

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEKME YÜKÜ ALTINDA ÇALIŞAN MİKRO KAZIKLAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emre KORKMAZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEKME YÜKÜ ALTINDA ÇALIŞAN MİKRO KAZIKLAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Emre KORKMAZ
(501161311)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aykut ŞENOL

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501161311 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Emre KORKMAZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ÇEKME YÜKÜ ALTINDA ÇALIŞAN MİKRO KAZIKLAR” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Aykut ŞENOL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Berrak TEYMÜR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İlknur BOZBEY
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi :02.05.2019
Savunma Tarihi :11.06.2019





Aileme,



ÖNSÖZ

Hemen hemen her inşaat mühendisi temel mühendisliği alanında zeminin taşıma gücü ile ilgili bir hesap yaptığında aklına ilk gelen problem zeminin üst yapı yükünü taşıyamayacağı yönünde olmaktadır. Zeminin üst yapı yükünü taşıyamadığı durumlarda da üst yapı yükünü taşıyıcı elemanlar ile sağlam zemine/kayaya taşıtılması için tasarım yapar. Yer altı su seviyesinin yüksek, kazı derinliğinin fazla olduğu projelerde üst yapının yüzme riskine karşı kontroller pek fazla göz önüne alınmamaktadır. Bu çalışmada yüzme riski analizi yapılan ve yüzme riski olduğu belirlenen bir yapının taşıyıcı elemanlar ile bu riskten nasıl bertaraf edildiği anlatılmıştır.

Lisans hayatımdan yüksek lisans öğrenimime, lisans ve yüksek lisans tez çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren, her türlü katkıyı yapan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocam, tez danışmanım Prof. Dr. Aykut ŞENOL'a saygı ve şükranlarımı sunarım. Tez üzerine çalışmam için vakit sağlayan, gerekli tüm doküman ve kaynaklardan faydalanmama yardımcı olan çalışanı olduğum ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş.'ye değerli bilgi ve fikirlerini benden esirgemeyen İnş. Y. Müh. Ogan SEVİM, İnş. Y. Müh. A. Cevdet BAYMAN ve İnş. Y. Müh. Önder AKÇAKAL'a teşekkür ederim. Bu tezin yazım aşamasında manevi desteklerini her zaman hissettiğim Sare Dereli, Turhan Alp Oymak, Mehmet Akar, Yağız Alli'ye, gerekli araştırmaları yapabilmem için yardımcı olan Ceren Aydın ve Canberk Acar'a, tezi yazabilmem için 7/24 kapılarını bana açan İsmail Dik ve Esnaf Reserve'ye teşekkür ederim. Ve en son olarak hayatım boyunca benden maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen ve her zaman yanımda olan aileme minnetlerimi sunar, teşekkürü borç bilirim.

Haziran 2019

Emre KORKMAZ
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
1. GİRİŞ	1
2. DERİN KAZILAR, TEMELLER ve KAZIK ÇEŞİTLERİ.....	3
2.1 Derin Kazı Yöntemleri	3
2.1.1 Kazıklı iksa sistemleri	3
2.1.2 Diyafram duvarlı iksa sistemleri	4
2.1.3 Diğer destek sistemleri	5
2.2 Temeller	6
2.2.1 Yüzeysel Temeller	6
2.2.1.1 Tekil temeller	6
2.2.1.2 Sürekli temeller	7
2.2.1.3 Radye temeller	7
2.2.2 Derin Temeller	7
2.2.2.1 Kuyu temeller	8
2.2.2.2 Keson temeller	8
2.2.2.3 Kazıklı temeller	8
2.3 Kazık Çeşitleri	9
2.3.1 Çakma kazıklar	9
2.3.2 Yerinde dökme kazıklar	9
2.3.2.1 Fore kazıklar	9
2.3.2.2 Mini kazıklar	10
2.3.2.3 Mikro kazıklar	10
2.3.3 Kazık taşıma gücü	11
2.3.3.1 Kaba daneli zeminlerdeki kazıklar	11
2.3.3.2 İnce daneli zeminlerdeki kazıklar	14
2.3.3.3 Kayaya soketli kazıklar	15
3. MİKRO KAZIKLAR.....	19
3.1 Mikro Kazık Delgi Ekipmanı	19
3.2 Mikro Kazık Delgi Yöntemleri	19
3.3 Enjeksiyonlama	20
3.3.1 Basıncsız enjeksiyonlama	22
3.3.2 Geçici muhafaza borusu ile enjeksiyonlama	22
3.3.3 Önenjeksiyonlama (Postgrouting)	23
3.4 Mikro Kazık Donatısı	23
3.4.1 Standart donatı	23
3.4.2 Yüksek mukavemetli donatı	24
3.4.3 Çelik boru	24
3.4.4 Donatının korozyon koruması	24
3.5 Mikro Kazık İmalatı	26
3.5.1 Mikro kazık imalatı öncesi yapılan çalışmalar	26
3.5.2 Mikro kazık imalatı aşamaları	26
3.5.3 Mikro kazık noktasının belirlenmesi ve makinanın konumlandırılması	27
3.5.4 Mikro kazık delgisi	27
3.5.5 Mikro kazık donatısı ve donatının delgi içerisine yerleştirilmesi	28
3.5.6 Dış enjeksiyonun hazırlanması ve dış enjeksiyonun yapılması	29
3.6 Mikro Kazık Tasarımı	29
3.6.1 Suyun kaldırma kuvveti etkisinde çekmeye çalışan mikro kazıklar	30
3.6.2 Yapı inşaat aşamaları ve yapı ağırlığının belirlenmesi	30

3.6.3 Su basıncı ve alınan önlemlerin boyutlandırılması	32
3.6.4 Zemin profilinin incelenmesi ve uygun çekme kazığının tasarımı	32
3.7 Mikro Kazık Test Yöntemleri ve Prosedürü	35
3.8 Mikro Kazık Seçimini Etkileyen Faktörler	35
4. VAKA ANALİZİ	37
4.1 İnceleme Alanı.....	37
4.2 İnceleme Alanı Hakkında Genel Jeolojik Bilgiler ve Zemin Profili	37
4.3 Mikro kazık tasarımı.....	41
4.3.1 Üst yapı yükleri	49
4.3.2 Yüzme hesabı	50
4.3.3 Mikro kazık donatısı zımbalama ve plaka hesabı	53
4.4 Mikro Kazık İmalatı	55
4.5 Mikro Kazık Çekme Deneyleri	57
4.6 Mikro Kazık İmalatları Sonrasında Genel Bir Değerlendirme.....	66
5. SONUÇLAR	71
KAYNAKLAR.....	75

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
AASHTO	: American Society of State Highway and Transportation Official
BS	: British Standards
CPT	: Konik Penetrasyon Testi
FHWA	: Federal Highway Administration
SPT	: Standard Penetrasyon Testi
TS	: Türk Standartları
UCS	: Tek Eksenli Basınç Testi Dayanım Değeri
ZETAŞ	: Zetaş Zemin Teknolojisi A.Ş.





SEMBOLLER

A	: Temel alanı
A_b	: Kazık ucu kesit alanı
A_s	: Kazık gövdesi kesit alanı
$D, \emptyset$	: Kazık çapı
E_b	: Kazık malzemesinin elastite modülü
E_y	: Kaya kütesinin elastite modülü
L_g	: Soket boyu
KDK	: Kazık direnç katsayısı
h'	: Yiv yüksekliği
F_s	: Servis yükü,
f_s	: Birim çevre sürtünmesi
G	: Üst yapı ağırlığı
S_h	: Kazık ara mesafesi
GS	: Güvenlik katsayısı
L	: Mini kazık boyu
f_s	: Sürtünme gerilmesi
$W_{k,p}$	: Kazık ağırlığı
K_s	: Yatay zemin gerilmesi katsayısı
b	: Plaka genişliği
d	: Plaka ile alt donatı arasındaki mesafe,
Q_s	: Kazık çevre sürtünmesi kapasitesi
Q_b	: Kazık uç kapasitesi
c_u	: Drenajsız kayma mukavemeti
α	: Adhezyon faktörü
γ	: Eğilme etkisi katsayısı
γ_w	: Suyun birim hacim ağırlığı
ν	: Poisson oranı
δ	: Deplasman
δ	: Kazık – zemin arasındaki sürtünme açısı
φ	: İçsel sürtünme açısı
σ_n	: Kazık ortasında oluşan normal basınç
σ_k, q_u	: Tek eksenli basınç dayanım mukavemeti



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1: Kazık ve zemin arasındaki sürtünme değerleri	13
Çizelge 2.2: Zhang ve Einstein tarafından özetlenen değerler	16
Çizelge 2.3: Çevre sürtünmesi korelasyonlarının özet tablosu.....	18
Çizelge 3.1: Çeşitli Araştırmalara Göre Sürtünme Kapasitesi ve Tek Eksenli Basınç Dayanımı Katsayıları	33
Çizelge 4.1: Yapılan sondajlara ait genel bilgiler.....	39
Çizelge 4.2: Tek eksenli basınç mukavemeti değerleri	41
Çizelge 4.3: Test mikro kazığı özet bilgileri	42
Çizelge 4.4: Uygulanan yüke göre mikro kazık donatısının uzaması	44
Çizelge 4.5: Farklı araştır. yöntemlerine göre kayadaki sürtünme değerleri.....	47
Çizelge 4.6: G yükü altında temel altı gerilmesi	50
Çizelge 4.7: Yüzme hesabına esas kritik durumların karşılaştırılması.....	50
Çizelge 4.8: Yüzme hesabı ve çekme mikro kazığı tasarımı	51
Çizelge 4.9: Yüzme hesabı ve çekme mikro kazığı tasarımı (devamı)	52
Çizelge 4.10: Hesaplanan mikro kazık ara mesafeleri.....	53
Çizelge 4.11: Deneyler ile ilgili bilgiler	57
Çizelge 4.12: Mikro kazık çekme deneyi sonuçları.....	66



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Öngermeli ankraj destekli fore kazıklı iksa sistemi	4
Şekil 2.2: Çelik boru destekli diyafram duvarlı iksa sistemi	5
Şekil 2.3: Palplanş uygulamalarına örnek bir fotoğraf	6
Şekil 2.4: Fore kazık makinası	10
Şekil 2.5: Berebantsev tarafından önerilen N_q değerleri.....	12
Şekil 2.6: SPT değeri ile efektif içsel sürtünme açısı arasındaki ilişki.....	12
Şekil 2.7: q_c , σ'_{vo} , ve ϕ' ilişkisi	13
Şekil 2.8: K 'nın L/D ile değişimi	14
Şekil 2.9: Adezyon faktörü tasarım eğrileri.....	15
Şekil 2.10: f_b 'nin σ_k ile değişim grafiği	17
Şekil 2.11: RQD'ye (η_c) bağlı olarak E_y/E_k tayini ve E_y/E_k 'ye bağlı olarak f_c 'nin belirlenmesi	17
Şekil 3.1: Mikro kazık makinası	20
Şekil 3.2: Su/çimento oranının enjeksiyon taşıma kapasitesi etkisi	21
Şekil 3.3: İç enjeksiyonsuz ve iç enjeksiyonlu donatı kesitleri	25
Şekil 3.4: Mikro kazık eğimi	27
Şekil 3.5: Su basıncının temel inşaatından sonra oluşması. b) Su Basıncının Yapı İnşaatı Sırasında Oluşmasına İzin Verilmemesi. c) Su Basıncının Yapı İnşaatı Sonrasında Oluşması.....	31
Şekil 3.6: Çift korozyon korumalı mikro kazık kesiti	34
Şekil 3.7: HDPE korige boru, iç enjeksiyon ve yüksek mukavemetli donatı.....	34
Şekil 3.8: Mikro kazık – temel birleşim detayı.....	34
Şekil 4.1: Vaka analizinin yapıldığı proje sahası.....	37
Şekil 4.2: Proje sahasının bölgesel jeolojisini gösteren harita	38
Şekil 4.3: Sondaj planı.....	39
Şekil 4.4: Deney ankrajlarının yerleşim planı	43
Şekil 4.5: Deney kurulumu	43
Şekil 4.6: Mikro kazık uzamasının yüke göre değişimi	46
Şekil 4.7: Mikro kazık uzamasının zamana göre değişimi	46
Şekil 4.8: Tek eksenli basınç mukavemet (q_c -UCS) dağılımı.....	47
Şekil 4.9: Mikro kazık üzerinde mobilize olan sürtünme gerilmeleri	48
Şekil 4.10: Blok konumları.....	49
Şekil 4.11: Uygulama esnasında teşkil edilen mikro kazık kesitlerinden biri.....	53
Şekil 4.12: Mikro kazık makinası ve imalatı	55
Şekil 4.13: Mikro kazık delgisi.....	55
Şekil 4.14: Mikro kazık donatısının yerleştirilmesi.....	56
Şekil 4.15: Tamamlanan mikro kazıklar.....	56
Şekil 4.16: A Blokta mikro kazıkların uygulandığı alan	57
Şekil 4.17: B Blokta mikro kazıkların uygulandığı alan	58
Şekil 4.18: D Blokta mikro kazıkların uygulandığı alan	58
Şekil 4.19: A119 kazığı deney kurulumu	59
Şekil 4.20: A56 kazığı deney kurulumu	59
Şekil 4.21: B A119 mikro kazık uzamasının zamana göre değişimi	60
Şekil 4.22: A119 mikro kazık uzamasının yüke göre değişimi	60

Şekil 4.23: A56 mikro kazık uzamasının zamana göre değişimi.....	61
Şekil 4.24: A56 mikro kazık uzamasının yüke göre değişimi	61
Şekil 4.25: B22 kazığı deney kurulumu.....	62
Şekil 4.26: B503 kazığı deney kurulumu.....	62
Şekil 4.27: B22 mikro kazık uzamasının zamana göre değişimi	63
Şekil 4.28: B22 mikro kazık uzamasının yüke göre değişimi	63
Şekil 4.29: B503 mikro kazık uzamasının zamana göre değişimi	64
Şekil 4.30: B503 mikro kazık uzamasının yüke göre değişimi	64
Şekil 4.31: D432 mikro kazık uzamasının zamana göre değişimi.....	65
Şekil 4.32: D432 mikro kazık uzamasının yüke göre değişimi	65
Şekil 4.33: Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen yöntemler ile elde edilen sürtüne değerleri	67
Şekil 4.34: Kayadan elde edilebilecek sürtünme gerilmelerinin karşılaştırılması.....	67
Şekil 4.35: Sıkışık şantiye koşullarında mikro kazık imalatının yapılması	68
Şekil 4.36: Temel izolasyonları tamamlanmış mikro kazıklar	69



ÇEKME YÜKÜ ALTINDA ÇALIŞAN MİKRO KAZIKLAR

ÖZET

Modernleşme ve büyük kentlere göçlerin hızla artmasıyla birlikte artan nüfusla birlikte gelen ihtiyaçları karşılamak amacıyla geçmiş yıllara oranla büyük, yüksek ve geniş yapıların inşalarında süratli bir artış meydana gelmiştir. Yapıların büyümesi zemine aktarılacak yükün de büyümesi sonucu temel mühendisliğinde gelişmeleri doğurmuştur. Yapının üzerine yapılacağı zemin şartları çeşitlilik göstermekte, en uygun temel sistemi seçimi daha önemli hale gelmekle birlikte teknolojinin gelişimi de bu temel sistemlerinin inşa olanağını artırmaktadır. Yapının inşa edildiği zemin, taşıma gücü, oturma, sıvılaşma gibi problemler meydana gelmeden yapıdan aldığı taşıyabilecek karakteristik özelliklere sahipse yüzeysel temeller tercih edilirken, statik veya dinamik durumda bu problemlerden biriyle karşılaşılacak bir zemin üzerinde inşa edilen yapılarda derin temeller tercih edilmektedir. Bununla birlikte makine ve ekipman teknolojilerinin gelişimi sebebiyle derin temel sistemleri de gelişmiş, yapılaşmaya en müsait olmayan zeminlerin bile taşıyıcı olması sağlanmıştır.

Derin kazı ve yapı malzemesi teknolojilerinin geliştiği günümüzde parsel alanının dar olduğu durumlarda dahi derin kazılarla çok katlı ve çok bodrumlu ancak daha hafif yapılar inşa edilebilmektedir. Dar alanlarda çalışma etkinliği, fore kazıklara oranla daha düşük maliyetli olması ve eski tarihi yapılar, endüstriyel binalar gibi hassas bölgelerde de rahatlıkla çalışabilmesi sebebiyle mikro kazık uygulamaları ülkemizde de son zamanlarda öne çıkmaktadır. Yer altı su seviyesinin yüksek olması, zemin parametrelerinin elverişsiz ve yapıların daha hafif olması sebebiyle temel altında geleneksel fore kazık uygulamaları yerine suyun kaldırma kuvvetine karşı çekmeye çalışan mikro kazık imalatları da önem kazanmıştır. Bununla birlikte mikro kazık uygulamalarının proje ekonomisini olumlu yönde etkilediği ve proje süresinde de rahatlık yarattığı dikkat çekmektedir.

Tasarım aşamasında üç önemli husus bulunmaktadır, bunlardan ilki yapı inşaat aşamalarının ve yapı ağırlığının belirlenmesidir. Akabinde su basıncı belirlenmeli ve alınan önlemler boyutlandırılmalıdır. Bununla birlikte her zemin mekaniği probleminde olduğu gibi zemin profili incelenmeli ve zemin profiline uygun çekme kazığı tasarımı yapılmalıdır. Bu doğrultuda vaka analizinde İzmir, İnciraltı mevkiinde bir proje sahasında çekmeye karşı çalışan mikro kazıklar incelenmiştir. Zemin profilinin yer yer bloklu alüvyon altında filiş tabakaları olarak özetlenebileceği proje sahasında yer altı suyu seviyesinin yüksek olduğu görülmektedir. Proje kapsamında imalatlar öncesinde öntasarım parametrelerini kontrol etmek için 220 mm çapında delgi yapılmış, delgi içerisine 47 mm çapında özel (yüksek mukevemetli çift korozyon koruma detaylı) donatı yerleştirilerek deney kazığı imalatı yapılmıştır. 7 m boyundaki mikro kazıklar için tasarım aşamasında planlanan kapasite 105 ton, deney yükü 170 ton olarak belirlenmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda çekme deneyi sonucunda meydana gelen maksimum uzama miktarının 13.6 mm olması beklenmekteyken 105 ton planlama yükünde 6 saat beklenmiş, uzamanın 13.0 mm olduğu görülmüştür. Bununla birlikte yapılan deney

sonucunda kaya tabakalarında mikro kazıkta meydana gelen sürtünme gerilmesi belirlenmiş ve 350 kPa olarak elde edilmiştir. İş öncesi zemin etüt çalışmaları kapsamında kayada yapılan tek eksenli basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen değerler ile farklı araştırmacıların önerdiği hesap yöntemleri ile kayada elde edilecek ortalama sürtünme gerilmesi 690 kPa olarak bulunmuştur. Deney sonucu mikro kazık tasarımları için uygun görülen sürtünme gerilmesi 420 kPa olarak yorumlanmış ve nihai tasarım bu sürtünme gerilmesi kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca üst yapı tasarım yükleri dikkate alınarak yüzme hesabına esas kritik durumlar karşılaştırılmış, karşılaştırma yapılırken temel ve devamında bodrum kat döşemelerinin inşaa aşamaları boyunca susuzlaştırma (dewatering) sisteminin devrede olacağı dikkate alınmıştır.

Yapılan karşılaştırma bodrum katların inşası sonrası normal su basıncı dikkate alınarak yapılan hesabın daha kiritik olduğunu göstermiş olup, mikro kazık kapasiteleri bu durum dikkate alınarak hesaplanmıştır. Nihayetinde zımbalama hesapları da yapılmış, mikro kazık çekme kapasiteleri tekrar kontrol edilmiştir. Sahada yapılması planlanan diğer çekme deneyleri için yapılan imalatlar da yakından izlenmiş, çekme deneyleri takip edilmiştir. Deney sonucunda elde edilen uzama miktarı grafikleri düzenlenmiş ve sunulmuştur. Yapılan uygulama ve deneyler sonucunda da çekmeye karşı mikro kazık uygulamalarının yeterli, ekonomik ve proje süresi bakımından uygun olabileceği, bununla birlikte yapı yükleri, zemin profili ve yer altı su seviyesi dikkate alınarak yapılan mikro kazık tasarımının etkinliği görülmüştür.

MICRO PILES WORKING UNDER TENSION LOADS

SUMMARY

From past to present, deep excavations have been needed in various places around the world. Due to the requirements of the infrastructures, deep excavations and shoring systems which are ones of the important subjects of the geotechnical engineering are provided the construction of the deep structures. Although the cost of the slope method is lower than the other deep excavation methods, it cannot be applicable in crowded areas due to the neighborhood structures, infrastructures, subway lines, etc. Therefore, the construction of the shoring system is inevitable in order to excavate deep foundation levels in crowded areas.

There are two types of foundation in structure construction. The main purpose of the foundation is to secure a structure in safe and transfer structure load into the ground. Soil or rock layers must be capable of bearing proper structure loads without sinking and floatation. Generally, light structures are designed using shallow foundations. When adequate bearing capacity or tolerable settlements cannot be obtained with a shallow foundation, a deep foundation will be used instead of a shallow foundation.

Piles are basically cylinder of a strong materials such as concrete that is pushed into the soil to act as a steady support for structures built on top of it. Pile foundations can be used when a structure is too heavy or too light. When almost every civil engineer makes calculation on the bearing capacity of the soil, the problem that comes first is that the soil cannot bear the superstructure load. In cases where soil cannot carry the superstructure load, the superstructure load to be transported to the solid soil or rock layer by transportation elements. Due to the high ground water level, lack of information related to the soil parameters and the structures that are lighter, the micro piles which in tension against the lifting force of water have gained importance against to conventional bored pile. On the other hand, it is noteworthy that micro pile applications have a positive impact on the project economy and create comfort in the project period. There are three important consideration in the design phase, the first of which is the determination of building construction stages and weight of structure. Then the water pressure should be defined and the precautions taken should be dimensioned. However, as with any soil mechanics problem, the soil profile should be investigated and a suitable design of tension piles for the soil profile should be designed.

Micropiles are small in diameter cast-in-place replacement piles, composed of steel reinforcement and placed or injected grout. They can withstand axial (compressive/tensile) and lateral loads and works as components in a composite soil/pile mass or as small-diameter substitutes for conventional piles. Micropiles are used as underpinning elements to enhance the bearing capacity of existing foundations and prevent excessive settlement. They can also be used as foundations for new structures and land stabilization.

The recent development in the technology of deep excavation and construction materials enables the ability to built multi-layered structures with lightweight even in

the narrow construction areas. Micro pile applications come forward in our country due to the fact that the efficiency of the application in narrow areas and its low cost where it is applicable in sensitive areas such as old historical buildings and industrial buildings.

Micro piles are distinguished in providing innovative drilling and grouting techniques, which in return enhance load resistance. Reinforcement steel elements compromise to about 50 percent of the pile's volume and are considered to be the main load bearing element, while the grout serves to transfer the load to the surrounding soils.

In the scope of this thesis, the micro piles in tension at a project site in İzmir were examined as a case study. It is seen that ground water level is high in the project area where the ground profile can be summarized as the flysch layers under alluvial blocks from place to place.

Within the scope of the project, a test pile has been constructed with 220 mm diameter drill and 47 mm diameter special reinforcement (high strength double corrosion protection detail) was placed into the drill in order to control the preliminary design parameters before the manufacturing. The planned capacity for micro-piles of 7 m in length is 105 tons and the test load is determined as 170 tons. As a result of the calculations from the findings of pile tension test, it was expected that the maximum elongation of the tensile test would be 13.6 mm while it was seen as 13.0 mm during the application of planned weight as 105 tons for six hours. However, as a result of the test, the friction stress on the micro piles was determined and obtained as 350 kPa.

Uniaxial compressive strength tests were performed on the rock within the scope of pre-work of subsurface exploration studies. The values obtained from these tests and the calculation methods suggested by the different researchers, the average friction stress on the rock were found to be 690 kPa. The friction stress obtained from the test result was interpreted as 420 kPa. Since the test could not be sustained until the reinforcement was failed. and the final design was made by using these data.

In addition, considering the design load coming from the superstructure, the critical conditions of the flotation calculation were compared and it is taken into account that the dewatering system was available during the construction of the basement floor slabs. The comparison showed that the calculation done by taking into account of the normal water pressure after the construction of the basement floors was more destructive and the micro pile capacities were calculated by taking this situation into consideration. Finally, punching calculations have performed, the capacity of the tension micro-piles was rechecked. Other tensile tests planned for the field were also closely monitored and tensile tests were followed. The graphs show the elongation amount obtained as a result of the test are organized and presented within the scope of the thesis.

After the tensile tests on the micro piles in the project, the tensile test results were compared with the friction values by the methods proposed by various researchers in the literature obtained in the rock layers. As a result of these comparisons, an empirical formula for uniaxial compressive strength in the rock was formed and proposed for the friction stresses obtained from rock type as in project area.

In addition, within the scope of the project, draft tension bored pile was designed and the situation of the bored pile instead of micro piles was compared to the Client

before the start of the project. It was explained to the Client, bored pile applications were more difficult than the micro piles and micro pile applications were more advantageous in terms of both project duration and project economy.

As a result of the application and tests, it was seen that micro pile applications against tension can be adequate, economical and suitable for the duration of the project. In addition to this, the effectiveness of the micro-pile design, which is based on the structural loads, ground profile and ground water level has been observed.



1. GİRİŞ

Modernleşme ve büyük kentlere göçlerin hızla artmasıyla birlikte artan nüfusla birlikte gelen ihtiyaçları karşılamak amacıyla, geçmiş yıllara oranla büyük, yüksek ve geniş yapıların inşaatlarında süratli bir artış meydana gelmiştir. Yapıların büyümesi zemine aktarılan yükün de büyümesine neden olmuş, bunun sonucunda temel mühendisliğinde yeni gelişmeleri doğurmuştur. Yapı yükünün, üzerine yapılacağı zemin şartları çeşitlilik göstermekte, en uygun temel sistemi seçimi daha önemli hale gelmekle birlikte teknolojinin gelişimi de bu temel sistemlerinin inşa olanağını artırmaktadır.

Yapının inşa edildiği zemin, taşıma gücü, oturma, sıvılaşma gibi problemler meydana gelmeden yapıdan aldığı yükü taşıyabilecek karakteristik özelliklere sahipse yüzeysel temeller tercih edilir. Statik veya dinamik durumda bu problemlerden biriyle karşılaşılacak bir zemin üzerinde inşa edilen yapılarda derin temeller tercih edilmektedir. Bununla birlikte makine ve ekipman teknolojilerinin gelişimi sebebiyle derin temel sistemleri de gelişmiş, yapılaşmaya en müsait olmayan zeminlerin bile taşıyıcı olması sağlanmıştır.

Derin temeller, üst yapı yükünü taşıyıcı elemanlar ile sağlam zemin/kaya tabakalarına aktaran sistemlerdir. Yapının altına yapılan elemanlar, üst yapıdan gelen yükün sağlam tabakalara aktarılmasını sağlayabildiği gibi, üst yapıdan gelen yükün yetersiz olduğu durumlarda üst yapı yüküne arttırmaya çalışacak şekilde (çekmeye) de çalışabilir.

Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu ve birden fazla bodrum kat inşaatı planlanan projelerde suyun kaldırma kuvveti ile yapı stabilitesinin bozulup bozulmadığının kontrol edilmesi ve stabilitenin sağlanması adına gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Çoğu projede temel kalınlığının artırılması veya drenaj önlemleri yeterli olurken bazı projelerde tek başına veya ilave olarak çekme kazıklarının kullanılması gerekebilmektedir. Sıklıkla uygulanan temel altı fore kazık tekniğinin yanında daha küçük çaplı mikro kazık tekniği de birçok projede temel kazığı olarak uygulanabilmektedir. Mikro kazık makinalarının daha küçük olan boyutları, sıkışık

şantiye koşullarında bile makinenin kazı taban kotuna indirilebilmesine olanak sağlamakta ve boş delgi ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır. Kullanılan yüksek mukavemetli tek çelik donatı ve korozyon koruması detayı ile mikro kazıklar, betonda çatlak genişliğinin minimumda tutulması gereken fore kazıklara göre daha efektif çelik kullanımına olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada, ilk olarak derin kazılar ve temellerden bahsedilmiş, yüzeysel ve derin temel çeşitleri anlatılmış, temel mühendisliği uygulamalarından olan kazık uygulamalarından bahsedilmiştir. Kazık çeşitleri, zemin ve kaya tabakalarında kazık taşıma güçlerinin nasıl hesaplandığı anlatılmıştır. İkinci bölümde, bu çalışmada irdelenen vaka analizinde uygulaması yapılan mikro kazıkların imalat yöntemlerine, mikro kazık içinde kullanılan çift korozyon korumalı donatının detayına ve suyun kaldırma kuvvetine karşı çekmeye çalışan mikro kazığın kapasitesinin nasıl hesaplandığına vurgu yapılmıştır. Üçüncü bölümde, yüzme problemine karşı mikro kazık uygulaması yapılan bir projede yapılan çalışmalar özetlenerek mikro kazık performansları değerlendirilmiştir. Son bölümde ise vaka analizinin yapıldığı projede mikro kazıklar üzerinde yapılan deneyler irdelenmiş, literatür sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2. DERİN KAZILAR, TEMELLER ve KAZIK ÇEŞİTLERİ

Her geçen gün artan nüfus konut, iş yeri, otopark, sosyal tesisler ve metro gibi yaşam alanlarına olan ihtiyacı arttırmıştır. İstanbul, İzmir, Ankara gibi nüfus artışının yüksek olduğu bölgelerde alternatif kullanım alanlarını elzem kılmıştır. Nüfusun artması, yaşam alanlarının sabit kalması nedeni ile şevli kazı yapılması neredeyse imkansızlaşmıştır. Terzaghi ve Peck (1967) kazı derinliğinin 6 m'den az olması durumunda iksa yapılmasının ekonomik olmaması sebebi ile derin kazılar 6m'den fazla olan kazı olarak belirtilmiştir.

Kazı çevresindeki komşu yapıların hasar görmesini ve çevre zeminde meydana gelebilecek hareketleri engellemek için kazı cepheleri iksa sistemleri ile desteklenmektedir.

2.1 Derin Kazı Yöntemleri

Derin kazılar, düşey ve yatay destek elemanlarından oluşan iksa sistemleri ile desteklenmektedir.

İksa sistemleri inşaatı sırasında, oluşması muhtemel olan deplasmanlar, iksa sisteminde veya komşu yapılarda herhangi bir hasar oluşmaması için, kısıtlanmak zorundadır (Kuntsche, 2007). Bu sebeple iksa sistemlerin kullanım amacına bağlı olarak düşey ve yatay destek elemanlarına örnek olarak diyafram duvar/fore kazık + öngermeli ankraj/çelik boru destek, püskürtme beton + öngermeli ankraj/zemin çivisi verilebilir.

2.1.1 Kazıklı iksa sistemleri

Dünya'da ve özellikle ülkemizde çoğu firma tarafından uygulaması yapılan fore kazıklar hızlı ve ekonomik olması ve çoğu zeminde uygulanabilir olması sebebi ile en çok tercih edilen derin kazı iksa sistemlerinden biridir.

Çapları 60cm ile 200cm arasında değişiklik gösteren fore kazıklar yatay destek elemanları olarak teşkil edilebileceği gibi öngermeli ankraj, çelik boru destek gibi yatay destek elemanları ile de desteklenebilmektedir. Düşey destek elemanı olarak

fore kazık ve yatay destek elemanı olarak öngermeli ankrajın kullanıldığı iksa sistemine ait bir fotoğraf Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1: Öngermeli ankraj destekli fore kazıklı iksa sistemi (ZETAS - İstanbul/Maslak)

Çapları 30cm ile 60cm arasında değişen mini kazıklar da proje koşullarına göre fore kazıkların yerine düşey destek elemanı olarak teşkil edilebilir.

Fore kazıklar belirli bir ara mesafe ile teşkil edilebileceği gibi yan yana iki kazığın kesiştirilmesi ile de imal edilebilmektedir. Mini kazıkların kesiştirilmesi delgi makinalarının düşey yönde yapabileceği sapmalardan dolayı kesiştirilmesi pek tercih edilen bir imalat yöntemi değildir.

2.1.2 Diyafram duvarlı iksa sistemleri

Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yerlerde geçirimsizliği sağlama amacı ile özel bir uygulama olan diyafram duvarlar teşkil edilmektedir.

Diyafram duvarlar, hidrofrez veya grab ekipmanları ile teşkil edilebilmektedir. Hidrofrez ekipmanının düşeyden sapması, grab ekipmanına göre daha düşük olmasından dolayı, düşeyden sapmanın sınırlı olduğu projelerde hidrofrez ile foraj yapımı tavsiye edilmektedir (Lubach, 2010). Ancak genellikle kaya tabakalarında hidrofrez ile zeminler tabakalarında grab ile diyafram duvarlar imal edilir.

Kalınlıkları 60cm ile 150cm arasında değişen diyafram duvarlar genellikle 2.80m’lik anolar halinde teşkil edilmektedir. İmalat esnasında diyafram duvar kuyusu tek seferde 7.40m genişliğinde de teşkil edilip, betonlanabilmektedir.

Diyafram duvarlar da fore kazıklar gibi öngermeli ankraj ve çelik boru destek gibi yatay destek elemanları ile desteklenebilmektedir. Düşey destek elemanı olarak diyafram duvar ve yatay destek elemanı olarak çelik boru destek elemanlarının kullanıldığı iksa sistemine ait bir fotoğraf Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2: Çelik boru destekli diyafram duvarlı iksa sistemi (ZETAS - İstanbul/Karaköy)

2.1.3 Diğer destek sistemleri

Fore kazık ve diyafram duvarların dışında düşey eleman olarak püskürtme beton veya palplanş da uygulanabilmektedir.

