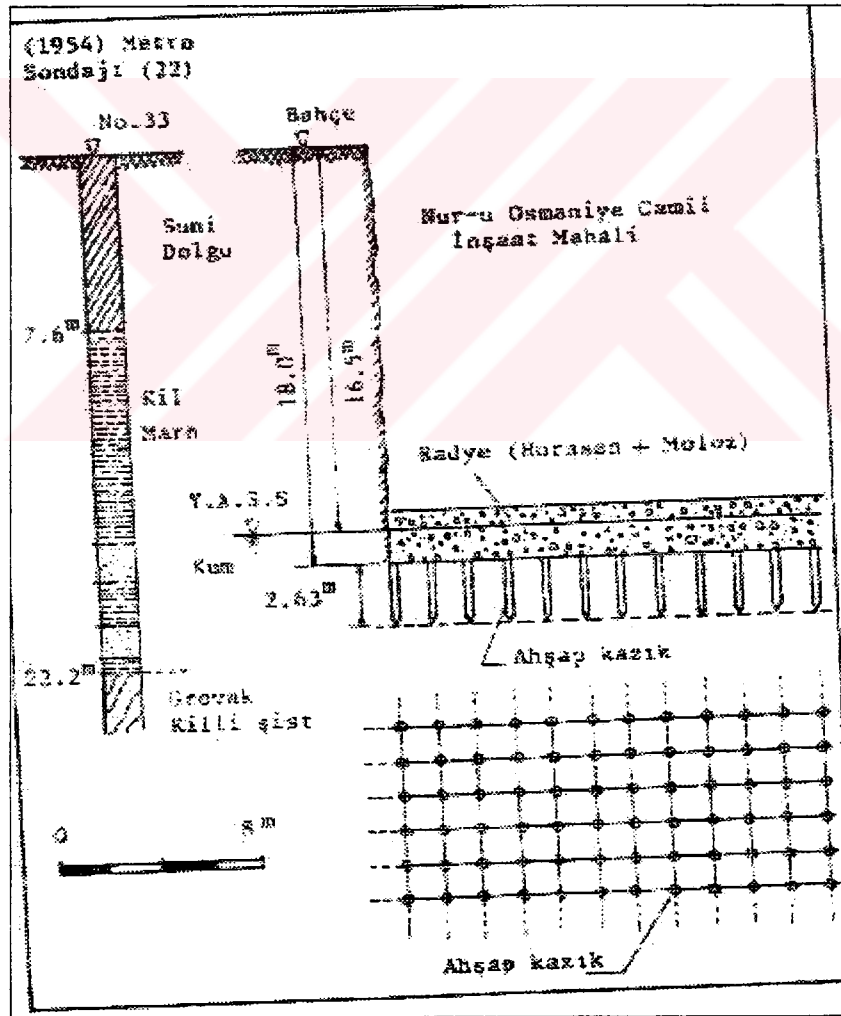
Şekil 3.10 Nur –u Osmaniye Camii boyuna kesiti



Şekil 3.11 Nur –u Osmaniye Camii bodrum planı ve kesitleri

Metro sondajlarından öğrenildiğine göre, Nur-u Osmaniye ile Kapalıçarşı ve Beyazıt Camisinin, bulunduğu bölgede, suni dolgu altında, konsolide sarmasien teşekkülü kil ve marnlar yer almaktadır (Şekil 3.12). Beyazıt Camii çeşitli yıllardaki depremlerde hasara uğramıştır. 1509 yılındaki depremde camiinin kubbesi ve medresesi tamamen yıkılmış, 1754-1766 yıllarında da hasar görmüştür.

. Aynı bölgede inşa edilen Nur-u Osmaniye Camii temelleri belki de mevcut tecrübelerle göre, (Derin + Kazıklı + Radye) tipinde (Şekil 3.12) ve bina yüksekliğinin yarısı derinlikte inşa edilmiştir. Yapı inşasından sonra olan depremlerde, bugün için mevcut belgelere göre önemli bir hasara uğramamıştır.[3] Nur-u Osmaniye Camii'nin oldukça yakınındaki Sinan öncesi bir yapı olan Atik Ali Paşa Camii 17 Ağustos 1999 depreminde oldukça hasar görmüştür.



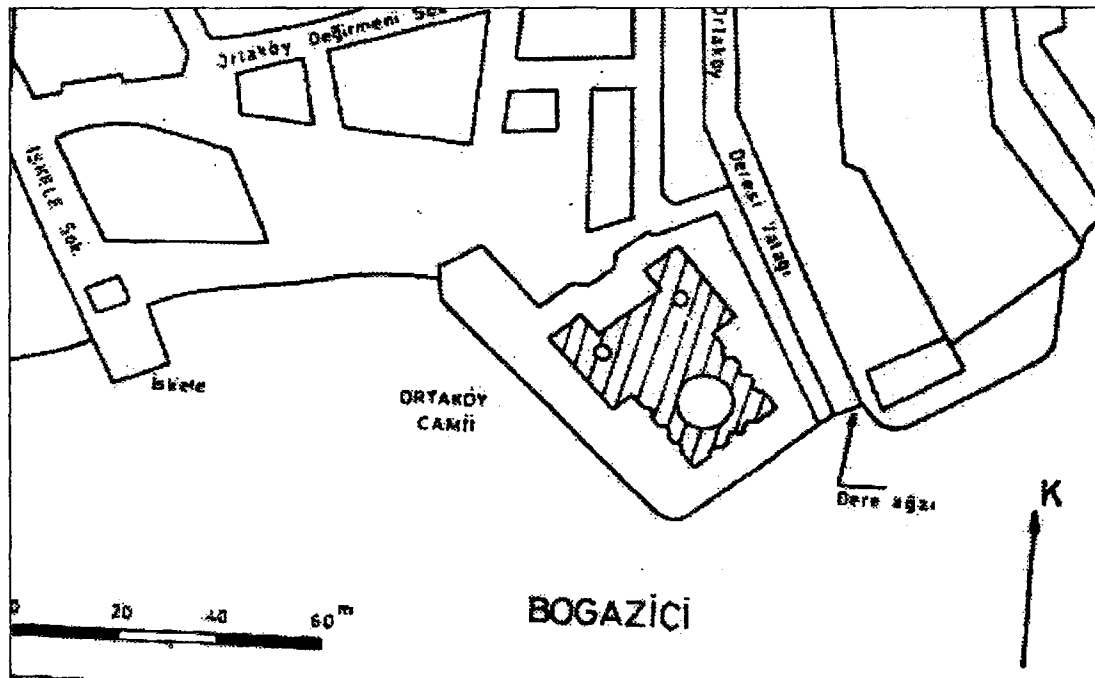
Şekil 3.12 Nur –u Osmaniye Camii temel sistemi

3.2.4. Ortaköy Camii

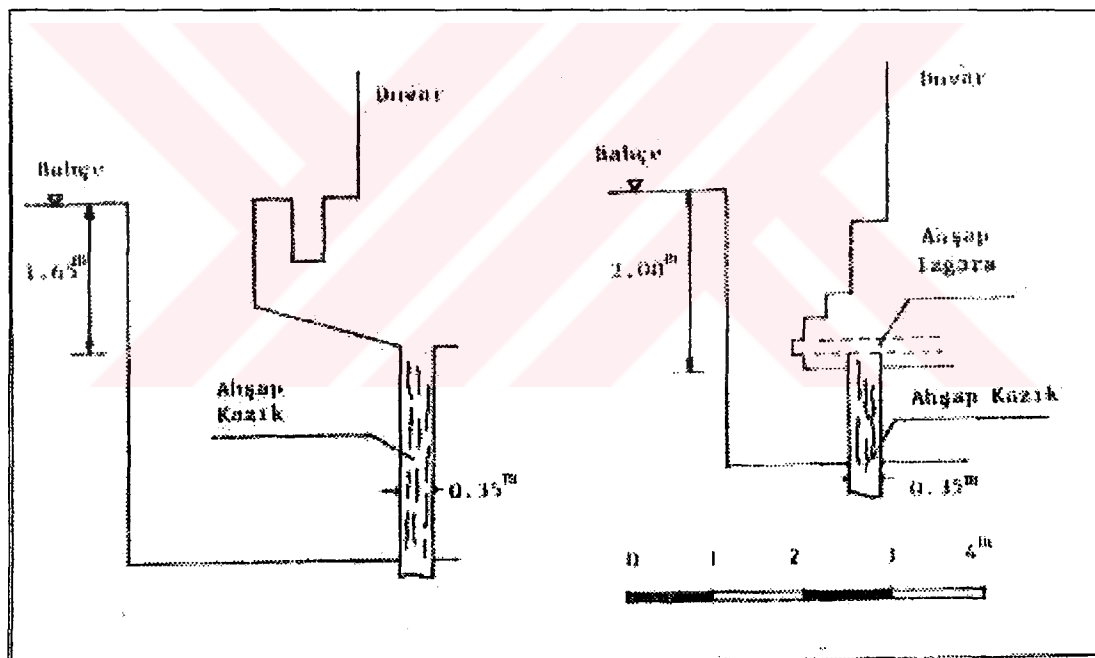
Ortaköy Camii, Ortaköy Deresi ile denizin birleştiği yerdedir (Şekil 3.13). Bugünkü camii, Sultan Abdülmecit tarafından 1854 yılında aynı yerde bulunan eski caminin yıktırılmasından sonra yaptırılmıştır.

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. 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. 1962 yılında rıhtımdaki çöküntüleri önleme amacıyla taş dolgu yapılmıştır.

Osmanlı döneminde, İstanbul’ da dolgu zemine boğaz kıyılarında suni dolgu veya alüvyal zeminler üzerine yapılmış kargir 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. Ortaköy Camii duvarları temellerini incelemek amacıyla açılmış muayene kuyularından anlaşıldığına göre temeller bahçe seviyesinden itibaren 2 metreden daha derine inmemektedir. Yapay dolgu zemine oturan temellerin altına 35 cm çaplı ahşap sıkıştırma kazıkları çakılmıştır ve kazıkların üzerinde de ahşap ızgara vardır (Şekil 3.14.). [4]



Şekil 3.13 Ortaköy Camii konum planı



Şekil 3.14 Ortaköy Camii temel kesitleri

3.2.5. Küçüksu Kasrı

Küçüksu Kasrı, Boğaziçi'nin Anadolu yakasında, Küçüksu çayırının 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, nisbeten 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 en meşhur ve ‘ Asya’ nın tatlı suları’ olarak tanınan mesiresi idi. Bir taraftan Göksu Deresi, Gölcük bahçeleri, Göksu Bendi’ ne kadar 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. Derede kayıklarla dolaşılır, dere boyunca da yayalar, atlılar ve arabalılar gezinirdi. Bugünkü Göksu çayırının yerinde bulunan hasbahçede 16. Yüzyılın sonunda 66 bostancı çalışıyordu.

18. yüzyılın ortalarında Sadrazam Divittar Mehmet Emin Paşa, kıyıdaki iki eski yalının yerine klasik Osmanlı üslubunda ahşap bir kasır yaptırdı (1751-1752). Bu ilk kasır şimdiki Küçükusu 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 Katibi oldu. Patrona Halil İsyanı'ndan sonra bir süre açığa kaldı. Çeşitli devlet görevlerinde bulunduktan sonra 1750' de sadrazam oldu. Şehirde çıkan yangınlar bahane edilerek 1752' de azledildi .Zamanın padişahı I. Mahmut' un Küçükusu'ya düşkünlüğünü iyi değerlendirerek burada bir saray (Kasr- ı Ali) 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. Mahmud (1696-1754) , amcası III.Ahmet tarafından yetiştirilmiştir. Patrona Halil isyanı ile III. Ahmed' in indirilmesi üzerine 1730' da tahta çıktı. I. Mahmud, 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 Küçükusu Kasrı' ndan daha büyük bir alanı 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 yaptırtırcasına 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 isyanı 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 Sarayının bir minyatürü olan bu kasrın inşasından altı yıl sonra ölmüştür. Abdülmecid’ in (1826-1861) tahta çıkışı, babası I. Mahmud’ 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. Abdülmecid 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 insanları etkilemeye yönelik, süsü ön plana alan anlayışını yansıtmaktadır. Abdülmecid’ 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. Abdülmecid döneminde olduğu gibi , Abdülaziz döneminde de bunalımlar had safhaya geldiğinde sadrazam değiştirilmiştir. Balkanlardaki karışıklık 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. Küçükse Kasrı, bir süre uluslar arası konukların ağırlandığı bir saray olarak kullanılmıştır. Abdülaziz tahta geçtiği yıl, gayri resmi bir ziyaret yapan İngiliz veliahtını 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 Küçükse 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.

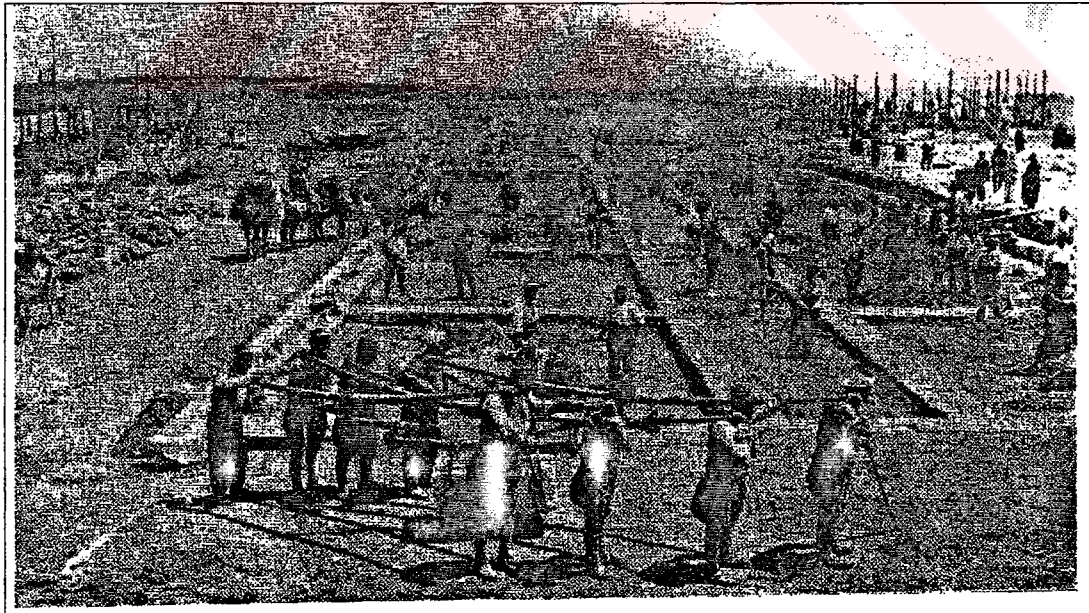
Küçükse Kasrı, kalınlığı deniz tarafında, 20-23 m., kara tarafında 13-15 m.' yi bulan deniz oluşumu gevşek tabakalar üzerine inşa edilmiştir. Kireçtaşı taban kayasının derinliği kuzey tarafındaki rıhtım kazıklarında 35-37 m.' yi bulmaktadır. Kaya eğimi kuzeydoğu doğrudur. Kasrın ortalama 1.50 m. kalınlıktaki duvarları 5.00 m.'yi bulan ve yaklaşık 0.25 x 0.25 m. kesitindeki ahşap kirişlerin oluşturduğu ızgara üzerine oturmakta, bu ahşap ızgaranın altında, uçları demir çarıklı ve yaklaşık 0.45 x 0.45 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 Küçükse 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 çatlak ve ayrılmaları endişe kaynağı olmuştur. Türkiye Büyük Millet Meclisi Başkanlığı'nın yakın ilgisi ile hareket ve deformasyonların izlenmesine ve çareler aranmasına başlanmıştır. [21]

3.2.6 Dar-ül Aceze

Darülaceze müessesesinin kurucusu II. Abdülhamid' dir. Darülaceze binalarının temeli 12 Ekim 1894 Çarşamba günü atılmıştır. Yirmi yedi dönüm saha üzerine inşa edilen yapının açılışı 12 Şubat 1897' de törenle yapılmıştır.

Darülaceze, bir meslek haline gelmiş olan dilencilikle mücadele yolunda kurulmuş olup, sokaklara, cami ve kilise kapılarına, avlularına terkedilmiş, akıbetleri korkunç bir felaket olacak çocukları da himaye kucağına alarak büyük bir yetimhane, kimsesiz çocuklar yurdu hüviyetine kavuşmuştur. Darülaceze, yedi yaşından küçük çocukların bakımı için Irzahane ve yedi yaşından büyük çocukların eğitimi için yetimhane içermektedir. Yetimhane çocukları için bir ilkokul (Sibyan Mektebi) mevcut idi. Okumak istemeyen çocuklar Darülaceze' nin imalathaneler talimatnamesi gereğince imalathanelere çırak olarak devam eder ve bir sanat öğrenmekle mecbur tutulurlardı. Erkekler, kadınlar, yetim çocuklar, yeni doğmuş ve sebi çocuklar olmak üzere 4 kısımdan oluşan Darülaceze 1000 yatak kapasiteli olarak inşa edilmiştir. Halen bulunduğu alanda aceze binaları, çocuk yuvası, C tipi Hastahane ve karantinaları, eczahane, rehabilitasyon ve iş ocakları bölümleri ile; cami, kilise, havra, gusülhane, kesimhane, buzخانه, çamaşırhane ve ütö, etöv, hamam, berber salonu, mutfak, fırın, kantin ve garaj mevcuttur. [12]

Darülaceze binasının temel zemini trakya formasyonu olarak bilinen grovak killi şisttir. Temel sistemi ise Şekil.3.15 'de de görüldüğü üzere her iki doğrultuda mütemadi temel şeklindedir. Yapının temelleri, binanın taşıyıcı duvarlarının altında bulunan taş duvarlardan oluşmaktadır.



Şekil 3.15 Darül Acezenin temel sistemi

3.2.7. Sveti Stefan Bulgar Kilisesi

Sveti kelimesi Aziz manasına gelmektedir. Sveti Stefan Bulgar Kilisesinin mimarı İstanbul' lu bir Ermeni olan Hovsep Aznavur' dur. Projesi Aznavur tarafından yapılan kilisenin yapımını gerçekleştirecek firmanın seçilmesi amacıyla 1892 yılında Uluslararası bir yarışma düzenlenmiştir. Yarışmayı Viyana' dan R. Ph. Woogner firması kazanmıştır. Galvanize sacdan olması düşünülen çatı örtüsü ve altındaki ahşap kaplama dışında , yapının baştan aşağı demirden yapılması kararlaştırılmış ve 1893 yılının ilkbaharında demir parçalarının üretimine Viyana' da başlanmıştır. 1895 yılında yapımı biten parçalar İstanbul' a getirilmiş ve bu yılın sonuna doğru kurulmaya başlanmıştır. İnşaatı iki yılda tamamlanan yapı 8 Eylül 1898' de törenle açılmıştır.

Kilise çevresinde yapılan sondajlara göre zemin yapısını saptayan Prof. Müh. Veselin St. Venkovin' in hazırladığı rapora göre zemin, 13 m derinliğine kadar çok ince balçıklı kum ve yüksek miktarda organik madde ihtiva eden kumlu kilden müteşekkildir. Mevcut zemin şartları dikkate alınarak Kilise kazıklar üzerine inşa edilmiştir. Venkov hazırladığı raporda temel altı kotunun “- 3. 00 m” olduğunu , tepeleri bu kota kadar zemine çakılan 12 m boyundaki kazıkların” - 15. 00 m” de kum katmanına ulaştığını kabul etmektedir. Mevcut belge ve fotoğraflar incelendiğinde 40-50 cm çapındaki bu ahşap kazıkların çakılabilmesi için İngiltere’ den getirilmiş olan buharlı Şahmerdan görülmektedir (Şekil 3.16). [14]

3.2.8. Sant’ Antonio Kilisesi

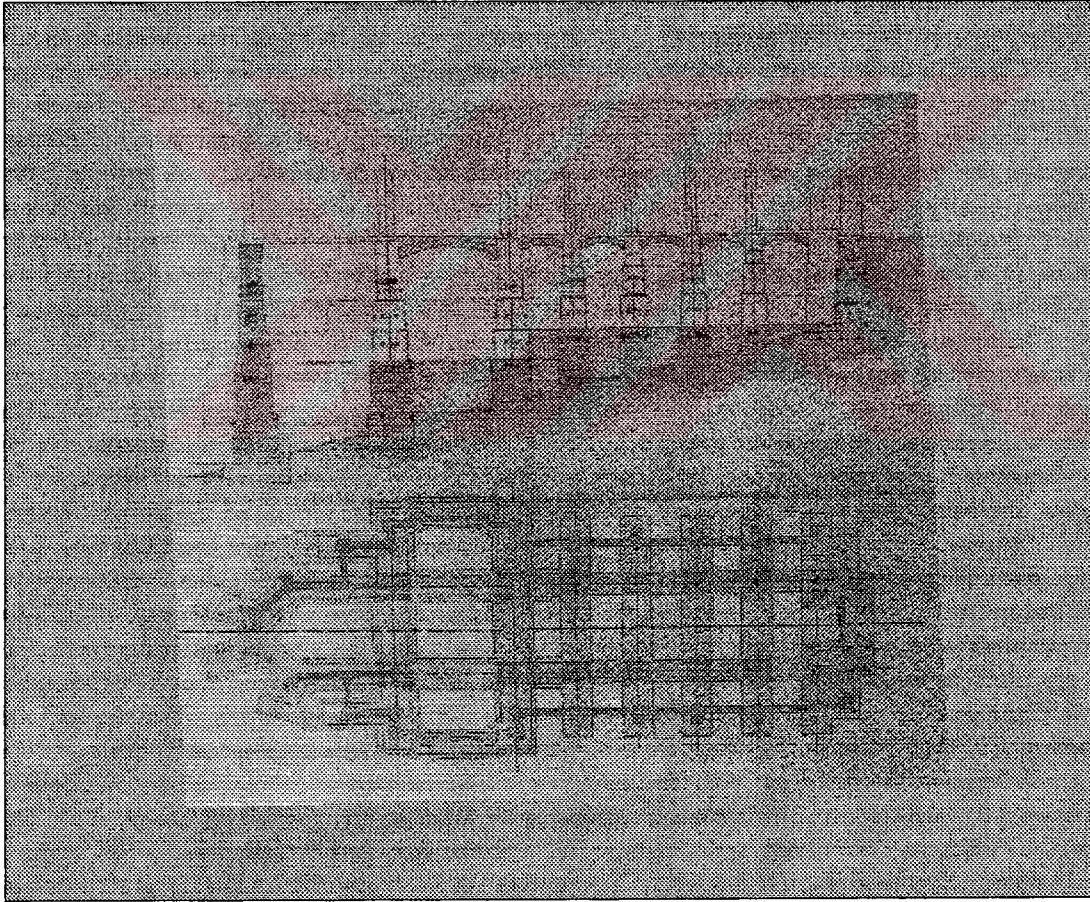
İstanbul’ da doğan ve Milano’ daki Brera Akademisi mezunu olan Mimar Giulio Mongeri’ nin eseri olan Sant Antonio Kilisesi’ nin temeli 23 Ağustos 1906’ da atılmış ve açılışı 15 Şubat 1912’ de gerçekleştirilmiştir. Sant Antonio Kilisesi’ nin yapımına, Mongeri’ nin yanı sıra Mühendis Eduardo De Nari ve Kontrolör Guglielmo Sempri’ nin de büyük emekleri geçmiştir.

Sant Antonio Kilisesi ilk olarak 1831 Beyoğlu yangını sonrası İstiklal Caddesi üzerinde kargir olarak inşa edilmiştir. 19. yy sonlarında bu kilisenin yola taşan ve tramvay geçişine mani olan kısmının istimlak ve yıkımı söz konusu olunca, zaten yeterli olmayan kilisenin yerine yeni bir kilise yapılması uygun görülmüştür.



Şekil 3.16 Sveti Stefan Kilisesinin temel kazıklarının çakılmasında kullanılan şahmerdan

Bu karar neticesinde ilk başta yeni kilisenin yapılacağı daha geniş bir mekan araştırılmış ve alternatifler içerisinde, bugünkü kilisenin İstiklal Caddesinde bulunduğu yer olan, Concordio Tiyatrosu, bahçesi ve bitişik arsaların alınmasına karar verilmiştir. Maliyeti yüksek olan bu arazinin alınabilmesi ve yapının inşaatı için alınan kredilerin ödenebilmesi için kilisenin caddeye bakan cephesindeki kısmında kiliseyle mimari bir uyum arzedecek olan apartmanların yapılmasına karar verilmiştir. Böylece, arsanın en değerli yeri olan cadde cephesinde yapılacak bu apartmanlardan elde edilecek kira gelirleri ile hem borçlar ödenebilecek, hem de kiliseye bir gelir sağlanmış olacaktır. 11 Haziran 1906’ da apartmanların ilk yapı taşı törenle konulmuştur. [17] Kilisenin temel zemini trakya formasyonu olarak bilinen grovak killi şistir ve temel sistemi ise Şekil 3.17 ‘ve 3.18’ de görüldüğü üzere her iki doğrultuda mütemadi temel şeklindedir.



Şekil 3.17 Sant Antonio Kilisesinin temel kesiti ve planı



Şekil 3.18 Sant Antonio Kilisesinin planı

3.2.9. Medresetü'l – Kuzat

Osmanlı İmparatorluğu'nda uzman yetiştirmeyi amaçlayan eğitim kurumları, saray, devlet ve ordu mensuplarını eğiten mektepler ile din ve hukuk adamlarını yetiştiren medreseler olarak ikiye ayrılırlardı. Dini eğitim kurumları olarak medreseler Anadolu' da ilk kez Selçuklular tarafından yapılmış, bu gelenek Osmanlı döneminde de devam etmiştir. Tıp alanında uzmanlık eğitimi veren ilk medrese Darü' t – Tıb, Selçuklular döneminde 1205' de Kayseri' de yapılmıştır.

Genellikle revaklarla çevrili bir avlunun kenarlarına dizilmiş öğrenci odaları, mescit olarak da kullanılabilen büyükçe bir ya da iki dersane, yaz aylarında kullanmaya elverişli eyvanlar ve hela gibi servis mekanlarından oluşan medreseler çoğunlukla tek katlı, tüm mekanları tonoz ya da kubbeyle örtülü, taş ve tuğla ile inşa edilmiş, içe dönük yapılardır.

Fatih' ten sonra İstanbul' da gerçekleştirilen ilk önemli medreseler, Fatih Külliyesi'nin parçalarından olan ve merkezdeki camiye göre bulundukları yönü açıklamak amacı ile “Akdeniz” ve “Karadeniz” medreseleri olarak adlandırılan sekiz adet eş planlı yapılar olmuştur. Külliye'nin üzerinde yer aldığı büyük düzlük nedeni ile “ Sahn Medreseleri” adı ile anılan bu yapılar bir süre sonra yetersiz kalınca külliye'nin kuzey ve güneyine dörder adet daha bina eklenerek bunlara da “tetimme” (tamamlayıcı) medreseleri adı verilmiştir. Sekizer odadan oluşan bu ek yapılar Sahn Medreselerinde eğitilecek öğrencilerin hazırlık eğitimlerinin yapıldığı yer olarak bilinmektedir. Tetimme Medreseleri'ndeki hazırlık öğrencilerine “softa” adı verilirken bugünkü liseler düzeyindeki Sahn Medreseleri öğrencilerine de “danişmend” denilirdi. Danişmendleri Müderrisler, softaları ise Muitler yani Müderris yardımcılarını eğitirlerdi.

Osmanlı başkentindeki ikinci önemli medrese grubu,Kanuni Sultan Süleyman döneminde yapılmış olan, Süleymaniye Camii'nin çevresinde yedi adet büyük medreseden müteşekkil Süleymaniye Külliyesidir. Bu yedi medreseden beş tanesi Fatih Külliyesindeki Sahn Medreseleri gibi lise düzeyindeki eğitime, altıncısı “Darül -Tıb” adı altında yüksek tıp eğitimine, yedincisi ise “Darül – Hadis” adı ile Peygamberin söz ve davranışlarını yorumlamayı amaçlayan üst düzeyde din eğitimine ayrılmıştı.

Medrese eğitimini bitiren öğrenciler, çeşitli konularda meslek edinmek amacı ile, uzmanlık eğitimi veren “Medreset – ül Mütahassisine” (İhtisas Medreseleri) giderlerdi. Bunların ilk örneği Selçuklular döneminde 1205’ de Kayseri’ de açılmış olan “Darü’ t – Tıb” olup Peygamberin söz ve davranışlarını yorumlanmasını amaçlayan Dar’ül Hadis Medreselerinin ilki de Kanuni tarafından Süleymaniye külliyesinde yaptırılmıştır. İstanbul Teknik Üniversitesinin kökeni olan, çeşitli fen derslerinin yanı sıra özellikle matematik ve geometri öğretmek mühendis yetiştiren “Mühendishane – i Bahr-i Hümayun” 1773’ de açılmış olup bu konularda eğitim veren ilk Medreset – ül Mütahassisin’ dir.

İhtisas Medreselerinin sonuncusu Osmanlı toplumunun hukuk işlerini düzenleyecek olan kadıları ve naibleri (kadı vekilleri) yetiştirmek ve onları fıkıh (islam hukuku) ve şer’ i mahkeme yöntemleri gibi konularda eğitmek amacı ile kurulan “Medresetü’l – Kuzat” tır(kadılar medresesi).

İlk kez 1854’ de Şeyhülislam Meşreb Efendinin torunu Mehmet Arif Efendi tarafından “Müellimhane – i Nüvvab” (Naibler Okulu) adında açılan medresenin adı 1884’ de “Mekteb – i Nüvvab” a , 1910’ da da” Mekteb – i Kuzat” a çevrilmiştir. Tanzimat reformları çerçevesinde batı örneğindeki ilk hukuk Mektebi’ nin 1869’ da açılmasından ve “Mecelle” adlı ilk medeni kanunun kabul edilmesinden sonra sadece miras, nafaka, evlenme ve boşanma işlerine bakmakla yükümlü kalan şer’ i mahkemeler için uzman yetiştiren bu medrese ilk mezununu 1856 yılında vermiştir.

1908’ de II. Meşrutiyet’ in ilanından sonra, Medresetü’l – Kuzat’ ın ders programlarının kapsamlı bir biçimde yenilenip genişletilmesi için 1913, 1914 ve 1915 tarihlerinde üç ayrı nizamname yayınlanmış, bu arada medrese için yeni bir bina da yaptırılmıştır. İstanbul Vakıflar Müdürlüğü arşivinde bulunan inşaat şartnamesi ve ön keşif defterleri 1913’ de tamamladığı bilinen bu binaya ait belgelerdir. Cumhuriyet döneminde İsviçre Medeni Kanununun kabul edilmesi ve şer’ i mahkemelerinin kaldırılıp tüm adli davaların Cumhuriyet Mahkemelerine aktarılmasından sonra kadı yetiştirilmesine gerek kalmadığı için Medresetü’l– Kuzat da kapatılmıştır.

Evkaf nezaretinde yaptırılan bir bina olması nedeni ile okul için eski bir vakıf yapısının yerinin tahsis edilmesi uygun görülmüş, bu nedenle yeni Medresetü’l–Kuzat

Beyazıt' ta, Takvimhane Caddesi üzerinde bulunan Kaptan İbrahim Paşa Camii'nin bitişiğindeki vakıf arsası üzerinde inşa edilmiştir. Tahsin Öz, yeni Medresenin Kaptan İbrahim Paşa Camii'nin ek yapılarından yıkık İbrahim Paşa Hamamı' nın yerine yaptırıldığını belirtmektedir. Bu bilgilerden, Kaptan İbrahim Paşa Külliyesinin parçalarından olan hamamın inşaatının başladığı yıllarda yıkık ve yerinin boş bir arsa durumunda olduğu, yapının bu yıkık hamam arsası üzerinde gerçekleştirildiği anlaşılmaktadır. Bu durum , Evkaf Nezareti tarafından müteahhit firmaya verilmek üzere hazırlanan inşaat şartnamesinin ikinci maddesinde de; “Mektep inşa olunacak mahalde mevcut bulunan eski duvarlar ile tonozlar ve buna mümasil aksam tamamen hedmolunacak, badehu temellerin hafriyatına mübaşeret olunacak, ve bunlardan hasıl olan molozlar ile bermucib-i resim hendek hafrolunan mahallerden çıkan turap müteahhit marifeti ile harice naklolunacaktır...” sözleri ile de kanıtlanmaktadır.

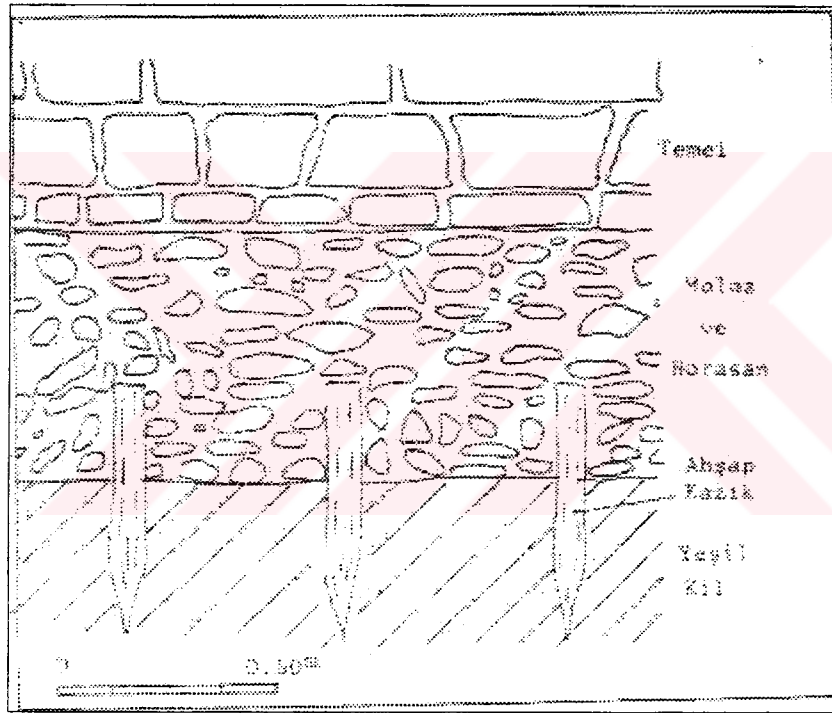
Yapının temelleri güngören formasyonu olarak bilinen aşırı konsolide yeşil kile oturmaktadır. 2.20 m. yüksekliğinde, basık bir bodrum üzerinde üç kat olarak inşa edilen yapının strüktür sistemi, taşıyıcı tuğla duvarlar ve volta döşemelerden oluşmuştur. Temel duvarları taşla yapılmış olup belgelerden anlaşıldığına göre mütemadi temel şeklindedir. Pencere kemerleri, katları ayıran kuşaklar ve silmeler için yerinde imal edilmiş suni taş (pierre artificielle) kullanılmış, binanın üzeri kiremit kaplı, kırma bir ahşap çatıyla örtülmüştür. Bu haliyle ortası avlulu, revaklı, içe dönük, geleneksel medreselerden çok, çok katlı, dışa dönük, çağdaş ve sıradan bir okul yapısını anımsatan binada, geleneksel medreselerin aksine, öğrencilerin geceleri kalabilecekleri odalar bulunmamaktadır. Bu da binanın yalnızca gündüzleri, yatılı olmayan öğrenciler tarafından kullanılmak üzere tasarlandığını göstermektedir. [10]

3.2.10. Sonuç

Suriçinde grovak ve killişistlere oturtulan kargir yapıların temellerinde Süleymaniye Camii temellerinde kullanıldığı gibi, ahşap ızgaralara rastlanmaktadır. Ayrıca, 1945 yılında Fen ve Edebiyat fakülteleri temel hafriyatında Bizans devrine ait kazıklı temeller ortaya çıkmıştır. Bir metre uzunluğundaki dikdörtgen kesitli kısa meşe kazıklar zemine yarı yarıya çakılmış, bunların üzerine 1m kalınlığında moloz harç tabakası atılıp duvarlar örülmüştür (Şekil3.19).

Gevşek suni dolguları sıkıştırma amacıyla kullanılan kazıklar Haliç ve Galata Sur temellerinde de kullanılmıştır. Haliç kıyılarındaki, 100-150 yıllık yapıların temellerinde ahşap ızgara ve kazıklara bina temel hafriyatlarında tesadüf edilmektedir.

Beylerbeyi Hamidi Evvel Camii 1776 yılında Boğaziçi kıyısında inşa edilmiştir. Ortalama 15 m derinde olan anakaya üzerinde 5 m kalınlığında kil ve en üstte 10m kalınlığında suni dolgu mevcuttur. Suni dolgu içerisinde yer alan temel 1.80m derinliğe üç basamakla inmekte, tabanda 3m genişliğe varmaktadır. Temel altında bugün çürümüş olan kısa ahşap kazıklar kullanılmıştır.



Şekil 3.19 Bizans devrine ait temel detayı

İstanbul’ da Haliç kıyısında kalın bir suni dolguya oturan Sokullu Mehmet Paşa Camii (1577) ile, Rüstem Paşa (1561), Lale’li (1763), Nusretiye Camiileri altında Nur-u Osmaniye Camii’ne benzer kolonlu, bodrumlu altyapılar mevcuttur. [2]

4. TARİHİ YAPILARDA GÖRÜLEN HASAR TİPLERİ VE NEDENLERİ

Tarihi yapılarda görülen hasarların ortaya çıkış şekli dört ana grupta toplanabilir [1]:

- 1- Ayrışmalar
- 2- Kabarma ve şişme
- 3- Parça kopmaları
- 4- Çatlaklar

Gerek ayrışma ve gerekse kabarma ve şişme şeklinde ortaya çıkan hasarların nedeni yapı malzemesinde meydana gelen fiziksel veya kimyasal reaksiyonlardır. Örneğin ayrışmaya neden olacak kimyasal etki dış ortamdan kaynaklanan sülfat etkisi olabilir iken fiziksel etki ise donma çözülme olabilmektedir. Ayrışma hasarına neden olabilecek kimyasal etkiler daha derin bölgelere yayılırken, donma - çözülme sonucu oluşan hasar yüzeyseldir.

Kabarma-şişme hasarında yoğun çatlama durumunda kimyasal etkiler araştırılmalıdır. Çatlakların tekil ve seyrek bir görünüş arz etmesi ise sıcaklık değişimlerine bağlı olabilir.

Parça kopmasına sebep olan etkenler incelenirken hasara sebep olabilecek kimyasal reaksiyonlar, atmosfer etkisi ve iç sıcaklık yükselmesi gibi faktörlerin yanı sıra deprem ve benzeri şok dalgalarının da söz konusu olup olmadığı araştırılmalıdır.

Ayrışma, kabarma ve şişme, parça kopması ve çatlak oluşum şeklinde ortaya çıkan ve yapı malzemesinde kimyasal ve fiziksel reaksiyonlar sonucu oluşan hasarların nedenleri yapı malzemesi laboratuvarlarında kapsamlı bir şekilde araştırılmalıdır.

Bu bölümde özellikle, temel - zemin etkileşimi sonucu ortaya çıkan çatlaklar ve nedenleri üzerinde durulacak ve tarihi yapılardaki çatlak sınır değerleri incelenecektir.

4.1. Çatlaklar

Çatlaklar,yapıda meydana gelen hareketlerin yapı malzemesinde bu hal için beklenen deformasyon sınırını aşması bununla alakalı olarak meydana gelen gerilmelerin malzemenin mukavemet sınırını aşması halinde oluşurlar Çatlaklar yapının kayma ve çekme gerilmelerine karşı en zayıf olduğu noktalarda, kayma ve çekme zorlanmalarının maksimum olduğu bölgelerde meydana gelirler. [13]

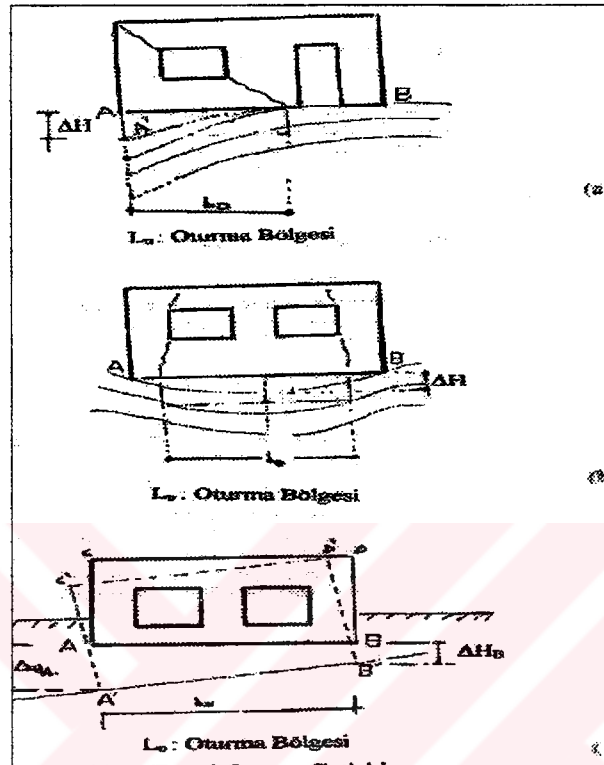
Çatlakların cins ve mevkiinden, kuvvetin tesir şekline ait bilgi edinmek ve buna göre çatlakların tehlike dereceleri hakkında hüküm vermek mümkündür. Önce saptanan çatlakların hangi tür gerilmeler tarafından oluşabileceği incelenmelidir. Tekil çatlaklar genellikle çekme gerilmelerinin varlığına delalet eder. Basınç ve kayma gerilmelerinin yoğunlaştığı bölgelerde ise çok sayıda, nispeten paralel çatlaklara rastlanır. Bu durumda parça atmaları ve ayrılmalar da meydana gelebilir. Salt basınç gerilmeleri durumunda çatlakların paralelliği gerilme yönündedir. Ancak bölgede basınç ve kayma gerilmeleri birlikte mevcutsa asal basınç gerilmelerinin yönünü bulmak gerekir, zira çatlaklar büyük asal basınç gerilmelerine paralel olarak gelişirler. [1]

4.1.1. Çatlağa neden olan oturmalar

Tarihi yapıları oluşturan duvarların büyük bir kısmı taşıyıcı olduğu için, duvarlardaki hasarlar doğrudan taşıyıcı sistemi etkiler. Tarihi yapılardaki duvarlar temel oturmalarına karşı çok duyarlıdır. Yığma duvarlar zemindeki oturmalara uyum sağlayamaz ve elastik deformasyon yapamadıkları için çatlaklar oluşur. Temel zemini oturmaları iki ana gruba ayrılabilir [7]:

- 1- Üniorm Oturma : Yapının temel tabanı, sıkışma sonunda ilk konumuna paralel olarak oturur ve düzlem kalırsa, oturma üniormdur ve çatlağa sebep olmayabilir. Fakat taban dönerse yapıda oluşacak hasar, üniorm oturmanın maksimum değerinden az bile olsa daha büyük ve önemlidir. Oturma sırasında, taban, düzlemliliğini korumakla beraber ilk konuma paralel kalmazsa, bu duruma üniorm yatma veya devrilme denilir. Bu durumda çatlağın meydana gelmemesi için yapı, ya yeteri kadar fleksibl veya yapının temelinin oluşacak sehimplere karşı koyacak kadar rijit olması gerekir.

2- Farklı oturma : Yapılarda hasar oluşumuna sebep olan en tehlikeli oturma şeklidir. Yapı temellerinin farklı oturması veya yapı temelleri altında meydana gelen bölgesel oturmalar sonucu yapı duvarlarında çatlaklar oluşur (Şekil4.1)



Şekil 4.1 Oturma türleri

4.1.2 Tarihi yapılardaki oturmaların sebepleri

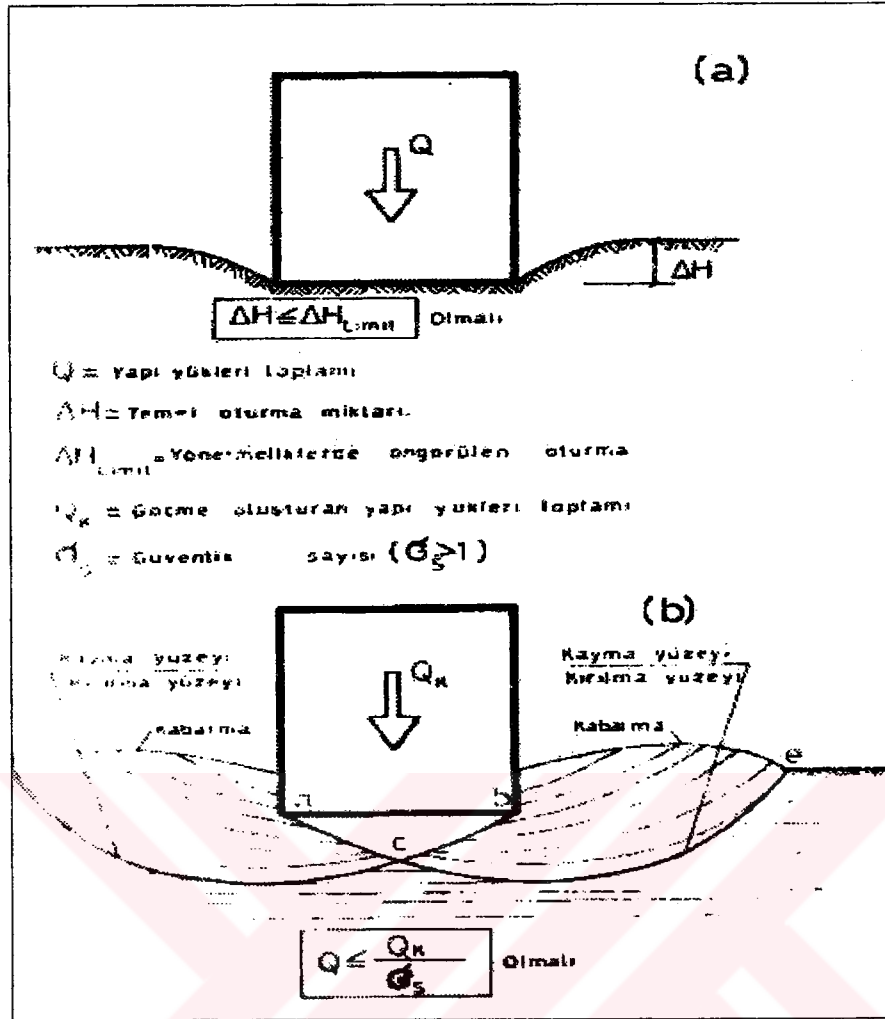
Zeminlere ait emniyet gerilmesini belirleyen iki temel kriter vardır ;

a- Yapı kabul edilebilecek limitlerde bir oturma yapmalıdır

$$\Delta H \leq \Delta H \text{ limit} \quad (4.1)$$

b- Zemine gelen yapı yükleri, göçme limitlerinin belirli bir güvenlikle altında kalmalıdır (Şekil 4.2).

$$Q \leq Q_K / G_S \quad (4.2)$$



Şekil 4.2 Temel oturması ve göçme

Kohezyonlu zeminlerde kabul edilebilecek yükler oturma sınırları göz önüne alınarak belirlenir. Kohezyonsuz zeminlerde ise göçme yani zemin taşıma gücü göz önüne alınarak temel boyutlandırılır. Tarihi yapılardaki oturmalar uzun bir zaman süreci içinde tamamlanır. Siltli zeminlerdeki oturmaların bir kaç sene , killi zeminlerdekilere ise ortalama 60-70 sene içinde tamamlandığı tahmin edilmektedir. İncelenmekte olan tarihi yapılar 100 - 600 yıllık olduklarına göre bu süre içinde yapı yükleri ile olan oturmaların tamamlanmış olması gerekmektedir. Bu husus göz önünde tutularak tarihi yapılardaki temel oturmalarının sebepleri şu şekilde özetlenebilir : [6]

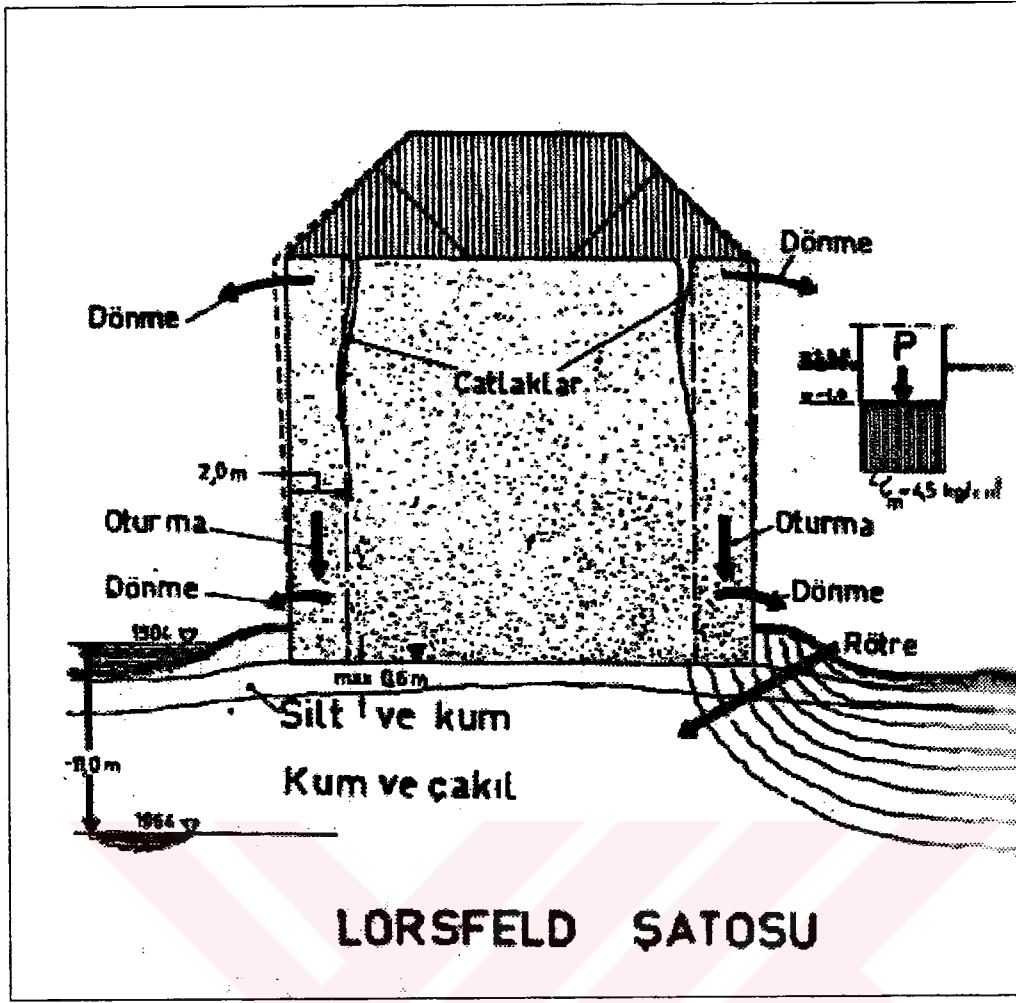
4.1.2.1. Yeraltı su seviyesinin değişmesi

Yeraltı su seviyesinin değişmesi yapının oturduğu zeminin su muhtevasını değiştirir. Tarihi yapıların civarında yapılacak kazı çalışmaları neticesinde yeraltı suyunun alılması sonucu boşluk suyu basıncı düşer ve su içinde yüzen zemin danelerinin ağırlıkları artacağından, daha altlardaki zeminlere ilave yükler gelir. Bu ilave yüklerin etkisi ile zemin tabakaları tekrar oturmaya başlar. Bu oturmaların belli değerlere ulaşması sonucu yapıda çatlaklar oluşur. Aynı zamanda, yeraltı su seviyesinin düşmesi sonucu kuruyan zeminlerde ‘rötre’ oluşur. Rötre sonucu, özellikle aşırı konsolide yağlı kil zeminlerde, aşırı bir hacim küçülmesi olacağından, oturmalar bir evvelki durumdan daha büyük boyutlara ulaşır. Aynı durum, buharlaşmanın söz konusu olduğu zeminler için de geçerlidir. Aşırı buharlaşma sonucu kuruyan zeminde yine “rötre” olayı oluşacağından, oturmalar ani olarak başlar (Şekil 4.3).

Yeraltı su seviyesinin yükselmesi neticesinde zemin içerisindeki boşluklar tamamen su ile dolacağından, zemin doygun hale geçer. Bu durumda zemin yumuşar ve zeminin kayma direncinin azalması ile taşıma gücü de azalır. Bu durumda yine oturmalar başlar ve belli değerlere ulaştıktan sonra yapıda yine çatlaklar meydana gelir. Özellikle aşırı konsolide yağlı kil zeminlerde, permeabilitenin çok düşük olması sebebi ile, yeraltı su seviyesinin yükselmesi ile zeminde meydana gelen kabarma ve şişme neticesinde yapıda çatlaklar oluşabilir.

4.1.2.2. Yük sisteminde meydana gelen değişiklikler

Kohezyonsuz zeminlere oturan yapılarda, oturma uzun sürede meydana gelmediğinden, uzun süreli oturmalar sonucu çatlak oluşmasından söz edilemez. Bu tür zeminlerde daha çok aşırı yükleme sonucu yapı yüklerinin artması neticesinde veya yapının taşıyıcı sisteminde yapılacak değişiklikler (masif duvarlarda delik veya pencere açma gibi) neticesinde temel zemini farklı biçimde zorlanarak, zeminde göçmeler oluşmakta ve bunun sonucunda yapıda çatlaklar meydana gelmektedir .



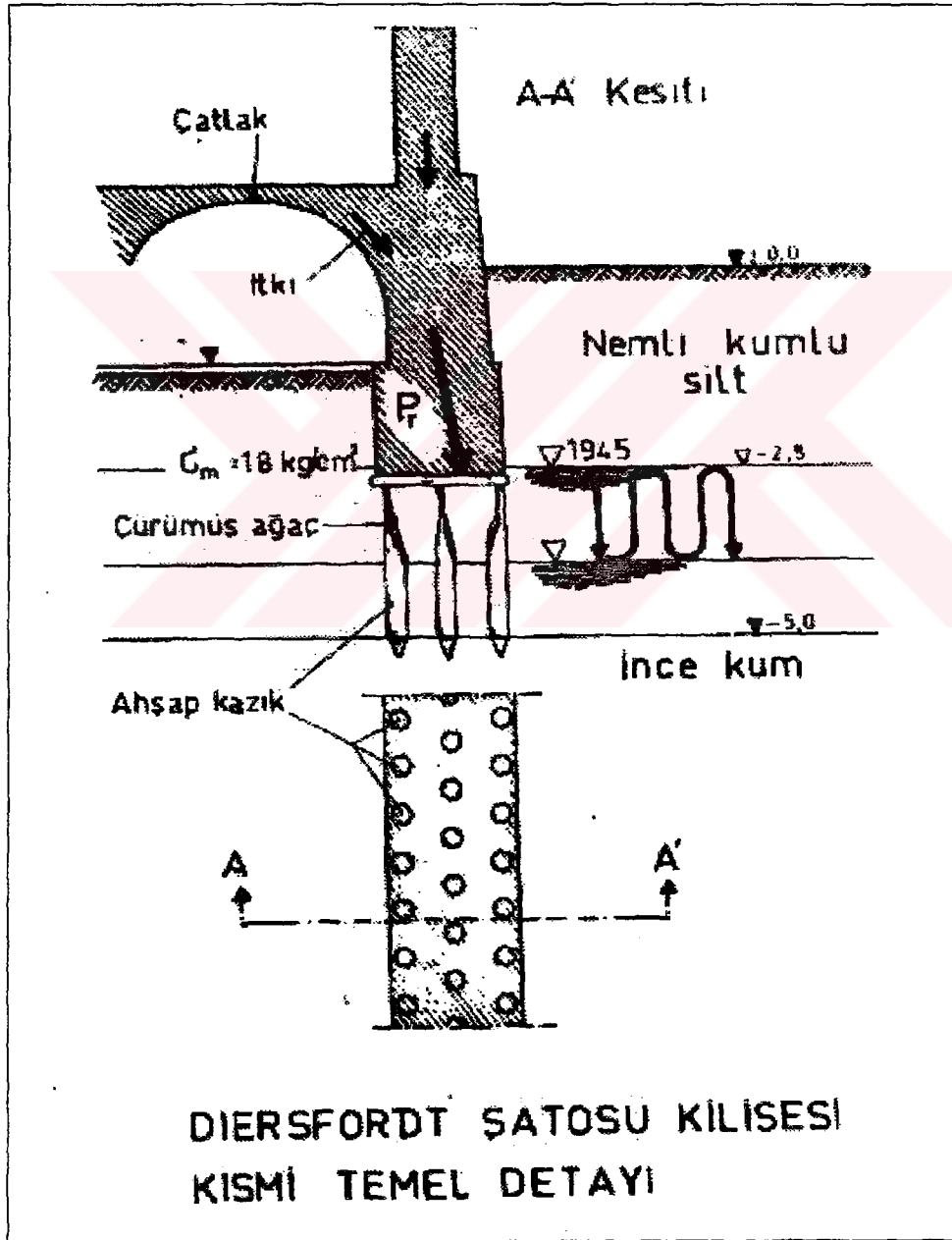
Şekil 4.3 Yer altı su seviyesinin değişmesi sonucu oluşan rötre

4.1.2.3. Temel kazıklarının çürümesi

Dolgu ve yumuşak zeminlerde, genellikle su içinde bulunan zeminlerde, tarihi yapılar zemine çakılan ahşap kazıkların oluşturduğu bir temel sistemine oturtulmuştur. Bazı hallerde kazık başlarının ahşap bir ızgara ile bağlandığı görülür. Ahşap kazıklar genellikle su içinde bulunduğu ve hava ile temas etmediğinden bozulmamıştır. Ancak tarihi yapıların civarında yol yapımı ve benzeri çalışmalar neticesinde yeraltı su seviyesinin düşmesi durumunda hava ile temasa geçen ahşap kazıkların çürümesi sonucu temel oturmaları oluşmaktadır (Şekil 4.4).

4.1.2.4. Yapı çevresindeki kazılar

Tünel ve metro kazılarıyla tarihi yapılara yakın yerlerde yapılacak yapı kazıları, heyelan ve kaymaların oluşmasına neden olabilmektedir. Örneğin tarihi yapılar civarında açılan maden ocaklarının oluşturmuş olduğu boşluklar temel zeminin dengesini bozarak tarihi yapıda hasara neden olabilmektedir. Bu yüzden özellikle tarihi yapılar civarında yapılacak metro, tünel gibi kazı çalışmalarında, hattın geçeceği güzergahtaki tarihi yapıların temel haritaları yapılmalı ve yapının yapılacak çalışmadan etkilenip etkilenmeyeceği hesap edilmelidir.



4.1.2.5. Drenaj yetersizliği

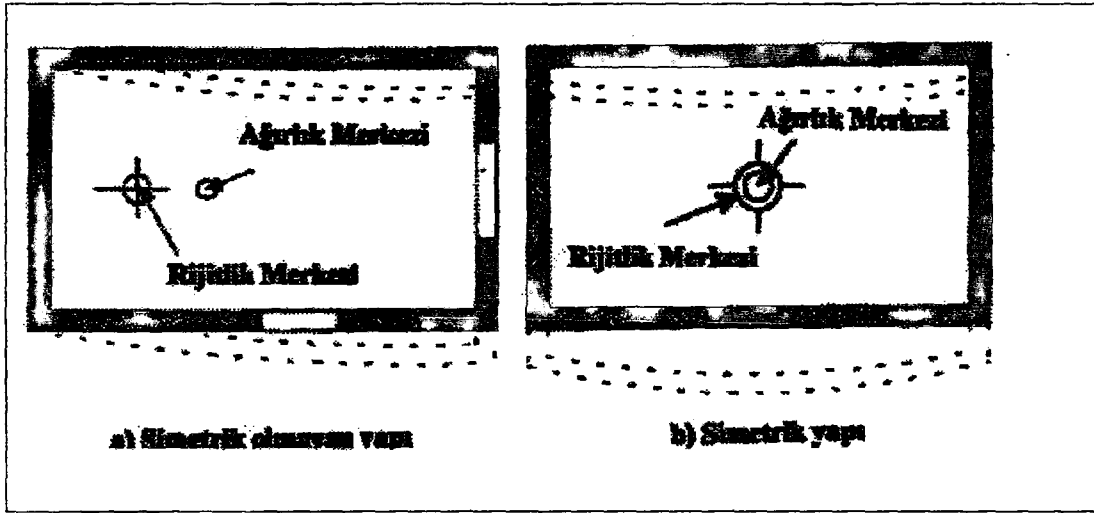
Temel seviyesindeki taşıyıcı tabakanın kil ve silt olduğu durumlarda yağmur ve benzeri nedenlerden zeminin ıslanması durumunda, eğer yeterli drenaj yoksa, permeabilitenin düşük olması nedeni ile tutulan su temel altındaki kil veya siltli zeminlerdeki ince danelerin taşınmasına ve bütün bunların sonucu olarak zeminde yersel (lokal) göçmelerin meydana gelmesine neden olmaktadır.

4.1.2.6. Tarihi yapılarda deprem etkisi

Yamaçlarda bulunan, kaymaya zorlanan kohezyonsuz zeminler üzerindeki yapılarda, çevredeki makinelerden veya yol trafiğinden gelecek titreşimler büyük zararlara neden olabilir. Depremün ürettiği kayma (S) dalgaları zeminler tarafından iletilir ve zeminler taşıdıkları yapıyı zorlarlar. Bu zorlama zeminin türüne bağlı olarak farklı şiddetlerde oluşur. Bu şiddet, ivme büyüklüğü cinsinden ifade edilir. Bu niteliğe zeminin Amplifikasyon özelliği adı verilir.. Amplifikasyon özelliği zeminin yapıya aktardığı deprem zorlamasını tanımlayan bir nitelik olmaktadır. En büyük ivme kumlu zeminlerde meydana gelirken en düşük ivme kaya ortamlarda oluşmaktadır.[1]

Tarihi yapılar, genellikle ağır ve rijit yapılardır. Deprem etkilerine karşı rijit cisim davranışı gösterirler. Yatay zemin hareketleri sonucu her bir nokta yaklaşık aynı deplasmanı yapar. Tarihi yapıların titreşim periyotları çok küçük olup $T = 0.15 - 0.45$ sn. arasında değişir. Ağır olmaları sonucu etkiyen deprem kuvvetleri de çok büyük olur. Zemin hakim periyodunun yapının titreşim periyoduna yakın olduğu durumlarda rezonans söz konusu olmaktadır. Özellikle simetrik olmayan ve ağırlık ile rijitlik merkezinin farklı olduğu tarihi yapılarda deprem burulma etkisi oluşturmaktadır (Şekil 4.5).

Depremün zemin özelliklerini değiştiren bir etkisi vardır. Deprem dalgaları şok etkisi ile zemin boşluk suyu basıncının ani bir şekilde artmasına,. çok ince daneli ve üniform kum zeminlerin tamamen bir sıvı gibi davranmasına yani zeminin en ufak bir kayma gerilmesini dahi taşıyamaz hale gelmesine sebep olur. Bu olaya sıvılaşma (liquefaction) adı verilmektedir. Sıvılaşmış zemin yapıyı taşıyamaz ve göçer.[1]



Şekil 4.5 Ağırık ve rijitlik merkezi ilişkisi

4.1.3 Tarihi yapılarda oturma sonucu meydana gelen çatlaklar :

4.1.3.1 Tek taraflı artan oturmalar sonucu oluşan çatlaklar :

Bir yapıya ait iki ayrı kısmın ağırlıkları farklı ise ağır kısmın altındaki zeminde daha fazla sıkışma olacağından irtibat duvarında kesme çatlakları oluşur. Bu çatlaklar, yapı malzemesinin çekme mukavemeti düşük ise hemen hemen düşey, çekme mukavemetinin daha büyük olması halinde belli bir eğime sahip olurlar ve oturma daha fazla olduğu tarafta yukarı doğru yükselirler (Şekil 4.6.).Sonuç olarak çatlakların daima oturma fazla olduğu tarafa doğru yükseldiği unutulmamalıdır.[13]

4.1.3.2 Yapının bel vermesinden dolayı meydana gelen çatlaklar

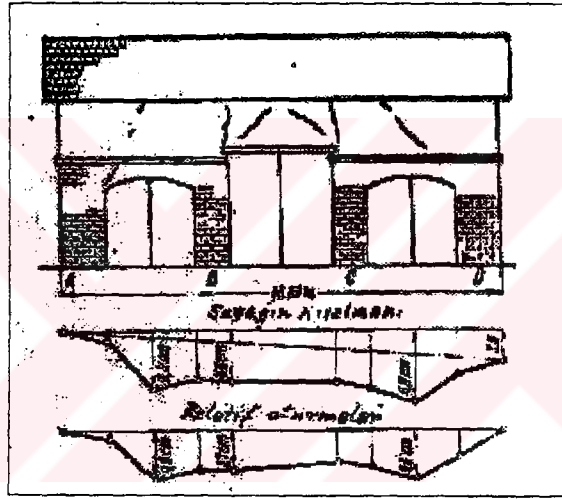
Tarihi bir yapıda basınç, özellikle yapının orta kısmında inzimam eder ve bu yüzden homojen bir zeminde maksimum oturma yapının orta kısmında meydana gelir (Şekil 4.7).

Yapının bel vermesine ait bir örnek Şekil 4.8' da verilmiştir. Bu yapının zemin profilindeki turba zemin sola doğru arttığından oturmalar da bu tarafa doğru artmıştır. En sağdaki binadaki çatlaklar sola doğru yükselmiştir. Temeldeki basınçlar orta kısımda üst üste eklendiğinden soldaki binanın alt kısmında düşey çatlaklar

oluşturmuştur. Nihayet ortada yer alan binadaki yatay çatlakların sebebi ise; yapı sisteminde oturmanın akabinde kemerlenme meydana gelmiş ve kemerlenmenin altında kalan kısım üst kısımdan ayrılmıştır.[13]



Şekil 4.6 Tek taraflı artan çatlaklar

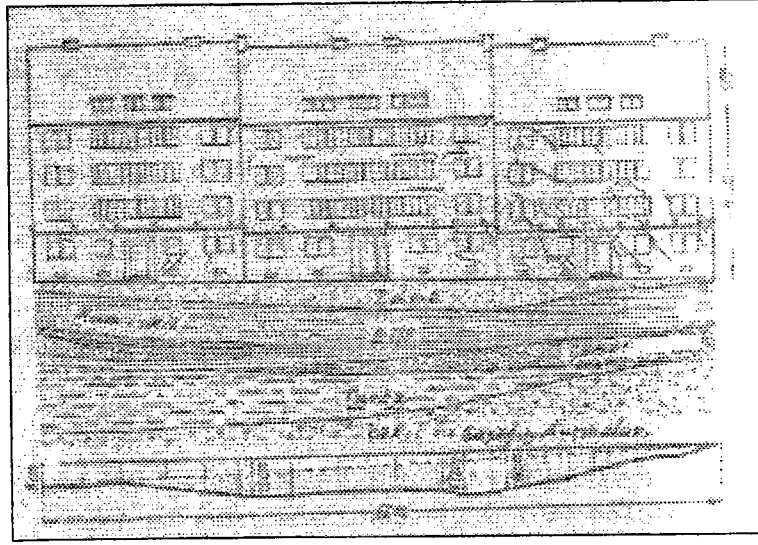


Şekil 4.7 Yapının orta kısmında yüklerin inzimam etmesi

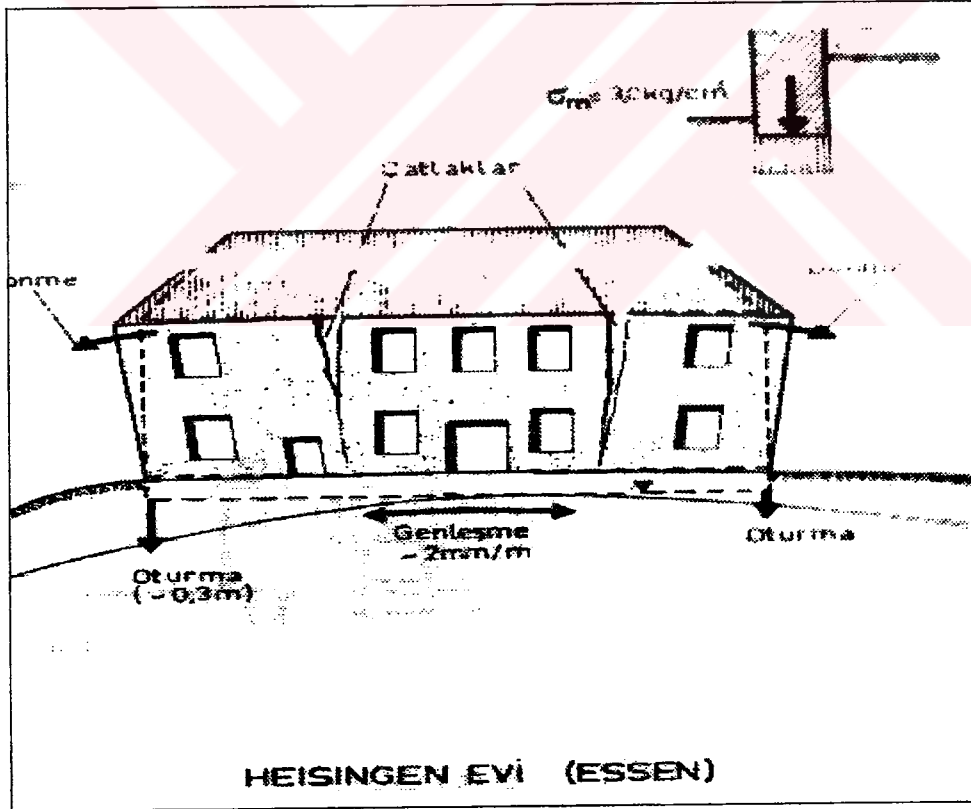
4.1.3.3 Yapı altındaki zeminin yanlara kaçması sonucu oluşan çatlaklar :

Özellikle vadi sırtı gibi tepe yerlerde yapılmış yapılarda temel zemininin yanlara kaçmasından dolayı kenar kısımlarda ortaya nazaran daha fazla oturmalar meydana gelmektedir.[13]

Kenarlardaki zeminin kaçması üst yapıda özellikle üst kısımlarda uzama tarzında zorlanmaya neden olacağından düşey yönlü çekme çatlakları oluşur (Şekil 4.9).

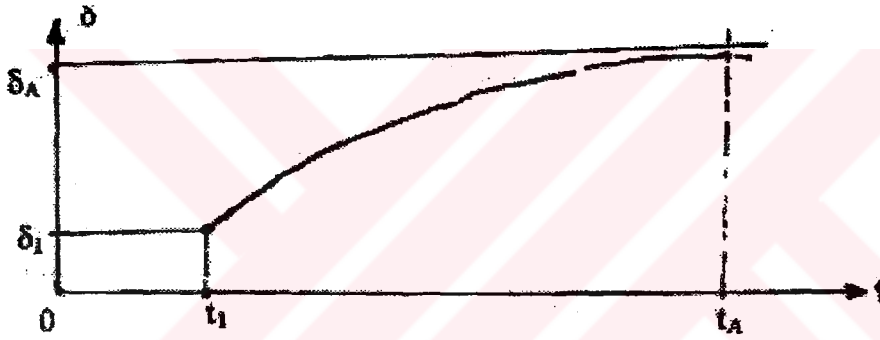


Şekil 4.8 Bel vermiş bir yapı



4.1.4 Tarihi yapılardaki çatlak sınır değerleri

Yığma yapılarda gözlenen çatlağın genişliğine göre, yapının güvenliğine ilişkin yaklaşık bir kriter bulmak mümkündür. Gözlenen bir çatlak bir deprem veya bir temel oturması çatlağı olabilir. Deprem çatlağı, deprem süresi içinde oluşmuş bir çatlaktır. Bu tür çatlağın genişliğinin büyümesi ancak ikinci bir deprem sonucu olabilir. Çatlak, bir temel oturması sonucunda oluşmuş ise, çatlağın zaman içinde büyüüp büyümediğinin kontrol edilmesi gerekir. Killi zeminlerdeki oturmalar genellikle zamana bağlı olan konsolidasyon oturmaları olup, uzun zaman gözlenmesi gereken oturmalarlardır. Gözlenen bir çatlak genişliğinin zamana bağlı bir grafiği çizildiğinde, eğrinin belli bir doğruya asimptot olduğu noktaya tekabül eden çatlak genişliğinin büyüklüğüne göre yapı güvenliğine ilişkin bir yorum yapmak mümkün olabilir (Şekil.4.10).



Şekil 4.10 Çatlak genişliği – zaman eğrisi

Çatlağın ilk gözlemlendiği andaki çatlak genişliği δ_1 ise, eğrinin bir yatay doğruya teğet olduğu noktanın koordinatı δ_A olsun;

- $\delta_A < 0.3$ mm. ise, çatlağın taşıyıcı sisteme olumsuz bir etkisi yoktur.
- $0.3 \text{ mm} < \delta_A < 5 \text{ mm}$ ise, taşıyıcı sisteme etkisi olmaz. Fakat duvar kaplamalarında hasarlar oluşur.
- $1 \text{ mm} < \delta_A < 5 \text{ mm}$ ise, taşıyıcı sistemde olumsuz etkilenmeler başlar.
- $5 \text{ mm} < \delta_A < 15 \text{ mm}$ ise, taşıyıcı sistemde önemli hasarlar oluşur. Kapı ve pencerelerde deformasyonlar meydana gelir.

e) $15 \text{ mm} < \delta_A < 25 \text{ mm}$ ise, taşıyıcı sistem oldukça hasar gördüğünden takviye edilmesi ve iyileştirilmesi gerekir.

f) $\delta_A > 25 \text{ mm}$ ise yapı hasarları onarılmaz seviyede olup, yapının yıkılması gerekir.

Takviye edilecek bir yapıda uygulanacak iyileştirme yöntemi çatlakın büyüklüğüne göre belirlenir. Doğru ve gerçekçi bir yöntemin uygulanması onarım ve takviye işleminin maliyetinin düşük olmasını sağlar. Bu nedenle bir çatlakın boyutunun zaman bağlı olarak büyüüp büyümediğinin kesin olarak belirlenmesi gereklidir. Çatlak boyutunun yapı taşıyıcı sistemine olumsuz etkileri incelenerek yapının güvenliğindeki azalma saptanmalıdır. Yapının standart güvenliğini kazanması için yapılacak işlemler, iyileştirme projesinin optimum maliyetini belirler. [7]



5. TEMEL TAKVİYESİ ÖNCESİNDE YAPILMASI GEREKEN ARAŞTIRMALAR

Tarihi yapılarda yapılacak bir temel takviyesi uygulaması, disiplinler üstü bir konu olup, bu çalışmada inşaat mühendislerinin yanı sıra, mimarların, tarihçilerin ve arkeologların da yer alması, incelenen konu itibariyle gereklidir.

Temel takviyesi yöntemine karar verilirken söz konusu yapının tarihi bir yapı olması nedeniyle taşıdığı tarihi ve anıtsal değer göz önünde bulundurulmalıdır. Temel takviyesi yöntemi, yapının eski formunu muhafaza edecek ve yapıda en az değişikliğe sebep olacak bir yöntem olmalıdır.

Tarihi yapılarda, üst yapıyla alakalı yapılan matematiksel modellemeler yapının taşıyıcı sistemi hakkında aydınlatıcı olsa da zemin yapı etkileşimi hakkında o kadar da faydalı olmamaktadır. Zemin yapı etkileşiminin modellenmesi, etkili olan ve tanımlanmayan bir çok faktörden (veriden) dolayı güvenilir olmamaktadır. Bu yüzden bir temel takviyesi uygulaması yapılmadan önce yapının bulunduğu zemin şartları, temel sistemi ve yapının tarihçesi kapsamlı bir şekilde araştırılmalıdır. Yapılacak bu araştırmaların neticesinde hasara neden olan sebeplerin tayininden sonra, temel takviyesi gerekli görüldüğü takdirde en uygun temel takviyesi yöntemi uygulanmalıdır.

5.1 Tarihçe Araştırması

Tarihi yapının yapım aşamaları ve tarih içersindeki kullanılış biçimleri hakkında edinilecek bilgiler, yapının statik davranışının anlaşılmasında yardımcı olacaktır. Tarihi bir yapı için yapılacak tarihçe araştırmasında şu sorulara yanıt aranmalıdır :

- Yapı hangi tarihte, kim tarafından inşa edildi ?
- Hangi mevsimde inşa edildi ? İklim koşulları ne idi ?
- Yapının inşası için geçen sürede kesintiler oldu mu ?
- Yapının tarih içerisinde yaşamış olduğu hasar deneyimleri ve sonuçları nelerdir ?
- Daha önceden deprem sonucu hasar görmüş müdür ?
- Tarihi yapının bulunduğu çevrenin inşasından bu yana gelişimi ne olmuştur ?
- Tarihi yapının inşa edildiği bölgenin tarih içerisindeki kullanım şekli nedir ?
- Tarihi yapının taşıyıcı sisteminde veya kullanım şeklinde ne tür değişiklikler yapılmıştır ?

5.2. Yapı Yerinde Yapılacak Araştırmalar

Tarihi bir yapıdaki hasarların nedeni araştırılırken yapının tarihçesinin yanı sıra, yapının halihazırdaki durumunun tespit edilmesi amacıyla ilk elde yapılması gereken yapının temel ve zemin sisteminin belirlenmesi ve yapıdaki çatlakların tespit edilip gözlenmeye başlanmasıdır. Yerinde yapılacak kazılar (forajlar) ve sondajlar yardımı ile temel zemini öncelikle tanınmalıdır. Ancak zemin durumu incelendikten sonra, yapıda oluşmuş veya oluşması olası çatlakların nedenleri öğrenilebilir. [6]

5.2.1. Zemin kesitinin saptanması

Ancak sağlıklı ve doğru bir zemin kesiti, ekonomik bir takviye projesine ışık tutabilir. Bu tür zemin kesitlerinin de doğru foraj ve sondaj sonuçlarına göre belirlenmesi gerekir. Bu çalışmaları düzenleyen bazı ülkelerde, hazırlanmış normlar vardır. Örneğin Almanya’ da Din 4021, 4022 ve Din 4023 normları geçerlidir.

5.2.2. Zemin numunelerinin alınması

Foraj ve sondajlarla zemin tabakalarının durumu belirlenir. Ayrıca zeminin mekanik özelliklerinin tanımlanabilmesi için de, bu işlemler sırasında, zeminden “örselenmemiş” (doğal hali bozulmamış) numuneler alınır. Sondaj deliği içinde, yerinde (in-situ), örneğin; presiometre aletleri ile yanıl basınç deneyleri yapılır. Örselenmiş numunelerle, zeminin endeks özellikleri, tabaka cinsleri ile tabaka kalınlıkları belirlenir. Örselenmemiş numuneler üzerinde de laboratuvarlarda deneyler yapılarak zeminlerin mekanik özellikleri saptanır. [6]

5.2.3. Zemin sondaları

Zeminlerde dinamik veya statik karakterde olmak üzere iki tür sonda yapılabilmektedir.

5.2.3.1. Dinamik sondalar

Bu tür sondaların geliştirme biçimlerine göre çeşitli türleri vardır.

a- Standart – Penetrasyon deneyi :

Temel zemininde, açılmış sondaj delikleri içine, standart bir alet indirilir. Bu aletlerin özel tüpü zemin içine vurularak sokulur. 63,5 kg ağırlığındaki bir tokmağın 76 cm yükseklikten bu tüp üzerine düşürülmesi ile, zemine 30 cm. girmesi sağlanır. İlk 15 cm den sonraki 30 cm için gerekli olan düşüş sayısı N' e bağılı olarak zeminin direnci hakkında bilgi edinilir.

Bu deney ince çakıl, kum, silt ve kil zeminlerde uygulanır ve $N > 50$ değerinden sonra devam ettirilmez. Düşüş sayısı N' in büyük olması, zeminin çok sağlam olduğunu, küçük oluşu ise zeminin sağlam olmadığı anlamına gelir. Tablo 5.1 'de kumlu zeminlerde zeminin sıklığı ile düşüş sayısı arasındaki gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Düşme sayısı ile sıklık ilişkisi

SPT - N	Rölatif Sıklık, Dr	Sıklık Derecesi
0 – 4	0 – 0.15	Çok Gevşek
4 – 10	0.15 – 0.35	Gevşek
10 – 30	0.35 – 0.65	Orta Sıkı
30 – 50	0.65 – 0.85	Sıkı
> 50	0.85 - 1	Çok Sıkı

5.2.3.2. Statik sondalar

Yer altı suyunun yüksek olduğu yerlerde, yumuşak ve hareketli zeminlerde, zemine darbe ile bir aletin sokularak, zemin direnci hakkında bilgi edinilmesi çok zordur. Bu gibi durumlarda, sonda tijleri, zemine veren denilen aletlerle sokulur ve zemine statik bir basınç kuvveti uygulanır. Kuvvetin uygulandığı noktadaki basınç, elektriksel ve mekanik olarak ölçülür. Bu tür sondalarda, vereni taşıyan sehpa zemine ankre edildikten sonra sondajlara başlanır.

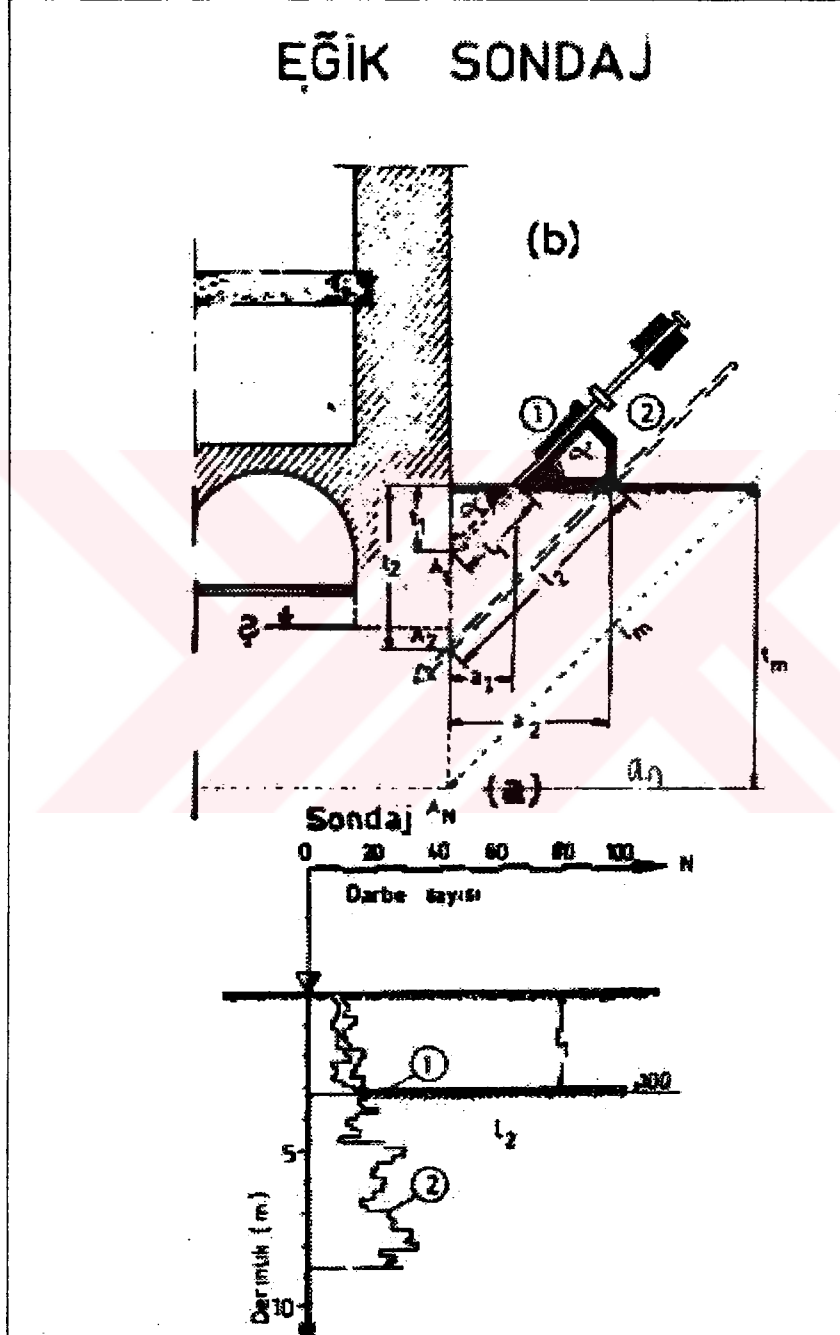
5.2.4. Zemin sondajları ve sondaj sonuçlarının değerlendirilmesi

Sondajların sonuçlarından zeminin fiziksel özellikleri ve yapısı hakkında belli bir 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.

Geleneksel yapıların temel derinliklerinin belirlenmesinde eğik sondajlar kullanılır. Bu sondajlar 45° eğimli doğrultularda yapılır. Sondaj aleti, Şekil 5.1.' de gösterildiği gibi temel derinliği belirlenecek yapının belli bir uzaklığına yerleştirilir. Belli eğimde

(α) zemine batırılan tij zemine sokulur ve aletin yeri değiştirilerek (A_1) noktası aşağılara doğru indirilir. Temelin alt noktasına (A_N) birkaç denemeden sonra ulaşılır. (5.1) formülü kullanılarak temel derinliği (t_N) bulunur.

$$\text{tg } \alpha = t_1 / a_1 = t_N / a_N \quad (5.1)$$



Şekil 5.1 Eğik sondajla temel derinliğinin bulunması

5.2.5. Muayene kuyuları

Geleneksel yapıların temel durumlarının ve derinliklerinin belirlenmesi için yapı kenarında gerekli sayıda kontrol kuyuları açılır. 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 tarihi yapının çevresinde yapılması muhtemel kazı çalışmalarının hangi mesafe ve derinlikte yapıya olumsuz etkisi olabileceği belirlenir. [6]

5.2.6. Yeraltı su seviyesinin belirlenmesi

Yer altı su seviyesi, foraj ve sondaj delikleri 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 bilgiler elde etmek mümkündür. Bu tür bilgileri, yer altı sularının durumunu ve değişimini inceleyen büroların gözlemlerinden de elde edilebilir. Bu tür bilgiler, yer altı suyunun uzun zaman süreci içindeki değişimini içerdiğinden daha sağlıklı olur. Geleneksel yapıların incelenmesi söz konusu olduğuna göre, yer altı suyunun en az on beş yirmi yıllık değişiminin bilinmesinde büyük yarar vardır. Ancak bu bilgilerin ışığında, bu süre içinde, zemindeki oturmaların yapıyı etkileyecek mertebelere ulaşım ulaşmayacağı hakkında bir hesap yapma olanağı elde edilir. Bu hesap sonuçlarına göre de, çok uzak geçmişteki zemin davranışları ile ilgili bir ekstrapolasyon yaparak, daha somut sonuçlara ulaşılabilir. Örneğin; geçmişteki bu değişimlerin mertebesi bilinir ve yapıdaki çatlamlar gözlenirse, gelecekteki olası çatlaklar ile ilgili önlemler, optimum bir maliyetle alınabilir. [6]

5.2.7. Temel oturmalarının ölçülmesi

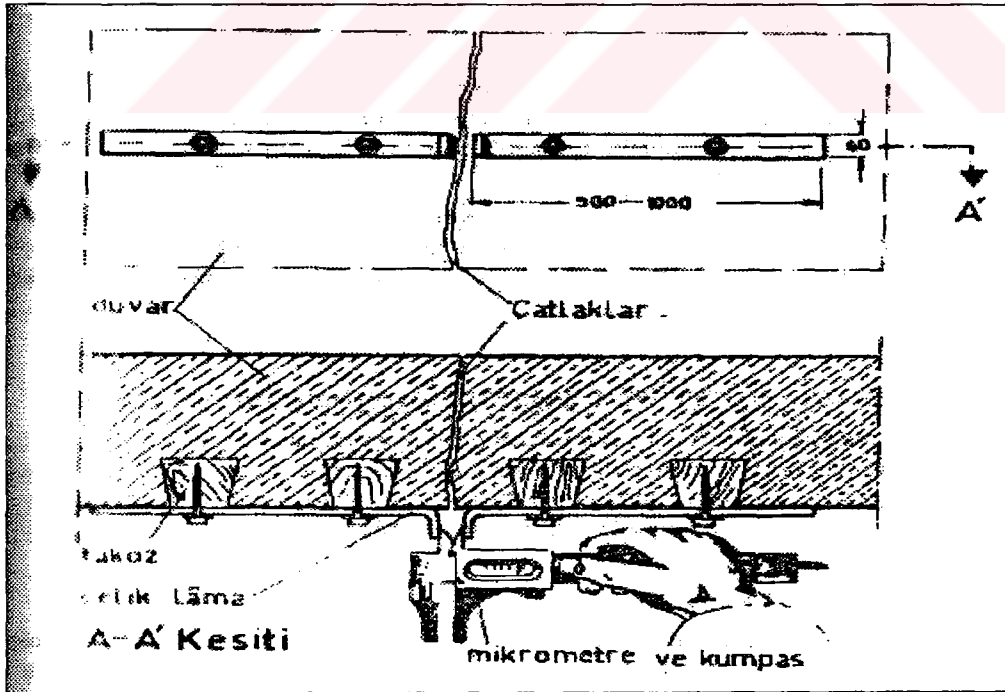
Temel oturmaların geçmişteki değerlerinin ölçülmesinden söz edilemeyeceğine göre, ölçme işlemine, yapının iyileştirilmesine karar verildikten sonra başlanır. Bulunan değerler yardımı ile ancak, geçmişteki oturmalarla ilgili bir tahmin yapılabilir. Bununla beraber kule veya minare gibi yüksek yapıların dönmeleri ile ilgili bir tahmin yapılabilir. Bununla beraber kule veya minare gibi yüksek yapıların dönmeleri ile ilgili gözlem ve ölçmelerden yararlanarak, dönmenin zamana bağlı değişimini saptamak mümkün olur. Bu bağlantıya göre yapının geçmişteki dönme

miktarını tahmin etmek mümkün olur. Geleneksel yapılar genellikle uzun bir zaman süreci içinde yapılmışlardır. Her bir yapı bölümünün yapım süresi bilinirse, bu süre içindeki oturmalarla hesaplanabilir.

Avrupa ülkelerinde bu tür oturma hesaplarına yirminci yüzyıl başlarında başlanmıştır. Örneğin; İtalya' daki Piza Kulesi'nin dönmesi ile ilgili ölçmeler daha geçen yüzyıldan beri yapılmaktadır. Bu ölçme sonuçlarına dayanarak yapılan hesaplarla, yine yaklaşık bir değer elde edilmektedir. [6]

5.2.8. Yapıdaki çatlakların gözlenmesi

Yapılardaki çatlaklar alçı ile sıvanır ve alçının çatlayıp çatlamamasına göre yapıdaki oturmaların devam edip etmediği anlaşılır. Ayrıca çatlak genişliğinin yaklaşık olarak ölçülmesi de mümkün olabilir. Ölçmelerin daha sağlıklı yapılabilmesi istenirse Şekil 5.2'de gösterildiği gibi çatlağın iki tarafına iki lama tespit edilir. İki lama arasındaki uzaklığın kompas veya mikrometre yardımı ile ölçülmesi sonucu, çatlaktaki gerçek büyümeler ölçülebilir. Ölçmeler, 1/1000 mm duyarlılıkta yapılabilir. (Schultze / Muhs. 1967 , say. 695) Ölçmelerin zamanla olan bağlantısının da böylece saptanması mümkün olur.



Şekil 5.2 Çatlak genişliğinin gözlenmesi

Bununla beraber, bazı çatlakların zamanla olan değişimlerinin belirlenmesi veya birbirleri ile karşılaştırılması yeterli olmaz. Çatlakların yapı içindeki tüm görünüşlerini saptamak gerekir. Bunun için döşeme ve duvarların büyük boy fotoğrafları çekilerek çatlakların global durumu belirlenir. Fotoğraf alma işlemlerine zaman zaman devam edilerek, çatlaklardaki büyümeler stereoskopik komparatörlerle saptanır. Bu aletlerle farklı zamanlarda alınan fotoğraflar aynı anda değerlendirilir ve çatlaklardaki farklılık ölçülür (Burcukhardt, 1935). Çatlaklardan yapıdaki bozulmalarla, statik sistemdeki değişiklikler yan sıra, aynı zamanda yapının temellerindeki oturmalar arasındaki farklılıklar da öğrenilebilir. Bilindiği gibi, oturma çatlakları daima oturmanın en çok olduğu noktaya doğru yatık, yatayla 45° eğimli doğrultularda oluşur. Bu da bize, çatlakların biçiminden az çok oturmaların yeri ve şekli ile ilgili bilgi verir (Şekil 5.3).

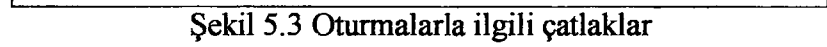
Böylece duvardaki çatlakların doğrultusu takip edildiğinde örneğin; düzgün bir yapıya sahip olmayan zeminlerdeki oturmaların şekli öğrenilir. Temel oturmaları gözlenememiş yapılarda, çatlakların şekli, yapının oturması hakkında, en azından yaklaşık da olsa bilgi verir. Bu yöntemle oturmaların mutlak değerleri ile ilgili bir bilgi edinilemez. Mafatih çatlaklar yardımı ile, oturmaların yer altı suyunun alçalması nedeni ile mi yoksa deprem gibi başka nedenlerle mi meydana geldiği hakkında da bilgi edinilir. Genelde çatlaklardaki bir büyümenin bu iki nedenden biri olduğu anlaşılır.[6]

5.3. Zemin Numuneleri Üzerinde Laboratuarda Yapılacak Araştırmalar

5.3.1. Zemin sınıflarının belirlenmesi

Zemin bilindiği gibi birçok mineral parçacıklarının bir araya gelmesinden müteşekkil bir ortamdır. Dane aralarındaki boşluklarda, hava ve su bulunur. Zeminler temel olarak iki ana gruba ayrılır. Birbirinden ayrılabilen danelerden oluşmuş zeminlere (daneli zeminler) veya “kohezyonsuz zeminler” adı verilir. Bu tür zeminlere örnek olarak, kum ve çakıllar gösterilebilir. Birbirinden ayrılmayan veya zorlukla ayrılabilen danelerin oluşturduğu zeminlere de; “kohezyonlu” zeminler adı verilir. Bu gruba da killi ve siltli zeminler girmektedir. Bu iki tür zemini birbirinden ayırmak için zemin numuneleri üzerinde “mekanik analizler” yapılır. Zemin numunesinin

a Konkav oturma



Zemin karışımı içinde, “dane çapına göre danelerin miktarı” yüzde olarak belirlenerek bir “dane çapı dağılımı eğrisi” çizilir. Bu eğri “S” şeklinde olup “granülometri eğrisi” adını alır. Bu eğri yardımı ile, zemindeki çakıl, kum, silt, kil oranlarının tespit edilmesinin yanı sıra özellikle iri daneli zeminlerin mühendislik özellikleri hakkında önemli sonuçlar çıkarılabilir. Granülometri eğrisinden kohezyonsuz, iri daneli zeminler için çıkarılabilecek bazı önemli mühendislik özellikler şunlardır (Özaydın,1997) :

- Zeminin su geçirgenliği : Temiz iri daneli zeminler ince daneli zeminlere göre çok daha yüksek su geçirgenliğine sahiptir.
- Zeminin mukavemeti : İyi derecelenmiş zeminler daha yüksek mukavemete ve taşıma gücüne sahip olmaktadır.
- Zeminin sıkışabilirliği : İyi derecelenmiş zeminler, uygulanan yükler altında, kötü derecelenmiş veya üniform zeminlerden daha az sıkışma göstermektedir.
- Zemin içindeki kapiler su yükselmesi dane çapı dağılımından doğrudan etkilenmektedir.
- Zeminlerin dondan etkilenme oranı dane çapı dağılımına bağımlı olmaktadır.
- Zeminin su geçirgenliğine bağlı olarak yük altında sıkışma hızı dane çapı dağılımından etkilenmektedir.

5.3.2. Zeminlerin porozitesi ve boşluk oranı

Kum ve çakıl gibi iri daneli zeminlerin birim hacmi içindeki boşluk hacminin, tüm hacme oranına “porozite” adı verilir ve (n) ile gösterilir. Boşluk hacminin, danelerin oluşturduğu “dolu hacme” oranına da “boşluk oranı” adı verilir ve (e) ile gösterilir. Bu değerler doğrudan doğruya sondalar yardımı ile bulunabildiği gibi, ayrıca yerinde alınmış zemin numuneleri üzerinde laboratuvarlarda yapılan deneyler yardımı ile de bulunabilir. Bu değerlendirmelerin yapılmasında, zemin numunesinin doğal durumunun bozulmaması, yani numunelerin “örselenmemiş” olmasına dikkat etmek gerekir. [6]

5.3.3. Zeminlerin su muhtevası

Silt ve kil gibi kohezyonlu zeminler için boşluk oranı az bir önem taşımakla birlikte bu tür zeminlerde, boşluklar içindeki suyun varlığı çok önemli bir rol oynamaktadır. Suyun miktarına göre, killi zeminler “akıcı” halden “katı” hale kadar, çok farklı davranışlar gösterir. Zemin boşluklarındaki su ağırlığının, dane ağırlığına oranına “su muhtevası” denir ve (w) ile gösterilir.

Killi bir zeminde suyun aşırı miktarda bulunması halinde kil akıcı bir hal alır. Akıcılığın başladığı durumdaki su muhtevasına “likit limit” (WL) adı verilir. Suyun daha az olması halinde, killi zemin, elle şekil verilebilir (plastik) bir davranış gösterir. Plastikliğin başladığı durumdaki, su muhtevasına da “plastik limit” (W_p) adı verilir. Kil numunenin boşluklarındaki suyun kurutularak azaltılması sonucu, kil hacminde bir azalma olur. Bir noktada su azalsa da, hacimde bir değişme olmaz. Bu durumdaki su muhtevasına “rötre limiti” (W_R) adı verilir. Böylece doğal haldeki kilin su muhtevası belirlenerek kilin likit, plastik ve katı halde olup olmadığı anlaşılır. Su muhtevasının belirlenmesi ile, boşlukların tamamen su ile dolu olup olmadığı, yani zeminin “doygun” olup olmadığı hakkında da, bilgi edinilir. Örneğin; killi zeminlerdeki “Rötre olayının” incelenmesi için, bu çok önemlidir. Temel yüzeyine yakın yerlerde, kurumalar sonunda, hacim küçülmelerinin (rötrenin) oluşması sonucu (temel oturmaları) önemli miktarlara ulaşabilir. Bu nedenle, killi zeminlerde rötre limitinin belirlenmesi önemlidir. [6]

5.3.4. Zeminlerin kayma direnci

Yapı yükleri etkisi ile temel düzlemi altında oluşan kayma yüzeyleri üzerinde zemin kaymaya zorlanır. Yüklerin belli bir limite (Q_k) ulaşması halinde, temelin altındaki zemin kırılarak, yanal zemin hareketleri ve temel düzleminin üstüne doğru kabarmalar meydana gelir. Zeminin kayma direnci bilinirse temele gelen limit kuvvet (Q_k) belirlenebilir.

Kayma yüzeyi üzerindeki “kayma direnci” o yüzey üzerindeki “sürtünme” ile, daneler arasında bağlayıcı kuvvetin yani kohezyonun (c) toplamıdır. Sürtünme kuvveti kayma yüzeyine dik kuvvetin sürtünme katsayısı olan $\tan \phi$ ile çarpımıdır. Bu bağıntıya, Coulomb denklemi adı verilir. Bu bağıntıdaki kohezyon (c) ve (ϕ)

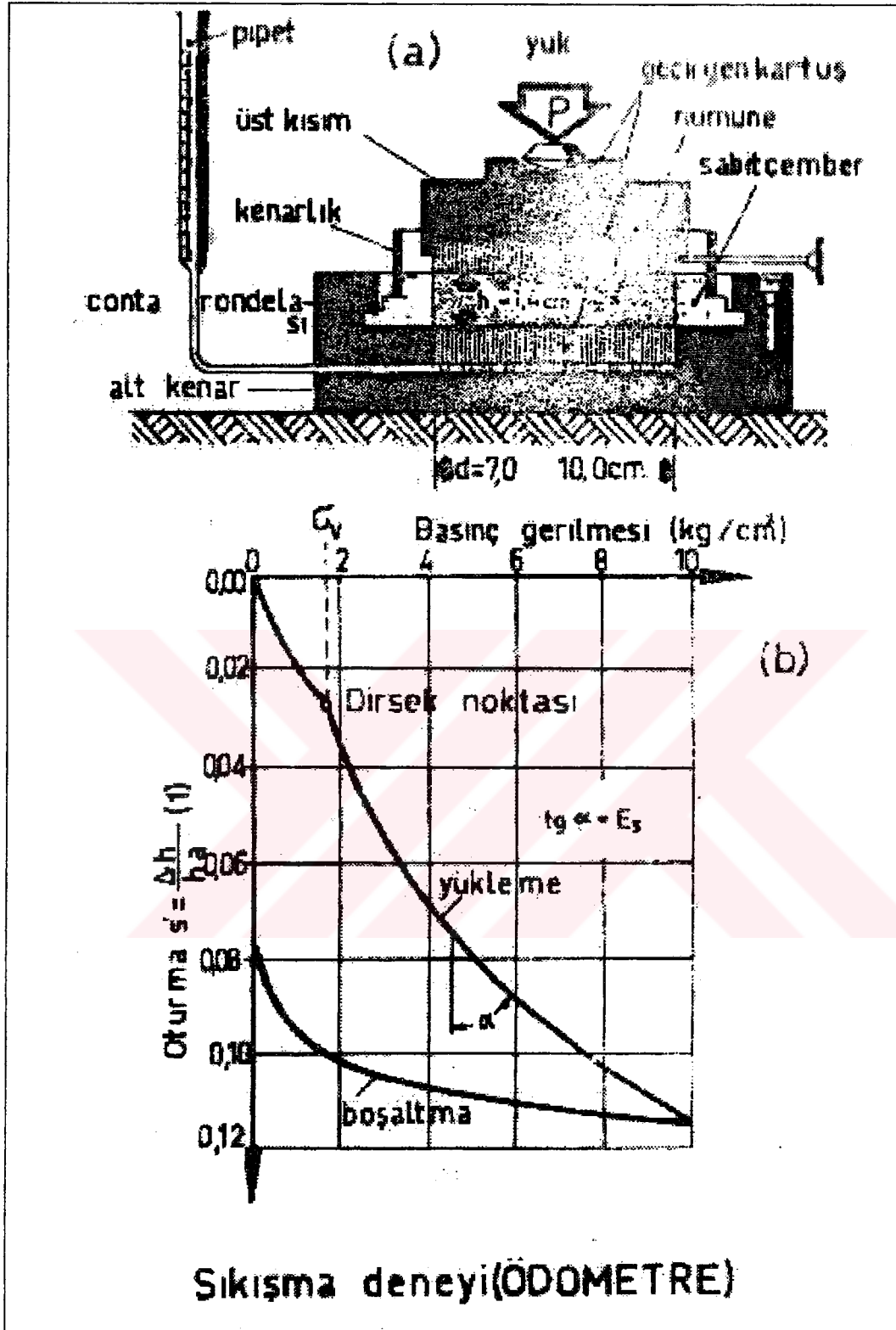
içsel sürtünme açısına kayma direnci parametreleri denir. Bu değerler örselenmemiş numuneler üzerinde laboratuarlarda yapılan “ üç eksenli basınç deneyleri” veya “kesme deneyleri” yardımı ile bulunur.

Kumlu ve çakıllı zeminlerde; (ϕ) içsel sürtünme açısı (30° , 45°), siltli zeminlerde ($30^\circ - 35^\circ$); killi zeminlerde ise ($10^\circ - 30^\circ$) derece arasındadır. [6]

5.3.5. Zeminlerin sıkışması

Bir temele yüklenecek yükü belirlemek için yalnız zeminlerin kayma direncini bilmek yetmez. Bunun yanı sıra, temelin oturma miktarın da bilinmesi gerekir. Zeminlerin sıkışabilirliği yani kompresibilitesi deneysel olarak, örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan konsolidasyon (ödometre) deneyleri ile incelenir.

(Şekil 5.4.a.) da görülebileceği gibi, 7 - 10 cm çapında ve çapın 1/5 yüksekliğindeki silindirik bir numune ödometre aletine yerleştirilir. Sonra farklı yüklerle yüklenerek, yük – sıkışma arasındaki bağıntı saptanır ve bir grafikte belirlenir (Şekil 5.4.b.). Bilindiği gibi bazı elastik katı cisimlerde, kuvvet veya gerilmenin birim deformasyona oranı, sabit bir sayı olan elastisite modülüyle belirlenir. Zeminler için aynı şey söylenemez. Yüklerin artması sonucu boşluklar azalır hacim küçüleceğinden, zemin daha yoğun bir durum alır. Bu durumdaki zeminin yükler karşısında şekil değiştirmesi daha az olacağından kuvvet ile deformasyon arasında lineer bir bağlantıdan söz edilemez. Üstelik bu bağıntıyı belirleyen eğri aşağı doğru eğilerek devam eder. Bu eğri yardımı ile bir temele yüklenebilecek yük belirlenebilir. Aynı zamanda yük-deformasyon eğrisi üzerinde, bir “dirseğin” olması, zeminin geçmişte buzul veya başka bir tabaka ile yüklendiği, daha sonraları bu ağırlığın (sürsajın) kalktığı hakkında da bilgi verir. Bu tür zeminlere geçmişte etkimiş olan yükün değeri, yük - deformasyon eğrisi üzerinden okunur. Bu yük, yapı yükünden büyükse, bu tür zeminlere "aşırı konsolide olmuş" zeminler adı verilir. Bu tür zeminler yük taşıma bakımından sağlam zeminlerdir. Bunun tam tersi, zemine etkiyecek yük, laboratuarda yüklenen yükün aynı ise “normal konsolide olacak” bir zeminden söz edilebilir. Bu tür zeminler, ilk kez yapı yüklerinin etkisi ile hiçbir deformasyon yapmasada zamanla, zeminin konsolide olması sonucu ilk başta yapmadıkları bir deformasyon yapacaklardır. [6]



Şekil 5.4 Sıkışma (Ödometre) deneyi

5.4. Sonuç

Hasar görmüş tarihi bir yapıda yapılacak araştırmalar neticesinde elde edilen sonuçlar ışığında yapıdaki hasarın nedeninin temel ve zemin sisteminden kaynaklandığı kanaatine varılırsa ikinci adım olarak yapıya acil bir müdahale gerekip gerekmediğı araştırılmalıdır. Tarihi yapıda gözlenen çatlakların gelişimi milimetre mertebesinde altıda ise yani yapıya acil bir müdahale gerekmiyor ise yapı en az beş yıl daha gözlem altında tutularak daha uzun süreli gözlenmelidir.

Yapılan araştırmalar ve gözlemler neticesinde acil müdahale edilmesi gerektiğı sonucuna varılırsa, gerek uygulama sırasında gerekse uygulama sonrasındaki arazi deneylerinin, ölçüm ve gözlemlerin sonuçlarının takip edileceğı bir temel takviyesi yöntemi programı hazırlanmalıdır. Böylelikle uygulanan temel takviyesi yönteminin isabetli olup olmadığı ortaya çıkacaktır.



6. TARİHİ YAPILARDA UYGULANAN TEMEL TAKVİYESİ YÖNTEMLERİ

Mevcut temellerin davranışını iyileştirmek ve oturmalarını kontrol etmek amacı ile çeşitli temel takviye yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Bu yöntemleri üç sınıfa ayırmak mümkündür : [19]

1 - Geleneksel temel takviye yöntemleri ile temelin genişletilmesi ve / veya derinleştirilmesi yoluyla temel davranışının iyileştirilmesine çalışılır.

2 - Temel altındaki zeminin iyileştirilmesine dayalı yöntemler. Temel zemini , çimento enjeksiyonu , kimyasal enjeksiyon veya “jet-grout” kolonları kullanılarak iyileştirilir.

3 - Temel yükleri daha derindeki taşıyıcı tabakaya aktaran yöntemler. Bu amaçla çakma kazıklar , itmeli kazıklar , mini kazıklar , “jet-grout” kolonları kullanılır.

6.1. Geleneksel Yöntemler

Temel takviyesinde ilk akla gelen yöntem, kazı yapılması ve mevcut temel altında bire beton kütle oluşturulmasıdır (Paterson, 1970). Bu yöntem, kazı derinliğinin fazla olması veya yer altı su seviyesinin yüksek olması nedeniyle her zaman uygulanamayabilir. Yer altı suyunun oluşturabileceği zorluklar nedeniyle de ekonomik olmaktan çıkabilir. Yapı yüklerinin çok yüksek olduğu durumlarda ilave bir beton kütlesi kabul edilemeyecek oturmalara neden olabilir. Mütemadi bir sömelin takviyesi için temelin altı, anolar halinde kazılır. Desteksiz bırakılabilecek uzunluk, usulüne uygun inşa edilmiş tuğla duvarlarda 1.5 – 2 metreyi geçmemelidir . Her halükarda, herhangi bir aşamada desteksiz kalacak uzunluk yapı uzunluğunun dörtte birinden fazla olmamalıdır. Betonlama, mevcut temelin 5 – 10 cm altına gelene kadar sürdürülmeli, betonun prizi beklenmelidir. [19]

6.1.1. Uygulama

Tarihi olmayan bir yapıda, olması gerekenden fazla kat yapılması, imarda öngörülen kat alanının genişletilmiş olması, toplam temel alanının azaltılmış olması nedeniyle yetersiz taşıma gücü sonucu farklı oturma söz konusu olmuştur. Yapılan hesaplar neticesinde yapının uygulamadaki ortalama taban basıncının projedekinin çok üstünde olduğu tespit edilmiştir. Çözüm olarak temellerin genişletilmesi suretiyle taban basıncının düşürülmesi yoluna gidilmiştir. Bunun için mütemadi temele filiz ekilerek radye temel haline getirilmiştir . Yapıda sonradan yapılan ölçümler neticesinde deplasmanların durduğu tespit edilmiştir. [18]

6.2 Temel Zeminin İyileştirilmesine Dayalı Yöntemler (Enjeksiyon)

6.2.1. Enjeksiyonun tarihçesi

Enjeksiyon, kayma mukavemetini artırmak veya geçirimsizlik sağlamak amacıyla kaya ya da zemin içindeki boşluklara basınç altında bir sıvı zerk etme işlemidir. Zemine ve kayaya enjeksiyon yapılarak boşluklar tamamen veya kısmen doldurulur. Bu sayede danelerin kenetlenmesi sağlanarak şekil değiştirme direnci artırılır. Enjeksiyon yapılan zeminin mukavemeti, zeminin ve enjeksiyon karışımının özelliklerine bağlıdır.

Enjeksiyon yöntemiyle zemin iyileştirilmesi 19. yüzyılın başından beri bilinmesine rağmen ilk ciddi gelişmeler yirminci yüzyılın başında ortaya çıkmıştır. İlk enjeksiyon uygulaması Fransa'da **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. 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 öğütülmüş çimentolar (ince daneli çimento) enjeksiyonda kullanılmaya başlandı.

6.2.2. Enjeksiyonun başlıca uygulama alanları

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

- Geçirimsizlik perdelerinin teşkil edilmesinde (perde enjeksiyonu),
- Aşırı oturmaların ve su kaçaklarının 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 yanal yük taşıma kapasitesinin artırılmasında,
- Şev stabilitesinin sağlanmasında,
- Hacim değişimi gösteren zeminlerde şişme ve büzülmenin azaltılmasında,
- Boru İtme (Pipe Jacking) inşaatlarında çevre sürtünmesinin 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.

6.2.3. Enjeksiyon İşleminin Projelendirilmesi için Yapılan Çalışmalar

6.2.3.1. Enjeksiyon yönteminin tayini için yapılan ön çalışmalar

Bir zemin üzerinde enjeksiyon işlemine karar vermeden önce sahanın iyi bir şekilde etüd 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.

1- Yeraltındaki Büyük Boşlukların İncelenmesi :

Yeraltındaki büyük boşluklar ;

a)İnsan eli ile yapılmış büyük boşluklar (Galeriler, kavernler, içi boşaltılmış cevher damarları, kuyular),

b)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 :

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

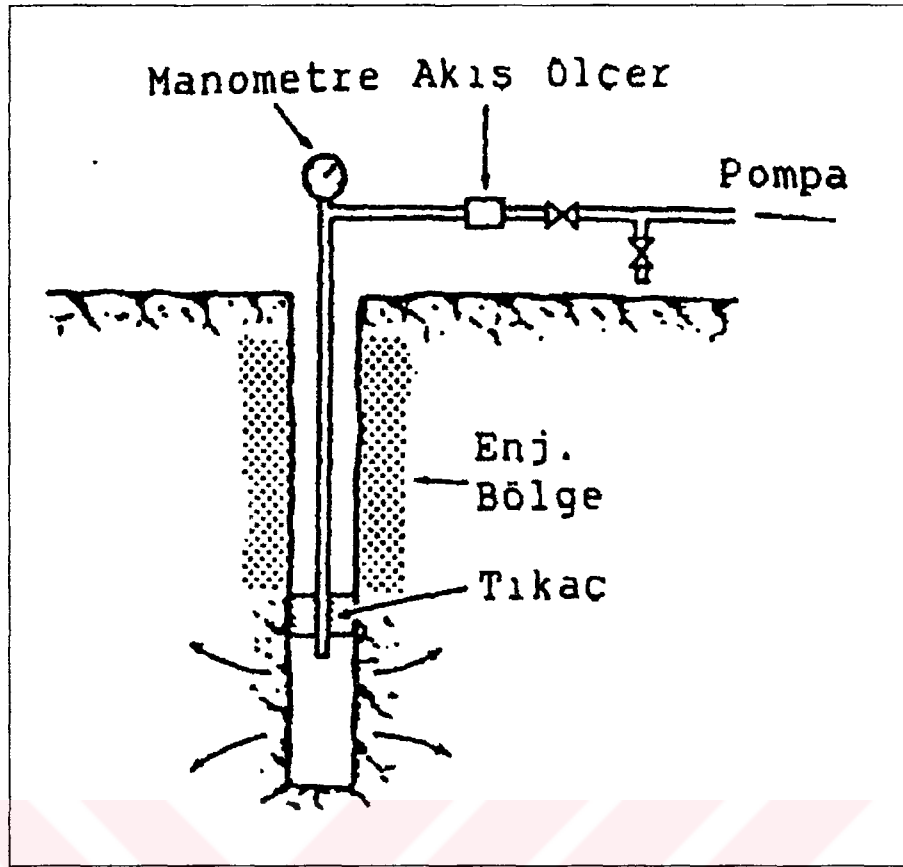
2- Kayada çatlak ve yarıkların incelenmesi

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

Çatlak açıklıkları ve bunların dolguları sondajlarda karotlarla hassas olarak tespit edilemediğinden çatlakların geçirimsizliği hakkında bilgi edinmek amacıyla sondaj kuyusu içinde basınçlı su deneyleri yapılır.

Tıkaçla yapılan deneylerde, 1 m kuyu uzunluğunda 1 dakikada, 10 bar basınç altında su kaybı 1 lt ise buna 1 Lugeon birimi denir. Fransız Lugeon tarafından önerilen bu deneye Lugeon Deneyi de denmektedir.

Lugeon su deneyi sonuçlarının rölatif olduğu unutulmamalıdır. Bu deney verilerini, ortamın enjeksiyon kabul etme özelliğiyle karşılaştırmak için, bir çimento enjeksiyon deneyi yapılarak, enjeksiyon nüfuz etme miktarının tespiti faydalı olacaktır. Bu enjeksiyon deneyinden elde edilen sonuçlar yapılacak enjeksiyon uygulamasının planlanmasında çok değerli bilgiler verebilir.



Şekil 6.1: Lugeon Deneyi

3- Daneli zeminlerin enjeksiyonu için yapılan incelemeler:

Daneli zeminlerde pratik olarak 0.1-10 mm arasındaki boşluk çapları söz konusu olmaktadır. 10 mm çapından büyük boşluk hacimlerine genelde kum ve çakıl ihtiva etmeyen blok boyutundaki kaya parçaları sahiptir. Bunlara şerbet yerine harç enjekte edilebilmektedir.

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.

Sahanın geçirgenliğini önemli ölçüde etkileyebilen ince kalınlıktaki tabakalar bazen sondajlarla sondör tarafından tespit edilemeyebilir. Bu nedenle arazi deneyleri ile zemin tabakasının ortalama permeabilitesini belirlemek doğru bir yaklaşım olacaktır.

6.2.3.2. 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 artırıcı katkı maddesi ilave ederek, enjeksiyonun yeterli mesafelere erişmesi sağlanır.

6.2.3.3 Enjeksiyon uygunluk deneyleri

Karotlu sondajlar ve basınçlı su deneyleri ile zeminin veya kayanın jeolojik ve fiziksel durumu belirlendikten sonra yeraltındaki malzemenin enjekte edilebilirliğini ve karışımın nereye kadar nüfuz ettiğini araştırmak amacıyla deney enjeksiyonu yapmakta yarar vardır. Bu deney sonucu enjeksiyon aralıkları, derinliği, uygulanacak basınç ve enjeksiyon yöntemi, kullanılacak karışım oranları ve katkı maddeleri gibi enjeksiyon projesi ve teknik şartnamesinin hazırlanması için gerekli veriler toplanır. Yapım öncesi elde edilen bu bilgilerle maliyet tahmini de yapılabilir.

6.2.4. Enjeksiyon İşlemlerinin Sınıflandırılması

Enjeksiyon işlemlerini çeşitli bakımlardan sınıflara ayırarak incelemek mümkündür. Bu sınıflandırmanın bir amacı da enjeksiyon işlemlerinde karşılaşılabilecek farklı özellikleri topluca gözden geçirmektir. [16]

6.2.4.1.Amaca göre sınıflandırma

Enjeksiyon işlemleri amaçları bakımından iki gruba ayrılırlar.

1- Deney Enjeksiyonları

Proje alanında yapılacak asıl enjeksiyon işleminin özelliklerini, karakteristiklerini, maliyetini ve yapılabilirliğini saptamak için düzenlenen ön enjeksiyon çalışmalarıdır.

2- Uygulama Enjeksiyonları

Denemeler sonunda yapılabilirliği belirlendikten sonra, saptanan karakteristiklere ve hazırlanan projeye uygun olarak yürütülen asıl enjeksiyon çalışmalarıdır.

6.2.4.2. Uygulama yerine göre sınıflandırma

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).

6.2.4.3. İşlevlerine göre sınıflandırma

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

1-.Perde Enjeksiyonları

Perde enjeksiyonları yeraltı suyuna karşı geçirimsiz perdeler veya bir başka deyişle yeraltı barajları oluşturmak amacıyla yapılırlar. 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.

2- 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.

3- Dolgu (Kontakt) Enjeksiyonları

Büyük yapılardaki, yapay yapı ile doğal zemin arasındaki boşluklar, her zaman büyük sakıncalar 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.

4- Alüvyon Enjeksiyonları

Alüvyonlar permeabilite katsayısı 0.1 ila 10^{-6} 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 dünyada gerekse ülkemizde alüvyon enjeksiyon uygulamaları giderek artmaktadır. Alüvyon enjeksiyonlarının üç ana amacı vardır:

-Zemindeki boşlukların doldurulması

-Zeminin taşıma gücünün artırılması

-Alüvyonda geçici veya devamlı geçirimsizlik sağlanması.

İlke olarak kaya enjeksiyonlarında kullanılan enjeksiyon karışımlarını alüvyon enjeksiyonunda kullanmak için alüvyonun sadece 5-10 mm' lik çakıldan oluşması gerekir.

Alüvyonlar içinde permeabiliteleri farklı kısımlar (cepler) bulunuyorsa önce daha permeabl 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.

6.2.4.4. Uygulanan basınca göre sınıflandırma

1-.Alçak Basınç Enjeksiyonları

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

2- Orta Basınç Enjeksiyonları

Enjeksiyon basıncının 1-3 MPa arasında olduğu durumdur. Sondaj boyları da 15-30 m arasındadır.

3-.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 gidiş i ile basıncın yükseliş i arasında ters orantı mevcuttur. Karışımın gidiş i yavaşladıkça basınçta bir yükselme görülür. İnce karışımlarla yapılan enjeksiyonlarda basıncın istenilen değ ere 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 değ ere yükseldiğı halde basınçta ani bir düşüş görülür. Bu durum kuyunun yeni bir boşlukla karşılaşmasındandır. Basıncın düşmesi ile enjeksiyon yeme kabiliyetinde bir artış görülür. Bu durumda enjeksiyona devam edilir ve durum eski haline döner.

Enjeksiyonda uygulanan basınç, kuyu ağızındaki manometrede tatbik edilen basınçla, kuyu içindeki karışımın yapmış olduğı basıncın toplamından oluşur. Karışımın yapmış olduğı basınç manometre seviyesi ile enjeksiyon seviyesi arasındaki derinliğ e bağılıdır.

Enjeksiyon boyunca, basınçların tabakada kırılma- ya 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.

6.2.5. Enjeksiyon Karışımı

6.2.5.1. Enjeksiyon karışımının elemanları

Enjeksiyon işleminde, su içerisine bazı bağlayıcı maddeler karıştırılarak elde edilen karışımlar, enjeksiyonun yapılacağı yere öngörülen basınçlarla basılırlar. Bu karışıma enjeksiyon karışımı, enjeksiyon şerbeti veya enjeksiyon harcı denir. Bunlardan başka, enjeksiyon karışımının fiziksel ve kolloidal özelliklerini kullanım amacı yönünde iyileştirmek, örneğin karışımı daha akıcı, daha çabuk ya da geç donucu veya daha yoğun yapabilmek için karışıma bazı maddeler daha ilave edilir. Bu yardımcı malzemelere ise enjeksiyon katkı maddeleri denir.

Enjeksiyon karışımları, karışımı oluşturan maddelere göre çeşitli biçimlerde olabilir. Enjeksiyon maddesi çimento gibi koloidal bir madde ise çimento daneleri su içinde askıda kalacaklarından enjeksiyon karışımı bir süspansiyondur. Pratikte süspansiyonlar için şerbet ismi de kullanılır. Enjeksiyon maddesi bir sıvı ise enjeksiyon karışımı da bir emülsiyon olacaktır. [16]

6.2.5.2. Enjeksiyon karışımının özellikleri

Enjeksiyon karışımı özelliklerinin proje aşamasında incelikle saptanması, uygulama aşamasında ise bunlara titizlikle uyulması enjeksiyon işleminin en önemli yanıdır. Bazen yeraltındaki uygulamada, projede öngörülen hususlarla karşılaşılabilir. Bu durumda, uygulama sorumlusunun gerekli değişiklikleri yapması zorunludur ki, bu da ancak konunun çok iyi bilinmesi ile mümkündür. Enjeksiyon karışımlarının özellikleri aşağıda incelenmiştir :

1- Akışkanlık (Viskozite)

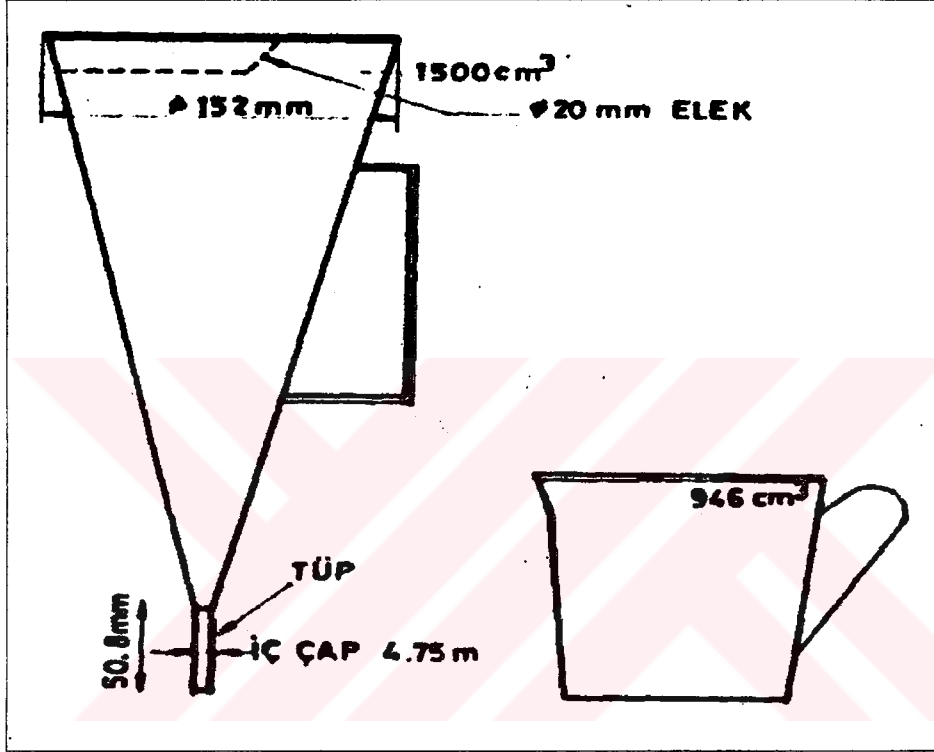
Enjeksiyon karışımının, istenen bölgeye en az enerji ile enjekte olması istenir. Bu yüzden karışımın yeterli ölçüde akıcı olması gerekir. Ancak gereğinden fazla akışkanlık da karışımın gerekli olmayan mesafelere kadar ilerlemesine neden olacağından sakıncalıdır. Bu yüzden, optimum değerin öncelikle saptanması çok önemlidir. Aslında en uygun yol akışkan bir karışımla enjeksiyona başlamak, duruma göre karışımı yoğunlaştırarak aşamalı olarak optimum akışkanlığa ulaşmaktır. Akışkanlık, katı madde/su oranı ile kontrol edilebildiği gibi çeşitli katkı maddeleri ile de ayarlanabilir. Enjeksiyon karışımlarının çatlak içindeki tesir yarıçapı ile çatlağın enjeksiyonla doldurulması için gerekli olan süre karışımın Viskozitesi ile ilgilidir. Viskozite, çimento şerbetinin belli bir basınç altında ve belli bir zamanda açık bir çatlak boyunca nüfuz etme derecesinin bir ölçüsüdür. Dolayısıyla viskozite, enjeksiyonun tamamlanması için gerekli süreyi belirler.

Arazide çamurun viskozitesi çok pratik olarak “Marşh Hunisi” ile ölçülebilir (Şekil 6.2). Ancak, marsh hunisinden akmayan karışımların viskozitesi "Prepakt Hunisi" ile ölçülür (Şekil 6.3)

Marsh Hunisinin Kullanışı :

Marsh Hunisi, tel süzgecin alt yüzeyine kadar (1500 ml) karışımla doldurulur. Doldurma işlemi esnasında huninin ucu parmakla kapatılır. Daha sonra, parmak çabucak çekilip ölçekli kabın (946 ml) dolma süresi saniye cinsinden tespit edilir.

Bu değer bize karışımın veya çamurun viskozitesini verecektir.. 946 ml. temiz suyunviskozitesi 26+-1 sn, 1000 ml temiz suyun viskozitesi ise 28+-1 sn.' dir



Şekil 6.2. Marsh Hunisi

Prepakt Hunisinin Kullanılışı :

Hunin ucu parmakla kapatılır. Karışım işaretli noktaya (A noktası) kadar doldurulur.(1725 ml). Parmak çabucak çekilip karışımın huniden boşalma süresi tesbit edilir. Karışımların normal enjeksiyon pompaları ile basılabilmeleri için viskozite değeri 20 sn prepaktı geçmemelidir.

yıkanıp sürüklenebilirler. İşte bu istenmeyen durumun önlenmesi için karışımın mutlaka stabl olması gerekir. Stabilitayı sağlayabilmek amacıyla karışıma bentonit veya başka katkı maddeleri ile ve edilir. Çimento ağırlığının %2-3 oranında bentonit ilavesi ile elde edilen stabl karışımın viskozitesi 50" marsh civarındadır.

* Stabilite, derecelenmiş 1000 ml'lik bir silindir kullanılarak kolayca ölçülebilir. Buna göre karışım bu silindire doldurulur. Silindirin üstü kapatılır ve 2 saat beklenir. 2 saat sonra silindirin üstünde biriken temiz suyun hacminin, karışımın ilk hacmine oranı ölçülür. Bu oran . %5'in altında ise bu karışım stabl bir karışımdır.

3- Mukavemeti

Enjeksiyon karışımının çatlak içinde priz aldıktan sonra belli bir mukavemete sahip olması gerekir. Çimentolu karışımların 28 günlük mukavemetlerinin 60 kg/cm²'nin üstünde olması arzulanır.

Numunelerin 7, 14, 28, 90 günlük mukavemet değerleri laboratuarda tek eksenli kırma deneyi ile tesbit edilebilir.

4- Dane Çapı:

Karışımın çatlağa nüfuz edebilmesi için karışımın vizkozitesi kadar diğer önemli bir unsur da karışımı oluşturan katı maddelerin tane çapıdır. Kaya ortamda enjekte edilmekte olan açık çatlağın tıkanmaması için çatlak çapının karışımı oluşturan tanelerin maksimum çapına oranının 3'den büyük olması gerekir. Zeminde ise $D_{15}Zemin / D_{85}Karışım > 25$ olmalıdır. Kimyasal karışımların enjekte edilebilirliğinde tane çapı söz konusu değildir.

5- Katılma Süresi

Enjeksiyon karışımı, ulaşacağı son noktaya eriştikten sonra, hareketsiz halde kalacak ve katılma süresi başlayacaktır. Karışımın hazırlandıktan katılmasına kadar geçen süreye katılma süresi, donma süresi, priz süresi gibi isimler verilir. Bu katılma süresi öyle olmalıdır ki, karışımın gideceği son noktaya ulaşmasına yeterli olmalı, o noktaya ulaştıktan sonra da hemen katılma oluşmalıdır. Bu sürenin gereğinden kısa olması halinde, katılma karışım istenen hedefe ulaşmadan oluşacak yani enjeksiyonun amacı gerçekleşmeyecek; sürenin uzun olması halinde de

enjeksiyon şantiyesinde beklemler, yani boşa geçen zamanlar olacaktır. Bu da maliyetin artması demektir. Doğaldır ki her ikisi de istenmeyen durumlar olup, katılaşma süresinin kontrol altında tutularak gerektiği gibi olması son derece önemlidir.

Enjeksiyon maddelerinin normal katılaşma süreleri ve bunları etkileyen su kalitesi, ısı, basınç gibi faktörler bellidir. Bunlar belirlendikten sonra, donanım ve karışım karakteristikleri yani enjeksiyon hızı ile katılaşma süresi bağdaştırılamıyorsa kimyasal katkı maddelerinin kullanılması zorunlu olur. Bu iş için üretilen katkı maddeleri katılaşmayı çabuklaştırıcı ve geciktirici olarak iki gruba ayrılırlar. Bu maddelerden belli miktarlarda kullanılarak istenen katılaşma süresi incelikte gerçekleştirilebilir.

6- Büzülme

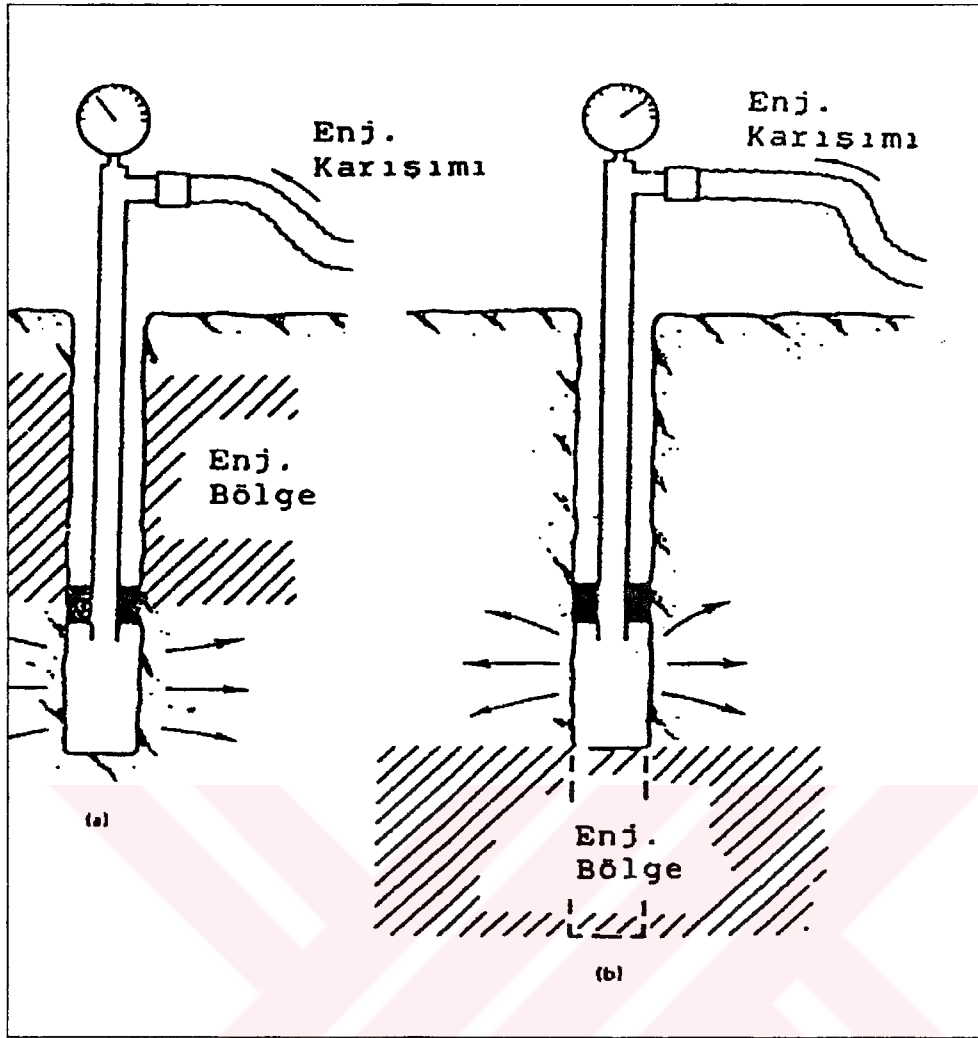
Enjeksiyon karışımı katılaştıktan sonra, hacimce önemli oranlarda küçülmeler oluşması istenmeyen bir durumdur. Ancak her şeyden önce bunun olup olmadığının uygulamadan önce ve sonra deneylerle saptanması gerekir. Böyle haller olduğu takdirde yeniden sondaj ve yeniden enjeksiyon gerekecektir. Bu nedenle enjeksiyon karışımlarında en az büzülme özelliği olması önemlidir. Bu, özellikle kullanılan enjeksiyon yöntemi yanında enjeksiyon maddeleri ve katkı maddeleriyle kontrol altında tutulmalıdır. Eğer her şeye rağmen önlenmesi sağlanamıyorsa, katılaşma süreci sonunda araştırma sondajları ve deney enjeksiyonları ile durum ve aksaklıklar saptanmalı ve ikinci aşama enjeksiyonla eksiklikler giderilmelidir.

6.2.6. Enjeksiyon Yöntemleri

Enjeksiyon yöntemi olarak yıllardan beri iki yöntem kullanılmaktadır. Biri açık taban boru yöntemi (Open bottom pipe method), diğeri manşetli boru yöntemidir. (Sleeve pipe method) [16]

6.2.6.1. Açık taban boru yöntemi

Bu yöntemde enjeksiyon aşağıdan yukarıya ve yukarıdan aşağıya olmak üzere iki farklı şekilde kademeler halinde yapılır(Şekil 6.4).



Şekil .6.4.Açık Taban Boru Yöntemi

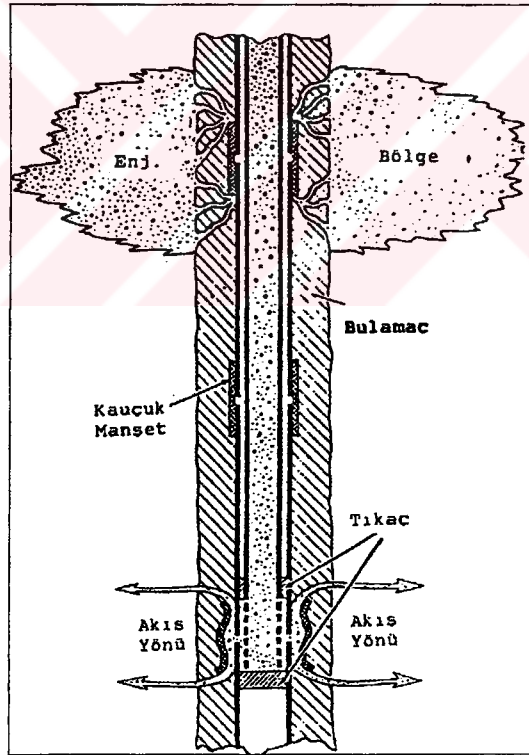
Yukarıdan aşağıya doğru yapılan enjeksiyonda her kademede önce delik açılır sonra enjeksiyon işlemine geçilir(Şekil 6.4.a). Bir kademeden enjeksiyonu bitince aynı işlem bir alttaki kademeye uygulanır. Bu yöntemde ilk kademedeki sonraki delme işlemleri, enjeksiyonlanmış bölgenin yeniden delinmesi ile yapılır. Deliğin üst kısmında sızmayı önlemek için tıplar kullanılır.

Aşağıdan yukarıya doğru yapılan enjeksiyonda, ilk önce deliğin tamamı açılır, sonra enjeksiyon işlemi kademeler halinde yukarıya doğru yapılır(Şekil 6.4.b). Bu yöntemde delme ve enjeksiyon işlemlerinin ayrı ayrı olması bir avantajdır. Ancak, eğer sondaj deliğinin kenarları göçer ve tıpa sızmayı önleyemezse bu yöntem kullanılamaz. Bu yöntemde enjeksiyon sırasında zeminin kabarma riski fazladır. Bu nedenle, uygulanan basınç jeolojik yükten fazla olmamalıdır.

Açık taban boru metodu ile kum ve çakılların enjeksiyonunda delik boyunca göçme olabilir. Bu göçmeyi önlemek için delik içerisine kaplama borusu yerleştirilir. Enjeksiyon işlemi yukarıda anlatıldığı gibi devam eder.

6.2.6.2. Manşetli boru yöntemi

Bu yöntemde önce delme işlemi yapılır. Sonra delik içine manşetli borular yerleştirilir. Manşetli borular içerisine ise ince borular takılır(Şekil 6.5). Manşetli boru üzerindeki manşet genellikle kauçuktan yapılır ve açılabilir özelliktedir. Boru içerisinde iki adet tıpa kullanılarak, istenilen yerdeki manşetten enjeksiyon yapılabilir. Verilen bir pompalama hızından dolayı basıncı azaltmak, tıplar arası mesafeyi artırarak mümkün olmaktadır. Manşetli borunun etrafında bulunan muhafaza harç, sertleştikten sonra çok kuvvetli olmamalıdır. Genellikle kil-çimento kullanılmaktadır.



Şekil 6.5. Manşetli Boru Yöntemi

6.2.6.3. Enjeksiyon yöntemlerinin karşılaştırılması

Açık taban boru yöntemi ve manşetli boru yöntemi olumlu ve olumsuz özellikleri ile Tablo 1'de çeşitli kriterlere göre değerlendirilmektedir. Bu kriterlere göre yapılan tam bir analiz, en uygun yöntemi seçmede yol gösterebilir.

Tablo 6.1. Enjeksiyon Yöntemlerinin Mukayesesi

Kriter	Açık Tb. Boru Yn.	Manşetli Boru Yön.
a)Arazide delme enjeksiyon işlemlerini ayırma imkanı	yok	var
b)Aynı sondaj deliğinde farklı karışımları enjeksiyon kabiliyeti	yok	var
c)Karışımın sondaj deliği boyunca yeniden yükselme riski	var	yok
d)Enjeksiyon kademesi uzunluğunu ayarlama kabiliyeti	var	yok
e)Enjeksiyon esnasında zemini izleme kabiliyeti	var	aldatıcı

a) Arazide delme ve enjeksiyon işlemlerini ayırma imkanı

Gevşek formasyonlar için kullanılan açık taban boru yönteminde enjeksiyon işlemi delme işlemini izlemelidir. Dolayısıyla enjeksiyon esnasında delme makinası bu süre boyunca çalışmaz durumda kalabilir.

Manşetli boru yönteminde ise enjeksiyon işlemi, delme işlemi tamamen bitirildikten sonra yapılır. Bu bir avantaj sayılabilir. Çünkü delme ve enjeksiyon işleri ayrı yapıldığı için müteahhit, delme işlemini hızlı bir şekilde bitirebilir.

b)Aynı sondaj deliğinde farklı karışımların enjeksiyon kabiliyeti

Bu imkanı sadece manşetli boru yöntemi sağlar. Bu durum özellikle heterojen zeminlerde uygulanır.

c)Karışımın sondaj deliği boyunca yeniden yükselme riski

Manşetli boru yönteminde, enjeksiyon işlemi bütün delik boyunca yapıldığından karışımın yeniden yükselmesi önlenir. Açık taban boru yönteminde, karışımın boru içerisinde yeniden yükselmesini önlemek zordur. Bunun için tıplar kullanılmaktadır. Yapışık zeminlerde (fisürlü kaya) tıpa, zemine karşı güvenli bir şekilde kullanılabilir. Fakat gevşek zeminlerde tıpa kullanmak daha az güvenlidir, dolayısıyla daha uzun tıplar kullanmak gereklidir.

d)Enjeksiyon kademesi uzunluğunu ayarlama kabiliyeti

Açık taban boru yönteminde, enjeksiyon kademesi uzunluğu zemin şartlarına bağlı olarak ayarlanabilir. Bu ayarlama manşetli boru yönteminde imkansızdır. Manşetli boru yönteminde enjeksiyon kademesi uzunluğu, manşetler arasındaki sabit mesafeye bağlıdır(genellikle 33 cm).

e)Enjeksiyon esnasında zemini izleme kabiliyeti

Enjeksiyon yapılırken basınç-debi ilişkilerini gösteren bir eğri çizmek faydalı olmaktadır. Hareketler takip edilerek olayın gidişatını izlemek kolaylaşır.

Açık taban boru yöntemi kullanıldığı zaman, bu deneme çalışmaları belirsizlik olmadan otomatik olarak yapılır. Böylece zemin hakkında bilgi toplanmış olur. Bu tip verimli denemeler, manşetli boru yöntemi ile yapılan enjeksiyon esnasında alınan ölçümler kullanıldığı zaman oldukça aldatıcı olmaktadır. Çünkü manşet, çatlakları geçerken basınç kaybına uğrayabilir ve bu ölçülen basıncı etkiler.

6.2.7. Enjeksiyonda Kalite Kontrol

Enjeksiyon işlemi dizaynının, test maliyetleri paralel olarak artan verimliliğini dengelemek, sonuçta maliyeti minimuma indirmek anlamına gelmektedir. Bir enjeksiyon uygulamasının sonuçlarını değerlendirmede kullanılabilecek çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan en çok tercih edilenler sondaj deliği radarı yöntemi(Borehole Radar) ve ses dağılımı (Cross-hole Acoustic Shooting) yöntemidir. Sondaj deliği radarı yöntemi en çok enjeksiyon karışımının gerçek konumunu belirlemede kullanılırken, ses dağılımı yöntemi enjeksiyon uygulanmış

alanın mukavemetini(niteliksel olarak) belirlemede kullanılır. Her iki yöntem de enjeksiyon öncesinde ve sonrasında uygulanır. Her ne kadar bu iki yöntem kullanılmakta olsalar da verilerin değerlendirilmesinde gerekli olan tecrübe altyapısı henüz yeni yeni oluşmaktadır. [16]

6.2.7.1. Sondaj deliği radarı yöntemi

Sondaj deliği radar sistemlerini hem transiluminasyon hem de yayma/alma (TDR) modlarında temin etmek mümkündür. Ancak enjeksiyon işlemlerinde transiluminasyon modu tavsiye edilmektedir. Transiluminasyon modunda, iki ayrı alet iki komşu delikte kullanılır, birisi yayıcı diğeri alıcı olur. Radar sinyali, iki delik arasında yayıcıdan alıcıya doğru ilerler. Yayma/alma modunda ise bir deliğin içindeki bir tek alet hem yayıcıyı hem de alıcıyı içerir. Yayıcıdan çıkan sinyal deliğin çevresinde yayılır ve bir süreksizlikle karşılaştığı zaman yansıyarak alıcıya döner. Bu tür sistemler çok yönlüdürler ve süreksizliğin yerini tam olarak belirleyemezler. Bu nedenle enjeksiyon karışımını izlemede kullanılacak sistem, yayıcı ve alıcının ayrı deliklerde olduğu transiluminasyon modu olmalıdır.

Yayıcı ve alıcı kendi deliklerinin dibine yerleştirilirler ve açılırlar. Yayıcı devamlı olarak alıcıya sinyaller gönderirken devamlı birbirleriyle aynı düzeyde kalarak ve alınan sinyal ve aletlerin bulunduğu derinlik kaydedilerek, ikisi de yukarıya doğru hareket ederler. Sonuçta iki deliğin arasında uzanan alanın profili elde edilmiş olur. İki deliğin arasında enjeksiyon karışımı içeren bölgelerde radar sinyali büyük ölçüde zayıflar. Çünkü enjeksiyon malzemelerinin çoğu elektromanyetik yayılımları çok iyi absorbe ederler. Az miktarda enjeksiyon karışımı içeren bölgeler sinyalin çoğunun alıcıya doğru hareketine izin verir. Kaydedilen sinyallerin durumundan o bölgede enjeksiyon karışımının ne ölçüde nüfuz ettiği belirlenmiş olur.

Sondaj deliği radarı yöntemi enjeksiyon öncesi ve sonrasında kullanılmalıdır. Böylece enjeksiyondan önceki ve sonraki profiller yanyana getirilerek karşılaştırılabilir ve aradaki farklar gözlemlenebilir. Bunun yanında iki tetkikin de aynı kişiler ve aletlerle yapılması son derece önemlidir.

6.3. Temel Yüklerinin Daha Derindeki Taşıyıcı Tabakalara Aktarılması

6.3.1. Ayaklar

Çevredeki inşaat nedeni ile veya yüklerin artması, v.s. yüzünden meydana gelecek oturmaları önlemek için yapılan geleneksel temel takviyesi, bazen temeli derinleştirerek bir ayak oluşturulmasına dönüşür. Yurdumuzda geliştirilen kuyu yöntemi buna bir örnektir. Taşıyıcı tabaka derinde olduğunda ayak kazılmasında karşılaşılan güçlüklerden dolayı ayak veya kuyu yapılamayabilir. Bu gibi durumlarda kazıklar veya jet – grout kolonları kullanılır. [19]

6.3.2 Mini Kazık

6.3.2.1 Tarihçe

Mini kazık teknolojisi ilk olarak 1950' lerde İtalya' da kullanılmaya başlanmıştır. 1962' de İngiltere' de tarihi yapıların takviyesinde kullanılmaya başlanmıştır. 1965' de Almanya' da Milan Metrosunun inşasında kullanılmıştır. Almanya' da mikro kazık diye adlandırılan mini kazıklar için DIN 4128 1983' de oluşturulmuştur. 1950' lerde Avrupa' da kullanılmaya başlanan mini kazığın Amerika' da 1980' lerde kullanılmaya başlanmasının nedeni, Avrupa' da savaş sonrası, şehir merkezlerinde çeliğin hasar görmüş yapıların takviyesine yeterli olmayacak kadar azalmış olmasıdır. Bu sıkıntı Amerika' da çekilmemiştir ve bu yüzden mini kazık uygulaması Avrupa' da gelişmiştir.

6.3.2.2. Tanım

Kazıklar temel olarak çakma kazıklar ve fore kazıklar olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Çakma kazıklarda, kazık çakılarak zeminde sıkışmaya ve yer değiştirmeye sebep olmaktadır. Fore kazıklar ise açılan bir kazık çukuru içine donatı yerleştirilmesinin akabinde, çukurun betonla doldurulması sonucu oluşmaktadır. Bu şekilde zeminin yerini kazık almaktadır.

Mini kazık, 300 mm çapın altında foraj yapıp, planlanan hesap yükünü alacak donatının konmasından sonra enjeksiyon harcının yerleştirilmesiyle ya da enjekte edilmesi ile elde edilen bir fore kazık türüdür.

Geleneksel fore kazıklarda yük donatıya mukabil beton tarafından karşılanmaktadır. Mini kazıklarda ise yenilenen ve gittikçe daha da etkinleşen delme ve enjeksiyon yöntemleriyle kazığın dış çevresinde zemin ve enjeksiyon harcı arasında oluşan sürtünme kuvveti ile karşılanan yük, enjeksiyon harcından donatıya aktarılmaktadır.

Gelişen delme teknolojisi sayesinde mini kazık uygulaması, tabii veya suni her türlü zemin koşullarında minimum vibrasyon, örselenme ve gürültü ile yatayın altında istenen açıda uygulanabilmektedir. Genelde mini kazıklar 100 – 250 mm. çapında 20 – 30 m. uzunluğunda 300 – 1000 KN basınç veya çekme kuvvetini alacak şekilde, giriş olanağı güç olan koşullarda uygulanmaktadır.

Mini kazıklar, yük etkisinde çalışma prensibine ve enjeksiyon yöntemine göre olmak üzere iki ana grupta incelenebilir. [11]

1- Yük etkisinde çalışma felsefesine (prensibine) göre mini kazıklar Tip 1 ve Tip 2 olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Tip 1 (Case 1): Genelde mini kazıklar yükü daha kararlı veya sağlam bir tabakaya aktaracak şekilde tasarlanırlar. Özellikle şev stabilitesi tahkikinde bilhassa şevin kayması muhtemel en kritik kayma yüzeyinde kazık –zemin teması söz konusu olmaktadır. Eksenel yüklenmiş kazıklarda da zemin – kazık etkileşimi kazığın çevrelediği tabaka ile sınırlanmaktadır. Söz konusu her iki durumda da kazık doğrudan yükü karşılamaktadır. (Şekil 6.6.a). Kazığın doğrudan yükü karşılaması durumu, münferit kazıklar içinde grup halinde kullanılan kazıklar içinde geçerlidir. Bu bağlamda bir mini kazık grubundaki her bir kazık yükü doğrudan karşılamaktadır. Genel olarak kazık gruplarının hesabında göz önüne alınan kazık grup - azalma oranı mini kazık gruplarında kullanılmak zorunda değildir.

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.

Tip 2 (Case 2): Bir başka çalışma prensibine sahip olan kazıklar da, Dr. Lizzu tarafından İtalya’ da 1952’ de gündeme getirilmiş olan “Kök kazıklar” dır. İsminden de anlaşılacağı gibi bir ağacın köklerine benzeyen üç boyutlu bir kazık ağı örgüsü

zeminde kilitlenme sayesinde stabilizasyon sağlamaktadır. Bu uygulamada yanal olarak sınırlanmış bir zemin-kazık kompozit malzeme oluşturularak takviye, ıslah ve zemin dayanımı sağlanmaktadır.

Tip 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. (Şekil 6.6.b)

Kök kazıklar her ne kadar doğrudan yük almasa da şev stabilitesi problemlerinde özellikle kayma yüzeyi ile mini kazıkların kesiştikleri noktada (eğilme ve kesmeye karşı), doğrudan yük olma durumunun söz konusu olabileceği hesaplarda ihmal edilmemelidir.

6.3.2.3. Enjeksiyon yöntemine göre sınıflandırma

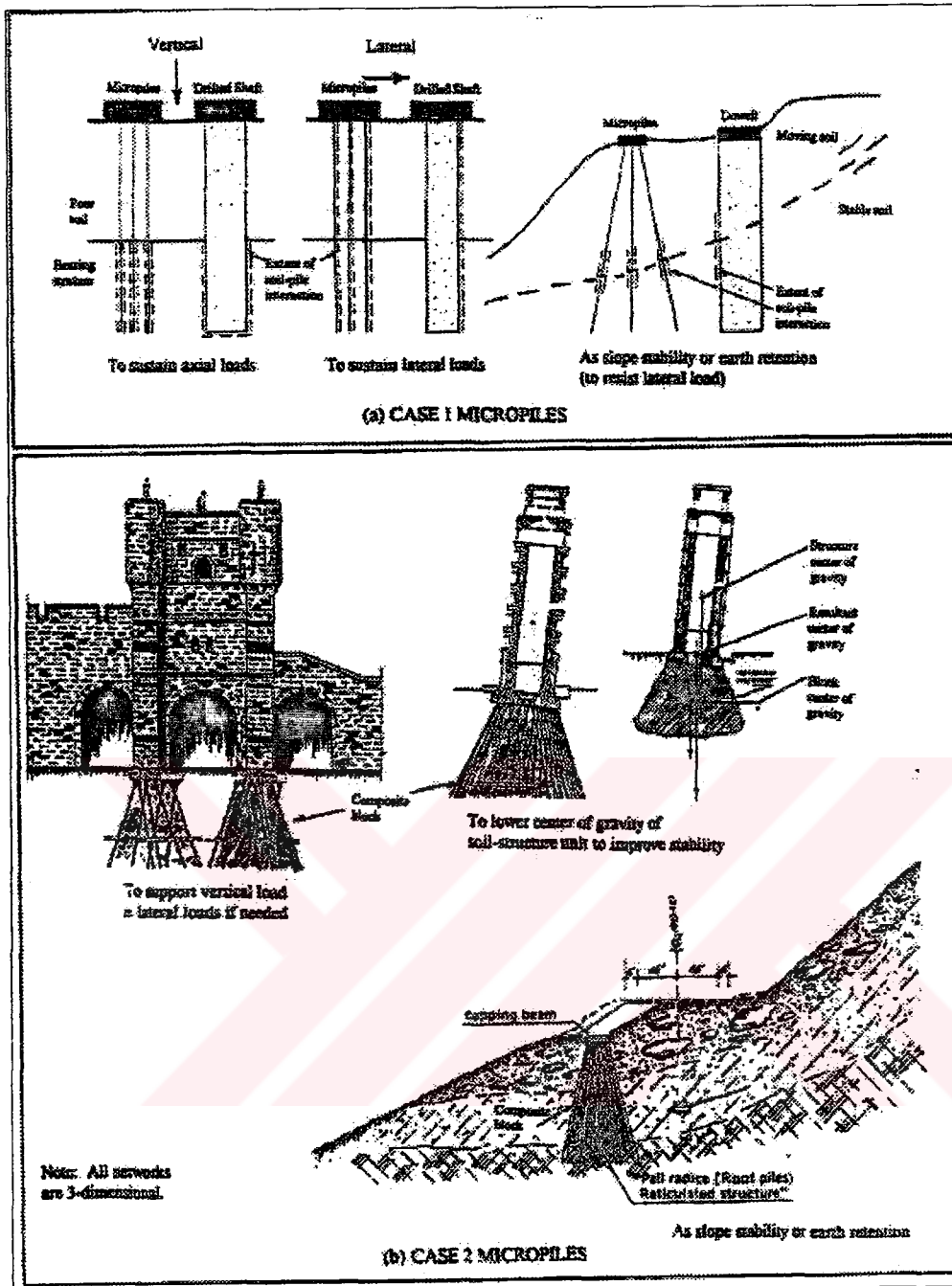
Bir mini kazık imalatı temel olarak şu üç aşamadan oluşur:

- 1- Delme , çukur açma işlemi.
- 2- Donatının yerleştirilmesi.
- 3- Harcın yerleştirilmesi ya da enjekte edilmesi.

Delme tekniğinin harç ile zemin arsında mobilize olacak bağların büyüklüğünü etkilediği hususunda bir şüphe yoktur. Diğer yandan, zeminle 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 teyit etmektedir. Enjeksiyon yöntemine göre Tip A ,B,C,D olmak üzere dört tip mini kazık imal edilebilmektedir. (Şekil 6.7)

TİP A : Açılan kazı çukuruna tremi yöntemi ile harç dökülür. Bu tip pek kullanılmamaktadır.

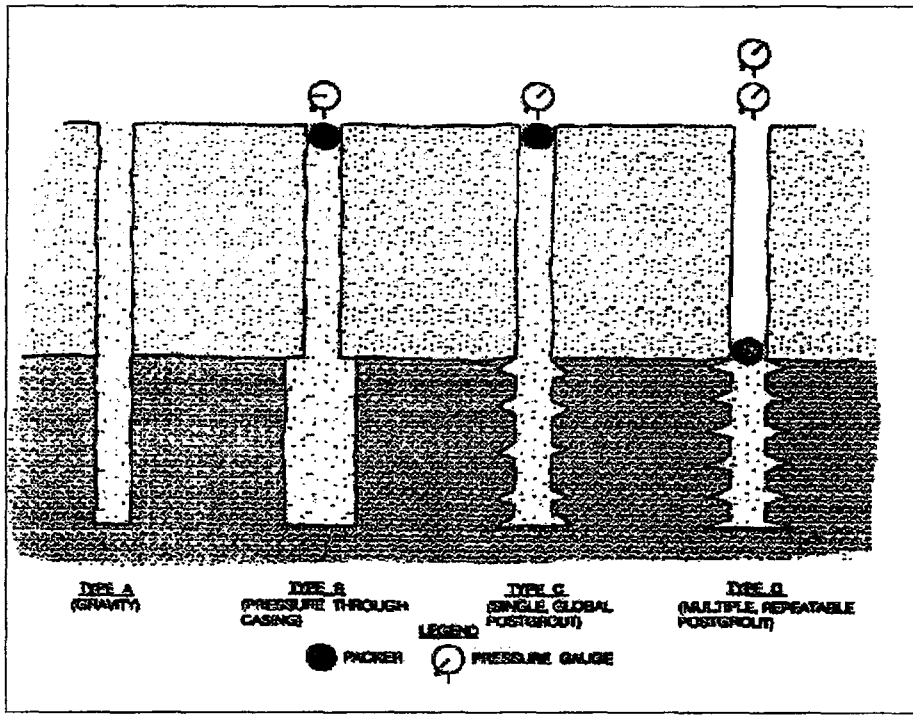
TİP B : Katkısız çimento harcı, delgi kaplama borusu çekilirken 0.3-1 Mpa basınçla enjekte edilir.



Şekil 6.6 Mini kazık tipleri

TİP C : Tip A' daki gibi imal edilen kazığa harç donmadan , 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 geçerek alt tarafı dışlı bir kazık imal edilmiş olur.

TİP D : Tip A' da ki gibi harç dökülür. İlk dökülen harç donduktan sonra belirli bir bölgeye nüfuz edecek şekilde 2-8 MPa basınçla harç basılarak, istenen tabaka seviyesinde yerleştirilmiş tıkaç sayesinde, harcın hedeflenen tabakaya, dış oluşturacak şekilde yayılması temin edilir.

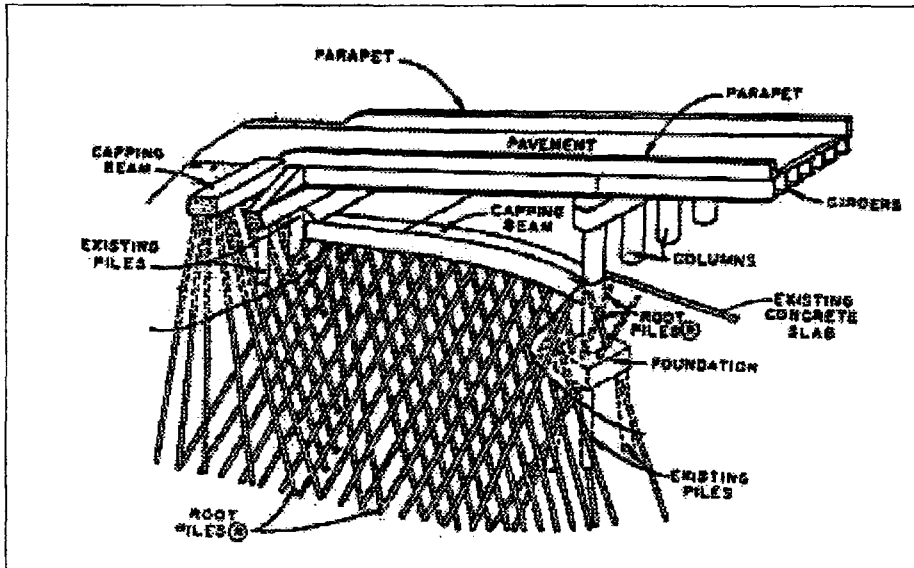


Şekil 6.7 Enjeksiyon yöntemine göre mini kazık tipleri

Bu şekilde mini kazıklar çalışma prensibine ve enjeksiyon yöntemine göre tanımlanmaktadır. Örneğin Tip 1 D , doğrudan yük olan ve ard arda, sonradan basınçlı enjeksiyonla imal edilmiş mini kazığı ifade etmektedir.

6.3.2.4 Uygulama

Şekil 6.8’ de Jackson, Missisipi’ de bir karayolu köprüsünün temellerini takviye için kullanılan bir “pali radice” uygulaması görülmektedir.



Şekil 6.8 Mini kazık uygulaması

Alanya – Obaköy’ de 1986 – 1987 yıllarında çeşitli kalınlıklarda dolgu toprak üzerinde inşa edilmiş 18 adet beş katlı binada 1991 yılına gelindiğinde 60 – 70 cm.’ e varan farklı oturmalar görülmüştür (Toğrol ve diğerleri , 1994). Toplam ve farklı oturmaların sahada yer yer taşıma gücünün aşılmasından kaynaklandığı anlaşılmış, temellerin 120 mm. çaplı ve 8 mm. et kalınlığına sahip mini kazıklarla takviyesine karar verilmiştir. Bu arada aşırı derecede oturmaya maruz kalan iki blok ise sadece takviye edilmekle kalmamış; binanın bütün kolonları krikolara alınmış , böylece 40 kriko yardımı ile aşırı oturan tarafları 305 mm. kaldırılarak bina düzeltilmiştir. Temel takviyesi yapıldıktan sonra yapılar 6 ay gözlenmiş; herhangi bir oturma ve deformasyon kaydedilmemiştir.

6.3.2.5 Sonuç

Mini kazıklar temel takviyesi ve zemin güçlendirmesi amacıyla kullanılmaktadır. Temel takviyesi amacıyla doğrudan yük alan TİP 1, yerinde zemin güçlendirmesi amacıyla TİP 2 kullanılmaktadır. İstisnai olarak kule türü yapıların temel takviyesinde TİP 2 kullanılmaktadır. Temel takviyesi amacıyla kaya ve sert kilde TİP 1 A ve diğer zeminlerde TİP 1 B, C,D kullanılmaktadır.

Mini kazıkların gevşek zeminlerde ve yer altı su seviyesinin yüksek olduğu durumlarda imal edilmesi zordur. Ayrıca normal konsolide zeminlerde negatif çevre sürtünmesi oluşacağından mini kazık tercih edilmemektedir.

Mini kazık, üst yapıya zarar verilmemesi ve zeminde örselenmenin az olması gereken, çalışma ortamının sınırlı olduğu dar koşullarda, değişen zemin şartlarına (yer altı su seviyesinin düşmesi) ve deprem gibi oluşabilecek afetlere karşı tarihi yapıların korunması amacı ile, tarihi yapıların temel takviyesinde kullanılabilecek uygulaması kolay bir yöntemdir.

6.3.3.İtme (Burgulu) Kazık

6.3.3.1. Tarihçe

İtme kazık uygulaması 70 yıldan beri kamu hizmetinde enerji direklerinin, nakil kulelerinin temellerinin desteklenmesinde ve boru hatlarının tabanının takviyesinde kullanılmaktadır. İtme kazık yöntemi ile temel takviyesi uygulaması ilk olarak 1988’ de Güney California’ da yapıldı. Halen, genel mühendislik ve inşaat endüstrisi tarafından itme kazık yöntemi hasar görmüş ya da yük taşıyamaz hale gelmiş olan temellerin takviyesinde uygulanmaktadır.

6.3.3.2. Tanım

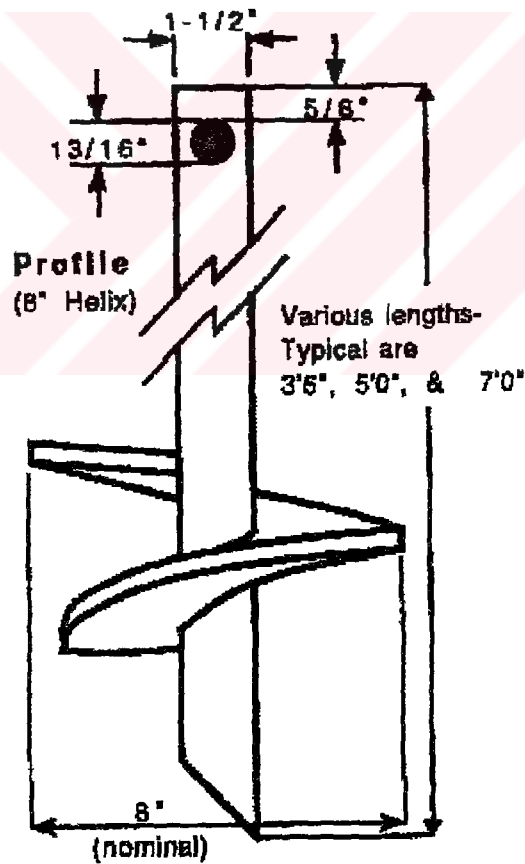
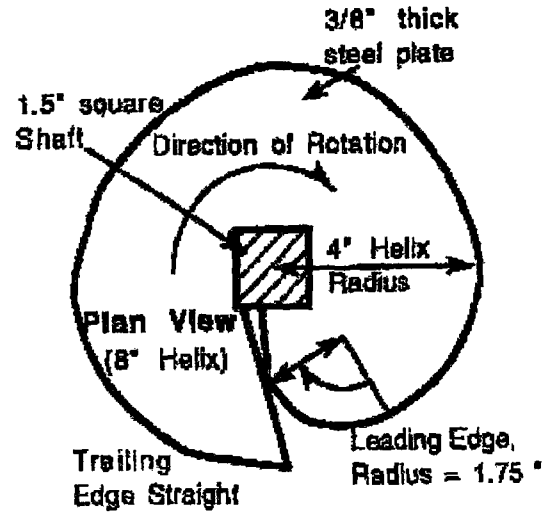
İtme kazık, çelik bir sapa (şaft) kaynatılmış helisel levhalardan müteşekkil bir derin temel elemanıdır. (Şekil 6.9) . Kazık zemine mekanik ve dönel (ratosyonel) bir kuvvet uygulanarak itilir. Şaft istenen açıda zemine girecek şekilde ayarlandıktan sonra, kazık ünitesi zemine itilirken, dönel (berkitme) kuvvetler helisel levhaların zemini dilimleyerek ilerlemesine sebep olur. Ünite ilerledikçe şaft uzatılarak ve dönel kuvvetler muhafaza edilerek uygulama sürdürülür.

İtme kazık uygulaması sırasında, elektronik tork göstergesi ve basınç ölçerlerle elde edilen veriler beraber değerlendirildiğinde, itme kazık uygulaması kendi kendine test etmiş olur. Yapılan deneyler göstermiştir ki itme, kazığın taşıma kapasitesi uygulanan tork ile doğru orantılıdır. Helisel levhalar taşıyıcı tabakaya ulaştıktan sonra kazık hem basınca hem de çekmeye çalışabilmektedir.

İtme kazığın şaftı yüksek mukavemetli çelikten olup ünitenin bütün elemanları sıcak daldırma galvanizli olduğundan korozyon problemi yoktur. İtme kazık ile mevcut temel arasındaki intibak yerinde dökme bir kazık başlık kirişi ile temin edilir. Eski ve yeni beton arasında çelik kamalar kullanılmaktadır.

İtme kazıklar basınca ve çekmeye çalışan derin temel elemanları olarak kullanılmaktadır. Geleneksel kullanım alanı olan kule ve boru hatlarının temellerinin desteklenmesine ek olarak itme kazıklar, temel takviyesinde, şev stabilitesinde, rüzgar, zemin kabarması, deprem sarsıntısı ve hidrolik basınç gibi etkileri karşılamak amacıyla kullanılmaktadır.

**SCREW ANCHOR EXAMPLE-
LEAD SECTION WITH SINGLE
8" DIAMETER HELIX ON 1.5"
SQUARE SHAFT**



Şekil 6.9 İtme (burgulu) kazık kesiti

Bir itme kazık uygulaması yapılmadan önce arazide yapılacak sondajlarla zemin profili çıkarılmalıdır. Kazık kapasitesinin teorik olarak hesabında gerekli olan zeminin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri, zeminden numune alınarak tespit edilmelidir. Zemin araştırmalarından elde edilen bilgiler mevcut şartların itme kazık uygulaması için münasip olup olmadığı noktasında analiz edilmelidir. Kazık ünitesinin gerekli olan derinliğe ulaştırılamayacağı durumlar araştırılmalıdır.

İtme kazık yönteminde, ulaşması gereken derinlik ifadesi itme kazığının mekaniğinin anlaşılmasıyla anlaşılabilir. İtme kazıkta hesaplanan yük ancak, gerekli olan tork muhafaza edilebilirse taşınabilir. Mamafih, itme kazık istenen taşıma kapasitesine ancak yumuşak kaya ya da zeminde ulaşabilir. SPT değeri $N > 50$ zeminlerde, iyi çimentolanmış kumtaşı, ayrışmamış şeyl gibi ortamlarda itme kazık istenen tork değerine ulaşamayacağından ve burgular hasar göreceğinden bu yöntem uygulanamaz. Çünkü itme kazık, istenen tork değerine, tatbik edildiği zemini sıkıştırarak ve dilimleyerek ilerlemesinin neticesinde ulaşmaktadır. Sonuç olarak , istenen tork değeri için gerekli olan derinliğe ulaşmaya mani bir ortam var ise farklı bir takviye yöntemi tercih edilmelidir. [11]

6.3.3.3. İtme kazık tasarımı

İtme kazık yöntemi kendi kendini test etmeye imkan veren bir yöntem olması sebebiyle bir itme kazığının kapasitesi en doğru şekliyle, arazide yapılacak kazık yükleme deneyiyle tespit edilebilir. Kazık kapasitesi denince, kazık malzemesi, konfigürasyonu, itme derinliği ve minimum imalat torku terimleri akla gelir. Arazide bir kazık imalatı sırasında imalat torkunun gözlemlenmesi ve akabinde kazık üzerinde çekme deneyinin yapılmasıyla bir itme kazığının taşıma kapasitesi belirlenebilir. Bir itme kazığının taşıma kapasitesinin belirlenmesinde aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$Q_u = K_t * T \quad (6.1)$$

T : İmalat sırasında kaydedilen ortalama tork (t.m)

Q_u : Taşıma için gerekli olan en büyük taşıma kapasitesi (t)

K_t : Kabul edilen amprik tork faktörü (m^{-1})

Kt , belirli bir tork uygulanarak imal edilmiş olan kazığın, çekme testindeki göçme değeri olan Qu' ya bölünmesi ile bulunabilir. Hesap edilen Kt kullanılarak istenen kapasiteye kadar itme kazığa tork tatbik edilir.

Arazide yapılan itme kazık testinden elde edilen bilgilerle imalatın fizibilitesi ve optimum ankraj derinliğini hakkında bir karar verilir. İyi bir planlamayla test için kullanılan kazık ileride kullanılacak şekilde yerleştirilebilir. Takviye projesi devam ederken kazık testlerinin birlikte yapılması zamansal açıdan bir avantajdır.

İtme kazık yöntemiyle yapılacak bir temel takviyesi projesinde kazıklar arası mesafenin belirlenebilmesi için kazık taşıma kapasitesinin yanı sıra, yapıya ait yüklerin dağılımını ve büyüklüklerini içeren bir statik analiz de bulunmalıdır.

İtme kazık ile yapının mevcut temel sisteminin bağlantısının tasarımı temel takviyesi işleminin en önemli aşamalarından biridir. Takviye projelerinde kazık taşıyıcı sistemin altına sonradan itildiğinden eksantrik bir yükleme oluşturduğu tartışmaya açıktır. Bununla birlikte, bağlantının yapılabilmesi için kazık seviyesinin yeniden ayarlanması da gerekebilmektedir. Kazık başlığı yapılacağı zaman, kazılan temelin altına kazık başındaki levhayı da içine alacak betonarme bir başlık kirişi yapılır. (Şekil 6.10). Bu şekilde yapılan bağlantılarda yeniden seviye ayarlanması problemi yaşanmaz. Sonradan yapılan başlık kirişi ile birbirine bağlanan itme kazıkların başlıkları korozyona karşı ek bir korumaya sahip olmuş olurlar.

6.3.3.4.İmalat teknikleri

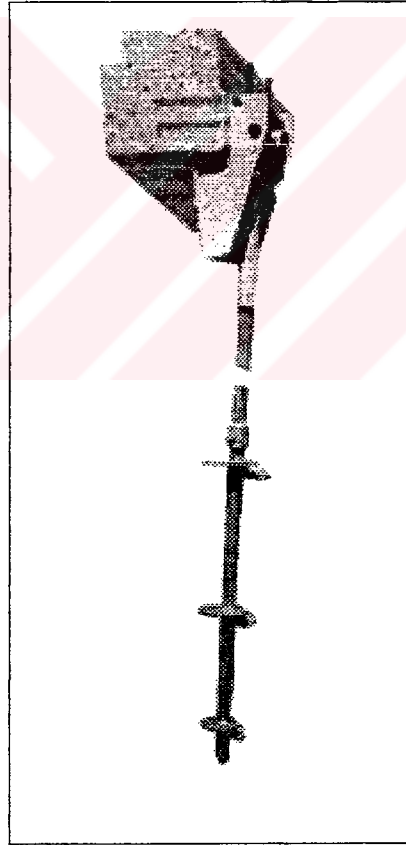
İtme kazık imalatı için yüksek tork kapasitesine sahip berkitme ekipmanı kullanılmaktadır. Kullanılacak aletin yüksek tork kapasitesinin yanı sıra dar alanda çalışabilme, istenen açıda imalat yapabilme esnekliğinin de olması gereklidir.

Başarılı bir itme kazık imalatı iyi bir tasarım, ekipman, planlama, idare, ekip çalışması ve tecrübenin kombinasyonu ile yapılabilir. Kazık zemine girerken dönme hızı 10-20 devir / dk arasında olmalıdır. Derinliğe paralel zemin mukavemeti arttıkça kazık ünitesini ilerletmek için gerekli olan tork da yükselir. Zeminin örgütlenmesinden ve karıştırılmasından sakınılmalıdır. İmalat gerekli torka ve derinliğe ulaşıncaya sonlanmalıdır. [11]

6.3.3.5. Uygulama

California’ da yapılan bir itme kazık uygulamasında, hem oturma hem de zeminin kabarması sonucu hasar gören bir yapıda hem temel takviyesi hem de oturmaların durdurulması amaçlanmıştır.

Zemin profili 22,9 m.’ den sonrası sıkı malzeme olan kalın bir kil tabakasından oluşmaktadır. Yapılan takviye çalışmasında mevcut temelin çevresi boyunca payanda ile destekleme yapıldıktan sonra binanın içinde ve dışında 5,4 – 6,8 KNm’ lik tork uygulanarak 6,1 – 7,62 m. itme kazık imal edilmiştir. Kazıklar itildikten sonra kazık başları, eski temel boyunca bir başlık kirişi içine alınarak yeni bir temel teşkil edilmiştir. Bu uygulama neticesinde oturmaların önüne geçilmiş ve yapı daha sağlam bir temele kavuşmuştur. [11]



Şekil 6.10 İtme (burgulu) kazık başlığı

6.3.3.6. Sonuç

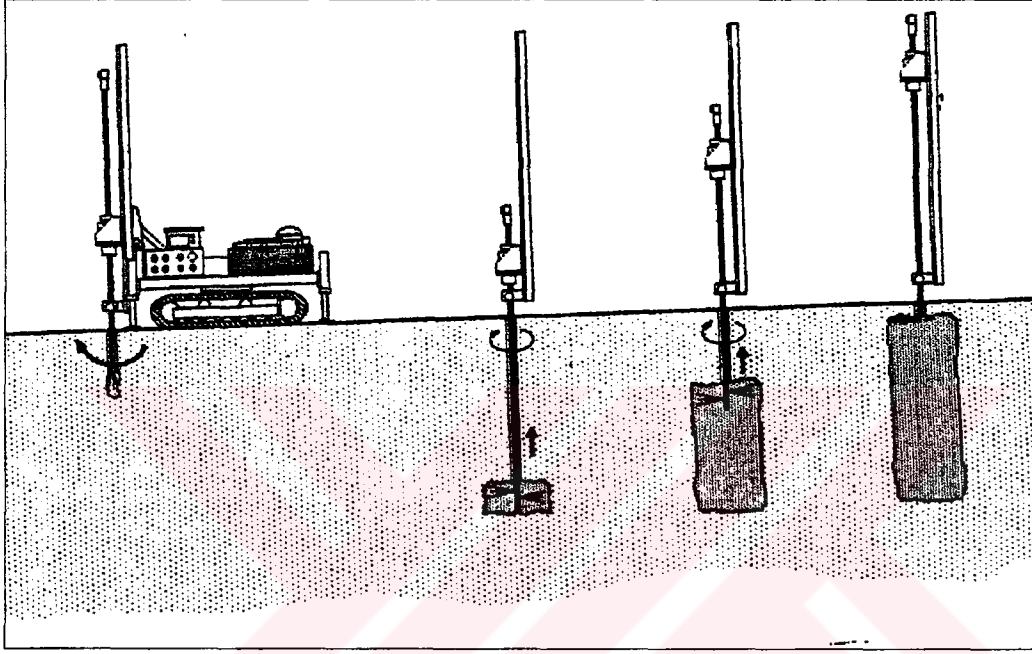
İtme kazık yöntemi temel takviyesi gerektiren yapılarda kullanılabilecek, diğer takviye yöntemlerine göre birçok avantajı bulunan, güvenli bir yöntemdir. İtme kazık imalatı sırasında her bir kazığın taşıma kapasitesinin belirlenebilmesi bu yöntemi diğer yöntemlere göre daha güvenilir kılmaktadır. İmalat sırasında uygulanan tork ile kazığın taşıma kapasitesi arasında kurulabilen ilişkiden dolayı itme kazık yöntemi kendi kendini test etmektedir. Mini kazık ve benzeri diğer temel takviyesi yöntemlerinde kazığın taşıma kapasitesi hakkında bilgi edinmek bu kadar kolay değildir.

İtme kazık yöntemi mini kazığın aksine gevşek, yer altı su seviyesinin yüksek olduğu, ana kayanın çok derinde olduğu zemin şartlarında da uygulanabilmektedir. İtme kazık yönteminde burguların ebatları büyütülerek ya da ünite ekleyerek burguların sayısının arttırılması neticesinde çok yüksek taşıma kapasitelerine ulaşılabilmektedir. Örneğin, 38 mm. kare shaftlı itme kazıkta 311 KN yük göçme olmadan taşınabilmiştir.

İtme kazık yönteminde foraj yapılamadığından zemindeki örselenme diğer yöntemlere göre azdır. Özellikle sismik aktivitenin yüksek olduğu yerlerde, mini kazığa göre zemine tutunma kapasitesi anlamlı düzeyde daha yüksek olduğundan, taşıyıcı tabakanın derinde ve yer altı su seviyesinin yüksek olduğu durumlarda mini kazığa tercih edilmelidir.

6.3.4 Jet Grouting

Jet-grout, zeminin iyileştirilmesini ya da yapı yüklerinin daha derinlerdeki tabakalara aktarılmasını sağlayan yeni bir enjeksiyon yöntemidir. Bu yöntemde önce, zemin içinde ufak çaplı (90 mm) bir delik delinerek belli bir derinliğe erişilir. Sonra delgi borusu yukarıya doğru çekilirken zemin, basınçlı çimento harcı püskürtülerek parçalanır, harçla karıştırılarak bir zemin – çimento kolonu oluşturulur. (Şekil 6.11)



Şekil 6.11 Jet gout kolonu imalatı

"Jet-grout" yönteminin uygulanmasında iki aşama bulunmaktadır:

(1) delme aşaması, (2) püskürtme aşaması .:

(1) Delme aşamasında, "jet-grout" uygulanacak derinliğe kadar delme borusunun indirilmesi sağlanır. Bunun için borunun bitiminde kesici bir uç veya boru eksenine dik bir veya daha fazla ağızlığa (nozzle) sahip özel püskürtme valfi vardır.

(2) Püskürtme aşamasında, boru yukarı çekilirken çimento harcı yüksek hızla püskürtülür. Püskürtmenin etkisini arttırmak için boru bir yandan yukarı çekilirken bir yandan da döndürülür. Böylece, zemin içinde silindirik bir çimentolu-zemin kütlesi elde olunur. [19]

6.3.4.1. Tarihçe

Zeminlerin "jet-grout" yöntemi ile iyileştirilmesi oldukça yeni bir buluştur. Yöntem son yıllarda oldukça hızlı bir şekilde gelişmiştir. Önce Japonya'da ortaya atılmış, ardından Amerika ve Avrupa'da teknolojisi gelişmiş ülkeler tarafından benimsenmiştir. "Jet-grout" yönteminin benimsenmesinin nedeni, zeminin konsolide edilmesi , geçirimsiz hale getirilmesi veya temellerin takviyesi için kullanılabilmesidir.

"Jet-grout" yöntemi, ilk kez Japonya'da Yamakado ve arkadaşları tarafından uygulandı 1970 yılında Nakanishi ve arkadaşları, "Cemical Churning Plant " (CCP) yöntemini önerdiler. Bu yöntemde, yüksek hızlı çimento harcı yatay olarak püskürtülmekte bu esnada harcın püskürtüldüğü boru kendi etrafında döndürülerek yukarı çekilmekteydi.

Hemen hemen aynı zamanda Yahiro ve arkadaşları, "Jet-grout" yöntemi adıyla yeni bir geliştirme yaptı. Daha sonraları, bu ve benzer yöntemler hep "jet-grout" yöntemi olarak anılır oldu. Yahiro ve arkadaşları diyafram duvarı yapımını düşünmüşlerdi. Yüksek hızlı bir su jeti kullanılarak zeminde bir yarık açılmakta sonra bu yarık aşağıdan başlanılarak çimento harcı jeti kullanılarak taşlatılmaktaydı.

1972'de CCP Grubu, "Jumbo jet special grout" yöntemini ortaya attı. Bu yöntemde çimento jetinin hızı artırılıyor, ayrıca çimento jeti bir hava jeti kılıfı içine alınıyordu. Böylece, CCP yöntemi ile oluşturulan 40-70 cm.lik kolonlar yerine 80-160 cm.lik kolonlar imal edilmeye başlandı.

İkinci grup ya da Jet-grout Grubu, ince diyafram duvarları yaparken rekabetin zorlaması ile kolon yapımına başladı. Böylece, imalatçı firmanın ismine izafeten "Kajima" veya "Jet-grout kolonu" yöntemi ortaya çıktı. Yöntemin esası delmenin hızlı bir su püskürtülmesi ile sağlanması, çimento harcının ayrıca verilmesi idi. Su jetinin yayılma hızı daha büyük olduğu için etkisi çok uzağa gidemez. Oysa daha dar bir açı ile yayılan hava jeti kılıfı ile suyun etkisini daha uzağa taşımak mümkün olmaktadır (Yahiro, Yoshada, 1973).

1980'de CCP Grubu, "Super Soil Stabilization Managemet" (SSS-MAN) yöntemini ortaya attı. Bu yöntemde çok büyük çaplı kolonların yapımı amaçlanıyordu. Basınçlı

hava ile zarflanmış yüksek hızlı su jeti zeminin oyulması amacı ile kullanılıyor, parçalanan zemin su ile birlikte ayrı bir sirkülasyon devresi ile dışarı çıkarılıyor, zemin içinde meydana gelen boşluk çimento harcı ile dolduruluyordu. Böylece, özellikle kohezyonsuz zeminlerde geniş çaplı kolonların oluşturulması mümkün oluyordu. Su jetininin yayılma açısı büyük olduğu için etkisi çok uzağa ulaşamaz. Oysa, daha dar açı ile yayılan hava jeti kılıfı ile suyun bu etkisini daha uzağa taşımak mümkün olmaktadır (Yahiro, Yosliuda, 1973).

Günümüzde yöntem hala gelişmektedir. Bir yandan iyileştirilen zemin açısından bir yandan da verimlilik açısından önemli mesafeler alınmıştır. Debi, hız, tulumba basıncı, harcın yoğunluğu ile ilgili ilerlemeler sağlanmıştır. Püskürtme deliklerinin sayısı, çapı, şekli verim açısından önemlidir. Öte yandan, borunun dönme ve yukarı çekilme hızının geoteknik (dane çapı, derinlik, su basıncı gibi) değişkenlere bağlı olarak her iş ve yerde yeniden düzenlenmesi gerekmektedir.

Son yıllarda teknolojiye önemli gelişmeler meydana gelmiştir. Yüksek basınçlı pompalar yapılmıştır. Böylece, büyük debiler ve basınçlar elde edilmiştir. Su pompaları için 60 MPa, çimento harcı pompaları için 80 MPa değerlerine varılmıştır. Su çimento karışımı düzenekleri geliştirilmiştir. Elverişsiz koşullara uygun aletler yapılmıştır. Özetle, bu gelişmeler;

- kullanılan araçların güvenilirliğini büyük ölçüde arttırmış,
- yapımda insan gücü gereksinimini azaltmış,
- "jet-grout" imalinde gerekli yan çalışma ve hazırlıkların daha çabuk yapılabilmesini sağlamıştır. [19]

6.3.4.2. Sınıflandırma

"Jet-grout" yöntemleri, tek akışkanlı, iki akışkanlı, üç akışkanlı olarak sınıflandırılabilir. Yamakado ve diğerleri, aynı yıl Nakanishi ve diğerleri tarafından önerilen yöntemde tek akışkanlı yöntem de denir (Kauschinger ve diğerleri, 1992). "Jet-grout" yöntemleri arasında en basitidir. Yüksek hızla püskürtülen harç zemini keser, yerini değiştirir ve zemin ile karışır. Harç basıncı 20-40 MPa, püskürtme hızı 50 m/sn., debi 3 lt/sn. mertebesindedir. Dönen boru 100-150 mm/dk. hızla yukarı

çekilir. Diğer "jet-grout" tekniklerinin etkinliği, kolon doğrultusu düşeyden yataya gittikçe azalır. Bu yüzden tek akışkanlı yöntem özellikle tünellerde, yatay veya yataya yakın doğrultularda başarı ile uygulanır (Şekil 6.12).

Tecrübeler, "jet-grout" kolonunu yaklaşık kolon çapının yarısı kadar uzaklıktaki zemini sıkıştırdığını göstermiştir. Tek akışkanlı yöntem ile oluşturulan kolonların çapı, diğer yöntemlerle oluşturululardan daha küçüktür. Bununla birlikte, tek akışkanlı yöntemle oluşturulan kolonların çapları killi zeminlerde 40-80 cm., ayırık daneli zeminlerde 50-120 cm. olmaktadır.

Tekli sistemle "jet-grout" kolonu imalinde tek sınırlama, aletten kaynaklanır: çimento basan pompanın gücü ve sağladığı akış hızı kolon çapını etkiler. "Jet-grout" kolonlarının yapımında, 60 MP'a da 150 ile 450 litre/dakika arasında çimento harcı basabilen ve sekiz saate kadar sürekli çalışabilen pompalar kullanılmaktadır(Kauschinger v.d., 1992).

Ballarin ve Forti (1998), delgi borularının 30-50 cm/dakika hızla yukarı çekilip delgi borusunun kendi ekseni etrafında 1-20 devir/dakika hızla döndüğü ve her 3 - 8 cm. de ara verildiği, harcın 30 - 80 MPa basınçla ve ortalama 300 litre/dakika debiyle püskürtüldüğü bir uygulamayı anlatırken çimento/su oranının 1/1 ve 1/1.5 arasında olduğu tekli jet ile 30 cm. ile 100 cm. çaplı kolonlar elde edildiğini belirtmiştir.

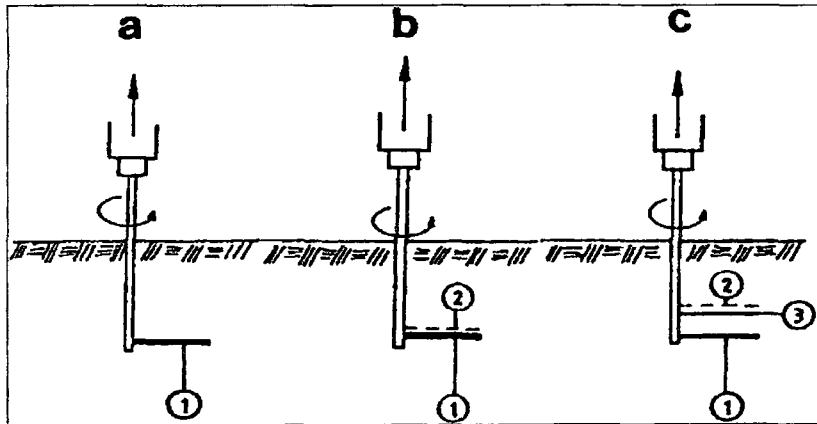
Diğer bir uygulamada, çamur taşı ana kaya üstünde 17 - 20 m. kalınlıktaki, sıkıştırılmış üniform silt dolgu içinde "jet grout" kolonları oluşturulmuştur (Lloret v.d, 1991). Siltin kil yüzdesi genellikle % 10 un altında, likit limiti ve plastisite indisi, 0.20 ve 0.03 dür. Harç, 50 MPa basınçla püskürtülmüş, delgi borusunun yukarı çekilme hızı 38 cm/dakika ve çevrilme hızı 20 devir/dakika olarak seçilmiştir. Harç içinde çimento/su oranı 1/1 , kullanılan çimento miktarı 0.2 3m/m dir. Kolon çapı en çok 0.68 m., en az 0.57 m. ve ortalama 0.60 m. olmuştur. Yüksek hızlı su jeti 1-2 mm. çaplı bir ağızlıktan 20-50 MPa bir basınçla çıkarken rijit bir cisim gibi davranır ve zemini etkin bir şekilde örseler. Bu örselemede kullanılan sadece su olduğu için işlem ucuza mal olur. Örselenme, ağızlık çapının veya su akımının değiştirilmesi ile istenildiği şekilde ayarlanabilir.

İki akışkanlı yöntemde CCP Grubunun "Jumbo jet" yönteminde olduğu gibi çimento harcı bir hava jeti kılıfı içinde püskürtülmektedir. Zemini kesen yüksek hızlı çimento

harcı, bir hava jeti içinde uygulanarak kolon çapları iki katına çıkarılabilmektedir. Tekli sistemde, su ve harç püskürtülürken ağızlıktan geniş bir açı ile etrafa yayılır; bu da etkiyi azaltır. Oysa havanın ağızlıktan çıkışı daha dar bir açı ile olur. Bu yüzden ikili sistemde, eşmerkezli iki borudan oluşan delgi borusu kullanılarak iç ağızlıktan harç, iki halka arasından hava basılmak sureti ile, su veya harcın bir hava kılıfı içinde daha dar açı ile zemine etkimesi sağlanır, etkisi artırılır. Hava basıncı, 0.8-1.2 MPa olabilir.

İkili sistemin önemli mahzuru çimento basılan zeminin hava içeriğini arttırmasıdır. Elde edilen zemin çimento karışımının mukavemeti ikili sistemde diğer sistemlerden daha küçüktür. Kum içindeki bir uygulamada, ikili sistemle "jet grout" kolonu yapılırken zeminin örselenmesi için 45 Mpa. basınç kullanılmış, delgi borusunun dönme hızı 8 - 10 devir/dakika, harcanan çimento 930kg/m, çimento/su oranı 1/1.25, harç debisi 130 litre/dakika, harcın birim hacim ağırlığı 16-17 kN/m³ iken kolon çapı 1.40 m. ye ulaşmıştır (Ortiz, 1997).

Üç akışkanlı yöntem, "jet-grout" yöntemleri arasında en karmaşık olanıdır. Bu yöntemde, zemin yerine enjeksiyon harcı ikame edilir. CCP Grubunun "Super Soil Stabilization Management" (SSS-MAN) yöntemi bu esasa dayanır. Üç akışkanlı yöntem ile en büyük çaplı "jet-grout" kolonları elde edilir. Tipik kolon çapları, killi zeminlerde 50-150 cm., kumlarda 50-300 cm. olabilmektedir. Zemini paralamada kullanılan su jetinin debisi 1 lt/sn, basıncı 40 MPa dır. Su jetinin hava kılıfının basıncı 0.8 Mpa dır. Borunun dönme hızı 5 devir/dk., yukarı çekilme hızı 50mm/dk. dır. [19]



Şekil 6.12 Jet grout kolonu oluşturma yöntemleri

6.3.4.3. "Jet-grout" yöntemi faydalı olduğu yerler

"Jet-grout" yönteminin üstünlükleri şöyle özetlenebilir:

- (1) Çevre kirliliğine yol açmadan zeminlerin stabilize edilmesinde yararlıdır.
- (2) Temel takviyesi sırasında yapının deformasyonu çok az olur veya hiç olmaz.
- (3) Nisbeten ufak çaplı bir delikten başlanarak geniş kolonlar imal edilebilir.
- (4) Yüksek riskli inşaatlarda can güvenliği sağlanır.
- (5) "Jet-grout" kolonları, istenilen bir derinlikten başlayarak istenilen bir derinliğe kadar imal edilebilir. Bu yüzden, taban kabarmasının önlenmesi veya tünel yapımında geçirimsizliğin zemin yüzünden sağlanması gibi problemlerin ekonomik çözümüne elverişlidir.
- (6) Arazi şartlarına bağlı olarak inşaat süresini %30 - %60 kısaltır (Burke ve diğerleri, 1989).

Bu üstünlükleri ile birlikte "jet-grout" yönteminin uygulanmasında bazı güçlüklerle de karşılaşılması olasıdır. En önemli güçlük, zemin koşulları nedeniyle geometri ve mukavemette ortaya çıkan değişkenliktir.

Yük taşıyan kolonların çapının mümkün olduğu kadar aynı olması istenir. Bu yüzden iyileştirmeye daha az cevap veren tabakalar seçilirken dikkatli olunmalıdır. Kolonlar özellikle üniform zeminlerde çok başarılıdır. Bütün uygulamalarda, çap ve mukavemette meydana gelebilecek değişiklikler göz önünde tutulmalıdır.

6.3.4.4. Uygulamanın başarısını belirleyen değişkenler

"Jet-grout" kolonlarının çok geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Bu bakımdan yapılacak kalite denetimlerinin türü ve kabul edilebilirlik kriterleri her iş için ayrıca belirlenmelidir (Zemin iyileştirilmesi için kullanılan "jet-grout" kolonları üzerinde yükleme deneyi yapılmasının gereksizliği gibi.).

İmal edilen "jet-grout" kolonlarının yeterli olup olmadıklarına, bir başka deyişle, uygulamanın başarısına, belirli değişkenlerin değerlerinin ölçülmesi ile karar verilir. Bu değişkenler,

- 1- Zemin-çimento karışımının kalitesi,
- 2- Yapılmış kolonun bütünlüğü ve boyu,
- 3- Kolonun çapı,
- 4- Kolonun geçirimsizliği,
- 5- Zemin/çimento karışımının mukavemeti,
- 6- Kolonun taşıma gücüdür.

1- Zemin-çimento karışımının kalitesi

"Jet-grout" uygulamasının başarısının denetlenmesi yollarından birisi, elde edilen zemin çimento karışımının istenilen koşulları sağlayıp sağlamadığının belirlenmesidir. İmal edilmiş "jet-grout" kolonundan alınan karot numuneleri üzerinde yapılan deneylerle birim hacim ağırlığı belirlenir. Pratikte, zemin çimento karışımının birim hacim ağırlığı, 16-22 kN/m³ arasında değişmektedir.

Harç karışımı önemlidir. Çimento/su oranının ağırlıkça 1/1 civarında olması yeterlidir. Bazı zeminlerde harcın kuma (bleeding) özelliklerinin uygun duruma getirilmesi gerekir. Zeminin gereğinden fazla harca gereksinim gösterdiği bu gibi durumlarda harcın içine bentonit veya taş tozu katılır.

2- Yapılmış kolonun bütünlüğü ve boyu

Kolonun malzeme kalitesini belirlemek amacı ile kolondan sürekli karot alınması, "jet-grout" kolonunun boyunun ve bütünlüğünün belirlenmesinde yararlı olur. Bu amaçla, yapımından 28 gün geçtikten sonra, kolonlardan karot alınır. Bu şekilde denetlenecek kolonun, alt ucundan 0.50 m. kalana kadar sürekli karot alınır.

Öte yandan, "jet-grout" kolonlarının boylarının belirlenmesinde tahribatsız muayene metodlarından yararlanılabilir. Bunların uygulanması kolay, ucuz ve hızlıdır.

"Integrity test ", kolon tepesinden başlayarak kesitteki düzensizliği ortaya çıkarabilir, eğer kolonda böyle bir düzensizlik bulunmuyorsa kolon boyu da bu yöntemle belirlenebilir.

"Integrity test" bir şok dalgasının kolon içinde yayılması esasına dayanmaktadır. Bu deneyin sonuçlarını yorumlarken zemin-çimento malzemesinin özelliği, kolonun geometrisi, zemin ile kolon arasındaki yüzey, zemin koşulları hakkında bilgi sahibi olunması gerekir. "Integrity test" uygulanmasındaki kolaylığa karşılık yorumlarken karşılaşılabilecek zorluklara açıktır. Karot alınarak denetlenen kolonların betonlanarak kapatılmalıdır.

3- Kolon çapı

"Jet-grout" (Harç püskürtme) uygulamasında üzerinde en çok durulan özellik, "jet-grout" kolonların çapı olmaktadır. Kolon çapı, püskürtme enerjisine doğrudan bağlı görülse de zeminin davranışını tahmin etmek o kadar kolay değildir. Püskürtme enerjisi (E) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$E=(P \cdot Q)/v \quad (6.2)$$

Burada p (MPa)püskürtülen harcın basıncı, Q (m³/sn) harç debisi, v (m/sn) ağızlığın yukarıya çekilme hızıdır. Her hangi bir arazide yapılan uygulamada, uygulanacak maksimum basınç en az 3 deney yapılarak belirlenmelidir. Basınç gereğinden daha büyük olursa atık miktarı fazla olur ve zemin kabarması kontrol edilemez. Aynı deneylerde uygun harç debisi, ağızlığın yukarı çekiliş hızı, borunun kendi etrafında dönme hızının uygun değerleri belirlenmelidir.

Püskürtülen harç bir yandan zeminin örselenmesine, bir anlamda parçalanmasına yol açarken bir yandan da zemin-çimento kolonları oluşturarak zeminin özelliklerini iyileştirmektedir. Meydana gelen kolonların çapı ve mekanik özellikleri, başlıca, 4 faktöre bağlıdır:

(1) Zeminin cinsi ve özellikleri,

(2) Harcın bileşimi,

(3) Püskürtme basıncı,

(4) Ağızlıkların bulunduğu delgi borusunun dönme ve yukarı çekilme hızı.

Zeminin kolon yapımı bakımından önemli olan özellikleri, dane çapı dağılımı, serbest basınç direnci, su muhtevası, kıvam limitleridir.

"Jet-grout" kolonlarının çapları genellikle 0.40 m. ile 0.80 m. arasında olur, çap üçlü jet tekniği kullanılarak 2.00 m. ye kadar arttırılabilir.

Kolon çapının denetimi, deneme kolonları kazılarak kolonun ortaya çıkarılması ile yapılır. "Jet-grout" kolonları yapılırken kolonlar çevresinde S2 gibi bir alanda zemin artan yanal basınç nedeni ile sıkışır. Yanal basınç artımı bir süre sonra krip veya diğer nedenlerle bir miktar azalsa da zeminin birim hacim ağırlığındaki ve yanal gerilmesindeki kalıcı artış, kolon/zemin sürtünmesini başlangıç değerinin üstüne çıkarır. Kolon çevresinde kolon yarıçapı kadar uzaklıktaki zeminde bu sıkışmanın etkisi özellikle görülür. Sıkışmanın etkisi, kolon yapımından önce ve sonra yapılacak presiometre ve CPT deneyleri ile belirlenebilir.

4- Kolonun geçirimsizliği

"Jet-grout" kolonları geçirimsizlik sağlanması amacı ile imal edilmişlerse, zemin-çimento kalitesini denetlemek için açılan karot delikleri, su geçirimsizliğini denemek için kullanılabilir. Bu deliklerde, kolaylıkla, sabit seviyeli permeametre deneyi yapılabilir.

5- Zemin-çimento karışımının mukavemeti

"Jet-grout" kolonlarından alma karot numuneleri üzerinde serbest basınç deneyi ve elastisite modülü belirlenir. Zemin-çimento karışımının mukavemetinin belirlenmesi amacı ile "jet-grout" kolonlarından yapımdan en az 28 gün sonra numune alınıp alınan numuneler üzerinde laboratuarda basınç deneyleri yapılır. Serbest basınç direnci ve elastisite modülü deneyleri yükseklik/çap oranı en az 2 olan numuneler üzerinde yapılır.

Zemin-çimento karışımının mukavemeti içerdiği çimento miktarına, zemin cinsine bağlıdır. Tekli jet tekniği kullanılması halinde, daha fazla çimento harcandığı için, karışımın mukavemeti yüksek olur. Buna karşılık ikili jet tekniği ile zemine daha az çimento püskürtüldüğü için karışımın mukavemeti daha küçük olur.

"Jet-grout" kolonlarının imal edildiği zemine bağlı olarak, zemin-çimento karışımının mukavemeti, alüvyon zeminlerde 60 - 70 MPa, kumlu zeminlerde 30 MPa, az siltli kum zeminlerde 10 MPa olabilmekte, kil yüzdesi fazla ise 1.5 - 2.5 MPa olmaktadır. Yüksek plastisiteli killerde çimento miktarını arttırmadan 2 - 3 MPa değerinin üstüne çıkılamamaktadır. Ballarin ve Forti (1998) zemin çimento karışımının serbest basınç direncinin killer ve killi siltler içinde 1.2 - 4 MPa, siltler ve kumlar içinde 3 -12 MPa, kumlar ve çakıllar içinde 6 -12 MPa olabildiğini belirlemiştir. Sıkıştırılmış silt dolgu içinde yapılan jet grout " kolonlarının serbest basınç mukavemeti 10MPa, elastisite modülü 5400Mpa, Poisson Oranı 0.27 bulunmuştur (Lloret v.d., 1991).İçinde silt bulunan kumlu ve serbest basınç direnci 25 - 27 MPa olan zeminin elastisite modülü, 2500 - 6500 MPa olarak bulunmuştur.

6- Kolonun taşıma gücü

"Jet-grout" kolonlarından taşıyıcı elemanlar olarak yararlanılması söz konusu ise, bunlar üzerinde yükleme deneyi yapılır. Yükleme deneyleri bilinen zemin koşulları veya yükleme şekillerine uymayan sistemlerde, kolonun imali sırasında, zemin incelemeleri veya sahaya ilişkin bilgi ve tecrübelerin yeterli olmadığı durumlarda kesinlikle yapılmalıdır

Yükleme deneyleri iki gruba ayrılabilir:

- deneme kolonları üzerinde yapılan yükleme deneyleri,
- daha sonra kullanılacak kolonlar üzerinde yapılan kontrol deneyleri.

Birinci gruptaki deneyler, kolon imalinde kullanılacak parametrelerin (basınç, harç debisi, delgi borusunun kendi etrafında dönme hızı, delgi borusunun yukarı çekilme hızı, v.s.) belirlenmesi için imal edilen deneme kolonları üzerinde yapılır. Deney sonunda, kazılarak kolon meydana çıkarılır ve boyutları tahkik edilir, zemin-çimento karışımının mukavemeti, birim hacim ağırlığı belirlenir.

Deneme kolonları, göçene kadar veya maksimum kabul edilebilir oturma meydana gelene kadar yüklenir. Göçme yükü aşağıdaki tanımlardan birisine göre belirlenebilir:

a- yük daha fazla artmadığı halde oturmanın devam etmesi halindeki yük,

b- kolon çapının %10 kadar bir toplam oturmaya yol açan yk,

c- kalıcı oturma eğrisinin eğiminin her 10 kN luk deney yükü için 0.25 mm. oturmaya eğit olduğu yük.

Kontrol deneyleri, imal edilen kolonların yeterli olup olmadıklarının araştırılması amacı ile yapılır. Tatbik edilecek deney yükü, en az kolonun proje yükü kadar olmalı, tercihen bu ykın 1.5 katı olmalıdır. Hangi kolonlar üzerinde kontrol deneyi yapılacağı inşaatın teknik şartnamesinde belirtilmelidir.[19]

6.3.4.5 Sonuç

Çok geniş bir kullanım alanı olan "jet-grout" yönteminin uygulanmasında, başlıca dört değişken önemlidir:

- zemin cinsi ve zemin zellikleri,
- Püskürtülen harcın özellikleri,
- püskürtme basıncı,
- ağızlıkların yer aldığı delgi borusunun dönme ve yukarı çekilme hızları

Bu değişkenler, .

(1) elde edilen "jet-grout" kolonundaki zemin-imento karışımının kalitesini,

(2) kolonun bütünlüğüne ve boyunu,

(3) kolonun çapını,

(4) kolonun geçirimsizliğini,

(5) zemin-imento karışımının mukavemetini,

(6) kolonun taşıma gücünü belirler.

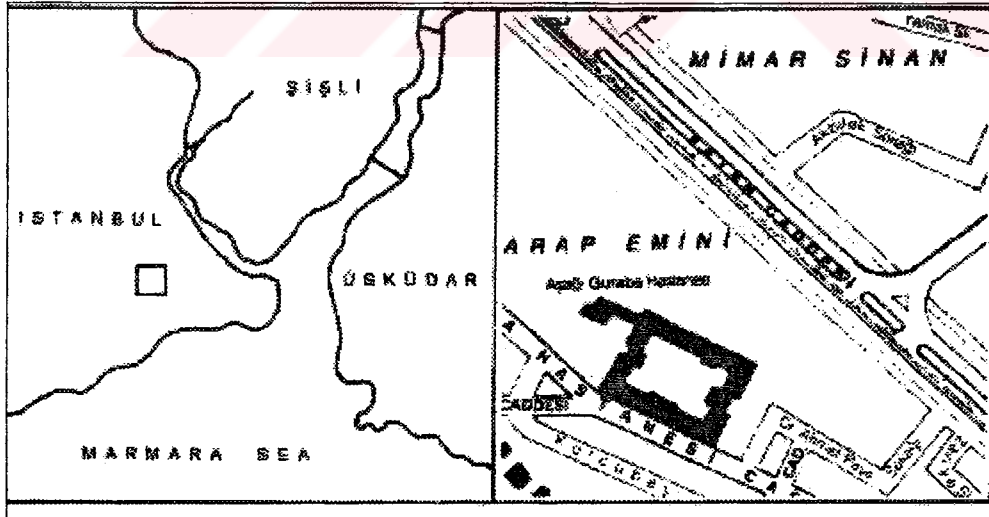
"Jet-grout" kolonlarının kalitesinin denetimi de bu altı özelliğin değerlerinin belirlenmesi yolu ile yapılmaktadır . [19]

7. TARİHİ YAPILARADAKİ TEMEL TAKVİYESİ UYGULAMALARINDAN ÖRNEKLER

7.1. Vakıf Gureba Hastanesinin Temel Takviyesi

7.1.1.Giriş

İstanbul Vakıf Gureba Hastanesi 1843 yılında, Sultan I. 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 7.1)



Şekil 7.1 Vakıf Gureba Hastanesinin vaziyet planı

Hastane 130 m. x 90 m. ebatlarında olup 58 m. x 94 m. ebatında 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.

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. [5]

7.1.2. Zemin profili 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 2m. kalınlığında eski dolgu ve altında, sarmasiene ait üniform, ince daneli kum bantları içeren neogene ait yüksek plasitsiteli 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' dir.

Aşırı konsolide yeşil kilin 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_u) 150 – 250 KPa olan yeşil kilin sıkışma indisi (C_c) 0.15' dir. Yeşil kil tabakası içerisinde bulunan sarı renkli, üniform, kum bantlarındaki kumun dene çapı 0.1 – 0.4 mm. olup sıkı – çok sıkı olduğu söylenebilir.

Temel sistemini görmek için açılan muayene kuyularından; temel genişliğinin duvarların genişliğiyle aynı (1m.) 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.[5]

7.1.3. 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:

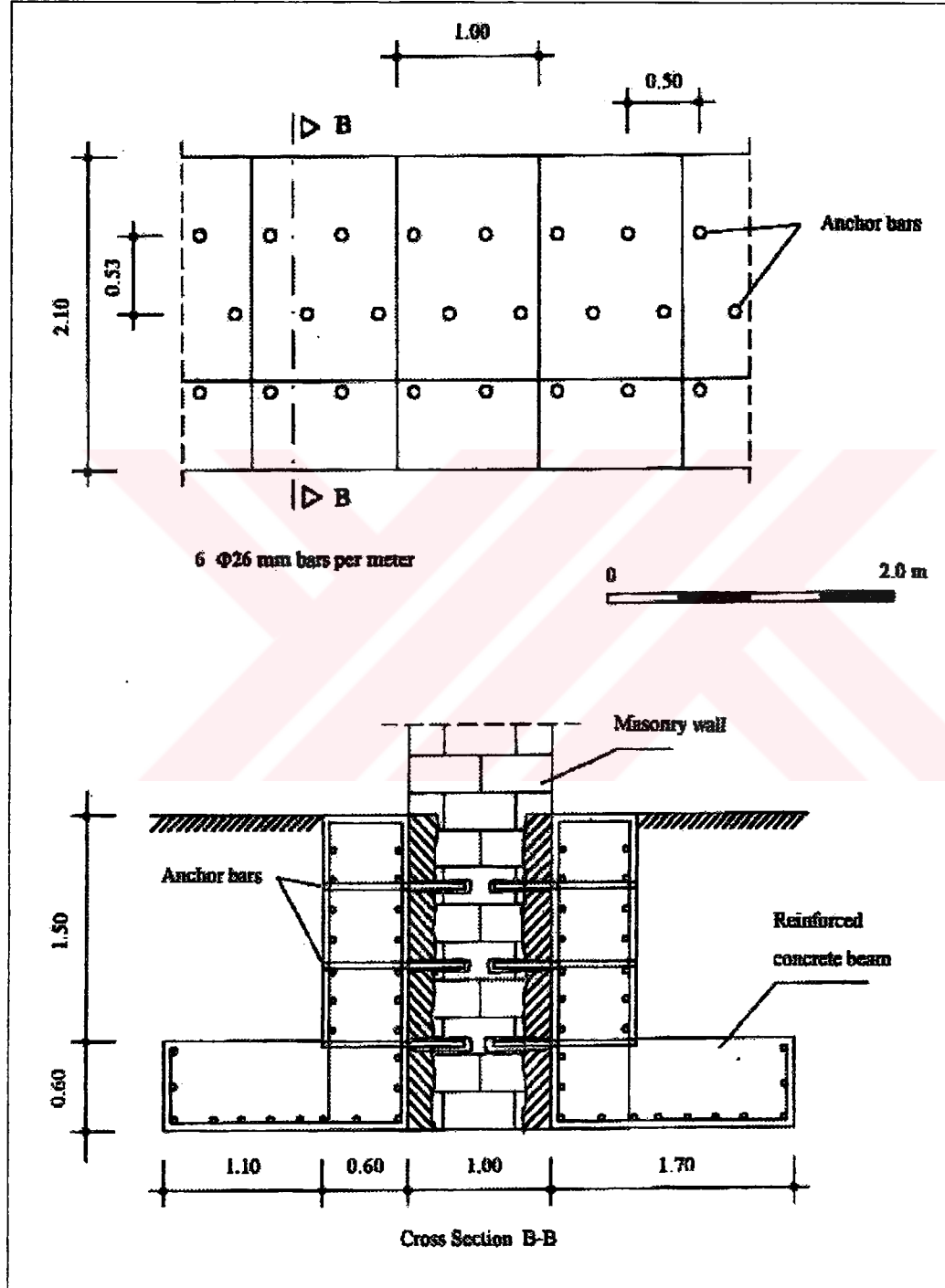
- 1 – Yapı temelleri yüzeysel olup dolgu tabakasına oturmaktadır.
- 2 – Taşıyıcı duvarlar yapı yüklerini temelde herhangi bir kesit genişlemesi olmadan, doğrudan zemine aktarmaktadır.
- 3 – Taşıyıcı duvarlar düşük kaliteli malzeme ve işçilikle yapılmıştır.
- 4 – 2. Derece deprem bölgesinde bulunan yapı 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. [5]

7.1.4. 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 bir 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 içeri epoksi enjekte edilmiştir (Şekil 7.2). Bu sayede çelik ankraj ile taş duvarın irtibatı kuvvetlendirilmiştir. Takviye sonrası yapılan gözlemlerde çatlak ilerlemesinin durduğu görülmüştür.[5]



Şekil 7.2 Vakıf Gureba Hastanesinde uygulanan temel takviyesi

7.2. Fatih Camii Kütüphanesi Temel Takviyesi

7.2.1. Giriş

Fatih Camii Kütüphane Binası , Fatih külliyesinin 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.

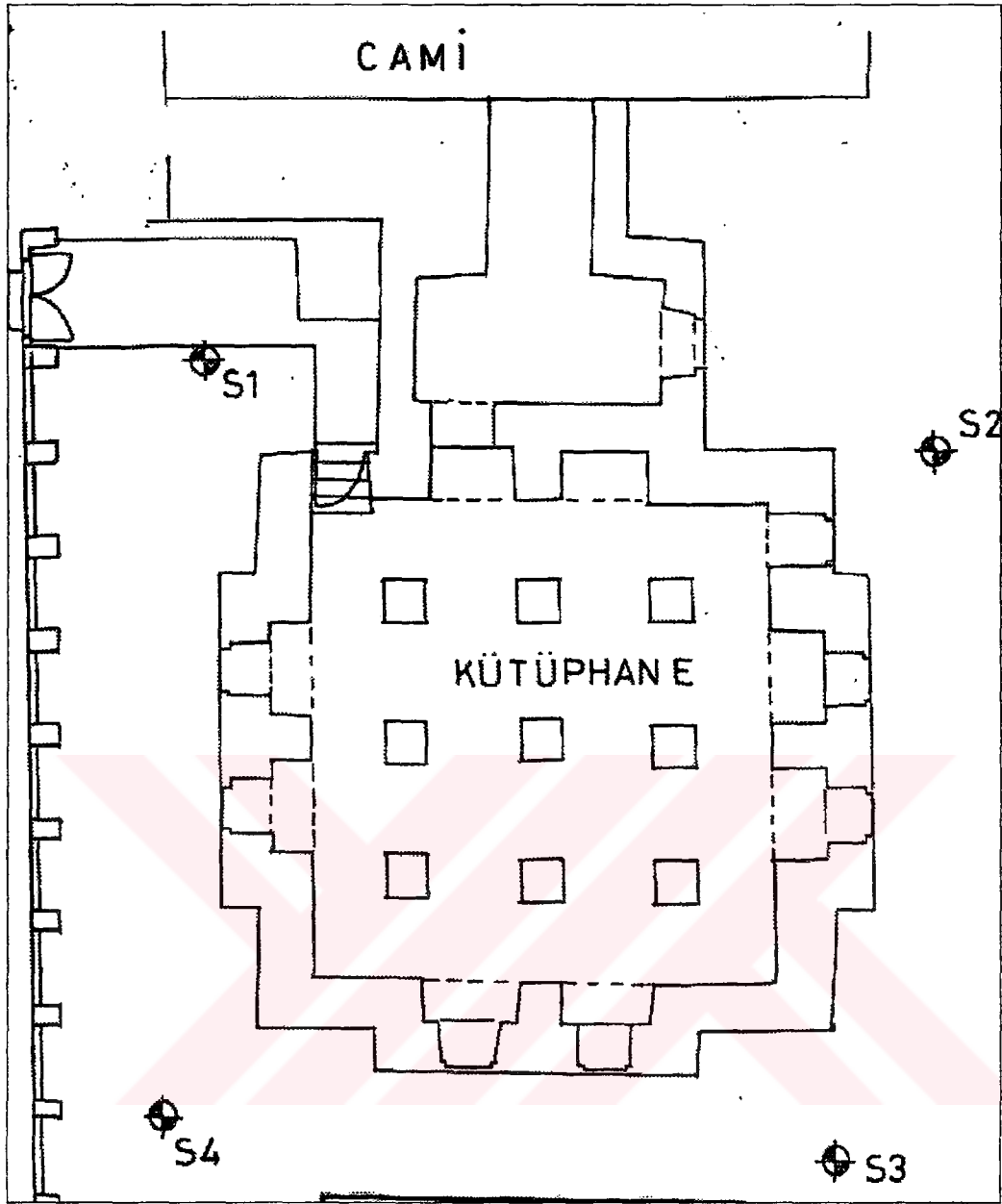
7.2.2. Zemin profili ve temel sistemi

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 7.3). Bu sondajların ve alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinin sonuçları Tablo 7.1.' de özetlenmiştir.

Yapılan sondajlar sonucunda yapının bulunduğu yerin zemin profili üstte 1.5 – 2 m. kalınlığında siltli kumlu, kiremit parçalı, yer yer çakıllı, karbonatlı, horasan artıklı heterojen dolgu, onun altında 2 – 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 ila yeşilimsi renkli marn, sert konsolide kil ve kilaşı aralanmasından oluşan bir formasyondur. Kütüphane binasının zemin profilinde Bakırköy formasyonu 2 – 3.5 m. kalınlığında olup marnlı, karbonatlı, yer yer plastik killi, silt killi, krem renklidir. Yapılan Standart Penterasyon deneyleri sonucunda ortalama $N_{30} = 33$ olarak bulunmuştur.



Şekil 7.3 Fatih Camii Kütüphanesinin sondaj yerleşim planı

Güngören formasyonu, mavimsi – yeşil renkli kilaşı, daha açık renkli marn ve seyrek bantlar halinde killi kireçtaşı ile kireçtaşı aralanmasından meydana gelmektedir. Kütüphane binasının zemin profilindeki Güngören formasyonu üstte çok katı - sert kıvamda siltli 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 7.4’ deki gibidir.

Tablo 7.1 Sondaj sonuçları

SONDAJ NO BOREHOLE NO	NUMUNE SAMPLE		w _n %	γ _n ton/m ³	γ _s ton/m ³	ATTERBERG LIMITLERİ- LIMITS			Riek 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 ₄ E ₅	CC
S1	SPT5	7.95	87			104	80	44			MH					
	SPT8	12.85	87			93	54	36			CH					
	SPT10	15.45	55			92	54	38			MH					
	SPT12	18.95							2	88	ML					
S2	SPT4	4.95							27	47						
	KAROT	9.00	88	1.67		90	51	39			MH	0.50	1.30	0.12	0.39	
	SİLBY	11.00	85	1.60		97	58	39			MH			0.80	0.12	0.33
	SPT9	13.45	57			86	36	50			CH	0.75	1.4	0.10	0.22	
	KAROT	14.50	52	1.70		90	55	39			MH					
S3	SPT3	3.45							48	20						
	SPT6	8.45	33			44	23	21			CL					
	SPT7	9.95	57			82	51	41			MH					
	SPT13	19.95	38			46	31	15	0	78	ML					
S4	SPT5	4.95							9	73						
	SPT8	13.45	48			118	63	55			MH					
	SPT10	16.95	52			106	49	57			MH					
	SPT11	18.95							0	38	SH					

Katman m	LOG	AÇIKLAMALAR	SPT N ₆₀	w _n %	LL %	PL %	PI %	γ _n t/m ³	c t/m ²	K _v t/m ²	σ _{em} t/m ²	φ (°)	Longitudinal Zemin Sığacılığı kg/cm ²	P _s kg/cm ²
1.50-2.50		NEYERDEN BİLELİ: Silt, kumlu, siyahımsı parçacık, yer yer çakıl ve karbonatlı kum												
2.50-3.50		BAKIRKÖY FORMASYONU: Marn, sıraç, karbonatlı, karbonatlı, az kum	33											
		SİLTİ KİL FİSÜRÜ, kumda, yer yer plastik siltli kil; alaca renkli; ÇOK KATI-SEPT	30	48	30	58	36	1.67	10.00	8500	1.75	0	884	0.50
		KİL: FİSÜRÜ, kumda, yer yer plastik siltli kil; alaca renkli; ÇOK KATI-SEPT	30	55	21	53	39	1.70	12.00	8,000	1.75	0	CH-MH	0.75
		SİLT KUM-KUMLU SİLT: AZ KİL, ince daneli siltli kum kumda silt aralıklı; alaca renkli; SİLT - ÇOK SİLTİ R. SEPT.	50					1.85	0	10,000	2.50	35	SH-MH	
SPT N₆₀ : Standart Penetrasyon Testi w_n : Tabii su nem oranı LL : Likit Limit PL : Plastik Limit PI : Plastisite İndeksi γ_n : Tabii birim ağırlık c : Drenajsız Kayma Mukavemeti K_v : Düşey yatac katınlığı σ_{em} : Birim yüzeyli Zemin Gerilmesi φ : Drenajsız Kayma Mukavemeti Açısı P_s : Sigma Basıncı														

Şekil 7.4 İdeal geoteknik model

7.2.3. Değerlendirme

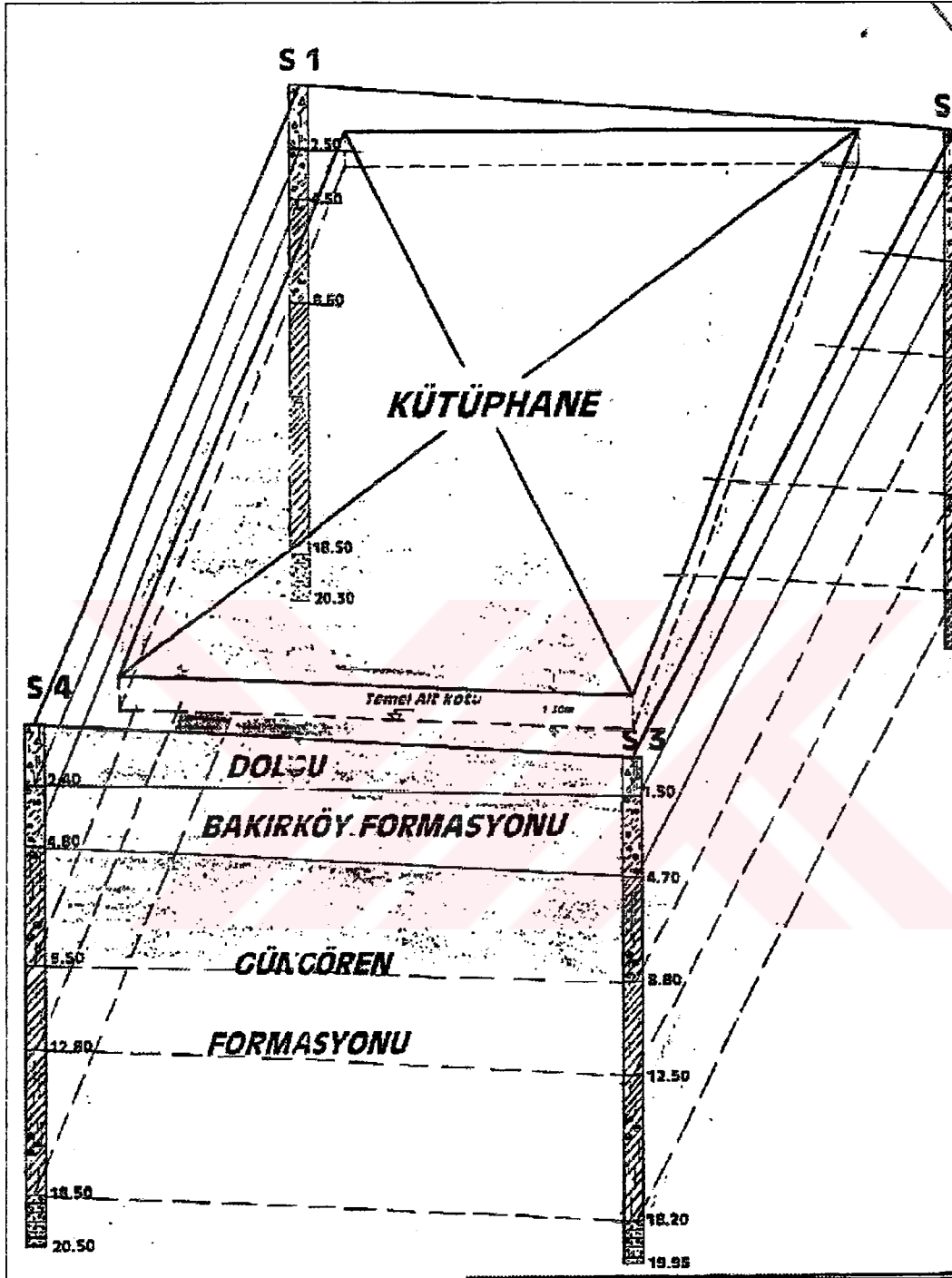
Fatih Camii Kütüphane Binası'nın temelleri, kalınlığı 1.5 – 2 m. arasında değişen heterojen dolguya oturmaktadır. Bu dolgu tabakasının altında ise marnlı, karbonatlı Bakırköy formasyonu yer almaktadır (Şekil 7.5).

Fatih Camii' nin bahçesinde bulunan kütüphaneye özellikle cami çatısından gelen yağmursuları, dolgu tabakasının altında bulunan 2 - 3.5 m. kalınlığındaki marnlı, karbonatlı tabakadaki karbonatları 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.

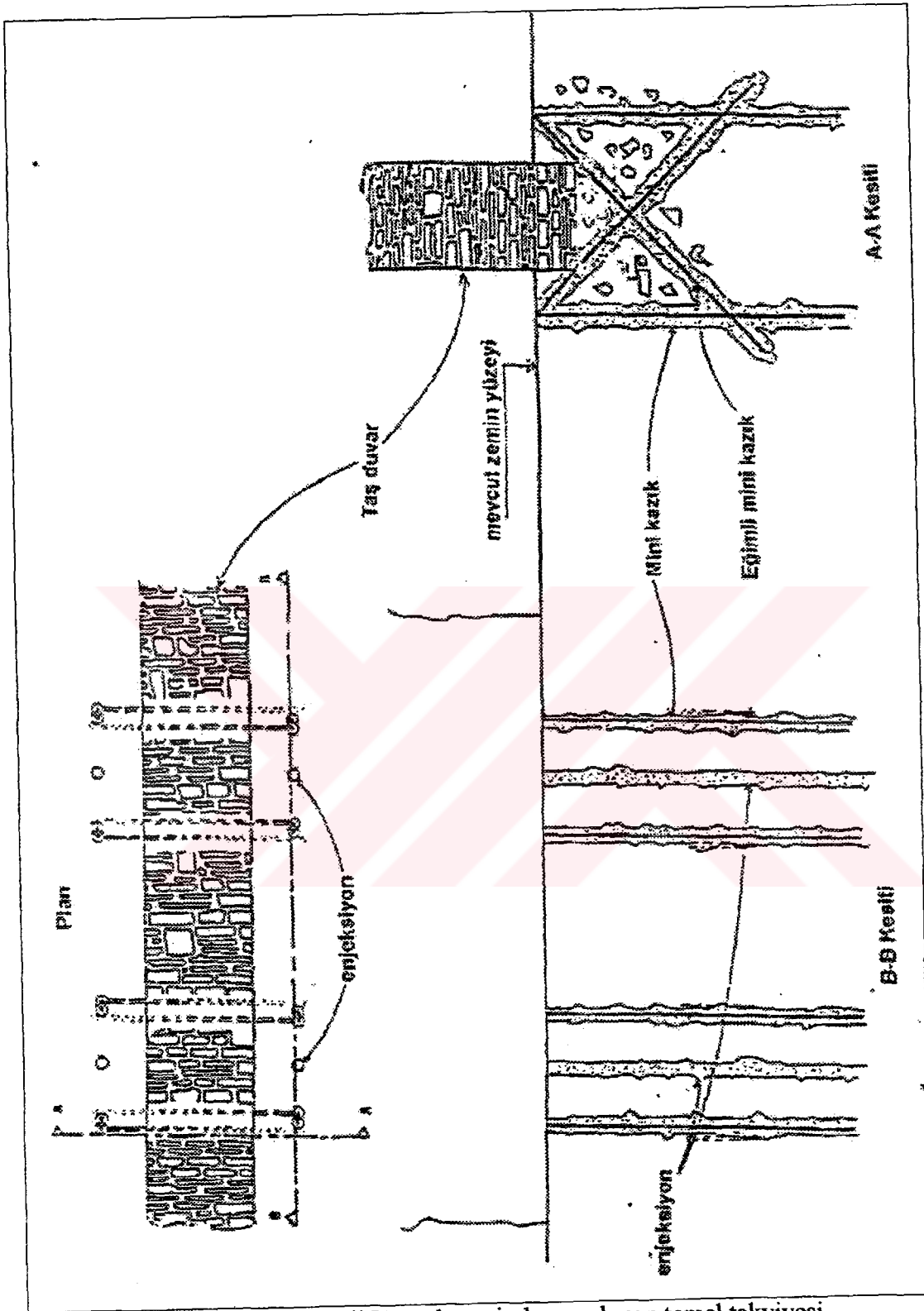
7.2.4. Sonuç

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 edilmesinden müteşekkildir (Şekil 7.6).

Enjeksiyon işlerinde başlangıç kademeleri 0.80 m. olarak düşünülmüş, enjeksiyon aralıklarının 1.00 x 1.00 m. paternde 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. [23] 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.



Şekil 7.5 Fatih Camii Kütüphanesinin geoteknik blok diagramı



Şekil 7.6 Fatih Camii Kütüphanesinde uygulanan temel takviyesi

7.3. Ortaköy Camii Temel Takviyesi

7.3.1. Giriş

Ortaköy Camii'nin tarihçesi ve temel sistemi önceki bölümlerde anlatıldığından burada yalnızca uygulanmış olan temel takviyesi yönteminden bahsedilecektir. Ortaköy Camii'nde saptanabilen en eski onarım 1894 depreminden sonra 1909 yılında yapılmıştır. Bu onarım sırasında yıkılan minareler yeniden yapılmış, oluşan çatlaklar onarılmıştır. 1957 – 58 yıllarında camide yeniden oturma ve çatlaklar, rıhtımda deformasyonlar görülmüştür. Vakıflar idaresince 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. 1964 yılında yapı çevresinde zemin sondajları yaptırılmıştır.

7.3.2. Zemin profili ve temel sistemi

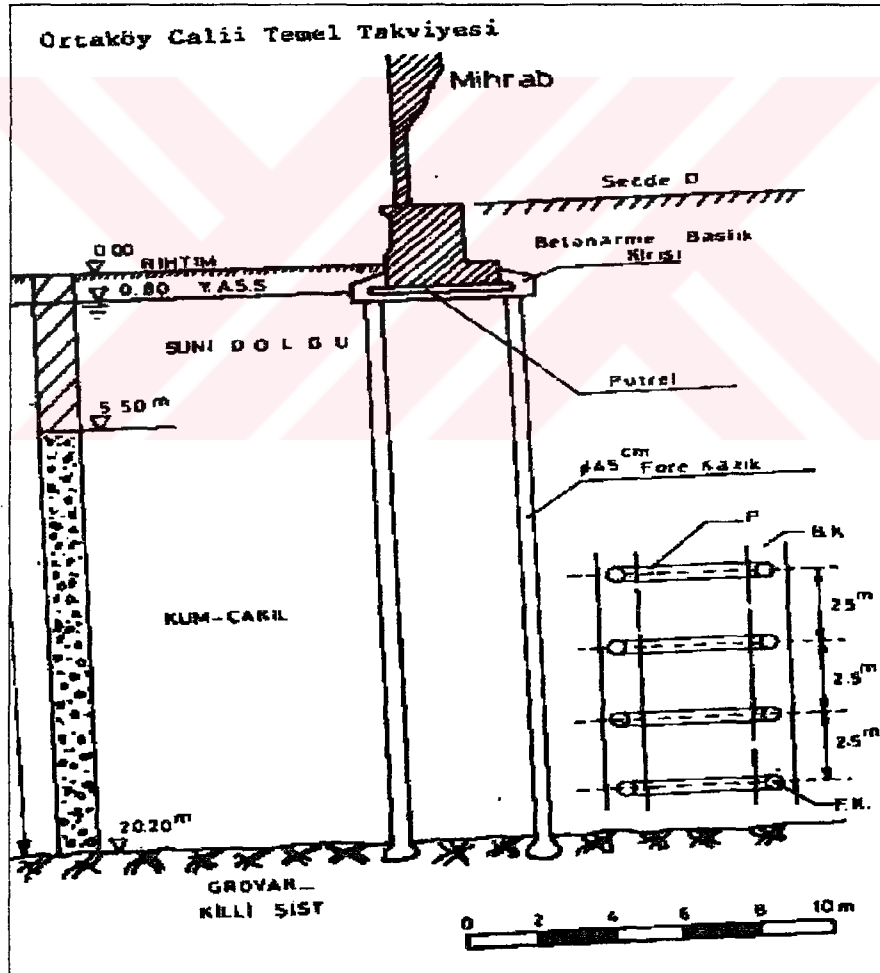
Yapı çevresinde yapılan sondaj sonuçlarına göre bahçe seviyesinden itibaren ortalama 5.5 m. kalınlığında gevşek suni dolgu bulunmaktadır. Suni dolgu tuğla kırıkları, horasan artıkları ve ağaç parçaları gibi çeşitli organik maddeleri de içinde bulundurmaktadır. Yapay dolgu ile 20 m. derinlikteki ana kaya grovak killi şist arasında kalın bir kum çakıl tabakası yer almaktadır. Bu alüvyon dolgu Ortaköy deresinin getirip yığıldığı genç birikintilerdir. Çok az miktarda (% 5) kil ve silt ihtiva etmektedir. Yer altı su seviyesi rıhtımdan 80 cm. aşağıdadır, lodos ve poyraz rüzgarlarına bağlı olarak deniz seviyesindeki değişimler yer altı su seviyesini etkilemektedir. [4]

7.3.3. Değerlendirme

Yapılan incelemeler sonucunda yapı temelinin gevşek yapay dolguya oturduğu anlaşılmıştır. Genel olarak, boğaz kıyılarında suni dolgu veya alüvyal zeminler üzerine yapılmış kargir 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 dolayı da meydana gelebilmektedir.

7.3.4. Sonuç

Ortaköy Camii' nde temel takviyesi yöntemi olarak, fore kazık tercih edilmiştir. Temele gelen yükler, camii beden duvarı boyunca içten ve dıştan karşılıklı yapılmış 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 anakayaya oturmaktadır (Şekil 7.7). Temel takviyesi için 64 adet 45 cm. çaplı kazık, beden duvarları boyunca yapılmıştır. Mevcut temeli ve zemini iyileştirmek amacı ile 80 ton çimento enjeksiyonu yapılmıştır. Fore kazık imalatının yapılabilmesi için orijinal kalınlığı 60 – 90 cm. olan kubbe sökümü, 1968 yılında tamamlanan temel takviyesinden sonra çift kenarlı betonarme olarak tekrar yapılmıştır. Yapının restorasyonu 1969 yılında tamamlanmıştır.[6]



Şekil 7.7 Ortaköy Camii zemin profili ve temel takviyesi

7.4. Konya Alaaddin Camii Temel Takviyesi

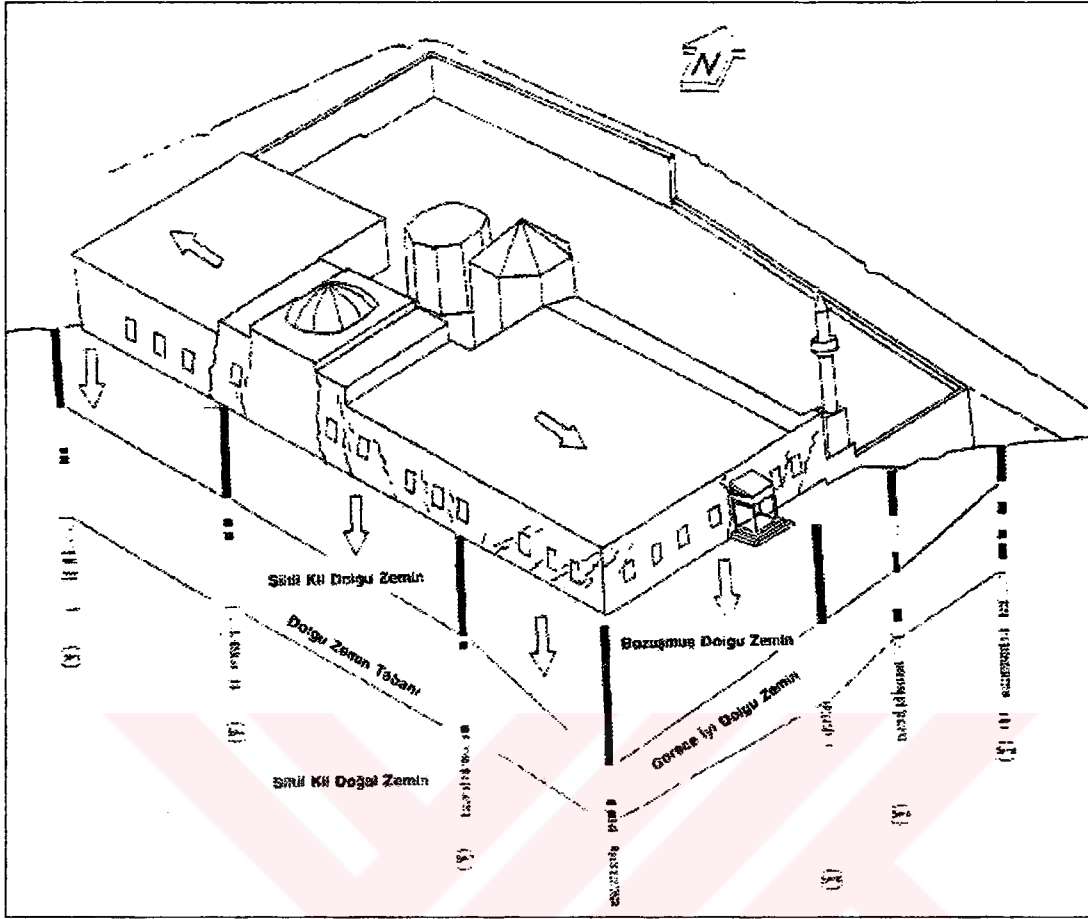
7.4.1. Giriş

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 fosseptik mevcut olduğu ve o yıllarda gözlenen çatlamların muhtemelen bu çukurdan taban zeminine sızan sular sonucu ortaya çıktığı belirlenerek fosseptik 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, çakı ,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 uygulamada çatlakların ilerlemesine mani olamamıştır. [9]

7.4.2. Zemin profili

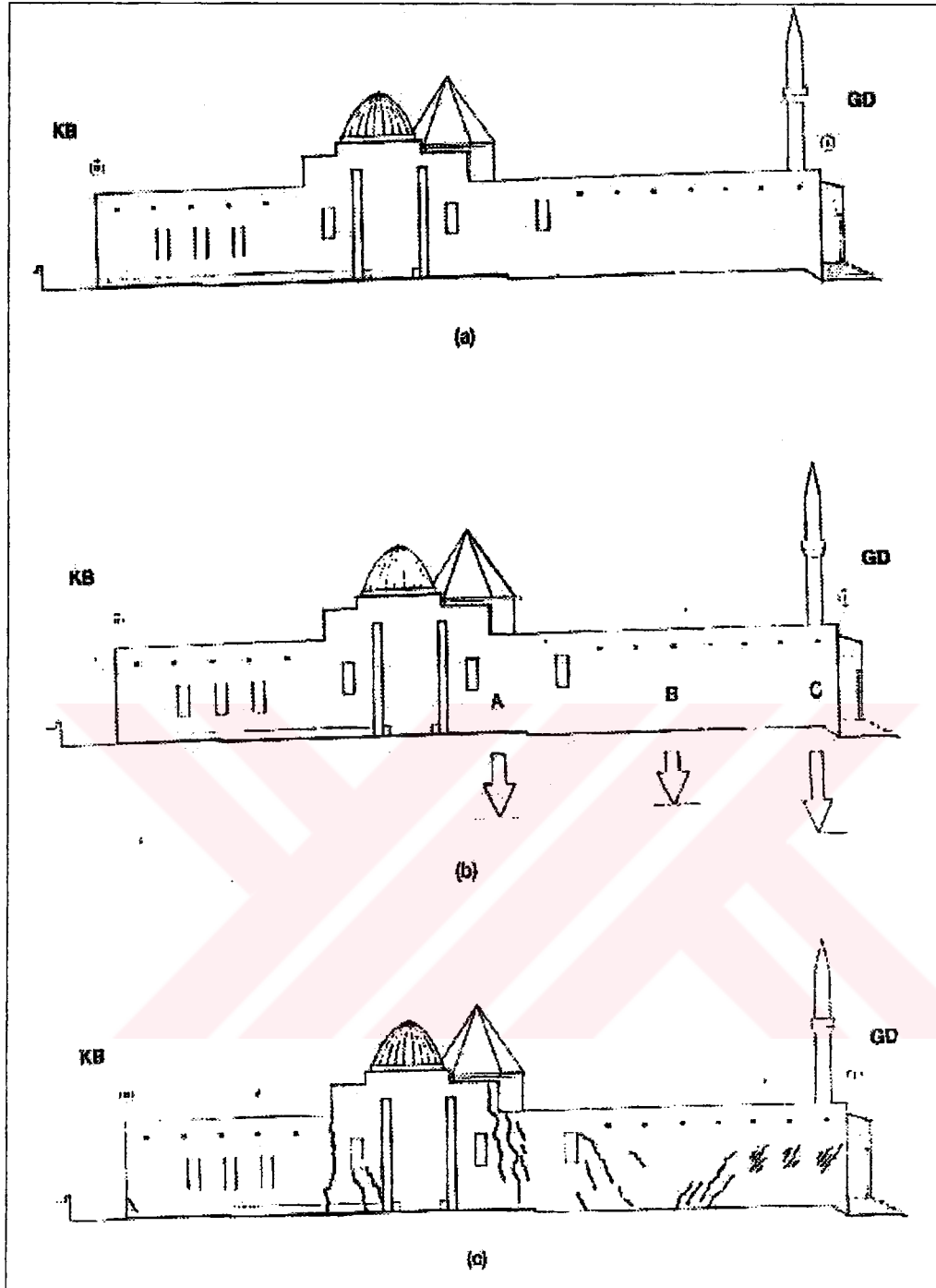
Konya Alaaddin Camii kalınlığı 17 – 30 m. arasında değişen, yer yer kiremit tuğla, mermer parçaları ihtiva eden ve organik madde kalıntılarından müteşekkil bir dolgu üzerine oturmaktadır. Yer altı su seviyesi 24 – 33 m. arasında değişmektedir. Dolgunun altında 300 – 400 m. yataya yakın alüvyon tabaka bulunmaktadır. Dolgu zemin düşük plastisiteli, aktif olmayan, orta derecede sıkışabilen yarı sert kıvamda killi silttir. (Şekil 7.8)



Şekil 7.8 Konya Alaaddin Camii, zemin profili ve deformasyon mekanizması

7.4.3. 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 oturmalardır.(Şekil 7.9). 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 şev stabilitesi analizleri neticesinde yatay deformasyona sebep olacak bir durum tespit edilememiştir.

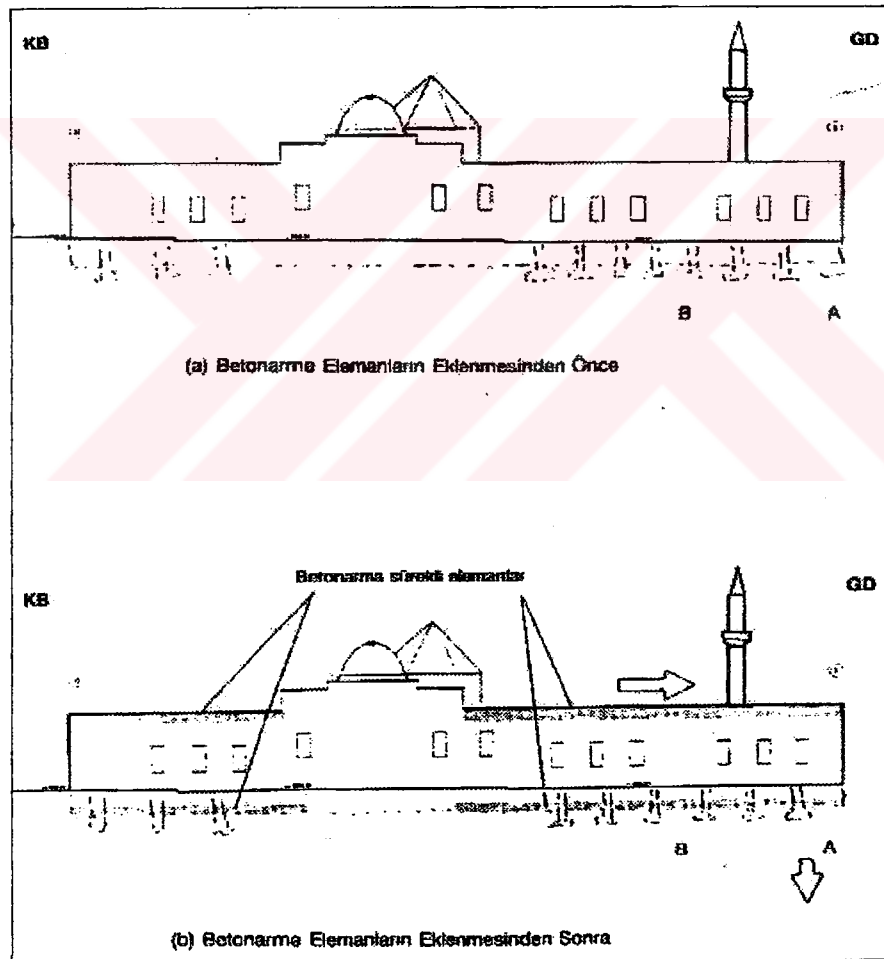


Şekil 7.9 Konya Alaaddin Camiindeki farklı oturmalar ve çatlak oluşumu

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 7.10). Bu bağlamda, bir temel takviyesi çalışması yapılmadan evvel yapıdaki hasarın sebebini teşhis edilmesinin ve zemin araştırması neticesinde zemin davranışının anlaşıldıktan 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 camiinin içi ve dışı enjeksiyonla ıslah edilmiş ve taşıyıcı sistemlerin tabanları mini kazıkla desteklenmiştir.[9]



Şekil 7.10 Konya Alaaddin Camiindeki eğik çatlakların oluşum mekanizması

7.4.4. Konya Alaaddin Camii'nde yapılan temel takviyesi çalışmaları

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.

7.4.4.1. Enjeksiyon ve Mini Kazık Çalışmaları

Ölçüm ve gözlem sisteminin teşkilini müteakip enjeksiyon çalışmaları iki aşamada yapılmıştır. Birinci aşamada bölgesel nitelikte camii 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. Camii duvarları etrafında iki sıra enjeksiyon yapıldıktan sonra camiinin avluya bakan iç duvarı boyunca ve türbelerin etrafında enjeksiyon yapılmıştır. Daha sonra camiinin 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 presiometre 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 camii 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 kalınlığına değişik derinliklerde yapılırken temel zemini enjeksiyonları zemin

yüzeyinden 4 m. derinlikte olacak şekilde uygulanmıştır. Mini kazıklar camii duvarlarının iç ve dış taraflarında duvarda 0.50 m. uzaklıkta, dolgu zemin altında yer alan alüvyon tabii zemin içerisinde takriben 1 m. girecek şekilde inşa edilmiştir. Mini kazıklarda teçhizat olarak bir adet 28 mm. çapında çelik kullanılmıştır.

Camii 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 camiinin içinde öncelikle camiinin doğu bölümünden başlanmış, bilahare camiinin mihrap ve batı kesimlerindeki enjeksiyon ve mini kazık işleri tamamlanmıştır.

Yukarıda özetlenen bu çalışmalar çerçevesinde Konya Aladdin Camii'nin doğu bölümü, iç avlu ve avlu dış duvarlarının tamamını içerecek şekilde tamamlanarak üst yapı restorasyonuna hazır duruma gelmiştir. Doğü 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 müteakip cami taşıyıcı elemanlarından 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. [9]

7.4.4.2. Duvar ve kolon altı bağlantıları

Konya Alaaddin Camii' nde temel takviyesinin yanı sıra askıya alınmış taşıyıcı sistemin askılarının alınmasını müteakip 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 üstyapı 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 kazıkları birbirine bağlayacak bağlantı kirişleri.

Camiinin doğu ve batı kesimi için A (Şekil 7.11) ve B (Şekil 7.12) tipi olmak üzere iki tip detay geliştirilmiştir.

A Tipi bağlantı detayları.

Bu tip bağlantı detayı aşağıdaki sıraya göre uygulanmıştır :

1. Camii içinde ve dışında duvar boyunca uzanacak betonarme kirişin inşası için yeterli çalışma rahatlığı sağlayacak boyutlarda bir kazı yapılmıştır. Camii içinde bu uygulama duvar boyunca yer alan kolonlar arasında yer alacak şekilde , camii dışında ise tüm camii 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 camii 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. Camii içinde bu donatıların birbirine çok yakın olması nedeni ile delik açmak yerine camii duvarı takriben 20. cm. daha fazla dışa doğru kazılarak inşa edilecek kirişin duvarın altına doğru girmesi temin edilmiştir. Kesme kuvvetini alacak donatı ise bu kesime yerleştirilmiştir.

4. Öncelikle inşa edilmiş olan düşey ve eğimli mini kazıkların uç kısımlarını 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, içte 6 adet ϕ 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 $\phi 10$ 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. $\phi 28$ mm. çapında olan bu donatıya yüklerin daha etkili intikal edebilmesi amacıyla mümkün olan kesimlerde düşük oranda çekme gerilmesi uygulanarak bir ard – gerilme (post – tensioning) teşkil edilmiştir. Detayları aşağıda anlatılan bu uygulama için donatının camii 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 camii içindeki bağ kiriş betonu dökülmüştür.

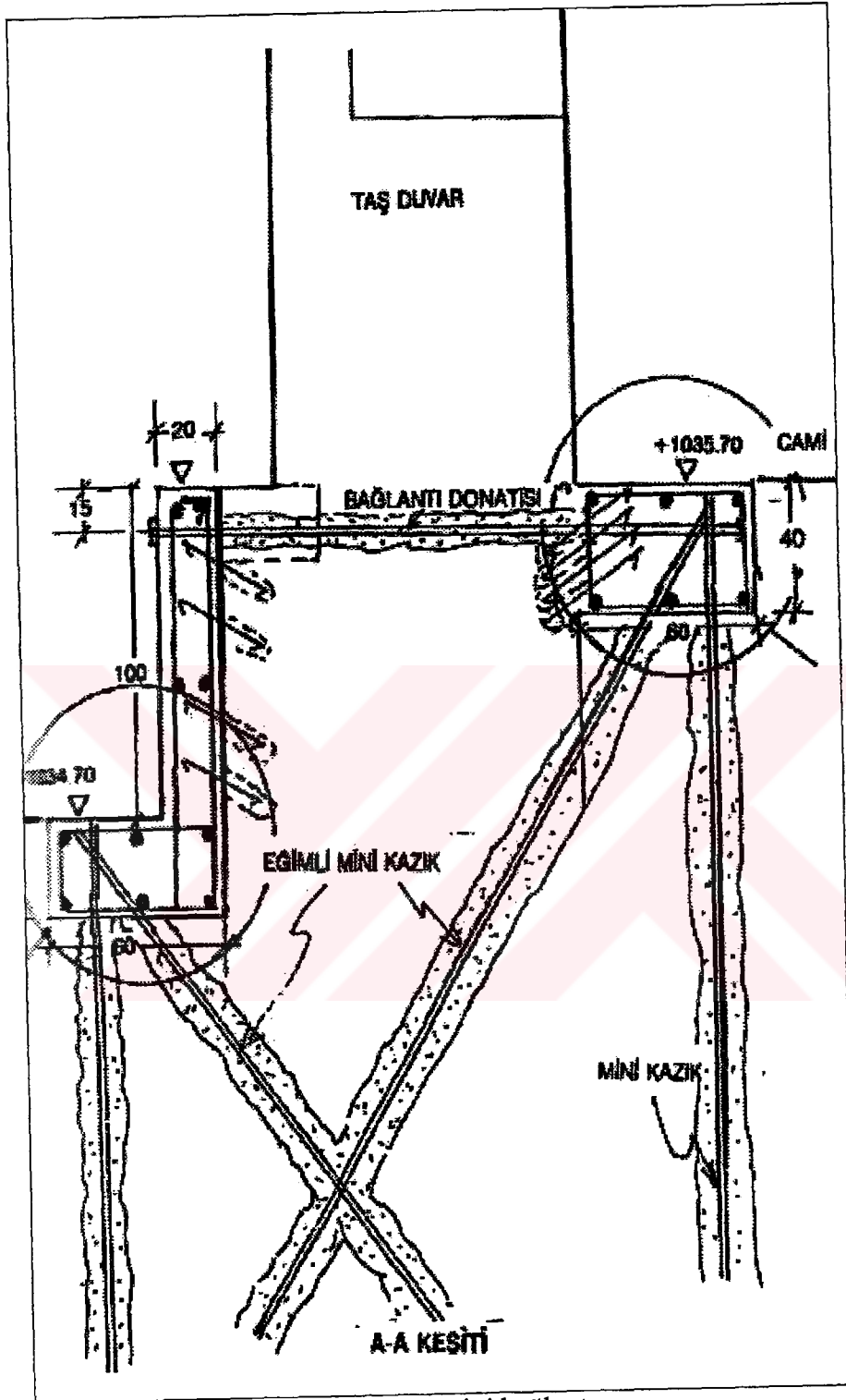
7. Camii dışındaki bağ kirişi betonu dökülmeden önce yatay bağlantı donatısına germe kuvveti uygulanabilmesi için yatay bağlantı donatısının dıştaki kiriş içinde kalan kısmı PVC boru içine alınmıştır. Boru içine alınan yatay bağlantıya dıştaki kirişin betonu dökülmesi esnasında betonun adhezyonu böylelikle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

8. Bu işlemten sonra dıştaki kiriş betonu dökülmüştür.

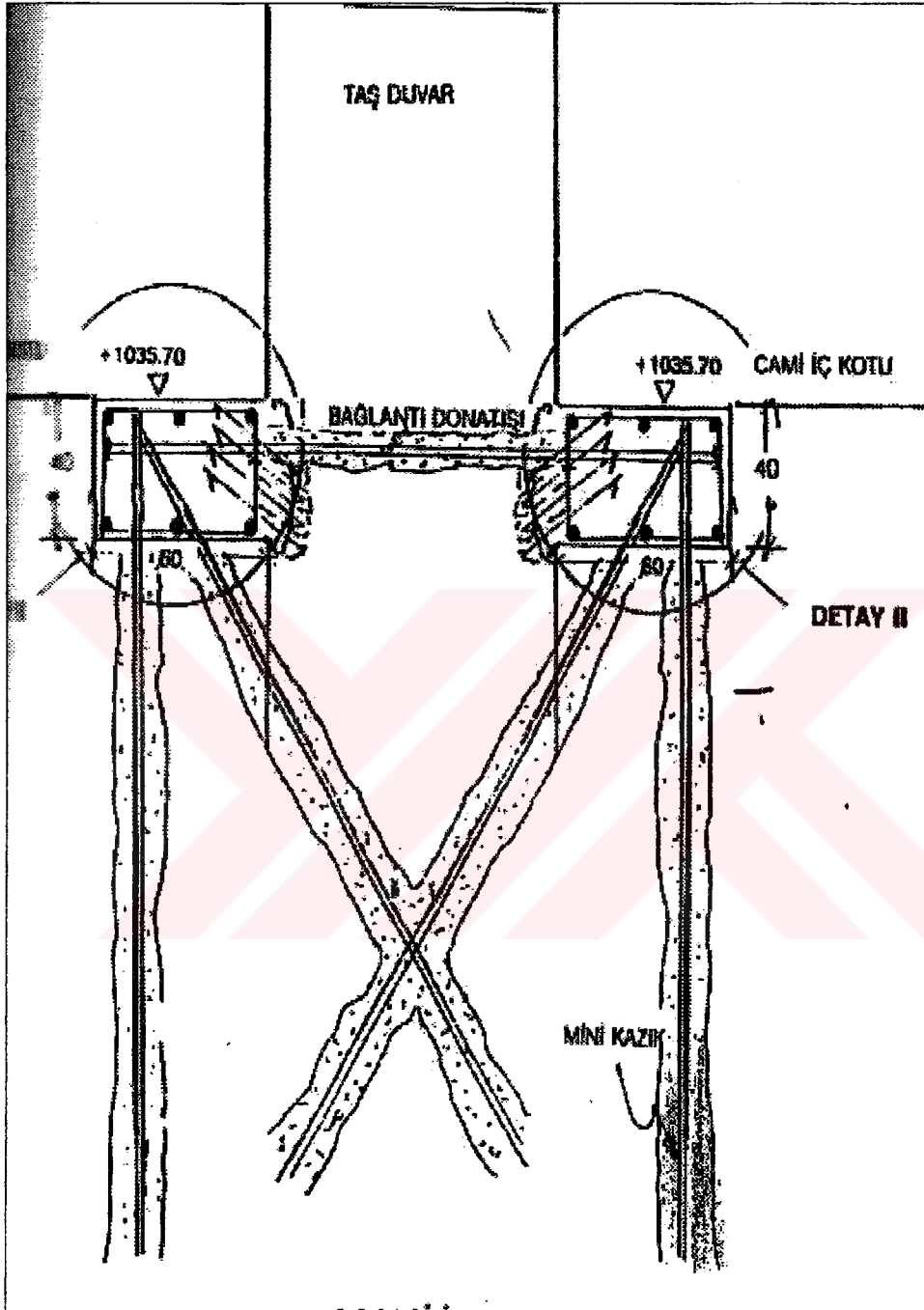
9. Son olarak mümkün olan kesimlerde yatay bağlantı donatısına camii dışından 5 ton mertebesinde bir yük ile çekme gerilmesi uygulanmış ve donatının geçtiği delik enjekte edilmiştir. Enjeksiyon sertlik kazandıktan sonra uygulanan çekme kuvveti bırakılmıştır. Böylelikle bağlantı donatısına düşük mertebede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

B Tipi bağlantı detayları

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



Şekil 7.11 A tipi bağlantı



Şekil 7.12 B tipi bağlantı

7.4.4.3. Drenaj Çalışmaları

Drenaj çalışmalarının Konya Alaaddin Camii zemin ıslah çalışmalarında çok önemli bir yeri bulunmaktadır. Ayrıca, yüzey suyu drenajının camii avlusu ve camiinin 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. [9]

7.4.4.4. 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 Camiinde 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 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 sayıları 58 adettir.

Yukarıda söz edilen ölçüm aletlerinin yanı sıra Konya Alaaddin camii temel ve taban zemini 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.

7.4.4.5. 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 ölçüm ve deneyler programlanmış ve yapılmıştır.

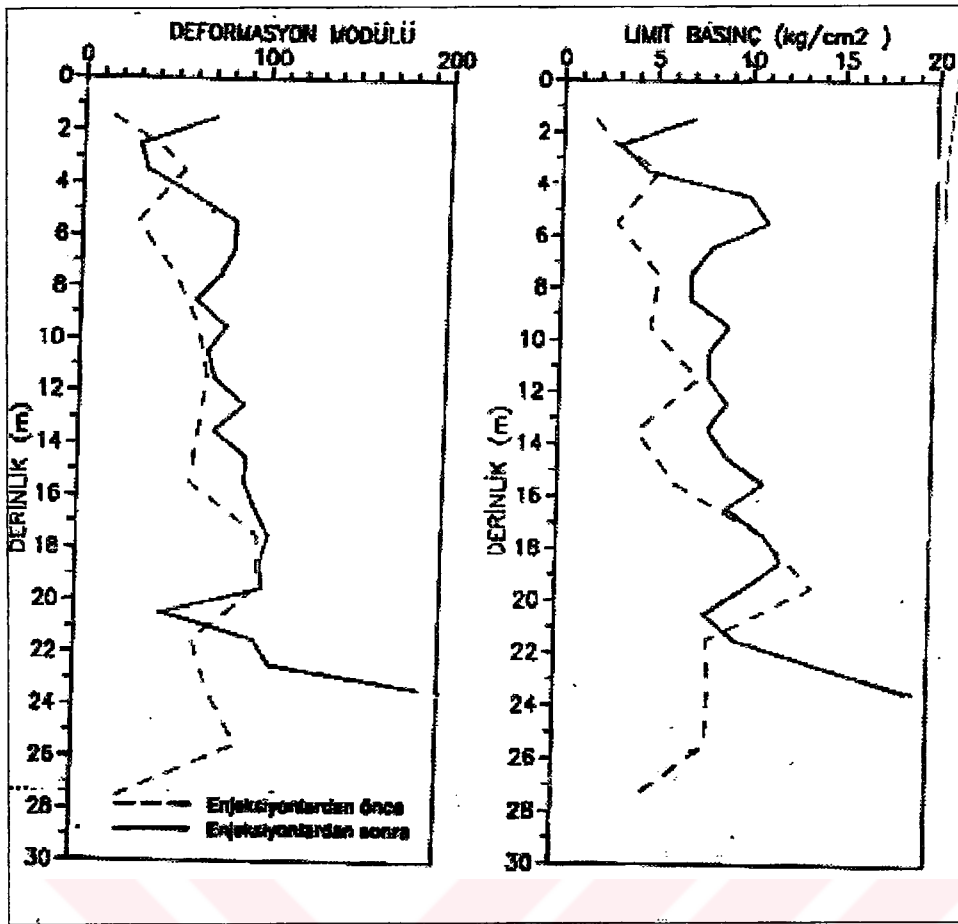
Presiometre Deneyleri

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) presiometre deneyleri yapılarak zeminin taşıma gücü ve deformasyon özelliklerinin derinlikle değişimi belirlenmiştir.

Bir örnek olmak üzere Şekil 7.13' 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.[9]

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 7.13 Presiometre deney sonucu örneği

Konya Alaaddin Camii mini kazık yükleme ve çekme deneyleri için Çabuk Sabit Yüklemeli (Quik 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 arttırımı toplam uygulanacak yükün % 20' si mertebesinde ve her yük seviyesinde 15 (on beş) 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 krik o ile uygulanmalıdır.
- Test yükü toplam yükün % 20' si mertebesinde kademeli olarak uygulanmalı ve her yük kademesinde 15 (on beş) dakika beklenmelidir. Toplam deney yükü (maksimum yük) ise 60 (altmış) dakika süre ile yüklü tutulmalıdır. Her kademed e 3 (üç) dakika ara ile yük – deformasyon – zaman okumaları alınmalıdır.

- Boşaltma ise bir aşamada yapılmalı ve boşaltma esnasında deformasyon ölçümleri alınmalıdır.

- Yükleme 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 (dört 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 tesbit etmek amacı ile yükleme yapılan kirişi referans alacak şekilde yerleştirilmelidir .

Bu deneye göre, ϕ 120 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.[9]

7.4.5. Sonuçlar

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 zeminindeki iyileşmeler gözlenmiştir.

Üçüncü aşamada ise yapısal enjeksiyon ve mini kazık (teçhizatlı enjeksiyon) inşası yapılarak ve cami temel ve taban zemini güçlendirilerek, cami üst yapı restorasyonuna hazır duruma getirilmiştir.[9]

Konya Alaaddin Camii' nde yürütülen tüm bu çalışmalar esnasında camii 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 duvarlarında ve üst yapısındaki mevcut çatlaklardaki hareketler büyük bir hassasiyetle gözlenmiştir. Sürekli gözlemlerin yanı sıra yapılan güçlendirme çalışmalarının başarı derecesinin tespitine yönelik presiometre 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 camii 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 koşullarındaki gerek taşıma g ve gerekse deformasyon yönünden iyileşme gerçekleştirilen pressiometre deneyleri ile tahkik edilmiştir.
- alışmalar esnasında camii içinde ve dışında tesis edilen gözlem aletleri ile camide oluşan deformasyonlar ve hareketler gözlenmiştir. Bu lm sistemi camii st 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 alışmalar boyunca yürütülen gözlem ve ölçümler sonucunda uygulama çalışmaları esnasında meydana gelen deformasyonların mertebesinin birkaç milimetre civarında olduğu belirlenmiştir.
- st yapı restorasyonu öncesinde taş duvar ve kolonları 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 st yapı yüklerinin mini kazıklara aktarılabilmesine olanak sağlanmıştır.
- Bu uygulama çalışmalarına paralel olarak Konya Alaaddin Camii temel zemininin davranış modellemesi yapılarak cami st yapısında hasara neden olan deformasyonlara kaynak teşkil edebilecek unsurlar incelenmiş ve sonuçta uygulanan güçlendirme çalışmalarının bu nedenleri ıslah etmeye yönelik olduğu belirlenmiştir.
- Cami temel ve taban zemininin bozuşmasına başlıca nedenin, yüzeyden ve cami vresinden temel zeminine sızan sular olması göz önünde bulundurularak cami vresinde ve avlusunda kapsamlı drenaj önlemleri uygulanmıştır.

7.5. Fethi Ahmet Paşa Yalısı

7.5.1. 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 gereği ortaya çıkmıştır.

Nisan 1995 ayı içerisinde yalıda çeşitli incelemeler yapılmıştır. Ayrıca bina etrafında sondajlar yapılarak, temel zeminin özellikleri ve tabakalaşma durumu belirlenmiştir.

7.5.2. Zemin profili ve temel sistemi

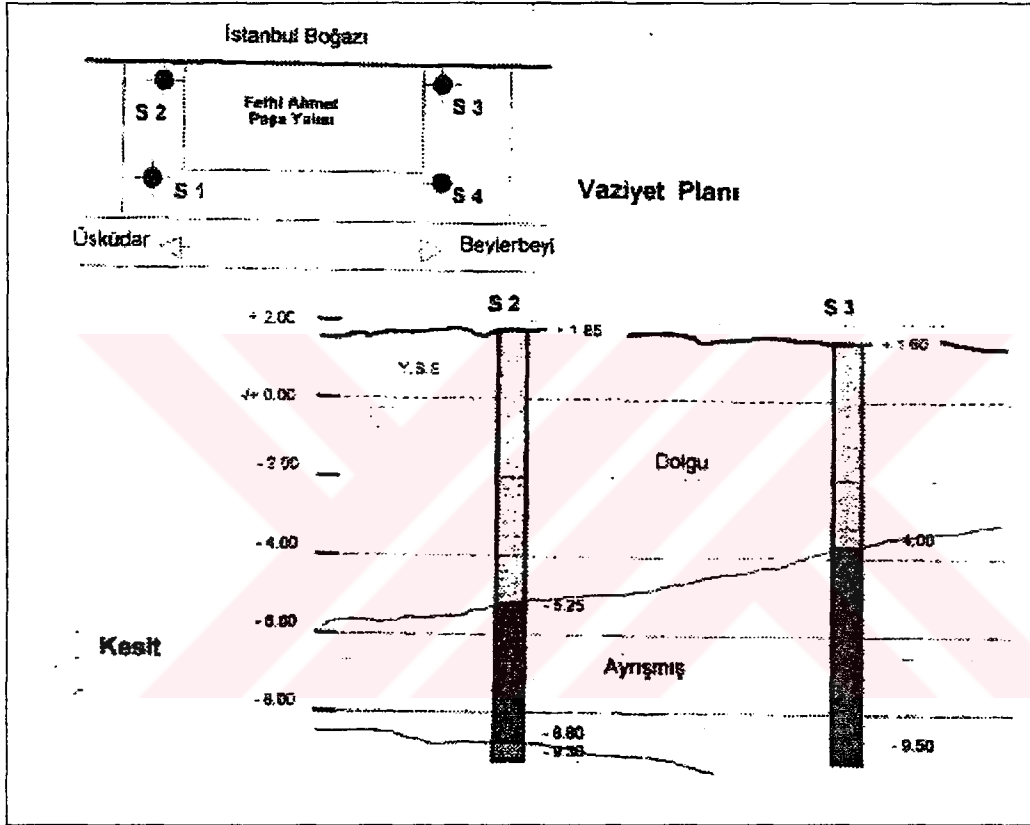
Bir zemin ve üst kattan oluşan söz konusu tarihi yalı binası, tam deniz kenarında inşa edilmiştir. Zemin katta oturma alanının dıştan dışa boyutları, 23.54 m. ve 29.94 m.’dir.

Binanın köşelerinde 4 adet sondaj yapılmıştır. Sondajlar ana kayaya kadar sürdürülmüştür. Sondajlarda arazi profili, yüzeydeki dolgu tabakası altında ayrıışmış kilaşı ve kilaşı olarak belirlenmiştir. Dolgu tabakası kalınlığı, kara tarafında 2.50 m. – 2.80 m. ve deniz tarafında 4.00 m. – 5.25 m.’ dir. Sondaj yerleşim planı ve yapının deniz cephesi boyunca zemin profili Şekil 7.14’ de gösterilmektedir.

Zemin numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda, kohezyonlu zemin örneklerinin düşük plastileli 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 m. – 1.00 m. genişlikte olup, derinlikleri kara tarafına doğru azalmaktadır. Kara tarafındaki diğer temellerin, yer yer yüzeye yakalaşan ana kayaya oturtulduğu ve genişliklerinin 1.00 m. civarında olduğu anlaşılmıştır. [20]



Şekil 7.14 Sondaj vaziyet planı ve zemin profili

7.5.3. 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 kōşeye doğru daha fazla oturduğu gör÷lmektedir. Ayrıca, yalının deniz tarafında zemin katta açtırılan muayene kuyularındaki gözlemlere göre, yapı temellerinde her iki doğrultuda yer yer çatlama ve ayrılmalar gör÷lm÷ştür.

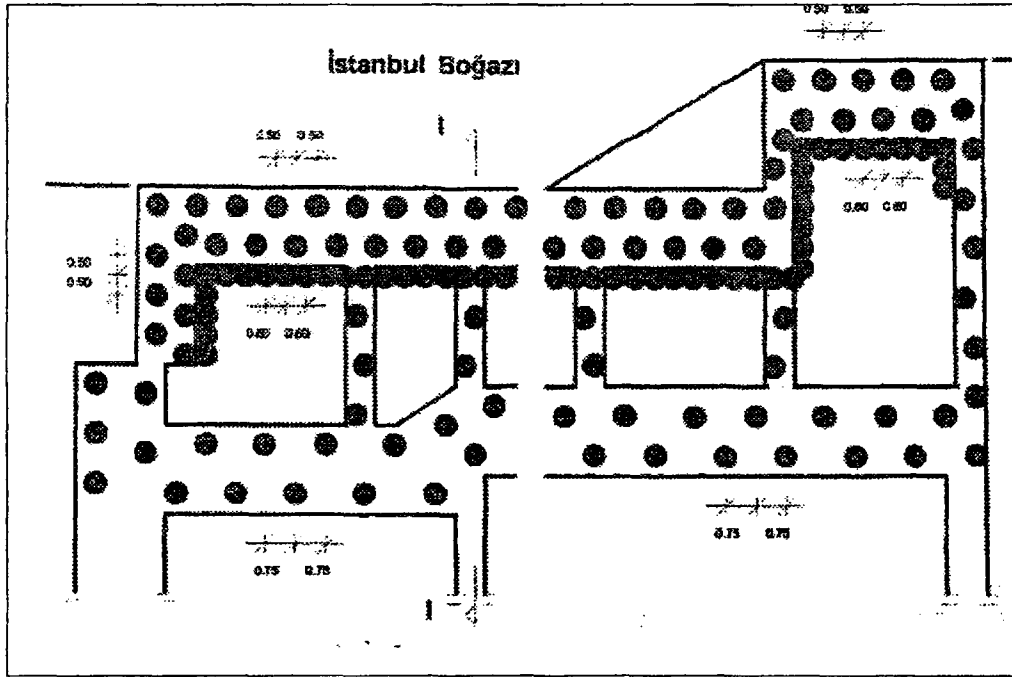
Denize doğru olan oturmaların miktarı, bazı bölümlerde 135 mm. değerine ulaşmakta ve en az 80 mm. değerindedir. Rıhtım bölümünde gör÷len toplam ve farklı oturmalarda, akıntı, uskur hareketi, yer sarsıntısı vb. gibi şekillerde ortaya çıkan etkilerin rolü olduğu anlaşılmaktadır.

7.5.4. Sonuç

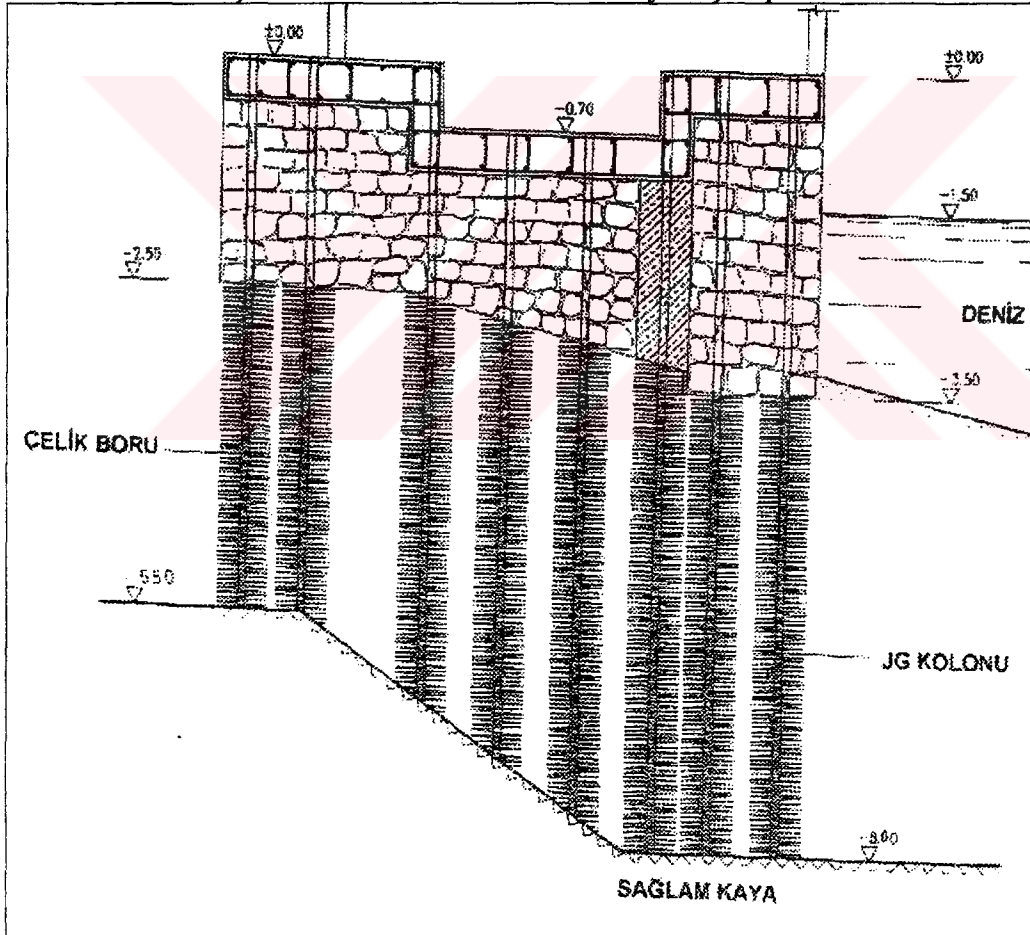
Oturmaların önlenmesi ve binada yeterli güvenliğin sağlanması için temel zemini, yapının deniz tarafında, temel alt kotundan itibaren ana kayaya kadar “ jet grouting” yöntemi ile taşlaştırılmıştır. İmal edilen jet grout kolonları ile, bina yükleri dolgu altındaki sağlam tabakaya aktarılmış ve ayrıca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

Şekil 7.15’ de verilen vaziyet planı ve Şekil 7.16’ da verilen kıyıya dik kesitte gör÷ldüğu 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 teçhizatlı, yaklaşık 0.80 m. çapında jet grout kolonları imal edilmiştir. Daha sonra teçhizat olarak kullanılan etli çelik borular (9 mm.) duvar üst seviyesinden çıkarılmış ve bir başlık kirişi ile birbirlerine bağlanmış, mütemadilik 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.[20]



Şekil 7.15 Jet Gout kolonlarının yerleşim planı



Şekil 7.16 Jet Gout kolonlarının kesiti

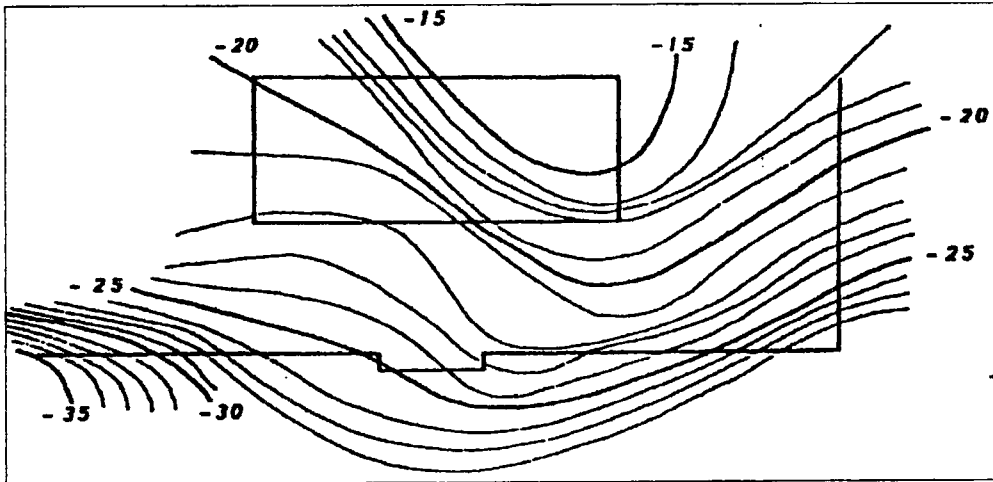
7.6. Küçüksu Kasrının Temel Takviyesi

7.6.1. Giriş

Küçüksu Kasrı, Boğaziçi'nin Anadolu yakasında, Küçüksu Çayırı'nın deniz tarafındadır. Boğazın dar bir yerinde bulunuşu, zengin süslemeleri ve doğaya uyumu ile dikkat çekmektedir. Kasır bir zemin ve üstünde iki kattan oluşmaktadır. 18. yüzyılın ortalarında aynı yerde klasik Osmanlı üslubunda ahşap bir kasır yapılmıştı. Nitekim, bu kasra ait temel kalıntılarına onarım sırasında şimdiki kasrın temellerinde rastlanmıştır. Şimdiki Küçüksu Kasrı 1856'da Abdülmecit (1839-1861) döneminde yapılmıştır. Daha sonra Abdülaziz (1861-1876) dış görünüşünü çok sade bularak cephelerdeki kabartma süslemeleri ekletmiştir [21]

7.6.2. Zemin profili ve temel sistemi

Küçüksu Kasrı, kalınlığı deniz tarafında 20-23 m., kara tarafında 13-15 m. yi bulan deniz oluşumu gevşek ve yumuşak tabakalar üzerinde 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 3. m. kalınlığında orta sıkı az kumlu ince kabuk; kuzey tarafta ise, 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 $13^{\circ} - 15^{\circ}$ eğimlidir (Şekil 7.17). Yer altı su seviyesi 0.70 – 0.80 m. derinliktedir. [21]



Şekil 7.17 Anakaya derinlikleri

7.6.3. Değerlendirme

Onarım sırasında ortaya çıkan çatlak ve deformasyonların incelenmesi amacıyla 1975-1976 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 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 Kasrındaki çatlak ve deformasyonlar ilk kez 1975 yılında fotogrametrik ölçülmüştür (Toğrol, Yorulmaz, 1976), Kasrın düşeyden sapması ve özellikle iç mekanlardaki çatlaklar 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 ayrılımları 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, dışında 2, binanın deniz tarafında 2 adet ve binadan yaklaşık 390 m. ve 320 m. uzaklıkta, 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 triyângülasyon noktası olarak inşa edilmiş 6 noktalı bir kontrol ağı kurulmuştur. Ağda 4 sabit noktadan ikisi Küçüksu Seveda Tepesinde, biri Boğaziçi Üniversitesi Atatürk Korusunda, diğeri Anadolu

Hisarındadır. 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 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 gözlenmiş, 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.

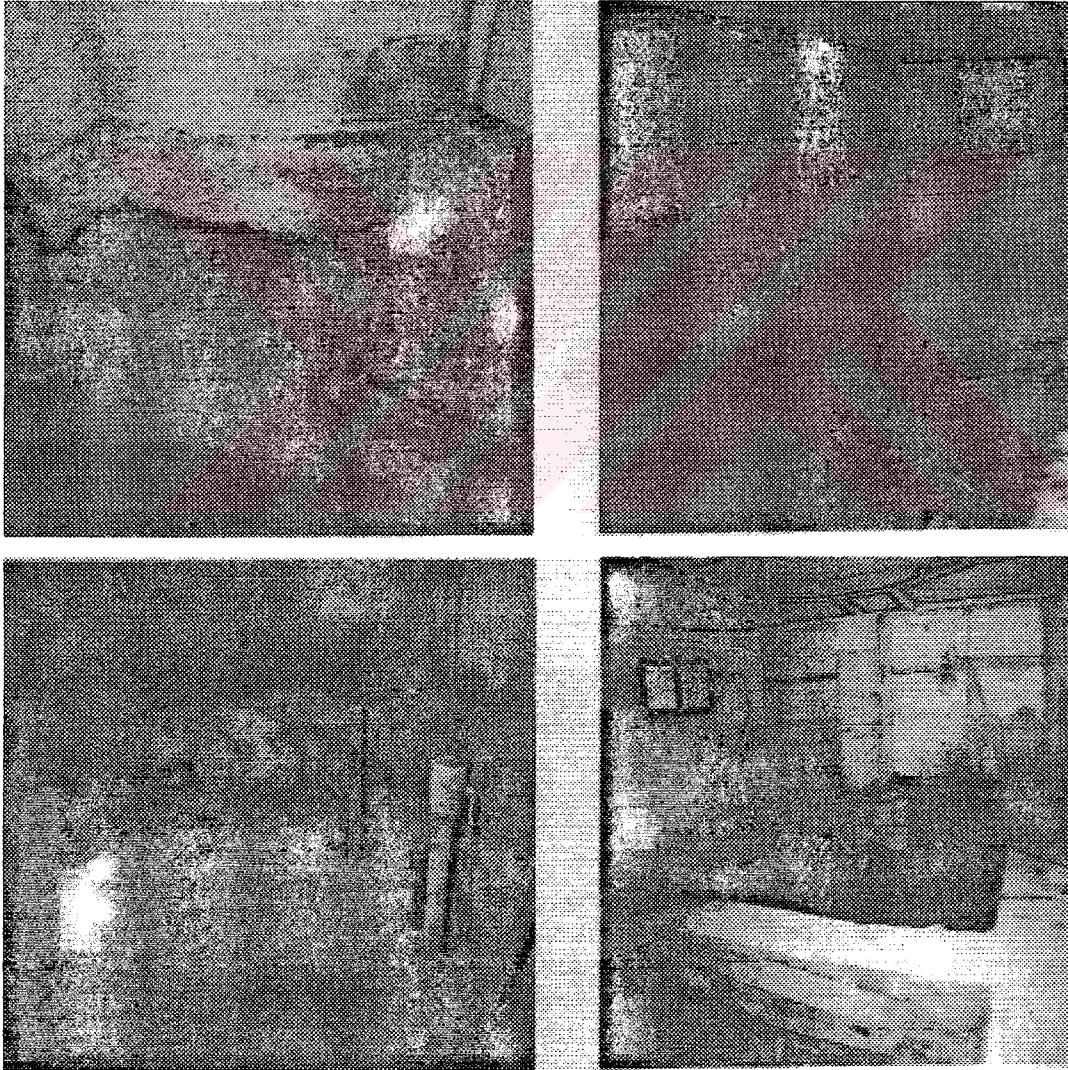
Binanın bir yandan denize doğru yatarken bir yandan da oturduğu anlaşılmaktadır. Bu hususta önceki yıllara ait ölçme ve rasatlar bulunmamaktadır. Kasrın çeşitli öğelerinin bugünkü durumlarına bakılarak bu güne kadar 0.50 - 0.60 m. mertebesinde bir toplam oturma meydana gelmiş olduğu tahmin olunabilir. 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. [21]

7.6.4. Sonuç

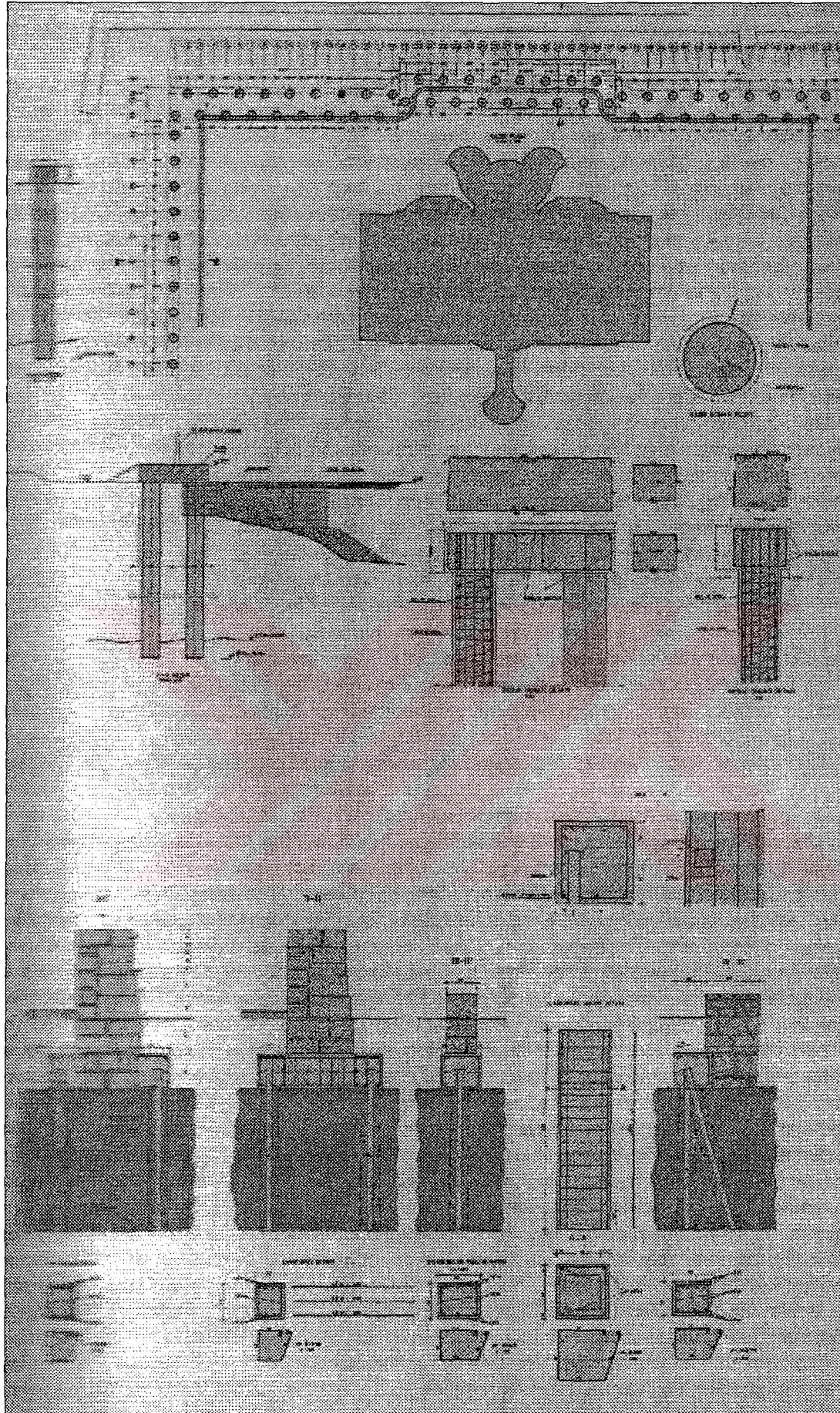
Oturma ve deformasyonların hızlanması ve üst yapıda çatlak, ayrılma ve bahçede gözle görünür hareketlerin meydana gelmesi, temel takviyesini güncel hale getirmiştir. Takviye, yapı yüklerinin "jet-grout" kolonları ile kaya tabakasında aktarılması ilkesine göre yapılmıştır. Kolonların boyları, Kuzey cephesinde 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 "jet-grout" kolonları teşkil edildikten sonra bina temelleri yer yer açılarak her iki yana 0.60 x 0.60 m. kesidinde 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 kirişleri içine giren "jet-grout" kolonları, yanak kirişlerinin omuzladığı duvar yüklerini kaya tabakasına aktarmaktadır.(Şekil 7.19) (Şekil 7.20)

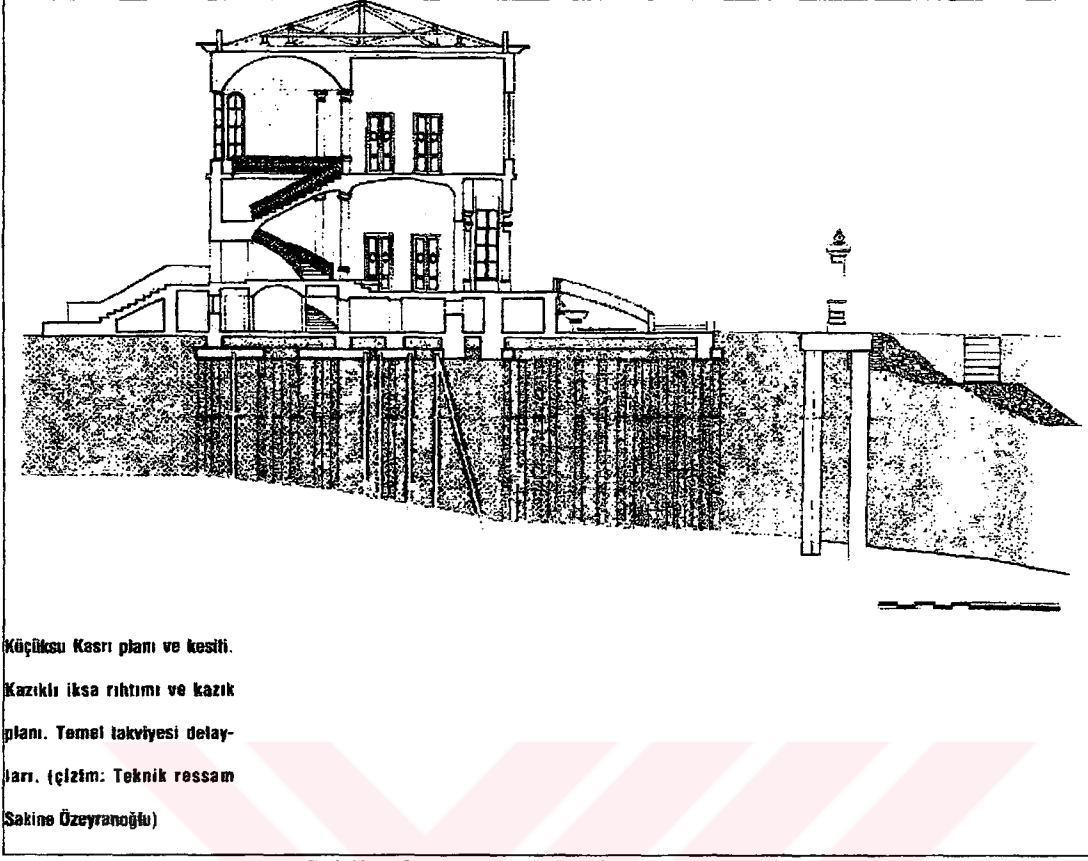
Temel takviyesi sırasında, yapıda ilave gerilme ve deformasyonlar ortaya çıkmaması için azami itina gösterilmiş, kazı ve imalat anolar halinde ve dengeli bir biçimde gerçekleştirilmiştir. İnşaat sırasında ve daha sonra alınan ölçüm sonuçları bunu doğrulamaktadır. [21]



Şekil 7.18 Küçükse Kasrında uygulanan temel takviyesi



Şekil 7.19 Jet Grout kolonu detayları



Şekil 7.20 Jet Grout kolonlarının kesiti

8. EDİRNEKAPİ MİHRİMAH SULTAN CAMİİ'NDEKİ HASARIN SEBEPLERİNİN ANALİZİ

8.1. Tarihçe

Mihrimah Sultan Camii, Edirnekapi' da Fatih' in ordularının şehre girdiği gediklerin karşısındadır. Cami, bulunduğu semtin adıyla “Edirnekapi Camii” olarak da anılmaktadır. İstanbul' un sur içinde kalan bölümünün en yüksek noktasında yer alan cami, H.973/ M. 1565 yılında Kanuni Sultan Süleyman' ın (Haseki Hürrem' den doğan) kızı, aynı zamanda Sadrazam Rüstem Paşa' nın eşi olan Mihrimah Sultan tarafından yaptırılmıştır. Osmanlı mimarisinin güzide şaheserlerinden olan cami, Mimar Sinan' ın eseridir. Mihrimah Sultan' ın adını taşıdığı, hatırasına yaptırılan diğer bir cami de Üsküdar İskeleyi yakınındadır.

Vakfiyesine göre cami inşaatı üç yıl gibi kısa bir sürede tamamlanmıştır. Sinan' ın eseri olan bu külliye, 17 hücreli medrese, sıbyan mektebi, çifte hamam, Mihrimah Sultan' ın kızı Ayşe Sultan ve damadı Vezir-i Azam Güzel Ahmed Paşa' nın medfun bulundukları türbe, çeşme ve bir sıra dükkandan meydana gelmiştir. Sözü edilen dükkanların bir kısmı yol genişletilmesi sırasında yıkılmıştır.

Cami H.1132 / M.1719 yılındaki depremden büyük hasara uğrayıp kubbeleri çökmüştür. Yapılan tamirden uzun yıllar sonra yine H.1312 / M.1894 yılındaki depremde minaresinin devrilmesi ile son cemaat yerinin kubbelerinin çökmesi ile bir süre öylece kaldıktan sonra, 20. Yüzyılın başlarında Evkaf Nezareti eliyle onarılmaya başlanmıştır. Daha sonra aynı yüzyılın ortalarında külliyenin geniş çapta tamiri ele alınmıştır.

8.2. Taşıyıcı Sistem Özellikleri

Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii Mimar Sinan' ın kare plana oturan tek kubbeli yapılarındandır. Kubbeli yapılarda en büyük sorun kubbenin mesnetlendiği noktalarda oluşacak yanal itki kuvvetlerinin karşılanabilmesidir. Bu yapıda kubbe , kemer-ayak sistemi ile taşınan pendentiflerle desteklenmiş, mesnet noktalarında oluşacak yanal itki kuvvetlerinin de dört köşeye konulmuş ağırlık kuleleri ile karşılanması ile düşünülmüştür. Ayrıca güney cephesinde, ağırlık kuleleri payandalarla desteklenmiştir. Kare planı ibadet mekanı üçer kubbeli yan sahınlarla genişletilerek 39.50 x 28.00 m.' lik bir dikdörtgen plan elde edilmiştir. Yan sahını örten kubbelerin çapı 6.00 m.' dir. Ana kemerlerin altında bulunan duvarlarda çok sayıda pencere boşluğu açılarak, iç mekana bol miktarda ışık alınması sağlanmıştır.

Yapı doğu – batı doğrultusunda simetriktir(Şekil 8.1). Ancak kuzey – güney doğrultusunda kuzey cephesi duvarının daha büyük boyutta olması ve güney cephesinde galeri bulunmaması, kuzey cephesinin daha rijit olmasına sebep olmuştur. Güney cephesindeki ileri düzeydeki hasarın nedenlerinden biri de bu olabilir.[22]

8.3. Yapısal Analiz

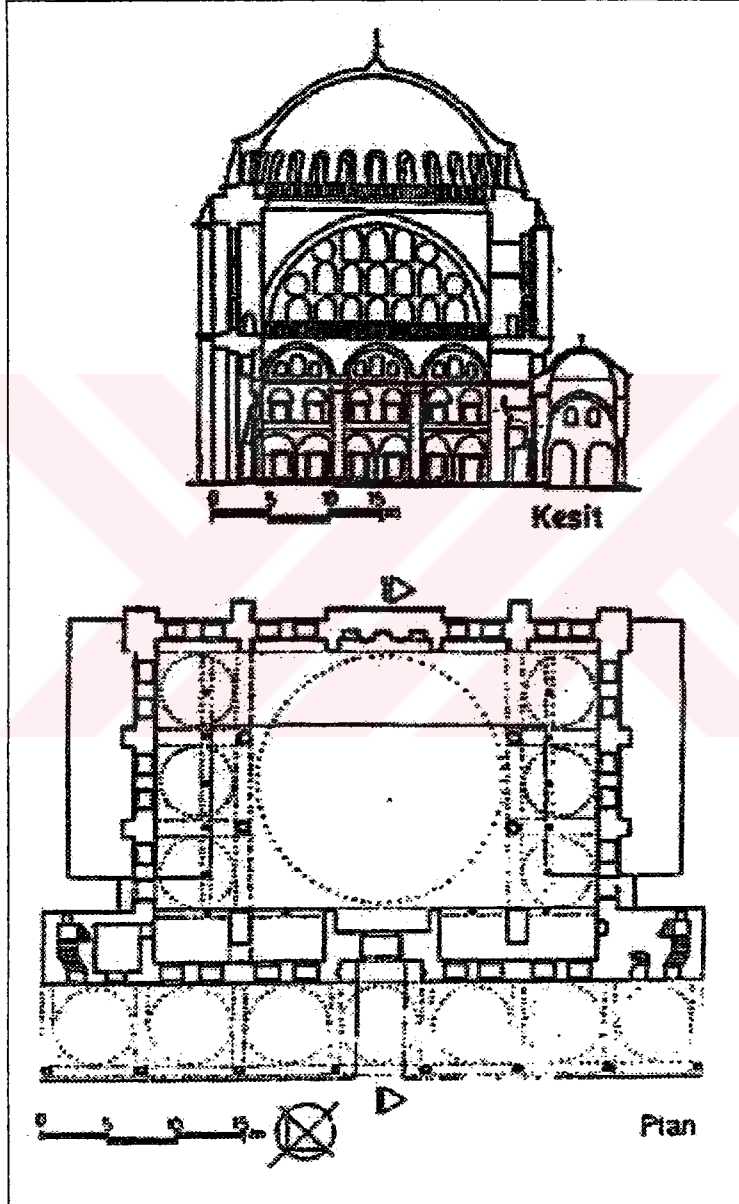
8.3.1. Yapıda tespit edilen hasarlar

Yapıda yerinde yapılan incelemelerde aşağıdaki hasarlar tespit edilmiştir:

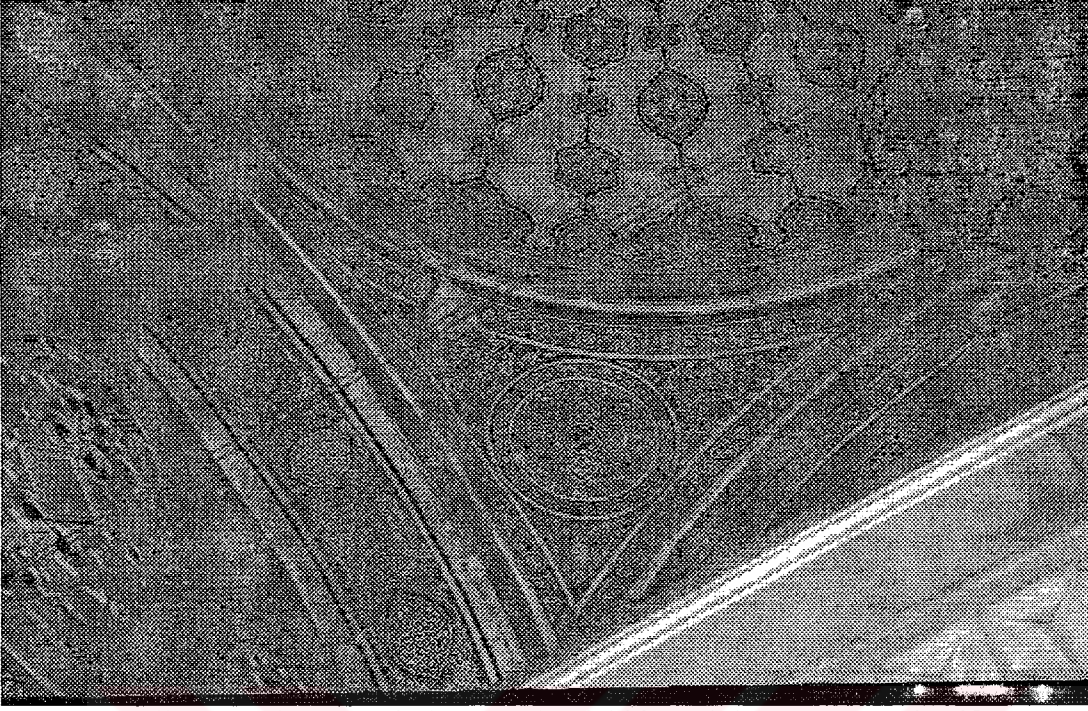
1. Yapının güney cephesinde, galeri katındaki kemerlerden ikisinin kilit taşı bölgesinde hasar bulunmaktadır. Bunlardan biri yan sahında bulunmaktadır (Şekil8.2). Kemerin tam ortasında ve yan pendentifte çatlak bulunmaktadır. Diğerinin ise kilit taşı yerinden oynamıştır ve kemerin hemen üstündeki taşların arası açılmış ve geniş bir çatlak oluşmuştur (Şekil 8.3).
2. Yine güney cephesinde ana kemerde hasar bulunmaktadır. 17 Ağustos 1999 Marmara Depremi' nde bu kemerin, dıştan bakıldığında, kuzey–doğu doğrultusunda üç adet taş düşmüştür (Şekil 8.4.a,b).

3. Güneydoğuda bulunan pandantifte, güney cephesindeki ana kemerden düşen taşların hizasında geniş çatlak bulunmaktadır.

4. Güney cephesinde ana kemerin altındaki çok sayıda penceresi bulunan tempan duvar ağır hasarlıdır. Birçok yerinde taşlar oynamıştır.



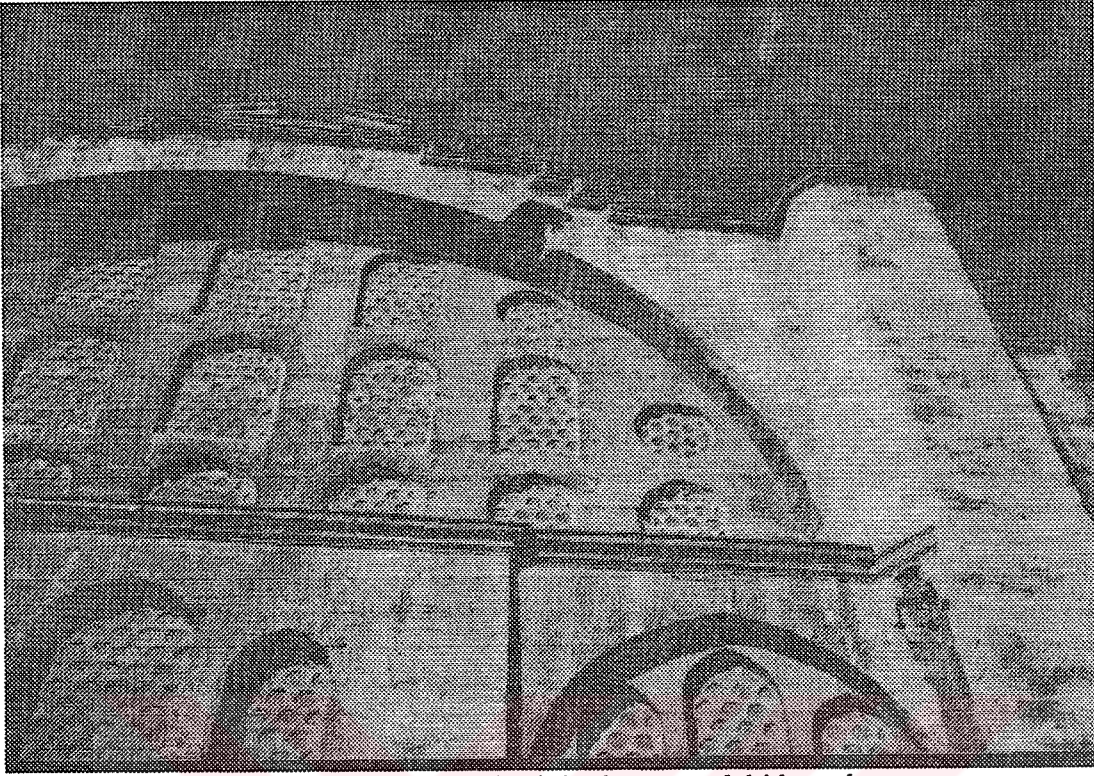
Şekil 8.1 Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii kesiti ve planı



Şekil 8.2 Kible cephesinde yan sağındaki hasarlı kemer ve pandantif



Şekil 8.3 Kible cephesinde galeri seviyesindeki hasarlı kemer



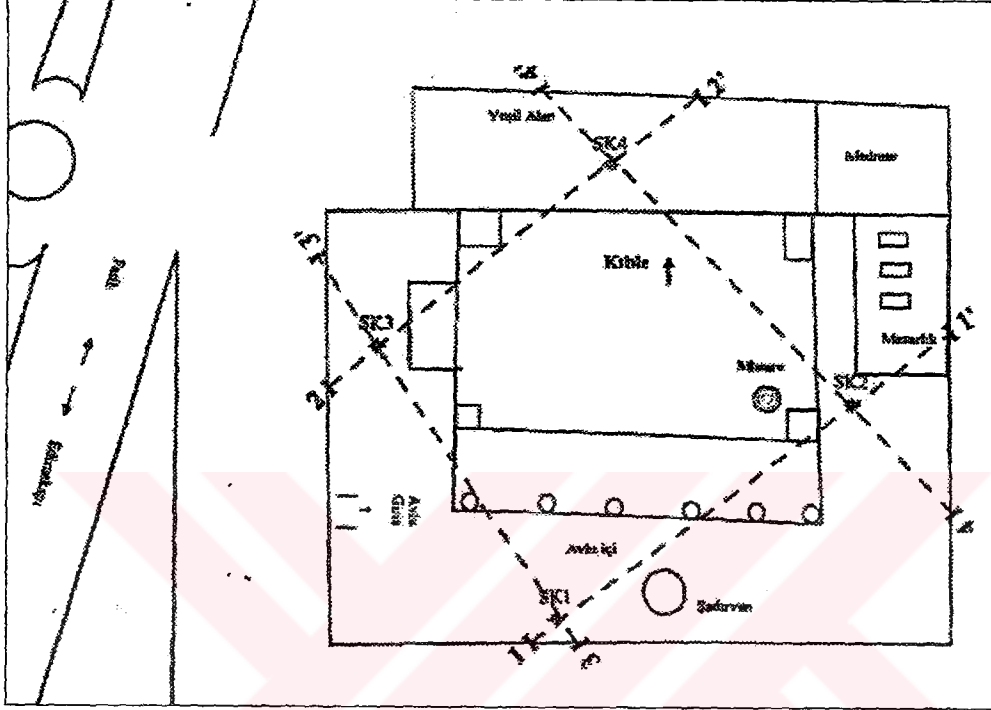
Şekil 8.4.a Kible cephesinin dış yüzündeki hasarlar



Şekil 8.4.b Kible cephesindeki kemer taşının düştüğü yer

8.4. Zemin Profili ve Temel Sistemi

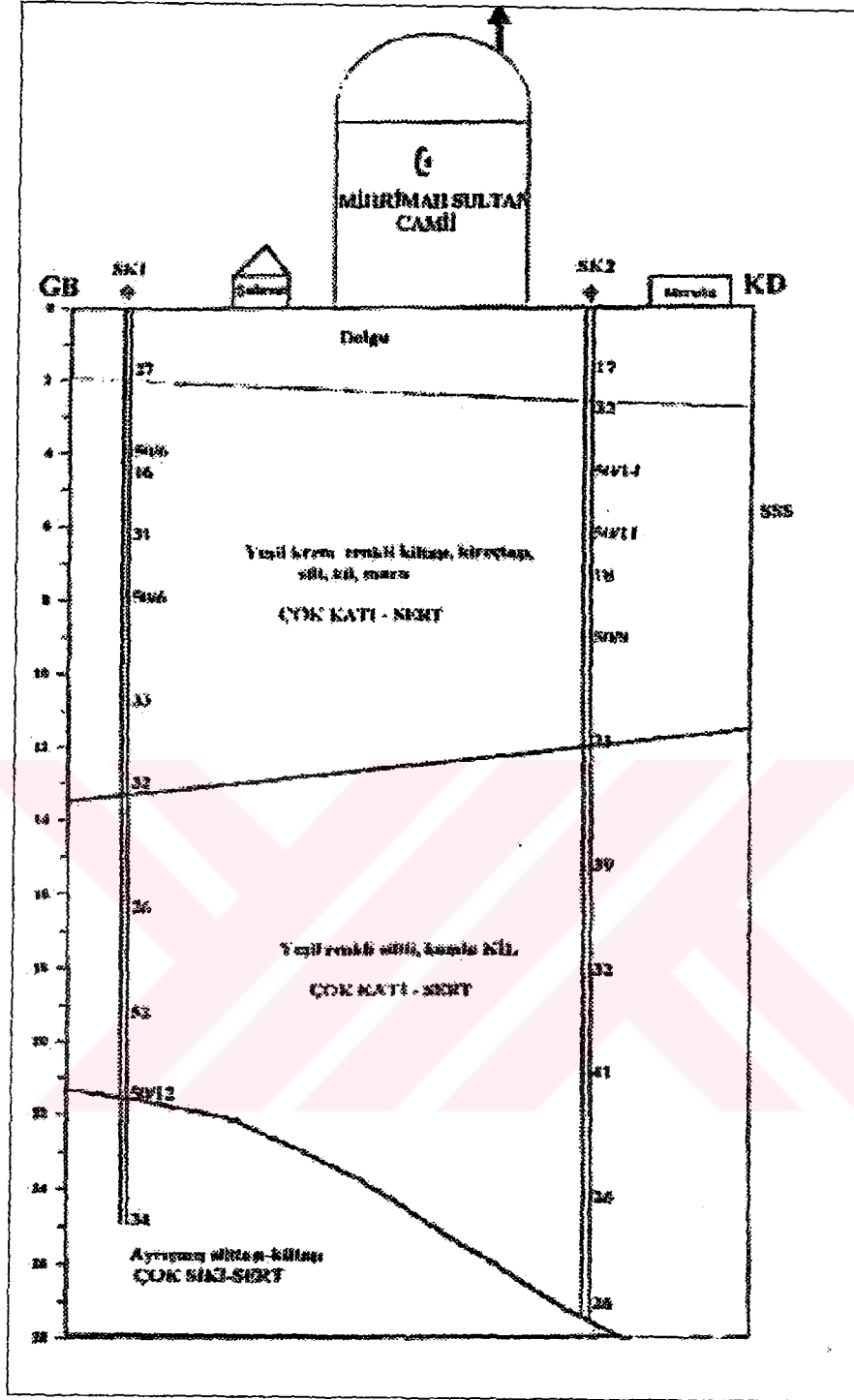
Mihrimah Sultan Camii' nin zemin profilinin elde edilmesi amacı ile camii civarında dört noktada derinlikleri 24 – 27.50 m. arasında değişen Şekil 8.5 vaziyet planında gözüken konumlarda sondajlar yapılmıştır.



Şekil 8.5 Vaziyet planı

Bu sondajlar neticesinde zemin üstte 1.5 – 2.5 m. arasında değişen derinliklere kadar kireçtaşı, silt ara bantlı katı sert kıvamda marn ve bu tabakanın altında da sert kıvamda , yeşil renkli münavebeli olarak silt ve kum bantları içeren kildir (Şekil 8.6). Yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda zeminin tabii su muhtevası $W_n = \% 55$, likit limiti $W_L = \% 111$ ve plastik limiti $W_p = \% 52$ olarak bulunmuştur. Yapılan Standart Penterasyon deneyi sonucunda ortalama $N_{30} = 25$ olarak bulunmuştur.[15] Bu sonuçlar doğrultusunda camiinin bulunduğu zeminin çok katı kıvamda, aşırı konsolide yüksek plastiliteli kil (CH) olduğu sonucuna varılabilir.

Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilimdalı'nca hazırlanan geoteknik raporun değerlendirmesi mahiyetindeki raporda (Özaydın,Yıldırım, 2000) zeminden alınan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre yapının üzerinde bulunduğu zeminin Z3 grubuna girdiği ve karakteristik periyotlarının $T_A = 0.15$ s, $T_B = 0.60$ s olarak alınması gerektiği söylenmektedir.



Şekil 8.6 Zemin profili

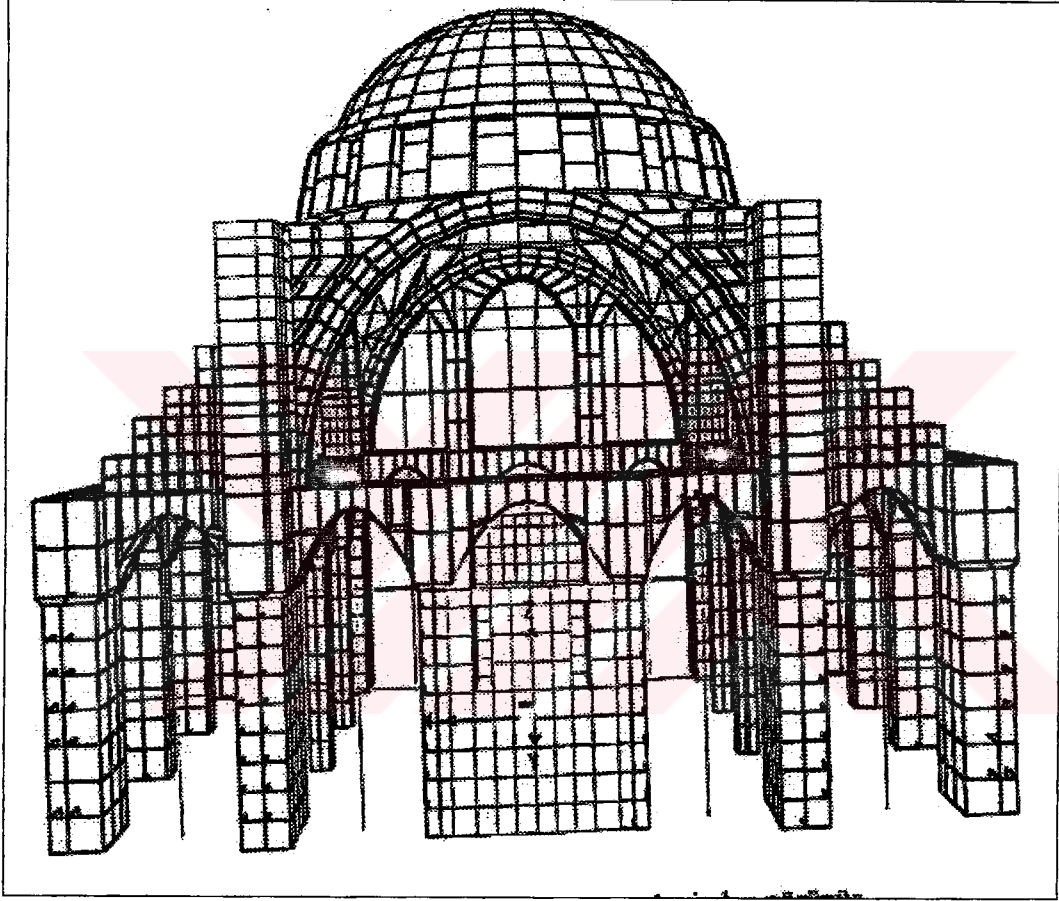
Mihrimah Sultan Camii' nin güney ve batı cephesinde İstanbul Vakıflar Bölge Müdürlüğü' nce açtırılan muayene kuyularından caminin temel sistemi ortaya çıkmıştır. Caminin kible ve batı cephesinde 6.5 m. derinliğinde kazılan kuyulardan beden duvarı boyunca 1.35 m. genişliğinde ve 6.70 m. uzunluğunda galeriler açılarak temelin altına girilmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde caminin temel sisteminin, anpatmanlı olarak genişleyen bir mütemadi temel şeklinde olduğu görülmüştür. Caminin temel genişliği 5.60 m. ve derinliği bahçe zemininden 4.85 m. derindedir.

[illegible]

159

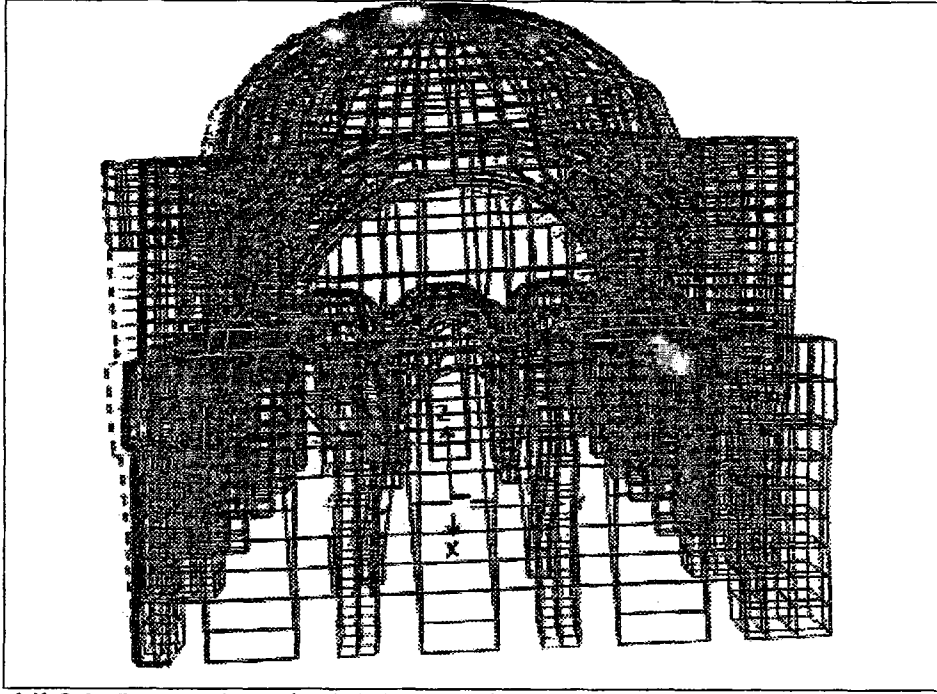
8.5. Dinamik Analiz

Mihrimah Sultan Camii' nin dinamik analizi 1999 Marmara depreminde Fatih Türbesi' nde bulunan kayıt cihazı ile alınan ivme kayıtları kullanılarak yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ile modellenen caminin modeli üzerinde serbest titreşim ve yer hareketi etkisinde zorlanmış titreşim analizleri yapılmıştır (Şekil 8.8).

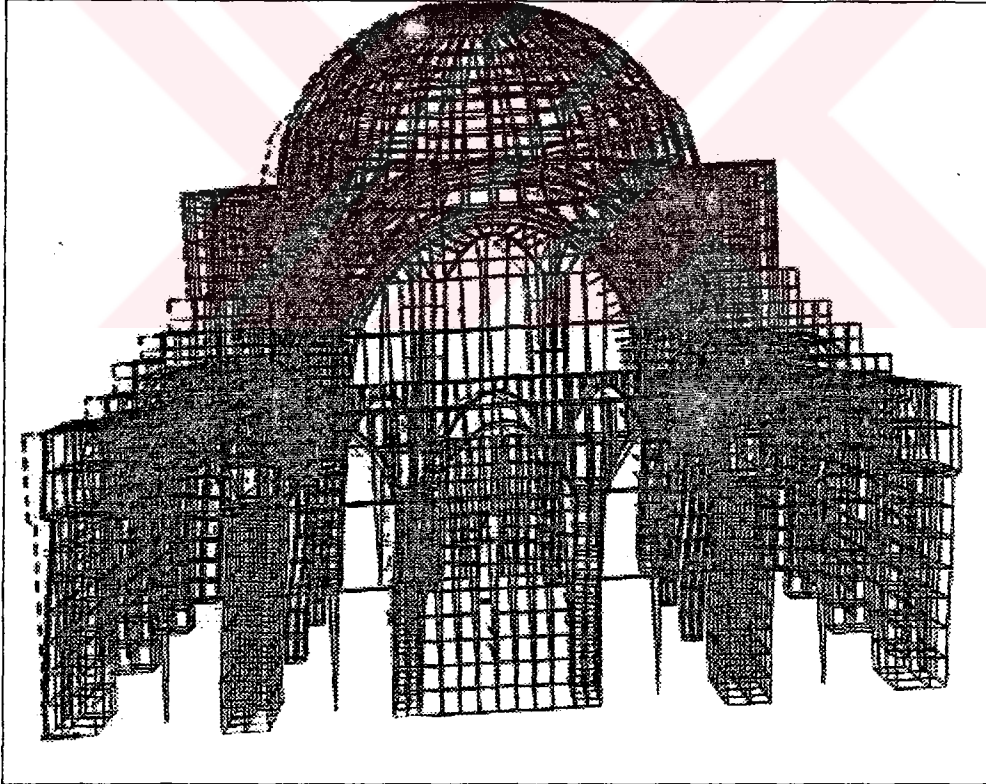


Şekil 8.8 Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii modeli (Timurhan,2000)

Bu analiz neticesinde yapının mod 1' deki periyodu 0.44 sn. ve mod 2' deki periyodu 0.40 sn. olarak bulunmuştur (Şekil 8.9),(Şekil 8.10). Fatih türbesinde alınan kayıtlara göre zemin hakim periyodu kuzey – güney doğrultusunda 0.55 s ve doğu – batı doğrultusunda 0.54 sn.' dir. Camii' nin zorlanmış titreşim modlarındaki periyodu mod 1' de 0.48 sn. ve Mod 2' de 0.43 sn' dir. Yapılan dinamik analiz neticesinde Mihrimah Sultan Camii' nin kuzey – güney doğrultusunda maksimum 7.647 cm. yatay deplasman yaptığı tespit edilmiştir .[22]



Şekil 8.9 Yapının 1.mod şekli doğu cephesinden görünüşü (Timurhan,2000)



Şekil 8.10 Yapının 2.mod şekli güney cephesinden görünüşü (Timurhan,2000)

8.6. Sonuç

Mihrimah Sultan Camii' nde yapılan zemin ve temel araştırmaları neticesinde zeminde oturma ile ilgili bir problem olmadığı ve hasarların temel – zemin sisteminden kaynaklanmadığı anlaşılmıştır.

Mihrimah Sultan Camii için yapılmış olan strüktür analizinde sistem stabilitesinin güney cephesindeki askı kemerinde zayıf olduğu tespit edilmiştir.[8] Ayrıca, caminin doğu – batı doğrultusunda simetrik olmasına karşılık güney – kuzey doğrultusunda simetrik olmadığı, doğu ve batı cephesinin küçük kubbelerle çevrili olduğu, kuzey cephesinde galeri ve dışarıda revaklar olduğu; buna mukabil güney cephesinin yalnızca ağırlık kulelerini tutan payandalarla desteklendiği görölmektedir. Bütün bu sebeplerden dolayı yapının ağırlık ve rijitik merkezinin farklı olması, yapının yatay yükler etkisinde burulmasına ve bunun sonucu rijitliğin en az olduğu bölgede hasarın yoğunlaşmasına neden olmaktadır. Camii' deki hasarın özellikle kible cephesinde yoğunlaşmış olması bu şekilde açıklanabilir.

Ayrıca, tipik yer hareketlerinin hakim periyotlarının $T = 0,1 \text{ s} - 1 \text{ s}$ arasında değiştiği bilinmektedir. Periyodu bu aralıktaki olan yapılarda rezonans riski söz konusudur. Mihrimah Sultan Camii' nde yapılan dinamik analiz neticesinde bulunan, yapının periyot değerlerinin zemin hakim periyoduna yakın olması, Camii' nin tarihi depremlerde görmüş olduğu hasarların nedeni olarak gösterilebilir. Sonuç olarak Mihrimah Sultan Camii' nde temel ve zemin sistemini güçlendirmeye yönelik bir temel takviyesi uygulamasına ihtiyaç yoktur. Camide depreme karşın üst yapıyı korumaya yönelik tedbirler alınmalıdır. Ayrıca, söz konusu yapının temelinde deprem etkisini sönümleyecek bir sismik yalıtım uygulaması düşünölebilir.

9. SONUÇLAR

Bu bölümde tarihi yapıların temel sistemleri ve temel takviyesi yöntemleri konulu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar değerlendirilerek irdelenmiştir. İstanbul'un jeolojik yapısından bahsedildikten sonra bu tez dahilinde incelenmiş olan İstanbul'daki tarihi yapıların temel sistemleri mukayese edilmiştir. Tarihi yapılarda uygulanacak temel takviyesi yöntemine karar verirken dikkat edilmesi gereken hususlar belirtildikten sonra, bu çalışma dahilinde verilen temel takviyesi uygulamalarına ait örneklerin sonuçları özetlenmiştir. Son olarak Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii 'nde yapılan araştırmalar neticesinde elde edilen sonuçlar anlatılmıştır. Özetle, bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar şunlardır:

1- İstanbul'un suriçi kısmının zemini aşırı konsolide yeşil kil, sıkı kum çakıl tabakaları ile çatlaklı grovak ve killiştikten oluşmakta ve bu tabakalar kalınlığı değişen suni dolgu altında bulunmaktadır. Haliç'te çok derinlerdeki grovak ve killiştikler üzerinde kalın tabii ve suni dolgular mevcuttur. Haliç kıyıları, İstanbul'un güç ve pahalı temel yapımını gerektiren, mevcut binalarda oturmaların yana yatmaların meydana geldiği geoteknik açıdan özellik taşıyan bir kesimini oluşturmaktadır. Boğaziçi'nde ise vadilerin denize ulaştığı kesimlerde kalın alüvyal dolgular olup, bu zeminlerde inşa edilmiş yapılarda oturma ile ilgili hasarlara rastlanmaktadır.

2- İstanbul'da bulunan ve grovak - killiştide oturan Süleymaniye Camii ve Sant Antonio Kilisesi gibi yapılarda görülen temel tipi, taşıyıcı duvarların altında kesitin kademeli olarak genişlemesi neticesinde yükün zemine aktarıldığı bir temel tipidir. Mevcut belgelerden ve fotoğraflardan, grovak killiştide oturan Medreset'ül Kuzat ve Dar'ül Aceze gibi tarihi yapıların temel sisteminin ise iki doğrultuda mütemadi temel şeklinde olduğu anlaşılmaktadır.

3- Nur-u Osmaniye Camii gibi ana kayanın 22 m. derinde olduğu durumlarda, 18 m. derinlikte bir kazı yapıldıktan sonra yer altı su seviyesinin altında 2.63m.

uzunluğunda ahşap kazıklar çakılmış ve bu kazıkların üzerine Moloz + Horosan + Kireçten oluşan, bugünkü tabiriyle radye temel diyebileceğimiz, bir rıhtım yapılmıştır. Bu temel sistemi Derin + Kazıklı + Radye tipindedir.

4- İstanbul’ da Haliç ve Boğaz kıyılarında suni dolgu veya alüvyal zeminler üzerine yapılmış kargir yapılarda oturmayı önlemek ve zemini sıkıştırmak için çakılmış kısa ahşap kazıklara ve onların üzerinde ahşap ızgaraya rastlanmaktadır. Ortaköy Camii’nde suni dolgu zemine oturan temellerin altına 35 cm. çaplı ahşap kazıklar çakılmıştır ve kazıkların üzerinde de ahşap ızgara vardır. Alüvyal dolgu zemine oturan Küçüksu Kasrı’ nın ortalama 1.5 m. kalınlıktaki duvarları, uzunluğu 5m.’ yi bulan ve yaklaşık 0.25 m. x 0.25 m. kesitindeki ahşap kirişlerin oluşturduğu ızgara üzerine oturmakta, bu ahşap ızgaranın altında, uçları demir çarıklı, yaklaşık 0.45 m. x 0.45 m. kesitinde kısa ahşap kazıklar bulunmaktadır. Haliç sahilinde suni dolgu tabakasına oturan Sveti Stefan Bulgar Kilisesi’nin temel sistemi ise 12 m. boyunda ve 40-50 cm. çapındaki ahşap kazıklardan müteşekkildir.

5- Tarihi yapılar bugün, inşa edildikleri devirlerde söz konusu olmayan günümüz şartlarından etkilenmektedir. Örneğin, yer altı su seviyesinin düşmesi sonucu ahşap kazıklar çürümekte ve yapının temel sistemi eski fonksiyonunu yerine getiremediğinden temel takviyesi gerekli hale gelmektedir. Herhangi bir tarihi yapıda, bir temel takviyesi çalışması yapmadan evvel yapılması gereken iş, yapıda mevcut olan hasarların sebebinin tespit edilmesidir. Yapıdaki çatlakların tespit edilmesinden sonra yapının bulunduğu zeminin profili belirlenmeli, yerinde ve laboratuarda yapılacak deneylerle zeminin fiziksel ve mühendislik özellikleri tespit edilmelidir. En uygun ve faydalı bir temel takviyesi yöntemi ancak, zemin şartlarının ve yapıdaki hasar mekanizmasının anlaşılmasından sonra tercih edilebilir. Yapılması uygun bulunan bir temel takviyesi yöntemi dahilinde uygulanacak temel takviyesi programı tatbikat sırasında, gerek yapıda gerekse zemindeki değişiklikleri takip edecek bir ölçüm ve gözlem sistemine ve uygulamadan sonra tatbikatın başarısının tayin edilebileceği arazi deneylerine haiz olmalıdır.

6- Bu tez çalışması kapsamında tarihi yapılarda uygulanabilecek temel takviyesi yöntemleri; geleneksel yöntem olan temellerin genişletilmesi, enjeksiyonla zeminin stabilizasyonu ve mini kazık, itme (burgulu) kazık ve jet grout kolonları vasıtasıyla yapı yüklerinin derindeki taşıyıcı tabakalara aktarılması şeklinde üç ana başlık

altında incelenmiştir. Bu yöntemlerin uygulamalarına ait örnekler aşağıda özetlenmiştir:

- Vakıf Gureba Hastanesi'nde yapılan incelemeler neticesinde yapı yüklerinin dolgu zemine, taşıyıcı duvarların kesitinde herhangi bir genişleme olmadan doğrudan aktarıldığı görülmüştür. Çözüm olarak, mevcut temelin iki yanına betonarme kirişler yapılarak temel genişletilmiş ve böylece zemine aktarılan basıncın düşmesi sağlanmıştır.
- Dolgu bir zemin tabakasına oturan Fatih Camii Kütüphanesinde yapılan araştırmalar neticesinde, Fatih Camii'nden gelen çatı sularının drenaj yetersizliğinden dolayı kütüphane binasının zemininde yıkanmaya ve zemin içinde boşluklar oluşmasına sebep olduğu anlaşılmıştır. Bu yapıda uygulanan temel takviyesi, taşıyıcı duvarların altının ve bina çevresinin çimento enjeksiyonu ile stabilizasyonu şeklinde olmuştur.
- Eski bir höyük üzerine inşa edilmiş Konya Alaaddin Camii'nde yapılan incelemeler neticesinde yapının çok kalın bir dolgu tabakası üzerinde bulunduğu ve yapıdaki hasarların farklı oturmalarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Yapıda uygulanan temel takviyesi, bölgesel çimento enjeksiyonu ile zeminin stabilizasyonu ve taşıyıcı elemanların hem enjeksiyonla hem de mini kazıkla desteklenmesi şeklinde olmuştur.
- Ortaköy Camii, Ortaköy Deresinin denizle buluştuğu yerde bulunduğu için yapı ile ana kaya arasında çok kalın bir alüvyal dolgu mevcuttur. Yapıda yapılan incelemeler neticesinde yapıdaki hasarın, yapının temelindeki kısa ahşap kazıkların çürümesinden kaynaklandığı tespit edilmiştir. Temel takviyesi yöntemi olarak, cami içine ve dışına yapılan fore kazıklar ile yükün ana kayaya aktarılması tercih edilmiştir.
- Boğaziçi'nde bulunan Fethi Ahmet Paşa Yalısı ve Küçüksu Kasrı deniz kenarında, dolgu zemin tabakasının üzerine inşa edilmişlerdir. Yalısının temel sistemi iki doğrultuda mütemadi taş temel şeklinde iken kasırda kısa ahşap kazıklar üzerinde bir ahşap ızgaradan oluşan bir temel sistemine rastlanmıştır. Her iki yapıda görülen denize doğru hareketi ve yapıdaki hasarları durdurmak için bir temel takviyesinin gerekli olduğu sonucuna varılmıştır. Temel takviyesi yöntemi olarak, hem zemin stabilizasyonu hem yapının denize karşı korunması hem de yapı

yüklerinin derindeki taşıyıcı tabakaya aktarılması amacıyla jet grout kolonları kullanılmıştır. Yukarıda izah edilen temel takviyesi uygulamalarının akabinde yapılarda yapılan gözlemler neticesinde yapılardaki hasar ilerlemesinin durduğu görülmüştür.

7- Bu tez çalışması sırasında, aşırı konsolide yeşil kile oturan Edirnekapı Mihrimah Sultan Camii'nin yanında açılmış olan muayene kuyularından, yapının temel sisteminin yukarıdan aşağıya doğru anpatmanlı bir şekilde genişleyen bir mütemadi temel şeklinde olduğu görülmüştür. Camiinin temellerinin altına galerilerle girilmiş ancak herhangi bir kazık sistemine rastlanmamıştır.

Netice olarak ülkemizdeki tarihi yapıların temel sistemlerinin belirlenmesi, yapı temelleri hakkındaki dokümanların elde edilmesi, saklanması, derlenmesi, bölgesel temel haritalarının hazırlanması; günümüz mühendislik yapılarının ekonomik şekilde planlanmasında ve tarihi yapıların korunmasında yararlı olacaktır. Temel sistemleri belirlenen tarihi yapıların uzun süreli davranışlarının, inşaat tarihçelerinin ve hasar kayıtlarının incelenmesi, benzer özelliklerdeki zeminlerde inşa edilecek yapılar için bugünkü uygulamalara ışık tutabilir. Geleceğe sağlam adımlarla basan toplumlar geçmişlerini tanıyan ve ona sahip çıkan toplumlardır.

KAYNAKLAR

- [1] **Akman, M.S.**, 2000. Yapı Hasarları ve Onarım İlkeleri, TMMOB İnşaat Müh.Odası İstanbul Şubesi Yayını, İstanbul
- [2] **Aksoy, İ.H.**, 1982. İstanbul'daki Tarihi Yapılarda Uygulanan Temel Sistemleri, Doktora Tezi, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi, İstanbul
- [3] **Aksoy, İ.H.**, 1979. Nur-u Osmaniye Camii Temellerinin İncelenmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi Bülteni, 4, 200
- [4] **Aksoy, İ.H.**, 1981. Ortaköy Camii Temel Takviyesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi Bülteni, c 3, sayı 1,s 47-57
- [5] **Aksoy, İ.H. ve Tan, O.**, 1995. 70 Years of Soil Mechanichs, Turkish National Comitte for ISSMFE, İstanbul
- [6] **Çamlıbel, A.N.**, 2000. Temellerin Takviyesi, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [7] **Çamlıbel, A.N.**, 2000. Yapıların Taşıma Gücünün İyileştirilmesi, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [8] **Çamlıbel, A.N.**, 1998. Sinan Mimarlığında Yapı Strüktürünün İncelenmesi,Y.T.Ü. Yayınları, İstanbul.
- [9] **Durgunoğlu , T.,vd.**, 1991. Vakıflar Genel Müdürlüğü Konya Alaaddin Camii Zemin İyileştirmesi Uygulama Raporu, Konya
- [10] **Kafescioğlu, Ç. ve Şenocak, L.**, 1999. Aptullah Kuran İçin Yazılar, Yapı Kredi Yayınları, İstanbul
- [11] **Kane, F. and Theney, M.J.**, 1995. Foundation Upgrading and Repair for Infrastucture Improvement, Geotechnical Special Publication, New York.
- [12] **Koçu, R.E.**, 1974. Darü-l Aceze, Darü-l Aceze Yardım Derneği Yayını, İstanbul
- [13] **Kögler, F. ,Scheidig, A.**, 1960. Temel Zemini ve Yapı, İ.T.Ü Matbaası, İstanbul
- [14] **Kuruyazıcı, H.,Tapan, M.**, 1998. Sveti Stefan Bulgar Kilisesi, Y.K.Y.,İstanbul

- [15] **Özaydın, K., Yıldırım, S., 2000.** Mihrimah Sultan Camii Geoteknik Değerlendirme Raporu, İstanbul
- [16] **Özocak, A., 1994.** İnce Daneli Çimento ile Enjeksiyon Modelleri, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] **Şentürk, Ş., vd., 1996.** “Yaşayan Çizgiler” Sant Antonio Kilisesi Mimari Çizimler Sergisi, Y.K.Y., İstanbul
- [18] **Tan, O., 1998.** Temel Takviyesi Uygulaması, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği VII. Ulusal Kongresi, Y.T.Ü, İstanbul, Cilt I, s. 226-230.
- [19] **Toğrol, E., 1994.** Temel Takviyesi Yöntemlerine Yeni Bir Bakış, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği V. Ulusal Kongresi, ODTÜ, Ankara, Cilt III, s. 887-917.
- [20] **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
- [21] **Toğrol, E., 1993.** Milli Saraylar 1993, TBMM Basımevi, Ankara
- [22] **Timurhan, T., 2000.** Mihrimah Sultan Camii’nin Dinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [23] **Ülker, R., 2000.** Fatih Camii Kütüphane Binası’nın Geoteknik Raporu, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

Mücahit NAMLI 1976 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini Elazığ'da tamamladı. 1994 yılında Elazığ Anadolu Lisesi'nden mezun olduktan sonra yine aynı yıl İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 1998 yılında İnşaat Mühendisi unvanıyla bu okuldan mezun oldu. Aynı sene Geoteknik Anabilim Dalında yüksek lisans programına başladı. Evli ve iki çocuk babası olup halen bir kamu kuruluşunda İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır.