

**KOMPOZİT BİR TEMELİN DAVRANIŞININ FARKLI ANALİZ
YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ**

Fatma GÜNAY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AĞUSTOS 2013
ANKARA**

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Fatma GÜNAY

**KOMPOZİT BİR TEMELİN DAVRANIŞININ FARKLI ANALİZ
YÖNTEMLERİ İLE İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Fatma GÜNAY

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ağustos 2013**

ÖZET

Yapı yükleri, zemin taşıma gücünün yetersizliği ya da oturmaların izin verilebilir sınırların üzerinde olması durumunda, daha derinlerde bulunan sağlam tabakalara derin temel sistemleri ile aktarılabilir. Kazık adı verilen yapı elemanları ile tasarlanan bu temel sistemine de kazıklı temel adı verilmektedir.

Ancak kazıklı temellerin maliyeti yüzeysel temellere oranla genellikle çok fazladır. Bu durumda üst yapıdan gelen düşey yüklerin sadece kazıklar vasıtasıyla zemine iletilmesi, gereğinden fazla kazık tasarlanmasına ve daha maliyetli temel sistemlerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle daha ekonomik tasarımların yapılabilmesi için “Kazıklı radye temel” adında yeni bir temel sistemi tanımlanmıştır.

Kazıklı radye temeller, genellikle radye temellerin taşıma gücü bakımından yeterli olduğu ancak oturma kriterlerinin sağlanamadığı durumlarda radye temel altına oturma değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içinde kalması amacıyla tercih edilmektedir. Kazıklı radye temeller; düşey doğrultudaki yükler ile deprem ve benzeri üst yapıya etkileyen tüm yanal yüklerin sağlam zemine iletilmesinde kullanılmaktadır. Radye temelin zemine doğrudan temas ettiği

durumlarda tüm üst yapı yükleri radye ve kazıklar arasında paylaşarak zemine aktarılır.

Bu çalışmada Eskişehir İli Odunpazarı İlçesinde inşa edilen, konut yapısına ait kazıklı radye temelin davranışı üst yapıdan gelen düşey yükler altında incelenmiştir. Zemin profili için ilgili sahada gerçekleştirilen zemin etüdü kapsamında elde edilen arazi ve laboratuvar verilerinden faydalanılmış ve bu sayede zemin mühendislik parametreleri belirlenerek yapının kazıklı radye temel sistemi Etabs, Safe ve Midas GTS üç boyutlu sonlu elemanlar programları aracılığıyla modellenmiştir. Kazıklı radye temel davranışının sonlu elemanlar yöntemleriyle incelenmesi sonucunda elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak; uç kazıklarında dahi, üst yapıdan gelen düşey yüklerin sadece kazıklar vasıtasıyla zemine iletilmesi kabulünün aksine radye temelin zeminle temas ettiği durumlarda yükün, radye ve kazıklar arasında bir miktar paylaşarak zemine aktarıldığı ve bu paylaşım sonucunda kazık elemanlara gelen yüklerin azalmasından dolayı daha az kazık elemanı kullanarak daha ekonomik temel sistemleri tasarlanabileceği anlaşılmıştır.

Radye temel altında yer alan zemin birimlerine ait modül değerinin artmasının radye temel altındaki zemin bloğunun yük taşıma yüzdesini arttığı, aynı zemin birimine ait kohezyon ve içsel sürtünme açısındaki değişimlerin radye temel düşey deformasyonları, kazık eksenel yükleri ve radye temel taşıma yüzdesine herhangi bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Sonlu elemanlar programları ile yapılan çalışmalar sonrasında kullanılan programlardan elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, kazık eksenel yükleri ve deplasmanları açısından benzer sonuçlar

alınmıştır. Elde edilen kesit tesirleri açısından moment ve kesme kuvveti değerlerinde bir miktar farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bu farklılık zemin rijitliğinin kullanılan programlarda farklı tanımlanmasından kaynaklanmaktadır. Zemin rijitliğinin tanımlanmasında, Midas GTS programında zeminlere ait elastisite modülü değeri kullanılırken, Etabs, Safe programında ise sadece yay sabiti değeri kullanılarak daha rijit bir zemin modeli tanımlanmaktadır.

Bilim kodu : 911.1.050
Anahtar Kelimeler : Kazıklı radye temeller , sonlu elemanlar Analizi, oturma , Etabs, Safe, Midas
Sayfa adedi : 144
Tez Yöneticisi : Prof.Dr. Nail ÜNSAL

**A STUDY ON THE BEHAVIOUR OF A COMPOSITE FOUNDATION
BY USING DIFFERENT ANALYSIS METHODS**

(M.Sc. Thesis)

Fatma GÜNAY

**GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

August 2013

ABSTRACT

It becomes possible to transfer the building loads to the appropriate soil layers by using deep foundations in cases of inadequacy in the soil carrying capacity or large settlements beyond the tolerable limits. The foundation system designed by using piles is called as “Pile Foundation System”.

In general, the cost of pile foundations is much higher than that of shallow foundations. Therefore, to use only the piles to transfer the vertical loads (coming from superstructure) to the soil, requires a great number of piles which increase the cost. By this reason, a new foundation system called as “piled raft foundation” was defined which is much more economic.

Piled raft foundations are being used to limit the settlement of the foundations where the raft foundations has enough carrying capacity but the settlement requirements are not satisfied. They are being used to transfer the vertical loads and all the horizontal loads (such as seismic loads...etc.) to the strong soil layers.

The load is transferred to the soil by means of both foundation and piles where there is a contact between soil and foundation.

In this study, the behaviour of the piled raft foundation (belongs to a building having a tunnel form system constructed in Odunpazarı/Eskişehir) was examined under the effect of vertical loads from superstructure. For the soil profiles, the soil engineering parameters were determined by using both site and laboratory soil data using the soil report performed in the related site. The piled raft foundation system of the building was modelled by Etabs, Safe and Midas GTS, 3-D finite element programs. The results obtained in determining the behaviour of the piled raft foundation by using the finite element methods were compared.

As a conclusion; in opposition to the acceptance of the transfer of the vertical building loads to the soil being just by piles (even in case of end-bearing piles); it is known that, the loads are transferred to the soil partly by means of both piles and foundation itself where there is a full contact between soil and foundation. And by the distribution in load transfer, it was seen that, it will be possible to design more economic pile-foundation systems since the loads carried by piles decreased.

It was determined that, the increase in the modulus of elasticity of the soil under the foundation, increases the load carrying capacity of the soil. But it was noted, on the other hand, that; any changes in the cohesion and internal friction angle of the soil under the foundation does not affect the foundation vertical deformations, pile axial loads and foundation load carrying capacity.

As far as the pile axial loads and displacements were considered; almost the same results were reached at the end of the comparison of the results of studies using different finite element programs. By examining the internal forces, some small differences in moment and

shear values were determined. These differences in moment and shear values were mainly resulted from the differences in the method of defining soil rigidity values in programs. While the modulus of elasticity value of the soil is being used in Midas GTS to define the soil rigidity; in Etabs, Safe the soil rigidity is being defined by using just a spring constant in resulting more and more rigid soil profiles.

Science Code : 911.1.050
Key Words : Piled raft foundations, finite element analysis, settlement, Etabs, Safe, Midas
Page Number : 144
Supervisor : Prof.Dr. Nail ÜNSAL

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca engin bilgisini ve desteğini esirgemeyen değerli hocam, tez danışmanım Sayın Prof.Dr. Nail ÜNSAL'a; ayrıca çalışmalarım esnasında araştırmama yön veren, kıymetli bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve bana verdiği destek ve göstermiş olduğu anlayıştan dolayı değerli hocam Sayın Doç.Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tezimin her aşamasında vermiş olduğu destek ve tüm yardımlarından dolayı İnş.Yük.Müh. Serdar KARAKOÇ'a ve analizlerin yapıldığı Midas GTS programının öğrenilme sürecinde bilgisinden yararlandığım İnş.Müh. Serdar İLKER'e teşekkür ederim.

Tezim sürecinde yardımlarını esirgemeyen Aliye KAYA'ya, İnş.Yük.Müh. Sinan Sina KAYA'ya ve İnş.Müh. Taner ATICI'ya teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışma kapsamında örnek analiz olarak incelenen projeye ait laboratuvar verilerini paylaşan GEOSAN Doğal Kaynaklar ve Hammaddeler İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye ve ilgili geoteknik raporunu paylaşan İnş.Yük.Müh. A.Hilmi Volkan Özdemir'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi tezimin hazırlanma sürecinde de bu günlere gelmemdeki esas katkıya sahip olan başta annem ve babam olmak üzere sevgili aileme, eniştem Dr. Hilmi Bengi'ye ve manevi desteğiyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan eşim Altan GÜNAY'a sonsuz teşekkürlerimle...

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	x
İÇİNDEKİLER	xi
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xvii
RESİMLERİN LİSTESİ	xxii
HARİTALARIN LİSTESİ	xxiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxiv
1. GİRİŞ	1
2. DERİN TEMEL SİSTEMİ	4
2.1. Genel Tanım	4
2.1.1. Yük aktarımı.....	5
2.1.2. Kazıklar ve işlevleri.....	6
2.1.3. Kazıkların zemine yük aktarma işlemi	8
2.1.4. Kazıkların yükü taşıma ve iletme şekillerine göre sınıflandırılması	10
2.2. Kazıkların Taşıma Gücü	12
2.2.1. Genel formül.....	12
2.2.2. Uç direnci	12
2.2.3. Çevre sürtünmesi direnci.....	16
2.2.4. Kayaya soketlenmiş kazıklarda taşıma gücü.....	17

	Sayfa
2.2.5. Düşey yük altında kazığın elastik oturması.....	18
2.2.6. Kazık gruplarının oturması.....	20
2.3. Kazıklı Radye Temeller ve Düşey Yük Altındaki Davranışları.....	21
2.3.1. Genel tanım.....	21
2.3.2. Kazıklı radye temellerin tasarımı.....	22
2.3.3. Kazıklı radye temellerin kullanım alanları.....	24
2.3.4. Kazıklı radye temellerin analizi.....	25
2.4. Kazıklı Radye Temel Sistemine Etkiyen Faktörler.....	28
2.4.1. Kazık adedi ve yükleme şekli.....	28
2.4.2. Kazık boyu.....	29
2.4.3. Radye temelin kalınlığı.....	30
2.4.4. Radye temelin genişliği	30
3. PROJENİN TANITILMASI.....	32
3.1. Proje Genel Bilgileri.....	32
3.2. Genel Jeoloji.....	34
3.3. Arazi Çalışmaları.....	36
3.4. Sondaj Çalışmaları ve Zemin Profili.....	37
3.5. Laboratuar Deneyleri.....	41
3.6. Taşıma Gücü.....	42
3.7. Oturma.....	43
3.8. Geoteknik Projelendirme ve Tasarım.....	45

Sayfa

4. KAZIKLI RADYE TEMEL SİSTEMİNİN ETABS VE SAFE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ	48
4.1. Etabs ve Safe Sonlu Elemanlar Programı.....	48
4.2. Etabs Sonlu Elemanlar Ağı Boyutları.....	50
4.3. Etabs Modeli.....	53
4.4. Materyal ve Yöntem.....	54
4.4.1. Zemin düşey yatak katsayısı ve kazık yay sabiti.....	54
4.5. Etabs ve Safe Sistem Analizi.....	58
4.6. Etabs ve Safe Modeli Analiz Sonuçları.....	59
4.6.1. Kazıksız model analiz sonuçları.....	59
4.6.2. Kazıklı model analiz sonuçları.....	62
4.6.3. Kazıklı radye temel modellerindeki kazıklara gelen yükler ve bu verilerin değerlendirilmesi	67
5. KAZIKLI RADYE TEMEL SİSTEMİNİN MİDAS GTS PROGRAMI İLE MODELLENMESİ.....	71
5.1. Midas GTS Sonlu Elemanlar Programı.....	71
5.2. Kazıklı Radye Temel Sayısal Modeli.....	73
5.2.1. Zemin malzeme modeli.....	74
5.3. Zemin Parametreleri.....	78
5.3.1. Efektif içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyon (c).....	79
5.3.2. Elastisite modülü (E).....	80
5.3.3. Poisson oranı (μ)	81
5.4. Malzeme Özellikleri	82
5.5. Analiz Sonuçları	84

	Sayfa
5.5.1. Model 1 analiz sonuçları	85
5.5.2. Model 2 ve model 3 analiz sonuçları	87
5.5.3. Model 4 analiz sonuçları	91
6. HOMOJEN BİR TEMELİN DAVRANIŞININ TEK TABAKALI ZEMİN KOŞULLARI ALTINDA MODELLENMESİ	97
6.1. Etabs ve Safe Modeli Analiz Sonuçları	98
6.2. Midas GTS Modeli Analiz Sonuçları	103
6.3. Zemin Mukavemet Parametrelerindeki Değişimin Derin Temel Davranışına Olan Etkileri	106
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	118
KAYNAKLAR.....	122
EKLER.....	126
EK-1 Sondaj logları	127
EK-2 Zemin kesiti	129
EK-3 Laboratuar deney sonuçları	131
EK-4 Kaya Karot sandık fotoğrafları	142
ÖZGEÇMİŞ	144

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Taşıma gücü katsayıları (Terzaghi, 1973)	13
Çizelge 3.1. Sondaj bilgileri (Akın, 2011)	38
Çizelge 3.2. SPT-N değerleri (Akın, 2011)	40
Çizelge 3.3. Laboratuar deney sonuçları (Akın, 2011)	42
Çizelge 3.4. μ Faktörü Değerleri (Skempton ve Bjerrum, 1957)	44
Çizelge 3.5. İzin verilebilir oturma miktarları (Kumbasar ve Kip, 1999) ...	45
Çizelge 4.1. Kazıksız radye temele ait deplasman değerleri	61
Çizelge 4.2. Kesit tesirleri ve düşey deplasman değerleri (Etabs)	62
Çizelge 4.3. Kazıklarda oluşan düşey deplasman değerleri	66
Çizelge 4.4. Fore kazıklardaki kesit tesirleri ve düşey deplasman değerleri	66
Çizelge 4.5. Kazık yaylı modelde düşey yükler altındaki kazık eksenel yükleri	68
Çizelge 4.6. Kiriş eleman modeli kazık eksenel yükleri	69
Çizelge 5.1. Değişik kaya tipleri için sürtünme açısının tipik aralıkları (Duncan C.W., 2004)	79
Çizelge 5.2. Kayaç kütlelerinin mekanik ve yapısal özelliklerine göre saptanmış, sürtünme açıları ve kohezyon değerleri (Ulusoy, 1980)	80
Çizelge 5.3. Zemin için tipik elastisite modülü değerleri (Bowles, 1996)	81
Çizelge 5.4. Poisson oranı değer aralıkları (Bowles, 1996)	81
Çizelge 5.5. Midas GTS modeli zemin parametreleri	82

Çizelge		Sayfa
Çizelge 5.6.	Midas GTS modelinde kullanılan yapısal elemanlara ait parametreler	83
Çizelge 5.7.	Model 2 kazık eksenel yükleri (Midas GTS)	89
Çizelge 5.8.	Model 3 kazık eksenel yükleri (Midas GTS)	91
Çizelge 5.9.	Model 4 kazık eksenel yükleri (Midas GTS)	94
Çizelge 5.10.	Model 4 kazık kesit tesirleri (Midas GTS)	96
Çizelge 6.1.	Kazıklarda oluşan düşey deplasman değerleri (Etabs).....	100
Çizelge 6.2.	Kazıkların temel birleşim noktalarındaki düşey deplasmanları	101
Çizelge 6.3.	Etabs kazık eksenel yükleri	102
Çizelge 6.4.	Midas GTS kazık eksenel yükleri	105
Çizelge 6.5.	Model-1, Model-2 ve Model-3 zemin parametreleri	107
Çizelge 6.6.	Model-1 kazık eksenel yükleri	108
Çizelge 6.7.	Model 2 kazık eksenel yükleri	109
Çizelge 6.8.	Model-3 kazık eksenel yükleri	110
Çizelge 6.9.	Model-4 ve Model-5 zemin parametreleri	111
Çizelge 6.10.	Model-4 ve Model-5 kazık eksenel yükleri	113
Çizelge 6.11.	Model-6 ve Model-7 zemin parametreleri	114
Çizelge 6.12.	Model-6 ve Model-7 kazık eksenel yükleri	116
Çizelge 6.13.	Midas GTS radye temel yük oranları	117

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Derin temeller, uygulanan yapı yüklerinin tamamına yakınına daha derinlerdeki sağlam zemine aktarırlar (Coduto, 2001) ...	5
Şekil 2.2. Yapı yüklerinin derin temelden zemine aktarımı a) Eksenel basınç yükleri; b) Eksenel çekme yükleri; c) Yanal yükler (Coduto, 2001)	6
Şekil 2.3. Kazık başlığı	7
Şekil 2.4. Kazıklar için yük aktarma mekanizması	9
Şekil 2.5. Kazık yüklemesinin çeşitli aşamalarında aktarılan uç yükünün rölatif büyüklüğü (Vesic, 1970)	9
Şekil 2.6. Zemindeki taşıma kapasitesi göçmesi a) genel kayma göçmesi; b) local kayma göçmesi; c) zımbalama kayma göçmesi (Vesic, 1973)	10
Şekil 2.7. a) Sürtünme kazığı, b) Uç kazığı (Birand, 2001)	11
Şekil 2.8. Taşıma gücü katsayısı N_q (Ordemir, 1984) [Birand, 2001]	14
Şekil 2.9. L_b/d_{cr} oranının içsel sürtünme açısına göre değişimi (Meyerhof, 1979)	14
Şekil 2.10. N_c^* ve N_q^* değerlerinin içsel sürtünme açısı ile değişimi (Meyerhof, 1979) (Birand, 2001)	16
Şekil 2.11. Kazık gruplarında oluşan gerilmelerin süperpozisyonu (Tomlinson, 2004)	20
Şekil 2.12. Çeşitli tasarım kabullerine göre yük-oturma eğrileri (Poulos, 2001)	23
Şekil 2.13. Kazıklı radye temel katsayısı ile kazıklı radyenin oturması ve radyenin oturması arasındaki bağıntıya örnek (Katzenbach ve diğ., 1998)	25
Şekil 2.14. Kazıklı radye temelin basitleştirilmiş yük-oturma grafiği (Poulos ve Davis, 1980)	26

Şekil	Sayfa
Şekil 2.15. Kazıklı radye temel tasarımı için Burland yaklaşımı (Burland, 1995)	26
Şekil 2.16. Kazık uzunluğunun kazıklı radye temel sistemi davranışına etkisi (Poulos, 2001)	29
Şekil 2.17. Radye temel kalınlığının kazıklı radye temel sistemi davranışına etkisi (Poulos ve diğ., 2001)	30
Şekil 2.18. Radye temel çapının kazıklı radye temel sistemindeki yük-oturma davranışına etkisi (Maharaj ve Anshuman, 2004)	31
Şekil 3.1. Sondaj lokasyonları	38
Şekil 3.2. Sondajların jeolojik profili ve SPT, RQD değerleri [Akın, 2011]	40
Şekil 3.3. SPT-N değerleri grafiği	41
Şekil 3.4. Peck v.d. (1974) tarafından önerilen Taşıma Gücü Abakları ...	42
Şekil 3.5. Standart Penetrasyon N değeri ve Hacimsel Sıkışma İndisi mv ilişkisi (Stroud, 1975)	43
Şekil 3.6. Temel sistemi uygulama plan ve projesi	47
Şekil 3.7. Kazık yerleşim planı	47
Şekil 4.1. Etabs tüm çubuk elemanların 1 nolu Local eksenleri	48
Şekil 4.2. Eleman Local eksenleri ile Sistem Global eksenleri (CSI, Safe)	49
Şekil 4.3. a)Bina 3-boyutlu görünümü, b) plan görünümü	51
Şekil 4.4. Kazıklı radye temel kazık yerleşim planı (Etabs)	52
Şekil 4.5. (a) Etabs model 3-boyut sonlu eleman ağı görünümü, (b) Kazıklı radye temel 3-boyut sonlu eleman ağı görünümü, (c) Kazıklı radye temel plan sonlu eleman ağı görünümü	53
Şekil 4.6. Etabs kazık yaylı radye temel modeli	57

Şekil	Sayfa
Şekil 4.7. Etabs modelde kazıklarda oluşan kesme kuvvetleri	57
Şekil 4.8. Model-1'e ait kazıksız olarak modellenen radye temelin düşey yükler altındaki deformasyon grafiği (Safe)	59
Şekil 4.9. Dolgu biriminin anakaya sınırına olan aks yerleri	60
Şekil 4.10. Kazıksız radye temelde dolgu biriminin anakaya sınırına olan mesafelerine göre olan maksimum düşey yer değiştirme değerleri (mm)	61
Şekil 4.11. Kazıklı radye temelin düşey yük altında deformasyon grafiği (Safe)	62
Şekil 4.12. Model-2'ye ait kazıklı olarak modellenen radye temelde oluşan Mxx yönü moment grafiği (Etabs)	63
Şekil 4.13. Model-2'ye ait kazıklı olarak modellenen radye temelde oluşan Myy yönü moment grafiği (Etabs)	63
Şekil 4.14. Etabs modelde kazıklarda oluşan momentler	64
Şekil 4.15. Etabs modelde kazıklarda oluşan kesme kuvvetleri	64
Şekil 4.16. Etabs kazık kiriş eleman isimler	65
Şekil 4.17. Kazıkların yay olarak tanımlandığı Etabs modele ait kazık noktası yerleri	67
Şekil 4.18. Kiriş eleman olarak tanımlı Etabs modele ait kazık numaraları	69
Şekil 5.1. Solid elemanlar için pozitif yön tayini	72
Şekil 5.2. Plate elemanlar için pozitif yön tayini	72
Şekil 5.3. Midas GTS zemin ve kazıklı radye temel sayısal modeli	73
Şekil 5.4. Mohr-Coulomb kırılma kriteri	74
Şekil 5.5. Midas GTS model kontrolsüz dolgu elemanları	75
Şekil 5.6. Midas GTS model kıltaşı elemanları	75
Şekil 5.7. Midas GTS modeli radye temel ve kazık elemanları	76

Şekil	Sayfa
Şekil 5.8. Midas GTS üç boyutlu zemin modeli	77
Şekil 5.9. Midas GTS modeli radye temel ve kazık yerleşim planı	77
Şekil 5.10. Midas GTS model kazıkların x-z düzlemindeki görünüşü	78
Şekil 5.11. Midas GTS radye temel ve zemin sistem deformasyonu	85
Şekil 5.12. Midas GTS sistem kesiti deformasyonu ve deplasman değerleri	85
Şekil 5.13. Midas GTS modele ait radye temelde oluşan deplasmanlar ...	86
Şekil 5.14. Kazıksız radye temelde dolgu biriminin anakaya sınırına olan mesafelerine göre olan maks. düşey yer değiştirme grafiği (mm)	87
Şekil 5.15. Model 2’de iptal edilen kazık numaraları (C23’den C40’a kadar)	87
Şekil 5.16. Midas GTS model 2 kazık yerleşim planı	88
Şekil 5.17. Midas GTS model 2’de radye temelde oluşan deplasmanlar	88
Şekil 5.18. Model 3’de iptal edilen kazık numaraları (C1’den C22’ye kadar)	89
Şekil 5.19. Midas GTS model 3 kazık yerleşim planı	90
Şekil 5.20. Midas GTS model 3’de radye temelde oluşan deplasmanlar	90
Şekil 5.21. Midas GTS 3d modeli zemin ve temelde oluşan deplasmanlar	92
Şekil 5.22. Kazıklı radye temel-zemin sistem kesiti deformasyonu ve deplasman değerleri	92
Şekil 5.23. Midas GTS model kazıklı radye temelde oluşan deplasmanlar	93
Şekil 5.24. Midas GTS model kazıklarda oluşan maksimum moment	95

Şekil	Sayfa
Şekil 5.25. Midas GTS model kazıklarda oluşan maksimum kesme kuvveti	95
Şekil 5.26. Midas GTS model kazıklarda oluşan deplasmanlar	95
Şekil 6.1. Etabs kazık yerleşim planı	98
Şekil 6.2. Safe radye temel düşey deformasyon grafiği	99
Şekil 6.3. Etabs kazık ucu nokta isimleri	99
Şekil 6.4. Midas GTS yapı-zemin modeli	103
Şekil 6.5. Midas GTS radye temel ve kazık yerleşim planı	103
Şekil 6.6. Midas GTS radye temel deformasyon grafiği	104
Şekil 6.7. Midas GTS Model-1 radye temel deformasyon grafiği	107
Şekil 6.8. Midas GTS Model-2 radye temel deformasyon grafiği	109
Şekil 6.9. Midas GTS Model-3 radye temel deformasyon grafiği	110
Şekil 6.10. Midas GTS Model-4 radye temel deformasyon grafiği	112
Şekil 6.11. Midas GTS Model-5 radye temel deformasyon grafiği	112
Şekil 6.12. Midas GTS Model-6 radye temel deformasyon grafiği	115
Şekil 6.13. Midas GTS Model-7 radye temel deformasyon grafiği	115

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Parselin kazı sonrası oluşan kazı şev görünümü [Akın, 2011]	35
Resim 3.2. Arazi çalışmaları [Akın, 2011]	36
Resim 3.3. Dolgu, konglomera, kilit taşı ve kumtaşı yapılmış SPT'ler [Akın, 2011]	37

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 3.1. Proje alanı yer buldu haritası	33
Harita 3.2. Proje alanı ve civarının bölgesel jeolojik haritası [Akın 2011]	34

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile beraber aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A_p	Kazık kesit alanı
c	Zeminin kohezyonu
D_f	Zemin yüzeyinden itibaren temel derinliği
D	Kazık çapı
E_s	Zeminin elastisite modülü
E_p	Kazığın elastisite modülü
$E_B \cdot I_B$	Üst yapının B'ye dik yönde eğilme rijitliği
$E_b \cdot I_b$	Birim uzunluk için B'ye dik yönde eğilme rijitliği
$E_r \cdot I_r$	Radye temelin B'ye dik yönde eğilme rijitliği
f'_c	Betonun 28 günlük basınç dayanımı
f_s	Sürtünme direnci
ϕ	Zemin içsel sürtünme açısı
Q_d	Kazığın toplam taşıma gücü
Q_s	Kazık çevre sürtünme direnci
Q_p	Kazık uç direnci
Q_{wp}	Servis yükü altında kazık ucu ile aktarılan yük
Q_{ws}	Servis yükü altında sürtünme direnci ile aktarılan yük
γ_n	Doğal birim hacim ağırlık
k_s	Temel zemin yatak katsayısı
k_{v1}	Plaka yükleme deneyinden elde edilen yatak katsayısı değeri
L	Kazık boyu
m_v	Hacimsel sıkışma katsayısı

Simgeler**Açıklama** **N_c, N_q, N_γ**

Taşıma gücü katsayıları

P

Kazık enkesit çevresi

PL

Plastik limit

LL

Likit limit

PI

Plastisite indeksi

q

Taban basıncı

 q_u

Birim alana düşen uç direnci

 q_{nem}

Net emniyetli taşıma gücü

 S_e

Kazığın toplam oturması

 S_{kr}

Kazıklı radye temelin oturması

 S_r

Radye temelin oturması

 U_D

Radye tabanı boyunca boşluk suyu basıncı

 U_z

Düşey yer değiştirme

W

Kazığın ağırlığı

 τ_{max}

Maksimum kayma mukavemeti

 ν, μ

Poisson oranı

 σ_v'

Düşey efektif gerilme

 δ

Radye üzerindeki bir noktadaki oturma

Kısaltmalar**Açıklama****ACI**

American Concrete Institute

CSA

Canadian Standards Association

CSI

Computers & Structures, Inc.

FS

Güvenlik katsayısı

RQD

Rock Quality Designation

SCR

Solid Core Recovery

TCR

Total Core Recovery

UBC

Uniform Building Code

1.GİRİŞ

Günümüzde temeller, yükün büyüklüğüne, yükün geldiği düşey taşıyıcıya, zemin türüne ve taşıma gücüne bağlı olarak çeşitli şekillerde yapılabilir. Üst yapı yüklerinin bir kısmını ya da tamamını, zemin yüzeyinden daha derinlerdeki sağlam tabakalara ileten temel sistemleri derin temeller olarak adlandırılmaktadır.

Yapı yükleri; taşıma gücünün yetersizliği yanında genellikle oturmaların izin verilebilir sınırların üzerinde olacağı beklenmesi durumunda; derin temel sistemi ile zemine aktarılmaktadır. Böylece yüzeydeki zayıf tabakalar geçilerek, daha derindeki sağlam tabakalara ulaşılmakta ve bu amaçla kullanılan yapı elemanları, kazık adını almaktadır. Kazıklarla tasarlanan temel sistemine de kazıklı temel denilmektedir [Özkan ve Sağlamer, 1995].

Taşıma gücünün yeterli olması; ancak oturmaların kabul edilebilir değerleri aşması halinde, yüzeysel temelin altında “*oturmayı azaltıcı eleman*” olarak kazıklar kullanılmaktadır [Broms, 1976].

Ancak kazıklı temellerin maliyeti yüzeysel temellere oranla çok fazladır. Bu durumda üst yapıdan gelen düşey yüklerin sadece kazıklar vasıtasıyla zemine iletilmesi, gereğinden fazla kazık tasarlanmasına ve sonuçta maliyetin artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle daha ekonomik olduğu düşünülen “Kazıklı radye temel” adında yeni bir temel sistemi tasarlanmıştır. Kazıklı radye temeller, genellikle radye temellerin taşıma gücü bakımından yeterli olduğu ancak; oturma kriterlerinin sağlanamadığı durumlarda radye plak altına oturma değerlerinin kabul edilebilir sınırlara indirilmesi amacıyla tercih edilmektedir.

Kazıklı radye temeller; düşey doğrultudaki yükler ile rüzgar, deprem ve benzeri üst yapıya etkiyen tüm yanal yüklerin sağlam zemine iletilmesinde kullanılırlar [Kulaç ve Durgunoğlu, 1992].

Bu tez kapsamında, konuyla ilgili literatür araştırması yapılmış ve geçmişte yapılmış çalışmalar ile güncel çalışmaları kapsayan kaynaklar taranmıştır.

Kazıklı radye temel tanımı ilk olarak 1972 yılında Davis ve Poulos tarafından ileri sürülmüş, o tarihten bu yana, Burland ve diğerleri (1977), Cooke (1986), Randolph (1994), Horikoshi ve Randolph (1996), Ta ve Small (1996), Poulos (2001) ve pek çok yazar tarafından tanımlanmıştır. Günümüzde kazıklı radye tanımı Avrupa ve Asya'da geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu uygulamada kazıklar tüm yükü taşımaktansa oturmayı kontrol etmek amacıyla kullanılır [Liang ve ark., 2003].

Kazıklı radye temellerin kullanımı son yıllarda artmıştır. Kazıklar ve radyenin birlikte çalışması, taşıma kapasitesini arttırmakta, oturmayı azaltmakta ve radyenin farklı oturmasını önlemektedir. Bu sebeplerden dolayı kazıklı radye temeller günümüzde daha çok tercih edilmektedir.

Poulos (1994) idealleştirilmiş zemin profilleri üzerinde yaptığı çalışmalar sonucunda genelde katı kil veya sıkı kumdan oluşan zemin profillerinin kazıklı radye temel tasarımına elverişli olabileceğini belirtmiştir. Bu durumda radye gerekli taşıma gücünün büyük bölümüne sahiptir ve kazıklar esas taşıyıcı eleman olmaktan çok oturmaları azaltmak için kullanılmaktadırlar [Gök, 2007].

Horikoshi (1995)'e göre, üniform yüklü kazıklı radyede oluşacak farklı oturmaları azaltmak için tasarımda dikkat edilecek noktalar şunlardır:

1. Kazıklar radyenin orta kısmında yer almalı ve kazık grup alanı radye alanının %16-25'ini kaplamalıdır,
2. Kazık grubunun (eşdeğer ayak) rijitliği, radyenin rijitliğine eşit olmalıdır,
3. Zeminin poisson oranı ve kazık grup alanı oranına bağlı olarak toplam kazık kapasitesi, tasarım yükünün %40-70'i arasında olmalıdır.

Lee ve diğerkleri (2010) ile Poulos (2001, 2005), yapmış oldukları çalışmalar sonucunda kazıklı radye temellerin yumuşak kil zeminler için uygun olmayan bir temel çeşidi olduğunu göstermişler; aksi takdirde aşırı oturma ve yetersiz taşıma kapasitesi görülebileceğini söylemişlerdir.

Poulos (2001), düşey yüke maruz kil zemin içerisindeki bir kazıklı radye temelin oturma davranışını incelemek için sayısal yöntemlerin yanısıra üç boyutlu (3D) sonlu eleman (FE) analizinin en uygun yöntem olduğu kabulünü ortaya koymuştur.

Tez çalışmasında, düşey yükler altındaki kazıklı radye temellerin davranışını incelemek ve Etabs ve Midas GTS sonlu elemanlar programları ile sonuçları karşılaştırmak hedeflenmiştir. Elde edilen bilgiler ışığında, farklı zeminlere oturan kazıklı radye temellerin düşey yükler altındaki davranışını incelemek için üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemine dayalı bilgisayar programlarından faydalanılmıştır.

Bu alışmada, “Eskişehir ili, Odunpazarı ilçesi 1092 adet konut inşaatı ile altyapı ve evre düzenlemesi işi” kapsamında tünel kalıp sistemli OP2.17 tipi yapıya ait kazıklı radye temelin davranışı incelenmiştir.

İkinci bölümde, kazıklı radye temeller ve tasarımı ile ilgili literatür bilgilerine yer verilmiştir. nc bölümde, incelenen projeye ait genel bilgiler verilmiş, arazi ve laboratuar test sonuçları değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde, yapının Etabs ve Safe sonlu elemanlar programı ile modellemesi yapılmış ve analiz sonuçları incelenmiştir. Beşinci bölümde, incelenen projeye ait aynı yapının Midas GTS’de modellemesi yapılmış ve yine analiz sonuçlarına göre çıkan değerler incelenmiştir. Altıncı bölümde homojen bir temelin davranışının tek tabakalı zemin koşulları altında incelenmesine ait bir çalışma yapılmıştır.

2. DERİN TEMEL SİSTEMİ

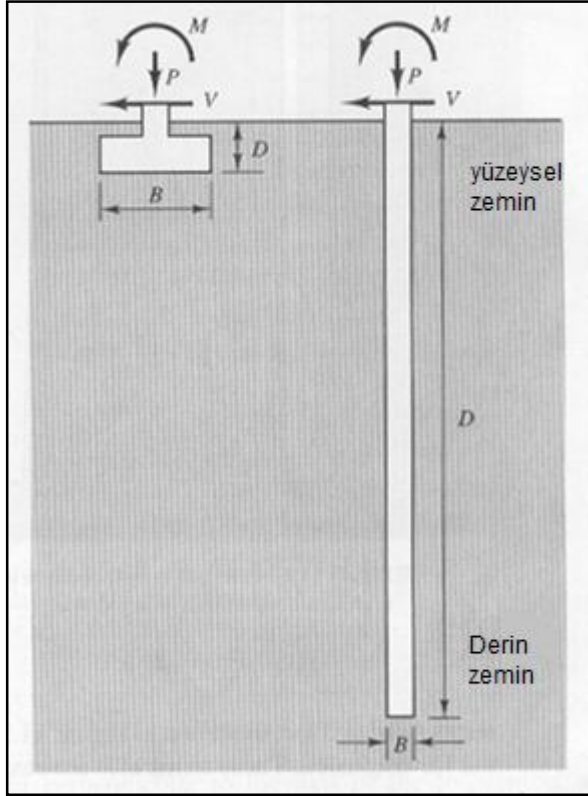
2.1. Genel Tanım

Günümüzde yapımı daha rahat ve maliyeti daha düşük olduğu için yüzeysel temeller daha çok tercih edilir. Ancak yüzeysel temellerin aşağıdaki durumlarla karşılaşıldığında kullanılmaması gerekir. Bunlar,

- Üst zeminlerin çok zayıf veya yapı yüklerinin çok büyük olduğu ve böylece yüzeysel temellerin çok geniş olacağı durumlar
- Temellerin toplam plan alanı, binanın toplam taban alanının üçte birini aştığı zaman, yüzeysel temellerin kullanılması ekonomik değildir.
- Üst zeminlerde oyulma söz konusu olduğu durumlarda. Bu özellikle köprü temellerinde önemlidir.
- Temelin suyun içinden geçme zorunluluğu olduğu durumlarda
- Büyük bir kaldırma kapasitesi gerekli olduğu durumlarda
- Büyük bir yanal yük kapasitesi gerekli olduğu durumlarda
- Gelecekte temeğe çok yakın bir kazı olması ve bu kazının yüzeysel temelleri zayıflatması durumunda derin temel sistemi kullanılmalıdır.

Derin temel, uygulanan yüklerin tamamını veya bir kısmını zemin yüzeyinden daha derinlerdeki zemine aktaran temel sistemidir (Şekil 2.1).

Zeminlerin derinlere inildikçe taşıma gücünün artmasından ve daha büyük hacimde bir zemini harekete geçirmesinden dolayı derin temeller genellikle daha büyük yükler taşıyabilir.



Şekil 2.1. Derin temeller, uygulanan yapı yüklerinin tamamına yakınına daha derinlerdeki sağlam zemine aktarırlar (Coduto, 2001)

2.1.1. Yük aktarımı

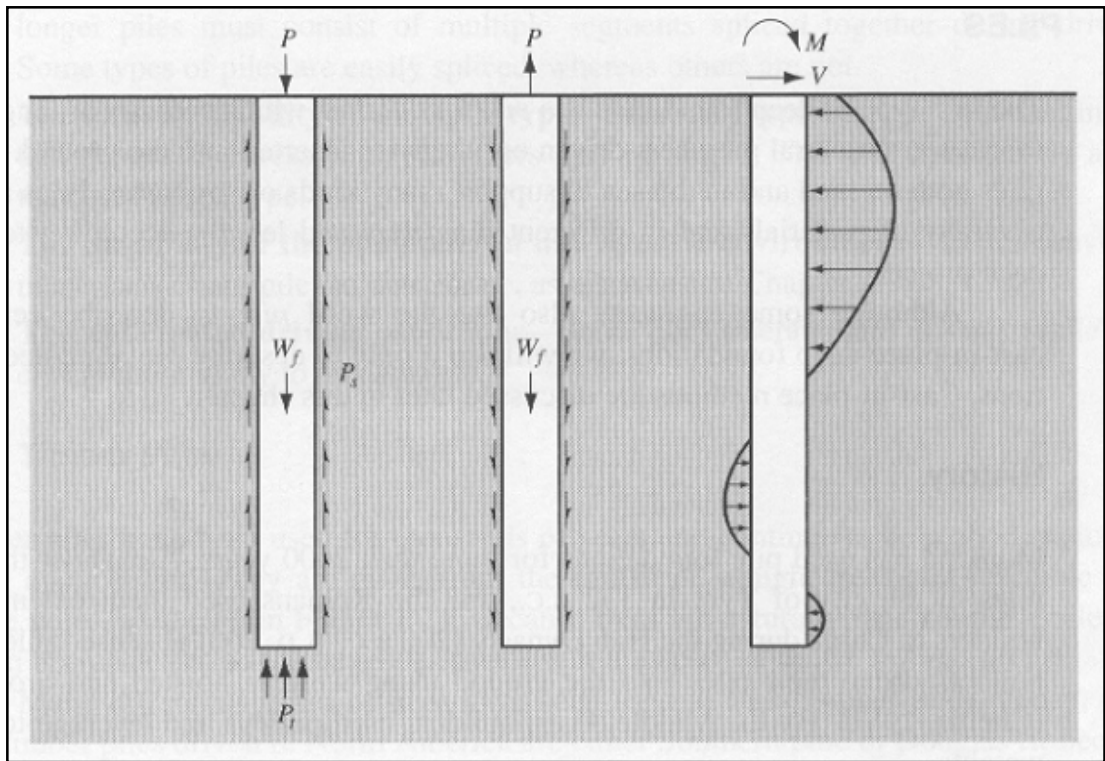
Derin temelleri uygun olarak tasarlamak için yapı yüklerini zemine nasıl aktardıklarını bilmemiz gerekir. Bu yük aktarımı yüklenen yükün tipine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle yapı yükleri “Eksenel yükler” ve “yanal yükler” olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

Eksenel yükler; Şekil 2.2a ve 2.2b’de gösterildiği gibi, temelin eksenine paralel olarak etkiyen çekme veya basınç yükleri olarak uygulanırlar. Bu yükler, temelde eğilmeye değil; çekme ya da basınca sebep olurlar.

Düz bir temelde eksenel yük, uygulanan düşey yüke eşit olmaktadır. Bir eksenel yük tarafından basınç oluşunca derin temeller yüke, hem kenar sürtünme hem de uç taşıma direncini kullanarak karşı koyarlar (Şekil 2.2a). Eksenel yük tarafından çekme oluştuğu zaman ise, tepkiye neden olan yük

kenar sürtünmesi ile temelin ağırlığıdır (Şekil 2.2b).

Yanal yükler; Şekil 2.2c'de gösterildiği üzere temel eksenine dik olarak etkiyen yüklerdir. Bu yükler moment (M) ve kesme (V) yüklerine neden olur. Bu moment ve kesme yükleri temelde yanal deplasmanlar oluşturur. Bu yanal deplasmanlar ile buna bağlı oluşan yanal kuvvetlerin büyüklükleri ve temelin yük taşıma kapasitesi, hem zeminin hem de temelin rijitliğine bağlıdır.



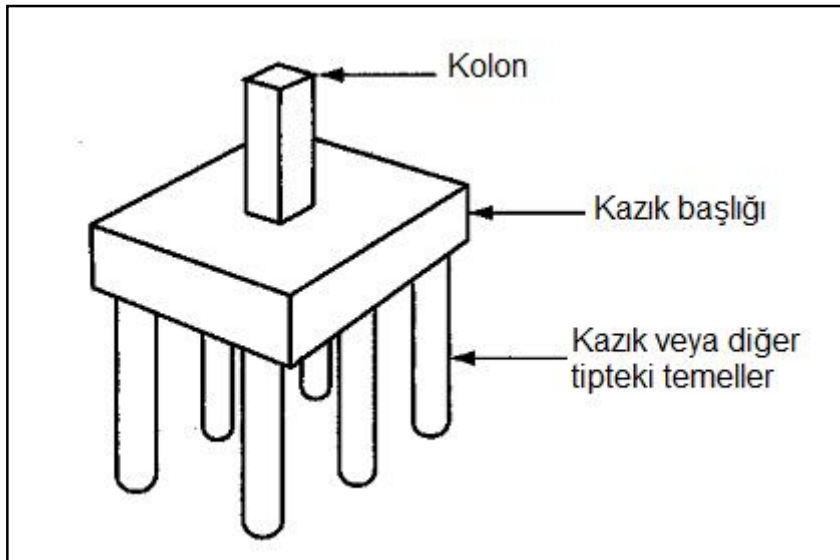
Şekil 2.2. Yapı yüklerinin derin temelden zemine aktarımı a) Eksenel basınç yükleri; b) Eksenel çekme yükleri; c) Yanal yükler (Coduto, 2001)

2.1.2 Kazıklar ve işlevleri

Kazıklar, üstyapı yüklerini zemine aktaran yapısal elemanlardır. Derin temel tiplerinden olan kazıklı temel, zemin içine çakılan önceden hazırlanmış uzun ve ince yapı elemanlarından oluşan temel tipidir. Kazıklar, çeşitli malzemelerden ve projenin ihtiyacına göre farklı çap ve boylarda imal edilir. Kazıkların çekme kuvvetlerini ve yanal yükleri de taşıması gerekir; ayrıca zeminin sıkıştırılmasında da aktif rol oynarlar.

Çoğunlukla tek temel gerektiren üst yapının her bir elemanı üç veya daha fazla kazık grupları üzerinde taşınırlar. Münferit kazıklar yerine, kazık grupları kullanılır. Çünkü; genelde tek kazık yeterli mukavemete sahip değildir. Ayrıca; kazık grupları bir kazık hasarlı olsa bile, yapıyı taşımayı devam eder. Kazık çakımı esnasında yanal zemin sıkışması daha büyüktür. Bu nedenle kenar sürtünme kapasitesi, münferit kazığın sürtünme kapasitesinden daha büyüktür [Coduto, 2001].

Kazıkların her bir grubu Şekil 2.9’da gösterildiği gibi, yüzeysel temele benzeyen, donatılı beton bir eleman olan “kazık başlığı” ile birleştirilir. Kazık başlığı yapı yüklerini kazıklara dağıtmayı ve kazıkları bir arada bağlayarak bir bütün olarak davranmalarını sağlar. Kazık başlığının tasarımı, kazıkların sayısı ve yapı yüklerine bağlı olarak değişir. Kazık başlığı esasen tüm kazıkların başlıklarının içine gömüldüğü bir betonarme radyedir.



Şekil 2.3. Kazık başlığı

2.1.3 Kazıkların zemine yük aktarma işlemi

Kazıklı temellerin üzerindeki üst yapı yüklerini, kazık boyu (L) boyunca zemine yük aktarma mekanizması Şekil 2.4a'da gösterilmektedir.

Kazık üzerindeki yük, sıfırdan başlayarak derinlikle birlikte yavaş yavaş artarak zemin yüzeyinde $Q_{(z=0)}$ 'dır. Bu yükün bir kısmı kazık gövdesi boyunca gelişen yüzey sürtünmesi ile karşılanan Q_1 , bir kısmı da kazık ucunun altında kalan ve zemin tarafından karşılanan Q_2 'dir. Yük aktarma mekanizması, toplam yükün ne kadarının yüzey sürtünmesi, ne kadarının uç mukavemeti ile karşılanacağını belirler [Turan, 2006].

Herhangi bir z derinliğinde birim alana düşen yüzeysel sürtünme direnci $f_{(z)}$ Eş. 2.1'deki gibi hesaplanabilir.

$$f(z) = \frac{\Delta Q_z}{p \Delta z} \quad (2.1)$$

Burada;

p: kazık enkesit çevresidir.

$f_{(z)}$ 'nin derinlikle değişimi Şekil 2.4c'de gösterilmektedir.

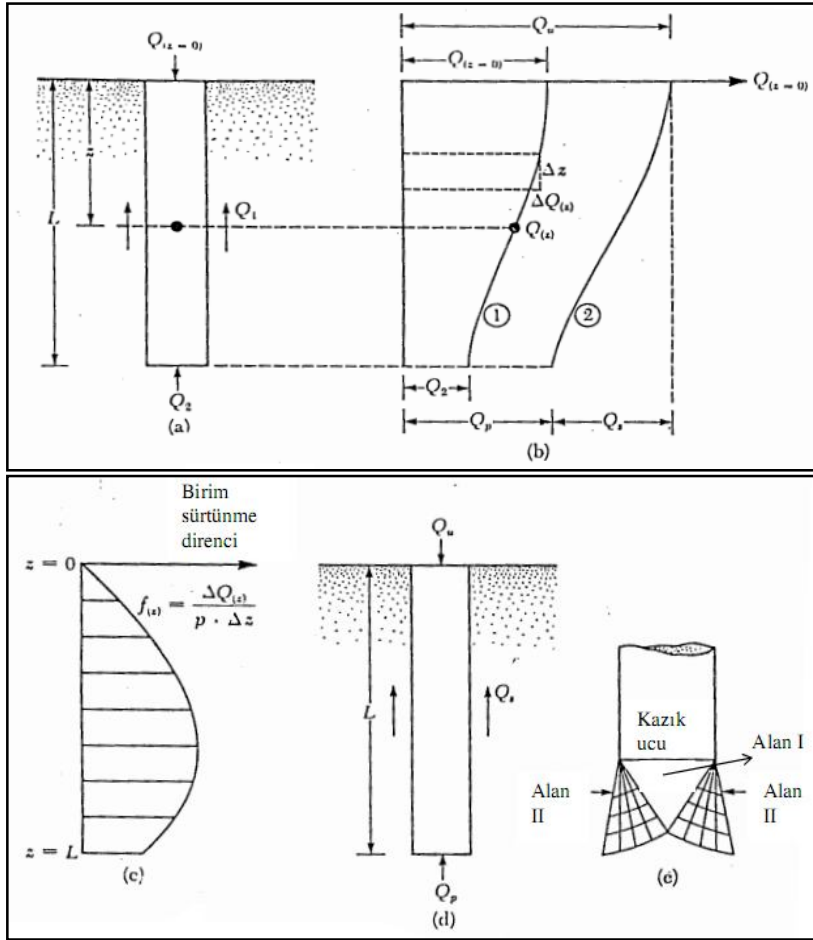
$Q_{(ç)}$ (ya da kazık shaftı boyunca birim yüzey sürtünmesi, f) tarafından oluşan deplasmanın, uç direnci $Q_{(u)}$ ile karşılaştırıldığında çok daha az olduğu belirlenmiştir. Bu Şekil 2.5'deki Vesic'in (1970) granüler zeminlerdeki kazık yükleme deneyi sonuçlarından da açıkça görülmektedir.

Nihai yükte, kazık ucundaki zeminin kırılma yüzeyi (Q_u tarafından oluşan taşıma kapasitesi göçmesi) Şekil 2.4'de verilmiştir.

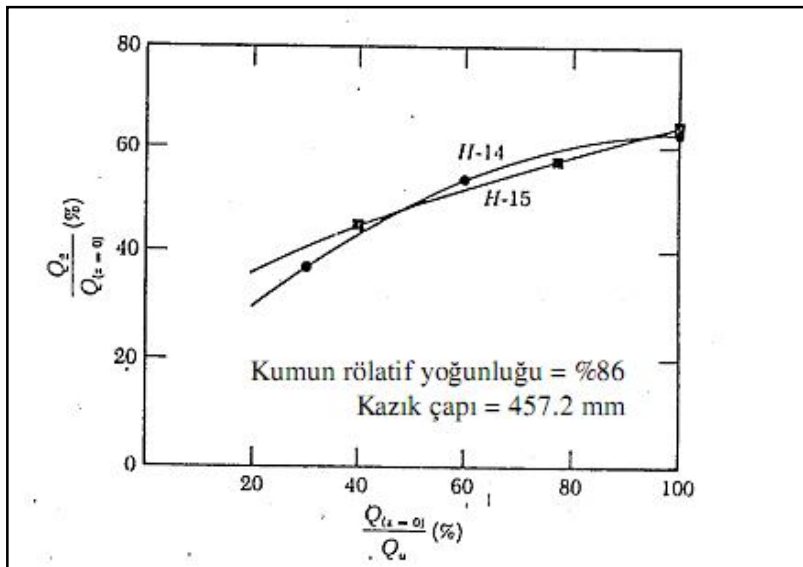
Nihai yükte, Şekil 2.4b ve 2.4d eğrilerinde verildiği gibi $Q_{(z=0)} = Q_u$ durumu Eş. 2.2 ve Eş. 2.3'deki gibidir.

$$Q_1 = Q_{ç} \quad (2.2)$$

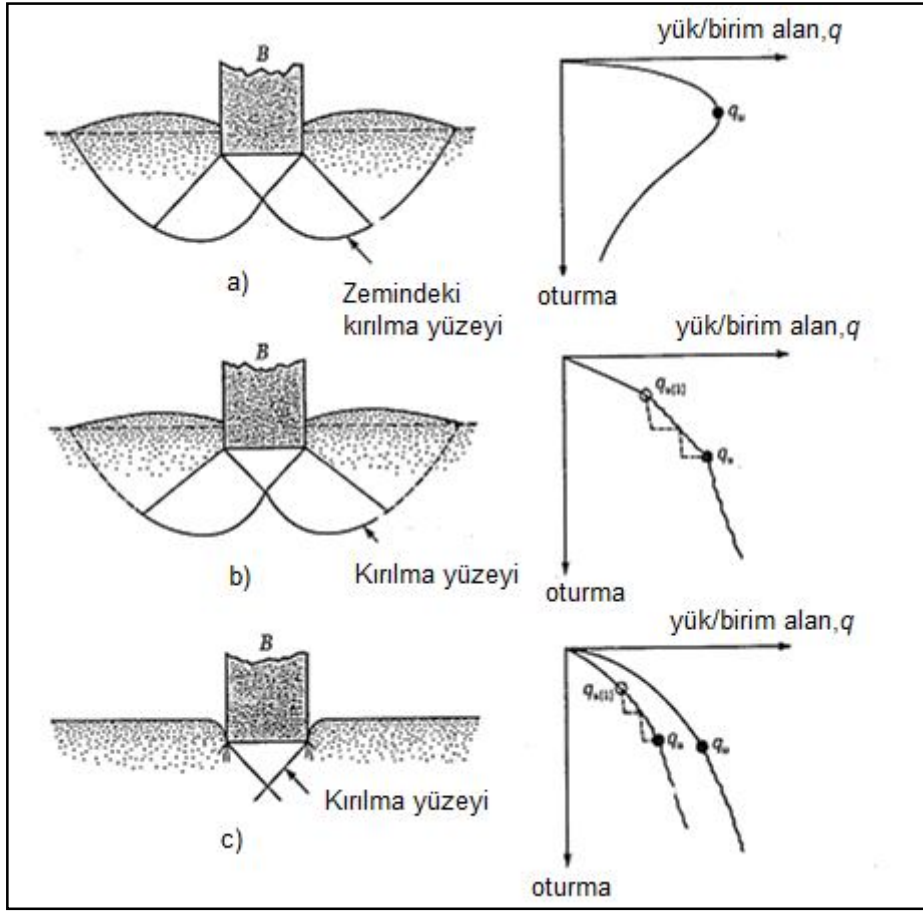
$$Q_2 = Q_u \quad (2.3)$$



Şekil 2.4. Kazıklar için yük aktarma mekanizması



Şekil 2.5. Kazık yükleme aşamalarında aktarılan uç yükünün göreceli büyüklüğü (Vesic, 1970)



Şekil 2.6. Zemindeki taşıma kapasitesi göçmesi a) genel kayma göçmesi; b) local kayma göçmesi; c) zımbalama kayma göçmesi (Vesic, 1973)

2.1.4. Kazıkların yükü taşıma ve iletme şekillerine göre sınıflandırılması

Uç kazıkları

Yükün kazıklar tarafından taşıma gücü yüksek olan daha derinlerdeki zemine veya ana kayaya uç gerilmeleri ile aktarılması durumunda kazığa uç kazığı adı verilir. Uç kazıklarında çevre sürtünme direnci ihmal edilecek kadar küçüktür (Şekil 2.7b).

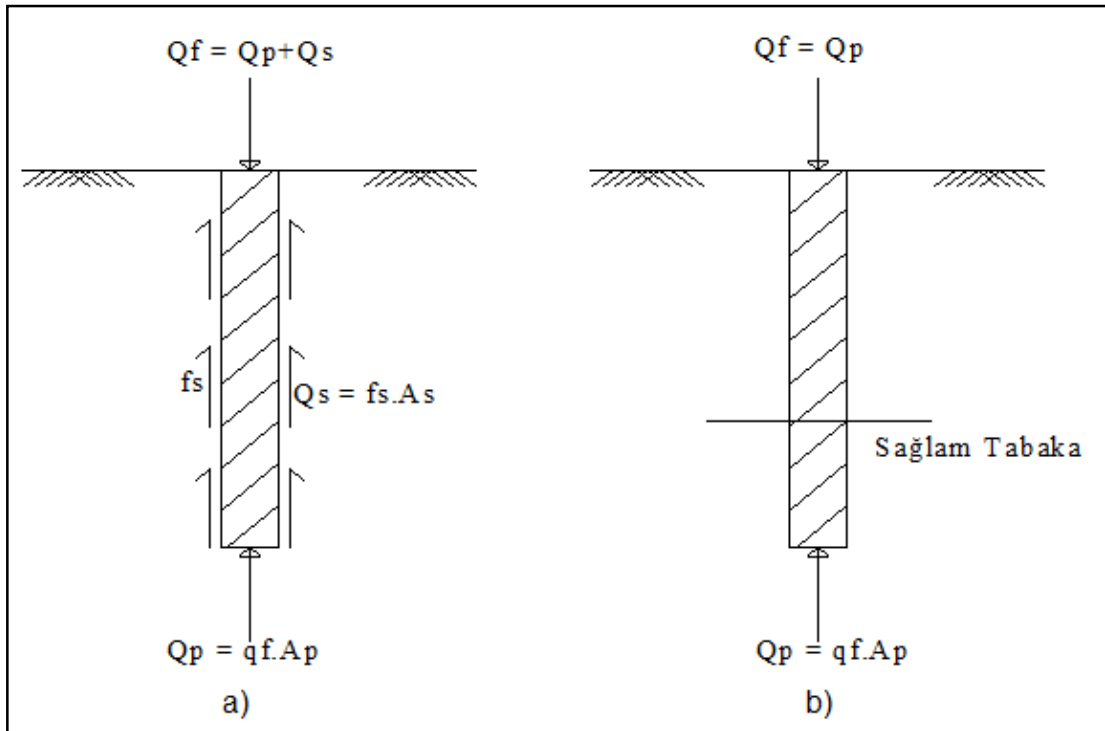
Diğer bir ifadeyle uç kazıkları, yükü kazığın tabanının dayandığı veya içine girdiği sağlam bir tabakaya (kaya veya sıkı kum-çakıl gibi) kazık uç direnci yoluyla aktarırlar ve çevre sürtünmesi bu kazıklarda ihmal edilebilir. Genelde

kazıklar zemin içine bir miktar soketlenirler; bu durumda kazık yükü hem uç hem de sürtünme direnci tarafından karşılanır.

Çevre sürtünmesinin oluşabilmesi için kazığın belli bir miktar oturma yapması gerekir. Uç kazıklarının rijit olduğu kabul edilirse, kazığın oturması taban zemininin oturmasına eşit olur. Bu durum ihmal edilebilir değerde olduğu için çevre sürtünmesi ihmal edilecek kadar küçüktür. Bu nedenle uç kazıkları kullanılarak tasarlanan kazık grubunun taşıma gücü; tek kazıkların taşıma güçlerinin toplamına eşit olmaktadır.

Sürtünme kazıkları

Sürtünme kazıklarında belli derinlik boyunca ana kayaya veya taşıma gücü yüksek zemine ulaşamamakta ve bu nedenle yük kazığın gövdesi boyunca yer alan zeminlere sürtünme direnci yoluyla aktarılmaktadır (Şekil 2.7a).



2.2. Kazıkların Taşıma Gücü

2.2.1. Genel formül

Bir kazığın çevre zemini açısından toplam taşıma gücü genellikle iki bileşenden oluşur. Bunlar; uç direnci Q_p ve çevre sürtünmesi Q_s bileşenleridir.

$$Q_d = Q_p + Q_s - W \quad (2.4)$$

Burada;

Q_d : Kazığın toplam taşıma gücü,

Q_p : Uç direnci,

Q_s : Çevre Sürtünmesi direnci,

W : Kazığın ağırlığıdır.

Ancak pratikte kazık ağırlığı kıyı ve liman yapıları gibi kazığın zeminin dışında imal edildiği yapılar dışında ihmal edilmektedir [Tomlinson, 2004]. Pratikte Eş. 2.4'de verilen denklem ile bulunan değere bir güvenlik sayısı uygulanarak servis yükü bulunur [Birand, 2001].

2.2.2. Uç direnci

Kazıklarda uç direnci, Eş. 2.5 ile hesaplanmaktadır.

$$Q_p = A_p(cN_c + 1/2\gamma DN\gamma + \gamma LNq) \quad (2.5)$$

Burada;

A_p : Kazığın uç alanı,

c : Kazık ucunun temas ettiği zeminin kohezyonu,

γ : Zeminin birim hacim ağırlığı,

N_y, N_q, N_c : Zeminin içsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayılarıdır.

D: Kazık çapı,

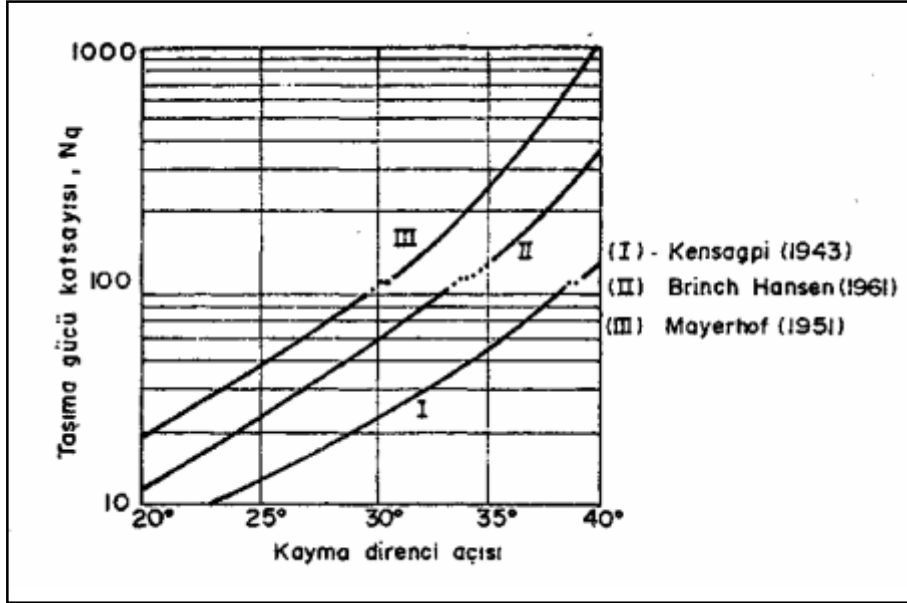
L: Kazığın zemine gömülü olduğu derinlik

Terzaghi (1973), taşıma gücü katsayılarını zeminin içsel sürtünme açısının bir fonksiyonu olarak Çizelge 2.1’de vermiştir.

Çizelge 2.1. Taşıma gücü katsayıları (Terzaghi, 1973)

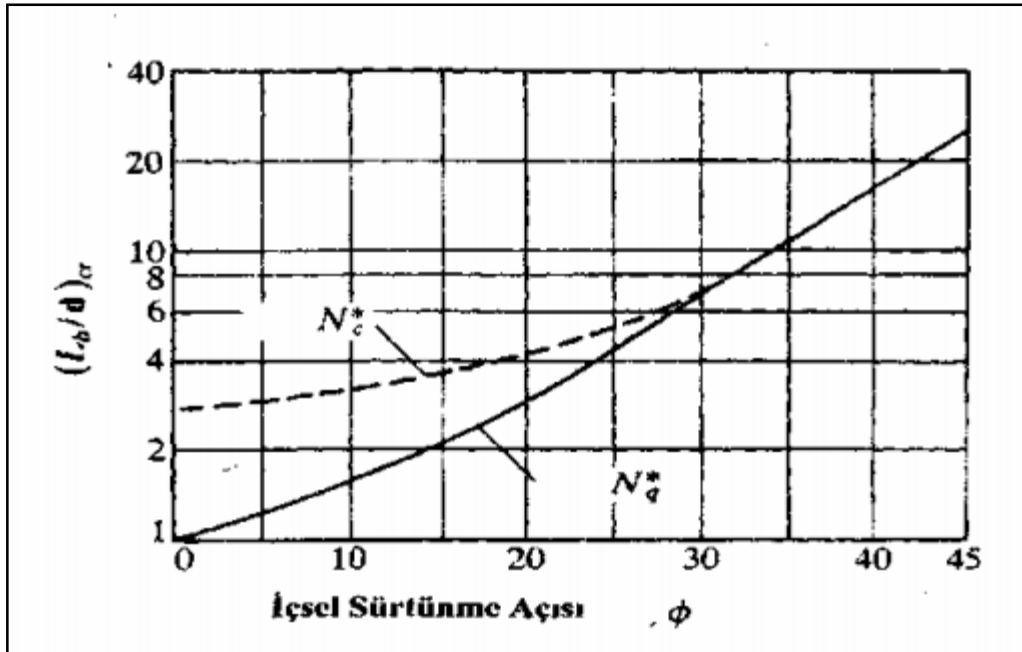
ϕ	N_c	N_q	N_y	ϕ	N_c	N_q	N_y	ϕ	N_c	N_q	N_y
0	5.70	1.00	0.00	17	14.60	5.45	2.18	34	52.64	36.50	38.04
1	6.00	1.1	0.01	18	15.12	6.04	2.59	35	57.75	41.44	45.41
2	6.30	1.22	0.04	19	16.57	6.70	3.07	36	63.53	47.16	54.36
3	6.62	1.35	0.06	20	17.69	7.44	3.64	37	70.01	53.80	65.27
4	6.97	1.49	0.10	21	18.92	8.26	4.31	38	77.50	61.55	78.61
5	7.34	1.64	0.14	22	20.27	9.19	5.09	39	85.97	70.61	95.03
6	7.73	1.81	0.20	23	21.75	10.23	6.00	40	95.66	81.27	115.31
7	8.15	2.00	0.27	24	23.36	11.40	7.08	41	106.81	93.85	140.51
8	8.60	2.21	0.35	25	25.13	12.72	8.34	42	119.67	108.75	171.99
9	9.09	2.44	0.44	26	27.09	14.21	9.84	43	134.58	126.50	211.56
10	9.61	2.69	0.56	27	29.24	15.90	11.60	44	151.95	147.74	261.60
11	10.16	2.98	0.69	28	31.61	17.81	13.70	45	172.28	173.28	325.34
12	10.76	3.29	0.85	29	34.24	19.98	16.18	46	196.22	204.19	407.11
13	11.41	3.63	1.04	30	37.16	22.46	19.13	47	224.55	241.80	512.84
14	12.11	4.02	1.26	31	40.41	25.28	22.65	48	258.28	287.85	650.87
15	12.86	4.45	1.52	32	44.04	28.52	26.87	49	298.71	344.63	831.99
16	13.68	4.92	1.82	33	48.09	32.23	31.94	50	347.50	415.14	1072.80

Terzaghi’nin Çizelge 2.1’de verdiği değerlerden farklı olarak, bazı araştırmacılar tarafından önerilen N_q değerleri Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Taşıma gücü katsayısı N_q (Ordemir, 1984) [Birand, 2001]

Yıllar içerisinde Şekil 2.8'de gösterilen Meyerhof eğrisi değişerek Şekil 2.9'da gösterilen hale gelmiştir.



Şekil 2.9. L_b/d_{cr} oranının içsel sürtünme açısına göre değişimi (Meyerhof, 1979)

Kazık uç direnci formülü, kohezyonlu zeminlerde içsel sürtünme açısının 0'a eşit olması sebebiyle Eş. 2.7'de verildiği gibi hesaplanır.

$$Q_p = A_p(cN_c + \gamma L N_q) \quad (2.7)$$

Bazı araştırmacılar uç direncini (Q_p) Eş. 2.8'deki gibi ifade ederler [Birand, 2001].

$$Q_p = A_p \times q_p \quad (2.8)$$

Burada;

A_p : Kazık ucunun kesit alanı,

q_p : Birim alana düşen uç direncidir.

Granüler-Kohezyonlu bir zeminde toplam uç direnci Eş. 2.9'da verildiği gibi hesaplanmaktadır [Birand, 2001].

$$q_p = A_p(cN_c + \sigma_v' N_q) \quad (2.9)$$

Burada;

c : Zeminin kohezyonu,

σ_v' : Kazık ucundaki düşey efektif gerilme,

N_c, N_q : Taşıma gücü katsayılarıdır.

Bu ifadedeki taşıma gücü katsayıları, kazık ucunun biçim ve derinlik etkilerini yansıtırlar.

Meyerhof (1979), granüler zeminlerdeki uç direnci için farklı bir metot geliştirmiştir. Bu metoda göre, kazık ucu direnci derinlikle artmakta; ancak belli kritik L_b derinliğinden sonra değişmemektedir. Bu derinlik; kazık çapı cinsinden "Kritik gömülme oranı $(L_b/d)_{cr}$ " ile gösterilir. Bu oran, içsel sürtünme açısının bir fonksiyonudur (Şekil 2.9).

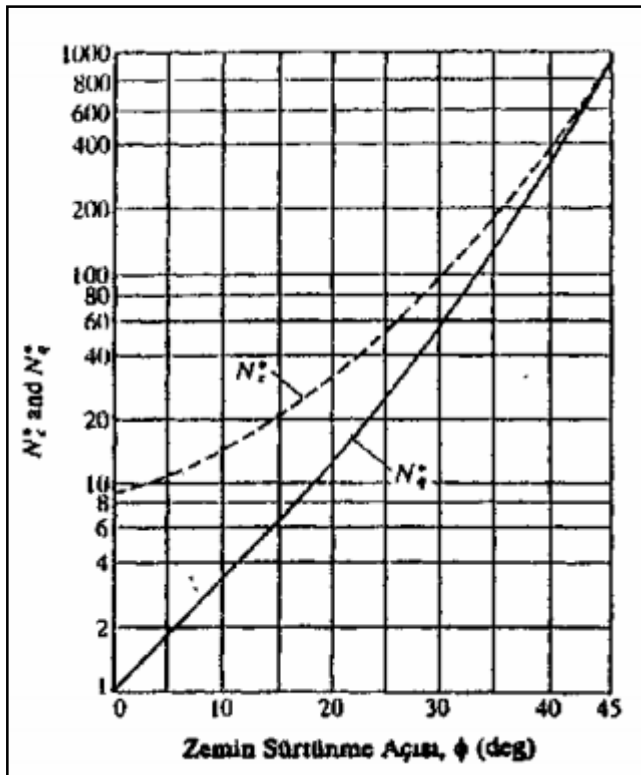
Granüler zeminlerde $c=0$ olduğundan; Eş. 2.10'daki gibi olur.

$$Q_p = A_p \cdot \sigma_v' \cdot N_q \quad (2.10)$$

σ_v' değeri Şekil 2.15'den bulunur. Bunun için zeminin içsel sürtünme açısı değeri ile abağa girilir ve kritik gömülme oranı (L_b) bulunur.

$\sigma_v' = (\text{zeminin efektif birim hacim ağırlığı}) \cdot L_b$ olur.

N_q^* değeri ise, Şekil 2.10'dan elde edilir.



Şekil 2.10. N_c^* ve N_q^* değerlerinin içsel sürtünme açısı ile değişimi (Meyerhof, 1979) [Birand, 2001]

2.2.3. Çevre sürtünmesi direnci

Granüler zeminlerde zemin ile kazık arasında fiziksel sürtünme, killi zeminlerde ise adezyon hareketlenmesi nedeni ile çevre sürtünmesi direnci meydana gelir. Bu direnç, birim alanda oluşan direncin kazığın çevre yüzeyi ile çarpılması sonucu toplam taşıma gücü değerine ulaşır [Birand, 2001].

Çevre zemini ile kazık çeperi arasındaki çevre sürtünmesinden doğan taşıma gücü; kazığın içinde bulunduğu her tabakanın çevre sürtünmesi toplanarak bulunur (Eş. 2.11).

$$Q_s = \sum p_i \Delta L_i f_{si} \quad (2.11)$$

Burada;

P: Kazık enkesitinin çevre uzunluğu,

ΔL : Kazığın değişik zemin tabakaları içindeki uzunluğu,

f_s : Kazığın her bir zemin tabakası içindeki birim çevre sürtünmesi değeridir.

Eş. 2.27'den anlaşılacağı üzere kazığın çevre sürtünme direncini hesaplamak için, zeminin birim çevre sürtünmesi değeri (f_i)'nin bilinmesi gerekir [Birand, 2001].

2.2.4. Kayaya soketlenmiş kazıklarda taşıma gücü

Kayaya soketlenmiş kazıklarda kazık kapasitesi, uç ve sürtünmeden kaynaklı olmaktadır. Sürtünme direncinin beton veya kaya mukavemetinin bir fonksiyonu olması beklenir ve yükün paylaşımı soket geometrisi L/D 'ye bağlıdır [Yıldırım, 2002].

Literatürde sürtünme direnci için, kaya kalitesi (karot yüzdesi), SPT ve serbest basınç mukavemeti (q_u) değerlerine göre bir takım çalışmalar vardır. Horvath ve Kenney (1979) soket sürtünme direnci için Eş. 2.12'yi, Zhang ve Einstein (1998) ise Eş. 2.13'ü önermişlerdir.

$$f_s = 0,2 - 0,25 \sqrt{q_u} \quad (2.12)$$

$$f_s = 0,4 - 0,8 \sqrt{q_u} \quad (2.13)$$

Zhang ve Einstein (1998), soket uç direnci için ise Eş. 2.14 ve Eş. 2.15'i önermiştir.

$$q_p = 4,83(q_u)^{0.51} \quad (2.14)$$

$$Q_u = A_p \cdot Q_p \quad (2.15)$$

Kayalara oturan kazıklarda uç direnci Goodman (1980) tarafından ise, Eş. 2.16 ve Eş. 2.17 ile verilmiştir.

$$Q_u = q_u(N_\phi + 1) \quad (2.16)$$

$$N_\phi = \tan^2(45 + \phi/2) \quad (2.17)$$

2.2.5. Düşey yük altında kazığın elastik oturması

Bu çözüm yönteminde düşey yük altında kazığın toplam oturmasının, üç bileşenden meydana geldiği varsayımı yapılmaktadır [Das, 1983].

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \quad (2.18)$$

Bu bağıntıda;

S_e : Kazığın toplam oturmasını,

$S_{e(1)}$: Kazığın elastik oturmasını,

$S_{e(2)}$: Kazık ucundaki oturmayı,

$S_{e(3)}$: Kazığın gövde boyunca iletilen yük tarafından kazıkta oluşan oturmayı ifade etmektedir.

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p \cdot E_p} \quad (2.19)$$

Bu bağıntıda;

Q_{wp} : Servis yükü altında kazık ucuna aktarılan yük,

ξ : Parabol yük olunca 0,5; üçgen yük olunca 0,67;

üniform yük olunca 0,5,

Q_{ws} : Servis yükü altında sürtünme direnci ile aktarılan yük,

L : Kazık boyu,

A_p : Kazık kesit alanı

E_p : Kazığın elastisite modülüdür.

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} \cdot D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \quad (2.20)$$

Bu bağıntıda;

$$q_{wp} = Q_{wp} / A_p \quad (2.21)$$

D : Kazığın çapı,

E_s : Zeminin elastisite modülü,

μ : Zeminin poisson oranıdır.

I_{wp} : etki sayısı : 0,85

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{P \cdot L} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \quad (2.22)$$

Bu bağıntıda;

Q_{ws} : Servis yükü altında sürtünme direnci ile aktarılan yük,

D : Kazığın çapı,

P : Kazığın çevresi,

L : Kazık boyu,

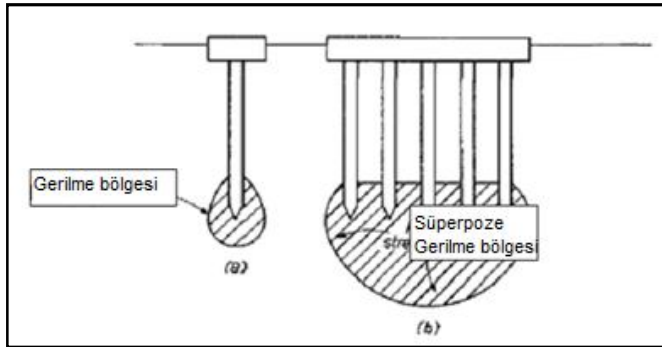
E_s : Zeminin elastisite modülü,

μ : Zeminin poisson oranıdır.

$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (2.23)$$

2.2.6. Kazık gruplarının oturması

Kazıklardan zemine aktarılan gerilmelerin kazık grubu için, tekil kazıklara göre daha derin alanlarda etkimelerinden dolayı, kazık gruplarında zamana bağlı konsolidasyon oturmaları, grubu oluşturan tekil kazıkların oturma değerlerinden daha fazla olması beklenir. Şekil 2.11’de gösterildiği gibi kazıklar tarafından zemine aktarılan gerilmelerde süperpozisyon oluşacağından artış olacak ve kazık taşıma kapasitesinde tekil kazıklara göre azalma ve oturma miktarlarında artış meydana gelecektir [Das, 1999].



Şekil 2.11. Kazık gruplarında oluşan gerilmelerin süperpozisyonu (Tomlinson, 2004)

Kazık gruplarının oturmasında kullanılan bir çok farklı yöntem vardır. Bunlardan bazıları şunlardır (Poulos, 2006) :

1. Ampirik formüllere dayanan yöntemler (Skempton, 1953; Vesic, 1970; Meyerhof, 1976),
2. Yapı zemin etkileşimini ve gerilme süperpozisyonunu dikkate alan yaklaşımlar (Poulos ve Davis, 1980),
3. Kazıkların yüzeyden itibaren belli bir derinlikte yer alan bir radye temel tarafından sembolize edileceği varsayımını oluşturan eşdeğer radye yöntemi,
4. Tekil kazıklara ait yük-oturma grafiklerini grup etkileşim faktörleri yardımı ile değiştirmeye dayalı yöntemler,
5. Sonlu elemanlar metodu gibi bilgisayar destekli nümerik yöntemlerdir.

2.3. Kazıklı Radye Temeller ve Düşey Yük Altındaki Davranışları

2.3.1. Genel tanım

Taşıyıcı tabakanın yüzeye yakın olduğu durumlarda üst yapıdan gelen yükler radye temel aracılığı ile zemine aktarılır; ancak taşıma gücü sağlanmasına rağmen, toplam ve farklı oturma sınır değerleri aşıldığı zaman derin temel çeşidi olan kazıklı temellere gerek duyulur. Üst yapı yüklerinden dolayı radye temelde yeterli taşıma gücü sağlanamadığında da yine kazıklı temel tercih edilir.

Kazıklı temellerin tasarımında kazık gruplarının üzerinde bulunan kazık başlığı, üst yapıdan gelen yüklerin tamamını kazıklara iletmektedir. Bu durum kazık başlığının zemin ile temas halinde olmadığı düşünüldüğü için varsayılmaktadır. Ancak radye şeklinde bir plak olan kazık başlığı, genellikle zeminle temas halindedir ve yükün bir kısmını da zemine aktarmaktadır [Franke, 1991].

Ayrıca üst yapı yükünün kazık başlığı dediğimiz radye ile tüm kazıklara iletilmesi ve yükün tamamının kazıklar tarafından taşınması da ekonomik olmamaktadır. Aslında kazıklar yükün tamamını taşımaktansa, oturmayı azaltıcı elemanlar olarak kullanılmaktadır. Bu da kazıklı radye temel adında yeni bir temel sistemi oluşmasını sağlamıştır [Poulos, 2001].

Kazıklı radye temellerde, üst yapıdan gelen yükün bir kısmı kazıklar, bir kısmı da radye temel tarafından taşınır. Bundan dolayı kazıklı radye temel sisteminde, kazıklar oturmaların azaltılmasında kullanılırlar [Reul ve Randolph, 2003]. Kazıklı radye temeller ise; radyedeki oturma veya farklı oturmaları azaltmak amacıyla kullanılmaktadırlar.

2.3.2. Kazıklı radye temellerin tasarımı

Kazıklı radye temellerin tasarımında dikkat edilmesi gereken parametreler şunlardır:

1. Düşey ve yatay yükler altında ve moment etkisi ile sistemin maksimum taşıma gücü,
2. Sistemin farklı oturma değeri,
3. Sistemin toplam oturma değeri,
4. Radye döşemesine etkiyen kesme ve moment değerleri,
5. Kazıklara etkiyen kesme ve moment değerleridir.

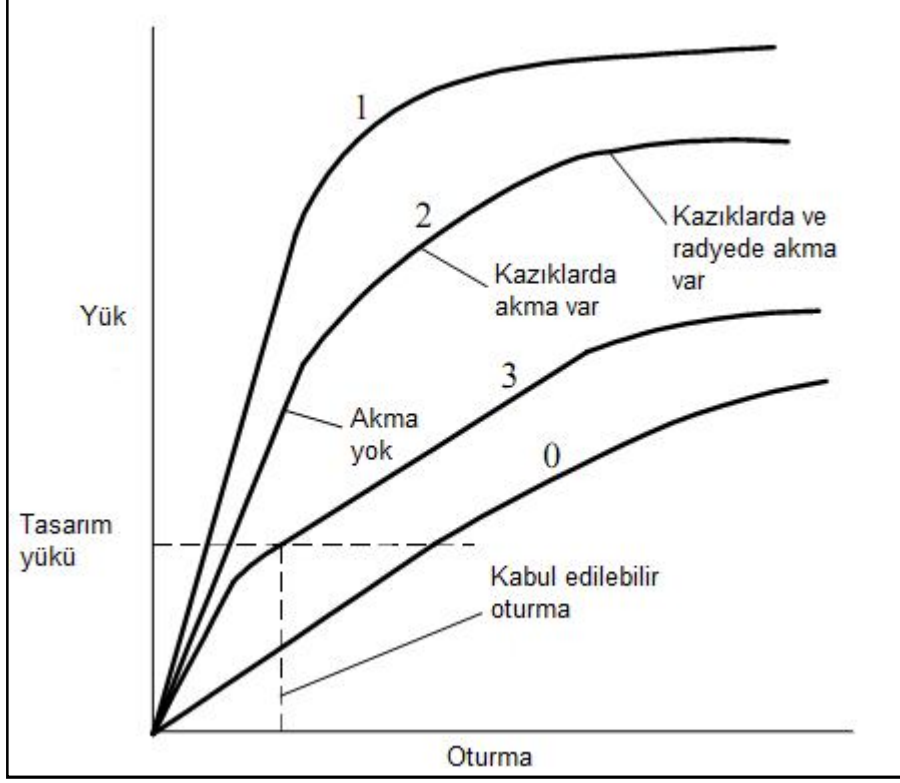
Günümüzde daha çok tercih edilen kazıklı radye temellerin tasarımı ile ilgili bir çok yöntem geliştirilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta; kazıklı radye temellerin zemin, radye ve kazık elemanlarının birleşiminden oluşan bir sistem olmasıdır [Yalçın, 2010].

Randolph (1994) tarafından kazıklı radye temel sistemleri için üç ayrı yöntem tasarlanmıştır.

1. Genel Kazıklı Temel Yaklaşımı: Burada kazıklar üst yapı yüklerinin tamamını taşıyacak şekilde tasarlanmaktadır.
2. Sünme Yaklaşımı: Kazıklar sünme hareketinin başladığı yük seviyesi olan, maksimum taşıma gücünün %70-80'ine göre tasarlanır.
3. Farklı Oturma Kontrolüne Dayalı Yaklaşım: Bu yaklaşımda kazıklar radyede meydana gelecek farklı oturmaları önlemek için, üst yapıdan gelen yüklerin yoğun olduğu bölgelere yerleştirilir.

Ayrıca sünme yaklaşımının daha farklı bir yaklaşımı da, kazıkların tümünün ya da belli bir kısmının, toplam taşıma kapasitesinin tamamını, yani %100'ünü karşılayacak şekilde tasarlanmasıdır. Bu yaklaşımla kazıklar oturmayı azaltıcı elemanlar olarak kullanılırken, aynı zamanda sistemin toplam taşıma gücüne de katkı sağlarlar.

Şekil 2.12’de kazıklı temel ve sünme yaklaşımları için, kazıklı radye temel sistemlerinin yük-oturma davranışları gösterilmektedir.



Şekil 2.12. Çeşitli tasarım kabullerine göre yük-oturma eğrileri (Poulos, 2001)

Şekil 2.12’de gösterilmiş olan 1 numaralı eğri kazıklı temeli, 2 numaralı eğri sünme yaklaşımını, 3 numaralı eğri kazıkları %100 kapasitede çalıştıran sünme yaklaşımını ve 0 numaralı eğri de radye temeli göstermektedir.

Kazıklı radye temellerin tasarımı aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Ön tasarım aşamasında, kazıklı radye temellerin uygulanabilirliği değerlendirilir ve tasarım koşullarını karşılayacak kazık sayısı belirlenir.
2. İkinci aşamada, kazık yerleşim yerleri ve kazıkların genel özellikleri belirlenir.
3. Son aşamada ise, optimum kazık sayısı, kazık yerleri ve yerleşimleri belirlenir ve radyedeki oturma, moment ve kesme kuvveti ile kazıklara gelen yükler ve momentler hesaplanır.

Mandolini ve diğ. (2005), kazıklı radye temellerin tasarımında “kullanıma hazır” diye adlandırdıkları noktaları aşağıdaki gibi özetlemişlerdir:

1. Kazık sayısını artırmak genelde faydalı olsa da, her zaman iyi sonuç vermez. Optimum kazık sayısı vardır ve bu değerden sonra kullanılan ilave kazıklar herhangi bir fayda sağlamayacaktır.
2. Toplam oturmayı azaltmak için en iyi yöntem, radye genişliğinden daha uzun olan kazıkları, radyenin geneline düzgün aralıklı yerleştirmektir.
3. Farklı oturmaları azaltmak için ise en uygun yöntem, gerekli bölgeye az sayıda kazık yerleştirmektir. Bu çözüm, radye kalınlığını artırmaktan ve tüm radyeye düzgün aralıklarla yerleştirilmiş fazla sayıda kazık kullanmaktan daha iyi sonuç verecektir. Kazıkları yerleştirmek için en uygun bölge, yükleme şartlarına göre değişir. Düzgün yayılı yük halinde, kazıkların merkez bölgesine yerleştirilmeleri en doğru yöntemdir [Viggiani, 2001; Horikoshi ve Randolph, 1998]. Kazık boyları farklı oturma değerlerini etkilemektedir. Kazıkların uzun olması, farklı oturma değerlerinin azalmasını sağlar.
4. Radye kalınlığı, farklı oturma ve momentleri etkiler. Toplam oturma ve kazıklar ile radye arasındaki yük dağılımına herhangi bir etkisi yoktur.

2.3.3. Kazıklı radye temellerin kullanım alanları

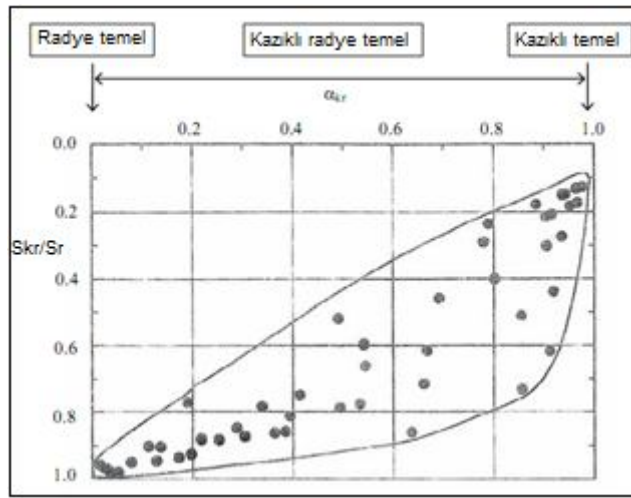
Sert killerden veya sıkı kumlardan oluşan ve temel derinliğince yumuşak veya gevşek tabakaların bulunmadığı zemin profilleri kazık radye kullanımına uygundur [Poulos, 1994].

Bu sistemin kullanımının uygun olmayacağı koşullar ise; yumuşak killerin veya gevşek kumların yüzeye yakın yerlerde bulunduğu, sıg derinliklerde sıkışabilir yumuşak tabakaların yer aldığı ve konsolidasyon oturmasının olabileceği zeminlerdir.

Katzenbach ve Moorman (2001)'a göre, tabakalı zemin profilinde elastisite

modülü oranları $E1/E2 < 1/10$ ($E1$: ilk zemin tabakasının elastisite modülü, $E2$: ikinci zemin tabakasının elastisite modülü) ise veya radye temel altında dolgu veya yumuşak bir tabaka bulunuyorsa; bu durumda kazıklı radye temel kullanımı uygun değildir.

Ayrıca kazıklı radye temel katsayısı (kazık yükü / toplam yük) α_{kr} ; 0.9'dan büyük ise kazıklı radye temel sistemi uygulanmamalıdır (Şekil 2.13).



Şekil 2.13. Kazıklı radye temel katsayısı ile kazıklı radyenin oturması ve radyenin oturması arasındaki bağıntıya örnek (Katzenbach ve diğ., 1998)

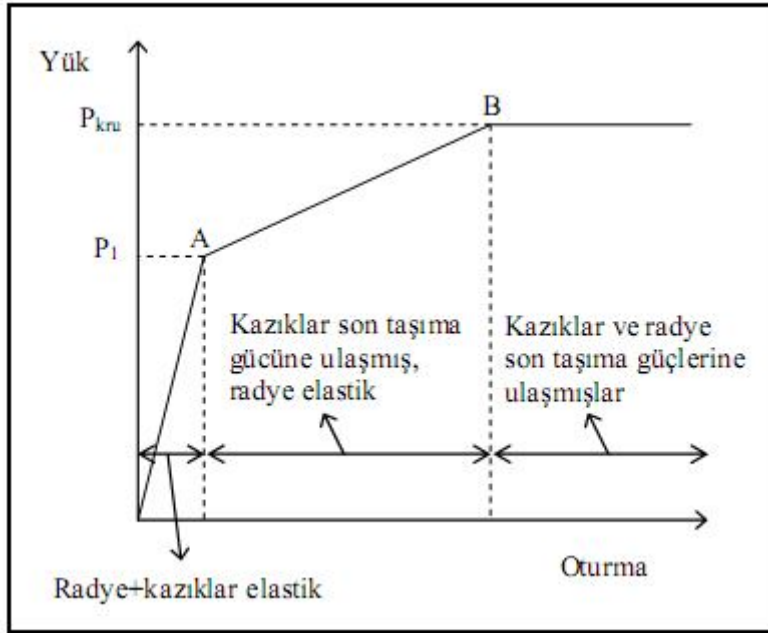
S_{kr} : Kazıklı radye temelin oturması, S_r : Radye temelin oturması

2.3.4. Kazıklı radye temellerin analizi

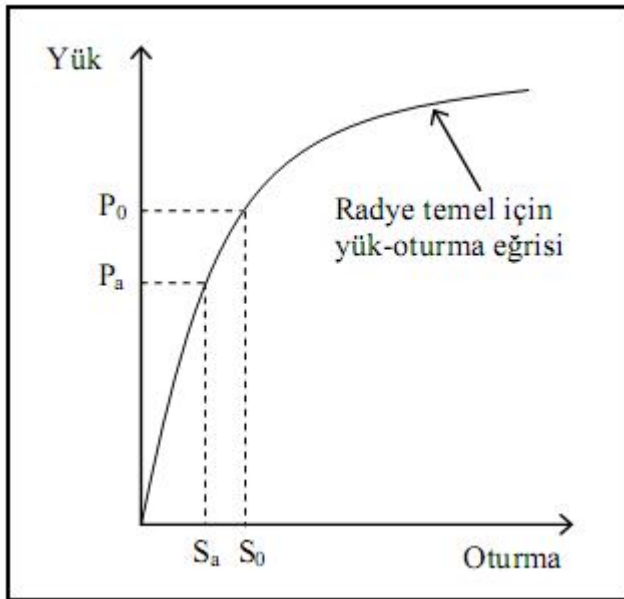
Kazıklı radye temellerin analizi için kullanılmakta olan yöntemleri 3 grupta toplamak mümkündür [Poulos ve diğ., 1997; Poulos, 2001b].

1. Basitleştirilmiş hesap yöntemleri: Yararlanılan basitleştirmeler sayesinde bilgisayar kullanımına gerek duyulmayan bu metotlar arasında Davis ve Poulos (1972) / Poulos ve Davis (1980), Randolph (1983, 1994), Burland (1995) ve Poulos-Davis-Randolph [Poulos, 2000a, 2001b], eşdeğer radye ve eşdeğer ayak yöntemleri sayılabilir (Şekil 2.14 ve Şekil 2.15).

Basitleştirilmiş hesap yöntemleri tasarımın ön aşamasında kullanılmakta olup, radye temelin düşey ve yatay taşıma kapasitesi ile toplam ve farklı oturma değerleri genel yöntemlerle hesaplanır ve sonrasında kazıklar sisteme dahil edilirler. Radye, üst yapıdan gelen yükün belli kısmını taşıyabilecek olması durumunda, kazıklara gelen yükü azaltmak amacıyla kullanılır.



Şekil 2.14. Kazıklı radye temelin basitleştirilmiş yük-oturma grafiği (Poulos ve Davis, 1980)



Şekil 2.15. Kazıklı radye temel tasarımı için Burland yaklaşımı (Burland, 1995)

Şekil 2.15’de gösterilen grafikte P_o tasarım yükünü, S_a ise izin verilebilir oturmayı ifade etmektedir.

2. Yaklaşık sayısal analiz yöntemleri: Radyenin şerit [Poulos, 1991] veya plakla, kazıkların ise yaylarla tanımlandığı yöntemlerdir [Poulos 1994, Anagnostopoulos ve Georgiadis, 1998].

2.a. Yaylar üstünde şerit yaklaşımı: Radye temel şerit, kazıklar ise yaylarla modellenmektedir. Bu yaklaşımı kullandığı çalışmasında Poulos (1991), radye-radye, kazık-kazık, radye-kazık ve kazık radye etkileşim faktörlerini hesaplamak için elastik teoriden faydalanmıştır. Sistemde, söz konusu kesite ait oturmalar ve momentler hesaplanmakta ve radyenin dışında oluşan oturmalar elde edilebilmektedir. Yöntem, radyedeki burulma momentlerini dikkate alamasa da daha ileri sayısal analiz yöntemleriyle karşılaştırıldığında uygun sonuçlar vermektedir [Gök, 2007].

2.b. Yaylar üstünde plak yaklaşımı: Radye elastik bir plak, kazıklar ise yaylarla temsil edilmektedir. Poulos (1994), radyeyi sonlu farklar yöntemiyle plakla ve kazıkları yaylarla modellemiştir. Yöntemde, temel elemanları arasındaki etkileşim ile kazıkların doğrusal olmayan davranışı dikkate alınmaktadır. Kazık ve radye yükleri, toplam ve farklı oturmalar ile radye momentleri hesaplanabilmektedir.

Poulos ve diğ. (2001), yaptığı çalışmalarda, radyenin ince plak ile 0.3 m kalınlığında kalın bir plak olarak ve sonlu elemanlar ağının radyeyi oluşturan kısmına bir rijitlik katsayısı verilerek modellenmesi sonucunda elde edilen verilerin, radyenin ince ya da kalın plak olarak modellenmesinin sonuçlar üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını ifade etmişlerdir.

3. İleri sayısal analiz yöntemleri: 3-boyutlu sonlu elemanlar metodu, ileri sayısal analiz yöntemleridir.

Poulos ve diğ. (2001), kazıklı radye temellerin analizinde kullanılmakta olan yöntemler hakkındaki fikrini şöyle belirtmiştir:

“Başarılı bir tahmin için anahtar kullanılan analiz yönteminin detaylarından daha çok, uygun geoteknik parametrelerin seçimidir”.

2.4. Kazıklı Radye Temel Sistemine Etkiyen Faktörler

2.4.1. Kazık adedi ve yükleme şekli

Poulos (1994) tarafından geliştirilen yaylar üzerinde plak yaklaşımı metodu (GARP) ve Poulos-Davis-Randolph (PDR) metodu kullanılarak, Yalçın (2010) tarafından yapılan bazı çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçları elde etmiştir (Poulos,2000):

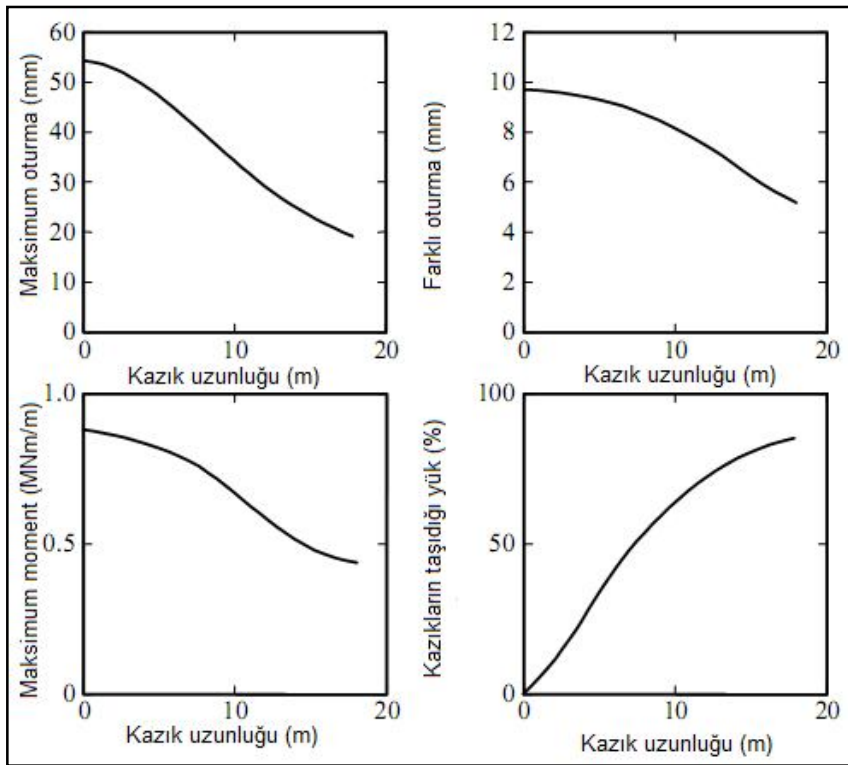
1. Maksimum oturma miktarı kazık sayısı ile ters orantılı olarak azalmakta ve belli bir optimum değerden sonra sabit bir değer almaktadır.
2. Radye temel altındaki kazık adedinin az olduğu yerlerde, yükün tekil olması halinde bulunan oturma miktarı, yayılı yük olması durumunda bulunan değere göre daha fazla olmaktadır.
3. Tekil yükün etkidiği durumlarda bulunan maksimum moment değerleri de, yayılı yüke göre çok daha fazla olduğu sonucu çıkmıştır.
4. Kenardaki ve ortadaki kazıklar arasında oluşan farklı oturma değerleri, kazık sayısına göre belli bir farklılık göstermemektedir.
5. Kazıklar tarafından taşınan yükün oranı kazık sayısına bağlı olarak artmakta; ancak belli biri optimum değerden sonra değişmemektedir. Ayrıca yükün tekil ve yayılı olmasının, toplam yük oranında da önemli bir etkisi bulunmamaktadır; ancak yükün kazılar arasındaki dağılımı yükün etkime şekline göre önemli farklılıklar göstermektedir [Poulos, 2001].

2.4.2. Kazık boyu

Kazık uzunluğu, kazıklı radye temellerin yük-oturma davranışını etkileyen bir parametredir. Oturma miktarındaki azalma, kazık boyu/radye genişliği (L/B_r) oranına bağlıdır. Kazıklı radye temel sisteminde olabildiğince uzun kazıkların kullanılması daha uygun olmaktadır [Cooke, 1986].

Buna bağlı olarak kazık boyu arttıkça, radyenin aldığı yük azalmaktadır. Optimum tasarım için belirlenen, optimum kazık boyundan daha uzun yapılan kazıkların, oturmaya etkisinin fazlasıyla azaldığı dikkate alınmalıdır [Randolph, 1994].

Şekil 2.16'da kazık uzunluğunun kazıklı radye temel sistemi davranışına etkisi gösterilmiştir.

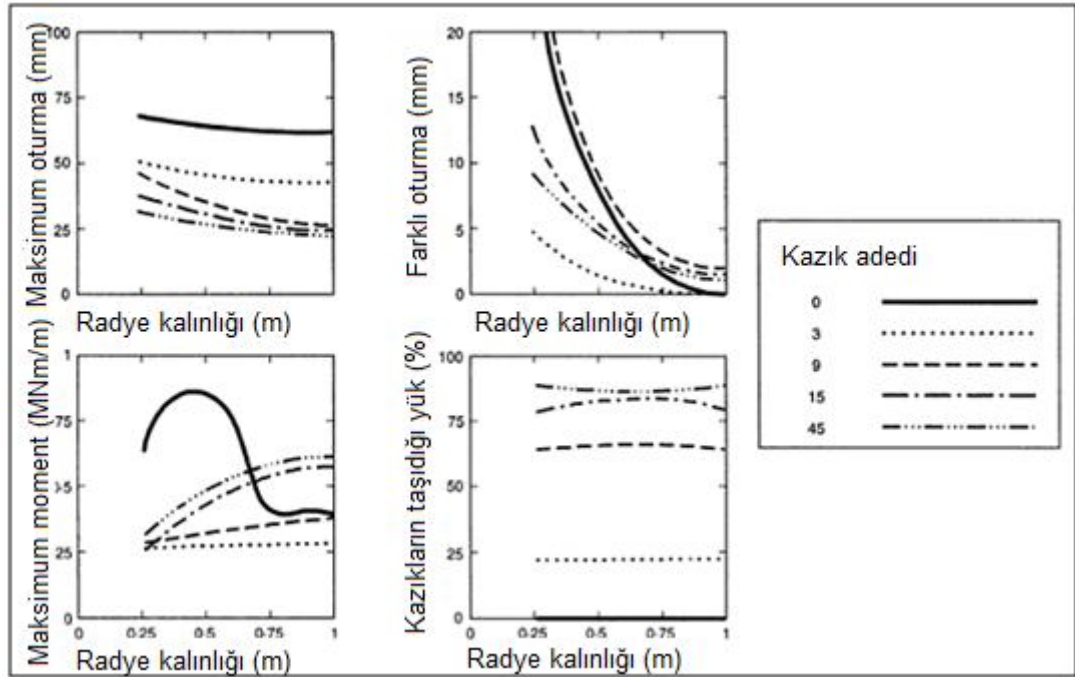


Şekil 2.16. Kazık uzunluğunun kazıklı radye temel sistemi davranışına etkisi (Poulos, 2001)

2.4.3. Radye temelin kalınlığı

Hem maksimum oturma ve hem de kazıkların taşıdığı yük miktarları, radye temel kalınlığı ile değişmemektedir. Ancak radye temel kalınlığının artırılması ile temel altında plastik bölgelerin oluşmasından dolayı farklı oturma değerleri azalmakta ve radye temelde oluşacak moment değerleri ise artmaktadır [Poulos, 2001].

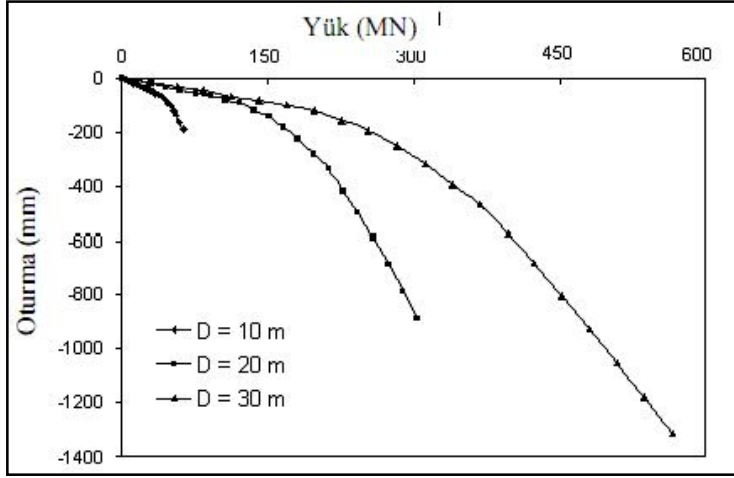
Temel sisteminin yalnızca radye temelden oluşması durumunda, maksimum oturma değerleri oldukça fazladır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Radye temel kalınlığının kazıklı radye temel sistemi davranışına etkisi (Poulos ve diğ., 2001)

2.4.4. Radye temelin genişliği

Maharaj ve Anshuman (2004), farklı radye temel çapları ve aynı kazık uzunluğu için kazıklı radye temel sisteminin yük-oturma davranışını incelemişler ve radye temel çapının artmasıyla, kazıklı radye temel sisteminin taşıma kapasitesinin arttığını belirtmişlerdir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. Radye temel çapının kazıklı radye temel sistemindeki yük-oturma davranışına etkisi (Maharaj ve Anshuman, 2004)

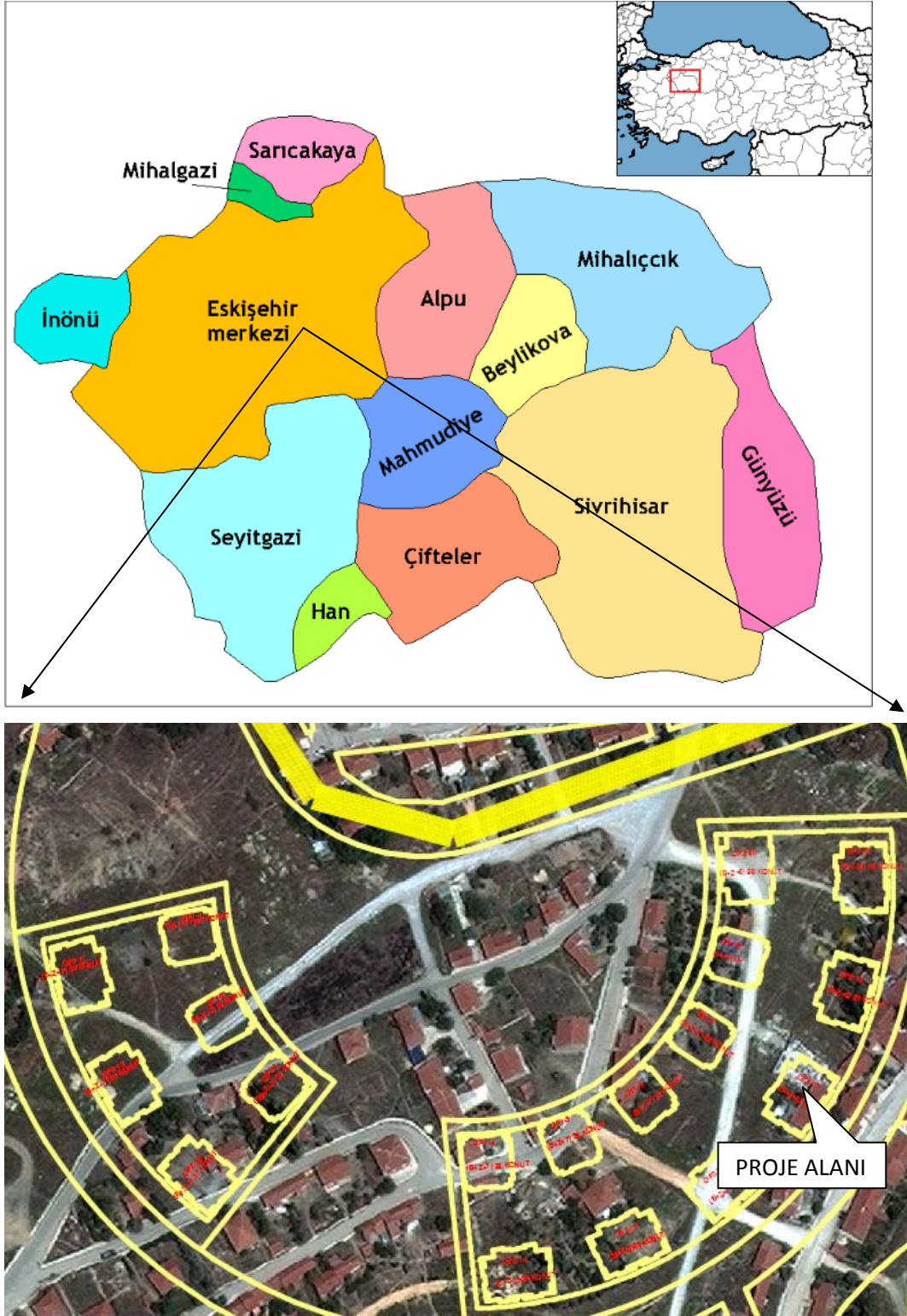
3. PROJENİN TANITILMASI

3.1. Proje Genel Bilgileri

Bu çalışmada, “Eskişehir ili Odunpazarı ilçesi 1092 adet konut inşaatı ile altyapı ve çevre düzenlemesi işi” kapsamındaki tünel kalıp sistemli OP2.17 tipi yapıya ait kazıklı radye temel davranışının incelenmesi konu alınmıştır. Bu hedef doğrultusunda, proje kapsamındaki ilgili yapılar için jeolojik zemin etüd raporu ile geoteknik rapordan faydalanılmıştır. Bu raporlar kapsamında açılan sondajlar, sondaj logları ve raporda verilen laboratuvar deney sonuçları incelenmiştir. Proje alanı yer bulduru haritası Harita 3.1’de gösterilmiştir.

GEOSAN tarafından inşaat alanında raporlar kapsamında toplam 40 adet temel sondaj kuyusu açılmış ve sondaj kuyularından alınan zemin SPT numuneleri üzerinde, ZEMAR geoteknik ölçüleme ve test laboratuvarında deneyler yaptırılmıştır. Geoteknik raporu değerlendirmelerinde, GEOSAN tarafından hazırlanan jeolojik, zemin etüd raporu, yapılan sondajlar ve yaptırılan laboratuvar deneylerine ait sonuçlar ana veri olarak kabul edilmiştir. İnşaat alanında yapılacak olan yapıların, yapılan temel mühendisliği değerlendirmeleri ve yapılan geoteknik projelendirmelerinden faydalanılmıştır.

2012 yılında inşa çalışmalarına başlanan ve yapımı hala devam eden proje kapsamında OP2.17 tipi bina, 1 Bodrum + Zemin + 6 normal kattan oluşmaktadır. Yapı sistemi betonarme perdelerden oluşmaktadır. Yapı 1.derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Binanın zemin üst kotundan olan toplam yüksekliği 23,28 m’dir. Bina temel boyutları 27,0 m x 21,0 m olup, temel alanı 567 m²’dir. Binanın temel alanı eğimli topografyaya sahip bir araziye oturduğundan, yapı temelinin bir bölümü kaya birimine, diğer bölümü ise heterojen yapılı dolgu tabakasına oturmaktadır. İnşaat alanında yer alan birimler yaklaşık 6 m’ye kadar heterojen kontrolsüz dolgu, sonrasında da konglomera kilaşı-kumtaşı ardalı malı kaya birimleridir.



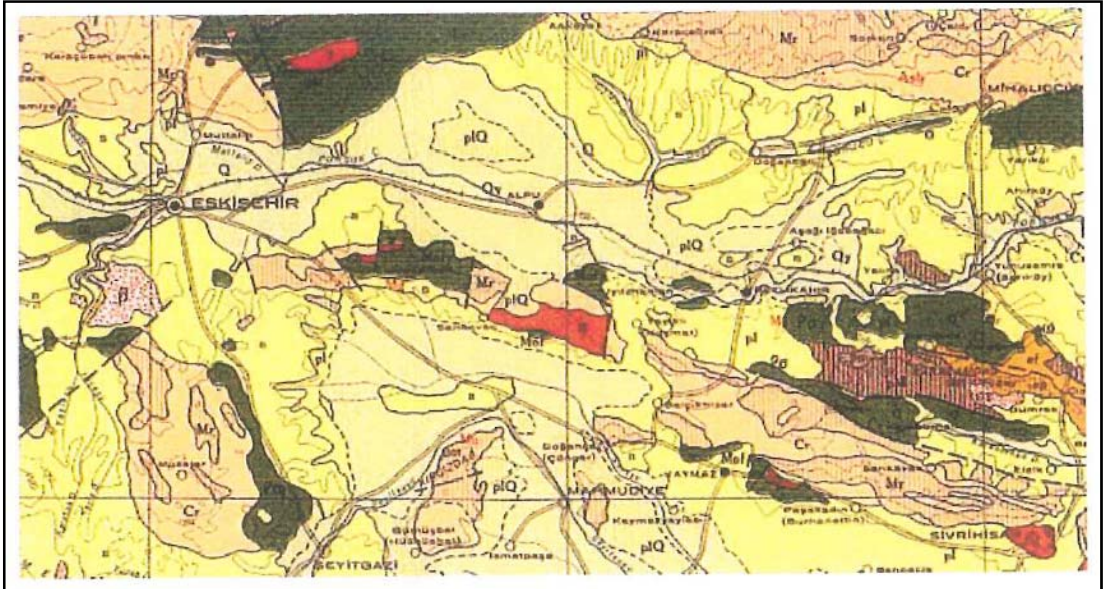
Harita 3.1. Proje alanı yer buldu haritası

3.2. Genel Jeoloji

İnceleme alanı Eskişehir ili ve çevresi Orta Anadolu'nun kuzeyinde, baskın olarak üçüncü zaman, tersiyer yaşlı tortul birimlerden kurulu bir ortamda yer almaktadır.

Bölgenin jeolojik yapısının en önemli bölümleri olan Mihalıççık ve Sivrihisar çevresindeki metamorfit, ofiyolitik karmaşık ve granitik sokulumlardan kurulu temel kayalar ve bunların üzerinde kabaca doğu-batı doğrultusunda uzanan bir Neojen havzasında çökelmiş genç tortullar ve bunları örter durumda Porsuk Çayı yatağı ve çevresinde yer alan Kuvaterner yaşlı alüvyonlar kurmaktadır [Akin, 2011].

Neojen çökelleri Üst Miyosen yaşlı olup; Konglomera, Kumtaşı, tuf, marn ve silisli kireçtaşıdan oluşmaktadır. Harita 3.2 'de proje alanı ve civarının jeolojik haritası görülmektedir [Akin, 2011].



Harita 3.2. Proje alanı ve civarının bölgesel jeolojik haritası [Akin, 2011]

İncelenen proje alanının bölgesel jeolojisi içinde yer alan neojen yaşı birimlerden oluşmaktadır. Bunlar polijenik konglomera, konglomera içerisinde görülen kiltası-kumtaşı birimlerinden oluşmaktadır.

Bu ardalı birim kiltası-kumtaşı-konglomera birimidir ve sondaj loglarında da tanımlandığı gibi, konglomera; zayıf çimentolu, granit, çört, kuvars ve yeşilkaya çakılları, yassı yuvarlak şekilli, kiltası birimi; siltli, az ince kumlu, seyrek çatlaklı, çatlak yüzeyleri okidasyonlu, kiltası ve kumtaşı birimleri; siltli az killi, seyrek kapalı çatlaklı, çatlak yüzeyleri alterasyonlu olarak görülmektedir [Akın, 2011].

Proje alanına ait parselin kazı sonrasına ait şevi Resim 3.1’de verilmektedir.



Resim 3.1. Parselin kazı sonrası oluşan kazı şev görünümü [Akın, 2011].

3.3. Arazi Çalışmaları

Yapıların projelendirileceği sahanın genel jeolojisinin belirlenmesi, zeminin temel tasarımı için zemin mühendislik parametrelerinin tespit edilmesi ve arazi çalışmalarına ait geoteknik değerlendirmelerin yapılması amacıyla 2012 yılında proje alanında sondaj içerikli bir zemin etüd raporu ve temel sistemlerine ait geoteknik raporu hazırlanmıştır.

Resim 3.2'de proje alanına ait arazi çalışmaları görülmektedir.



Resim 3.2. Arazi çalışmaları [Akın, 2011].

3.4. Sondaj Çalışmaları ve Zemin Profili

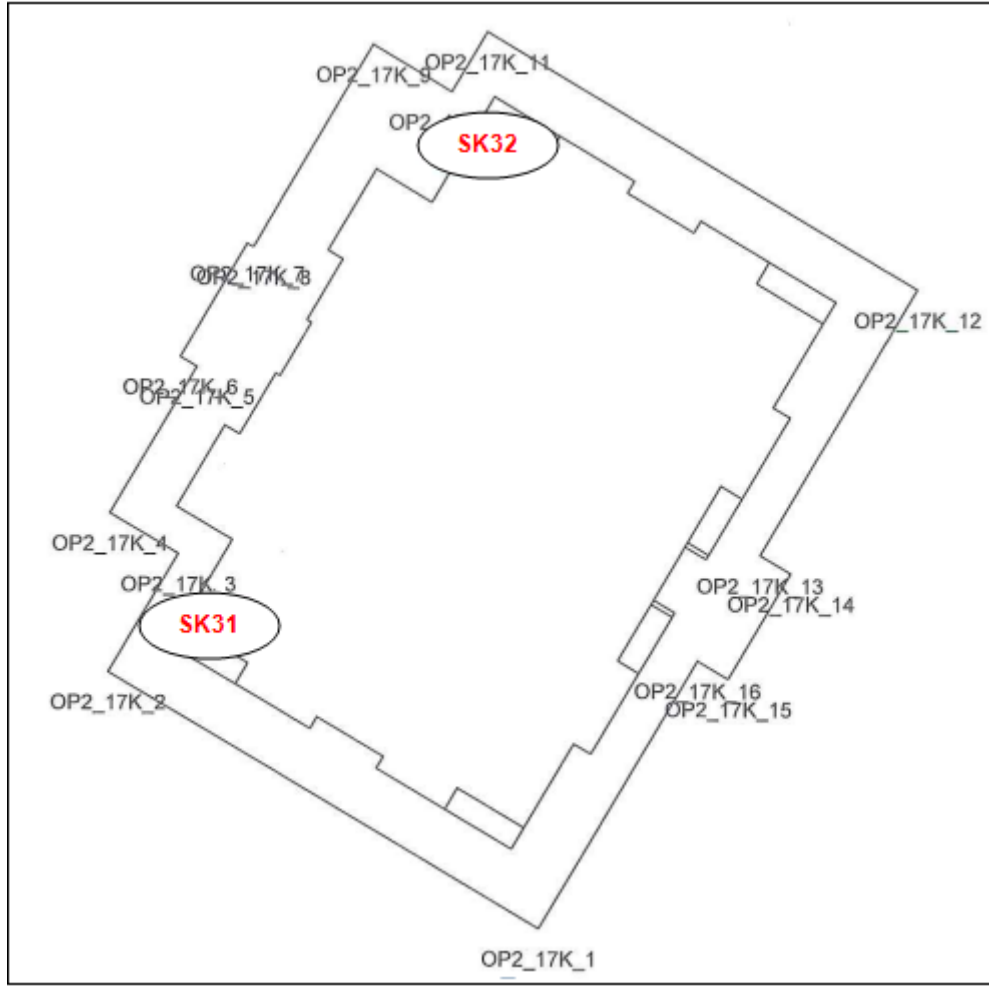
Çalışmalar kapsamında inceleme alanında rotari sondaj tekniği ile başlangıçta kuru, kaya tabakalarında ise sulu karotlu yöntemle 9,50 m ve 11,00 m arası değişen derinliklerde sadece iki adet araştırma sondajı yapılmıştır.

İncelenen binanın temel alanında sondaj çalışması sırasında temel kazısı tamamlanmış ve kazı sonrası incelenen binanın temel kazısında yapılan gözlemde temelin %50'sinden fazla bir kesiminde doğal kaya ortamına rastlandığı görülmüştür. Bu nedenle sahada sadece kazının dolguda kaldığı bölümde iki adet araştırma sondajı yapılmış ve bu sondajlarda 5 m ve 6 m derinliklerde doğal kaya ortamına ulaşılmıştır. Temel kazısının tam orta yerine gelecek şekilde de bir sondaj denemesi yapılmış ve burada da 0,40 m derinlikte doğal kaya ortamı ile karşılaşmıştır. Çalışma sırasında iki adet sondajda (SK-31, SK-32) dolgu tabakası geçilip anakaya ortamına girilmiştir. Doğal kaya ortamını oluşturan litoloji Konglomeralar ile ardalı kilitaşı-kumtaşı birimleridir (Resim 3.3).



Resim 3.3. Dolgu, konglomera, kilitaşı ve kumtaşındaki yapılmış SPT'ler

[Akın, 2011]



Şekil 3.1. Sondaj lokasyonları

Yapıya ait açılan sondaj yerleri Şekil 3.1’de görülmektedir. Sondaj loglarına ait bilgiler ise Çizelge 3.1’de verilmiştir. Sondajlar sırasında yer altı su seviyesi gözlemleri yapılmıştır. Açılan sondaj kuyularında yer altı suyuna rastlanmamıştır.

Çizelge 3.1. Sondaj bilgileri [Akın, 2011]

Sondaj No	Blok Tipi	Yeraltı Su Seviyesi (m)	Sondaj Derinliği (m)
SK-31	OP2-17	-	11,00
SK-32	OP2-17	-	9,50

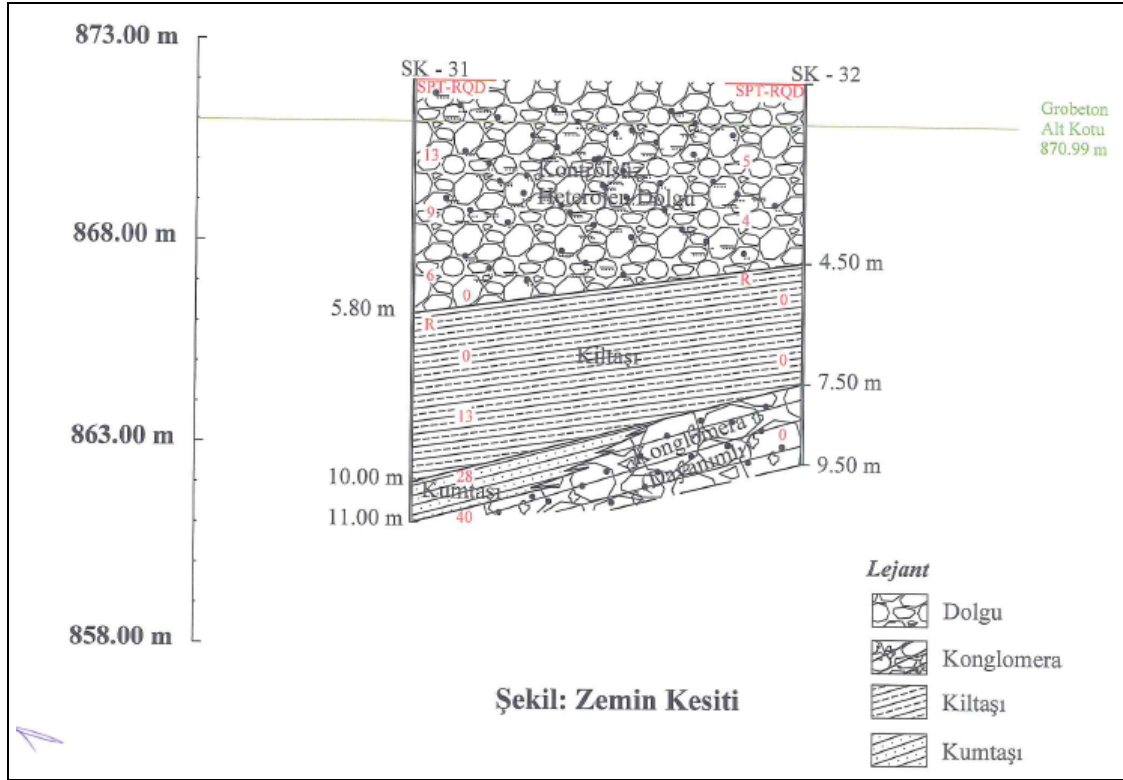
SK-31 sondajında; doğrudan dolgu tabakasından sondaj başlamıştır. Bu dolgu tabakası az killi, kumlu, kömür tozlu, beton parçalı, tuğla parçacıklı, kontrolsüz bir dolgu (CL-CH) tabakasıdır, 5,80 metre devam etmiş olan bu dolgu tabakasını anakaya tabakası takip etmiş ve 5,20 metre bu anakaya kilitaşı-kumtaşı tabakası içerisinde ilerleme yapılarak 11,00 metrede sondaj sonlandırılmıştır. Anakaya kilitaşı-kumtaşı ardalınması içerisindeki kilitaşı birimi; az siltli, az ince kumlu, seyrek çatlaklı, çatlak yüzeyleri alterasyonlu, rengi kızılımsı kahverengi olarak görülmüştür. Ardalanma birimi içerisindeki kumtaşı ise çatlaklı, çatlak yüzeyi alterasyonlu, kızılımsı kahverengi olarak görülmüştür.

Yapılan sondaj çalışmalarından alınan karotlardan elde edilen TCR (toplam karot yüzdesi), SCR (silindirik karot yüzdesi), RQD (kaya kalitesi) değerleri kaydedilmiştir. Buna göre, TCR %33-90 olarak, SCR %0-60 olarak, RQD %0-40 olarak ölçülmüştür.

SK-32 sondajı da doğrudan dolgu tabakasından başlamıştır. Bu dolgu tabakası killi, kumlu, çakıllı, bloklu, kireçli kontrolsüz bir dolgu (CL-CH) tabakasıdır, 4,50 metre devam etmiş olan bu dolgu tabakasını anakaya tabakası takip etmiş ve 5,00 metre bu anakaya kilitaşı konglomera tabakası içerisinde ilerleme yapılarak 9,50 metrede sondaj sonlandırılmıştır. Anakaya kilitaşı-konglomera ardalınması içerisindeki kilitaşı birimi; siltli, az ince kumlu, seyrek çatlaklı, çatlak yüzeyleri alterasyonlu, rengi kızılımsı kahverengi olarak görülmüştür. Ardalanma birimi içerisindeki konglomera ise zayıf çimentolu, yer yer kilitaşı bantlı, içerisindeki çakıllar silisli kayalardan türemiş, orta-kabadaneli olarak görülmüştür. Rengi kızılımsı kahverengidir.

Sondaj sırasında alınan karotlarda ölçülen TCR %19-100 olarak, SCR %0-19 olarak, RQD %0 olarak ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

İncelenen bina temeline ait zemin profili Şekil 3.2’de verilmiştir.

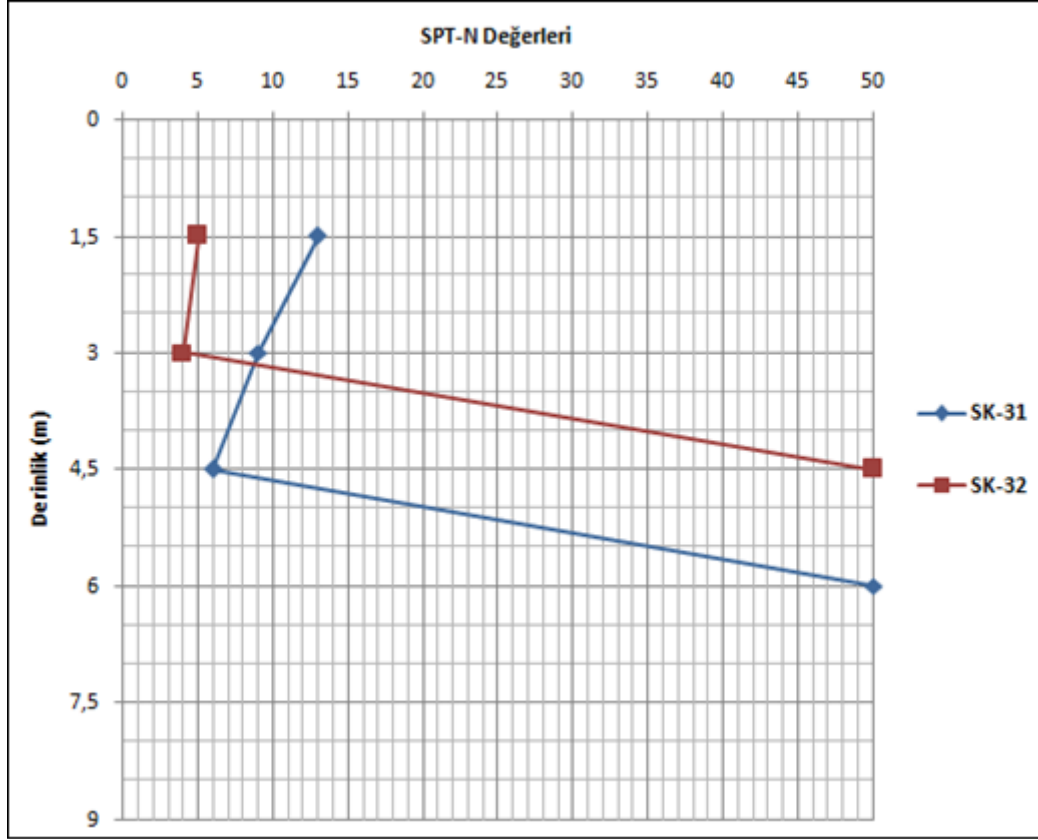


Şekil 3.2. Sondajların jeolojik profili ve SPT, RQD değerleri [Akın, 2011]

Sondaj kuyuları açılması esnasında her 1,5 m'de bir SPT deneyi yapılmıştır. Elde edilen SPT değerlerine ait tablo Çizelge 3.2'de, bu değerlere ait grafik ise Şekil 3.3'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. SPT-N değerleri [Akın, 2011]

Sondaj Kuyusu	Derinlik (m)	Darbe Sayısı (N)
SK-31	1.50	13
	3.00	9
	4.50	6
	6.00	R
SK-32	1.50	5
	3.00	4
	4.50	R



Şekil 3.3. SPT-N değerleri grafiği

3.5. Laboratuvar Deneyleri

Sondaj çalışmaları sırasında zemin ve kaya tabakalarından alınan SPT numuneleri üzerinde laboratuvarda elek analizi, kıvam limitleri deneyleri ve zemin sınıflandırması deneyleri yapılmıştır. Ayrıca kıltaşı, kumtaşı birimlerinden alınan karot numuneleri üzerinde de nokta yükü dayanımı deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara ait özet tablo Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Laboratuvar deney sonuçları [Akın, 2011].

Numune No	Sondaj No	Derinlik (m)	Elek analizi		Kıvam Limitleri			Zemin Sınıfı	Nokta yükü dayanımı I_{s50} (ort.) (Mpa)
			4 (%)	-200 (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)		
SPT	SK-31	1.50-1.95	26,77	29,71				CL	
SPT	SK-31	3.00-3.45	3,95	48,68				CH	
KAROT	SK-31	8.00						—	0.06
SPT	SK-32	1.50-1.95	1,44	79,6	46,1	18,7	27,4	CL	
SPT	SK-32	4.50-4.95	0	86,67	54,6	24,8	29,8	CH	

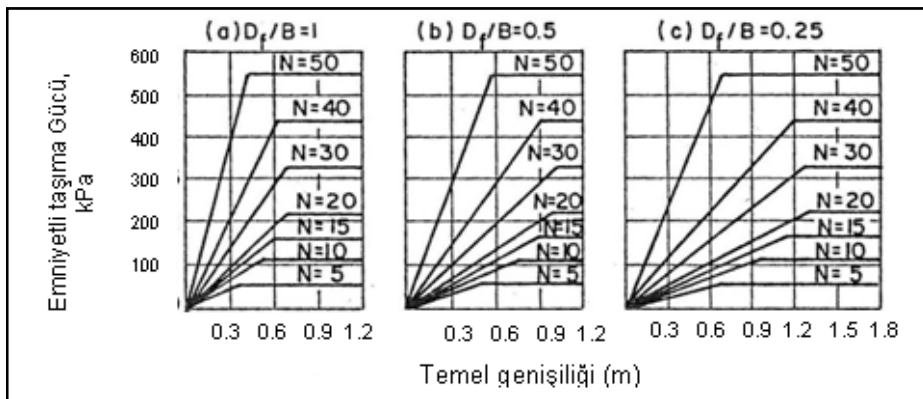
Sondaj No	Derinlik (m)	I_{s50} (ort.)
		(Mpa)
SK-31	6,00	0,06
SK-32	4,50	0,09

3.6. Taşıma Gücü

Yapılara ait betonarme ve derin temel tasarımları yapılırken, kabul edilen zeminlere ait mühendislik parametreleri, ilgili parsel için yapılan geoteknik raporundan alınmıştır.

Bu kapsamda Peck v.d.(1974) tarafından önerilmiş olan taşıma gücü; Eş. 3.1 yardımıyla geoteknik raporda hesaplanmıştır.

$$q_{nem}=11 \text{ N kN/m}^2 \quad (3.1)$$



Şekil 3.4. Peck v.d. (1974) tarafından önerilen Taşıma Gücü Abakları

Mevcut dolgu tabakası kontrolsüz ve heterojen özelliktedir. OP2.17 bloğuna ait dolgu zemin için $q_{emn} = 11.7 = 77 \text{ kN / m}^2$ olarak hesaplanmış, ancak geoteknik raporda $q_{emn} = 100 \text{ kN / m}^2$ olarak verilmiştir.

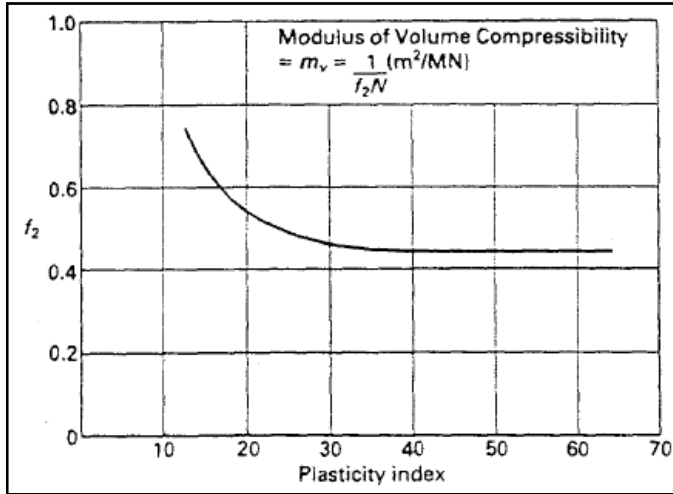
3.7. Oturma

Geoteknik raporda, oturma hesaplarında maksimum oluşabilecek oturma miktarını bulmak için toplamda (B+Z+6) kattan oluşan yapı yükü incelenmiştir. Yapının bir bölümü kaya birimine oturduğu için oturmalar farklı oturma şeklinde gerçekleşecektir.

Stroud (1975) konsolidasyon oturmaları için Eş. 3.4 ve Eş. 3.5'i önermiştir.

$$S = \mu \cdot S_{od} \quad (3.4)$$

$$S_{od} = m_v \Delta \sigma' H \quad (3.5)$$



Şekil 3.5. Standart Penetrasyon N değeri ve mv ilişkisi (Stroud, 1975)

Skempton ve Bjerrum (1957) tarafından önerilen μ faktörüne ait değerler Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. μ Faktörü Değerleri (Skempton ve Bjerrum, 1957)

<u>Zemin türü</u>	<u>μ Faktörü</u>
Yumuşak, hassas killer	1.0 – 1.2
Normal konsolide killer	0.6 – 1.0
Önyüklenmiş killer	0.4 – 0.7
Aşırı önyüklenmiş killer	0.25 – 0.4

(B+Z+6) Blok Tipi için

Temel üzerine gelen toplam ağırlık = $8 \cdot 15 + 10 = 130$ kPa,

$$q_{net} = q - q_s$$

$$Df_{ort} = 2,5 \text{ m}$$

$$q_s = Df \cdot \gamma_n = 47,5 \text{ kPa}$$

$$q_{net} = 130 - 47,5 = 82,5 \text{ kPa}$$

Bu blok için yapılmış laboratuvar konsolidasyon deneyi olmadığı için geoteknik raporda, Straud (1975)'in önerdiği Eş. 3.6 ile bulunan m_v (hacimsel sıkışma indisi) değeri kullanılmıştır.

$$m_v = 1 / (f_2 \cdot N) \quad (3.6)$$

0,00-5,00 m'ler arasındaki dolgu tabakası

$$m_v = 1 / (0,45 \cdot 7) = 0,31746 \text{ m}^2/\text{MN} = 3,114 \text{ mm}^2/\text{kg} \quad f_2 = 0,45 \text{ (Şekil 3.5)}$$

$$\Delta P_0' = (82,5 \cdot 21 \cdot 27) / ((21 + 2,50) \cdot (27 + 2,50)) = 67,48 \text{ kPa} = 0,0068 \text{ kg/mm}^2$$

$$S_{od1} = m_v \cdot \Delta P_0' \cdot H = 3,114 \cdot 0,0068 \cdot 5000 = 106 \text{ mm}$$

$$S_1 = \mu S_{od1} = 1 \cdot 106 = 106 \text{ mm}$$

OP2-17 tipi yapısı için idare onayı ile hesaplanan ve geoteknik raporda sunulan şekliyle temel altı oturma miktarları, Eş. 3.4 kullanılarak 106 mm olarak hesaplanmıştır.

Radye temel altında oluşan bu oturma değeri, Kumbasar ve Kip (1999) tarafından radye temeller için izin verilen toplam ve farklı oturma değerine göre kabul edilebilir değildir (Çizelge 3.5).

Bu nedenle üst yapı yüklerinden oluşacak farklı oturmaları engellemek için, yapı-temel sistemi kazıklı derin temel sitemi şeklinde tasarlanmış ve böylece üst yapı yükleri sağlam kayaya herhangi bir oturma problemi olmaksızın aktarılmıştır.

Çizelge 3.5. İzin verilebilir oturma miktarları (Kumbasar ve Kip,1999)

Temel Tipi	Zemin Cinsi	Toplam Oturma (mm)	Farklı Oturma (mm)
Tekil,Şerit	Kil	75	45
	Kum	50	32
Radye	Kil	125	45
	Kum	75	32

3.8. Geoteknik Projelendirme ve Tasarım

Geoteknik raporda binaya ait üst yapı yükleri, saha dolgusu ve net yüklemelere göre; taşıma gücü ve oturmalar açısından gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Statik durum için yapının bir bölümünün oturduğu kontrolsüz heterojen dolgu bulunan kısımlarda hem taşıma gücü, hem de oturmalar açısından sorun beklenmektedir.

Kalınlığı 4,50 m ile 5,80 m arasında değişen kontrolsüz heterojen dolgunun kaldırılması ve daha sıkı dolgu üzerine yapının oturtulması yoluna

gidilmemiştir. Bunun yerine kontrolsüz heterojen dolgu geçilerek, üstyapı yükleri yapının sadece dolguya oturan bölümünde, altta yer alan daha sağlam tabakalar olan konglomera kıltaşı-kumtaşı ardalanmalı kaya birimlerine soketli fore kazıklarla aktarılmıştır (Şekil 3.6).

Derin temel sisteminde kullanılan 0,65 m çapta kayaya soketli fore kazıklar için, güvenlik katsayısı $GS=4$ alınarak hesaplanan ve Bölüm 2.2.5’de anlatılan ve Eş. 2.12 ve Eş. 2.15’e göre bulunan 960 kN kazık tasarım yükü, geoteknik raporda verilmiştir.

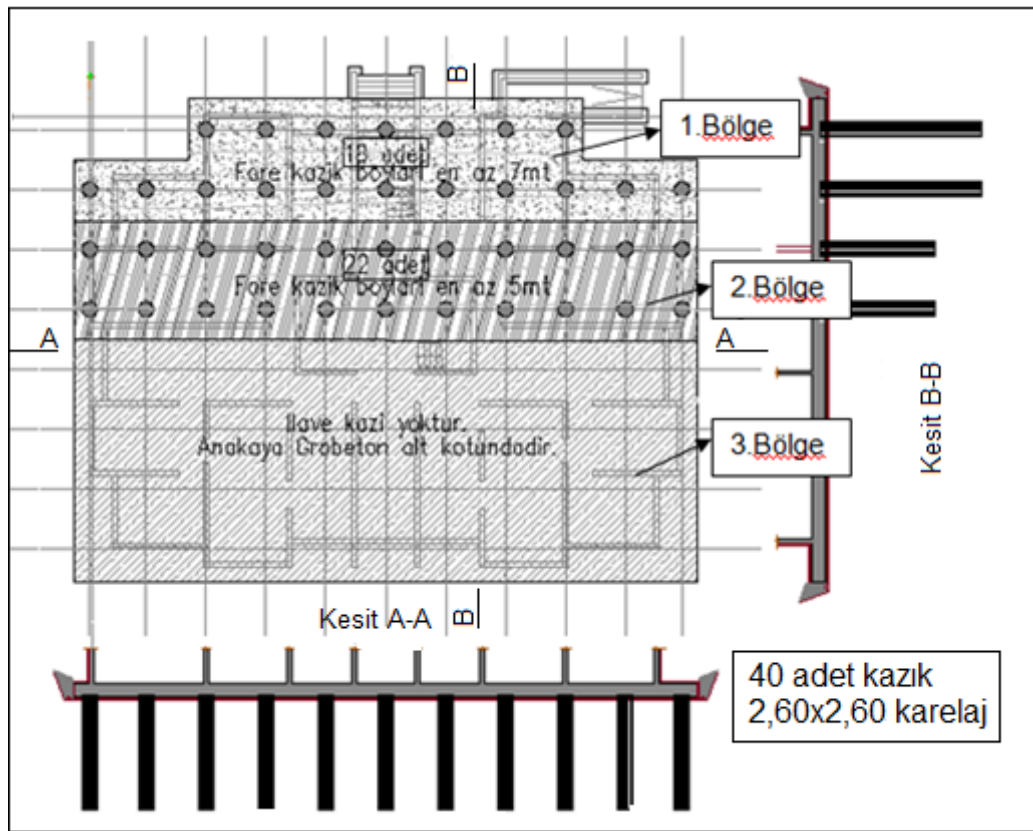
Hesaplanan bu 960 kN taşıma kapasitesine sahip fore kazık elemanları, üst yapı yükleri göz önüne alınarak 2,60 m x 2,60 m karelajla kazık yerleşim planı oluşturulmuştur (Şekil 3.7).

Geoteknik projelendirmeye esas fore kazıkların boyları ana kayaya 2 m soketlenecek şekilde 5 m ve 7 m olarak seçilmiştir.

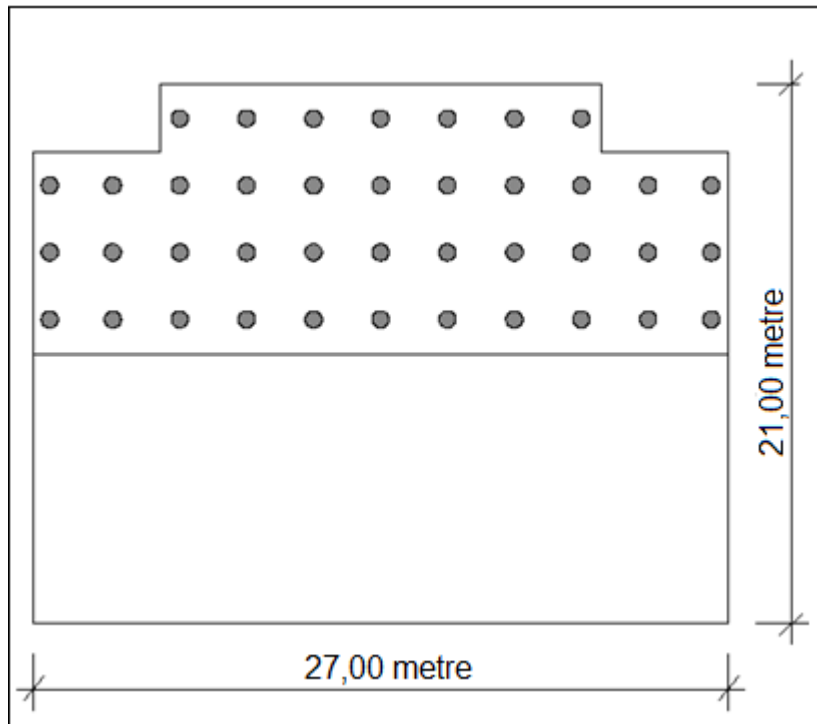
Genel projelendirme kriterleri ile birlikte, anakaya birimi ile fore kazık betonu arasında oluşacak olan sürtünme değeri göz önüne alınarak, 0,65 m çapında fore kazık elemanları için 2 m soket boyu, kullanılan güvenlik sayısı ile birlikte seçilmiştir.

Kazık yerleşim planına göre; 1.bölgedeki fore kazık sayısı 18 adet olup, kazık boyları 7 m’dir. 2.bölgede kazık boyları 5 m ve 22 adet kazık bulunmaktadır. 3.bölgede ise kazık imalatı yoktur. Anakaya ve kazık bölgesi ayırımı sınırı arazi sondaj çalışmalarına göre belirlenmiştir. Anakayanın daha geride çıkması durumunda kazık karelajı, kazıksız bölgeye doğru genişletilecektir.

Temel sistemine ait uygulama plan ve projesi Şekil 3.6’da, kazık yerleşim planı ise Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Temel sistemi uygulama plan ve projesi



Şekil 3.7. Kazık yerleşim planı

4. KAZIKLI RADYE TEMEL SİSTEMİNİN ETABS VE SAFE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ

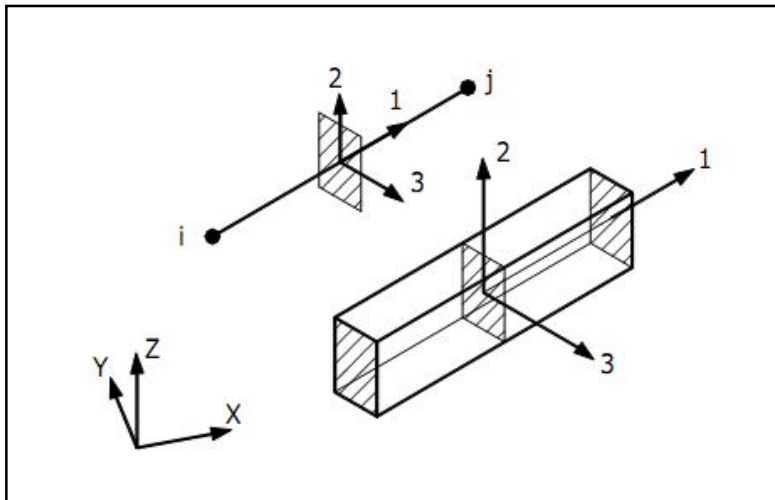
4.1. Etabs ve Safe Sonlu Elemanlar Programı

Sonlu elemanlar metodu, düzensiz ve karmaşık sistemin geometri ve malzeme değişimlerini yeterli ölçüde temsil edebilecek sayı ve büyüklükte sonlu elemanlara bölünmesi esasına dayanır.

Genel anlamda sonlu elemanlar yöntemi çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan sayısal çözüm yöntemidir.

Etabs, Computers and Structures, Inc. (CSI) firması tarafından bina türü sistemleri çözmek için, Safe ise betonarme döşeme ve temel sistemlerinin çözümü ve boyutlandırılması amacıyla geliştirilmiş yazılımlardır.

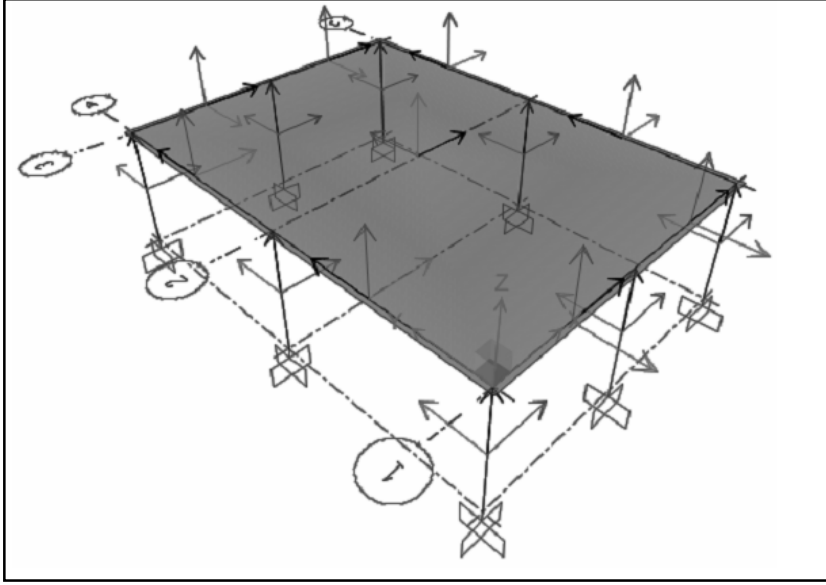
Sistem modelini oluşturan her nesne (döşeme, temel, kiriş, v.b.) kendi yerel (local) eksenine sahiptir. Her nesne için farklı olmak üzere, 1, 2 ve 3 olarak tanımlanan bu eksenler kesit özelliklerinin, yüklerin ve iç kuvvetlerin tanımlanmasında kullanılır.



Şekil 4.1. Etabs tüm çubuk elemanların 1 nolu yerel eksenleri

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi, tüm çubuk elemanların 1 eksenleri, çubuk doğrultusunda ve çubuğun başlangıç noktasından bitiş noktasına doğrudur (i ucundan, j ucuna doğru). Bunlar ekranda kırmızı renkli olarak görünürler.

Şekil 4.2’de döşeme, kiriş ve kolonlar için yerel eksenler, sistem için tanımlanmış global eksenler ile birlikte gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Eleman yerel eksenleri ile sistem global eksenleri (CSI, Safe)

Etabs, özellikle bina sistemleri için geliştirilmiş özel amaçlı bir bilgisayar programıdır. Yapı mühendislerinin, non-lineer statik ve dinamik analiz yöntemlerini pratik hayatta kullanmaya başlamaları daha büyük ve daha karmaşık analitik modellemeler yapmak için günümüzde kullanılabilir olan bilgisayar gücünü kullanmaları; Etabs gibi özel amaçlı programlara olan gereksinimi daha önce olmadığı kadar aşık hale getirmiştir. Bu program; model oluşturma yöntemlerinde, model değişikliklerinde, analiz ve tasarımda çok büyük bir avantaj sağlamaktadır. Analiz sonucunda elde edilen sonuçların grafik olarak, meydana gelen yer değiştirmelerin ise hareketli olarak (animasyon) görüntülenmesine olanak vermektedir.

Program, kullanıcının gerilme durumlarını inceleyebildiği, kesit büyüklüklerinin yeniden düzenlenmesi gibi uygun değişiklikleri yapabildiği ve yapıyı yeniden çözümlemeksizin boyutlamayı iyileştirebildiği etkileşimli bir çevre sağlar. Program betonarme ve çelik çerçeve elemanlarının otomatik hesabı ve boyutlaması için çok sayıda yönetmeliği destekleyebilen bir yapıya sahiptir [CSI Etabs, 2000]. Şu anda programın desteklediği betonarme yönetmelikleri şunlardır : A.B.D.-ACI (1999), A.B.D.-UBC (UBC 1997), Kanada (CSA 1994), İngiliz (BSI 1989) ve Avrupa (CEN 1992) yönetmeliğidir.

Etabs programı en son ABD, Avrupa Birliği Ülkeleri Yönetmeliklerini (Eurocodes, EC2-Betonarme ve EC-3 Çelik) destekler ve ayrıca Türk Yönetmeliklerine de (TS500, 2000 ve 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik) uyumludur.

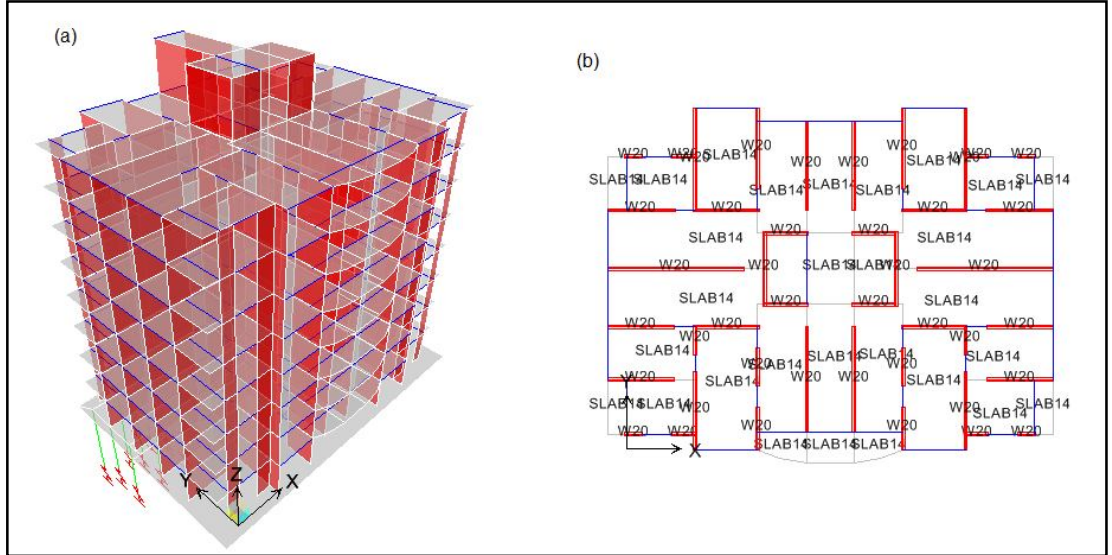
4.2. Etabs Sonlu Eleman Ağı Boyutları

Tez çalışmasında kazıklı radye temelin davranışını incelemek için sonlu eleman metodunu kullanan Etabs yazılımından faydalanılmıştır. Bina modeli ve radye temel, Etabs programı kullanılarak modellenmiş ve çözümü yapılmıştır.

Çalışma kapsamında kullanılan bina 8 katlı olup; iki tarafından da simetrik tünel kalıp sistemli bir yapıya sahiptir. Projeye ait detaylı bilgi Bölüm 3’de anlatılmaktadır. Etabs programı sonuçlarına göre düşey yükler altında kazıklı radye temel sisteminin oturma davranışı ve moment değerleri, safe program sonuçlarıyla da temel sisteminin gerilme dağılımı incelenmiştir. Ayrıca her bir kazığa gelen yük değerinin, kazığın taşıyabildiği maksimum yük değerine göre kontrolü yapılmıştır.

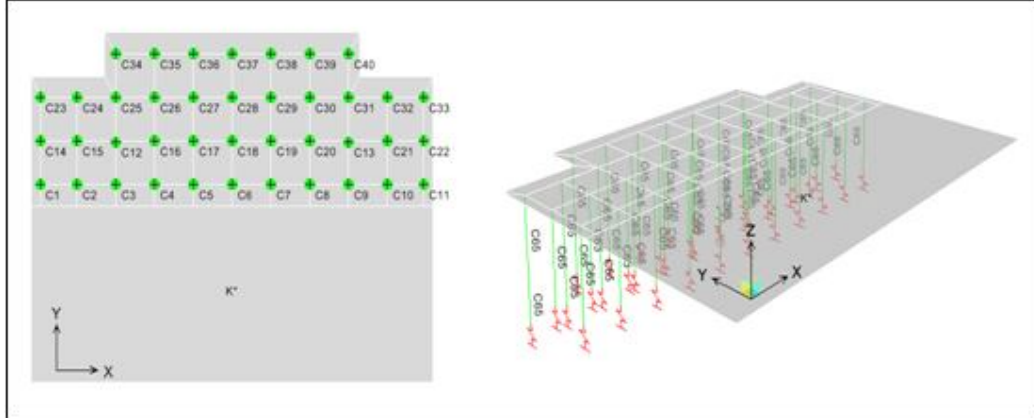
Üst yapıdan gelen yükleri temele doğru bir şekilde aktarabilmek için yapının tamamı Etabs programında modellenmiştir. Binanın 3-boyutlu ve plan görünümü Şekil 4.3’de verilmiştir. Temel çözümü Etabs’tan ihraç edilerek

Safe’de yapılmıştır. Proje bürolarında genellikle bu tür yapıların derin temel sistemlerinin yapısal analizi ve bina yükü hesabı Etabs’ta, temel gerilme analizleri de Safe’de yapılmaktadır.



Şekil 4.3. a) Bina 3-boyutlu görünümü, b) plan görünümü

Yapı fore kazıklar ile beraber Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Çalışmada radye temel ve kat planları döşemeleri plak eleman olarak, taşıyıcı perdeler perde duvar olarak, kat kirişleri ve fore kazıklar ise çerçeve elemanı olarak modellenmiştir. Modellemede, yerçekimi yükleri ve taşıyıcı elemanların kendi zati ağırlıkları program tarafından otomatik olarak doğrudan hesaplanmıştır. Katlarda ve çatıda hareketli ve sabit yükler 2,0 kPa olarak alınmıştır. Bazı özel mahallere (koridor, merdiven vs.) hareketli yükler TS 498 şartnamesine uygun olarak 3,5 kPa ve 5,0 kPa olarak verilmiştir. Şekil 4.4’de Etabs temel modeli gösterilmektedir.



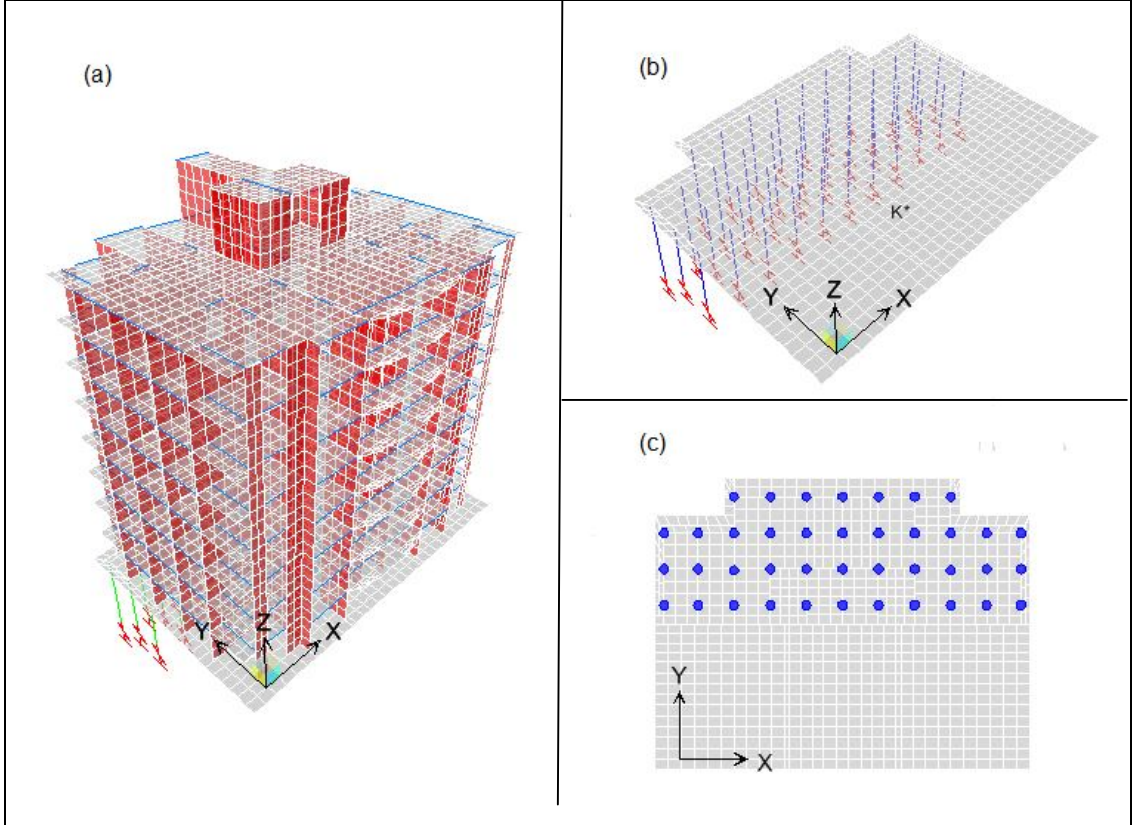
Şekil 4.4. Kazıklı radye temel kazık yerleşim planı (CSI, Etabs)

Radye temel, kazıklarla taşınan bölüm ve kayaya oturan bölüm olarak iki parçada modellenmiştir. Kazık adeti, kazık boyları ve temelin kaya birimine oturan bölümü projesine uygun olacak şekilde modellenerek yapı geometrisi oluşturulmuştur.

Sistemin geometrisi oluşturularak sistem düğüm noktaları ile birbirine bağlanan sonlu sayıda elemana ayrılmıştır. Sonlu elemanlarla olan hesaplarda bina geometrisine ait her elemanın bölünmesi gerekmektedir. Elemanlara ayırma işleminin doğru bir şekilde yapılması çıkan sonuçların doğruluğu açısından oldukça önem arz etmektedir [Gök, 2007].

Etabs tam otomatik ağ oluşturma işlemine imkan vermektedir. Sonlu eleman ağı boyutu temel dahil tüm sistem için 50 cm x 50 cm boyutlarında seçilmiştir. Eleman boyutunun sık seçilmesi düğüm noktası sayısını artırmakta ve böylece daha hassas sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca gerilmelerin yüksek olduğu ya da kritik oturma davranışı gösterebilme olasılığı bulunan bölgelerde eleman sayısının fazla olması gerçeğe yakın sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır [Yalçın, 2010]. Ancak bu durum hesap için gerekli analiz süresinin uzamasına neden olmaktadır.

Şekil 4.5'de Etabs sonlu elemanlar programında yapı modeli ve temel sistemi için oluşturulan sonlu eleman ağ görünümü verilmiştir.



Şekil 4.5. (a) Etabs model 3-boyut sonlu eleman ağı görünümü, (b) Kazıklı radye temel 3-boyut sonlu eleman ağı görünümü, (c) Kazıklı radye temel plan sonlu eleman ağı görünümü

4.3. Etabs Modeli

Etabs temel modeli üç farklı tipte çözülmüştür. İlk olarak radyede oluşan farklı oturmayı ve bunun sonucunda oluşan radye davranışını görmek için aynı zemin koşulları altında kazıksız olarak çözüm yapılmıştır.

İkinci modelde yaklaşık sayısal analiz yöntemi olan yaylar üstünde plak yaklaşımı ile analiz yapılmıştır. Burada radye, kazık başlığı olarak plak şeklinde, kazıklar ise yaylar şeklinde modellenmiştir (Şekil 4.6). Her bir kazığın altına yay gelecek şekilde yay sabitleri verilmiştir.

Kazık yaylarına ait noktalar x ve y yönünde tutularak yer değiştirmesi önlenmiştir. Radyenin kaya birimine oturan bölümü ise radye temele yatak katsayısı verilerek ve radyeye bağlı tüm sonlu eleman noktalarının yer değiştirmesi x ve y yönünde, dönmesi ise z yönünde tutularak modellenmesi oluşturulmuştur. Analiz sonucunda düşey yükler altında kazıklara gelen yükler ve radyedeki oturma davranışı incelenmiştir.

Son model ise donatılı fore kazıkların hem eğilme hem de kesme rijitliği olan kiriş elemanlar şeklinde modellenmesinden oluşmuştur (Şekil 4.7). Burada fore kazıklarda oluşan kesme ve moment değerleri ile kazıkların etkisiyle düşey yükler altında radyedeki oturma davranışı incelenmiştir.

4.4. Materyal ve Yöntem

4.4.1. Zemin düşey yatak katsayısı ve kazık yay sabiti

Temel genişliği b, boyu mb olan dikdörtgen bir temelin yatak katsayısı değeri Eş. 4.2 yardımı ile hesaplanır [DLH, 2007].

$$K_v = K_{v1} * (m + 0.5) / 1.5 mb \quad (4.2)$$

$$S_e = S_{e(1)} + S_{e(2)} + S_{e(3)} \quad (4.3)$$

Bu bağıntıda;

S_e : Kazığın toplam oturmasını,

$S_{e(1)}$: Kazığın elastik oturmasını,

$S_{e(2)}$: Kazık ucundaki oturmayı,

$S_{e(3)}$: Kazığın gövde boyunca iletilen yük tarafından kazıkta oluşan oturmayı ifade etmektedir.

$$S_{e(1)} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p \cdot E_p} \quad (4.4)$$

Bu bağıntıda;

Q_{wp} : Servis yükü altında kazık ucuna aktarılan yük,

ξ : Parabol yük olunca 0,5; üçgen yük olunca 0,67;
üniform yük olunca 0,5,

Q_{ws} : Servis yükü altında sürtünme direnci ile aktarılan yük,

L : Kazık boyu,

A_p : Kazık kesit alanı

E_p : Kazığın elastisite modülüdür.

$$S_{e(2)} = \frac{q_{wp} \cdot D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{wp} \quad (4.5)$$

Bu bağıntıda;

$$q_{wp} = Q_{wp} / A_p \quad (4.6)$$

D : Kazığın çapı,

E_s : Zeminin elastisite modülü,

μ : Zeminin poisson oranıdır.

I_{wp} : etki sayısı : 0,85

$$S_{e(3)} = \left(\frac{Q_{ws}}{P \cdot L} \right) \frac{D}{E_s} (1 - \mu_s^2) I_{ws} \quad (4.7)$$

Bu bağıntıda;

Q_{ws} : Servis yükü altında sürtünme direnci ile aktarılan yük,

D : Kazığın çapı,

P : Kazığın çevresi,

L : Kazık boyu,

E_s : Zeminin elastisite modülü,

μ : Zeminin poisson oranıdır.

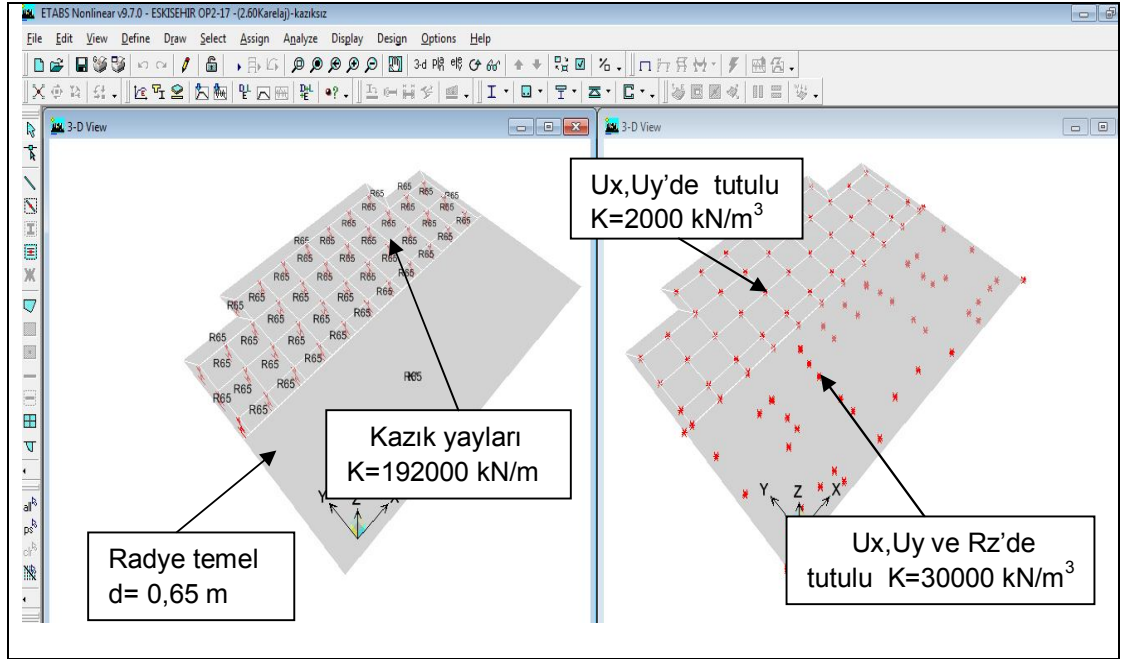
$$I_{ws} = 2 + 0.35 \sqrt{\frac{L}{D}} \quad (4.8)$$

Bölüm 2.2.6'da detaylıca anlatılan ve Eş. 4.3, Eş. 4.4, Eş. 4.5 ve Eş. 4.7 ile hesaplanan toplam oturma değerine göre ve ($k_s = q / \delta$) eşitliği ile bulunan kazık yay sabiti değeri, 128 000 kN/m olarak OP2.17 tipi yapı için hesaplanmış; ancak geoteknik raporda tüm blok tipleri için en fazla kazık boyuna göre bulunmuş olan 192 000 kN/m kazık yay sabiti değeri kullanılmıştır.

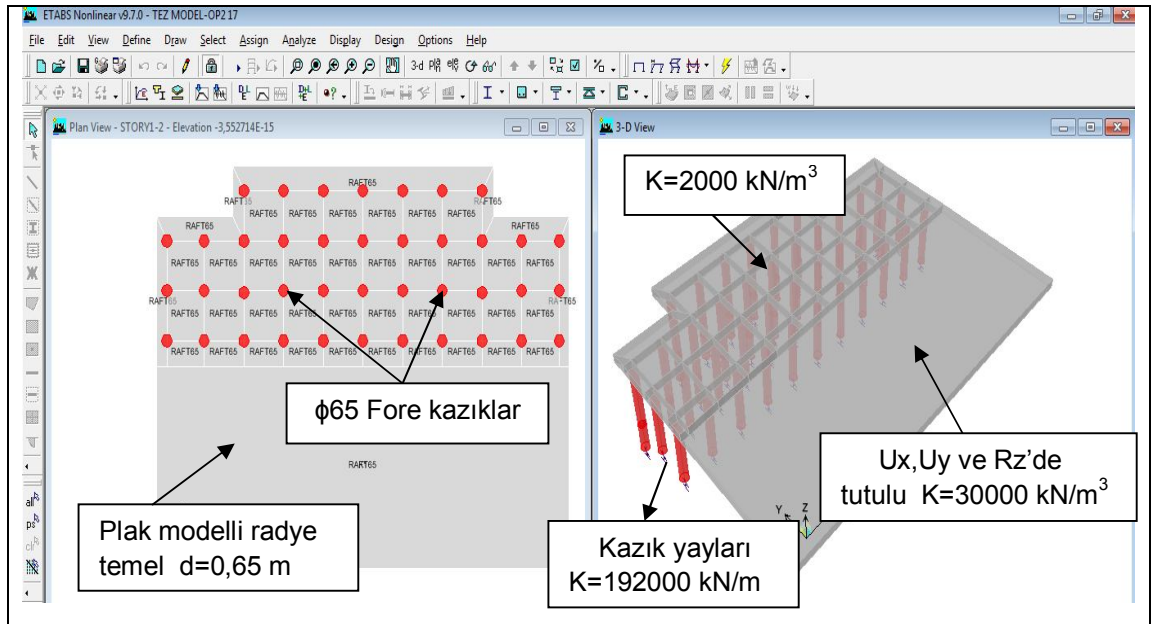
Genel değerlendirme için seçilen 192 000 kN/m'lik yay sabiti ve OP2.17 blok temeli için hesaplanan 128 000 kN/m yay sabiti ile yapılan analizler sonucunda, kazık eksenel yükleri ve derin temel sisteminde oluşan deformasyonlar açısından büyük farklılıklar oluşmamıştır. Mertebe olarak iki yay sabiti değerinin birbirine yakın olması ve iki değer de yeterince rijit bir davranışı temsil etmesinden dolayı, sonuçlar arasında herhangi bir fark oluşmamıştır.

Kaya birimine oturan radye plak için, Eş. 4.2 yardımı ile hesaplanmış olan yatak katsayısı değeri, geoteknik raporda verildiği gibi 30 000 kN/m³ olarak alınmıştır.

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de kazıkların yaylı ve kiriş eleman olarak modellenmelerine göre tanımlanan mesnet şekilleri ile kazık ucu yay sabiti değeri ve radye temelin anakaya birimine oturan bölümüne ait yatak katsayısı değerleri görülmektedir.



Şekil 4.6. Etabs kazık yaylı radye temel modeli



Şekil 4.7. Etabs'ta 0,65 m çapında kazık kiriş eleman ve radye temel plak modeli

4.5. Etabs ve Safe Sistem Analizi

Bu çalışmada Bölüm 3'de detayları verilen örnek projeye ait kazıklı radye temel sisteminin Etabs ve Safe programları ile arazi ve laboratuvar deneyleri sonucu bulunan zemin mühendislik parametrelerine göre düşey yük analizleri yapılmış, radye temelin ve fore kazıkların moment, kesme kuvveti ve deplasman değerleri elde edilmiştir.

Programlardan ilki bu çalışmadaki incelemelerin yapılmasında esas olarak kullanılan Etabs programıdır. Etabs programı ile yapılan temel çalışması iki modelden oluşmaktadır. Modellenen ilk çalışma, temel altındaki zemin koşulları değiştirilmeden kazıksız olarak yapılan çözümdür. Bu modelde radye temelin sadece anakaya birimine oturan kısmına $30\,000\text{ kN/m}^3$, kontrolsüz dolgu tabakasına oturan radye bölümüne ise $2\,000\text{ kN/m}^3$ değerinde yatak katsayısı uygulanmıştır. Amaç yapı temelindeki farklı oturmayı bulmak ve elde edilen oturma değerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olup olmadığını görmektir.

İkinci çalışma ise, temel sisteminin kazıklı olarak modellenmesiyle oluşturulmuştur. Bu çalışma da iki ayrı şekilde yapılmıştır. İlk olarak radye temel altındaki kazıkların bulunduğu noktalara yay tanımlanmış ve sonuçlar incelenmiştir. Kazıkların yay şeklinde tanımlandığı bu modeldeki her bir kazığın ucuna $192\,000\text{ kN/m}$ değerinde bir yay sabiti uygulanmıştır. İkinci olarak ise kazıklar kiriş elemanlar şeklinde modellenmiştir. Modeldeki radye temel kalınlığı $0,65\text{ m}$ 'dir. Radye temelin dolguya oturan bölümü $0,65\text{ m}$ çapında ve 5 m ile 7 m yüksekliklere sahip fore kazıklardan oluşturulmuştur. Kazıklar ise $2,60\text{ m} \times 2,60\text{ m}$ karelaş şeklinde yerleştirilmiştir. Temelin doğrudan anakaya birimine oturan bölümündeki radyeye her iki modelde de $30\,000\text{ kN/m}^3$ değerinde yatak katsayısı verilmiştir. Modellerin analizleri sonucunda, temelde oluşan deformasyon grafikleri ve düşey yükler altındaki kazıklara gelen yük değerleri incelenmiştir.

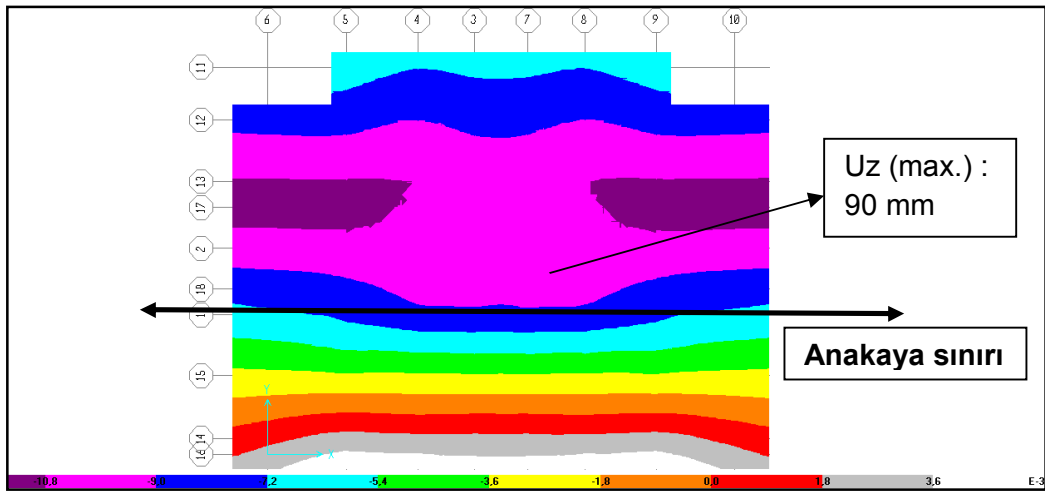
Bu incelemeler yapılırken ve yapı modellenirken “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, “TS 498 Yapım Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri”, ve “TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları” yönetmelik ve standartlarından yararlanılmıştır.

4.6. Etabs ve Safe Modeli Analiz Sonuçları

İncelenen örnek proje için modellenen bina yükü altında zemin ve malzeme parametrelerine göre Etabs çözümleri yapılmıştır. Bölüm 4.5’de anlatılan her çalışma ayrı ayrı modellenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm yapan Etabs ve Safe programı ile sistemde oluşan maksimum momentler, kazık deplasmanları, kazık eksenel yükleri ve temel deformasyonları incelenmiştir.

4.6.1. Kazıksız model analiz sonuçları

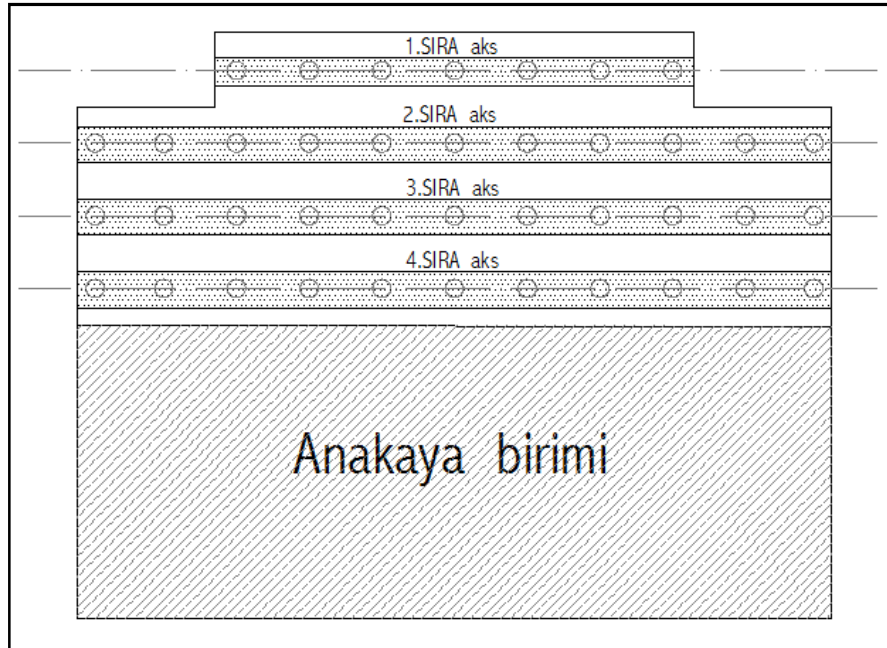
Yapıya etkiyen ve temele gelen yükler altında Safe sonlu eleman programında kazıksız radye temelde oluşan düşey deformasyon grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. Model-1'e ait kazıksız olarak modellenen radye temelin düşey yükler altındaki deformasyon grafiği (Safe)

Beklendiği gibi kazıksız olarak modellenen radye temel üzerinde deplasman, temelin dolguya oturan bölümünde en büyük değeri almakta ve diğer bölgelerde anakaya birimine yaklaştıkça azalmaktadır. Buna göre radye plak altında oluşan maksimum deplasman değeri temelin dolguya oturan bölümünde 90 mm civarında olup; bu değer yapılar için toplam ve farklı oturma değerinin üzerinde kalmaktadır. Bu nedenle yapının dolgu birimine oturan kısımlarının, fore kazık elemanlarıyla sağlam zemine taşıtılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

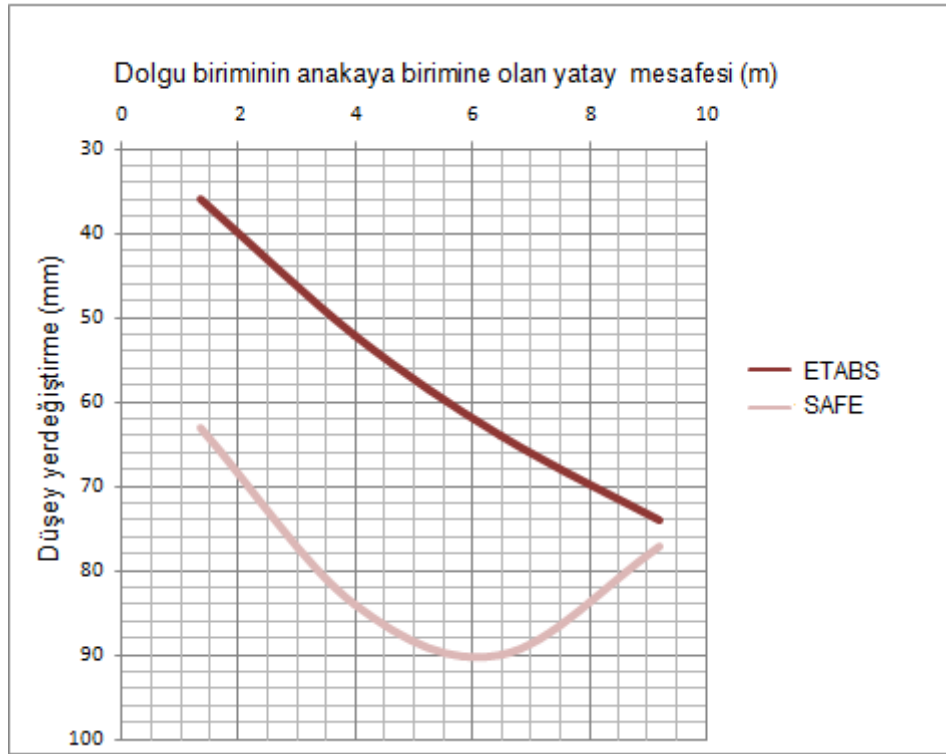
Çizelge 4.1’de Etabs ve Safe programlarında kazıksız radye temel modeline ait dolgu biriminin anakaya sınırına olan mesafelerine göre oluşan maksimum deplasman verileri, Şekil 4.9’da ise dolgu biriminin anakaya sınırına olan aks yerleşimleri verilmiştir. Buna göre radye temelin kontrolsüz dolgu tabakasına oturan bölümündeki akslarda oluşan maksimum deplasman Etabs’ta 74 mm, Safe’de ise 90 mm olarak bulunmuştur. Bu değerler radye temelli yapılar için Çizelge 3.5’de verildiği gibi farklı oturma sınır değerlerinin üzerinde kalmaktadır.



Şekil 4.9. Dolgu biriminin anakaya sınırına olan aks yerleri

Çizelge 4.1. Kazıksız radye temele ait deplasman değerleri

	Anakaya sınırına olan aks mesafeleri (m)	Düşey yer değiştirme (mm)	
		Etabs	Safe
1.sıra aks	1,35	74	63
2.sıra aks	4,00	64	90
3.sıra aks	6,50	52	84
4.sıra aks	9,15	36	77



Şekil 4.10. Kazıksız radye temelde dolgu biriminin anakaya sınırına olan mesafelerine göre olan maks. düşey yer değiştirme değerleri (mm)

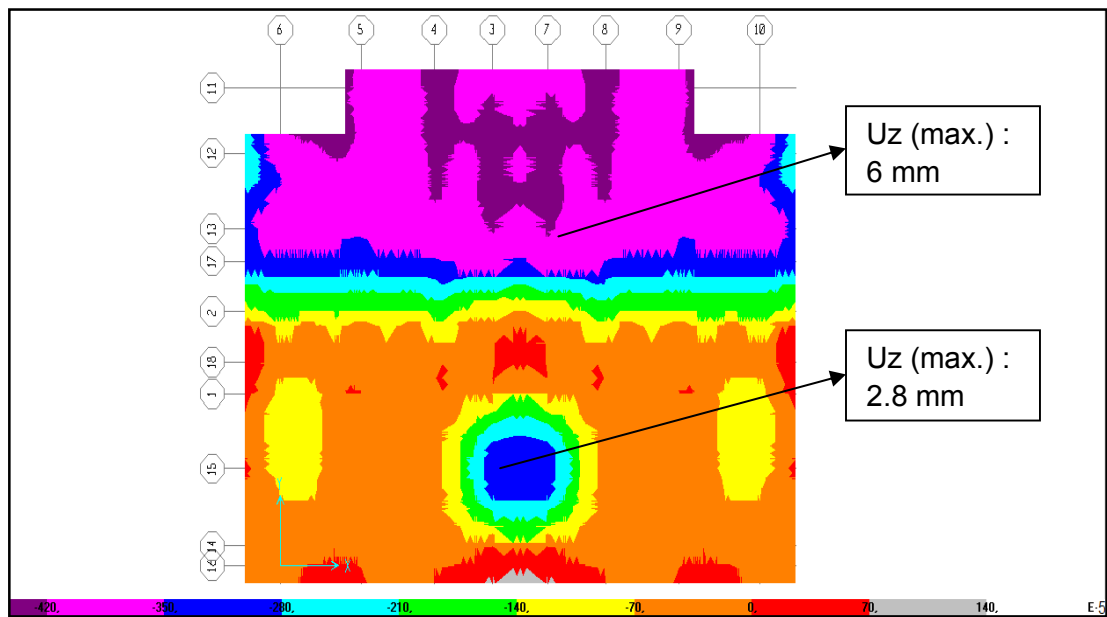
Şekil 4.10'da verilen grafikten görülebildiği gibi, Etabs çözümlerinde anakaya biriminden uzaklaştıkça artan dolgu yüksekliği nedeni ile radye temelde oluşan düşey deplasman değerleri yaklaşık olarak doğrusal bir biçimde artmaktadır. Safe çözümlerinde ise temelin belirli bir mesafeye kadar, anakaya biriminden uzaklaştıkça artan düşey deplasman değerleri, temelde yükün dağılıma davranışının farklı olması nedeniyle artan dolgu yüksekliğine rağmen bir miktar azalmaktadır.

4.6.2. Kazıklı model analiz sonuçları

Kazıklı olarak modellenen sisteme ait Safe yazılımında oluşan deformasyon grafiği Şekil 4.11'de verilmiştir. Bu durumda radye temelın dolguya oturan bölümünde oluşan maksimum deplasman 6mm'dir. Bu değer izin verilebilir sınır değerlerin altındadır. Kazıklı modele ait kesit tesirleri ve maksimum düşey deplasman değerleri Çizelge 4.2'de özetlenmiştir.

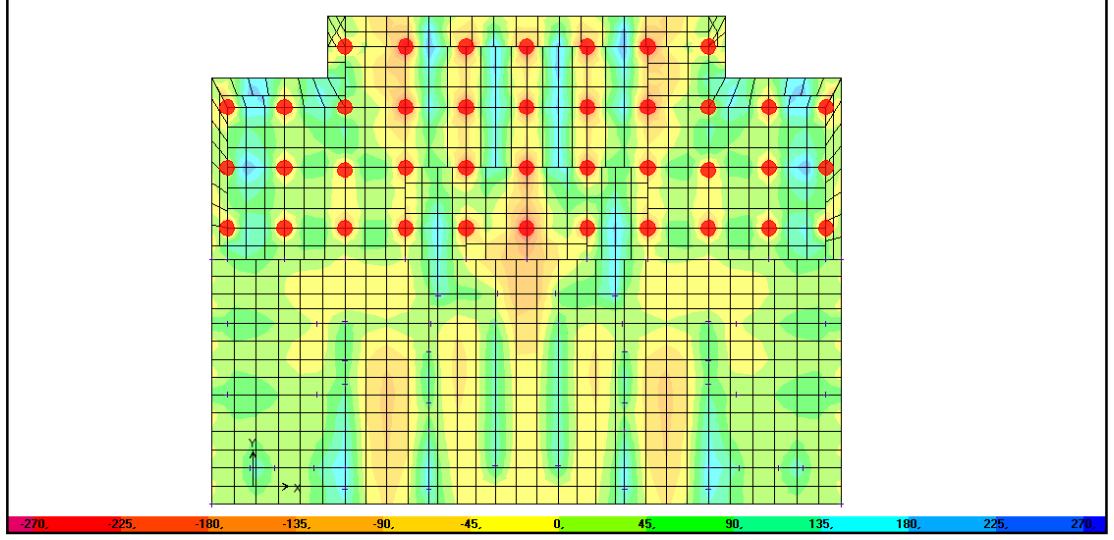
Çizelge 4.2. Kesit tesirleri ve düşey deplasman değerleri (Etabs)

	Radye temel
Maksimum Moment M_x - [kNm/m]	270
Maksimum Moment M_y - [kNm/m]	300
Maksimum Kesme Kuvveti [kN/m]	250
Maksimum Deplasman [mm]	5,7

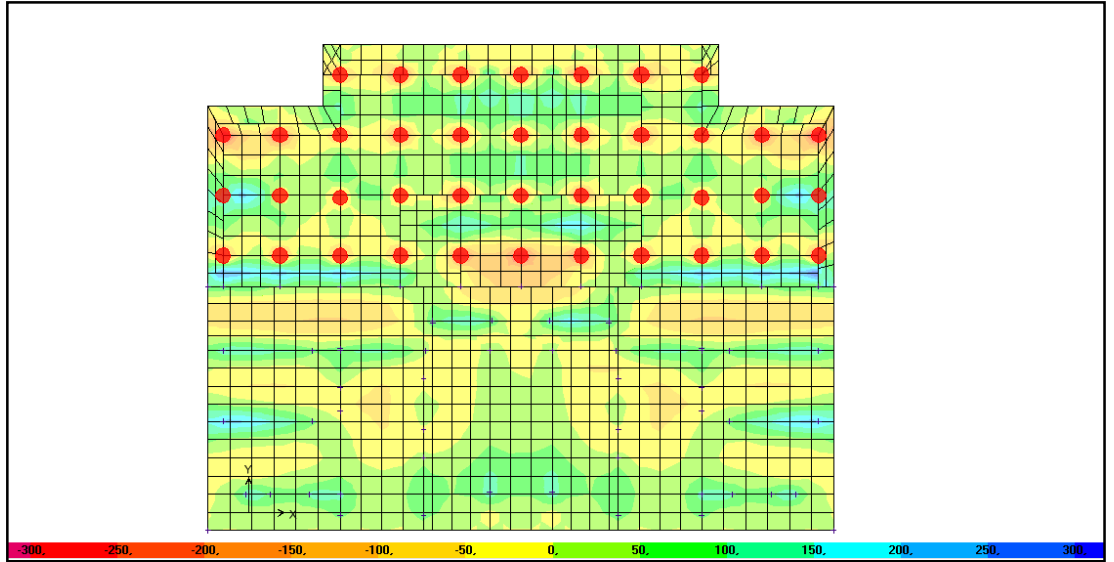


Şekil 4.11. Kazıklı radye temelın düşey yük altında deformasyon grafiği (Safe)

Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de kazıklı modele ait Etabs yazılımında oluşan Mxx-yönü eğilme momenti ve Myy-yönü eğilme momenti verilmiştir.

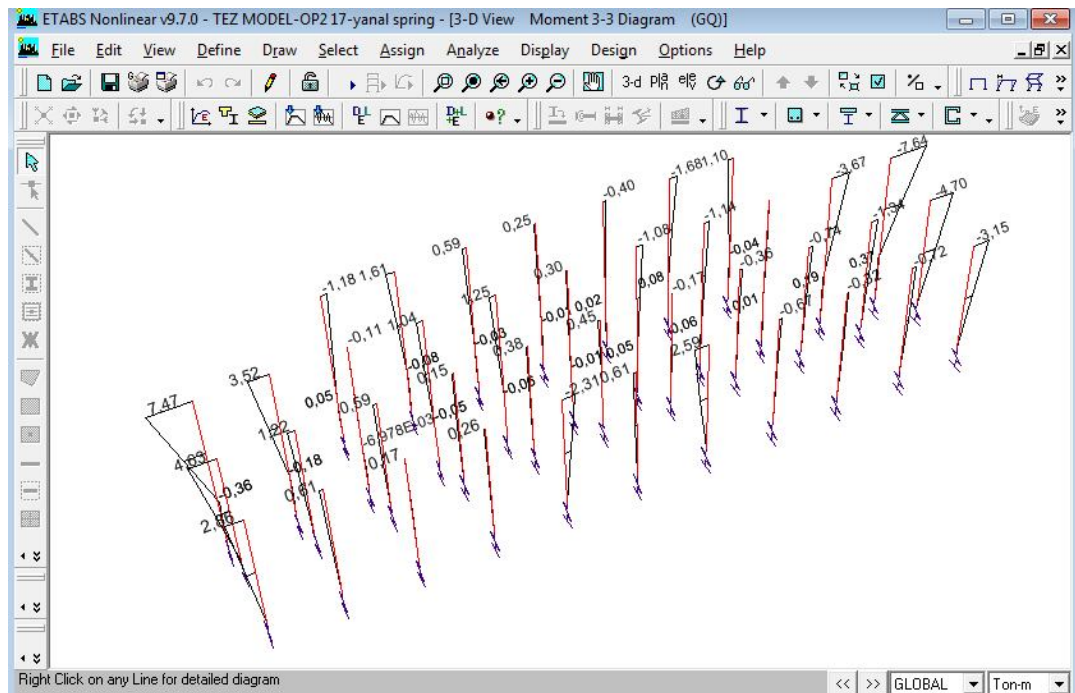


Şekil 4.12. Model-2’ye ait kazıklı olarak modellenen radye temelde oluşan Mxx yönü moment grafiği (Etabs)

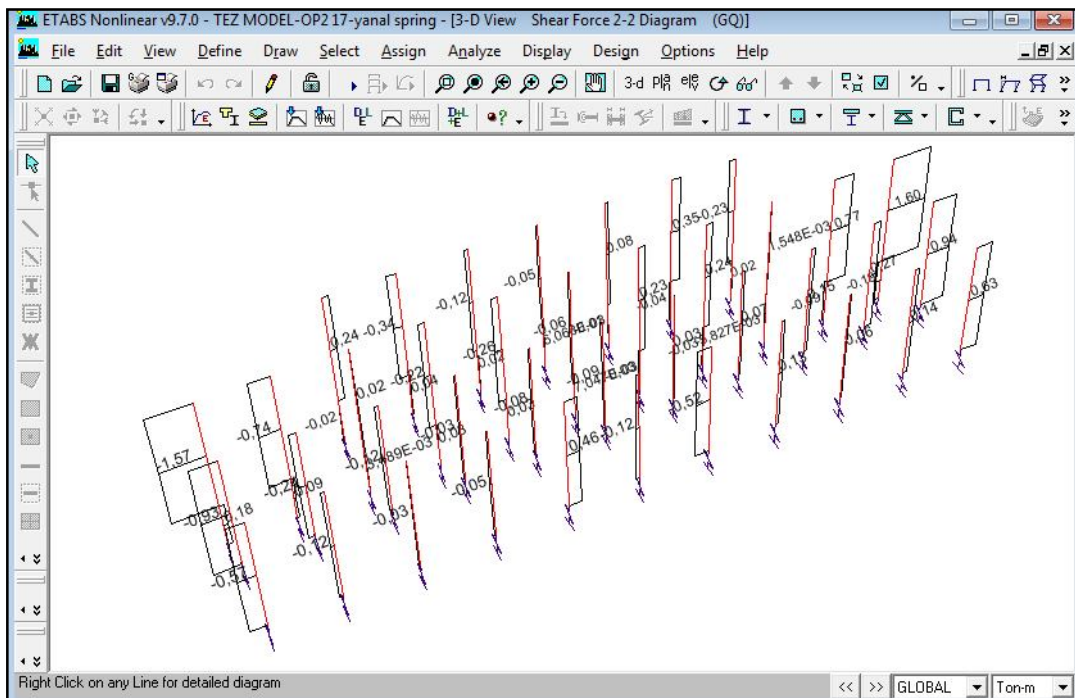


Şekil 4.13. Model-2’ye ait kazıklı olarak modellenen radye temelde oluşan Myy yönü moment grafiği (Etabs)

Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de kazıklarda oluşan maksimum moment ve kesme kuvvetleri görülmektedir.



Şekil 4.14. Etabs modelde kazıklarda oluşan momentler



Çizelge 4.3. Kazıklarda oluşan düşey deplasman değerleri

Kazık İsmi	Kazık Nokta No	Komb.	Düşey Dep. Uz (mm)	Kazık İsmi	Kazık Nokta No	Komb.	Düşey Dep. Uz (mm)
C34	168	1G+1Q	7,8	C12	118	1G+1Q	7,0
C35	169	1G+1Q	7,7	C16	119	1G+1Q	7,0
C36	170	1G+1Q	7,8	C17	122	1G+1Q	7,0
C37	171	1G+1Q	7,9	C18	124	1G+1Q	7,1
C38	172	1G+1Q	7,9	C19	126	1G+1Q	7,2
C39	173	1G+1Q	7,8	C20	129	1G+1Q	7,2
C40	174	1G+1Q	7,9	C13	130	1G+1Q	7,1
C23	137	1G+1Q	6,0	C21	132	1G+1Q	6,9
C24	138	1G+1Q	7,0	C22	134	1G+1Q	6,3
C25	139	1G+1Q	7,5	C1	91	1G+1Q	6,1
C26	140	1G+1Q	7,4	C2	92	1G+1Q	6,4
C27	141	1G+1Q	7,6	C3	93	1G+1Q	6,5
C28	142	1G+1Q	7,7	C4	94	1G+1Q	6,5
C29	143	1G+1Q	7,7	C5	95	1G+1Q	6,3
C30	144	1G+1Q	7,8	C6	96	1G+1Q	6,0
C31	145	1G+1Q	7,6	C7	97	1G+1Q	6,5
C32	146	1G+1Q	7,1	C8	98	1G+1Q	6,6
C33	147	1G+1Q	6,0	C9	99	1G+1Q	6,5
C14	114	1G+1Q	6,3	C10	100	1G+1Q	6,5
C15	116	1G+1Q	6,8	C11	101	1G+1Q	6,1

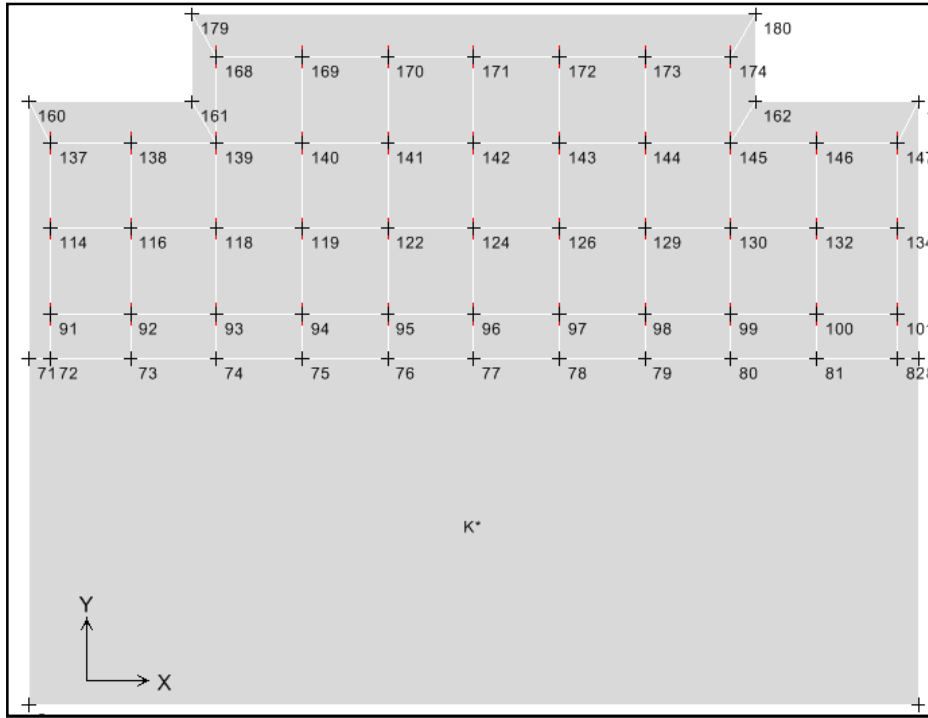
Çizelge 4.4. Fore kazıklardaki kesit tesirleri ve düşey deplasman değerleri

Etabs sonuçları	Fore kazıklar
Maksimum Moment [kNm/m]	76,4
Maksimum Kesme Kuvveti [kN/m]	15,7
Maksimum Deplasman [mm]	7,9

4.6.3. Kazıklı radye temel sisteminde kazıklara gelen eksenel yükler

Bu çalışmada, bina yükleri altında yer alan derin temel sistemine ait fore kazık elemanları; Etabs çözüm yöntemi olarak hem yay elemanı, hem de kiriş elemanı olarak modellenmiş ve düşey yükler altında kazıklarda oluşan eksenel yükler elde edilmiştir.

Çizelge 4.5’de yay eleman olarak modellenen kazık eksenel yükleri tablo halinde verilmiştir. Şekil 4.17’de yay eleman modeline ait kazık yerleri ve numaraları görülmektedir.



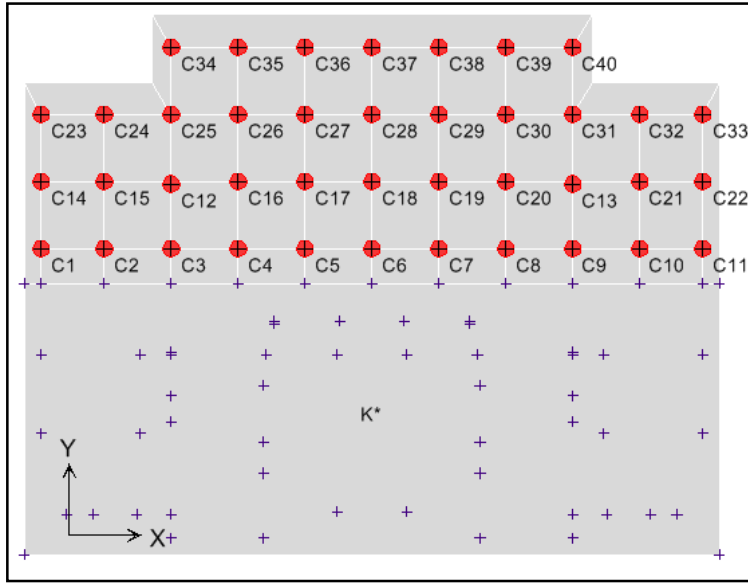
Şekil 4.17. Kazıkların yay olarak tanımlandığı Etabs modele ait kazık noktası yerleri

Çizelge 4.5. Kazık yaylı modelde düşey yükler altındaki kazık eksenel yükleri

Kazık Yay No	Kombinasyon	Yük, P (kN)	Kazık Yay No	Kombinasyon	Yük, P (kN)
168	1G+1Q	860,3	118	1G+1Q	800,9
169	1G+1Q	840,4	119	1G+1Q	810,3
170	1G+1Q	860,2	122	1G+1Q	810,5
171	1G+1Q	870,1	124	1G+1Q	810,9
172	1G+1Q	870,1	126	1G+1Q	830,2
173	1G+1Q	850,4	129	1G+1Q	820,6
174	1G+1Q	870,2	130	1G+1Q	810,9
137	1G+1Q	630,9	132	1G+1Q	781,0
138	1G+1Q	780,2	134	1G+1Q	720,1
139	1G+1Q	840,2	91	1G+1Q	720,0
140	1G+1Q	820,8	92	1G+1Q	760,5
141	1G+1Q	850,3	93	1G+1Q	770,2
142	1G+1Q	870,4	94	1G+1Q	770,6
143	1G+1Q	860,3	95	1G+1Q	750,1
144	1G+1Q	830,8	96	1G+1Q	710,5
145	1G+1Q	850,1	97	1G+1Q	770,3
146	1G+1Q	780,7	98	1G+1Q	790,3
147	1G+1Q	640,1	99	1G+1Q	780,3
114	1G+1Q	710,7	100	1G+1Q	770,3
116	1G+1Q	780,4	101	1G+1Q	720,4

İlk model olan, yay eleman tanımlı modelde kazıklara gelen maksimum eksenel yük 870 kN'dur. Bu durumda kazık eksenel yükleri, tasarım yükü olan statik durumdaki 960 kN'u güvenli bir şekilde taşıyabilmektedir.

Kiriş eleman olarak tanımlı modelde düşey yükler altında kazıklara gelen eksenel yüklere ait özet tablo ise Çizelge 4.6'da verilmiştir. Kazık numaraları ise Şekil 4.18'de görülmektedir.



Şekil 4.18. Kiriş eleman olarak tanımlı Etabs modele ait kazık numaraları

Çizelge 4.6. Kiriş eleman modeli ait kazık eksenel yükleri

Kazık No	Kombinasyon	Yük, P (kN)	Kazık No	Kombinasyon	Yük, P (kN)
C34	1G+1Q	910,9	C12	1G+1Q	840,8
C35	1G+1Q	900,4	C16	1G+1Q	850,3
C36	1G+1Q	910,9	C17	1G+1Q	850,3
C37	1G+1Q	920,5	C18	1G+1Q	850,7
C38	1G+1Q	920,7	C19	1G+1Q	860,8
C39	1G+1Q	910,3	C20	1G+1Q	860,6
C40	1G+1Q	920,8	C13	1G+1Q	850,7
C23	1G+1Q	690,8	C21	1G+1Q	830,3
C24	1G+1Q	820,6	C22	1G+1Q	760,8
C25	1G+1Q	870,8	C1	1G+1Q	730,3
C26	1G+1Q	860,7	C2	1G+1Q	770,4
C27	1G+1Q	880,7	C3	1G+1Q	780,0
C28	1G+1Q	900,4	C4	1G+1Q	780,3
C29	1G+1Q	890,6	C5	1G+1Q	760,0
C30	1G+1Q	870,7	C6	1G+1Q	720,8
C31	1G+1Q	880,7	C7	1G+1Q	780,1
C32	1G+1Q	830,1	C8	1G+1Q	791,0
C33	1G+1Q	700,0	C9	1G+1Q	790,1
C14	1G+1Q	760,5	C10	1G+1Q	780,1
C15	1G+1Q	820,7	C11	1G+1Q	730,7

Kazıkların hem kiriş eleman olarak, hem de yay şeklinde tanımlı modellerde her bir kaziğa gelen eksenel yüklerin, Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da da anlaşıldığı gibi, maksimum ve minumum değerleri aynı kazıklarda oluşmuştur.

Kazıklara gelen maksimum eksenel yük; yay eleman modelinde 870 kN, kiriş eleman modelinde ise 920 kN olarak bulunmuştur. Her iki model için de sonuçların birbirine çok yakın çıktığı görülmüştür. Sonuç olarak kazıkların kiriş elemanlar olarak modellenmesi ile yay elemanlar şeklinde tanımlanması arasında çok fark olmadığı görülmektedir.

Düşey yükler altında Etabs'ta üst yapıdan (binadan) kazıklara aktarılan toplam yük temel ağırlığı dahil; 69 200 kN'dur. Kazıklara gelen eksenel yüklerin toplamı ise 32 480 kN bulunmuştur. Radyenin taşıdığı yük ise 36 720 kN'dur. Bu da kazıkların, gelen toplam yükün %47'sini taşıdığını göstermektedir.

Tüm radyenin taşıdığı oran ise gelen yükün %53'üdür. Sadece kazıklarla taşınan bölüme ait radyenin taşıdığı yük oranı %3 mertebelerindedir. Bu oranın düşük olma nedeni ise; anakayaya soketli rijit fore kazık elemanlarının düşey deplasmanlarının sınırlandırılmasından dolayıdır. Radyenin dolgu birimine oturan bölümündeki fore kazık elemanlarına ait deplasmanlar düşük olduğu için, oturma da düşük çıkmakta ve bu nedenle radye de çok yük taşımamaktadır.

5. KAZIKLI RADYE TEMEL SİSTEMİNİN MİDAS GTS PROGRAMI İLE MODELLENMESİ

5.1. Midas GTS Sonlu Elemanlar Programı

Eskişehir ili Odunpazarı ilçesine ait kazıklı radye temelli ve yapı taşıyıcıları perdelerden oluşan tünel kalıp sistemli binanın temeli ve zemininin sayısal analizleri için Midas IT'nin birçok yazılımından biri olan Midas GTS (Geotechnical and Tunneling System) sonlu elemanlar yazılımından yararlanılmıştır.

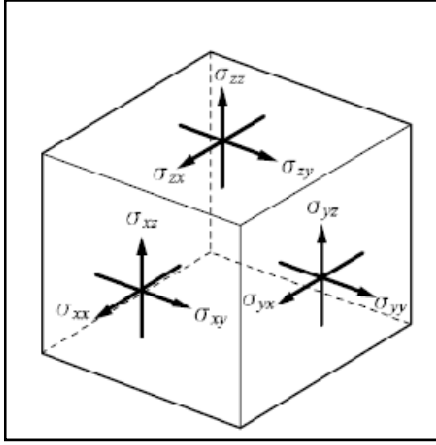
Midas GTS iki veya üç boyutlu, doğrusal veya doğrusal olmayan, statik veya dinamik analiz yetisi olan bir yazılımdır. Katı modellerin yanı sıra yapısal elemanların da modellenmesine olanak tanıyan Midas GTS, genel bir sonlu elemanlar programı olarak da kullanılabilmesine karşın zemin mekaniği ve tünel çözümlemeleri için özelleştirilmiştir. Ayrıca kullanımı kolay ara yüzünün verdiği avantaj ile son derece karmaşık geometrilerin dahi modellenmesini sağlamaktadır.

Midas GTS bir geoteknik ve tünel analiz sistemidir. Sahip olduğu özelliklerden bazıları şunlardır:

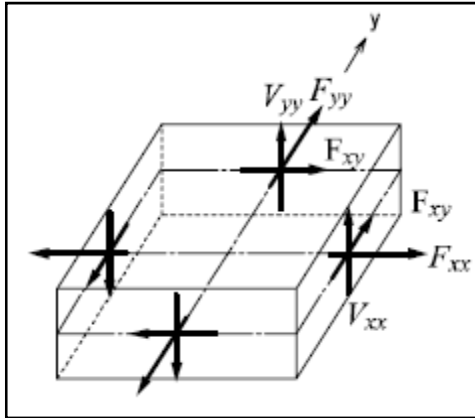
- 2 boyutlu ve 3 boyutlu modelleme.
- Doğrusal (linear) elastik, doğrusal olmayan (non-linear) elastik (Duncan ve Chang 1970, Jardine 1984), gerilme yumuşaması, çökme ve akma kriterleri (Mohr-Coulomb, değiştirilmiş Mohr-Coulomb, değiştirilmiş Cam-Clay ve Drucker-Prager).
- Zemin ve yapı arasındaki teması temsil eden arabirim elemanları.
- Kazık davranışının belirlenmesi için hesap gereksinimlerini azaltan, "line-to-solid" kazık elemanları. Kazık arabirim elemanları da ayrıca uygulanabilir.

- İlk gerilme durumu, toprak kazısı, (duvar, gergi elemanı, bodrum döşemeleri ve kolonlar gibi) yapısal mesnet elemanlarının yerleştirilmesinin belirlenmesi için yapım aşaması analizi.
- Yapısal sistemin yük-sehim (çökme) davranışını görmek için artan yük serisi.

Midas GTS Sonlu eleman programının solid eleman için pozitif yön tayini Şekil 5.1'de, plate eleman için pozitif yön tayini ise Şekil 5.2'de verilmiştir.



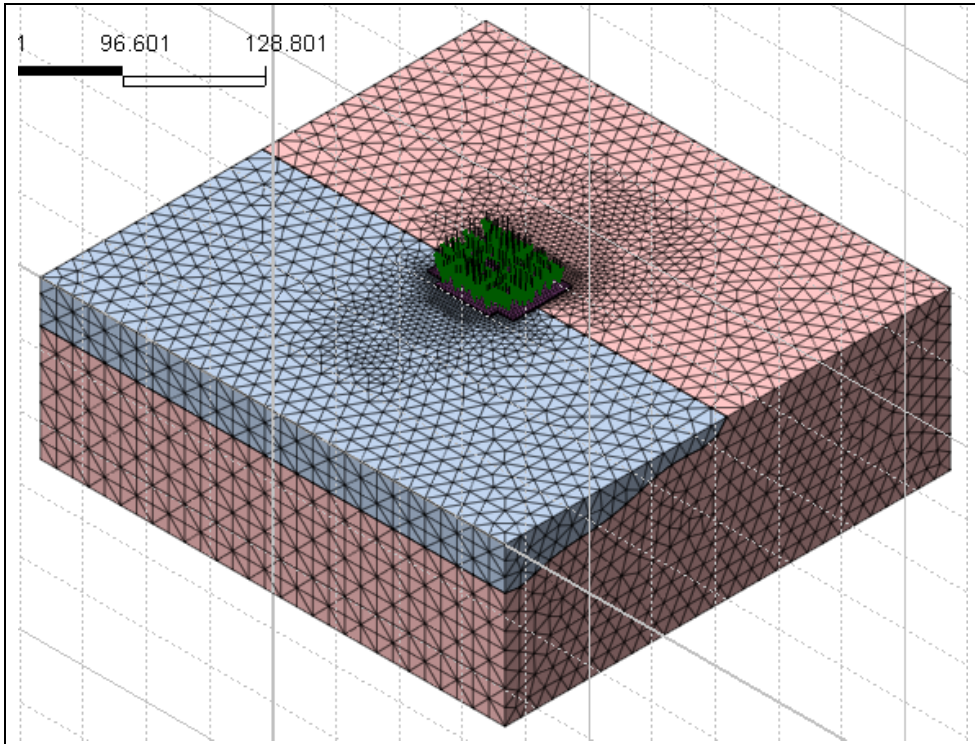
Şekil 5.1. Solid elemanlar için pozitif yön tayini



Şekil 5.2. Plate elemanlar için pozitif yön tayini

5.2. Kazıklı Radye Temel Sayısal Modeli

Kazıklı radye temel sayısal modeli, kazı-zemin-kazık karşılıklı etkileşimini gerçekçi olarak yansıtacak ve sonuçların hassasiyetini olabildiğince artıracak şekilde hazırlanmıştır. Modelde, kullanılan beton ve zemin ağ eleman boyutları özellikle gerilme yığılmalarının önemli olduğu temel ve kazık bölgesinde olabildiğince küçük seçilmiştir. Modeller hazırlanırken, kazıkların yapım aşaması ve kazık sistemi uygulaması sırasında meydana gelebilecek en olumsuz gerilmeleri yaratacak koşullar düşünülmüştür. Kazıklı radye temel ve zemin sayısal modeli Şekil 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.3. Midas GTS zemin ve kazıklı radye temel sayısal modeli

Midas GTS sonlu elemanlar modelinde zemin katmanları (Kontrolsüz dolgu tabakası ve kilitaşı) katı (solid) eleman olarak, radye temel de katı (solid) eleman olarak ve kazıklar ise; 1-boyutlu eleman olan gömülü çubuk (embedded pile) elemanlar olarak tanımlanmıştır.

5.2.1. Zemin malzeme modeli

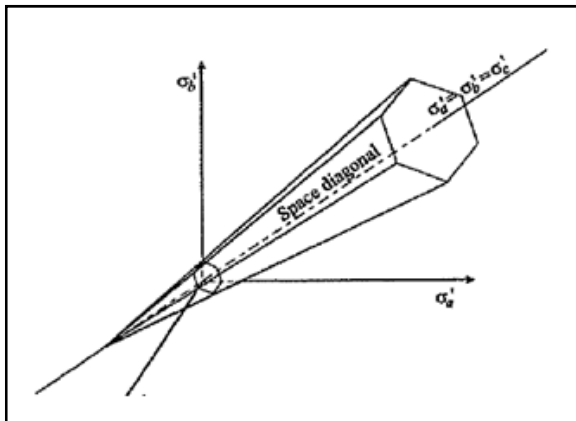
Geoteknik mühendisliği problemlerinin sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak doğru bir şekilde analiz edilebilmesi için zeminin lineer olmayan, zamana bağlı davranışının dikkate alınması gerekir. Bu amaçla zeminlerde gerilme ile şekil değiştirme ilişkisini ortaya koyan bir çok zemin modeli geliştirilmiştir. Zemin mekaniğinde uygun zemin modelinin seçilmesi zemin yapılarının analizinde son derece önemlidir. Zemin mekaniğinde en yaygın kullanılan zemin modeli Mohr-Coulomb modelidir ki bu modelde, maksimum kayma gerilmesi ($\tau_{\max}$); kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ) ve normal gerilmenin (σ') bir fonksiyonudur.

Mohr -Coulomb kırılma kriterine göre zeminin kayma dayanımı (lineer-elastik) Eş. 5.1 ile bulunur.

$$\tau_{\max} = c' + \sigma' \tan \phi \quad (5.1)$$

Mohr -Coulomb kırılma kriterine göre zeminin kayma dayanımı asal gerilmeler cinsinden Eş. 5.2'deki gibi yazılabilir. Mohr -Coulomb kırılma kriteri Şekil 5.4'de gösterilmiştir.

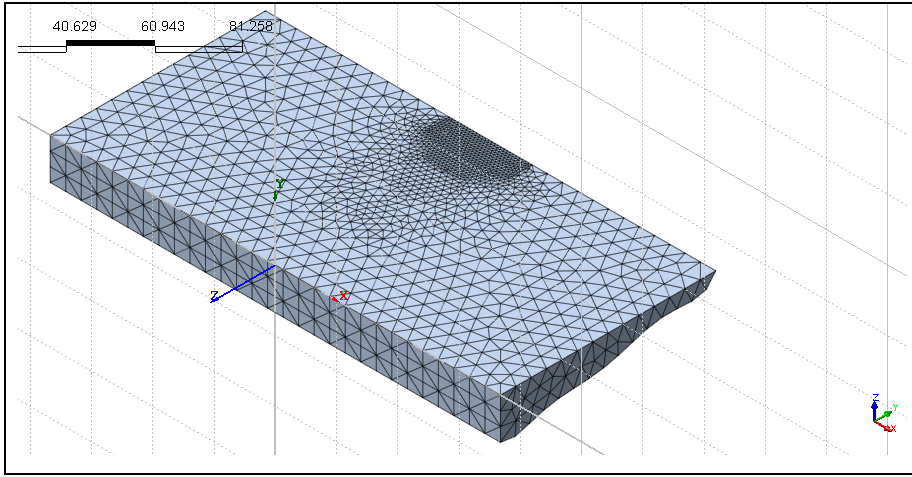
$$\sigma_1 (1 - \sin \phi) - \sigma_3 (1 + \sin \phi) = 2c' \cos \phi \quad (5.2)$$



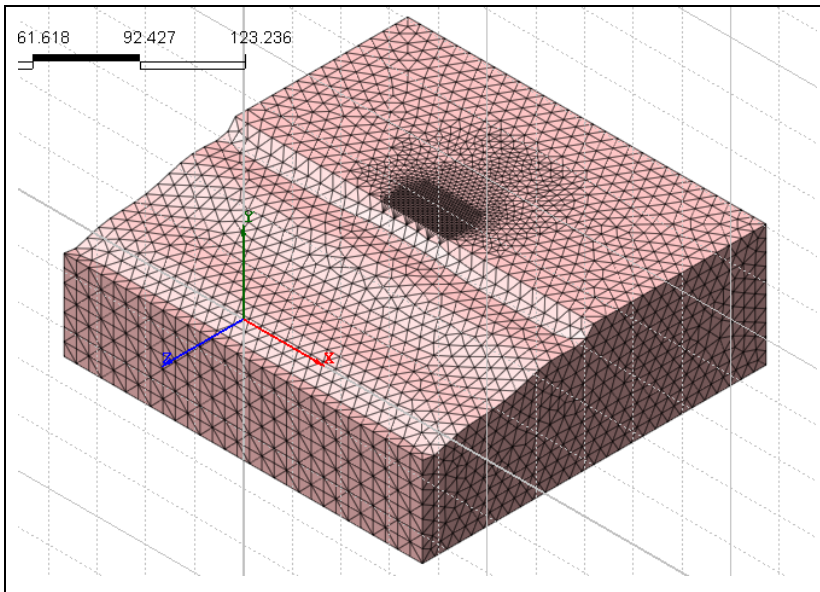
Şekil 5.4. Mohr-Coulomb kırılma kriteri

Midas GTS sonlu elemanlar programında drenajlı şartlarda stabilize analizi problemlerinde yeterli doğrulukta verdiği düşünülerek malzeme davranış modeli olarak Mohr-Coulomb modeli seçilmiştir. Zemin profili dolgu ve kıltaşı olmak üzere iki farklı formasyon olarak modellenmiştir.

Dolgu, Kıltaşı zemin modellerine ait ve radye temel ile kazık çubuk elemanları modellerine ait 3-boyutlu görünüşler Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de verilmiştir.

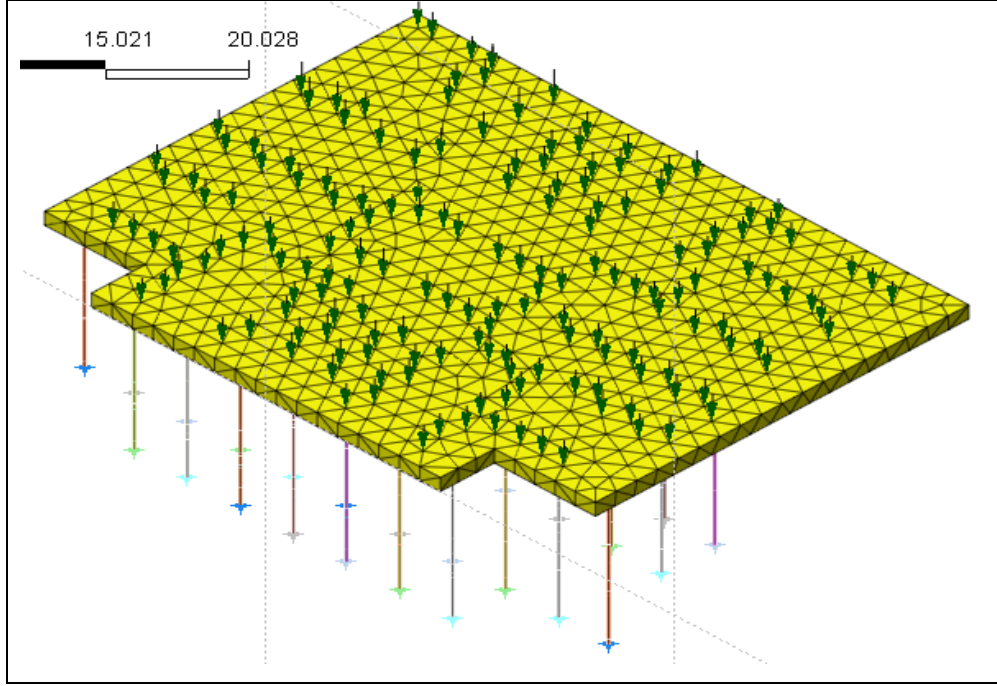


Şekil 5.5. Midas GTS model kontrolsüz dolgu elemanları



Şekil 5.6. Midas GTS model kıltaşı elemanları

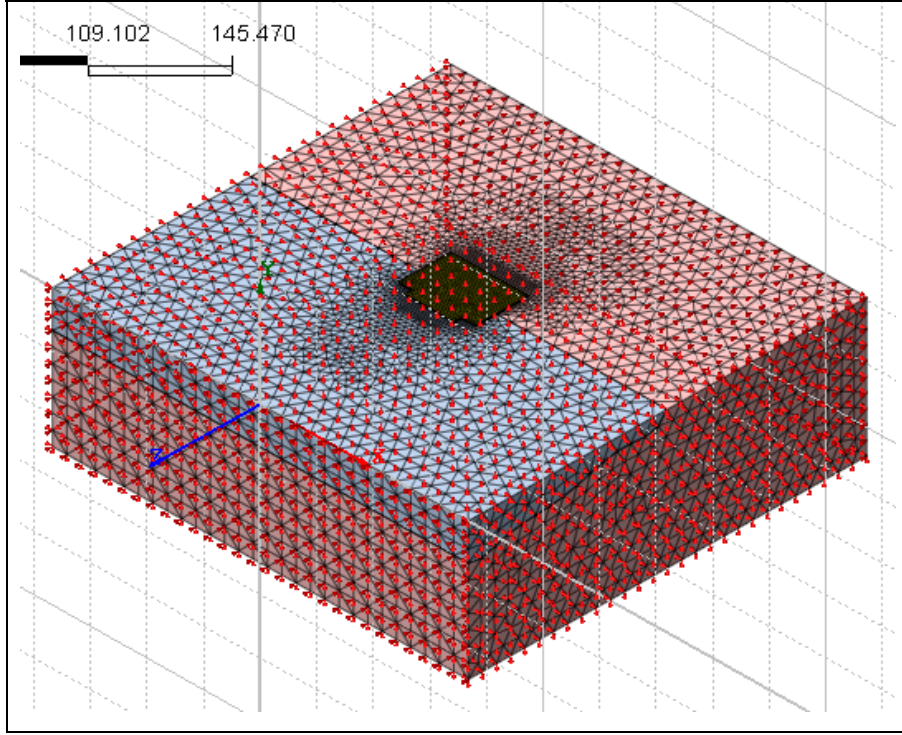
Midas GTS modelinde uygulanan ve aynı yerlerine denk gelecek şekilde perde altlarına aktarılan tüm noktasal yükler Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.7. Midas GTS modeli radye temel ve kazık elemanları

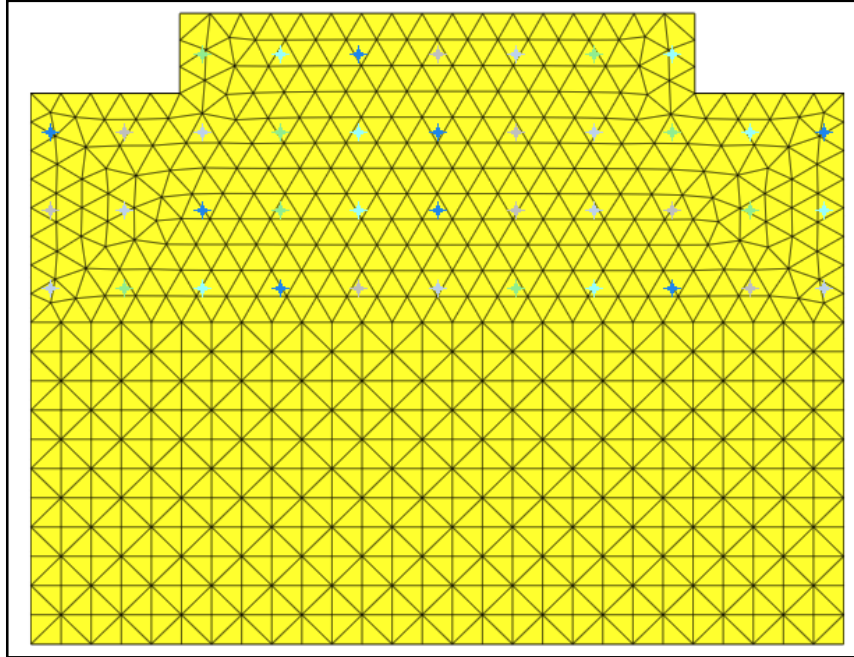
Kazı yapılacak zemin, laboratuvar verileri ve arazi çalışmaları verileri doğrultusunda iki farklı zemin tabakası halinde 50 metre yüksekliğinde ve 50 metre genişliğinde modellenmiştir (Şekil 5.3). Zeminin dolgu tabakası arazideki ve radye temel altındaki yeri ve şekline uygun olarak modeli yapılmıştır.

50 m x 50 m boyutlarındaki modelin sınır şartları tüm zemin kenarları sabit mesnet oluşturacak şekilde tutulmuştur. Mesnet yerleri Şekil 5.8’de görülmektedir. Mevcut binanın yükü ise; Etabs sonlu elemanlar programındaki modelden tüm perdelerin altındaki gelen yük okunarak, her bir taşıyıcı perde elemanının altına denk gelecek şekilde ve perdenin üç noktasından olacak şekilde noktasal yük şeklinde verilmiştir. Üniform yük yerine temelin noktasal yük olarak yüklenmesi, daha hassas sonuçlar elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

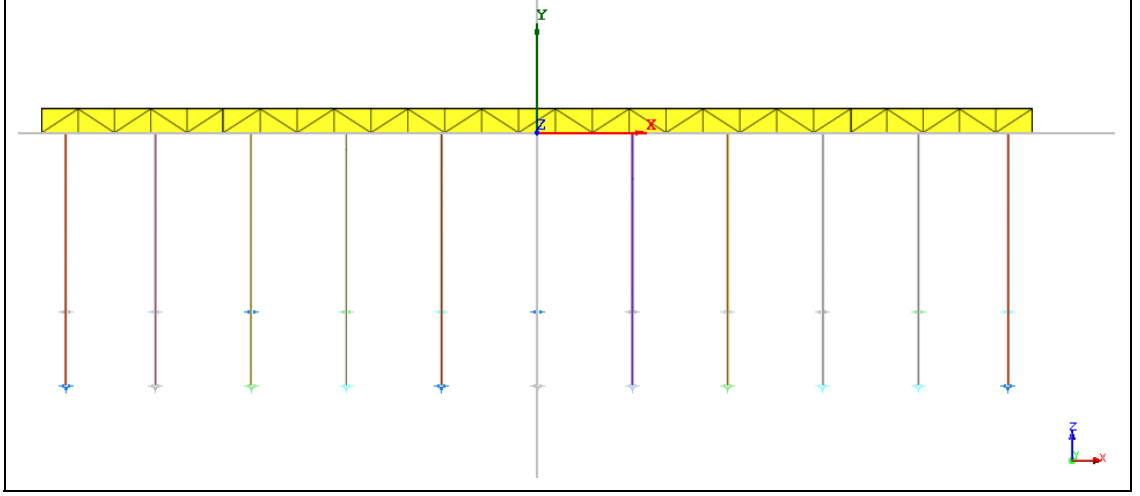


Şekil 5.8. Midas GTS üç boyutlu zemin modeli

Kazıkların plandaki üstten ve x-z düzlemindeki görünüşleri Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.9. Midas GTS modeli radye temel ve kazık yerleşim planı



Şekil 5.10. Midas GTS model kazıkların x-z düzlemindeki görünüşü

Kazıklar radye temele 0,20 m girecek, kayaya ise 2 m soketlenecek şekilde modellenmiştir. Fore kazıklar projesindeki yeri, boyları ve sayısına uygun olarak merkezden merkeze 2,60 m aralıklı ve 0,65 m çapında modellenmiştir.

5.3. Zemin Parametreleri

Araziden numune alımında yeterli özenin gösterilmemesi sonucu numunede oluşan örselenmeler ve ülkemizdeki zemin araştırmalarında yapılan özensizlikler göz önüne alındığında yalnızca laboratuvar verileri ile zemin dayanım parametrelerinin belirlenmesinin doğru olmayacağı açıktır. Laboratuvar deneylerinin, ancak arazi deneyleri, literatürdeki korelasyonlar ve benzer zemin çalışmalarında yapılan veriler ile uyumlu olması durumunda kullanılması daha doğru olacaktır.

Sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan derin kazı tasarımlarında deplasmanların gerçekçi olarak tahmini; ancak gerçekçi elastisite modülü değerlerinin kullanımıyla mümkündür [Çalışan, 2009].

İnşaat alanında bina temel tasarımı için toplamda iki adet zemin sondajı yapılmıştır. Sondaj kuyularından alınan numuneler üzerinde yapılan

laboratuvar deneyleri sonuçları (elek analizleri, kıvam limitleri, nokta yükleme deneyi) Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Zeminin gerekli mukavemet parametreleri en azından içsel sürtünme açısı (ϕ), kohezyonu (c), elastisite modülü (E) ve poisson oranıdır (ν).

5.3.1. İçsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyon (c)

Literatürde kohezyonlu zeminlerin dayanım parametrelerinden, efektif içsel sürtünme açısı ve kohezyonu ile ilgili bir çok çalışma yapılmıştır.

Kohezyonlu zemin özelliklerine ve kaya tiplerine göre, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri tablolar halinde Çizelge 5.1 ve 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Değişik kaya tipleri için sürtünme açısının tipik aralıkları (Duncan C.W., 2004)

Kaya sınıfı	Sürtünme açısı aralığı	Tipik kaya çeşitleri
Düşük sürtünmeli	20-27°	Şistler (Yüksek mika içeriği), şeyl, marn
Orta sürtünmeli	27-34°	Kumtaşı, silttaşı, tebeşir, gnays
Yüksek sürtünmeli	34-40°	Bazalt, granit, kireçtaşı, çakıltaşı

Çizelge 5.2. Kayaç kütlelerinin mekanik ve yapısal özelliklerine göre saptanmış, sürtünme açıları ve kohezyon değerleri (Ulusoy, 1980)

Kayaç kütlelerinin özellikleri	İçsel sürtünme açısı ϕ (°)	Kohezyon (c) kPa
Yumuşak kayaç; çok aşırı bozunmuş ve makaslama zonlarında kil dolgusuna sahip	25-30	20
Orta sertlikte kayaç; yapısal olarak çatlaklı	30-35	50
Birbirine bağlı köşeli partiküller ile çok küçük kil mineralleri içeren sert kayaç	40	80

5.3.2. Elastisite modülü (E)

Bowles 1996 SPT-N değeri ile Es arasında aşağıdaki korelasyonları önermektedir. Ayrıca her zemin tipi için verdiği elastisite modülü değerleri özet tablosu Çizelge 5.3' de görülmektedir.

$$\text{Kum (normal konsolide)} \quad E_s = 500 (N+15) \quad (\text{kPa}) \quad (5.3)$$

$$\text{Killi kum} \quad E_s = 320 (N+15) \quad (\text{kPa}) \quad (5.4)$$

$$\text{Silt, kumlu silt} \quad E_s = 300 (N+15) \quad (\text{kPa}) \quad (5.5)$$

$$\text{Çakıllı kum} \quad E_s = 1200 (N+15) \quad (\text{kPa}) \quad (5.6)$$

Çizelge 5.3. Zemin için tipik elastisite modülü değerleri (Bowles, 1996)

Zemin Sınıfı	Es, MPa
Kil	
Çok yumuşak	2-15
Yumuşak	5-25
Orta katı	15-50
Sert	50-100
Çok sert	25-250
Buzul tili	
Gevşek	10-150
Sıkı	150-720
Çok sıkı	500-1440
Lös	15-60
Kum	
Siltli kum	5-20
Gevşek	10-25
Sıkı	50-81
Kum-Çakıl	
Gevşek	50-150
Sıkı	100-200
Şist	150-5000

5.3.3. Poisson oranı (μ)

Poisson oranı Çizelge 5.4'e göre geoteknik raporda 0,30 alınmıştır.

Çizelge 5.4. Poisson oranı değer aralıkları (Bowles, 1996)

Zemin Sınıfı / Malzeme	μ
Doygun kil	0,4-0,5
Doygun olmayan kil	0,1-0,3
Kumlu kil	0,2-0,3
Silt	0,3-0,35
Kum, çakıllı kum	0,3-0,4
Kaya	0,1-0,4
Şist	0,1-0,3
Buz	0,36
Beton	0,15
Çelik	0,33

5.4. Malzeme Özellikleri

Sistem iki tabakalı zemin üzerinde modellenmiştir. Bu farklı iki zemin tabakaları dolgu ve kıltaşından oluşmaktadır. Zemin malzeme modeli olarak bölüm 5.2.1’de de anlatıldığı gibi Mohr-Coulomb modeli kullanılmıştır. Aslında Pekleşen Zemin modeli (Hardening Soil) modeli arazideki zemin davranışını daha iyi yansıtmaya rağmen, bu çalışma kapsamında üç eksenli basınç deneyi verileri elde bulunmadığından ve Mohr-Coulomb modeli ilk yaklaşımda gerçeğe oldukça uygun sonuçlar verdiği için tercih edilmiştir [Yalçın, 2010].

Zemin tabakalarına ait kullanılan malzeme parametreleri Çizelge 5.5’de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Midas GTS modeli zemin parametreleri

Parametre	Sembol	Dolgu	Kıltaşı	Birim
Malzeme modeli	Model	MC	MC	-
Davranış modeli	-	Drenajsız	Drenajsız	-
Elastisite modülü (Eş. 5.4, Çizelge 5.3)	E	7 000	350 000	[kN/m ²]
Poisson oranı (Çizelge 5.4)	ν	0,3	0,3	-
Normal birim hacim ağırlık	γ_n	20	22	[kN/m ³]
Doygun birim hacim ağırlık	γ_d	20	22	[kN/m ³]
Kohezyon (Çizelge 5.2)	c	10	40	[kN/m ²]
İçsel sürtünme Açısı (Çizelge 5.1, 5.2)	ϕ	25	28	[°]

Temel sisteminin davranışını gerçeğe uygun olarak modellemek için, kazık-zemin etkileşiminin doğru olarak modellenmesi büyük bir önem taşımaktadır [Yalçın, 2010]. Gömülü kazık modeli (embedded pile) diye adlandırılan model tipi, doğrusal olmayan kazık-zemin etkileşimini tasvir eden bir modeldir [Engin, 2007].

Gömülü kazık modelinde kazık üç boyutlu bir hacim elemanı değil, bir kiriş (çizgi) elemanı olarak modellenmekte ve zemini herhangi bir noktada ve herhangi bir doğrultuda kesebilmektedir [Yalçın, 2010]. Temel mühendisliğinde oldukça büyük bir öneme haiz olan kazık-zemin etkileşimi, kazık ve zemin düğüm noktaları arasındaki rölatif yer değiştirme ile tanımlanmaktadır [Yalçın, 2010].

Midas GTS programında kazık ucundaki zemin direnci doğrusal olmayan yay elemanlarıyla modellenmiştir. Kazığın soket uç direnci ile alabileceği maksimum kesme kuvveti modele girdi bilgisi olarak verilmiştir. Radye plak için kullanılan döşeme elemanı ve dolgu tarafındaki radye plak altına yerleştirilen gömülü kazık elemanları ise lineer elastik olarak modellenmiştir. Kullanılan radye temel ve kazık elemanlarına ait malzeme parametreleri Çizelge 5.6'da verilmektedir.

Çizelge 5.6. Midas GTS modelinde kullanılan yapısal elemanlara ait parametreler

Parametre	Sembol	Değeri	Birimi
Davranış tipi	Elastik	-	-
Elastisite modülü	E	$28 \cdot 10^6$	kN/m ²
Poisson oranı	ν	0,2	-
Radye temelin kalınlığı	d	0,65	m
Kazık çapı	D	0,65	m
Kazık uç alanı	A	0,3318	m ²
Kazık uç direnci	$Q_{uç}$	638	kN/m

5.5. Analiz Sonuçları

İncelenen örnek uygulama projesi için yukarıda zemin ve malzeme parametreleri verilmiş değerler ile Midas GTS çözümleri yapılmıştır. Programın fore kazık, radye temel ve zeminin analizinin aşamalı olarak inşa edilmesine imkan vermesi, bu her aşamanın ayrı ayrı göz önüne alınarak modellenmesini sağlamıştır. Kazıklı radye temel sistemi üç farklı inşa aşaması halinde tasarlanarak analiz edilmiştir. Böylece sonlu elemanlar ile çözüm yapan Midas GTS ile sistemde oluşan maksimum momentler, kazık yükleri ve temel altı deformasyonları incelenmiştir.

Programda incelenen uygulama projesinin yerindeki yapım sırasına uygun olarak tanımlanan inşaat aşamaları aşağıdaki gibidir:

1.Aşama (Başlangıç durumu): Mevcut zemin olan dolgu ve kilaşı modellenmiştir. Burada arazinin uzun zaman içerisinde yapmış olduğu deplasmanlar sıfırlanmış olup; bu aşamadan sonra yapılacak her aşamanın deplasman değerlerine net bir şekilde ulaşılmıştır.

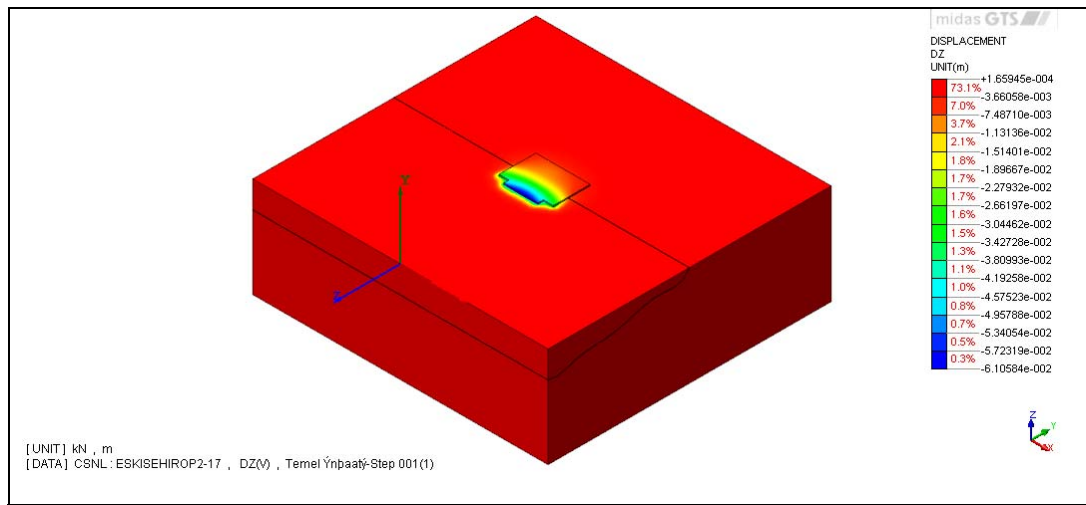
2.Aşama (Kazık inşaatı): Kazıklar inşa edilmiştir.

3.Aşama (Temel inşaatı): Radye temel dökülmüş ve üst yapı yükleri yüklenmiştir.

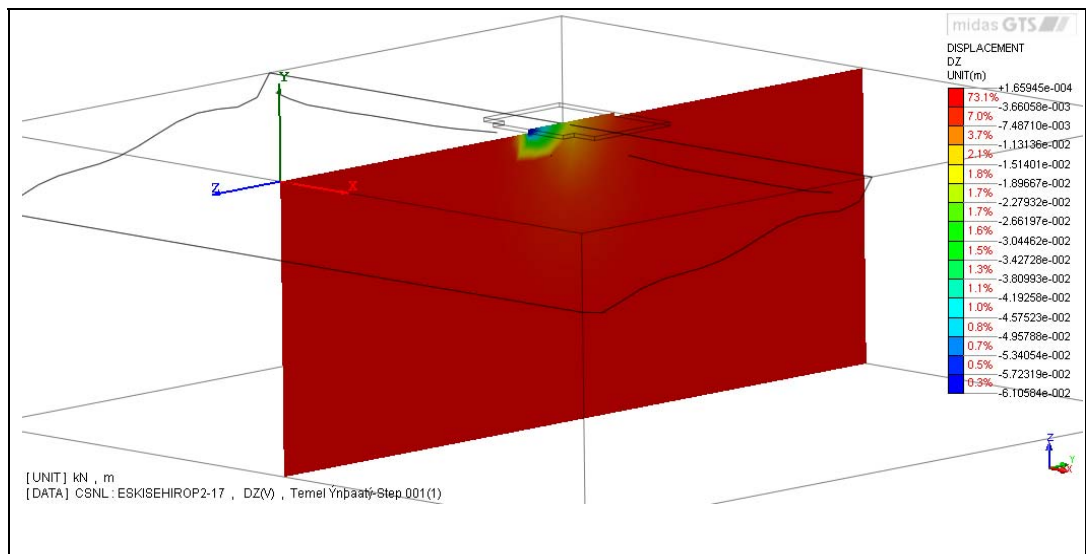
Midas GTS programında dört model çalışması yapılmıştır. İlk model, kazıksız olarak modellenmiş ve radye temel sistemindeki deformasyonların sınır şartlar içinde kalıp kalmadığını görmek için yapılmış model 1 çalışmasıdır. Bir diğer çalışma, model 2 ve model 3 çalışmalarıdır. Bu modellerdeki amaç; tasarlanan kazık sayısının optimum değerini ve yeterliliğini görmektir. Model 4'de ise; sistem kazıklı olarak modellenmiş ve radye temelde ve kazıklarda oluşan maksimum momentler ve kazık yükleri ile deplasmanlar incelenmiştir.

5.5.1. Model 1 analiz sonuçları

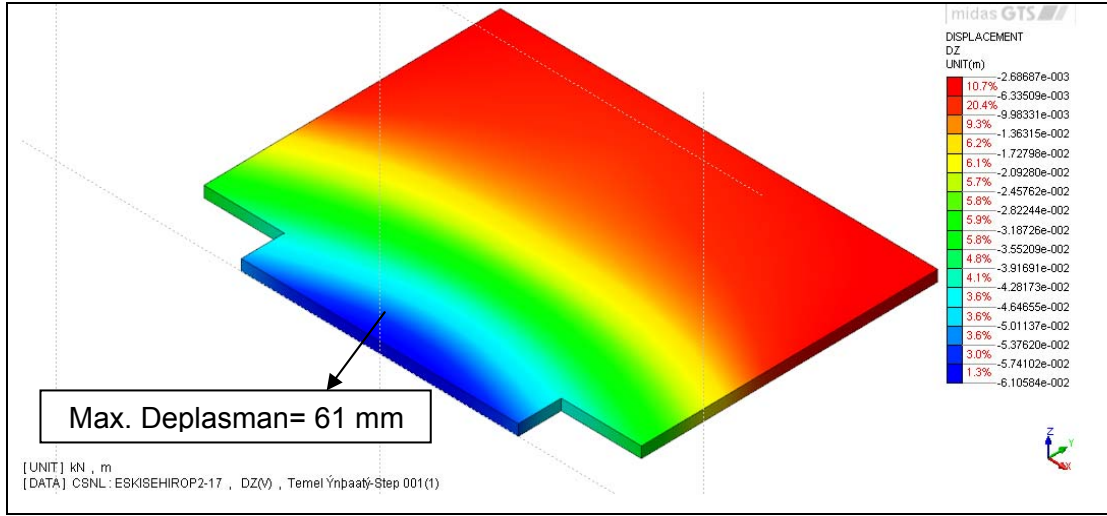
Radye temel sistemi kazıksız olarak modellenerek, temel altındaki zemin tabakaları değiştirilmeden radye temel üst yapı yükleri ile yüklenmiştir. Sistemin kazıksız yapılması durumunda temelde çıkan maksimum oturma miktarı incelenmiştir. Oluşan maksimum oturma ve radye temel deformasyonu Şekil 5.11, Şekil 5.12 ve Şekil 5.13'de ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 5.11. Midas GTS radye temel ve zemin sistem deformasyonu



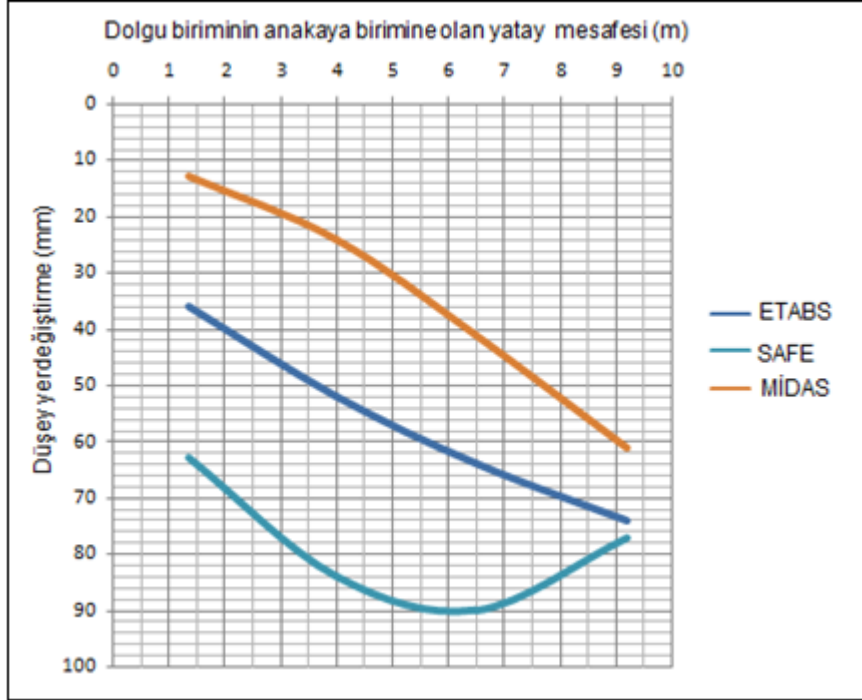
Şekil 5.12. Midas GTS sistem kesiti deformasyonu ve deplasman değerleri



Şekil 5.13. Midas GTS modele ait radye temelde oluşan deplasmanlar

Şekil 5.13’de verilen grafikten görülebildiği gibi Midas GTS çözümlerinde sistemde oluşan maksimum düşey deplasman değeri 61 mm’dir. Midas GTS çözümlerinde anakaya biriminden uzaklaştıkça artan dolgu yüksekliği nedeni ile radye temelde oluşan düşey deplasman değerleri yaklaşık olarak doğrusal bir biçimde artmaktadır. Oluşan bu deformasyon değerleri radye temeller için farklı oturma sınır değerlerinin üzerinde kalmaktadır.

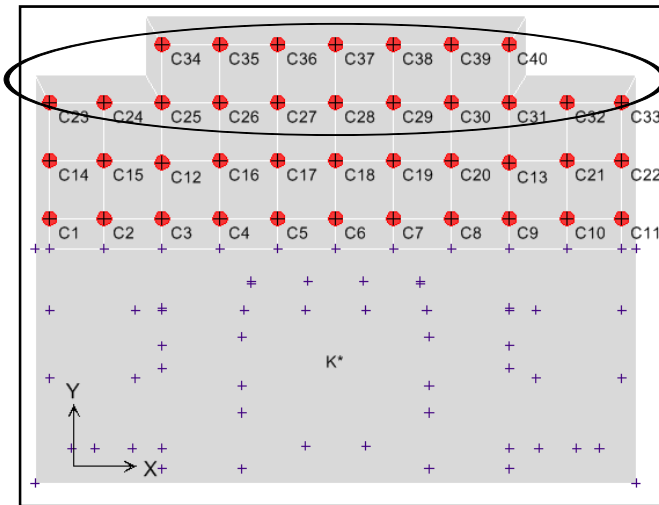
Dolgu biriminin anakaya sınırına olan mesafelerine göre Etabs, Safe ve Midas GTS programlarından elde edilen kazıksız radye temelde oluşan düşey deformasyon değerleri Şekil 5.14’de verilmiştir. Şekil 5.14’de verilen grafikten görülebildiği gibi, Midas GTS çözümlerinden elde edilen düşey deformasyon değerleri, Etabs sonuçlarına göre bir miktar düşük kalmış olsa da, anakaya biriminden uzaklaştıkça artan dolgu yüksekliği nedeni ile radye temelde oluşan artan düşey deplasman davranışının iki program için oldukça yakın olduğu görülmektedir. Safe analiz sonuçlarından bir miktar fazla düşey deformasyon değeri elde edilmiş ve radye temelin deformasyon profili farklı olmuştur. Safe çözümlerinde temelin belirli bir mesafeye kadar anakaya biriminden uzaklaştıkça artan düşey deformasyon değerleri, temelde yükün dağılma davranışının farklı olması nedeniyle artan dolgu yüksekliğine rağmen bir miktar azalmaktadır.



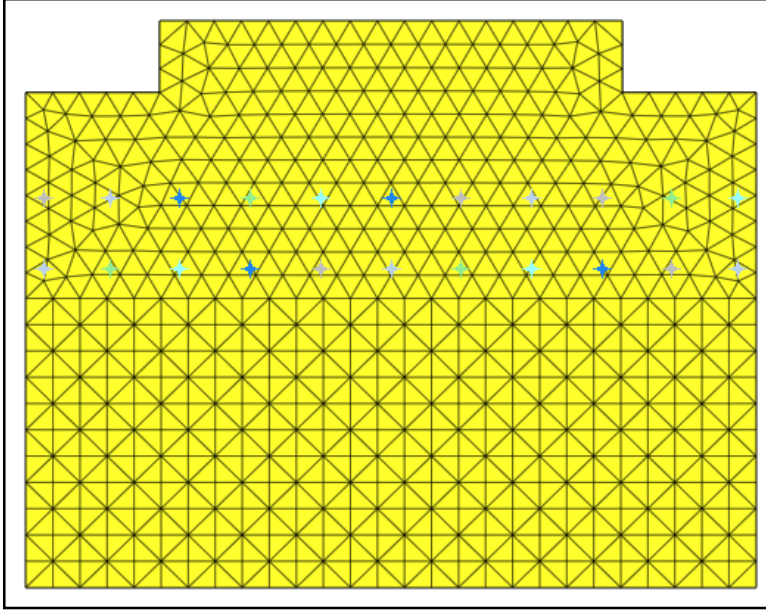
Şekil 5.14. Kazıksız radye temelde dolgu biriminin anakaya sınırına olan mesafelerine göre olan maks. düşey yer değiştirme grafiği (mm)

5.5.2. Model 2 ve model 3 analiz sonuçları

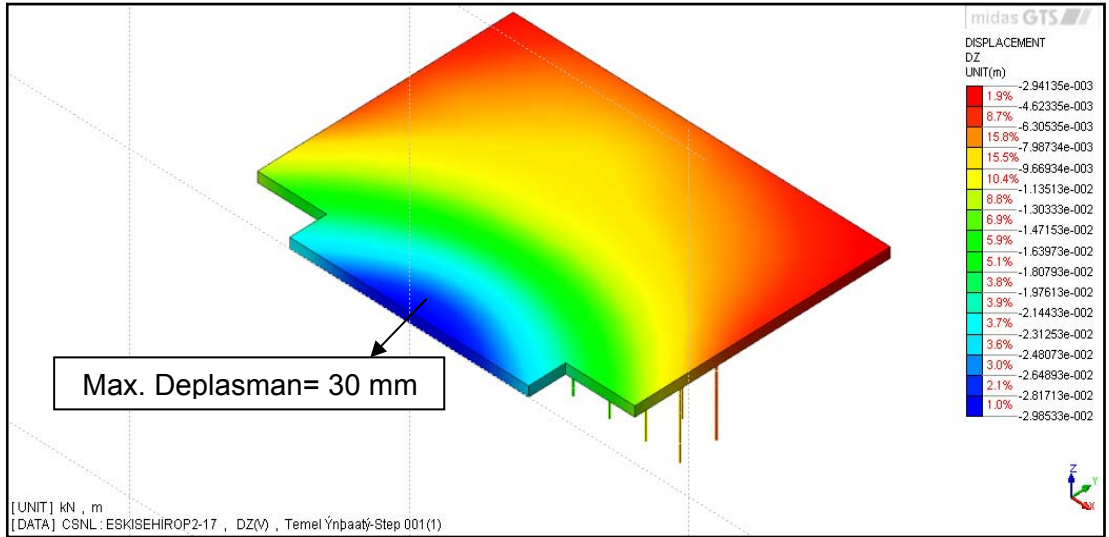
Model 2’de Şekil 5.15 ve 5.16’da gösterilen ilk iki sıra kazık sisteme dahil edilmeden ve aynı yapı yükleri ve zemin koşulları altındaki, radye temelin oturma grafiği ve diğer iki sıradaki kazıklarda oluşan eksenel yük değerlerine bakılmıştır.



Şekil 5.15. Model 2’de iptal edilen kazık numaraları (C23’den C40’a kadar)



Şekil 5.16. Midas GTS model 2 kazık yerleşim planı



Şekil 5.17. Midas GTS model 2'de radye temelde oluşan deplasmanlar

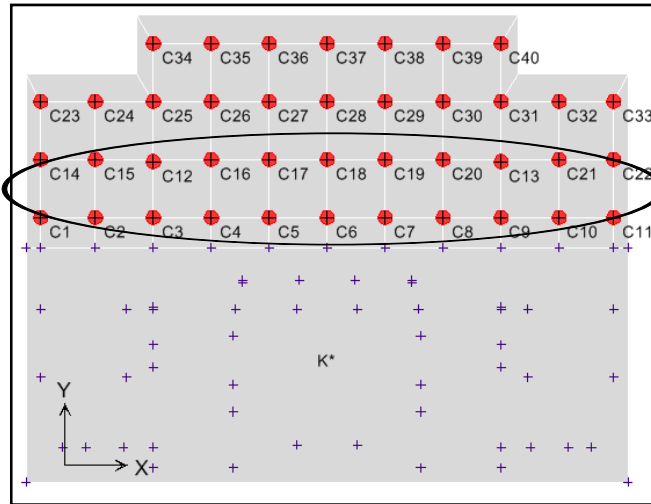
Şekil 5.17'den de anlaşılacağı gibi iptal edilen kazıkların olduğu yerde temel konsol çalıştığı için, deplasman o bölgede maksimum değerini almıştır.

Çizelge 5.7'de ise model 2'ye ait kazıklara gelen yükler verilmiştir. Bu durumda, kazık sayısı ve yerleşimine göre kazıklara gelen yüklerin, geoteknik raporda verilmiş olan kazık taşıma kapasitesi 960 kN'u aştığı görülmektedir.

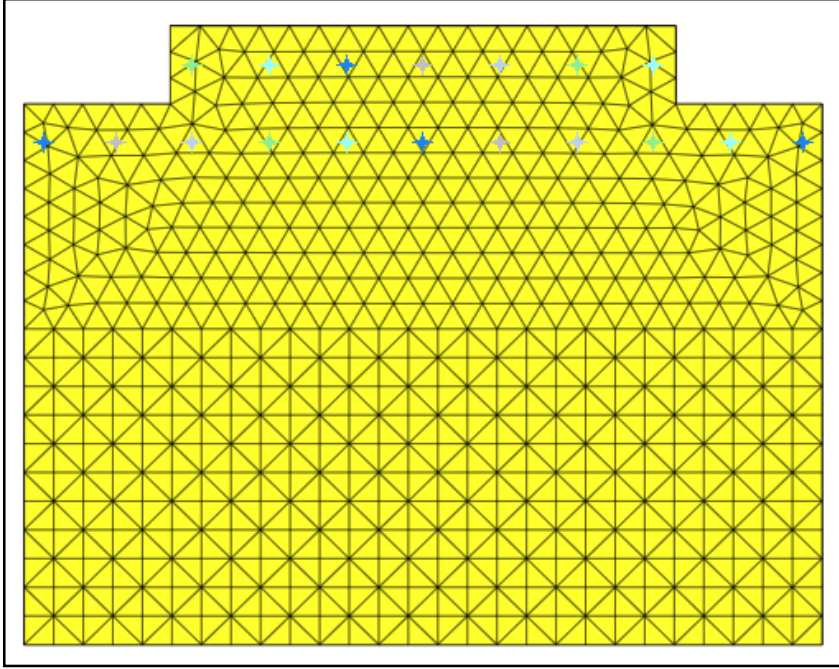
Çizelge 5.7. Model 2 kazık eksenel yükleri (Midas GTS)

Kazık No	Kombinasyon	Yük, P (kN)	Kazık No	Kombinasyon	Yük, P (kN)
C14	1G+1Q	1300,3	C1	1G+1Q	1040,0
C15	1G+1Q	1380,2	C2	1G+1Q	1350,0
C12	1G+1Q	1570,5	C3	1G+1Q	1480,7
C16	1G+1Q	1550,1	C4	1G+1Q	1460,4
C17	1G+1Q	1440,3	C5	1G+1Q	1520,8
C18	1G+1Q	1680,3	C6	1G+1Q	1500,3
C19	1G+1Q	1520,8	C7	1G+1Q	1540,7
C20	1G+1Q	1500,5	C8	1G+1Q	1500,0
C13	1G+1Q	1430,5	C9	1G+1Q	1520,2
C21	1G+1Q	1470,6	C10	1G+1Q	1290,7
C22	1G+1Q	1290,6	C11	1G+1Q	1000,0

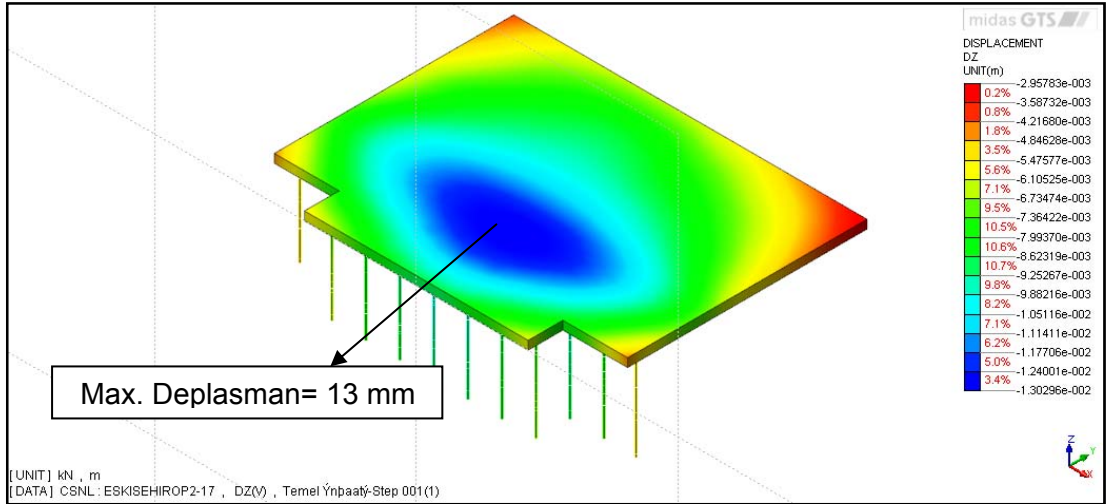
Model 3’de Şekil 5.18 ve 5.19’da gösterilen son iki sıra kazık sisteme dahil edilmeden ve aynı yapı yükleri ve zemin koşulları altındaki, radye temelin oturma grafiği ve diğer iki sıradaki kazıklarda oluşan eksenel yük değerlerine bakılmıştır.



Şekil 5.18. Model 3’de iptal edilen kazık numaraları (C1’den C22’ye kadar)



Şekil 5.19. Midas GTS model 3 kazık yerleşim planı



Şekil 5.20. Midas GTS model 3'de radye temelde oluşan deplasmanlar

Şekil 5.20'de görüldüğü gibi model 3'deki radyede oluşan maksimum deplasman değeri model 2'ye göre biraz daha azalmış ve oturma grafiği iptal edilen kazıkların olduğu yerde oluşmuştur.

Çizelge 5.8'de ise model 3'e ait kazıklara gelen yükler verilmiştir. Yine bu modelde de, kazık sayı ve yerleşimine göre kazıklara gelen yüklerin,

geoteknik raporda verilmiş olan kazık taşıma kapasitesi 960 kN'u aştığı görülmektedir.

Çizelge 5.8. Model 3 kazık eksenel yükleri (Midas GTS)

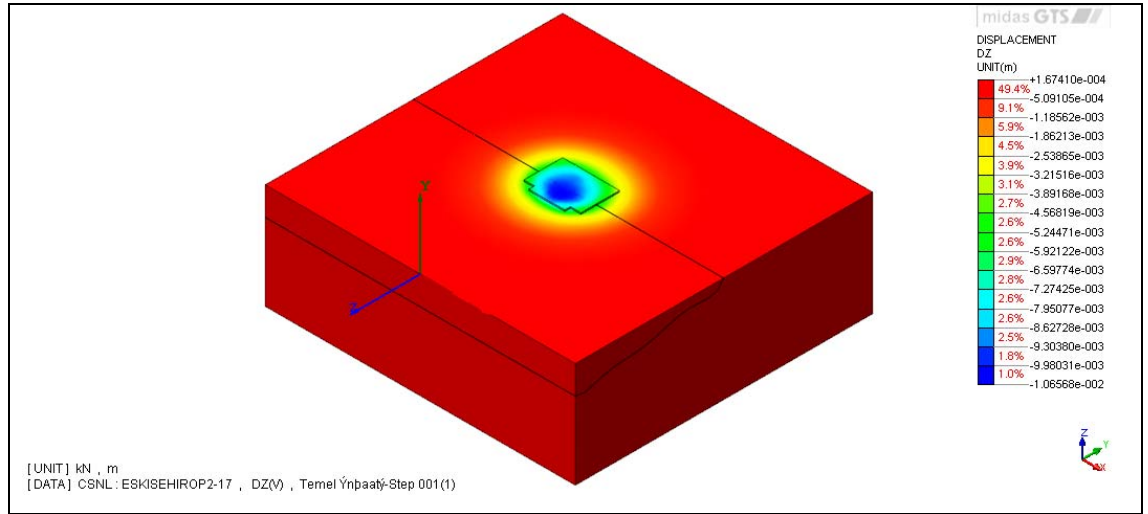
Kazık No	Kombinasyon	Yük, P (kN)	Kazık No	Kombinasyon	Yük, P (kN)
C34	1G+1Q	1360,2	C25	1G+1Q	1610,0
C35	1G+1Q	1380,2	C26	1G+1Q	1900,5
C36	1G+1Q	1530,0	C27	1G+1Q	1750,5
C37	1G+1Q	1550,7	C28	1G+1Q	1750,0
C38	1G+1Q	1560,7	C29	1G+1Q	1750,0
C39	1G+1Q	1230,5	C30	1G+1Q	1810,6
C40	1G+1Q	1310,3	C31	1G+1Q	1470,8
C23	1G+1Q	1170,7	C32	1G+1Q	1290,2
C24	1G+1Q	1430,6	C33	1G+1Q	1130,3

Her iki model için de çıkan sonuçlara göre, radyedeki maksimum oturma değerleri kabul edilebilir sınırlar içinde kalsa dahi (Çizelge 3.5); kazık yükleri geoteknik raporda verilen kazık taşıma kapasitesi olan 960 kN'u aştığından, kazık adetleri ve yerleşiminin, Bölüm 3'de detaylıca anlatılan kazık uygulama projesindeki gibi yapılması gerekliliğini ortaya koymuştur.

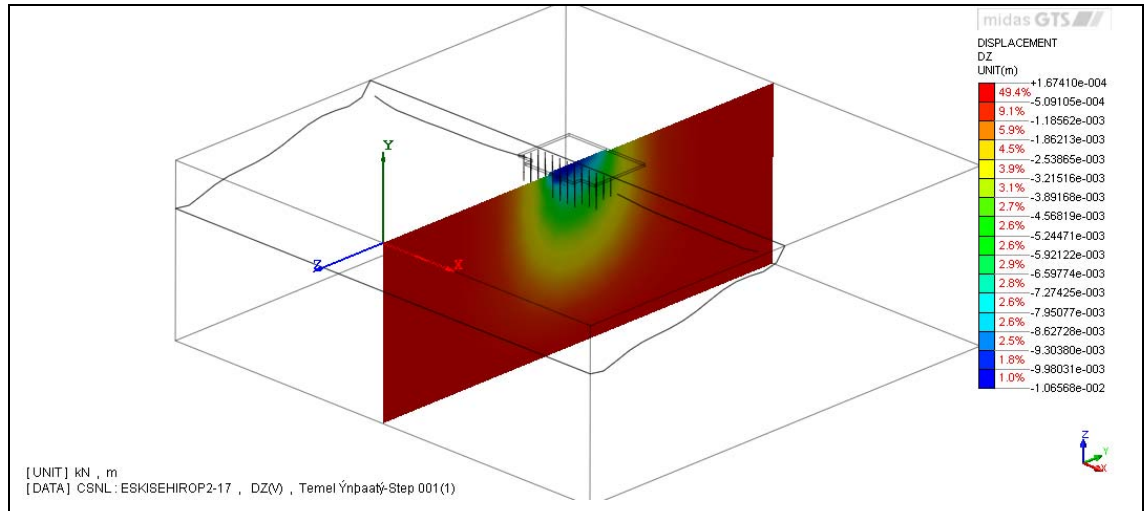
5.5.3. Model 4 analiz sonuçları

Sistem incelenen uygulama projesindeki kazık sayısı ve yerlerine uygun olarak ve aynı zemin parametreleri kullanılarak kazıklı şekilde modellenmiştir. Kazık çap, boy ve sayısı ile kazık aralıkları Bölüm 3'de anlatıldığı gibidir. Model analiz sonucunda, radye temelde oluşan maksimum deplasmanlar, deformasyon grafikleri ile kazıklara gelen yükler ve kazıklarda oluşan maksimum moment, kesme kuvveti ve deformasyonlar incelenmiştir.

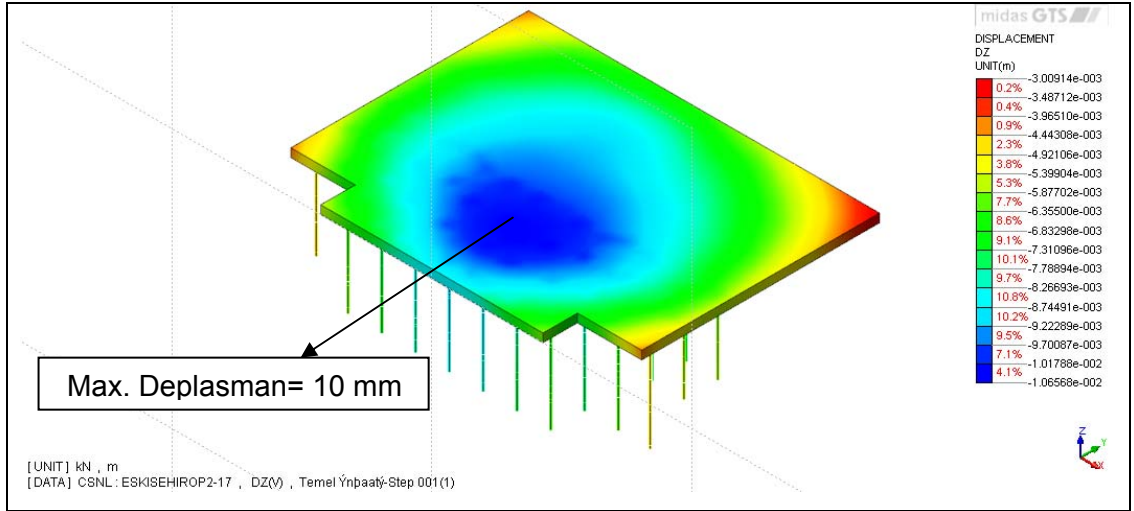
Radye temelde oluşan maksimum deplasman değerleri ve grafikleri Şekil 5.21, Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'de gösterilmiştir. Şekillerde gösterilen değerlere göre çıkan maksimum deplasman değerleri, 10 mm civarındadır. Grafiklerden de anlaşıldığı gibi kazıkların tasarımı ile radye temeldeki oturma, iki ayrı temelin birlikte hareket etmesini sağlamış ve deplasman grafiği ortaya yayılmıştır.



Şekil 5.21. Midas GTS 3d modeli zemin ve temelde oluşan deplasmanlar



Şekil 5.22. Kazıklı radye temel-zemin sistem kesiti deformasyonu ve deplasman değerleri



Şekil 5.23. Midas GTS model kazıklı radye temelde oluşan deplasmanlar

Bölüm 4’de verilen Şekil 4.11’deki Safe programı kazıklı radye temel deformasyon grafiği, Şekil 5.23 Midas programında oluşan deformasyon grafiğine göre temel davranışında farklılık gözlenmiştir.

Şekil 4.11’de temelin dolguya oturan bölümü; yani kazıklarla taşınan tarafı daha çok oturma yapmıştır. Ve bu oturma sadece dolgu bölümünde üniform bir dağılım göstermektedir. Deplasman değeri çok küçük mertebede (6 mm) olduğu için farklı oturma göz ardı edilebilir derecededir.

Şekil 5.23’de ise, maksimum deplasman temelin dolgu bölümünde orta kısımlarda oluşmuştur. Ancak deplasman grafiği temelin orta kısımlarında üniform bir dağılım göstermiştir. Burada grafikten de görüldüğü gibi, oturmayı azaltıcı elemanlar olarak kullanılan kazıkların tasarımının uygunluğu, temelin farklı oturma yapmaması, yani beraber hareket etmesi ile anlaşılmaktadır.

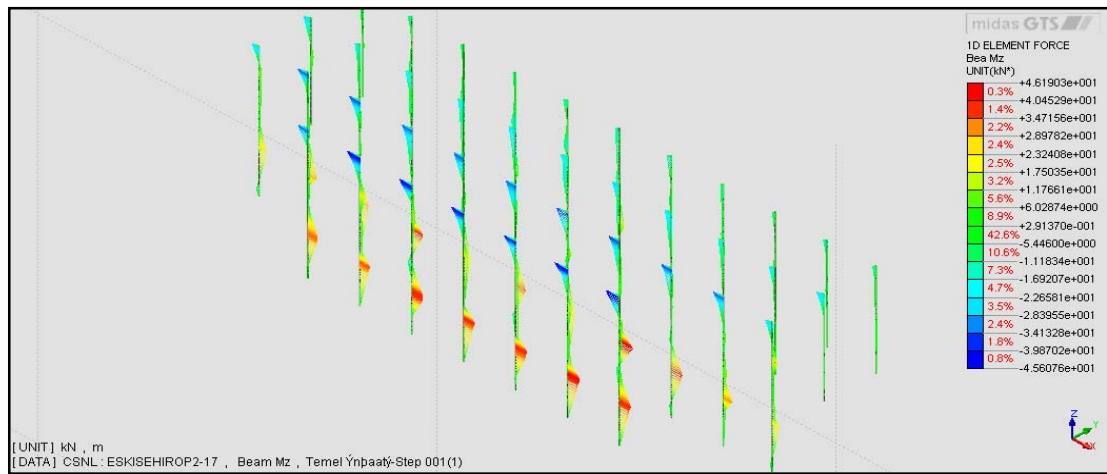
Kazık aksenal yüklerine ait tablo Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Model 4 kazık eksenel yükleri (Midas GTS)

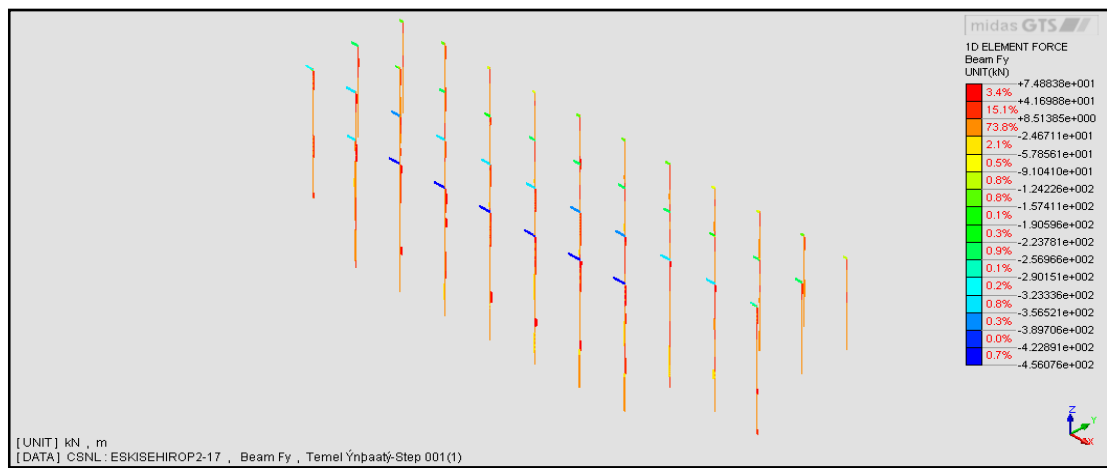
Kazık No	Kombinasyon	Yük, P (kN)	Kazık No	Kombinasyon	Yük, P (kN)
C34	1G+1Q	760,7	C12	1G+1Q	770,4
C35	1G+1Q	870,8	C16	1G+1Q	730,3
C36	1G+1Q	840,2	C17	1G+1Q	730,5
C37	1G+1Q	830,8	C18	1G+1Q	710,0
C38	1G+1Q	780,3	C19	1G+1Q	730,0
C39	1G+1Q	890,3	C20	1G+1Q	740,6
C40	1G+1Q	790,4	C13	1G+1Q	700,0
C23	1G+1Q	710,7	C21	1G+1Q	620,8
C24	1G+1Q	770,8	C22	1G+1Q	620,2
C25	1G+1Q	860,7	C1	1G+1Q	660,4
C26	1G+1Q	920,8	C2	1G+1Q	750,6
C27	1G+1Q	950,0	C3	1G+1Q	750,4
C28	1G+1Q	770,3	C4	1G+1Q	870,7
C29	1G+1Q	840,7	C5	1G+1Q	840,9
C30	1G+1Q	810,4	C6	1G+1Q	910,6
C31	1G+1Q	870,2	C7	1G+1Q	870,8
C32	1G+1Q	780,2	C8	1G+1Q	870,0
C33	1G+1Q	760,2	C9	1G+1Q	830,2
C14	1G+1Q	610,0	C10	1G+1Q	780,0
C15	1G+1Q	720,3	C11	1G+1Q	690,0

Midas GTS sonlu elemanlar programına göre kazığa gelen maksimum yük 950 kN olurken; minimum yük 610 kN olmaktadır. Bu değerler, geoteknik raporda belirtilen kazıkların taşıyabileceği maksimum yük olan, 960 kN değerinin altında kalmaktadır.

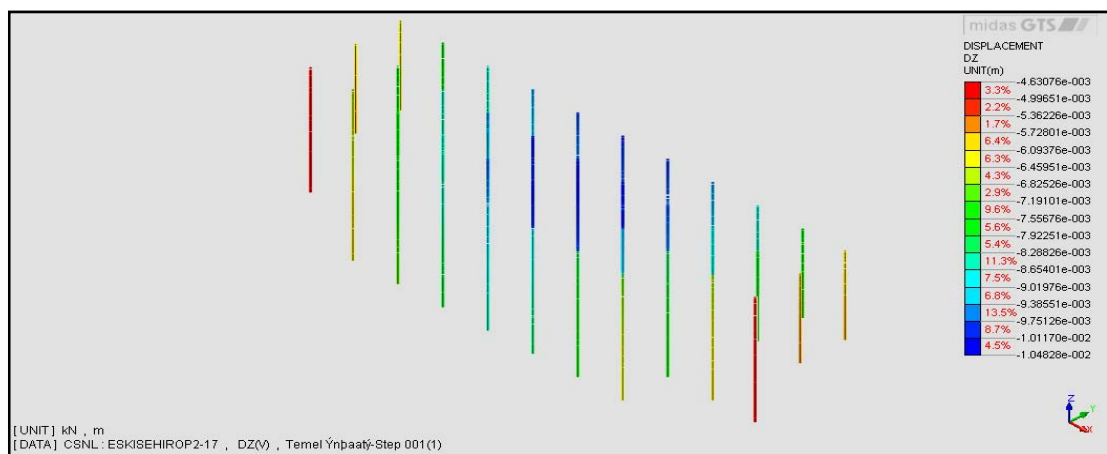
Kazıklarda oluşan maksimum moment, kesme kuvveti ve deformasyonlar Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da gösterilmiştir.



Şekil 5.24. Midas GTS model kazıklarda oluşan maksimum moment



Şekil 5.25. Midas GTS model kazıklarda oluşan maksimum kesme kuvveti



Şekil 5.26. Midas GTS model kazıklarda oluşan deplasmanlar

Model 4 kazıklı radye temel analiz sonuçlarına göre kazıklarda oluşan yükler, maksimum moment, kesme kuvveti ve deplasmanlar özet tablosu Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Midas GTS kazık kesit tesirleri

Maksimum kazık yükleri [kN]	950
Maksimum moment [kNm/m]	46,2
Maksimum kesme kuvveti [kN/m]	41,7
Maksimum deplasman [mm]	10,5

Düşey yükler altında binadan temele aktarılan toplam yük; 69 200 kN'dur. Kazıklara gelen toplam eksenel yük ise 31 460 kN bulunmuştur. Radyenin taşıdığı yükün ise 37 740 kN olduğu görülmektedir. Bu da kazıkların, gelen toplam yükün yaklaşık %46'sını taşıdığını göstermektedir. Radyenin tamamı ise gelen yükün yaklaşık olarak %54'ünü taşımaktadır.

6. HOMOJEN BİR TEMEL DAVRANIŞININ TEK TABAKALI ZEMİN KOŞULLARI ALTINDA İNCELENMESİ

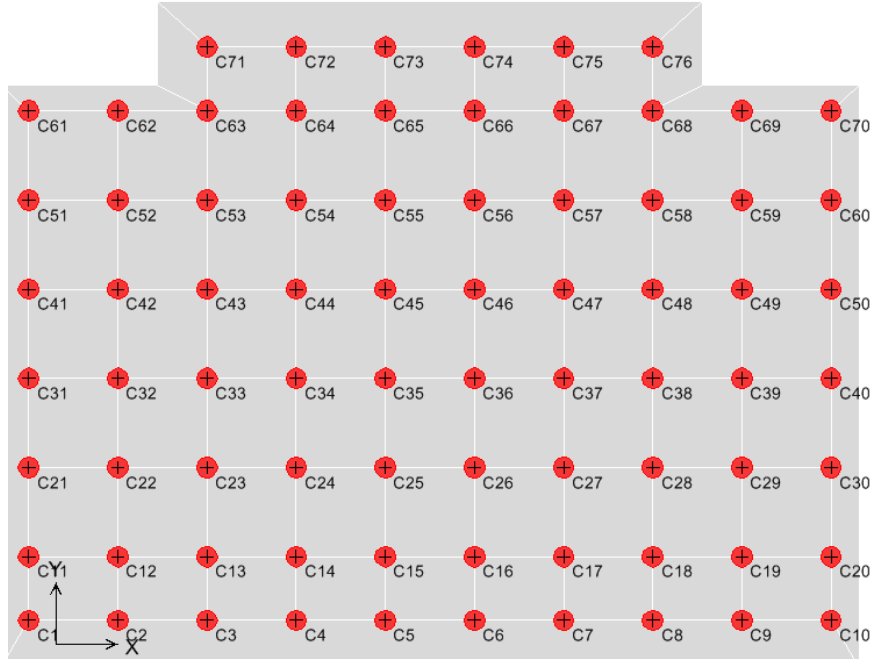
Bölüm 3’de detayları verilen Eskişehir İli Odunpazarı İlçesinde bulunan OP2.17 yapısına ait geoteknik rapor bilgileri doğrultusunda benzer bir temelin, homojen zemin koşulları altındaki davranışı incelenmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Bu amaç doğrultusunda derin temel sisteminde kullanılan 0,65 m çapında fore kazıklar için, güvenlik katsayısı (GS) 4 alınarak hesaplanan ve geoteknik raporda belirtilen 960 kN kazık tasarım yüküne göre kazık sayısı hesaplanmıştır.

Üst yapıdan zemine aktarılacak yük temel ağırlığı dahil olmak üzere 69200 kN'dur. Tasarıma esas emniyetli kazık taşıma kapasitesi 960 kN olmak üzere $69200 \text{ kN} / 960 \text{ kN} = 72$ adet kazık öngörülmüştür. Nihai kazık yerleşimi, temel yerleşim planı göz önüne alınarak 76 adet kazık ile tamamlanmıştır.

960 kN taşıma kapasitesine sahip fore kazık elemanları, üst yapı yükleri göz önüne alınarak 2,80 m x 2,80 m karelajlarla kazık yerleşim planı oluşturulmuştur. Kazık yerleşim planı Şekil 6.1’de gösterilmiştir.

Bu bölümde aynı yapı altında homojen bir temel davranışının tek tabakalı zemin koşulları içerisinde incelenmesi amaçlanmıştır. Radye temelin 20 m dolguya oturduğu düşünülerek, fore kazık boyları ana kayaya 2 m soketlenecek şekilde 22 m olarak seçilmiştir. Bu kapsamda yukarıda tanımlanan yapı ve derin temel sistemi Etabs, Safe ve Midas GTS programları ile analiz edilmiştir.



Şekil 6.1. Kazık yerleşim planı

6.1. Etabs ve Safe Modeli Analiz Sonuçları

Etabs ve Safe sonlu elemanlar programlarında, yapı yükleri ve temel ağırlığı altında ve Şekil 6.1’de verilen kazık yerleşim planına göre yapılan model analiz sonucunda oluşan temel deformasyonları, kazık deplasmanları ve kazık eksenel yükleri incelenmiştir.

Safe’de radye temelde oluşan düşey deformasyon grafiği Şekil 6.2’de, kazıklara ait uç nokta isimleri ve plandaki yerleri Şekil 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.1’de kazık uç noktalarında oluşan deplasmanlar görülmektedir.

Çizelge 6.1. Kazıklarda oluşan düşey deplasman değerleri (Etabs)

Kazık Nokta No	Komb.	Düşey Dep. Uz (mm)	Kazık Nokta No	Komb.	Düşey Dep. Uz (mm)	Kazık Nokta No	Komb.	Düşey Dep. Uz (mm)
233	1G1Q	6,10	128	1G1Q	5,80	331	1G1Q	5,70
191	1G1Q	6,00	131	1G1Q	5,80	332	1G1Q	5,70
192	1G1Q	6,00	132	1G1Q	5,80	28	1G1Q	5,60
230	1G1Q	6,00	133	1G1Q	5,80	29	1G1Q	5,60
234	1G1Q	6,00	185	1G1Q	5,80	30	1G1Q	5,60
235	1G1Q	6,00	189	1G1Q	5,80	31	1G1Q	5,60
280	1G1Q	6,00	194	1G1Q	5,80	32	1G1Q	5,60
129	1G1Q	5,90	227	1G1Q	5,80	77	1G1Q	5,60
130	1G1Q	5,90	231	1G1Q	5,80	78	1G1Q	5,60
186	1G1Q	5,90	232	1G1Q	5,80	82	1G1Q	5,60
187	1G1Q	5,90	236	1G1Q	5,80	125	1G1Q	5,60
188	1G1Q	5,90	276	1G1Q	5,80	134	1G1Q	5,60
190	1G1Q	5,90	277	1G1Q	5,80	284	1G1Q	5,60
193	1G1Q	5,90	283	1G1Q	5,80	300	1G1Q	5,60
228	1G1Q	5,90	301	1G1Q	5,80	27	1G1Q	5,50
229	1G1Q	5,90	302	1G1Q	5,80	83	1G1Q	5,50
278	1G1Q	5,90	305	1G1Q	5,80	275	1G1Q	5,50
279	1G1Q	5,90	306	1G1Q	5,80	76	1G1Q	5,40
281	1G1Q	5,90	333	1G1Q	5,80	26	1G1Q	5,30
282	1G1Q	5,90	334	1G1Q	5,80	33	1G1Q	5,30
303	1G1Q	5,90	335	1G1Q	5,80	75	1G1Q	5,00
304	1G1Q	5,90	336	1G1Q	5,80	84	1G1Q	5,00
79	1G1Q	5,80	81	1G1Q	5,70	299	1G1Q	4,90
80	1G1Q	5,80	126	1G1Q	5,70	308	1G1Q	4,90
127	1G1Q	5,80	307	1G1Q	5,70	25	1G1Q	4,50

Çizelge 6.1’de kazıkların kayaya soketlendiği noktalardaki deplasman değerleri verilmiştir. Deplasman değerlerinin temelin orta kısımlarında yer alan kazıklarda maksimum olduğu görülmektedir. Genel olarak değerlendirilecek olursa kazıklarda oluşan düşey deplasmanlar birbirine çok yakın değerler almıştır. Bu da temelin homojen bir dağılım sergilediğini göstermektedir. Çizelge 6.2’de ise kazıkların radye temel birleşim noktalarındaki deplasmanları verilmiştir.

Çizelge 6.2. Kazıkların temel birleşim noktalarındaki düşey deplasmanları

Kazık Nokta No	Komb.	Düşey Dep. Uz (mm)	Kazık Nokta No	Komb.	Düşey Dep. Uz (mm)	Kazık Nokta No	Komb.	Düşey Dep. Uz (mm)
233	1G1Q	8,60	277	1G1Q	8,30	30	1G1Q	8,00
191	1G1Q	8,50	278	1G1Q	8,30	31	1G1Q	8,00
230	1G1Q	8,50	283	1G1Q	8,30	78	1G1Q	8,00
234	1G1Q	8,50	334	1G1Q	8,30	81	1G1Q	8,00
235	1G1Q	8,50	79	1G1Q	8,20	300	1G1Q	8,00
130	1G1Q	8,40	80	1G1Q	8,20	307	1G1Q	8,00
186	1G1Q	8,40	127	1G1Q	8,20	28	1G1Q	7,90
187	1G1Q	8,40	128	1G1Q	8,20	29	1G1Q	7,90
188	1G1Q	8,40	132	1G1Q	8,20	32	1G1Q	7,90
190	1G1Q	8,40	133	1G1Q	8,20	77	1G1Q	7,90
192	1G1Q	8,40	185	1G1Q	8,20	82	1G1Q	7,90
193	1G1Q	8,40	194	1G1Q	8,20	125	1G1Q	7,90
228	1G1Q	8,40	227	1G1Q	8,20	134	1G1Q	7,90
229	1G1Q	8,40	231	1G1Q	8,20	284	1G1Q	7,90
279	1G1Q	8,40	276	1G1Q	8,20	27	1G1Q	7,80
280	1G1Q	8,40	301	1G1Q	8,20	275	1G1Q	7,80
281	1G1Q	8,40	302	1G1Q	8,20	76	1G1Q	7,70
282	1G1Q	8,40	305	1G1Q	8,20	83	1G1Q	7,70
303	1G1Q	8,40	306	1G1Q	8,20	26	1G1Q	7,50
304	1G1Q	8,40	333	1G1Q	8,20	33	1G1Q	7,50
129	1G1Q	8,30	335	1G1Q	8,20	84	1G1Q	7,10
131	1G1Q	8,30	336	1G1Q	8,20	75	1G1Q	7,00
189	1G1Q	8,30	126	1G1Q	8,10	308	1G1Q	7,00
232	1G1Q	8,30	331	1G1Q	8,10	299	1G1Q	6,90
236	1G1Q	8,30	332	1G1Q	8,10	25	1G1Q	6,40

Çizelge 6.2’de tablo halinde verildiği gibi kazıkların üst noktalarında ve buna bağlı olarak radye temelde oluşan maksimum deplasmanın 8,60 mm olduğu görülmektedir. Bu da yapı yükünün daha fazla olduğu, orta kısımlarda bulunan kazıklarda oluşmaktadır.

Çizelge 6.3’de düşey yükler altında kazıklara gelen eksenel yükler tablo halinde verilmiştir. Bu durumda kazıklara gelen maksimum eksenel yük 980 kN bulunmuştur. Bu değer kazık taşıma kapasitesi olan 960 kN değerine göre kabul edilebilir bir değerdir.

Çizelge 6.3. Etabs kazık eksenel yükleri

Kazık No	Komb.	Yük, P (kN)	Kazık No	Komb.	Yük, P (ton)	Kazık No	Komb.	Yük, P (kN)
C47	1G1Q	980,14	C27	1G1Q	930,93	C17	1G1Q	900,46
C37	1G1Q	970,28	C35	1G1Q	930,85	C69	1G1Q	900,36
C48	1G1Q	970,12	C50	1G1Q	930,68	C7	1G1Q	890,72
C49	1G1Q	960,56	C59	1G1Q	930,52	C6	1G1Q	890,70
C44	1G1Q	960,29	C67	1G1Q	930,46	C14	1G1Q	890,66
C38	1G1Q	960,08	C73	1G1Q	930,44	C62	1G1Q	890,57
C56	1G1Q	950,99	C68	1G1Q	930,21	C30	1G1Q	890,51
C43	1G1Q	950,86	C40	1G1Q	930,10	C5	1G1Q	890,29
C39	1G1Q	950,8	C28	1G1Q	930,09	C18	1G1Q	890,16
C34	1G1Q	950,58	C24	1G1Q	920,91	C21	1G1Q	890,04
C66	1G1Q	950,56	C16	1G1Q	920,88	C4	1G1Q	880,97
C42	1G1Q	950,55	C41	1G1Q	920,88	C60	1G1Q	880,53
C57	1G1Q	950,51	C75	1G1Q	920,88	C8	1G1Q	880,49
C58	1G1Q	950,14	C45	1G1Q	920,76	C13	1G1Q	880,45
C36	1G1Q	950,12	C29	1G1Q	920,7	C51	1G1Q	870,92
C55	1G1Q	950,12	C52	1G1Q	920,69	C3	1G1Q	870,81
C65	1G1Q	940,96	C64	1G1Q	920,42	C19	1G1Q	860,59
C33	1G1Q	940,93	C15	1G1Q	920,41	C12	1G1Q	860,06
C32	1G1Q	940,9	C76	1G1Q	920,41	C9	1G1Q	830,61
C26	1G1Q	940,87	C31	1G1Q	920,39	C2	1G1Q	830,11
C25	1G1Q	940,25	C23	1G1Q	920,21	C20	1G1Q	770,83
C54	1G1Q	940,16	C63	1G1Q	920,21	C11	1G1Q	770,52
C53	1G1Q	940,06	C22	1G1Q	920,04	C70	1G1Q	760,43
C46	1G1Q	940,04	C72	1G1Q	910,86	C61	1G1Q	750,97
C74	1G1Q	930,98	C71	1G1Q	910,41	C10	1G1Q	680,81

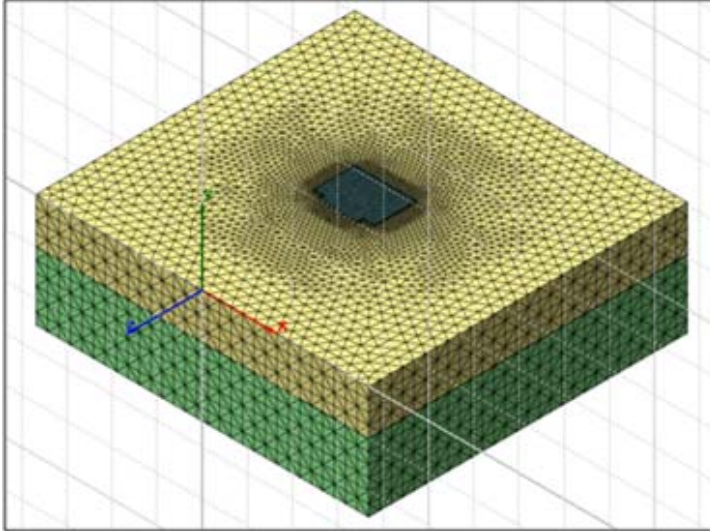
Düşey yükler altında Etabs'ta üst yapıdan kazıklara aktarılan toplam yük temel ağırlığı dahil 69 200 kN'dur. Kazıklara gelen eksenel yüklerin toplamı da 69 200 kN bulunmuştur.

Derin temel sisteminin anakayaya soketli uç kazık elemanlarıyla oluşmasından dolayı, tüm üst yapı yüklerinin rijit kazık elemanları ile taşınacağı tasarım prensibi, alınan sonuçlarla paraleldir. Uç kazık elemanları ile oluşturulan derin temel sisteminin tasarım kabulü olarak; üst yapı yüklerinin tamamını karşılayacağı gerçeği, etabs programından alınan kazık eksenel yük toplamalarının 69 200 kN olduğu ile görülmektedir.

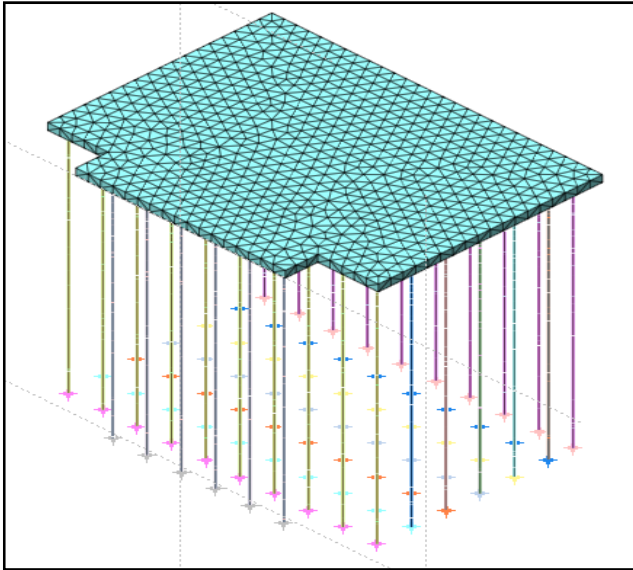
6.2. Midas GTS Modeli Analiz Sonuçları

Bölüm 5'te yer alan Çizelge 5.6'da verilmiş olan zemin tabakalarına ait malzeme parametrelerine göre, yapı temeli aynı kazık yerleşim sistemi ile üst yapı yükü altında ve 20 m dolgu tabakası üzerinde Midas GTS programında modellenmiştir.

Midas GTS yapı-zemin modeli Şekil 6.4'de, radye temel ve kazıkların plandaki görünümü Şekil 6.5'de verilmiştir.



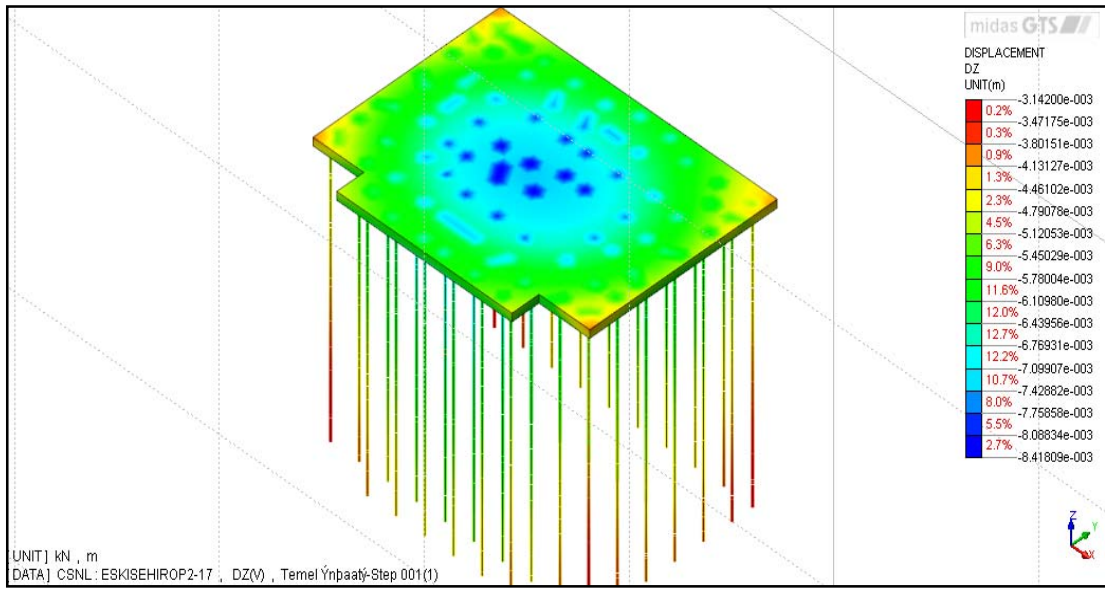
Şekil 6.4. Midas GTS yapı-zemin modeli



Şekil 6.5. Midas GTS radye temel ve kazık yerleşim planı

Midas GTS programıyla yapılan model analiz sonuçlarına göre oluşan temel deformasyonları, kazık deplasmanları ve kazık eksenel yükleri incelenmiştir.

Radye temelde meydana gelen oturmalar ve buna bağlı olarak oluşan deplasman grafiği Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6. Midas GTS radye temel deformasyon grafiği

Radye temelde maksimum oturma, yapı yükünün daha fazla olduğu radye temelin orta bölgelerinde oluşmuş ve yaklaşık 8,50 mm çıkmıştır. Kazıklarda oluşan maksimum deplasman, kazık elemanlarının uç kazığı olarak çalışmasından dolayı radye temelde hesaplanan oturma miktarı mertebelerinde olup 8,30 mm olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 6.4'de düşey yükler altında kazıklara gelen eksenel yükler tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 6.4. Midas GTS kazık eksenel yükleri

Kazık No	Komb.	Yük, P (kN)	Kazık No	Komb.	Yük, P (ton)	Kazık No	Komb.	Yük, P (kN)
C1	1G1Q	741	C26	1G1Q	832	C51	1G1Q	706
C2	1G1Q	815	C27	1G1Q	784	C52	1G1Q	706
C3	1G1Q	952	C28	1G1Q	784	C53	1G1Q	762
C4	1G1Q	958	C29	1G1Q	784	C54	1G1Q	828
C5	1G1Q	958	C30	1G1Q	784	C55	1G1Q	828
C6	1G1Q	952	C31	1G1Q	789	C56	1G1Q	828
C7	1G1Q	952	C32	1G1Q	789	C57	1G1Q	828
C8	1G1Q	952	C33	1G1Q	867	C58	1G1Q	828
C9	1G1Q	815	C34	1G1Q	789	C59	1G1Q	792
C10	1G1Q	741	C35	1G1Q	887	C60	1G1Q	828
C11	1G1Q	839	C36	1G1Q	887	C61	1G1Q	755
C12	1G1Q	839	C37	1G1Q	887	C62	1G1Q	797
C13	1G1Q	839	C38	1G1Q	887	C63	1G1Q	797
C14	1G1Q	839	C39	1G1Q	789	C64	1G1Q	797
C15	1G1Q	839	C40	1G1Q	789	C65	1G1Q	797
C16	1G1Q	839	C41	1G1Q	786	C66	1G1Q	797
C17	1G1Q	839	C42	1G1Q	786	C67	1G1Q	797
C18	1G1Q	839	C43	1G1Q	941	C68	1G1Q	797
C19	1G1Q	839	C44	1G1Q	952	C69	1G1Q	716
C20	1G1Q	839	C45	1G1Q	952	C70	1G1Q	716
C21	1G1Q	764	C46	1G1Q	952	C71	1G1Q	876
C22	1G1Q	764	C47	1G1Q	966	C72	1G1Q	876
C23	1G1Q	832	C48	1G1Q	952	C73	1G1Q	876
C24	1G1Q	832	C59	1G1Q	826	C74	1G1Q	876
C25	1G1Q	832	C50	1G1Q	706	C75,C76	1G1Q	876

Düşey yükler altında binadan temele aktarılan toplam yük 69 200 kN'dur. Zeminin modellenebildiği Midas GTS yazılımında kazıklara gelen toplam eksenel yük yaklaşık olarak 63 350 kN bulunmuştur. Geriye kalan 5 850 kN'u ise zeminin taşıdığı görülmektedir. Radye temel gelen yükün yaklaşık olarak %9'unu taşımaktadır.

6.3. Zemin Mukavemet Parametrelerindeki Değişimin Derin Temel Davranışına Olan Etkileri

Bölüm 6.1 ve Bölüm 6.2'de 20 m dolgu altında Etabs ve Midas GTS programları ile çözümü yapılan homojen derin temel sisteminin farklı zemin mukavemet değerleri altındaki davranışı, sadece Midas GTS programı kullanılarak irdelenmiştir. Zemin mukavemet parametrelerinin veri girişi olarak kullanılmadığı ve zemin elemanlarının sadece yaylarla modellenemediği Etabs ve Safe programından faydalanılmamıştır.

Temel sisteminin soketlendiği anakaya parametreleri sabit tutularak, radye temelin oturduğu dolgu birimine ait değişken elastisite modülü, kohezyon ve içsel sürtünme açıları kullanılarak farklı analizler yapılmıştır. Zemin mukavemet parametrelerindeki değişim ile derin temel sistemindeki kazık elemanlarının eksenel yükleri, temelde oluşan düşey deformasyon ve radye temelin taşıdığı yük yüzdeleri değerlendirilmiştir. Bu kapsamda Çizelge 6.5, Çizelge 6.9 ve Çizelge 6.11'de verilen analiz parametreleri kullanılarak yedi farklı analiz gerçekleştirilmiştir.

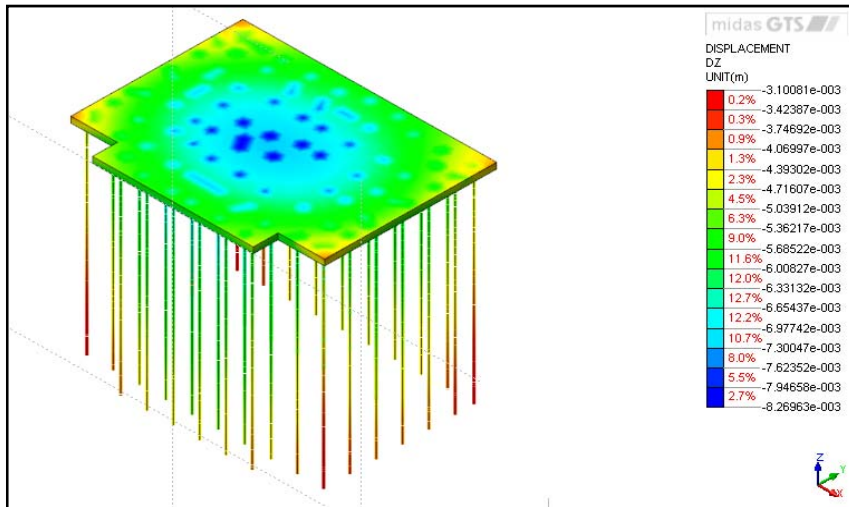
Gerçekleştirilen analizler içerisinde Çizelge 6.4'de verilen Model-1, Model-2 ve Model-3 olarak tanımlanan çalışmalarda, anakaya malzemesine ait mukavemet parametreleri sabit tutulmuştur. Dolgu malzemesine ait mukavemet parametrelerinden kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) sabit tutularak, elastisite modülündeki değişimin derin temel sistemi üzerine etkisi incelenmiştir.

Çizelge 6.5. Model-1, Model-2 ve Model-3 zemin parametreleri

	Model-1		Model-2		Model-3	
	Dolgu	Kiltaşı	Dolgu	Kiltaşı	Dolgu	Kiltaşı
Malzeme modeli	MC	MC	MC	MC	MC	MC
E, [kN/m ²]	14 000	350 000	35 000	350 000	50 000	350 000
ν ,	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
γ_n , [kN/m ³]	20	22	20	22	20	22
γ_d , [kN/m ³]	20	22	20	22	20	22
c, [kN/m ²]	10	40	10	40	10	40
ϕ , [°]	25	28	25	28	25	28

Gerçek zemin mukavemet değerleri kullanılarak Midas GTS programı ile analizi yapılan ve Bölüm 6.2’de sunulan mevcut analizde 7 000 kN/m² olarak verilen elastisite modülü değeri Model-1, Model-2 ve Model-3 olarak tanımlanan analizlerde sırasıyla 14 000 kN/m², 35 000 kN/m², 50 000 kN/m² olarak alınmış ve analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Model-1’de oluşan deformasyon grafiği Şekil 6.7’de, kazık eksenel yükleri ise Çizelge 6.6’da görülmektedir.



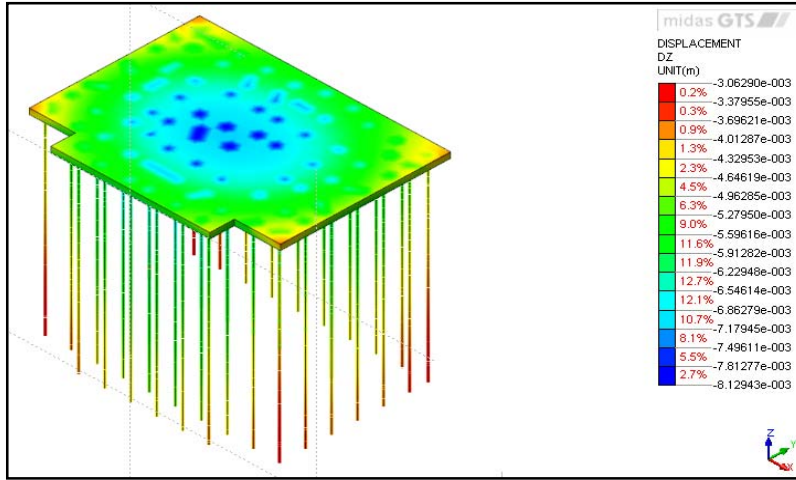
Şekil 6.7. Midas GTS Model-1 radye temel deformasyon grafiği

Çizelge 6.6. Model-1 kazık eksenel yükleri

Kazık No	Komb.	Yük, P (kN)	Kazık No	Komb.	Yük, P (ton)	Kazık No	Komb.	Yük, P (kN)
C1	1G1Q	828	C26	1G1Q	890	C51	1G1Q	705
C2	1G1Q	935	C27	1G1Q	752	C52	1G1Q	680
C3	1G1Q	930	C28	1G1Q	890	C53	1G1Q	745
C4	1G1Q	945	C29	1G1Q	752	C54	1G1Q	809
C5	1G1Q	930	C30	1G1Q	752	C55	1G1Q	745
C6	1G1Q	930	C31	1G1Q	760	C56	1G1Q	745
C7	1G1Q	930	C32	1G1Q	750	C57	1G1Q	680
C8	1G1Q	930	C33	1G1Q	836	C58	1G1Q	810
C9	1G1Q	800	C34	1G1Q	760	C59	1G1Q	745
C10	1G1Q	790	C35	1G1Q	846	C60	1G1Q	680
C11	1G1Q	750	C36	1G1Q	846	C61	1G1Q	657
C12	1G1Q	750	C37	1G1Q	846	C62	1G1Q	589
C13	1G1Q	750	C38	1G1Q	846	C63	1G1Q	626
C14	1G1Q	750	C39	1G1Q	760	C64	1G1Q	589
C15	1G1Q	750	C40	1G1Q	846	C65	1G1Q	657
C16	1G1Q	750	C41	1G1Q	749	C66	1G1Q	657
C17	1G1Q	750	C42	1G1Q	884	C67	1G1Q	693
C18	1G1Q	750	C43	1G1Q	816	C68	1G1Q	693
C19	1G1Q	750	C44	1G1Q	890	C69	1G1Q	657
C20	1G1Q	750	C45	1G1Q	890	C70	1G1Q	853
C21	1G1Q	890	C46	1G1Q	890	C71	1G1Q	853
C22	1G1Q	890	C47	1G1Q	890	C72	1G1Q	853
C23	1G1Q	890	C48	1G1Q	890	C73	1G1Q	855
C24	1G1Q	890	C49	1G1Q	892	C74	1G1Q	855
C25	1G1Q	890	C50	1G1Q	779	C75,C76	1G1Q	855

Model-2’de analiz sonucu elde edilen deformasyon grafiği Şekil 6.8’de, kazık eksenel yükleri ise Çizelge 6.7’de verilmiştir.

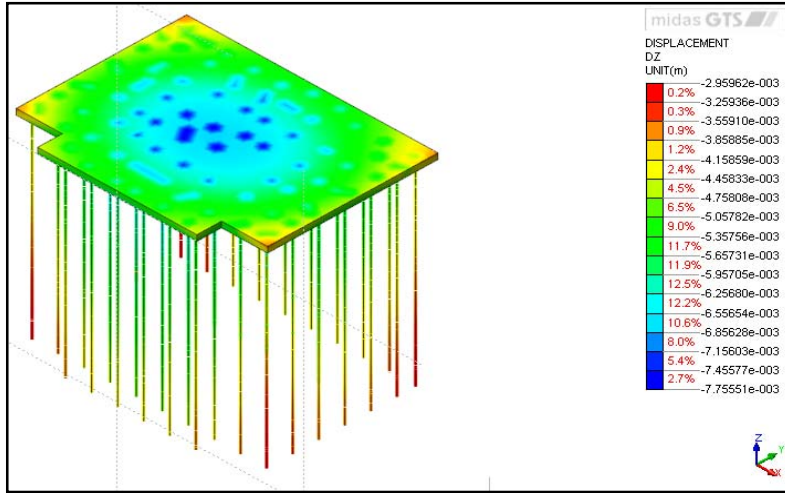
Model-3’de analiz sonucu elde edilen deformasyon grafiği Şekil 6.9’da, kazık eksenel yükleri ise Çizelge 6.8’de verilmiştir.



Şekil 6.8. Midas GTS Model-2 radye temel deformasyon grafiği

Çizelge 6.7. Model 2 kazık eksenel yükleri

Kazık No	Komb.	Yük, P (kN)	Kazık No	Komb.	Yük, P (ton)	Kazık No	Komb.	Yük, P (kN)
C1	1G1Q	712	C26	1G1Q	805	C51	1G1Q	656
C2	1G1Q	878	C27	1G1Q	805	C52	1G1Q	780
C3	1G1Q	920	C28	1G1Q	805	C53	1G1Q	780
C4	1G1Q	920	C29	1G1Q	740	C54	1G1Q	780
C5	1G1Q	920	C30	1G1Q	740	C55	1G1Q	780
C6	1G1Q	920	C31	1G1Q	805	C56	1G1Q	780
C7	1G1Q	920	C32	1G1Q	805	C57	1G1Q	780
C8	1G1Q	847	C33	1G1Q	805	C58	1G1Q	780
C9	1G1Q	782	C34	1G1Q	805	C59	1G1Q	718
C10	1G1Q	712	C35	1G1Q	805	C60	1G1Q	656
C11	1G1Q	687	C36	1G1Q	806	C61	1G1Q	607
C12	1G1Q	687	C37	1G1Q	806	C62	1G1Q	607
C13	1G1Q	687	C38	1G1Q	806	C63	1G1Q	607
C14	1G1Q	687	C39	1G1Q	806	C64	1G1Q	607
C15	1G1Q	687	C40	1G1Q	806	C65	1G1Q	605
C16	1G1Q	687	C41	1G1Q	793	C66	1G1Q	605
C17	1G1Q	687	C42	1G1Q	793	C67	1G1Q	605
C18	1G1Q	687	C43	1G1Q	863	C68	1G1Q	605
C19	1G1Q	687	C44	1G1Q	870	C69	1G1Q	607
C20	1G1Q	721	C45	1G1Q	870	C70	1G1Q	607
C21	1G1Q	740	C46	1G1Q	870	C71	1G1Q	835
C22	1G1Q	740	C47	1G1Q	870	C72	1G1Q	835
C23	1G1Q	806	C48	1G1Q	870	C73	1G1Q	835
C24	1G1Q	806	C49	1G1Q	790	C74	1G1Q	835
C25	1G1Q	805	C50	1G1Q	790	C75,C76	1G1Q	838



Şekil 6.9. Midas GTS Model-3 radye temel deformasyon grafiği

Çizelge 6.8. Model-3 kazık eksenel yükleri

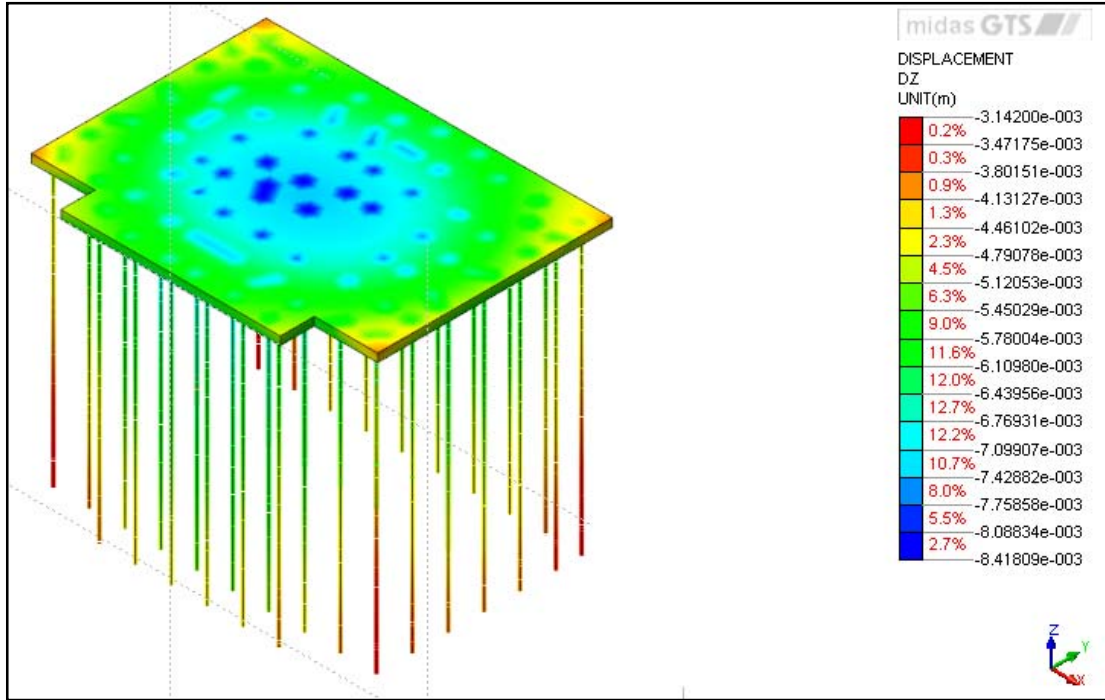
Kazık No	Komb.	Yük, P (kN)	Kazık No	Komb.	Yük, P (ton)	Kazık No	Komb.	Yük, P (kN)
C1	1G1Q	704	C26	1G1Q	707	C51	1G1Q	648
C2	1G1Q	887	C27	1G1Q	727	C52	1G1Q	710
C3	1G1Q	890	C28	1G1Q	727	C53	1G1Q	770
C4	1G1Q	890	C29	1G1Q	712	C54	1G1Q	770
C5	1G1Q	890	C30	1G1Q	712	C55	1G1Q	770
C6	1G1Q	900	C31	1G1Q	780	C56	1G1Q	770
C7	1G1Q	900	C32	1G1Q	780	C57	1G1Q	770
C8	1G1Q	890	C33	1G1Q	780	C58	1G1Q	770
C9	1G1Q	736	C34	1G1Q	780	C59	1G1Q	710
C10	1G1Q	670	C35	1G1Q	780	C60	1G1Q	648
C11	1G1Q	690	C36	1G1Q	780	C61	1G1Q	558
C12	1G1Q	690	C37	1G1Q	780	C62	1G1Q	678
C13	1G1Q	750	C38	1G1Q	780	C63	1G1Q	678
C14	1G1Q	750	C39	1G1Q	800	C64	1G1Q	678
C15	1G1Q	750	C40	1G1Q	800	C65	1G1Q	678
C16	1G1Q	750	C41	1G1Q	716	C66	1G1Q	678
C17	1G1Q	750	C42	1G1Q	782	C67	1G1Q	678
C18	1G1Q	750	C43	1G1Q	850	C68	1G1Q	678
C19	1G1Q	690	C44	1G1Q	850	C69	1G1Q	678
C20	1G1Q	690	C45	1G1Q	850	C70	1G1Q	558
C21	1G1Q	727	C46	1G1Q	850	C71	1G1Q	735
C22	1G1Q	727	C47	1G1Q	850	C72	1G1Q	735
C23	1G1Q	718	C48	1G1Q	800	C73	1G1Q	735
C24	1G1Q	718	C49	1G1Q	800	C74	1G1Q	735
C25	1G1Q	718	C50	1G1Q	716	C75,C76	1G1Q	735

Gerçekleştirilen analizler içerisinde Çizelge 6.9’da verilen Model-4 ve Model-5 olarak tanımlanan çalışmalarda, anakaya malzemesine ait mukavemet parametreleri sabit tutulmuştur. Dolgu malzemesine ait mukavemet parametrelerinden kohezyon (c) ve elastisite modülü (E) sabit tutularak, içsel sürtünme açısındaki (ϕ) değişimin derin temel sistemi üzerine etkisi incelenmiştir.

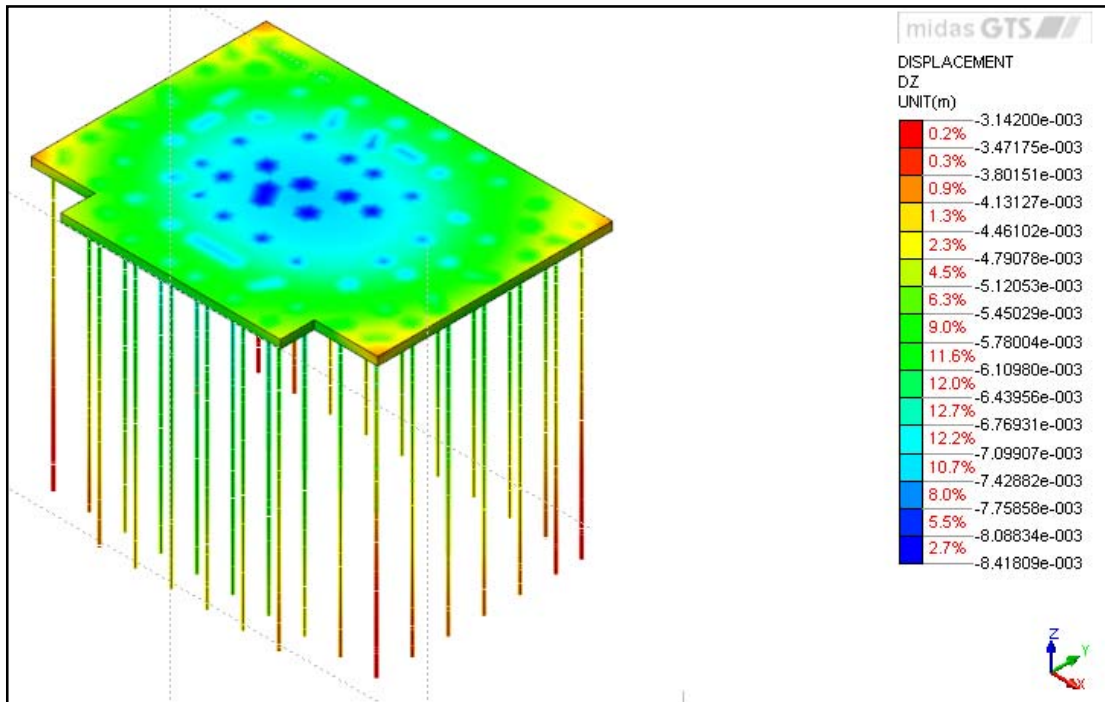
Çizelge 6.9. Model-4 ve Model-5 zemin parametreleri

	Model-4		Model-5	
Parametre	Dolgu	Kiltaş	Dolgu	Kiltaş
Malzeme Modeli	MC	MC	MC	MC
E, [kN/m ²]	7 000	350 000	7 000	350 000
ν ,	0,3	0,3	0,3	0,3
γ_n , [kN/m ³]	20	22	20	22
γ_d , [kN/m ³]	20	22	20	22
c, [kN/m ²]	10	40	10	40
ϕ , [°]	15	28	20	28

Mevcut analizde 25° olarak verilen içsel sürtünme açısı değeri Model-4 ve Model-5 olarak tanımlanan analizlerde sırasıyla 15° ve 20° olarak alınmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.10 ve Şekil 6.11’de verilmiştir.



Şekil 6.10. Midas GTS Model-4 radye temel deformasyon grafiği



Şekil 6.11. Midas GTS Model-5 radye temel deformasyon grafiği

Analiz sonucu oluşan kazık eksenel yükleri, Model-4 ve Model-5 için Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6.10. Model-4 ve Model-5 kazık eksenel yükleri

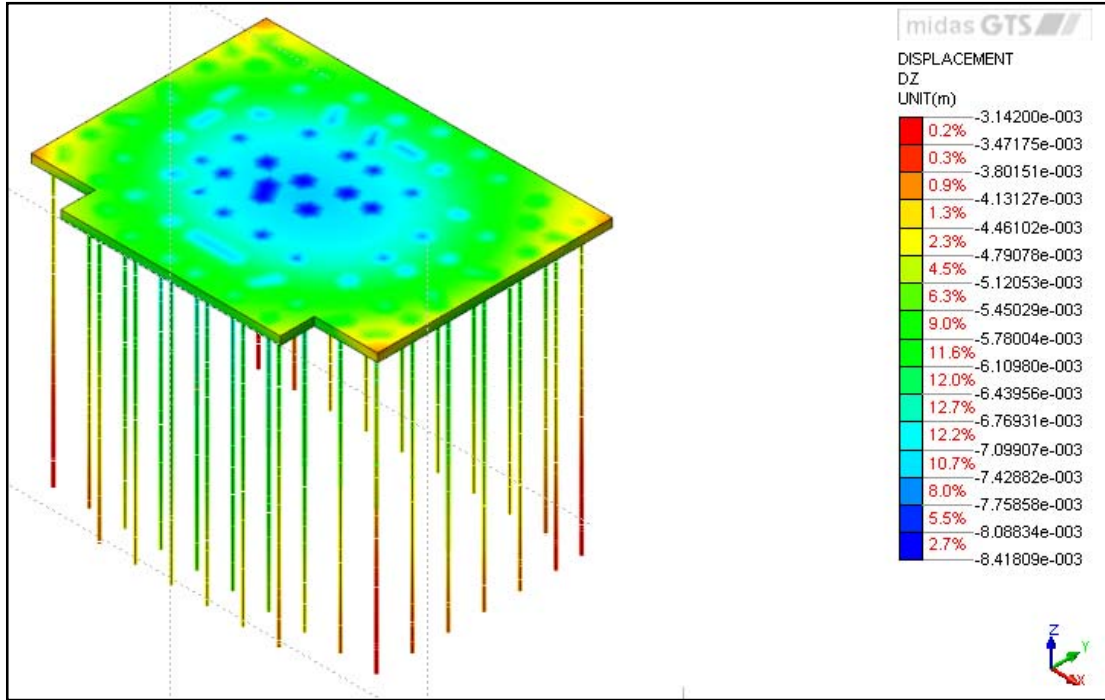
Kazık No	Komb.	Yük, P (kN)	Kazık No	Komb.	Yük, P (ton)	Kazık No	Komb.	Yük, P (kN)
C1	1G1Q	741	C26	1G1Q	832	C51	1G1Q	706
C2	1G1Q	815	C27	1G1Q	784	C52	1G1Q	706
C3	1G1Q	952	C28	1G1Q	784	C53	1G1Q	762
C4	1G1Q	958	C29	1G1Q	784	C54	1G1Q	828
C5	1G1Q	958	C30	1G1Q	784	C55	1G1Q	828
C6	1G1Q	952	C31	1G1Q	789	C56	1G1Q	828
C7	1G1Q	952	C32	1G1Q	789	C57	1G1Q	828
C8	1G1Q	952	C33	1G1Q	867	C58	1G1Q	828
C9	1G1Q	815	C34	1G1Q	789	C59	1G1Q	792
C10	1G1Q	741	C35	1G1Q	887	C60	1G1Q	828
C11	1G1Q	839	C36	1G1Q	887	C61	1G1Q	755
C12	1G1Q	839	C37	1G1Q	887	C62	1G1Q	797
C13	1G1Q	839	C38	1G1Q	887	C63	1G1Q	797
C14	1G1Q	839	C39	1G1Q	789	C64	1G1Q	797
C15	1G1Q	839	C40	1G1Q	789	C65	1G1Q	797
C16	1G1Q	839	C41	1G1Q	786	C66	1G1Q	797
C17	1G1Q	839	C42	1G1Q	786	C67	1G1Q	797
C18	1G1Q	839	C43	1G1Q	941	C68	1G1Q	797
C19	1G1Q	839	C44	1G1Q	952	C69	1G1Q	716
C20	1G1Q	839	C45	1G1Q	952	C70	1G1Q	716
C21	1G1Q	764	C46	1G1Q	952	C71	1G1Q	876
C22	1G1Q	764	C47	1G1Q	966	C72	1G1Q	876
C23	1G1Q	832	C48	1G1Q	952	C73	1G1Q	876
C24	1G1Q	832	C59	1G1Q	826	C74	1G1Q	876
C25	1G1Q	832	C50	1G1Q	706	C75,C76	1G1Q	876

Gerçekleştirilen analizler içerisinde Çizelge 6.11’de verilen Model-6 ve Model-7 olarak tanımlanan çalışmalarda, anakaya malzemesine ait mukavemet parametreleri sabit tutulmuştur. Dolgu malzemesine ait mukavemet parametrelerinden içsel sürtünme açısı (ϕ) ve elastisite modülü (E) değerleri sabit tutularak, kohezyon (c) değerindeki değişimin derin temel sistemi üzerine etkisi incelenmiştir.

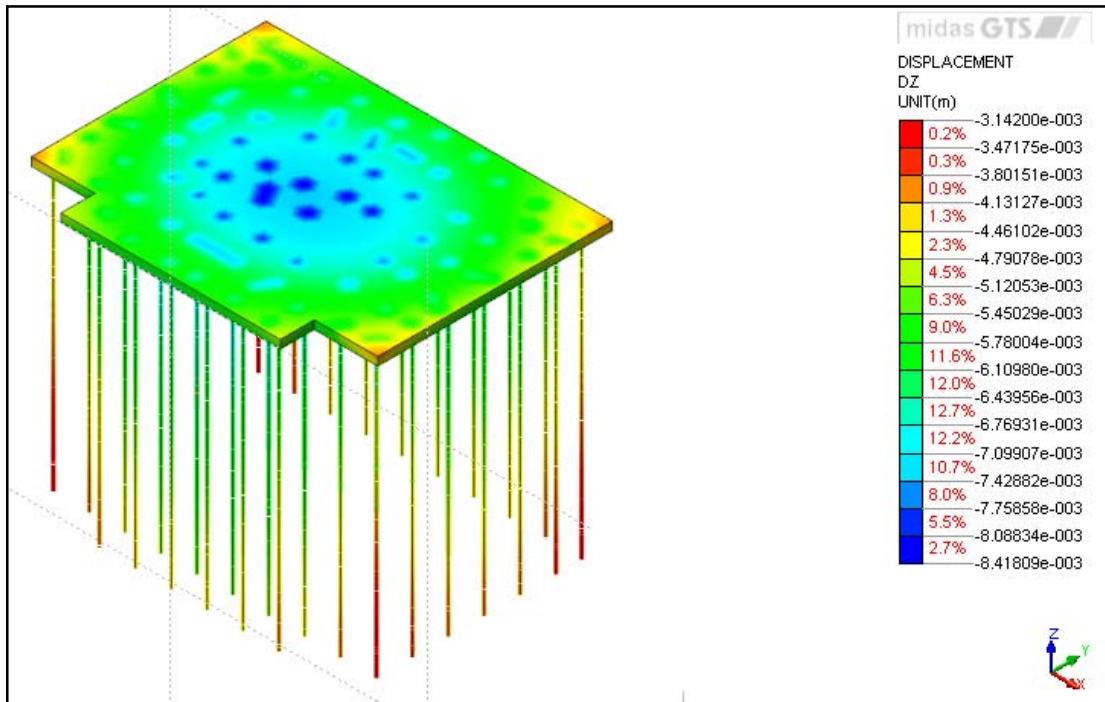
Çizelge 6.11. Model-6 ve Model-7 zemin parametreleri

	Model-6		Model-7	
Parametre	Dolgu	Kiltaş	Dolgu	Kiltaş
Malzeme modeli	MC	MC	MC	MC
E, [kN/m ²]	7 000	350 000	7 000	350 000
ν ,	0,3	0,3	0,3	0,3
γ_n , [kN/m ³]	20	22	20	22
γ_d , [kN/m ³]	20	22	20	22
c, [kN/m ²]	5	40	15	40
ϕ , [°]	25	28	25	28

Mevcut analizde 10 kN/m² olarak verilen kohezyon değeri, Model-6 ve Model-7 olarak tanımlanan analizlerde sırasıyla 5 kN/m² ve 15 kN/m² olarak alınmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.12 ve Şekil 6.13’de verilmiştir.



Şekil 6.12. Midas GTS Model-6 radye temel deformasyon grafiği



Şekil 6.13. Midas GTS Model-7 radye temel deformasyon grafiği

Analiz sonucu oluşan kazık eksenel yükleri, Model-6 ve Model-7 için Çizelge 6.12'de verilmiştir.

Çizelge 6.12. Model-6 ve Model-7 kazık eksenel yükleri

Kazık No	Komb.	Yük, P (kN)	Kazık No	Komb.	Yük, P (ton)	Kazık No	Komb.	Yük, P (kN)
C1	1G1Q	741	C26	1G1Q	832	C51	1G1Q	706
C2	1G1Q	815	C27	1G1Q	784	C52	1G1Q	706
C3	1G1Q	952	C28	1G1Q	784	C53	1G1Q	762
C4	1G1Q	958	C29	1G1Q	784	C54	1G1Q	828
C5	1G1Q	958	C30	1G1Q	784	C55	1G1Q	828
C6	1G1Q	952	C31	1G1Q	789	C56	1G1Q	828
C7	1G1Q	952	C32	1G1Q	789	C57	1G1Q	828
C8	1G1Q	952	C33	1G1Q	867	C58	1G1Q	828
C9	1G1Q	815	C34	1G1Q	789	C59	1G1Q	792
C10	1G1Q	741	C35	1G1Q	887	C60	1G1Q	828
C11	1G1Q	839	C36	1G1Q	887	C61	1G1Q	755
C12	1G1Q	839	C37	1G1Q	887	C62	1G1Q	797
C13	1G1Q	839	C38	1G1Q	887	C63	1G1Q	797
C14	1G1Q	839	C39	1G1Q	789	C64	1G1Q	797
C15	1G1Q	839	C40	1G1Q	789	C65	1G1Q	797
C16	1G1Q	839	C41	1G1Q	786	C66	1G1Q	797
C17	1G1Q	839	C42	1G1Q	786	C67	1G1Q	797
C18	1G1Q	839	C43	1G1Q	941	C68	1G1Q	797
C19	1G1Q	839	C44	1G1Q	952	C69	1G1Q	716
C20	1G1Q	839	C45	1G1Q	952	C70	1G1Q	716
C21	1G1Q	764	C46	1G1Q	952	C71	1G1Q	876
C22	1G1Q	764	C47	1G1Q	966	C72	1G1Q	876
C23	1G1Q	832	C48	1G1Q	952	C73	1G1Q	876
C24	1G1Q	832	C59	1G1Q	826	C74	1G1Q	876
C25	1G1Q	832	C50	1G1Q	706	C75,C76	1G1Q	876

Model-1, Model-2 ve Model-3 analiz sonuçları incelendiğinde radye temel altında yer alan zemin birimine ait elastisite modülündeki artışın radye temelde oluşan düşey deformasyonları bir miktar azaldığı görülmüştür.

Azalan düşey deformasyonlar ile birlikte rijit kazık elemanlarının daha az oturması sonucunda, radye temel altındaki zemin bloğunun yük taşıma yüzdesinin arttığı görülmüştür. Kazık eksenel yük toplamlarındaki ve radye temel taşıma gücündeki değişim değerleri Çizelge 6.13'de özetlenmiştir.

Çizelge 6.13. Midas GTS radye temel yük oranları

	Mevcut Model	Model-1	Model-2	Model-3
Toplam bina yükü [kN]	69 200	69 200	69 200	69 200
Toplam kazık eksenel yükleri [kN]	63 350	60 741	58 229	57 000
Radyenin taşıdığı yük [kN]	5 850	8 459	10 971	12 200
Radyenin taşıdığı yük oranı [%]	% 9	% 12	% 16	% 18

Model-4 ve Model-5 analiz sonuçları incelendiğinde radye temel altında yer alan zemin birimine ait içsel sürtünme açısındaki değişimin, radye temel düşey deformasyonları, kazık eksenel yükleri ve radye temel taşıma yüzdesine herhangi bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Model-6 ve Model-7 analiz sonuçları incelendiğinde radye temel altında yer alan zemin birimine ait kohezyon değerindeki değişimin, radye temel düşey deformasyonları, kazık eksenel yükleri ve radye temel taşıma yüzdesine herhangi bir etkisi olmadığı görülmüştür.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bölüm 3'de detayları verilen ve örnek analiz olarak seçilen OP2.17 yapısının derin temel sistemine ait bilgiler doğrultusunda Etabs, Safe ve Midas GTS programları ile yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar değerlendirilecektir.

OP2.17 yapısının temel sistemi, ana kayaya oturan temel bölümünün radye temel ile dolguda kalan diğer temel kısımlarının ise ana kayaya 2 metre soketli $L=5\sim 7$ m boyunda $D=0,65$ m çapında yerinde dökme betonarme (fore) kazıklar ile teşkil edildiği bir derin temel sistemidir.

OP2.17 yapısının derin temel sisteminde Etabs ve Midas GTS yazılımları kullanılarak yapılan analizler sonucunda kazıkların radye temelle birleştiği noktalarda sırasıyla 7,90 mm ve 10,50 mm maksimum düşey deplasman hesaplanmıştır. Elde edilen düşey deplasman değerleri arasındaki bu fark kabul edilebilir derecede küçüktür.

OP2.17 yapısının derin temel sisteminde Etabs ve Midas GTS yazılımları kullanılarak yapılan analizler sonucunda kazıkların radye temel ile birleştiği noktalarda sırasıyla 76,40 kNm ve 46,50 kNm maksimum moment; yaklaşık olarak kazık orta noktalarında ise 15,70 kN ve 6,90 kN maksimum kesme kuvveti hesaplanmıştır. Elde edilen kesit tesirlerine göre sonlu eleman programları arasında moment ve kesme kuvveti değerlerinde büyük farklar elde edilmiştir. Bu farklılık zemin rijitliğinin kullanılan programlarda farklı tanımlanmasından kaynaklanmaktadır.

OP2.17 yapısının derin temel sisteminde Etabs ve Midas GTS yazılımları kullanılarak yapılan analizler sonucunda sırasıyla 920 kN ve 950 kN maksimum eksenel yük değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen kazık eksenel yük değerleri çok yakın mertebelerde çıkmıştır.

Örnek analize konu ikinci temel sistemi, ilgili yapıya ait temel alanının tamamen 20 m yüksekliğinde dolgu birimine oturduğu ve yapı yüklerinin dolgu altında yer alan ana kayaya 2 m soketli 2,80 x 2,80 m karelajlı L=22,00 m boyunda D=0,65 m çapında toplamda 76 adet yerinde dökme betonarme (fore) kazıklar ile teşkil edildiği bir derin temel sistemidir.

OP2.17 yapısının 20 m dolgu altında teşkil edilmiş derin temel sisteminde Etabs ve Midas GTS yazılımları kullanılarak yapılan analizler sonucunda kazıklarda sırasıyla, 6,00 mm ve 8,30 mm maksimum düşey deplasmanlar hesaplanmıştır.

OP2.17 yapısının 20 m dolgu altında teşkil edilmiş derin temel sisteminde Etabs ve Midas GTS yazılımları kullanılarak yapılan analizler sonucunda sırasıyla 25,80 kNm ve 39,50 kNm maksimum moment; 88,60 kN ve 79,50 kN maksimum kesme kuvveti hesaplanmıştır.

OP2.17 yapısının 20 m dolgu altında teşkil edilmiş derin temel sisteminde Etabs ve Midas GTS yazılımları kullanılarak yapılan analizler sonucunda sırasıyla 980 kN ve 960 kN maksimum eksenel yük değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen kazık eksenel yük değerleri çok yakın mertebelerde çıkmıştır.

Analiz çalışmalarının çeşitlendirilmesi ve zemin mukavemet parametrelerindeki değişimin derin temel sistemine olan etkilerini incelemek amacı ile; Örnek analize konu ikinci temel sistemi Mevcut Model olarak tanımlanmış ve gerçek zemin mukavemet değerleri kullanılarak derin temel sistemi analiz edilmiştir. Bu analiz dışında zemin mukavemet parametrelerindeki değişim ile derin temel sistemindeki kazık elemanlarının eksenel yükleri, temelde oluşan düşey deformasyon ve radye temelin taşıdığı yük yüzdelerinde ki değişimleri değerlendirebilmek için yedi farklı model analizi gerçekleştirilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmalar kapsamında Model-1, Model-2 ve Model-3 analizlerinde, dolgu malzemesine ait kohezyon ve içsel sürtünme açısı sabit tutularak ve 14 000 kN/m², 35 000 kN/m² ve 50 000 kN/m² değişken elastisite

modülü değerleri kullanılarak radye temel düşey deformasyonları sırasıyla 8,30 mm, 8,20 mm ve 7,80 mm; radye temel yük taşıma oranları sırasıyla %12, %16, %18 olarak hesaplanmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmalar kapsamında Model-4 ve Model-5 analizlerinde, dolgu malzemesine ait kohezyon ve elastisite modül değerleri sabit tutularak ve 15° ve 20° değişken içsel sürtünme açıları kullanılarak radye temel düşey deformasyonları her iki analiz içinde mevcut modelde hesaplandığı gibi 8,50 mm; radye temel yük taşıma oranları da %9 olarak hesaplanmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmalar kapsamında Model-6 ve Model-7 analizlerinde, dolgu malzemesine ait içsel sürtünme açısı ve elastisite modül değerleri sabit tutularak ve 5 kN/m^2 ve 15 kN/m^2 değişken kohezyon değerleri kullanılarak radye temel düşey deformasyonları her iki analiz içinde mevcut modelde hesaplandığı gibi 8,50 mm; radye temel yük taşıma oranları da %9 olarak hesaplanmıştır.

Yukarıda özetlenen hesap değerlerinden ve tasarım çalışmaları sırasında edinilen tecrübe ile hareketle aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde geoteknik temel mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan Etabs, Safe ve Midas GTS program sonuçlarının zemine ait doğru parametreler kullanıldığında, uç kazığı olarak tasarlanan derin temel sistemlerinde birbirleriyle yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir.
2. Etabs ve Safe analiz programlarında zemin tanımlaması için kullanılan değişken yay sabitleri ile yapılan analizler sonucunda, kazık eksenel yükleri ve derin temel sisteminde oluşan deformasyonlar açısından büyük farklılıklar oluşmamıştır. Birbirine yakın yay sabiti değerlerinin kullanılması yakın rijitlikte bir davranışı temsil ettiğinden dolayı sonuçlar arasında büyük farklılıkların oluşmadığı görülmüştür.

3. Derin temel sisteminde kazıklarda oluşan aksenal yük sonuçlarının değerlendirilmesinde her iki programında çok yakın bir dağılım sergilediği gözlenmiştir.

4. Radye temel altında yer alan zemin elastisite modül değerinin artması, radye temel altındaki zemin bloğunun yük taşıma yüzdesini artırdığı görülmüştür. Ancak radye temel altında yer alan zemin birimine ait kohezyon ve içsel sürtünme açısındaki değişimlerin, radye temel düşey deformasyonları, kazık aksenal yükleri ve radye temel taşıma yüzdesine herhangi bir etkisi olmadığı görülmüştür.

5. Geleneksel yöntemlerde, kazıklı temel hesabı yapı yükünün tamamının kazıklar tarafından taşındığı varsayımına göre yapılır. Fakat radyenin zeminle temas ettiği durumlarda yük, radye ve kazıklar arasında paylaşarak zemine aktarılmaktadır. Temel sisteminin tasarımında bu nokta dikkate alındığı takdirde daha ekonomik bir çözüm elde etmek olasıdır. Başlangıç tasarım kabulleri ile toplam üst yapı yüklerinin %9'unu taşıyan radye temel, yapılan farklı model çalışmaları sonucunda üst yapı yüklerinin %18'ine kadarını taşıdığı sonucu elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Akın, C., “Eskişehir Odunpazarı TOKİ 1092 Konut İnşaatının Bina Bazında Zemin İncelemesi (OP2-17)” raporu, **Geosan Doğal Kaynaklar ve Hammaddeler İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş.**, İstanbul, 1-32 (2011).
2. Anagnostopoulos, C., Georgiadis, M., “A simple Analysis of Piles in Raft Foundations”, **Geotechnical Engineering Journal**, 29 (1): 71-83 (1998).
3. Birand, A., “Kazıklı Temeller”, **Teknik Yayınevi**, Ankara, 43-51 (2001).
4. Bowles, J.E., “Foundation Analysis and Design 5th ed.”, **McGraw-Hill**, United State of America, 501-588 (1996).
5. Broms, B.B., “Pile Foundations-Pile Groups”, Proceedings, 6th **ECSMFE**, Vienne, Austria, 2 (1): 103-132 (1976).
6. Burland, J.B., Broms, B.B., Mello, V.F.B., “Behaviour of Foundations 9th and Structures”, **ICSMFE**, State-of-the-Art Report, Tokyo, Japan, July, 2: 495-546 (1977).
7. Burland, J. B., “Piles as Settlement Reducers”. 18th **Italian Cong. Soil. Mech.**, Pavia, 21-34 (1995).
8. Clancy, P., Randolph, M. F., “An Approximate Analysis Procedure for Piled Raft Foundations”, **Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech.** 17(12): 849-869 (1993).
9. Clancy, P., Randolph, M. F., “Simple Design Tools For Piled Raft Foundations”, **Geotechnique**, 46 (2): 313-328 (1996).
10. Coduto, D.P., “Foundation Design Principles and Practices; 2nd ed.”, **Prentice-Hall**, 330-400 (2001).
11. Cooke, R. W., “Piled Raft Foundations on Stiff Clays” – a contribution to design philosophy. **Geotechnique**, 36 (2): 169-203 (1986).
12. Das, B.M., “Advanced Soil Mechanics”, **McGraw-Hill**, Washington, New York, London, 167-235 (1983).
13. Das, B.M., “Principles of Foundation Engineering”, **Pws-Kent Pub.**, California, 211-247 (1999).
14. Franke, E., “Measurements Beneath Piled Rafts”, **Key note lecture to the ENPC Conference on Deep Foundations**, Paris, 1-28 (1991).

15. "Geoteknik Tasarım Esasları", T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryollar, Limanlar, Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, **Yüksel Proje**, Ankara, 87-103 (2007).
16. Gök, S., "Kazıklı Radye Temellerin Tasarımı", Doktora Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-24 (2007).
17. Horikoshi, K., "Optimum Design of Piled Raft Foundations", **PhD Thesis, University of Western Australia**, Perth, 405-425 (1995).
18. Horikoshi, K., Randolph, M.F., "Centrifuge Modeling of Piled Raft Foundations On Clay", **Geotechnique**, 46 (4): 741-752 (1996).
19. Horikoshi, K., Randolph, M.F., "A Contribution to Optimum Design of Piled Rafts", **Geotechnique**, 48 (3): 301-307 (1998).
20. Horvath, R.G., Kenney, T.C., "Shaft Resistance Of Rock Socketed Drilled Piers", **Proc., Symp. on Deep Found.**, ASCE, New York, 182-214 (1979).
21. Katzenbach, R., Arslan, U., Moormann, C., "Design and Safety Concepts For Piled Raft Foundations", **Proc. of the Conf. on Deep Foundations on Bored Auger Piles**, Rotterdam, Germany, 439-449 (1998).
22. Katzenbach, R., Moormann, C., "Recommendations For the Design and Construction of Piled Rafts", **Proc. of the fifteenth Int. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering**, İstanbul, Turkey, 2, (2001).
23. Kulaç, F.H., Durgunolu, H.T., "Yatay Yüklü Kazık Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması", **"Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 3ncü Ulusal Kongresi**, İTÜ, İstanbul, 235-250 (1992).
24. Kumbasar, V., Kip, F., "Zemin Mekaniği Problemleri", **Çağlayan Kitabevi**, 321-400 (1999).
25. Liang, F.Y.; Chen L.Z., Shi, X.G., "Numerical Analysis of Composite Piled Raft With Cushion Subjected to Vertical Load", **Computers and Geotechnics**, 30: 443-453 (2003).
26. Maharaj, D.K., Anshuman, D., "The Effect of Raft Size and Pile Length on Load-Settlement Behaviour of Axisymmetric Piled Raft Foundation", **EJGE (Electronical Journal of Geotechnical Engineering)**, (2004).
27. Mandolini, A., Russo, G., Viggiani, C., "Pile Foundations: Experimental Investigations, Analysis and Design", 16th **ICSMFE**, Osaka, Japan, 12-16

September, 177-213 (2005).

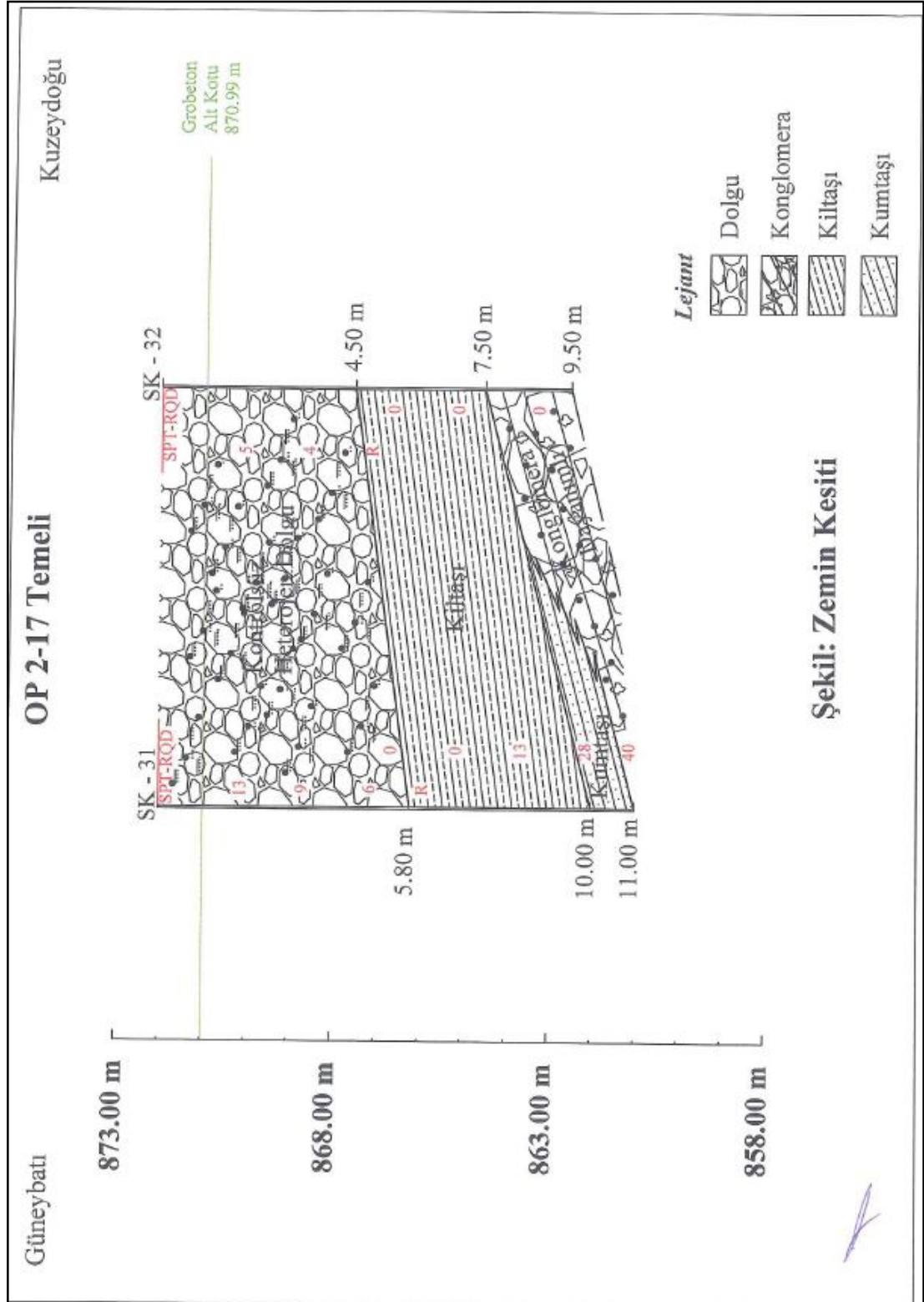
28. Meyerhof, G.G., "Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations", **ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division**, 102, GT3, 195-228 (1976).
29. Özdemir, A.H.V., "Eskişehir ili Odunpazarı ilçesi 1092 adet Konut İnşaatı ile Altyapı ve Çevre Düzenlemesi İşİ OP2-17 Blok Temel Sistemleri Geoteknik Raporu", Ankara, 14-46 (2012).
30. Özkan, M.T., Salamer, A., "Kazıklı Temeller", **Dünya inşaat**, 131 (7): 35-38 (1995).
31. Poulos, H.G. Davis, E. H., "Pile Foundation Analysis and Design", **John Wiley**, New York, 121-227 (1980).
32. Poulos, H.G., "Analysis of Piled Strip Foundations", **7th International Conference on Computer Methods and Advances in Geomechanics**, Cairns, Australia, 1: 183-191 (1991).
33. Poulos, H.G., "An Approximate Numerical Analysis of Pile-Raft Interaction", **International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics**, 18 : 73-92, (1994).
34. Poulos, H.G., Small, J.C., Ta, L.D., Sinha, J., Chen, L., "Comparison of Some Methods for Analysis of Piled Rafts", **14th ICSMFE**, Hamburg, Germany, 6-12 September, 1119-1124 (1997).
35. Poulos, H.G., "Piled Raft Interaction Alternative Methods of Analysis", **in Developments in Theoretical Geomechanics**, Eds. Smith, D.W. and Carter, J.P., Balkema, 445-463 (2000a).
36. Poulos, H.G., "Methods of Analysis of Piled Raft Foundations", **ISSMGE TC18**, Subcommittee 1 Report, 1-46 (2001).
37. Randolph, M.F., "Design of Piled Raft Foundations", **CUED/D soils TR 143**, Cambridge University, 423-439 (1983).
38. Randolph, M.F., "Design Methods for Pile Groups and Piled Rafts", **Proceedings of 13th International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering**, 5: 61-62 (1994).
39. Reul, O., Randolph, M.F., "Piled Rafts in Overconsolidated Clay": Comparison of in situ measurements and numerical analyses", **Geotechnique**, 53 (3): 301-315 (2003).
40. Skempton, A. W., Bjerrum, L., "A contribution to the settlement analysis

of foundations on clay”, **Geotechnique** 7, 168, (1957).

41. Ta, L.D., Small, J.C., “Analysis of piled raft system in layered soils”, **International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics**, 20: 57-72 (1996).
42. Terzaghi, K., Peck, R.B., “Soil Mechanics in Engineering Practice”, **John Wiley&Sons**, New York, 320-480 (1967).
43. Turan, E., Tuncan, A., Tuncan, M. ve Arslan, G., “Kazıklı Temellerin Statik Düşey Yükler Altındaki Davranışının incelenmesi”, **Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbirinci Ulusal Kongresi**, KTÜ, Trabzon, 3-11 (2006).
44. Tomlinson, M.J., “Pile Design And Construction Practice”, **Chapman And Hall**, London, UK, 99-138 (2004).
45. Vesic, A.S., “Load Transfer in Pile Soil Systems, Proceedings Conference on Design Installation of Pile Foundations”, **Lehigh University**, Bettlehem, 47-73 (1970).
46. Viggiani, C., “Analysis and Design of Piled Foundations”, **Rivista Italiana di Geotecnica**, First Arrigo Crice Lecture, Anno XXXV (1), Gennaio-Marzo, 47-75 (2001).
47. Yalçın, A., “Kazıklı Radyejeneral Temellerin Düşey ve Yatay Yükler Altında Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-35 (2010).
48. Yıldırım, S., “Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı”, **Birsan Yayınevi**, İstanbul, 245-275 (2002).
49. Zhang, L., Einstein, H.H., “End Bearing Capacity of Drilled Shafts in Rock”, **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, ASCE, 124 (7): 574-584 (1998).

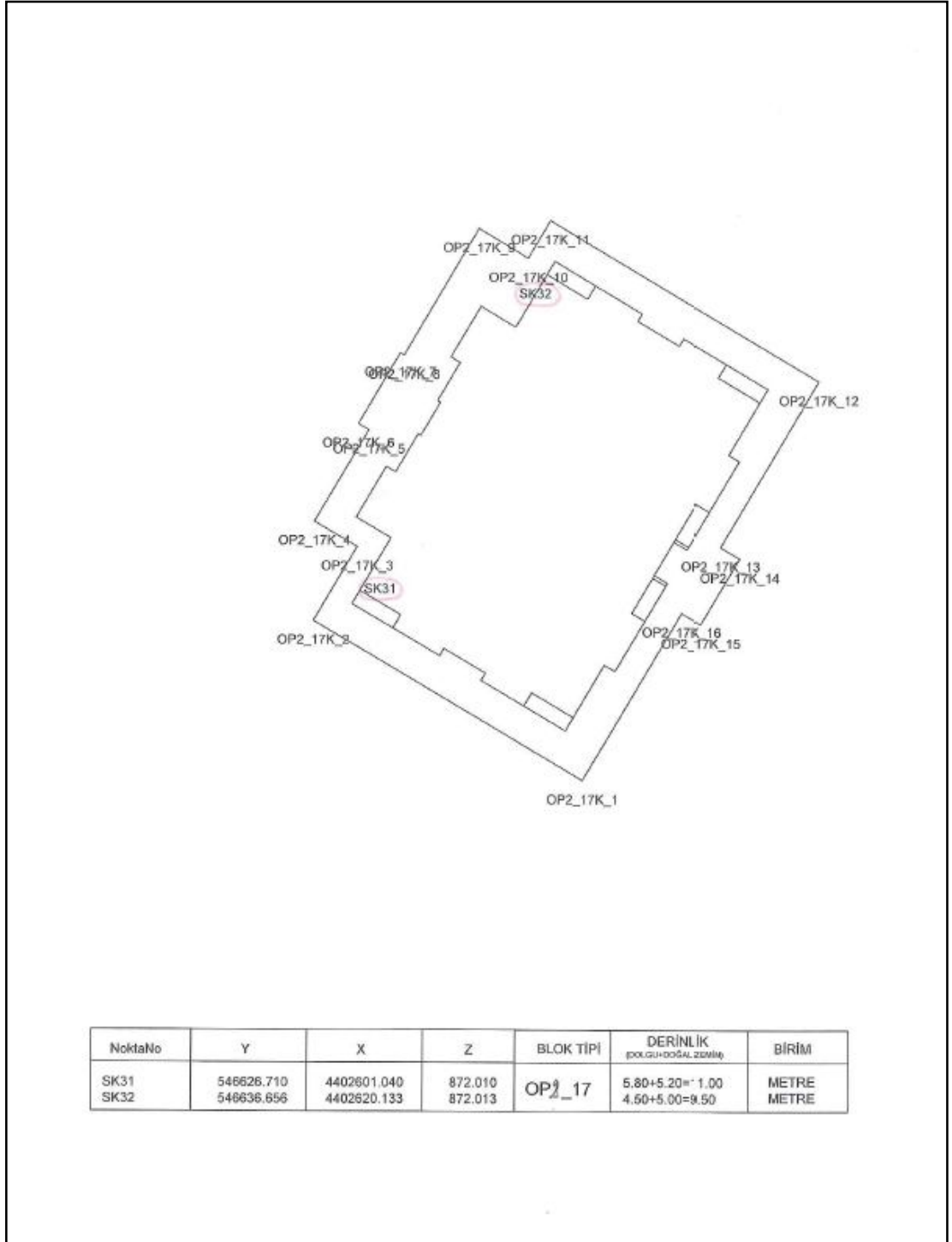
EKLER

EK-2 Zemin kesiti



Şekil 2.1. OP2-17 temeli zemin kesiti

EK-2 (Devam) Zemin kesiti



Şekil 2.2. OP2-17 temeli vaziyet planı

EK-3 (Devam) Laboratuvar deney sonuçları

[illegible]

Şekil 3.2. Laboratuvar deney sonuçları-2

EK-3 (Devam) Laboratuvar deney sonuçları



ZEMAR
geoteknik ölçümleme ve test laboratuvarı



NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİ DENEY SONUCU
POINT LOAD STRENGTH INDEX TEST RESULT

Müşteri Adı : **GEOSAN A.Ş.**

Num. Alındığı Yer : **TOKİ - YENİ SARP İNŞAAT (ESKİŞEHİR ODUN PAZARI) OP2 - 17**

Sondaj Num. No : **SK-31 / KAROT**

Derinlik (m) : **8,00**

Num Kabul Tarihi : **08.12.2011**

Deney Tarihi : **14.12.2011**

Deney Rapor Tarihi : **15.12.2011**

Laboratuvar No : **11-1173ny1**

RAPOR NO: DR-17

Örnek No Sample No	Deney Türü Type of Test	Genişlik Width	Çap Diameter	Yenilme Yükü Failure Load	Karot Çapı Equiv. Core Diam.	D_s^2	$I_p = (P \times D_s^2) / D_s^2$	F	I_{pn} (MPa)
		W (mm)	D (mm)	P (kN)	D (mm)	mm ²	(N Pa)		
1	d		60	0,2					0,06
2	d		60	0,2					0,06
3	d		60	0,2					0,06
4	d		60	0,2					0,06
5	d		60	0,2					0,06
6	d		60	0,2					0,06
7	d		-	-					-
8	d		-	-					-
9	d		-	-					-
10	d		-	-					-
I_{s50} (Ort.) Mpa									0,06

Dozensiz Şekli Örnek Deneyi
Irregular Lump Test

Eksenel Deney
Axial Test

Çapısal Deney
Diameter Test

Blok Deney
Block Test

* Deneyler ilgili firma tarafından laboratuvarımıza teslim edilen numuneler üzerinde yapılmıştır.
Tests were done from the samples that are delivered by the related firm.

* Bu deney ISRM 1985 standartlarına göre yapılmaktadır.
This test is being done according to the ISRM 1985 standards.

* Bu deney raporu laboratuvarımızca yazılı izin olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
This test results must not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.

* SECURITY hologramları olmayan Deney Sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a SECURITY Hologram are invalid.

* T.C.Bayındırlık ve İskan Bakanlığı logosu 25.07.2010 tarih ve 209 numaralı Laboratuvar İzin Belgesi kapsamında kullanılmaktadır.
T.C.Department of State sign used by 25.07.2010 and 209 number of Laboratory permission notes.

Deneyi Yapan
Tested By

Özcan ÜSKÜLOĞLU
Jeofizik Yüksek Mühendis
Geophysical Engineer Msc.
Öde Bilgi No: 03090



Onaylayan
Approved By

Denetçi Mühürü
Denetçi Mühürü
Denetçi Mühürü

Mahmut Şevketpaşa Mh. Ersan Sk. No: 22/A-B Sığı / İSTANBUL Tel: 0 212 237 38 39 Fax 0 212 238 16 43 www.zemartest.com.tr

Şekil 3.5. Nokta yükü dayanımı deney sonucu-1 (SK-31)

EK-3 (Devam) Laboratuvar deney sonuçları



ZEMAR
geoteknik ölçümleme ve test laboratuvarı



NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİ DENEY SONUCU
POINT LOAD STRENGTH INDEX TEST RESULT

Müşteri Adı : **GEOSAN A.Ş.**

Num. Alındığı Yer : **TOKİ, YENİ SARP İNŞAAT ESKİŞEHİR ODUN PAZARI**

Sondaj Num. No : **OP2-17**

Derinlik (m) : **SK-31 / KAROT**

Depth : **6,00**

Num. Kabul Tarihi : **13.12.2011**

Denei Tarihi : **13.12.2011**

Denei Rapor Tarihi : **13.12.2011**

Laboratuvar No : **11-1159ny1**

RAPOR NO: DR-17

Örnek No Sample No	Denei Türü Type of Test	Geniçlik Width W (mm)	Çap Diameter D (mm)	Yanılma Yükü Failure Load p (kN)	Karot Çapı Eqv. Core Diam. D (mm)	D_s^2 mm ²	$I_p = (p \times 10^3) / D_s^2$ (MPa)	F	I_{sp} (MPa)
1	d		60	0,2					0,06
2	d		60	0,2					0,06
3	d		60	0,2					0,06
4	d		60	0,2					0,06
5	d		60	0,2					0,06
6	d		60	0,2					0,06
7	d		-	-					-
8	d		-	-					-
9	d		-	-					-
10	d		-	-					-
$I_{s50} (Crt.)$ Mpa									0,06

a Düzensiz Şekli Örnek Denei
 Irregular Lump Test
 Eksenal Denei
 Axial Test

d Çapsal Denei
 Diameter Test
 Blok Denei
 Block Test

* Deneyler ilgili firma tarafından laboratuvarımıza teslim edilen numuneler üzerinde yapılmıştır.
 Tests were done from the samples that are delivered by the related firm.

* Bu denei İSRİ 1985 standartlarına göre yapılmaktadır.
 This test is being done according to the İSRİ 1985 standards.

* Bu denei raporu Laboratuvarımız yakt ızrı olmadan başlanmaz ve çoğaltılmaz.
 This test results must not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.

* SECURITY hologramları olmayan Denei Senai raporlarımız geçersizdir.
 Test result reports without a SECURITY Hologram are invalid.

* T.C.Bayındırlık ve İskan Bakanlığı logosu 26.07.2010 tarih ve 206 numaralı Laboratuvar İzin Belgesi kapsamında kullanılmaktadır.
 T.C.Department of State sign used by 26.07.2010 and 206 number of Laboratory permission notes.

Denei Yapan
Tested By



Nalan AYDIN
Jeoloji Mühendisi

Onaylayan
Approved By



Nihal BAŞARIK
Deneyci

Şekil 3.6. Nokta yükü dayanımı denei sonucu-2 (SK-31)

EK-3 (Devam) Laboratuvar deney sonuçları



ZEMAR
geoteknik ölçümleme ve test laboratuvarı



NOKTA YÜKÜ DAYANIM İNDEKSİ DENEY SONUCU
POINT LOAD STRENGTH INDEX TEST RESULT

Müşteri Adı : GEOSAN A.Ş.
Customer's Name :
Num. Alındığı Yer : TOKİ YENİ SARP İNŞAAT ESKİŞEHİR ODUN PAZARI
Project Location :
Sondaj-Num. No : SK-32 / KAROT
Boring Sample No :
Derinlik (m) : 4,50
Depth :

Num. Kabul Tarihi : 13,12,2011
Date of Samp. Accept :
Deney Tarihi : 13,12,2011
Date of Test :
Deney Rapor Tarihi : 13,12,2011
Date of Test Result :
Laboratuvar No : 11-1159ny2
Laboratory No :

RAPOR NO: DR-17

Örnek No Sample No	Deney Türü Type of Test	Genişlik Width	Çap Diameter	Yenilme Yüğü Failure Load	Karot Çapı Equiv. Core Diam.	D_s^2	$I_p = (P \cdot 90^3) / D_s^4$	F	I_{pe}
		W (mm)	D (mm)	P (kN)	D (mm)	mm ²	(MPa)		(MPa)
1	d		60	0,2					0,06
2	d		60	0,2					0,06
3	d		55	0,2					0,07
4	d		42	0,2					0,11
5	d		37	0,2					0,15
6	d		50	0,2					0,08
7	d		-	-					-
8	d		-	-					-
9	d		-	-					-
10	d		-	-					-
I_{s50} (Ort.) Mpa									0,09

Düzensiz Şekli Örnek Deneyi
Irregular Lump Test
a

Çaplı Deney
Diameter Test
d
Blok Deney
Block Test
b

* Deneyler ilgili firma tarafından laboratuvarımıza teslim edilen numuneler üzerinde yapılmıştır.
Tests were done from the samples that are delivered by the related firm.

* Bu deney İSRM 1965 standartlarına göre yapılmaktadır.
This test is being done according to the İSRM 1965 standards.

* Bu deney raporu Laboratuvarımız yazılı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
This test results must not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.

* SECURITY hologramları olmayan Deney Sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a SECURITY Hologram are invalid.

* T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı logosu 26.07.2010 tarih ve 206 numaralı Laboratuvar İzin Belgesi kapsamında kullanılmaktadır.
T.C. Department of State sign used by 26.07.2010 and 206 number of Laboratory permission notes.

Deneyi Yapan
Tested By



Nalan AYDIN
Jeolojik Mühendis



Onaylayan
Approved By



Nalan AYDIN
Deney Mühendisi

Şekil 3.7. Nokta yükü dayanımı deney sonucu-2 (SK-31)

EK-3 (Devam) Laboratuvar deney sonuçları



ZEMAR
geoteknik ölçümleme ve test laboratuvarı



ATTERBERG LİMİTLERİ DENEY SONUÇLARI / ATTERBERG LIMITS TEST RESULTS

Müşteri Adı / Customer's Name : **GEOSAN A.Ş.**

Num./Aldığı Yer / Project/Location : **TOKİ - YENİ SARP İNŞAAT (ESKİŞEHİR ODUN PAZARI) OP2 -14**

Sondaj-Num. No / Boring/Sample No : **SK-32 / SPT**

Derinlik (m) / Depth : **1,50-1,95**

Num.Kabul Tarihi / Date of Sample Accept : **08,12,2011**

Deney Tarihi / Date of Test : **14,12,2011**

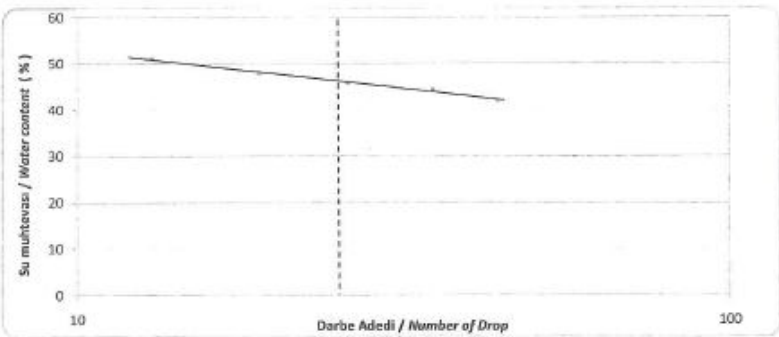
Deney Rapor Tarihi / Date of Test Result : **15,12,2011**

Laboratuvar No / Laboratory No : **11-1173alt1**

RAPOR NO: DR-02

	1	2	3	4	5
Kap No / Cup No	339	228	341	347	127
Darbe Adedi / Number of Drop	44	35	26	19	13
Yap Numune + Kap / Wet Sample + Cup	47,11	36,51	45,85	49,35	40,33
Kuru Numune + Kap / Dry Sample + Cup	44,27	34,25	43,38	46,00	37,16
Su Miktarı / Amount Water	2,84	2,26	2,47	3,35	3,17
Kap Ağırlığı / Weight of Cup	37,51	29,15	37,99	39,01	30,94
Kuru Numune Ağırlığı / Weight of Dry Sample	6,76	5,10	5,39	6,99	6,22
Su Muhtevası (%) / Water Content	42,01	44,31	45,83	47,93	50,96

	1	2
Kap No / Cup No	80	324
Yap Numune + Kap / Wet Sample + Cup	37,69	40,55
Kuru Numune + Kap / Dry Sample + Cup	37,10	40,11
Su Miktarı / Amount Water	0,59	0,44
Kap Ağırlığı / Weight of Cup	34,06	37,67
Kuru Numune Ağırlığı / Weight of Dry Sample	3,04	2,44
Su Muhtevası (%) / Water Content	19,41	18,03



Likit Limit / Liquid Limit	46,1
Plastik Limit / Plastic Limit	18,7
Plastisite indisi / Plasticity Index	27,4

* Deneyler ilgili firma tarafından laboratuvarımıza teslim edilen numuneler üzerinde yapılmıştır. Tests were done from the samples that are delivered by the related firm.

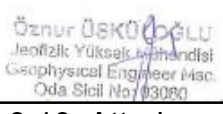
* Bu deney ASTM D 4318-05 standartlarına göre yapılmaktadır. This test is being done according to the ASTM D 4318-05 standards.

* Bu deney raporu laboratuvarımızın yetki izni olmadan baskılamaz ve çoğaltılamaz. This test results must not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.

* SECURITY hologramları olmayan Deney Sonuç raporlarımız geçersizdir. Test result reports without a SECURITY Hologram are invalid.

* T.C.Bayındırlık ve İskan Bakanlığı logosu 26.07.2010 tarih ve 205 numaralı Laboratuvar İzin Belgesi kapsamında kullanılmaktadır. The Logo of T.R. The Ministry of Public Works and Settlement is used by Laboratory Permission Certificate dated 26.07.2010 and numbered 205

Deneyi Yapan / Tested By



Öznur ÜSKÜDOĞLU
Jeofizik Yüksek Mühendisi
Geophysical Engineer (Msc.)
Oda Sicil No: 03080

Onaylayan / Approved By



Mustafa DURSUN
Mühür

Şekil 3.10. Atterberg limitleri deney sonuçları-1

EK-3 (Devam) Laboratuvar deney sonuçları



ZEMAR
geoteknik ölçümleme ve test laboratuvarı



ATTERBERG LİMİTLERİ DENEY SONUÇLARI / ATTERBERG LIMITS TEST RESULTS

Müşteri Adı / Customer's Name : **GEOSAN A.Ş.**

Num.Kandığı Yer / Project Location : **TOKİ - YENİ SARP İNŞAAT (ESKİŞEHİR ODUN PAZARI) OP2 -14**

Sondaj Num. No / Boring Sample No : **SK-32 / SPT**

Derinlik (m) / Depth : **4,50-4,95**

Num.Kabul Tarihi / Date of Samp. Accept : **08,12,2011**

Deney Tarihi / Date of Test : **14,12,2011**

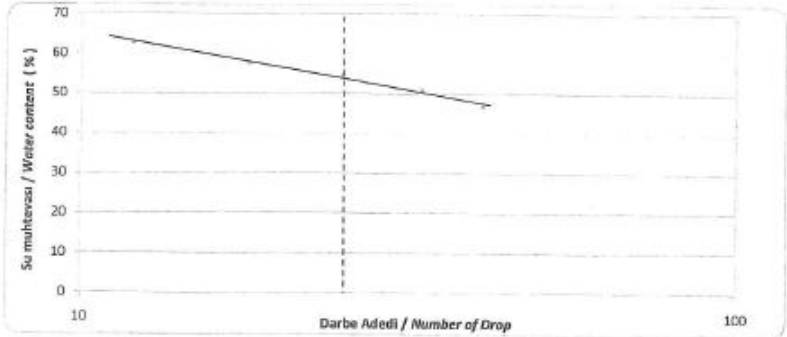
Deney Rapor Tarihi / Date of Test Result : **15,12,2011**

Laboratuvar No / Laboratory No : **11-1173a112**

RAPOR NO: DR-02

	1	2	3	4	5
Kap No / Cup No	401	407	114	4	218
Darbe Adedi / Number of Drop	41	33	25	18	12
Yağ Numune + Kap / Wet Sample + Cup	47,01	48,06	37,72	37,74	38,18
Kuru Numune + Kap / Dry Sample + Cup	44,09	45,05	33,97	34,91	34,45
Su Miktarı / Amount Water	2,92	3,01	3,75	2,83	3,71
Kap Ağırlığı / Weight of Cup	37,86	39,12	27,10	30,01	28,55
Kuru Numune Ağırlığı / Weight of Dry Sample	6,23	5,93	6,87	4,90	5,90
Su Muhtevası (%) / Water Content	46,87	50,76	54,59	57,76	62,88

	1	2
Kap No / Cup No	307	251
Yağ Numune + Kap / Wet Sample + Cup	39,98	32,07
Kuru Numune + Kap / Dry Sample + Cup	39,52	31,52
Su Miktarı / Amount Water	0,46	0,55
Kap Ağırlığı / Weight of Cup	37,64	29,33
Kuru Numune Ağırlığı / Weight of Dry Sample	1,88	2,19
Su Muhtevası (%) / Water Content	24,47	25,11



Likit Limit / Liquid Limit	54,6
Plastik Limit / Plastic Limit	24,8
Plastisite İndisi / Plasticity Index	29,8

* Deneyler ilgili firma tarafından laboratuvarımıza teslim edilen numuneler üzerinde yapılmıştır.
Tests were done from the samples that are delivered by the related firm.

* Bu deney ASTM D 4318-05 standartlarına göre yapılmaktadır.
This test is being done according to the ASTM D 4318-05 standards.

* Bu deney raporu laboratuvarımızın yazılı izni olmadan basılamaz ve çoğaltılamaz.
This test result must not be reproduced in any form without the written permission of laboratory.

* SECURITY hologramları olmayan Deney Sonuç raporlarımız geçersizdir.
Test result reports without a SECURITY Hologram are invalid.

* T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı logosu 26.07.2010 tarih ve 208 numaralı Laboratuvar İzin Belgesi kapsamında kullanılmaktadır.
The Logo of T.R. The Ministry of Public Works and Settlement is used by Laboratory Permission Certificate dated 26.07.2010 and numbered 208

Deneyi Yapan / Tested By : **Özcan ÜSKÜLÖĞLU**
Jeofizik Yüksek Mühendisi / Geophysicist Engineer Msc.
Oda Sicil No / 03080



Onaylayan / Approved By : **Nihat BAŞARIK**
Deney Sorumlusu / Test Supervisor

Şekil 3.11. Atterberg limitleri deney sonuçları-2

EK-4 Kaya karot sandık fotoğrafları



Şekil 4.1. Sandık fotoğrafı-1

EK-4 (Devam) Kaya karot sandık fotoğrafları



Şekil 4.2. Sandık fotoğrafı-2

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : GÜNAY, Fatma
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 11.03.1982 Ankara
 Medeni Hali : Evli
 Telefon : 0 (505) 385 82 20
 e-mail : fatmapolat@msn.com, fatma.polat@yahoo.com.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	2013
Lisans	Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	2005
Lise	Bahçelievler Deneme Lisesi (Süper lise)	2000

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005 - 2013	AGM Mühendislik Ltd.Şti.	Proje Mühendisi

Yabancı Dil	Okuma Derece	Yazma Derece
Dil İngilizce	İyi	İyi

Bilgisayar Bilgisi Programlar

AutoCAD, Sta4-CAD, Probina, Etabs, Sap 2000, Safe, Midas GTS, Plaxis v.8, Plaxis-3D, RxCAD.