Püskürtme betonlar genellikle zemin çivisi ile desteklenmektedir. Zemin çivileri, bir delgi içerisine enjeksiyonla birlikte yerleştirilen donatılardır. Bir öngörme yükün verilmediğinden pasif ankrajlar olarak da tanımlanırlar (FHWA, 2015).

Palplanşlar, çakma yöntemi ile çelik profillerin birbirine kenetlenerek zemin içerisinde bir bariyer teşkil etmesi amacı ile uygulanır. Kazı derinliğinin görece az olduğu durumlarda teşkil edilen palplanşlar öngermeli ankraj ve çelik boru destekler ile desteklenebilmektedir. Palplanş uygulamalarına örnek bir fotoğraf Şekil 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.3: Palplanş uygulamalarına örnek bir fotoğraf (ZETAS - İstanbul/Ortaköy)

2.2 Temeller

Temeller, üst yapı yükünü zemine veya kayaya aktaran yapı birimidir. Temeller, taşıma gücünün aşılmaması ve oturmaların yapı güvenliğini tehdit eder büyüklüğe erişmemesi için gerekli boyutlarda tasarlanır (Birand, 2006).

2.2.1 Yüzeysel temeller

$D_f/B \leq 4$ olması halinde temele yüzeysel temel denir (Birand, 2006). Genellikle temeller üst yapıdan gelen yükleri zemine uniform olarak aktaracağı ve zeminin de bu aktarılan yüke karşılık uniform bir gerilme ile karşılık vereceği kabul edilir. Verilen bu karşılık temel taban basıncı olarak adlandırılır. Temel taban basıncı zeminin cinsine ve temelin rijitliğine bağlıdır.

Kohezyonsuz zeminlerde genel olarak temel taban basıncı temel ortasına doğru artarken, kohezyonlu zeminlerde temel ortasına doğru azalır.

2.2.1.1 Tekil temeller

Tekil temel, kolon tabanının genişletilmesiyle üst yapı yükünü zemine yeteri kadar aktaran sistemlerdir (Coduto, 2001). Temelin oturacağı zeminin orta sertlikte ve üst yapı ağırlığının az olduğu durumlarda genellikle temel çeşidi olarak tekil temel tercih

edilmektedir. Genellikle betonarme olarak uygulanan tekil temeller beton, taş veya tuğladan da yapılabilir. Kare veya dikdörtgen şekillerinde tasarlanabilen tekil temellerin birlikte çalışmalarını sağlamak ve kaymalarını önleme amacı ile birbirlerine bağ kirişleri ile bağlanırlar.

2.2.1.2 Sürekli temeller

Üst yapı yüklerinin artması, temelin oturtulacağı zeminin görece zemin emniyet gerilmesinin düşük olması durumunda sürekli temeller tercih edilir. Kare, dikdörtgen veya trapez şekillerde tasarlanabilen sürekli temellerin tasarımında üst yapıdan temele gelen kuvvetlerin bileşkesi ile temel tabanının ağırlık merkezinin çakıştırılması temel taban basıncının uniform oluşması için gereklidir.

2.2.1.3 Radye temeller

Üst yapı ağırlığının çok fazla, farklı oturumların beklendiği, sürekli temellerin alanının temel taban alanının yarısından fazla olması, suyun kaldırma kuvvetinin sürekli temele gelen yüklerden fazla olması durumlarında radye temel tercih edilmektedir (Coduto, 2001).

2.2.2 Derin temeller

Das (2000) yüzeysel temel yerine derin temel uygulamalarına ihtiyaç duyulmasının nedenlerini aşağıdaki gibi tanımlamıştır:

- Üst zemin tabakalarının fazla sıkışabilir ve çok zayıf özellik göstermesi durumunda üst yapı ağırlığını sağlam zemin ve/veya kaya tabakalarına taşıtmak.
- Görece yüksek yapılarda rüzgar ve deprem yüklerini karşılamak.
- Zemin tabakalarındaki şişme ve büzölmeleri önlemek.
- Yüksek su seviyesinin olduğu yerlerde suyun kaldırma kuvvetine karşı koymak.
- Köprü, viyadük yapıları gibi yapıları erozyon gibi zeminin taşıma kapasitesini düşürücü durumları önlemek.

2.2.2.1 Kuyu temeller

Yer altı suyunun yoğun olarak bulunmadığı zeminlerde betonarme perde çalışma prensibine dayalı olarak ve tamamen insan gücüne dayalı el aletleri ile yapılan kazı sonucu oluşturulan temellerdir. Yapışık yapılarda ve yollarda toprak kaymasını engellemesi açısından oldukça avantajlıdır.

2.2.2.2 Keson temeller

Betonarme temellerin yapılamadığı zemin koşullarında, kazıklı temele göre daha geniş ve sağlam temel yapılmak istenmesi durumunda veya zemini su dolu olan yapılar için uygulanan temel türüdür. Zeminin çok zayıf ve gevşek olduğu bölgelerde yapılan keson temeller, kazıklı temellerin yeterli olmadığı koşullarda tercih edilir. Açık keson, pnömatik (hava basınçlı) keson ve yüzen kesonlar olmak üzere üç tip keson temel türü vardır. Açık keson temelde; bir duvar örüldükten sonra keson içindeki zemin dışarı atılır. Kesonlar istenilen derinlik seviyesine kendi ağırlığı yardımıyla indirilirken, sağlam tabakanın bulunduğu kota ulaşılmaya çalışıldıktan sonra beton doldurulur. Pnömatik kesonlar, yer altı suyunun fazla olduğu metro ve tünel gibi saha şartlarında daha çok tercih edilir. Zemine uygulanan hava basıncının, zemindeki suyu aşabilecek seviyede olması prensibine dayalıdır. Yüzen kesonlar ise, tamamen sulu zemin koşullarında uygulanan bir keson temeldir. Özellikle liman ve rıhtım gibi deniz yapılarında uygulanır.

2.2.2.3 Kazıklı temeller

Kazıklar, zemin yüzeyine yakın tabakaların üst yapı yüklerini göçmeden veya üst yapıda hasara neden olacak şekilde fazla oturmadan taşıyabileceği bir yüzeysel temelin uygulamasına uygun olmadığı hallerde, üst yapı yüklerini zeminin derinliklerinde yer alan taşıyıcılık özelliği yüksek tabakalara aktarmak amacıyla kullanılan ahşap, beton, çelik veya kompozit yapı elemanlarıdır (Vesic, 1977).

Kazıkların uç ve çevre sürtünme kuvvetlerinden yararlanılarak yapıya gelen tüm yüklerin sağlam olan zemin tabakasına aktarılması amacıyla kullanılan derin temel türüdür. Temel yapılacak olan zeminde homojenlik olmaması ve bu tabakaların çok yumuşak veya gevşek olması kazıklık temelin yapılma sebeplerindendir. Ayrıca suyla temas halinde aniden çöken veya kabarma gözlenebilecek elverişsiz zemin koşullarında da kazıklı temel imalatı yapılmaktadır. Kazık imalatında mevcut zemin

şartları dikkatlice incelenip zeminin güvenle taşıyabileceği yüke uygun olarak projelendirilmelidir. Gelen eksenel yükleri ve kesme kuvvetini emniyetli bir şekilde taşıyıp iletebilecek şekilde kazıklı temel tasarımı yapılmalıdır. Liman ve köprü ayakları gibi suyla temasta olan yapıların temellerinde de kazıklı temel kullanılması uygundur. Kazıkların düşey eksenle belli bir açı yapacak şekilde eğik olarak da yapılabilmesi ve kazıkların birbirlerinden farklı boylarda da uygulanabilirliğinin olması kazıklı temel kullanımını arttırmaktadır.

2.3 Kazık Çeşitleri

2.3.1 Çakma kazıklar

Çakma kazıklar genellikle çelik boru veya çelik malzemeden haddelenmiş H veya O kesit profil kazıklardır. Prekast betonarme ve çok tercih edilmese de ahşap kazıklar da proje şartlarına göre tercih edilebilmektedir. Çelik borular ucu açık veya kapalı şekilde çakılabilir. H kesit profil kazıkların diğer kesit profil kazıklara nazaran tercih edilmesinin sebebi H kesit profillerin gövde ve kenar kalınlıklarının birbirine eşit olmasıdır. Çakma kazıklar fore kazıklar gibi delgi yapılarak imal edilmediği, çakma sonucu bulunduğu zemini deplase ederek sıkıştırdığı için bir nevi zemin ıslah etme özelliğine de sahiptir.

2.3.2 Yerinde dökme kazıklar

Yerinde dökme kazıklar genellikle derin temeller, şev stabilite problemlerinde ve iksa uygulamalarında çevre zemini tutmak veya zemin taşıma kapasitesini arttırmak için uygulanır.

2.3.2.1 Fore kazıklar

Dairesel kesite sahip fore kazıklar imalatları, uygun makine ve ekipman kullanılarak delgi yapılması, yapılan delginin içersine kazık donatısının yerleştirilmesi ve devamında betonlamanın yapılması olarak özetlenebilir.

Fore kazıklar, zemin ve yer altı suyu durumuna göre, delgisi herhangi bir destek kullanılmadan, geçici kılıf borusu ve/veya kazı destek sıvısı kullanılarak teşkil edilmektedir. Fore kazık makinasına ait bir fotoğraf Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4: Fore kazık makinası (ZETAS)

2.3.2.2 Mini kazıklar

Mini kazıklar fore kazıklara göre küçük çaplı kazıklardır. Kesit alanlarının görece daha küçük olmasından dolayı düşük mertebelerdeki düşey ve yatay yükleri taşımak için teşkil edilmektedir.

Sert kaya tabakalarında tabanca, orta sert ve yumuşak tabakalarda burğu yardımıyla delgi yapılabilmesi, mini kazıkların fore kazıkların yerine tercih edilme sebeplerindendir.

2.3.2.3 Mikro kazıklar

Mikro kazıklar çapı 30cm'den küçük olan kazıklar olarak tanımlanmaktadır (Bruce vd, 1999). Genellikle yerinde dökme kazıklarda kazığa gelen yük betonarme elamanlar tarafından taşımakta ve kazığın daha fazla yük taşımasını sağlamak için kazığın kesit ve yüzey alanı arttırmak gerekmektedir. Mikro kazıkların çalışma prensibi, yerinde dökme diğer kazıkların tersine, kazığa gelen yükün büyük bölümü yüksek mukavemetli çelik donatı ile karşılanmaktadır. Özel delgi ekipmanları ve enjeksiyonlama yöntemleri sayesinde zemin/enjeksiyon arasındaki sürtünmelerin fazla olması sağlanabilmektedir. Küçük kesit alanından dolayı mikro kazıkların uç kapasiteleri genellikle ihmal edilmektedir.

Mikro kazıklar, komşu yapılara, zemine ve çevreye en az rahatsızlık verecek şekilde teşkil edilebilmektedir. Ayrıca mikro kazık imalatı sırasında ses ve titreşimlerin

görece olarak en az olmasından dolayı temelin alttan desteklenmesi durumlarında, özel delgi ekipmanları ile mevcut bodrum katlarında mikro kazık uygulamaları yapılabilmektedir (FHWA, 2000). Mikro kazıklar ile ilgili detaylı bilgiler Bölüm 3’te verilecektir.

2.3.3 Kazık taşıma gücü

Kazık taşıma kapasitesinin belirlenmesinde kazık uç ve çevresindeki sürtünme kapasiteleri dikkate alınır. Sağlam zemin tabakasına oturan birçok kazık, genellikle uç taşıma kapasitesi ile yüke karşı direnç gösterebilirken, zemin ve kazık yüzeyi arasındaki sürtünme direnci ile de dayanımın belirli bir yüzdesi karşılanabilmektedir. Kazıkların düşey taşıma kapasitelerinin tahmini, geoteknik mühendisliğin temel taşlarından biri olup, ilk araştırılan konuların başında yer almaktadır. Kazığın taşıma kapasitesine aşağıdaki formülde de gösterildiği gibi kazık çevresindeki çevre sürtünmesi (Q_s) ve kazığın ucundaki uç direncinin (Q_b) toplamı sonucu elde edilerek karar verilir. Formülde yer alan W_p ise kazığın kendi ağırlığıdır ve genellikle ihmal edilen bir değerdir.

$$Q_p = Q_s + Q_b - W_p \quad (2.1)$$

Kazık taşıma gücü hesaplarında kazık gövdesindeki çevre sürtünmesi (Q_s) için güvenlik katsayısı 1.5 olarak alınırken, kazığın sınır uç direnci (Q_b) için güvenlik katsayısı 3 olarak alınması uygundur. Ancak tüm bu katsayılar ile hesaplar yapılırken kazığın oturma miktarının kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması gerekmektedir; aksi halde güvenlik katsayılarının artırılması gerekir.

$$Q = Q_s / 1,5 + Q_b / 3 \quad (2.2)$$

2.3.3.1 Kaba daneli zeminlerdeki kazıklar

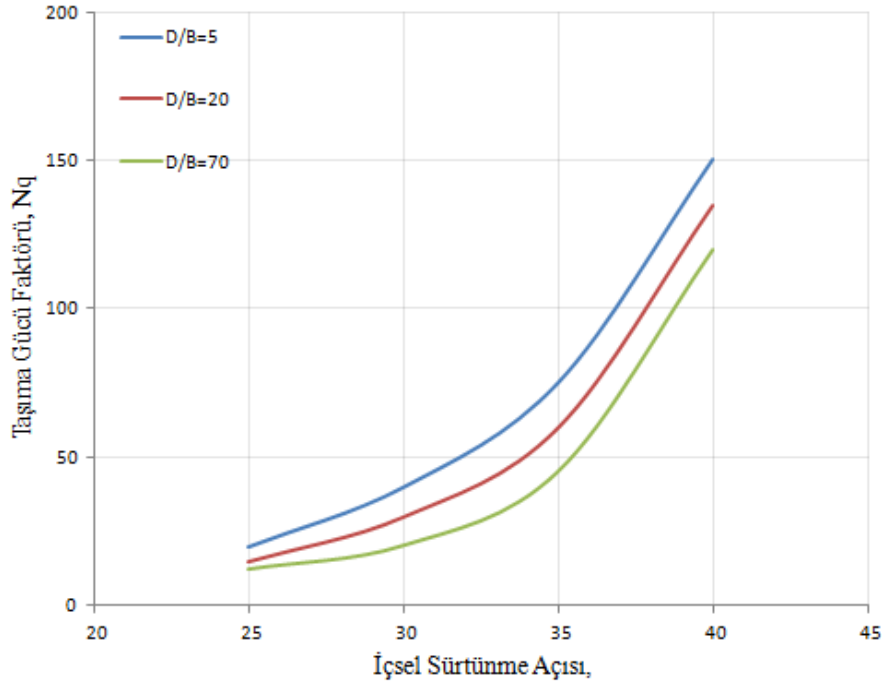
Kohezyonsuz zeminlerde kazık taşıma gücünü belirlemek için imalatı yapılacak olan kazığın tipi, kazık imalatının nasıl yapılacağı ve kullanılacak malzemelerin belirlenmiş olması gerekir.

Uç mukavemeti

Kohezyonsuz zeminlerde kazığın uç taşıma kapasitesi, kazık uç seviyesindeki efektif jeolojik yüke, kazık ucunun çapına bağlı kesit alanına ve kazık taşıma gücü faktörü, N_q değerine bağlıdır. Kazık uç kapasitesi aşağıdaki formüle göre hesaplanabilir.

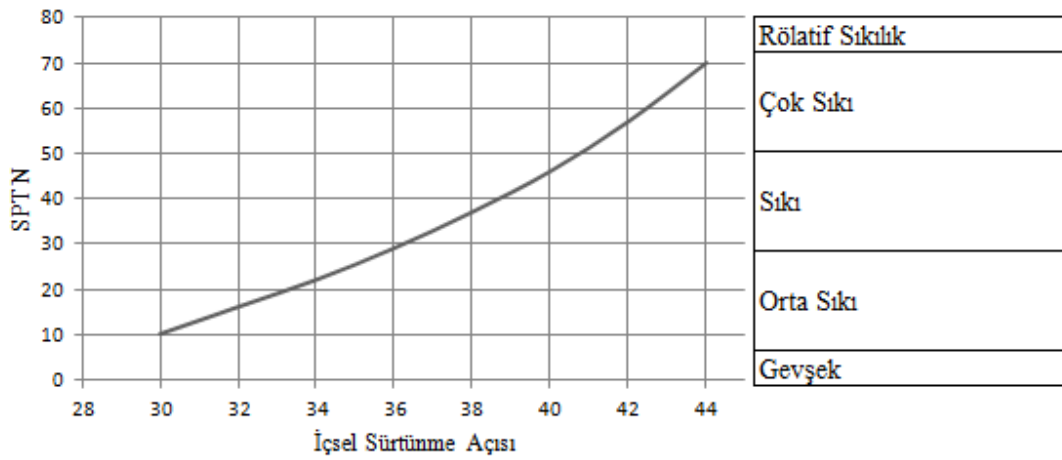
$$Q_b = q_b \times A_b = N_q \times \sigma'_{vo} \times A_b \quad (2.3)$$

Berezantsev tarafından önerilen taşıma gücü faktörünün içsel sürtünme açısına bağlı olarak değişimini gösteren grafik Şekil 2.5'te gösterilmiştir (Kumbasar ve Kip, 1999).

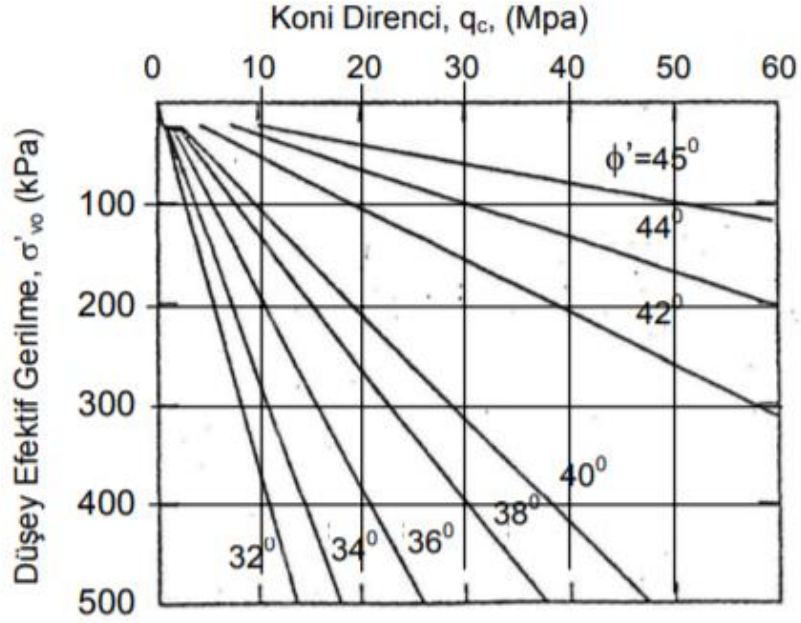


Şekil 2.5: Berezantsev tarafından önerilen N_q değerleri (Kumbasar ve Kip, 1999)

İçsel sürtünme açısının SPT değeri ile ilişkisi Şekil 2.6'da, CPT değeri ile ilişkisi Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.6: SPT değeri ile efektif içsel sürtünme açısı arasındaki ilişki (Peck vd., 1974)



Şekil 2.7: q_c , σ'_{vo} , ve ϕ' ilişkisi (Durgunoğlu ve Mitchell.,1974)

Çevre sürtünmesi

Kohezyonsuz zeminlerde kazığın çevre sürtünmesi, yatay zemin gerilmesine, kazık boyunca kazığa etkiyen ortalama jeolojik yüke, kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısına ve kazık gövdesinin yüzey alanına bağlı olup, aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

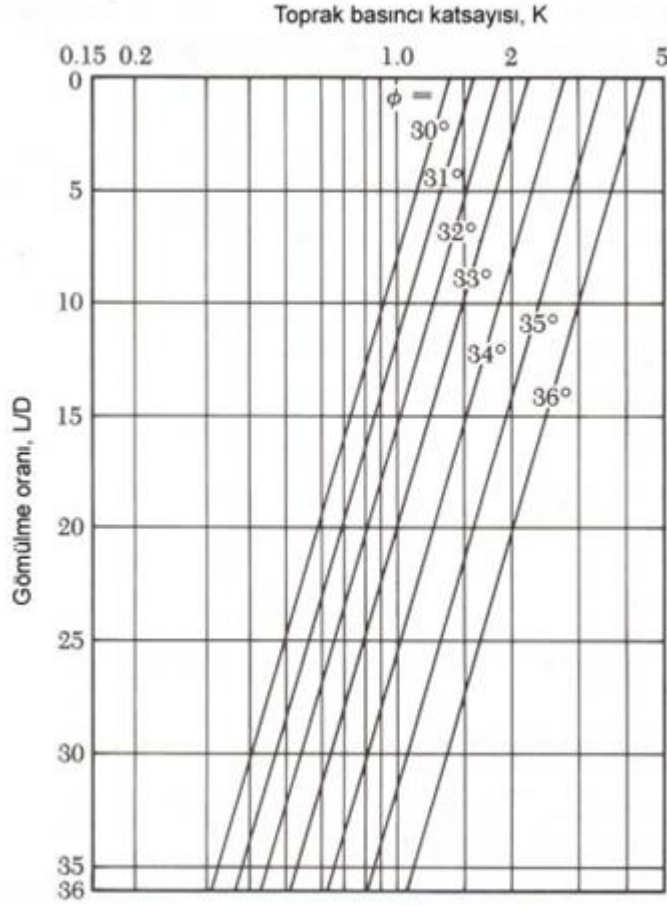
$$Q_s = q_s \times A_s = K_s \times \sigma'_{vo} \times \tan \delta \times A_s \quad (2.4)$$

Yatay zemin gerilmesi, Şekil 2.8'de gösterildiği gibi bulunabilir (Prekash ve Sharma, 1990).

Kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısı K_s , Toğrol ve Tan (2003) tarafından önerilen ve Çizelge 2.1'de gösterilen şekilde belirlenebilmektedir.

Çizelge 2.1: Kazık ve zemin arasındaki sürtünme değerleri (Toğrol ve Tan, 2003)

Kazık-Zemin Durumu	Kazık - Zemin Sürtünme Açısı, δ
Pürüzsüz ve Kaplanmış Çelik ve Kum	$0,50\phi - 0,70\phi$
Önceden Dökülmüş Beton ve Kum	$0,80\phi - 1,00\phi$
Yerinde Dökülmüş Beton ve Kum	$1,00\phi$
Ahşap ve Kum	$0,80\phi - 0,90\phi$



Şekil 2.8: K'nın L/D ile değişimi (Prekash ve Sharma, 1990)

2.3.3.2 İnce daneli zeminlerdeki kazıklar

Uç mukavemeti

Kohezyonsuz zeminlerde kazığın uç kapasitesi, kazığın ucundaki drenajsız kohezyona, kazık ucundaki çapa bağlı kesit alanına ve kazık taşıma gücü katsayısına bağlı olup aşağıdaki formüldeki gibi hesaplanabilir.

$$Q_b = q_b \times A_s = N_c \times c_u \times A_b \quad (2.5)$$

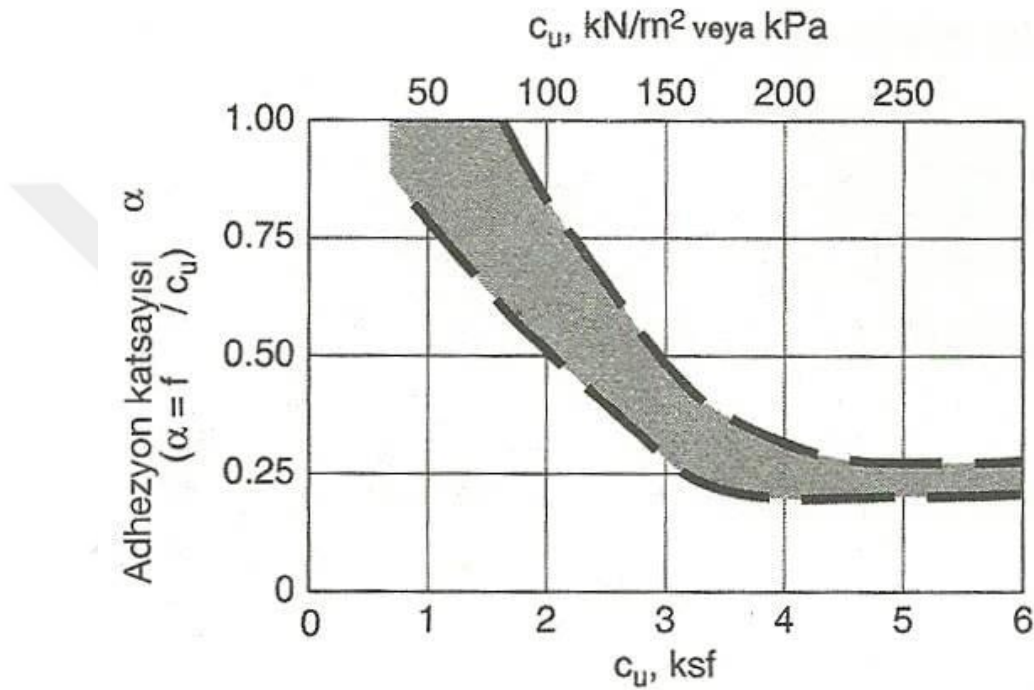
Tomlinson (2001), kazık ucunun taşıyıcı zeminler içerisine en az 5D kadar soketlenmesi halinde N_c 'nin 9, katı ve fisürlü killerde drenajsız kohezyon değeri için fisürlü durumdaki kohezyonun dikkate alınabileceğini belirtmiştir. Ayrıca Eurocode 7 (2004)'de fisürlü killer için drenajsız kayma mukavemetinin 1,50 – 1,80 arasında bir katsayıya bölünmesi önerilmiştir.

Çevre sürtünmesi

Kohezyonlu zeminlerde kazığın çevre sürtünmesi, kazık boyunca zemin tabakasının ortalama drenajsız kayma mukavemetine, kazık gövdesinin yüzey alanına ve adhezyon faktörüne bağlı olup aşağıdaki formül ile hesaplanabilir.

$$Q_s = q_s \times A_s = \alpha \times c'_{u,ave} \times A_s \quad (2.6)$$

McCarthy (2014), drenajsız kayma mukavemetine bağlı olarak adhezyon faktörünün değişimi Şekil 2.9'da belirtilmiştir.



Şekil 2.9: Adezyon faktörü tasarım eğrileri (McCarthy, 2014)

2.3.3.3 Kayaya soketli kazıklar

Kazıkların taşıma kapasitesi kazığın çevresinde oluşan sürtünme ile kazık ucundan aldığı mukavemetin toplamıdır. Hatipoğlu (2002) soketli kazıkların tasarımında uç mukavemetinin mobilize olduğu durum, çevre sürtünmesinin mobilize olduğu durum, hem uç mukavemeti hem çevre sürtünmesinin mobilize olduğu durumun oluşabileceğinin dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir.

Kazıklar basınç etkisinde çalışabilirken çekme etkisinde de çalışabilirler. Basınç etkisindeki kazıkların kapasitesi hem uç mukavemetinden dolayı hem de çevre sürtünmesinden oluşurken, çekme etkisindeki kazıklarda uç mukavemetinin dikkate alınmayacağı unutulmamalıdır.

Uç mukavemeti

Pells ve Turner'in sunduğu kayalarda uç mukavemeti ile ilgili çeşitli teorilerde azımsanamayacak farklılıklar bulunduğu belirtilmiştir (Hatipoğlu, 2002). Kaya tabakalarındaki uç mukavemeti ile ilgili bağıntılar genellikle kaya tabakasının serbest basınç mukavemeti ile hesaplanmaktadır. Çizelge 2.2'de çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen taşıma gücü önerileri gösterilmiştir.

Çizelge 2.2: Zhang ve Einstein tarafından özetlenen değerler (Hatipoğlu, 2002)

Nihai Taşıma Gücü	Yazar
$(5\sim 8)q_u$	Teng, 1962
$3q_u$	Coates, 1967
$2,70q_u$	Rowe ve Armitage, 1987
$4,50q_u \leq 10 \text{ MPa}$	ARGEMA, 1992

Çevre Sürtünmesi

Kazık ile kaya arasındaki sürtünmenin hesaplanmasına yönelik ayrılmış kayalarda yapılabilen standart penetrasyon deneyi (N), tek eksenli basınç mukavemeti (σ_k), kaya kalite göstergesi (RQD), kaya kütlelerinin elastite modülü (E_y), kazık yiv yüksekliği (h'), kazık çapı (D), poisson oranı (ν) ve kullanılan kazı sıvısı gibi parametrelere bağlı birçok hesap yöntemi yer almaktadır (Arioğlu vd, 2007).

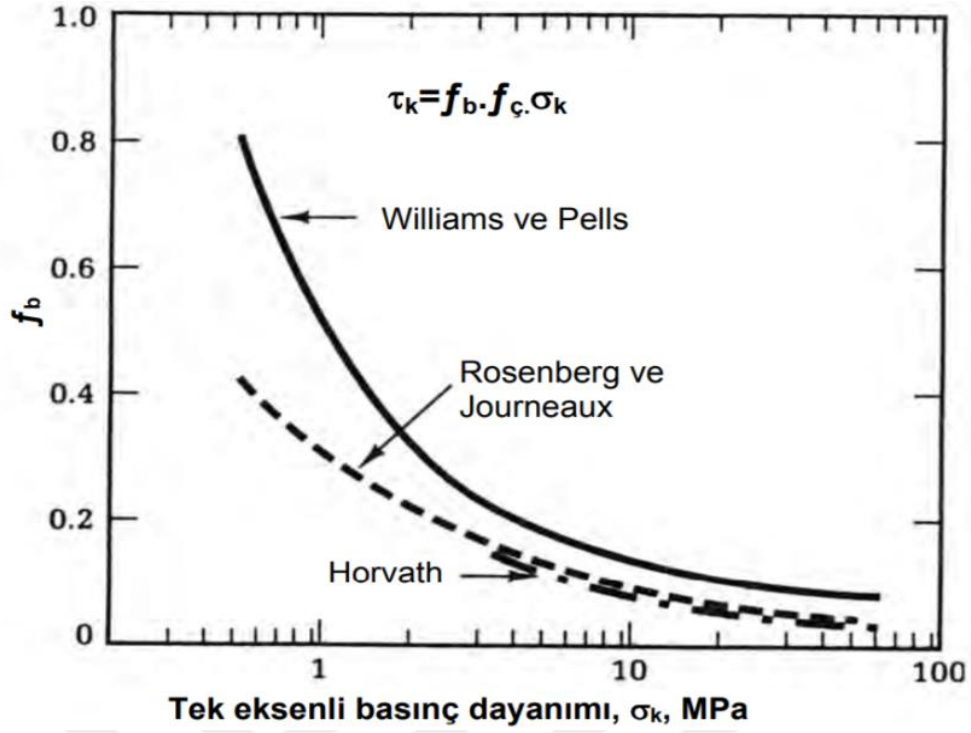
Bu parametrelerin başında gelen tek eksenli basınç mukavemetine (σ_k) bağlı kaya sürtünmesinin hesabı aşağıda belirtilen amprik yaklaşım ile belirlenebilmektedir.

$$f_s = \alpha * \sigma_k^\beta \quad (2.7)$$

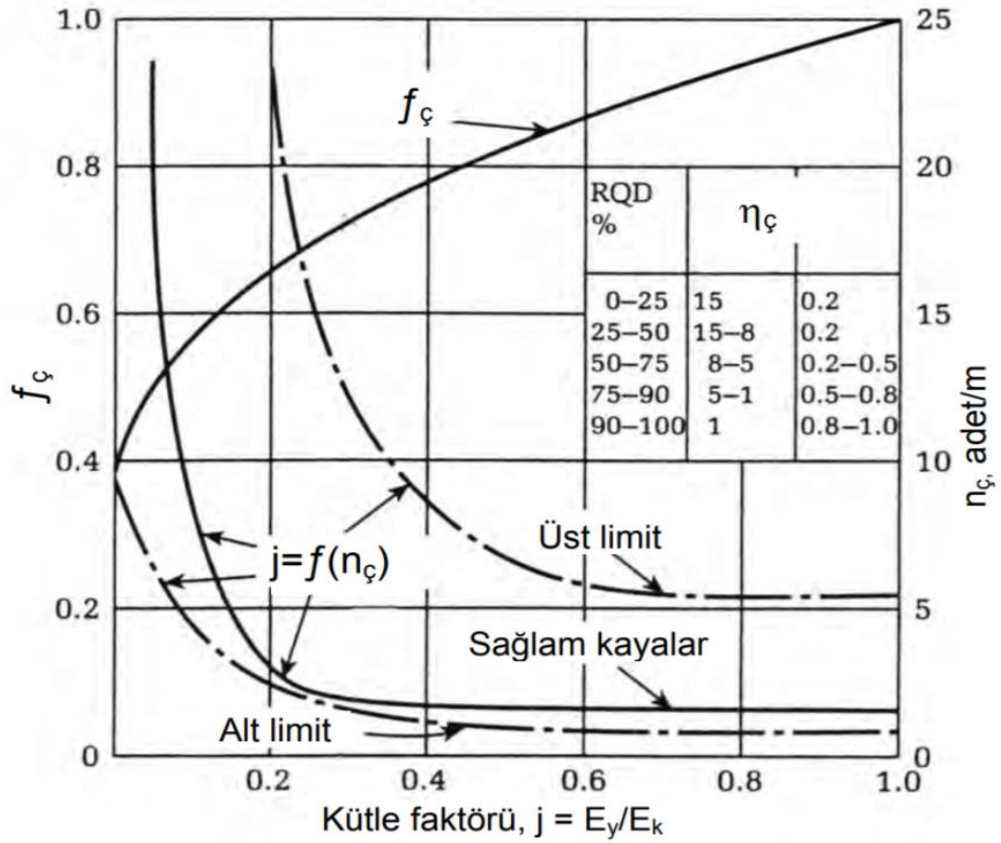
Kazık sürtünme kapasitesi hesaplarında kaya süreksizliği ve kaya kalite göstergesine (RQD) bağlı olarak aşağıdaki formüldeki gibi de hesaplanabilir. Formüldeki f_b kayanın tek eksenli basınç dayanımına, f_σ kayanın kalite göstergesine bağlı katsayılar olup bu değerlerin hesaplanması Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de gösterilmiştir.

$$f_s = f_b * f_\sigma * \sigma_k \quad (\text{Williams ve Diğerleri, 1980}) \quad (2.8)$$

Literatürde verilen kayadaki çevre sürtünmesi korelasyonları Hatipoğlu (2002) tarafından Çizelge 2.3'teki gibi özetlemiştir.



Şekil 2.10: f_b 'nin σ_k ile değişim grafiği (Arioğlu, vd, 2007)



Şekil 2.11: RQD'ye (n_c) bağlı olarak E_y/E_k tayini ve E_y/E_k 'ye bağlı olarak f_c 'nin belirlenmesi (Arioğlu, vd, 2007)

Çizelge 2.3: Çevre sürtünmesi korelasyonlarının özet tablosu (Hatipoğlu, 2002)

f_{su} : nihai birim çevresürtünmesi	Kaynak
$f_s = a \sqrt{q_u} \Rightarrow a = 0,2 \sim 0,33$	Horvath ve Kenney, 1979
$f_{su} = 0,22 q_u^{0,6}$	Meigh ve Wolski, 1979
$f_{su} = 0,3 q_u$	Reynolds ve Kaderbeck, 1980
$f_{su} = \alpha \beta q_u$	Williams ve diğ., 1980
$f_{su} = 0,2 q_u$	Gupton ve Logan, 1984
$f_{su} = 0,958 N$ (kPa) $f_s = 95,8(-5,54 + 0,41 N)$ (kPa)	Croops, 1986
$f_{su} = 0,25 q_u$	Toh ve diğ., 1989
$f_{su} = \psi \sqrt{\frac{p_a \cdot q_u}{2}} \Rightarrow \psi = 1 \sim 3, p = 100 \text{ kPa}$	Kulhawy ve Phoon, 1993
$f_{su} = 0,5 \sqrt{q_u} \sqrt{q_t}$	McVay ve diğ., 1992

Bu bölümde derin kazı ve temel çeşitlerinden bahsedilmiş, kazıklı temellerde kullanılan fore kazıklara yönelik taşıma gücü hesapları anlatılmıştır. Kazıkların bulunduğu tabakalara göre kapasite hesapları kazığın bulunduğu zemin veya kaya tabakalarına göre ayrı ayrı anlatılmıştır. En son olarak vaka analizinde kullanılan kayanın tek eksenli basınç dayanımından elde edilecek sürtünme değerleri ile hesapları gösterilmiştir. Bundan sonraki bölümde vaka analizinde hesapları yapıлып uygulaması teşkil edilen mikro kazıklar detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

3. MİKRO KAZIKLAR

FHWA (2010)'da belirtildiği gibi mikro kazıklar çapı 30cm'den küçük olan kazıklar olarak tanımlanmaktadır. Mikro kazıklar genel olarak donatı ve enjeksiyon (proje koşullarına göre beton) olmak üzere iki elemandan oluşur. Mikro kazık, delgi ekipmanı ile delginin yapılması, delgi içerisine donatının yerleştirilmesi ve enjeksiyonlanması sırası ile imal edilir.

Mikro kazık delgi yöntemi, genellikle uygulayıcı firma tarafından proje zemin koşulları dikkate alınarak belirlenmelidir. Delgi yöntemi seçilirken komşu yapılara ve çevreye zarar verici yöntemlerden uzak durulmalıdır. Yer altı suyunun yüksek olduğu yerlerde delgi boyu arttıkça zemindeki ince daneli malzemelerin delgi içine akabileceği dikkate alınmalıdır.

Delginin tamamlanması, donatının yerleştirilmesi ve enjeksiyonlamanın yapılması arasında geçen süreler zemin ve proje koşulları dikkate alınarak önem verilmelidir. Bu bölümde mikro kazıklar ile ilgili bilgiler detaylı olarak anlatılacaktır.

3.1 Mikro Kazık Delgi Ekipmanı

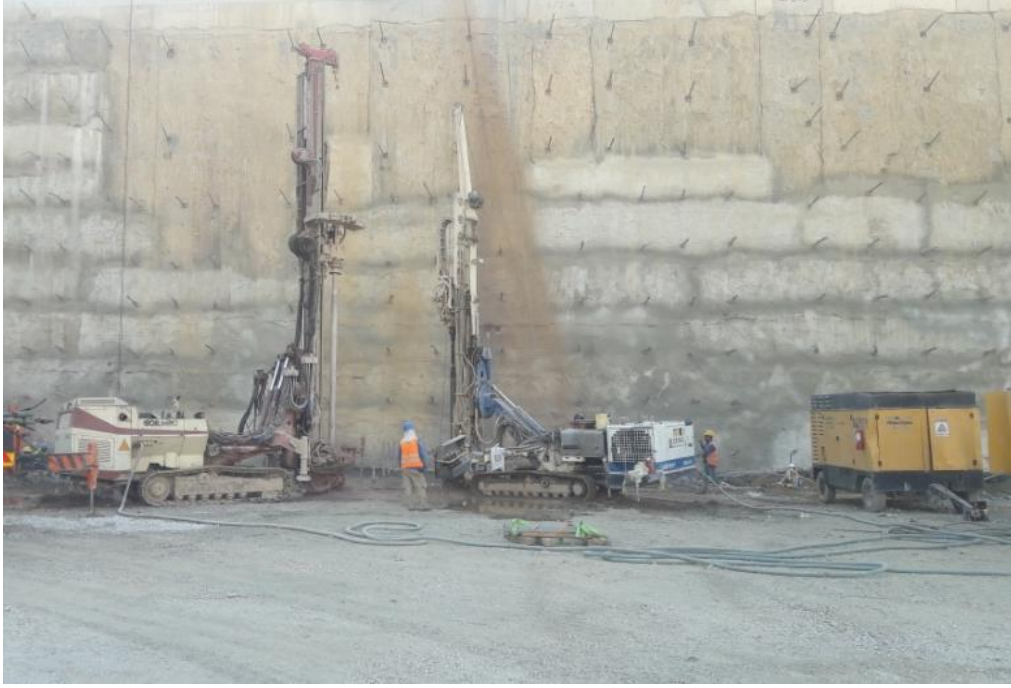
Mikro kazık delgilerinde delgi ekipmanı olarak genellikle hidrolik rotari veya tabanca kullanılmaktadır. Büyük delgi makinaları ile boş delgili veya görece daha uzun delgi yapılabilir. Küçük delgi makinaları ise genellikle kat yüksekliğinin az olduğu bodrum katlarında yapılacak delgiler veya kazı derinliğinin yüksek olduğu projelerde tercih edilmektedir. Uygulama esnasında çekilmiş mikro kazık makinasına ait bir fotoğraf Şekil 3.1'de verilmiştir.

3.2 Mikro Kazık Delgi Yöntemleri

Mikro kazık delgisi genellikle zayıf tabakaların altında bulunan görece daha sağlam tabakalara kadar yapılır. Kaya ve kohezyonlu zeminler de yapılamayan delgilerde geçici muhafaza borusu veya kazı destek sıvısı kullanılması gerekebilirken kaya ve

kohezyonlu zeminlerde delgi muhafaza borusu veya kazı destek sıvısız yapılabilir.

Mevcut yapıların altında yapılacak mikro kazık delgilerinde temelde delgi çapından büyük çapta karot alınarak delgi makinasına kılavuz edecek delik açılır ve delgiler bu kılavuz yardımı ile yapılır. Bazı durumlarda ise darbe(percussion) tekniği ile mevcut temel veya yapı penetre edilerek delgi yapılır.



Şekil 3.1: Mikro kazık makinası

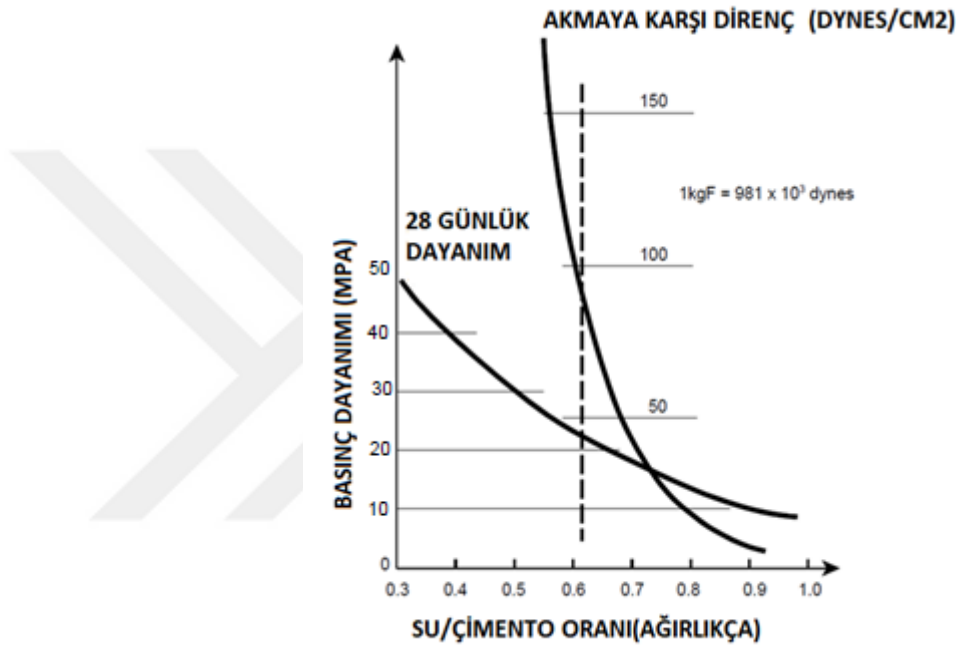
3.3 Enjeksiyonlama

Mikro kazık enjeksiyonu, donatı ile delgiyi çevreleyen zemin arasındaki yük aktarımını sağlarken aynı zamanda mikro kazık taşıma kapasitesinin artmasına yardımcı olur.

Mikro kazık enjeksiyonu ile ilgili özellikler FHWA (2000)'de aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Enjeksiyon yüksek mukavemete ve stabiliteye sahip iken aynı zamanda akışkan olmalıdır. Şekil 3.2'de gösterildiği gibi kullanılacak enjeksiyondaki su/çimento oranının 0.40 ile 0.50 arasında olması önerilmektedir.
- Enjeksiyon, donatıda oluşabilecek korozyonu önlemek için içilebilir su ile üretilmelidir.

- Genellikle tip I/II çimento (ASTM C150, 2007 ve AASHTO M85, 2018) kullanılmaktadır.
- Su/çimento karışımlarına katkı maddesi olarak kum eklenebilirken enjeksiyonun akışkanlığını arttırmak için kimyasal katkıları da kullanılabilmektedir.
- Temiz bir çimento enjeksiyonu 28-35 MPa basınç dayanımlarına ulaşılabilir.



Şekil 3.2: Su/çimento oranının enjeksiyon taşıma kapasitesi etkisi (Barley ve Woodward, 1992)

Enjeksiyon ekipmanı

Jet grout ve öngermeli ankraj işlerinde olduğu gibi herhangi çimento su karışımının yapılabileceği ekipman mikro kazık enjeksiyonlama işlerinde de kullanılabilmektedir. Karıştırıcı ekipman elektrik, hava veya motorin ile çalışabilmektedir

Düşük basınçlı enjeksiyon işleri için sabit basınçlı enjeksiyon makinaları kullanılabılırken, yüksek basınçlı enjeksiyonlama işleri için ayarlanabilir basınçlı enjeksiyon makinaları kullanılabilmektedir (FHWA, 2000).

Enjeksiyon karışımı

Enjeksiyon karışımı genellikle ilk eklenen su hacmine göre çimento ve ardından agrega ve katkı maddelerinin karıştırılması ile elde edilir.

Enjeksiyonun düşük çimento/su oranı ile karıştırılması enjeksiyonun akıcılığını arttırılması için tercih edilebilmektedir (Marques vd, 2014).

FHWA (2000)'de belirtildiği üzere enjeksiyonlama yöntemleri üç sınıfa ayrılır.

3.3.1 Basınçsız enjeksiyonlama

Delgisi yapılan ve donatısı yerleştirilen mikro kazık delgisine, mikro kazığa bağlanan PVC borular ile enjeksiyonlama yapılır, enjeksiyonlama için ilave bir basınç uygulanmaz.

Bu yöntem ile yapılan enjeksiyonlama işlerinde su/çimento oranı 0.40 ile 0.50 arasında değişmektedir.

Günümüzde basınçsız (yer çekimi ile) enjeksiyonlama basınçlı enjeksiyon gerekmeyen kayaya veya çok katı, kohezyonlu tabakalarda tercih edilmektedir (Bruce ve Gemme, 1992).

3.3.2 Geçici muhafaza borusu ile enjeksiyonlama

Muhafaza borusu sürülerek ilk enjeksiyonlamanın yapılmasından ardından mikro kazık delgisine delgi içerisine yerleştirilen borular yardımı ile basınçlı enjeksiyon verilir. Bu şekilde enjeksiyonlama yapılmasının amacı zemin/enjeksiyon arasındaki birleşimin/sürtünmenin artması sağlamaktır.

Enjeksiyon basınç pompası ile enjeksiyon yapılacak nokta arasındaki mesafe pompa ve enjeksiyon noktası arasındaki basınç kayıplarını önlemek için mümkün olduğunca birbirine yakın olmalıdır.

Efektif enjeksiyon basıncı zeminin enjeksiyonlabilirliği, istenilen zemin/enjeksiyon sürtünme kapasitesi ve mikro kazık boyu gibi faktörlere bağlıdır:

Kohezyonsuz zeminlerde basınçlı enjeksiyonlama yapılması mevcut zemini bir yandan da sıkıştırarak iyileştirip zemin/enjeksiyon arasındaki sürtünmeyi arttırır iken kohezyonsuz zeminlerde kohezyonlu zeminlerdeki gibi bir iyileştirme ihmal edilebilecek seviyededir. Yatay deplasmanların engellenmesi, lokal iyileştirme

yapabilmesi basınçlı enjeksiyonlama yapılmasının kohezyonlu zeminlerde de kullanılmasının avantajlarındandır.

Enjeksiyon basıncı mikro kazık kuyusu etrafında zeminin tekrar sıkışmasını sağlar ve istenilen mikro kazık çapına ulaşılmasına da etki eder. Bu sayede zemin/enjeksiyon adheransı artmış olur.

3.3.3 Önenjeksiyonlama (Postgrouting)

Mikro kazıklarda, zeminin üst tabakalarında daha iyi sürtünme gerilmeleri elde edebilmek için basınçlı enjeksiyon uygulanabilmektedir (Choi vd, 2010). Geçici muhafaza borusu ile enjeksiyonlama yönteminde muhafaza borusunun çekilmesi sırasında enjeksiyon basıncında kayıplar meydana gelebilmekte ve bu yöntemde enjeksiyonun basıncından tam anlamıyla verim alınamamaktadır. Bu sebeple yeni bir enjeksiyonlama yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemde enjeksiyon işinden önce kazık içerisine tüp yerleştirilir. Bu şekilde ilk enjeksiyonlaması yapılan mikro kazıklar, yerleştirilen tüpler ile ikinci bir enjeksiyonlamanın yapılabilmesine olanak sağlar. İkinci yapılan enjeksiyonda temiz çimento-su karışımı ağırlıkça 0.50 – 0.75 arasında değişmektedir. Bu sebeple ikinci yapılan enjeksiyon daha az su içerdiği için daha yüksek mukavemete sahiptir.

Tez kapsamında incelenen vaka analizinde bu yöntem ile enjeksiyonlama yapılmıştır.

3.4 Mikro Kazık Donatısı

Mikro kazık donatıları enjeksiyonlamadan önce yerleştirilebildiği gibi, enjeksiyonlama yapıldıktan sonra da yerleştirilebilir. Aynı zamanda donatı, koruge borular ile çevrelenerek önceden iç enjeksiyonu yapılp, delgi içerisine yerleştirildikten sonra ikinci bir enjeksiyonlama da yapılabilir.

3.4.1 Standart donatı

Mikro kazık donatısı olarak inşaat demirleri tercih edilebilmektedir. Bu inşaat demirleri delgiye tekil olarak yerleştirilebileceği gibi çoklu olarak ayırıcılar kullanılarak da yerleştirilebilir (FHWA, 2000). Mikro kazık çapının görece çok küçük olması sebebi ile inşaat demirlerinin kafes halinde delgi içerisine yerleştirilebilmesi oldukça zordur. Bu nedenle, mikro kazık imalatlarında inşaat

demirinin tek donatı olarak kullanılması tercih edilirken, çoklu olarak yerleştirilmesi tercih edilmemektedir.

3.4.2 Yüksek mukavemetli donatı

Mikro kazık donatısı olarak inşaat demirlerinin mukavemetinin yeterli olmaması durumlarında yüksek mukavemetli donatılar tercih edilmektedir.

Bu donatılar mikro kazık boyuna göre tam boy olarak kullanılabilir iken görece uzun boy olması durumunda manşon kullanarak istenilen boylarda da kullanılabilir.

ASTM A615 (2015) ve AASHTO M 31 (2017)'e uygun olan ve çapları 19mm ile 63mm arasında değişen donatıların akma dayanımları 420, 520 ve 550 MPa'dır. ASTM A722 (2015) ve AASHTO M275 (2008)'e uygun olan ve çapları 26mm, 32mm, 36mm ve 47mm olan donatıların akma dayanımları 1035 MPa'dır.

Tez kapsamında incelenen vaka analizinde, mikro kazık donatısı olarak yüksek mukavemetli donatılar kullanılmıştır.

3.4.3 Çelik boru

Mikro kazıklar, proje koşullarına göre görece yüksek düşey ve yanal yükleri karşılayabilmesi için mikro kazık donatısı olarak çelik borular tercih edilebilmektedir. Bu borular aynı zamanda muhafaza borusu olarak da kullanılabilir.

Bu donatı çeşidi, mikro kazık imalatının proje kapsamında tek uygulanabilen yöntem olduğu durumlarda kullanılmadır.

3.4.4 Donatının korozyon koruması

Geleneksel kalıcı çekme kazıklarında donatılarda korozyon koruması paspayları ile sağlanmaktadır.

Çift korozyon korumalı yüksek mukavemetli tek donatı ile imal edilen mikro kazıklar, betonda çatlak genişliğinin minimumda tutulması gereken fore kazıklara göre daha efektif çelik kullanımına olanak sağlamaktadır.

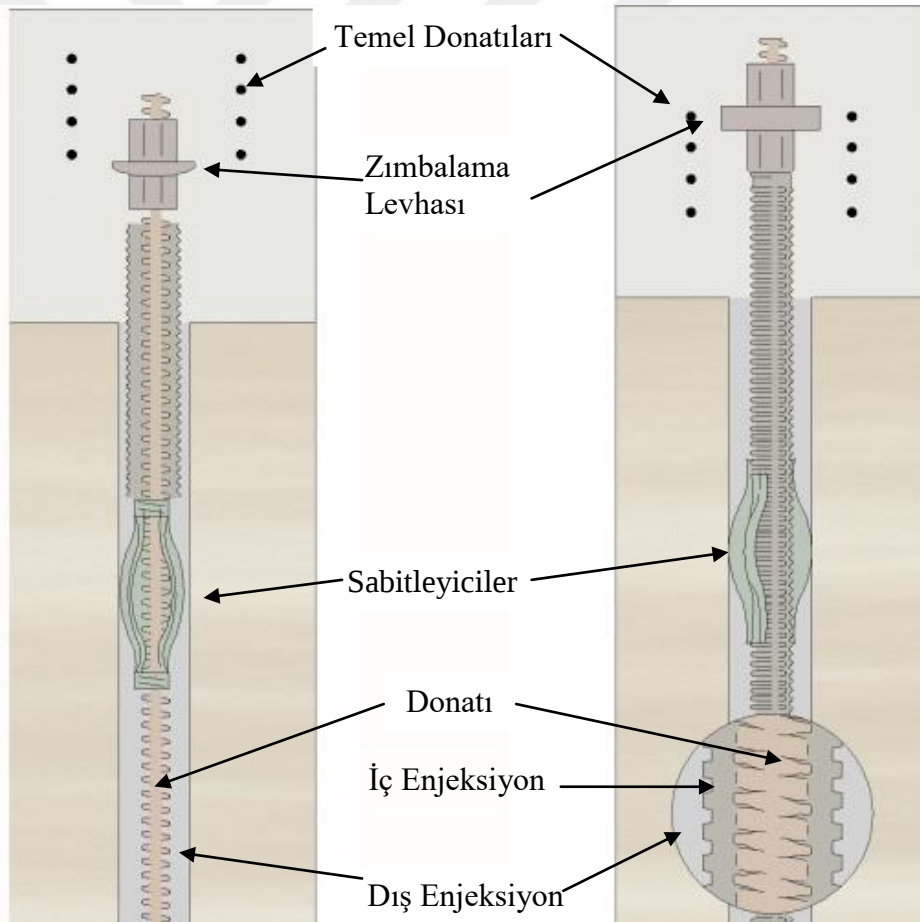
Donatılara çeşitli seviyelerde uygulanan korozyon koruma yöntemleri aşağıda sıralanmıştır.

- Enjeksiyon ile donatı arasındaki koruma

Donatı boyunca donatılara yerleştirilen merkezleyiciler sayesinde donatı kohezyondan korunur. Uluslararası standartlara göre minimum paspayı 20- 30 mm arasında değişmektedir.

- Koruyucular ile donatının korunması

Kazık boyunca bir önceki yöntemle korozyon korumasının sağlanamadığı durumlarda enjeksiyonda çekme çatlakları oluşabilmektedir. Bu durumlarda donatının içi ve dışı enjeksiyonlu şekilde çift korozyon koruması yapılan donatılar tercih edilmektedir. Çekme mikro kazıklarında genellikle çift korozyon koruma detayının kolay kullanılabilirliği, mikro kazıkları bu tarz uygulamalarda tercih edilebilir kılmıştır. Şekil 3.3'te iç enjeksiyonsuz ve iç enjeksiyonlu tipik donatı kesitleri gösterilmiştir.



Şekil 3.3: İç enjeksiyonsuz ve iç enjeksiyonlu donatı kesitleri (FHWA, 2000)

3.5 Mikro Kazık İmalatı

3.5.1 Mikro kazık imalatı öncesi yapılan çalışmalar

Mikro kazık tasarımında en önemli parametre, mikro kazığın teşkil edileceği zemin veya kaya tabakalarıdır. Kazık çapının küçük olmasından dolayı zeminden elde edilecek sürtünme mikro kazıklarda genellikle ihmal edilir. İmalatlar öncesinde sahada yapılan zemin etüt çalışmaları uygulama yönteminin belirlenmesi için önemlidir.

Mikro kazık imalatı öncesinde yapılan zemin etüt çalışmalarından elde edilen veriler kullanılacak makine ve ekipmanlar için de önem teşkil etmektedir. Kayanın sert olması durumunda tabanca yardımı, nispeten daha az dayanımlı olması durumunda burgu takımlar ile delgi yapılabilir.

3.5.2 Mikro kazık imalatı aşamaları

Mikro kazık imalat aşamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Mikro kazık koordinatının belirlenmesi
- Mikro kazık delgi makinasının konumlandırılması
- Mikro kazık delgisi
- Mikro kazık donatısının hazırlanması (iç enjeksiyon yapılacak ise donatının iç enjeksiyonun yapılması)
- Mikro kazık donatısının delgiye yerleştirilmesi
- Dış enjeksiyonun hazırlanması
- Dış enjeksiyonun yapılması
- Mikro kazık ile temel arasındaki bağlantının sağlanması için çelik plakaların yerleştirilmesi

Mikro kazık donatısının, mikro kazık delgisi içerisine düzgün bir şekilde yerleştirilmesi için belirli aralıklarla sabitleyiciler kullanılmaktadır. Bu sayede, mikro kazığın dışının enjeksiyonlanması esnasında düzgün bir enjeksiyonlama yapılması sağlanır. Mikro kazık donatısı birden fazla parça halinde delgi içerisine yerleştirilecek ise donatılar manşon ile birbirine bağlanır. Bu bağlantı yerlerinde izolasyon açısından anormallik oluşmaması için manşonun çevresi izolasyon sıvıları ile kaplanır.

3.5.3 Mikro kazık noktasının belirlenmesi ve makinanın konumlandırılması

Mikro kazık imalatında ilk önce mikro kazık noktası belirlenir ve bu nokta TS 14199 (2015) 'a göre en fazla 10cm sapabilir.

Mikro kazık donatısının çalışacağı platform, delgi öncesi delgiyi olumsuz etkileyecek her türlü engelden temizlenmiş bir şekilde hazırlanmalıdır. Çalışma platformlarının düzgün hazırlanmadığı durumlarda mikro kazık makinası platform içerisinde batabilir veya öngörülemeyen eğimlerden dolayı delgi açısında sapmalar görülebilir. Eğer mikro kazık eğik olarak teşkil edilmeyecek ise mikro kazık delgi ekipmanının dikeyliliğinden emin olunduktan sonra delgiye başlanır. TS 14199 (2015)'da delginin dikeyliliği ile ilgili toleranslar aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

- Dikey mikro kazıklar için delgi boyunun maksimum %2'si
- Eğik mikro kazıklar için $n \geq 4$ için delgi boyunun maksimum 4%'ü
- Eğik mikro kazıklar için $n < 4$ için delgi boyunun maksimum %6'sı,
- Eğik mikro kazıkların açısındaki maksimum sapma 1/150 radyan

Mikro kazık eğimini gösteren n değeri aşağıda Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4: Mikro kazık eğimi

3.5.4 Mikro kazık delgisi

Mikro kazık delgisi, mikro kazık projesine göre uygun yöntemler ile teşkil edilmelidir. Mikro kazık delgi yönteminin belirlenmesindeki en önemli veri delgi yapılacak olan kayanın özellikleridir. Delgi için kayanın sertliğine göre tabanca veya burgu ekipmanları kullanılabilir.

Tabanca ekipmanı ile sert kayalarda delgi daha hızlı bir şekilde teşkil edilebilmektedir. Burgu yöntemi ile nispeten yumuşak olan kayalarda tabanca

yöntemine göre mikro kazık delgisinde daha hızlı ilerleme sağlanmaktadır. Delgi sırasında kaya tabakalarının çok ayrılmış olması delgide boşlukların oluşmasına sebep olabilir. Bu durumda muhafaza borusu veya destek sıvısı yardımıyla delgi yapılması daha doğru olacaktır.

Mikro kazık delgi çeperinin stabil olmadığı durumlarda en çok tercih edilen yöntem muhafaza borusu ile delgi stabilitesinin sağlanmasıdır. Böylece muhafaza borusu delgisi sırasında herhangi bir şekilde yıkıntıya izin vermeyerek, mikro kazık imalatının sorunsuz bir şekilde tamamlanmasına olanak sağlamaktadır.

Mikro kazık delgisi sırasında delgi çeperinin stabil olmadığı durumlarda alınacak bir diğer önlem ise delgiyi destek sıvısı olarak enjeksiyon ile yapmak olacaktır. Mikro kazık delgisi esnasında enjeksiyon ile delgi yapmak aynı zamanda kaya tabakalarında bulunan boşlukların da doldurulmasını sağlayacaktır. Mikro kazık delgisi yapılırken kullanılacak enjeksiyonun yoğunluğu kayanın türüne ve kayada bulunan boşluk oranına göre değişiklik gösterebilmektedir.

3.5.5 Mikro kazık donatısı ve donatının delgi içerisine yerleştirilmesi

Mikro kazıklarda kullanılacak olan donatılar ASTM A615 (2015) ve AASHTO M31 (2017)'e uygun olmalıdır. Mikro kazık donatısı projede belirlenen çapta ve dayanımda olmalıdır. Mikro kazık donatısının, mikro kazık delgisi içerisine düzgün bir şekilde yerleştirilmesi için belirli aralıklarla sabitleyiciler kullanılmalıdır.

Mikro kazık donatısı iç enjeksiyonu yapılmış bir şekilde kullanılacak ise delgiye yerleştirilmeden önce enjeksiyonun priz alma süresi dikkate alınarak donatının iç enjeksiyonu yapılmalıdır.

Mikro kazık delgisi tamamlandıktan sonra delginin temizliği kontrol edilmelidir. Mikro kazık delgisinin temizliği donatı yerleştirilmeden önce bir prob yardımı ile kontrol edilebilir. Delginin temizliği kontrol edildikten sonra mikro kazık donatısı proje boyuna uygun ve donatı sabitleyicileri zarar görmeyecek şekilde delgiye yerleştirilir. Sabitleyicilerin donatı yerleştirilirken zarar görmesi mikro kazığın korozyon korumasını ve taşıma kapasitesini olumsuz yönde etkileyebilecektir. Eğer mikro kazık donatısı iç enjeksiyonlu olarak imal edildiyse iç enjeksiyonu dışarıdan saran koruge borunun zarar görmemesine de dikkat edilmelidir. Koruge borunun zarar görmesi mikro kazığın korozyon korumasını olumsuz etkileyecektir.

Mikro kazık donatısı yerleştirilirken mikro kazık delgisinde bir yıkıntı olması durumunda mikro kazık donatısı çıkarılmalı, delgi temizlenmelidir.

3.5.6 Dış enjeksiyonun hazırlanması ve dış enjeksiyonun yapılması

Mikro kazık dış enjeksiyonu, mikro kazık donatısının çevresindeki kaya ile adhezyonunu sağlar. Mikro kazığın taşıma kapasitesi, kazığı çevreleyen dış enjeksiyonun kalitesine ve uniformluğuna göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu açıdan hazırlanan enjeksiyonun düzgün bir şekilde hazırlanması gerekmektedir.

Dış enjeksiyon, mikro kazık donatısını Bölüm 3.4.4'te anlatıldığı gibi korozyondan koruyacak nitelikte olmalıdır. Mikro kazık donatısının korozyondan etkilenmesi durumunda donatının servis ömrü azalabilecektir. FHWA (2000)'de, hazırlanan enjeksiyonun 1 saat içerisinde delgi içerisine yerleştirilmesi önerilir. Bu sürenin aşılması durumunda mikro kazık delgisinde yıkıntılar meydana gelebilecek, mikro kazık öngörüldüğü gibi enjeksiyonlanamayacak olup böylece hedeflenen mikro kazık kapasitesine ulaşamayabilecektir.

Fore kazıklarda uygulanan “tremie yöntemi” ile yapılan betonlama gibi enjeksiyonun delgi dibinde toplanan malzemeyi delgi enjeksiyonlandıkça yukarı çıkmasını sağlaması için enjeksiyonlama delgi ucundan başlanılarak yapılır.

Mikro kazık enjeksiyonun 28 günlük basınç dayanımı minimum 28 MPa, enjeksiyonun su/çimento oranı 0.40-0.50 arasında olmalıdır (FHWA, 2000).

Mikro kazık enjeksiyonun içinde bulunan sülfat ve klor gibi malzemeler, enjeksiyonda deformasyonlara ve sonucunda donatının korozyona maruz kalmasına sebep olabilecektir. Hazırlanan enjeksiyonun TS 206 (2013)'e göre tasarlanması önem teşkil etmektedir.

3.6 Mikro Kazık Tasarımı

Bu bölümde vaka analizinde yapılan kazık tasarım yöntemleri anlatılmıştır. Mikro kazık tasarımında, kazığın taşıma kapasitesi diğer kazık tiplerinde olduğu gibi kazığın ucu ve çevresinde oluşacak gerilmeler ile hesaplanır ancak mikro kazık çapı görece daha küçük olduğu için kazığın uç kapasitesi ihmal edilmektedir. Zemin ve kaya tabakalarında kazık kapasitelerinin hesaplanması Bölüm 2.3.3'te detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Mikro kazık tasarımı yapılırken aşağıdaki adımlar izlenebilir.

- Proje gereksinimleri, saha koşulları ve üst yapı projesi göz önünde bulundurularak belirlenir.
- Proje sahasındaki zemin ve kaya tabakalanmaları belirlenir, zemin ve kaya tabakalarının mühendislik özellikleri değerlendirilir.
- Mikro kazığın birim kapasitesi ve mikro kazık kapasitesine karşı mikro kazık boyu belirlenir.
- Belirlenen mikro kazık kapasite ve boyuna göre kazık servis yükleri belirlenir.
- Söz konusu proje ve proje yüklerine göre mikro kazık aralıkları belirlenir.

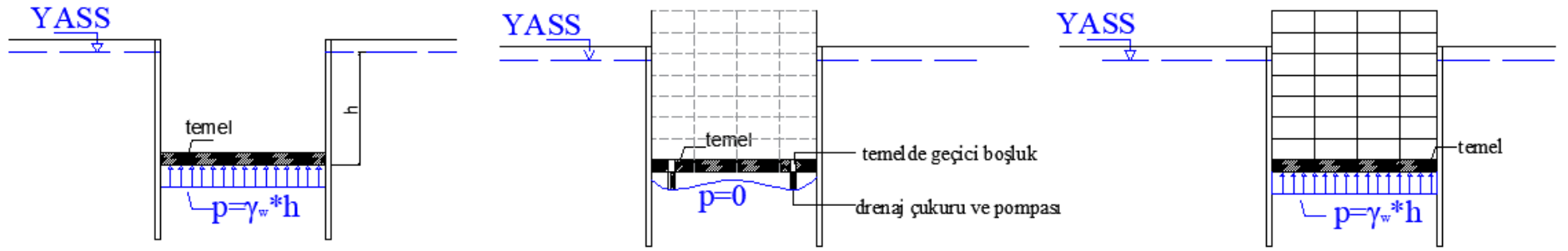
Basınç kazıklarında, kazık üst yapıdan, çekme kazıklarında suyun kaldırma kuvvetinden dolayı aldığı yükü önce donatıya, donatı da çevresinde bulunan enjeksiyona aktarır. En sonunda da enjeksiyon kendisine aktarılmış olan yükü zemin veya kaya tabakalarına aktarır.

3.6.1 Suyun kaldırma kuvveti etkisinde çekmeye çalışan mikro kazıklar

Mikro kazıklar yapı temellerinin yüzme riskini önlemek amacı ile kullanılabilirler. Yapı yükünün yapıya gelen suyun kaldırma kuvvetinden küçük olduğu durumlarda yapı temeli yüzmeye çalışır. Yüzme riski bulunan yapının altında imal edilebilecek çekme kazıkları, çelik plakalar ile temele bağlanıp suyun kaldırma kuvvetine zıt yönde bir çekme kuvveti oluşturur. Yapı temeli, suyun kaldırma kuvveti ile yukarı yönde hareket etmeye çalıştıkça mikro kazık çevresindeki sürtünme gerilmeleri mobilize olur ve bu mobilize olan gerilmeler ile suyun kaldırma kuvveti dengelenmiş olur.

3.6.2 Yapı inşaat aşamaları ve yapı ağırlığının belirlenmesi

Bodrum katlı hafif yapıların inşaatı sırasında suyun kaldırma kuvveti ve yapı ağırlığı dengesine bağlı olarak yüzme problemi farklı inşaat aşamalarında boy gösterebilmektedir. Bu nedenle yapının inşaat aşamaları adım adım düşünülüp, kritik adımların belirlenmesi gerekmektedir. En kritik koşul, kazı taban kotundaki azami su basıncının temel inşaatı sonrasında oluşması şeklinde karşımıza çıkabilecek iken yapı inşaatı tamamlanana kadar temel altından su çekilmesi koşulu ile yapı tamamlandıktan sonra da gerçekleşebilir. Bu koşullar Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5: a) Su basıncının temel inşaatından sonra oluşması. b) Su basıncının yapı inşaatı sırasında oluşmasına izin verilmemesi. c) Su basıncının yapı inşaatı sonrasında oluşması

Proje gereksinimleri ve uygulayıcı firmanın tercihlerine göre inşaat aşamaları belirlenmelidir. Yer altı suyunun kaldırma problemi açısından kritik aşamaya göre su basıncı ve yapı ağırlığı dengesi irdelenmelidir. Bu dengenin yeterli güvenlikte olmadığı tespit edilirse ilave önlemler proje kapsamında değerlendirilmelidir. Bu önlemlerden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Korkmaz vd., 2017).

- Yapı ağırlığının arttırılması.
- Yapı altındaki su basıncının drenaj yolu ile azaltılması.
- Yapı temelini betonarme/çelik elemanlar ile temel altında bulunan sağlam tabakalara sabitlenmesi.

3.6.3 Su basıncı ve alınan önlemlerin boyutlandırılması

Yapılarda yüzmeye karşı dikkate alınması gereken güvenlik sayıları ilgili şartnamelerde yapıya ve kabul edilen afet durumuna göre 1.10 ile 1.40 arasında değişmektedir. Eurocode 7 (2004)'de yapı ağırlığı (0.90xG) ve emniyetli koruyucu kuvvetler (Rd) toplamının kaldırma kuvvetinden fazla olması beklenir. TS500 (2000)'de akışkan basıncının 1.40 ile çarpılması önerilmektedir ABD Ordusu İnşaat Bölümü Şartnamesi'nde (USACE, 2005) bu değer yük kategorisine göre 1.10 ile 1.30 arasında değişmektedir. Çekme elemanları ara mesafesi (sh), grup etkisinden olumsuz etkilenmemeleri ve temel tasarımının uygun yapılabilmesi için 3.50D – 5.00D arasında seçilir. Buna göre servis yükü (Fs) aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$F_s = \frac{(G_s \times A \times \gamma_w \times h) - 0,9 \times G}{s_h^2} \quad (3.1)$$

3.6.4 Zemin profilinin incelenmesi ve uygun çekme kazığının tasarımı

Mikro kazık tasarımı, geleneksel kazık tasarımından biraz farklı olup, mikro kazığın donatısının tasarım yükünü güvenli bir şekilde taşıması gerekmektedir (Elsalfiti, 2011). Yüzmeye karşı kazık tasarımı birçok şartname ve kaynakta farklı yöntemler ile verilmiş olup, çekme kapasitesi hesabı bu yöntemler ile yapılmaktadır. Bu bölümde vaka analizinde yer aldığı gibi kayada kazık çekme dayanımı hesap yöntemleri özetlenmektedir.

Bölüm 2.3.3'te anlatılan kayaya soketli kazıkların sürtünme kapasitelerinden kayada tek eksenli basınç dayanımı hesapları mikro kazık hesaplarında da

kullanılabilmektedir. Vaka analizinde önerilen kayanın tek eksenli basınç mukavemetine bağlı yöntemler takip edilmiştir.

$$f_s = \alpha * \sigma_k^\beta \quad (3.2)$$

Araştırmacılar tarafından önerilen α ve β katsayıları Çizelge 3.1’de özetlenmektedir.

Çizelge 3.1: Çeşitli Araştırmalara Göre Sürtünme Kapasitesi ve Tek Eksenli Basınç Dayanımı Katsayıları (Zhang, 2004)

Araştırmacı	α	β
Horvath and Kenney (1979)	0,21	0,50
Carter and Kulhawy (1988)	0,20	0,50
Williams et al. (1980)	0,44	0,36
Rowe and Armitage (1984)	0,40	0,57
Rosenberg and Journeaux (1976)	0,34	0,51
Gupton and Logan (1984)	0,20	1,00
Reese and O'Neill (1987)	0,15	1,00
Meigh and Wolshi (1979)	0,22	0,60
Horvath (1982)	0,20	0,50

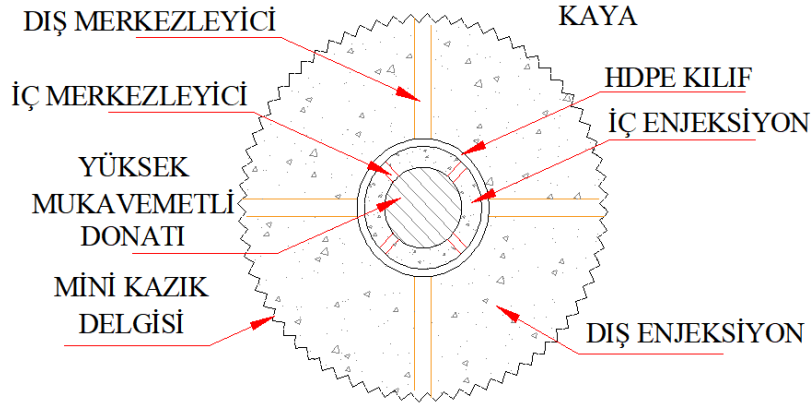
Mikro kazık boyu, zemin/kaya-enjeksiyon sürtünmesine bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$L = \frac{F_s \times GS - W_k}{f_s \times D \times \pi} \quad (3.3)$$

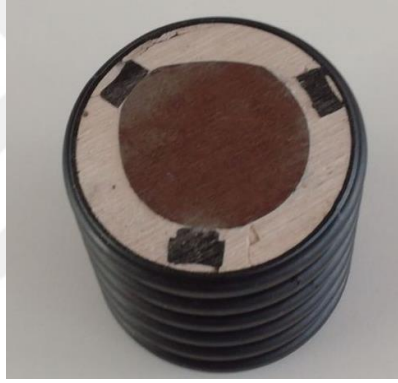
Belirlenen mikro kazık servis yükü (F_s) mikro kazık içine konulacak donatı tarafından da emniyetle taşınmalıdır. Bu doğrultuda mikro kazık içine fore kazıklarda olduğu gibi donatı kafesi yerleştirilebilir. Fakat kazık çapının küçük olmasının beraberinde getirdiği uygulama zorlukları nedeni ile çoğunlukla yüksek mukavemetli tek donatı kullanılması tercih edilmektedir.

Yüksek mukavemetli donatı, belirli mesafelerle yerleştirilen merkezleyiciler yardımı ile koruge boru ile çevrenir ve ardından koruge boru ile donatı arası enjeksiyonlanır. Bu imalata iç enjeksiyonlama denilmektedir. İç enjeksiyonun prizini tamamlamasına müteakip koruge boruya dış merkezleyiciler yerleştirilir. Mikro kazık delgisine, donatı, merkezleyicileri zarar görmeyecek şekilde yerleştirilir.

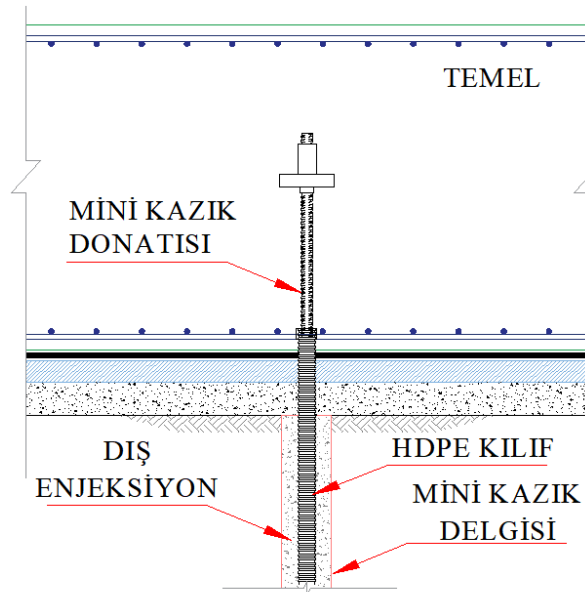
Vaka analizinde uygulaması yapılan mikro kazığa ait tipik kesitler Şekil 3.6, 3.7 ve 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Çift korozyon korumalı mikro kazık kesiti



Şekil 3.7: HDPE korozyon korumalı mikro kazık kesiti



Şekil 3.8: Mikro kazık – temel birleşim detayı

Mikro kazık, temel birleşimi çelik plakalar vasıtasıyla yapılmaktadır. Temel içinde zımbalama tahkiki TS500 (2000)'de belirtildiği gibi aşağıdaki şekilde yapılmaktadır.

$$V_{pr} = \gamma * f_{ctd} * u_p * d, u_p = 4 * (b + d), \frac{V_{pr}}{F_s} > F_{servis} \quad (3.4)$$

3.7 Mikro Kazık Test Yöntemleri ve Prosedürü

FHWA (2000)'de belirtildiği gibi mikro kazıklar yük taşıma çeşidine göre test edilmelidir. Mikro kazıklar hem çekmeye hem basınca çalışıyor ise önce çekme testinin yapılması önerilir, bu sayede çekme testi sırasında yukarıya doğru hareketin meydana gelmesi kazık altındaki zeminin tekrardan kazık altına yerleşmesine izin verecektir.

Mikro kazıkların tasarımında uygulama öncesi mikro kazık testi yapılması mikro kazık kapasitelerinin ve boyunun en uygun şekilde seçilmesine olanak sağlar (Holman ve Barkauskas, 2014).

Mikro kazığa uygulanan yük tek çevrimde uygulanabilirken, birçok çevrimde de yük arttırılarak maksimum yüke ulaşılacak şekilde uygulanabilir.

Uygulanan yükün süresi dikkate alınması gereken önemli bir husustur. Kazıklar kum, çakıl ya da kayada teşkil edilmiş ise gerekli uzama kriterlerinin sağlanması durumunda maksimum test yükünde 10 dakika beklenilebilir. Eğer kazıklar silt veya kil zeminlerde teşkil edilmiş ise maksimum yükte bekleme süresi 100 dakika ile 24 saat arasında değişebilir.

ASTM D3689 (2007)'de, her bir yük kademesinde meydana gelecek uzama saatte 0.25mm'i aşmaması gerektiği, aşmaması durumunda bir sonraki yük kademesine çıkılabileceği veya testin sonlandırılabilceği belirtilmiştir.

3.8 Mikro Kazık Seçimini Etkileyen Faktörler

Mikro kazık makine ve ekipmanlarının görece küçük olması fore kazık makinalarının girişinin zor olduğu kısıtlı alanlarda mikro kazık imalatlarının yapılabilmesini kolay kılmıştır.

Mikro kazık makinası gerekli güvenli çalışma koşullarının sağlandığı durumlarda mevcut temel ya da duvar yanında mobilize edilebilir ve mikro kazık imalatı yapılabilir.

Yumuşak killler, akışkan kumlar ve yüksek yer altı suyunun bulunduğu yerlerde geleneksel delgi yöntemleri yerine mikro kazık yöntemi tercih edilebilmektedir.

Mikro kazıklar, küçük çaplarından dolayı kimyasal maddelerin yoğun olduğu zeminlerde görece daha az etkilenirler. Mikro kazık enjeksiyonunda kullanılacak kimyasal katkı maddeleriyle, mikro kazıklar, kimyasal zeminlerden en az etkilenebilecek şekilde tasarlanabilmektedir.

Mikro kazıklar, makinalarının fore kazık makinalarına göre daha hafif olması sebebi ile bataklık ve sulu yumuşak alanlarda tercih edilebilmektedir.

Eski tarihi binalarda, endüstriyel bölgelerde, hassas yapılarda yapılacak kazık imalatlarında görece daha az gürültü ve titreşim üretmesinden dolayı mikro kazıklar tercih edilebilmektedir (FHWA, 2000).

FHWA (1997)'da, Kaliforniya'da sıkı kumda imal edilmiş bir mikro kazıkta yapılan düşey yükleme deneyi örneğinde mikro kazık taşıma kapasitesinin 4.500 tonu aştığı görülmüştür. Ayrıca düşeyden eğik açı ile yapılabilen mikro kazıklar ile de mikro kazığın yanal kapasitesinin arttırılabildiği görülmüştür. Yüksek narinlik oranına sahip mikro kazıkların sıvılaşma ihtimali yüksek zeminlerde kullanılması uygun olmasa da bu bölgelerde zemin iyileştirme amaçlı kullanılması uygun olabilmektedir (FHWA, 1997).

Mikro kazıkların avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Dimilio vd, 2001).

- Küçük ve güçlü ekipmanlar ile sıkışık şantiye koşullarında uygulanabilir olması.
- Delgi; hızlı, titreşimsiz ve zemin yok denebilecek kadar örselenerek yapılabilmesi.
- Çeşitli delgi, enjeksiyon ve donatılar ile optimize çözümler yapılabilmesine olanak sağlaması.

Bazı projelerde mevcut proje koşulları değerlendirildiğinde mikro kazık uygulamaları ekonomik olmasa da tek uygulanabilir yöntem olabilmektedir.

4. VAKA ANALİZİ

4.1 İnceleme Alanı

Proje sahası, İzmir İli, Balçova İlçesi, İnciraltı Mahallesi'nde yer almaktadır. Saha İzmir Merkez'in güneybatısında İzmir – Çeşme Otoyolu'nun İnciraltı çıkışının yakınında bulunmaktadır. Vaka analizinin yapıldığı proje sahasının fotoğrafı Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



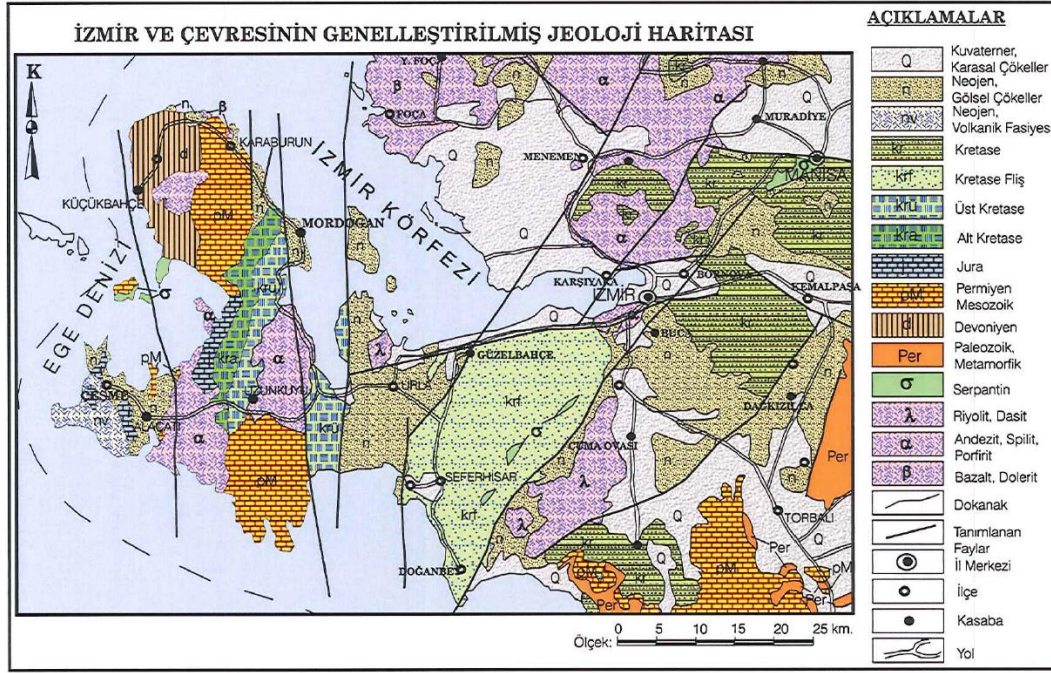
Şekil 4.1: Vaka analizinin yapıldığı proje sahası

4.2 İnceleme Alanı Hakkında Genel Jeolojik Bilgiler ve Zemin Profili

Erdoğan (1990)'ın belirttiği gibi İzmir Körfezi de dahil olmak üzere İzmir'de üç farklı tektonik kuşak bulunur. Bu kuşaklar, İzmir'in doğusunda bulunan Menderes

Masifi, batısında Karaburun yarımadasında bulunan Karaburun kuşağı ve kuzeyinde bulunan İzmir-Ankara zonudur.

İzmir-Ankara zonu genellikle tortul kayalara giren neritik kireçtaşı, kırıntı ve karbonatlar, mermer ve metafiliz kaya birimler içerir. İzmir çevresi Bornova şisti veya karmaşığı olarak da adlandırılır (Erdoğan, 1990). Proje sahasının bölgesel jeolojisini gösteren harita Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

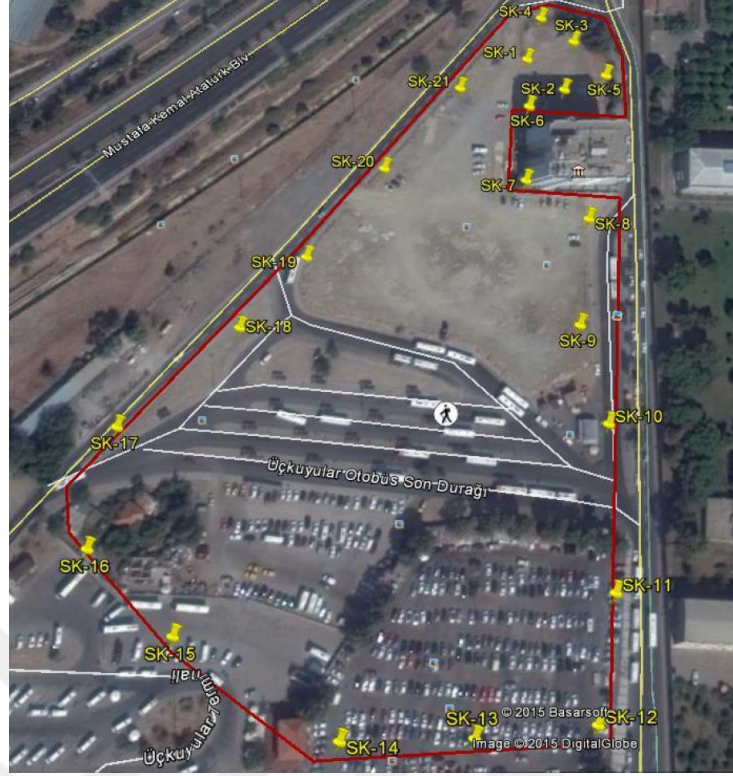


Şekil 4.2: Proje sahasının bölgesel jeolojisini gösteren harita (Erdoğan, 1990)

Menderes Masifi, Bornova Karmaşığı ile Likya Napları arasında yer alır. Litolojik yapısı kompleks bir yapıya sahip olan Menderes Masifi, kuzeybatı-güneydoğu yönlüdür. Masifin kor kısmını gnays ve şistler oluşturur. Masif, alttan üst tabakalara doğru gnays, mika şistler ve kireçtaşlarından oluşmaktadır. Karaburun Kuşağı, İzmir-Ankara zonunu oluşturan kuşak olup Bornova Karmaşığı içerisinde iri kireçtaşı blokları bulunmaktadır (Erdoğan, 1990).

Proje sahasında zemin araştırmaları kapsamında sondajlar yapılmıştır. Yapılan sondajların planı Şekil 4.3’de, toplam derinlikleri ve gözlemlenen yer altı su seviyeleri Çizelge 4.1’de özetlenmiştir.

Proje sahasında yapılan sondajlarda genel olarak sarımsı kahve, grimsi kahve, gri renkli siltli kil, çakıllı killi kum, killi çakıl, çakıllı kil niteliğinde alüvyon ve devamında fliş tabakalarına rastlanmaktadır.



Şekil 4.3: Sondaj planı

Çizelge 4.1: Yapılan sondajlara ait genel bilgiler

Sondaj Numarası	Sondaj Boyu (m)	Yer altı Su Seviyesi (m)
SK-1	70.00	3.00
SK-2	30.00	2.95
SK-3	70.00	2.45
SK-4	30.00	2.95
SK-5	30.00	2.95
SK-6	35.50	3.00
SK-7	32.00	4.00
SK-8	35.00	3.70
SK-9	31.00	4.40
SK-10	31.00	4.00
SK-11	30.00	5.60
SK-12	30.00	5.70
SK-13	30.00	5.70
SK-14	30.00	5.80
SK-15	30.00	4.00
SK-16	30.00	4.20
SK-17	30.00	4.30
SK-18	30.00	4.40
SK-19	30.00	3.85
SK-20	30.00	3.90
SK-21	30.00	4.40

SK-1, SK-2, SK-4, SK-8 ve SK-21 numaralı sondajlarda 2.50m derinliğine kadar killi kumlu dolgu, 2.50m'den 7.00m derinliğe kadar $SPT-N_{ort}=8$ siltli kil, 5.00m'den 30.00m' derinliğe kadar $SPT-N_{ort}=38$ sarımsı çakıllı killi kum, 30.00m'den 70.00m derinliğe kadar grimsi siyah filiş tabakası bulunmaktadır.

SK-3, SK-6, SK-10, SK-11, SK-12, SK-15, SK-16 nolu sondajlarda 3.00m derinliğe kadar kil, kum, blok çakıl dolgu, 3.00m'den 7.00m derinliğe kadar sarımsı kahve renkli $SPT-N_{ort}=10$ olan sarımsı kahve renkli kil, 7.00m'den 19.00m derinliğe kadar $SPT-N_{ort}=40$ olan kahve renkli çakıllı killi kum, 19.00m'den 24.00m derinliğe kadar sarımsı kahve renkli çakıl blok, 24.00m'den 30.00m derinliğe kadar kahvems gri renkli filiş tabakası bulunmaktadır.

SK-6, SK-10, SK-11, SK-12, SK-15, SK-16 nolu sondajlarda 3.00m derinliğe kadar kil, kum, blok çakıl dolgu, 3.00m'den 7.00m derinliğe kadar sarımsı kahve renkli $SPT-N_{ort}=10$ olan sarımsı kahve renkli kil, 7.00m'den 19.00m derinliğe kadar $SPT-N_{ort}=40$ olan kahve renkli çakıllı killi kum, 19.00m'den 24.00m derinliğe kadar sarımsı kahve renkli çakıl blok, 24.00m'den 30.00m derinliğe kadar kahvems gri renkli filiş tabakası bulunmaktadır.

SK-5 ve SK-9 nolu sondajlarda 2.5m derinliğe kadar killi kumlu dolgu, 2.50m'den 6.00m derinliğe kadar $SPT-N_{ort}=9$ olan gri renkli siltli kum, 6.00m'den 30.00m derinliğe kadar $SPT-N_{ort}=28$ olan sarımsı kahve renkli çakıllı killi kum bulunmaktadır.

SK-7 nolu sondajda 4.00m derinliğe kadar dolgu, 4.00m'den 10.00m derinliğe kadar $SPT-N_{ort}=13$ olan sarımsı kahve renkli çakıllı kil 10.00m'den 20.00m derinliğe kadar killi kum, 20.00m'den 30.00m derinliğe kadar killi çakıl bulunmaktadır.

SK-13 ve SK-14 nolu sondajlarda 3.50m derinliğe kadar kil, kum dolgu, 3.50m'den 19.00m derinliğe kadar kahve renkli çakıllı kum, 19.00m'den 30.00m derinliğe kadar filiş tabakası bulunmaktadır.

SK-17 nolu sondajda 3.00m derinliğe kadar dolgu, 3.00m'den 27.00m derinliğe kadar kumtaşı bulunmaktadır.

SK-18 ve SK-19 nolu sondajlarda 2.50m derinliğe kadar dolgu, 2.50m'den 7.00m derinliğe kadar $SPT-N_{ort}=15$ olan gri renkli kil, 7.00m'den 30.00m derinliğe kadar grimsi siyah renkli filiş tabakası bulunmaktadır.

SK-20 nolu sondajda 3.50m derinliğe kadar dolgu, 3.50m'den 17.00m derinliğe kadar SPT- N_{ort} = 35 olan kahve renkli killi çakıllı kum, 17.00m'den 25.00m derinliğe kadar filiş tabakası bulunmaktadır.

2016 Ocak ayında 21 adet noktada sondaj yapılarak zemin özellikleri elde edilmiştir. Sondaj çalışmaları sırasında toplanan numuneler üzerinde yapılan tek eksenli basınç mukavemet deneylerinin sonuçları Çizelge 4.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.2: Tek eksenli basınç mukavemeti değerleri

Sondaj	Sondaj Kotu, m	Derinlik, m	Numune Kotu, m	q_c (UCS), MPa
SK1	3.85	32.70	-28.85	16.78
SK3	3.56	28.50	-24.94	7.70
SK6	3.67	27.50	-23.83	18.17
SK6	3.67	30.80	-27.13	4.98
SK7	4.04	31.00	-26.96	8.44
SK8	3.81	32.00	-28.19	3.48
SK8	3.81	33.50	-29.69	1.87
SK9	4.24	29.00	-24.76	30.96
SK9	4.24	30.00	-25.76	8.84
SK14	4.88	27.50	-22.62	28.78
SK15	4.78	14.60	-9.82	7.63
SK15	4.78	20.00	-15.22	8.63
SK15	4.78	21.80	-17.02	10.57
SK16	4.97	13.50	-8.53	13.02
SK17	5.29	6.50	-1.21	49.07
SK17	5.29	9.50	-4.21	44.89
SK17	5.29	12.00	-6.71	9.41
SK17	5.29	17.50	-12.21	16.04
SK17	5.29	20.90	-15.61	4.70
SK18	5.43	9.50	-4.07	26.80
SK18	5.43	14.70	-9.27	23.42
SK19	4.97	7.00	-2.03	21.14
SK19	4.97	10.00	-5.03	83.34
SK19	4.97	13.50	-8.53	5.48

4.3 Mikro Kazık Tasarımı

Mikro kazıklar 22cm çapında delgi takımı kullanılarak teşkil edilmiştir. Bu delgi içerisine ise çift korozyon korumalı yüksek mukavemetli 47mm çapında donatı yerleştirilmiştir. Kullanılacak bu donatı çeliğinin akma dayanımı 950 MPa, kopma dayanımı 1050 MPa ve elastite modülü 205 GPa'dır. Uygulama öncesinde yapılan

öntasarımlar sonucu mikro kazığın kayaya soketli boyu ise minimum 7m ve kapasitesi 105 ton olarak hesaplanmıştır. Öntasarımlar doğrultusunda sahada teşkil edilmesi planlanan mikro kazıklar ile aynı uygulama tekniği ve aynı malzeme özelliklerine sahip bir test mikro kazığı imal edilmiş ve bu test mikro kazığında çekme deneyi yapılmıştır. Bu test ASTM D3689 (2007) standardı baz alınarak uygulanmıştır. Test mikro kazığı ile ilgili bilgileri Çizelge 4.3'te özetlenmiştir.

Çizelge 4.3: Test mikro kazığı özet bilgileri

Mini Kazık Boyu	Planlanan Kapasite	Test Yüğü
7m	105 ton	170 ton

Test yüğü mikro kazık donatısının akma dayanımı dikkate alınarak test güvenliği açısından 170 ton ile sınırlandırılmıştır. Mikro kazık donatısının akma dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Donatı Çapı: 47mm

Donatı Kesit Alanı: $1.734 \text{ mm}^2 = 0,001734 \text{ m}^2$

Akma Dayanımı: $950 \text{ MPa} = 950.000 \text{ kN/m}^2$

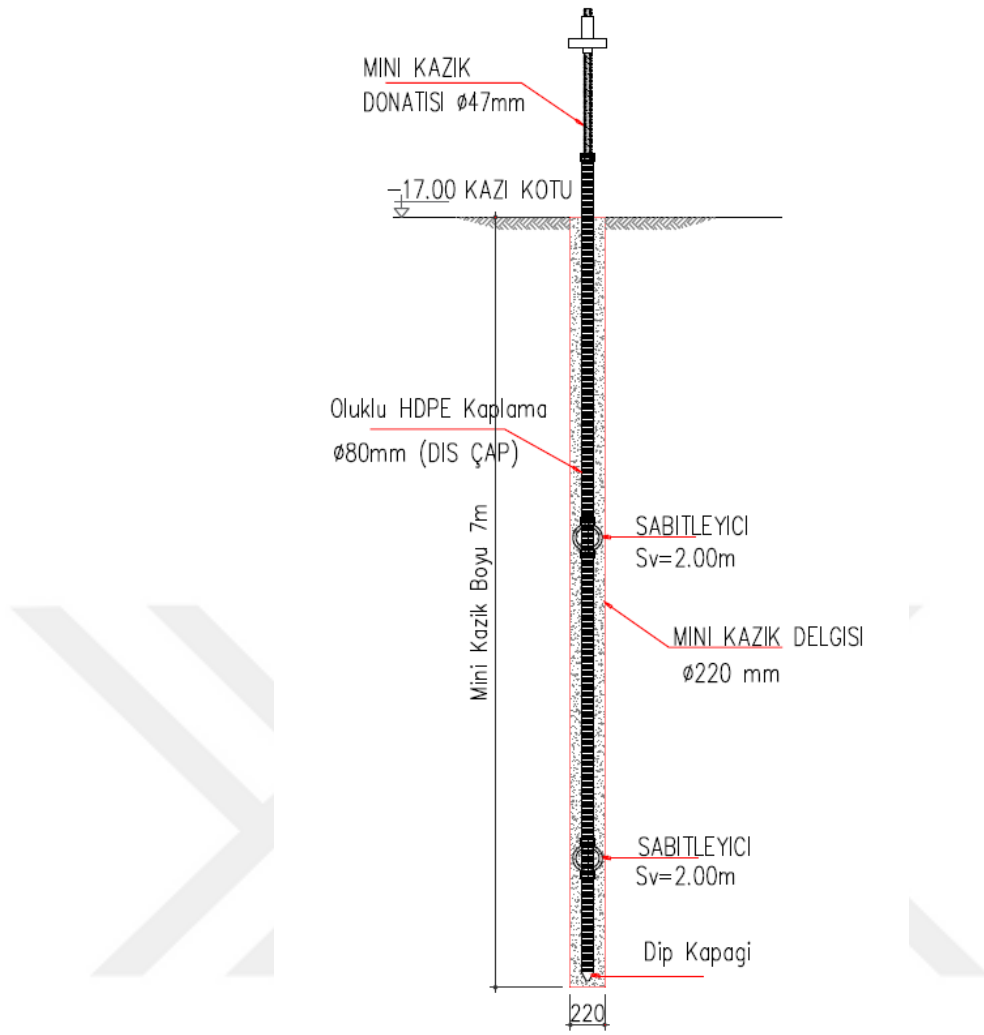
Donatının Dayanımı: $950.000 \times 0,001734 = 1647,3 \text{ kN} = 168 \text{ ton}$

Test mikro kazığı ile ilgili plan Şekil 4.4'te, test mikro kazığı kesiti Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

Test mikro kazığı delgisi esnasında kıltaşı kumtaşı kökenli orta derece yer yer ileri derecede ayrılmış özellikli şist tabakaları ile karşılaşmıştır.

Test düzeneği Şekil 4.5'te gösterildiği gibi yerleştirilen kiriş, plaka ve hidrolik pistonlar ile hazırlanmıştır.

Mikro kazığın uzamasında donatının uygulanan yükün tamamını eşit şekilde taşıyacağı, donatının ucuna kadar bu yükün sönümleneceği dikkate alınmıştır. Kazık uzama hesapları elle yapılmış olup hassas bir uzama değeri bulunabilmesi için kazık boyunca her yarım metrede meydana gelmesi beklenen uzamalar hesaplanıp, donatının toplam uzaması belirlenmiştir.



Şekil 4.4: Test kazığının yerleşim planı



Şekil 4.5: Test kurulumu

Bu uzama aşağıdaki formül kullanılarak belirlenir.

$$\Delta = \frac{F_i \times L_i}{E_s \times A} \quad (4.1)$$

Örneğin, mikro kazık üst kotunun 0,50m altında meydana gelmesi beklenen uzama, mikro kazığın mikro kazık boyunca üzerine gelen yükü her yarım metrede eşit şekilde taşıyacağı dikkate alındığından 0,50m’de mikro kazığa gelecek yük, F_i , $1013-(1050 \times 0,50/7)=938$ kN olarak hesaplanır. Bu noktadaki uzama ise, Formül 4.1 kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Delta = \frac{938 \times 0,5 \times 10^3}{205 \times 10^6 \times 1735 \times 10^{-6}} = 1.32\text{mm}$$

Mikro kazık çekme testinde uygulanacak 105 ton yüke karşı mikro kazıkta meydana gelecek toplam uzama miktarı Çizelge 4.4’teki gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4: Uygulanan yüke göre mikro kazık donatısının uzaması

A=	1735	mm ²	
E=	205	GPa	
z	L _{0i}	F _i , kN	Δ, mm
0.0	0.5	1013	1.42
0.5	0.5	938	1.32
1.0	0.5	863	1.21
1.5	0.5	788	1.11
2.0	0.5	713	1.00
2.5	0.5	638	0.90
3.0	0.5	563	0.79
3.5	0.5	488	0.69
4.0	0.5	413	0.58
4.5	0.5	338	0.47
5.0	0.5	263	0.37
5.5	0.5	188	0.26
6.0	0.5	113	0.16
6.5	0.5	38	0.05
7.0	0.0	0	0.00
Mikro kazık donatısında meydana gelmesi beklenen uzama			10.33 mm

Mikro kazık çekme testlerinde donatının uzamasından dolayı mikro kazık çevresindeki zeminin de bir miktar deforme olabileceği dikkate alınmıştır. Zeminde meydana gelecek deformasyon Bowles (1997) tarafından önerilen aşağıdaki formül ile belirlenmiştir.

$$S_1 = \frac{Q \times \varepsilon \times L}{E_p \times A_s} \quad (4.2)$$

Burada Q, kazığa uygulanan maksimum yükü, L kazık boyunu, Ep kazığın elastite modülünü ve Ap kazığın kesit alanını belirtmektedir. ε ise kazık boyunun, kazığın soketlendiği zemine göre %67'si ile %100'ü arasında değişmesini sağlayan bir katsayıdır. Bu projede kazık kayaya soketleneceği için kazık boyunun %67'sinin zeminde uzamaya sebep olacağı dikkate alınmıştır.

$$\varepsilon=0,67$$

$$Q=1050 \text{ kN}$$

$$L=7\text{m}$$

$$E=32000000 \text{ kPa}$$

$$A=0.038 \text{ m}^2$$

$$S_1 = \frac{1050 \times 7 \times 10^3 \times 0.67}{32000000 \times 0.38}$$

$$S_1 = 4.05\text{mm}$$

Mikro kazığa uygulanacak çekme kuvvetinden dolayı meydana gelecek toplam uzamanın 14.38mm olması beklenmektedir.

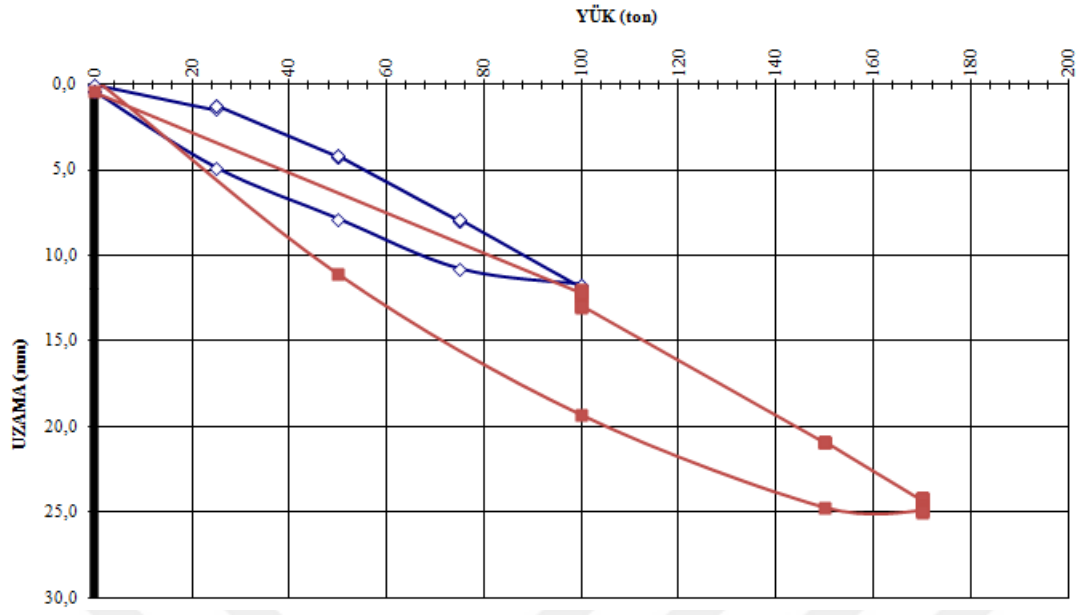
Mikro kazık çekme testi sonrası elde edilen uzama-yük ve uzama – zaman grafikleri Şekil 4.6 ve 4.7’de gösterilmiştir.

Mikro kazık çekme testi iki çevrimde tamamlanmış olup ilk çevrimde 105 ton yüküne, ikinci çevrimde 170 ton yüküne kadar çekilmiştir.

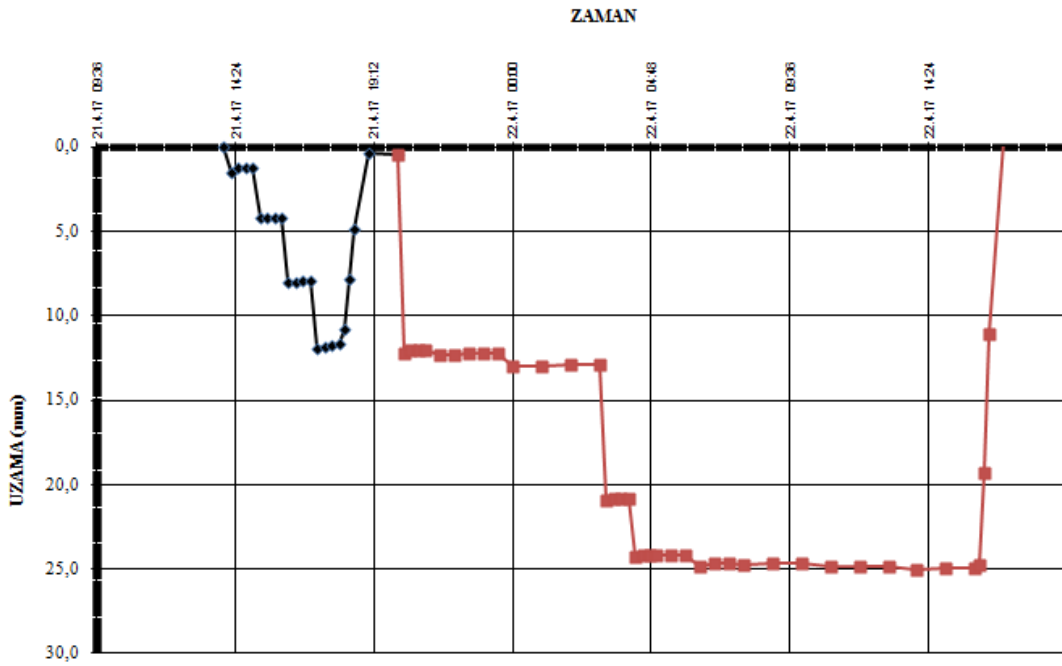
105 ton yüklemeinde 6 saat beklenmiş olup mikro kazığın uygulanan yükü emniyetli bir şekilde taşıdığı görülmüş (mavi renk ile), maksimum uzama 13mm olarak elde edilmiştir.

170 ton yüklemeinde ise 12 saat beklenmiş olup mikro kazığın uygulanan yükü emniyetli bir şekilde taşıdığı görülmüş (kırmızı renk ile), maksimum uzama 25mm olarak elde edilmiştir.

Yapılan bu ön çekme testinde tasarımda 105 ton olarak dikkate alınan emniyetli mikro kazık çekme kapasitesinin uygun olduğu görülmüştür.



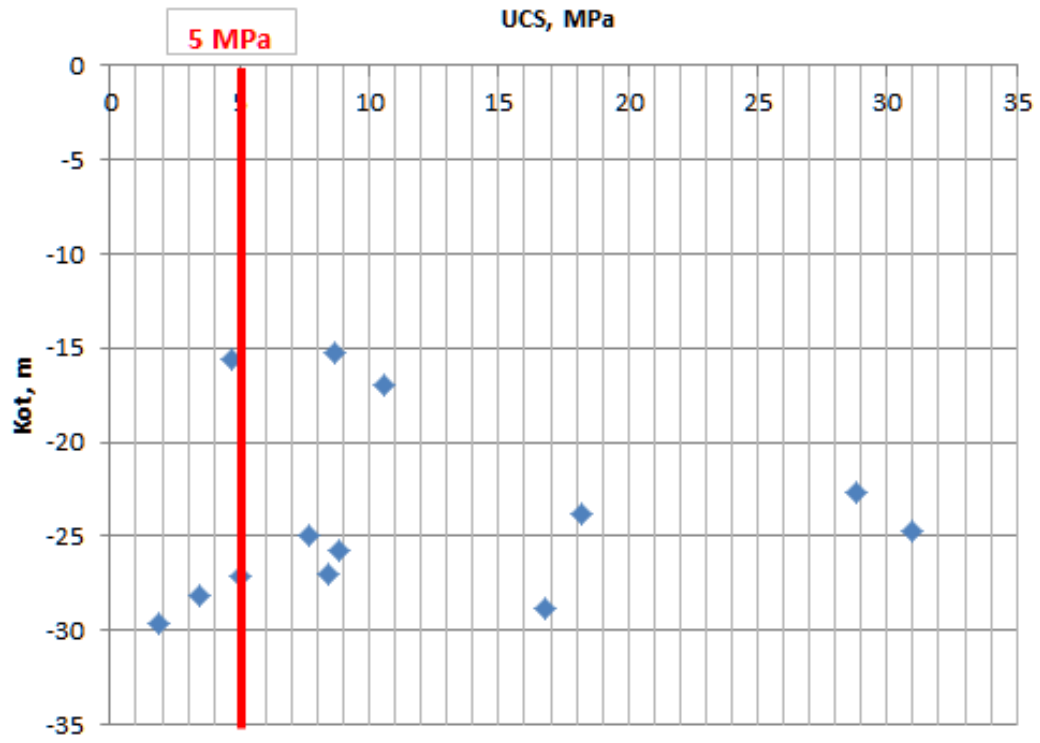
Şekil 4.6: Mikro kazık uzamasının yüke göre değişimi



Şekil 4.7: Mikro kazık uzamasının zamana göre değişimi

Sahada yapılan mikro kazık çekme testi sonrasında mikro kazık nihai tasarımı yapılmıştır. Sondaj çalışmaları sırasında yapılan tek eksenli basınç deneylerinin derinlikle değişimi Şekil 4.8’de özetlenmiştir.

Şekil 4.8’de özetlenen tek eksenli basınç dayanım değerleri için sahada yer alan kaya tabakaları için tek eksenli basınç dayanım değeri 5MPa olarak alınması uygun görülmüştür.



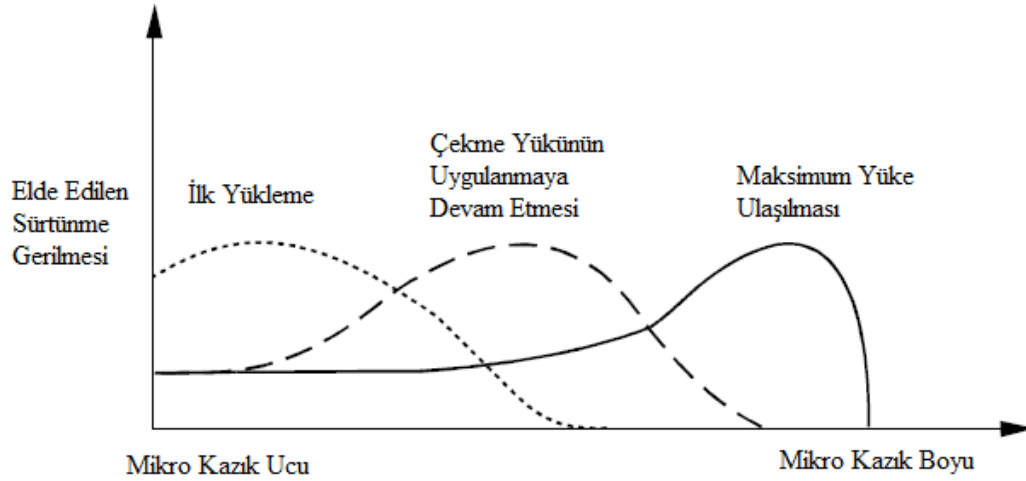
Şekil 4.8: Tek eksenli basınç mukavemet (qc-UCS) dağılımı

Kayada sürtünme değeri hesabı için farklı araştırmacılar tarafından önerilen yöntemler takip edilerek bulunan kayadaki sürtünme değerleri Çizelge 4.5'te özetlenmiştir.

Çizelge 4.5: Farklı araştırmacıların yöntemlerine göre kayadaki sürtünme değerleri

Tasarım Yöntemi	α	β	$f_s = \alpha q_c^\beta$ (Mpa)
Horvath and Kenney (1979)	0,21	0,50	0,47
Carter and Kulhawy (1988)	0,20	0,50	0,45
Williams et al. (1980)	0,44	0,36	0,79
Rowe and Armitage (1984)	0,40	0,57	1,00
Rosenberg and Journeaux (1976)	0,34	0,51	0,77
Gupton and Logan (1984)	0,20	1,00	1,00
Reese and O'Neill (1987)	0,15	1,00	0,75
Meigh and Wolshi (1979)	0,22	0,60	0,58
Horvath (1982)	0,20	0,50	0,45
f_s (maks.)			1,00
f_s (min.)			0,45
f_s (orta.)			0,69

Çekme yükü altında çalışan mikro kazıkların çalışma prensibi öngermeli ankrajların çalışma prensibi ile yakınlık göstermektedir. Çekme yüküne karşı tasarlanan mikro kazık, üzerine yük geldikçe bu yükü kazık ucundan taşımaya başlar. Kazığın üzerine yük gelmeye başladıkça, mikro kazık, mikro kazık ucuna doğru mobilize olmaya başlar. Mikro kazığın üzerine gelen yükten dolayı, kazıkta mobilize olan sürtünme gerilmeleri FHWA (1999)’da belirtilen Şekil 4.9’daki gibidir.



Şekil 4.9: Mikro kazık üzerinde mobilize olan sürtünme gerilmeleri

Sahada bulunan mevcut kayaların kalite göstergesine göre sürtünme kapasitesi de hesaplanmıştır. Sahadaki mevcut kayaların sürtünme kapasitesi 0 ile %25 arasında değişmektedir. Kaya kalitesine bağlı sürtünme kapasitesi, Şekil 2.10 ve Şekil 2.11’deki grafikler kullanılarak formül 2.8 yardımı ile hesaplanabilir. Bu grafikler kullanılarak f_b ve f_c değerleri aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$f_b \approx 0,20, f_c \approx 0,63$$

$$f_s = f_b * f_c * \sigma_k = 0,20 \times 0,63 \times 5 = 0,63 \text{ MPa}$$

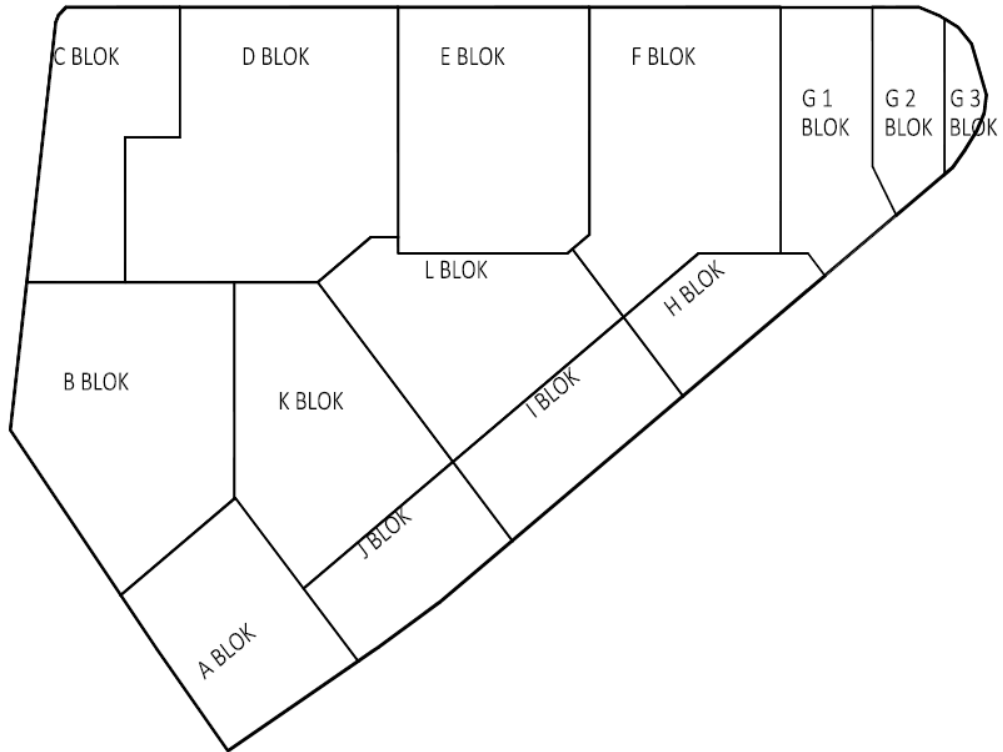
Farklı araştırmacılar tarafından kayada sürtünme gerilmesinin hesabına yönelik önerilen ampirik yaklaşımlar ile kayanın süreksizliğine bağlı olarak hesaplanan sürtünme gerilmeleri yakınlık göstermekte olup, elde edilen bu sonuçlara göre mikro kazık tasarımına devam edilmiştir.

Mikro kazık deneyi sonucu kayada elde edilen sürtünme gerilmesi ile farklı araştırmacıların önerdiği yöntemler ile elde edilen kayadaki sürtünme gerilmeleri karşılaştırılmıştır.

Farklı hesap yöntemlerine göre hesaplanan sürtünme gerilmelerinin ortalaması 690 kPa olarak elde edilmiş olup bu değerler sonucu elde edilen güvenlik sayısı 1.97'dir. Kullanılan donatının akma dayanımı dikkate alınarak deney yükü belirlendiği ve iş güvenliği sebebi ile donatı sıyrılana kadar deney sürdürülemediği için mikro kazığın deney sonucu elde edilen sürtünme gerilmesinden daha fazla sürtünme gerilmesine sahip olduğu şeklinde yorumlanmış olup bu sebeple kaya ortamı için sürtünme gerilmesinin 425 kPa alınması uygun görülmüştür.

4.3.1 Üst yapı yükleri

Üst yapı proje müellifi tarafından modellenen üst yapı inşası sonrası elde edilen temel altı zemin gerilmesi çıktıları eklerde paylaşılmış olup kritik yapı yükleri belirlenmiştir. Çekme kazığı hesaplarında hem bodrum kat inşaatlarının tamamlanması sonrası hem de yapı tamamlandıktan sonra oluşan $0.9 \times G$ gerilmesi dikkate alınmıştır. Blok yerleşimleri ve dikkate alınan gerilmeler Şekil 4.10 ve Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10: Blok konumları

Çizelge 4.6: G yükü altında temel altı gerilmesi

Blok	G, Bodrum Katlar, t/m ²	G, Yapı Tamamlandıktan Sonra, t/m ²
A	7.50	9.00
B	7.50	9.00
C	8.50	10.00
D	7.50	9.00
E	7.50	9.00
F	7.50	9.00
G	8.50	10.00
H	5.50	7.00
I	8.50	10.00
J	7.50	9.00
K	7.50	9.00
L	5.50	7.00

4.3.2 Yüzme hesabı

Yüzme hesaplarının yapılabilmesi için temele etkiyen suyun net gerilmesinin hesaplanması gerekmektedir. Bunun için temel taban kotunda temele etkiyen su kuvveti ve temele etkiyen üst yapı yükleri belirlenmelidir. Söz konusu projede mevcut zemin kotu ortalama +5.20 m’de, yer altı suyu 0.00m ve temel alt kotu ise -17.30m’de bulunmaktadır. Çizelge 4.7’de verilen temel altı gerilmelerinden bodrum katların tamamlanması durumu için ortalama 7.50 MPa, tüm yapının inşa edilmesi durumu için ortalama 9.00 MPa dikkate alınmıştır. Bu ortalama gerilmeler Eurocode 7 (2004) ’de önerilen 0.90 katsayısı ile çarpılarak yapıdan temele gelmesi beklenen ortalama gerilmeler hesaplanmıştır. Su seviyesinden temel alt kotuna kadar olan yer altı suyunun derinliği 17.30m ve yer altı suyu basıncı 17.30 MPa’dır.

Çizelge 4.7: Yüzme hesabına esas kritik durumların karşılaştırılması

Açıklama	Bodrum Katların İnşası Sonrası	Tüm Yapının İnş. Sonrası Feyezan Durumu
Ortalama G, t/m ²	7.50	9.00
0.9 x G, t/m ²	6.75	8.10
Maksimum Su Yüksekliği, m	17.30	17.30
Su Basıncı, P _w , t/m ²	17.30	17.30
Güvenlik Sayısı, FS	1.10	1.10
Faktörlü Su Basıncı, P _{wd} , t/m ²	19.03	17.30
Net Kaldırma Bas., F _t , t/m ²	12.28	10.93

Yer altı suyu basıncı ise hem bodrum katlarının dikkate alındığı durum için hem de tüm yapının inşası durumu için ise 1.10 güvenlik katsayısı ile çarpılmıştır. Elde edilen faktörlü temel altı gerilmeleri farkından temele etkiyen suyun net kaldırma gerilmeleri hesaplanmıştır. Temel ve devamında bodrum kat döşemelerinin inşaat aşamaları boyunca susuzlaştırma (dewatering) sisteminin devrede olacağı dikkate alınmış olup yüzme hesabına ilişkin kritik olabilecek durumlar Çizelge 4.8’de özetlenmiştir.

Yapılan karşılaştırma bodrum katların inşası sonrası normal su basıncı dikkate alınarak yapılan hesabın daha kiritik olduğunu göstermiş olup, mikro kazık kapasiteleri bu durum dikkate alınarak hesaplanmıştır. Bodrum katların inşası sonrası üst yapıdan dolayı oluşacak temel altı gerilmeleri blok blok belirlenmiş olup yer altı suyundan dolayı temele etkiyecek çekme gerilmeleri hesaplanmıştır. Söz konusu proje sahasında kaya seviyeleri değişkenlik göstermektedir Farklı yapı yükleri dikkate alınarak gruplandırılan bloklar için bulundukları konumda kayanın kazı taban kotu (-17.00m) üzerinde olup olmaması durumu da dikkate alınarak net çekme gerilmeleri Çizelge 4.8 ve 4.9’daki gibi özetlenmiştir.

Örneğin, L Blok’ta, bodrum katlarının inşası sonrası temelde oluşacak taban gerilmesi G , 5.50 t/m^2 olarak dikkate alınmıştır. Temel alt kotu ile su seviyesi arasındaki seviye farkı 17.30m olduğundan temele etkiyecek su basıncı 17.30 t/m^2 ’dir. Böylece net çekme basıncı, σ_t aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sigma_t = \sigma_w \times FS - 0,90 \times G$$

$$\sigma_t = 17.30 \times 1.10 - 0.90 \times 5.50$$

$$\sigma_t = 14.10 \text{ t/m}^2$$

Çizelge 4.8: Yüzme hesabı ve çekme mikro kazığı tasarımı

Blok	Kaya Seviyesi	Yapı Yüğü, t/m^2	0.9G, t/m^2	Su Basıncı σ_w , t/m^2	FS	Net Çekme Bas. $\sigma_t = \sigma_w \times FS - 0.9G$, t/m^2
L	-17.30’in üz.	5.5	4.95	17.30	1.1	14.1
A-B-D-E	-17.30’in üz.	7.5	6.75	17.30	1.1	12.3
F-J-K	-17.30’in üz.	7.5	6.75	17.30	1.1	12.3
C-I	-17.30’in üz.	8.5	7.65	17.30	1.1	11.4
H	-17.30’in alt.	5.5	4.95	17.30	1.1	14.1
J-F	-17.30’in alt.	7,5	6,75	17,30	1,1	12,3
G-I	-17.30’in alt.	8,5	7,65	17,30	1,1	11,4

Mikro kazıkların kayaya soketli boyunun minimum 7m olacağı dikkate alınmıştır. Sahada yapılan ön çekme deneyinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda mikro kazığın soketleneceği kaya için sürtünme değeri 425 kPa olarak dikkate alınmıştır. Bu sürtünme gerilmesinden dolayı mikro kazık çevresinde oluşacak sürtünme kuvvetleri hesaplanmış olup mikro kazık ağırlıkları da dikkate alınarak mikro kazığın toplam kapasiteleri aşağıdaki formüldeki gibi belirlenmiştir.

$$F = \frac{\emptyset \times \pi \times \sigma_s}{F_{s\zeta}} + Wk \quad (4.3)$$

Eurocode 7’de sahada yapılan deneylerin sayısına göre çekme kuvvetine karşı kullanılması gereken güvenlik katsayıları belirlenmiştir. Sahada yapılan deney sayısı 2’den fazla olduğu için ($\xi=1.30$, $\gamma_s=1.30$) $1.30 \times 1.30=1.69$ güvenlik katsayısının kullanılması uygun görülmüştür.

Örneğin L Blok’ta mikro kazık kapasitesi,

$$F = (0.22 \times \pi \times 7) \times 42.5 / 1.69 + 0.6 = 122.30 \text{ ton}$$

Çizelge 4.9: Yüzme hesabı ve çekme mikro kazığı tasarımı (devamı)

Kazık Çapı	Kayaya	Sürtünme	Sürtünme	Kazık	Toplam
			Kapasitesi,	Ağırlığı	Çekme
$\emptyset$, mm	Soket, m	Ger. σ_s t/m ²	$F = (\emptyset \times 3.14 \times l) \times \sigma_s / F_{s\zeta}$	$W_{kazık}$, t	Kapasite, t
220	7	42,50	1,69	121,7	0,6
220	7	42,50	1,69	121,7	0,6
220	7	42,50	1,69	121,7	0,6
220	7	42,50	1,69	121,7	1,2
220	7	42,50	1,69	121,7	1,2
220	7	42,50	1,69	121,7	1,3

Mikro kazık kapasitesinin, hesaplanan net çekme gerilmesine bölünmesinden mikro kazık ara mesafeleri aşağıdaki formül kullanılarak belirlenmiştir.

$$s_h = \sqrt{\frac{F}{\sigma_t}} \quad (4.4)$$

Belirlenen mikro kazık ara mesafelerinden blokların temel alanları dikkate alınarak mikro kazık adetleri belirlenmiştir. Hesaplanan mikro kazık ara mesafeleri Çizelge 4.10’daki gibi hesaplanmıştır.

Kazıkların ortalama boyları belirlenirken proje sahasındaki kaya seviyeleri göz önünde bulundurulmuştur.

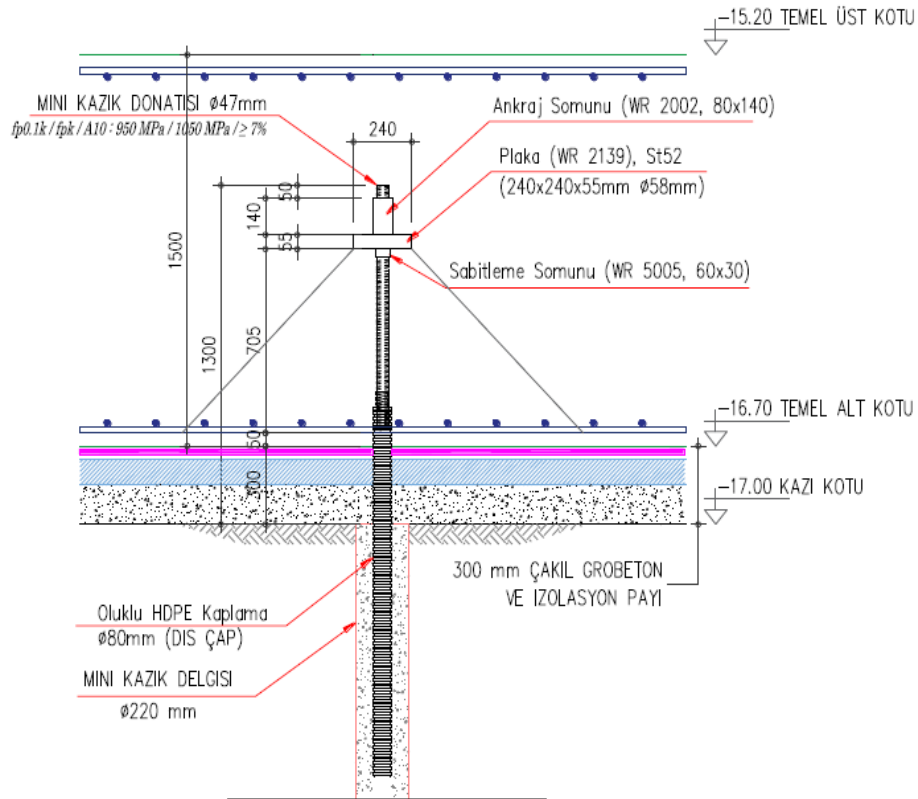
Çizelge 4.10: Hesaplanan mikro kazık ara mesafeleri

Ara Mesafe $s_h=(F/\sigma_t)^{0.5}$, m	Dikkate Alınan Ara Mesafe	Alan m^2	Adet	Ort. Boy m
2.94	2.80	2,777	354	7
3.15	3.00	24,711	2746	7
3.27	3.20	2,741	268	7
2.73	2.70	1,967	270	13.7
2.93	2.90	2,904	345	12.85
3.04	3.00	4,038	449	14.35

Kaya seviyesinin -17.30m kotu üzerinde olduğu bloklarda kazık boyu 7.00m olarak dikkate alınırken, kaya seviyesinin -17.30m kotu altında olduğu bloklarda kazık, kayaya 7m soketlenecek şekilde kazık boyu uzatılmıştır.

4.3.3 Mikro kazık donatısı zımbalama ve plaka hesabı

Mikro kazık donatısı olarak akma dayanımı 950 MPa, kopma dayanımı 1050 MPa olan çift korozyon korumalı yüksek mukavemetli çelik kullanılmıştır. Zımbalama ve beton basıncı kontrolü Şekil 4.11'deki mikro kazık kesiti ve TS500 (2000) şartnamesi dikkate alınarak yapılmıştır.



Şekil 4.11: Uygulama esnasında teşkil edilen mikro kazık kesitlerinden biri

Zımbalama Kontrolü:

Mikro kazık – temel bağlantısının zımbalama hesapları aşağıdaki gibi yapılmıştır.

F servis= 1030 kN (105 t)

$$V_{pr} = \gamma \times f_{ctd} \times u_p \times d \quad (4.5)$$

$f_{ctd} = 1.25 \text{ MPa (min. C30)}$

$\gamma = 0.95$

$u_p = 4 \times (b+d) = 4 \times (0.705+0.24) = 3.78 \text{ m}$

$V_{pr} = 0.95 \times 1250 \times 3.78 \times 0.705 / 1.60 \text{ (FS)} = 1977 \text{ kN} > 1030 \text{ kN}$

Zımbalama hesapları sonrasında servis yükünün güvenli tarafta kaldığı görülmüştür.

Beton Basıncı Kontrolü:

Temel betonunda kullanılacak betonun dayanımı aşağıdaki gibi kontrol edilmiştir.

Plaka 240 x 240 x 55 mm

$\varnothing_{delgi} = 58 \text{ mm}$

$A = 0.055 \text{ m}^2$

$\sigma = F_{servis}/A = 18.7 \text{ MPa} < f_{cd} = 20 \text{ MPa (Min. C30)}$

Beton basınç kontrolü sonrasında temel betonunun silindirik basınç dayanımının minimum 30 MPa olması gerektiği belirlenmiştir.

Plaka Kalınlığı Kontrolü:

Mikro kazıkların temel bağlantısında kullanılacak olan plakanın, mikro kazık servis yükünü güvenli şekilde taşıdığı aşağıdaki hesaplar doğrultusunda görülmüştür.

$\frac{1}{4} \text{ Plaka Parçasına Gelen Yük} = 250 \text{ kN}$

Moment Kolu = 60 mm

Moment = 15 kNm

$\frac{1}{4} \text{ Plaka B} = 150 \text{ mm}$

$d = 55 \text{ mm}$

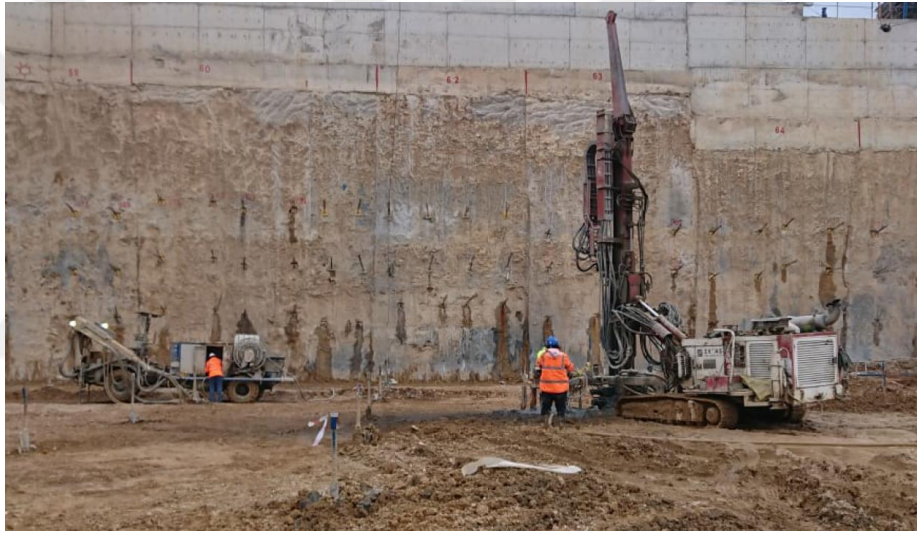
$w = Bd^2/6 = 7,56 \times 10^{-5} \text{ m}^3$

$$\sigma = M/w_xFS (1.60) = 317 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa (St 52)}$$

4.4 Mikro Kazık İmalatı

Mikro kazıklar fore kazıklara nazaran daha küçük makineler ile teşkil edilebilmektedir. Şekil 4.12’de mikro kazık imalatını gerçekleştiren makinelerden biri örnek olarak gösterilmiştir.

Kayada hızlı bir şekilde imalat yapılabilmesini sağlayan tabancalar kullanılarak mikro kazık delgileri yapılmıştır. Mikro kazık delgisi esnasında çekilmiş bir fotoğraf Şekil 4.13’te gösterilmiştir. Mikro kazık delgisi tamamlandığında kuyuya Şekil 4.14’te görüleceği gibi donatı yerleştirilir.



Şekil 4.12: Mikro kazık makinası ve imalatı



Şekil 4.13: Mikro kazık delgisi



Şekil 4.14: Mikro kazık donatısının yerleştirilmesi

Mini kazık donatısı yerleştirildikten sonra diğer delgiye geçilir. İmalatı tamamlanan mikro kazık delgilerine ait fotoğraf Şekil 4.15’te gösterilmiştir.



Şekil 4.15: Tamamlanan mikro kazıklar

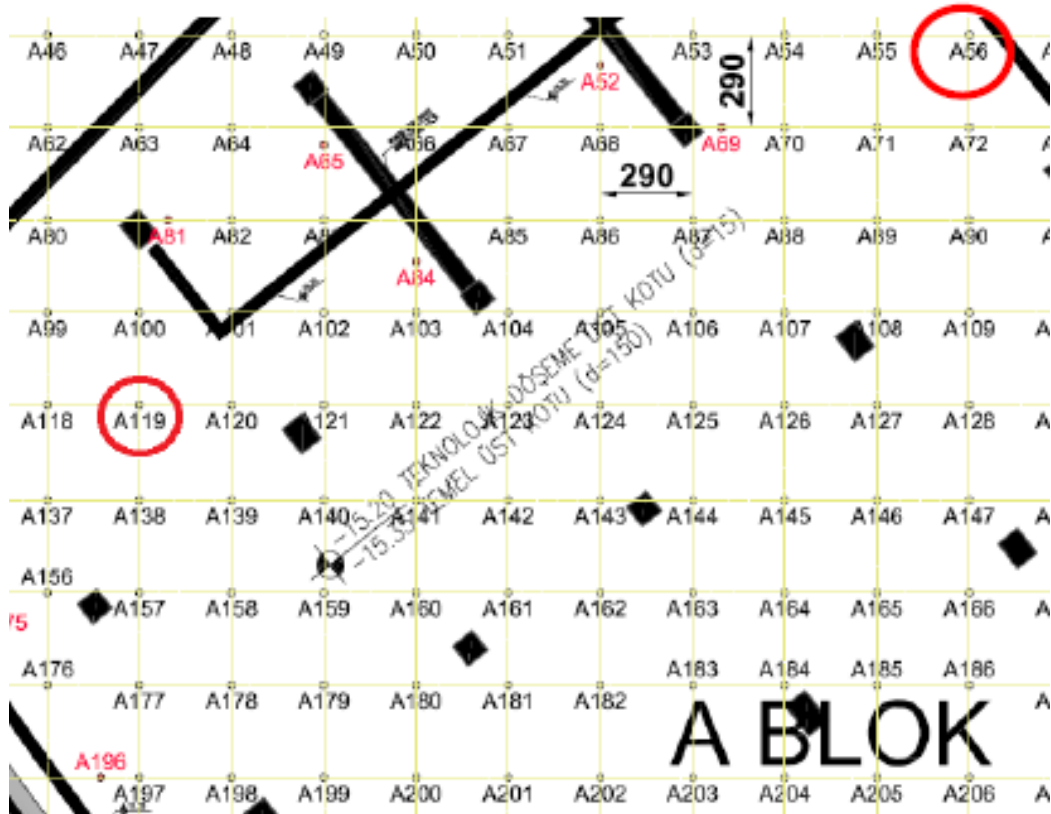
4.5 Mikro Kazık Çekme Deneyleri

Söz konusu proje kapsamında uygulanan mikro kazıklar üzerinde çekme deneyleri yapılmıştır. Deneyler ASTM D3689 (2007) standardı baz alınarak uygulanmıştır. Yapılan deneyler ile ilgili teknik bilgiler Çizelge 4.11’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.11: Deneyler ile ilgili bilgiler

Blok Adı	Mikro Kazık No	Çalışma Yüğü	Maksimum Deney Yüğü
A	A119	105 ton	131 ton
	A56		
B	B503		
	B22		
D	D432		

A, B ve D bloklarının altında imal edilen mikro kazıkların plandaki yerleri Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.16: A Blokta mikro kazıkların uygulandığı alan

Deney mikro kazıklarında çekme deneylerinin yapılabilmesi için kurulan deney düzenekleri yerleştirilen kiriş, plaka ve hidrolik pistonlarla hazırlanmıştır.

A Blok bölgesinde, mevcut kaya seviyesi kazı taban kotu üstünde bulunmaktadır. Bu bölgedeki mikro kazık boyları 7m olarak belirlenmiş olup deney düzenekleri Şekil 4.19 ve 4.20’de gösterilmiştir.

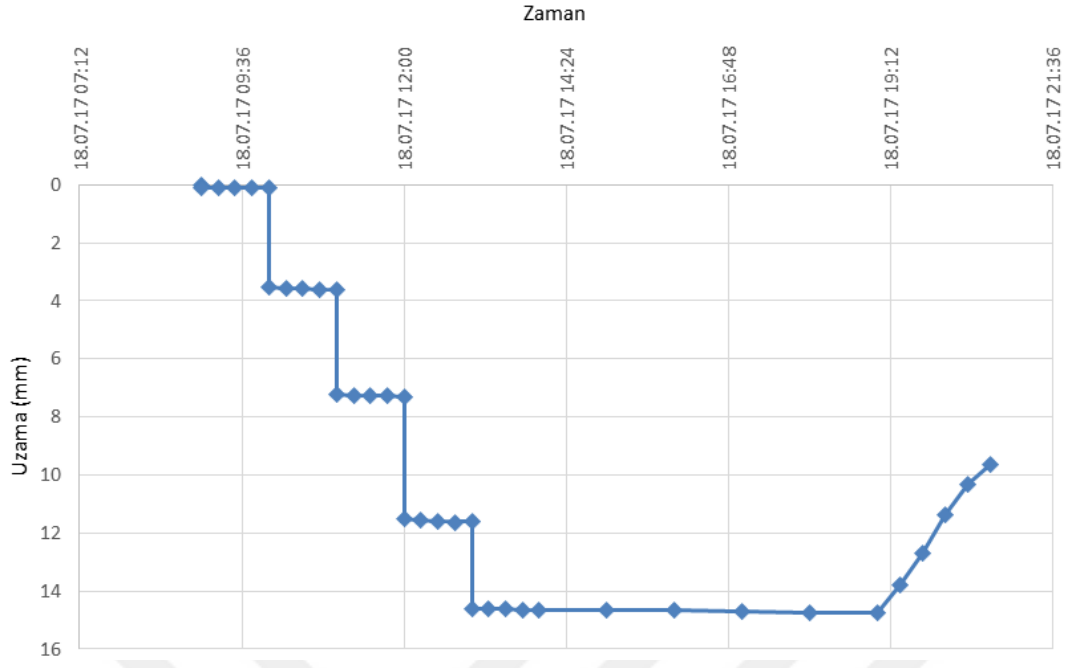


Şekil 4.19: A119 kazığı deney kurulumu

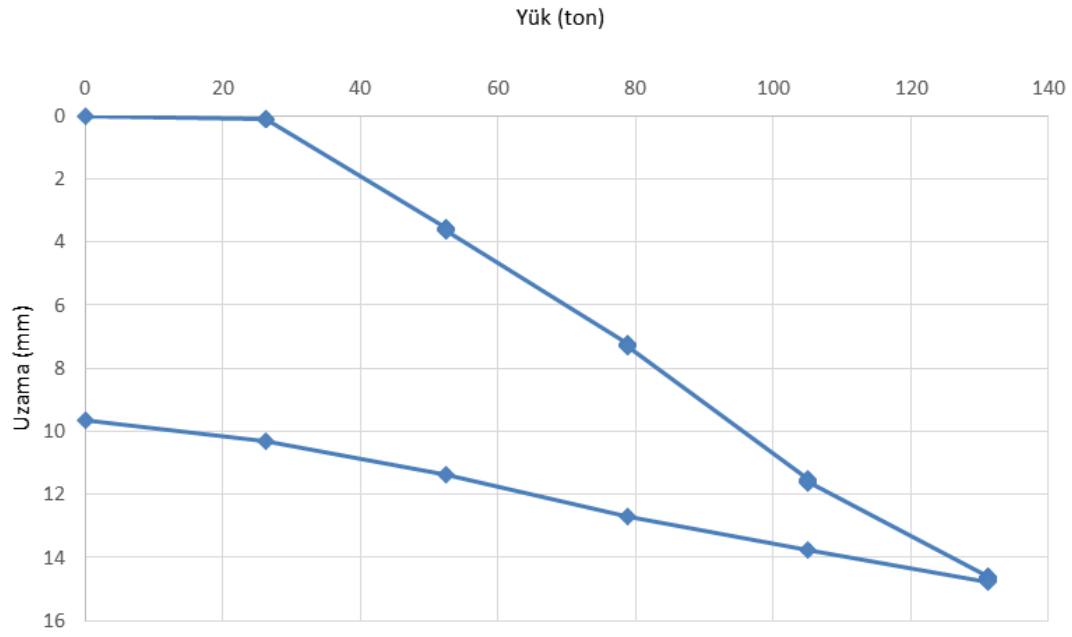


Şekil 4.20: A56 kazığı deney kurulumu

A blokta yapılan deneyler sonucunda elde edilen uzama yük ve uzama zaman grafikleri Şekil 4.21, 4.22, 4.23 ve 4.24’te gösterilmiştir.

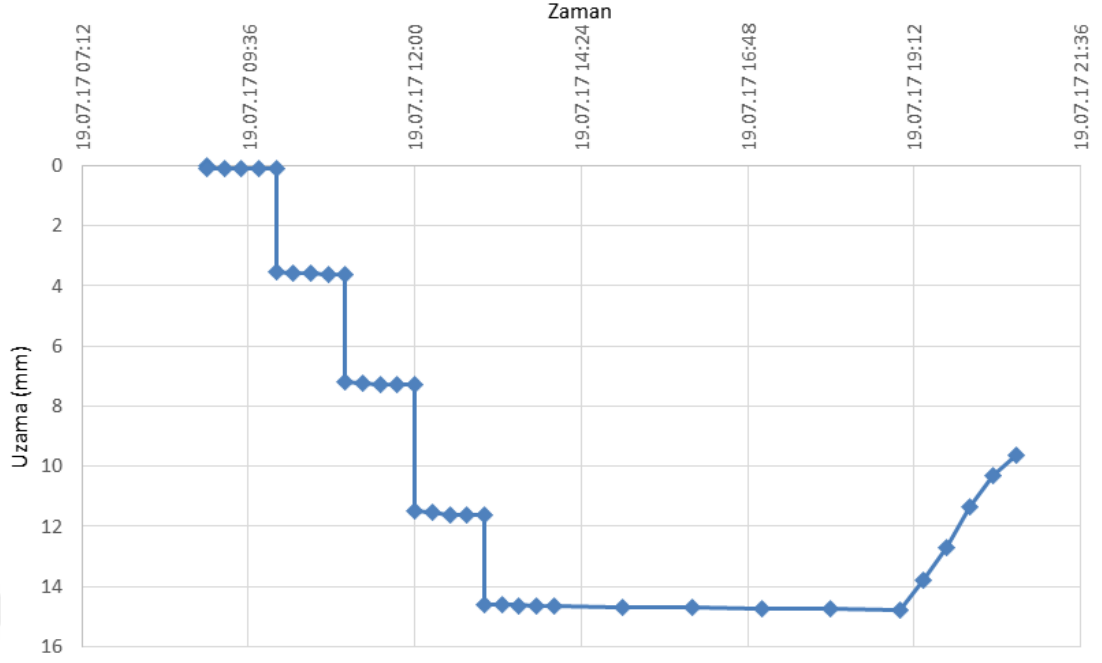


Şekil 4.21: A119 mikro kazık uzamasının zamana göre değişimi

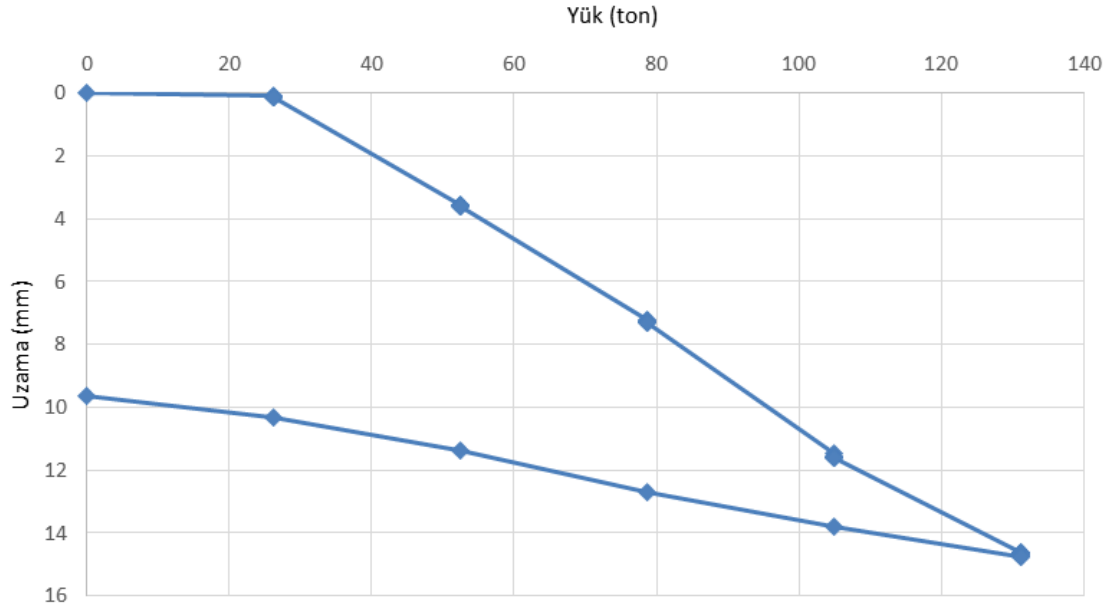


Şekil 4.22: A119 mikro kazık uzamasının yüke göre değişimi

A Blok'ta yapılan çekme deneyleri sonucunda, mikro kazıkların uzamasının belirtilen sınırlar içerisinde kaldığı, mikro kazık servis yükünü güvenli bir şekilde taşıdığı görülmüştür.



Şekil 4.23: A56 mikro kazık uzamasının zamana göre değişimi



Şekil 4.24: A56 mikro kazık uzamasının yüke göre değişimi

B Blok bölgesinde, mevcut kaya seviyesi kazı taban kotu üstünde bulunmaktadır. Bu bölgedeki mikro kazık boyları 7m olarak belirlenmiş olup deney düzenekleri Şekil 4.25 ve 4.26'da gösterilmiştir.



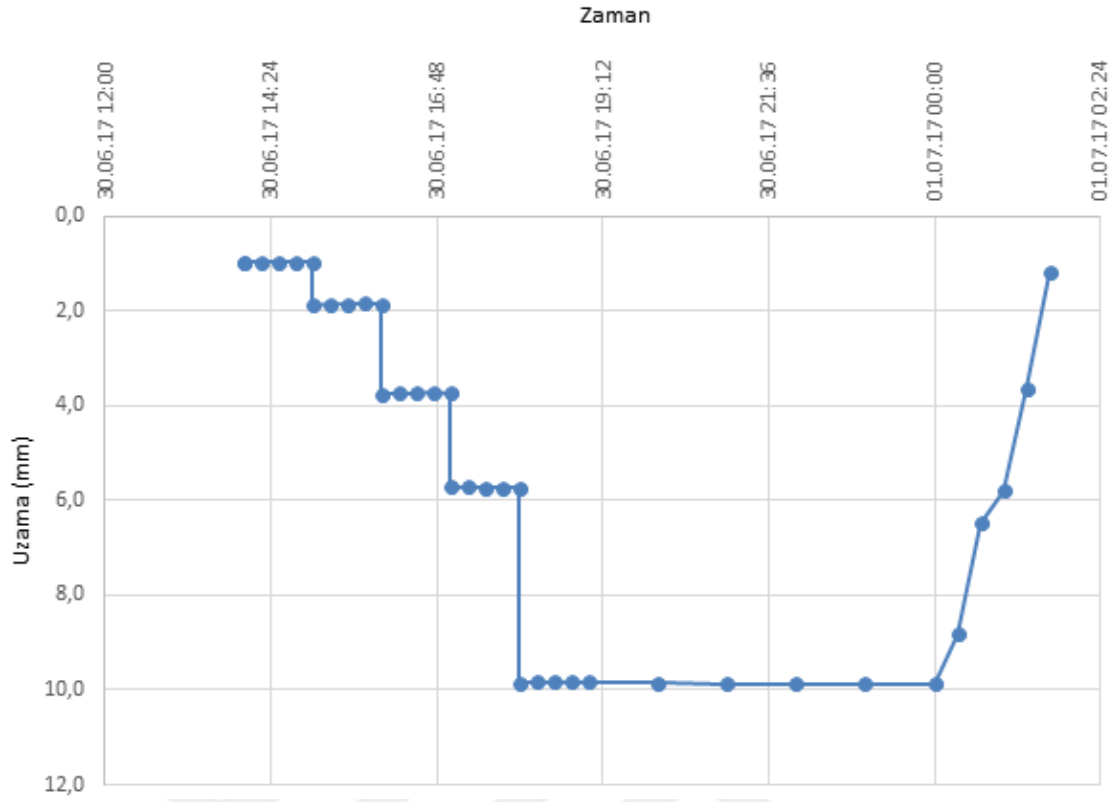
Şekil 4.25: B22 kazığı deney kurulumu



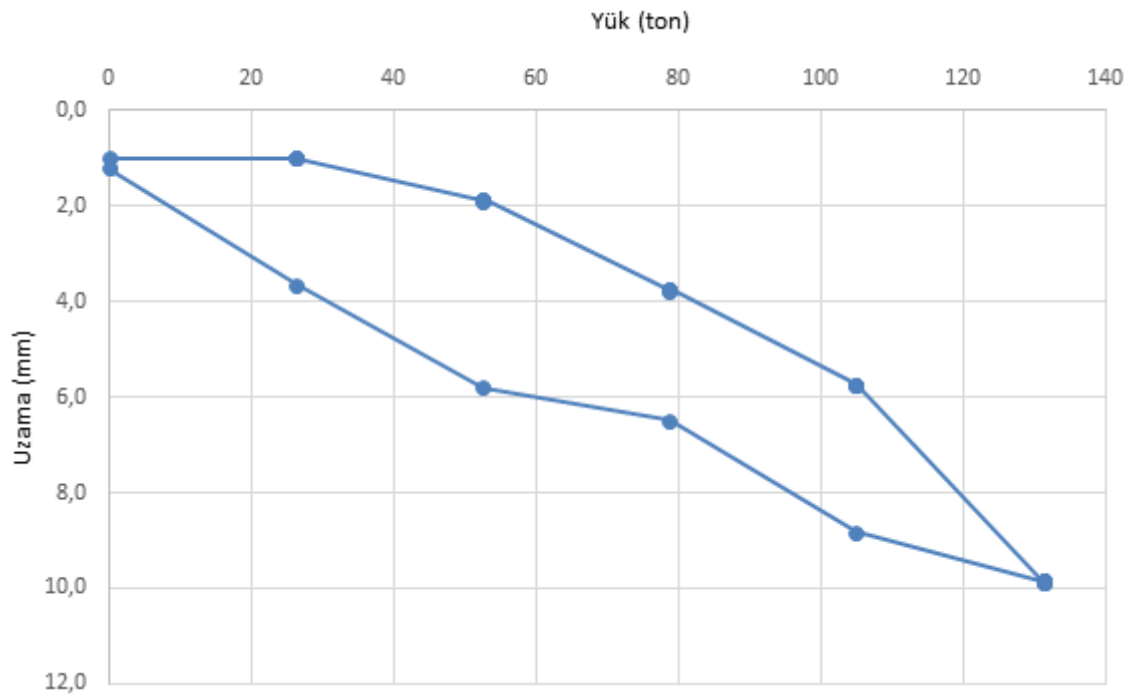
Şekil 4. 26: B503 kazığı deney kurulumu

B blokta yapılan deneyler sonucunda elde edilen uzama yük ve uzama zaman grafikleri Şekil 4.27, 4.28, 4.29 ve 4.30'da gösterilmiştir.

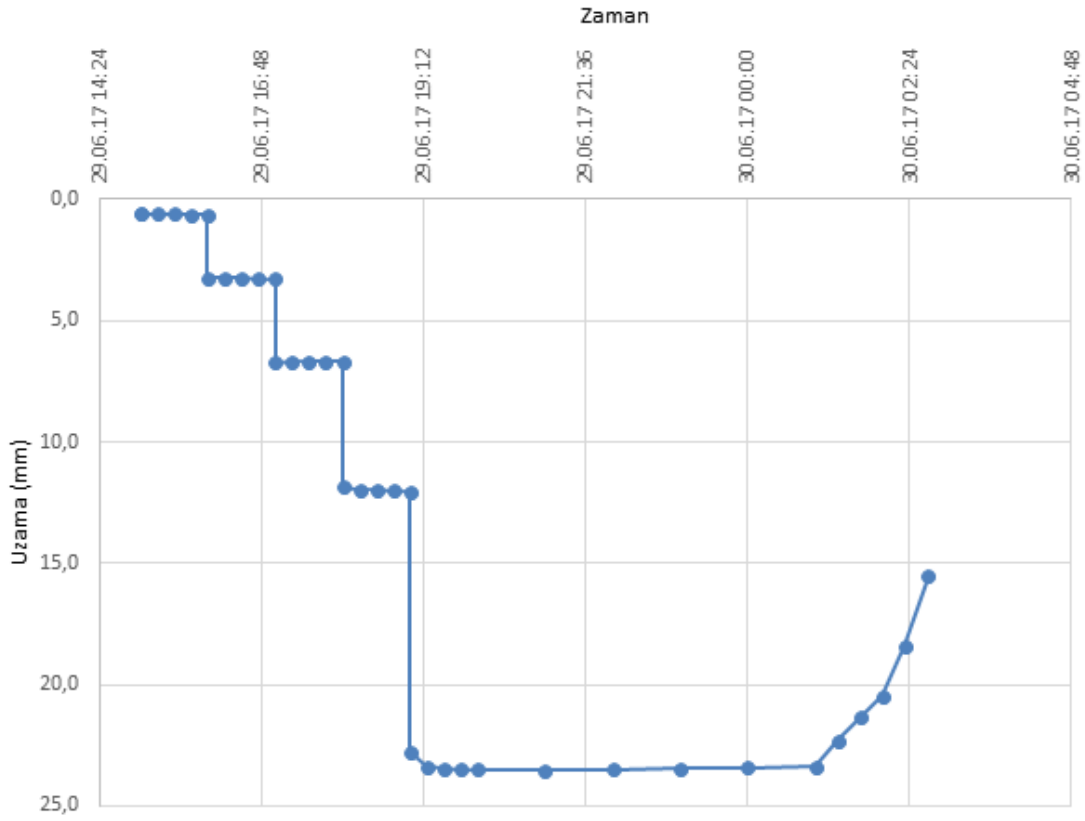
B Blok'ta yapılan çekme deneyleri sonucunda, mikro kazıkların uzamasının belirtilen sınırlar içerisinde kaldığı, mikro kazık servis yükünü güvenli bir şekilde taşıdığı görülmüştür.



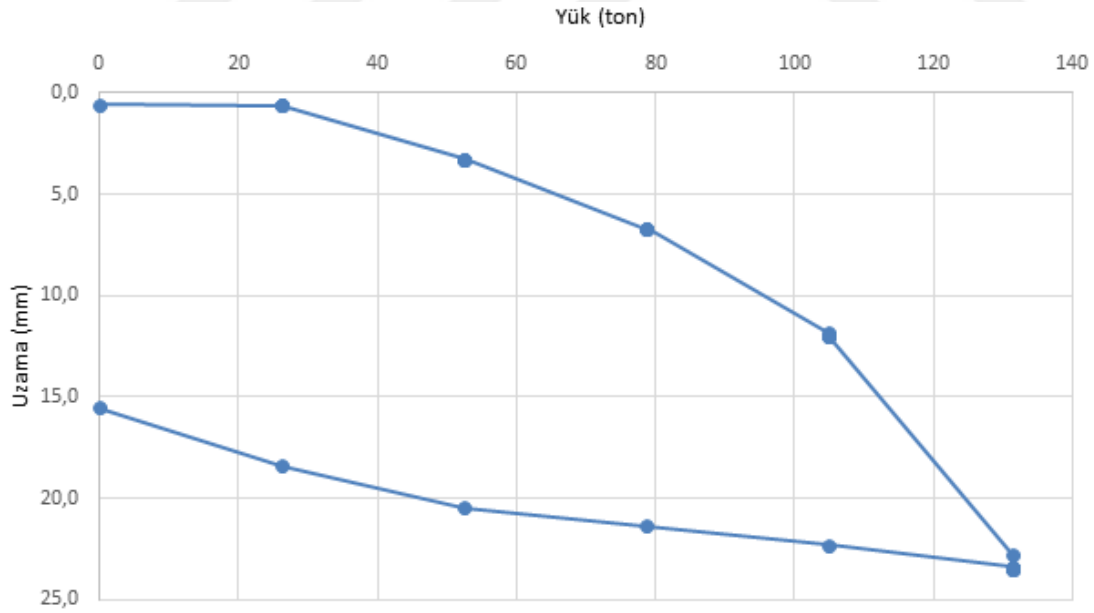
Şekil 4.27: B22 mikro kazık uzamasının zamana göre değişimi



Şekil 4.28: B22 mikro kazık uzamasının yüke göre değişimi

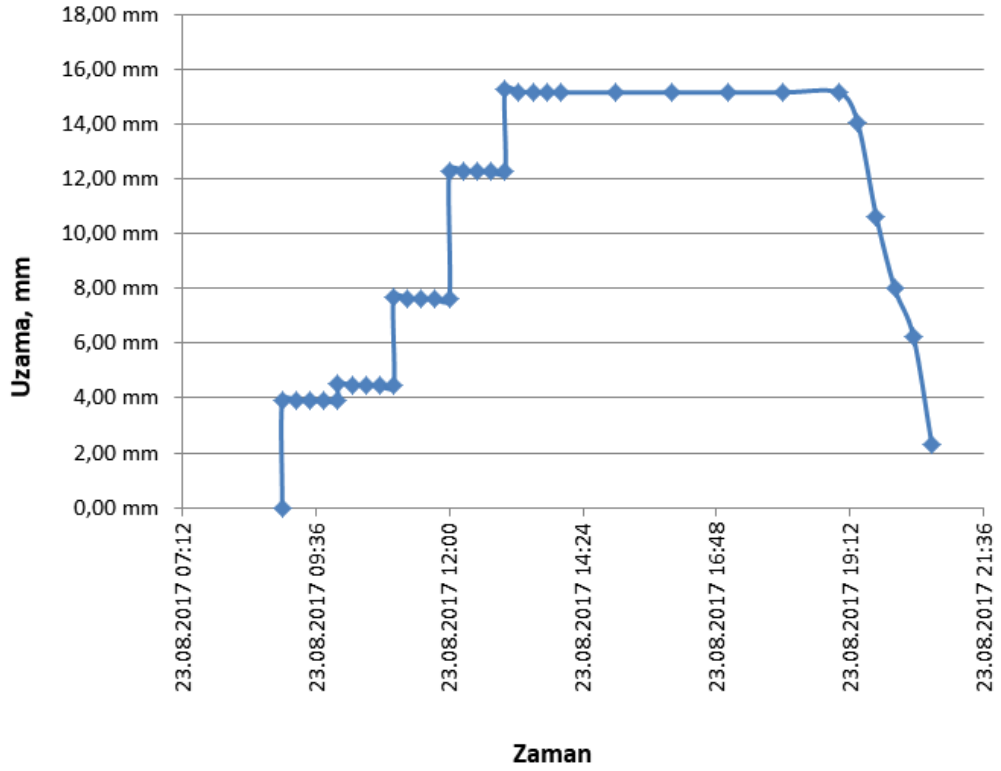


Şekil 4.29: B503 mikro kazık uzamasının zamana göre değişimi

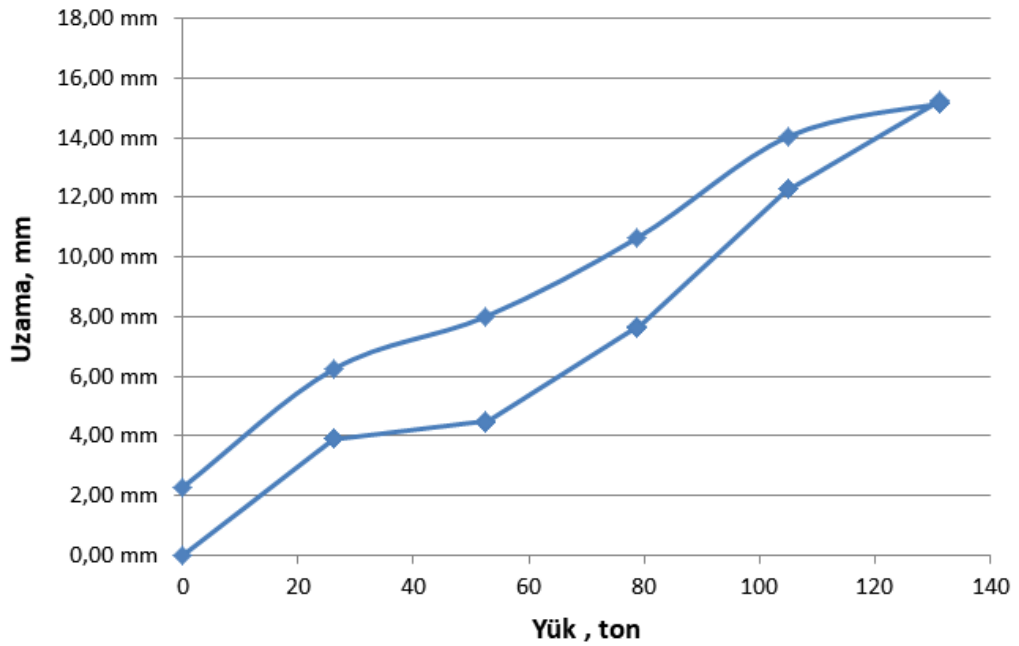


Şekil 4.30: B503 mikro kazık uzamasının yüke göre değişimi

D Blok bölgesinde, mevcut kaya seviyesi kazı taban kotu üstünde bulunmaktadır. Bu bölgedeki mikro kazık boyları 7m olarak belirlenmiş olup deney düzenekleri Şekil 4.31 ve 4.32’de gösterilmiştir.



Şekil 4.31: D432 mikro kazık uzamasının zamana göre değişimi



Şekil 4.32: D432 mikro kazık uzamasının yüke göre değişimi

D Blok'ta yapılan çekme deneyi sonucunda, mikro kazıkların uzamasının belirtilen sınırlar içerisinde kaldığı, mikro kazık servis yükünü güvenli bir şekilde taşıdığı görülmüştür.

Mikro kazık deneylerinin hepsi tek çevrimde tamamlanmış olup proje yükünün %125'i olan 131 tona kadar kademe kademe yüklenmiştir. Çekme deneyi sonuçları Çizelge 4.12'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.12: Mikro kazık çekme deneyi sonuçları

Blok Adı	Mikro Kazık No	Proje yükünün (105 ton) %100 yüklemeinde meydana gelen uzama	Proje yükünün %130 (131 ton) yüklemeinde meydana gelen birim zamandaki uzama
A	A119	11.61mm < 14.38mm	0.06mm/sa < 0.25mm/sa
	A56	9.68mm < 14.38mm	0.04mm/sa < 0.25mm/sa
	B453	8.94mm < 14.38mm	0.03mm/sa < 0.25mm/sa
B	B503	12.3mm < 14.38mm	0.07mm/sa < 0.25mm/sa
	B22	5.74mm < 14.38mm	0.02mm/sa < 0.25mm/sa
D	D432	12.30mm < 14.38mm	0.07mm/sa < 0.25mm/sa

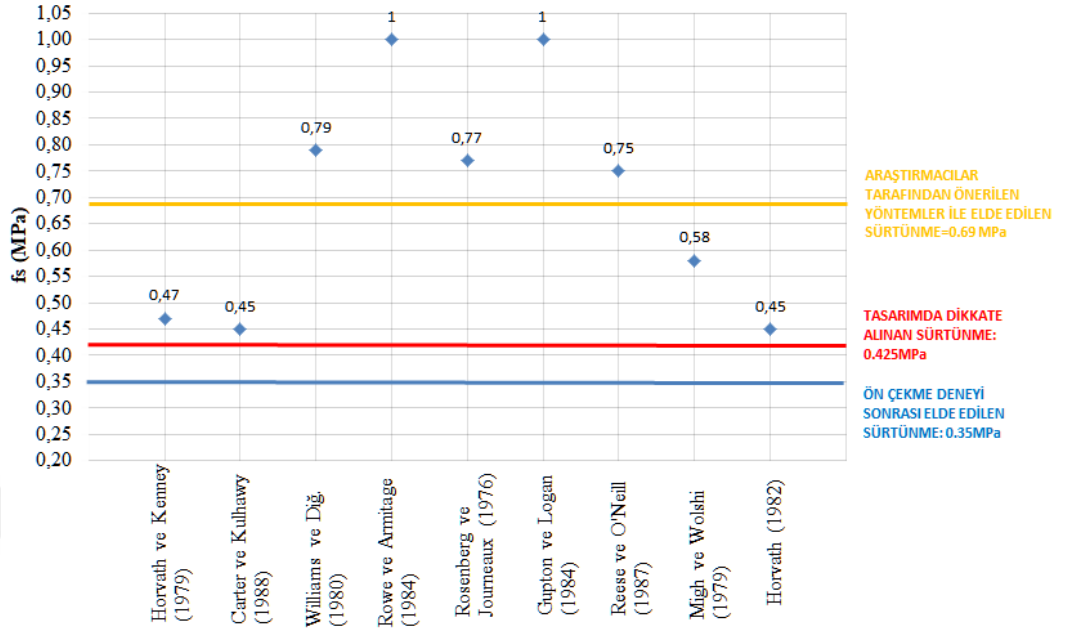
Mikro kazıklarda, proje yükünün(105 ton) %100 yüklemeinde mikro kazıkların yükü emniyetli bir şekilde taşıdığı görülmüş olup uzama miktarı projelendirme aşamasında dikkate alınan değerden (14,38mm) daha az ölçülmüştür. Proje yükünün %130'unun (131 ton) mikro kazıklar tarafından emniyetli bir şekilde taşındığı görülmüş olup yükleme sırasında birim zamanda uzama artışının sınır değerler altında kaldığı görülmüştür.

4.6 Mikro Kazık İmalatları Sonrasında Genel Bir Değerlendirme

Mikro kazıklar, delgi içerisine yerleştirilen yüksek mukavemetli donatılar enjeksiyonlanarak imal edilmiştir. İmalatlar öncesinde literatürde bulunan kayanın tek eksenli basınç dayanımına ait ampirik formüllerden kayadan elde edilebilecek birim sürtünme değerleri bulunmuş ve bu değerlerden ortalama kayada 690 kPa sürtünme değeri elde edilmiştir. Ayrıca mevcut kayanın kalite göstergesine bağlı ampirik formül kullanılarak 630 kPa sürtünme değeri elde edilmiştir. Yapılan bu iki hesaplamadan birbirine yakın sürtünme değerleri elde edilmiştir.

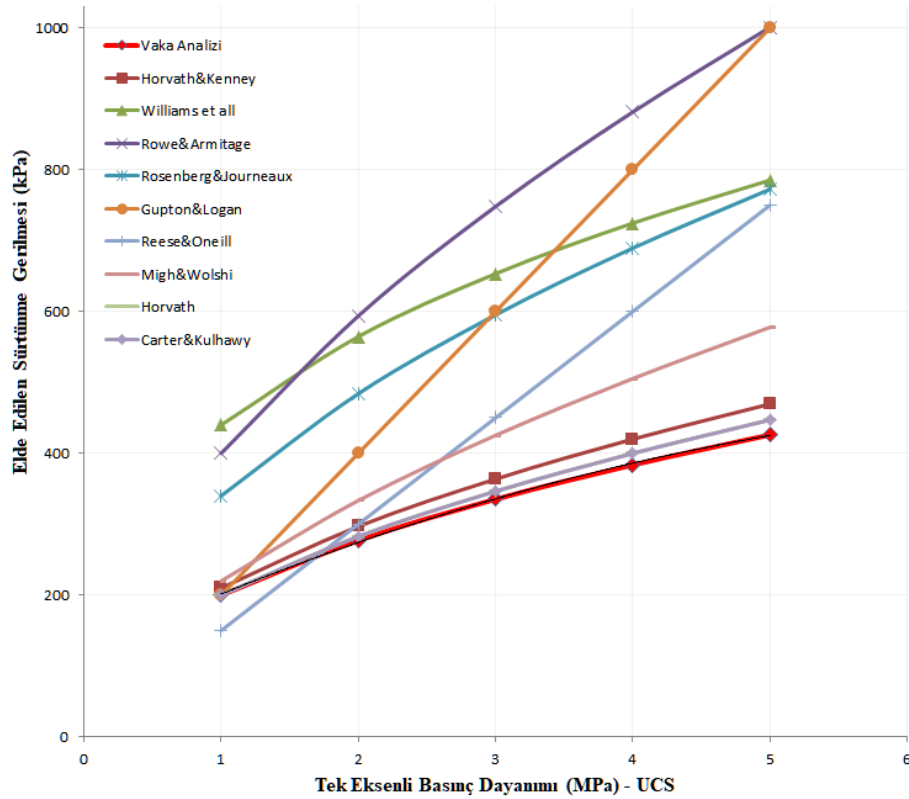
Yapılan bu hesaplar sonrasında, sahada imalatlar öncesinde mikro kazık çekme deneyi yapılmıştır. Yapılan bu çekme deneyinde servis yükü olan 105 ton çekme yükü olarak kullanılmış ve bu yük altında kayadan 350 kPa sürtünme değeri elde edilmiştir. Yapılan bu çekme deneyinde maksimum yüke fiziksel nedenlerden dolayı çıkılamamış ve kayadan elde edilebilecek sürtünme değerinin 425 kPa olarak dikkate alınmasına karar verilmiştir.

Literatürden elde edilen sürtünme değerleri ile dikkate alınan sürtünme değeri karşılaştırılması Şekil 4.33'te gösterilmiştir.



Şekil 4.33: Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen yöntemler ile elde edilen sürtünme değerleri

Şekil 4.34'te tek eksenli basınç dayanım değeri 1 MPa ve 5 MPa arasında değişen kayadan elde edilebilecek sürtünme gerilmeleri gösterilmiştir.



Şekil 4.34: Kayadan elde edilebilecek sürtünme gerilmelerinin karşılaştırılması

Vaka analizinde elde edilen sürtünme gerilmesi, Carter ve Kulhawy (1988), Horvath ve Kenney (1979) ve Horvath (1982) tarafından önerilen yöntemler ile yakınlık göstermektedir. Elde edilen deney sonuçlarına ve yapılan karşılaştırmalar üzerinden yapılan değerlendirmelere dayanarak uygulamada mikro kazık tasarımında bir problem olmadığı görülmüştür.

Uygulamada mikro kazık yerine fore kazık teşkil edilse idi, sahada hem fore kazık makinasının güvenli ve rahat bir şekilde imal edebilmesine hem de demir işçiliklerinin yapılabileceği bir alanın saha içerisinde yapılmasını sağlayacak boş alanların İşveren tarafından sürekli ve içi aksatmayacak şekilde teslim edilmesi gerekecekti. Bu sebeple mikro kazık imalatı İşveren'in sahadaki diğer işlerini de rahatlıkla yapabilmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca st yapı projesi kazık imalatlarının tamamının bitmesini beklemeden mikro kazık imalatı ile aynı zaman diliminde yapılabilmıştir. Sahada sıkışık koşullarda yapılan mikro kazık delgisinin yapılışını gösteren fotoğraf şekil 4.35'te gsterilmıştir.



şekil 4.35: Sıkışık şantiye koşullarında mikro kazık imalatının yapılması

Mikro kazık donatısı olarak tek parça demirin kullanılması, Şekil 4.36’da görülebileceği gibi İşveren’in temel izolasyon işlerinin neredeyse kusursuz yapılmasına olanak sağlamıştır.



Şekil 4.36: Temel izolasyonları tamamlanmış mikro kazıklar

Fore kazık imalatlarında, imalat esnasında kuyu çeperinin yıkıntı yapabilme olasılığı, betonlama sırasında oluşabilecek sorunlar sonucunda gereken minimum paspayı genişliğinin sağlanamaması gibi problemler ile karşılaşılabilir. Mikro kazıklarda çift korozyon koruma detaylı yüksek mukavemetli donatı kullanılması çatlak genişliği açısından İşveren’in kuşkularını ortadan kaldırmıştır.

Projede fore kazık yerine mikro kazık kullanılması sayesinde İşveren tarafından birçok iş kaleminde proje güveni, ekonomisi ve süresi bakımından azımsanamayacak şekilde büyük bir avantaj sağlamıştır.



5. SONUÇLAR

Dünyada ve ülkemizde son zamanlarda yapılan derin kazılarda taşıma kapasitesi veya yüzme problemlerinde en çok tercih edilen düşey taşıyıcı eleman olarak fore kazıklar imal edilmektedir. Bu uygulamanın tercih edilmesinin en önemli sebepleri neredeyse her uygulayıcı firmanın fore kazık makinasına sahip olması ve uygulamayı yapabilmesidir. Ancak yapının üzerine yapılacağı zemin şartlarının çeşitlilik göstermesi, yapı malzemesi teknolojisinin hızla gelişimi temel mühendisliğinde de alternatif çözümlerin oluşmasına olanak sağlamıştır.

Son yıllarda kullanılmaya başlayan bir kazık çeşidi olan mikro kazık da ülkemizde düşey destek elemanı olarak kullanılmaya başlamıştır. Özellikle sıkışık ve dar şantiye koşullarında görece küçük makineler ile yüksek mukavemetli çift korozyon korumalı tek donatı kullanarak imal edilen mikro kazıklar, fore kazıklara kıyasla proje maliyetlerini önemli ölçüde düşürmekte ve iş programını sürelerini büyük ölçüde azaltmaktadır.

Bu çalışmada, son yıllarda geliştirilmiş olan yüksek mukavemetli çift korozyon koruma detayı içeren mikro kazık teknolojisinden bahsedilmiştir. Mikro kazık uygulaması yapılmış bir proje sahasındaki çekme deneyleri sonuçları değerlendirilmiştir. Vaka analizi kapsamında, kayadan ampirik formüller ile elde edilebilecek sürtünme değerleri değerlendirilmiş, çekme deneyleri sonuçları karşılaştırılmıştır.

Mikro kazıklar, çift korozyon koruma detayı içeren yüksek mukavemetli tek donatının delgi içerisine yerleştirilmesi ve ardından enjeksiyonlanması ile imal edilmektedir. Böylelikle, mikro kazık için enjeksiyon çatlak genişliği emniyetli bir şekilde sağlanmış, temel izolasyon işleri de kolaylıkla yapılabilmektedir. Tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

- Fore kazık betonun çatlak genişliğinin gereken minimum koşulları sağlamadaki belirsizlikler sebebi ile fore kazık imalatına alternatif olarak

söz konusu projede son yıllarda ülkemizde kullanımı artan ve çift korozyon koruma detaylı mikro kazıklar kullanılmıştır.

- Fore kazık imalatlarında temel izolasyon detayının proje süresini ve bütçesini önemli ölçüde etkilemesi sebebi ile çok daha kolay temel izolasyon işlerinin yapılabildiği mikro kazık imatları iş programını ve proje ekonomisini büyük ölçüde etkilemiştir.
- Mikro kazık delgi işçiliğinin, fore kazık delgi işçiliğinden daha ekonomik olması ve mikro kazıklarda fore kazık işlerindeki gibi demir işçiliğinin olmaması proje bütçesine ve süresine büyük bir ekonomi sağlamıştır.
- Sıkışık ve dar şantiye koşullarında büyük makineler ile imalatı yapılan fore kazık uygulamaları yerine, görece daha küçük makineler ile imal edilebilen mikro kazık uygulamasının tercih edilmesi sayesinde şantiyede mikro kazık imalatı ile mikro kazık imalatı tamamlanan bölgelerde temel işlerinin eş zamanlı devam edebilmesine olanak sağlamıştır.
- Mikro kazık tasarımı, kaya tabakalarının tek eksenli basınç dayanımları dikkate alınarak kayadan elde edilebilecek sürtünme değerleri elde edilerek yapılmıştır. Literatürde önerilen ampirik yöntemler ile kayada sürtünme değerleri elde edilmiş olup, bu değer sahada imalatlar öncesinde mikro kazık üzerinde yapılan ön çekme deneyi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deney sırasında maksimum yüke ulaşılmamıştır. Bu sebeple söz konusu proje sahasındaki kaya tabakalarından elde edilebilecek sürtünme değerleri için literatür ve çekme deneyi sonuçlarına uyumlu olarak ortalama bir sürtünme değeri dikkate alınmıştır.
- Literatürdeki araştırmacıların önerdiği yöntemler ile kayadan ortalama 690 kPa sürtünme elde ederken, çekme deneyinde servis yükü altında bu değerin 350 kPa olduğu görülmüştür. Mikro kazık tasarımlarında kayadan elde edilecek birim sürtünme değeri için bu değerlerin arasında olan 425 kPa dikkate alınmıştır.
- Ayrıca söz konusu proje sahasındaki kaya tabakalarının kalitesine göre de literatürde önerilen yöntem ile ortalama bir sürtünme değeri elde edilmiş, bu değerin literatürde önerilen diğer yöntemlerden elde edilen değerler ile yakınlık gösterdiği görülmüştür.

- Tamamlanan mikro kazık imalatları üzerinde çekme deneyleri yapılmış olup, elde edilen yük-uzama grafiklerinden mikro kazıkların servis yüklerini güvenli şekilde taşıdığı görülmüştür.
- Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde, projede çekme kazıkları kapsamında fore kazık yerine mikro kazık uygulamalarının yapılması, projeye hem güvenlik hem iş programı hem de proje bütçesi gibi bir çok yönden avantaj sağlamıştır.





KAYNAKLAR

- AASHTO M85** (2018). *Standard Specification for Portland Cement*. USA.
- AASHTO M31/M31M** (2017). *Standard Specification for Deformed and Plain Carbon and Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement*, USA.
- AASHTO M275/M275M** (2008). *Standard Specification for Uncoated High Yield Strength Bars for Prestressing Concrete*, USA.
- ASTM A615/A615M-15a** (2015). *Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement*. USA.
- ASTM A722/A722M – 15** (2015). *Standard Specification for High-Strength Steel Bars for Prestressed Concrete*, USA.
- ASTM C150/C150 -18** (2007). *Standard Specification for Portland Cement*. USA
- ASTM D3689-07** (2007) *Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Tensile Load*, USA.
- Arioğlu, E., Yılmaz, A. O. & Tunçdemir, H.** (2007). *Kayaya Gömülü Fore Kazıklar*. Evrim Yayınevi, İstanbul, s:75 – 93.
- Barley, A. D. & Woodward, M. A.** (1992). *High Loading of Long Slender Minipiles. Proceedings, ICE Conference on Piling European Practice and Worldwide Trends*, Thomas Telford, London, s. 131-136.
- Birand, A. A.** (2006). *Siğ(Yüzey) Temeller*. Ankara, Teknik Yayınevi.
- Bowles, J.E.** (1997). *Foundation Analysis and Design*. 5th Edition, McGraw-Hill, United States.
- Das, B.** (2000). *Fundamentals of Geotechnical Engineering*. CL Engineering. USA
- Bruce, D.A. & Gemme, R.** (1992). *Current Practice in Structural Underpinning Using Piniles*. Proc. NY Met. Section Annual Seminar, New York City, April 21-22.
- Bruce, D.A., Bruce, M.E.C. & Traylor, R.P.** (1999). *High Capacity Micropiles – Basic Principals and Case Histories*. GeoEngineering for Underground Facilities. Proc. of the 3rd National Conference of the Geo-Institute of the American Society of Civil Engineer, Geotechnical Special Publication No.90, Urbana-Champaign II, June 13-17, s:188-199.
- Carter, J.P. & Kulhawy, F.H.** (1988). *Analysis and Design of Drilled Shaft Foundations Socketed into Rock*. Report EL-5918, Electric Power Research Institute, Palo, Alto, Calif.
- Choi, C. & Cho, S.D.** (2010). *Field Vertification Study for Micropile Load Capacity*. Proc. of 10th ISM Workshop.
- Coduto, D.P.** (2001). *Foundation Design: Principle and Practices*. 2nd Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Dimilio, A.F., Juran, I. & Bruce, D.A.** (2001). *High Capacity Grouted Micropiles: The State of Practice in US*. 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Istanbul, Türkiye.

- Durgunoglu, H.T. & Mitchell, J.K.** (1974) *Static penetration resistance of soils*, Proc. Os ASCE, Specialty Conference on In Situ Measurement of Soil Properties, Raleigh, North Caroline, 1, pp: 151 – 189.
- Elsalfiti, A.K.** (2011). *Skin Friction of Micropiles Embedded in Gravelly Soils*. (Yüksek Lisans Tezi). Concordia University, The Department of Building, Civil and Environmental Engineering.
- Erdoğan B.** (1990). *İzmir-Ankara Zonu'nun İzmir ile Seferihisar Arasındaki Bölgede Stratigrafik Özellikleri ve Tektonik Evrimi*, TPJD Bülteni, C2/1, pp.1-20.
- Eurocode 7** (2004). *Geotechnical Desing – Part 1: General Rules*. BS EN 1997-1:2004.
- FHWA.** (1997). *Drilled and Grouted Micropiles, State-of-Practice Review*. Report No. FHWA-RD-96-016/019, United States Department of Transportation, July. Four Volumes.
- FHWA-IF-99-015.** (1999). *Ground Anchors and Anchored Systems*. United States Department of Transportation, June.
- FHWA.** (2000). *Micropile Design and Construction Guidelines*, U.S. Department of Transportation, *Federal Highway Administration*, Publication No: FHWA-SA-97-070, Washington DC, USA.
- FHWA.** (2010). *Drilled Shafts: Construction Procedures and LRFD Design Methods*. FHWA-NHI-10-016, New York, USA.
- FHWA.** (2015). *Soil Nails Wall Reference Manual*, U.S. Department of Transportation, *Federal Highway Administration*, Publication No: FHWA-NHI-14-007, Washington DC, USA.
- Hatipoğlu, M.** (2002). *Kayaya soketli kazıkların mühendislik davranışı (Yüksek Lisans Tezi)*. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Holman, T.P. & Barkauskas, B.D.** (2014). *High Capacity Micropiles in Weak Dolomitic Limestone for Crane Foundation Support – A Case History in Temporary Foundations*. Krakow, Poland.
- Horvath, R.G.** (1982). *Drilled Piers Socketed into Weak Shale – Methods of Improving Performance*, Ph.D. Dissertation, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada.
- Horvath, R.G. & Kenney, T.C.** (1979). *Shaft Resistance of Rock Socketed Drilled Piers*, Proc. Symposium on Deep Foundations, ASCE, Atlanta, USA.
- Korkmaz, E., Akçakal, Ö., Sevim, O., İkiz, S. & Durgunoğlu, H.T.** (2017). Çekme Yüğü Altında Çalışan Mini Kazıklar, *Uluslararası Katılımlı 7. Geoteknik Sempozyumu*, (pp.557-564). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2017, 22-24 Kasım.
- Kumbasar, V. & Kip,F.** (1999). *Zemin Mekaniği Problemleri*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- Kuntsche, K.** (2007). Deep excavations and slopes in urban areas. *Proceedings 14th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, (pp. 63-73). Madrid, Spain.
- Lubach, A.** (2010). *Bentonite cavities in diaphragm walls* (Yüksek Lisans Tezi). Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering & Geoscience, Delft.
- Marques, D., Santos, P. & Veludo, J.** (2014). *The Influence of Hole Surface Treatment and Confinement Level in the Connection Capacity*

- Between RC footings and Strengthenin Micropiles. 12th International Workshop on Micropiles, Krakow, Poland.*
- McCarthy, D.F.** (2014). *Essentials of Soil Mechanics and Foundations: Basic Geotechnics*, 7th ed., Pearson Education Limited.
- Peck , R.B., Hanson W.E. & Thornburn T.H.** (1974). *Foundation Engineering*, 2nd ed., John Wiley and Sons, NY.
- Prekash, S. & Sharma, H.D.** (1990). *Pile Foundation in Engineering Practice*, Wiley & Sons, Incorporated.
- Terzaghi, K. & Peck, R.B.** (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley & Sons, New York.
- Toğrol, E. & Tan, O.** (2003). *Kazıklı Temeller*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Tomlinson, M.J.** (2001). *Foundation Design and Construction*. 7th edition. Pearson Education Limited, Great Britain.
- TS 500** (2000). *Türk Standardı: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*. Ankara.
- TS 206** (2013). *Türk Standardı: Beton – Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk*, Ankara.
- TS 14199** (2015). *Türk Standardı: Özel Geoteknik Uygulamalar – Mini Kazıklar*, Ankara.
- USACE** (2005). *US Army Corps of Engineers: Engineering and design. USACE 1110-2-2100*.
- Vesic, A.S.** (1997). *Design of Pile Foundations*, National Research Program Synthesis of Practice, Washington, No:42, Transportation Research Board.
- Williams, A.F., Johnston, I.W. & Donald, I.B.** (1980). *The Design of sockets in weak rock*. Proceedings, International Conference on Structural Foundation on Rock, Sydney, Vol.1, s:327-347.
- Zhang L.** (2004). *Drilled Shafts in Rock:Analysis and Design*. A.A Balkema Publishers, London, s:193.



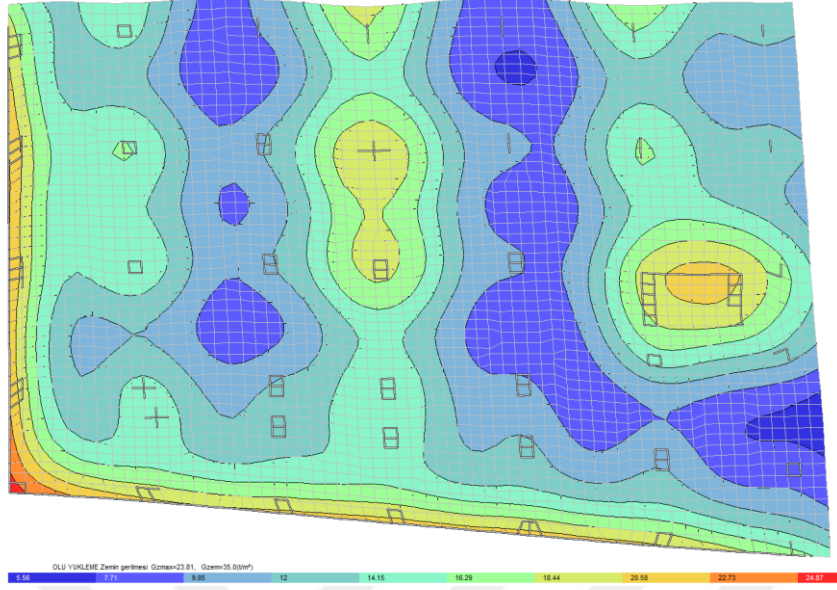
EKLER

EK A: G yükü altında bodrum katları inşaatı sonrası oluşan temel altı gerilmeleri

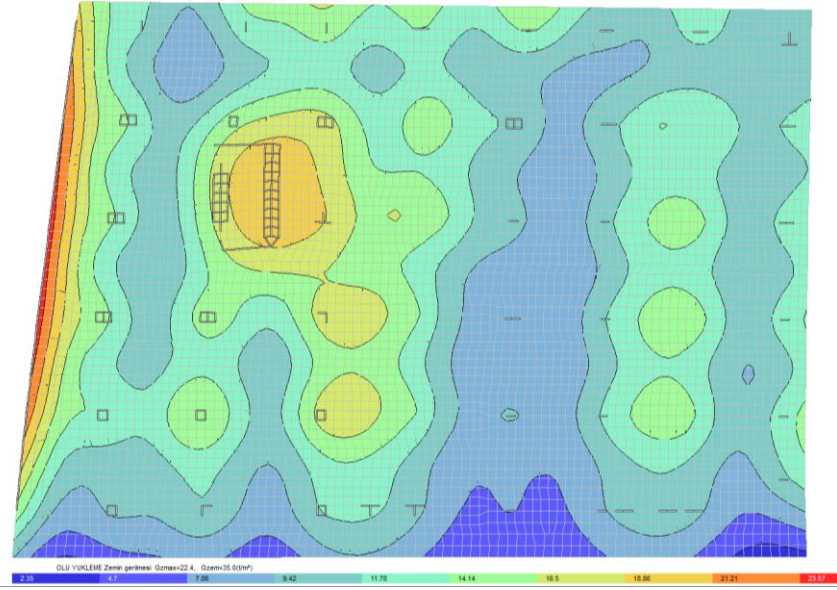
EK B: G yükü altında yapı tamamlandıktan sonra oluşan temel altı gerilmeleri



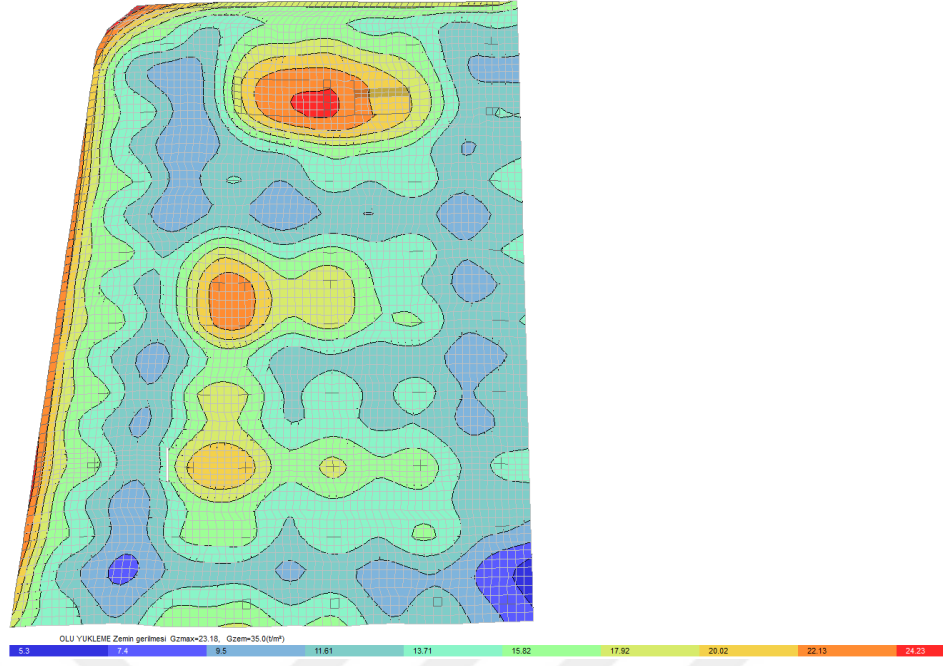
EK A



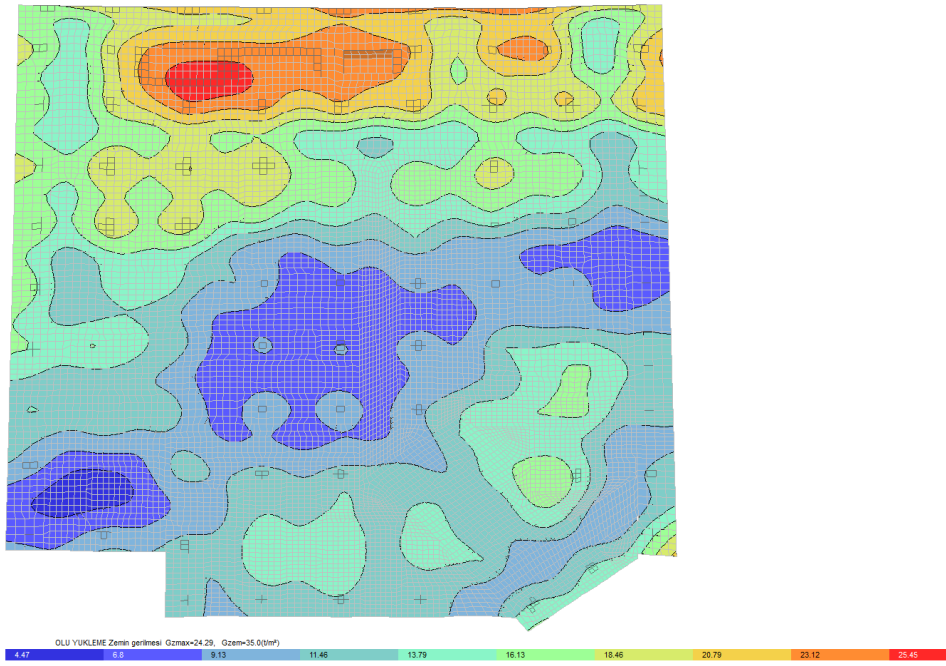
Şekil A.1: A blok temel altı gerilmesi



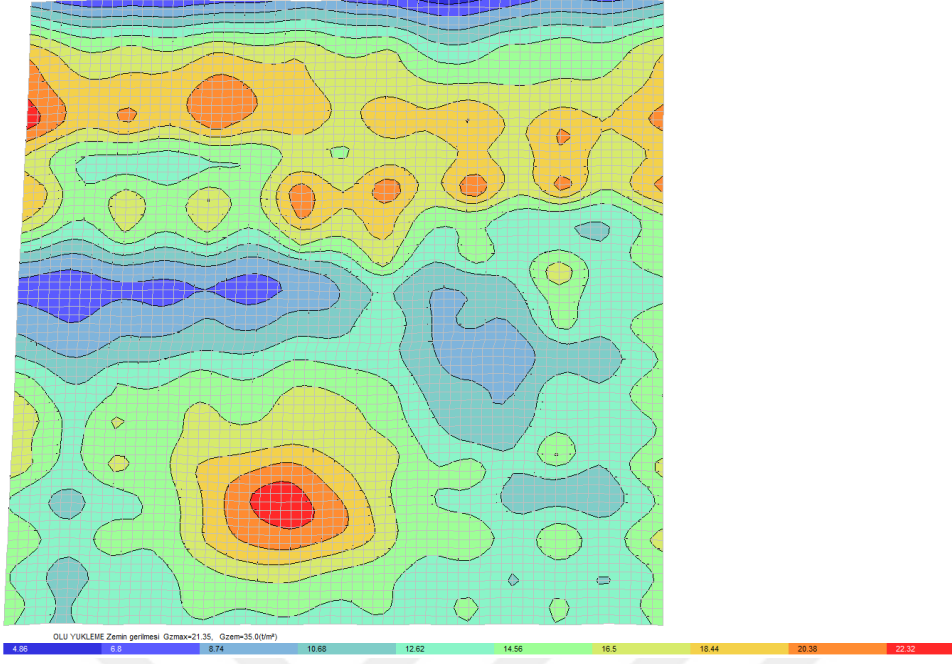
Şekil A.2: B blok temel altı gerilmesi



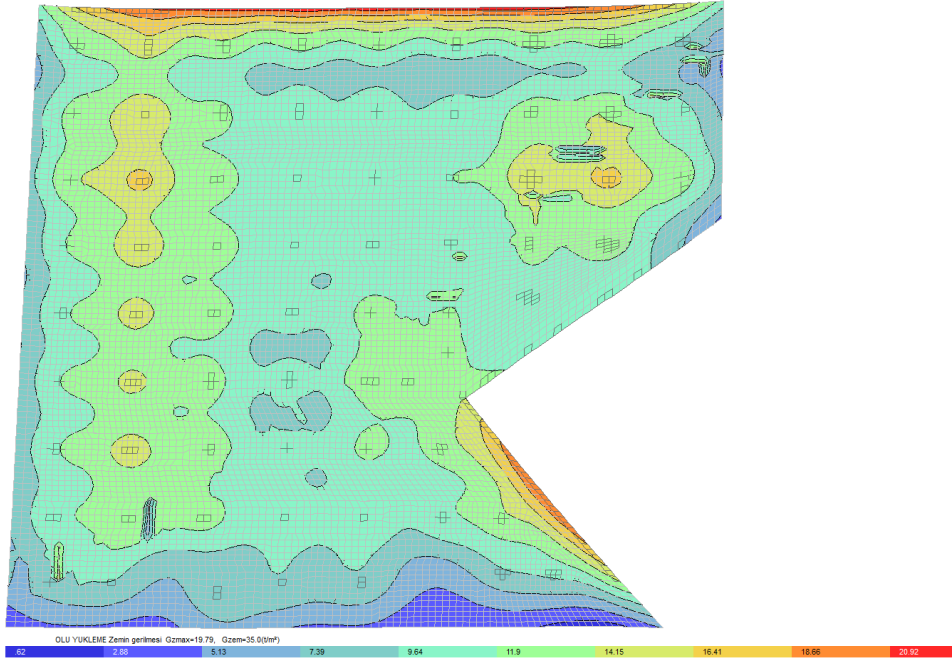
Şekil A.3: C blok temel altı zemin gerilmesi



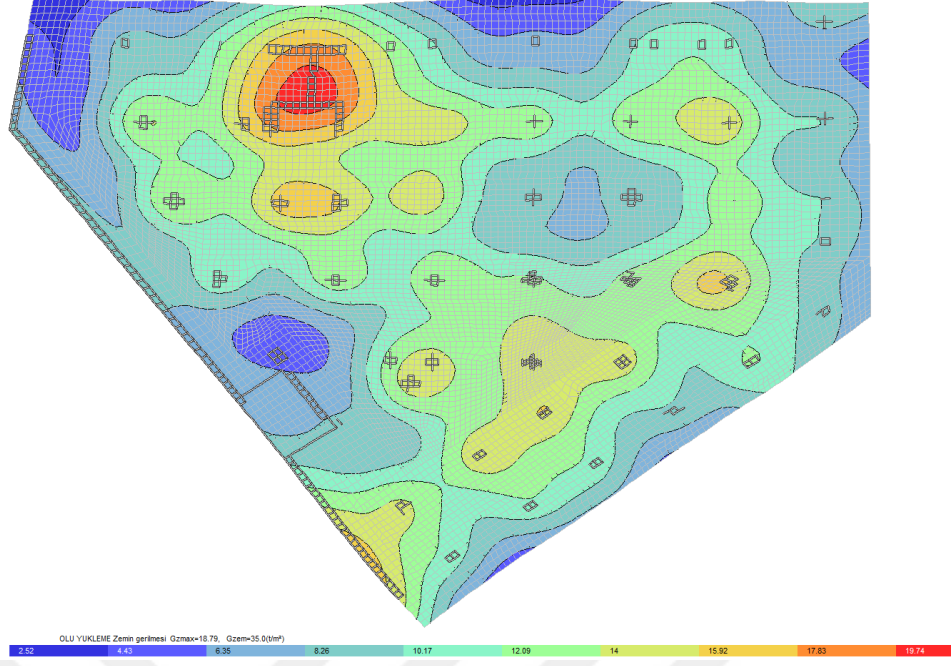
Şekil A.4: D blok temel altı zemin gerilmesi



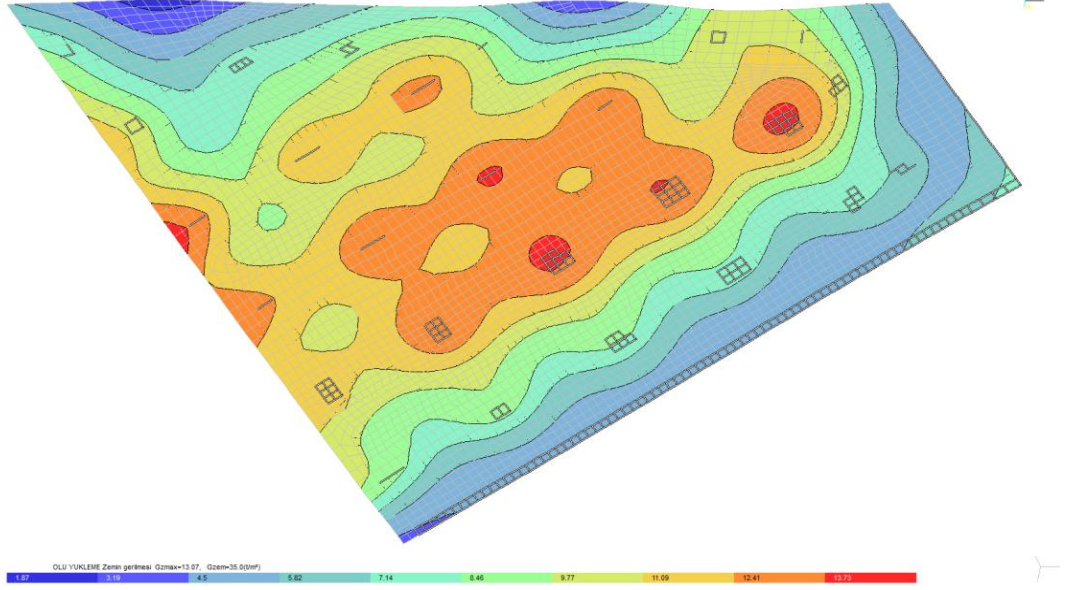
Şekil A.5: E blok temel altı zemin gerilmesi



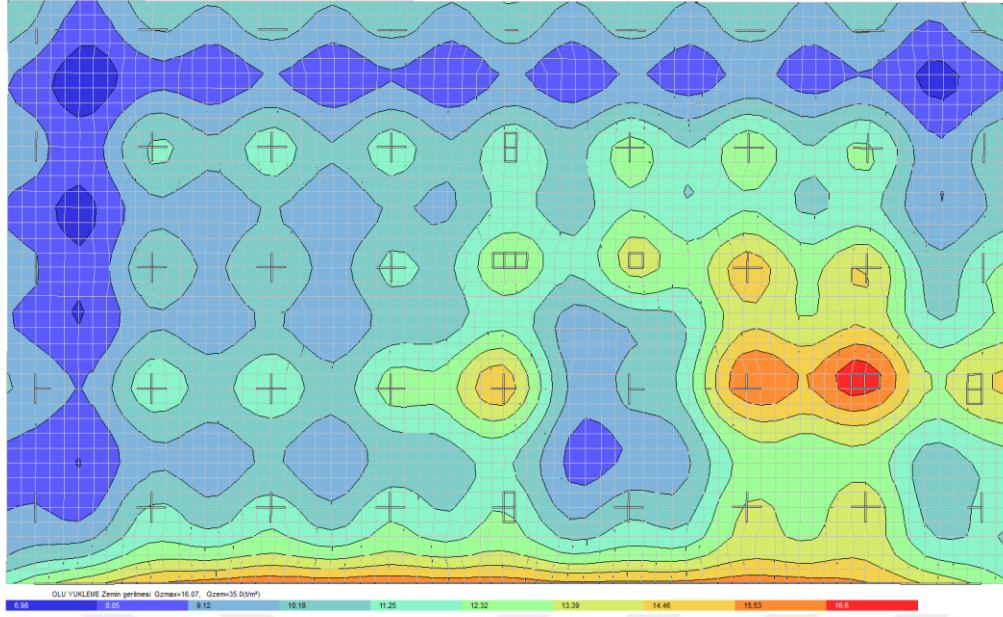
Şekil A.6: F blok temel altı zemin gerilmesi



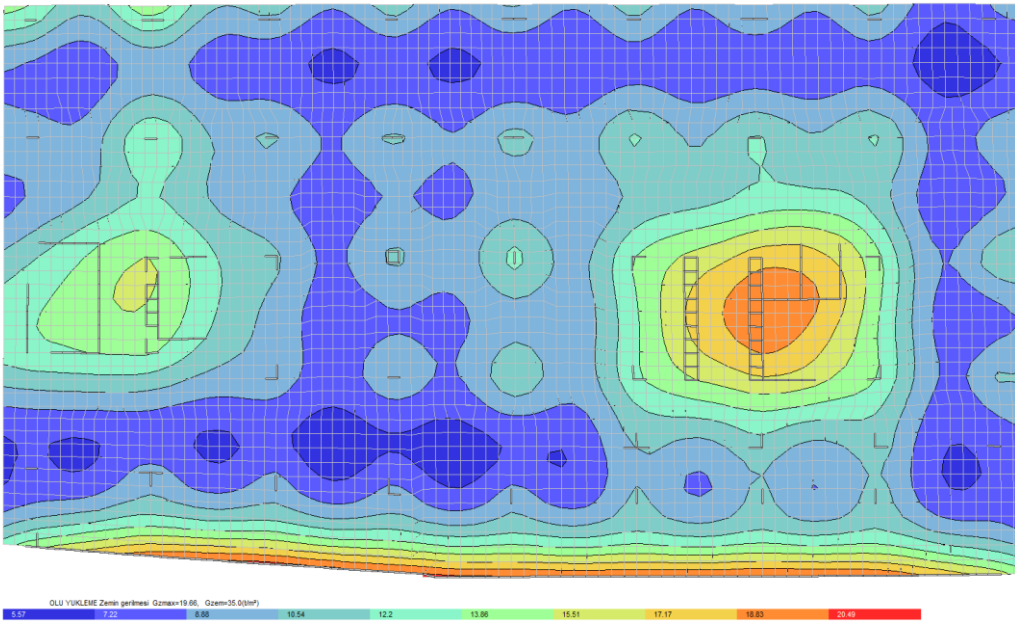
Şekil A.7: G blok temel altı zemin gerilmesi



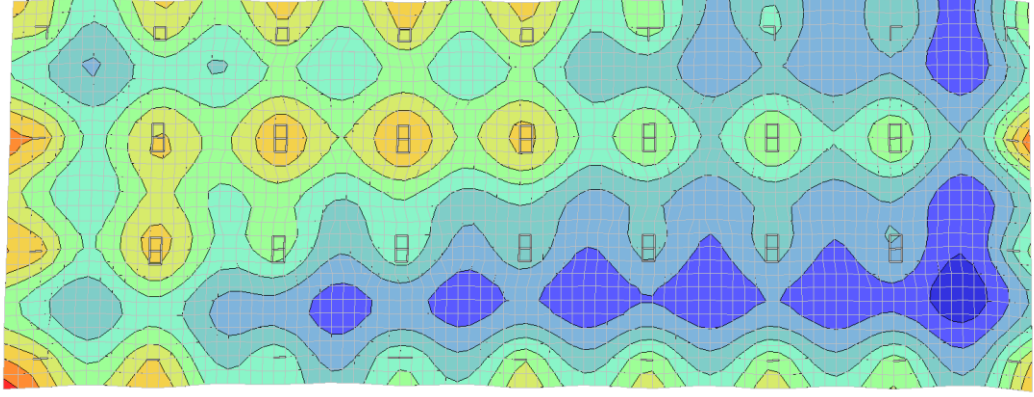
Şekil A.8: H blok temel altı zemin gerilmesi



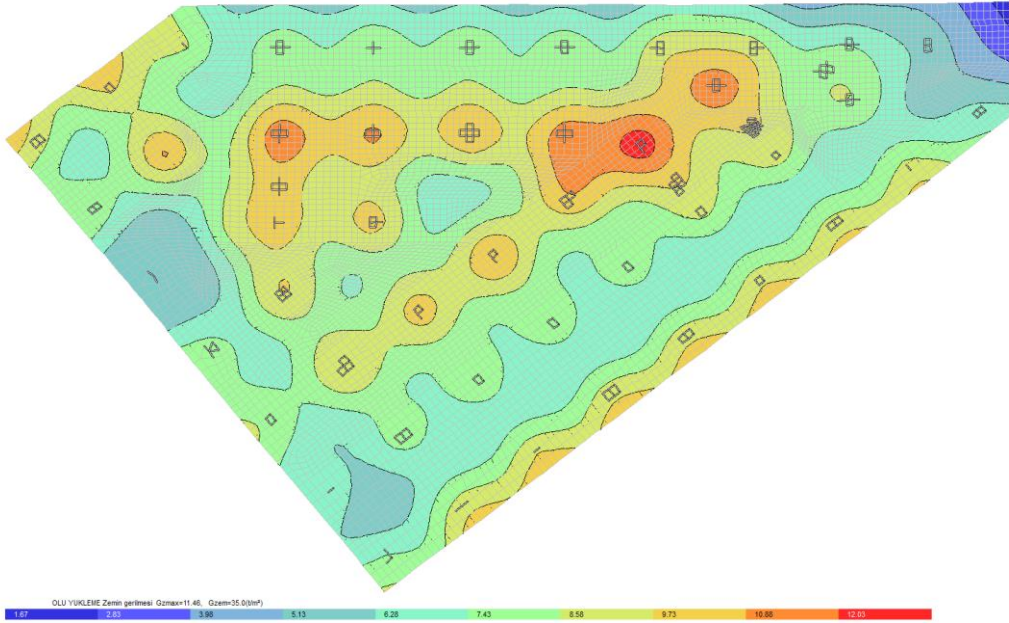
Şekil A.9: I blok temel altı zemin gerilmesi



Şekil A.10: J blok temel altı zemin gerilmesi

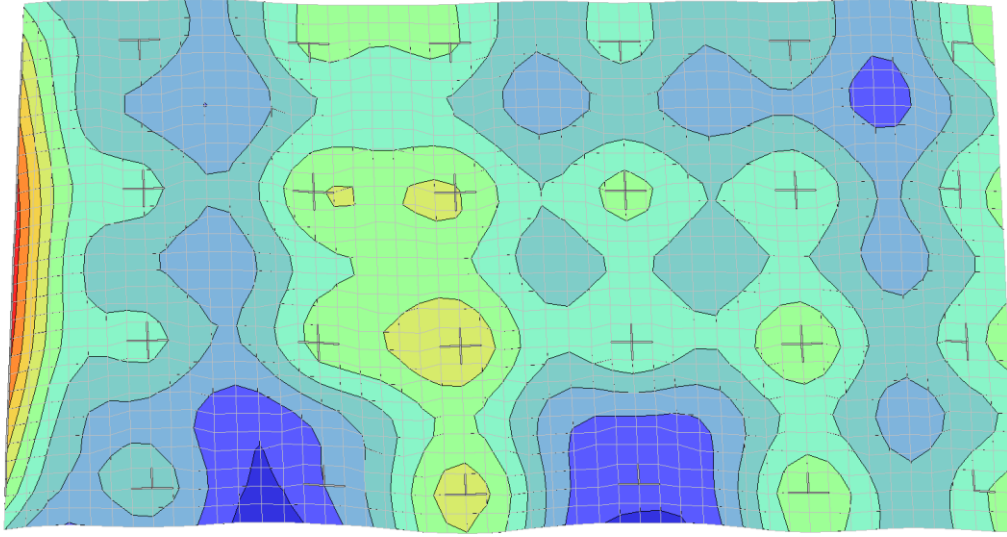


Şekil A.11: K blok temel altı zemin gerilmesi



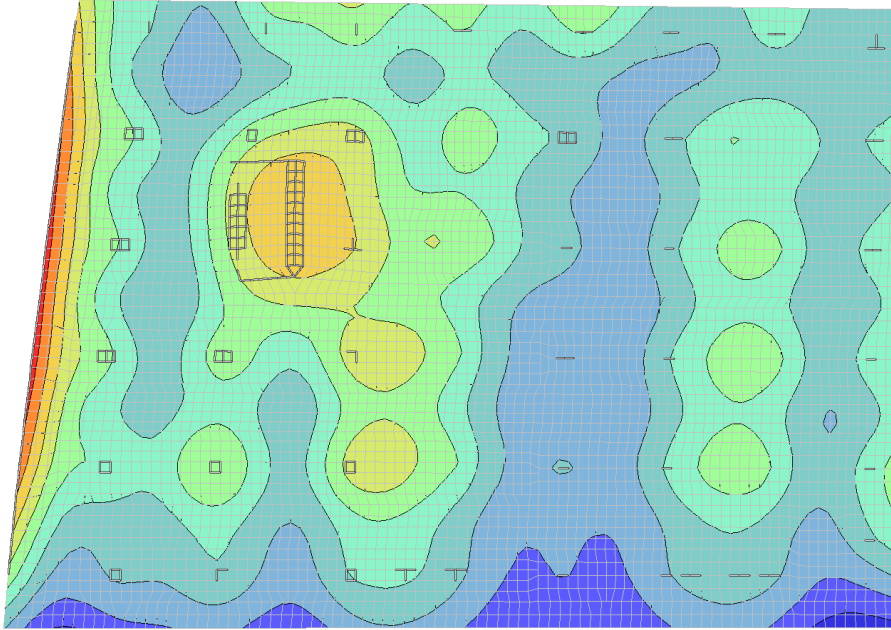
Şekil A.12: L blok temel altı zemin gerilmesi

EK B



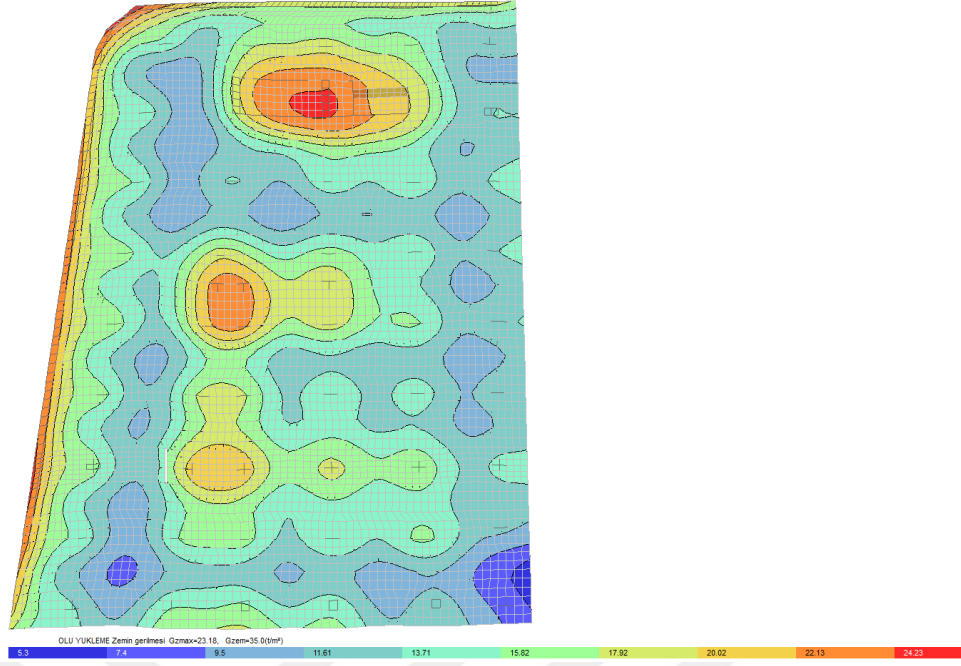
OLU YÜKLEM Zemin gerilmesi Özmax=19.12, Özmin=35.03(m²)

Şekil B.1: A blok temel altı gerilmesi

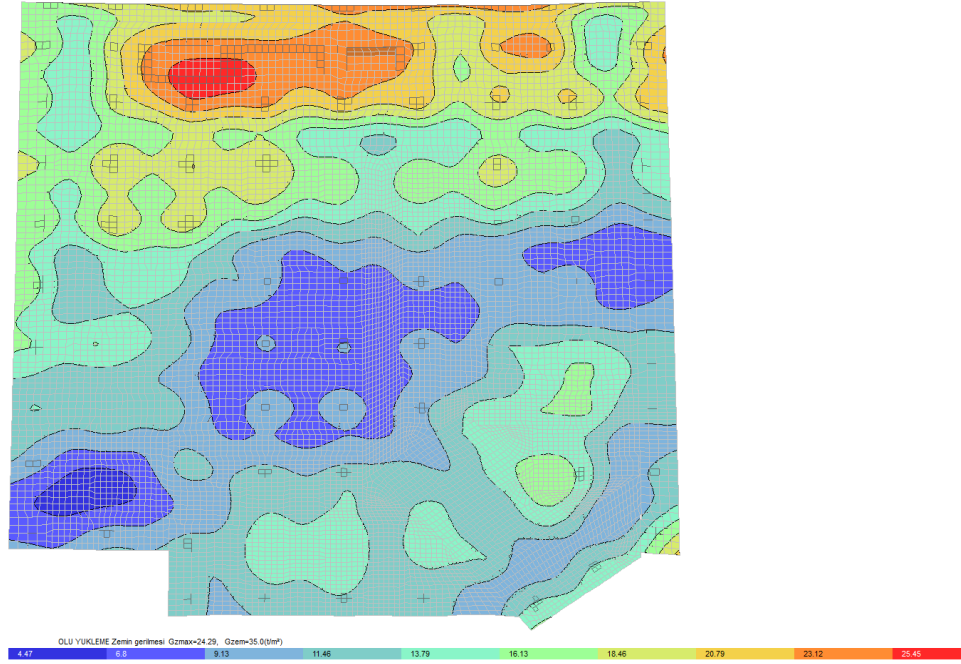


OLU YÜKLEM Zemin gerilmesi Özmax=22.4, Özmin=35.03(m²)

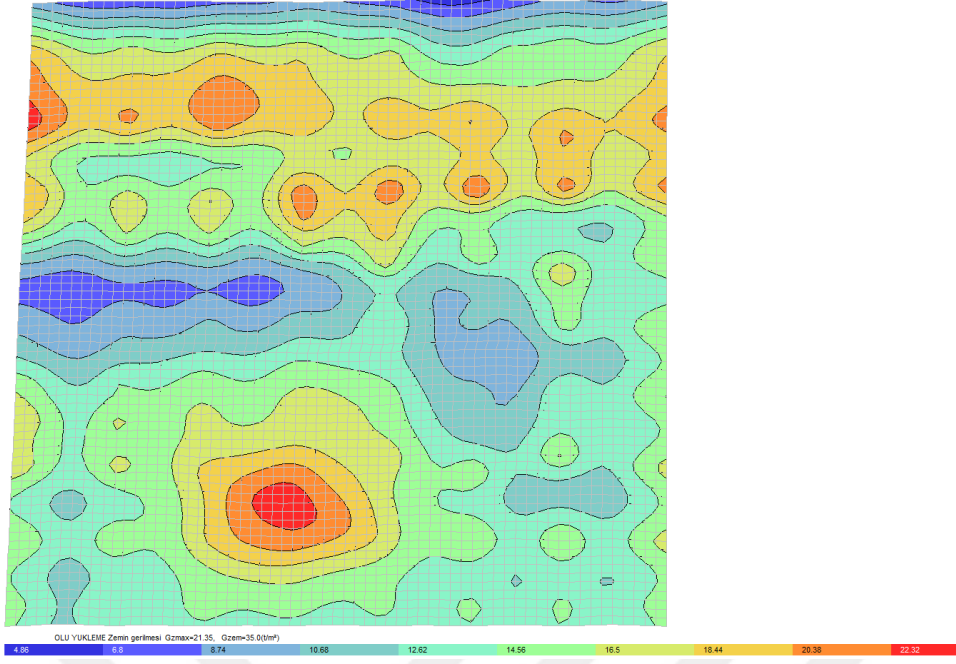
Şekil B.2: B blok temel altı gerilmesi



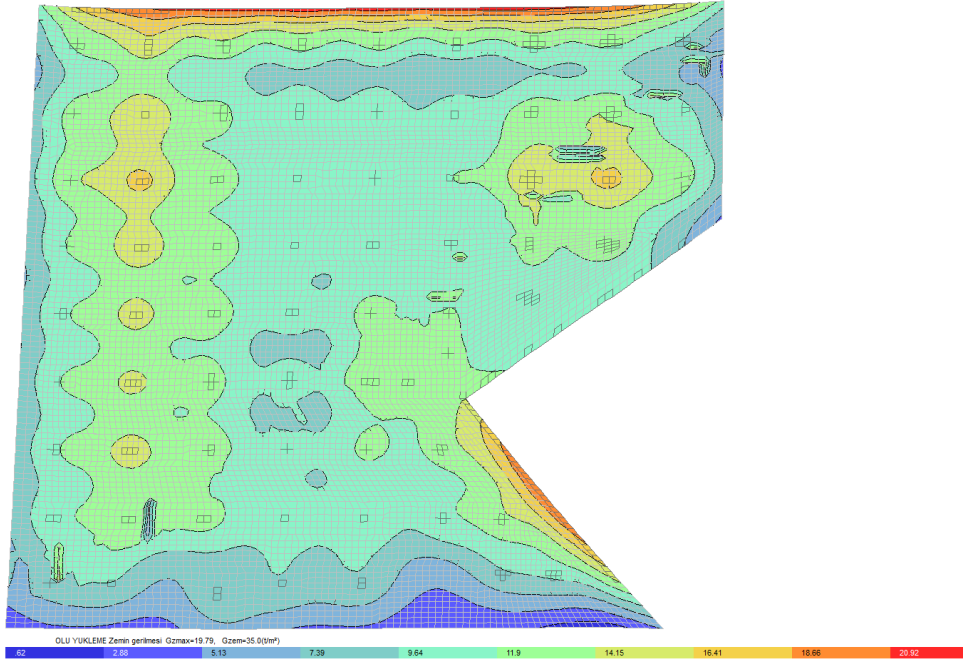
Şekil B.3: C blok temel altı gerilmesi



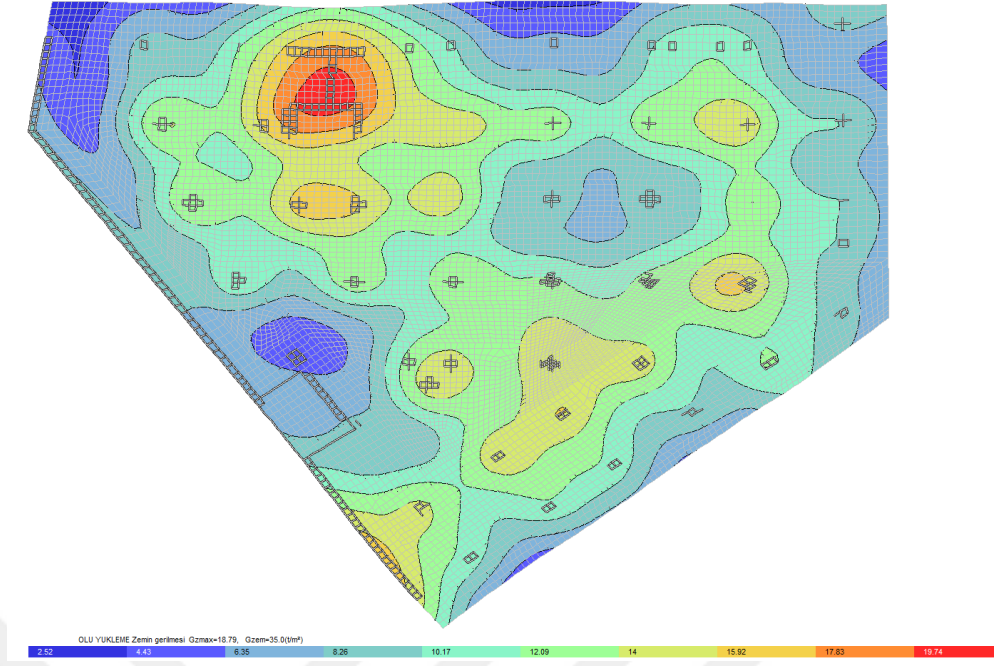
Şekil B.4: D blok temel altı gerilmesi



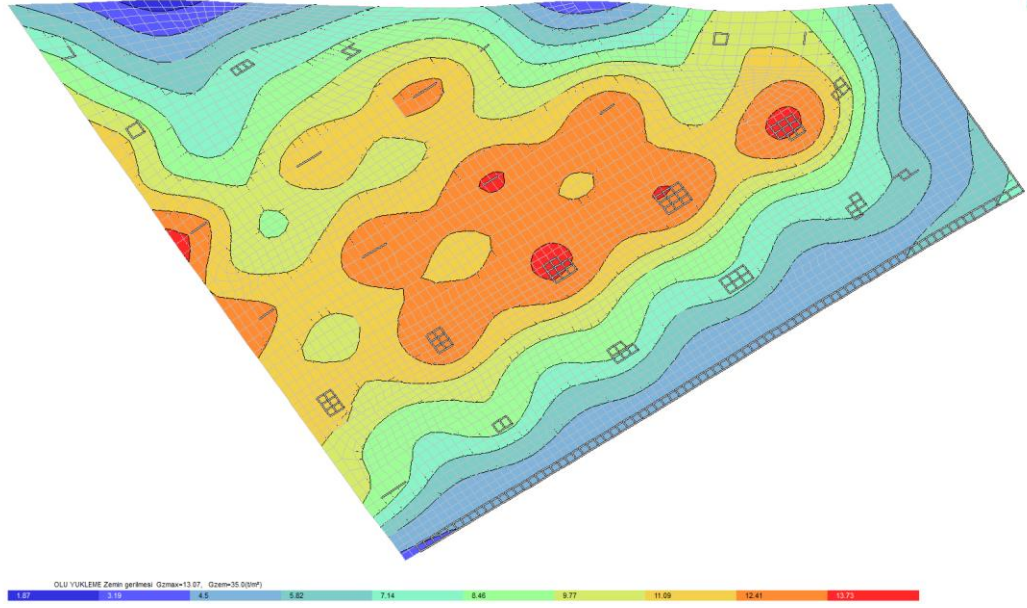
Şekil B.5: E blok temel altı gerilmesi



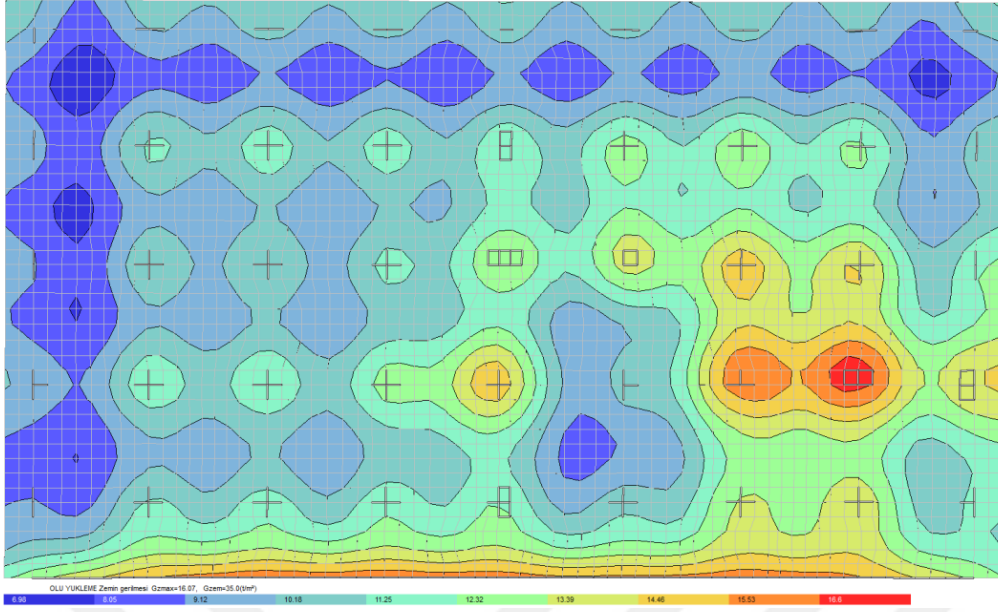
Şekil B.6: F blok temel altı gerilmesi



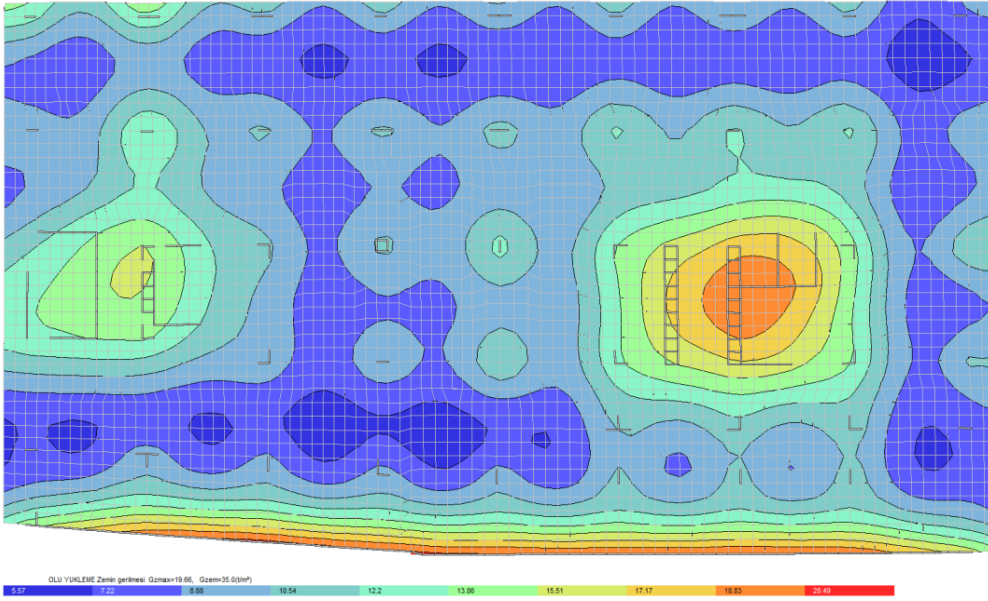
Şekil B.7: G blok temel altı gerilmesi



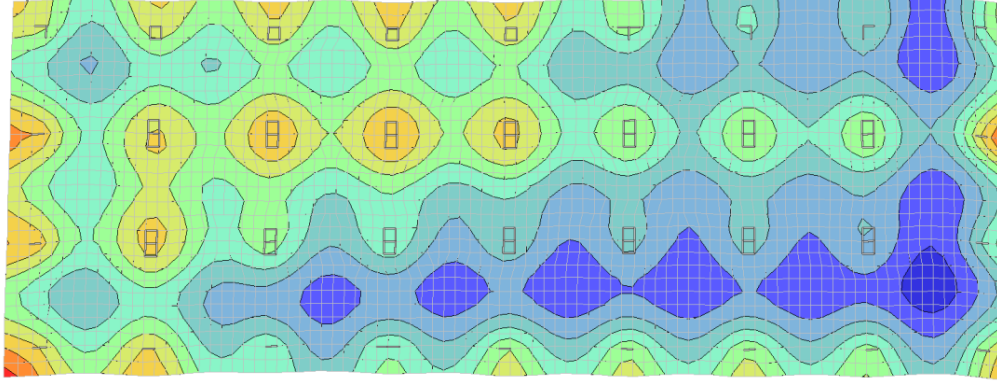
Şekil B.8: H blok temel altı gerilmesi



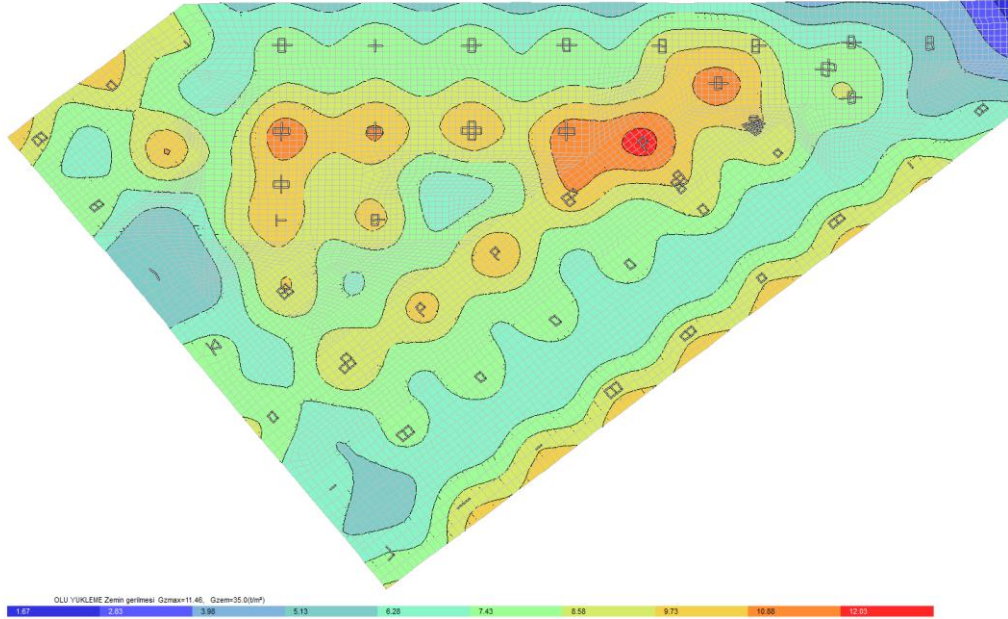
Şekil B.9: I blok temel altı gerilmesi



Şekil B.10: J blok temel altı gerilmesi



Şekil B.11: K blok temel altı gerilmesi



Şekil B.12: L blok temel altı gerilmesi



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Emre KORKMAZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 28.04.1993, Doğubeyazıt
E-posta : korkmazemr@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü