

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAZIKLI RADYEJENERAL TEMELLERİN
YANAL YÜK ALTINDA DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Hüsnü UYSAL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

NİSAN 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAZIKLI RADYEJENERAL TEMELLERİN
YANAL YÜK ALTINDA DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Hüsnü UYSAL
(501042306)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. M. Mete İNCECİK

NİSAN 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501042306 numaralı Doktora Öğrencisi **Hüsnü UYSAL**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**KAZIKLI RADYEJENERAL TEMELLERİN YANAL YÜK ALTINDA DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. M. Mete İNCECİK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ahmet SAĞLAMER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Kutay ÖZAYDIN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Recep İYİSAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet BERİLGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **07 Eylül 2012**
Savunma Tarihi : **28 Nisan 2014**

Aileme,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, literatürde çok fazla araştırmanın bulunmadığı kazıklı radyejeneral temellerin yanal yük altında davranışlarının belirlenmesi konusuna açıklık getirilmesini hedeflenmiştir. Bu amaçla farklı temel sistemleri oluşturulmuş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak bilgisayar analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kazıklı radyejeneral temel yaklaşımında plağın zeminle temasından dolayı yük paylaşımına katkıda bulunduğu ve kazıklarda meydana gelecek yatay yerdeğiştirmeleri azalttığı ortaya konmuştur. Böylelikle geleneksel kazıklı temel yaklaşımına göre temel maliyetinde önemli ölçüde ekonomiklik ve tasarruf elde edileceği aşıkardır.

Bu çalışmanın gerçekleşmesi sırasında ve eğitim hayatım boyunca her zaman arkamda olan aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Doktora çalışmamda, birlikte çalışma olanağı sağlayan, araştırma konusunun seçiminden çalışmanın sonuçlandırılmasına kadar her aşamada desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli hocam Sayın Prof. Dr. M. Mete İNCECİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Doktora araştırma çalışmalarım sırasında gösterdikleri yakın ilgi, değerli yardım ve yön göstermelerinden ötürü değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Mehmet BERİLGİN ve Sayın Doç. Dr. Pelin TOHUMCU ÖZENER'e şükranlarımı sunarım.

Doktora sürecimde ve tamamlanmasında verdikleri destekten dolayı Proje Geliştirme ve Teklif Bölümü Genel Müdür Yardımcısı Sayın Dr. Ahmet ÇİVİ'ye, Proje Yapılandırma ve Denetim Bölümü Genel Müdür Yardımcısı Yük. Müh. Sayın Özge ARIOĞLU'na, Genel Yapısal Tasarım Koordinatörü Sayın Yük. Müh. Ömer GÜZEL'e ve tüm Yapı Merkezi İnş. ve San. A.Ş. ailesine teşekkürü bir borç bilirim.

Analizler sırasında kullandığım sonlu elemanlar programı (TNODIANA) ile ilgili her türlü teknik konuda zaman kavramı gözetmeksizin danışabildiğim Geoteknik Mühendisi Sayın Dr. Ahmed ELKADI'ya, Uygulama Mühendisi Sayın Yük. Müh. Wijtze Pieter KIKSTRA'ya ve Uzman Uygulama Mühendisi Sayın Dr. Pranesh CHATTERJEE'ye desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Nisan 2014

Hüsnü UYSAL
(İnş. Yük. Müh.)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ.....	xxii
ÖZET.....	xxv
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
2. KAZIKLI RADYEJENERAL TEMELİN DÜŞEY YÜK ALTINDA DAVRANIŞI İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	5
2.1 Kazıklı Radyejeneral Temellerin Tasarım Prensipleri	11
2.2 Analiz Yöntemlerinin Sınıflandırılması	13
2.3 Basitleştirilmiş Hesap Yöntemleri	14
2.3.1 Poulos-Davis-Randolph (PDR) yöntemi.....	14
2.3.2 Burland yöntemi.....	18
2.4 Yaklaşık Sayısal Analiz Yazılımları	19
2.4.1 Yaylar üzerinde şerit temel yaklaşımı (GASP).....	19
2.4.2 Yaylar üzerinde plak temel yaklaşımı (GARP)	20
2.5 İleri Sayısal Analiz Yöntemleri.....	21
2.5.1 İki boyutlu sayısal analiz (FLAC-2D)	21
2.5.2 Üç boyutlu sayısal analiz (FLAC-3D)	21
2.6 Basitleştirilmiş Yöntem Üzerinde Uygulama.....	22
2.7 Üçüncü Boyut Etkisi	40
2.8 Belirli Kolon Yükleri İçin Tasarım	41
3. YATAY YÜKLER ALTINDA TEKİL KAZIĞIN DAVRANIŞIYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR	49
3.1 Nihai Yanal Taşıma Gücünü Belirleme Yöntemleri	49
3.1.1 Brinch Hansen yöntemi.....	50
3.1.2 Broms yöntemi.....	51
3.2 Yanal Yük Altında Müsade Edilebilir Yerdeğiştirmelerin Belirlenmesi	54
3.2.1 Yatak katsayısı yöntemi	54
3.2.2 Elastik yaklaşım	56
4. KAZIKLI RADYEJENERAL TEMELİN YATAY YÜK ALTINDA DAVRANIŞI İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	59
4.1 Yatay Yük Altındaki Kazıklı Radyejeneral Temel Davranışına Ait Yapılan Yerinde Ölçümler	65
4.2 Yatay Yük Altındaki Kazıklı Radyejeneral Temel Davranışına Ait Yapılan Model Deneyler.....	67

4.3 Yatay Yük Altındaki Kazıklı Radyejeneral Temel Davranışına Ait Basitleştirilmiş Hesap Yöntemleri ve Nümerik Çalışmalar	74
5. SONLU ELEMAN YÖNTEMLERİ İLE YANAL YÜK ALAN KAZIKLI RADYEJENERAL TEMEL SİSTEMİNİN ANALİZİ (FRANKFURT – NEUE MESSEHALLE 3)	87
5.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi ve TNO DIANA Yazılımı	87
5.2 Frankfurt'taki Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası (Neue Messehalle 3) Kazıklı Radyejeneral Temel Sisteminin TNO DIANA Yazılımı ile Analizi ..	92
5.3 Frankfurt'taki Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası (Neue Messehalle 3) Kazıklı Radyejeneral Temel Sistemine Ait 3 Boyutlu Modelin Oluşturulması	97
5.4 Frankfurt'taki Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası (Neue Messehalle 3) Radyejeneral Temel Sistemine Ait 3 Boyutlu Modelin Oluşturulması	107
5.5 Frankfurt'taki Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası (Neue Messehalle 3) Temel Sisteminin Analizine Ait Sonuçlar	111
6. KAZIKLI RADYEJENERAL TEMEL, KAZIKLI TEMEL ve RADYEJENERAL TEMEL SİSTEMLERİNİN YANAL YÜKLER ALTINDAKİ STATİK ve DİNAMİK DAVRANIŞLARININ ANALİZİ	125
6.1 4 Kazıklı Radyejeneral Temel Sistemine Ait Üç Boyutlu Modelin Oluşturulması	129
6.2 4 Kazıklı Temel Sistemine Ait 3 Boyutlu Modelin Oluşturulması	136
6.3 Radyejeneral Temel Sistemine Ait 3 Boyutlu Modelin Oluşturulması	137
6.4 Duncan – Chang Zemin Malzeme Modeli	139
6.5 Kazıklı Radyejeneral Temel Sisteminin Analizine Ait Sonuçlar	141
6.6 Kazıklı Temel Sisteminin Analizine Ait Sonuçlar	161
6.7 Radyejeneral Temel Sisteminin Analizine Ait Sonuçlar	180
7. KAZIKLI RADYEJENERAL TEMEL ve KAZIKLI TEMEL TEMEL SİSTEMLERİNİN ÜSTYAPI YÜKLERİ ALTINDAKİ DİNAMİK DAVRANIŞLARININ ANALİZİ	187
8. SONUÇLAR	195
KAYNAKLAR	207
ÖZGEÇMİŞ	217

KISALTMALAR

3D	: 3 Dimensional
ACI	: American Concrete Institue
APRAF	: Analysis of Piled Raft Foundation
DGGT	: Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.
DIANA	: DIplacement ANAlyzer
EC 7	: Eurocode 7
FE	: Finite Element
FEM	: Finite Element Method
FLAC 2D	: Fast Lagrangian Analysis of Continua in Two Dimensions
FLAC 3D	: Fast Lagrangian Analysis of Continua in Three Dimensions
GARP	: Geotechnical Analysis of Raft with Piles
GASP	: Geotechnical Analysis of Strip on Springs
ISSMGE	: International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering
KRJT	: Kazıklı Radyejeneral Temel
KT	: Kazıklı Temel
PDR	: Poulos-Davis-Randolph
RJT	: Radyejeneral Temel
SDOF	: Tek Serbestlik Derecesi (Single Degree of Freedom)
TC18	: Technical Committee 18 (Piled Foundations)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Farklı yükleme koşulları için kullanılan zemin parametreleri.....	26
Çizelge 2.2 : Farklı yükleme koşulları için kullanılan kazık parametreleri.....	26
Çizelge 2.3 : Farklı yükleme koşulları için kullanılan plak temel parametreleri.....	26
Çizelge 4.1 : Small ve Zhang (2002)'in çalışmasında kullandıkları radyejeneral temele ve zemine ait özellikler.	80
Çizelge 5.1 : TNO DIANA yazılımına ait malzeme modelleri, eleman ve analiz tipleri.	91
Çizelge 5.2 : Malzeme parametreleri (Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası).....	98
Çizelge 5.3 : Yük kombinasyonları.	111
Çizelge 5.4 : Analiz çeşitleri (Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası).....	112
Çizelge 5.5 : Analiz No 1 ve Analiz No 7 için radyejeneral temeldeki düşey ve yatay yerdeğiştirmeler (kazıklı sistem).	119
Çizelge 5.6 : Analiz No 3 ve Analiz No 9 için radyejeneral temeldeki düşey ve yatay yerdeğiştirmeler (kazıklı ve arayüzlü sistem).	119
Çizelge 5.7 : Analiz No 5 ve Analiz No 11 için radyejeneral temeldeki düşey ve yatay yerdeğiştirmeler (kazıklı ve arayüzlü sistem).	120
Çizelge 5.8 : Analiz No 2 ve Analiz No 8 için radyejeneral temeldeki düşey ve yatay yerdeğiştirmeler (kazıksız sistem).	120
Çizelge 5.9 : Analiz No 4 ve Analiz No 10 için radyejeneral temeldeki düşey ve yatay yerdeğiştirmeler (kazıksız ve arayüzlü sistem).	121
Çizelge 5.10 : Analiz No 6 ve Analiz No 12 için radyejeneral temeldeki düşey ve yatay yerdeğiştirmeler (kazıksız ve arayüzlü sistem).....	121
Çizelge 6.1 : Arayüz eleman özellikleri (DIANA kurs notları).....	126
Çizelge 6.2 : Temel sistemlerine ait malzeme parametreleri.....	130
Çizelge 6.3 : Nümerik analizlerde kullanılan Duncan-Chang zemin parametreleri.....	141
Çizelge 7.1 : Nümerik analizlerde kullanılan Duncan-Chang zemin parametreleri.....	188
Çizelge 7.2 : Yük paylaşım analizleri.....	189
Çizelge 8.1 : KRJT ve KT'lerin düşey yük paylaşım oranları.	205

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Farklı tasarım yaklaşımlarına göre kazıklı radyejeneral temellerin yük-oturma davranışı eğrileri.....	12
Şekil 2.2 : Kazıklı radyejeneral temelin basitleştirilmiş gösterimi.....	15
Şekil 2.3 : Kazıklı radyejeneral temelin basitleştirilmiş 3 aşamalı yük-oturma grafiği.....	17
Şekil 2.4 : Basitleştirilmiş tasarım modeli, a) plağın yük-oturma eğrisi b) kazıklı radyejeneral temelin kesiti c) eşdeğer radyejeneral temel kesiti.....	19
Şekil 2.5 : Kazıklı şerit temelin GASP analizi için modeli.....	20
Şekil 2.6 : Analizlerde kullanılan kazıklı radyejeneral temel sisteminin plan ve kesiti.....	22
Şekil 2.7 : 45 kazık için kazık yerleşim planı.....	23
Şekil 2.8 : Kazıklı radyejeneral temel problemi için FLAC 3D ile oluşturulan model.....	25
Şekil 2.9 : Tekil yük altında 27 kazıklı radyejeneral temel sistemi modeli (Plaxis 3D Foundation).....	27
Şekil 2.10 : Üniform yayılı yük altında 27 kazıklı radyejeneral temel sistemi modeli (Plaxis 3D Foundation).....	27
Şekil 2.11 : Farklı yöntemlerle hesaplanan radyejeneral temeldeki ortalama oturma.....	28
Şekil 2.12 : Farklı yöntemlerle hesaplanan radyejeneral temeldeki maksimum moment.....	28
Şekil 2.13 : Farklı yöntemlerle hesaplanan radyejeneral temeldeki farklı oturma... ..	29
Şekil 2.14 : Farklı yöntemlerle hesaplanan kazık taşıma gücü karşılaştırması.....	29
Şekil 2.15 : Sisteme etkiyen yükün radyejeneral temel merkezinde oluşan oturmaya bağlı değişimi.....	30
Şekil 2.16 : Farklı kazık sayıları için uygulanan toplam yükün radyejeneral temel merkezindeki oturmaya bağlı değişimi.....	31
Şekil 2.17 : Radyejeneral temeldeki maksimum oturmanın kazık sayısına bağlı değişimi.....	32
Şekil 2.18 : Radyejeneral temeldeki maksimum momentin kazık sayısına bağlı değişimi.....	32
Şekil 2.19 : Kenar ve orta kazıkların oturma farklarının kazık sayısına bağlı değişimi.....	33
Şekil 2.20 : Kazıkların taşıdığı yükün kazık sayısına bağlı değişimi.....	34
Şekil 2.21 : Radyejeneral temelde oluşan maksimum oturmanın plak kalınlığına bağlı değişimi.....	34
Şekil 2.22 : Radyejeneral temelde oluşan maksimum momentin plak kalınlığına bağlı değişimi.....	35
Şekil 2.23 : Radyejeneral temelde oluşan farklı oturmanın plak kalınlığına bağlı değişimi.....	35

Şekil 2.24 : Radyejeneral temelde oluşan maksimum oturmanın kazık uzunluğuna bağlı değişimi.	36
Şekil 2.25 : Radyejeneral temelde oluşan maksimum momentin kazık uzunluğuna bağlı değişimi.	36
Şekil 2.26 : Radyejeneral temelde oluşan farklı oturmanın kazık uzunluğuna bağlı değişimi.	37
Şekil 2.27 : Kazıklar tarafından taşınan yükün kazık uzunluğuna bağlı değişimi.....	37
Şekil 2.28 : Radyejeneral temeldeki maksimum oturmanın plak kalınlığına bağlı değişimi.	38
Şekil 2.29 : Kenar ve orta kazıklar arasındaki farklı oturmaların radyejeneral temel kalınlığına bağlı değişimi.	39
Şekil 2.30 : Kazıkların taşıdığı yükün radyejeneral temel kalınlığına bağlı değişimi.	39
Şekil 2.31 : Etkileşim diyagramı: oturma oranlarının (S/S_{sf}), L/d ve kazık sayısına (n) bağlı değişimi.....	40
Şekil 2.32 : Kazık yükü ve yüzey sürtünmesinin kazık boyunca dağılımı; kazıklı radyejeneral temeldeki kazık sayısı:13.....	41
Şekil 2.33 : Tekil kolon yükü altında radyejeneral temel.	42
Şekil 2.34 : Dairesel kolon için moment faktörleri.....	43
Şekil 2.35 : Dairesel kolon için kesme kuvveti faktörü.	44
Şekil 2.36 : Dairesel kolon için taban basıncı faktörü.	45
Şekil 2.37 : Oturma faktörü; (zemin homojen ve çok derinde).	45
Şekil 2.38 : Çeşitli kriterler için maksimum kolon yükleri a) maksimum moment kriteri b) maksimum kesme kuvveti kriteri c) maksimum taban basıncı kriteri d) maksimum yerel oturma kriteri (maksimum oturma 20mm) (Beton için $f_c=32$ Mpa; $E_r=25.000$ MPa. Çelik için $f_y=400$ Mpa; %1 donatı).....	47
Şekil 3.1 : Serbest başlıklı yanal yüke maruz kazık için zemin taşıma gücü.	49
Şekil 3.2 : K_q ve K_c katsayıları.	51
Şekil 3.3 : Serbest başlı kısa kazık için zemin reaksiyonları ve eğilme momentleri.	53
Şekil 3.4 : Rijit başlıklı kısa kazık için zemin reaksiyonları ve eğilme momentleri.	53
Şekil 3.5 : Serbest başlıklı uzun kazık için zemin reaksiyonları ve eğilme momentleri.	53
Şekil 3.6 : Rijit başlıklı uzun kazık için zemin reaksiyonları ve eğilme momentleri.....	54
Şekil 3.7 : Winkler idealizasyonu ve yanal yüklü kazık davranışı.	55
Şekil 3.8 : Kazığa ve kazığa yakın bölgedeki zemine etkiyen gerilmeler.	57
Şekil 4.1 : Temel çeşitleri.	59
Şekil 4.2 : Temel sistemi etkileşimi.....	60
Şekil 4.3 : Düşey yük ve moment etkisi altında temel sistemi gerilme etkileşimleri.....	61
Şekil 4.4 : Kazıklı radyejeneral temel için kazık-plak katsayısı.....	62
Şekil 4.5 : Yatay yük ve moment altında temel sistemi gerilme etkileşimleri (yatay yük).	63
Şekil 4.6 : Yanal yüke maruz tekil kazığa etkiyen zemin taşıma gücü.	63
Şekil 4.7 : Kazıklı sistemde plağın zemine gömülü olması ve olmaması durumu.	66
Şekil 4.8 : Kazıklı radyejeneral temel ve kazıklı temel için yük-deplasman eğrileri.....	68
Şekil 4.9 : Dinamik yük altında kazıklı radyejeneral temel ve kazıklı temel için kazık boyunca eğilme momenti değişimi.	69
Şekil 4.10 : Darmstadt Üniversitesi'nde gerçekleştirilen yatay yüklü kazıklı radyejeneral temel deney düzeneği.	70

Şekil 4.11 : Darmstadt Üniversitesi'nde gerçekleştirilen yatay yüklü kazıklı radyejeneral temel deney düzeneğine ait kazık yerleşim planı.	71
Şekil 4.12 : Darmstadt Üniversitesi'nde gerçekleştirilen yatay yüklü kazıklı radyejeneral temel deney düzeneğinin üstten görünüşü.	71
Şekil 4.13 : Darmstadt Üniversitesi'nde gerçekleştirilen yatay yüklü kazıklı radyejeneral temel deney düzeneğine ait A-A kesiti.	72
Şekil 4.14 : Darmstadt Üniversitesi'nde gerçekleştirilen yatay yüklü kazıklı radyejeneral temel deney düzeneğine ait B-B kesiti.	72
Şekil 4.15 : Dış yüklere maruz kazıklı radyejeneral sistem ve kuvvet dağılımları (y yönü gösterilmemiştir).	76
Şekil 4.16 : Small ve Zhang (2002)'in çalışmasında kullandıkları temele ait plan ve kesit (D': eşdeğer çap).	80
Şekil 4.17 : Kazıklardaki eksenel yük karşılaştırmaları.	82
Şekil 4.18 : Radyejeneral temeldeki A-B kesitinde oluşan moment değişimleri.	83
Şekil 4.19 : Radyejeneral temeldeki A-B kesitinde oluşan sapma değişimleri.	83
Şekil 4.20 : Normalize edilmiş derinlik boyunca kazıktaki eğilme momenti.	84
Şekil 4.21 : Kazıklı radyejeneral temelin A-B kesitindeki moment değişimi.	85
Şekil 4.22 : Radyejeneral temeldeki A-B kesitinde oluşan sapma değişimleri.	85
Şekil 5.1 : 3 boyutlu katı elemanın düğüm noktaları.	89
Şekil 5.2 : TNO DIANA yazılımı ile oluşturulan model örnekleri.	90
Şekil 5.3 : TNO DIANA analiz akış şeması.	92
Şekil 5.4 : Yeni Sergi Salonu -3. Kısım Binası genel görünümü.	93
Şekil 5.5 : Yeni Sergi Salonu -3. Kısım Binası çatısı.	93
Şekil 5.6 : Sergi Salonu'na ait zemin profili.	94
Şekil 5.7 : Çatı yüklerini kazıklı radyejeneral temele aktaran A çerçeveler.	94
Şekil 5.8 : A çerçeve kesiti ve boyutları.	95
Şekil 5.9 : A çerçeve düğüm noktasına etkiyen yükler.	95
Şekil 5.10 : Kazıklı radyejeneral temelin vaziyet planı.	96
Şekil 5.11 : A çerçeve kesiti ve temel sistemine etkiyen yükler.	97
Şekil 5.12 : Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası zemin modeli ve sonlu eleman ağı.	99
Şekil 5.13 : Kazıklı radyejeneral temel modeli ve sonlu eleman ağı.	100
Şekil 5.14 : Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası A çerçeveler.	100
Şekil 5.15 : Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası modeli sınır koşulları.	101
Şekil 5.16 : İnşaa edilecek betonarme yapılara ait düşey yayılı yük.	101
Şekil 5.17 : Yapının çatısından kaynaklanan diyagonal statik yükler.	102
Şekil 5.18 : 1999 yılı Marmara Depremi'ne ait 30sn'lik deprem kaydı.	102
Şekil 5.19 : Tüm sistemin modeline ait sonlu eleman ağı kesiti.	103
Şekil 5.20 : Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası A çerçeve altındaki zemin modeli ve sonlu eleman ağı.	103
Şekil 5.21 : A çerçeve altındaki radyejeneral temel ve kazıklar modeli ve sonlu eleman ağı.	104
Şekil 5.22 : Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası A çerçeve modeli.	104
Şekil 5.23 : Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası A çerçeve modeli sınır koşulları.	105
Şekil 5.24 : Arayüz elemanının perspektif görünüşü.	105
Şekil 5.25 : Arayüz elemanının XZ düzlem görünüşü.	106
Şekil 5.26 : İnşaa edilecek betonarme yapıya ait düşey yayılı yük.	106
Şekil 5.27 : Yapının çatısından kaynaklanan diyagonal statik yükler.	107
Şekil 5.28 : Kazıklı radyejeneral temelin XZ düzlem kesiti.	107

Şekil 5.29 : A çerçeve altındaki radyejeneral temel ve sonlu eleman ağı.	108
Şekil 5.30 : Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası A çerçeve modeli.....	108
Şekil 5.31 : Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası A çerçeve modeli sınır koşulları.	109
Şekil 5.32 : Arayüz elemanı.....	109
Şekil 5.33 : İnşaa edilecek betonarme yapıya ait düşey yayılı yük.	110
Şekil 5.34 : Yapının çatısından kaynaklanan diyagonal statik yükler.	110
Şekil 5.35 : Radyejeneral temel sistemi kesiti.	111
Şekil 5.36 : Analiz No 1 yatay yerdeğiştirme eğrisi.	113
Şekil 5.37 : Analiz No 3 yatay yerdeğiştirme eğrisi.	114
Şekil 5.38 : Analiz No 5 yatay yerdeğiştirme eğrisi.	114
Şekil 5.39 : Analiz No 7 düşey yerdeğiştirme eğrisi.	115
Şekil 5.40 : Analiz No 7 yatay yerdeğiştirme eğrisi.	115
Şekil 5.41 : Analiz No 9 düşey yerdeğiştirme eğrisi.	116
Şekil 5.42 : Analiz No 9 yatay yerdeğiştirme eğrisi.	117
Şekil 5.43 : Analiz No 11 düşey yerdeğiştirme eğrisi.	117
Şekil 5.44 : Analiz No 11 yatay yerdeğiştirme eğrisi.	118
Şekil 5.45 : Analiz No 7 kazıklı radyejeneral temel altında oluşan düşey gerilme (LC 1) eğrisi.	122
Şekil 5.46 : Analiz No 7 kazıklı radyejeneral temel altında oluşan düşey gerilme (LC 2) eğrisi.	122
Şekil 5.47 : Analiz No 7 kazıklı radyejeneral temel altında oluşan düşey gerilme (LC 3) eğrisi.	123
Şekil 5.48 : Analiz No 7 kazıklı radyejeneral temel altında oluşan düşey gerilme dağılımı (deprem durumunda maksimum değerler).....	123
Şekil 6.1 : TNO DIANA arayüz elemanı yaklaşımı.	125
Şekil 6.2 : Kazık elemanları için kullanılan kuvvet - deformasyon eğrisi.....	126
Şekil 6.3 : Kazık – zemin arayüz elemanı için kuvvet – yerdeğiştirme eğrisi.....	127
Şekil 6.4 : Kazık alt ucu –zemin arayüz elemanı için kuvvet –yerdeğiştirme eğrisi.	127
Şekil 6.5 : 4 kazıklı radyejeneral temel sistemi boyutları.....	128
Şekil 6.6 : 4 kazıklı temel sistemi boyutları.....	128
Şekil 6.7 : Radyejeneral temel sistemi boyutları.	129
Şekil 6.8 : Radyejeneral temel altındaki zemin modeli ve sonlu eleman ağı.	130
Şekil 6.9 : Radyejeneral temeli çevreleyen zemin modeli ve sonlu eleman ağı.	131
Şekil 6.10 : Tüm zeminin modeli ve sonlu eleman ağı.....	131
Şekil 6.11 : 4 adet kazık elemanı ve zemin modeli.	132
Şekil 6.12 : 4 adet kazıklı radyejeneral temel sistemi ve zemin modeli.....	132
Şekil 6.13 : X-Y-Z doğrultularında atanan sınır koşulları (a).....	133
Şekil 6.14 : X-Y-Z doğrultularında atanan sınır koşulları (b).	133
Şekil 6.15 : 4 adet kazık elemanı ve zemin modeli.	134
Şekil 6.16 : 4 adet kazık elemanı ve zemin modeli.	134
Şekil 6.17 : 1999 yılı Marmara Depremi'ne ait 30 sn'lik deprem kaydı.	134
Şekil 6.18 : Kazıklı radyejeneral temel sisteminin perspektif görünüşü.	135
Şekil 6.19 : Kazıklı radyejeneral temel sisteminin XZ düzlem kesiti görünüşü (a).	135
Şekil 6.20 : Kazıklı radyejeneral temel sisteminin XZ düzlem kesiti görünüşü (b).	135
Şekil 6.21 : Zemin modeline ait boyutlar.	136
Şekil 6.22 : Kazıklı temel sisteminin perspektif görünüşü.	136
Şekil 6.23 : Kazıklı temel sisteminin XZ düzlem kesiti görünüşü (a).	137
Şekil 6.24 : Kazıklı temel sisteminin XZ düzlem kesiti görünüşü (b).....	137

Şekil 6.25 : Radyejeneral temel sisteminin perspektif görünüşü.....	138
Şekil 6.26 : Radyejeneral temel sisteminin XZ düzlem kesiti görünüşü (a).	138
Şekil 6.27 : Radyejeneral temel sisteminin XZ düzlem kesiti görünüşü (a).	138
Şekil 6.28 : Gerilme – deformasyon eğrisinin hiperbolik gösterimi.	139
Şekil 6.29 : Sistemin kendi ağırlığından dolayı oluşan gerilmeler.	142
Şekil 6.30 : Statik yük altında temel sisteminde oluşan yatay deformasyon.....	143
Şekil 6.31 : 1 No’lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).	143
Şekil 6.32 : 2 No’lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).	144
Şekil 6.33 : 3 No’lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).	144
Şekil 6.34 : 4 No’lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).	145
Şekil 6.35 : 30sn’de sistemde oluşan yatay yerdeğiştirmeler.	145
Şekil 6.36 : 1 No’lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	146
Şekil 6.37 : 2 No’lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	146
Şekil 6.38 : 3 No’lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	147
Şekil 6.39 : 4 No’lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	147
Şekil 6.40 : Statik yükleme neticesinde oluşan düşey yerdeğiştirmeler.	148
Şekil 6.41 : 1 No’lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).	149
Şekil 6.42 : 2 No’lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).	149
Şekil 6.43 : 3 No’lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).	150
Şekil 6.44 : 4 No’lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).	150
Şekil 6.45 : 30. sn’de sistemde oluşan düşey yerdeğiştirmeler.	151
Şekil 6.46 : 1 No’lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	151
Şekil 6.47 : 2 No’lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	152
Şekil 6.48 : 3 No’lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	152
Şekil 6.49 : 4 No’lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	153
Şekil 6.50 : Kazıklı radyejeneral temel akslarına ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).	153
Şekil 6.51 : 30 sn’lik dinamik analize ait kazıklı radyejeneral temel akslarında meydana gelen yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	154
Şekil 6.52 : Kazıklı radyejeneral temel akslarına ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).	154
Şekil 6.53 : 30 sn’lik dinamik analize ait kazıklı radyejeneral temel akslarında meydana gelen düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	155
Şekil 6.54 : Kazıklarda meydana gelen eksenel yük (statik).	155
Şekil 6.55 : 30. sn’de kazıklarda meydana gelen eksenel yük (dinamik).	156
Şekil 6.56 : 1 ve 3 No’lu kazıkların eksenel yük değişimi (statik).	156
Şekil 6.57 : 2 ve 4 No’lu kazıkların eksenel yük değişimi (statik).	157
Şekil 6.58 : Kazıkların rölatif eksenel yük değişimi (dinamik).	157
Şekil 6.59 : Kazıkların kesme kuvveti değişimi (statik).	158
Şekil 6.60 : Kazıkların rölatif kesme kuvveti değişimi (dinamik).	158
Şekil 6.61 : Kazıklarda meydana gelen moment (statik).	159
Şekil 6.62 : Kazıkların eğilme momenti değişimi (statik).	159
Şekil 6.63 : Kazıkların eğilme momenti değişimi (dinamik).	160
Şekil 6.64 : Radyejeneral temel akslarına ait eğilme momenti değişimi (statik). ...	160
Şekil 6.65 : Radyejeneral temel akslarına ait eğilme momenti değişimi (dinamik).	161
Şekil 6.66 : Sistemin kendi ağırlığından dolayı oluşan gerilmeler.	161
Şekil 6.67 : Statik yük altında temel sisteminde oluşan yatay deformasyon.....	162
Şekil 6.68 : 1 No’lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).	163
Şekil 6.69 : 2 No’lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).	163
Şekil 6.70 : 3 No’lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).	164

Şekil 6.71 : 4 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).....	164
Şekil 6.72 : 30sn'de sistemde oluşan yatay yerdeğiştirmeler.	165
Şekil 6.73 : 1 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	165
Şekil 6.74 : 2 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	166
Şekil 6.75 : 3 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	166
Şekil 6.76 : 4 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	167
Şekil 6.77 : Statik yükleme neticesinde oluşan düşey yerdeğiştirmeler.	167
Şekil 6.78 : 1 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).	168
Şekil 6.79 : 2 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).	168
Şekil 6.80 : 3 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).	169
Şekil 6.81 : 4 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).	169
Şekil 6.82 : 30. sn'de sistemde oluşan düşey yerdeğiştirmeler.	170
Şekil 6.83 : 1 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	170
Şekil 6.84 : 2 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	171
Şekil 6.85 : 3 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	171
Şekil 6.86 : 4 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	172
Şekil 6.87 : Kazıklı temel akslarına ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).	172
Şekil 6.88 : 30 sn'lik dinamik analize ait kazıklı temel akslarında meydana gelen yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).....	173
Şekil 6.89 : Kazıklı temel akslarına ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).....	173
Şekil 6.90 : 30 sn'lik dinamik analize ait kazıklı radyejeneral temel akslarında meydana gelen düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).	174
Şekil 6.91 : Kazıklarda meydana gelen eksenel yük (statik).	175
Şekil 6.92 : 30. sn'de kazıklarda meydana gelen eksenel yük (dinamik).	175
Şekil 6.93 : 1 ve 3 No'lu kazıkların eksenel yük değişimi (statik).	176
Şekil 6.94 : 2 ve 4 No'lu kazıkların eksenel yük değişimi (statik).	176
Şekil 6.95 : Kazıkların rölatif eksenel yük değişimi (dinamik).	177
Şekil 6.96 : Kazıkların kesme kuvveti değişimi (statik).	177
Şekil 6.97 : Kazıkların rölatif kesme kuvveti değişimi (dinamik).	178
Şekil 6.98 : Kazıklarda meydana gelen moment (statik).	178
Şekil 6.99 : Kazıkların eğilme momenti değişimi (statik).	179
Şekil 6.100 : Kazıkların eğilme momenti değişimi (dinamik).	179
Şekil 6.101 : Radyejeneral temel akslarına ait eğilme momenti değişimi (statik). ..	180
Şekil 6.102 : Radyejeneral temel akslarına ait eğilme momenti değişimi (dinamik).	180
Şekil 6.103 : Sistemin kendi ağırlığından dolayı oluşan gerilmeler.	181
Şekil 6.104 : Statik yük altında temel sisteminde oluşan yatay deformasyon.	181
Şekil 6.105 : Radyejeneral temele ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).	182
Şekil 6.106 : 30. sn'de sistemde oluşan yatay yerdeğiştirmeler.	182
Şekil 6.107 : Radyejeneral temele ait yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik). ...	183
Şekil 6.108 : Statik yükleme neticesinde oluşan düşey yerdeğiştirmeler.	183
Şekil 6.109 : Radyejeneral temele ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).	184
Şekil 6.110 : 30. sn'de sistemde oluşan düşey yerdeğiştirmeler.	184
Şekil 6.111 : Radyejeneral temele ait düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik). ..	185
Şekil 6.112 : Radyejeneral temel akslarında statik yükleme ile oluşan momentler.	185
Şekil 6.113 : Radyejeneral temel akslarına ait eğilme momenti değişimi (statik). ..	186
Şekil 6.114 : Radyejeneral temel akslarına ait eğilme momenti değişimi (dinamik).	186
Şekil 7.1 : Tek serbestlik dereceli kazıklı radyejeneral ve kazıklı temel.	187
Şekil 7.2 : Deprem dalgasının uygulama yönü ve yeri.	188

Şekil 7.3 : Kazıklar tarafından karşılanan eksenel yük – zaman değişimi (M=0kN/g, KRJT).	189
Şekil 7.4 : Kazıklar tarafından karşılanan eksenel yük – zaman değişimi (M=10kN/g, KRJT).	190
Şekil 7.5 : Kazıklar tarafından karşılanan eksenel yük – zaman değişimi (M=100kN/g, KRJT).	190
Şekil 7.6 : Ort. kazık eksenel yük – zaman değişimi (M=0, 10 ve 100kN/g, KRJT).	191
Şekil 7.7 : Kazıklar tarafından karşılanan eksenel yük – zaman değişimi (M=0kN/g, KT).	191
Şekil 7.8 : Kazıklar tarafından karşılanan eksenel yük – zaman değişimi (M=10kN/g, KT).	192
Şekil 7.9 : Kazık başına ait yatay yer değiştirme – zaman değişimi (M=0, KRJT). 192	
Şekil 7.10 : Kazık başına ait yatay yer değiştirme – zaman değişimi (M=10kN/g, KRJT).	193
Şekil 7.11 : Kazık başına ait yatay yer değiştirme – zaman değişimi (M=100kN/g, KRJT).	193
Şekil 7.12 : Kazık başına ait yatay yer değiştirme – zaman değişimi (M=0, KT). . 194	
Şekil 7.13 : Kazık başına ait yatay yer değiştirme – zaman değişimi (M=10kN/g, KT).	194

SEMBOL LİSTESİ

a	: Plağın karakteristik uzunluğu
b	: Sıfıra eşit veya sıfırdan büyük katsayı ($b \geq 0$)
c	: Kolon yarıçapı
e	: Yanal yükün uygulandığı noktanın zemin yüzeyine olan mesafesi
k_h	: Derinlikle doğrusal artan veya kazık alt ucundaki yatay yatak katsayısı modülü
k_s	: Temel zemini reaksiyon katsayısı
k_x	: x derinliğindeki yatay yatak katsayısı
m	: Toplam birim yük sayısı
p	: Kazığın o noktadaki birim uzunluğu için zemin reaksiyonu
p_r	: Zemindeki birim gerilme (reaksiyon)
q	: Taban basıncı
q_d	: Tasarım taban basıncı
q_{max}	: Radyejeneral temel altındaki maksimum taban basıncı
q_{s,j}	: Yüzey sürtünmesi
q_u	: Zeminin nihai taşıma kapasitesi
r_m	: Maksimum etki uzaklığı
r_o	: Kazık yarıçapı
t	: Radyejeneral temel kalınlığı
x	: Kolon ekseninin radye kenarına olan uzaklığı
x_{ro}	: Dönme noktasının zemin yüzeyine mesafesi
y	: Kazığın o noktadaki deformasyonu
B	: Temel genişliği
D	: Kazık çapı
D_f	: Temel derinliği
D'	: Eşdeğer çap
E_p	: Kazığın elastisite modülü
E_r	: Radyejeneral temelin kayma modülü
E_{sb}	: Kazık tabanı seviyesi altında yer alabilecek sert zeminin
E_{sl}	: Kazık tabanı zemininin elastisite modülü
E_{st}	: Çeliğin elastisite modülü
F_p	: Kazık için güvenlik katsayısı
F_s	: Taban basıncı için güvenlik faktörü
I_p	: Kazık kesitinin atalet momenti
K_{cd}	: Hedef rijitlik
K_n	: Arayüze ait normal modül
K_{pm}	: Gruptaki tüm kazıklar için rijitlik matrisi
K_{pg}	: Kazık grubunun rijitliği
K_p	: Rankine pasif toprak basıncı katsayısı
K_{pr}	: Kazıklı radyejeneral temelin rijitliği
K_r	: Radyejeneral temelin rijitliği
K_s	: Zeminin rijitlik matrisi

K_t	: Arayüze ait kayma modülü
L	: Kazık boyu
M_d	: Radyejeneral temelin tasarım moment kapasitesi
M_{max}	: Maksimum moment değeri
P_c	: Gerçek kolon tasarım yükü
P_{c2}	: Radyejeneral temele etkiyecek maksimum kolon yükü
P_{c3}	: Müsaade Edilebilir taban basıncını geçmeyecek maksimum kolon yükü
P_{c4}	: Maksimum kolon yükü
P_{crit}	: Kritik kolon yükü
P_i	: Kazıktaki eksenel yük
P_j	: J bölgesindeki yükler
P_p	: Şaft yüzeyindeki yük vektörleri
P_r	: Radyejeneral temel tarafından taşınan yük
P_s	: Zeminin yük vektörü
P_{su}	: Kazık yüzeyindeki nihai sürtünme
P_t	: Uygulanan toplam yük
P_{toplam}	: Radyejeneral temel üzerindeki toplam yük
P_{ud}	: Kazığın nihai yük taşıma kapasitesi
P_{up}	: Kazık grubunun nihai yük taşıma kapasitesi
P_{us}	: Tüm sistemin nihai taşıma gücü
P_x, P_y, P_z	: Radyejeneral temele x,y ve z yönlerinde uygulanan toplam dış yükler
P_{xu}	: Nihai birim zemin taşıma gücü
Q	: Kazık başlarına etkiyen ilave yük veya kolon yükü
R	: Yük vektörü (kazık başlarına etkiyen Q yüklerini ya da yüzey yüklerini içerir)
$R_{h,front}$	: Radyejeneral temel ön yüzeyindeki yatay taşıma gücü
$R_{h,raft}$	: Radyejeneral temelin yatay taşıma gücü
$R_{h,side}$	: Radyejeneral temel yan yüzeylerindeki yatay taşıma gücü
$R_{h,tot}$	: Kazıklı radyejeneral temelin toplam yatay taşıma gücü
$R_{pile,i}$	: Kazık düşey taşıma gücü
R_{raft}	: Radyejeneral temelin toplam düşey taşıma gücü
R_{tot}	: Kazıklı radyejeneral temelin toplam düşey taşıma gücü
S	: Kazıklı radyejeneral temelin oturması
S_c	: Kolon altındaki oturma miktarı
S_0	: p_0 tasarım yükünde gerçekleşen oturma miktarıdır
S_a	: İzin verilebilir yerel oturma miktarı
S_a	: Müsaade edilebilir toplam oturma miktarı
S_p	: Kazık eksenleri arası mesafe
S_{sf}	: Radyejeneral temelin oturması
T, R	: Yatak katsayısının derinlikle artması ya da sabit kalması durumları için rölatif rijitlik faktörü
V_d	: Tasarım kesme kuvveti
X	: Radyejeneral temel tarafından taşınan yükün toplam yüke oranı
α_{CPRF}	: Kazık-radye katsayısı
$\alpha_{h,KPP}$	: Yatay kazık-radye katsayısı
α_{rp}	: Radye-kazık etkileşim faktörü
δ_p	: Kazık üzerinde belirlenen noktalardaki yerdeğiştirmeler
δ_{r0}	: Oluşturulan her birimin merkezindeki yerdeğiştirme
δ	: Oturma

δ_s	: Zeminin yerdeğiştirme vektörü
δ_s^i	: Birim kuvvetin uygulandığı noktadaki yerdeğiştirme
$\emptyset'$	: Efektif kayma mukavemeti açısı
$\emptyset$	: Kayma mukavemeti açısı
γ	: Efektif birim hacim ağırlık
γ_p	: Kazığın birim hacim ağırlığı
γ_r	: Radyejeneral temelin birim hacim ağırlık
γ_s	: Zeminin birim hacim ağırlığı
γ_{st}	: Çeliğin birim hacim ağırlığı
ζ	: Kazık etki yarıçapı
ν_p	: Kazığın poisson oranı
ν_r	: Radyejeneral temelin poisson oranı
ν_s	: Zeminin poisson oranı
ν_{st}	: Çeliğin poisson oranı
ω	: Oturma faktörü
$\bar{q}$	: Taban basıncı faktörü
σ_r	: Düşey radyejeneral temel taşıma gücü kontak basıncı
σ_v'	: Herhangi bir derinlikteki düşey efektif gerilme
$\bar{\sigma}_{vx}$	: x derinliğindeki düşey efektif gerilme
$\Sigma R_{h,pile}$	: Kazıkların toplam yatay taşıma gücü
$\Sigma R_{pile,i}$	: Kazıkların toplam düşey taşıma gücü
τ_r	: Radyejeneral temel ile zemin arasında oluşan kayma kuvvetleri
(P_0-P_1)	: Kazıklar tarafından taşınması beklenen yük
$[K]$	: Elemanın rijitlik matrisi
$[K_{sys}]$	: Sistemin rijitlik matrisi
$[I_r]$	: Radyejeneral temelin etki matrisi
$[I_{sp}]$	: Zemin içindeki kazığın etki matrisi
$\{\delta\}$	: Elemanın düğüm noktasındaki yerdeğiştirme vektörü
$\{Q\}$	: Elemanın düğüm noktasındaki yük vektörü
$\{\delta_{sys}\}$	: Sistemin düğüm noktalarındaki yerdeğiştirme vektörü
$\{Q_{sys}\}$	: Elemanın düğüm noktalarındaki yük vektörü
$\{P_{sp}\}$	: Radyejeneral temel ile kazık arasındaki yük faktörü
$\{a'\}....\{f'\}$	: Yardımcı vektörler
$\{a\}....\{f\}$	: Yardımcı vektörler

KAZIKLI RADYEJENERAL TEMELLERİN YANAL YÜK ALTINDA DAVRANIŞININ BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu tez çalışmasında, literatürde çok fazla araştırmanın bulunmadığı kazıklı radyejeneral temellerin yanal yük altında davranışlarının belirlenmesi konusuna sonlu elemanlar yöntemini kullanan yazılımlarla açıklık getirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla farklı temel sistemleri oluşturulmuş ve bilgisayar analizleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma kapsamında ilk olarak düşey yük altındaki kazıklı radyejeneral temel davranışının anlaşılabilmesi için literatürde yapılan çalışmaların sonuçları irdelenmiştir. Oluşturulan temel sistemi modelinin, Plaxis 3D Foundation yazılımı ile statik yük altındaki analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları literatürdeki diğer yöntemlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. 9 kazıklı radyejeneral temelin tekil ve yayılı yük altındaki oturma davranışı literatürdeki diğer yöntemler ile oldukça benzer sonuçlar gösterirken plakta oluşan maksimum moment yayılı yük için daha az hesaplanmıştır. Kazıklı radyejeneral temel sisteminde her iki yükleme durumu için kazıklar tarafından taşınan yük toplam düşey yükün %55-60'ı olarak belirlenmiştir. Kazık sayısının artması, plakta meydana gelen oturma miktarını belli bir değere kadar azaltmaktadır. Bu da kazık sayısının fazla olmasının radyejeneral temelde oluşan oturmayı tamamen ortadan kaldırmadığını göstermektedir. Plak kalınlığının artması radyejeneral temelde meydana gelen farklı oturmayı azaltırken momenti arttırmaktadır. Kazık uzunlukları arttıkça radyejeneral temelde meydana gelen maksimum moment azalmıştır.

Sonraki aşamada Frankfurt'taki Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası'na (Neue Messehalle 3) ait kazıklı radyejeneral temel sisteminin 3 boyutlu modeli TNO DIANA yazılımı ile oluşturulmuştur. Statik ve dinamik yükler altında kazık ve radyejeneral temel davranışları irdelenmiştir. Temel sistemi sadece kendi ağırlığı etkisinde iken kazıklarda meydana gelen yatay deplasmanlar, sistem düşey yük etkisi altında iken meydana gelen yatay deplasmanlardan daha az belirlenmiştir. Temel sistemi ile zemin arasında kullanılan arayüz elemanının Elastisite Modülü azaldıkça kazıklarda meydana gelen yatay yerdeğiştirmelerde artış gözlenmiştir. Dinamik analiz neticesinde kazıklarda meydana gelen düşey gerilme statik yükleme durumuna göre %13 daha fazla belirlenmiştir.

Bir sonraki aşamada ise 4 kazıklı temel sistemi oluşturulmuş ve sistemin kazıklı radyejeneral temel, kazıklı temel ve radyejeneral temel olması durumlarında yatay statik yük ve yatay deprem kuvvetlerinin etkisi gözönüne alınarak dinamik analizleri (time response analysis) gerçekleştirilmiştir. Deplasman, eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve moment değişimleri tüm temel sistemleri için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Kazıklı radyejeneral temel sisteminde statik yükün uygulanma noktasına yakın olan kazıklarda meydana gelen yatay yerdeğıştirmeler uzak olan kazıklara göre daha az belirlenmiştir. Dinamik analizde ise kazıklarda meydana gelen eksenel yük değışimleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Kazıklı temel sistemi için de aynı davranış değlendirmeleri yapılarak ulaşılan sonuçlara yer verilmiştir. Radyejeneral temel sisteminde temel akslarının dinamik analiz süresince göstermiş oldukları yatay yerdeğıştirmeler kazıklı sistemlerdeki kazık davranışları ile benzerlik göstermektedir. Statik yük altında radyejeneral temelde oluşan düşey yerdeğıştirmeler kazıklı sistemlerdeki değlerden daha yüksek bulunmuştur. Bu noktada kazıkların temel sistemine yaptığı olumlu bir etki söz konusudur. Dinamik analizde radyejeneral temelde oluşan düşey deformasyon değleri diğer sistemlerin analizleri ile karşılaştırıldığında daha yüksek değlerdedir. Bu noktada kazıkların düşey yerdeğıştirmeyi azaltıcı yönde fayda sağladığı görölmektedir. Dinamik yük altında plakta meydana gelen düşey yerdeğıştirmeler ve momentler de karşılaştırmalı olarak değlendirilmiştir.

Çalışmanın son aşamada ise , üstyapı etkisinin de göz önüne alındığı temel sistemlerinin dinamik analizi incelenmiştir. Tek serbetlik derecesine (SDOF) sahip kütleye sahip kazıklı radyejeneral temel ve kazıklı temelin deprem yükleri altında analizleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analizler neticesinde kazıklı radyejeneral sistemler, dinamik yükler altında kazık-plak elemanları altında yük paylaşımı gerçekleştirerek kazıklar tarafından taşınan yükün azalmasını sağlamaktadır.

ASSESSMENT OF THE PILED RAFT FOUNDATION BEHAVIOUR UNDER LATERAL LOAD

SUMMARY

The aim of the study is to clarify the subject of determination of behavior of pile raft foundations under lateral load, about which not many research had been done, by software using finite elements method. For that purpose, analysis had been done via software using finite elements method by modeling different foundation systems. Reached analysis results had been compared with the methods in the literature and evaluations had been performed.

Within the scope of the study, first results of the studies had been performed in the literature had been examined in order to comprehend the behaviors of pile raft foundations under vertical load. Analysis of an example foundation system model taken from the literature had been performed under vertical static load by “Plaxis 3D Foundation” software. Different number of piles had been used in the analysis in order to determine the effect of change in number of piles on the bearing capacity and the displacement of the system. Results of the analysis had been compared with the results of other methods from the literature. While displacement behavior of 9-pile raft foundation under single and uniform loads showed almost similar results with the other methods in the literature, the maximum moment on the raft had been calculated less for distributed load. The load carried by the piles had been determined as the 55-60 % of the total load for both loading types on pile raft foundation systems. Increase in the number of piles decreases the amount of displacement occurs at the raft to a value. This situation unveils that number of piles being high does not completely prevents the displacement of the raft in raft foundation. While increase in the thickness of the raft decreases the amount of different displacement occurs in raft foundation, yet increases the moment. As the pile lengths increased, the maximum moment occurs in the raft foundation had decreased.

At the next stage, 3-dimension model of pile raft foundation of the Section 3 Building of New Exhibition Hall in Frankfurt had been formed via “TNO DIANA” software. In order to correctly determine the behavior of pile and raft foundation systems under vertical and horizontal load, the finite element mesh around the pile and plate foundation had been formed more densely. Because the condensation will lead to an increase in the number of nodes, wider finite element meshes are defined at other areas. Behaviors of pile and spread footing foundations under static and dynamic loads had been examined. By means of the software, moment, share force, normal force, and displacement values at different parts of pile and foundation elements were obtained. First, the increases in stress and displacement of foundation system occur only by its own weight had been calculated.

Horizontal displacements occur in the piles when the system is under the load of its own weight had been determined to be less than the horizontal displacements occur when the system is under the effect of a vertical load. As the elasticity module of the interface element that had been placed between the foundation system and soil, an increase had been observed in the horizontal displacements occur in the piles.

Due to the results of dynamic analysis, vertical stress at piles had been determined to be 13% more than that of under situation of static loading.

At the next stage, a 4-pile foundation system had been formed and dynamic analysis (time response analysis) of the system had been performed for the situations that the foundation is pile raft foundation, pile foundation, or spread footing foundation, considering the effects of horizontal static load and horizontal earthquake forces. Displacements, axial force, shear force, and momentum changes had been analyzed separately for each foundation system. In pile raft foundation systems, horizontal displacements at the piles closer to the application point of the static load had been determined to be greater than that at further piles. As the elasticity module of the interface element used decreased, an increase in the horizontal displacement occurs at the piles had been observed. When the horizontal displacement values are compared for the raft foundation systems, the horizontal displacement occurs at the raft foundations had increased under both static and dynamic loading as the elasticity module of the interface element decreases. Vertical displacement occurs at raft foundation had increased under both static and dynamic loading as the elasticity module of interface element decreases.

In the dynamic analysis, the axial load changes occur at the piles had been comparatively presented. The same behavioral determinations had been performed also for pile foundation systems and the results had been included. The horizontal displacements that had been observed during dynamic analysis at main axis of raft foundation systems are similar to the pile behaviors in pile foundation systems. Horizontal displacements at raft foundations under static loads are found to be greater than the values at pile foundation systems. At that point there is a positive effect of piles to the system. In dynamic analysis, vertical displacement values at raft foundation are greater than that of analysis of other systems when compared. At that point, it is observed that piles are effective to reduce the vertical displacement values. Vertical displacements and moments at the raft under dynamic loads had also been comparatively evaluated.

At the last stage of the study, the dynamical analysis of foundation systems considering also the superstructure had been examined. Analysis of pile raft foundations and pile foundations, which has a body that has a Single Degree of Freedom (SDOF), under earthquake loads had been performed and compared. In a case that pile raft foundation has no superstructure load, while 77% of the foundation weight is being carried by the piles, 23% had been carried via the contact of raft with soil. Also in case that the mass representing the superstructure is $M=10 \text{ kN/g}$, the load sharing rates seem to be similar. Yet in case that the mass representing the superstructure is $M=100 \text{ kN/g}$, the load ratio carried by the piles had decreased to 65% while the load share of the raft was increased to 35%. It is obviously observed that, as the mass of superstructure increases, also the load carried by the raft increases. If this situation is compared with the pile foundations, in case that there is no superstructure load or that the superstructure load increases, the load is completely carried by the piles. As the result of the analysis, pile raft foundation

systems provide a decrease in load carried by the piles by materializing a load share between pile-raft elements under dynamic loads. For the horizontal displacements at the pile heads of pile raft foundations and pile foundations, it is determined that the piles of pile foundation had been horizontally displaced 25 % more, in case of no mass. In case that there is a superstructure load of $M=10 \text{ kN/g}$, the difference had increased to 51 %. In case the superstructure load increases (from $M=0$ to $M=10 \text{ kN/g}$), while there is a 25% decrease in horizontal displacement at piles of pile raft foundations, this decrease is determined to be 14% at pile foundations. Thus, as the superstructure load increases, a provided contact of the raft with soil enables a lower horizontal displacement value at pile heads of pile raft foundations when compared to pile foundations.

It is necessary to perform measurements on pile raft foundations via suitable monitoring methods on the field, and to use that information to explain the behaviors under horizontal load, since this is the only way to explain the interaction between pile, raft foundation, and the soil as close as possible to the reality. It is necessary to perform several and authentic studies in order to comprehend the behaviors of pile raft foundations under different conditions, such as; soil type, underground water levels, number of piles, length of piles, load stands, different earthquake records, etc. There is not much studies performed in the literature on the structural behavior of pile raft foundations under horizontal loads. Determination of the behaviors of pile raft foundation systems under horizontal load will be one of the top most important study topics in the future.

1. GİRİŞ

Günümüzde çok katlı yapılara duyulan ihtiyacın artmasıyla üst yapıdan gelen aşırı düşey ve yatay yükler, zeminde taşıma gücü ve oturma problemlerini de beraberinde getirmektedir. Bir yapıyı güvenle taşıyabilecek özelliklere sahip zemin tabakası derinde bulunmuyorsa ekonomik bir seçenek olarak sığ temel uygulanır. Bu nedenle bir yapının temelinin projelendirilmesinde önce sığ temel yapmanın mümkün olup olmayacağı tahkik edilmelidir. Sığ temel olarak da radyejeneral temelin dikkate alınma durumları aşağıda sıralanmıştır (Birand, 2007):

- a) Üst yapıdan gelen yapısal yüklerin karşılanması için gerekli olan zemin-temel temas alanı bina taban alanının yarısından fazla ise radyejeneral temel tercihi daha ekonomik olabilmektedir.
- b) Zeminin aşırı farklı oturmalara veya farklı kabarmalara (yüksek derecede şişen zeminler) eğilimli olduğu durumlarda temelin yapısal sürekliliği ve eğilme rijitliği bu düzensizlikleri karşılayabilecektir.
- c) Üst yapıdan gelecek olan yüklerin değişkenliği farklı oturmalara neden olacağından radyejeneral temelin yapısal sürekliliği ve eğilme rijitliği bu düzensizlikleri ortadan kaldıracaktır.
- d) Radyejeneral temellerin ağır ve sürekli olmaları oluşabilecek kaldırma kuvvetlerine karşı diğer sığ temellere göre daha fazla güvenlik sağlayacaktır.
- e) Yeraltı su seviyesinin zemin yüzeyine yakın olduğu koşullar da temelin suya karşı yalıtımı önemli bir konudur. Radyejeneral temeller tek parça olduğundan su yalıtımının yapılması kolaylık sağlamaktadır.
- f) Yanal yüklerin yapı içinde üniform olarak dağıtılmamalarından dolayı sığ temellerde farklı yatay hareketlere neden olabilir. Radyejeneral temellerin süreklilikleri bu gibi hareketlere karşı koyacaktır.

Zemin tabakasının yeterli taşıma gücüne sahip olmaması durumlarında meydana gelebilecek taşıma gücü ve oturma problemlerini ortadan kaldırmak için derin temellerin tercih edilmesi ve bu temel sistemlerinin tasarımında ekonomik ve güvenilirlik açısından optimum çözümün bulunması gerekmektedir. Derin temel çeşiti olan kazıklı temellerin tasarımı için kullanılan geleneksel analizlerde kazık başlığının zeminle etkileşmediği varsayılmaktadır. Kazık başlığının da genelde bir plak olduğu düşünülürse zeminin bu plak ile temasının kesildiği durumlarda üst yapıdan gelecek düşey ve yatay yüklerin sadece kazıklar tarafından zemine aktarıldığı kabulunun yapılması normal görülebilir. Fakat bu plağın zeminle etkin bir temas durumunda kalması halinde üst yapı yükü, zemine hem kazıklar hem de plak ile aktarılacaktır. Bu durum kazıklı temel ile zemin etkileşimini içeren tasarıma yeni bir yaklaşım gerektirmektedir.

Geleneksel yöntemlerle yapılan kazıklı temel hesaplarında, genelde kirişli ızgara veya plak olan kazık başlığının zeminle etkileşmediği ve üstyapı yükünün tamamının kazıklar tarafından zemine aktarıldığı varsayılmaktadır.

Kazık başlığını teşkil eden plak (radyejeneral temel) altındaki zemin ile kazığı taşıyan tabakalar arasında büyük rijitlik farkı varsa plağın zemine yük aktardığı kabul edilmez. Plak ile kazığı taşıyan tabakaların rijitlikleri birbirine yakınsa yüklerin bir kısmının radyejeneral temel bir kısmının da kazıklar tarafından taşındığı kabul edilebilir.

Kazıklı radyejeneral temelin yanal yük altındaki davranışı problemin karışıklığı nedeniyle sonlu elemanlar ağı yaklaşımı ile analiz yapabilen bilgisayar programları vasıtasıyla modellenenilmektedir.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Tez çalışmasında, kazıklı radyejeneral temel, kazıklı temel ve radye temel sistemlerinde kazıkların ve plak temelin, yatay dinamik ve statik yük altında taşıma gücü, yatay ve düşey deplasmanlarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

Kazıklı radyejeneral temel sisteminin yanal yük altında davranışının daha iyi anlaşılması için ilk olarak düşey yük altındaki davranış ile ilgili analizler gerçekleştirilerek bulunan sonuçların mevcut yöntemlerle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

TNO Diana yazılımı ile ilk olarak Frankfurt'taki Yeni Sergi Salonu'nun kazıklı radyejeneral temellerinin yatay yük altında davranışını incelenmiştir. Yanal yükün statik ve dinamik olması durumları için radye temelde ve kazıklarda meydana gelen yatay yer değiştirmelerin ve yük paylaşımlarının irdelenmesi çalışmanın amaçlarından bir diğeridir. Bu amaç doğrultusunda modellenen kazıklı radyejeneral temel, kazıklı temel ve radye temelin analizleri yapılarak bulunan sonuçlar tartışılmıştır.

Kazıklı radyejeneral temelin zemin ile temasının taşıma gücüne ve yer değiştirmeye sağladığı katkıların da ortaya konması hedeflenmiştir. Ayrıca üst yapı yükündeki değişikliklerin yanal dinamik yüke maruz kazıklı radye jeneral temel ve kazıklı temel sisteminde meydana getirdiği taşıma gücü paylaşımları ve yatay yerdeğiştirmeler de ayrıca incelenmiştir.

Kazıklı radyejeneral temel olarak adlandırılan sistemlerin boyutlandırılmasında plağın da yük taşıdığı düşünülürse ihtiyaç duyulacak kazık sayısındaki ve kazık boylarındaki azalmadan önemli ekonomi sağlanacağı açıktır.

2. KAZIKLI RADYEJENERAL TEMELİN DÜŞEY YÜK ALTINDA DAVRANIŞI İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bir yapının projelendirilmesinde statik ve hareketli yüklerin, zeminin taşıma gücünü aşmadan ve izin verilebilir oturma sınırları içerisinde zemine aktarması için temel sistemi seçilip projelendirilir.

Temeller, yükü zemine aktarma şekillerine ve zemin içinde oturdukları derinliğe bağlı olarak iki grupta toplanabilir (Bowles, 1996):

Sığ temeller : $D_f / B \leq 1$ olması durumu (tekil, şerit temeller veya radyejeneral temel)

Derin temeller : $D_f / B \geq 4$ olması durumu (kazıklı temeller, kesonlar ve derin ayak temelleri)

Burada D_f ve B sırasıyla temel derinliği ve genişlikleridir.

Radyejeneral temellerin boyutlandırılmasında en basit yaklaşım geleneksel yöntem veya geleneksel statik denge yöntemi olarak da bilinen “rijit yöntemdir” (Teng, 1962). Bu yöntem, radyenin altta bulunan zeminlerden çok daha rijit olduğunu varsayar. Bu, radyedeki tüm şekil değiştirmelerin, taban basıncını önemli biçimde etkilemeyecek kadar küçük olması anlamına gelir. Bu nedenle, taban basıncının büyüklüğü ve dağılımı sadece uygulanan yüklere ve radyenin ağırlığına bağlı olup radyejeneral temelin altında üniformdur veya plağın altında bir kenardan bir kenara doğrusal olarak değişir.

Bu basit dağılım temeldeki eğilme momentleri ile farklı oturmaların hesabını kolaylaştırır. Radyejeneral temellerde genişliği kalınlığa oranı büyük olduğu için rijitlik varsayımı gerçekliğini yitirmektedir. Bu nedenle “rijit yöntem” sığ temeller için pratik bir yöntem olsa da radye temelleri doğru olarak modelleyemez. Radyejeneral temelde kolonların ve taşıyıcı duvarların altına gelen kısımlar, diğer bölgelere göre daha fazla oturur. Temas basıncı aşırı yüke sahip bölgeler altında daha büyük olacaktır (Teng, 1962).

Radyejeneral temeldeki deformasyonları ve temas basıncı üzerindeki etkileri alan analizleri kullanarak, rijit yöntemin hatalarının üstesinden gelmek mümkündür. Bunlar, “rijit olmayan yöntemler” olarak adlandırılır ve radyejeneral temellere ait deformasyonları ve gerilmelerin daha doğru değerlerini verir. Fakat rijit olmayan yöntemlerin analizlerini yapmak zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınmasını gerektirdiği için o kadar da basit değildir.

Rijit olmayan yöntemler, yerel temel deformasyonlarının temas basıncı dağılımı üzerindeki etkilerini dikkate aldığı için, oturma ve temas basıncı arasındaki ilişkinin tanımlanması gerekir. Bu, genellikle temel zemini reaksiyon katsayısı (k_s) (temel zemini reaksiyon modülü veya yatak katsayısı) kullanılarak yapılır.

$$k_s = \frac{q}{\delta} \quad (2.1)$$

k_s : temel zemini reaksiyon katsayısı

q : taban basıncı

δ : oturmadır.

Yay kuvvetlerinin toplamı, uygulanan yapısal yükler ile radyejeneral temelin ağırlığının toplamına eşit olmalıdır. Temas basıncını tanımlayan bu yöntem, zemin-yapı etkileşimi analizi olarak adlandırılır. Çünkü temas basıncı radye deformasyonlarına bağlı ve radye deformasyonları da temas basıncına bağlıdır. Zemin ve temeller arasındaki etkileşimi temsil etmek için bu “yayların” en erken kullanımı Winkler (1867)’e aittir. Bu nedenle analitik model Winkler temeli veya Winkler yöntemi olarak da karşımıza çıkmaktadır. En basit ve en eski rijit olmayan yöntem, tümü aynı k_s ’ye sahip bağımsız yaylar kullanan Winkler yöntemidir.

Winkler modelinde, her bir yayın doğrusal davranış gösterdiğini, diğerlerinden bağımsız etkidiğini ve tüm yayların aynı k değerine sahip olduğu varsayılır. Bu temsil şekli kolonlar altındaki taban basıncını arzu edilen şekilde arttırma etkisine sahiptir ve bu nedenle rijit yöntemle göre önemli bir gelişmedir.

Ancak temel-zemin arasındaki gerçek etkileşimin halen sadece kaba bir temsildir çünkü gerçekte zemin yük-oturma davranışı doğrusal değildir (Hain ve Lee, 1974, Horvath, 1983).

Buna ek olarak üniform zemine oturan üniform yüklü bir radyejeneral temelde farklı oturma olmayacaktır ve yayların tümü eşit miktarda sıkışacaktır.

Gerçek durumda ise radyenin merkezindeki oturma kenarlara oranla daha fazla olacaktır. Gerçek durumda radyejeneral temel üzerindeki bir noktada oluşan taban basıncı kendisine en yakın olan yayı da etkiler. Yaylar bağımsız olarak etkilenmezler.

Winkler analizinden bir sonraki gelişme de ilave yaylar kullanan eşlenik yöntemdir. Bu yöntem ile yaylar artık bağımsız olarak etkilenmez. Temel ilke olarak bu yaklaşım Winkler modelinden daha doğru olmasına karşın bağılı yaylar için k_s değerlerinin nasıl seçileceği açık değildir ve bu analizi yapmak için özel olarak hazırlanmış bilgisayar yazılımı gerekebilir.

Psödo-eşlenik yöntem (Liao, 1991; Horvath, 1993) eşlenik yöntemin zorluklarından kaçınırken, Winkler yöntemindeki bağlantı eksikliğinin üstesinden gelmek için geliştirilmiştir. Bu yöntem bunu, bağımsız olarak etkileyen fakat radyedeki yerlerine bağılı olarak farklı k_s değerlerine sahip “yaylar” kullanarak yapar. Üniform bir zeminin gerçek tepkisini uygun bir biçimde modellemek için radyenin çevresindeki yaylar merkezdekilerden daha sert olmalıdır.

Model çalışmaları, gerçekçi sonuçların, radyejeneral temel çevresindeki k_s değerlerinin merkezde olanların yaklaşık iki katı olduğu zaman elde edildiğini göstermektedir (ACI, 1993).

Zemin-yapı etkileşimini temsil etmenin bir başka yolu da çok parametrelili yöntemi kullanmaktır (Horvath, 1993). Bu yöntem, Winklerin bağımsız olarak etkileyen doğrusal yaylar yöntemini (tek parametre yöntemi) yaylar ve diğer mekanik elemanlar (çok parametre) ile yer değiştirir. Bu ilave elemanlar bağlantı etkilerini tanımlar.

Şu ana kadar bahsedilen yöntemlerin tümü, tek boyutlu yaylar serisi ile üç boyutlu bir zemin modellemeye yöneliktir. Bu, yapısal analizi yürütmeden problemi yeteri kadar basit uygulamak amacıyla yapılır. Diğer bir yaklaşım, hem radyejeneral temelin hem de zeminin veya temel, zemin ve üstyapının üç boyutlu matematiksel modelini kullanmaktır

Bu analiz yöntemi, zemini her biri mühendislik özellikleri ile tanımlanan ve her biri belirli bir yolla bitişik elemanlara bağlanan küçük elemanlar ağına böler. Daha sonra, yapısal yükleri ve yerçekimi yükleri uygulanır ve elemanlar ona göre gerilme ve deformasyona uğratılır. Bu yöntem ile radyejeneral temel gerçeğe yakın bir şekilde modellenebilmektedir.

Özellikle zemin mühendislik parametrelerinin değişkenlik gösterdiği durumlarda temel sisteminin analizini gerçekleştirmek mevcut yöntemlerle oldukça zordur. Sonlu eleman yöntemiyle oluşturulan karmaşık modellerin analizleri gerçekleştirilebilmektedir.

Bu yöntem, radyeyi ve zemini modelleyen Winkler yayları modellemede iki boyutlu sonlu elemanları kullanan yapısal analiz yöntemleri ile karıştırılmamalıdır. Çoğu radyejeneral temellerin analizleri sonlu elemanlar yöntemi (FEM) kullanarak bir bilgisayar yardımı ile tasarlanmaktadır. Bu yöntem plağı birçok elemana böler. Her bir elemanın, tanımlanmış belirli boyutları, açıkça belirtilmiş rijitliği ve mukavemeti (beton veya çelik özellikleri bakımından tanımlanabilir) vardır ve belirli bir şekilde çok yakın elemanlara birleştirilir (Poulos, 2001).

Sonlu elemanlar analizi, üst yapıyı, radyejeneral temeli, ve altta bulunan temel zeminini üç boyutlu sonlu tek bir eleman biçiminde içermek amacıyla genişletilebilir. Bu yöntem temel olarak zemin-üstyapı sisteminin daha doğru bir modeli olacaktır ve bu nedenle daha ekonomik bir tasarım üretilebilir.

Geleneksel yöntemlerle yapılan kazıklı temel hesaplarında, genelde kirişli ızgara veya plak olan kazık başlığının zeminle etkileşmediği ve üstyapı yükünün tamamının kazıklar tarafından zemine aktarıldığı varsayılmaktadır (Randolph, 1994).

Kazık başlığını teşkil eden plak altındaki zemin ile kazığı taşıyan tabakalar arasında büyük rijitlik farkı varsa plağın zemine yük aktardığı kabul edilmez. Taban plağı ile kazığı taşıyan tabakaların rijitlikleri birleşimi yakınsa yüklerin bir kısmının radyejeneral temel bir kısmının da kazıklar tarafından taşındığı kabul edilebilir.

Kazıklı radyejeneral temel olarak adlandırılan sistemlerin boyutlandırılmasında plağın da yük taşıdığı düşünülürse ihtiyaç duyulacak kazık sayısındaki azalmadan önemli ekonomi sağlanacağı açıktır.

Kazıklı radyejeneral temelde üst yapı yükü (düşey ve yatay) zemine hem kazıklar hem de plak ile aktarılacaktır. Kazıklı radyejeneral temellerin yalnızca düşey yük, yanal yük ve moment etkisinde olmadıkları, bu faktörlerin tümünün bir kombinasyonu içinde temel sistemi üzerinde etkili oldukları bilinmektedir. Bu yük kombinasyonundan doğacak davranış sonuçlarının belirlenmesi güncelliğini koruyan bir konudur.

Son yıllarda kazıkların, temel sisteminin performansını ve güvenliğini azaltmadan radyejeneral temel ile kullanılmasında gözle görülebilir bir artış mevcuttur. Uluslararası Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Komitesi (ISSMGE)'nin alt grubu olan TC18 teknik komitesi 1994'ten bu yana kazıklı radyejeneral temellerin analizi ve tasarımı ile ilgili bilgi toplayarak rehber bir kitap hazırlamaktadır (Katzenbach, 2006) . Bu konu hakkındaki mevcut çalışmalardan bazıları Zeevaert (1957), Davis ve Poulos (1972), Hooper (1973), Burland ve diğ. (1977), Sommer ve diğ. (1985), Price ve Wardle (1986), Franke (1991), Hansbo (1993) ve Franke ve diğ. (1994) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında El-Mossallamy ve Franke (1997) tarafından kazıklı radyejeneral temelin sayısal modelleme ile çözümü yapılmıştır.

Kazıklı radyejeneral temellerin düşey yük altında davranışı ile ilgili çalışmalar kazık yükleme deneyleri, yerinde ölçümler, laboratuvar deneyleri, nümerik yöntemler ve basitleştirilmiş hesap yöntemleri olarak 5 ana grupta özetlenebilir. Nümerik yöntemler ve basitleştirilmiş hesap yöntemleri Bölüm 2.3'te detaylı olarak ele alınmıştır.

Düşey yük altında kazıklı radyejeneral temel davranışı ile ilgili yerinde ölçümler Frankfurt'ta ve Londra'daki birçok çok katlı binada yapılmıştır. Almanya'daki ilk uygulama 1983-1986 yılları arasında inşa edilen Messe Torhaus binasında yapılmıştır (Sommer, 1985). 130m yüksekliğindeki binanın temelinde 84 adet 20m uzunluğunda betonarme kazık kullanılmıştır. Tüm kazıklara çeşitli derinliklerde 4'er adet deformasyon ölçer, radyejeneral temelin zemin ile temas eden yüzeyine 11 adet basınç ölçer ve 3 adet ekstansometre yerleştirilerek ölçüm alınması sağlanmıştır. Ölçümler neticesinde düşey yükün %80'ninin plak tarafından karşılandığı bunun yanında oturmaların da sadece radyejeneral temel kullanılması durumuna göre 12cm daha az olduğu gözlemlenmiştir. (Sommer, 1991).

Frankfurt'ta yapılan diğerk bir uygulama da 2003 yılında inşası tamamlanan Gallileo isimli 38 katlı ofis binasında projelendirilmiştir (Katzenbach, 2001). Çok sayıda kullanılan ölçüm aletiyle yapılan çalışmaların sonuçları Schmitt (2002) ve Katzenbah (2000) tarafından ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır.

Londra'da da 1960'tan bu yana temellerde bir takım ölçümler yapılmıştır. Kil zeminde gerçekleştirilen çalışmalardan 13 tanesinin sonuçlarına Hooper, 1979, Cooke ve diğ. (1981) ve Reul (2000 ve 2003)'den ulaşmak mümkündür.

Kazıklı radyejeneral temelin düşey yük altında davranışlarının açıklanmasında çok önemli katkılar sağlayan diğerk yöntem de model deneylerdir. İnşa edilecek yapının belirli bir ölçekte oluşturulan modeli laboratuvar ortamında farklı yükleme koşullarına maruz bırakılarak temel sisteminin davranışı incelenmektedir.

Whitaker (1961), 1957 yılında kazıklı temellere ilişkin elde ettiği sonuçları koşullar aynı kalmak şartıyla model deney sonuçları ile karşılaştırmış ve kazıklar arası mesafenin, kazık çapının 2-3 katından büyük olduğu durumlarda kazıklı radyejeneral temel sisteminin, kazıklı temele oranla daha yüksek taşıma gücüne sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Kishida ve Meyerhof (1965) gevşek ve sıkı kumda yapmış olduğu model deneyler neticesinde etkiyen yükteki ekzantrisitenin küçük olmasının oturmaya etkisinin kazıklı radyejeneral temel ve kazıklı temel için önemsiz olduğunu belirtmiştir.

Vesic (1969), kazıklı radyejeneral temel ile tekil kazığın davranışlarını inceleyerek iki davranışta da kazık alt ucu taşıma gücünün birbirine yakın olduğu fakat kazıklı radyejeneral temeldeki kazıkların çevre sürtünmelerinin tekil kazığa göre daha fazla olduğu sonucuna ulaştı.

Garg (1979), kum zeminde kazıklı radyejeneral temel ile kazıklı temelin davranışını inceleyerek radyejeneral temelin taşıdığı yükün oturma miktarına bağlı olarak değiştiğini belirledi.

Thaher (1991) yaptığı santrifüj model deneylerde, kil zemindeki kazıklı radyejeneral temelin davranışına kazık sayısının, uzunluğunun ve çapının etkisini inceledi. Ayrıca sığ temellerle ilgili de model deneyler yaparak oturmaların kazıklı radyejeneral temel ile %24-35 oranında azaltıldığını gördü. Bunlara ek olarak Frankfurt'taki Messeturm binasının temel sistemini modelleyerek arazi ölçümleri ve model deney sonuçlarının arasında sıkı bir ilişki olduğunu gösterdi.

Horikoshi (1995) kil zemindeki kazıklı radyejeneral temellerin model deneyleri sonucunda plak temel merkezindeki kazık sayılarının az olmasının oturma farkını azalttığı görülmüştür.

Bott ve Jessberger (1997), Thaher (1991)'in çalışmalarına dayanarak kazıklı radyejeneral temeldeki çevre sürtünmesini incelemiştir ve radyejeneral temel merkezinde teşkil edilen kazıklarda kenar kazıklara oranla daha az çevre sürtünmesi oluştuğunu saptamışlardır.

Yalçın (2010)'un çalışmasında ise yapının temel sisteminin kazıklı radyejeneral temel sistemi olarak projelendirilmesi durumunda, maksimum oturma değerleri yaklaşık %40, farklı oturmalar ise %35 oranında azalma göstermiştir.

2.1 Kazıklı Radyejeneral Temellerin Tasarım Prensipleri

Randolph (1994), kazıklı radyejeneral temellerin tasarımına dair üç farklı yaklaşımdan bahsetmektedir:

- 1) Geleneksel yaklaşımda kazık grubu olarak tasarlanan temel sistemindeki plağın da zemine temas eden noktalarından zemine yük aktardığı kabul edilir. Yükün büyük bir bölümü kazıklar tarafından taşınır.
- 2) Kazıkların çekme kazığı olarak nihai yük taşıma kapasitesinin %70-80'ine kadar yüklenmesiyle sünme davranışının başladığı kabul edilir. Kazık-plak arasındaki etkileşimin (gerilme), zeminin ön konsolidasyon basıncının altında kalacak şekilde kazık sayısının saptanacağı belirtilmiştir.
- 3) Oluşabilecek toplam oturmaları azaltmaktan çok farklı oturmaları azaltmak amacıyla kazıkların plak altında uygun bölgelere yerleştirilmesi tavsiye edilmiştir.

İlk iki yaklaşımda amaç kazıkların radyejeneral temel altına düzgün yayılı olarak dağıtılmasıyla toplam oturmanın azaltılması iken son yaklaşımda amaç doğrudan farklı oturma değerlerini azaltmaktır. De Sanctis ve diğ. (2001) ve Viggiani (2001) kazıklı radyejeneral temeli iki ayrı sınıfta ele almışlardır:

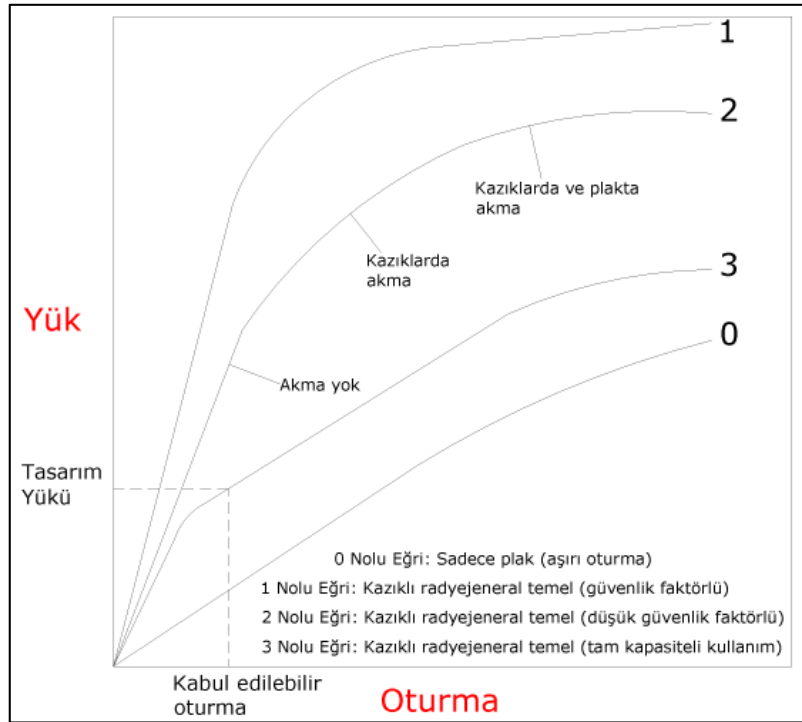
- a) “*Küçük*” kazıklı radyejeneral temeller: Kazık ilave etmenin ilk amacı taşıma gücü ile ilgili güvenlik sayısını arttırmaktır (genişliği 5-15 m arasında değişen plak temeller için)

b) “Büyük” kazıklı radyejeneral temeller: Uygulanan yük için taşıma kapasitesi yeterli olan fakat kazıkların oturma veya farklı oturmalarının azaltması gereken temel sistemleri için tanımlanmıştır (çoğu durumda radyejeneral temel genişliğinin kazık boyundan büyük olduğu durumlar için)

Bu iki tanımlama da Randolph (1994)’ün yaklaşımları ile örtüşmektedir.

Kazıklı radyejeneral temelde kazıklar oturma azaltıcı eleman olarak kullanılarak hem oturma miktarlarını azaltırken aynı zamanda farklı oturmaları da giderir (Burland, 1977 ve Poulos, 2001). Kazıklı radyejeneral temellerin hesabında üstyapıdan gelen yüklerin zemine aktarılması için sistemi oluşturan elemanlara ait kazık sayısı, aralığı, boyu, rijitliği, temel şekli, zemin tabakalarının kalınlıkları ve zeminin mühendislik vb. özelliklerin temel sisteminin davranışına etkisi önem taşımaktadır.

Şekil 2.1’de ilk iki yaklaşımda bahsi geçen durumlar için kazıklı radyejeneral temelin yük-oturma ilişkileri gösterilmiştir:



Şekil 2.1 : Farklı tasarım yaklaşımlarına göre kazıklı radyejeneral temellerin yük-oturma davranış eğrileri (Poulos, 2001).

0 nolu eğride radyejeneral temelin, tasarım yükü altında kabul edilebilir oturma değerlerini aştığı görülmektedir.

Geleneksel yaklaşımın gösterildiği 1 nolu eğride kazıklı radyejeneral temelin davranışı çoğunlukla kazık grubu tarafından belirlenmekte ve tasarım yükünden fazla değerlerde de doğrusal davranış göstermektedir.

Bu durumda yükün büyük bir kısmı kazıklar tarafından taşınmaktadır. 2 nolu eğri çekme kazığı yaklaşımına dayanarak tasarlanmış kazıklı radyejeneral temele aittir.

Son olarak 3 nolu eğri ise kazıkların tasarım yükünde tam kapasite ile çalıştıkları ve oturma azaltıcı eleman olarak kullanıldıkları durumu temsil etmektedir. Tasarım yükünde yük-oturma davranışı doğrusal olmayabilir fakat temel sistemi tümüyle güvenlik sayısına sahiptir ve oturma şartını da sağlamaktadır.

Bu yüzden eğriler karşılaştırıldıklarında boyutlandırma 1, 2 ve 3 nolu eğriler için yapılabilir ancak 3 nolu eğri için yapılacak boyutlandırma 1 ve 2 nolu eğri için yapılacak olandan çok daha ekonomiktir.

Herhangi bir temel sisteminde olduğu gibi kazıklı radyejeneral temelin tasarımında göz önünde tutulması gereken hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a) Moment, düşey ve yatay yükler altında nihai taşıma gücü
- b) Maksimum oturma
- c) Farklı oturma
- d) Radye plağının tasarımı için momentler ve kesme kuvvetleri
- e) Kazıkların yapısal tasarımı için kazık yükleri ve momentler

Literatürün büyük bir çoğunluğu, düşey yükler altındaki taşıma gücü ve oturmaya değinmektedir. Fakat bazı durumlarda temel sisteminin düşey yöndeki yapısal yüklere nazaran devrilme momenti etkisi yaratacak rüzgar yükleri etkisi altındaki davranışına göre boyutlandırılması gerekebilir.

2.2 Analiz Yöntemlerinin Sınıflandırılması

Yöntemler üç ana başlık altında toplanabilir:

- a) *Basitleştirilmiş Hesap Yöntemleri*: Yöntem, Poulos ve Davis (1980), Randolph (1983, 1994), Van Impe ve Clerq (1995) ve Burland (1995)'in çalışmalarını kapsamaktadır. Yöntemlerde radyejeneral temeldeki yükleme koşulu ve zemin profilinin modellenmesine ait basitleştirilmiş yaklaşımlar içermektedir.

b) Yaklaşık Sayısal Analiz Yöntemleri: Basitleştirilmiş nümerik analizlerin yaklaşımları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Radyejeneral temelin şerit temel, kazıkların ise uygun rijitliklere sahip yaylar olarak düşünülmüştür (Poulos, 1991).

Radyejeneral temel plak, kazıklar ise yay olarak düşünülmüştür (Clancy ve Randolph, 1993; Poulos, 1994; Viggiani, 1998 ve Anagnostopoulos ve Georgiadis, 1998).

c) İleri Sayısal Analiz Yöntemleri:

Elastik teori ile kazık ve radyejeneral temel sistemde ayrı düşünülerek sınır eleman yöntemleri (Butterfield ve Banerjee, 1971; Brown ve Wiesner, 1975; Kuwabara, 1989 ve Sinha, 1997)

Kazıklar için sınır eleman analizi ve radyejeneral temel için sonlu eleman analizi (Hain ve Lee, 1978; Ta ve Small, 1996; Franke, 1994 ve Russo ve Viggiani, 1998)

Temel sistemini düzlem deformasyon problemi olarak düşünen basitleştirilmiş sonlu eleman metodu (Hooper ve Desai, 1974) veya eksene göre simetrik problem (Hooper, 1974) ve FLAC (Fast Lagrangian Analysis of Continua) (Hewitt ve Gue, 1994) ticari programı ile sonlu fark analizleri

Üç boyutlu sonlu eleman analizleri (Zhuang, 1991; Lee, 1993; Wang, 1995 ve Katzenbach ile özel görüşme, 1998) ve FLAC 3D ticari programı ile sonlu fark analizleri

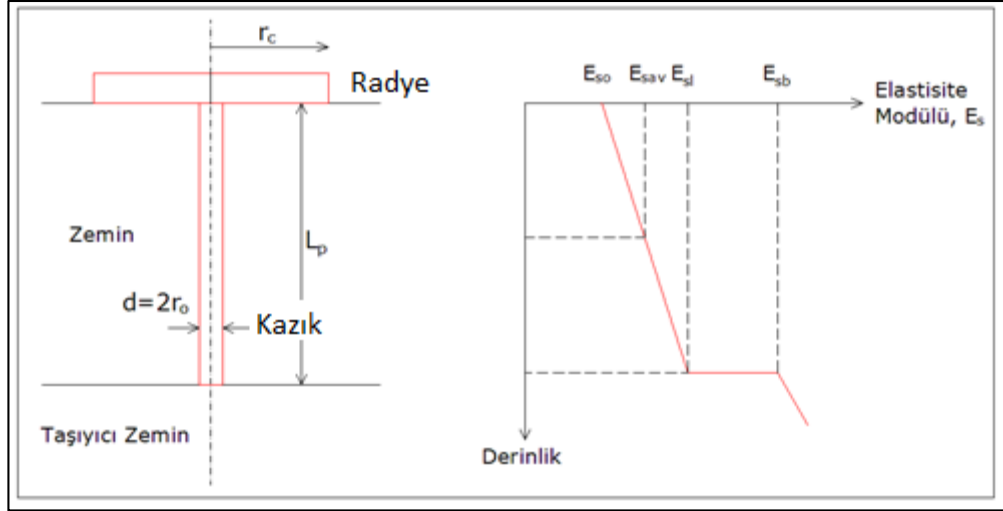
2.3 Basitleştirilmiş Hesap Yöntemleri

2.3.1 Poulos-Davis-Randolph (PDR) yöntemi

Düşey taşıma kapasitesini belirlemek için aşağıdaki yöntemlerden bulunan değerlerden düşük olanı nihai yük kapasitesi olarak kabul edilir:

- a)** Plağın ve kazıkların nihai yük taşıma kapasiteleri toplamı
- b)** Kazıkları ve plağı içine alacak şekilde oluşturulan bloğun nihai taşıma kapasitesi ile blok dışında kalan plağın nihai taşıma kapasiteleri toplamı

Yük-oturma davranışının belirlenmesi için Poulos ve Davis (1980) tarafından belirlenen bir yaklaşım bulunmaktadır. Fakat bu yaklaşım plak ve kazık arasındaki yük paylaşımına dayanan basit metot ile Randolph (1994) tarafından geliştirilmiştir. Problemin tanımı Randolph (1994)'e göre Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Kazıklı radyejeneral temelin basitleştirilmiş gösterimi (Randolph, 1994).

Kazıklı radyejeneral temelin rijitliği için aşağıdaki eşitlik yazılırsa:

$$K_{pr} = \frac{K_{pg} + K_r(1 - 2\alpha_{rp})}{1 - \alpha_{rp}^2 \frac{K_r}{K_{pg}}} \quad (2.2)$$

K_{pr} : kazıklı radyejeneral temelin rijitliği

K_{pg} : kazık grubunun rijitliği

K_r : radyejeneral temelin rijitliği

α_{rp} : radye-kazık etkileşim faktörü

Radyejeneral temelin rijitliği (K_r), Fraser ve Wardle (1976) veya Mayne ve Poulos (1999)'un elastik teorileri ile tahmin edilebilir.

Kazık grubunun rijitliği (K_{pg}) ise Poulos ve Davis (1980), Fleming (1992), Fleming ve diğ. (2009) veya Poulos (1989)'un elastik teori yaklaşımı ile belirlenebilir. Elastik teori ile hesaplanan tekil kazık rijitliği elastik çözüm yollarıyla yaklaşık olarak tahmin edilen grup rijitlik etki faktörü ile çarpılır.

Toplam yükün radyejeneral temel tarafından karşılanan miktarı için eşitlik yazılabilir:

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{K_r(1-\alpha_{rp})}{K_{pg} + K_r(1-2\alpha_{rp})} = X \quad (2.3)$$

P_r : radyejeneral temel tarafından taşınan yük

P_t : toplam yük

X : radyejeneral temel tarafından taşınan yükün toplam yüke oranı

Temel-kazık etkileşim faktörü:

$$\alpha_{rp} = 1 - \frac{\ln(r_c/r_0)}{\zeta} \quad (2.4)$$

r_c : her bir kazığa plak alanından isabet eden alanın yarıçapı (rijit disk alanı)

r_0 : kazık yarıçapı

ζ : kazık etki yarıçapı oranıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\zeta = \ln \frac{r_m}{r_0} \quad (2.5)$$

r_m : maksimum etki uzaklığı

Maksimum etki uzaklığı ise:

$$r_m = \{0.25 + \xi[2.5\rho(1-\nu_s)-0.25]\}L_p \quad (2.6)$$

$$\xi = \frac{E_{sl}}{E_{sb}} \quad (2.7)$$

E_{sl} : kazık tabanı zemininin elastisite modülü

E_{sb} : kazık tabanı seviyesi altında yer alabilecek sert zeminin elastisite modülü

$$\rho = \frac{E_{sav}}{E_{sl}} \quad (2.8)$$

E_{sav} :k çevresindeki zemininin ortalama elastisite modülü

L : kazık boyu

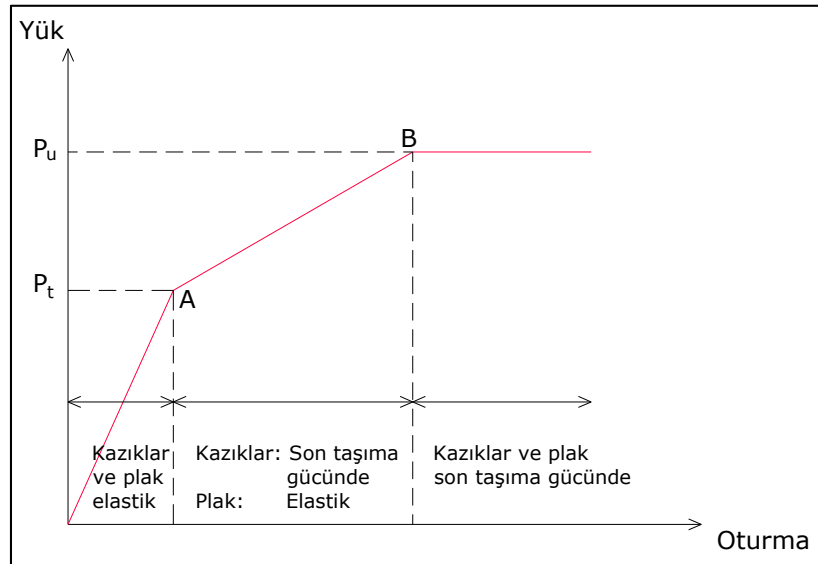
ν_s : zeminin Poisson Oranı

Kazık-plak sistemlerinin davranışı özellikle yüzer kazıklı gruplar için önem taşır. Bu durumda kazık tabanı zemininin kayma modülü bu seviye altında yer alabilecek sert zeminin kayma modülüne eşit olacağından $\xi=1$ olur. Ayrıca pratik bir çözüm için zeminin kayma modülünün derinlikle değişmediği varsayımı ile kazık çevresi ve tabanının aynı kayma modülüne eşit olacağından $\rho=1$ olur (Birand, 2007).

Bu şartlar altında maksimum etki uzaklığı (r_m) aşağıdaki şekli alır:

$$r_m = 2.5L(1-u_s) \quad (2.9)$$

Yukarıdaki eşitlikler kullanılarak kazıklı radyejeneral temele ait üç doğrusal kısımdan meydana gelen basitleştirilmiş yük-oturma grafiği Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3 : Kazıklı radyejeneral temelin basitleştirilmiş 3 aşamalı yük-oturma grafiği (Poulos, 2001).

İlk olarak (2.1) nolu eşitlikten düşünülen kazık sayısı için kazıklı radyejeneral temelin rijitliği belirlenir. Kazıklar tam kapasite ile çalışıncaya kadar bu rijitlik korunur. Basitleştirilmiş bir yaklaşımla kazığın son taşıma yüküne geldiği toplam yük değeri (P_t) aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$P_t = \frac{P_{up}}{1-X} \quad (2.10)$$

P_t : uygulanan toplam yük

P_{up} : kazık grubunun nihai yük taşıma kapasitesi

P_u : tüm sistemin nihai taşıma gücü

Grafikte, A noktasında kazıklar son taşıma gücüne ulaşmış ve yük, kazık ile plak tarafından taşınmaktadır. A noktası ile sistemin son taşıma gücüne ulaştığı B noktası arasındaki oturma ($P_u - P_t$) yükü altında radyejeneral temelin oturması olarak hesaplanır ve sistemin toplam oturması için bu değerle P_t yükü altında bulunan oturma değeri toplanır.

2.3.2 Burland yöntemi

Kazıkların oturma azaltıcı eleman olarak kullanıldığı ve tasarım yükünde kazıkların kapasitelerinin tamamına ulaştıkları durum için Burland (1995), aşağıdaki basitleştirmiş yöntemi geliştirmiştir:

- a) Plagın kazıksız durum için uzun süreli yük-oturma ilişkisi tahmin edilir (Şekil 2.4). S_0 , P_0 tasarım yükünde gerçekleşen oturma miktarıdır.
- b) Müsaade edilebilir toplam oturma miktarına (S_a) karşılık gelen P_a yükü eğriden belirlenir.
- c) $(P_0 - P_1)$ yükü kazıklar tarafından taşınması beklenen yüküdür. Kazıkların çevre sürtünmesinin P_{su} değerine ulaşılacağı düşünüldüğünden güvenlik sayısı 1 olacaktır. Fakat nihai yüzey kapasitesinin tahmininde güvenli tarafta kalınması için mobilizasyon faktörü 0.9 olarak kabul edilmektedir.
- d) Eğer kazıklar kolonların altında bulunuyorsa kazıklı radyejeneral sistem azaltılmış kolon yükü uygulanan radye olarak analiz edilebilir. Azaltılmış kolon yükü Q_r ise:

$$Q_r = Q - 0.9P_{su} \quad (2.11)$$

olarak yazılabilir.

Q : kolon yükü

P_{su} : kazık yüzeyindeki nihai sürtünme

- a) Plaktaki eğilme momentleri, kazıklı radyejeneral sisteminin Q_r yüküne maruz radyejeneral temel olarak düşünülmesi ile hesaplanabilir.

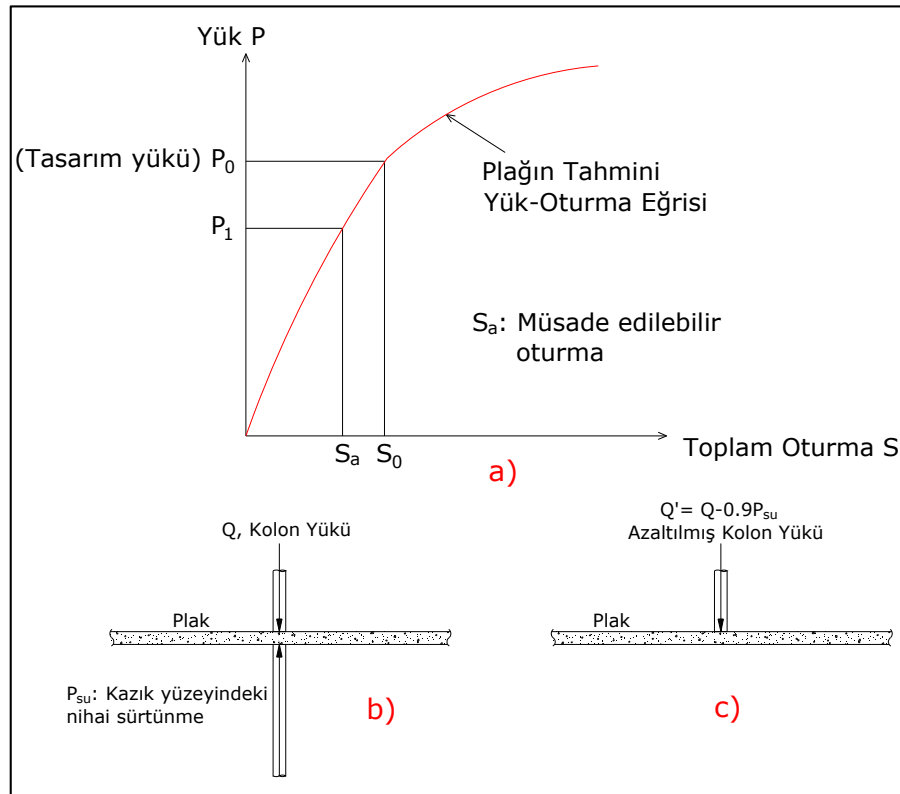
b) Kazıklı radyejeneral temelin oturma miktarlarını belirlemek için Burland (1995) tarafından geliştirilen bir yöntem olmadığından Randolph (1994)'ün yaklaşık tahmini uygulanabilir:

$$S = \frac{S_{sf} \cdot K_r}{K_{pr}} \quad (2.12)$$

S: kazıklı radyejeneral temelin oturması

S_{sf} : radyejeneral temelin oturması

K_{pr} 'nin belirlenmesi için (2.2) nolu denklem kullanılabilir.

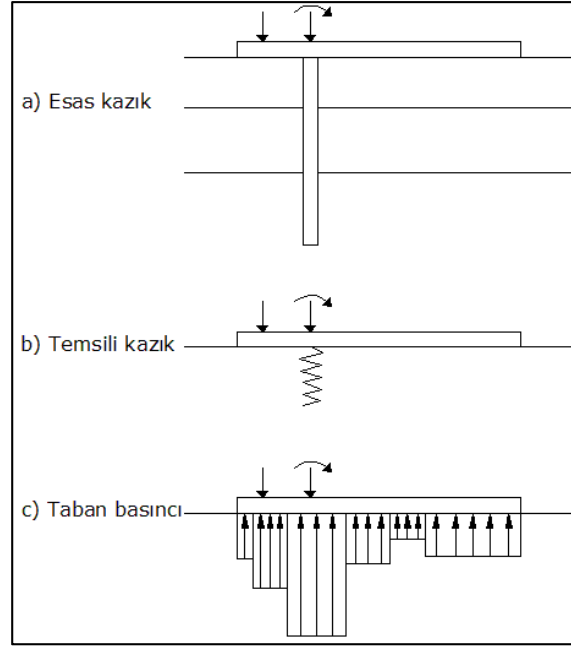


Şekil 2.4 : Basitleştirilmiş tasarım modeli, a) plığın yük-oturma eğrisi b) kazıklı radyejeneral temelin kesiti c) eşdeğer radyejeneral temel kesiti (Burland, 1995).

2.4 Yaklaşık Sayısal Analiz Yazılımları

2.4.1 Yaylar üzerinde şerit temel yaklaşımı (GASP)

Poulos (1991) bu yöntemin içeriğini anlatabilmek için problemi basitleştirerek Şekil 2.5'te gösterildiği gibi açıklamıştır. Radyejeneral temel şerit olarak, kazıklar ise yay olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.5 : Kazıklı şerit temelin GASP analizi için modeli (Poulos, 1991).

GASP (Geotechnical Analysis of Strip on Springs) programı şerit-zemin taban basıncı değerinin taşıma kapasitesini aşmayacak durumda zemini non-lineer olarak hesaba katmaktadır. Kazık yükleri de nihai çekme ve basınç yüklerini aşmayacak şekilde sınırlandırılmıştır. Fakat kazık yükleri belirlenirken kazıklar izole olarak düşünülmüştür. Gerçekte Katzenbach ve diğ. (1998) tarafından gösterilmiştir ki plak tarafından zemine aktarılan yükün kazıklı radyejeneral temeldeki kazık davranışı üzerine yararlı etkisi söz konusudur. Bu yüzden GASP analizlerinde kazıkların modellenmesi konservatif (güvenli) tarafta kalınmasına neden olmaktadır. İki yönde gerçekleştirilen non-lineer analizlerde uzun olan doğrultuda non-lineer davranış, kısa olan doğrultuda ise lineer davranış göz önünde tutmak daha doğru bir yaklaşımdır.

2.4.2 Yaylar üzerinde plak temel yaklaşımı (GARP)

Bu yaklaşımda ise radyejeneral temel elastik plak, zemin elastik sürekli ortam ve kazıklar ise yaylarla temsil edilmektedir. Bu yaklaşımdaki ilk çalışmalar (Hongladaromp ve diğ., 1973 ve Chen W.C., 2006) temel sistemindeki bileşenlerin etkileşimlerini göz önüne almazken kazık-plak rijitliğini de çok yüksek olarak tahmin etmektedir.

Daha sonra Poulos (1994) tarafından plak için sonlu fark metodu kullanılarak elastik çözüm için çeşitli etkileşimlerden bahsedilmiş ve analizler GARP (Geotechnical Analysis of Raft with Piles) programı ile yapılmıştır.

Analizlerin gerçekleştirildiği GARP programının özellikleri aşağıda sıralanmıştır (Poulos, 1994a):

- a) Homojen olmayan veya tabakalı zemin profili
- b) Radyejeneral temel altındaki sıkışma veya kabarma basıncının belli limitler altında tutulması
- c) Lineer olmayan kazık yük-oturma davranışı
- d) Farklı kazık rijitlikleri ve yük kapasitesi
- e) Kazık sayısında ve yerinde kolay değişiklik yapabilme
- f) Sisteme tekil veya yayılı yük ile moment uygulanabilmesi
- g) Düşey zemin hareketlerinin etkileri (konsolidasyon veya şişme)

Radyejeneral temelin aşırı kalın olmaması durumları için plağın ince kabuk elemanla temsil edilmesi ile deplasmanlar ve momentler tahmin edilebilmektedir. Analizde, zemindeki gerilmeler yüksek çıkacaktır ve bu etki tekil yükler yüzünden zeminin nihai taşıma gücüne ulaşması durumunda önem kazanacaktır.

2.5 İleri Sayısal Analiz Yöntemleri

2.5.1 İki boyutlu sayısal analiz (FLAC-2D)

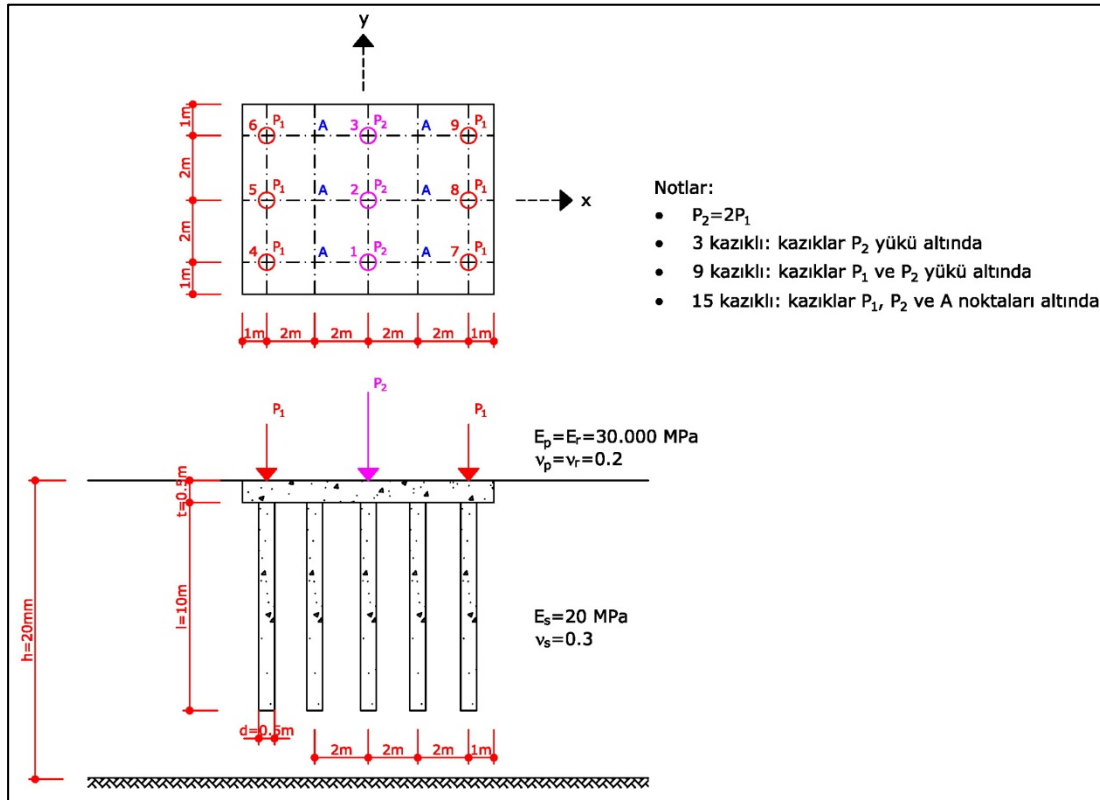
Analiz yöntemi Desai (1974), Hewitt ve Gue (1994) ve Pradoso ve Kulhawy (2001) tarafından geliştirilmiştir. Kazıklı radyejeneral temel modellenirken temel iki boyutlu düzlem deformasyon problemi olarak veya üç boyutlu eksenel simetrik olarak düşünülmektedir. Eğer problem uniform yüklü simetrik radyejeneral temel içermiyorsa sistemin oturma profili ve plak momentlerini belirlemek için analizler her yön için ayrı ayrı yapılmalıdır. Fakat yaylar üzerinde plaka yaklaşımında analiz radyejeneral temelde oluşacak burulma momentlerini hesaplamamaktadır.

2.5.2 Üç boyutlu sayısal analiz (FLAC-3D)

Kazıklı radyejeneral temel sistemi analizi için Katzenbach ve diğ. (1998) tarafından sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı üç boyutlu analizi içeren FLAC 3D programı geliştirilmiştir. Programda kazık-zemin etkileşimi arayüz elemanları ile tanımlanabilmektedir. Programın dezavantajı ise non-lineer analizlerin uzun sürmesidir.

2.6 Basitleştirilmiş Yöntem Üzerinde Uygulama

Bahsedilen farklı yöntemlerin, düşey yük etkisi altındaki kazıklı radyejeneral temel davranışında nasıl sonuçlar verdiğini araştırmak ve bunları karşılaştırmak için Şekil 2.6'daki model çözülmeye çalışılmıştır. Plan ve kesiti verilen kazıklı radyejeneral temelin düşey yük (tekil ve üniform yayılı) altındaki davranışının analizleri Plaxis 3D Foundation (Brinkgreve, R.B.J. and Broere, W, 2006, Engin ve Brinkgreve 2007 ve 2008) yazılımı kullanılarak bulunan sonuçlar literatürde verilen farklı yöntemlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.6 : Analizlerde kullanılan kazıklı radyejeneral temel sisteminin plan ve kesiti (Poulos, 2001).

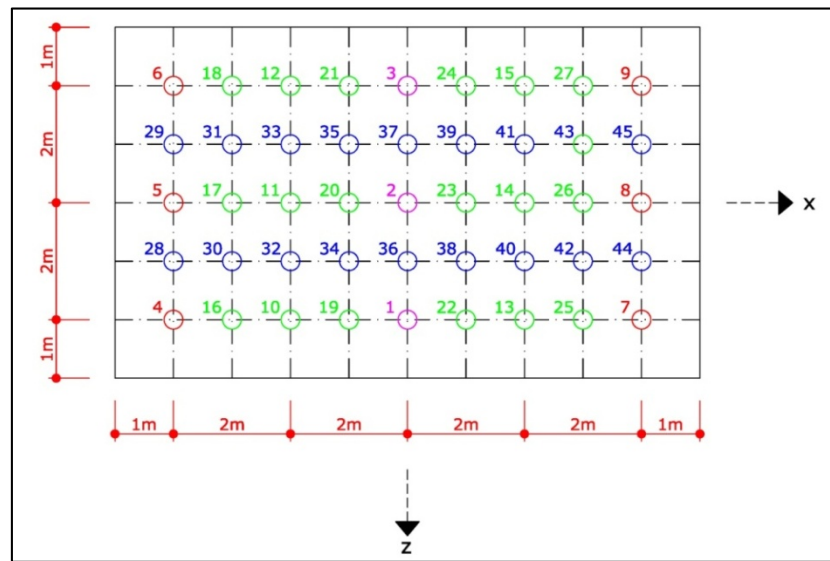
İlk olarak 9 kazıklı radyejeneral temel sisteminin 12 MN'luk düşey yük (tekil ve üniform yayılı) altında davranışları için analiz gerçekleştirilmiştir. Radyejeneral temelde oluşan ortalama oturma, farklı oturma, maksimum moment ve temel sisteminde kazıklar tarafından taşınan yükün yüzdesel oranı için bulunan sonuçlar literatürde bulunan farklı yöntemlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Bir sonraki analiz grubunda 9 kazıklı radyejeneral temel sisteminin 12 MN'luk tekil düşey yük altında farklı radyejeneral temel kalınlıkları (0.50, 1.00 ve 1.50m) için radyejeneral temelde oluşan maksimum oturma, maksimum moment, farklı oturma ve kazıklar tarafından taşınan yükün yüzdesel oranı için bulunan sonuçlar GARP (Geotechnical Analysis of Raft with Piles - Poulos, 1994) programının sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Daha sonra 9 kazıklı radyejeneral temel sisteminin 12 MN'luk tekil düşey yük altında farklı kazık uzunlukları (5.00, 10.00 ve 15.00m) için radyejeneral temelde oluşan maksimum oturma, farklı oturma, maksimum moment ve kazıklar tarafından taşınan yükün yüzdesel oranı için bulunan sonuçlar GARP programının sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Farklı analiz yöntemleriyle (PDR – Poulos – Davis – Randolph Yöntemi, GARP – GASP – Geotechnical Analysis of Strip on Springs, FLAC-2D, FLAC-3D) belirlenen sisteme etkiyen toplam düşey tekil yükün plak merkezindeki oturmasına bağlı değişiminin sonuçları ile Plaxis 3D Foundation yazılımının verdiği sonuç karşılaştırılmıştır.

Kazıklı radyejeneral temel sisteminde kazık sayısının 3, 9, 15, 27 ve 45 kazıklı olması durumları için 12 MN'luk düşey yük (tekil ve uniform yayılı) altında plaktaki maksimum oturma, maksimum moment, kenar ve orta kazıkların oturma farkları ile kazıklar tarafından taşınan yükün yüzdesel oranı için bulunan sonuçlar GARP programının sonuçları ile karşılaştırılmıştır (kazık yerleşim planı için bkz. Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : 45 kazık için kazık yerleşim planı.

Kazıklı radyejeneral temel sisteminde kazık sayısının 3, 9, 15 ve 45 kazıklı ve plak kalınlığının da 0.50 ve 1.00 m olması durumları için 12 MN'luk düşey tekil yük altında plaktaki maksimum oturma, maksimum moment, kenar ve orta kazıkların oturma farkları ile kazıklar tarafından taşınan yükün yüzdesel oranı için bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Plağın merkezindeki oturmanın uygulanan yüke bağlı değişimi, plağın 0.50m ve kazık sayılarının da 3, 9 ve 15 olması durumları için incelenmiş ve bulunan sonuçlar GARP ve PDR yöntemlerine ait sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Plak merkezindeki oturmanın uygulanan yüke bağlı değişimi, plağın 0.50m ve kazık sayılarının da 3, 9 ve 15 olması durumları için incelenmiş ve bulunan sonuçlar GARP ve PDR yöntemlerine ait sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Problemin çözümü için yöntemlerin yaptığı kabuller aşağıda verilmiştir:

a) Poulos-Davis-Randolph (PDR) Yöntemi:

Plak rijitliği elastik teori yardımıyla elle; tekil kazık rijitliği de Randolph ve Wroth (1978)'in yaklaşım yöntemiyle hesaplanmıştır. Kazık grubu rijitliği için kullanılan grup oturma oranı $R_s = n^{0.5}$ ile belirlenmiştir. Burada n kazık sayısını temsil etmektedir

b) Burland Yaklaşımı:

Radyejeneral temelin rijitliği nümerik analiz programı GARP kullanılarak belirlenmiştir. Radyejeneral temeldeki momentleri belirlemek için uygulanan kolon yükleri azaltılmış kolon yükleri olup azaltma miktarı kazıktaki nihai yüzey sürtünmesinin 0.9 katı kadardır. Kazıklı radyejeneral temele ait oturmanın belirlenmesi için tüm yükler altında radyejeneral temel analizi yapılmış ve oturma miktarı Randolph (1994 ve 2004)'ün (2.11) nolu denklemiyle azaltılmıştır.

c) Yaylar Üzerinde Şerit Temel Yaklaşımı (GASP):

Bu analizde Şekil 2.5'te gösterildiği gibi radyejeneral temel her yönde üç parça şerit temel olacak şekilde parçalara ayrılmıştır.

Uzun doğrultuda non-lineer etkiler düşünülmüşken kısa doğrultu için lineer davranış göz önüne alınmıştır. Tekil kazıkların rijitlikleri Randolph ve Wroth (1978) denklemleriyle belirlenmiş kazık-kazık etkileşim faktörleri için basitleştirilmiş ifadeler kullanılmıştır. Her şeridin analizi için o doğrultudaki diğer şeritlerin de etkileri göz önüne alınmıştır.

d) Yaylar Üzerinde Plak Yaklaşımı (GARP):

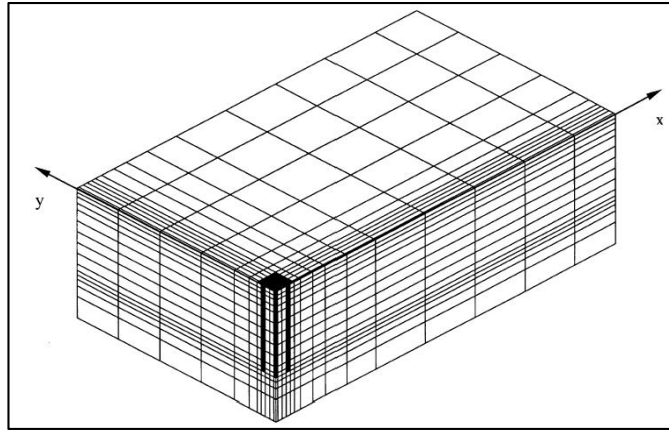
Plak, 273 elemandan oluşan uniform plak olarak modellenmiştir; kazıkların rijitlikleri ve kazık-kazık etkileşim faktörleri sınır eleman analizini kullanan DEFPIG (Poulos, 1990) programı ile gerçekleştirilmiştir.

e) İki Boyutlu Sayısal Analiz (FLAC-2D):

Problemin simetri özelliğinden yararlanarak temel sistemi yatay doğrultuda 39 parçaya, düşey doğrultuda ise 34 parçaya ayrılmıştır. Şekil 2.6'da gösterilen drenajsız kayma gerilmesi parametreleri kullanılmıştır.

f) Üç Boyutlu Sayısal Analiz (FLAC-3D):

Simetriden dolayı problemin sadece 1/4'lük kısmı modellenmiştir. Sistem için kullanılan üç boyutlu sonlu eleman ağı Şekil 2.8'de gösterilmiştir. İki boyutlu analizde olduğu gibi zemin Mohr-Coulomb yaklaşımıyla modellenmiştir. Kazık yükleri her bir kazık başındaki düşey gerilme ile; plak momentleri ise plağı temsil eden elemanın altındaki tabakalarda oluşacak yatay gerilmelerle hesaplanmıştır.



Şekil 2.8 : Kazıklı radyejeneral temel problemi için FLAC 3D ile oluşturulan model.

g) Üç Boyutlu Sayısal Analiz (Plaxis 3D Foundation):

Plaxis 3D Foundation ile tekil ve üniform yayılı yük için yapılan analizlerde kullanılan zemin parametreleri literatürde verilen parametreler ile aynı seçilerek Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Kazık ve plağın ağırlığından dolayı sistemde meydana gelecek düşey yerdeğiştirmeleri ihmal etmek amacıyla kazık ve radyejeneral temelin birim hacim ağırlıkları sıfır alınmıştır.

Analizlerde kullanılan kazıklar ve radyejeneral temelle ilgili boyutlar ve malzeme özellikleri Çizelge 2.2 ve 2.3’te tablo halinde verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Farklı yükleme koşulları için kullanılan zemin parametreleri.

ZEMİN ÖZELLİKLERİ														
Analiz Adı	Zemin Tipi	Malzeme Modeli	Drenaj Durumu	Birim Hacim Ağırlık (γ) (m/gün)		Permabilit e (m/gün)			Elastisite Modülü (E) (kN/m ²)	Poisson Oranı (ν)	Kayma Mukavemeti (c) (kN/m ²)	İşsel Sürtünme Açısı (φ)	Arayüz	
				γ _{unsat}	γ _{sat}	k _x	k _y	k _z						
TEKİL YÜK	3 kazıklı	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit
	9 kazıklı	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit
	15 kazıklı	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit
	27 kazıklı	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit
	45 kazıklı	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit
	9 kazıklı (plak kalınlığı 1m)	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit
	9 kazıklı (plak kalınlığı 1,5m)	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit
	9 kazıklı (kazık uzunluğu 5m)	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit
	9 kazıklı (kazık uzunluğu 15m)	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit
ÜNİFORM YAYILI YÜK	3 kazıklı	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit
	9 kazıklı	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit
	15 kazıklı	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit
	27 kazıklı	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit
	45 kazıklı	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit
	9 kazıklı (plak kalınlığı 1m)	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit
	9 kazıklı (plak kalınlığı 1,5m)	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit
	9 kazıklı (kazık uzunluğu 5m)	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit
	9 kazıklı (kazık uzunluğu 15m)	Kil	Mohr-Columb	Var	18	18	0	0	0	20.000	0,30	10	30	Rijit

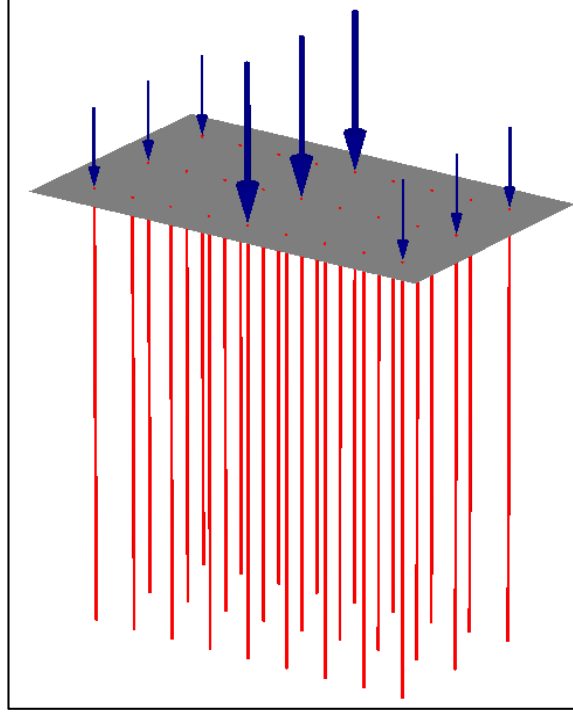
Çizelge 2.2 : Farklı yükleme koşulları için kullanılan kazık parametreleri.

KAZIK													
Analiz Adı	Kazık Sayısı	Kazık Boyu (m)	Elastisite Modülü (E) (kN/m ²)	Birim Hacim Ağırlık (γ_p) (kN/m ³)	Kazık Çapı (m)	Kazık Kesit Alanı (m ²)	Atalet Momentleri (m ⁴)			Çevre Sürtünmesi (kN/m)			Uç Taşıma Gücü (kN)
							I_3	I_2	I_{23}	$T_{top, max}$	$T_{bot, max}$	F_{max}	
TEKİL YÜK	3 kazıklı	3	10	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00
	9 kazıklı	9	10	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00
	15 kazıklı	15	10	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00
	27 kazıklı	27	10	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00
	45 kazıklı	45	10	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00
	9 kazıklı (plak kalınlığı 1m)	9	10	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00
	9 kazıklı (plak kalınlığı 1,5m)	9	10	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00
	9 kazıklı (kazık uzunluğu 5m)	9	5	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00
	9 kazıklı (kazık uzunluğu 15m)	9	15	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00
ÜNİFORM YAYILI YÜK	3 kazıklı	3	10	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00
	9 kazıklı	9	10	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00
	15 kazıklı	15	10	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00
	27 kazıklı	27	10	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00
	45 kazıklı	45	10	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00
	9 kazıklı (plak kalınlığı 1m)	9	10	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00
	9 kazıklı (plak kalınlığı 1,5m)	9	10	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00
	9 kazıklı (kazık uzunluğu 5m)	9	5	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00
	9 kazıklı (kazık uzunluğu 15m)	9	15	30.000.000	0	0,50	0,196	0,0031	0,0031	0,0000	78,60	78,60	87,00

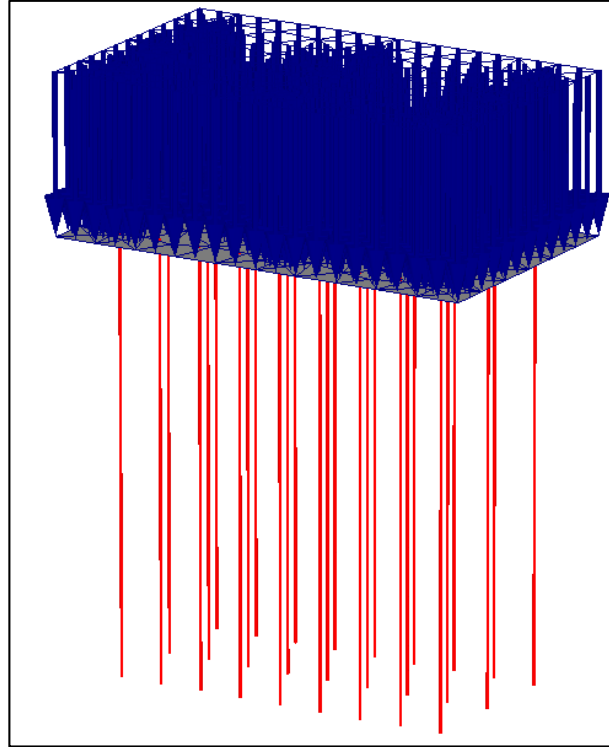
Çizelge 2.3 : Farklı yükleme koşulları için kullanılan plak temel parametreleri.

RADYEJENERAL TEMEL								
Analiz Adı	Plak Boyutları (m)			Birim Hacim Ağırlık (γ ,) (kN/m ³)	Elastisite Modülü (E) (kN/m ²)	Poisson Oranı (ν)	Kayma Modülü (G) (kN/m ²)	
	Boy	En	Yükseklik					
TEKİL YÜK	3 kazıklı	10,00	6,00	0,50	0	30.000.000	0,20	12.500.000
	9 kazıklı	10,00	6,00	0,50	0	30.000.000	0,20	12.500.000
	15 kazıklı	10,00	6,00	0,50	0	30.000.000	0,20	12.500.000
	27 kazıklı	10,00	6,00	0,50	0	30.000.000	0,20	12.500.000
	45 kazıklı	10,00	6,00	0,50	0	30.000.000	0,20	12.500.000
	9 kazıklı (plak kalınlığı 1m)	10,00	6,00	1,00	0	30.000.000	0,20	12.500.000
	9 kazıklı (plak kalınlığı 1,5m)	10,00	6,00	1,50	0	30.000.000	0,20	12.500.000
	9 kazıklı (kazık uzunluğu 5m)	10,00	6,00	0,50	0	30.000.000	0,20	12.500.000
	9 kazıklı (kazık uzunluğu 15m)	10,00	6,00	0,50	0	30.000.000	0,20	12.500.000
ÜNİFORM YAYILI YÜK	3 kazıklı	10,00	6,00	0,50	0	30.000.000	0,20	12.500.000
	9 kazıklı	10,00	6,00	0,50	0	30.000.000	0,20	12.500.000
	15 kazıklı	10,00	6,00	0,50	0	30.000.000	0,20	12.500.000
	27 kazıklı	10,00	6,00	0,50	0	30.000.000	0,20	12.500.000
	45 kazıklı	10,00	6,00	0,50	0	30.000.000	0,20	12.500.000
	9 kazıklı (plak kalınlığı 1m)	10,00	6,00	1,00	0	30.000.000	0,20	12.500.000
	9 kazıklı (plak kalınlığı 1,5m)	10,00	6,00	1,50	0	30.000.000	0,20	12.500.000
	9 kazıklı (kazık uzunluğu 5m)	10,00	6,00	0,50	0	30.000.000	0,20	12.500.000
	9 kazıklı (kazık uzunluğu 15m)	10,00	6,00	0,50	0	30.000.000	0,20	12.500.000

Tekil ve üniform yükleme koşulları için 27 kazıklı radyejeneral temel sistemlerine ait üç boyutlu modeller Şekil 2.9 ve 2.10’da gösterilmiştir.

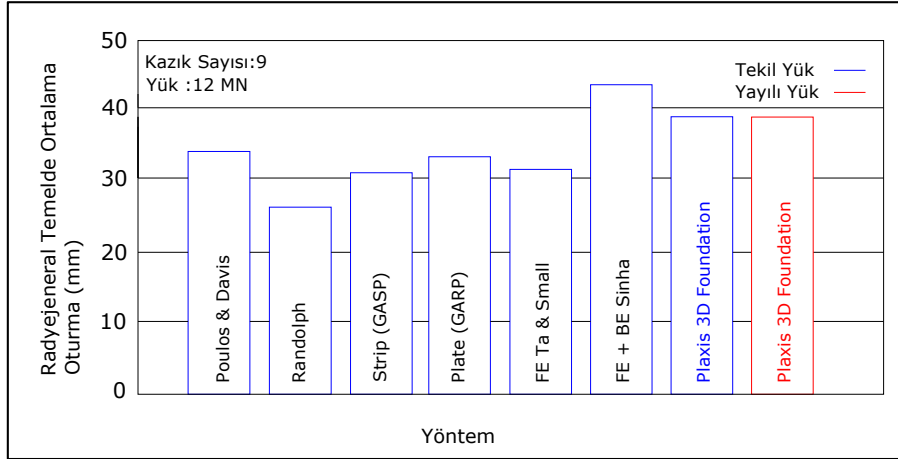


Şekil 2.9 : Tekil yük altında 27 kazıklı radyejeneral temel sistemi modeli (Plaxis 3D Foundation).



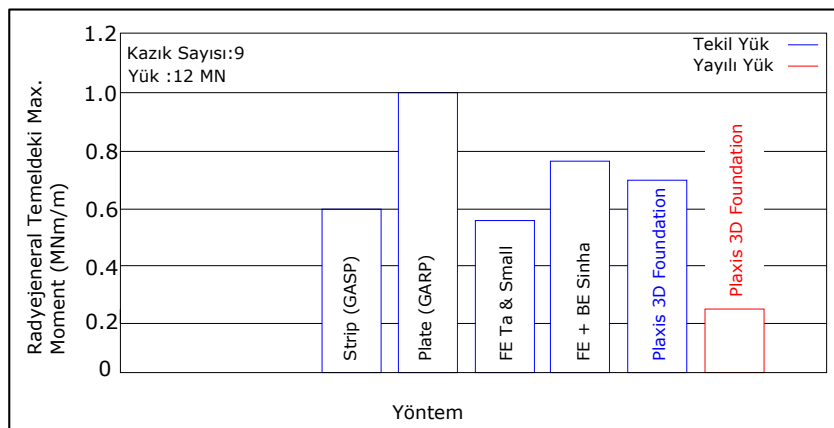
Şekil 2.10 : Üniform yayılı yük altında 27 kazıklı radyejeneral temel sistemi modeli (Plaxis 3D Foundation).

9 kazıklı - 12MN'luk düşey yük altında radyejeneral temelde meydana gelen ortalama oturma miktarları literatürde verilen çalışmalarla karşılaştırıldığında hem tekil yükler için hem de üniform yayılı yükler için elde edilen sonuçlarla uyumlu olduğu gözlenmektedir (Şekil 2.11).



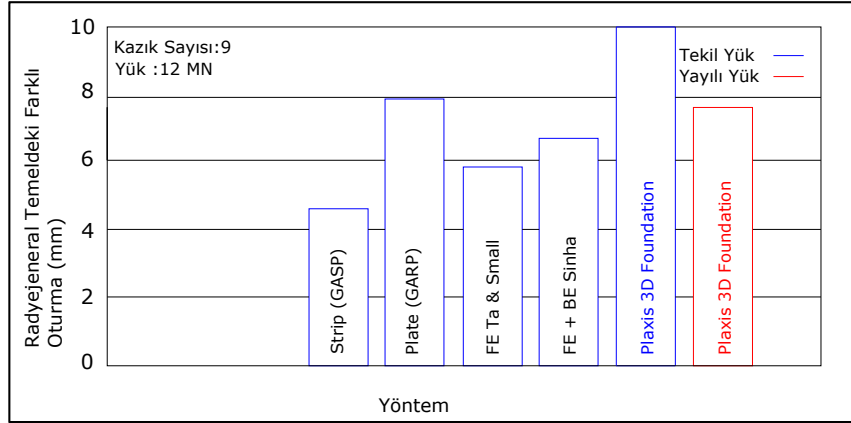
Şekil 2.11 : Farklı yöntemlerle hesaplanan radyejeneral temeldeki ortalama oturma.

9 kazıklı – 12 Mn'luk düşey yük altında radyejeneral temelde meydana gelen maksimum moment değeri tekil yük için diğer yöntemlerle yaklaşık sonuç verdiği gözlenmiştir. Düşey yükün üniform yayılı yük olması durumunda tekil yükler altında elde edilen değerlerden daha az bulunmuştur (Şekil 2.12).



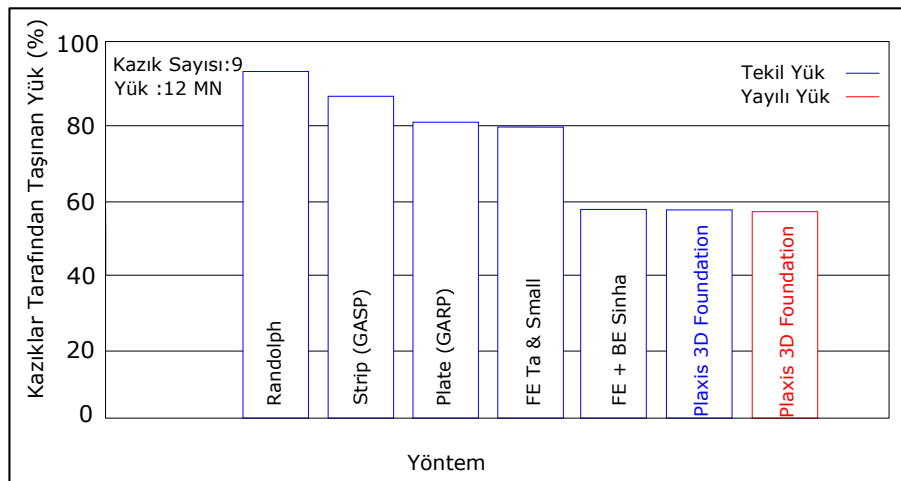
Şekil 2.12 : Farklı yöntemlerle hesaplanan radyejeneral temeldeki maksimum moment.

Radyejeneral temelde meydana gelen maksimum ve minimum düşey yerdeğiştirme değerlerinin farkından oluşan farklı oturma miktarlarında ise tekil ve üniform yayılı yük durumları için bulunan değerlerin GARP programı ile bulunan sonuçlarla uyumlu olduğu gözlenmektedir (Şekil 2.13).



Şekil 2.13 : Farklı yöntemlerle hesaplanan radyejeneral temeldeki farklı oturma.

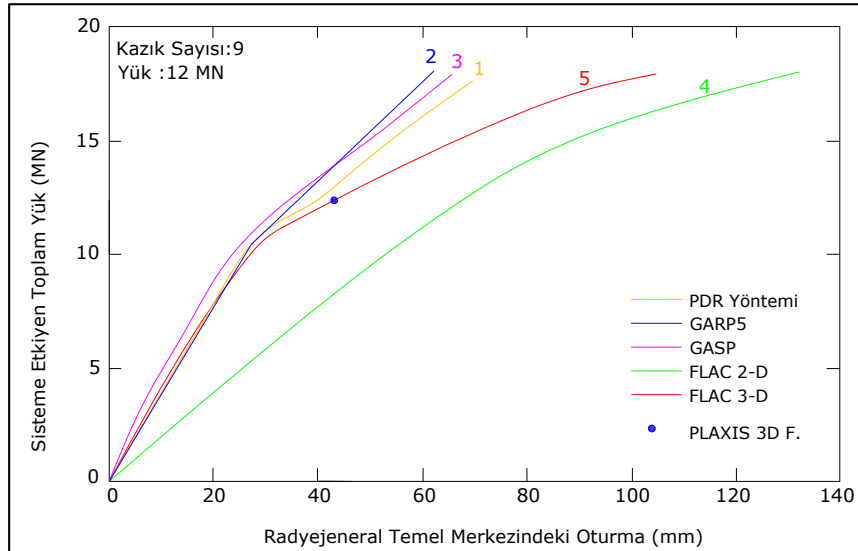
Temel sisteminde kazıklar tarafından taşınan düşey yükün toplam yüke oranı Plaxis 3D Foundation yazılımı ile hem tekil ve hem de üniform yayılı yük için analiz edildiğinde bulunan sonuçların birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Bulunan sonuçlar diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında ise yaklaşık % 20 oranında farklılık göze çarpmaktadır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 : Farklı yöntemlerle hesaplanan kazık taşıma gücü karşılaştırması.

Bahsedilen çözüm yöntemlerine ait yük-oturma davranışının sonuçları Şekil 2.15'te gösterilmiştir. Burland (1995) yaklaşımı toplam yük-oturma eğrilerini belirlemek için uygun olmadığından gösterilmemiştir. FLAC-2D haricindeki diğer çözüm yöntemleri uyum içindedir. Poulos-Davis-Randolph yöntemi; FLAC-3D ve GARP analizleri ile sonuçları bakımından paralellik göstermektedir. FLAC-3D 12MN'un aşılması durumunda daha yumuşak bir davranış göstermesinin nedeni radyejeneral temel altındaki zeminin plastik davranış göstermesi olarak düşünülebilir. Fakat FLAC-2D düzlem deformasyon yaklaşımından dolayı oturmaları aşırı tahmin etmektedir. Bu nedenle kazıklı radyejeneral temelde düzlem deformasyon analizi kullanılması, kare veya dikdörtgen temeller için göz önünde bulundurulması gereken önemli bir noktadır.

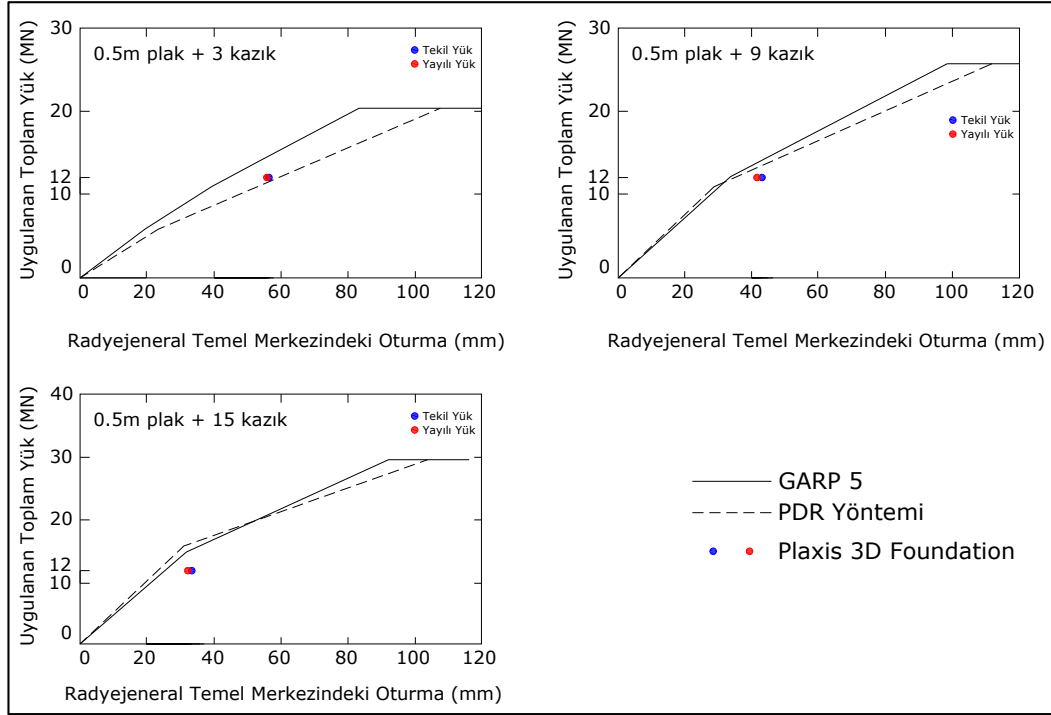
9 kazıklı temel sistemine etkiyen 12 MN'luk düşey tekil yük için bulunan sonuçlar incelendiğinde radyejeneral temel merkezindeki oturma değeri için FLAC – 3D programı (sonlu eleman analiz programı) ile Plaxis 3D Foundation programının benzer sonuç verdiği gözlenmiştir.



Şekil 2.15 : Sisteme etkiyen yükün radyejeneral temel merkezinde oluşan oturmaya bağlı değişimi.

Kazıklı radyejeneral temel tasarımında önemli olan noktalardan biri de ihtiyacı karşılayacak kazık sayısının belirlenmesidir. Radyejeneral temel kalınlığının 0.5m, kazık sayılarının da 3, 9 ve 15 olması durumları için temel sistemine uygulanan toplam düşey tekil yükün radyejeneral temel merkezinde oluşan oturma ile değişimi Şekil 2.16'da verilmiştir.

Kazık sayısı tahmini için GARP bilgisayar analizi ile Poulos-Davis-Randolph analizleri karşılaştırıldığında sonuçların birbirine yakın olduğu görülmektedir. 3 ve 9 kazıklı sistemler için Plaxis 3D Foundation ile bulunan değerler PDR yöntemi ile yakın sonuçlar verirken 15 kazıklı temel sistemi GARP analizi sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir.

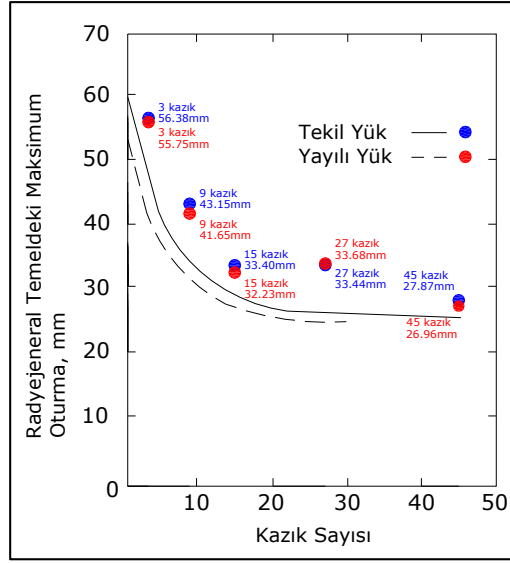


Şekil 2.16 : Farklı kazık sayıları için uygulanan toplam yükün radyejeneral temel merkezindeki oturmaya bağlı değişimi.

Kazıklı radyejeneral temel sisteminin hem tekil yük altında hem de üniform yayılı yük altında farklı kazık sayıları için (3, 9, 15, 27 ve 45 kazık) analizleri yapılarak GARP programı ile bulunan sonuçlar Plaxis 3D Foundation programı ile bulunan sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

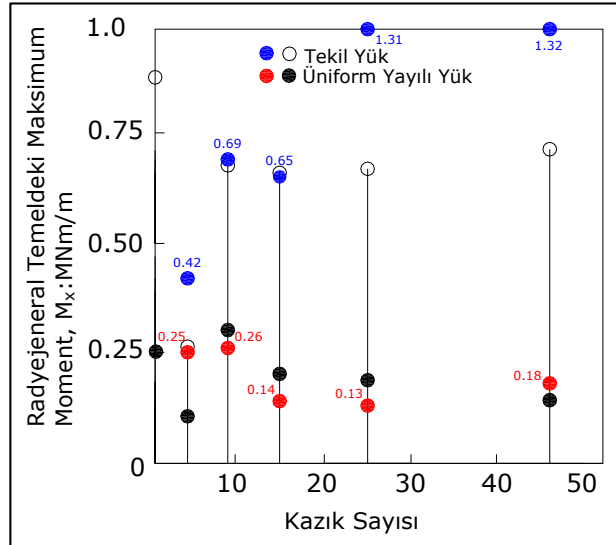
Radyejeneral temelde oluşan maksimum oturmanın kazık sayısına bağlı değişimi incelendiğinde sistemin 20 kazıktan fazla olması durumunda radyejeneral temelde oluşan oturma miktarının değişmediği gözlenmiştir.

Programların analiz sonuçları paralellik göstermektedir fakat Plaxis 3D Foundation ile bulunan değerler % 15 oranında daha yüksek bulunmuştur (Şekil 2.17).



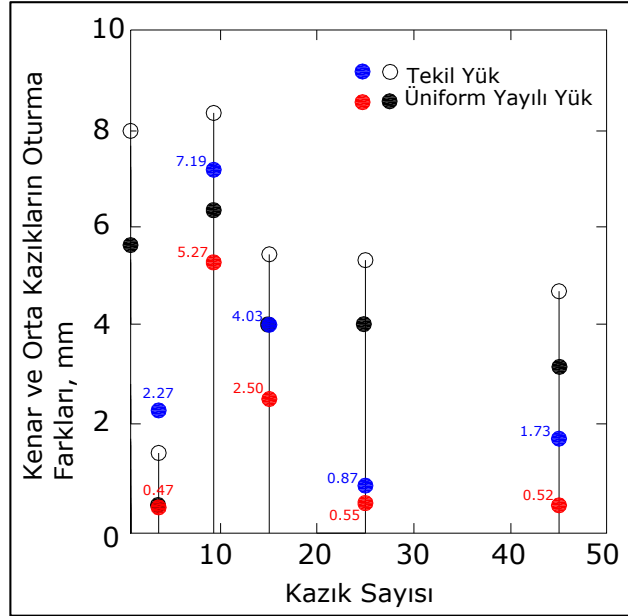
Şekil 2.17 : Radyejeneral temeldeki maksimum oturmanın kazık sayısına bağlı değişimi.

Radyejeneral temelde oluşan maksimum moment ile kazık sayısının değişim grafiğinde 9 ve 15 kazıklı sistemler için benzer sonuçlar çıkmıştır. 3, 27 ve 45 kazıklı sistemler için ise tekil yük altındaki moment değerleri, GARP programı ile bulunan değerlerden yüksek çıkmıştır. Üniform yayılı yüklü durumda ise sonuçlar benzerlik göstermektedir (Şekil 2.18).



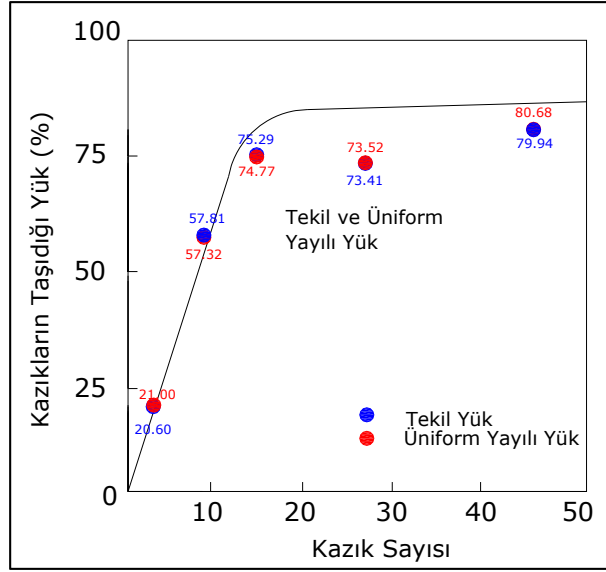
Şekil 2.18 : Radyejeneral temeldeki maksimum momentin kazık sayısına bağlı değişimi.

Radyejeneral temelin merkezindeki kazık ile köşe kazıklar arasındaki maksimum oturma farklarının kazık sayısına bağlı değişimini gösteren grafikten görüleceği üzere hem tekil yük hem de üniform yayılı yük için Plaxis 3D Foundation programı ile bulunan değerler GARP programı ile bulunan değerlerden daha düşük çıkmıştır (Şekil 2.19).



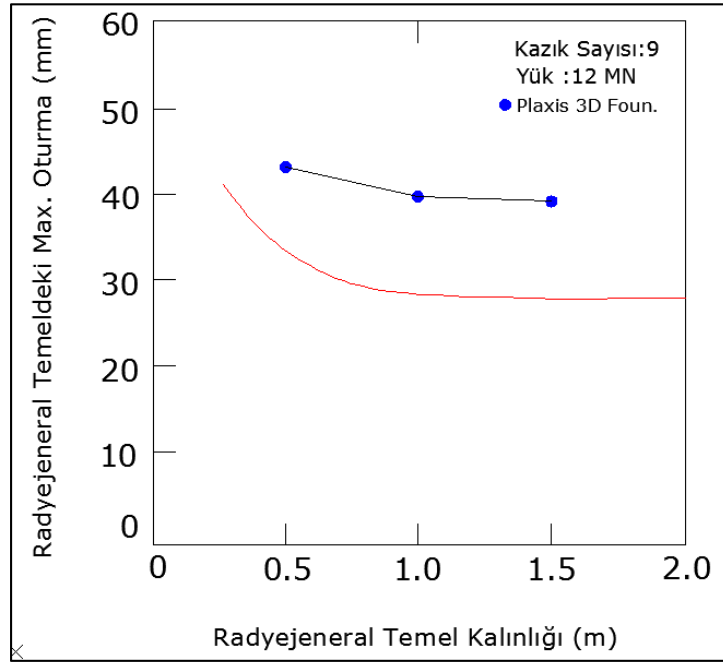
Şekil 2.19 : Kenar ve orta kazıkların oturma farklarının kazık sayısına bağlı değişimi.

Kazıkların taşıdığı yükün kazık sayısına bağlı değişimi incelendiğinde Plaxis 3D Foundation ile GARP programı analizleri neticesinde bulunan sonuçta kazık sayısının 20'nin üzerine çıkması halinde kazıkların taşıdığı yükün miktarında çok fazla değişiklik olmadığı görülmektedir. Az sayıdaki kazık, oturmaların azalmasında etkili olurken 15 kazıktan fazlasında oturmaların azalması çok küçük değerlerle gerçekleşmektedir. Buna bağlı olarak diyebiliriz ki istenilen oturma miktarlarına bağlı olarak minimum kazık sayısının belirlenmesi temel tasarımında büyük bir ekonomi sağlayacaktır. Tekil ve üniform yayılı yükler için programların sonuçları kendi içinde değerlendirildiğinde iki programında farklı yükleme koşulları için kazıkların taşıdığı yük yüzdeleri birbirine çok yakındır (Şekil 2.20).



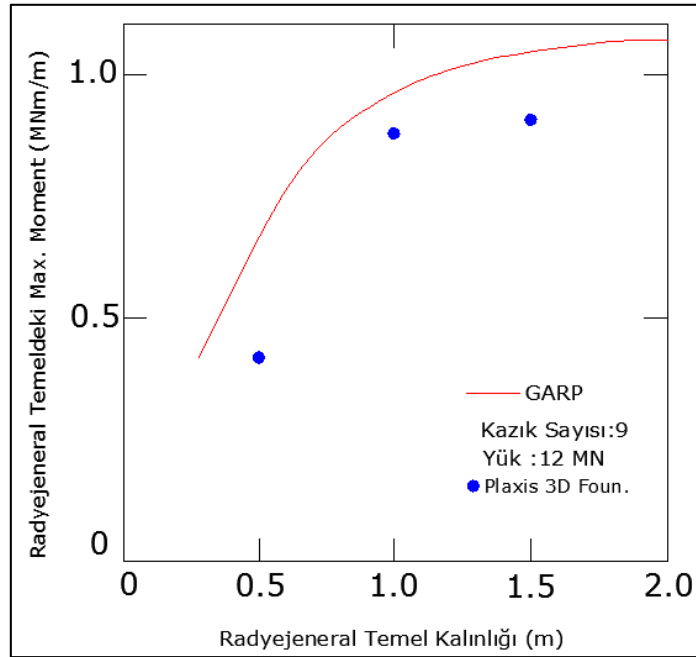
Şekil 2.20 : Kazıkların taşıdığı yükün kazık sayısına bağlı değişimi.

9 kazıklı 12MN'luk düşey tekil yüke sahip kazıklı radyejeneral temel sisteminin radyejeneral temel kalınlığı 0.50, 1.00 ve 1.50m olacak şekilde 3 ayrı analizi gerçekleştirilmiştir. Plaxis 3D Foundation ile bulunan maksimum oturma değerleri GARP programının bulduğu değerlerle paralellik göstermekle birlikte fazladır (Şekil 2.21).



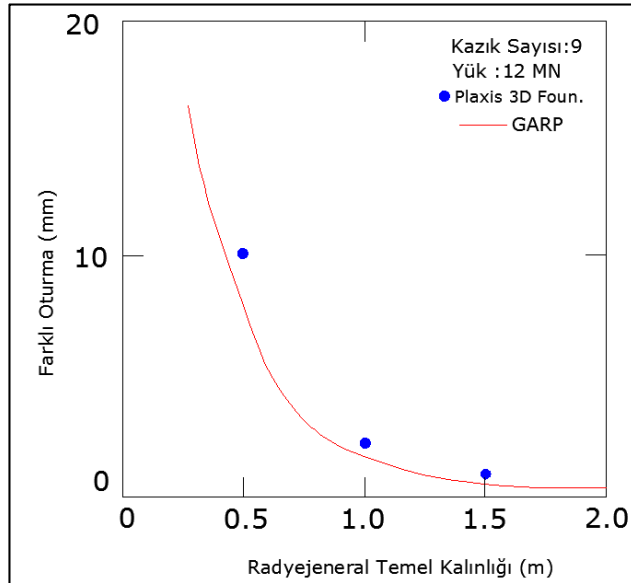
Şekil 2.21 : Radyejeneral temelde oluşan maksimum oturmanın plak kalınlığına bağlı değişimi.

Radyejeneral temelde oluşan maksimum oturma değerlerinin aksine oluşan maksimum moment değerleri GARP programı ile bulunan değerler ile paralellik göstermekle birlikte düşük çıkmıştır (Şekil 2.22).



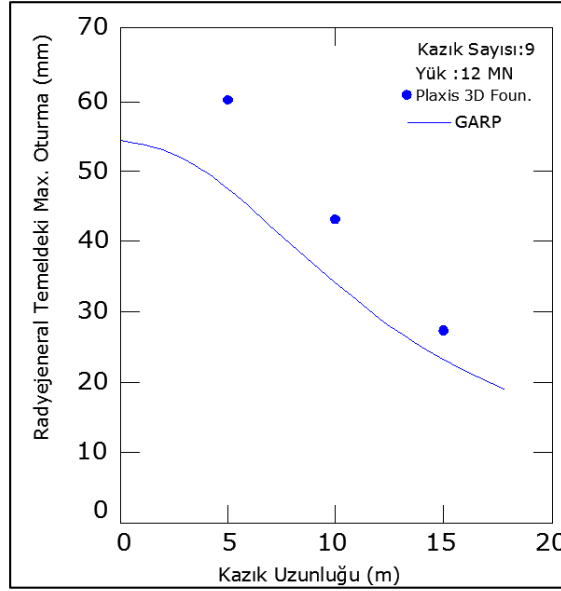
Şekil 2.22 : Radyejeneral temelde oluşan maksimum momentin plak kalınlığına bağlı değişimi.

Radyejeneral temelde oluşan farklı oturmanın plak kalınlığına bağlı değişimi incelendiğinde her iki analiz programı ile de plak kalınlığının artması ile farklı oturmaların azaldığı gözlenmektedir (Şekil 2.23).



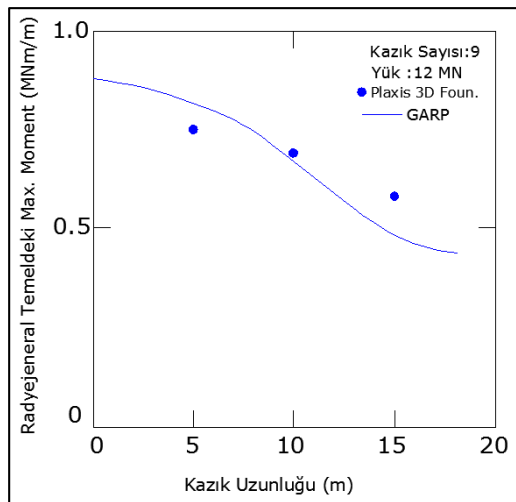
Şekil 2.23 : Radyejeneral temelde oluşan farklı oturmanın plak kalınlığına bağlı değişimi.

Kazık uzunluğunun sistem davranışı üzerine etkisini incelemek amacıyla kazık uzunluklarının 5, 10 ve 15m değerleri için analizler yapılmıştır. Radyejeneral temelde oluşan maksimum oturma değeri kazık uzunluğu arttıkça azalmaktadır. Plaxis 3D Foundation ile bulunan değerler GARP ile bulunan değerlerle benzerlik göstermesinin yanında fazladır (Şekil 2.24).



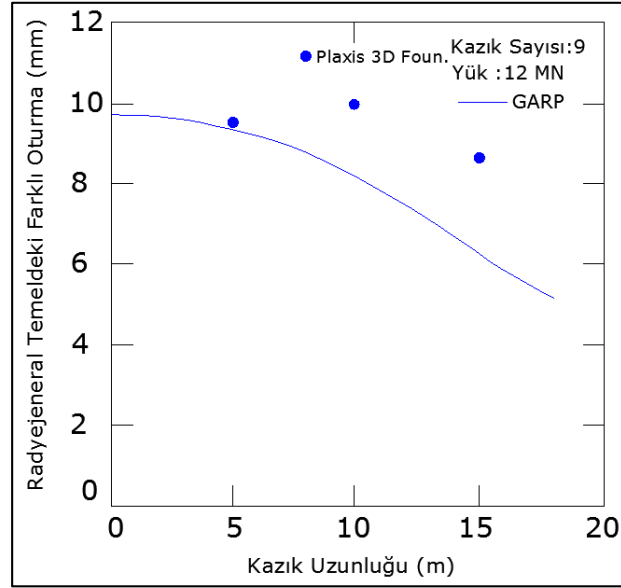
Şekil 2.24 : Radyejeneral temelde oluşan maksimum oturmanın kazık uzunluğuna bağlı değişimi.

Radyejeneral temelde oluşan maksimum moment incelendiğinde kazık uzunluğunun 5m olması durumunda bulunan değer GARP ile hesaplanan değerden düşük çıkarken 15m için daha büyük çıkmıştır. 10m kazık uzunluğu için bulunan değerler aynıdır (Şekil 2.25).



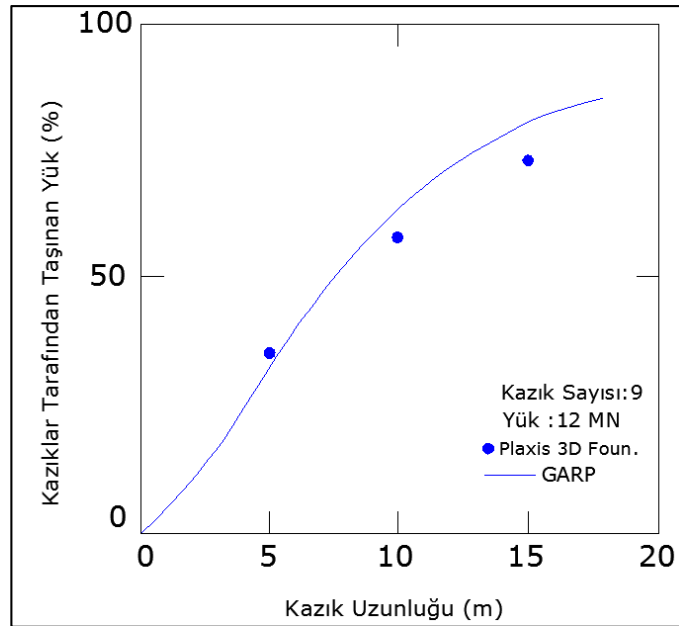
Şekil 2.25 : Radyejeneral temelde oluşan maksimum momentin kazık uzunluğuna bağlı değişimi.

Radyejeneral temelde oluşan farklı oturma değerleri, GARP programı ile hesaplanan değerlerle karşılaştırıldığında 5m kazık uzunluğu için yaklaşık sonuçlar verirken 10 ve 15m için yüksek değerler çıkmıştır (Şekil 2.26).



Şekil 2.26 : Radyejeneral temelde oluşan farklı oturma değerlerinin kazık uzunluğuna bağlı değişimi.

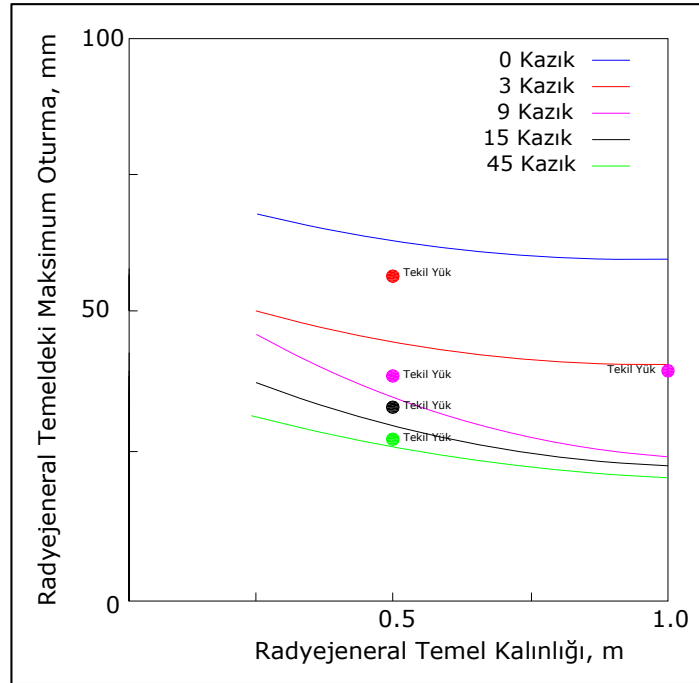
Kazıklar tarafından taşınan yükün kazık uzunluğuna bağlı değişiminde ise Plaxis 3D Foundation ile bulunan sonuçlar GARP yazılımı ile bulunan sonuçlarla uyumludur (Şekil 2.27).



Şekil 2.27 : Kazıklar tarafından taşınan yükün kazık uzunluğuna bağlı değişimi.

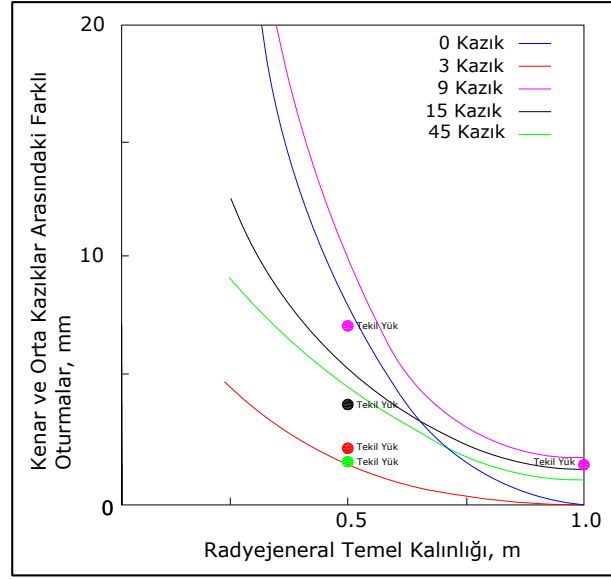
Radyejeneral temeldeki maksimum oturmanın radyejeneral temel kalınlığına bağlı değişiminde 3, 15 ve 45 kazıklı sistemler için plak kalınlığı 0.5m; 9 kazıklı temel sistemi için ise 0.5 ve 1.5m alınarak analizler yapılmıştır. Kazık sayısı arttıkça plakta oluşan maksimum oturma azalmakta; 9, 15 ve 45 kazıklı sistemlerde bulunan sonuçların birbirine çok yakın oldukları gözlenmektedir (Şekil 2.28).

Plak kalınlığının artmasının farklı oturmalara etkisi, radyejeneral temelde oluşacak maksimum oturmaya olan etkiden daha fazladır. Radyejeneral temel kalınlığının artması birincil derecede farklı oturmaları azaltmaktadır. Aynı zamanda düşey yük altında kazıkların oluşturacağı kesme ve zımbalama kuvvetlerine karşı temelin dayanımı da artmaktadır.



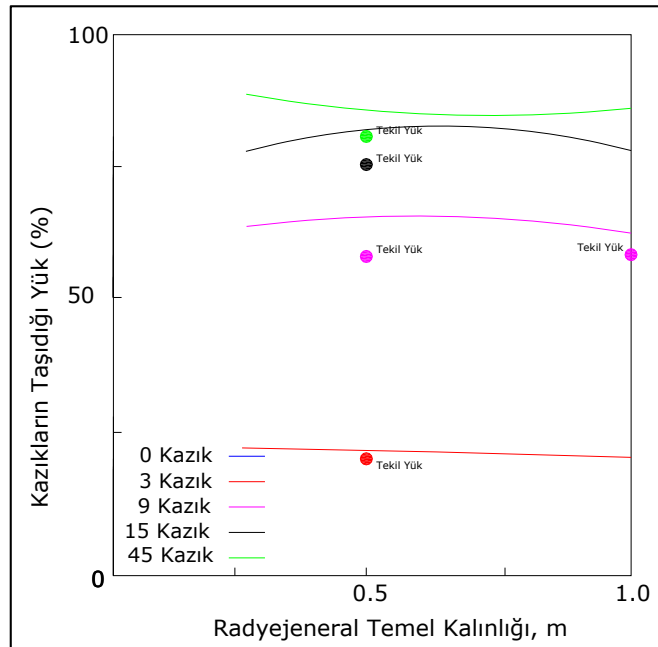
Şekil 2.28 : Radyejeneral temeldeki maksimum oturmanın plak kalınlığına bağlı değişimi.

Kenar ve orta kazıklar arasındaki farklı oturmaların radyejeneral temel kalınlığı ile değişiminde 3, 9 ve 15 kazıklı temel sistemleri için bulunan sonuçlar birbirleriyle uyumlu iken 45 kazıklı temel sisteminde Plaxis 3D Foundation ile bulunan değer GARP programı ile hesaplanan değerden daha düşük çıkmıştır (Şekil 2.29).



Şekil 2.29 : Kenar ve orta kazıklar arasındaki farklı oturmaların radyejeneral temel kalınlığına bağlı değişimi.

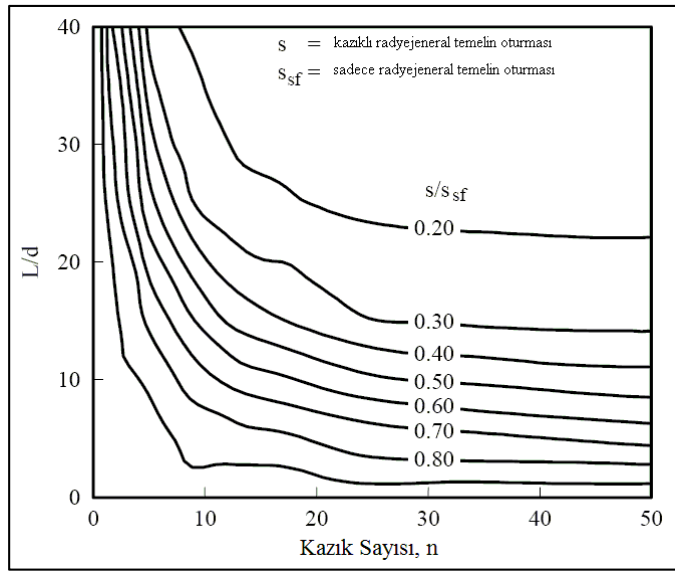
Kazıkların taşıdığı yükün radyejeneral temel kalınlığına bağlı değişimi incelendiğinde iki farklı programın bulduğu sonuçların 3, 9, 15 ve 45 kazıklı temel sistemleri için benzer olduğu görülebilir (Şekil 2.30). Radyejeneral temel kalınlığının 0.8m'den büyük olduğu durumlar için kazıklar tarafından taşınan yükün yüzdesinde değişiklik olmadığı söylenebilir.



Şekil 2.30 : Kazıkların taşıdığı yükün radyejeneral temel kalınlığına bağlı değişimi.

2.7 Üçüncü Boyut Etkisi

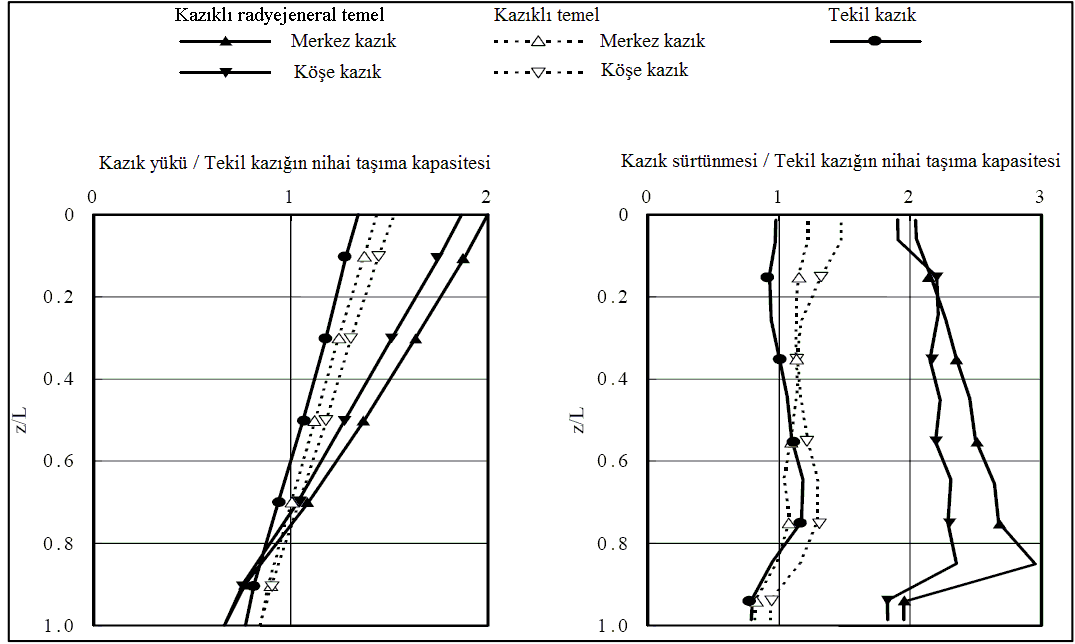
Katzenbach ve diğ. (1998)'in üç boyutlu sonlu eleman analizleri kazıklı radyejeneral temel davranışının belirlenmesinde çalışmalara ışık tutmaktadır. Zemin modeli olarak gerçekçi elasto-plastik bir davranış kabul edilmiştir. 1 ila 49 kazık arasında farklı seçeneklerle ve kazıksız durum için kazık sayısının ve uzunluğunun radye ile kazık arasındaki yük paylaşımına etkisini incelemişlerdir. Şekil 2.31'de yaptıkları çalışmada rölatif oturmanın (kazıklı radyejeneral temelin oturması / radyejeneral temelin oturması) kazık sayısı ve L/d (kazık boyu / kazık çapı) oranına bağlı değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.31 : Etkileşim diyagramı: oturma oranlarının (S/S_{sf}), L/d ve kazık sayısına (n) bağlı değişimi (Katzenbach ve diğ., 1998).

Belirli sayıdaki kazık için L/d 'nin artmasıyla rölatif oturma (S/S_{sf}) azalmaktadır. Kazık sayısının 20 ve daha fazla olması durumunda ise kazık sayısı artışının sisteme faydası oldukça azdır.

Kazıklı radyejeneral temelin GARP programı ile belirlenemeyen davranışı ise kazıklı radyejeneral temeldeki kazıkların ulaştıkları nihai yüzey sürtünmesinin, kazıkların tek başına olması durumu ya da kazıklı temeldeki kazıklar için hesaplanan değerden büyük olmasıdır. Bunun nedeni radyejeneral temel üzerindeki yükten dolayı kazık yüzeyi ile zemin arasındaki normal gerilmenin artmasıdır. Şekil 2.32'te Katzenbach ve diğ. (1998)'in yaptığı çalışmanın sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 2.32 : Kazık yükü ve yüzey sürtünmesinin kazık boyunca dağılımı; kazıklı radyejeneral temeldeki kazık sayısı:13 (Katzenbach ve diğ., 1998).

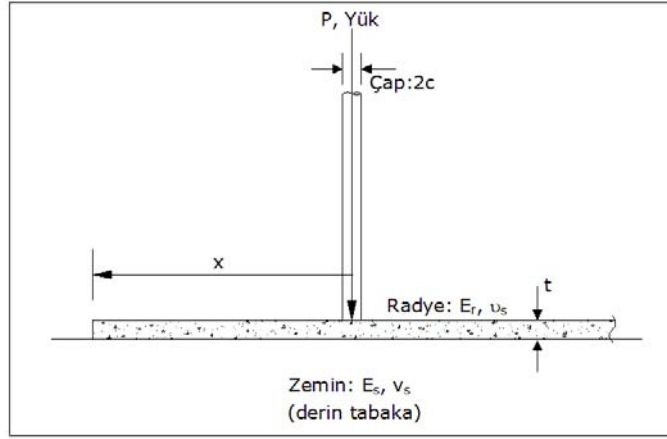
Kazıklı radyejeneral temeldeki kazıklarda meydana gelen çevre sürtünmesi kazıklı temel ve tekil kazıkta oluşan çevre sürtünmesinin yaklaşık iki katı olduğu görülmektedir. Bu yüzden kazıklı radyejeneral temel tasarımında tekil kazığın nihai taşıma kapasitesi ile hesap yapmak aşırı konservatif tarafta kalınmasına neden olacaktır.

2.8 Belirli Kolon Yükleri İçin Tasarım

Literatürdeki mevcut çalışmalarda temeldeki yükleme koşulu ile ilgili detaylar üzerinde fazla durulmazken; yüklerin radyejeneral temel alanına üniform olarak yayıldığı düşünülür. Ön tasarım için bu yaklaşım kabul edilebilirken, kolon yüklerinin bulunduğu mevkilere göre kazık tasarımı yapılarak tasarım detaylandırılmalıdır.

Bu bölümde Poulos (2001) tarafından plak için taşınabilecek maksimum kolon yükü hesabına ait yaklaşım verilmiştir.

Şekil 2.33'te radyejeneral temele etkileyen kolon yükü temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.33 : Tekil kolon yükü altında radyejeneral temel (Poulos, 2001).

Kolon yüküne maruz radyejeneral temelde aşağıdaki koşulların oluşması halinde kazıya ihtiyaç duyulur:

- a) Kolondan dolayı radyejeneral temelde oluşacak momentin sınır değerleri aşması
- b) Kolondan dolayı radyejeneral temelde oluşacak kesme kuvvetinin sınır değerleri aşması
- c) Radyejeneral temel altındaki taban basıncının müsaade edilebilir limitleri aşması
- d) Kolon altındaki oturma değerlerinin aşılması

Radyejeneral temeldeki kolon yükünden oluşacak maksimum moment, kesme kuvveti, taban basıncı ve yerel oturmaların elastik çözümlerle belirlenmesi için Selvadurai (1979) tarafından geliştirilen yaklaşımlar kullanılabilir. Bu yaklaşım yeterli derinlikte bulunan homojen elastik zemin tabakasındaki yarı-sonsuz elastik radyejeneral temelin maruz kaldığı tekil yük durumu için geçerli olmasına rağmen tasarım için fikir vermektedir. Fraser ve Wardle (1976) tarafından öne sürülen yaklaşımla da istenirse gerçekçi tabakalı zemin profili eşdeğer homojen zemin tabakasına dönüştürülebilmektedir.

a) Maksimum Moment Kriteri:

Yarı-sonsuz plak üzerinde c yarıçaplı kolondan dolayı oluşacak maksimum momentler M_x ve M_y olursa:

$$M_x = A_x \cdot P \quad (2.13)$$

$$M_y = B_y \cdot P \quad (2.14)$$

$$A_x = A - 0.0928 \ln \left(\frac{c}{a} \right) \quad (2.15)$$

$$B_y = B - 0.0928 \ln \left(\frac{c}{a} \right) \quad (2.16)$$

M_x : x yönünde oluşacak maksimum moment

M_y : y yönünde oluşacak maksimum moment

A, B: x/a değerine bağlı moment faktörleri (Şekil 2.34)

x: kolon ekseninin radye kenarına olan uzaklığı

a: plağın karakteristik uzunluğu

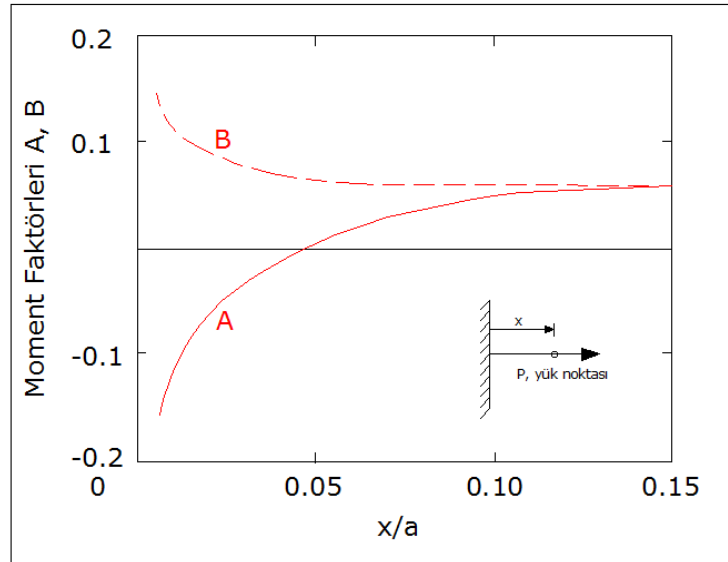
$$a = t \left[\frac{E_r (1 - \nu_s)}{6 E_s (1 - \nu_r^2)} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2.17)$$

t: radyejeneral temel kalınlığı

E_r : radyejeneral temelin kayma modülü

E_s : zeminin kayma modülü

ν_r : radyejeneral temelin Poisson Oranı



Şekil 2.34 : Dairesel kolon için moment faktörleri (Poulos, 2001).

Radyejeneral temel tarafından müsaade edilebilir moment değeri aşılmadan taşınabilecek maksimum kolon yükü, P_{c1} :

$$P_{c1} = \frac{M_d}{A_x \text{ ve } B'_y \text{ den büyük olan}} \quad (2.18)$$

M_d : radyejeneral temelin tasarım moment kapasitesi

b) Maksimum Kesme Kuvveti Kriteri:

Radyejeneral temelde kolon yükünden dolayı oluşacak maksimum kesme kuvveti, $V_{\max}$:

$$V_{\max} = \frac{(P - q\pi c^2)c_q}{2\pi c} \quad (2.19)$$

q : temas basıncı

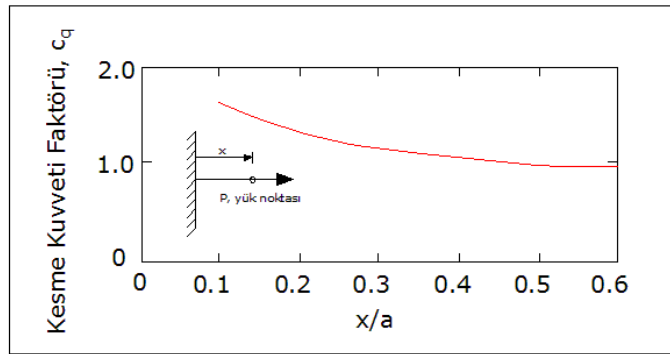
c : kolon yarıçapı

c_q : kesme kuvveti faktörü (Şekil 2.35)

Radyejeneral temele etkiyecek maksimum kolon yükü, P_{c2} :

$$P_{c2} = \frac{V_d 2\pi c}{c_q} + q_d \pi c^2 \quad (2.20)$$

V_d : tasarım kesme kuvveti, q_d : tasarım taban basıncı



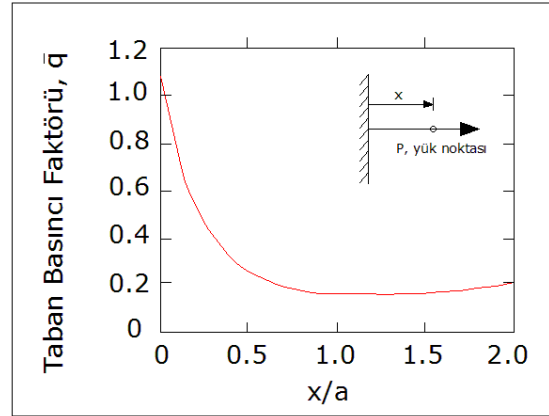
Şekil 2.35 : Dairesel kolon için kesme kuvveti faktörü (Poulos, 2001).

c) Maksimum Taban Basıncı Kriteri:

Radyejeneral temel altındaki maksimum taban basıncı, $q_{\max}$:

$$q_{\max} = \frac{\bar{q}P}{a^2} \quad (2.21)$$

$\bar{q}$: taban basıncı faktörü (bkz. Şekil 2.36)



Şekil 2.36 : Dairesel kolon için taban basıncı faktörü (Poulos, 2001).

Müsaade edilebilir taban basıncını geçmeyecek maksimum kolon yükü, P_{c3} :

$$P_{c3} = \frac{q_u a^2}{F_s \bar{q}} \quad (2.22)$$

q_u : zeminin nihai taşıma kapasitesi

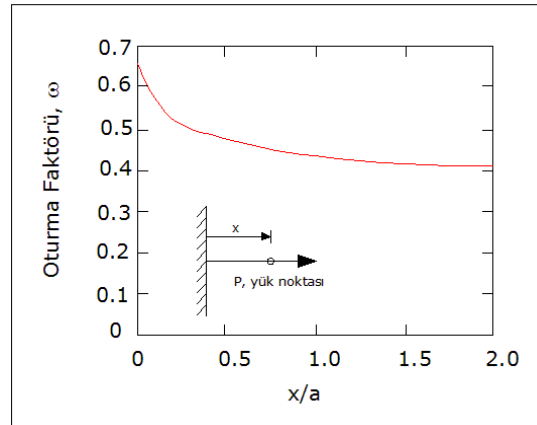
F_s : taban basıncı için güvenlik faktörü

d) Yerel Oturma Kriteri:

Kolon altındaki oturma miktarı, S_c :

$$S_c = \frac{\omega(1-u_s^2)P}{E_s a} \quad (2.23)$$

ω : oturma faktörü (Şekil 2.37)



Şekil 2.37 : Oturma faktörü; (zemin homojen ve çok derinde) (Poulos, 2001).

İzin verilebilir yerel oturma miktarı S_a ise; maksimum kolon yükü, P_{c4} aşağıdaki değeri geçmemelidir:

$$P_{c4} = \frac{S_a E_s a}{\omega(1-v_s^2)} \quad (2.24)$$

e) Kolon Bölgesi İçin Kazık İhtiyacının Gerekliliği:

Yukarıdaki kriterlerden hesaplanan P_{c1} , P_{c2} , P_{c3} ve P_{c4} değerlerinden en küçüğü kritik yük (P_{crit}) kabul edilir. Gerçek kolon tasarım yükü de P_c olarak ifade edilirse $P_c > P_{crit}$ olması durumunda radyejeneral temel sisteminde kazığa ihtiyaç duyulur.

Eğer kritik kolon yükü maksimum moment, kesme kuvveti veya taban basıncı tarafından belirleniyorsa kazıkların sistemdeki görevi radyejeneral temelin yük taşıma kapasitesindeki yetersizliği karşılamak olacaktır. Burland (1995) ise kazıkların nihai taşıma kapasitelerinin %90 değerine kadar oturmadan yük taşıyabileceğini belirtmiştir. Bu ifadeye göre kolon bölgesindeki kazığın nihai taşıma gücü aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$P_{ud} = 1.11 F_p (P_c - P_{crit}) \quad (2.25)$$

P_{ud} : kazığın nihai yük taşıma kapasitesi

F_p : kazık için güvenlik katsayısı (oturma azaltıcı eleman olarak kullanılırsa $F_p:1$)

Kritik kolon yükünün yerel oturma tarafından sınırlanması durumunda kazıkların uygun rijitlik sağlayacak şekilde tasarlanmaları gerekir. Kazıkların rijitliklerine ulaşmak için izin verilebilir yerel oturma (S_a) için hedef rijitlik (K_{cd}) aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

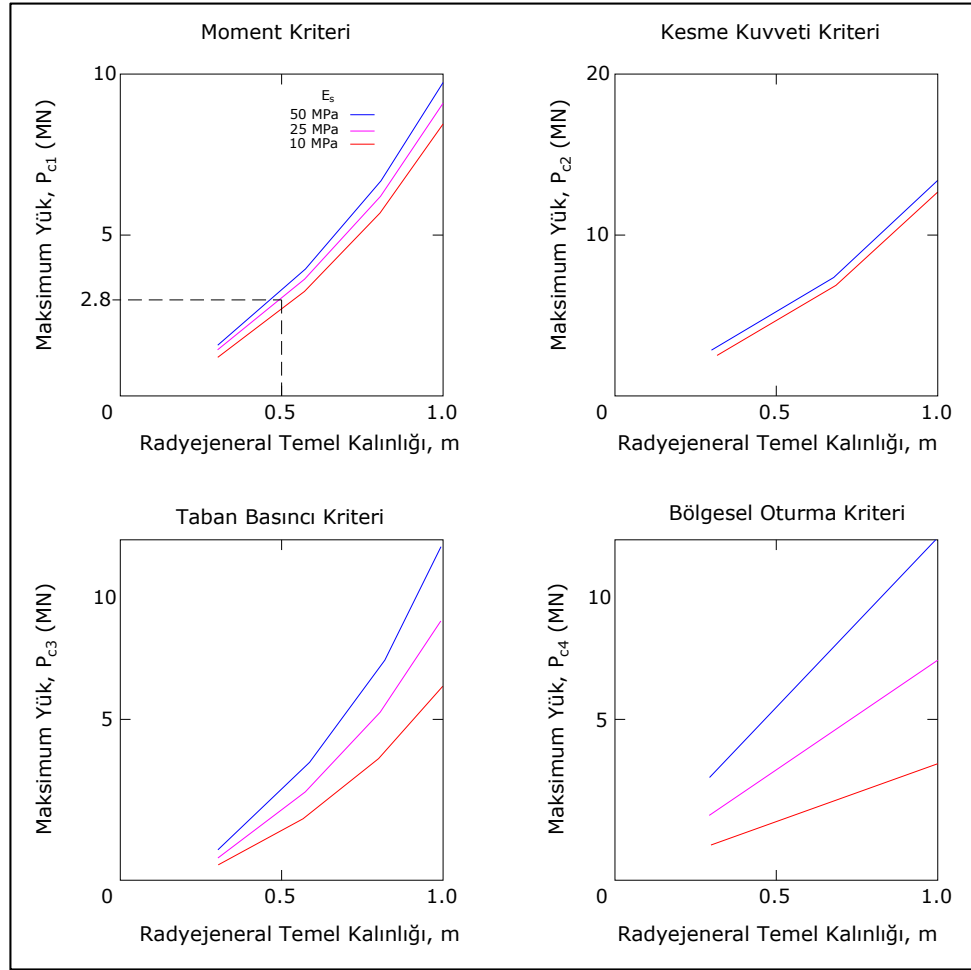
$$K_{cd} = \frac{P_c}{S_a} \quad (2.26)$$

Belirlenen hedef rijitlik (2.2) No'lu ikinci derece denklemdeki K_{pr} yerine konarak ihtiyaç duyulan kazık rijitliği (K_p) belirlenebilir.

$$K_p^2 + K_p [K_r (1 - 2\alpha_{cp}) - K_{cd}] + \alpha_{cp}^2 K_r K_{cd} = 0 \quad (2.27)$$

K_r ise gerçek karakteristik uzunluğa (a) eşit yarıçapa sahip dairesel temelin rijitliği olarak belirlenebilir.

Kritik kolon yükleri, zeminin Elastisite Modülü'nün ve radyejeneral temel kalınlığının fonksiyonu olarak Şekil 2.38'de gösterilmiştir.



Şekil 2.38 : Çeşitli kriterler için maksimum kolon yükleri a) maksimum moment kriteri b) maksimum kesme kuvveti kriteri c) maksimum taban basıncı kriteri d) maksimum yerel oturma kriteri (maksimum oturma 20mm) (Beton için $f_c=32$ Mpa; $E_r=25.000$ MPa. Çelik için $f_y=400$ Mpa; %1 donatı) (Poulos, 2001).

Elde edilen grafiklerden anlaşılağı üzere:

- a)** Tüm tasarım kriterleri için radyejeneral temel kalınlığının artmasıyla maksimum kolon yükü artmaktadır.
- b)** Eğilme momenti ve kesme kuvveti kriterleri ile zeminin Elastisite Modülü arasında belirleyici bir bağ yokken taban basıncı ve bölgesel oturma kriterleri zeminin Elastisite Modülü ile farklılık göstermektedir.
- c)** Kritik kolon yükü için belirleyiciler moment ve yerel oturma kriteri olarak gözükmektedir.

3. YATAY YÜKLER ALTINDA TEKİL KAZIĞIN DAVRANIŞIYLA İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Kazıkların aksenal yük haricinde eğik statik yükler, rüzgar, toprak basıncı, su basıncı, deprem ve gemi çarpması gibi yapıdan ve dış etkilerden kaynaklanan yanal kuvvetleri ve momentleri de karşılaması gerekmektedir. Kazıkların yanal yük altında davranışı, kazığın ve kazık başlığının rölatif rijitliği ile kazık-başlık arasındaki bağlantının şekline bağlı olarak serbest ve rijit başlıklı olarak incelenebilmektedir (Prakash, 1990).

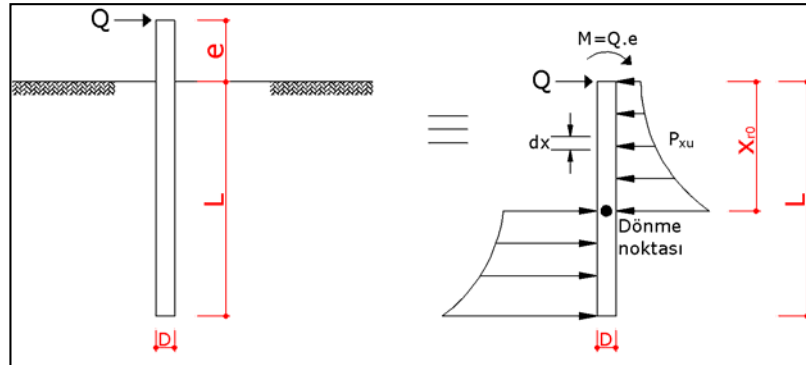
Müsade edilebilir yanal yük değeri aşağıdaki değerlerden küçük olanı olarak kabul edilir:

- a) Kazığa etkiyen nihai (göçme) yükünün güvenlik sayısına bölünmesiyle elde edilen yanal kuvvet değeri
- b) Müsade edilebilir yanal deplasmana neden olan yanal kuvvet değeri

Düşey kazıkların yanal taşıma güçlerinin belirlenme yöntemleri iki ana başlık altında toplanabilir:

3.1 Nihai Yanal Taşıma Gücünü Belirleme Yöntemleri

Şekil 3.1’de Brinch Hansen (1961) ve Broms (1964a, b) yöntemlerinin nihai yanal taşıma gücü belirlemede kullandıkları yaklaşım gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Serbest başlıklı yanal yüke maruz kazık için zemin taşıma gücü (Prakash, 1990).

Yatay kuvvetlerin dengesinden ($\sum F_y=0$);

$$Q_u - \int_{x=0}^{x=x_{ro}} p_{xu} D dx + \int_{x=x_{ro}}^{x=L} p_{xu} D dx = 0 \quad (3.1)$$

yazılabilir.

Q_u : nihai yanal taşıma gücü

D : kazık çapı

x_{ro} : dönme noktasının zemin yüzeyine mesafesi

p_{xu} : nihai birim zemin taşıma gücü

$x=0$ noktasına göre moment dengesini ($\sum M=0$):

$$Q_u e - \int_{x=0}^{x=x_{ro}} p_{xu} D x dx + \int_{x=x_{ro}}^{x=L} p_{xu} D x dx = 0 \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir.

e : yanal yükün uygulandığı noktanın zemin yüzeyine olan mesafesi

Eğer nihai birim zemin taşıma gücünün kazık boyunca değişimi biliniyorsa (3.1) ve (3.2) nolu eşitliklerden x_{ro} ve Q_u kolaylıkla bulunabilir.

3.1.1 Brinch Hansen yöntemi

Yöntem kısa rijit kazıklar için toprak basıncı teorisine dayanmaktadır. Yöntemin avantajları arasında $c - \phi$ 'li üniform ve tabakalı zeminler için uygulanabilmesi varken, sadece kısa kazıklar için uygulanması ve kazığın dönme noktasının hangi derinlikte olduğunun belirlenebilmesi için deneme yanılma yönteminin kullanılması yöntemin dezavantajı olarak gösterilebilir. Kısa süreli yükleme koşulları için drenajsız kayma mukavemeti (c_u) kullanılıp kayma mukavemeti açısı (ϕ) sıfır olarak kabul edilir. Uzun süreli ve devamlı yükleme koşulları için drenajlı efektif gerilme değerleri (c' , ϕ') kullanılmalıdır.

Yöntem herhangi bir derinlikteki nihai zemin taşıma gücünü belirlemek için

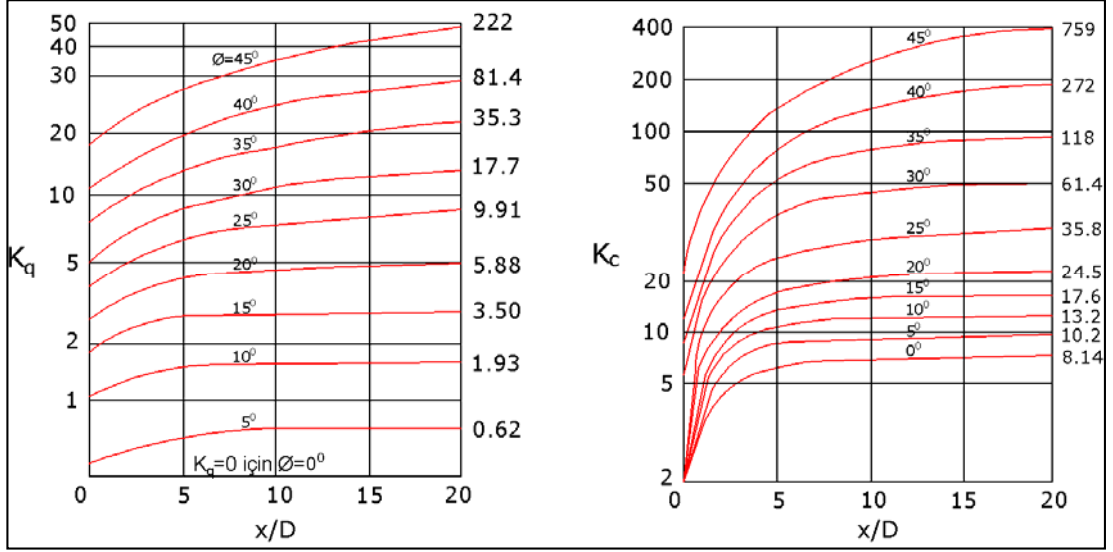
$$p_{xu} = \overline{\sigma_{vx}} K_q + c_u K_c \quad (3.3)$$

bağıntısını kullanmaktadır.

$\overline{\sigma_{vx}}$: x derinliğindeki düşey efektif gerilme

c_u : drenajsız kayma mukavemeti

K_q, K_c : ϕ ve x/D 'nin fonksiyonu olan katsayılar (Şekil 3.2)



Şekil 3.2 : K_q ve K_c katsayıları (Hansen, 1961).

3.1.2 Broms yöntemi

Bu yöntem de Brinch Hansen yönteminde olduğu gibi toprak basıncı teorisine dayanmaktadır. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerdeki kısa-uzun ve serbest-rijit başlıklı kazıklar için uygulanabilmesi, yöntemin olumlu yanları iken tabakalı ve $c - \phi$ 'li zeminler için uygulanamaması olumsuz yanını oluşturmaktadır. Kazık boyunca, nihai zemin taşıma gücünün dağılımını belirlemek için basitleştirilmiş yaklaşımlar kullanılmaktadır.

Bu yaklaşımlardan ilki zeminin tamamen kohezyonlu ($\phi=0$) veya tamamen kohezyonsuz ($c=0$) olması kabulüdür.

Kısa rijit kazık kabulünün yapılması için $L/T \leq 2$ veya $L/R \leq 2$ koşullarının sağlanması gerekmektedir.

$$T = \left[\frac{E_p I_p}{n_h} \right]^{1/5} \quad (3.4)$$

$$R = \left[\frac{E_p I_p}{k_h} \right]^{1/4} \quad (3.5)$$

E_p : kazığın elastisite modülü

I_p : kazık kesitinin atalet momenti

n_h : yatay yatak katsayısı sabiti

k_h : derinlikle doğrusal artan yatay katsayısı modülü ($k_h = n_h x$)

T, R: yatak katsayısının derinlikle artması ya da sabit kalması durumları için rölatif rijitlik faktörleri

Uzun esnek kazık kabulünün yapılması için $4 \leq L/T$ veya $3.5 \leq L/R$ koşullarının sağlanması gerekmektedir.

Serbest başlı kısa kazığın yanal yük altındaki deformasyon modu dönme olarak gerçekleşirken, rijit başlı kısa kazıkta deformasyon şeklinin ötelenme olarak gerçekleştiği kabul edilir (Şekil 3.3, Şekil 3.4).

Uzun kazıklarda uç bölgesinde meydana gelecek pasif toprak basıncı fazla olacağı için kısa kazıktaki gibi dönme ve ötelenme hareketleri gözlenmeyecektir. Bu yüzden uzun kazıkların deformasyon modları kısa kazıklara göre farklılık göstermektedir (Şekil 3.5, 3.6).

Kohezyonsuz zemindeki kısa kazığın arkasında oluşacak aktif toprak basıncı ihmal edilirken herhangi bir derinlikte oluşacak pasif toprak basıncı aşağıdaki ifade ile verilmiştir (Şekil 3.3):

$$p_r = 3D\sigma'_v K_p = 3D\gamma' L K_p \quad (3.6)$$

p_r : zemindeki birim gerilme (reaksiyon)

σ'_v : herhangi bir derinlikteki düşey efektif gerilme

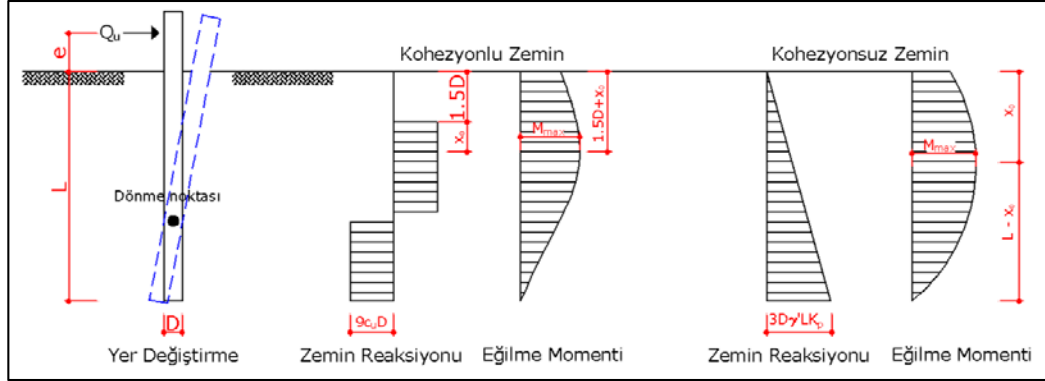
γ' : efektif birim hacim ağırlık

K_p : Rankine pasif toprak basıncı katsayısı

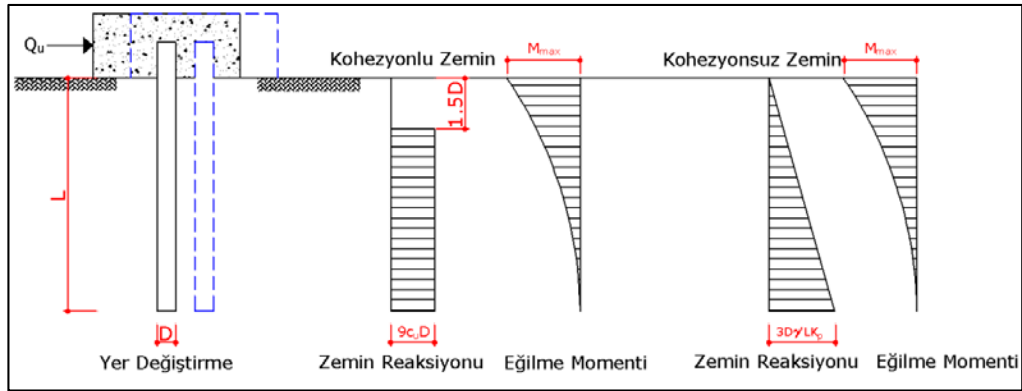
ϕ' : efektif kayma mukavemeti açısı

Kohezyonlu zemindeki kısa kazıkta zemin yüzeyinden $1.5D$ derinlikteki bölgede nihai zemin taşıma gücü sıfır; bu derinlikten itibaren ise sabit değer olan $9c_u D$ kabul edilmiştir.

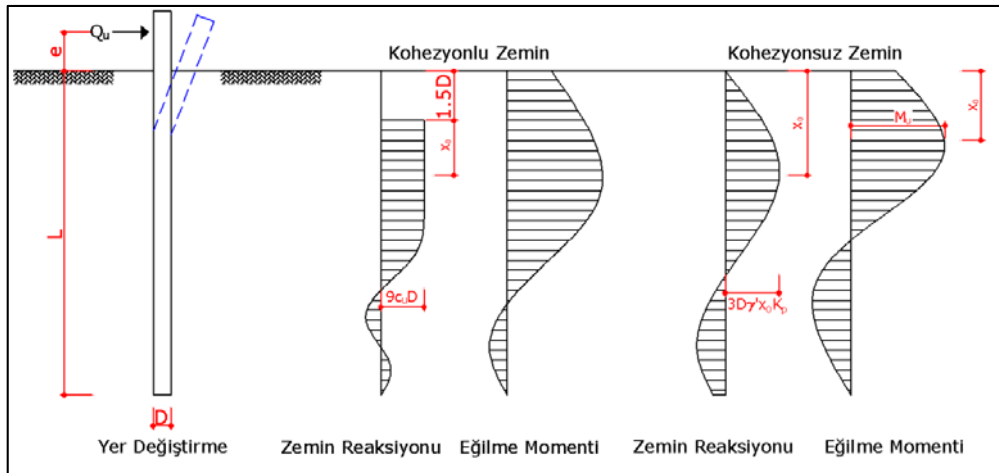
Kohezyonsuz zemindeki uzun kazıkta ise (3.6) nolu eşitlikteki L teriminin yerini zemin reaksiyonun en büyük değere ulaştığı derinlik olan x_0 almıştır. Kohezyonlu zemindeki uzun kazıkta ise bu derinlik $(1.5D+x_0)$ olarak gösterilmiştir (Şekil 3.5, Şekil 3.6).



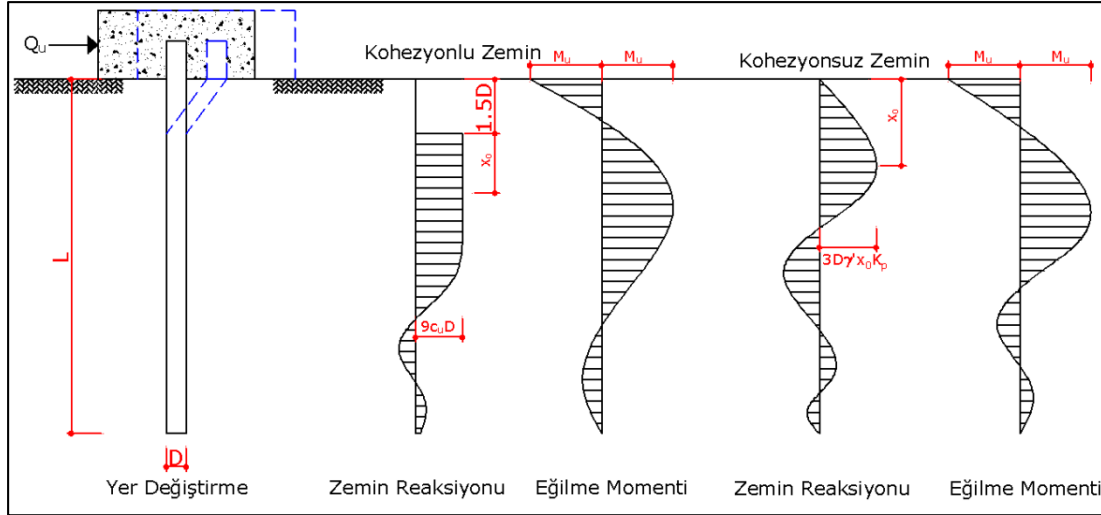
Şekil 3.3 : Serbest başlı kısa kazık için zemin reaksiyonları ve eğilme momentleri (Broms, 1964a, Broms, 1964b).



Şekil 3.4 : Rijit başlıklı kısa kazık için zemin reaksiyonları ve eğilme momentleri (Broms, 1964a, Broms, 1964b).



Şekil 3.5 : Serbest başlıklı uzun kazık için zemin reaksiyonları ve eğilme momentleri (Broms, 1964a, Broms, 1964b).



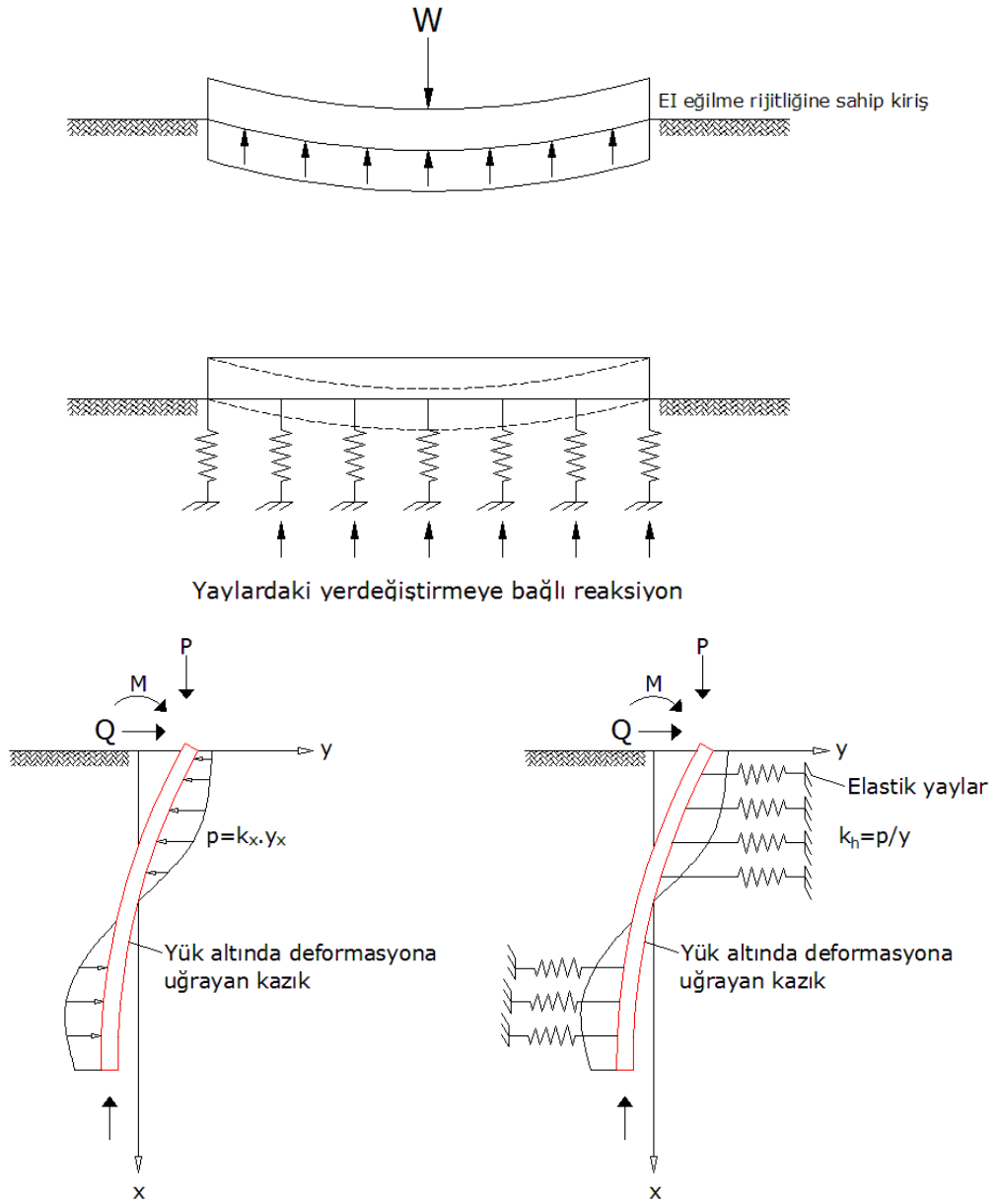
Şekil 3.6 : Rijit başlıklı uzun kazık için zemin reaksiyonları ve eğilme momentleri (Broms, 1964a, Broms, 1964b).

3.2 Yanal Yük Altında Müsade Edilebilir Yerdeğiştirmelerin Belirlenmesi

Yanal yük altındaki kazık tasarımı, nihai yanal taşıma gücünün belirlenmesinden ziyade müsade edilebilir yerdeğiştirmelerin belirlenmesine dayanmaktadır. Yanal yerdeğiştirmelerin belirlenebilmesi için sıkça kullanılan yöntemler yatak katsayısı yöntemi ve elastik yaklaşımdır.

3.2.1 Yatak katsayısı yöntemi

Yatak katsayısı yönteminde zemin, birbirinden bağımsız ve elastik yay grubu ile idealize edilmiştir (Winkler zemin modeli). Yanal yüklü kazık, elastik temel üzerine oturan kiriş olarak düşünülmüştür (Şekil 3.7). Yöntemin kolay ve tabakalı zeminler için uygulanabilir olması, yatak katsayısının derinlikle değişimini hesaba katması, pratik uygulamalarda sıkça kullanılması ve yöntemle ilgili yeterli bilginin bulunması yöntemin avantajlarındandır. Zeminin sürekliliğini göz ardı etmesi ve yatak katsayısının sadece zeminin özelliklerine değil temel boyutlarına göre de değişiyor olması yöntemin dezavantajlarındandır (Reese ve Matlock, 1956).



Şekil 3.7 : Winkler idealizasyonu ve yanal yüklü kazık davranışı (Winkler, 1867, Prakash, 1990).

Elastik yayların rijitliği;

$$k_h = \frac{p}{y} \quad (3.7)$$

eşitliği ile gösterilmiştir.

p: kazığın o noktadaki birim uzunluğu için zemin reaksiyonu (kuvvet / uzunluk)

y: kazığın o noktadaki deformasyonu

Palmer ve Thompson (1948) ise yatay yatak katsayısını aşağıdaki şekilde tanımlamışlardır:

$$k_x = k_h \left(\frac{x}{L} \right)^b \quad (3.8)$$

k_x : x derinliğindeki yatay yatak katsayısı

k_h : kazık alt ucundaki yatay yatak katsayısı

b: sifıra eşit veya sıfırdan büyük katsayı ($b \geq 0$)

Kumlar ve normal konsolide killeri için $b=1$ iken, aşırı konsolide killeri için $n=0$ alınmaktadır. Davisson ve Prakash (1963)'e göre drenajsız koşullar söz konusu ise kumlar için $b=1.5$, killeri için $b=0.15$ uygun değerlerdir.

Kumlar ve normal konsolide killeri için $b=1$ alınırsa yatay yatak katsayısı (k_h) aşağıdaki şekli alır:

$$k_h = b_h x \quad (3.9)$$

Aşırı konsolide killeri için $b=0$ olması durumunda yatay yatak katsayısı derinlikle sabit olacaktır.

Elastik temel yaklaşımı ile kazık davranışı eşitliği yazılırsa;

$$E_p I_p \frac{d^4 y}{dx^4} + p = 0 \quad (3.10)$$

Eşitlik 3.10'da zemin taşıma gücü ile ilgili düzenleme yapılırsa aşağıdaki ifade elde edilir:

$$\frac{d^4 y}{dx^4} + \frac{k_h y}{EI} = 0 \quad (3.11)$$

3.2.2 Elastik yaklaşım

Elastik yaklaşımda zemin sürekli ideal elastik ortam olarak düşünülmektedir. Teorik olarak oldukça gerçekçi bir yaklaşım olmasına karşın zeminin elastisite modülünün belirlenmesindeki zorluk yaklaşımın dezavantajı olarak gösterilebilir (Poulos, 1971a, Poulos, 1971b). Yöntem yatak katsayısının tabakalı zeminlerde derinlikle değişmesi durumu için de uygulanabilmektedir.

Yaklaşım teorisinin, uygulamalara aktarımı için çok sayıda arazi verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Elastik yaklaşımın yaptığı kabuller aşağıda sıralanmıştır:

a) Şekil 3.8’de gösterildiği gibi kazık, çapı D , uzunluğu L , eğilme rijitliği $E_p I_p$ olan ince çubuk olarak düşünülmektedir. Kazık eşit uzunlukta $(n+1)$ parçaya bölünmüştür.

Alt ve üst kısımdaki parçaların uzunlukları $\frac{\delta}{2}$ iken, diğer parçalar δ uzunluğundadır.

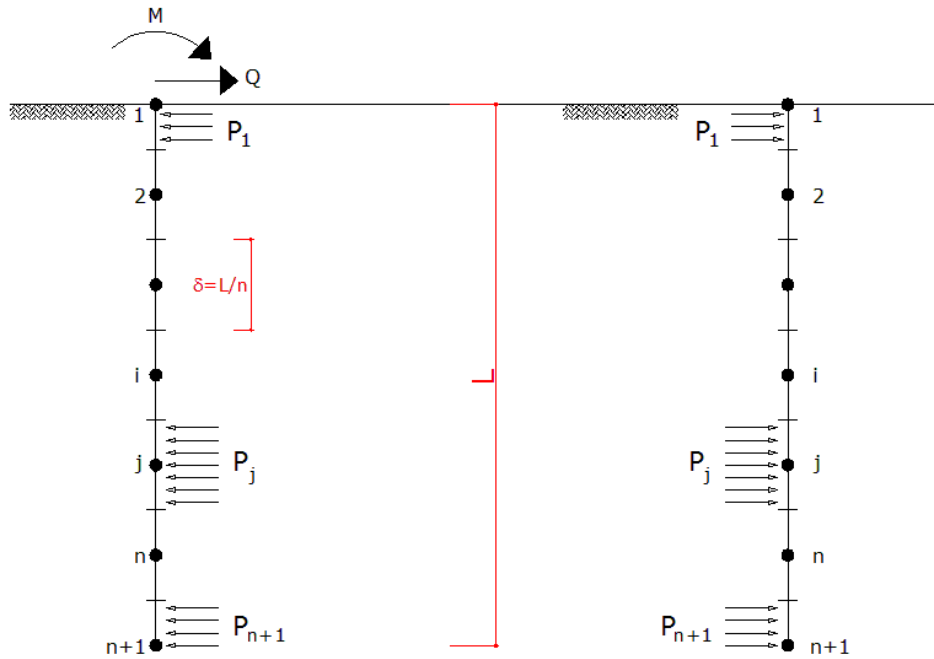
b) Kazık yüzeyi ile zemin arasındaki muhtemel yatay kayma kuvvetlerinin etkisi ihmal edilmiştir.

c) Tüm parçaların uniform yatay P kuvvetine maruz kaldıkları kabul edilmektedir.

d) Zemin ideal, homojen, izotropik, yarı sonsuz ve elastik bir malzeme olarak düşünülmektedir.

e) Zeminin elastisite modülünün (E_s) ve Poisson Oranı’nın (ν_s) kazığın şekline göre değişmediği varsayımları yapılmaktadır.

Poulos (1971a), parçaların merkezindeki yerdeğiştirmelerin kazık ve zemin için eşit olacağını kabul etmektedir. En üst ve en alt noktadaki parçaların yerdeğiştirmeleri belirlendikten sonra uygun denge şartları ile diğer parçaların da yatay yerdeğiştirmeleri belirlenebilir.

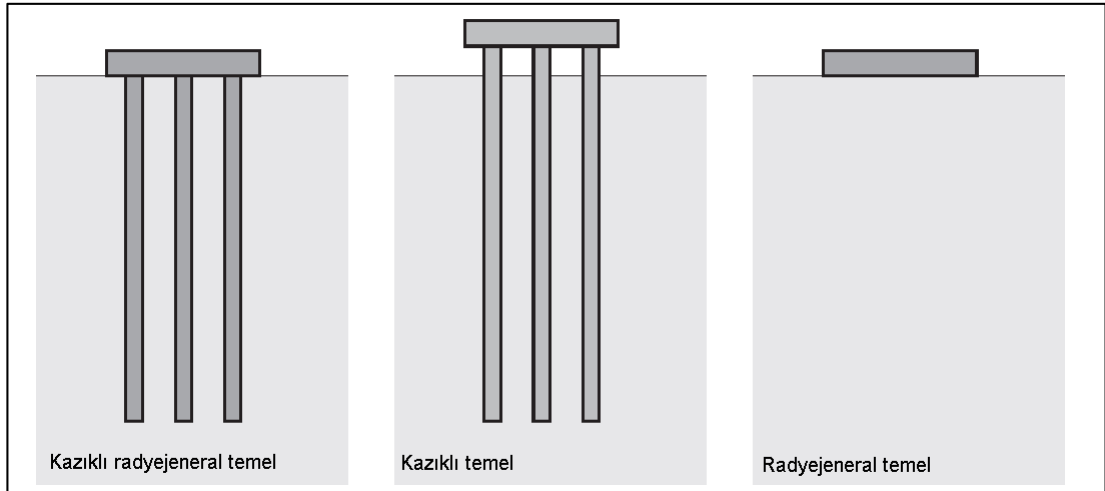


Şekil 3.8 : Kazığa ve kazığa yakın bölgedeki zemine etkiyen gerilmeler (Poulos, 1971a).

4. KAZIKLI RADYEJENERAL TEMELİN YATAY YÜK ALTINDA DAVRANIŞI İLE İLGİLİ YAPILAN ÇALIŞMALAR

Kazıklı radyejeneral temellerin davranışı, son 25 yıl içerisinde teorik ve deneysel incelemeler ile güncel bir konu haline gelmiştir. Geleneksel olarak incelendiğinde üstyapı yüklerini zemine aktaran kazıklı temellere göre kazıklı radyejeneral temeller yeni bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. Kazıklı radyejeneral temel sistemi 3 temel elemandan oluşmaktadır: kazık, radyejeneral temel ve zemin.

Kazıklı temelerde üstyapı yüklerinin zemine sadece kazıklar vasıtasıyla aktarıldığı düşünülmektedir. Kazıklı radyejeneral temelerde ise bu rolü kazıklar ve radyejeneral temel üstlenmektedir (Reul, 2002, Reul 2004). Kazıkların kullanılmadığı radyejeneral temel de sıkı temel cinsidir. Bu üç temel çeşiti de Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

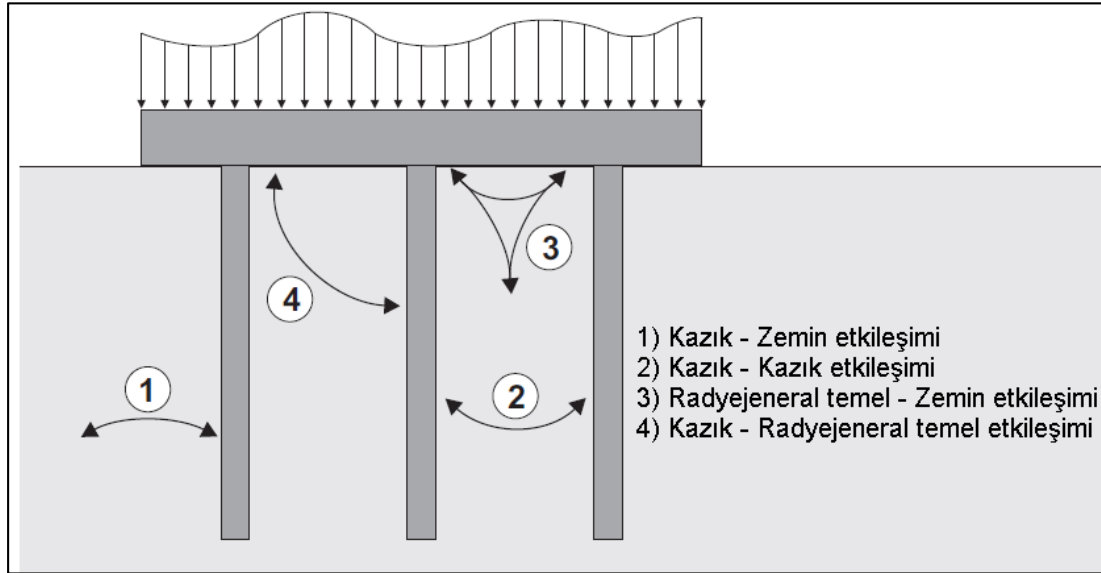


Şekil 4.1 : Temel çeşitleri.

Radyejeneral temel ve kazıklar arasında yük dağılımı göz önüne alındığında kazıkların taşıma güçleri tek kazığın taşıma gücüne oranla ona eşit veya daha fazla olduğu söylenebilir. Geleneksel kazıklı temel yaklaşımları ile bu sistem karşılaştırıldığında inşaa maliyetinde %50’den fazla oranda azalma görülmektedir (Katzenbach ve Turek, 2004). Bu temel sisteminde temel-zemin etkileşiminin dikkate alınmasıyla yapısal yüklerin hem radyejeneral temel hem de kazıklar tarafından taşınarak ekonomik çözümlere ulaşılması hedeflenmektedir.

2002 yılında Jürgen Hanisch, Rolf Katzenbach ve Gert König'in aralarında bulunduğu Alman Geoteknik Milli Komitesi (DGGT) tarafından kazıklı radyejeneral temeller ile ilgili yönetmelik hazırlanmıştır. Hazırlanan yönetmeliğin kapsamı büyük ölçüde düşey yükler altında davranışı içermektedir.

Düşey yüklü kazıklı radyejeneral temelde kazıkların oturma azaltıcı eleman olarak kullanılmasıyla toplam ve farklı oturmaların azaltılması amaçlanmaktadır (Burland, 1977). Aynı düşünceden yola çıkarak yatay yüke maruz kazıklı radyejeneral temellerde kazık elemanları sayesinde yatay yüklerden dolayı zemine aktarılan temel sisteminin yatay deplasmanları azaltılabilir. Bunun için temel şart, düşey yüklü temel sisteminde olduğu gibi zemin-kazık-radyejeneral temel etkileşiminin gerçeğe yakın bir şekilde ortaya koyulmasıdır (Katzenbach, 2000).



Şekil 4.2 : Temel sistemi etkileşimi.

Düşey yüklü kazıklı radyejeneral temellerin davranışının belirlenmesindeki en önemli hususlar kazıkların toplam ve farklı oturmalar üzerine etkileri ve toplam yük miktarının ne kadarının kazıklar ne kadarının radyejeneral temel tarafından taşınacağını belirlenmesidir (Şekil 4.2). Katzenbach ve Moormann (2001)'e göre kazıklı radyejeneral temelin toplam düşey taşıma gücü, oturma miktarına bağlı olarak radyejeneral temelin düşey taşıma gücü ile sistemdeki kazıkların toplam düşey taşıma güçlerinin birleşimi olarak ifade edilmiştir:

$$R_{\text{tot}} = \sum R_{\text{pile},i} + R_{\text{raft}} \quad (4.1)$$

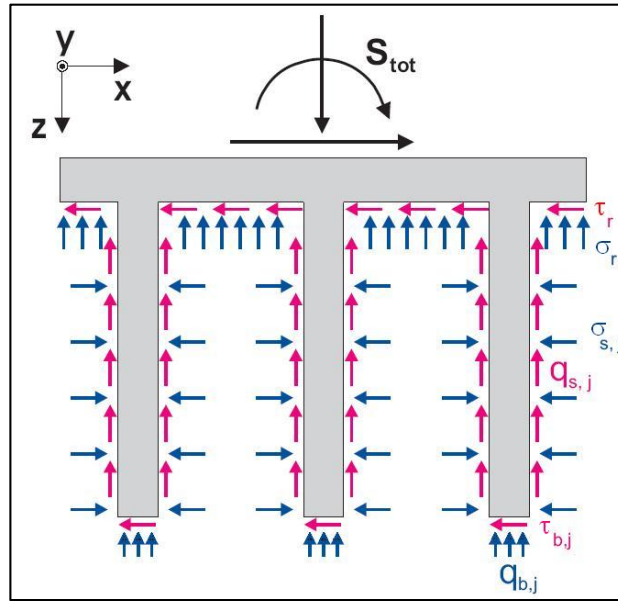
R_{tot} : kazıklı radyejeneral temelin toplam düşey taşıma gücü

$\Sigma R_{pile,i}$: kazıkların toplam düşey taşıma gücü

R_{raft} : radyejeneral temelin toplam düşey taşıma gücü

olarak ifade edilmiştir.

Kazık düşey taşıma gücü ($R_{pile,i}$), yüzey sürtünmesi $q_{s,j}$ ve uç kısımdaki $q_{b,j}$ basıncının toplamı iken; düşey radyejeneral temel taşıma gücü temas basıncı (σ_r) ile oluşmaktadır (Şekil 4.3).

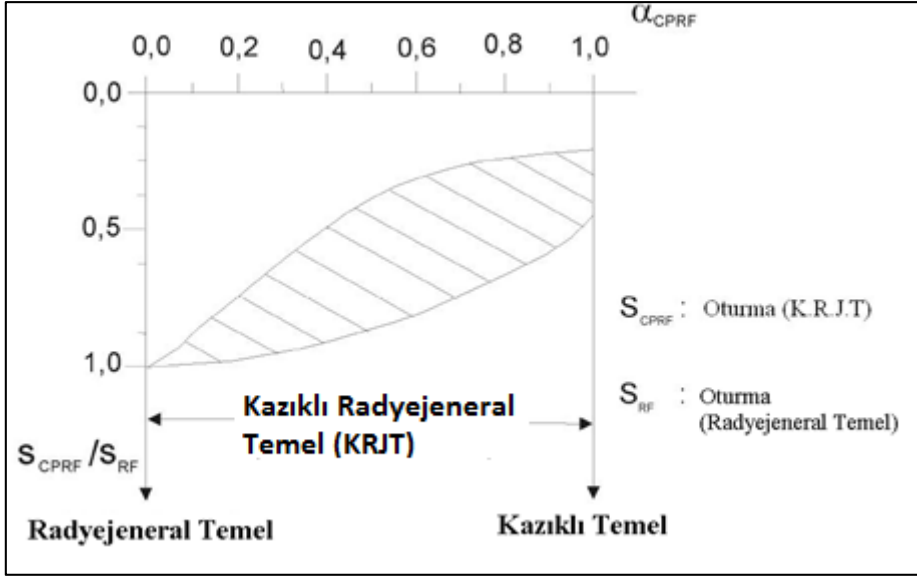


Şekil 4.3 : Düşey yük ve moment etkisi altında temel sistemi gerilme etkileşimleri.

Kazıkların toplam düşey taşıma gücünün kazıklı radyejeneral temelin toplam düşey taşıma gücüne oranı ise kazık-radyejeneral temel katsayısı (α_{CPRF}) olarak tanımlanmıştır:

$$\alpha_{CPRF} = \frac{\Sigma R_{pile,i}}{R_{tot}} \quad (4.2)$$

Temel sistemi, kazık-radyejeneral temel katsayısının 0 (sıfır) olması durumunda radyejeneral temel, 1 olması durumunda ise kazıklı temel olarak davranış göstermektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 : Kazıklı radyejeneral temel için kazık-plak katsayısı.

Yatay yüklü kazıklı radyejeneral temelde kazıklar yatay kesme kuvvetlerini alarak yatay deplasmanların azaltılmasını sağlar. Böylelikle yatay deplasmanlara hassas yapılarda güvenli ve ekonomik bir temel sistemi mümkün olmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus radyejeneral temel-kazık-zemin etkileşiminin doğru bir şekilde ifade edilebilmesidir. Aynı düşünceyle kazıklı radyejeneral temelin toplam yatay taşıma gücü:

$$R_{h,tot} = R_{h,raft} + \sum R_{h,pile} + R_{h,side} + R_{h,front} \quad (4.3)$$

$R_{h,tot}$: kazıklı radyejeneral temelin toplam yatay taşıma gücü

$R_{h,raft}$: radyejeneral temelin yatay taşıma gücü

$\sum R_{h,pile}$: kazıkların toplam yatay taşıma gücü

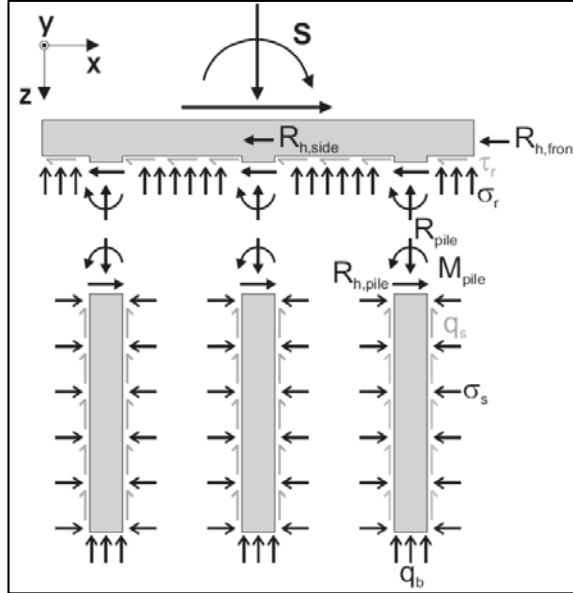
$R_{h,side}$: radyejeneral temel yan yüzeylerindeki yatay taşıma gücü

$R_{h,front}$: radyejeneral temel ön yüzeyindeki yatay taşıma gücü (Katzenbah, 2001) olarak ifade edilmiştir (Şekil 4.5).

Radyejeneral temelin yatay taşıma gücü, radyejeneral temel ile zemin arasında oluşan kayma kuvvetlerinin (τ_r) radyejeneral temel boyunca etkimesiyle oluşur. Eğer radyejeneral temel zemine gömülü ise yatay yükün bir kısmı radyejeneral temelin yan yüzleri ve ön yüzü ile karşılanacaktır.

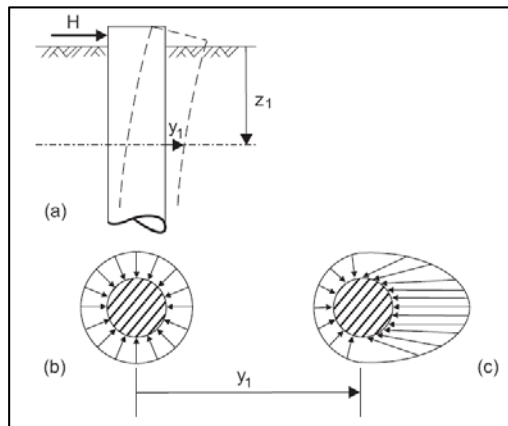
Bu yükler ihmal edilirse eşitlik aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$R_{h,tot}=R_{h,raft}+\sum R_{h,pile} \quad (4.4)$$



Şekil 4.5 : Yatay yük ve moment altında temel sistemi gerilme etkileşimleri (yatay yük).

Yatay kazık taşıma gücü kazık çevresindeki gerilmelerden elde edilir. Kazık yatay yönde deplasman yaparsa bu gerilmelerde değişiklikler olur. Şekil 4.6.'da kazık çevresindeki gerilme dağılımındaki değişim gösterilmiştir. Gerilmeler yükün uygulanma yönüne göre kazık arkasında azalırken kazığın ön tarafında artar. Bunun yanında kazık yüzeyine dik olan gerilmeler deplasman sonrasında artık yüzeye dik değildirler.



Şekil 4.6 : Yanal yüke maruz tekil kazığa etkiyen zemin taşıma gücü (Reese ve Van Impe, 2001).

İlk defa Turek (2006) tarafından tanımlanan yatay kazık-radyejeneral temel katsayısı ($\alpha_{h,KPP}$) kazıkların taşıdığı toplam yatay taşıma gücünün temel sisteminin taşıdığı toplam yatay taşıma gücüne oranı olarak ifade edilmiştir.

$$\alpha_{h,KPP} = \frac{\sum R_{h,pile}}{R_{h,tot}} \quad (4.5)$$

Düşey yüklü kazıklı radyejeneral temelde olduğu gibi temel sistemi, yatay kazık-radyejeneral temel katsayısının 0 (sıfır) olması durumunda radyejeneral temel, 1 olması durumunda ise kazıklı temel olarak davranış göstermektedir.

Japonya’da son on yıl içerisinde meydana gelen depremlerden dolayı temel sisteminin deprem yükleri altındaki davranışı da güncelliğini koruyan bir konudur (Turek, 2006).

Çok katlı binalara etkiyen rüzgar yükleri (Graubner ve Bachmann, 2001), köprü ve viyadük ayaklarına etkiyen toprak basınçları (Katzenbach ve Romberg, 1987) ile yakın geçmişte alternatif enerji kaynaklarının kullanımıyla artan ve denize inşa edilen rüzgar tribünlerinin maruz kaldığı rüzgar ve dalga yükleri (Grabe, 2004) ve en önemlisi deprem sırasında oluşan yatay deprem kuvvetleri yatay yüklere örnek gösterilebilir.

Yatay yüklü kazıklı radyejeneral temellerin davranışının belirlenmesinde model deneyler kullanılmasına karşın bu deneyler deformasyon ve gerilme ölçümlerinde sonuç vermemektedir. Kazık-zemin-radyejeneral temel etkileşiminin göz önüne alınarak üç boyutlu modellere ait analizlerin yapılması ve model deneylerdeki noksanlığın giderilmesi bakımından sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan analizler başvurulan yöntemlerin başında gelmektedir.

Yatay yüklü kazıklı radyejeneral temellerin davranışı ile ilgili çalışmalar arazi ölçümleri, model deneyler, basitleştirilmiş hesap yöntemleri ve nümerik yöntemler olarak 3 ana grupta özetlenebilir.

4.1 Yatay Yük Altındaki Kazıklı Radyejeneral Temel Davranışına Ait Yapılan Yerinde Ölçümler

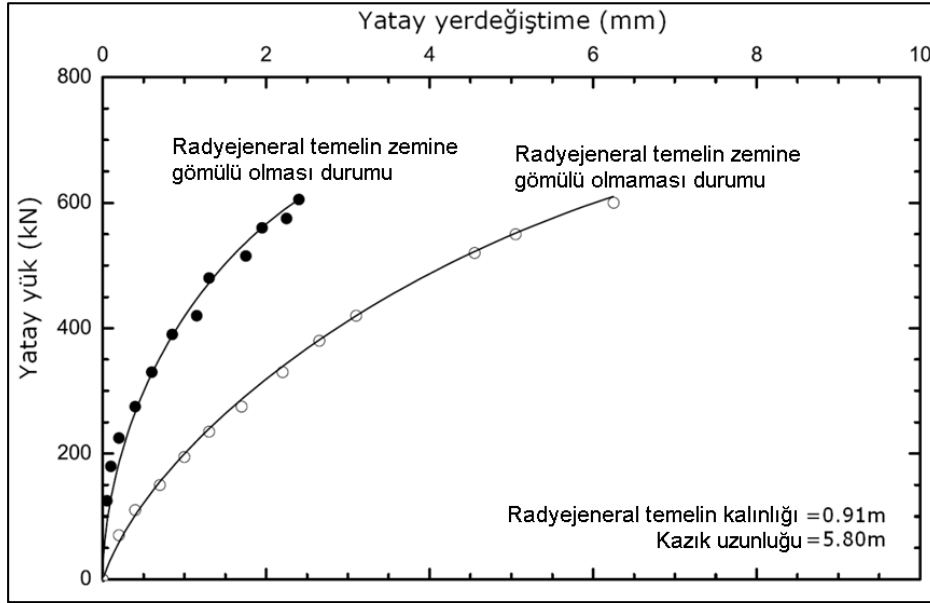
Yatay yüklü kazıklı radyejeneral temel davranışı ile ilgili arazi ölçümleri ilk olarak Beatty (1970), Kim ve Brungraber (1976), Kim ve diğ. (1979) ve Mokwa ve Duncan (2001a) tarafından Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılmıştır.

Beatty (1970), yumuşak kil zeminde bulunan kazıklı radyejeneral temel ve kazıklı temeller üzerinde bir takım deneyler yapmıştır. Temellerde 24m uzunluğunda 6'şar ve 2'şer adet çelik kazık kullanmıştır. Yaptığı deneylerde düşey ve yatay yük ayrı ayrı uygulayarak sistem davranışını incelenmiştir. Çalışmaları sonucunda görülmüştür ki plak yan yüzeyleri ile ön yüzeyde oluşan yatay reaksiyonlar ($R_{h,side}$ ve $R_{h,ront}$) yatay taşıma gücüne büyük ölçüde katkı sağlamaktadır. Ayrıca uygulanan düşey yükün de yatay taşıma gücü kapasitesine olumlu katkısı vardır.

Arazi deneylerini içeren bir diğer çalışma da Kim ve Brungraber (1976) tarafından kazıklı radyejeneral temeller ve kazık grupları için gerçekleştirildi. Kil zeminde yapılan deneylerde 12m uzunluğunda 6'şar adet çelik kazığa sahip, radyejeneral temel kalınlığı 1.2m olan 2 ayrı temel sistemi kullanılmıştır. Radyejeneral temellerin kenar uzunlukları 3.6x2.4m ve 3.0x2.1m olarak seçilmiştir. Bunlara ilave olarak radyejeneral temel altından 10cm kalınlığındaki zemin tabakası uzaklaştırılarak kazıklı radyejeneral temel sisteminin kazıklı temel olarak çalışması sağlanmıştır. Deneyler neticesinde kazıklı radyejeneral temellerin kazıklı temellere göre daha fazla yatay taşıma gücüne sahip oldukları ve kazıklı temeldeki kazıklarda meydana gelen deplasman ve eğilme momenti değerlerinin kazıklı radyejeneral temele ait kazıklara göre yaklaşık 2 kat daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

Mokwa ve Duncan (2001), deneylerini siltli kum zeminde yatay yüke maruz 3 adet kazıklı radyejeneral temelde gerçekleştirmiştir. Radyejeneral temel betonarme olarak herbir temel sisteminde bulunan 4 kazık ise çelikten imal edilmiştir. Kazık uzunlukları ilk iki deneyde 5.8m; üçüncü deneyde 3m olarak seçilmiştir. Radyejeneral temel kalınlıkları ilk iki deneyde 0.91m, üçüncü deneyde 0.46m olarak alınmıştır. Radyejeneral temel ise herbir kenar uzunluğu 1.5m olacak şekilde boyutlandırılmıştır. Deneyler sonucunda radyejeneral temelin zemine gömülü olması durumunda yatay taşıma gücünde artış gözlenmiştir (Şekil 4.7).

Mokwa ve Duncan (2001) ve Kim ve diğ. (1979) yürüttükleri arazi deneyleriyle kazıklı radyejeneral temele gelen yatay yüklerin büyük bir kısmının radyejeneral temel tarafından zemine iletildiğini öne sörmüşlerdir. Radyejeneral temelin yatay yüke karşı göstermiş olduğu bu taşıma gücünün göz ardı edilmesi, toplam taşıma gücünün beklenenden düşük çıkmasına, yatay deplasmanların ve kazıklardaki eksenel ve kayma kuvvetlerinin de yüksek çıkması sebep olmaktadır.



Şekil 4.7 : Kazıklı sistemde plağın zemine gömülü olması ve olmaması durumu (Mokwa ve Duncan, 2001).

Rollins ve Sparks (2002) yaptıkları çalışmada tabakalı zemindeki yatay yüklü kazıklı radyejeneral temelin davranışını incelemişlerdir. Deney sistemi kalınlığı 1,2m olan radyejeneral temel ve 9 adet çelik boru kazıktan oluşmaktadır. Kazık çapları 32cm, uzunlukları da 9.1m olarak alınmıştır. Kullanılan kazıkların radyejeneral temele bağlantıları rijit olarak sağlanmıştır. Yükleme yönünde radyejeneral temelin alın yüzü boyunca kullanılan çakıl dolgunun temel sisteminin yatay taşıma gücü üzerindeki etkileri incelenmiş radyejeneral temelin önünde oluşan pasif basıncın taşıma gücüne önemli bir katkı sağladığı belirlenmiştir.

4.2 Yatay Yük Altındaki Kazıklı Radyejeneral Temel Davranışına Ait Yapılan Model Deneyler

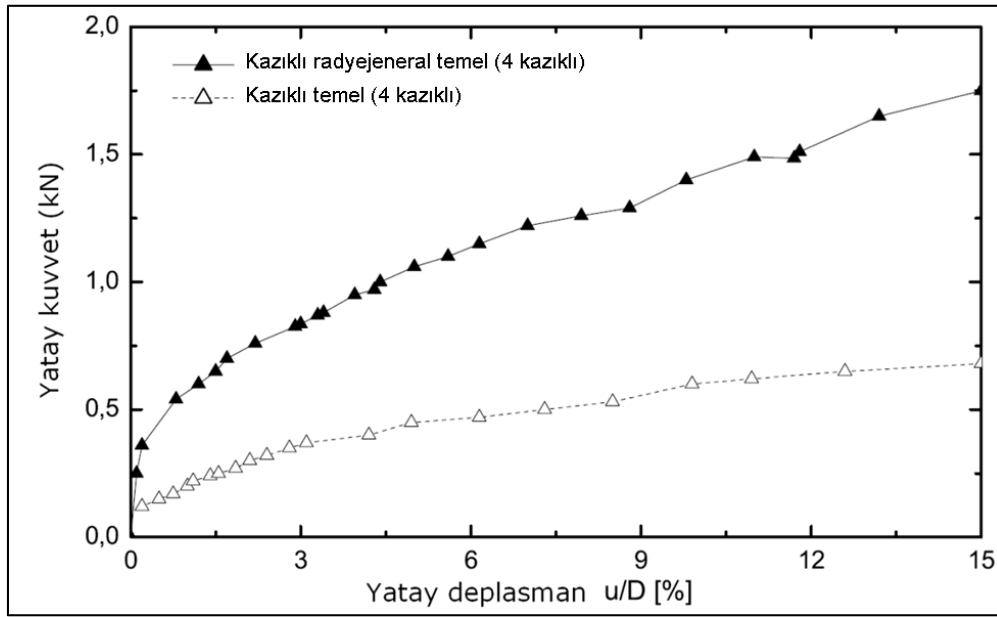
Meymand (1998) tarafından yapılan model deneylerde yanal yükü incelemek için sarsma tablası kullanılmıştır. Deney düzeneğinde kullanılan ve yumuşak kil zemine yerleştirilen kazıklar 5cm çapında ve 1.8m uzunluğundadır. İlk deney sisteminde 4 kazıklı radyejeneral temel sisteminin yan yüzeylerinin de zeminle teması sağlanmıştır. İkinci aşamada aynı temel sisteminin kazıklı temel olarak analizleri yapılmış; radyejeneral temelin zeminle teması kesilmiştir. Bir sonraki aşamada kazık sayısı artırılarak deneyler tekrarlanmıştır. Düşey yük sisteme statik olarak yatay yük ise sarsma tablası vasıtasıyla uygulanmıştır.

Kullanılan ölçüm aletleri ile sisteme etkiyen normal kuvvet ve eğilme momentleri belirlenmiştir. Deneyler neticesinde radyejeneral temelin tabanında oluşan gerilmelerin, yan yüzlerde oluşan gerilmelerden fazla olduğu ve yatay yükün zemine aktarımında radyejeneral temelin önemi ortaya konmuştur.

Model deney çalışmalarından en kapsamlı olanı Japonya’da Kanazawa Üniversitesi ve Taisei Corporation firması tarafından oluşturulan çalışma grubu ile yapılmıştır. Watanabe ve diğ. (2001) tarafından yapılan santrifüj model deneylerde kuru kum zemine yerleştirilen 1cm çapında, 17cm uzunluğunda 4 kazıklı temel sistemi kullanılmıştır. Temel sistemindeki radyejeneral temel 3.5cm kalınlığında ve 8x8cm boyutlarında alüminyum plakadan oluşmaktadır. Sadece taban basıncını dikkate almak için radyejeneral temelin yan yüzlerinin zeminle teması kesilmiştir. Sisteme uygulanan sabit düşey yükün ardından belirli artımlarla yatay yük uygulanmıştır. Uygulanan yatay yükün büyük bir kısmının radyejeneral temel tabanında oluşan gerilmeler ile karşılandığı sonucuna varılmıştır.

Horikoshi ve diğ. (2002a, b), Watanabe ve diğ. (2001)’nin yaptıkları çalışmayı temel olarak santrifüjlü sarsma tablası üzerinde kazıklı radyejeneral temelin dinamik yükler altındaki davranışını incelemişlerdir. Deney neticesinde temel sistemine etkiyen çevrimli yatay ivmenin, oturmaya ve kalıcı yanal deplasmana sebep olduğu görülmüştür.

Pastsakorn ve diğ. (2002) tarafından kum zeminde yatay yüklü kazıklı radyejeneral temel ile kazıklı temel davranışını karşılaştırmak amacıyla model deneyler yapılmıştır. Deney kazığı olarak et kalınlığı 1mm, çapı 2cm ve uzunluğu 20cm olan alüminyum çubuk borular kullanılmıştır. Temel sistemindeki kazık sayıları 4, 6 ve 9 olacak şekilde belirlenmiştir. Radyejeneral temelin kenar uzunlukları ise 75mm, 150mm ve 225mm olacak şekilde değişmektedir. Sisteme yatay yük uygulanmadan önce 52 kN/m²'lik düşey yayılı yük uygulanmıştır. Deneyler neticesinde kazıklı radyejeneral temel sisteminin taşıma gücü kazıklı temelin taşıma gücünün yaklaşık 2-2.5 katı mertebesinde (Şekil 4.8) . Uygulanan yatay yükten dolayı oluşan yanıl deplasmanlar henüz başlamamışken yatay yükün büyük bir kısmı radyejeneral temelin zemin ile temasından oluşan taşıma gücü ile karşılanmaktadır. Yatay yük miktarının artması ile radyejeneral temel tarafından taşınan yük miktarı azalarak %30 mertebelerine inmiştir.



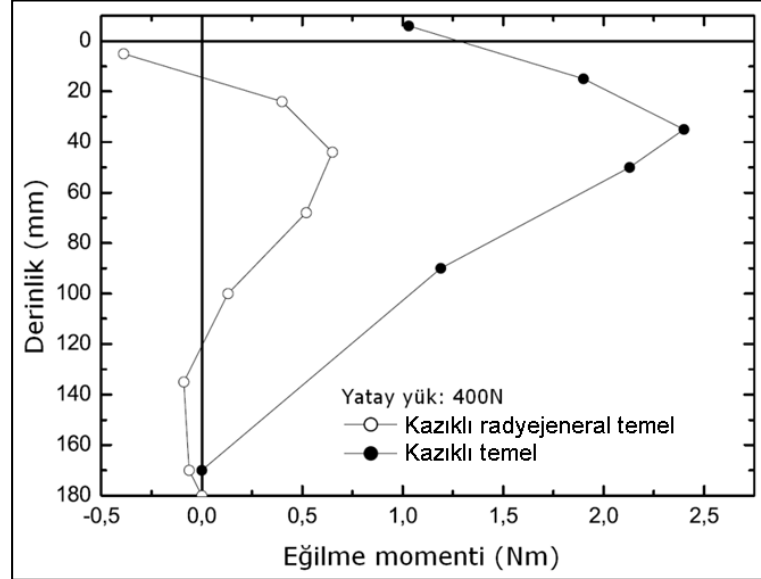
Şekil 4.8 : Kazıklı radyejeneral temel ve kazıklı temel için yük-deplasman eğrileri (Pastsakorn, 2002).

Horikoshi ve diğ. (2003a, b)'nin yatay yük altında davranış ile ilgili yaptıkları bir diğer model deneyde Watanabe ve diğ. (2001)'nin yaptıkları çalışma temel alınmıştır. Model deneyin amacı kazıkların radyejeneral temel ile birleşim şekillerinin sistem davranışı üzerine etkisi araştırılmıştır.

Yapılan deneyler neticesinde radyejeneral temele rijit (ankastre) olarak bağlanan kazıklı sistemin nihai yanal taşıma kapasitesi radyejeneral temele mafsallı olarak bağlanan kazıklı sistemin taşıma kapasitesinden fazla bulunmuştur.

Bununla birlikte bulunan sonuçlar Pastsakorn ve diğ. (2002) tarafından kum zeminde yapılan deneyin bulguları ile paralellik göstermektedir. Dinamik yatay yükleme altında yapılan deneylerin neticesinde aynı yük altında kazıklı radyejeneral temelde oluşan eğilme momenti ve yatay ivme değerleri kazıklı temelde elde edilen değerlerden daha düşük çıkmıştır.

Matsumoto ve diğ. (2004a), Horikoshi ve diğ. (2003a, b) tarafından gerçekleştirilen model deneylerdeki ölçüleri kullanarak 1g'lik yerçekimi etkisi altında kazıkların radyejeneral temelle birleşme şekillerini; buna ek olarak yatay yükün uygulanma yüksekliğinin değişmesi durumlarını statik olarak incelemişlerdir. Kazıkların radyejeneral temel ile birleşimlerinin rijit (ankastre) ve mafsallı olması durumları için 3'er adet model oluşturulmuştur. Bu modellere etkiyen yatay yükün etkime noktası, radyejeneral temel genişliğine ($b=8\text{cm}$) bağlı olarak $0.7b$, $1.5b$ ve $2.3b$ olarak seçilmiştir.



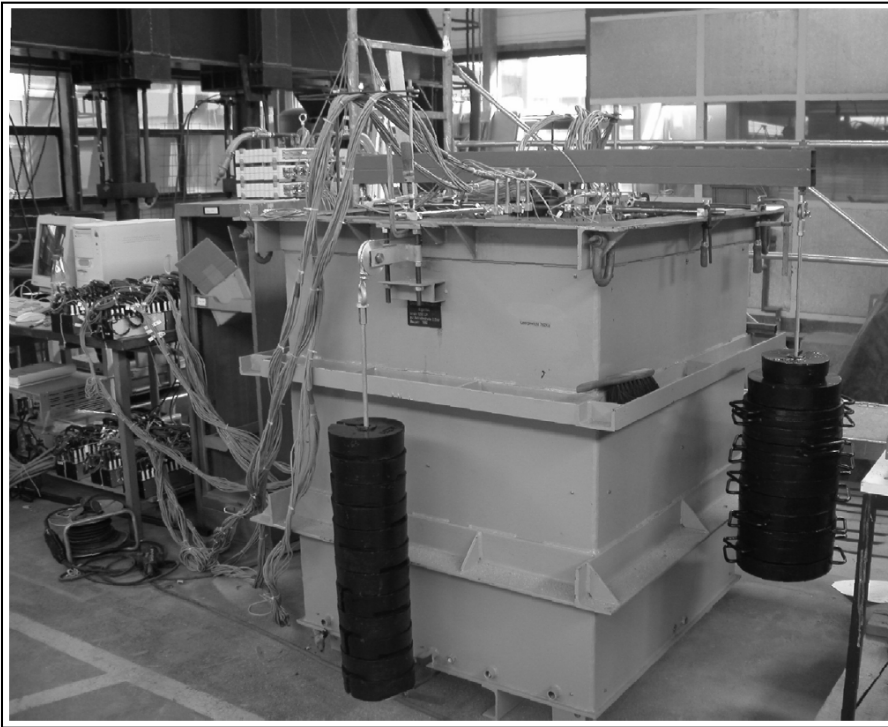
Şekil 4.9 : Dinamik yük altında kazıklı radyejeneral temel ve kazıklı temel için kazık boyunca eğilme momenti değişimi (Horikoshi ve diğ., 2003b).

İki farklı birleşim şekli için de yatay yükün etkime noktasının yüksekliğinin artması ile kazıkların taşıma gücünde azalma meydana gelmiştir. Bununla birlikte yükün uygulandığı noktaya yakın olan kazıklardaki düşey taşıma gücü, uzak olan kazıklara oranla daha fazla bulunmuştur.

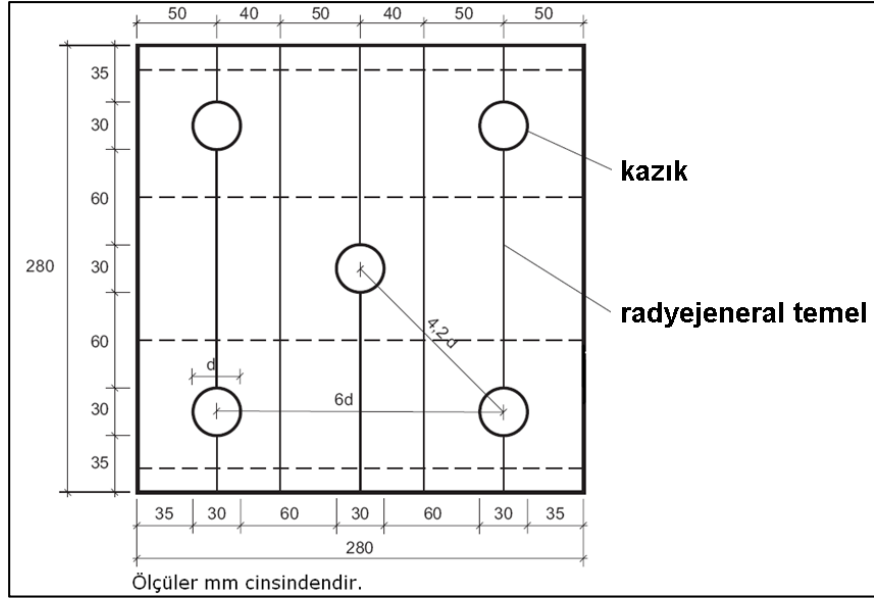
Matsumoto ve diğ. (2004b) statik yükleme deneylerine ilave olarak kazıkların radyejeneral temele rijit olarak birleştiği temel sistemini, sarsma tablası yardımıyla dinamik olarak da incelemişlerdir.

Yatay yükün etkiye noktası, radyejeneral temel genişliğine ($b=8\text{cm}$) bağlı olarak $0.6b$, $1.5b$ ve $2.3b$ olarak seçilmiştir. Temel sistemine uygulanan frekans, rezonans frekansın altında ise sistem davranışı statik yük altındaki davranışla paralellik göstermektedir. Rezonans frekans aralığına denk gelen frekanslarda ise statik yük altındaki davranıştan oldukça farklı bir davranış gözlemlenmiştir.

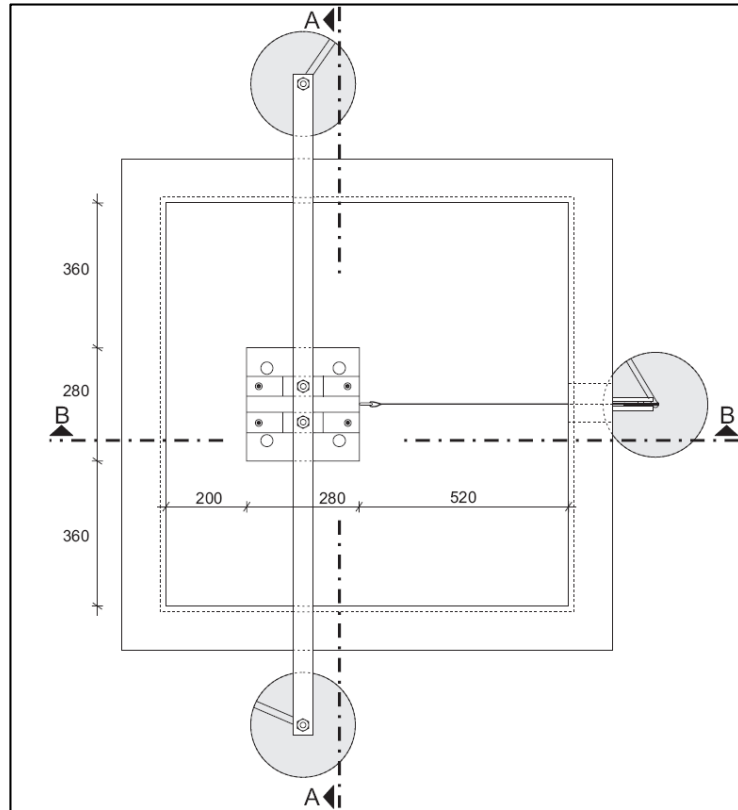
Turek (2006) tarafından yapılan model deneyinde ise yatay yük altındaki kazıklı radyejeneral temelin deformasyon ve taşıma gücü davranışları incelenmiştir (Şekil 4.10). Gevşek ve sıkı kumda yapılan model deneylerdeki temel sisteminde (kazıklı radyejeneral temel ve kazıklı temel) polikarbonattan imal edilen 5 adet kazık kullanılmıştır. Kazıkların dış çapı 3cm ; iç çapı 2.7cm ve uzunlukları da 64cm 'dir. Kazıklar arası mesafe kazık çapının 6 ile 4.2 katı olarak seçilmiştir. Kullanılan radyejeneral temelin kalınlığı 4cm ; boyutları da $28\times 28\text{cm}$ 'dir (Şekil 4.11). Model deneyde kullanılan ölçek $1/50$ olarak seçilmiştir. Deney düzeneğinin plan ve kesit görünüşleri Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14'te gösterilmiştir.



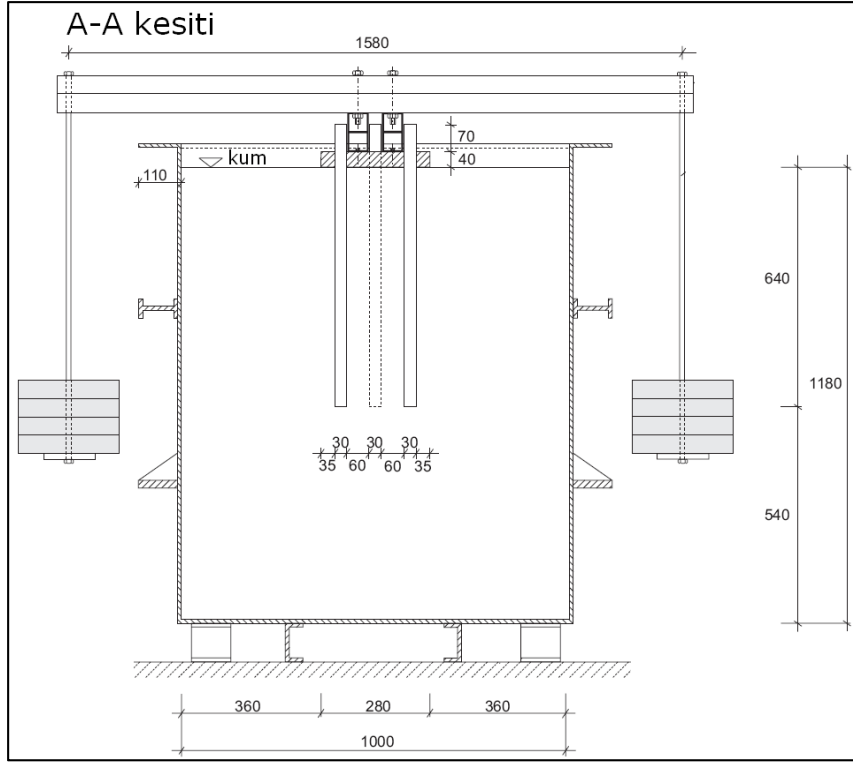
Şekil 4.10 : Darmstadt Üniversitesi'nde gerçekleştirilen yatay yüklü kazıklı radyejeneral temel deney düzeneği (Turek, 2006).



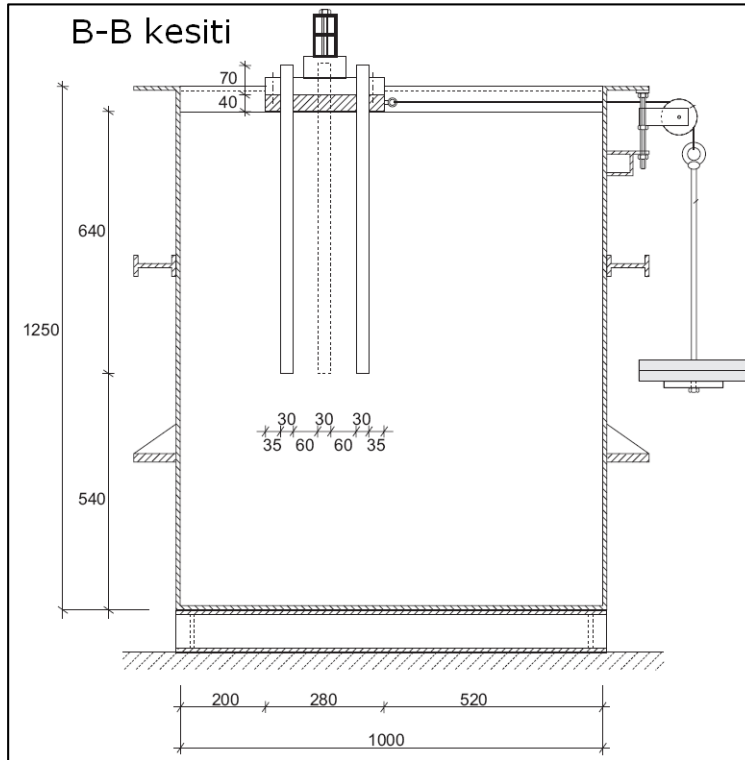
Şekil 4.11 : Darmstadt Üniversitesi'nde gerçekleştirilen yatay yüklü kazıklı radyejeneral temel deney düzeneğine ait kazık yerleşim planı (Turek, 2006).



Şekil 4.12 : Darmstadt Üniversitesi'nde gerçekleştirilen yatay yüklü kazıklı radyejeneral temel deney düzeneğinin üstten görünüşü (Turek, 2006).



Şekil 4.13 : Darmstadt Üniversitesi'nde gerçekleştirilen yatay yüklü kazıklı radyejeneral temel deney düzeneğine ait A-A kesiti (Turek, 2006).



Şekil 4.14 : Darmstadt Üniversitesi'nde gerçekleştirilen yatay yüklü kazıklı radyejeneral temel deney düzeneğine ait B-B kesiti (Turek, 2006).

Kazıklı radyejeneral temel ve sığ temel deneylerinde temelin zeminle teması söz konusu iken kazıklı temel için yapılan deneylerde radyejeneral temelin zemin yüzeyinden yüksekliği 5cm olacak şekilde deney düzeneği hazırlanmıştır.

Turek (2006) tarafından yapılan deneyler neticesinde düşey yük arttıkça radyejeneral temel ile kazıklı radyejeneral temel arasındaki düşey oturma farkı artmaktadır. Sabit düşey yük, artan yatay yük altında oluşan oturma değerleri kazıklı radyejeneral temelde radyejeneral temele ve kazıklı temele oranla daha az gözlenmiştir.

Sabit yük altındaki kazıklı radyejenereal temelde meydana gelecek oturmaların hesabında yatay yükten dolayı oluşacak oturma miktarlarının da hesaba katılması gerekmektedir.

Kazıklı radyejeneral temel ile kazıklı temel arasında yapılan karşılaştırmada ise 5000 N'luk düşey yük altında kazıklı temelde meydana gelen düşey oturma miktarı kazıklı radyejeneral temelde meydana gelen düşey oturma miktarının 2 katı olarak belirlenmiştir.

Sabit düşey yük altında kazıklı radyejeneral temel ile kazıklı temelde orta kazık kenar kazıklara göre daha az taşıma gücü göstermektedir. Kazıklı radyejeneral temeldeki kazıkların yük aktarma oranları artan düşey yük ile azalmaktadır. Bunun nedeni ise düşey yük artışının kazıklar yerine daha çok radyejeneral temel ile taşınmasından kaynaklanmaktadır.

Aynı şartlar altındaki kazıklı radyejeneral temel ile kazıklı temel sistemlerindeki kazıkların kesme kuvvetleri karşılaştırıldığı vakit kazıklı radyejeneral temelde yatay yükün bir kısmı zemin ile radyejeneral temel arasındaki sürtünme nedeniyle karşılanmaktadır. Kazıklı temelde ise yatay yük tamamıyla kazıklar tarafından karşılanır. Bu nedenle kazıklı radyejeneral temeldeki kazıklarda meydana gelen kesme kuvveti değerleri kazıklı temeldeki kazıkların değerlerine göre daha azdır.

Turek (2006) yaptığı model deneylerinde kazıklı radyejeneral temellerin kazıklı temellere göre nispeten daha az düşey oturma ve yatay deplasmana neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca kazıklı radyejeneral temel sistemindeki kazıklarda daha küçük kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri oluşmaktadır. Bunun yanında kazıklı radyejeneral temellerinde yatay yük altındaki davranışları büyük ölçüde üzerindeki düşey yükten etkilenmektedir.

4.3 Yatay Yük Altındaki Kazıklı Radyejeneral Temel Davranışına Ait

Basitleştirilmiş Hesap Yöntemleri ve Nümerik Çalışmalar

Düşey yüke maruz kazıklı radyejeneral sistemin davranışı, radyejeneral temelin esnek veya rijit olması durumları için Butterfield ve Banerjee (1971), Davis ve Poulos (1972) ve Kuwabara (1989) tarafından ele alınmıştır.

Hain ve Lee (1978) tarafından geliştirilen yöntem kazık – radyejeneral temel – zemin etkileşimini, kazığa veya zemin yüzeyine gelen düşey yüklerden kaynaklanan yanal hareketleri ve dönmeleri göz ardı ederek ele almıştır. Clancy ve Randolph (1993) ve Poulos (1994) yanal yükten ziyade düşey yük ve moment etkisindeki kazıklı radyejeneral temellerin analizi için yaklaşık bir yöntem geliştirmişlerdir.

Sonlu tabaka teorisine dayanan Ta ve Small (1996)'nın çalışmalarında düşey yüke maruz sistemler kazık başlığının zemine gömülü olması ve olmaması durumları için irdelenmiştir. Rijit başlıklı kazık grupları için Shen ve diğ. (2000) tarafından sıkça kullanılan bir yaklaşım da geliştirilmiştir. Ancak bu yöntemler belirli rijitliğe sahip esnek radyejeneral temellerle bağlantısı olan kazık grupları için geçerli değildir.

Zhang ve Small (2000)'de ise hem düşey yüklere hem de yatay yüklere maruz kazıklı radyejeneral temel sisteminin davranışına ait analiz yöntemi geliştirilmiştir.

Zhang ve Small (2000) tarafından geliştirilen APRAF (Analysis of Piled Raft Foundation) analiz programı ile kazıklı radyejeneral temelin (x,y,z) doğrultularındaki hareketleri ile (x,y) doğrultularındaki dönmeleri hesaplanabilmektedir.

Programın getirdiği avantajlar:

- a)** Az miktarda bilgisayar hafızasına ihtiyaç duyuyor
- b)** Yük ve momentler tüm doğrultularda uygulanabiliyor
- c)** Sonlu eleman ve sonlu farklar yöntemleriyle karşılaştırıldığında analiz süresi oldukça azdır

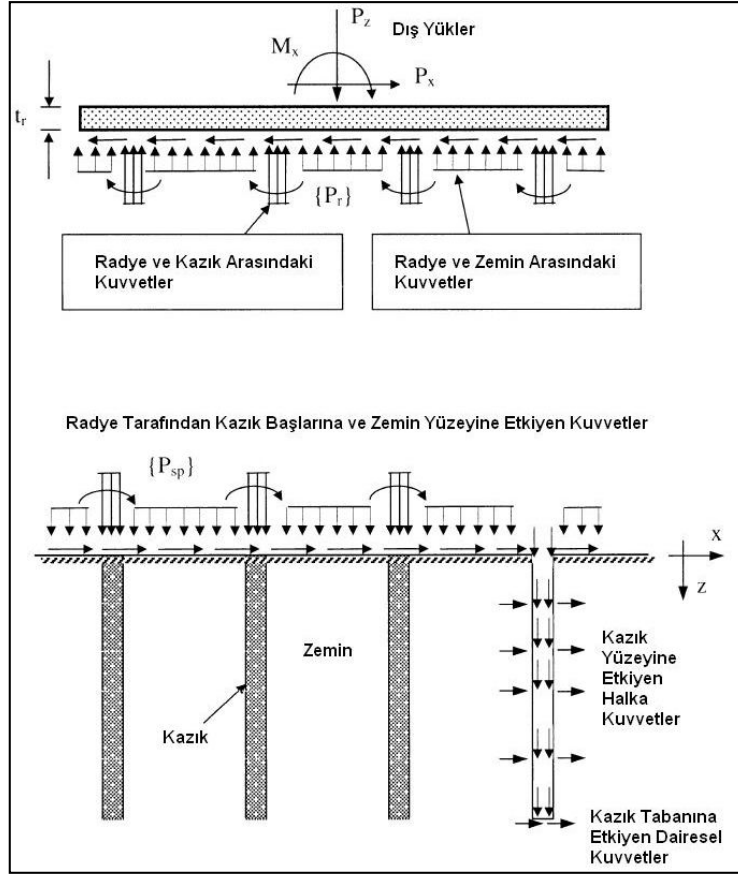
Bu çalışmayı takiben, Small ve Zhang (2002) sonlu tabaka teorisine dayanan ve çok tabakalı zeminlerin de analizlerini içeren çalışma ile yaklaşımlarına yeni bir boyut katmışlardır. Burada radyejeneral temel hem kazıklar hem de zemin tarafından taşınmakta ve sisteme yatay, düşey kuvvetler ve momentler etkimektedir.

Small ve Zhang (2002)'de kazıklı radyejeneral temelin düşey ve yatay yükler altında davranışını incelemişlerdir. Çalışma, zemin yüzeyi ile etkileşim halinde olan kazıklı radyejeneral temel sisteminin analizine ait yeni bir yöntem sunmaktadır. Zemin, analiz için gerekli sayıda yatay tabakalara bölünmüş ve her bir tabaka için ayrı zemin parametreleri belirlenmiştir. Radyejeneral temel ince bir plak, kazıklar ise elastik kirişler olarak düşünülmüştür.

Sonlu tabaka teorisine dayanarak, Hain ve Lee (1978)'in çözümünde olduğu gibi Ta ve Small (2000) tarafından geliştirilen analiz de sadece düşey yükleri içermektedir. Zhang ve Small (2001) tarafından yapılan daha sonraki çalışmada hem düşey hem de yanal yükler hesaba katılarak yeni bir yöntem belirlenmiştir. Bu yöntemde radyejeneral temel – kazık, radyejeneral temel – zemin, kazık – kazık, kazık – zemin ve zemin – zemin etkileşimleri göz önüne alınmış; bunun yanında kazıklı radyejeneral temel sistemin zemin yüzeyi ile etkileşimi hesaba katılmamıştır.

Bu çalışma, Zhang ve Small (2000) ve Zhang (2009) tarafından gerçekleştirilen analizi daha ileriye taşımış ve radyejeneral temelin zeminle etkileşimini de dikkate almıştır. Yaklaşım, zemini tanımlamak için kullanılan sonlu tabaka teorisiyle, kazık ve radyejeneral temel için kullanılan sonlu elemanlar yönteminin birleştirilmesi şeklinde gerçekleşmiştir. APRAF programı kullanılarak kazıklı radyejeneral temel sistemi düşey ve yatay yüklere, momentlere, üç yöndeki (x, y, z) yer değiştirmelere ve iki yöndeki (x, y) dönmelere maruz bırakılmıştır. Güncel yöntemlerle sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak belirlenen değerler karşılaştırılmış, temel sisteminin davranışına etki eden parametreler tanımlanmıştır.

Şekil 4.15'te gösterildiği üzere problem, kazık ve tabakalı zemin arasındaki kuvvetlerin kazık yüzeyi boyunca belirlenen noktalara etkiyen halka kuvvetler olarak tanımlanmasıyla çözüme ulaştırılmıştır.



Şekil 4.15 : Dış yüklere maruz kazıklı radyejeneral sistem ve kuvvet dağılımları (y yönü gösterilmemiştir).

Bu yüklerin kazık boyunca birçok noktada hem düşey hem de yatay uygulanarak süreklilikleri sağlanmıştır. Radyejeneral temel ile zemin etkileşiminde ise gerilme dağılımları dikdörtgen yayılı yük ve kayma gerilmeleri olarak gösterilmiştir.

Sonlu tabaka teorisine dayanarak tabakalanmış zeminin yer değiştirmesi hesaplanabilir. Zemin yüzeyindeki düşey ve yatay kuvvetin uygulandığı dikdörtgen bölgeye ait sapmalar da aynı teoriye dayanılarak hesaplanabilmektedir.

İlk olarak kazıklar ve radyejeneral temel olmadan zeminin davranışı; zemin yüzeyindeki dikdörtgen alana birim yük, kazık yüzeyi boyunca halka yükler ve kazık tabanına dairesel yükler uygulanarak belirlenmiştir. Zemine ait sapmaların belirlenebilmesi için etki matrisi oluşturulmuştur.

$$\delta_s^i = \sum_{j=1}^m I_{ij} P_j \quad (4.6)$$

δ_s^i : birim kuvvetin uygulandığı noktadaki yerdeğiştirme

m: toplam birim yük sayısı

I_{ij} : etki faktörü

P_j : j bölgesindeki yükler olarak tanımlanmıştır.

Bağıntı tüm yer değiştirmeler için yazılırsa:

$$\delta_s = I_s P_s \quad (4.7)$$

Zeminin rijitlik matrisinin belirlenmesi için etki matrisi yazılırsa:

$$\delta_s K_s = P_s \quad (4.8)$$

K_s : zeminin rijitlik matrisi

δ_s : zeminin yerdeğiştirme vektörü

P_s : zeminin yük vektörü

Kazıklar için rijitlik ilişkisi belirlenirse:

$$\delta_p K_{pm} = P_p + Q \quad (4.9)$$

K_{pm} : gruptaki tüm kazıklar için rijitlik matrisi

δ_p : kazık üzerinde belirlenen noktalardaki yerdeğiştirmeler

P_p : shaft yüzeyindeki yük vektörleri

Q : kazık başlarına etkiyen ilave yük

Kazıkların her bir noktada beş serbestlik derecesine (3 tanesi yer değiştirme ve 2 tanesi dönme) sahip olmasından dolayı zeminle kazık rijitlik matrislerinin toplanması sağlanmıştır. Bu mantık kullanılarak kazık yüzeyindeki ve tabanındaki yer değiştirmelerin toplamı zeminin yer değiştirmesine eşittir. Kuvvetler için de aynı mantıkla büyüklükleri eşit ve ters yönlüdür denebilir.

Nihai rijitlik ilişkisi:

$$\delta_s [K_s + K_{pm}] = R \quad (4.10)$$

R : Yük vektörü (kazık başlarına etkiyen Q yüklerini ya da yüzey yüklerini içerir)

Bu yüzden kazık başlarına ilave Q yükünün etkimesi durumunda zemin veya kazıklar için sapma değerleri yukarıdaki eşitlikten elde edilebilir. Bu yöntem iki kazık arasındaki etkileşimi hesaplamadaki gibi etkili değildir.

Ancak özellikle birbirine oldukça yakın konumdaki kazıklar için etkilidir. Herhangi bir kazığın yüklenmesinden dolayı diğer kazıkta oluşan sapma, etkileşim faktörleri ile hesaplanırken diğer kazıkların rijitlik etkilerinin ihmal edilmesi hata olarak görülmektedir.

Çünkü kazıkların sapma değerleri, içlerinden bir tanesi yüklenirken veya zemin yüzeyinde yük varken radyejeneral temelin davranışının belirlenebilmesi için hesaplanabilmektedir. Kontak basıncını gösteren dikdörtgen yayılı yüklerin her biri radyejeneral temeldeki dikdörtgen sonlu elemanlara denk geldiği düşünülmektedir. Yük dağılımı kazık olmayan bölgelerde düşey ya da yatay yük uygulanmış, kazık olan yerlerde bu yükler kazık başlığına moment ilave edilerek etkimesi sağlanmıştır.

Zemindeki birim gerilmelerle, kazık başlıklarındaki birim gerilmeler ve momentlerin uygulanmasıyla zemin – kazık için etki matrisi tanımlanmıştır. Bu uygulanan kuvvetler ve momentler sonucu oluşturulan etki matrisinin kolonlarındaki değerler radyejeneral temeldeki her birimin orta noktasındaki deplasman değerlerinden oluşmaktadır.

Aynı mantıkla birim yükler radyejeneral temele uygulanırsa, radyejeneral temel için de etki matrisi yazmak mümkündür. Kazık başlığına ve radyejeneral temele uygulanan kuvvet ve moment eşitliklerine, bununla birlikte yer değiştirmelerine dayanarak genel yükleme koşulları altında belirlenecek çözüm için gerekli denklemler yazılabilir.

$$([I_r] + [I_{sp}])\{P_{sp}\} - \{a\}D_x - \{b\}D_y - \{c\}D_z - \{d\}\theta_x - \{e\}\theta_y - \{f\}\theta_z = \{\delta_{r0}\} \quad (4.11)$$

$$\{a'\}\{P_{sp}\} = P_x \quad (4.12)$$

$$\{b'\}\{P_{sp}\} = P_y \quad (4.13)$$

$$\{c'\}\{P_{sp}\} = P_z \quad (4.14)$$

$$\{d'\}\{P_{sp}\} = M_x \quad (4.15)$$

$$\{e'\}\{P_{sp}\}=M_y \quad (4.16)$$

$$\{f'\}\{P_{sp}\}=M_z \quad (4.17)$$

$[I_r]$: radyejeneral temelin etki matrisi

$[I_{sp}]$: zemin içindeki kazığın etki matrisi

$\{P_{sp}\}$: radyejeneral temel ile kazık arasındaki yük faktörü

δ_{r0} : oluşturulan her birimin merkezindeki yerdeğiştirme

P_x, P_y, P_z : Radyejeneral temele x,y ve z yönlerinde uygulanan toplam dış yükler

M_x, M_y, M_z : Radyejeneral temele x, y ve z yönlerinde uygulanan toplam dış momentler

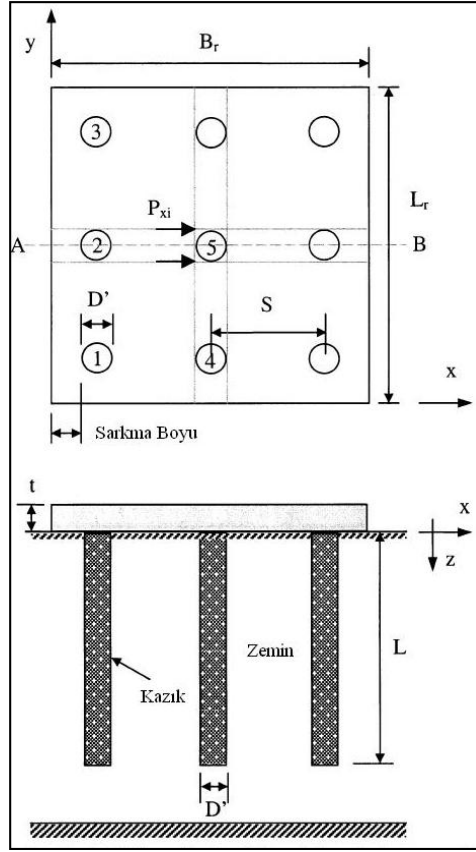
$\{a\}....\{f\}$ ve $\{a'\}....\{f'\}$: yardımcı vektörler

$D_x, D_y, D_z, \theta_x, \theta_y, \theta_z$: rijit kütlenin seçilen nokta etrafındaki ötelenme ve dönme miktarları

Belirtilmelidir ki ötelenme ve dönme miktarları aranan değerlerdir.

Yukarıda anlatılan sonlu tabaka metodunun güvenilirliğini belirlemek amacıyla 9 kazıklı radyejeneral temel sistemin mevcut yöntemle ve 3 boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle analizleri yapılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan analizdeki kazık kesitleri kare, sonlu tabakalar yöntemiyle yapılan analizde kazık kesitleri dairesel olarak seçilmiştir. Dairesel ve kare kesitli kazıkların alanlarının eşit olmasına rağmen, dairesel kesitli kazığın eğilme rijitliği kare kesite göre % 4.7 oranında daha fazladır. APRAF programında kullanılan eşdeğer çap (D'), kare kesitli kazık için kenar uzunluğunu göstermektedir.

Şekil 4.16'da gösterildiği gibi kazıklı radyejeneral temel 15m kalınlığındaki zemin içerisine inşa edilmiş; 9 kazıklı sisteme ait ölçüler Çizelge 4.1'de listelenmiştir.



Şekil 4.16 : Small ve Zhang (2002)'in çalışmasında kullandıkları temele ait plan ve kesit (D': eşdeğer çap).

Çizelge 4.1 : Small ve Zhang (2002)'in çalışmasında kullandıkları radyejeneral temele ve zemine ait özellikler.

Tanım	Değer
Kazık Kenar Uzunluğu	: 0.5 m (kare kesitli kazık)
Eşdeğer Kazık Çapı	: 0.564 m (dairesel kesitli kazık)
Kazık Uzunluğu	: 10 m
Zeminin Derinliği	: 15 m
Radye Temel Genişliği, L_r	: $S/D=3$; 4.5 m $S/D=5$; 6,5 m
Radye Temel Eni, B_r	: $S/D=3$; 4.5 m $S/D=5$; 6,5 m
Sarkma Boyu	: 0.5 m
Radye Temel Kalınlığı	: 0.25 m
Zeminin Elastisite Modülü	: 10 Mpa
Zeminin Poisson Oranı	: 0.3
Radye Temelin Elastisite Modülü	: 30.000 Mpa
Radye Temelin Poisson Oranı	: 0.3

Kazık narinlik oranı (L/D) 20, kazık mesafe-çap oranları da (S/D) 3 ile 5 olarak seçilmiştir. Hem kazık – zemin rijitlik oranı (E_p/E_s) hem de jeneral temel – zemin rijitlik oranı (E_r/E_s) 3.000 olarak kullanılmıştır. Kazık boşluk oranlarının farklılık göstermesine bağlı olarak radyejeneral temelin en ve boy ölçüleri de değişiklik göstermektedir.

100 kPa’lık üniform düşey yük ya da 18 birimlik yanal yük kazık başlarına etkittirilerek uygulama yapılmıştır. Yük uygulaması sırasında kazık – zemin arayüzünde kayma, radyejeneral temel temelde de yukarıya doğru hareket engellenmiştir.

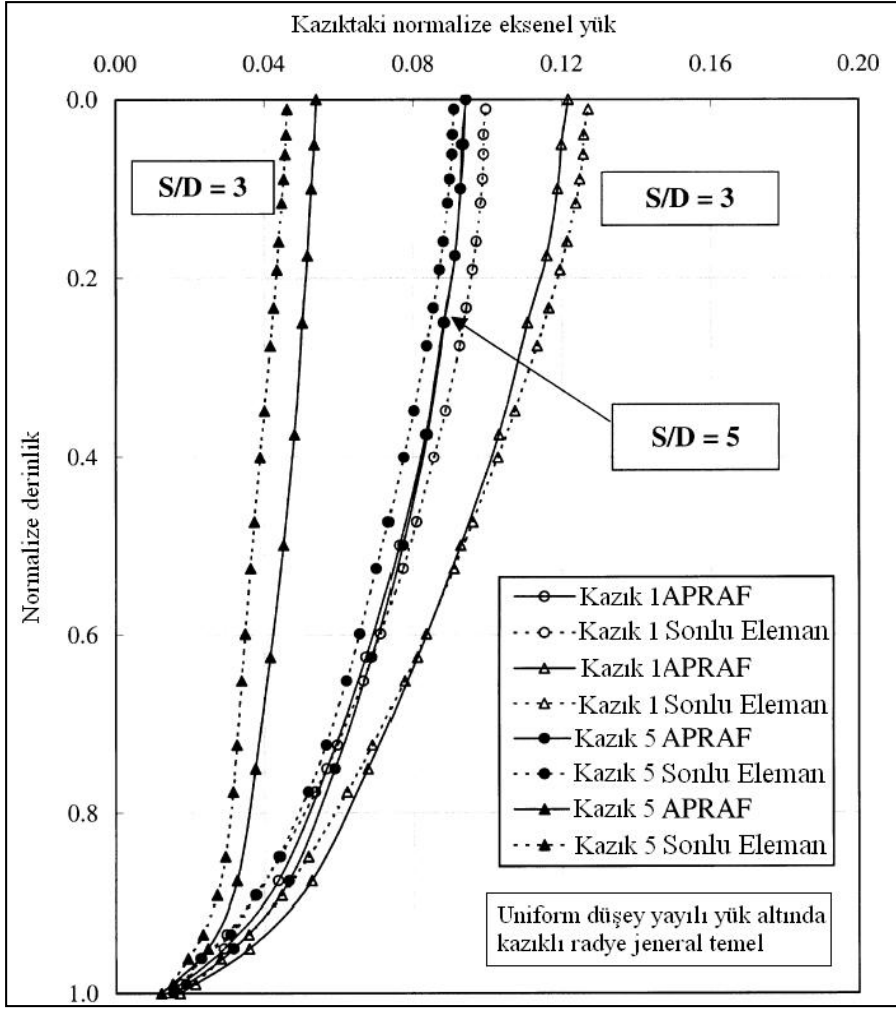
APRAF ile yapılan analiz için kazık, uzunluğu boyunca 11 parçaya radyejeneral temel ise $S/D=3$ için 81 ve $S/D=5$ için 169 benzer parçaya bölünmüştür. Dairesel kesitli kazık için tanımlanan eşdeğer çap APRAF analizde kullanılmıştır.

Sonlu eleman analizinde, kazıklı radyejeneral temelin; sahip olduğu simetrik geometriden yararlanarak dörtte biri için sonlu eleman ağı oluşturulmuştur. Radyejeneral temel sistem düşey yük altında olduğu zaman sonlu eleman ağı radyejeneral temel merkezinden x ve y yönüne 32m; z yönüne 15m uzatılmıştır. Zemin ve kazıklar için 20 noktalı katı izoparameterik elemanlar, radyejeneral temel için 8 noktalı kabuk elemanlar tanımlanmıştır. Toplamda sistem 2535 adet elemandan oluşmuştur. Kazıklı radyejeneral temel yatay yüklendiği vakit sonlu eleman ağı yükleme yönünde (x yönü) 41 m’ye uzamış, y yönünde ise 24m’ye kısalarak 2475 elemanlı sonlu eleman ağına dönüşmüştür. Yükleme yönünde sonlu eleman ağının fazla olmasının nedeni sınır etkilerini azaltmaktır.

Kazıklı radyejeneral temel ilk olarak üniform düşey yük kullanılarak sonlu tabaka yöntemiyle $S/D =3$ ve $S/D =5$ değerleri için hesaplanmış, daha sonra aynı problem sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analizi yapılmıştır. 1 nolu köşe kazık ve 5 nolu orta kazık için normalize eksenel yükün (P_i/P_{toplam}) kazık uzunluğuna karşı değişimi Şekil 6.17’de gösterilmiştir.

P_i : kazıktaki eksenel yük

P_{toplam} : radyejeneral temel üzerindeki toplam yük

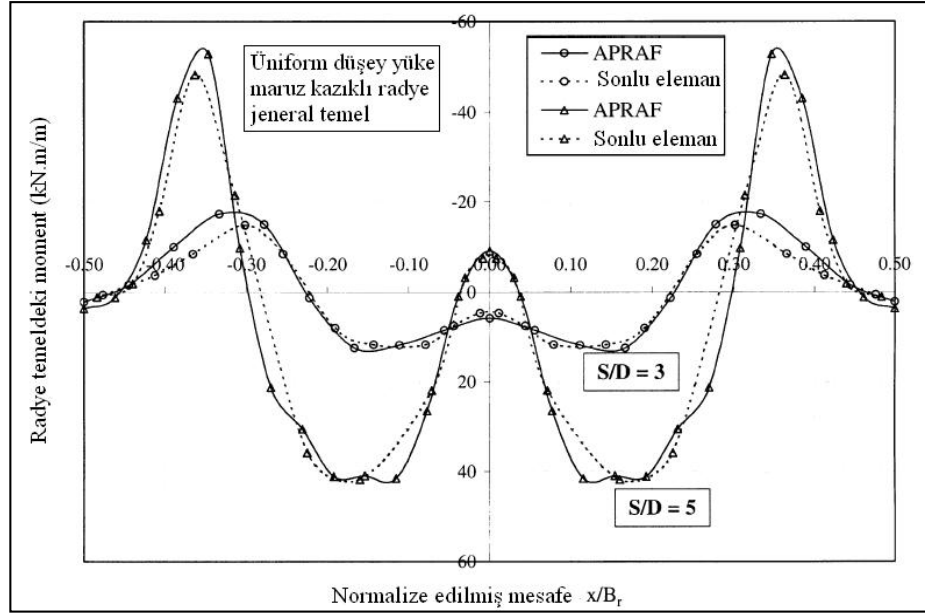


Şekil 4.17 : Kazıklardaki eksenel yük karşılaştırmaları (Small ve Zhang, 2002).

S/D =3 için merkezdeki kazık köşedeki kazığa oranla daha az yük taşımaktayken S/D =5 için merkezdeki kazık ile kenardaki kazık yaklaşık aynı yükü taşımaktadır ve kazık uzunluğu boyunca yük dağılımları benzer davranış göstermektedir.

Merkezdeki kazık için, sonlu tabaka yöntemiyle bulunan eksenel yük değeri sonlu elemanlar yöntemiyle bulunan değerden yüksektir; köşedeki kazık için sonlu eleman yöntemiyle bulunan değer daha yüksektir. Şekil 4.17'den görülebileceği gibi farklı yöntemlerle hesaplanan eksenel yükler arasındaki en büyük fark %15'ten azdır.

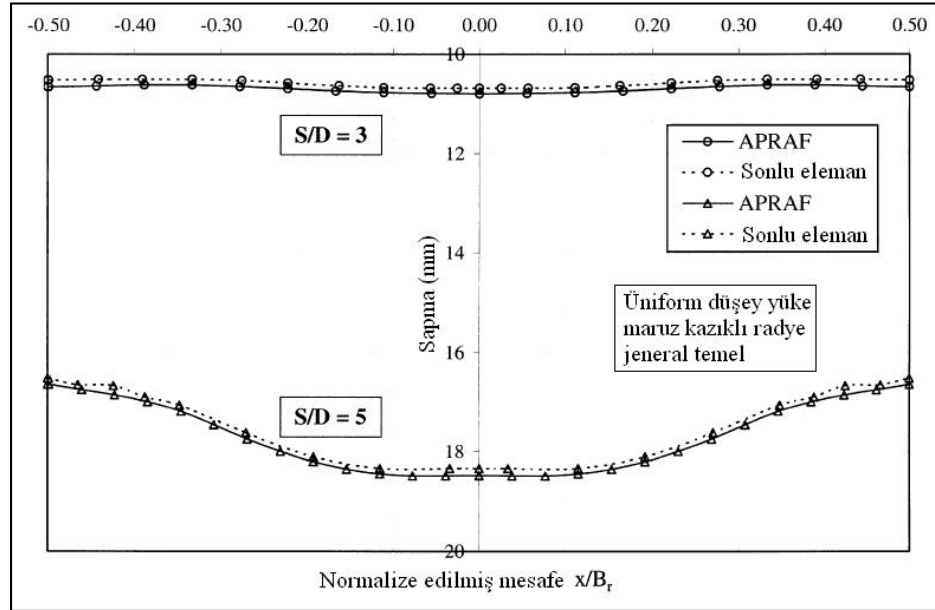
Şekil 4.18'de A-B kesitinde üniform düşey yükten dolayı kazıklı radyejeneral temelde meydana gelen moment değişimleri gösterilmiştir. Şekilde görülen moment x yönünde birim uzunluktaki değişim olarak verilmiştir.



Şekil 4.18 : Radyejeneral temeldeki A-B kesitinde oluşan moment değişimleri (Small ve Zhang, 2002).

Şekil 4.18’de iki ayrı metotla farklı S/D değerleri için radyejeneral temel kesitinde hesaplanan momentlerin birbirlerine oldukça yakın sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Radyejeneral temelin kenarlarındaki kazık başlarında meydana gelen momentler arasındaki fark %9’dan daha az bulunmuştur.

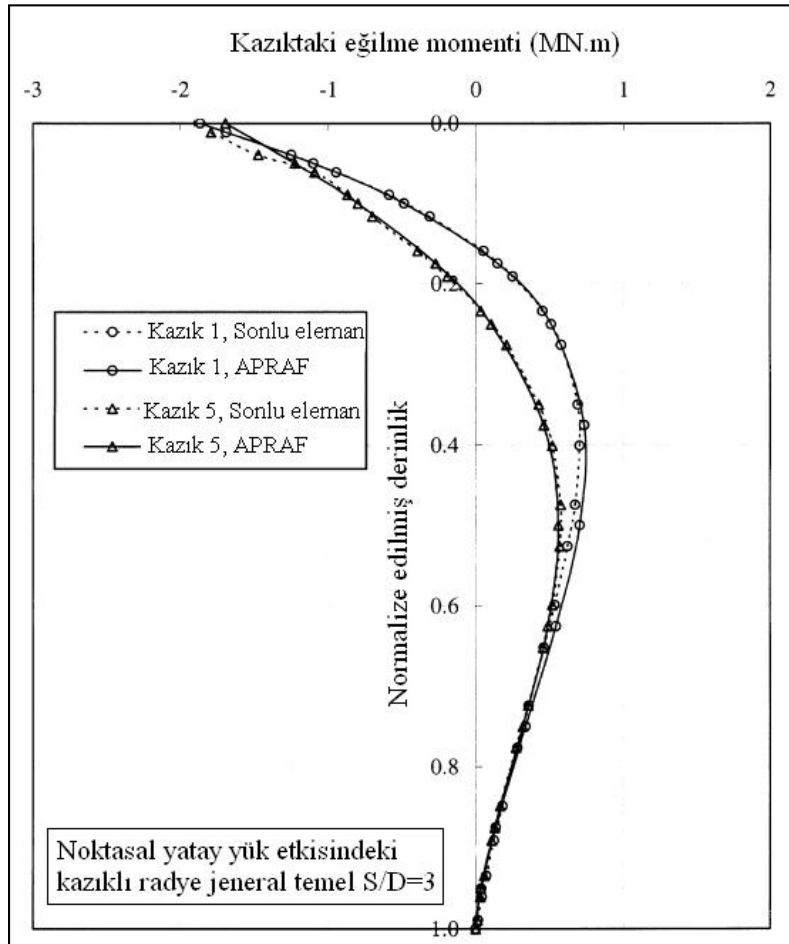
Şekil 4.19’da ise üniform düşey yüke maruz kazıklı radyejeneral temelin A-B kesiti boyunca oluşan yer değiştirmeleri göstermektedir.



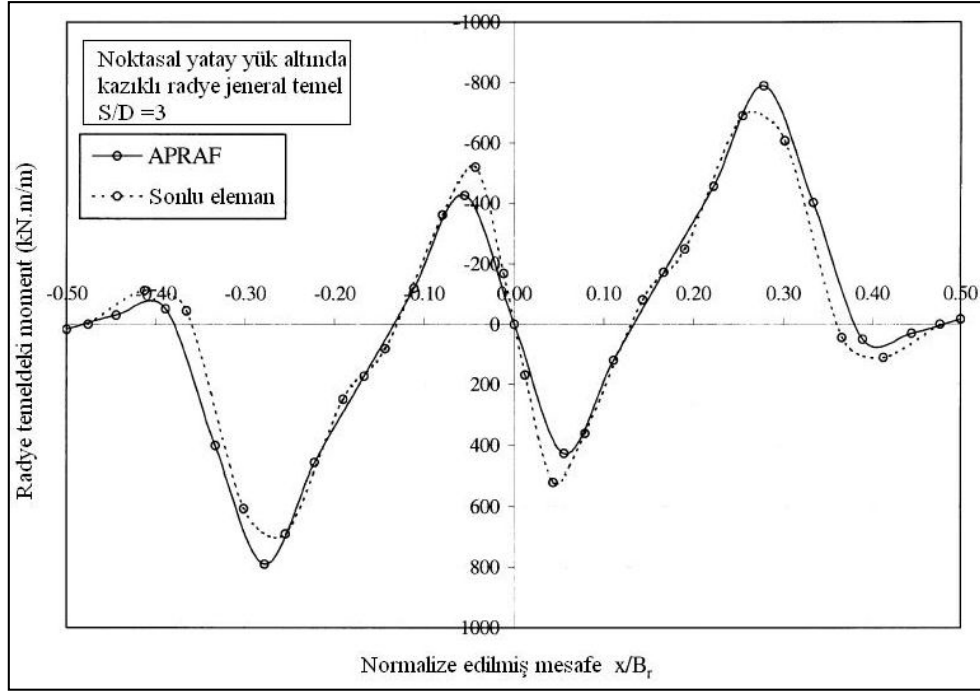
Şekil 4.19 : Radyejeneral temeldeki A-B kesitinde oluşan sapma değişimleri (Small ve Zhang, 2002).

Şekilden de anlaşılacağı üzere mevcut yöntemle bulunan sapma değişimi sonlu elemanlar yöntemiyle bulunan değişimle örtüşmektedir. Maksimum fark %1'in altındadır.

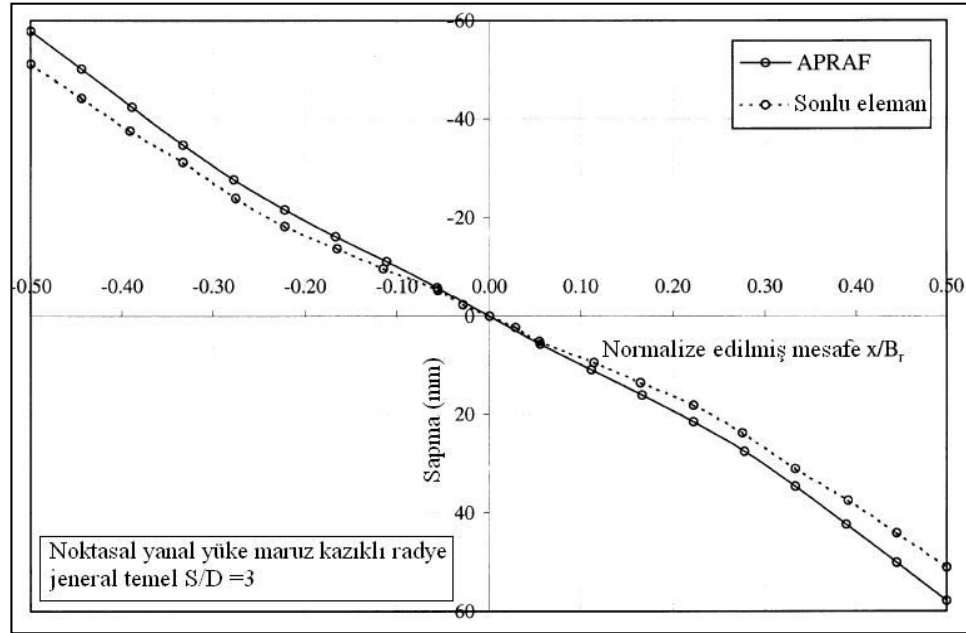
Şekil 4.20, 4.21 ve 4.22'de yanal yüklere maruz kazıklı radyejeneral temel için mevcut yöntemle sonlu eleman yöntemine ait karşılaştırmalar gösterilmiştir. Analizler $S/D = 3$ değeri için yapılmıştır. Şekil 4.20'de 1 ve 5 nolu kazıklar için momentin kazık derinliği boyunca değişimi, Şekil 4. 21'de A-B kesiti boyunca birim uzunluk için moment değişimi ve Şekil 4.22'de A-B kesiti boyunca yerdeğiştirmeler gösterilmiştir. Yanal yükleme için mevcut yöntemle sonlu elemanlar yönteminden hesaplanan radyejeneral temel momenti farkı %12'den azdır. Bu da iki yöntemin oldukça yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir.



Şekil 4.20 : Normalize edilmiş derinlik boyunca kazıktaki eğilme momenti (Small ve Zhang, 2002).



Şekil 4.21 : Kazıklı radyejeneral temelin A-B kesitindeki moment değişimi (Small ve Zhang, 2002).



Şekil 4.22 : Radyejeneral temeldeki A-B kesitinde oluşan sapma değişimleri (Small ve Zhang, 2002).

5. SONLU ELEMAN YÖNTEMLERİ İLE YANAL YÜK ALAN KAZIKLI RADYEJENERAL TEMEL SİSTEMİNİN ANALİZİ (FRANKFURT – NEUE MESSEHALLE 3)

5.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi ve TNO DIANA Yazılımı

Mühendislik yapılarının duyulan ihtiyaca göre tasarımsal ve statik açıdan giderek karmaşıklaşması; bunun yanında mevcut yöntemlerdeki zorluklar ve yetersizlikler mühendislik çözümlerinde de yenilikleri beraberinde getirmektedir. Son yıllarda bilgisayarların hızlı gelişimine paralel olarak gelişen sayısal hesap yöntemleri içinde çok önemli bir yer tutan ve çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan sayısal çözüm yöntemlerinden birisi de Sonlu Elemanlar Yöntemi'dir.

Sonlu Elemanlar Yöntemi, düzensiz ve karmaşık geometriye sahip sistemlerin incelenmesine olanak sağlar. Yöntem değişik ve karmaşık malzeme özellikleri olan sistemlerde uygulanabilir. Sonlu Elemanlar Yöntemi, sürekli ortamın sonlu eleman olarak adlandırılan basit geometrik alt bölgelere ayrılarak temsil edilmesidir ve temel yaklaşım, sıcaklık, basınç, gerilme veya yerdeğiştirme gibi herhangi bir sürekli büyüklüğü, küçük ve sürekli parçaların birleşmesinden oluşan bir modele dönüştürmektir.

Öncelikle problemin geometrisi oluşturularak sistem düğüm noktaları ile birbirine bağlanan sonlu sayıda elemana ayrılır. Elemanlara ayırma işleminin doğru biçimde yapılması çözümün doğruluğu açısından oldukça önemlidir. Eleman boyutları ve sayıları, sistemi en iyi temsil edecek ve aynı zamanda hesapları da en aza indirgeyecek biçimde olmalıdır. Değişkenin ani değişim gösterdiği yerlerde elemanlar genellikle daha küçük seçilir. Tek boyutta elemanlar çizgidir. Düzlem problemlerde kullanılan iki boyutlu elemanlar üçgen veya dörtgen şeklinde olabilirler. Üç boyutlu elemanlarda ise üçgen piramit, dikdörtgenler prizması veya daha genel olarak dört veya altı yüzlü elemanlardır (Şekil 5.1).

Sistem sonlu elemanlara ayrıldıktan sonra ele alınan büyüklüğün ortamdaki değişimini gösterecek yaklaşım fonksiyonu seçilir. Seçilen fonksiyon gerçeğe ne kadar yakın ise çözümdeki yaklaşıklık da o kadar fazla olur. Yaklaşım fonksiyonu problemin yapısına ve çözüm bölgesine göre derecesi ve katsayıları belirlenen polinomlar veya seriler olabilir.

Ele alınan büyüklükler arasındaki ilişkiyi gösteren bünye denklemi belirlendikten sonra, bir elemanın davranışını gösteren denklemler elde edilir. Eleman denklemleri birleştirilerek tüm sistemin denklemleri bulunur. Sınır koşulları uygulanan sistem denklemleri çözülerek aranan birincil bilinmeyenler ve buna bağlı olarak da diğer bilinmeyenler hesaplanır.

Geoteknik Mühendisliği'nde karşılaşılan gerilme-şekil değiştirme problemlerinin sonlu elemanlarla çözümünde, birincil bilinmeyenler çoğunlukla ortamdaki her düğüm noktasının yerdeğiştirmesidir. Yerdeğiştirmeler elde edildikten sonra, gerilmeler gibi diğer ikincil bilinmeyenler bunlara bağlı olarak hesaplanabilir (Desai, 1979).

Model için sonlu eleman ağının geometrisi, ağı oluşturacak elemanların şekilleri ve ağın sıklığı (sayısı) çözüm için en uygun şekilde belirlenmelidir. Yükleme sonucu elemanda oluşacak yerdeğiştirmelerin dağılımı ve davranışını verecek yaklaşım fonksiyonları için basitlikleri nedeniyle lineer polinomlar veya trigonometrik seriler seçilir. Uygulanacak yük nedeniyle elemanda oluşacak yerdeğiştirmeyi verecek bağıntının seçilmesiyle malzeme bünye davranışı belirlenmiş olur. Sonlu eleman yönteminde en önemli adımlardan birisi gerilme-şekil değiştirme ilişkisini verecek bağıntının tanımlanmasıdır. Malzemenin veya sistemin davranışını doğru olarak yansıtacak bünye denklemleri belirlenmediği takdirde sonlu eleman yönteminden elde edilecek sonuçlar gerçekçi olmayacaktır.

Sistemin global aksları, düğüm noktalarının serbestlik dereceleri ve sınır şartları oluşturulduktan sonra geometri ve malzeme bünye davranışına bağlı olarak elemanların rijitlik matrisleri lokal eksende oluşturulur.

Eleman davranışını veren matrisin genel ifadesi:

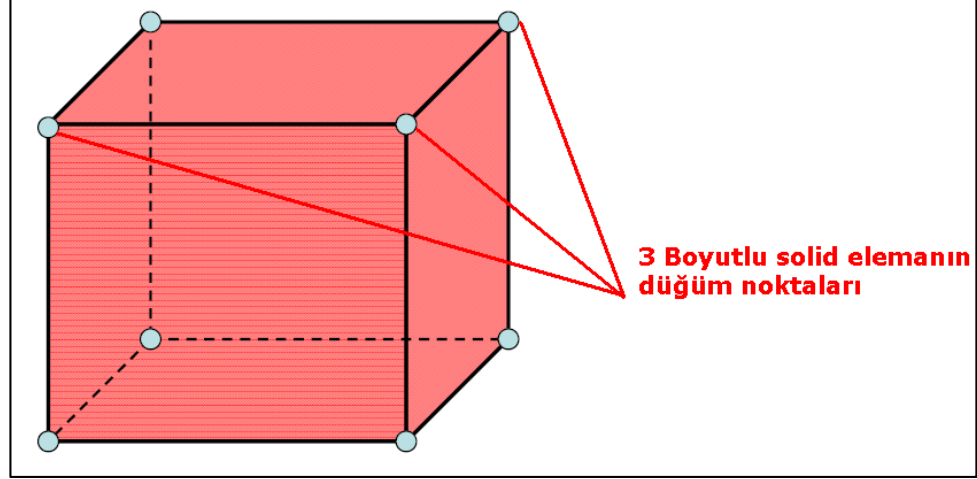
$$[K]\{\delta\}=\{Q\} \quad (5.1)$$

olarak yazılabilir.

[K]: rijitlik matrisi

{ δ }: düğüm noktasındaki yerdeğiştirme vektörü

{Q}: düğüm noktasındaki yük vektörü



Şekil 5.1 : 3 boyutlu katı elemanın düğüm noktaları.

Bir tek eleman için elde edilen genel denklem sistemdeki tüm elemanlar için tekrarlanır ve sistem denklemleri elde edilmiş olur. Böylelikle sistemin tümü için rijitlik matrisi aşağıdaki hali alır:

$$[K_{sys}]\{\delta_{sys}\}=\{Q_{sys}\} \quad (5.2)$$

olarak yazılabilir.

[K_{sys}]: sistem rijitlik matrisi

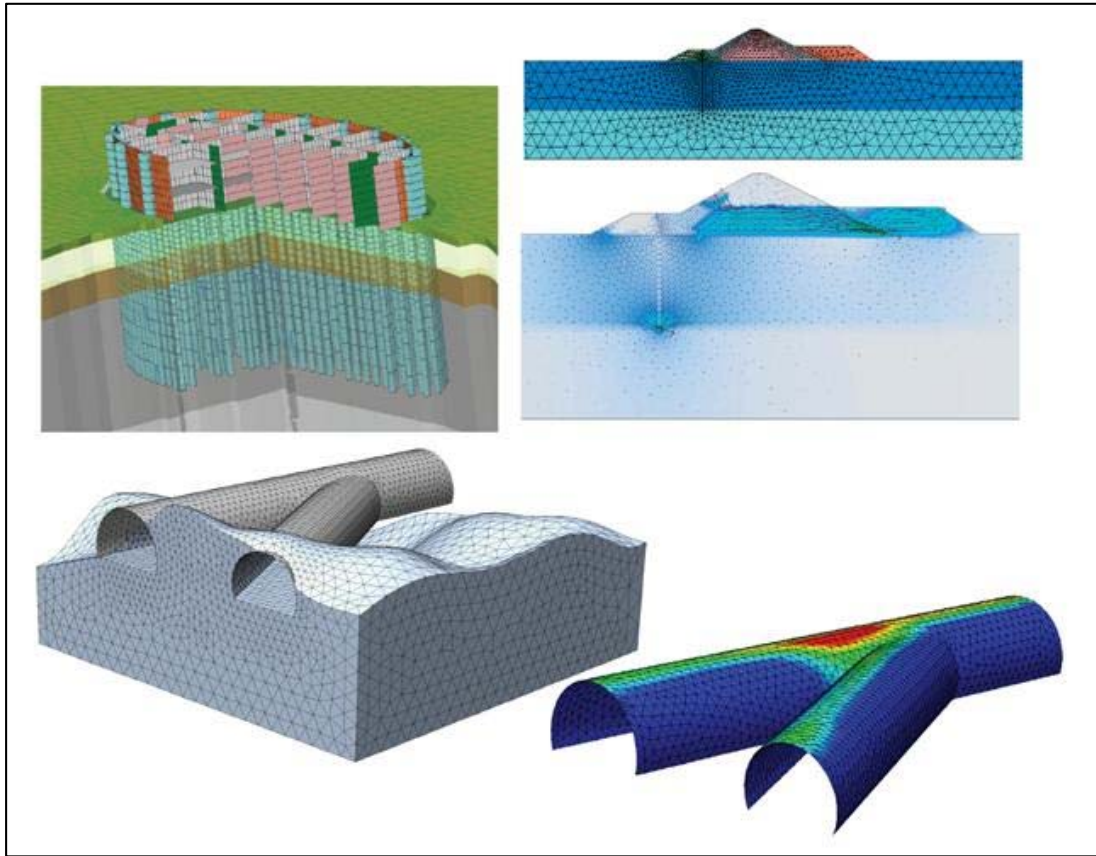
{ δ_{sys} }: sistemin düğüm noktalarındaki yerdeğiştirme vektörü

{Q_{sys}}: sistem düğüm noktalarındaki yük vektörü

Oluşturulan sistem denklemlerinin çözümü için sınır şartlarının uygulanması gerekir. Sonlu elemanlar yönteminde matrisin genellikle sadece geometrik koşullar için yerdeğiştirmesi yeterlidir. Birincil bilinmeyenler olan yerdeğiştirmeler için sistem denklemleri Gauss Eliminasyonu ile veya yinelemeli (iterative) yöntem ile çözülür. İkincil bilinmeyenler olan yük vektörleri (gerilme, moment, kesme kuvvetleri) yerdeğiştirmeler hesaplandıktan sonra bunlara bağlı ve daha önce tanımlanan bağıntılar yardımıyla elde edilir.

Geleneksel yöntemlerin yetersiz kaldığı çözümlerde gelişmiş modelleme ve analize imkan sunan sonlu eleman yazılımlarına ihtiyaç duyulmaktadır. TNO DIANA (DIplacement ANALyzer), geoteknik, yapı, deprem ve tünel mühendislik disiplinleri için geniş malzeme ve eleman seçimi ile problemlerin 2 boyutlu (2D) ve 3 boyutlu (3D) modellenmesine olanak sağlayan gelişmiş bir sonlu elemanlar yazılım paketidir.

Yazılım ile ilgili çalışmalar 1972 yılında Hollanda'da TNO Yapı Araştırma Enstitüsü tarafından başlatıldı. Yazılım, doğrusal (lineer) ve doğrusal olmayan malzeme davranışlarının 2 boyutlu ve 3 boyutlu modeller için kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Sonlu eleman ağının şeklinin seçilmesi ve yaratılması için çok gelişmiş bir arayüze sahip olan program yapı sistemlerinin önem arzeden kısımlarında oluşturduğu yoğun sonlu eleman ağları ile daha gerçekçeki sonuçlar vermektedir. Şekil 5.2'de TNO DIANA yazılımı ile modellenmiş sonlu eleman ağlarına örnekler verilmiştir:



Şekil 5.2 : TNO DIANA yazılımı ile oluşturulan model örnekleri.

Yazılım kapsamında seçilebilecek malzeme modelleri, eleman ve analiz tipleri ile modelleme aşamasındaki veri girişleri, analiz sonuçlarının sunumu ve çözüm yöntemleri aşağıda listelenmiştir (Çizelge 5.1):

Çizelge 5.1 : TNO DIANA yazılımına ait malzeme modelleri, eleman ve analiz tipleri.

Malzeme Modelleri	Eleman Tipleri	Analiz Tipleri
Doğrusal, doğrusal olmayan ve modifiye elastisite	Kafes eleman	Doğrusal statik analiz
Hiperelastisite	Timoshenko, Bernoulli ve Mindlin Kirişleri	Doğrusal olmayan statik analiz
İzotropik ve ortotropik plastisite	Düzlem gerilme ve düzlem şekil değiştirme	Doğrusal dinamik analiz
Viskoelastisite	Eğilme için plaka eleman	Doğrusal olmayan dinamik analiz
Viskoplastisite	Kabuk (eğri ve tabakalandırılmış)	Stabilite analizi
Young-Hardening zemin modeli	Katı model	Potansiyel akış analizi
Sünme ve büzülme	Kompozit model	Aşamalı faz analizi
Farklı zemin modelleri	Arayüz elemanı	
Sıvılaşma modelleri	Etkileşim elemanı	
Arayüz için özel elemanlar	Yay ve sönüm elemanları	
	Noktasal kütle	
	Gömülü donatı	

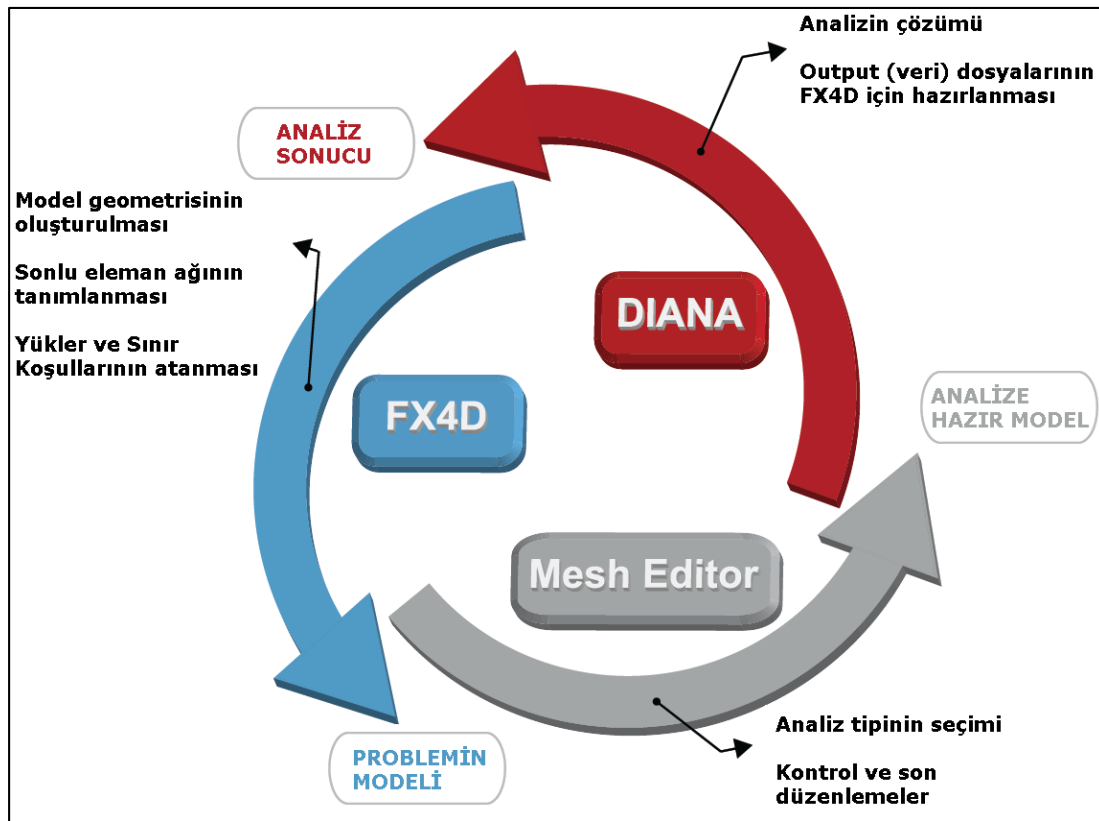
TNO DIANA yazılımı ile modelin oluşturulması, inşa aşamalarının ve analiz tipinin seçilerek sonuçlara ulaşılması için 3 arayüz kullanılmaktadır.

Bunlardan ilki yukarıdaki çizelgede verilen malzeme modelleri ve eleman tiplerini kullanarak modelin geometrisini oluşturmaya yardımcı olan FX4D arayüzüdür. Oluşturulan geometri içinde kullanılan tüm elemanların sonlu eleman ağları istenilen sıklıkta, şekilde ve boyutta atanır. Daha sonra sisteme uygulanacak olan yükler atanarak sınır koşulları oluşturulur. Böylelikle çözülecek olan problemin modeli tamamlanır.

İkinci arayüz ise Mesh Editor'dür. Analiz tipinin seçimi, inşa aşamalarının tanımlanması ve malzeme özellikleri ile ilgili kontrol ve düzenlemelerin yapılması amacıyla kullanılır. Bu arayüz sayesinde analiz neticesinde ulaşılmak istenen sonuçların hangi elemanlar için istendiği ve bu sonuçların neler olacağı belirlenir. Yapılan bu düzenlemelerden sonra model analize hazır hale gelir.

Analizin çözümü ve FX4D için veri dosyalarının hazırlanması için DIANA arayüzü kullanılmaktadır. Bu arayüz ile ilgili hesap yöntemleri inşa aşamalarında belirtilen sırayla çözülerek FX4D'de görüntülenecek olan veri çıktı dosyaları oluşturulur.

Yazılımda kullanılan arayüzler ve akış şeması Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 : TNO DIANA analiz akış şeması.

5.2 Frankfurt'taki Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası (Neue Messehalle 3)

Kazıklı Radyejeneral Temel Sisteminin TNO DIANA Yazılımı ile Analizi

Frankfurt'ta inşa edilen Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası'nın mimari tasarımı Nicholas Grimshaw & Partners (NGB) tarafından yapılmıştır, Yüklenici firması ARGE Hochties AG ve Bilfinger+Berger Bau AG olan ve 17 ay gibi kısa bir sürede tamamlanan bina Ağustos 2011 tarihinde hizmete girmiştir (Şekil 5.4).



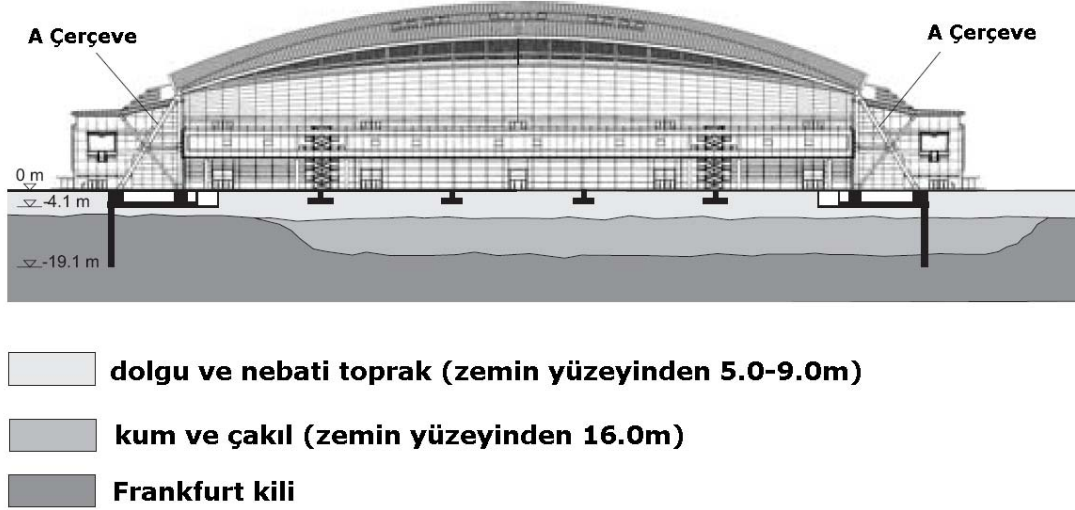
Şekil 5.4 : Yeni Sergi Salonu -3. Kısım Binası genel görünümü.

Boyutları bakımından Avrupa'nın en büyük sergi salonlarından biridir (boy=210m, genişlik=130m ve yükseklik=45m). Yay şeklinde tasarlanan çatının temiz açıklığı 165m'dir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 : Yeni Sergi Salonu -3. Kısım Binası çatısı.

Temel sisteminin inşasından önce yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri ile zemin profili çıkarılmıştır (Şekil 5.6). Zeminin ilk 5-9 metresinde dolgu ve nebati toprak, sonra 180m genişliğe kadar 16 m kalınlığında kum ve çakıl tabakası ve daha derinlerde de Frankfurt Kili'ne rastlanılmıştır.



Şekil 5.6 : Sergi Salonu'na ait zemin profili.

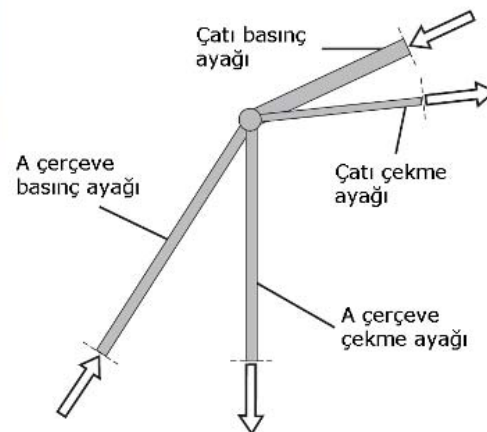
Çatının geometrisinden dolayı oluşan düşey ve yatay yükler A çerçeveler vasıtasıyla kazıklı radyejeneral temellere aktarılmaktadır (Şekil 5.7). Şekil 5.8'de ise çatıyı destekleyen A çerçevelerin boyutları ve kazıklı radyejeneral temel sistemi ile kesiti gösterilmiştir.



Şekil 5.7 : Çatı yüklerini kazıklı radyejeneral temele aktaran A çerçeveler.

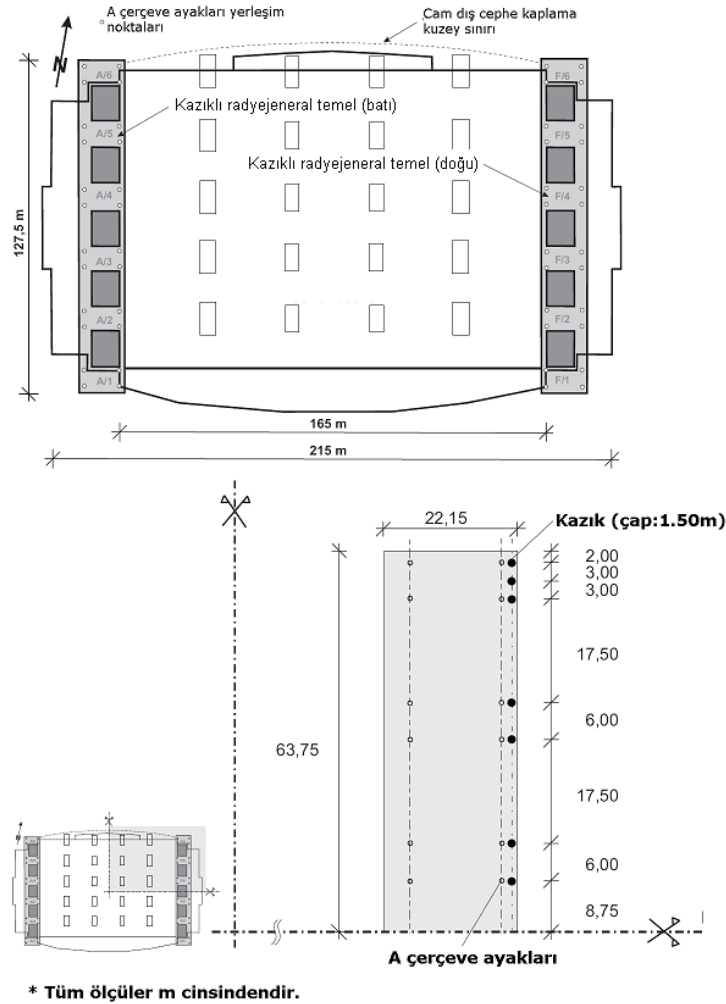


Şekil 5.8 : A çerçeve kesiti ve boyutları.



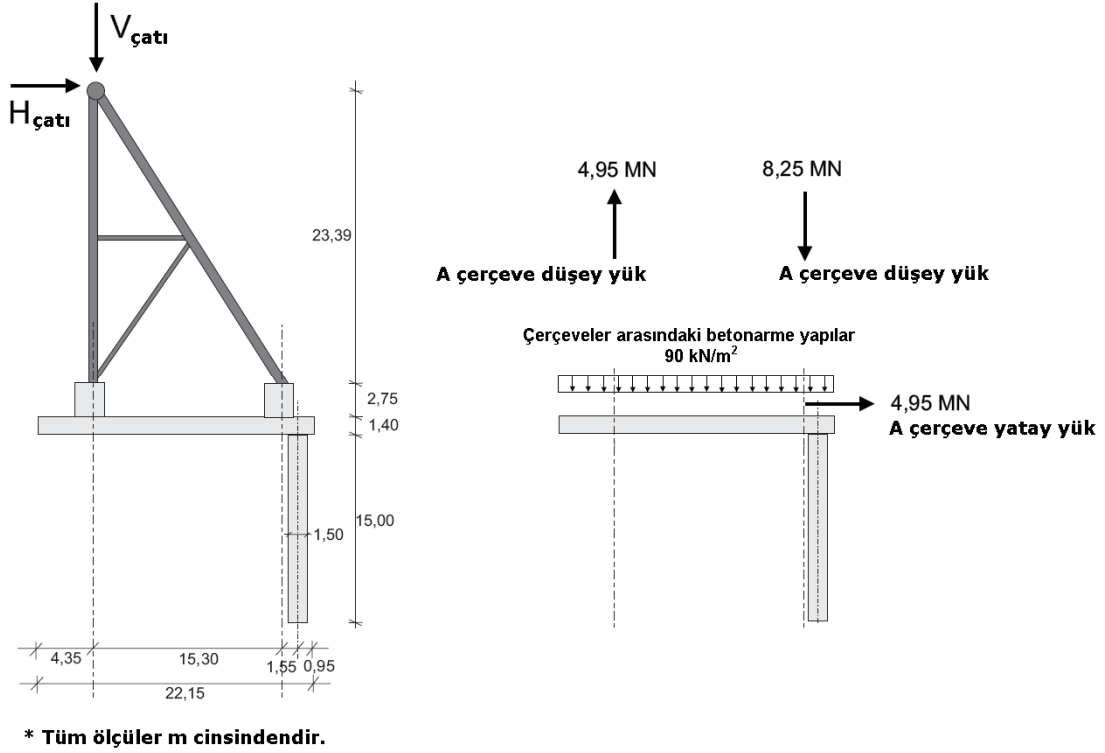
95

Oturmalar, farklı oturmalar, yanal yerdeğiştirmeler ve içsel kuvvetler gözönüne alındığında yerdeğiştirmeleri sınırlar içinde tutacak temel sistemine gereksinim duyulmuştur. Yanal yerdeğiştirmeler A çerçevesine etkiyen kuvvetlerin artmasına ve çatının gergi çubuklarındaki gerilme kuvvetlerinin azalmasına neden olmaktadır. Bunun aksine A çerçevesinin yerdeğiştirmesi ve dışa doğru eğilmesi, gergi çubuklarındaki gerilme kuvvetlerini arttırmaktadır. Bu incelemeler gözönünde tutularak yapılan temel tasarımı sonunda asimetrik kazıklı radyejeneral sistem yapılması öngörölmüştür. Temel boyutlarının belirlenmesinde 3 boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplar yapılmıştır. şekil 5.10'da temel sisteminin vaziyet planı ve boyutları gösterilmiştir. Temelin uzunluğu 127.50 m, genişliği 22.15 m ve kalınlığı ise 1.40 m'dir. Temel sisteminde çapı 1.5m ve boyu 15m olan 14 adet kazık kullanılmıştır.



şekil 5.10 : Kazıklı radyejeneral temelin vaziyet planı.

Çatıdan gelen düşey ve yatay tekil yükler ile çerçeveler arasındaki betonarme yapılardan gelen düşey yayılı yükler sonucunda kazıklı radyejeneral temele etkiyen toplam kesit tesirleri Şekil 5.11’de gösterilmiştir. Kazıklar radyejeneral temelin kuzey ve güney uçlarında 3m aralıklarla 3’er adet, diğer kısımlarda ise 2’er adet olacak şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 5.11 : A çerçeve kesiti ve temel sistemine etkiyen yükler.

Yukarıda boyutları ve kesit tesirleri verilen temel sistemi TNO DIANA yazılımı ile 3 boyutlu olarak modellenmiş ve temel sisteminin statik ve dinamik analizlerine ait sonuçlara ulaşılmıştır. Analizler yapılırken kazıkların temel sistemine sağlamış olduğu etkileri gözlemlemek adına sistem kazıklı ve kazıksız olarak iki farklı alternatif için ele alınmıştır.

5.3 Frankfurt’taki Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası (Neue Messehalle 3)

Kazıklı Radyejeneral Temel Sistemine Ait 3 Boyutlu Modelin Oluşturulması

Model oluşturulurken, üst yapıyı temsil eden çerçeveler çelik boru eleman olarak seçilmiş, zemin, radyejeneral temel ve kazıklar üç boyutlu solid eleman olarak tercih edilmiştir.

Sonlu eleman yazılımında sistem oluşturulurken seçilen elemanların geometrileri belirlenmiş ve bu elemanlara aşağıda belirtilen malzeme özellikleri atanmıştır (Çizelge 5.2).

Çizelge 5.2 : Malzeme parametreleri (Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası).

Parametre	Tanım	Birim	Değer
E_s	Zeminin Elastisite Modülü (1. seçenek)	kN/m^2	20.000
	Zeminin Elastisite Modülü (2. seçenek)	kN/m^2	200.000
ν_s	Zeminin Poisson Oranı	-	0.15
γ_s	Zeminin Birim Hacim Ağırlığı	kN/m^3	18.0
E_r	Plağın Elastisite Modülü	kN/m^2	2.1×10^7
ν_r	Plağın Poisson Oranı	-	0.15
γ_r	Plağın Birim Hacim Ağırlığı	kN/m^3	24.0
E_p	Kazığın Elastisite Modülü	kN/m^2	2.1×10^7
γ_p	Kazığın Birim Hacim Ağırlığı	kN/m^3	24.0
ν_p	Kazığın Poisson Oranı	-	0.15
E_{st}	Çeliğin Elastisite Modülü	kN/m^2	2.1×10^7
γ_{st}	Çeliğin Birim Hacim Ağırlığı	kN/m^3	78.5
ν_{st}	Çeliğin Poisson Oranı	-	0.26
c	Kohezyon	kN/m^2	100
ϕ	Kayma mukavemeti açısı	$^\circ$	0.0
K_t	Zeminin Elastisite Modülünün 1/10 ve 1 /100 kati	kN/m^2	Değ.
K_n	Zeminin Elastisite Modülüne eşit alınmıştır	kN/m^2	Değ.

Malzeme parametreleri sisteme tanıtıldıktan sonra sonlu eleman ağırları oluşturulmuştur. Sonuçların daha detaylı olmasını sağlayabilmek amacı ile radyejeneral temel ve kazık elemanlarına ait bölgelerde sonlu eleman ağırları daha sık yapılandırılmıştır.

Modelin sınır koşulları, YZ düzlemine +X ve -X yönünde, XZ düzlemine +Y ve -Y yönünde ve XY düzlemine de -Z yönündeki ötelenmeyi engelleyecek şekilde verilmiştir.

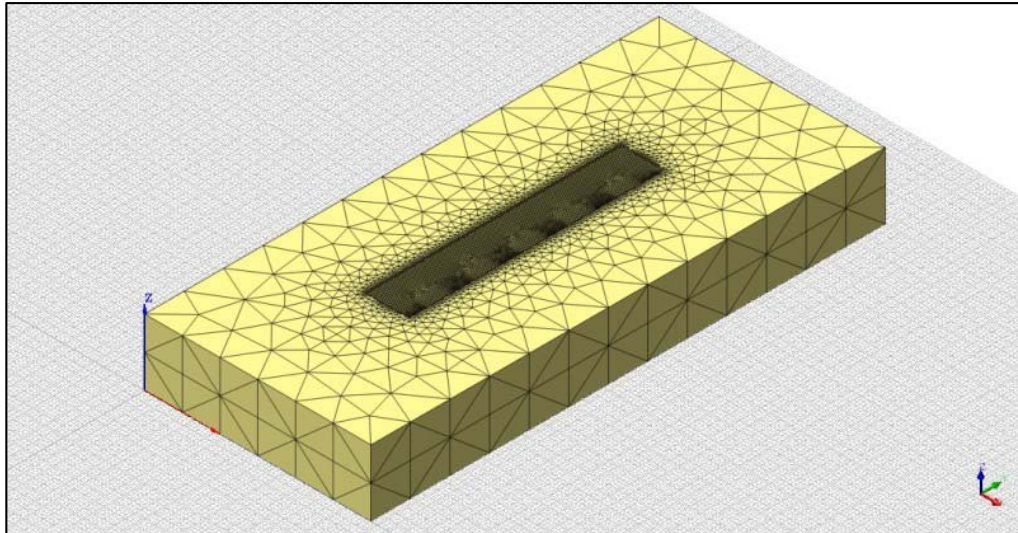
Sonraki adımda sisteme uygulanacak yüklerin tipleri belirlenmiş ve uygulama noktaları seçilmiştir.

Yüklerden ilki zeminin kendi ağırlığından dolayı oluşan oturmaları ve gerilmeleri içeren ağırlık (gravity) kombinasyonudur. İkinci olarak Yeni Sergi Salonu'nun kazıklı radyejeneral temel sistemi üzerine inşaa edilecek betonarme yapılara ait düşey yayılı yük gözönüne alınmıştır. Daha sonra temel sistemine, yapının çatısından kaynaklanan diyagonal statik yükler (düşey ve yatay) uygulanmıştır. Uygulanan statik yüklere ek olarak 1999 yılı Marmara Depremi'ne ait 30sn'lik deprem kaydı 0.05 sn'lik artımlarla 600 adımda sisteme zemin tabanında +X –X doğrultusunda uygulanmıştır.

Analiz modellerinde kazıklı radyejeneral temel ile zemin arasında kullanılan arayüz elemanının sistem davranışı üzerine etkisi incelenmiştir. Arayüz elemanı için farklı değerler kullanılmış olup, kazıklı radyejeneral temel ve radyejeneral temel sistemleri için kullanılan arayüz elemanları Şekil 5.24'te gösterilmiştir. Çizelge 5.2'de belirtilen K_t ve K_n değerleri arayüz elemanının normal ve kayma modüllerini temsil eder.

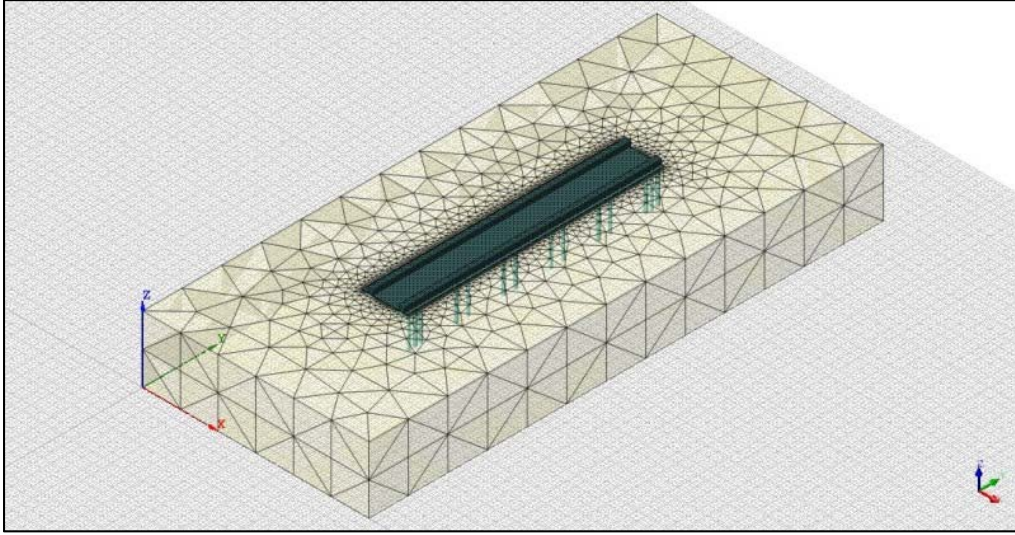
Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası temel sistemi yukarıda bahsedilen ölçüler baz alınarak modellenmiştir. Temel sisteminin boyutları ile üst yapıyı temsil eden A çerçeveler tüm sistem olarak sonlu eleman yazılımında oluşturulmuştur.

Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası temel sisteminin modellenmesinde ilk olarak bina altında bulunan temel sistemini çevreleyen zemin modellenmiş ve Şekil 5.12'de gösterilmiştir.



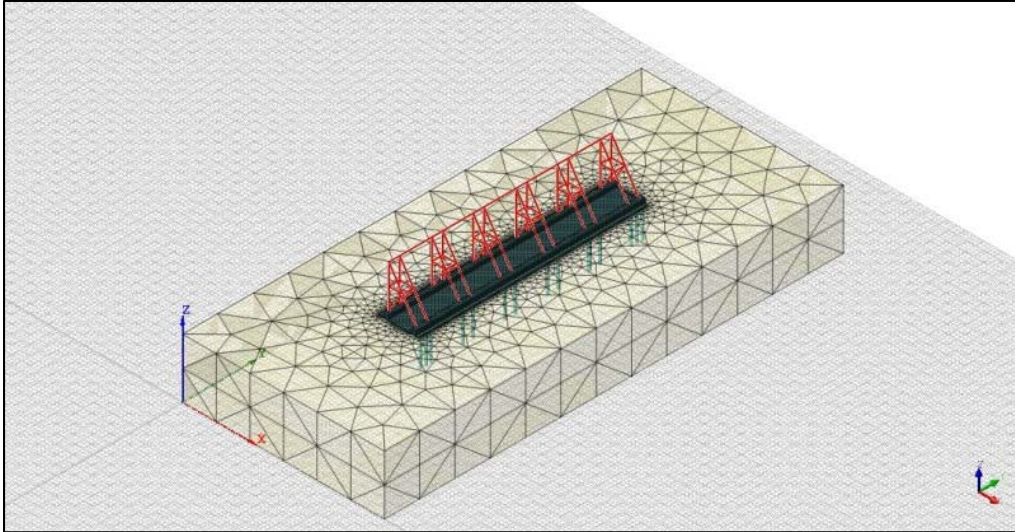
Şekil 5.12 : Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası zemin modeli ve sonlu eleman ağı.

İkinci adım olarak radyejeneral temel ve kazıklar modellenmiştir (Şekil 5.13)



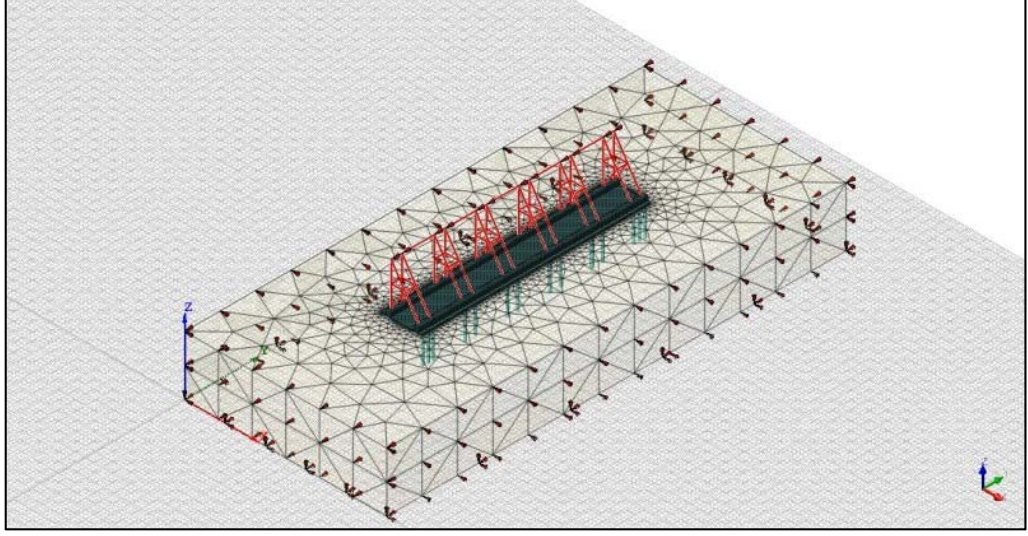
Şekil 5.13 : Kazıklı radyejeneral temel modeli ve sonlu eleman ağı.

Üçüncü adımda bina üst yapısını temsil eden A çerçeveler modele eklenmiştir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14 : Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası A çerçeveler.

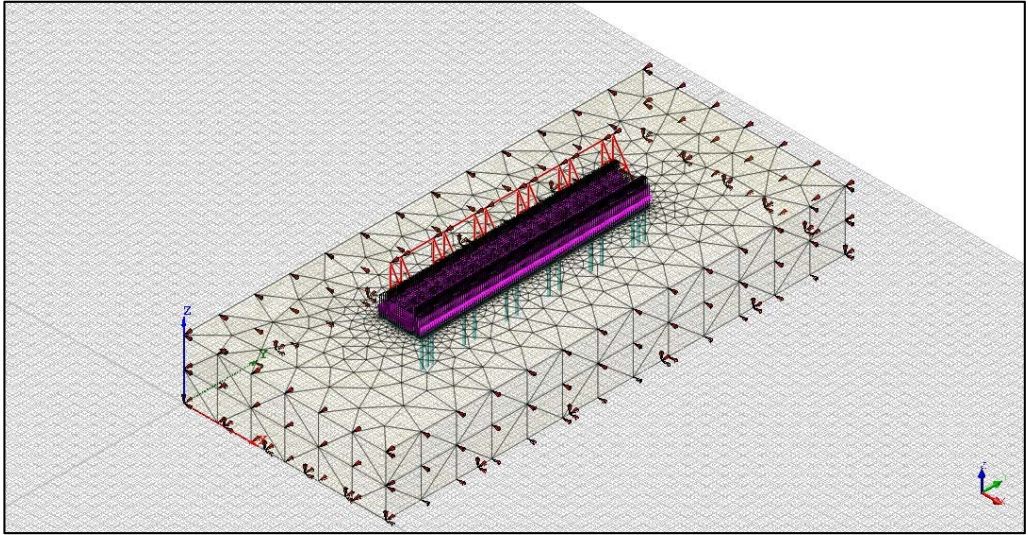
Dördüncü adımda modelin sınır koşulları tanımlanmıştır (Şekil 5.15).



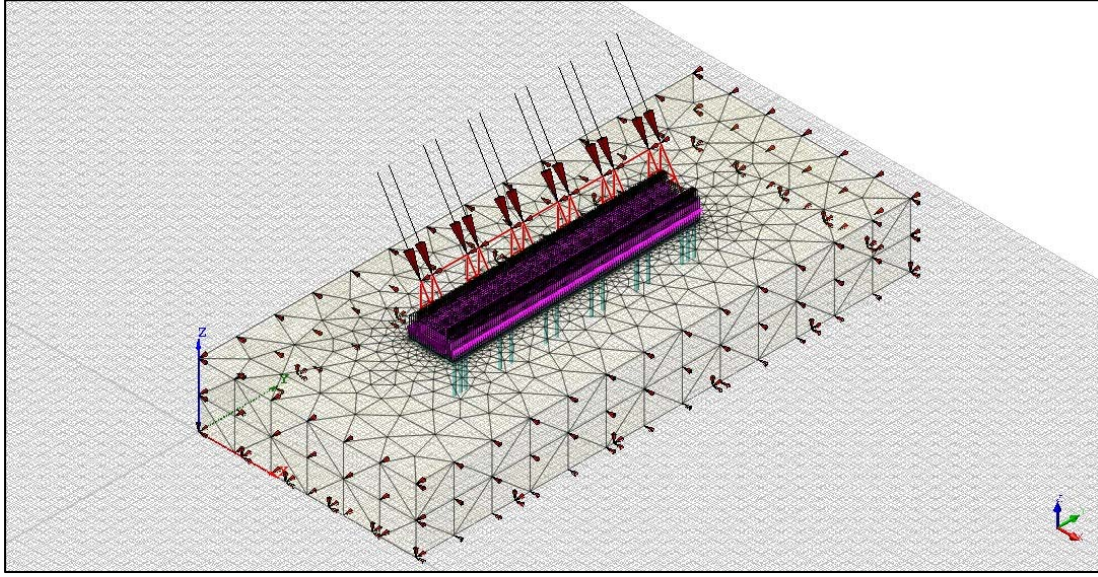
Şekil 5.15 : Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası modeli sınır koşulları.

Beşinci adımda sisteme yükler tanımlanmıştır. Yük kombinasyonlarından sonuncusu olan dinamik analizde kullanılan deprem kaydının orijinali 6000 adımdan (0.005 sn’lik artımlar) oluşmaktadır. Temel sisteminin analizi için gereken süreyi kısaltmak adına kayıt 600 adım olacak şekilde revize edilmiştir (Şekil 5.18).

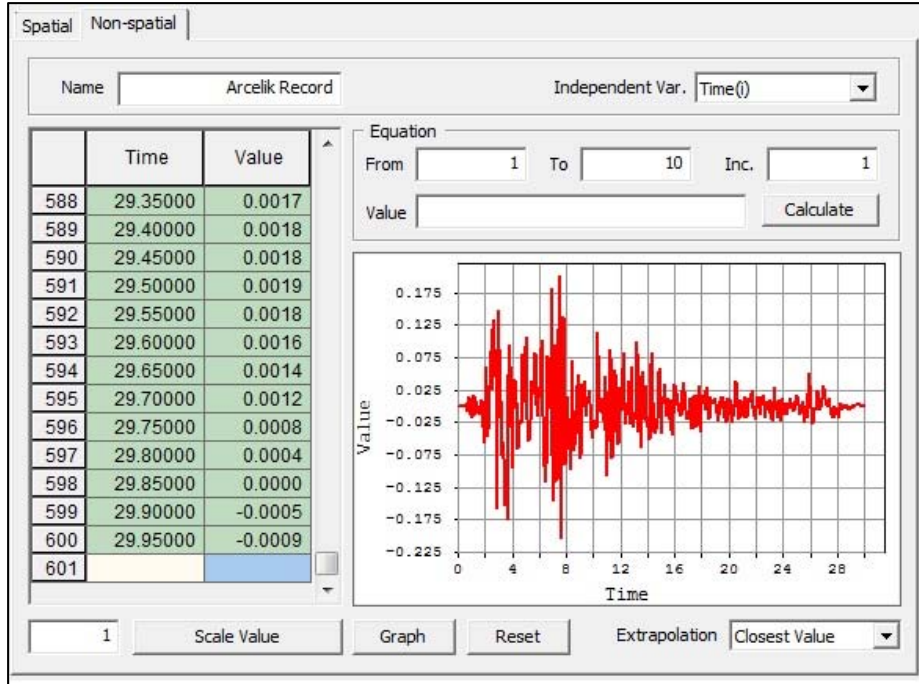
Betonarme yapılardan kaynaklanan düşey yükler Şekil 5.16’da, yapının çatısından gelen diyagonal statik yükler ise Şekil 5.17’de gösterildiği gibi modellenmiştir.



Şekil 5.16 : İnşaa edilecek betonarme yapılara ait düşey yayılı yük.

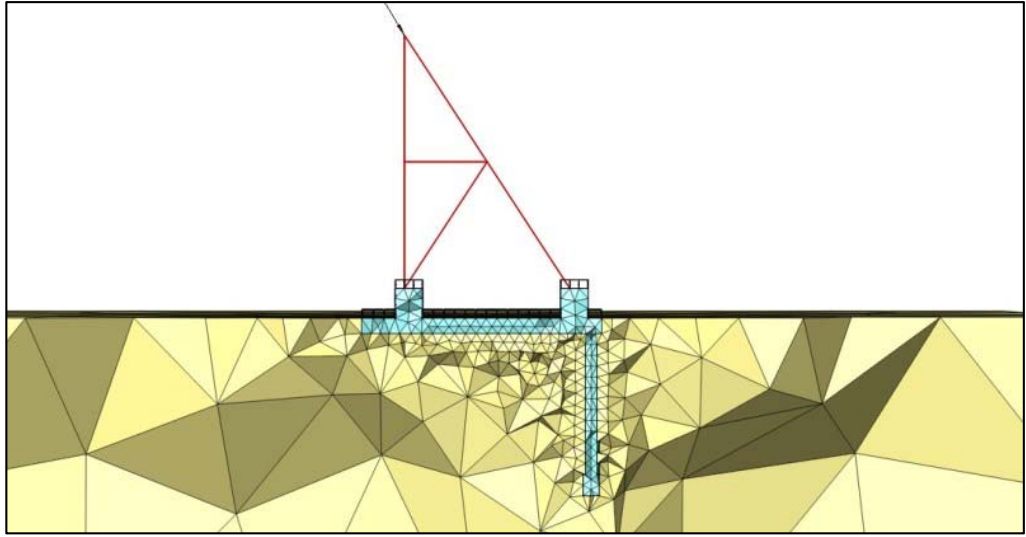


Şekil 5.17 : Yapının çatısından kaynaklanan diyagonal statik yükler.



Şekil 5.18 : 1999 yılı Marmara Depremi'ne ait 30sn'lik deprem kaydı.

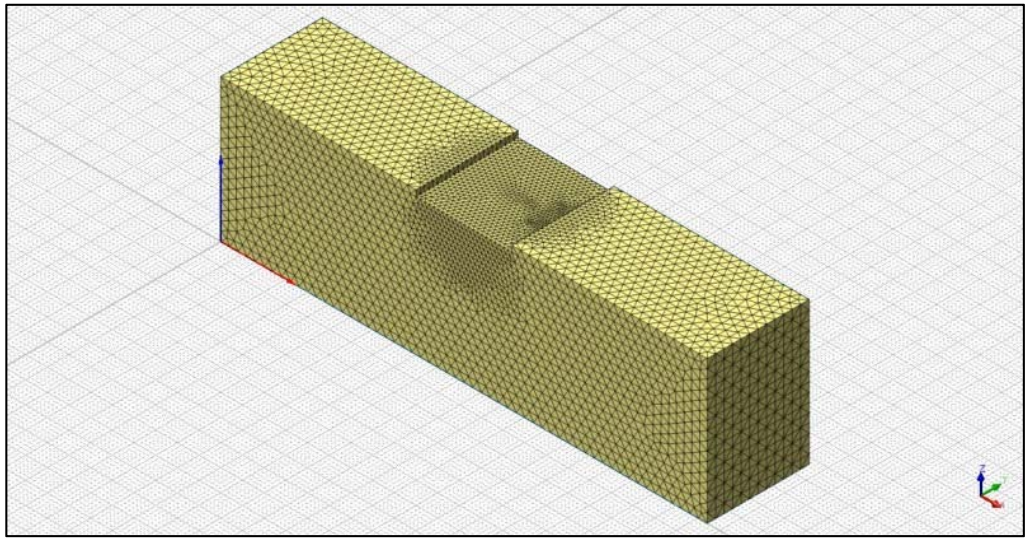
Şekil 5.19'da tam modeli oluşturulan kazıklı radyejeneral temel sisteminin sonlu eleman ağına ait kesit gösterilmiştir. Temel sisteminin davranışı belirleneceği için temel sistemi ve çevresindeki sonlu eleman ağı, modelin kenar bölümlerindeki eleman ağına göre daha sık oluşturulmuştur.



Şekil 5.19 : Tüm sistemin modeline ait sonlu eleman ağı kesiti.

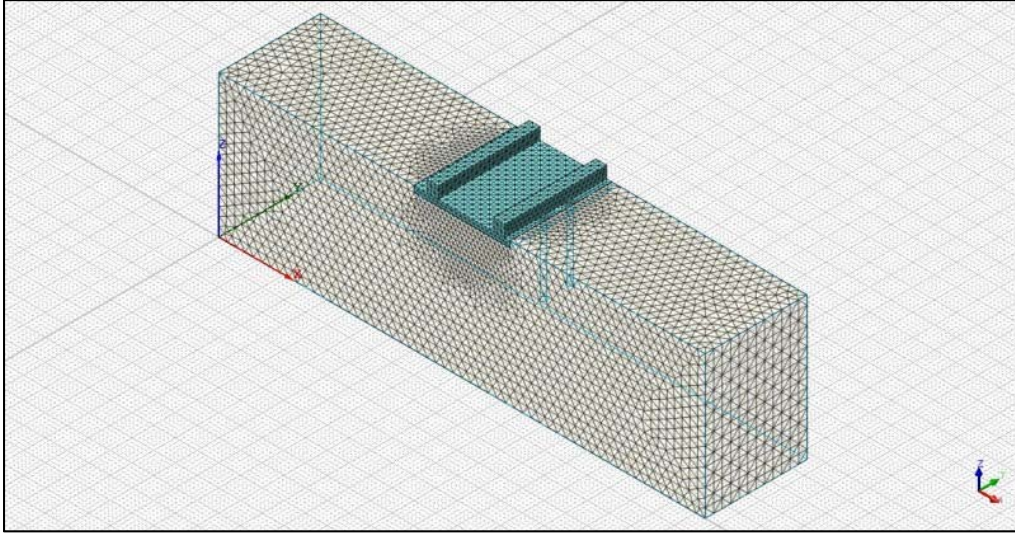
Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası tüm olarak modellendikten sonra temel sisteminin simetrik özelliklerinden yararlanılarak sonlu eleman ağına ait eleman sayısının azaltılması ve analiz sonuçlarına ulaşmadaki geçen srenin kısaltılabilmesi için sadece bir A ereve ve altındaki 2 kazıklı radyejeneral temel sisteminin analizi yapılmıştır. A ereve sistemin modelleme adımları aşağıda belirtilmiştir:

İlk olarak temel sisteminin altındaki zemin modellenmiştir (Şekil 5.20).



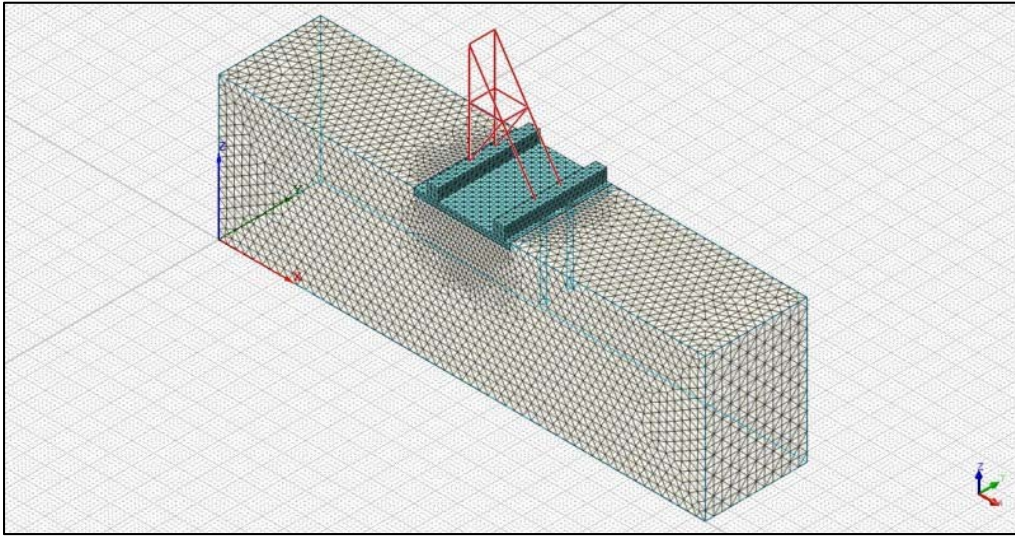
Şekil 5.20 : Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası A ereve altındaki zemin modeli ve sonlu eleman ağı.

Daha sonra A ereve elemanını taşıyacak olan 2 kazıklı radyejeneral temel sistemi modellenmiştir (Şekil 5.21).



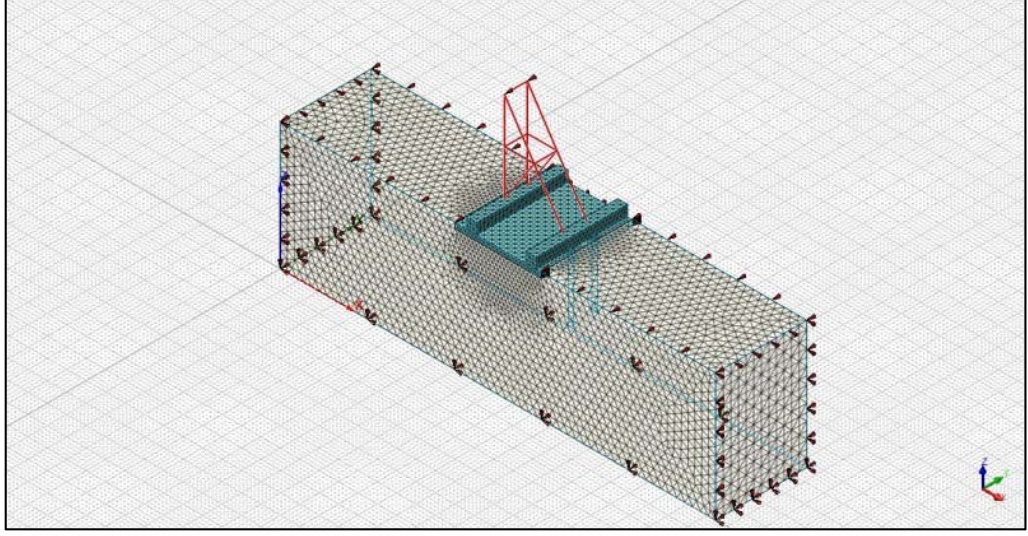
Şekil 5.21 : A çerçeve altındaki radyejeneral temel ve kazıklar modeli ve sonlu eleman ağı.

Üçüncü adımda bina üst yapısını temsil eden A çerçeve modele eklenmiştir (Şekil 5.22).



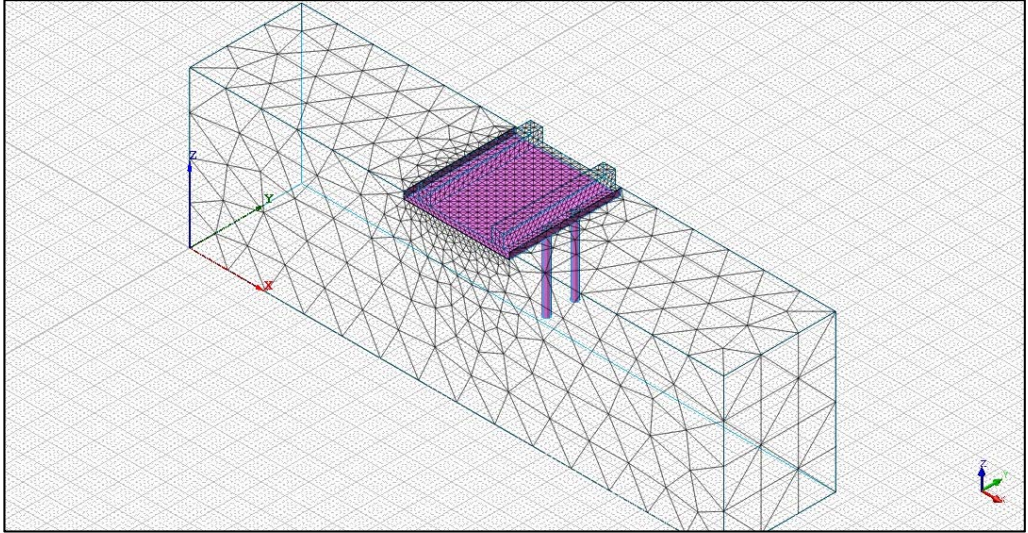
Şekil 5.22 : Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası A çerçeve modeli.

Dördüncü adımda modelin sınır koşulları tanımlanmıştır (Şekil 5.23).

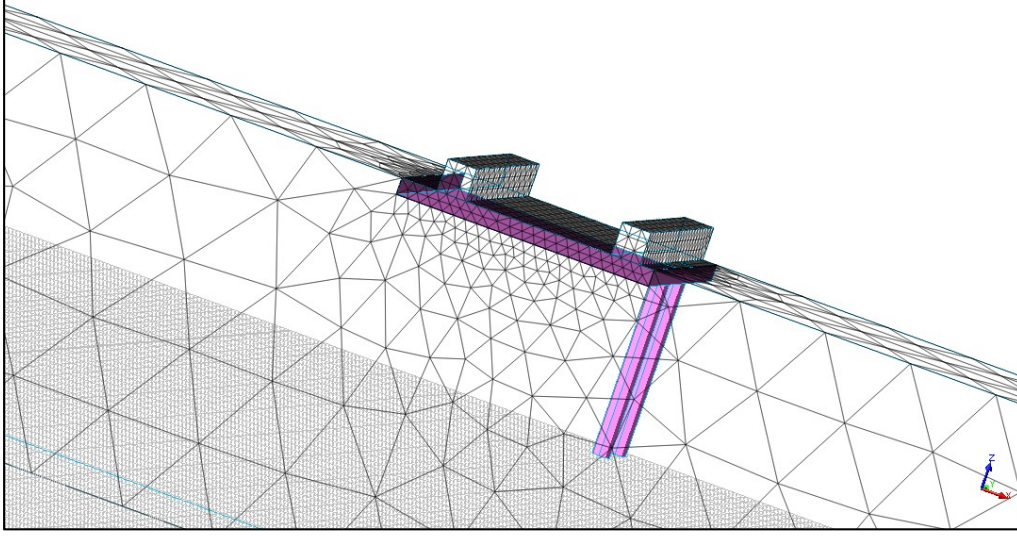


Şekil 5.23 : Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası A çerçeve modeli sınır koşulları.

Beşinci adımda temel sistemi ile zemin arasında arayüz elemanı modellenerek zemin ile radyejeneral temel ve kazık elemanlarının etkileşimi gerçeğe yakın olması hedeflenmiştir (Şekil 5.24, Şekil 5.25).

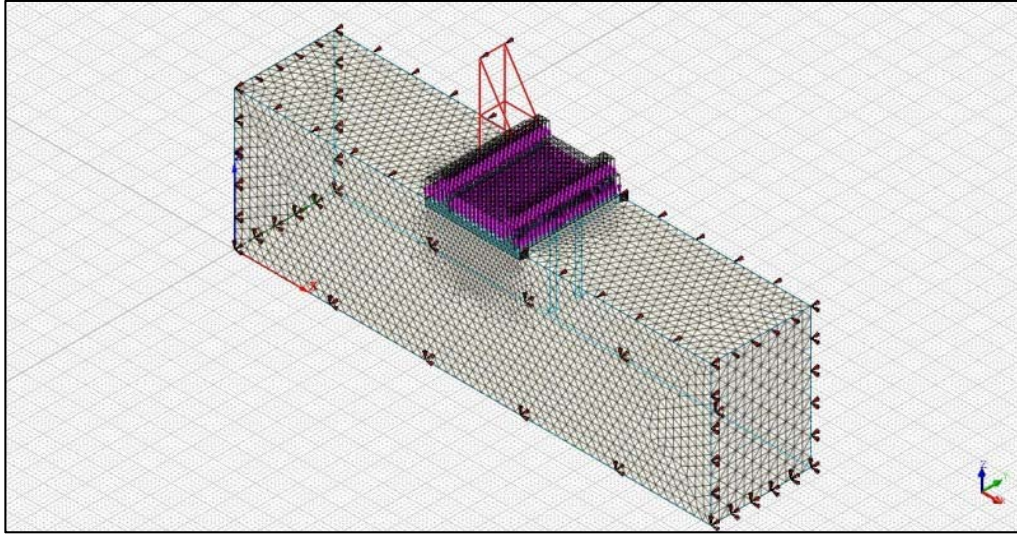


Şekil 5.24 : Arayüz elemanının perspektif görünüşü.



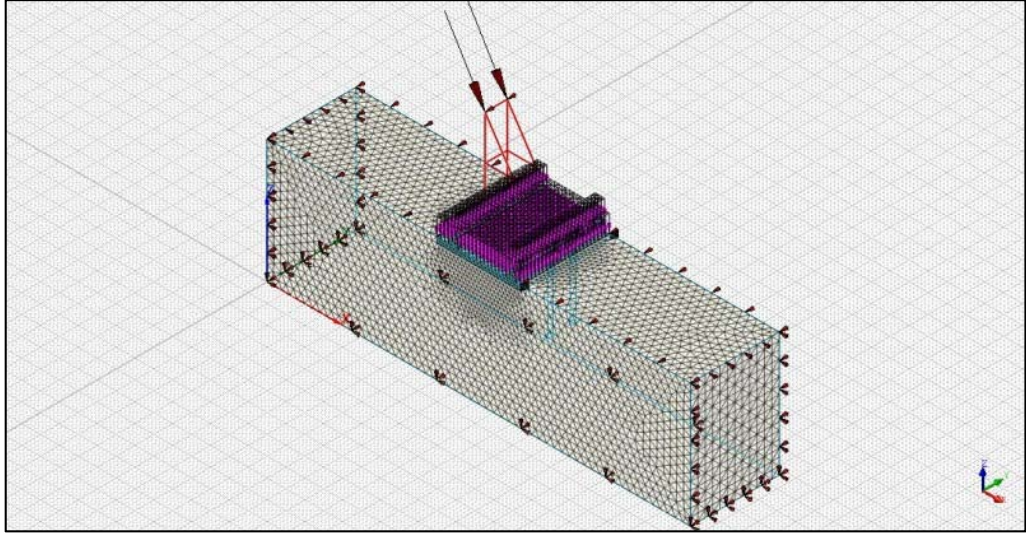
Şekil 5.25 : Arayüz elemanının XZ düzlem görünüşü.

Altıncı adımda yapının kazıklı radyejeneral temeli üzerine inşa edilecek betonarme yapılardan kaynaklanan düşey yayılı yükler tanımlanmıştır (Şekil 5.26).



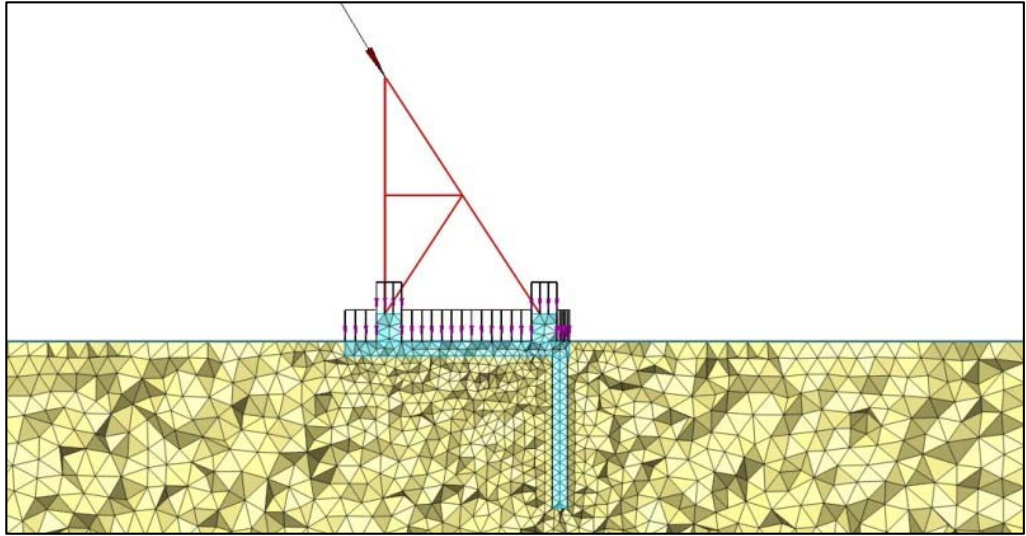
Şekil 5.26 : İnşa edilecek betonarme yapıya ait düşey yayılı yük.

Düşey yayılı yüklere ilave olarak yapının çatı kısmından temel sistemine aktarılan diyagonal statik tekil yükler de temel sistemine aktarılarak temel sisteminin kazıklı radyejeneral temel olarak modeli tamamlanmıştır (Şekil 5.27).



Şekil 5.27 : Yapının çatısından kaynaklanan diyagonal statik yükler.

Modeli oluşturulan kazıklı radyejeneral temel sisteminin son durumdaki sonlu eleman ağı XZ düzlem kesiti Şekil 5.28’de gösterilmiştir. Modele uygulanacak yük kombinasyonu ve analiz çeşitleri Çizelge 5.3 ve 5.4’te tablolaştırılarak ifade edilmiştir.



Şekil 5.28 : Kazıklı radyejeneral temelin XZ düzlem kesiti.

5.4 Frankfurt’taki Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası (Neue Messehalle 3)

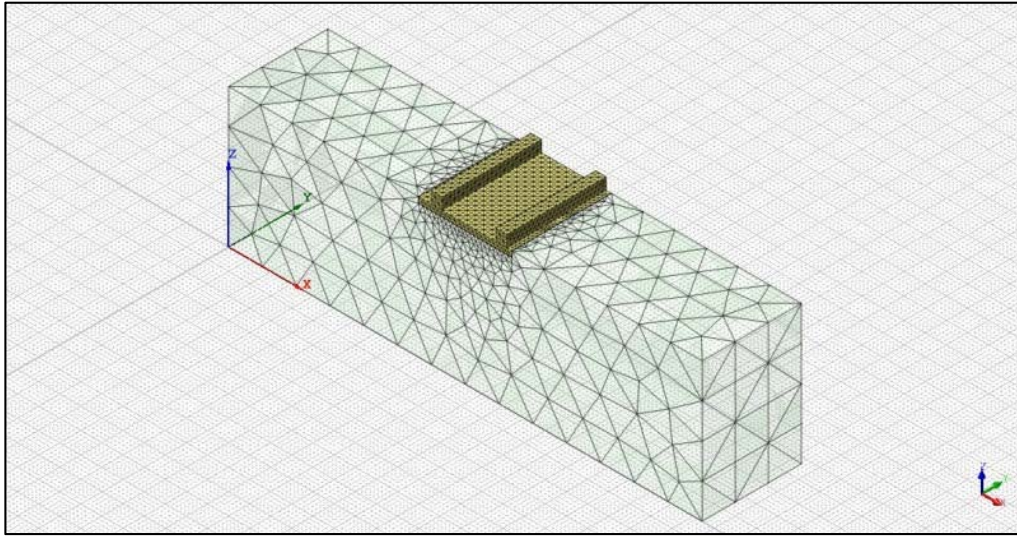
Radyejeneral Temel Sistemine Ait 3 Boyutlu Modelin Oluşturulması

Bu bölümde Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası’na ait temel sisteminin radyejeneral temel olarak modellenmesine ait adımlar anlatılmıştır.

Kazıklı radyejeneral sistemi analizlerinde olduğu gibi bu analizlerde de malzeme parametrelerinde değişiklik yapılmamış Çizelge 5.2’de verilen değerler kullanılmıştır.

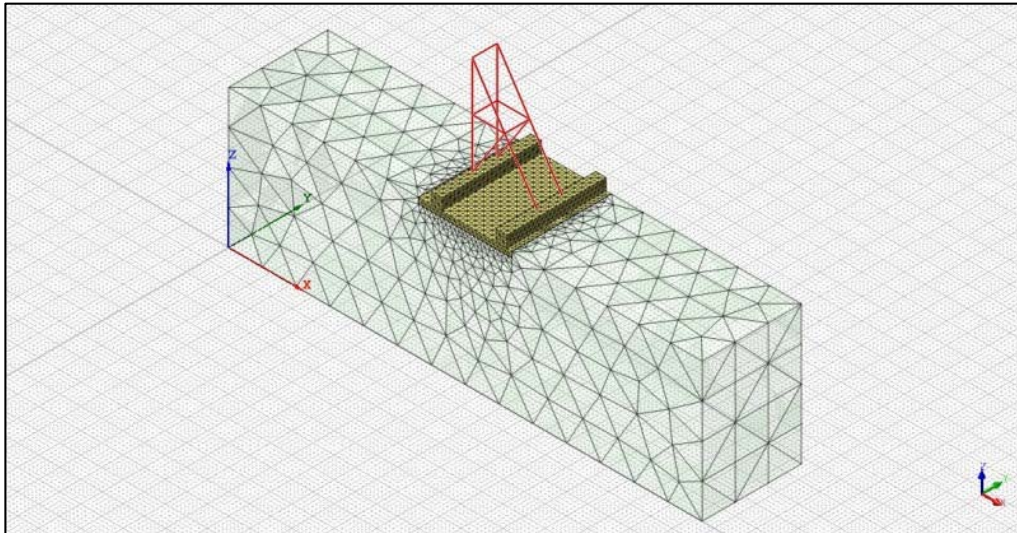
Sistem elemanları A çerçeve ve radyejeneral temel olarak oluşturulmuştur. İlk olarak temel sistemini barındıran zemin 3 boyutlu olarak modellenmiş ve bir önceki analizde de bahsedildiği gibi şekil 5.20’de gösterilmiştir.

İkinci adımda A çerçeve altındaki radyejeneral temel sistemi modellenmiştir (şekil 5.29).



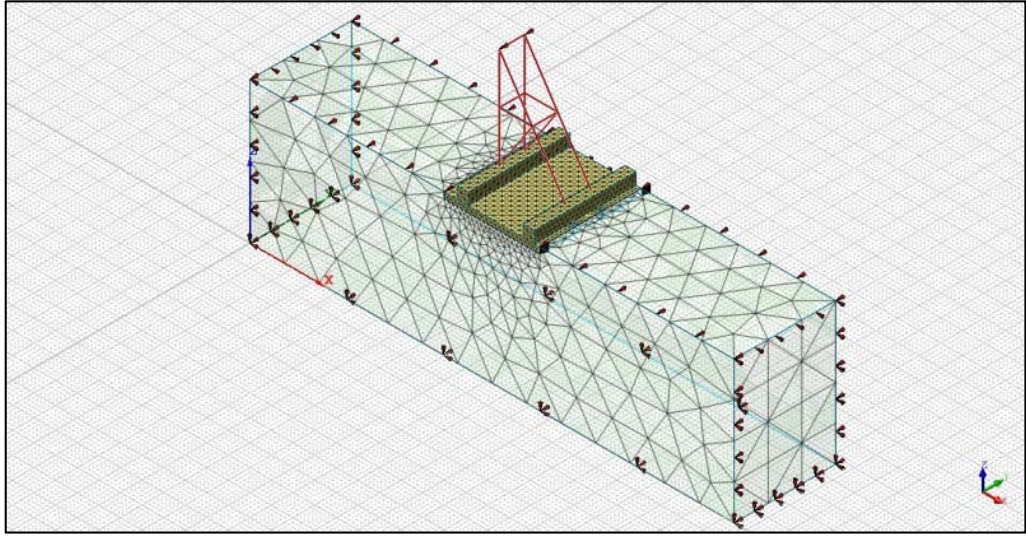
şekil 5.29 : A çerçeve altındaki radyejeneral temel ve sonlu eleman ağı.

Sonraki adımda bina üst yapısını temsil eden A çerçeve modele eklenmiştir (şekil 5.30).



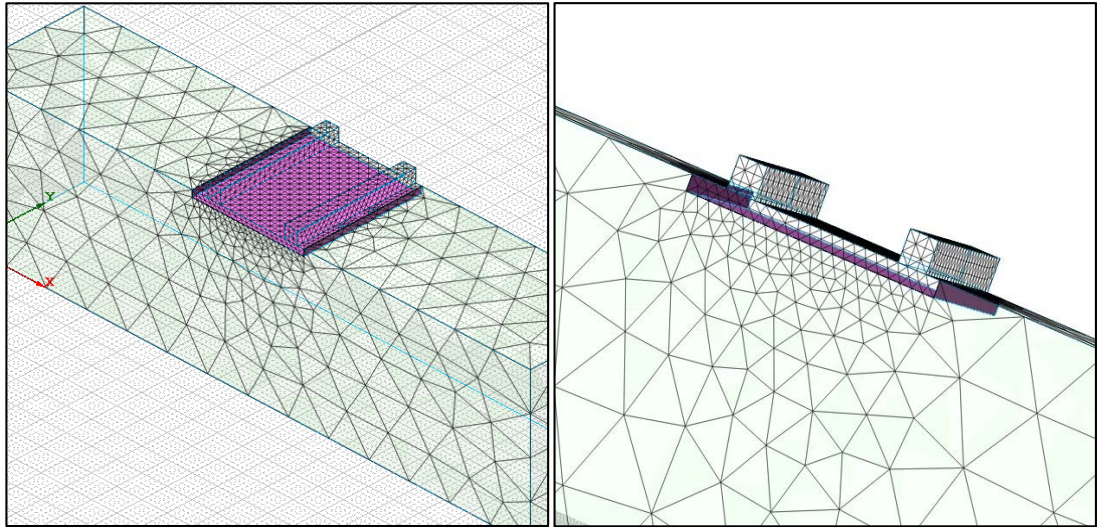
şekil 5.30 : Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası A çerçeve modeli.

Dördüncü adımda modelin sınır koşulları tanımlanmıştır (Şekil 5.31).



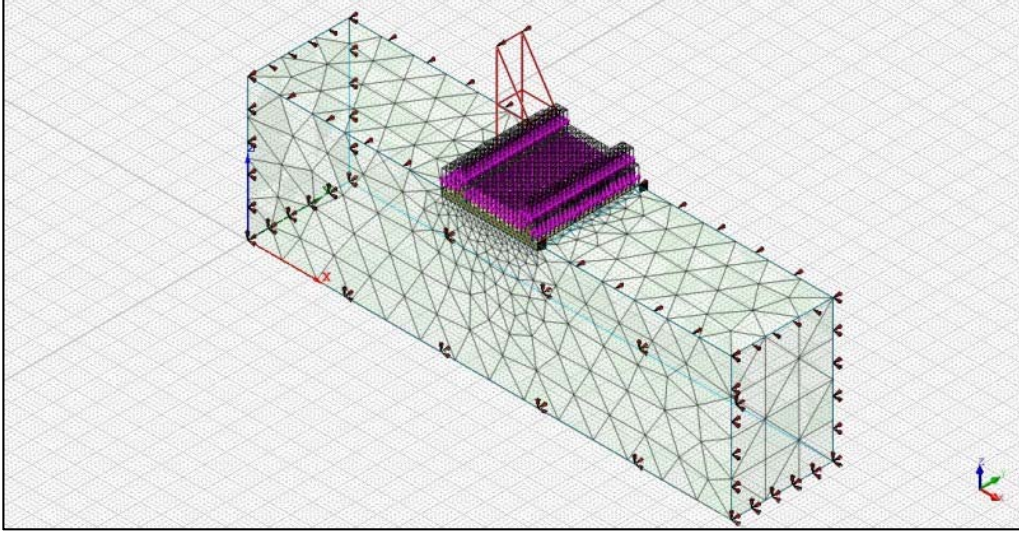
Şekil 5.31 : Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası A çerçeve modeli sınır koşulları.

Beşinci adımda temel sistemi ile zemin arasında oluşacak etkileşimi gerçeye yakın uygulamak için arayüz elemanı modellenmiştir (Şekil 5.32).

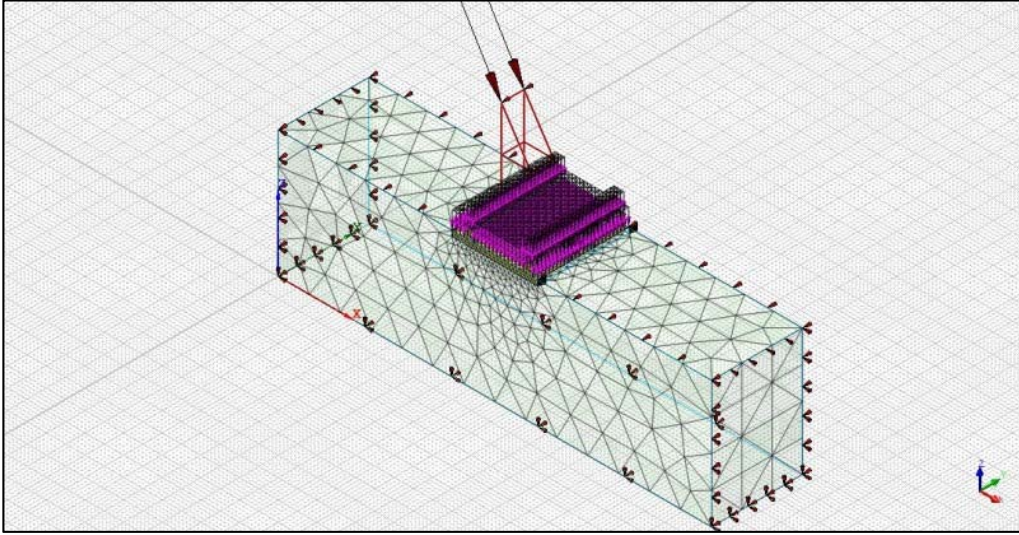


Şekil 5.32 : Arayüz elemanı.

Altıncı adımda sisteme uygulanacak yükler tanımlanmıştır. Yük kombinasyonları önceki analiz ile aynıdır. Betonarma yapılardan kaynaklanan ve radyejeneral temele etkileyen düşey yayılı yük ve yapının çatı yüklerinin oluşturduğu ve A çerçeveye etkileyen diyagonal tekil yükleri içermektedir (Şekil 5.33, Şekil 5.34).

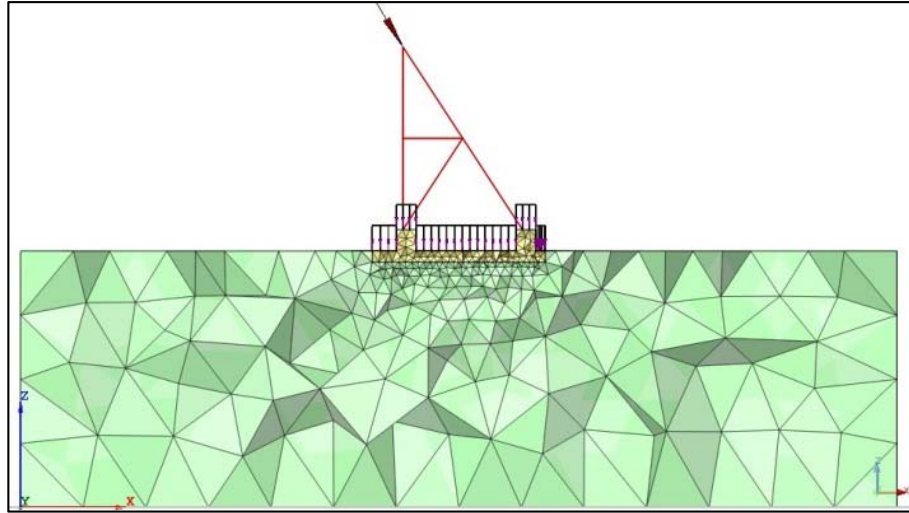


Şekil 5.33 : İnşaa edilecek betonarme yapıya ait düşey yayılı yük.



Şekil 5.34 : Yapının çatısından kaynaklanan diyagonal statik yükler.

Modelleme neticesinde oluşturulan modele ait XZ düzlemine ait sistem kesiti Şekil 5.35'te gösterilmiştir. Kesitten de anlaşılacağı üzere kazıklı radyejeneral temel sistemi ile radyejeneral temel sisteminin farkı kazık elemanlarının radyejeneral temelde bulunmamasıdır. Böylelikle kazık elemanlarının sistem üzerindeki etkilerinin ortaya çıkarılarak sistem davranışı belirlenmiştir.



Şekil 5.35 : Radyejeneral temel sistemi kesiti.

5.5 Frankfurt'taki Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası (Neue Messehalle 3)

Temel Sisteminin Analizine Ait Sonuçlar

Kazıklı radyejeneral temel ile radyejeneral temel için farklı analiz tipleri oluşturulmuştur. Analizler statik yükleme ve dinamik yükleme altında gerçekleştirilmiştir. Her iki yükleme tipi için arayüz elemanının sisteme olan etkisi incelenmiştir. Çizelge 5.3'te LC 1-2-3 yük kombinasyonlarının tanımları verilmiştir.

Çizelge 5.3 : Yük kombinasyonları.

Yük Kombinasyonu	Yük Tipi	Birimi	Değeri
LC1	Sistemin Kendi Ağırlığından doğan etkiler	m/sn ²	9.807
LC2	Düşey Yayıllı Yük	kN/m ²	90
LC3	Tekil Yük-Yatay	kN	4.950
	Tekil Yük-Düşey	kN	8.250

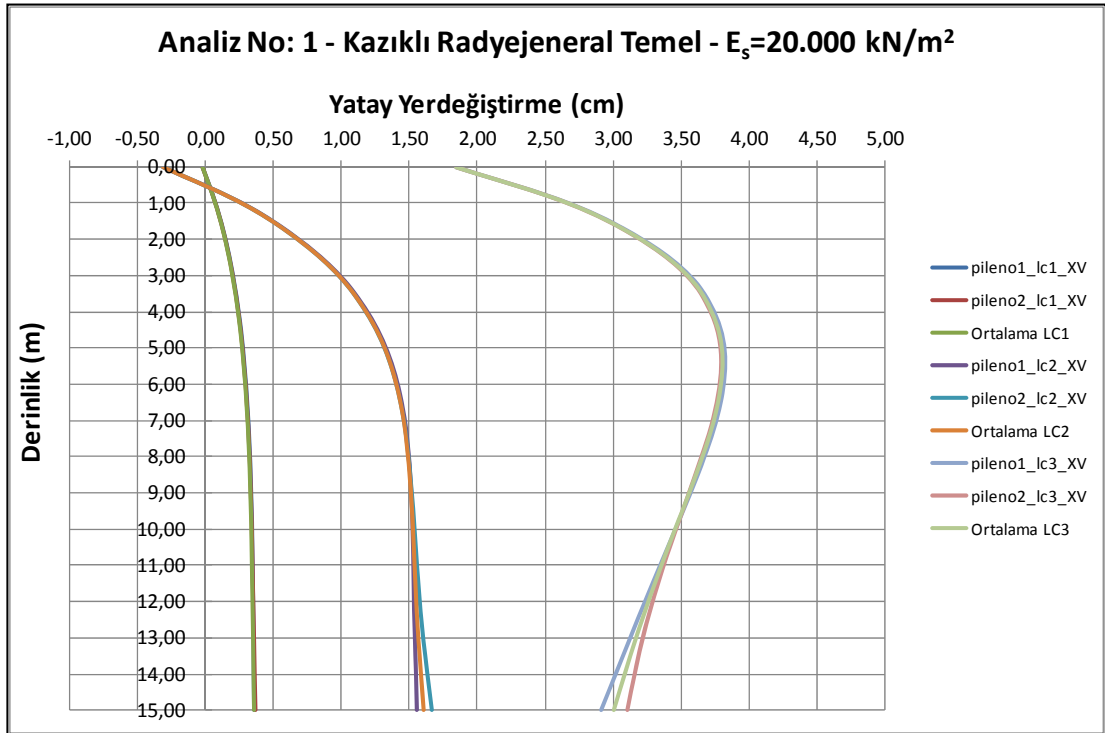
Çizelge 5.4'te gerçekleştirilen analizlerin tipleri, yükleme koşulları, hangi temel tipi için gerçekleştirildikleri, arayüz kullanılıp kullanılmadığı ve arayüz elemanına ait değerler verilmiştir. Sonuçların sunumunda ilk olarak kazıklı radyejeneral temellere ait grafikler verilmiş daha sonra radyejeneral temel sonuçları sunulmuştur.

Çizelge 5.4 : Analiz çeşitleri (Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası).

Analiz No	Analiz Tipi	Yükleme Tipi	Temel Tipi*	Arayüz Durumu	K_n	K_t	E_s (Mpa)
1	Statik	LC 1-2-3	KRJT	Yok	-	-	20
2	Statik	LC 1-2-3	RJT	Yok	-	-	20
3	Statik	LC 1-2-3	KRJT	Var	E _s /10	E _s	20
4	Statik	LC 1-2-3	RJT	Var	E _s /10	E _s	20
5	Statik	LC 1-2-3	KRJT	Var	E _s /100	E _s /10	20
6	Statik	LC 1-2-3	RJT	Var	E _s /100	E _s /10	20
7	Dinamik	Time History	KRJT	Yok	-	-	200
8	Dinamik	Time History	RJT	Yok	-	-	200
9	Dinamik	Time History	KRJT	Var	E _s /10	E _s	200
10	Dinamik	Time History	RJT	Var	E _s /10	E _s	200
11	Dinamik	Time History	KRJT	Var	E _s /100	E _s /10	200
12	Dinamik	Time History	RJT	Var	E _s /100	E _s /10	200

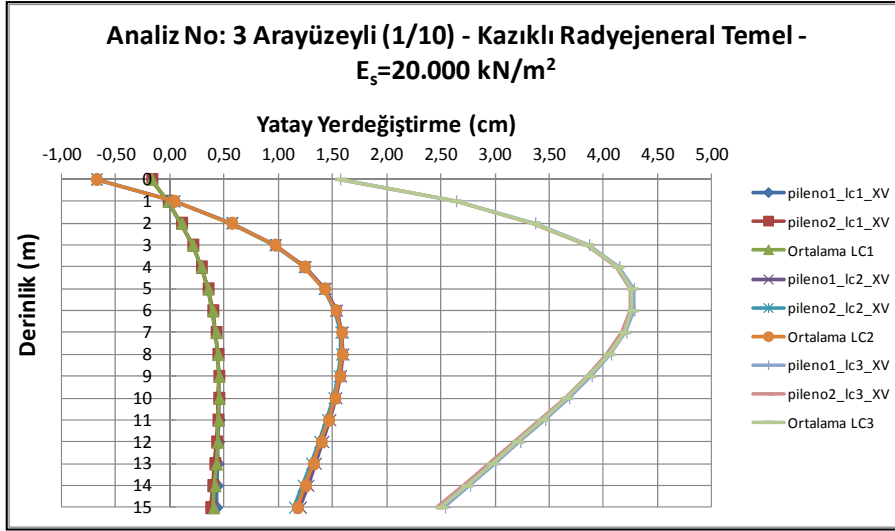
*: KRJT: kazıklı radyejeneral temel, RJT: radyejeneral temel

1 No'lu analizde kazıklı radyejeneral temel sistemi LC 1-2-3 yük kombinasyonları ile statik olarak çözülmüştür. İlk olarak zemin ve temel sisteminin kendi ağırlığından dolayı oluşacak gerilmeler ve oturmalar modelde hesaplanmıştır. Daha sonra üst yapının betonarme elemanlarından kaynaklanan düşey yükler sisteme uygulanmış ve son olarak çatıdan gelen diyagonal tekil yükün yatay ve düşey bişenleri taşıyıcı elemanlara aktarılmıştır. Bu analizde arayüz eleman kullanılmamıştır. Analiz sonucunda elde edilen derinlik değişimine bağlı kazıklardaki yatay yerdeğiştirme eğrisi Şekil 5.36'da gösterilmiştir. 1 ve 2 No'lu kazığın sistemin kendi ağırlığından doğan etkiler altında yaptığı yatay yerdeğiştirmeler düşey yayılı yük altındaki değerler ile karşılaştırıldığında daha azdır. Çatıdan gelen diyagonal tekil yüklerin yatay bileşeni nedeniyle LC3 yük kombinasyonunda yatay yerdeğiştirmeler maksimum değerlerine ulaşmıştır.



Şekil 5.36 : Analiz No 1 yatay yerdeğiştirme eğrisi.

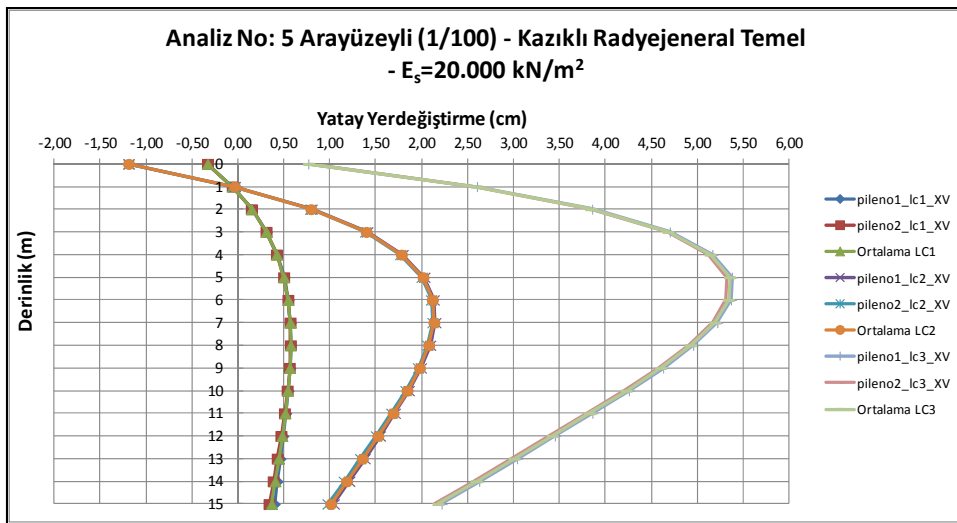
3 No'lu analizde arayüz tanımlı kazıklı radyejeneral temel sistemi statik olarak LC 1-2-3 yük kombinasyonları ile çözülmüştür. Arayüze ait Elastisite Modülü, kazık boyunca düşey yönde zeminin Elastisite Modülü'nün 1/10'u, kazık boyunca yatay yönde ise zeminin Elastisite Modülü'ne eşit olarak seçilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen derinlik değişimine bağlı olarak kazıklardaki yatay yerdeğiştirme eğrisi Şekil 5.37'de gösterilmiştir.



Şekil 5.37 : Analiz No 3 yatay yerdeğiştirme eğrisi.

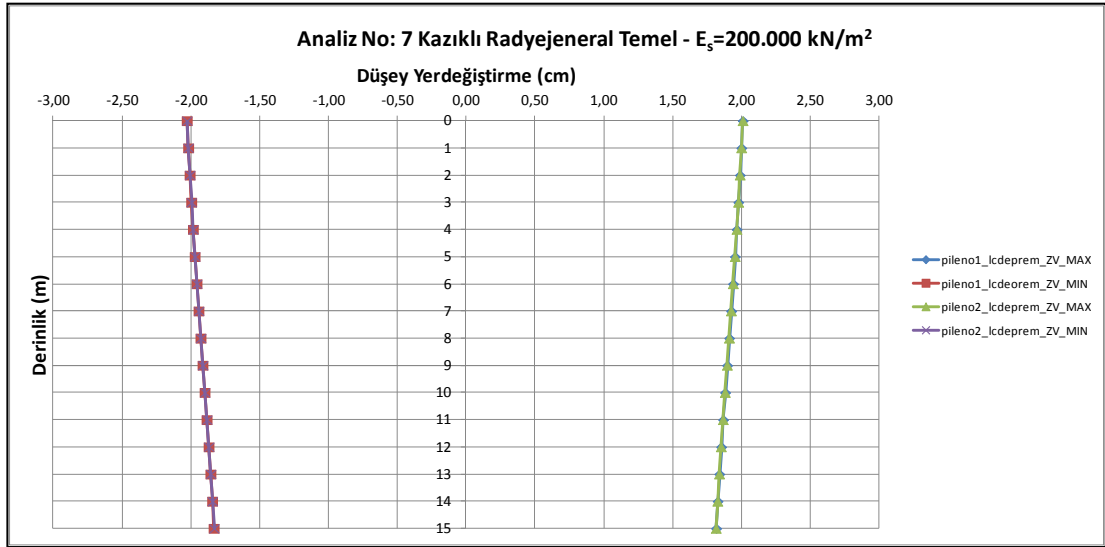
Arayüz elemanına ait malzeme özellikleri zeminin Elastisite Modülü'nün 1/10'u seçilmesi durumunda tüm yük kombinasyonları için kazıklarda meydana gelen yatay deformasyonlarda artış gözlenmiştir.

5 No'lu analizde arayüz elemanı tanımlı kazıklı radyejeneral temel sistemi statik olarak LC 1-2-3 yük kombinasyonları ile çözülmüştür. Analiz No 3'ten farklı olarak arayüze ait malzeme özellikleri kazık düşey doğrultusunda zeminin elastisite modülünün 1/100'ü, kazık yüzeyine dik olacak doğrultuda ise zemin Elastisite Modülü'nün 1/10'u olacak şekilde modellenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen derinlik değişimine bağlı kazıklardaki yatay yerdeğiştirme eğrisi Şekil 5.38'de gösterilmiştir. Arayüz elemanının etkisi azaldıkça kazıklarda meydana gelen yatay yerdeğiştirmelerde artış gözlenmektedir.

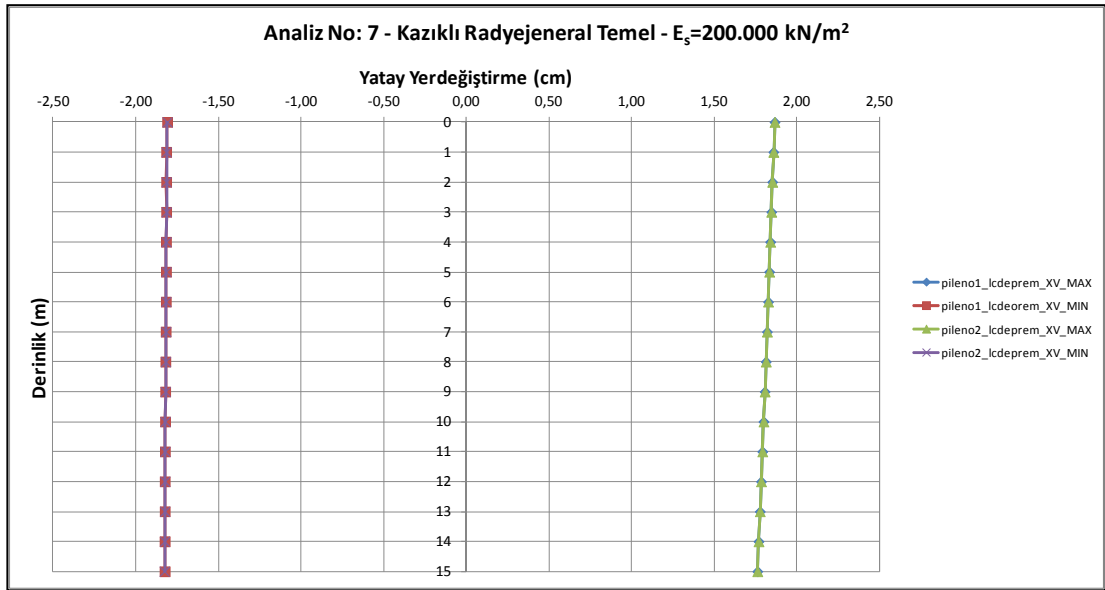


Şekil 5.38 : Analiz No 5 yatay yerdeğiştirme eğrisi.

7 No'lu analizde kazıklı radyejeneral temel sistemi ilk olarak LC 1-2-3 yük kombinasyonları etkisi altında çözülmüş ve yük kombinasyonuna ilave olarak dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizlerde (time history) zeminin Elastisite Modülü 200.000 kN/m^2 olacak şekilde göz önüne alınmıştır. Analiz sonucunda elde edilen derinlik değişimine bağlı kazıklardaki düşey yerdeğiştirme eğrisi Şekil 5.39'da, yatay yerdeğiştirme eğrisi de Şekil 5.40'da gösterilmiştir. Bu eğrilerde gösterilen değerler 30 sn'lik dinamik analiz boyunca ilgili derinliklerde belirlenen maksimum düşey ve yatay yerdeğiştirmelerdir.



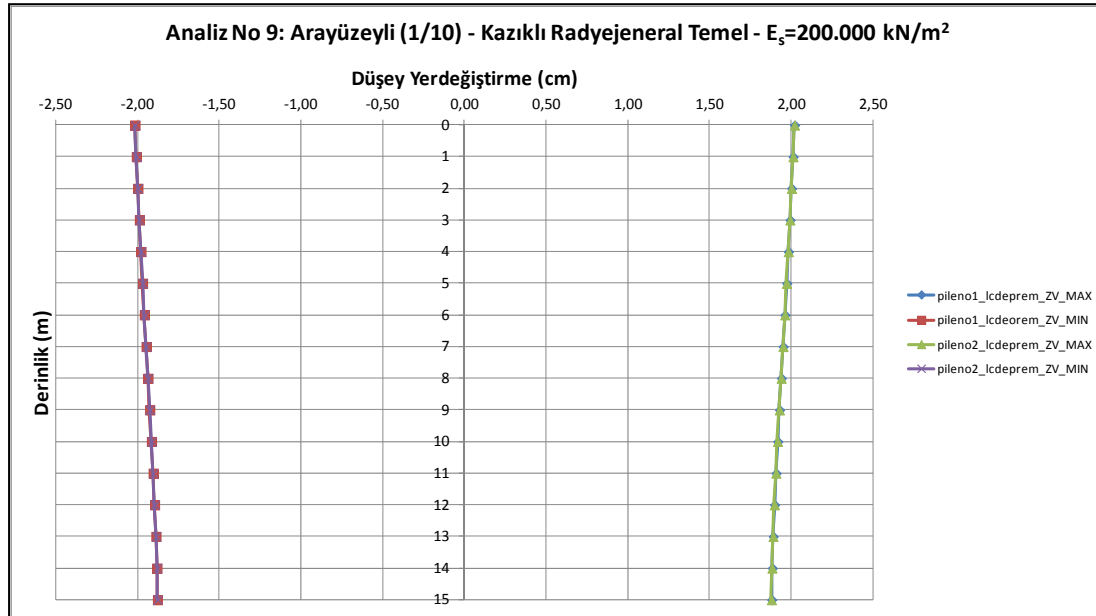
Şekil 5.39 : Analiz No 7 düşey yerdeğiştirme eğrisi.



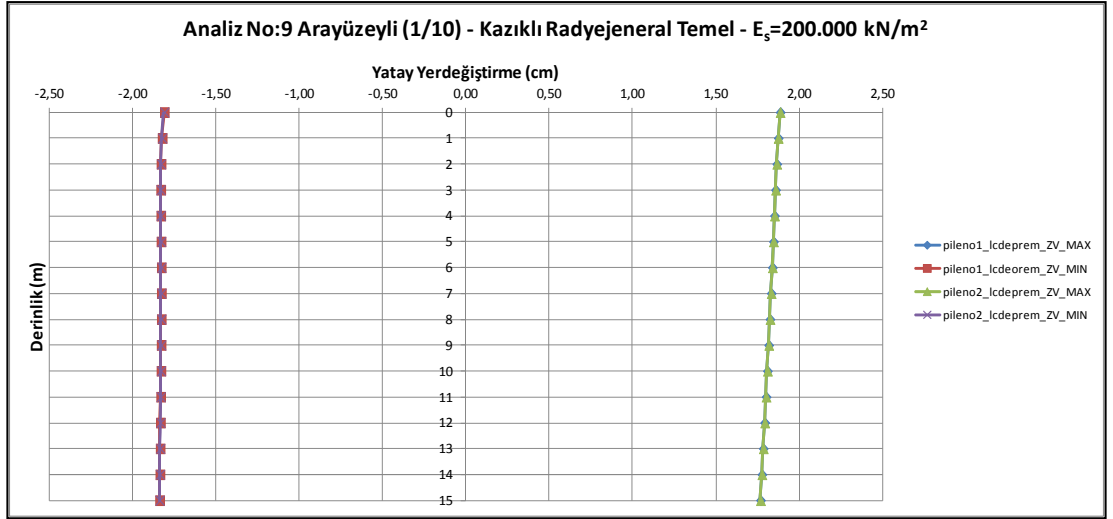
Şekil 5.40 : Analiz No 7 yatay yerdeğiştirme eğrisi.

Şekil 5.39’da görülebileceği gibi düşey yerdeğiştirmede kazık başlarında meydana gelen düşey yerdeğiştirmeler kazık alt ucuna göre daha fazla gerçekleşmektedir. Yatay yerdeğiştirmelerde ise +X yönünde gerçekleşen yatay yerdeğiştirmelerde kazık başları kazık alt uçlarına göre daha fazla yatay yerdeğiştirmeye sahipken –x yönünde kazık başları ve uçlarındaki yatay yerdeğiştirmeler birbirlerine yakın sonuçlar vermiştir.

9 No’lu analizde arayüz tanımlı kazıklı radyejeneral temel sistemi LC 1-2-3 yük kombinasyonları etkisi altında çözülmüş ve yük kombinasyonuna ilave olarak dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Arayüze ait malzeme özellikleri kazık boyunca düşey yönde zeminin Elastisite Modülü’nün 1/10’u, kazık düşey doğrultusuna dik yönde ise zeminin Elastisite Modülü’ne eşit olarak modellenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen derinlik değişimine bağlı kazıklardaki düşey yerdeğiştirme eğrisi Şekil 5.41’de, yatay yerdeğiştirme eğrisi de Şekil 5.42’de gösterilmiştir. Bu eğrilerde gösterilen değerler 30 sn’lik dinamik analiz boyunca ilgili derinliklerde belirlenen maksimum yatay yerdeğiştirmelerdir.

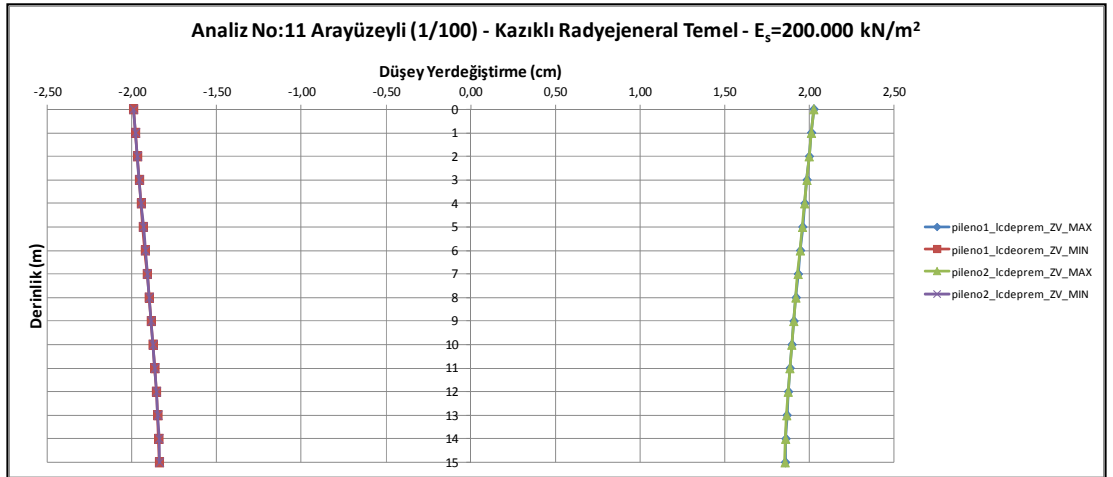


Şekil 5.41 : Analiz No 9 düşey yerdeğiştirme eğrisi.

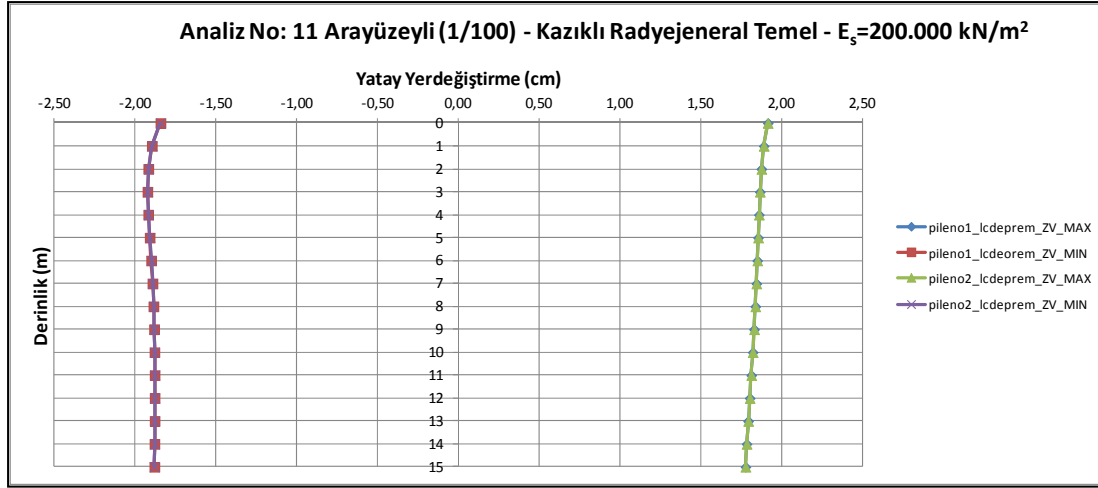


Şekil 5.42 : Analiz No 9 yatay yerdeğiştirme eğrisi.

11 No'lu analizde arayüz tanımlı kazıklı radyejeneral temel sistemi LC 1-2-3 yük kombinasyonları etkisi altında çözülmüş ve yük kombinasyonuna ilave olarak dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Arayüze ait malzeme özellikleri kazık boyunca düşey yönde zeminin Elastisite Modülü'nün 1/100'u, kazık düşey doğrultusuna dik yönde ise zeminin Elastisite Modülü'nün 1/10'u olacak şekilde modellenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen derinlik değişimine bağlı kazıklardaki düşey yerdeğiştirme eğrisi Şekil 5.43'te, yatay yerdeğiştirme eğrisi de Şekil 5.44'te gösterilmiştir. Bu eğrilerde gösterilen değerler 30 sn'lik dinamik analiz boyunca ilgili derinliklerde belirlenen maksimum yatay yerdeğiştirmelerdir.



Şekil 5.43 : Analiz No 11 düşey yerdeğiştirme eğrisi.



Şekil 5.44 : Analiz No 11 yatay yerdeğiştirme eğrisi.

7, 9 ve 11 No'lu analiz sonuçları karşılaştırıldığında dinamik analiz sırasında kazıklarda oluşan rölatif düşey ve yatay yerdeğiştirmeler farklı arayüz oranları altında birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Fakat statik yük altında kazıkların yatay yerdeğiştirmeleri incelediğinde arayüz elemanının etkisi açıkça gözükmemektedir.

1, 3, 5, 7, 9 ve 11 No'lu analizlerde kazıklarda meydana gelen düşey ve yatay yerdeğiştirmeler yukarıdaki şekillerde özetlenmiştir. Bu analizler için radyejeneral temelde meydana gelen yer değiştirmeler ise Çizelge 5.5, 5.6 ve 5.7'de gösterilmiştir.

1, 3, 5, 7, 9 ve 11 No'lu analizler için yatay yerdeğiştirme değerleri karşılaştırıldığında kazıklı radyejeneral temel sisteminde radyejeneral temelde oluşan yatay yer değiştirme arayüz elemanının Elastisite Modülü'nün azalmasıyla hem statik yükleme koşulunda hem de dinamik analizde artmaktadır. 1, 3, 5, 7, 9 ve 11 No'lu analizler kendi içlerinde karşılaştırıldığında zaman kazıklı radyejeneral temel sisteminde radyejeneral temelde oluşan düşey yer değiştirme arayüz elemanının Elastisite Modülü'nün azalmasıyla hem statik yükleme koşulunda hem de dinamik analizde durumunda artmaktadır.

2, 4, 6, 8, 10 ve 12 No'lu analizler için yatay yerdeğiştirme değerleri karşılaştırıldığında radyejeneral temelde oluşan yatay yer değiştirme arayüz elemanının Elastisite Modülü'nün azalmasıyla hem statik yükleme koşulunda hem de dinamik analizde artmaktadır. 2, 4, 6, 8, 10 ve 12 No'lu analizler kendi içlerinde karşılaştırıldığında zaman radyejeneral temelde oluşan düşey yer değiştirme arayüz elemanının Elastisite Modülü'nün azalmasıyla hem statik yükleme koşulunda hem de dinamik analiz durumunda artmaktadır.

Çizelge 5.5 : Analiz No 1 ve Analiz No 7 için radyejeneral temeldeki düşey ve yatay yerdeğiştirmeler (kazıklı sistem).

		Düşey Yerdeğiştirme, m (Z yönünde)										
	Node Number	Köşe 1	Köşe 27	Köşe 190	Köşe 72	Kenar ortası 39	Kenar ortası 701	Kenar ortası 265	Kenar ortası 61	Orta 926	Ortalama Oturma (m)	Ortalama Oturma (cm)
LC1	Es=20000 kN/m2	-0,05029	-0,05024	-0,03579	-0,03583	-0,05070	-0,04983	-0,03537	-0,04687	-0,04689	-0,0446	-4,4645
LC2	Es=20000 kN/m2	-0,60363	-0,60308	-0,51260	-0,51294	-0,60427	-0,59456	-0,50898	-0,57592	-0,57510	-0,5657	-56,5673
LC3	Es=20000 kN/m2	-1,16050	-1,15948	-1,02514	-1,02581	-1,16151	-1,14947	-1,01903	-1,12293	-1,12148	-1,1050	-110,5040
Time Response (max)	Es=200000 kN/m2	0,02335	0,02331	0,02063	0,02063	0,02353	0,02342	0,02004	0,02277	0,02273	0,0223	2,2268
Time Response (min)	Es=200000 kN/m2	-0,02327	-0,02322	-0,02052	-0,02054	-0,02351	-0,02327	-0,01995	-0,02242	-0,02240	-0,0221	-2,2123
		Yatay Yerdeğiştirme, m (X yönünde)										
	Node Number	Köşe 1	Köşe 27	Köşe 190	Köşe 72	Kenar ortası 39	Kenar ortası 701	Kenar ortası 265	Kenar ortası 61	Orta 926	Ortalama Yerdeğiş.(m)	Ortalama Yerdeğiş.(cm)
LC1	Es=20000 kN/m2	-0,00098	-0,00097	-0,00022	-0,00022	-0,00096	-0,00080	-0,00022	-0,00053	-0,00050	-0,0006	-0,0600
LC2	Es=20000 kN/m2	-0,00589	-0,00585	-0,00259	-0,00258	-0,00578	-0,00528	-0,00253	-0,00406	-0,00393	-0,0043	-0,4275
LC3	Es=20000 kN/m2	0,01322	0,01330	0,01878	0,01881	0,01344	0,01430	0,01907	0,01639	0,01665	0,0160	1,5994
Time Response (max)	Es=200000 kN/m2	0,01874	0,01874	0,01870	0,01870	0,01874	0,01873	0,01867	0,01872	0,01871	0,0187	1,8716
Time Response (min)	Es=200000 kN/m2	-0,01804	-0,01804	-0,01806	-0,01806	-0,01804	-0,01806	-0,01808	-0,01807	-0,01809	-0,0181	-1,8059

Çizelge 5.6 : Analiz No 3 ve Analiz No 9 için radyejeneral temeldeki düşey ve yatay yerdeğiştirmeler (kazıklı ve arayüzlü sistem).

		Düşey Yerdeğiştirme, m (Z yönünde)										
	Node Number	Köşe 1	Köşe 27	Köşe 190	Köşe 72	Kenar ortası 39	Kenar ortası 701	Kenar ortası 265	Kenar ortası 61	Orta 926	Ortalama Oturma (m)	Ortalama Oturma (cm)
LC1	Es=20000 kN/m2	-0,07292	-0,07254	-0,04573	-0,04606	-0,07328	-0,06978	-0,04560	-0,06363	-0,06337	-0,0614	-6,1433
LC2	Es=20000 kN/m2	-0,67965	-0,67836	-0,54232	-0,54327	-0,68004	-0,66131	-0,53853	-0,63141	-0,62962	-0,6205	-62,0501
LC3	Es=20000 kN/m2	-1,28751	-1,28537	-1,08395	-1,08546	-1,28815	-1,26346	-1,07731	-1,22068	-1,21766	-1,2011	-120,1063
Time Response (max)	Es=200000 kN/m2	0,02581	0,02574	0,02044	0,02046	0,02625	0,02574	0,01977	0,02429	0,02428	0,0236	2,3641
Time Response (min)	Es=200000 kN/m2	-0,02579	-0,02571	-0,02053	-0,02056	-0,02625	-0,02594	-0,01987	-0,02461	-0,02461	-0,0238	-2,3762
		Yatay Yerdeğiştirme, m (X yönünde)										
	Node Number	Köşe 1	Köşe 27	Köşe 190	Köşe 72	Kenar ortası 39	Kenar ortası 701	Kenar ortası 265	Kenar ortası 61	Orta 926	Ortalama Yerdeğiş.(m)	Ortalama Yerdeğiş.(cm)
LC1	Es=20000 kN/m2	-0,00243	-0,00244	-0,00150	-0,00151	-0,00247	-0,00228	-0,00168	-0,00192	-0,00196	-0,0020	-0,2020
LC2	Es=20000 kN/m2	-0,01034	-0,01031	-0,00628	-0,00634	-0,01040	-0,00977	-0,00672	-0,00823	-0,00822	-0,0085	-0,8511
LC3	Es=20000 kN/m2	0,00946	0,00953	0,01631	0,01621	0,00940	0,01048	0,01588	0,01314	0,01324	0,0126	1,2628
Time Response (max)	Es=200000 kN/m2	0,01897	0,01896	0,01887	0,01887	0,01896	0,01895	0,01884	0,01891	0,01890	0,0189	1,8914
Time Response (min)	Es=200000 kN/m2	-0,01800	-0,01800	-0,01811	-0,01811	-0,01798	-0,01803	-0,01810	-0,01808	-0,01809	-0,0181	-1,8056

Çizelge 5.7 : Analiz No 5 ve Analiz No 11 için radyejeneral temeldeki düşey ve yatay yerdeğiştirmeler (kazıklı ve arayüzlü sistem).

Düşey Yerdeğiştirme, m (Z yönünde)												
	Node Number	Köşe 1	Köşe 27	Köşe 190	Köşe 72	Kenar ortası 39	Kenar ortası 701	Kenar ortası 265	Kenar ortası 61	Orta 926	Ortalama Oturma (m)	Ortalama Oturma (cm)
LC1	Es=20000 kN/m2	-0,09894	-0,09826	-0,04797	-0,04859	-0,09915	-0,09334	-0,04779	-0,08233	-0,08172	-0,0776	-7,7565
LC2	Es=20000 kN/m2	-0,77348	-0,77144	-0,55446	-0,55606	-0,77346	-0,74811	-0,54982	-0,70248	-0,69944	-0,6810	-68,0971
LC3	Es=20000 kN/m2	-1,45161	-1,44831	-1,10849	-1,11098	-1,45157	-1,41670	-1,09993	-1,34785	-1,34258	-1,3087	-130,8670
Time Response (max)	Es=200000 kN/m2	0,03022	0,03010	0,01977	0,01980	0,03093	0,03267	0,01876	0,03138	0,03126	0,0272	2,7209
Time Response (min)	Es=200000 kN/m2	-0,02991	-0,02978	-0,01999	-0,02004	-0,03056	-0,03287	-0,01895	-0,03204	-0,03186	-0,0273	-2,7332
Yatay Yerdeğiştirme, m (X yönünde)												
	Node Number	Köşe 1	Köşe 27	Köşe 190	Köşe 72	Kenar ortası 39	Kenar ortası 701	Kenar ortası 265	Kenar ortası 61	Orta 926	Ortalama Yerdeğiş. (m)	Ortalama Yerdeğiş. (cm)
LC1	Es=20000 kN/m2	-0,00479	-0,00479	-0,00297	-0,00299	-0,00482	-0,00447	-0,00323	-0,00372	-0,00375	-0,0039	-0,3949
LC2	Es=20000 kN/m2	-0,01858	-0,01852	-0,01094	-0,01101	-0,01862	-0,01741	-0,01169	-0,01434	-0,01430	-0,0150	-1,5044
LC3	Es=20000 kN/m2	-0,00434	-0,00422	0,00905	0,00891	-0,00436	-0,00226	0,00805	0,00315	0,00330	0,0019	0,1919
Time Response (max)	Es=200000 kN/m2	0,01952	0,01952	0,01916	0,01916	0,01952	0,01947	0,01916	0,01933	0,01932	0,0193	1,9349
Time Response (min)	Es=200000 kN/m2	-0,01793	-0,01793	-0,01852	-0,01852	-0,01793	-0,01793	-0,01843	-0,01818	-0,01819	-0,0182	-1,8173

Çizelge 5.8 : Analiz No 2 ve Analiz No 8 için radyejeneral temeldeki düşey ve yatay yerdeğiştirmeler (kazıksız sistem).

Düşey Yerdeğiştirme, m (Z yönünde)												
	Node Number	Köşe 20499	Köşe 20381	Köşe 20359	Köşe 20521	Kenar ortası 20577	Kenar ortası 20370	Kenar ortası 20598	Kenar ortası 20510	Orta 21255	Ortalama Oturma (m)	Ortalama Oturma (cm)
LC1	Es=20000 kN/m2	-0,04718	-0,04720	-0,08609	-0,08587	-0,04766	-0,05559	-0,08811	-0,06655	-0,06694	-0,0657	-6,5687
LC2	Es=20000 kN/m2	-0,59628	-0,59590	-0,63246	-0,63221	-0,59708	-0,61173	-0,63474	-0,62288	-0,62301	-0,6163	-61,6254
LC3	Es=20000 kN/m2	-1,14743	-1,14671	-1,23139	-1,23105	-1,14871	-1,19173	-1,23568	-1,20302	-1,20628	-1,1936	-119,3557
Time Response (max)	Es=200000 kN/m2	0,02343	0,02339	0,02258	0,02258	0,02360	0,02342	0,02268	0,02343	0,02342	0,0232	2,3169
Time Response (min)	Es=200000 kN/m2	-0,02337	-0,02333	-0,02269	-0,02269	-0,02357	-0,02349	-0,02283	-0,02351	-0,02352	-0,0232	-2,3221
Yatay Yerdeğiştirme, m (X yönünde)												
	Node Number	Köşe 20499	Köşe 20381	Köşe 20359	Köşe 20521	Kenar ortası 20577	Kenar ortası 20370	Kenar ortası 20598	Kenar ortası 20510	Orta 21255	Ortalama Yerdeğiş. (m)	Ortalama Yerdeğiş. (cm)
LC1	Es=20000 kN/m2	0,00182	0,00182	0,00193	0,00193	0,00182	0,00195	0,00186	0,00191	0,00187	0,0019	0,1879
LC2	Es=20000 kN/m2	0,00098	0,00099	0,00274	0,00276	0,00104	0,00197	0,00266	0,00196	0,00203	0,0019	0,1902
LC3	Es=20000 kN/m2	0,02454	0,02455	0,02734	0,02736	0,02464	0,02618	0,02733	0,02619	0,02634	0,0260	2,6050
Time Response (max)	Es=200000 kN/m2	0,01855	0,01855	0,01852	0,01852	0,01855	0,01853	0,01850	0,01853	0,01853	0,0185	1,8531
Time Response (min)	Es=200000 kN/m2	-0,01802	-0,01802	-0,01800	-0,01800	-0,01801	-0,01803	-0,01800	-0,01803	-0,01803	-0,0180	-1,8015

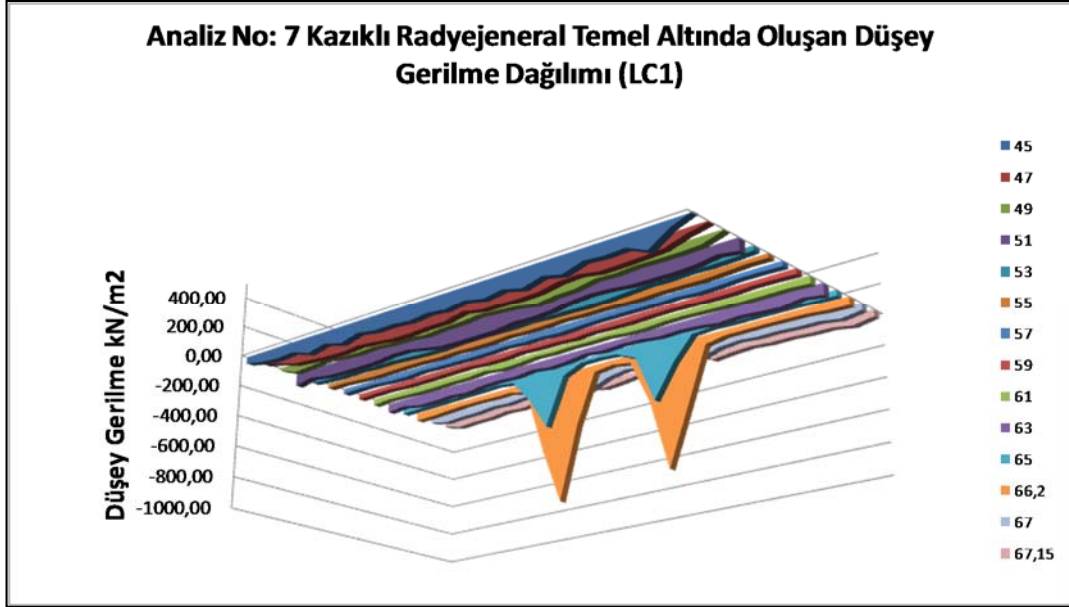
Çizelge 5.9 : Analiz No 4 ve Analiz No 10 için radyejeneral temeldeki düşey ve yatay yerdeğiştirmeler (kazıksız ve arayüzlü sistem).

Düşey Yerdeğiştirme, m (Z yönünde)												
	Node Number	Köşe 20499	Köşe 20381	Köşe 20359	Köşe 20521	Kenar ortası 20577	Kenar ortası 20370	Kenar ortası 20598	Kenar ortası 20510	Orta 21255	Ortalama Oturma (m)	Ortalama Oturma (cm)
LC1	Es=20000 kN/m2	-0,06593	-0,06576	-0,10297	-0,10288	-0,06654	-0,07520	-0,10517	-0,08632	-0,08664	-0,0842	-8,4158
LC2	Es=20000 kN/m2	-0,66129	-0,66050	-0,69429	-0,69422	-0,66233	-0,68051	-0,69687	-0,69194	-0,69192	-0,6815	-68,1539
LC3	Es=20000 kN/m2	-1,25238	-1,25120	-1,36437	-1,36403	-1,25419	-1,31924	-1,36989	-1,33074	-1,33621	-1,3158	-131,5804
Time Response (max)	Es=200000 kN/m2	0,02557	0,02550	0,02347	0,02346	0,02595	0,02544	0,02355	0,02546	0,02545	0,0249	2,4871
Time Response (min)	Es=200000 kN/m2	-0,02547	-0,02539	-0,02382	-0,02381	-0,02587	-0,02566	-0,02405	-0,02569	-0,02575	-0,0251	-2,5056
Yatay Yerdeğiştirme, m (X yönünde)												
	Node Number	Köşe 20499	Köşe 20381	Köşe 20359	Köşe 20521	Kenar ortası 20577	Kenar ortası 20370	Kenar ortası 20598	Kenar ortası 20510	Orta 21255	Ortalama Yerdeğiş.	Ortalama Yerdeğiş.
LC1	Es=20000 kN/m2	0,00153	0,00151	0,00201	0,00201	0,00151	0,00184	0,00195	0,00180	0,00178	0,0018	0,1771
LC2	Es=20000 kN/m2	0,00021	0,00026	0,00317	0,00310	0,00024	0,00181	0,00308	0,00171	0,00193	0,0017	0,1723
LC3	Es=20000 kN/m2	0,02769	0,02783	0,03232	0,03216	0,02781	0,03036	0,03244	0,03017	0,03062	0,0302	3,0154
Time Response (max)	Es=200000 kN/m2	0,01865	0,01864	0,01858	0,01859	0,01864	0,01861	0,01855	0,01861	0,01860	0,0186	1,8607
Time Response (min)	Es=200000 kN/m2	-0,01793	-0,01793	-0,01798	-0,01798	-0,01792	-0,01798	-0,01798	-0,01798	-0,01798	-0,0180	-1,7962

Çizelge 5.10 : Analiz No 6 ve Analiz No 12 için radyejeneral temeldeki düşey ve yatay yerdeğiştirmeler (kazıksız ve arayüzlü sistem).

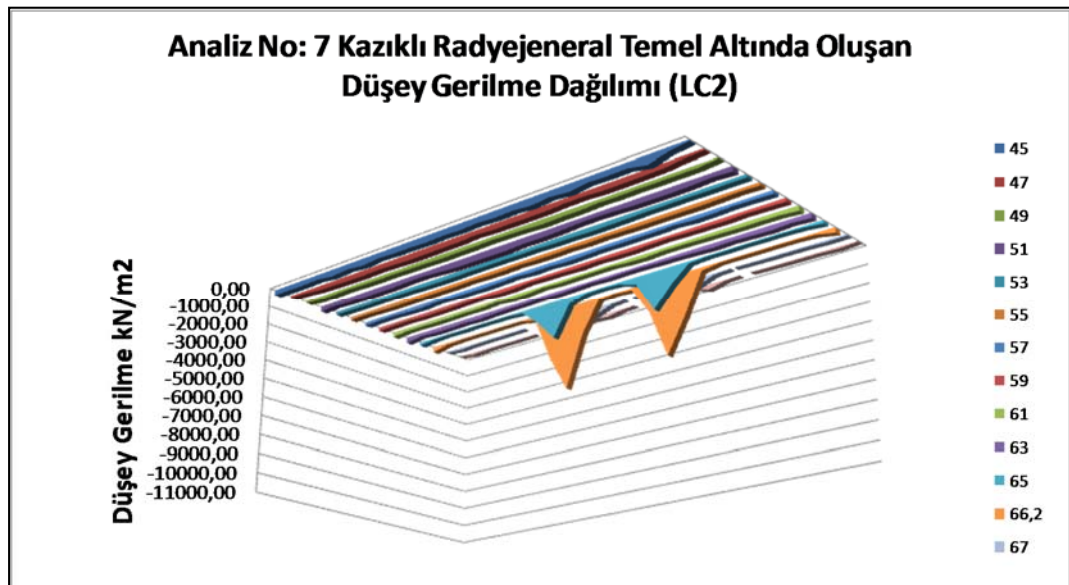
Düşey Yerdeğiştirme, m (Z yönünde)												
	Node Number	Köşe 20499	Köşe 20381	Köşe 20359	Köşe 20521	Kenar ortası 20577	Kenar ortası 20370	Kenar ortası 20598	Kenar ortası 20510	Orta 21255	Ortalama Oturma (m)	Ortalama Oturma (cm)
LC1	Es=20000 kN/m2	-0,10156	-0,10115	-0,13813	-0,13816	-0,10206	-0,12040	-0,14037	-0,13171	-0,13167	-0,1228	-12,2800
LC2	Es=20000 kN/m2	-0,78285	-0,78152	-0,81660	-0,81660	-0,78363	-0,83616	-0,81914	-0,84794	-0,84698	-0,8146	-81,4603
LC3	Es=20000 kN/m2	-1,46659	-1,46490	-1,59972	-1,59899	-1,46812	-1,60603	-1,60496	-1,61765	-1,62290	-1,5611	-156,1094
Time Response (max)	Es=200000 kN/m2	0,03012	0,02999	0,02607	0,02605	0,03074	0,03601	0,02607	0,03606	0,03582	0,0308	3,0769
Time Response (min)	Es=200000 kN/m2	-0,02951	-0,02937	-0,02600	-0,02598	-0,03008	-0,03584	-0,02615	-0,03589	-0,03572	-0,0305	-3,0503
Yatay Yerdeğiştirme, m (X yönünde)												
	Node Number	Köşe 20499	Köşe 20381	Köşe 20359	Köşe 20521	Kenar ortası 20577	Kenar ortası 20370	Kenar ortası 20598	Kenar ortası 20510	Orta 21255	Ortalama Yerdeğiş. (m)	Ortalama Yerdeğiş. (cm)
LC1	Es=20000 kN/m2	0,00051	0,00054	0,00304	0,00300	0,00052	0,00182	0,00296	0,00174	0,00192	0,0018	0,1785
LC2	Es=20000 kN/m2	-0,00315	-0,00295	0,00681	0,00659	-0,00304	0,00186	0,00663	0,00162	0,00251	0,0019	0,1873
LC3	Es=20000 kN/m2	0,02291	0,02333	0,04037	0,03995	0,02319	0,03173	0,04033	0,03128	0,03296	0,0318	3,1783
Time Response (max)	Es=200000 kN/m2	0,01902	0,01902	0,01850	0,01850	0,01902	0,01877	0,01847	0,01877	0,01872	0,0188	1,8755
Time Response (min)	Es=200000 kN/m2	-0,01788	-0,01788	-0,01850	-0,01849	-0,01789	-0,01800	-0,01849	-0,01799	-0,01808	-0,0181	-1,8133

Analiz No 7’de diğer analizlerden farklı olarak kazıklı radyejeneral temel sistemine ait radyejeneral temel altında oluşan düşey gerilme dağılımları da incelenmiştir. LC-1 yük kombinasyonuna göre radyejeneral temel altında oluşan düşey gerilme dağılımı Şekil 5.45’te verilmiştir.



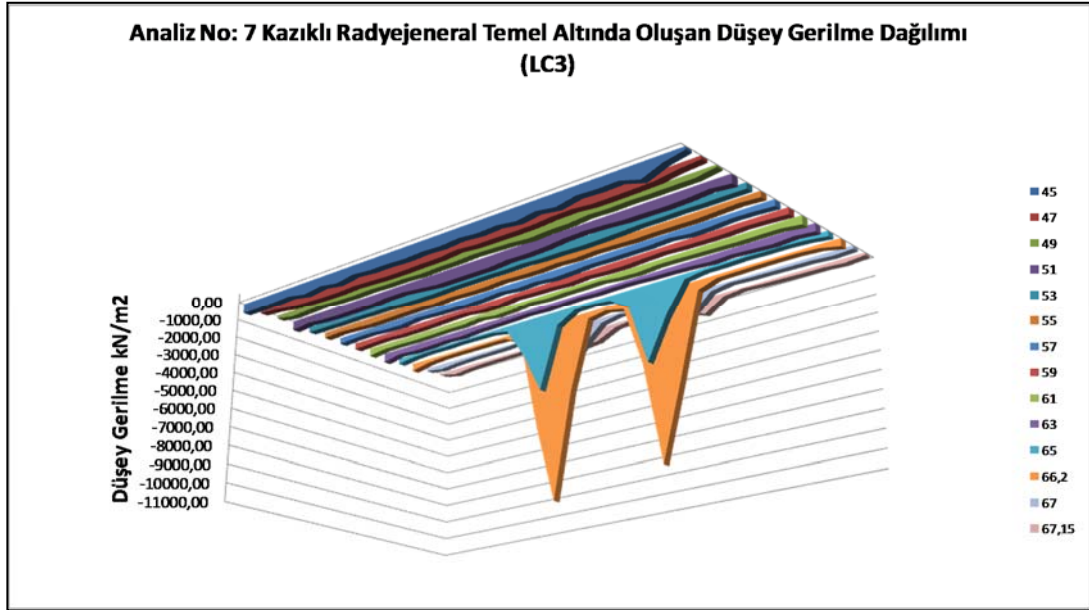
Şekil 5.45 : Analiz No 7 kazıklı radyejeneral temel altında oluşan düşey gerilme (LC 1) eğrisi.

LC-2 yük kombinasyonu ile sisteme etkiyen düşey yayılı yükler nedeniyle radyejeneral temel altında oluşan gerilme dağılımı kazık bölgelerinde artış göstermiştir (Şekil 5.46).



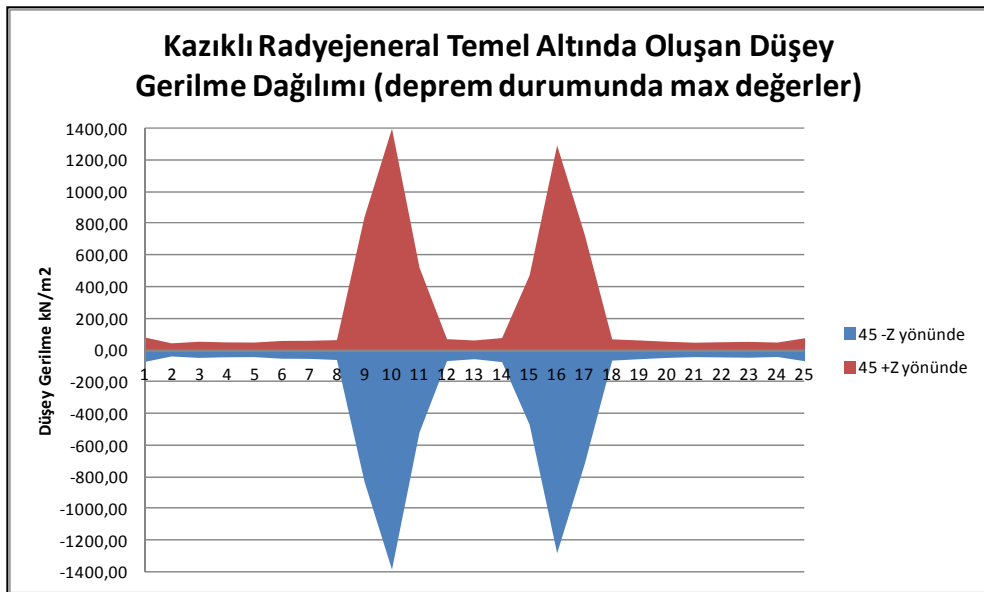
Şekil 5.46 : Analiz No 7 kazıklı radyejeneral temel altında oluşan düşey gerilme (LC 2) eğrisi.

LC-3 yük kombinasyonu da sisteme ilave edildiğinde radyejeneral temel sisteminin kazık bölgelerine denk gelen yüzeylerinde düşey gerilme artışları ortaya çıkmıştır (Şekil 5.47).



Şekil 5.47 : Analiz No 7 kazıklı radyejeneral temel altında oluşan düşey gerilme (LC 3) eğrisi.

Analiz No 7’de dinamik analiz sırasında kazıklarda meydana gelen düşey gerilme artışlarına ait maksimum dağılım da Şekil 5.48’de gösterilmiştir. Dinamik yüklemekten dolayı oluşan gerilme artışları statik yükleme ile karşılaştırıldığında %13’lük bir artış söz konusudur.



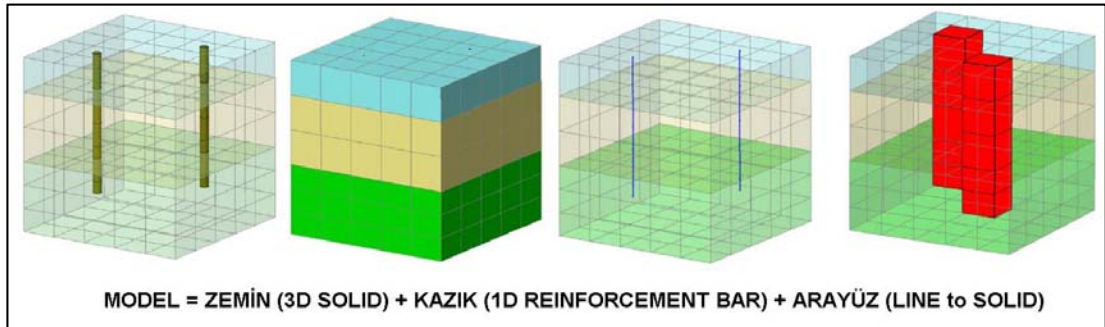
Şekil 5.48 : Analiz No 7 kazıklı radyejeneral temel altında oluşan düşey gerilme dağılımı (deprem durumunda maksimum değerler)

6. KAZIKLI RADYEJENERAL TEMEL, KAZIKLI TEMEL ve RADYEJENERAL TEMEL SİSTEMLERİNİN YANAL YÜKLER ALTINDAKİ STATİK ve DİNAMİK DAVRANIŞLARININ ANALİZİ

Bu bölüm kapsamında 3 farklı temel çeşitine ait statik ve dinamik analizler gerçekleştirilerek temel sistemlerinin (kazıklı radyejeneral temel, kazıklı temel ve radyejeneral temel) statik ve dinamik yükler altındaki davranışlarını incelenmiştir.

Modelleri oluşturulan temel sistemlerine ait boyutlar Şekil 6.5, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7’de verilmiştir. Plan ve kesit çizimlerinde gösterilen aks doğrultuları (A, B, C, D ve E) belirlenirken TNO DIANA yazılımı ile oluşturulan sonlu eleman ağlarının sınır çizgileri temel alınmıştır. Radyejeneral temelin boyutları 5.0x5.0x0.80m olarak belirlenmiştir. Kazıklı radyejeneral temel sistemi ve kazıklı temel sistemi 9.0m uzunluğunda 4 adet kazık içermektedir. Kazıkların radyejeneral temele soketlenme boyları 0.55m olarak seçilmiştir. Kazık çapları 0.80m ve eksenden eksene mesafeleri 3.0m olarak belirlenmiştir. Kazık ekseninin radyejeneral temel kenarına olan mesafesi 3.0m’dir.

Kazık davranışının gerçeğe yakın olması adına kazık uzunluğu boyunca 3 ayrı bölgede farklı arayüz malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Bu bölgelerden ilki kazık elemanının radyejeneral temel içine soketlenen kısmı, ikincisi kazık elemanının zemin içinde kalan uzunluğu ve sonuncusu ise kazık alt uç bölgesinin zemin ile temasını sağlayan arayüzdür. Bu bölgelere farklı arayüz eleman özellikleri tanımlanarak kazıkların pratikteki davranışına oldukça yakın bir davranış göstermesi amaçlanmıştır (Şekil 6.1).



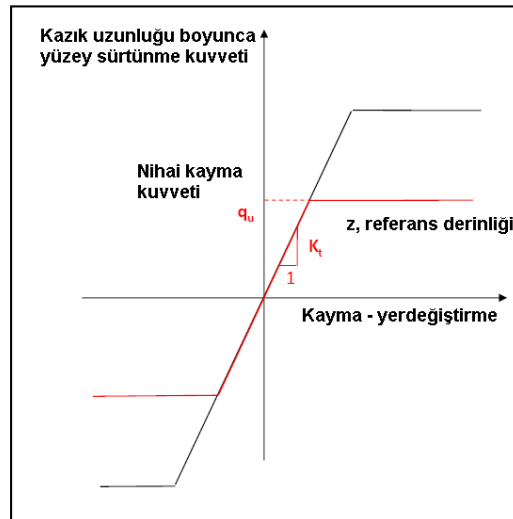
Şekil 6.1 : TNO DIANA arayüz elemanı yaklaşımı.

Kazıklı radyejeneral temel ve kazıklı temel modellerinde kullanılan kazık-radyejeneral temel, kazık - zemin ve kazık alt ucu – zemin arayüz elemanlarına ait değerler Çizelge 6.1’de özetlenmiştir. Bu değerler DIANA tarafından kullanılması önerilen değerlerdir.

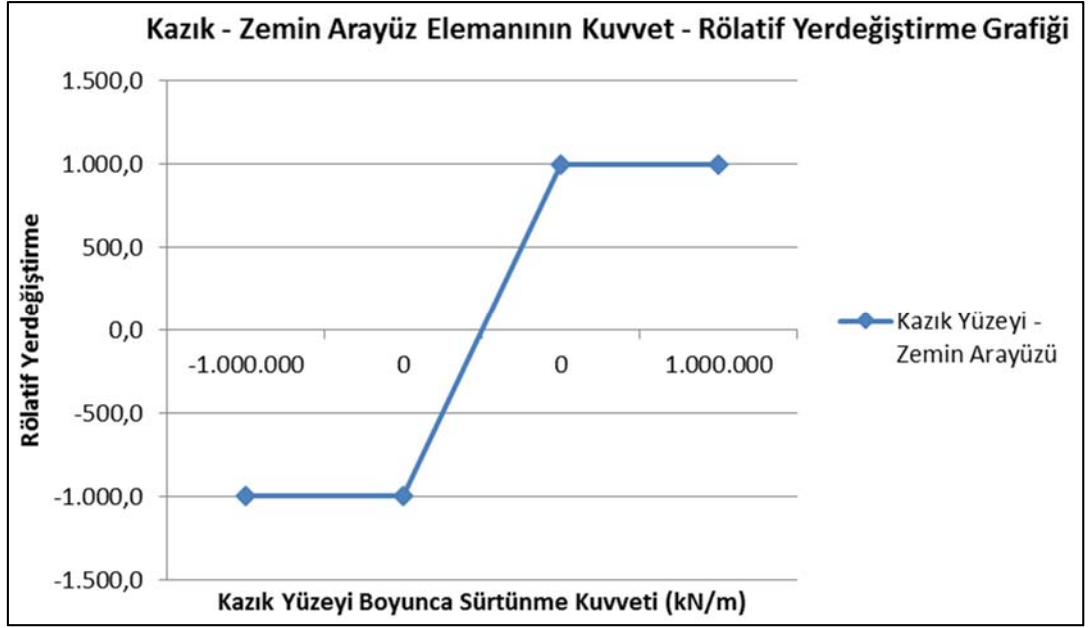
Çizelge 6.1 : Arayüz eleman özellikleri (DIANA kurs notları).

		Kazık – Radyejeneral Temel Arayüzü	Kazık – Zemin Arayüzü	Kazık Alt Ucu – Zemin Arayüzü
K _n (arayüz elemanı normal modülü)	kN/m ²	1x10 ⁸	1x10 ⁸	1x10 ⁶
K _t (arayüz elemanı kayma modülü)	kN/m ²	1x10 ⁷	1x10 ⁶	1x10 ⁶

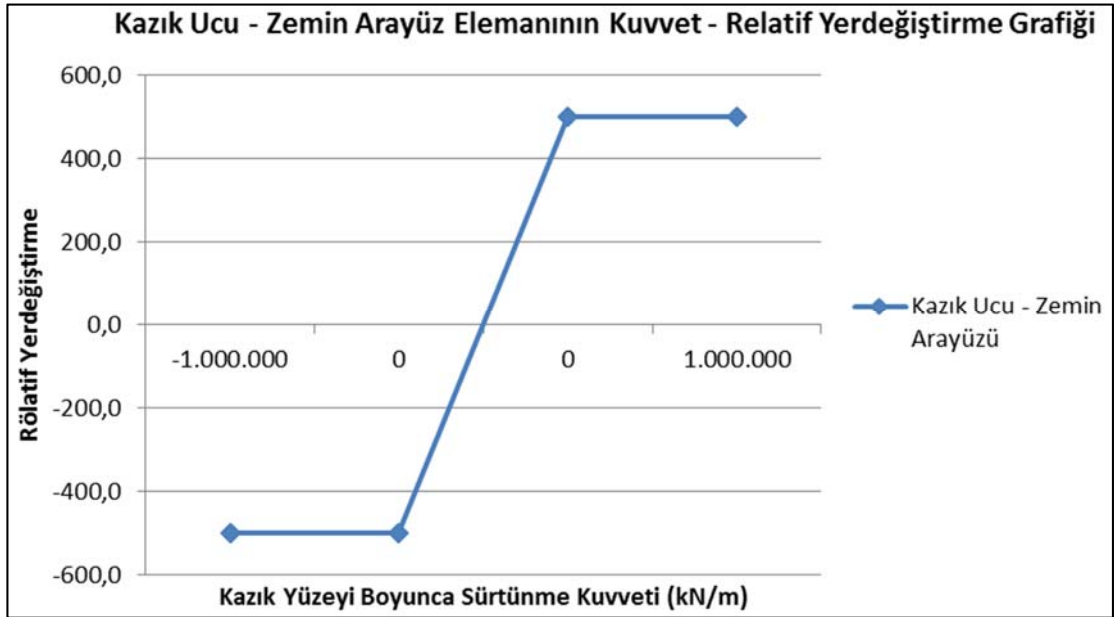
Kazık elemanları için kullanılan kuvvet deformasyon eğrisi Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Kazık ile zemin arasındaki gerilme deformasyon eğrilerinde ise kazık uzunluğu boyunca doğrusal elastik yaklaşım kabulü yapılarak kazık boyunca Şekil 6.3, kazık alt ucunda da Şekil 6.4’te gösterilen kuvvet - deformasyon eğrileri kullanılmıştır.



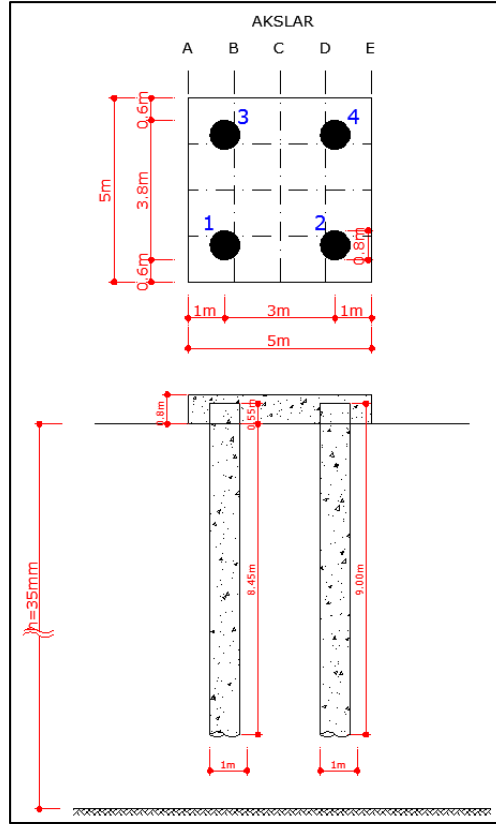
Şekil 6.2 : Kazık elemanları için kullanılan kuvvet - deformasyon eğrisi.



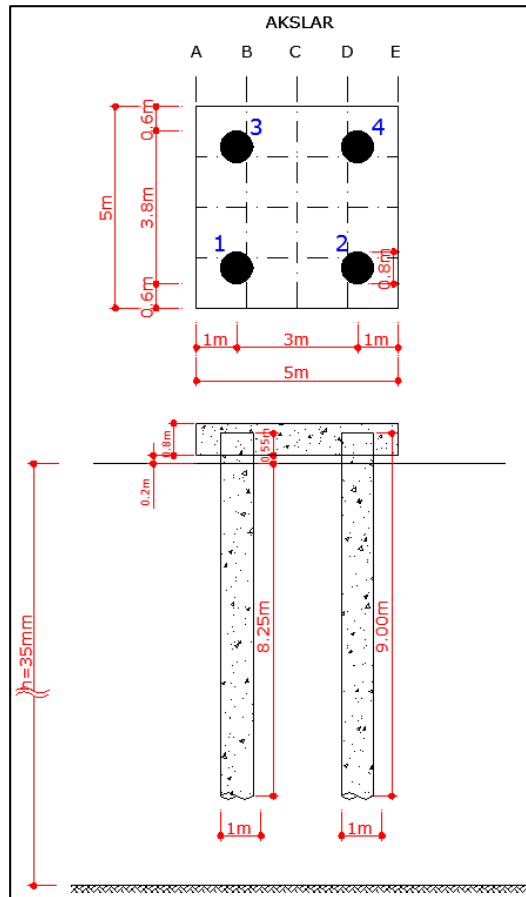
Şekil 6.3 : Kazık – zemin arayüz elemanı için kuvvet – yerdeğiştirme eğrisi.



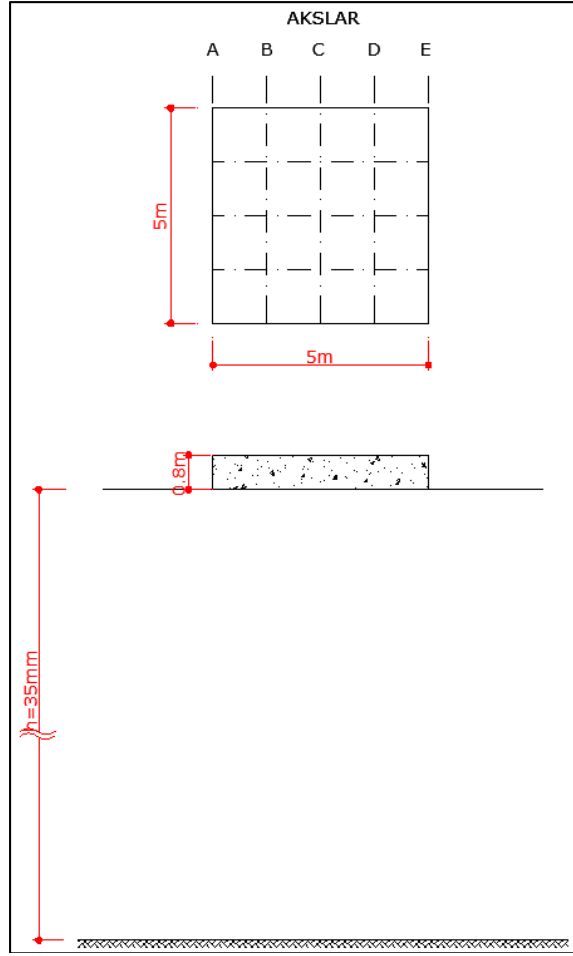
Şekil 6.4 : Kazık alt ucu –zemin arayüz elemanı için kuvvet –yerdeğiştirme eğrisi.



Şekil 6.5 : 4 kazıklı radyejeneral temel sistemi boyutları.



Şekil 6.6 : 4 kazıklı temel sistemi boyutları.



Şekil 6.7 : Radyejeneral temel sistemi boyutları.

6.1 4 Kazıklı Radyejeneral Temel Sistemine Ait Üç Boyutlu Modelin Oluşturulması

Modelleme aşamasında zemin ve radyejeneral temel elemanları 3 boyutlu solid eleman olarak tanımlanırken kazık elemanlarında oluşan normal yük, kesme kuvveti ve moment değerlerinin okunabilmesi için solid zemin elemene gömülü 1 boyutlu çubuk eleman (reinforcement bar embeded solid) olarak modellenmiştir. Buna ek olarak solid elemanlarda analiz sonucunda moment ve içsel kuvvetlerin okunma zorlukları nedeniyle radyejeneral temel elemanının içine 2 boyutlu düzlem eleman yerleştirilerek analizler gerçekleştirilmiştir. Temel sistemleri için seçilen elemanların geometrileri oluşturulmuş ve bu elemanlara atanacak malzeme özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 6.2). Çizelge 6.2’de verilen malzeme özellikleri atandıktan sonra sonlu eleman ağırları oluşturulmuştur. Sonlu eleman ağlarının yoğunlukları radyejeneral temel ve kazık elemanına ait bölgelerde daha sık olarak yapılandırılmış; böylelikle elde edilecek sonuçların daha detaylı olması sağlanmıştır.

Çizelge 6.2 : Temel sistemlerine ait malzeme parametreleri.

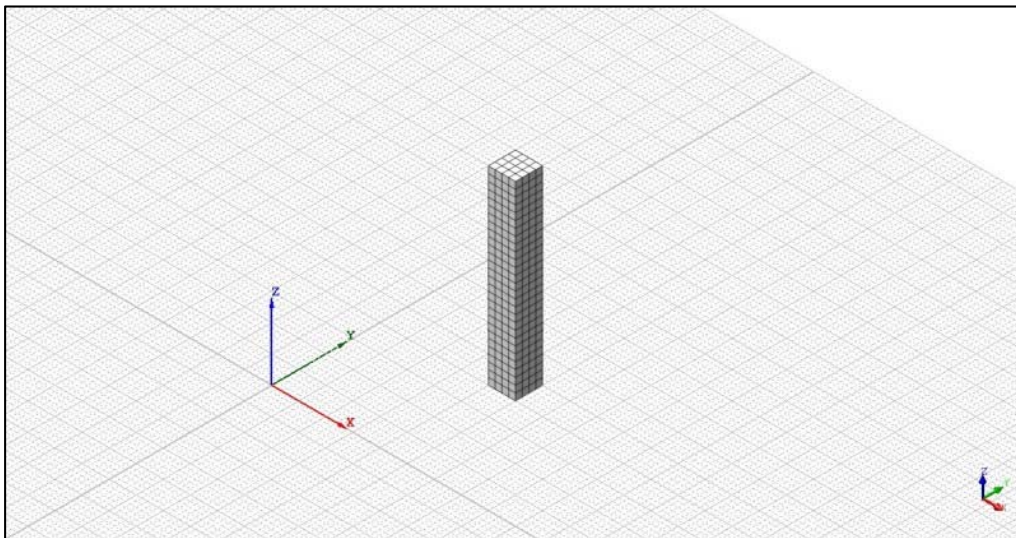
Parametre	Tanım	Birim	Değer
E_s	Zeminin Elastisite Modülü	kN/m^2	25.000
ν_s	Zeminin Poisson Oranı	-	0.30
γ_s	Zeminin Birim Hacim Ağırlığı	kN/m^3	18.35
E_r	Radyejeneral Temel Elastisite Modülü	kN/m^2	3.0×10^7
ν_r	Radyejeneral Temelin Poisson Oranı	-	0.20
γ_r	Radyejeneral Temelin Birim Hacim Ağırlığı	kN/m^3	24.0
E_p	Kazığın Elastisite Modülü	kN/m^2	3.0×10^7
ν_p	Kazığın Poisson Oranı	-	0.20
γ_p	Kazığın Birim Hacim Ağırlığı	kN/m^3	24.0

3 boyutlu modelin sınır koşulları, oluşturulan zemin modelinde YZ düzlemine +X ve -X yönünde, XZ düzlemine +Y ve -Y yönünde ve XY düzleminde de -Z yönündeki ötelenmeyi engelleyecek şekilde seçilmiştir.

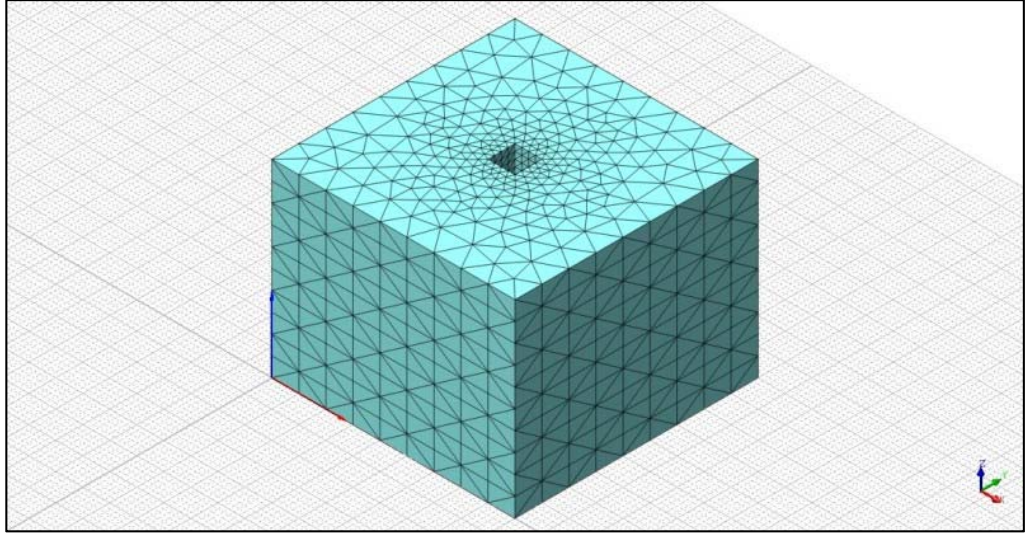
Bir sonraki adımda temel sistemlerine uygulanacak yüklerin tipleri belirlenmiş ve temel sistemindeki uygulama noktaları seçilmiştir.

Bu yüklerden ilki zeminin kendi ağırlığından dolayı oluşan oturmaları ve gerilmeleri içeren ağırlık (gravity) kombinasyonudur. Daha sonra radyejeneral temele etkileyen yatay statik yük model sistemine konmuş ve son olarak dinamik analizi yapmak üzere 1999 yılı Marmara Depremi'ne ait 30sn'lik deprem kaydı 0.05sn'lik artımlarla 600 adımda (Arçelik kaydı) sisteme uygulanmıştır.

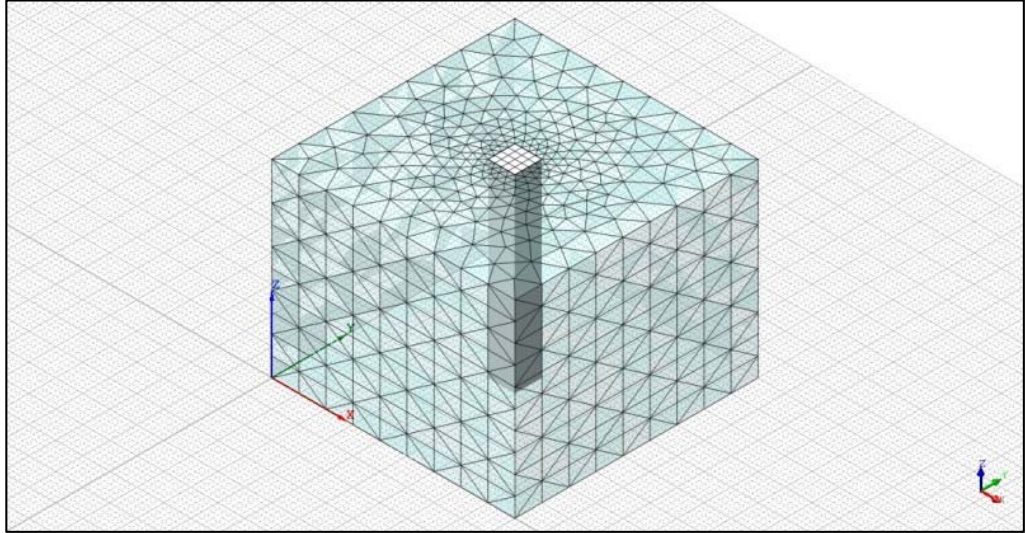
Kazıklı radyejeneral temel sisteminin modellenmesinde ilk olarak radyejeneral temel altında bulunan zemin ile temel sistemini çevreleyen zemin modellenmiştir (Şekil 6.8, Şekil 6.9, Şekil 6.10).



Şekil 6.8 : Radyejeneral temel altındaki zemin modeli ve sonlu eleman ağı.

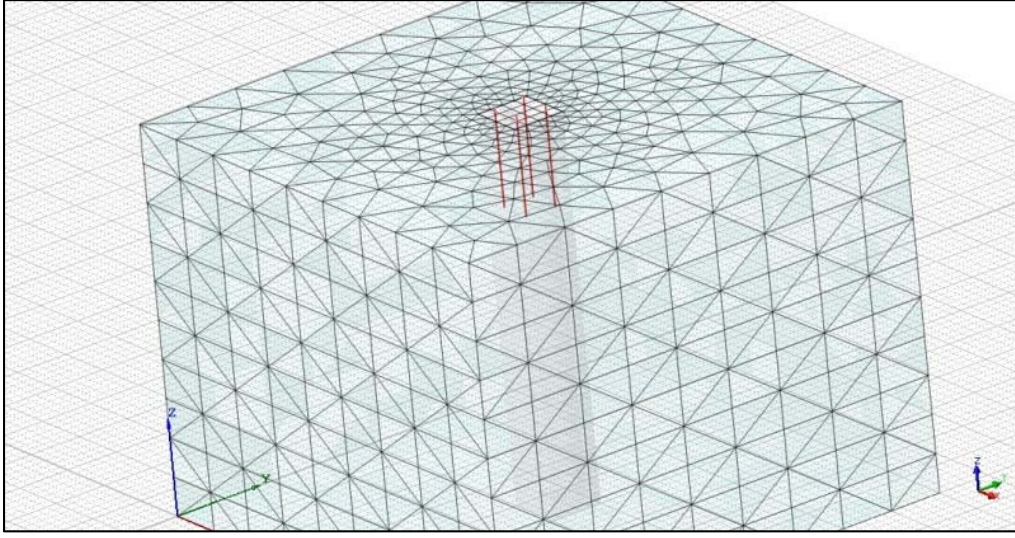


Şekil 6.9 : Radyejeneral temeli çevreleyen zemin modeli ve sonlu eleman ağı.



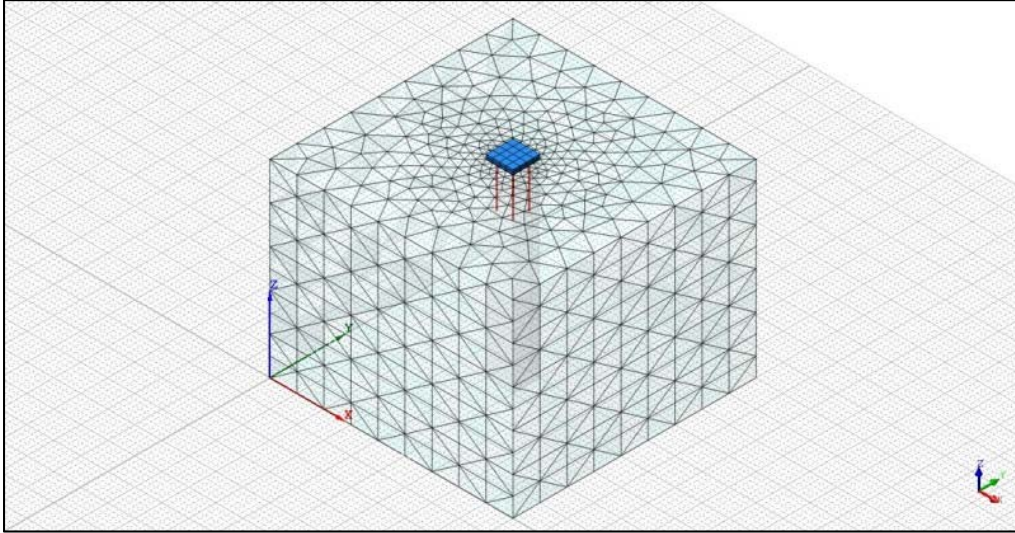
Şekil 6.10 : Tüm zeminin modeli ve sonlu eleman ağı.

Oluşturulan zemin modellerinden sonra kazıkların tanımlandırılmasına geçilmiştir. 4 adet kazık 1 boyutlu eleman olarak uygun koordinatlarda oluşturulmuştur (Şekil 6.11).



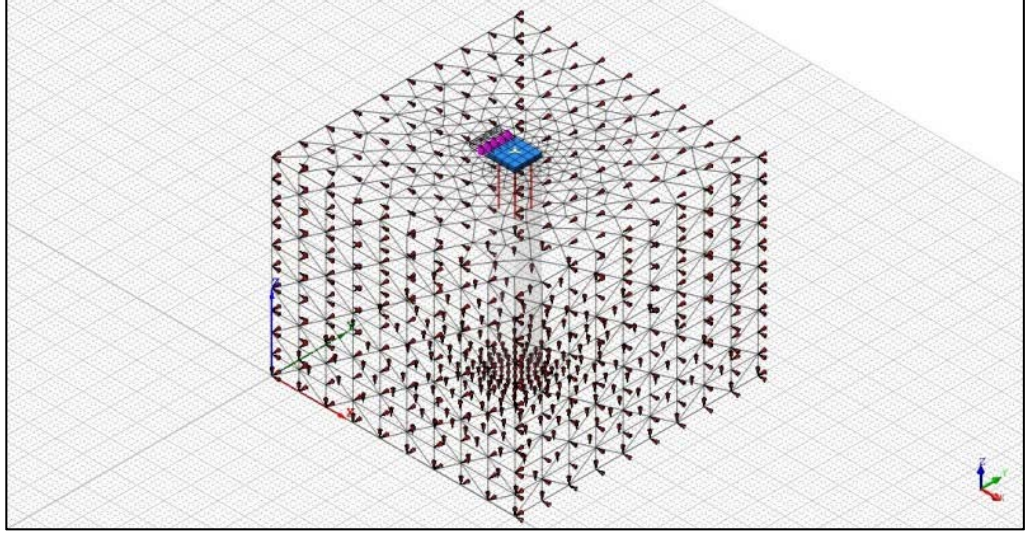
Şekil 6.11 : 4 adet kazık elemanı ve zemin modeli.

Kazık elemanlarının modellenmesinin ardından radyejeneral temel oluşturulmuş ve kazık başlarının 0.55m kadar radyejeneral temel elemana soketlenmeleri sağlanmıştır (Şekil 6.12).

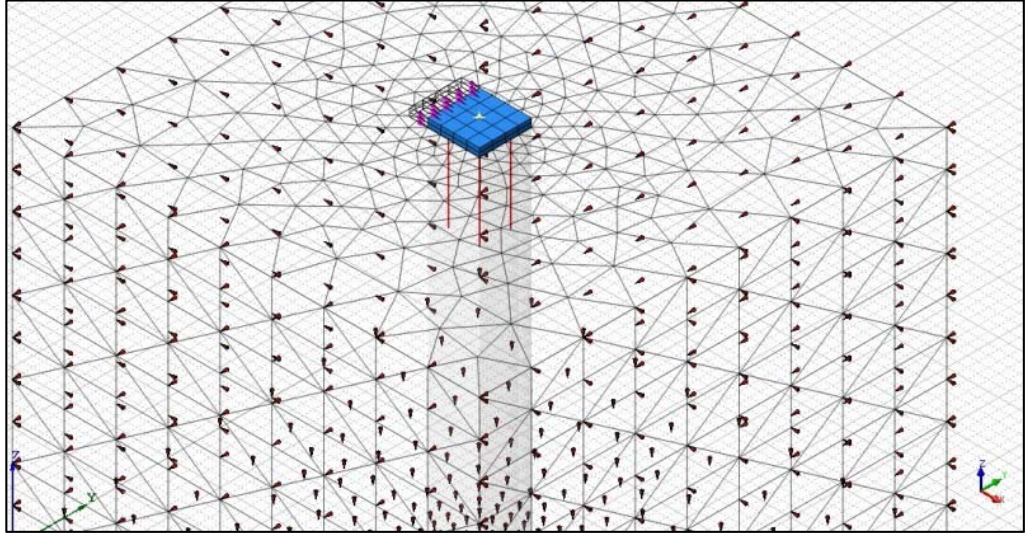


Şekil 6.12 : 4 adet kazıklı radyejeneral temel sistemi ve zemin modeli.

Oluşturulan modelin sınır koşulları X, Y ve Z yönlerinde atanarak sonlu eleman ağına transferleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.13, Şekil 6.14).



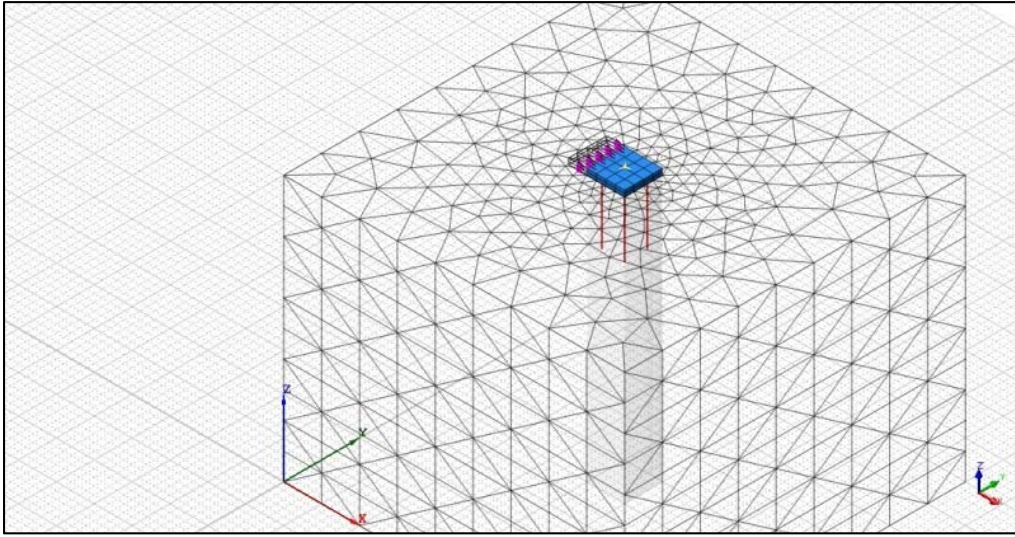
Şekil 6.13 : X-Y-Z doğrultularında atanan sınır koşulları (a).



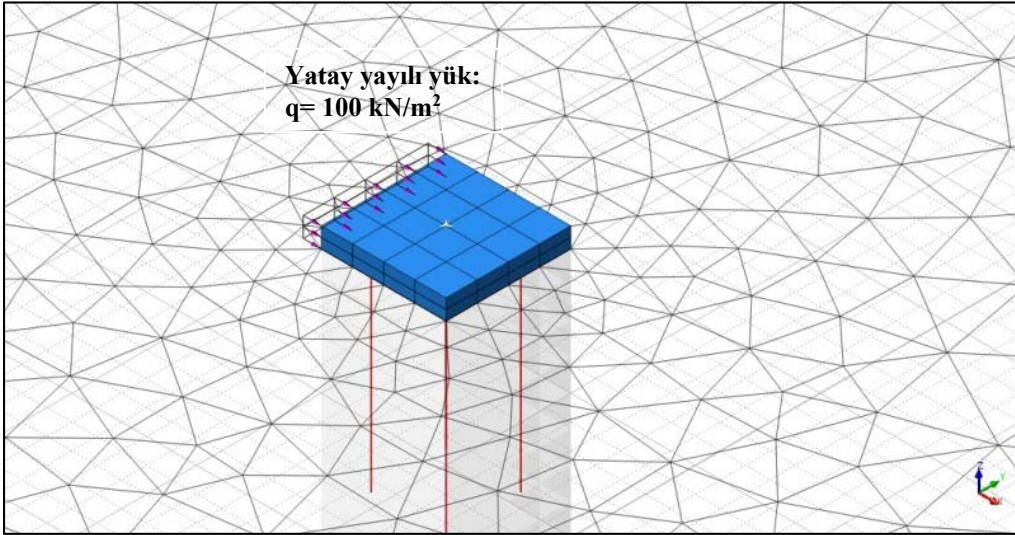
Şekil 6.14 : X-Y-Z doğrultularında atanan sınır koşulları (b).

Modellenen kazıklı radyejeneral temelden sonra üst yapıyı temsil etmesi ve dinamik yüklemekten dolayı sistemde ilave kuvvet oluşturması açısından radyejeneral temelin merkezine noktasal kütle tanımlanmıştır. Buna ilave olarak temel sisteminin statik yanal yükler altındaki davranışının belirlenmesi amacıyla statik yanal yük +X doğrultusunda 100 kN/m^2 olacak şekilde uygulanmıştır (Şekil 6.15, Şekil 6.16).

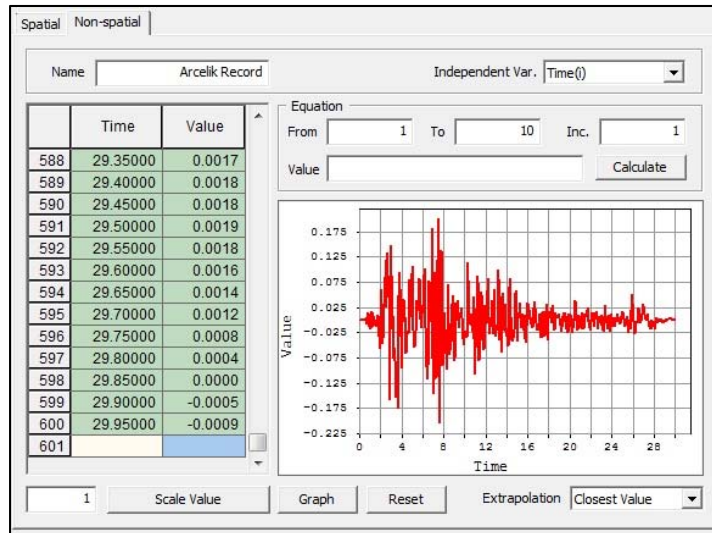
Uygulanan kütsel ve statik yüklere ilave olarak dinamik etki olarak da Şekil 6.17’de gösterilen 1999 yılı Marmara Deprem kaydı kullanılmıştır.



Şekil 6.15 : 4 adet kazık elemanı ve zemin modeli.

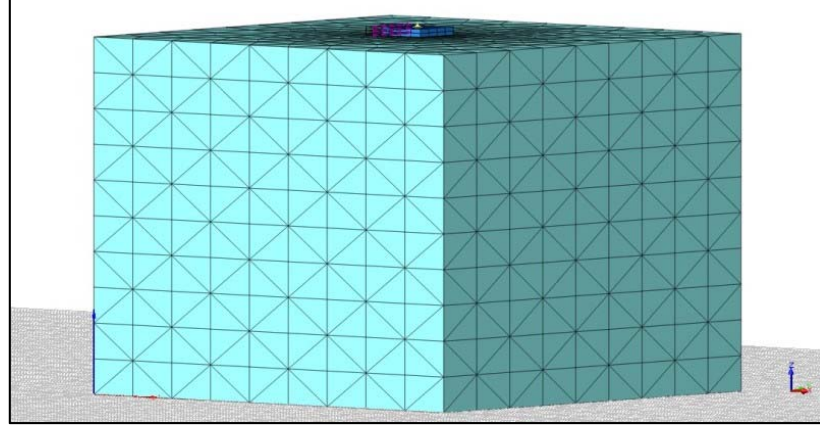


Şekil 6.16 : 4 adet kazık elemanı ve zemin modeli.

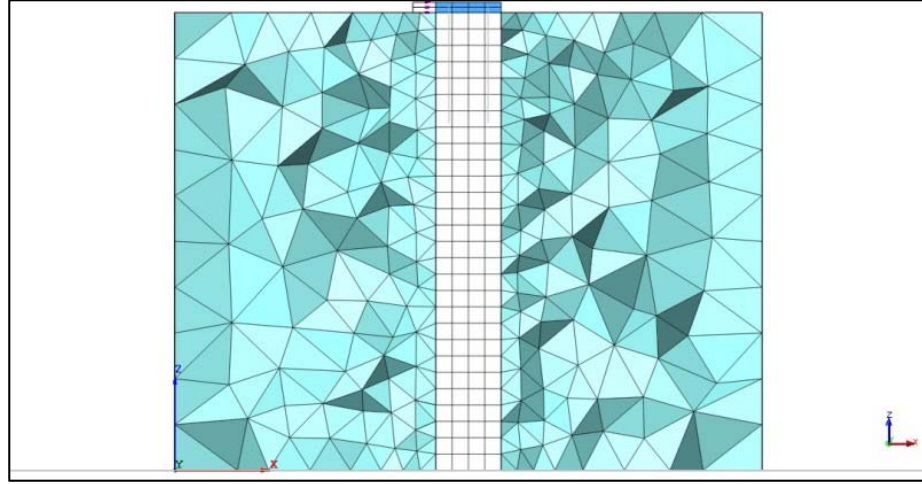


Şekil 6.17 : 1999 yılı Marmara Depremi'ne ait 30 sn'lik deprem kaydı.

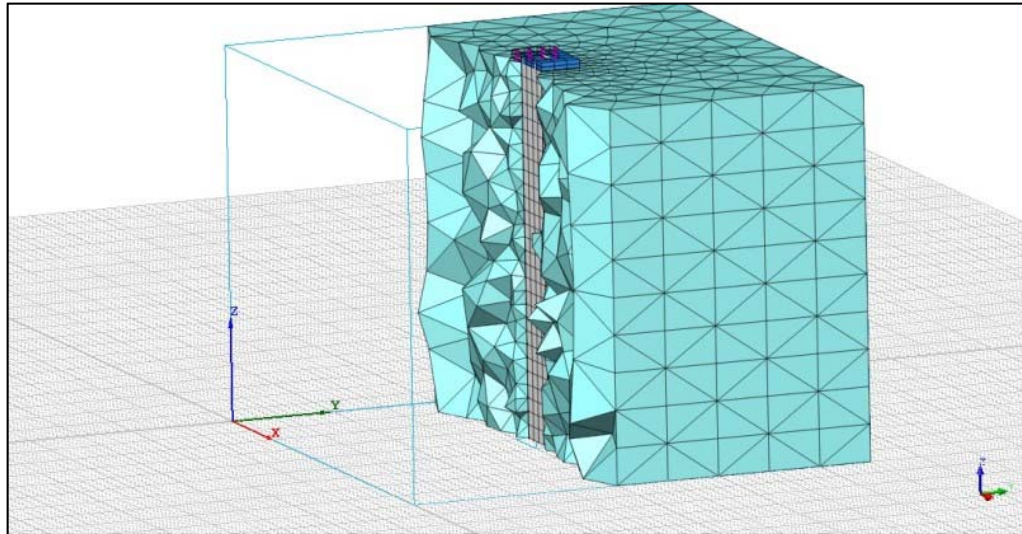
4 kazıklı radyejeneral temel sisteminin genel görünüşü Şekil 6.18’de, XZ düzlemi kesitleri de Şekil 6.19 ve Şekil 6.20’de gösterilmiştir.



Şekil 6.18 : Kazıklı radyejeneral temel sisteminin perspektif görünüşü.

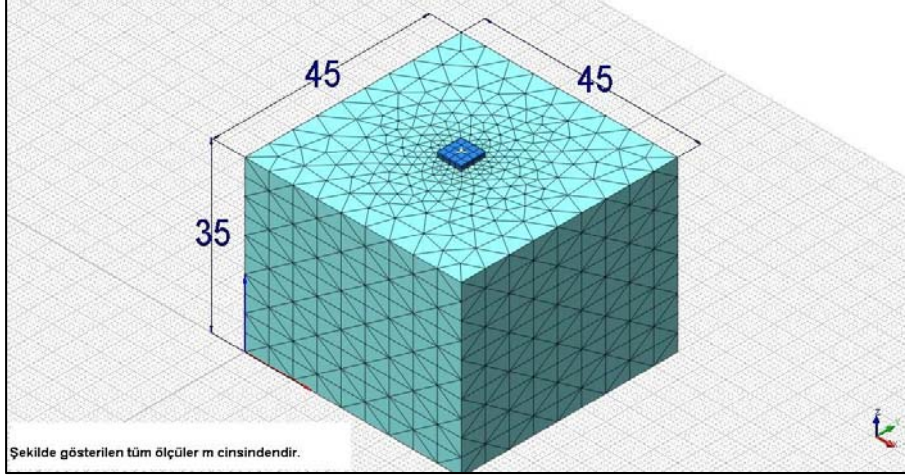


Şekil 6.19 : Kazıklı radyejeneral temel sisteminin XZ düzlem kesiti görünüşü (a).



Şekil 6.20 : Kazıklı radyejeneral temel sisteminin XZ düzlem kesiti görünüşü (b).

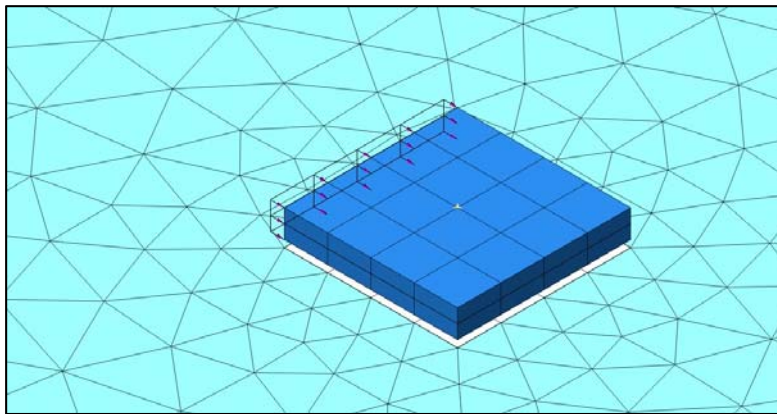
Temel sistemine ait zemin elemanının boyutları X doğrultusunda 45m, Y doğrultusunda 45m ve Z doğrultusunda 35m olacak şekilde modellenmiştir (Şekil 6.21).



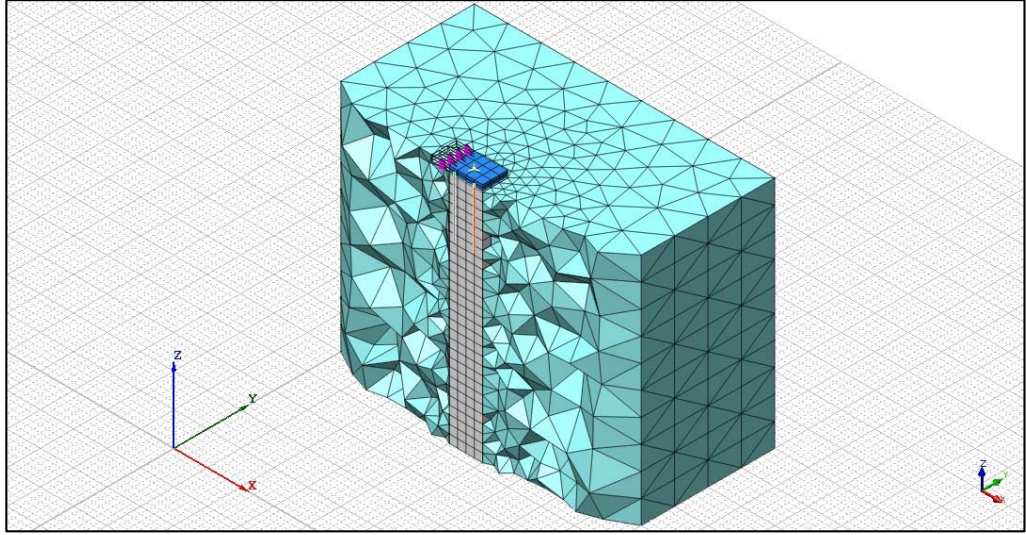
Şekil 6.21 : Zemin modeline ait boyutlar.

6.2 4 Kazıklı Temel Sistemine Ait 3 Boyutlu Modelin Oluşturulması

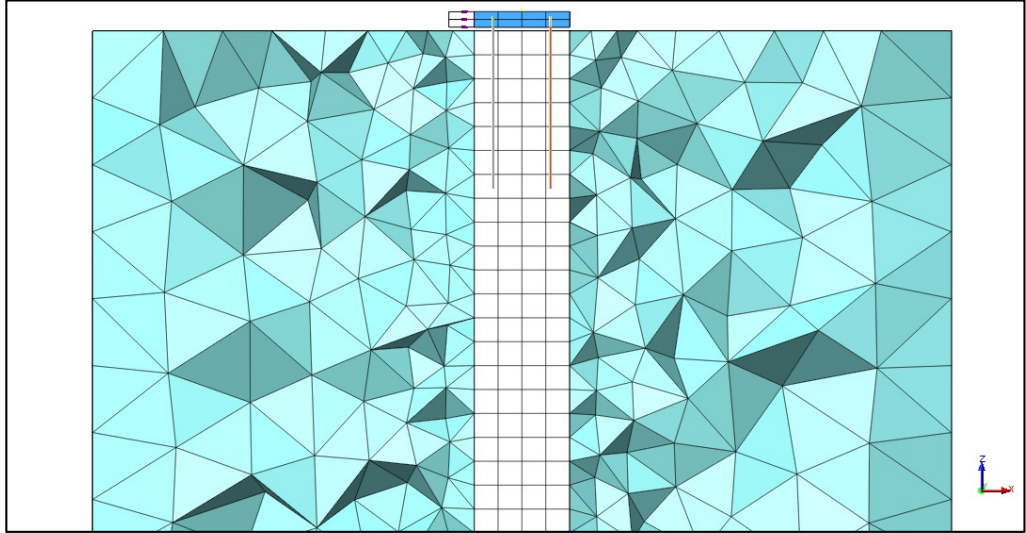
Kazıklı temel sisteminin, kazıklı radyejeneral temel sisteminden farkı radyejeneral temel ile zemin arasında olan etkileşimin bulunmamasıdır. Bu etkileşimi ortadan kaldırmak için radyejeneral temel tabanı ile zemin arasında 0.40m'lik bir boşluk bırakılarak sistem modellenmiştir. Böylelikle radyejeneral temel tabanı ile zemin yüzeyi arasındaki etkileşim ortadan kaldırılmış ve temel sistemine etkiyen düşey ve yatay yüklerin sadece kazıklar tarafında karşılanması sağlanmıştır. Sınır koşulları, sisteme uygulanan statik ve dinamik yükler kazıklı radyejeneral temel sistemi ile aynı olacak şekilde kazıklı temel sistemi modellenmiştir (Şekil 6.22, Şekil 6.23, Şekil 6.24).



Şekil 6.22 : Kazıklı temel sisteminin perspektif görünüşü.



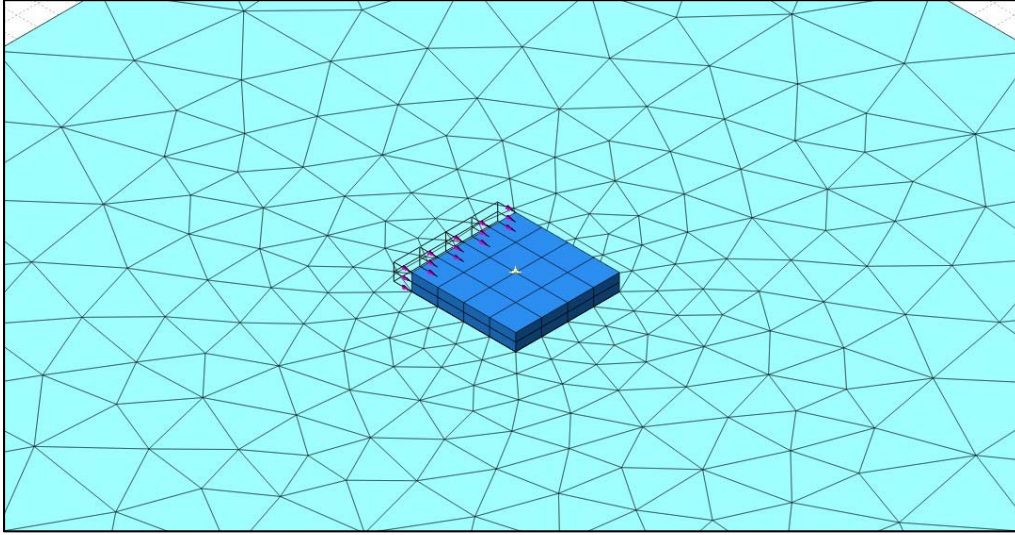
Şekil 6.23 : Kazıklı temel sisteminin XZ düzlem kesiti görünüşü (a).



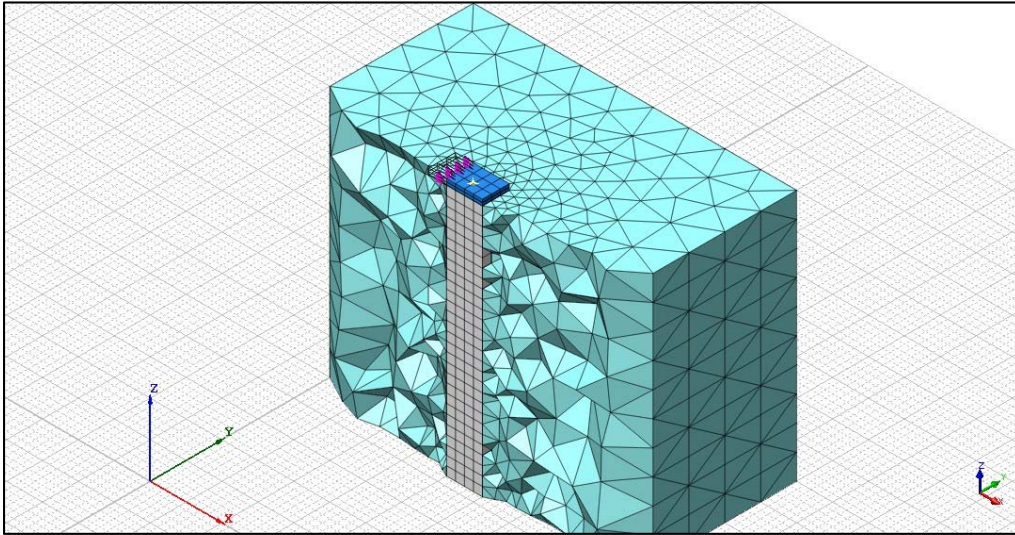
Şekil 6.24 : Kazıklı temel sisteminin XZ düzlem kesiti görünüşü (b).

6.3 Radyejeneral Temel Sistemine Ait 3 Boyutlu Modelin Oluşturulması

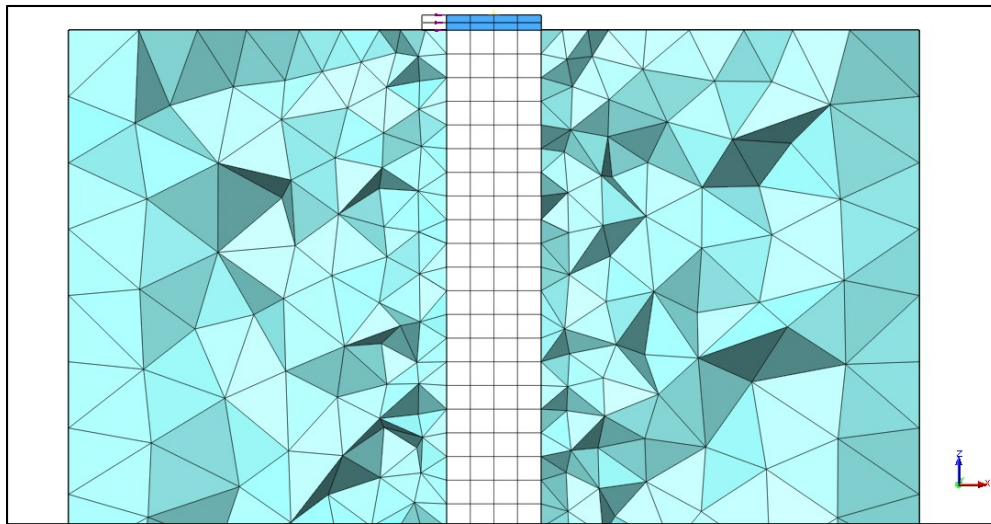
Radyejeneral temel sisteminin, kazıklı radyejeneral temel ve kazıklı temel sisteminden farkı sistemde bulunan kazıkların radyejeneral temel sisteminde olmamasıdır. Böylelikle sisteme etkiyen düşey ve yatay statik yükler ile dinamik yükler sadece radyejeneral temel tarafından karşılanmaktadır. Radyejeneral temel tabanı ile zemin yüzeyi arasında etkileşim mevcuttur. Sınır koşulları, sisteme uygulanan statik ve dinamik yükler kazıklı radyejeneral temel ve kazıklı temel sistemi ile aynı olacak şekilde modellenmiştir (Şekil 6.25, Şekil 6.26, Şekil 6.27).



Şekil 6.25 : Radyejeneral temel sisteminin perspektif görünüşü.



Şekil 6.26 : Radyejeneral temel sisteminin XZ düzlem kesiti görünüşü (a).



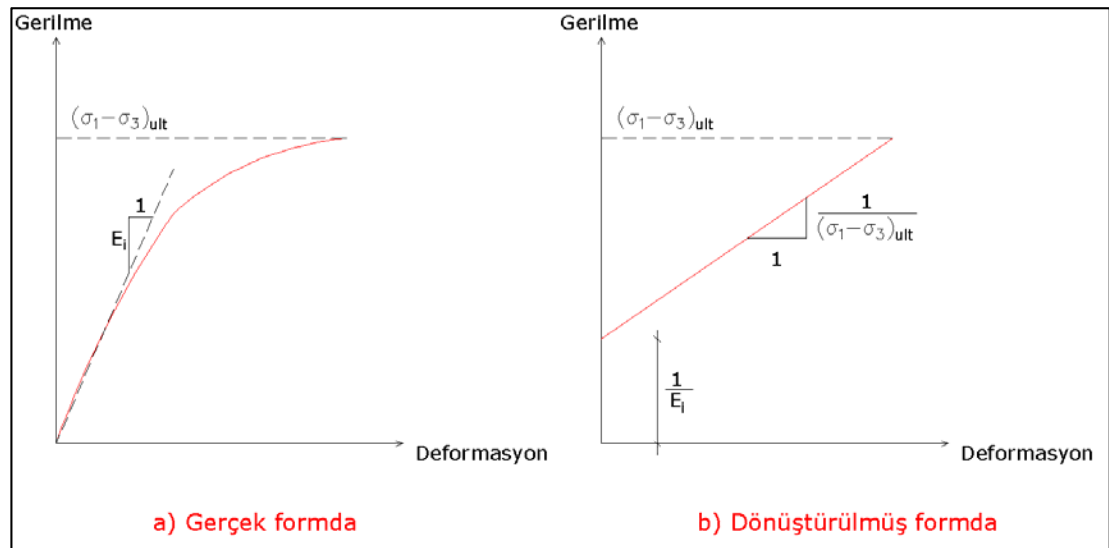
Şekil 6.27 : Radyejeneral temel sisteminin XZ düzlem kesiti görünüşü (a).

6.4 Duncan – Chang Zemin Malzeme Modeli

Hiperbolik zemin modeli ilk kez Konder (1963) tarafından önerilmiş, daha sonra birçok araştırmacı tarafından modifiye edilmiştir. Zemin modeli, Duncan-Chang Hiperbolik Zemin Modeli olarak da bilinmektedir. Yapısal zemin modelleri içinde en çok kullanılan hiperbolik modellerden biridir.

Duncan-Chang Hiperbolik Zemin Modeli'nin yayınlanmış iki versiyonu bulunmaktadır. İlk versiyonu Duncan ve Chang (1970) tarafından Elastisite Modülü (E), diğer versiyonu ise Duncan ve diğ. (1980) tarafından Bulk Modülü kullanılarak elde edilen gerilme-deformasyon eğrilerinin varsayımına dayanır. Hiperbolik model, zeminlerin doğrusal olmayan (nonlinear) gerilme bağımlı (stress dependent) ve elastik olmayan (inelastic) üç önemli özelliğini temsil edebilmektedir.

Hiperbolik gerilme-deformasyon ilişkisinde, zeminin deformasyonları kademeli gerilme artışları ile nonlinear olarak analiz edilmektedir. Standart üç eksenli basınç deneyi verilerine dayanarak gerilme-deformasyon hiperbolik ilişkisi aşağıdaki şekilde açıklanabilir:



Şekil 6.28 : Gerilme – deformasyon eğrisinin hiperbolik gösterimi.

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{\varepsilon_1}{\frac{1}{E_i} + \frac{\varepsilon_1}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}}} \quad (6.1)$$

$\sigma_1 - \sigma_3$: deviatör gerilme

$(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$: nihai deviatör gerilme

E_i : başlangıç teğet modülü

ϵ_i : ana eksenel deformasyon

Duncan-Chang Zemin Modeli'nde nihai deviatör gerilme değeri ile göçme anındaki deviatör gerilme arasında aşağıdaki ilişki mevcuttur:

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_f = R_f (\sigma_1 - \sigma_3)_{ult} \quad (6.2)$$

R_f : göçme oranı

Göçme oranı (R_f) değerinin her zaman birden küçük olduğu ve 0.75 ile 1 arasında değiştiği Duncan ve Chang (1970) tarafından önerilmiştir.

$(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ değerinin ϕ (kayma mukavemeti açısı) ile değişimi klasik Mohr-Coulomb Kayma Kuvveti Kriteri'nden;

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_f = \frac{2(c \cos \phi + \sigma_3 \sin \phi)}{1 - \sin \phi} \quad (6.3)$$

Yüksek çevre basınçlarında zeminlerin kayma mukavemeti açısının bir miktar düştüğü bilinmektedir. Çevre basıncına bağlı olarak kayma mukavemeti açısındaki değişim, Duncan-Chang (1970) zemin modelinde,

$$\phi = \phi_0 - \Delta \phi \log \left(\frac{\sigma_3}{P_a} \right) \quad (6.4)$$

P_a : atmosfer basıncı

ϕ_0 : çevre basıncının atmosfer basıncına (P_a) eşit olması halindeki kayma mukavemeti açısı

$\Delta \phi$: çevre basıncının 10 kat artması ile kayma mukavemeti açısındaki düşüş miktarı

Duncan-Chang Zemin Modeli'nde elastik olmayan gerilme – deformasyon davranışı, yükleme ve boşaltma hallerinde farklı elastisite modülleri kullanılarak temsil edilir. Üç eksenli basınç deneyinde, herhangi bir yük kademesinde yük boşaltılır ve numune yeniden yüklenir ise boşaltma ve yeniden yükleme eğrilerinin eğimi başlangıç yükleme eğrisinin eğiminden daha büyük olduğu gözlenmektedir.

Duncan-Chang Zemin Modeli'nde, boşaltma ve yeniden yükleme modülleri (E_{ur}) birbirine eşit kabul edilip,

$$E_{ur}=K_{ur}P_a\left(\frac{\sigma_3}{P_a}\right)^n \quad (6.5)$$

K_{ur} : boşaltma-yeniden yükleme modülü (daima ilk yükleme modülünden büyüktür)

n : boyutsuz malzeme parametresi (çoğu zemin için $0 < n < 1$)

Doğrusal olmayan hacim değişimi davranışı için modifiye Duncan ve diğ. (1980) zemin modelinde, Bulk Modülü'nün (B), deviator gerilmeden bağımsız ve çevre basıncına bağımlı olduğu varsayılarak, çevre basıncı ile arasında,

$$B=K_bP_a\left(\frac{\sigma_3}{P_a}\right)^m \quad (6.6)$$

ampirik bağıntısı önerilmiştir.

K_b : boyutsuz Bulk Modülü katsayısı

m : boyutsuz malzeme parametresi (çoğu zemin için $0 < n < 1$)

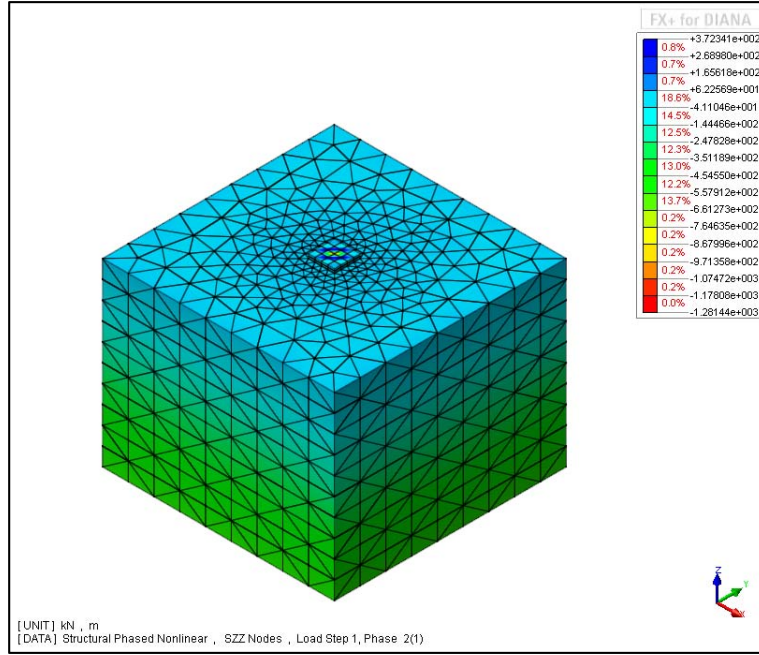
Çalışma kapsamında kullanılan Duncan – Chang Zemin Modeli Parametreleri Çizelge 6.3'te özetlenmiştir.

Çizelge 6.3 : Nümerik analizlerde kullanılan Duncan-Chang zemin parametreleri.

Parametre	Tanım	Birim	Değer
E_{ur}	Boşaltma – yeniden yükleme modülü	kN/m ²	100.000
E_i	Başlangıç teğet modülü	kN/m ²	25.000
c	Kohezyon	kN/m ²	100
$\sin \phi$	Kayma mukavemeti açısı sinüs değeri	-	0.02
R_f	Göçme oranı	-	0.9
P_{ref}	Referans basıncı	kN/m ²	100
n	Malzeme parametresi	-	0.5
m	Malzeme parametresi	-	0.5
E_{tmin}	Minimum teğet modülü	kN/m ²	200.000
σ_3	Asal gerilme	kN/m ²	10

6.5 Kazıklı Radyejeneral Temel Sisteminin Analizine Ait Sonuçlar

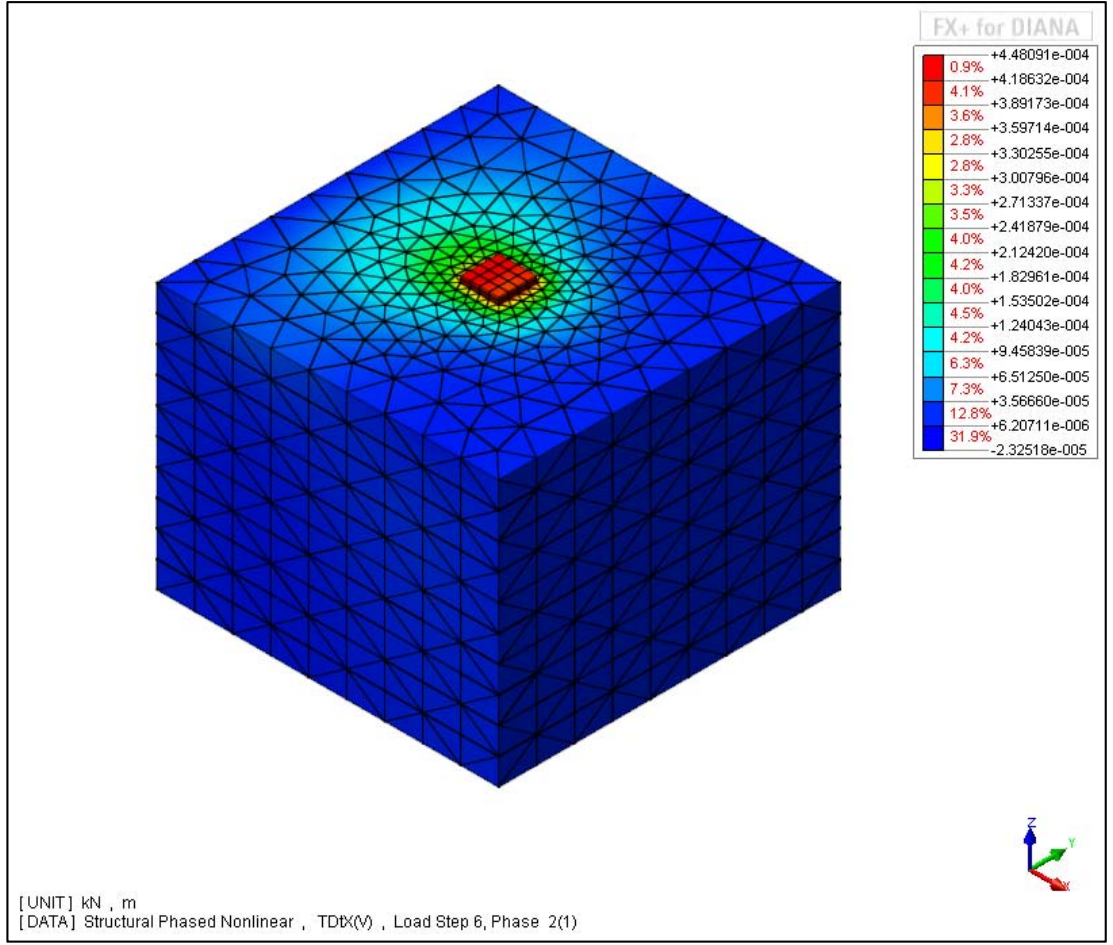
Analizlerde ilk aşama olarak sistemin kendi ağırlığından dolayı oluşacak gerilmeler ve oturmalar dikkate alınmıştır. Bu aşamada kazıklı radyejeneral temel üzerinde sadece 100kN/g değerine sahip kütle bulunmaktadır (Şekil 6.29).



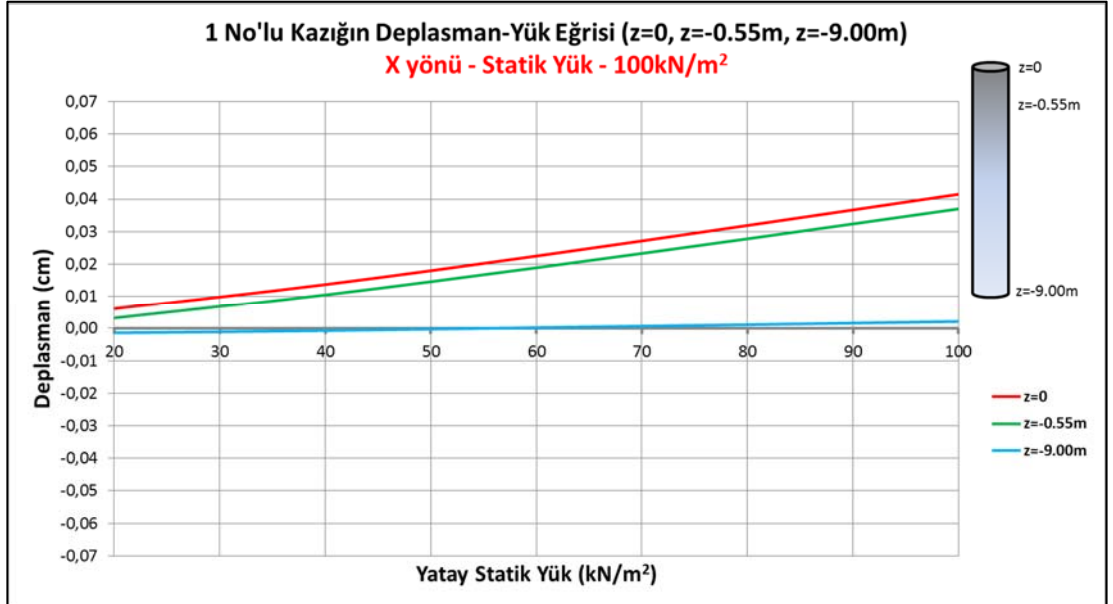
Şekil 6.29 : Sistemin kendi ağırlığından dolayı oluşan gerilmeler.

Daha sonra yatay yük olarak 100 kN/m^2 değerindeki statik yük 5 kademeli artımlarla sisteme yüklenerek sistemin statik yük etkisi altındaki davranış sonuçları elde edilmiş ve ardından 30sn'lik deprem kaydı kullanılarak dinamik analiz gerçekleştirilmiştir.

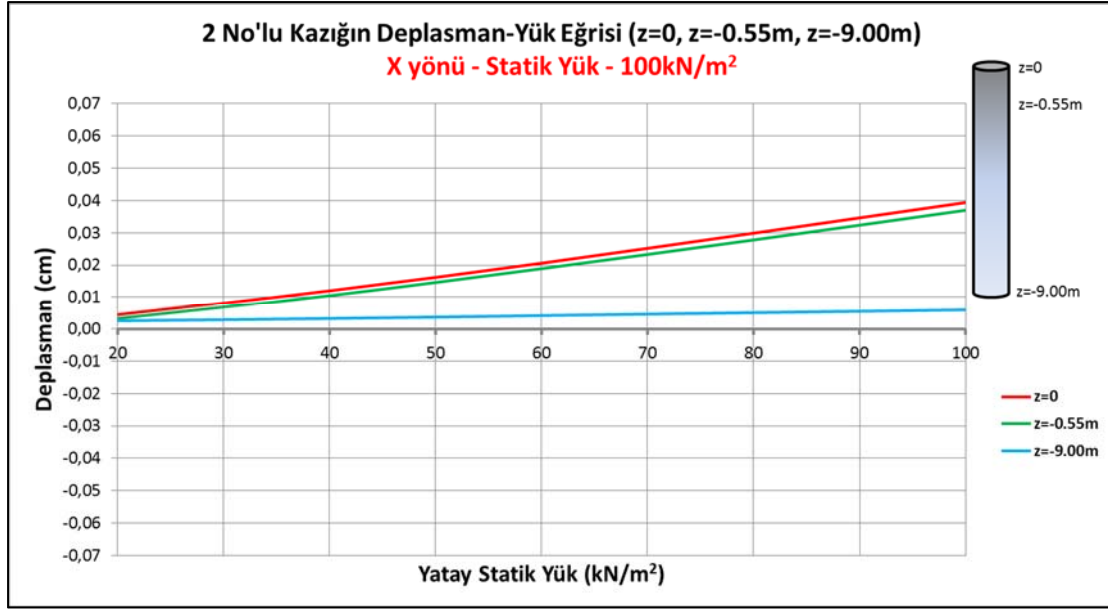
Analizlere ait sonuçlar verilirken ilk olarak kazıkların statik yük artımları altındaki yatay yerdeğiştirmeleri verilmiştir. Şekil 6.30'da statik yanal yük altındaki kazıklı radyejeneral temel sisteminin yatay deformasyon konturları gösterilmiştir. Yatay yerdeğiştirmeler kazık başında, radyejeneral temel alt kotunda ve kazık alt ucunda hesaplanmıştır. Statik yükün artmasıyla kazık başlarında ve radyejeneral temel alt kotuna denk gelen kısımlarda ($z=0$ ve $z=-0.55\text{m}$ kotu) yatay deplasmanlar kazık alt uçlarına göre daha fazladır. Yükün uygulama bölgesine yakın olan 1 ve 3 nolu kazıkların uç bölgelerinde yaptıkları yatay deplasmanlar 2 ve 4 nolu kazığa göre daha azdır (Şekil 6.31, Şekil 6.32, Şekil 6.33, Şekil 6.34).



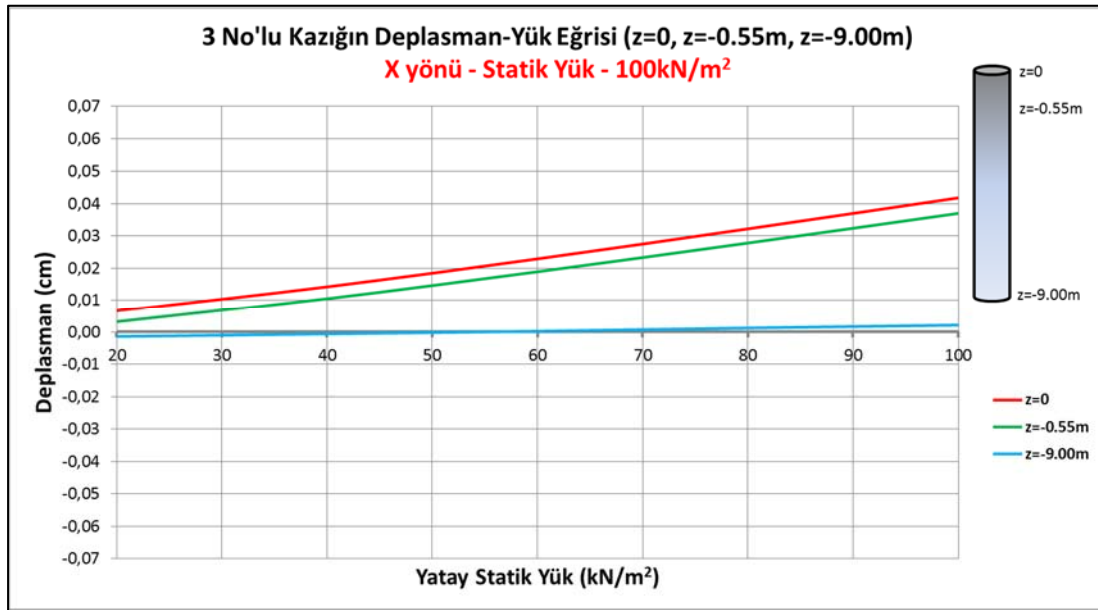
Şekil 6.30 : Statik yük altında temel sisteminde oluşan yatay deformasyon.



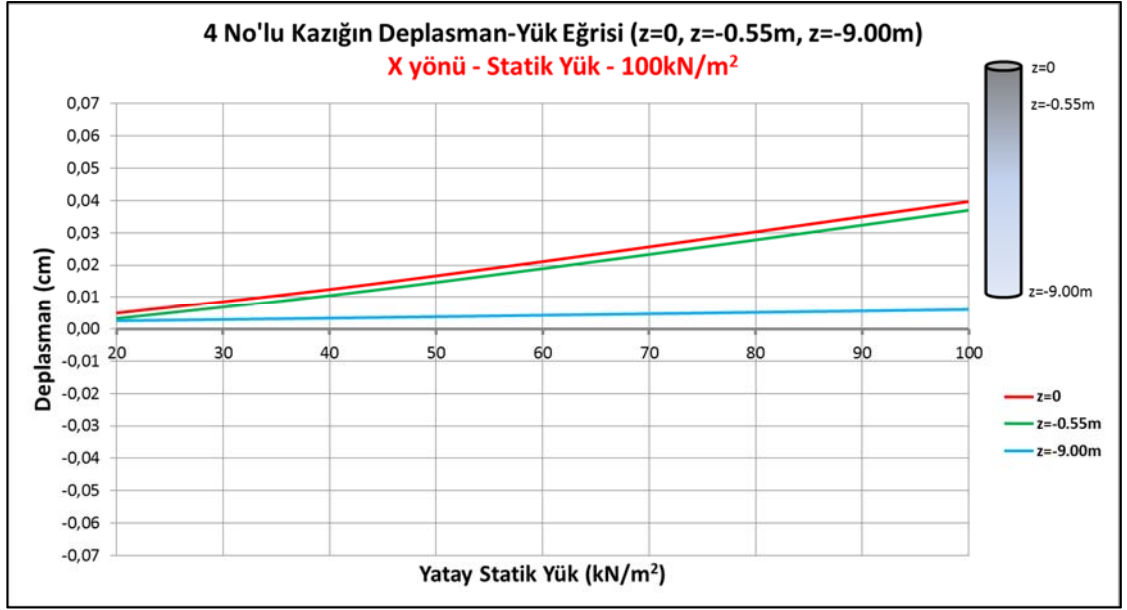
Şekil 6.31 : 1 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).



Şekil 6.32 : 2 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).

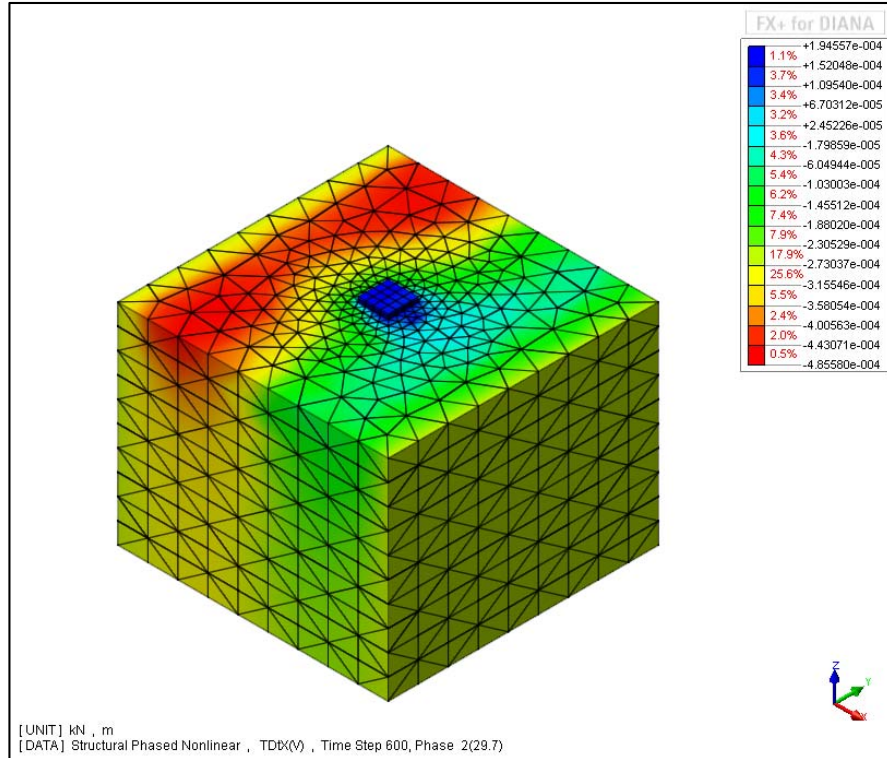


Şekil 6.33 : 3 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).



Şekil 6.34 : 4 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).

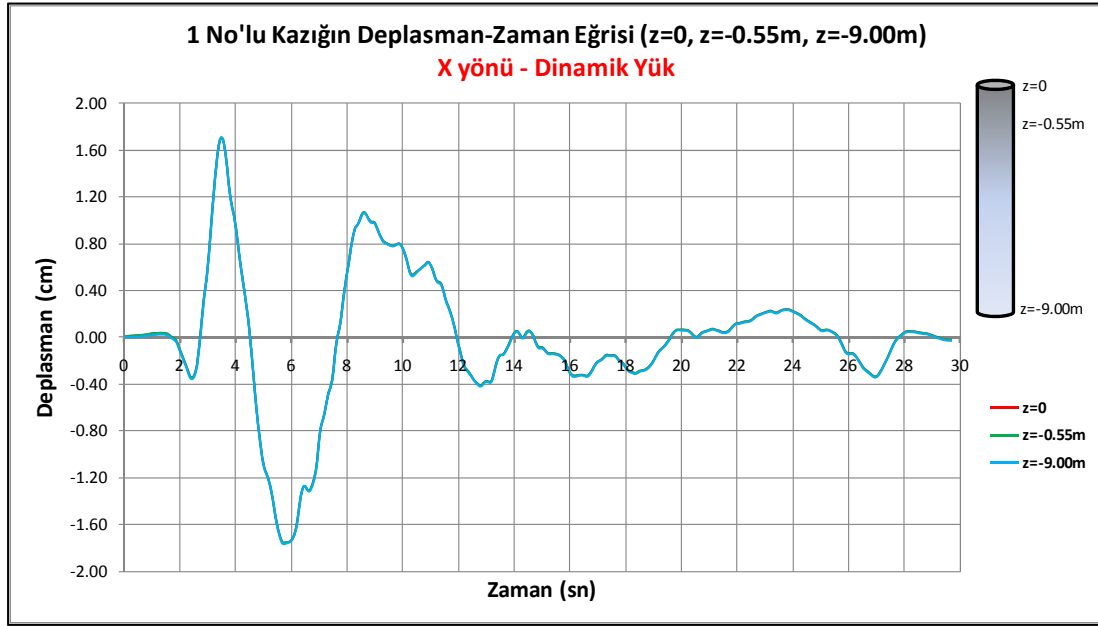
Kazıkların 30sn'lik dinamik analiz sırasında gösterdikleri yatay deplasmanlara ait temel sisteminde oluşan deformasyon konturları Şekil 6.35'te gösterilmiştir.



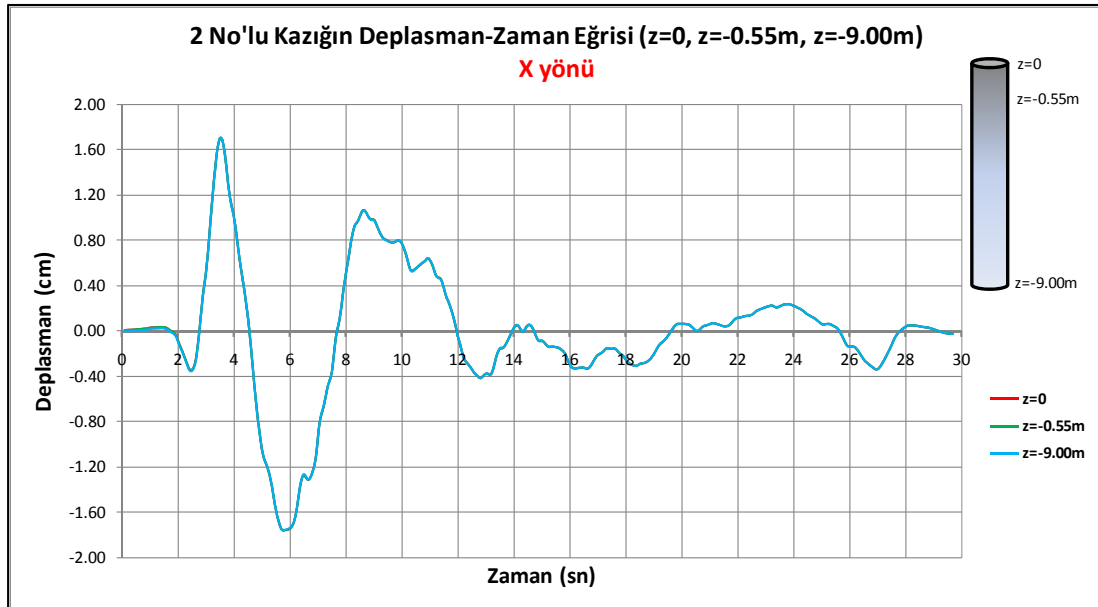
Şekil 6.35 : 30sn'de sistemde oluşan yatay yerdeğiştirmeler.

Kazıkların dinamik analiz süresince göstermiş oldukları yatay yerdeğiştirmeler benzerlik göstermektedir. Kazıkların yaptıkları yatay yerdeğiştirmeler +X ve +X

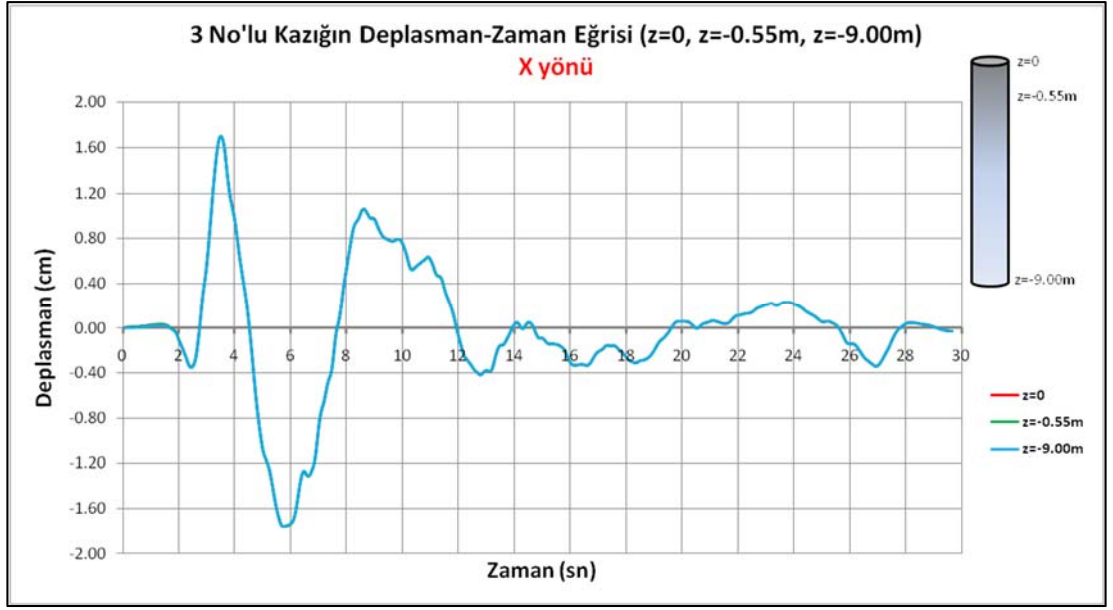
yönlerinde maksimum 1.70cm civarındadır (Şekil 6.36, Şekil 6.37, Şekil 6.38, Şekil 6.39).



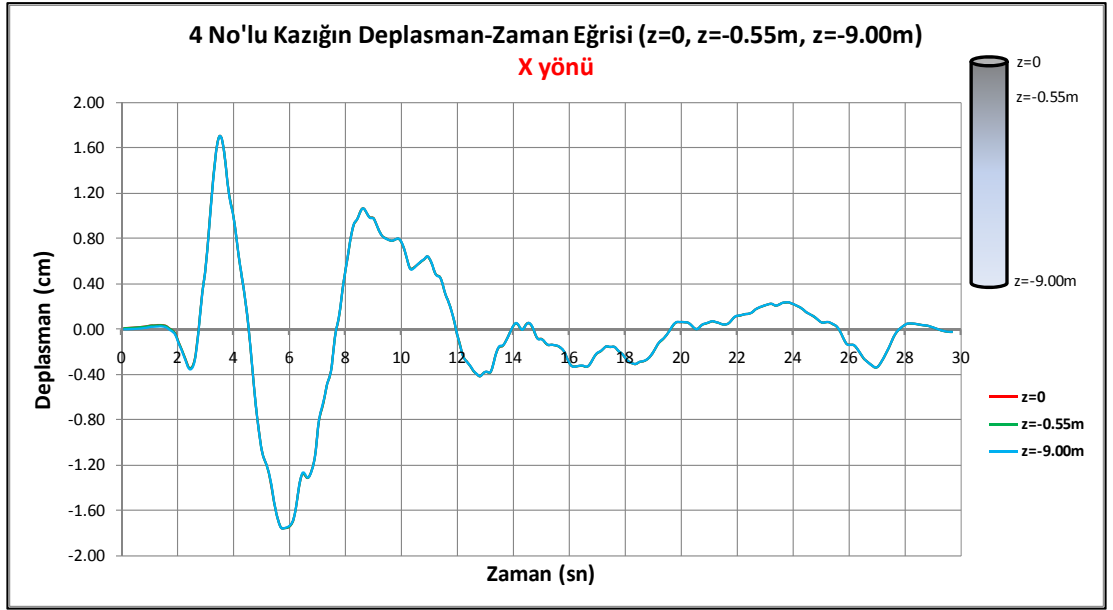
Şekil 6.36 : 1 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).



Şekil 6.37 : 2 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).

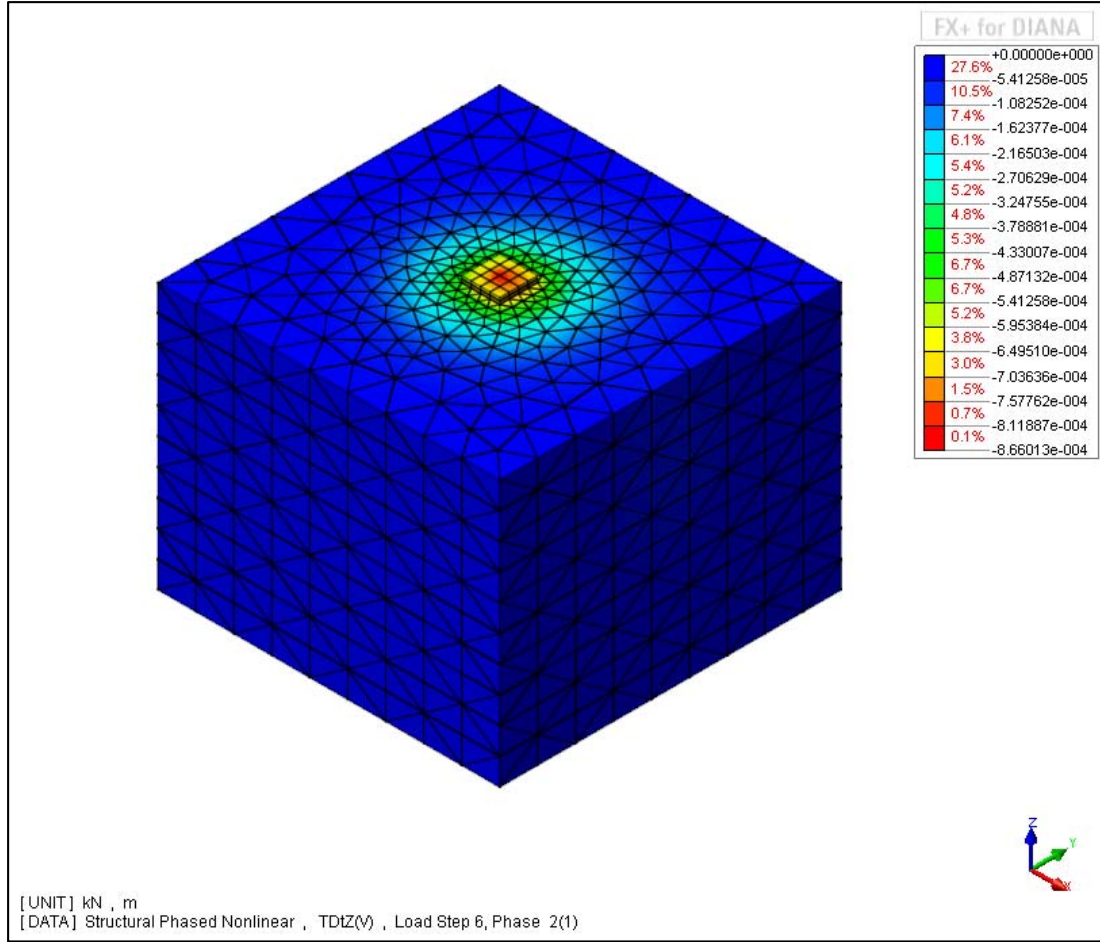


Şekil 6.38 : 3 No'lu kazıġa ait yatay deplasman ve yük eġrisi (dinamik).



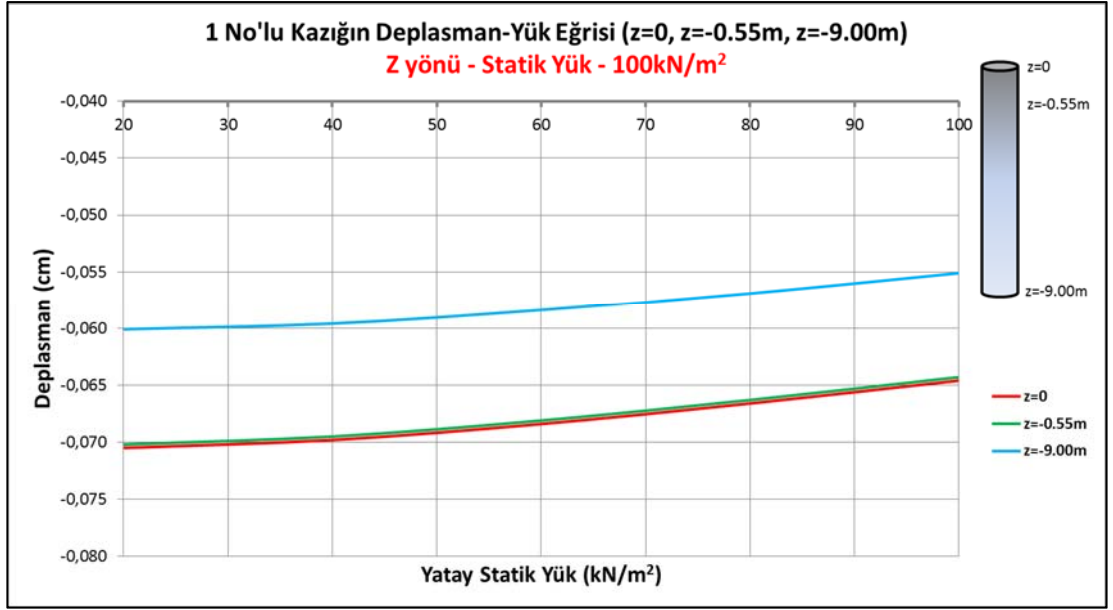
Şekil 6.39 : 4 No'lu kazıġa ait yatay deplasman ve yük eġrisi (dinamik).

Statik yanal yüklerden dolayı oluşan düşey yerdeġişmelere ait deformasyon konturları Şekil 6.40'da gösterilmiştir.

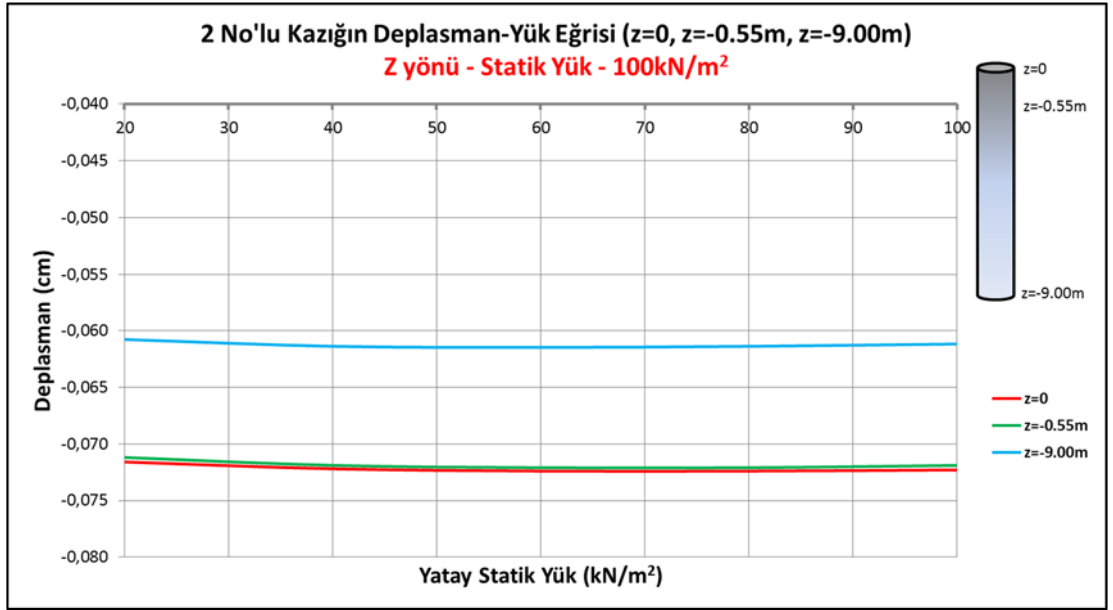


Şekil 6.40 : Statik yükleme neticesinde oluşan düşey yerdeğıştirmeler.

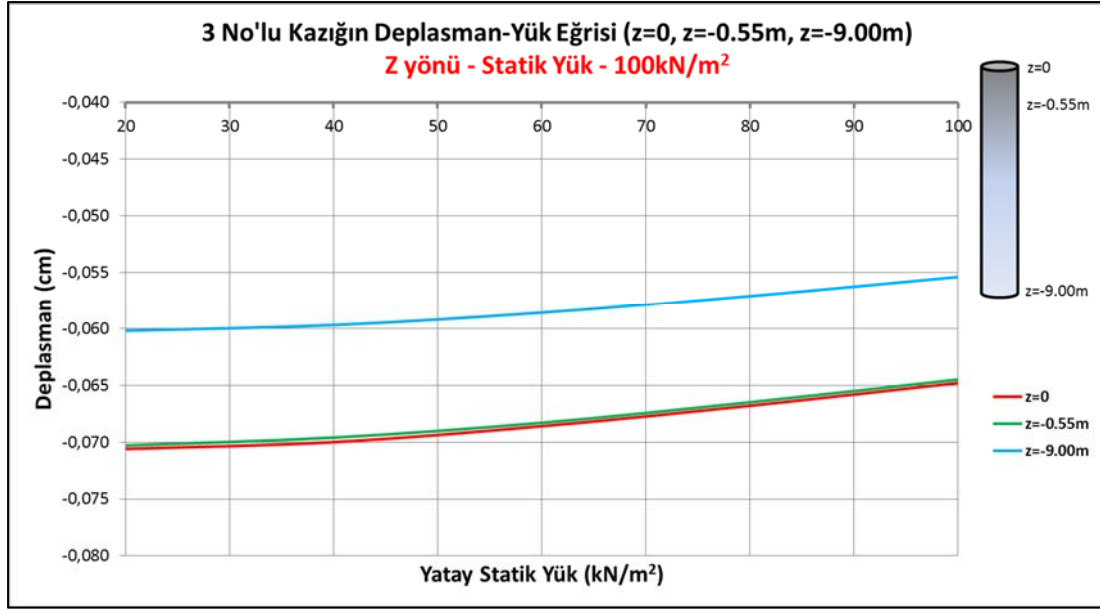
Tüm kazıklar için statik yanal yük altındaki düşey yerdeğıştirmelerin kazık başında ve radyejeneral temel alt kotundaki değeri kazık alt ucunda hesaplanan düşey yerdeğıştirmelere oranla daha fazladır. Yatay yükün uygulandığı yere yakın olan 1 ve 3 No'lu kazıklarda yatay yükün artması ile düşey yerdeğıştirmeler azalırken 2 ve 4 No'lu kazıklarda düşey yerdeğıştirmelerde değışiklik gözükmemektedir (Şekil 6.41, Şekil 6.42, Şekil 6.43, Şekil 6.44).



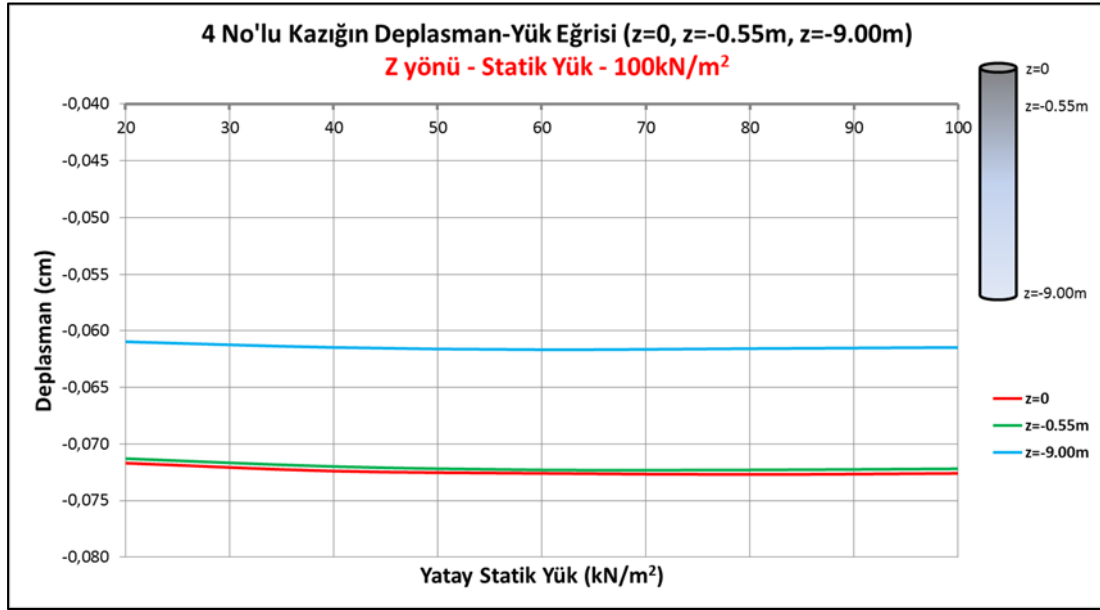
Şekil 6.41 : 1 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).



Şekil 6.42 : 2 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).

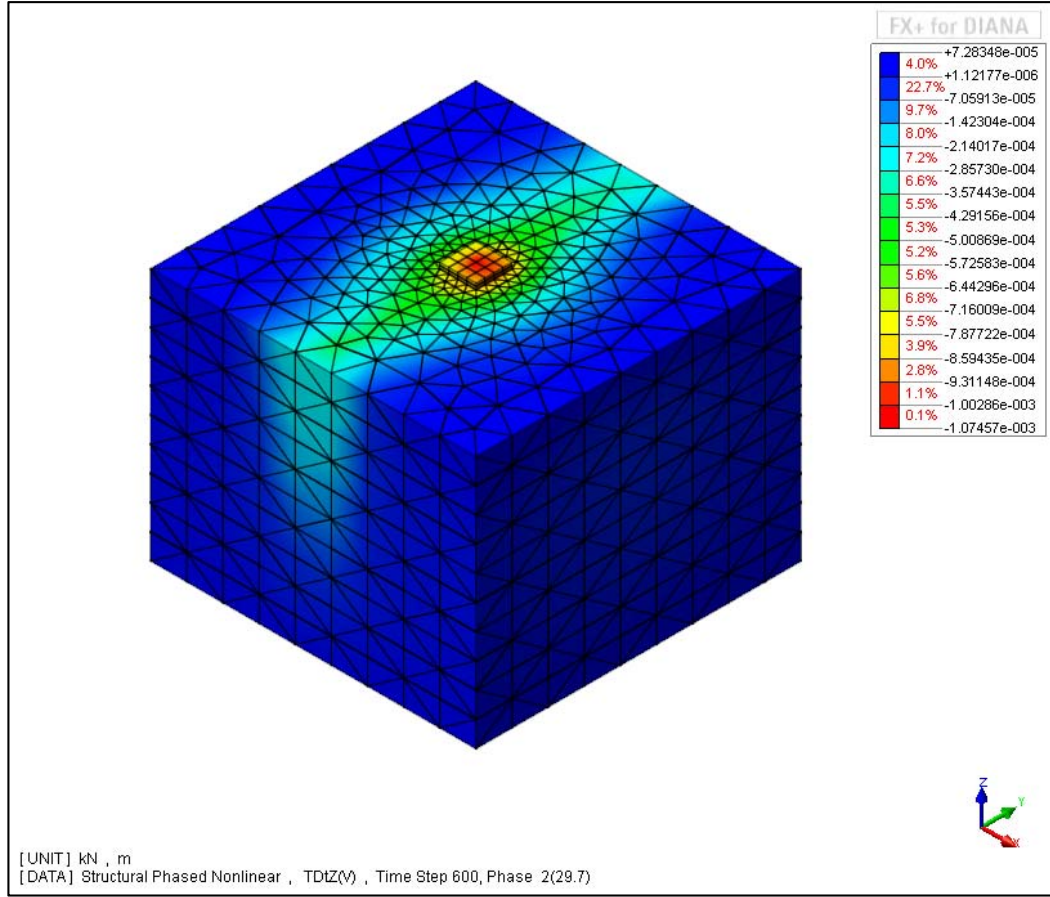


Şekil 6.43 : 3 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).



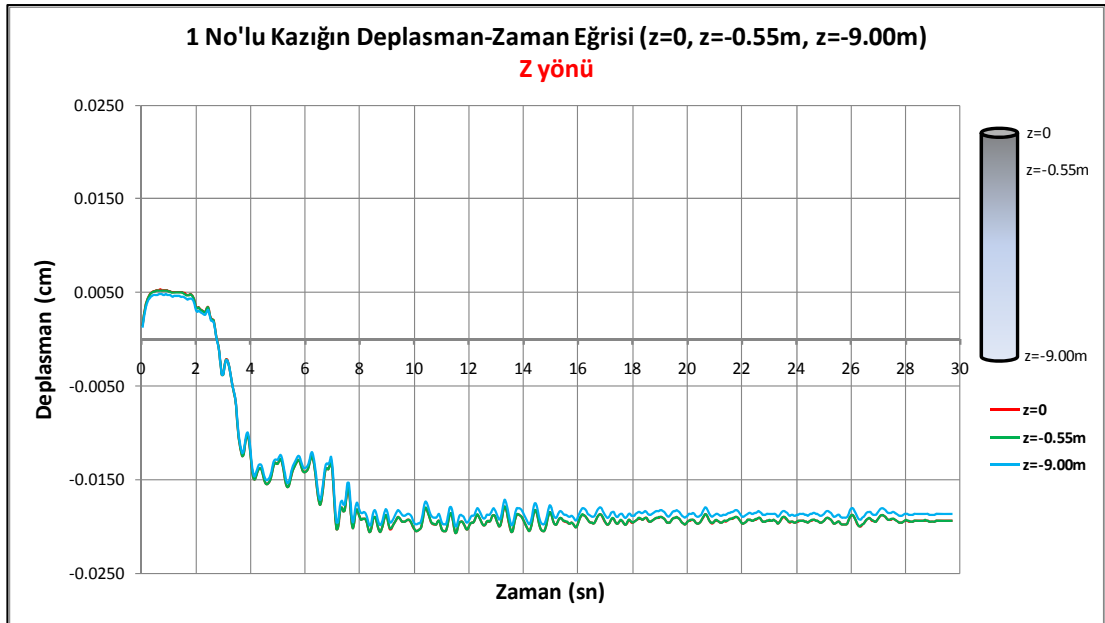
Şekil 6.44 : 4 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).

Dinamik analiz neticesinde temel sisteminde oluşan düşey deformasyonlara ait kontur eğrileri 30sn için Şekil 6.45'te gösterilmiştir.

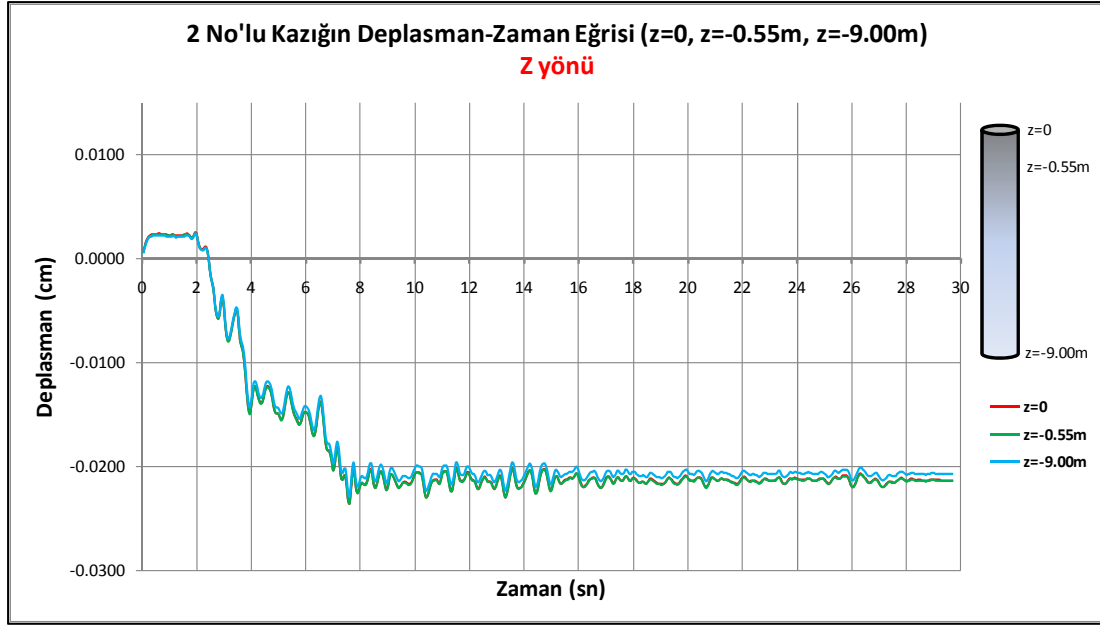


Şekil 6.45 : 30. sn'de sistemde oluşan düşey yerdeğıştirmeler.

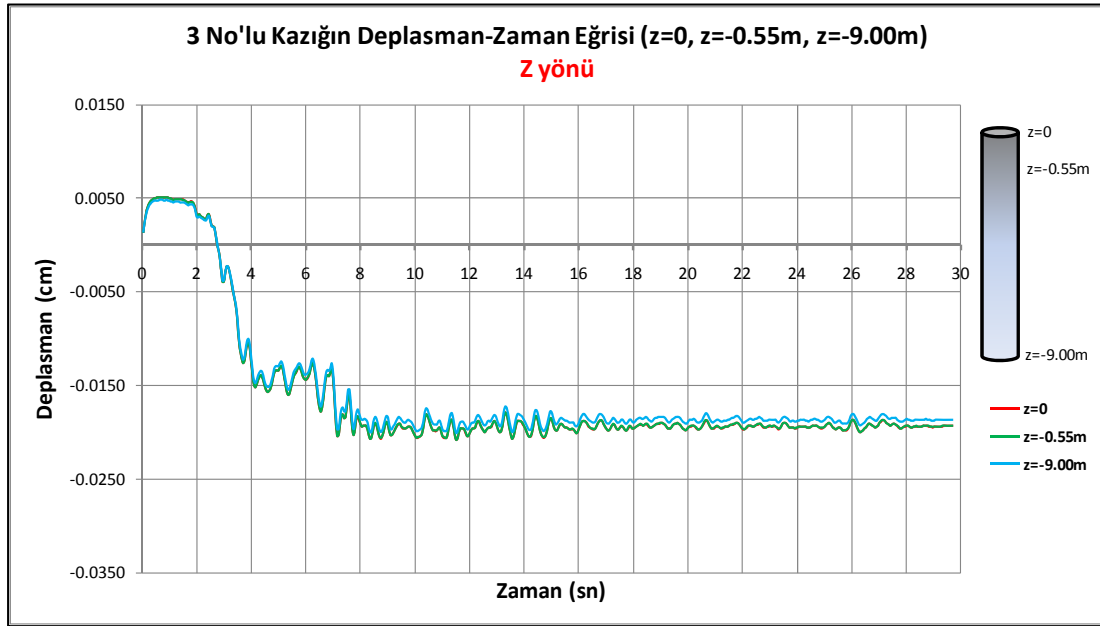
Dinamik yük altında kazıklarda meydana gelen düşey yerdeğıştirmeler tüm kazıklar için yakın sonuçlar vermiştir (Şekil 6.46, Şekil 6.47, Şekil 6.48, Şekil 6.49).



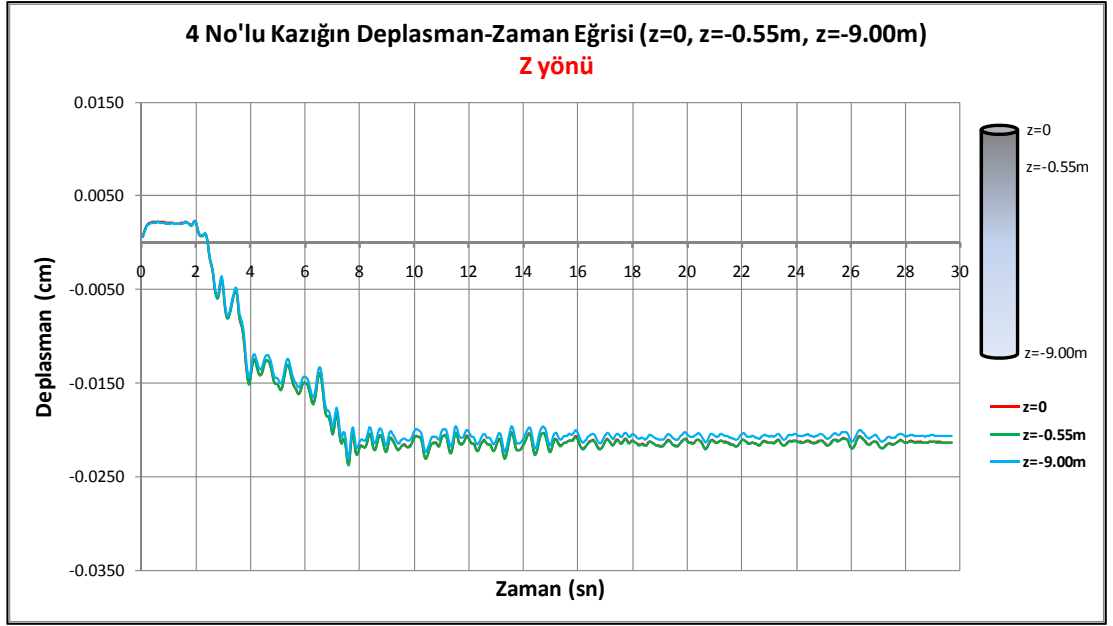
Şekil 6.46 : 1 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).



Şekil 6.47 : 2 No'lu kazıĝa ait düşey deplasman ve yük eĝrisi (dinamik).

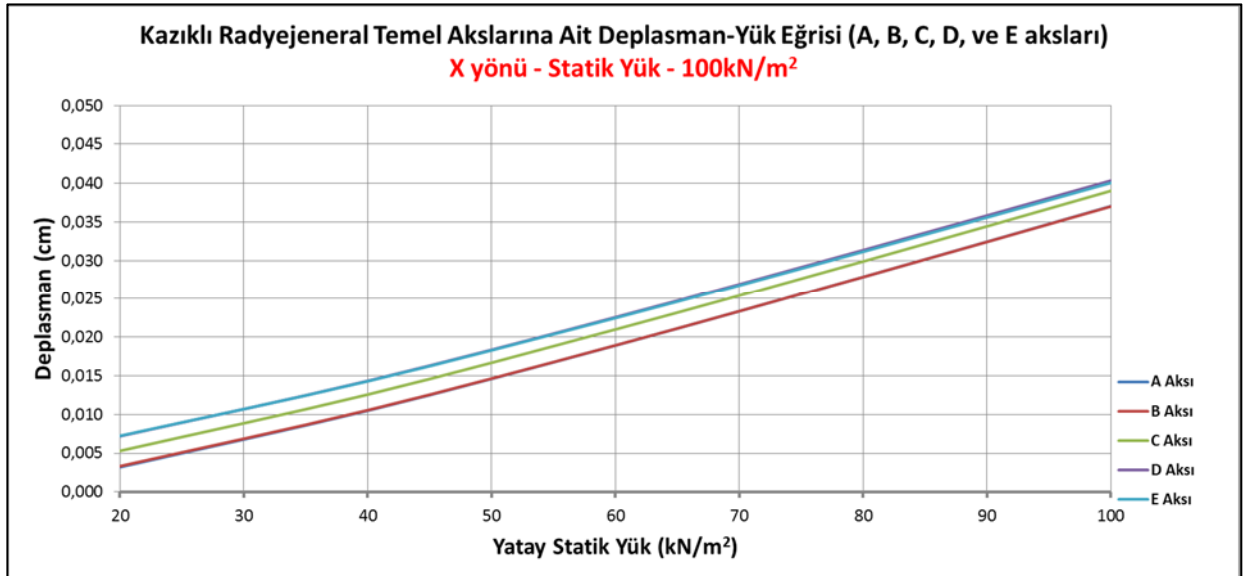


Şekil 6.48 : 3 No'lu kazıĝa ait düşey deplasman ve yük eĝrisi (dinamik).



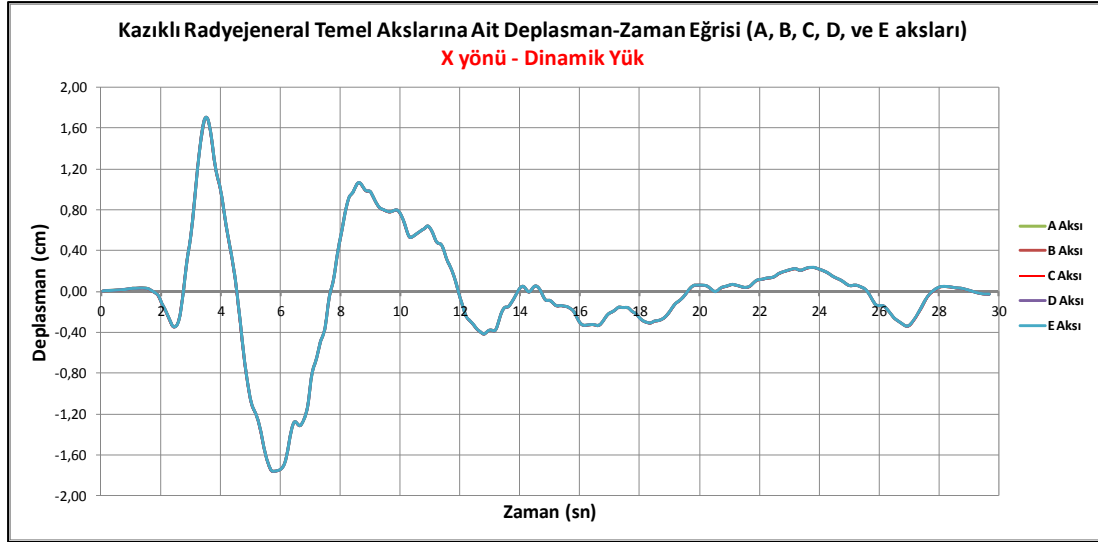
Şekil 6.49 : 4 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).

Kazıklı radyejeneral temel sisteminde statik yük altında yapılan analizler neticesinde radyejeneral temel akslarında yatay yönde meydana gelen yerdeğiştirmeler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 6.50). Statik yükün uygulama noktasına yakın olan A ve B akslarında oluşan düşey yerdeğiştirme, yükün uygulama noktasına uzak olan D ve E akslarındaki değere göre daha büyüktür.



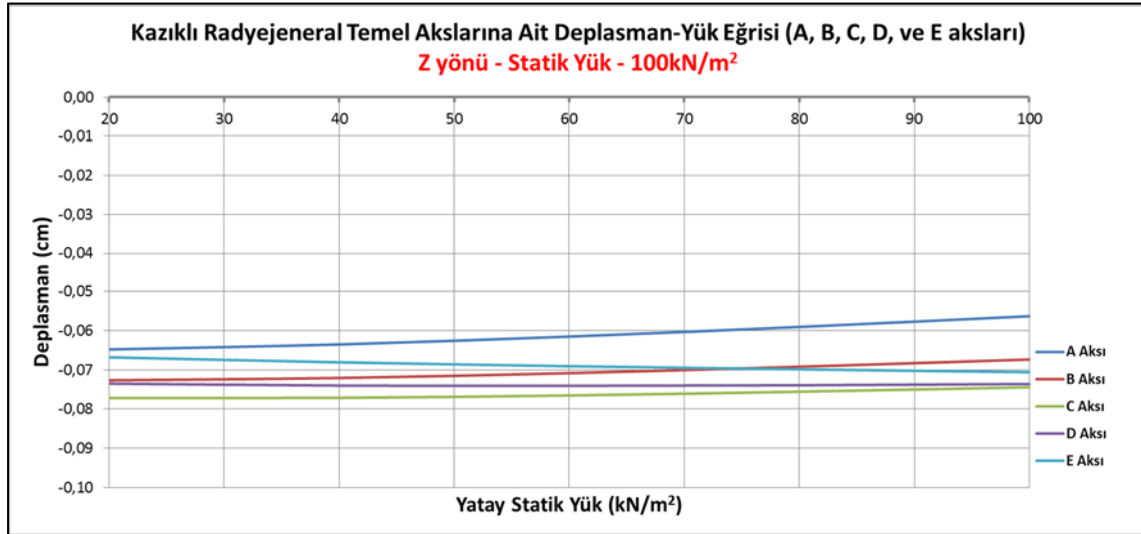
Şekil 6.50 : Kazıklı radyejeneral temel akslarına ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).

Kazıklı radyejeneral temel akslarında dinamik analiz neticesinde belirlenen yerdeğiştirme - zaman grafiği Şekil 6.51'de gösterilmiştir.

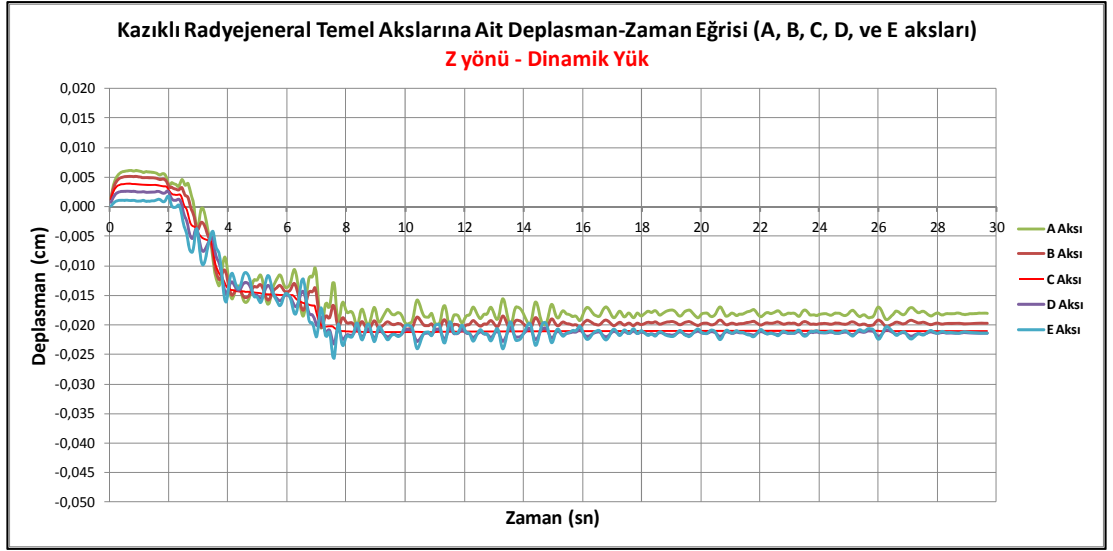


Şekil 6.51 : 30 sn'lik dinamik analize ait kazıklı radyejeneral temel akslarında meydana gelen yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).

Kazıklı radyejeneral temel akslarının statik ve dinamik yük altındaki yatay yerdeğiştirmelerine ilave olarak düşey yerdeğiştirmeleri de Şekil 6.52 ve 6.53'te verilmiştir.

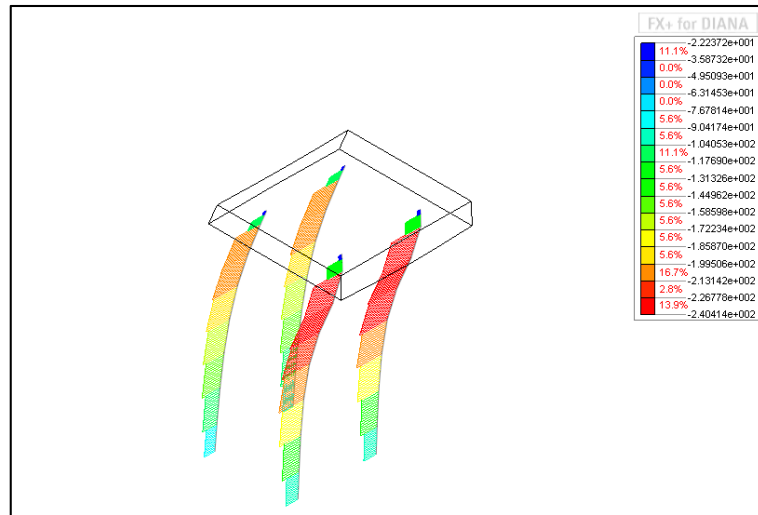


Şekil 6.52 : Kazıklı radyejeneral temel akslarına ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).

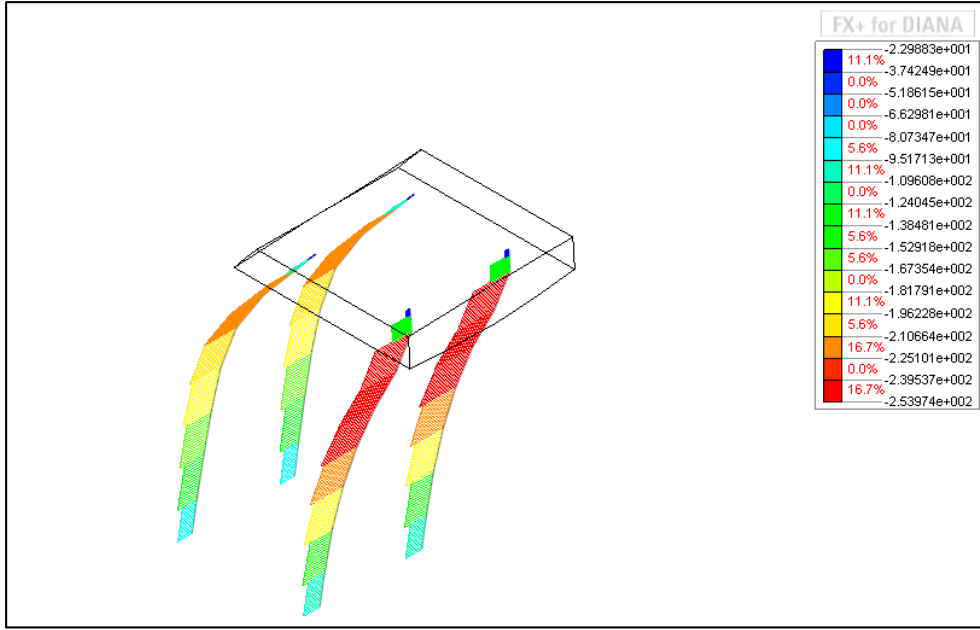


Şekil 6.53 : 30 sn'lik dinamik analize ait kazıklı radyejeneral temel akslarında meydana gelen düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).

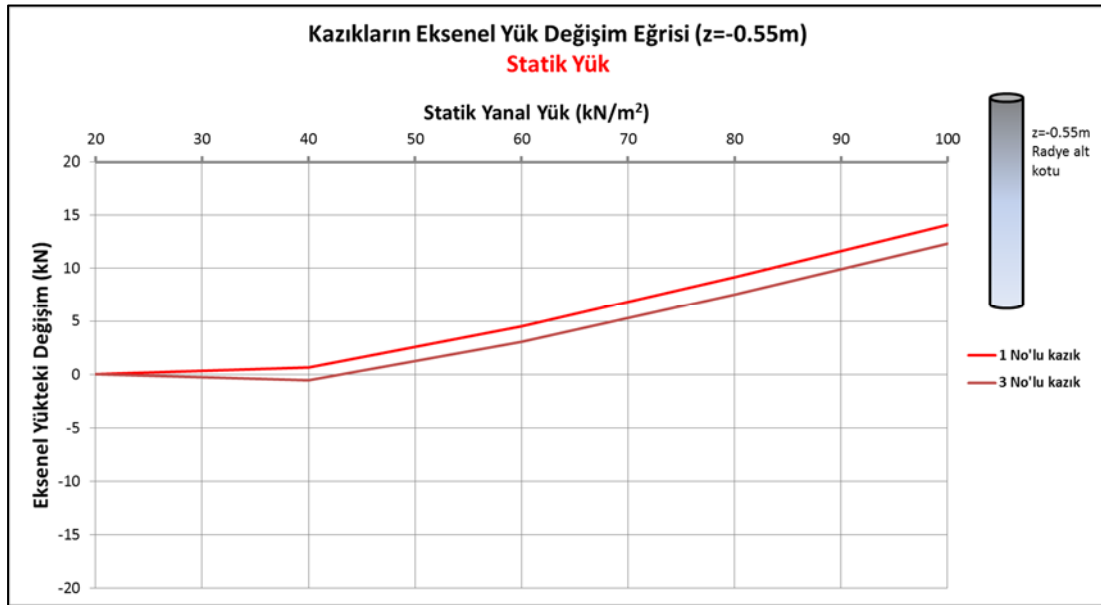
Kazıklarda meydana gelen eksenel yükün etkisine ait statik ve dinamik koşullar altında meydana getirdiği yük konturları Şekil 6.54 ve 6.55'te verilmiştir. Kazıklı radyejeneral temelin statik ve dinamik yük altındaki davranışı sırasında kazık başlarına etkiyen normal kuvvette meydana gelen değişimler Şekil 6.56, 6.57 ve 6.58'de gösterilmiştir. İlk olarak statik yük artımları altında kazıklardaki normal kuvvet değişimleri, daha sonra dinamik etki nedeniyle kazık başlarındaki normal kuvvet değişimleri ile bu değişimlerin rölatif olarak gösterdikleri davranış belirlenmiştir. Statik yükün artışına bağlı olarak statik yükün uygulama noktasına yakın olan 1 ve 3 No'lu kazıklarda eksenel yük azalırken 2 ve 4'No'lu kazıklarda eksenel yük artışı gözlenmiştir.



Şekil 6.54 : Kazıklarda meydana gelen eksenel yük (statik).

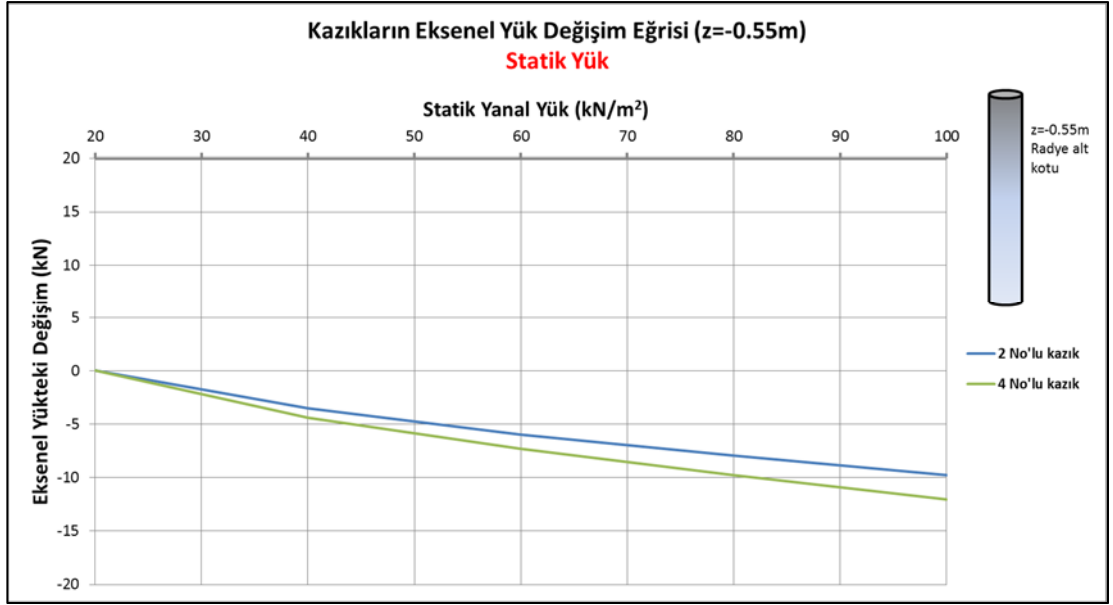


Şekil 6.55 : 30. sn'de kazıklarda meydana gelen eksenel yük (dinamik).



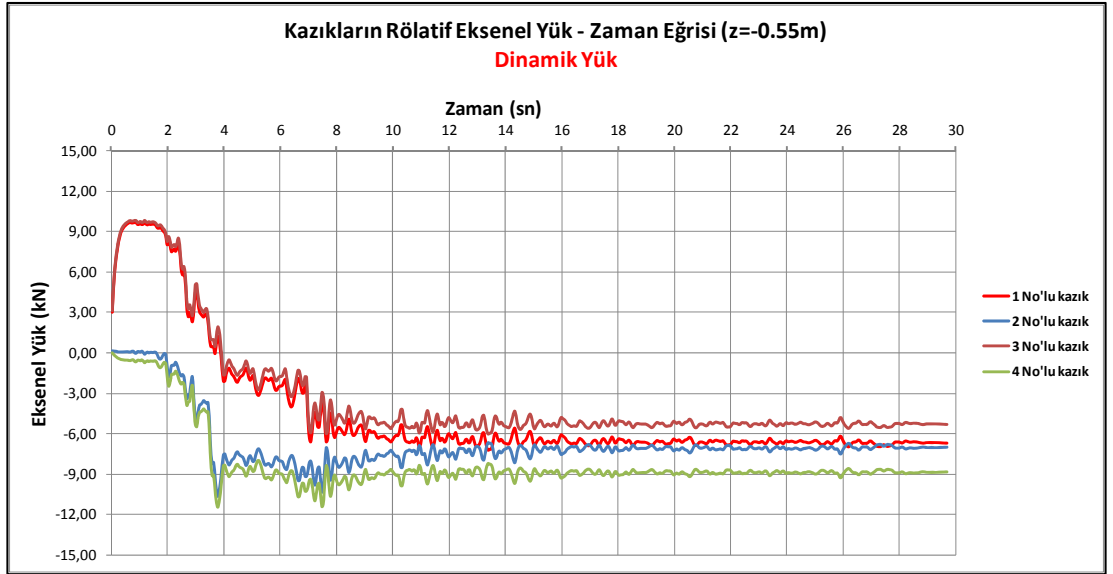
Şekil 6.56 : 1 ve 3 No'lu kazıkların eksenel yük değişimi (statik).

Dinamik yük etkisi sonucunda tüm kazıkların eksenel yüklerinde artış söz konusudur.



Şekil 6.57 : 2 ve 4 No'lu kazıkların eksenel yük değişimi (statik).

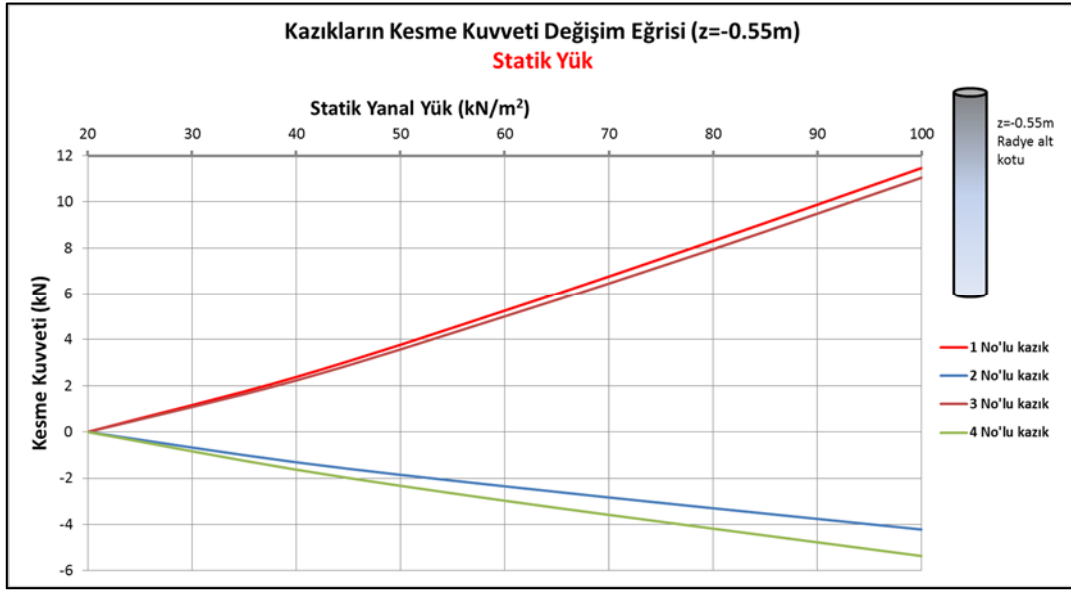
Statik yükün uygulandığı bölgeye yakın olan 1 ve 3 No'lu kazıklarda meydana gelen eksenel yük değişimi 2 ve 4 No'lu kazığa oranla daha fazla gözlenmiştir.



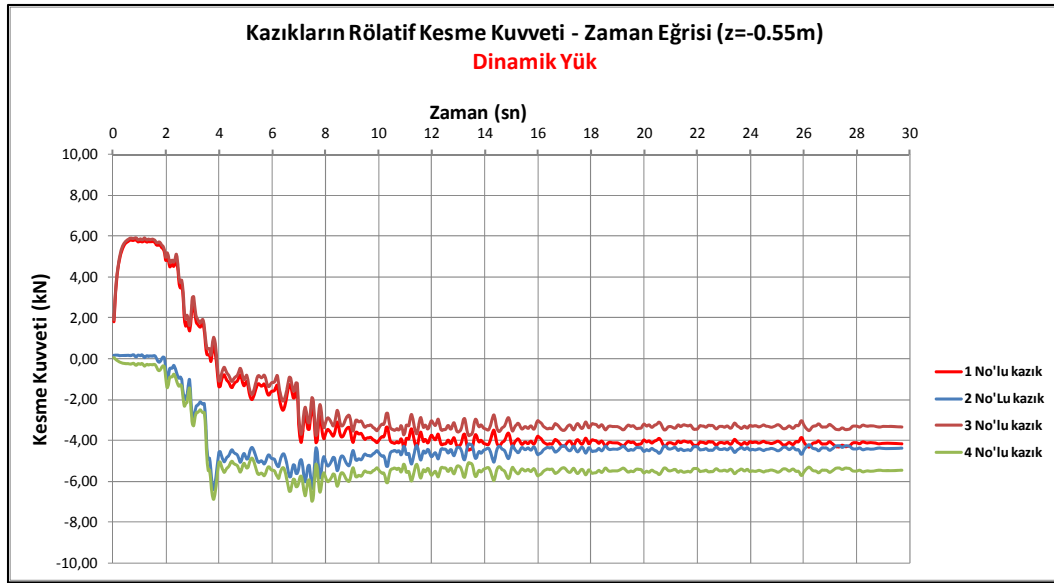
Şekil 6.58 : Kazıkların rölatif eksenel yük değişimi (dinamik).

Kazıklı radyejeneral temelin statik ve dinamik yük altındaki davranışı sırasında kazık başlarına etkiyen kesme kuvvetinde meydana gelen değişimler Şekil 6.59 ve 6.60'ta gösterilmiştir. İlk olarak statik yük artımları altında kazıklardaki normal kuvvet değişimleri, daha sonra dinamik etki nedeniyle kazık başlarındaki kesme kuvveti değişimleri rölatif olarak belirlenmiştir. Statik yükün artışına bağlı olarak statik

yükün uygulama noktasına yakın olan 1 ve 3 No'lu kazıklarda kesme kuvveti artışı 2 ve 4'No'lu kazıklardaki kesme kuvvetinde artışından daha fazladır.



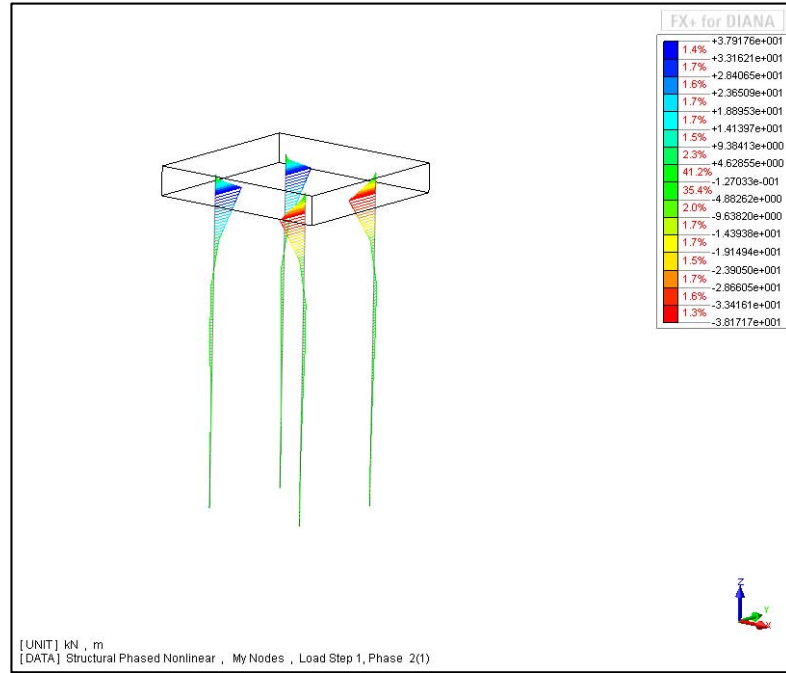
Şekil 6.59 : Kazıkların kesme kuvveti değişimi (statik).



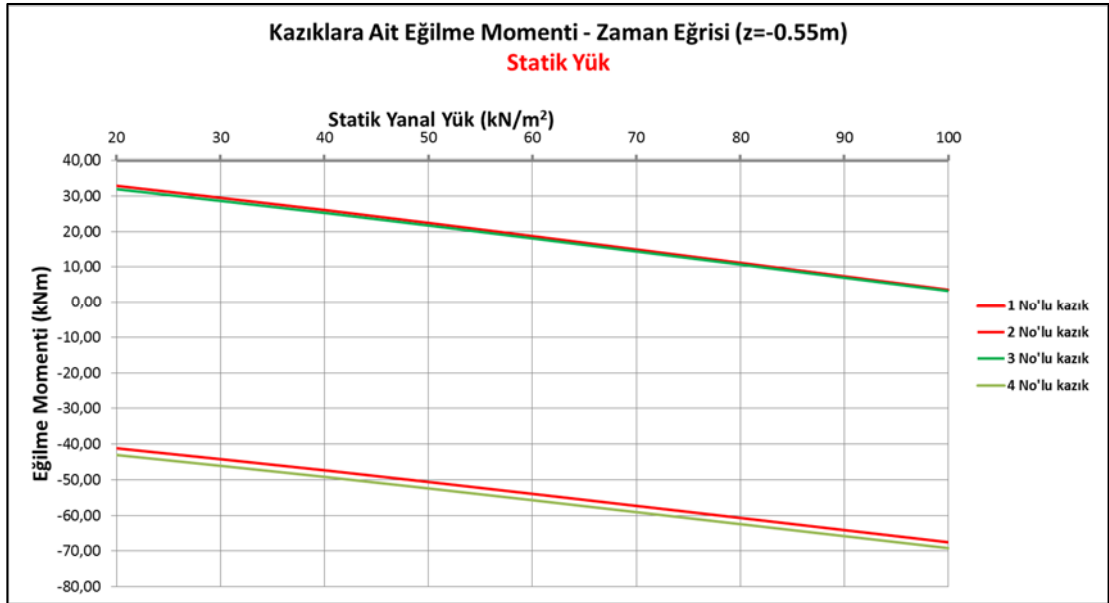
Şekil 6.60 : Kazıkların rölatif kesme kuvveti değişimi (dinamik).

Kazıklarda meydana gelen moment etkisinin statik koşul altında meydana getirdiği konturlar Şekil 6.61'de verilmiştir. Kazıklı radyejeneral temelde kazıklarda meydana gelen momentler incelendiğinde statik yük altındaki moment değişimleri mutlak değerce tüm kazıklarda birbirine yakın değerlerde gerçekleşmiştir. Dinamik analiz sırasında statik yükün uygulandığı noktaya yakın olan 1 ve 3 No'lu kazıklardaki

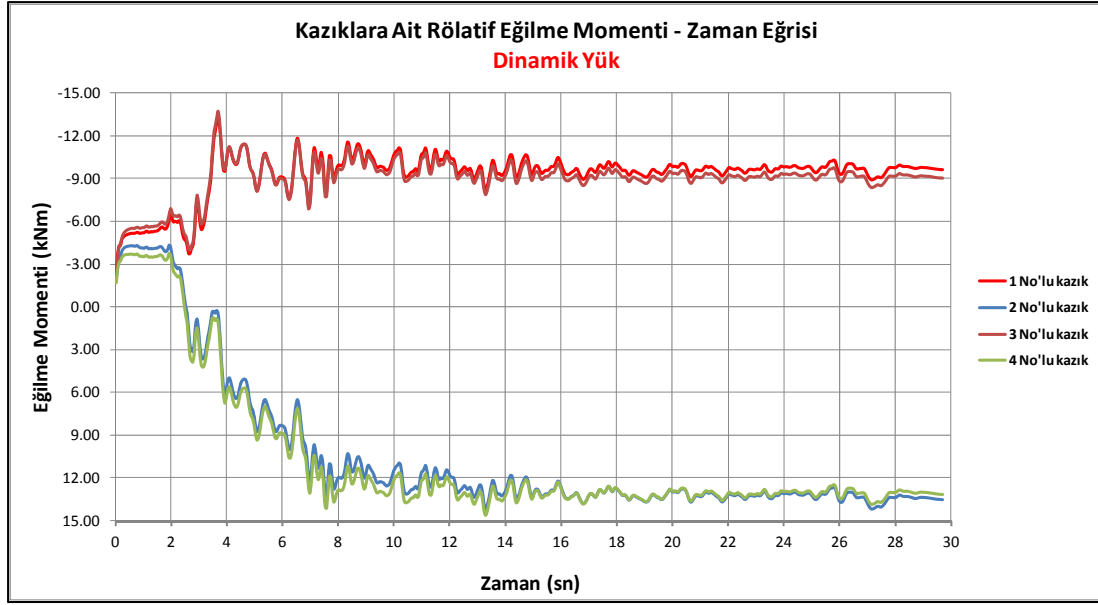
moment değişim miktarı 2 ve 4 No'lu kazığa göre daha fazla gerçekleşmiştir (Şekil 6.62, Şekil 6.63).



Şekil 6.61 : Kazıklarda meydana gelen moment (statik).

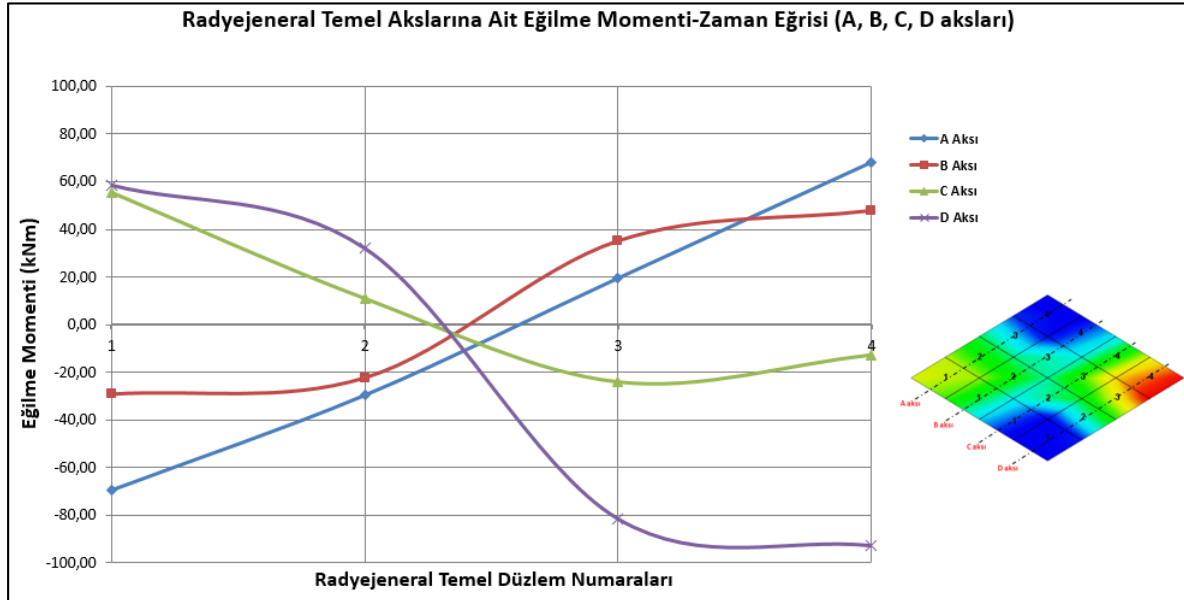


Şekil 6.62 : Kazıkların eğilme momenti değişimi (statik).

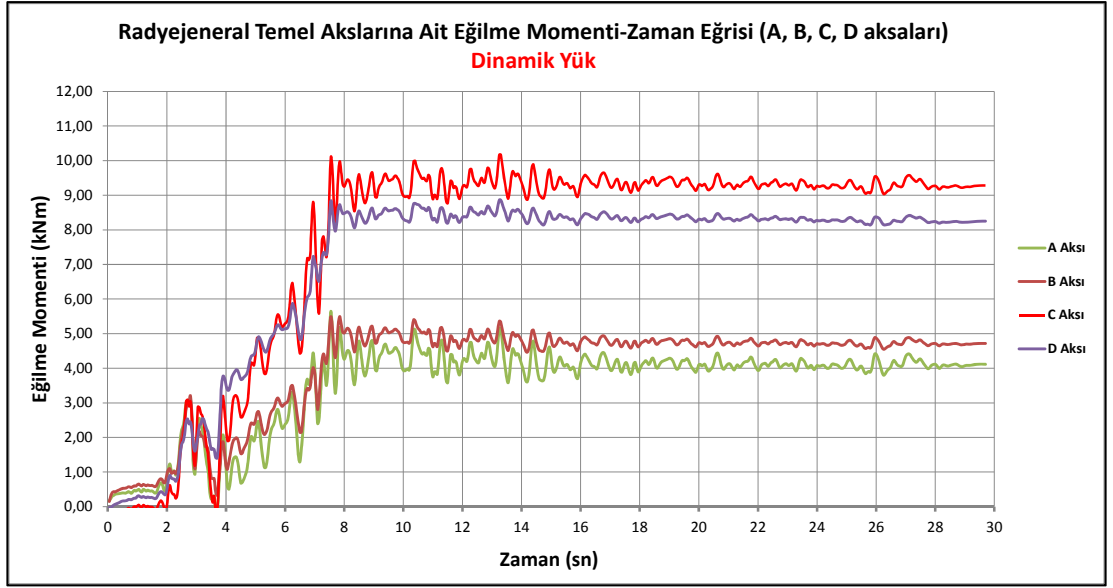


Şekil 6.63 : Kazıkların eğilme momenti değişimi (dinamik).

Kazıklı radyejeneral temelde plak temel akslarında meydana gelen momentler incelendiğinde statik yük altındaki moment değişimleri mutlak değerce tüm akslarda birbirine yakın değerlerde gerçekleşmiştir (Şekil 6.64). Dinamik analiz sırasında ise kazıkların dinamik analiz sonuçlarına paralellik gösterecek şekilde statik yükün uygulandığı noktaya yakın olan A ve B akslarındaki moment değişim miktarı C ve D akslarındaki moment değişim miktarına göre daha fazla gerçekleşmiştir (Şekil 6.65).



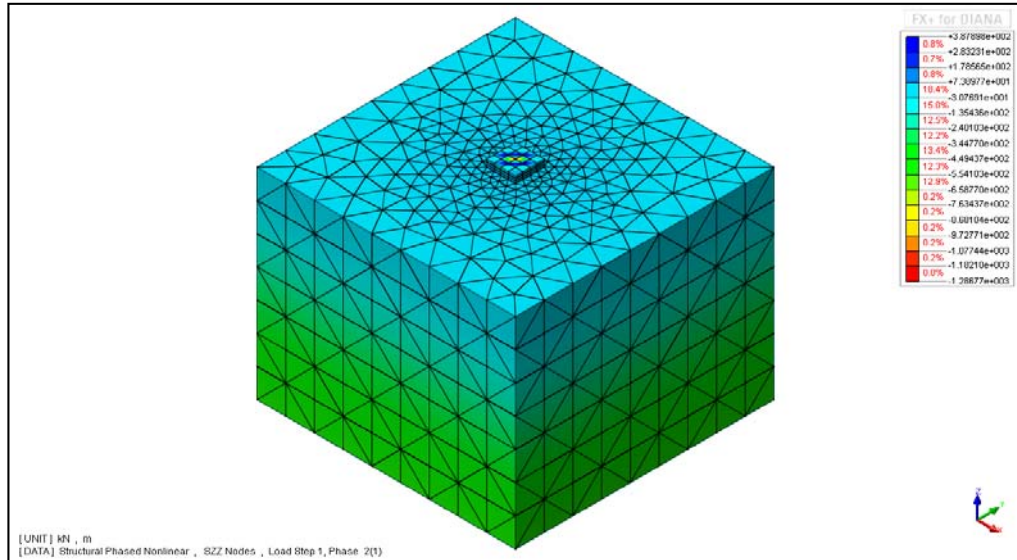
Şekil 6.64 : Radyejeneral temel akslarına ait eğilme momenti değişimi (statik).



Şekil 6.65 : Radyejeneral temel akslarına ait eğilme momenti değişimi (dinamik).

6.6 Kazıklı Temel Sisteminin Analizine Ait Sonuçlar

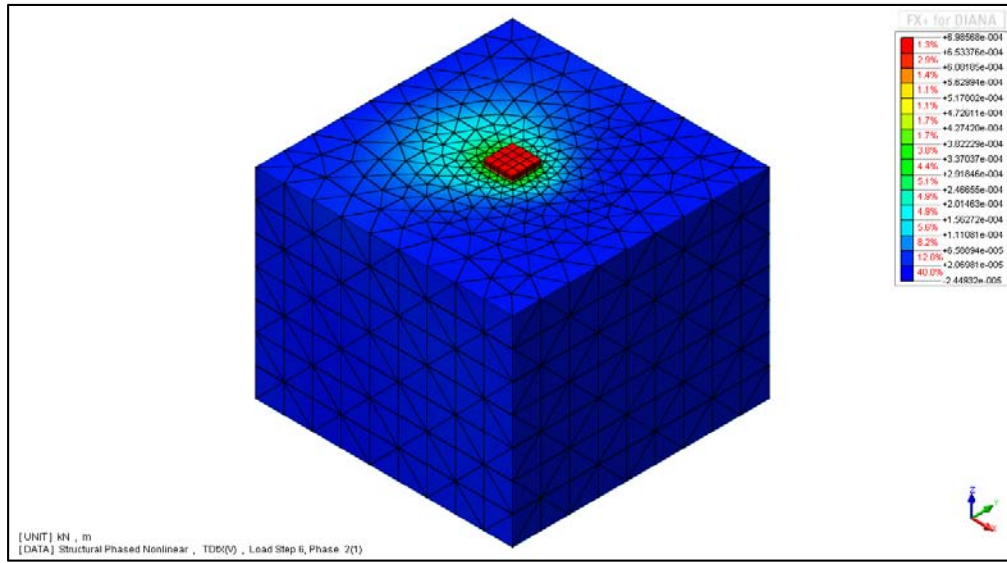
Kazıklı temel sistemi analizlerinde Bölüm 6.5'te kazıklı radyejeneral temel sistemi için yapılan analiz sıralaması izlenmiştir. Analiz adımlarında temel sisteminin üzerindeki kütle ile beraber zeminde oluşturduğu düşey gerilmeleri ve oturmaları dikkate alarak statik ve dinamik yüklemek koşullarına ait sonuçlara ulaşmaktır. Şekil 6.66'de statik yükleme öncesindeki zemindeki düşey gerilme durumu gösterilmiştir.



Şekil 6.66 : Sistemin kendi ağırlığından dolayı oluşan gerilmeler.

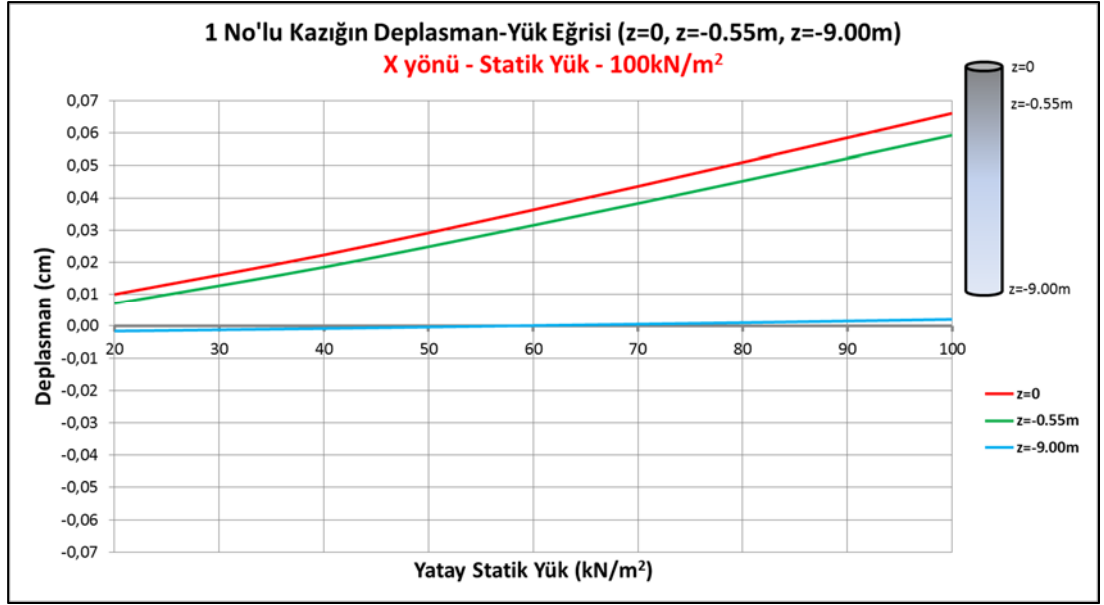
Zeminin ağırlığından dolayı oluşan gerilmeler ve oturmalar belirlendikten sonra ilk aşamada radyejeneral temele uygulanan 100 kN/m^2 değerindeki yatay yük 5

kademeli artımlarla uygulanmıştır. Statik yüklemenin ardından 30sn'lik deprem kaydı ile dinamik analiz (time response) gerçekleştirilmiştir. Analizlere ait sonuçlar verilirken ilk olarak kazıkların statik yük artımları altındaki yatay yerdeğiştirmeleri verilmiştir. Şekil 6.67'de statik yanal yük altındaki kazıklı radyejeneral temel sisteminin yatay deformasyon konturları gösterilmiştir. Yatay yerdeğiştirmeler kazık başında, radyejeneral temel alt kotunda ve kazık alt ucunda hesaplanmıştır. Statik yükün artmasıyla kazık başlarında ve radyejeneral temel alt kotuna denk gelen kısımlarda ($z=0$ ve $z=-0.55$ m kotu) yatay deplasmanlar kazık alt uçlarına göre daha fazladır.

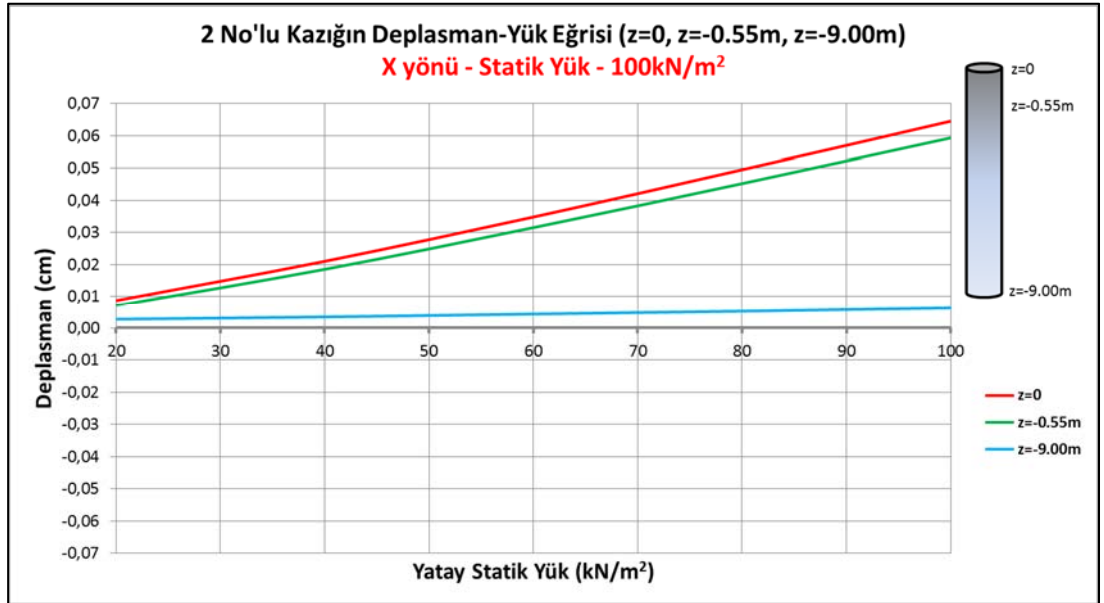


Şekil 6.67 : Statik yük altında temel sisteminde oluşan yatay deformasyon.

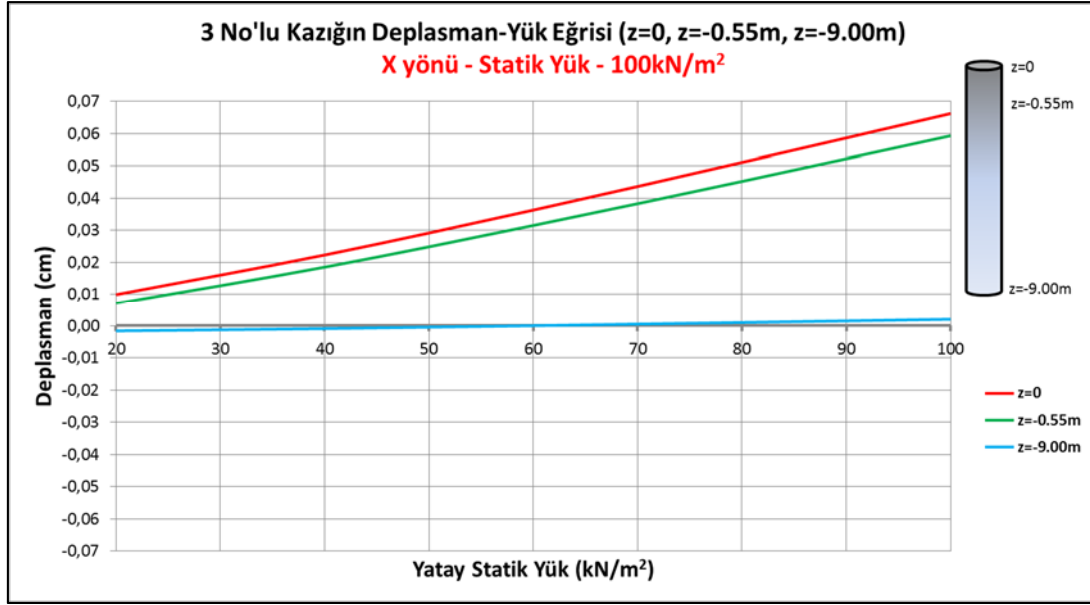
Yükün uygulama bölgesine yakın olan 1 ve 3 nolu kazıkların uç bölgelerinde yaptıkları yatay deplasmanlar 2 ve 4 nolu kazığa göre daha azdır (Şekil 6.68, Şekil 6.69, Şekil 6.70, Şekil 6.71).



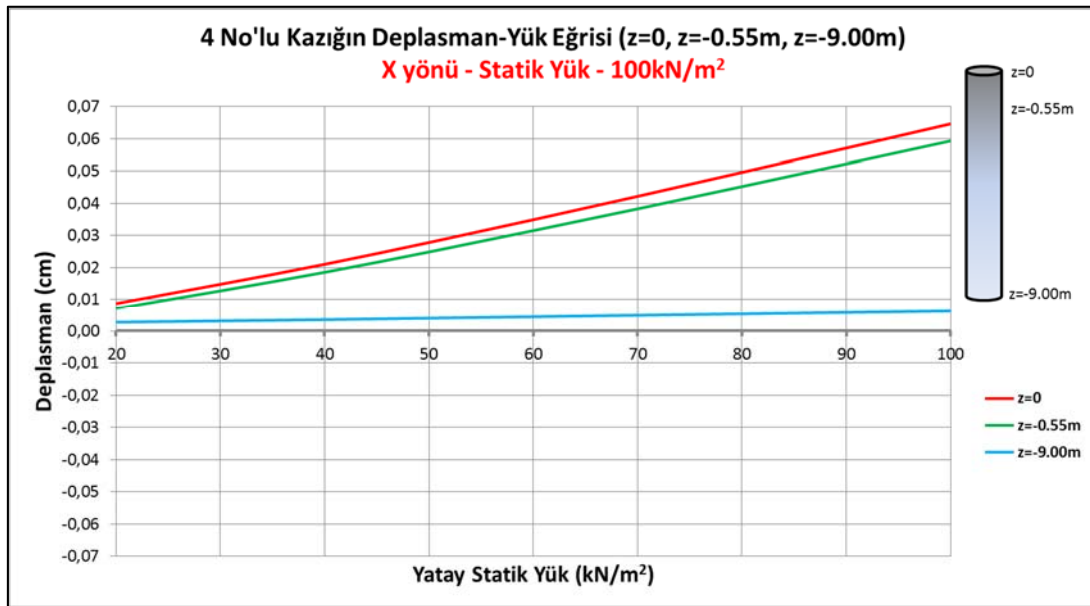
Şekil 6.68 : 1 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).



Şekil 6.69 : 2 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).

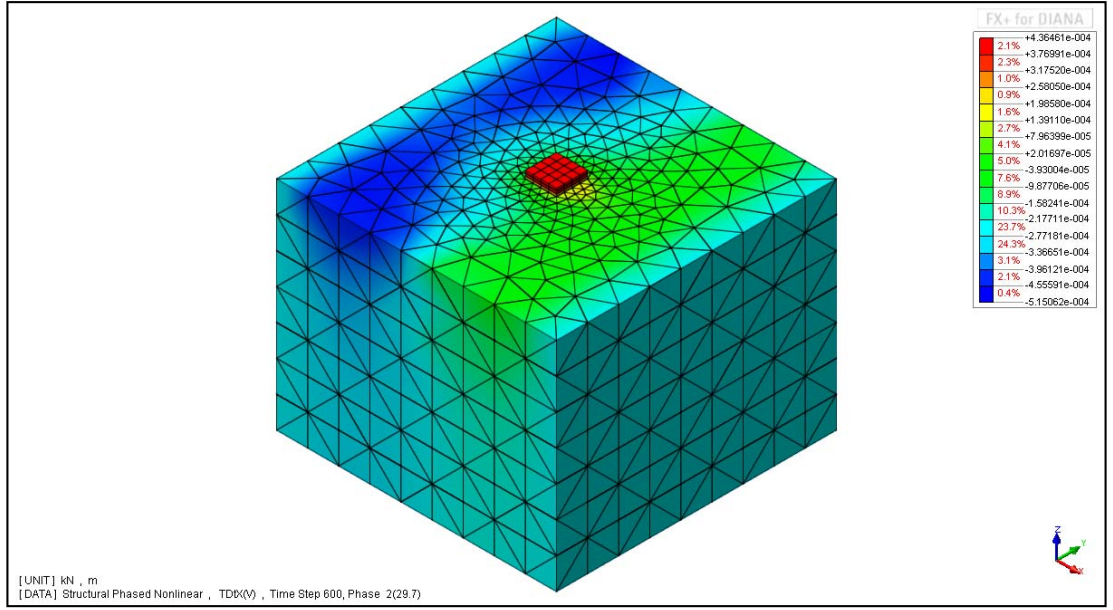


Şekil 6.70 : 3 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).



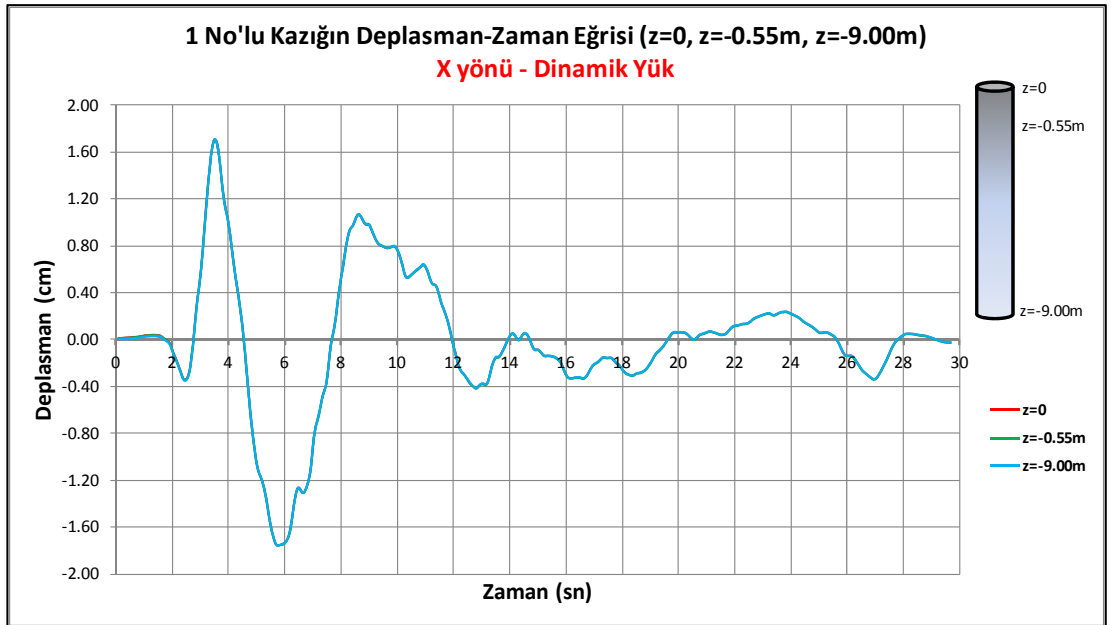
Şekil 6.71 : 4 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).

Kazıkların 30sn'lik dinamik analiz sırasında gösterdikleri yatay deplasmanlara ait temel sisteminde oluşan deformasyon konturları Şekil 6.72'de gösterilmiştir.

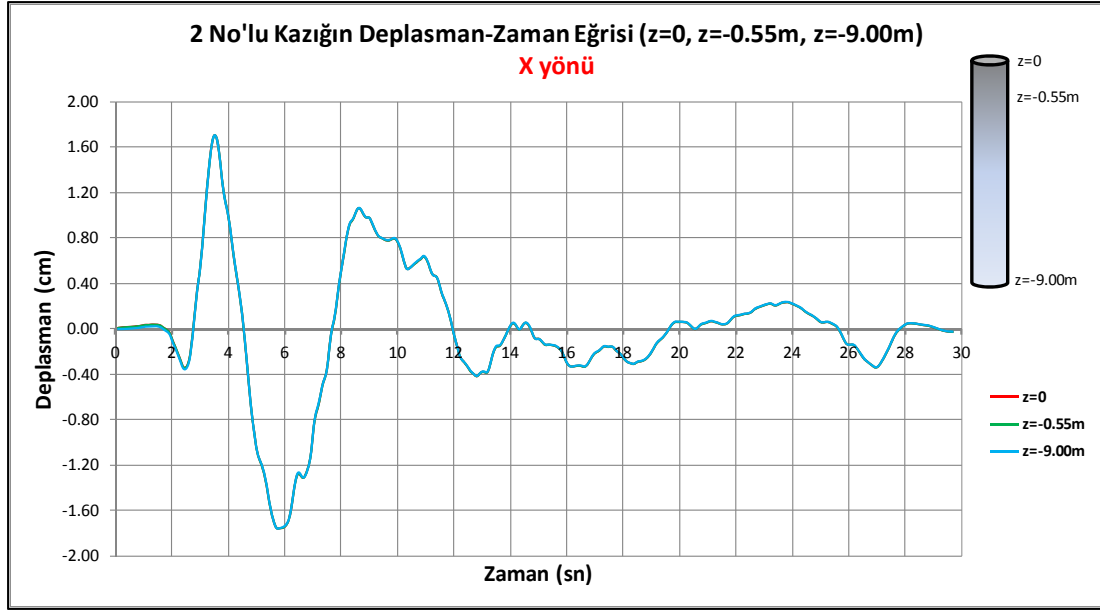


Şekil 6.72 : 30sn’de sistemde oluşan yazay yerdeğıştirmeler.

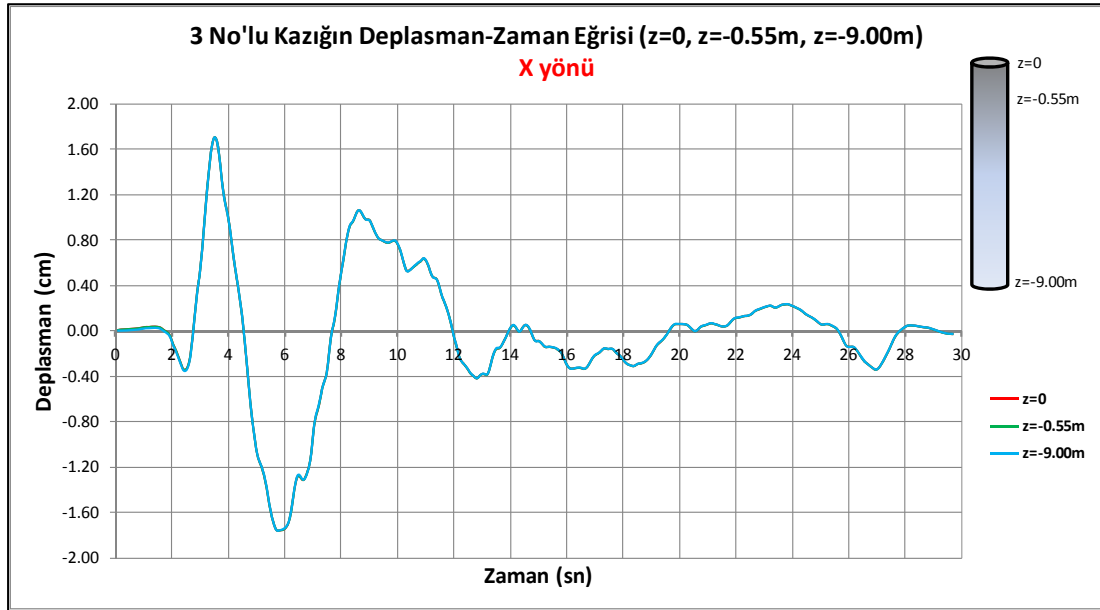
Kazıkların dinamik analiz süresince göstermiş oldukları yazay yerdeğıştirmeler benzerlik göstermektedir. Kazıkların yaptıkları yazay yerdeğıştirmeler +X ve +X yönlerinde maksimum 1.70cm civarındadır (Şekil 6.73, Şekil 6.74, Şekil 6.75, Şekil 6.76).



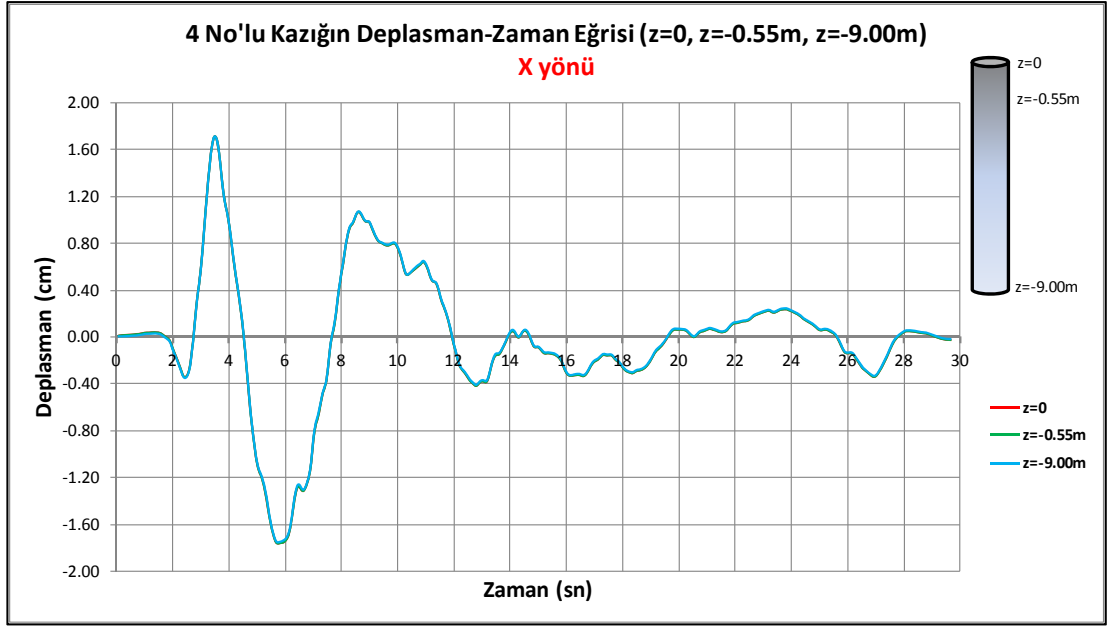
Şekil 6.73 : 1 No’lu kazığa ait yazay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).



Şekil 6.74 : 2 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).

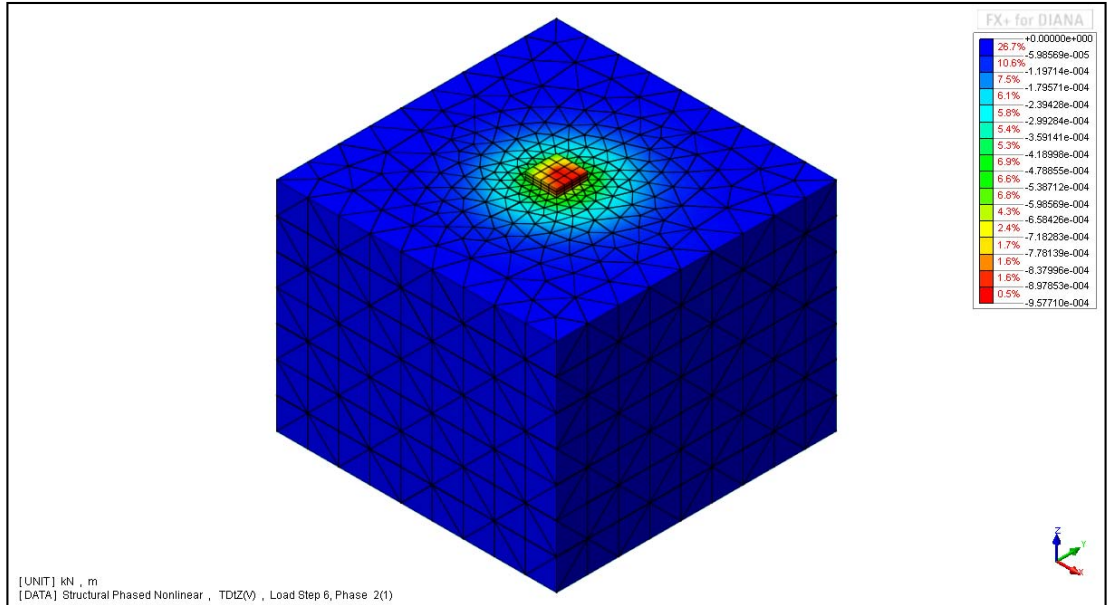


Şekil 6.75 : 3 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).



Şekil 6.76 : 4 No'lu kazığa ait yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).

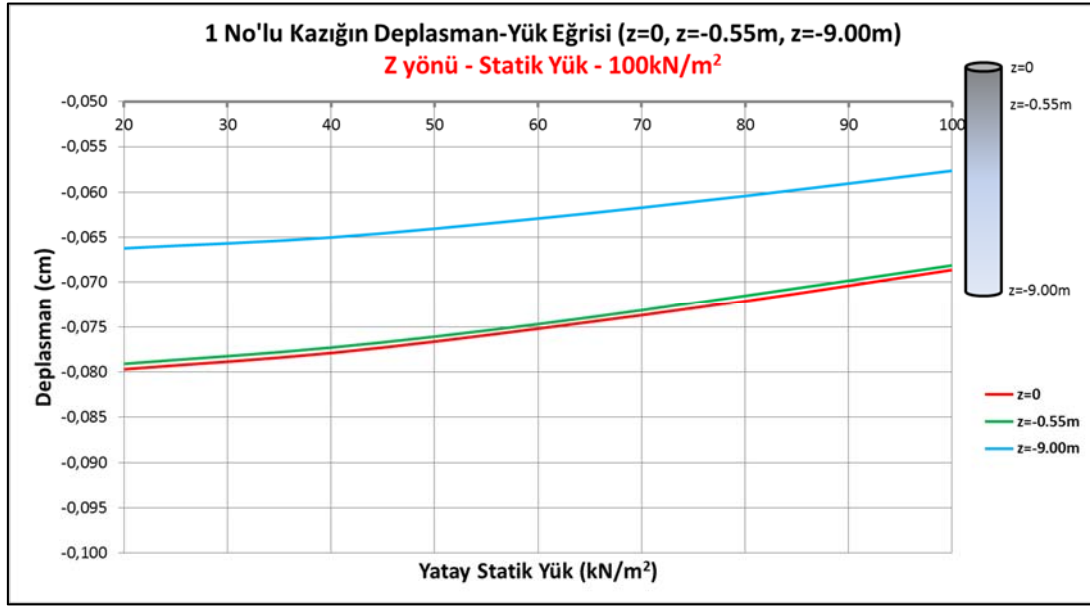
Statik yanal yüklerden dolayı oluşan düşey yerdeğişmelere ait deformasyon konturları Şekil 6.77'de gösterilmiştir.



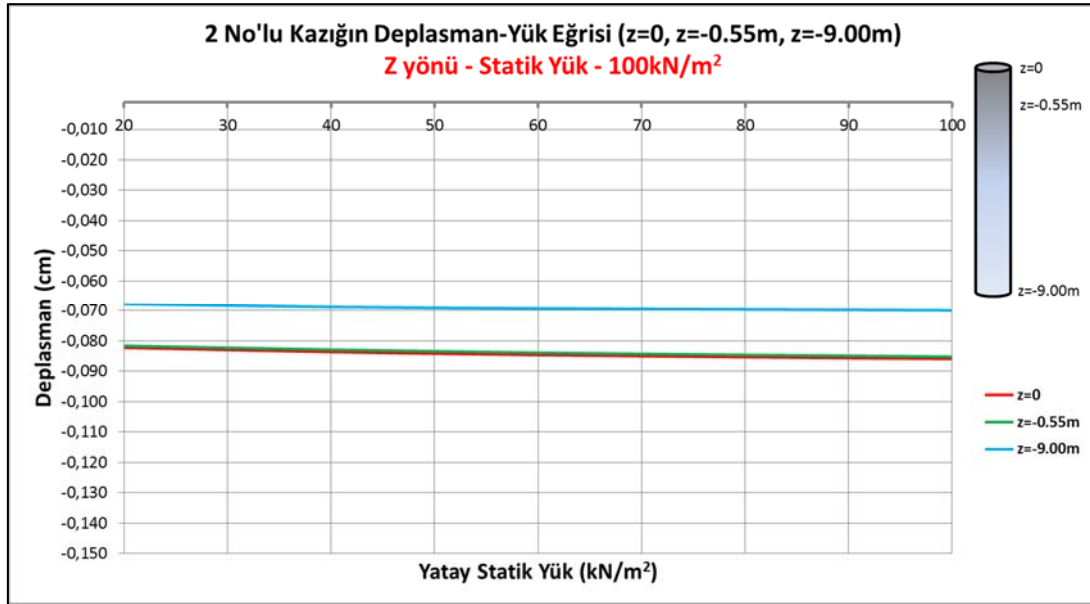
Şekil 6.77 : Statik yükleme neticesinde oluşan düşey yerdeğişmeler.

Tüm kazıklar için statik yanal yük altındaki düşey yerdeğişmelerin kazık başında ve radyejeneral temel alt kotundaki değerleri kazık alt ucunda hesaplanan düşey yerdeğişmelere oranla daha azdır. Yatay yükün uygulandığı yere yakın olan 1 ve 3 No'lu kazıklarda yatay yükün artması ile düşey yerdeğişmeler azalırken 2 ve 4

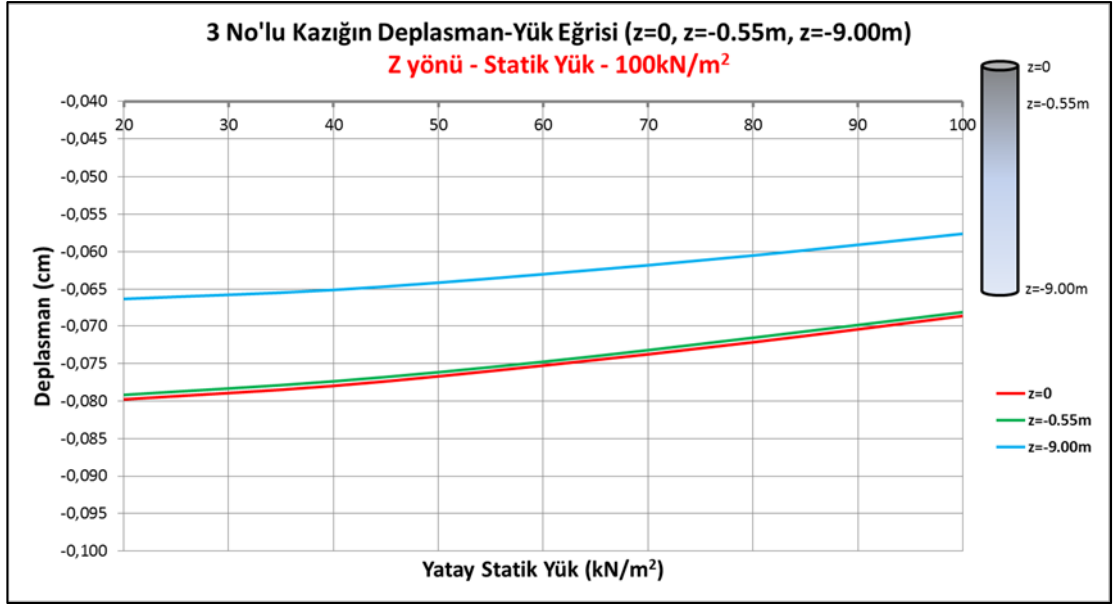
No'lu kazıklarda düşey yerdeğiştirmelerde değişiklik gözükmemektedir (şekil 6.78, şekil 6.79, şekil 6.80, şekil 6.81).



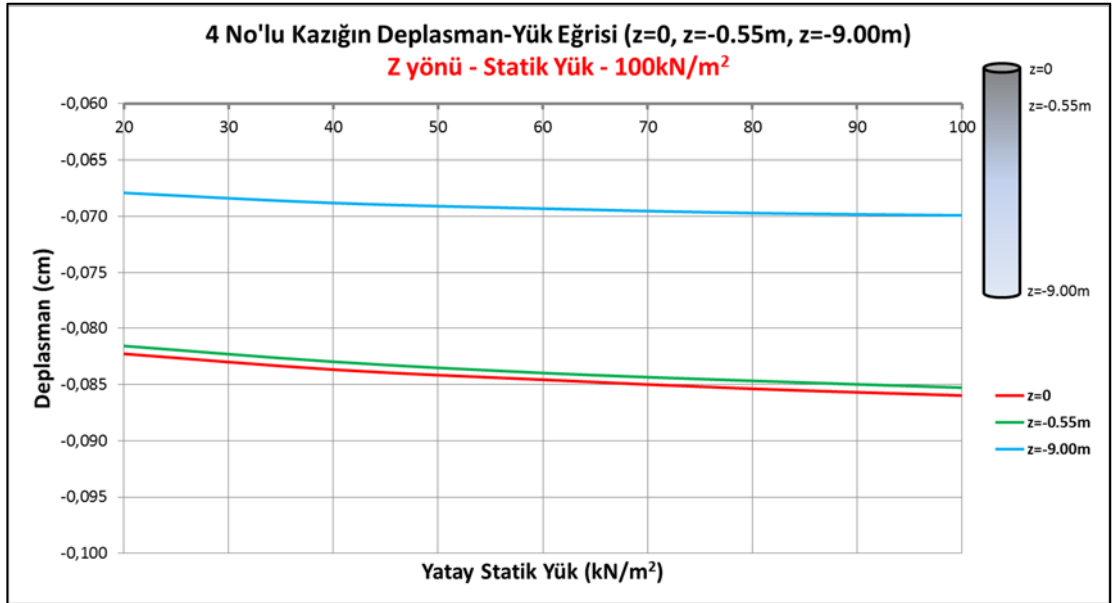
şekil 6.78 : 1 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).



şekil 6.79 : 2 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).

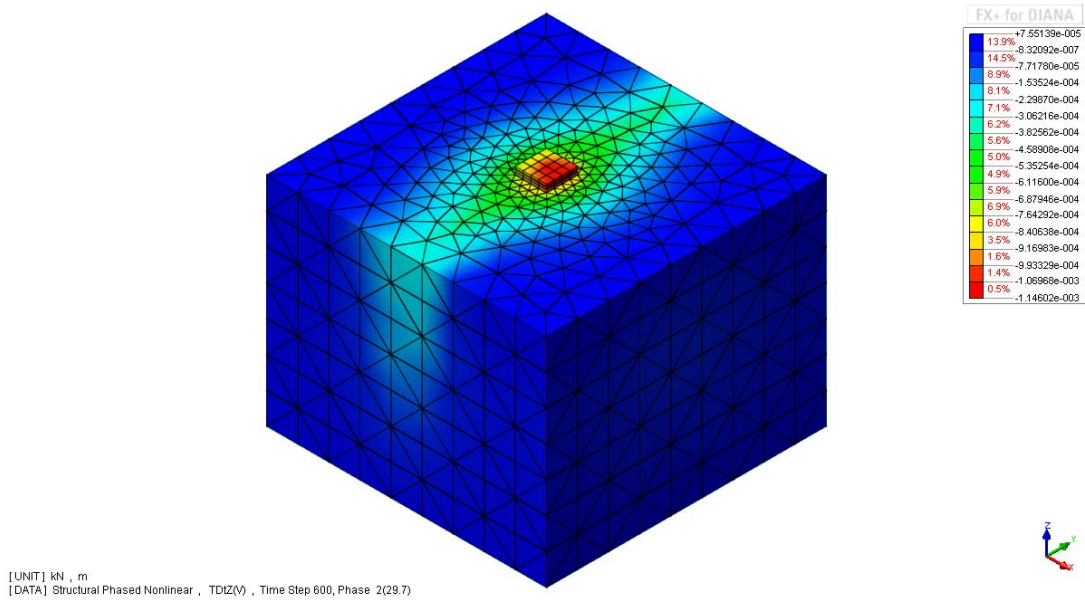


Şekil 6.80 : 3 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).



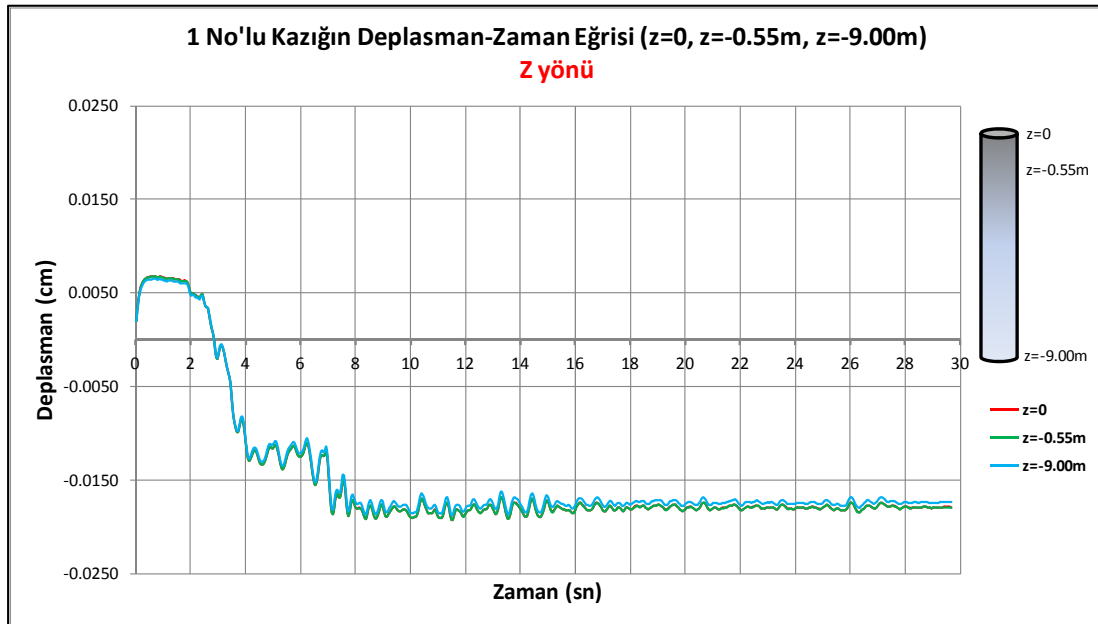
Şekil 6.81 : 4 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).

Dinamik analiz neticesinde temel sisteminde oluşan düşey deformasyonlara ait kontur eğrileri 30sn için Şekil 6.82'de gösterilmiştir.

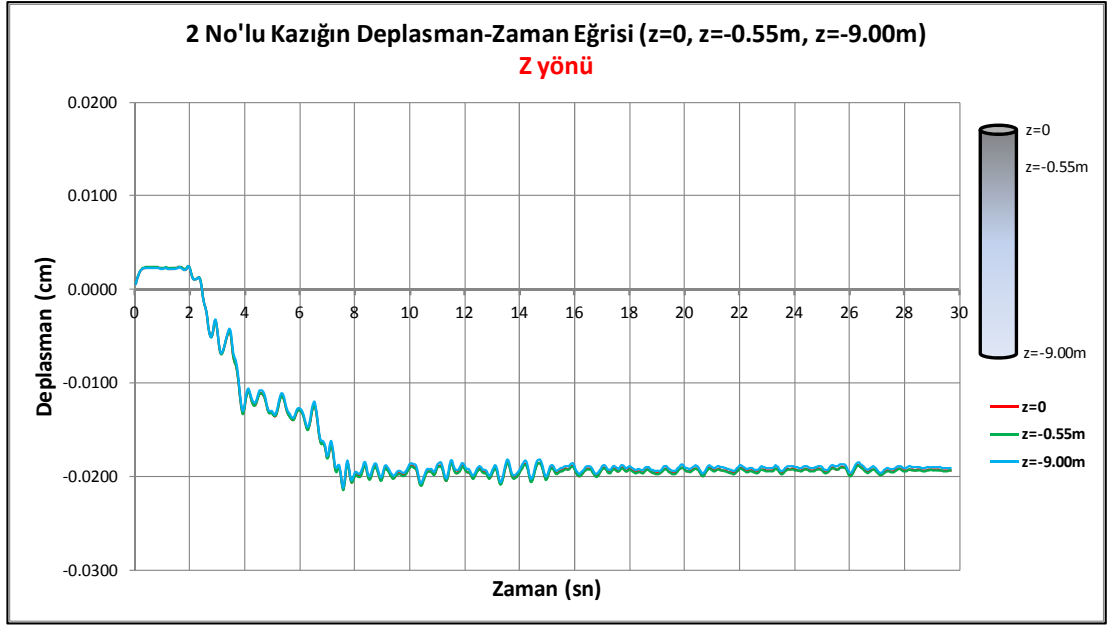


Şekil 6.82 : 30. sn'de sistemde oluşan düşey yerdeğiştirmeler.

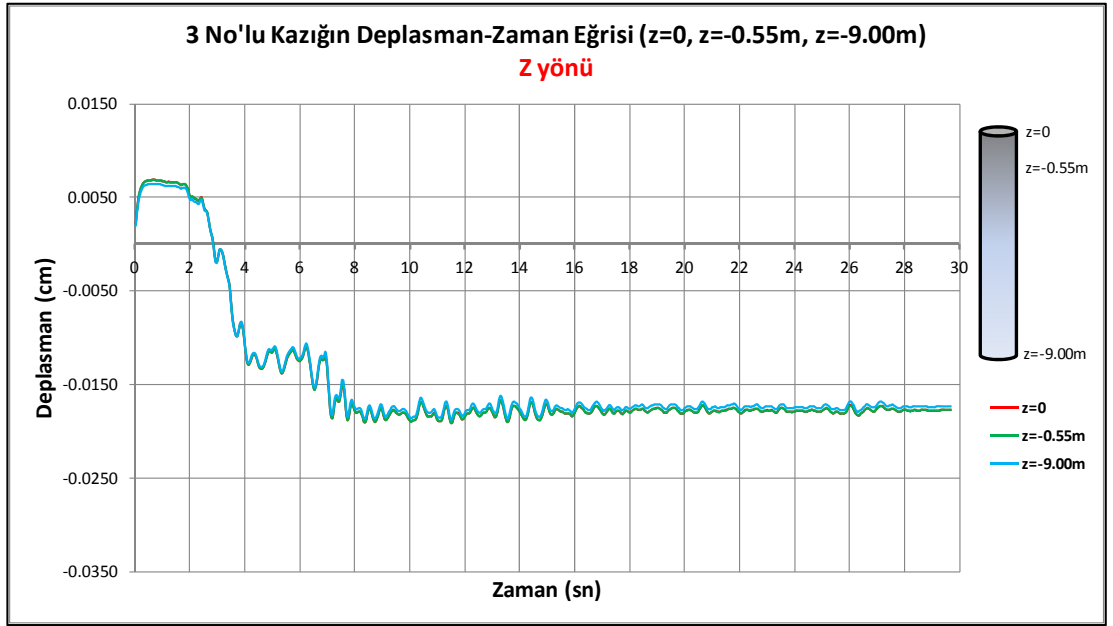
Dinamik yük altında kazıklarda meydana gelen düşey yerdeğiştirmeler tüm kazıklar için yakın sonuçlar vermiştir (Şekil 6.83, Şekil 6.84, Şekil 6.85, Şekil 6.86).



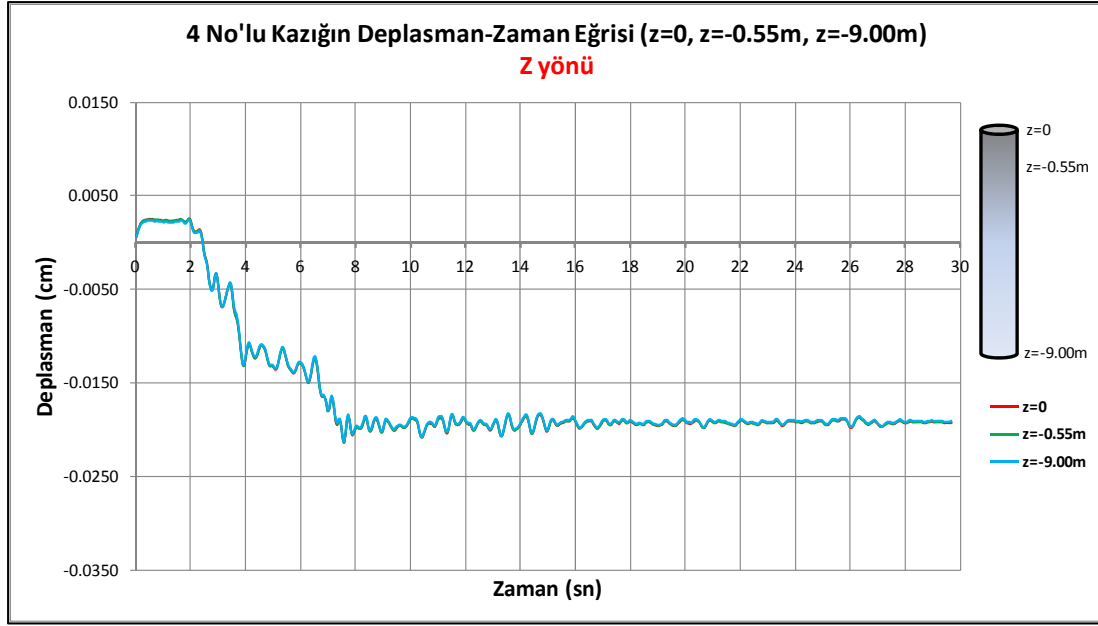
Şekil 6.83 : 1 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).



Şekil 6.84 : 2 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).

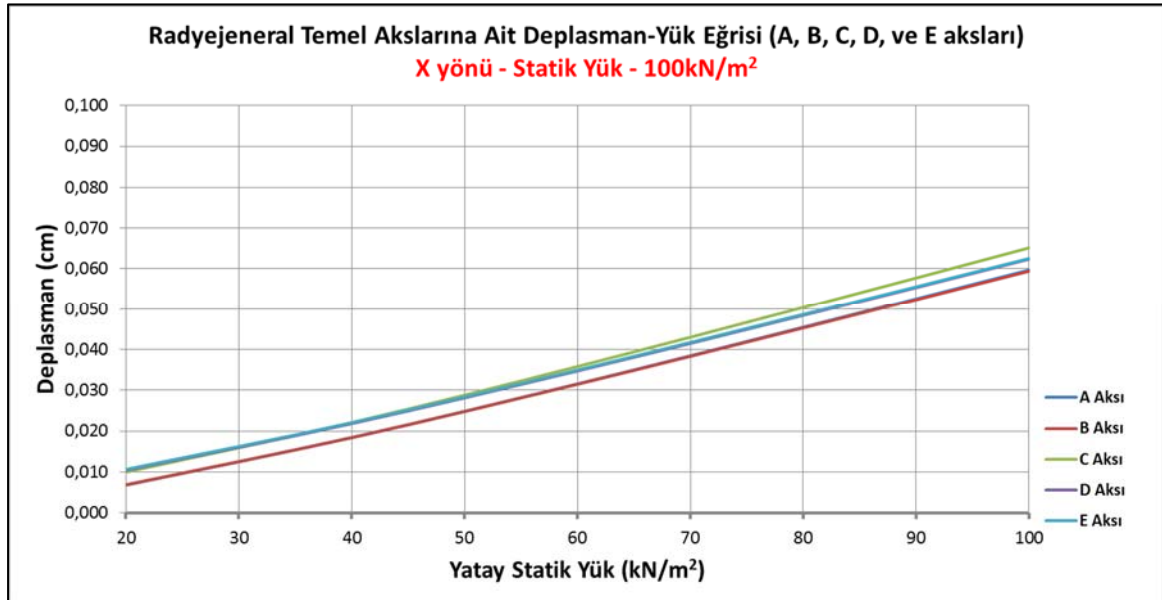


Şekil 6.85 : 3 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).



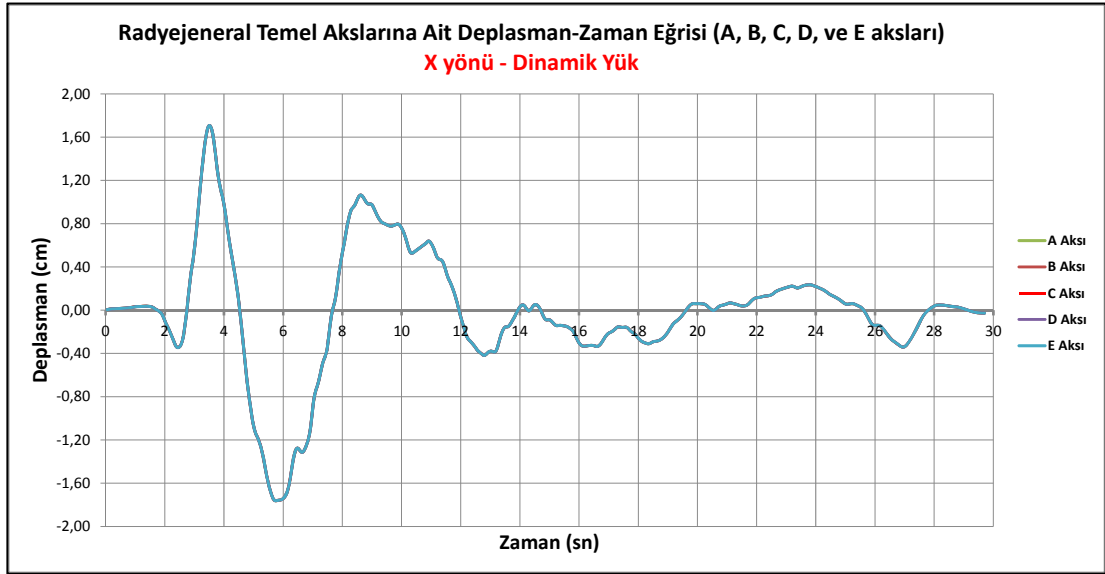
Şekil 6.86 : 4 No'lu kazığa ait düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).

Kazıklı temel sisteminde statik yük altında yapılan analizler neticesinde radyejeneral temel akslarında yatay yönde meydana gelen yerdeğiştirmeler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 6.87). Kazıklı temel sisteminde radyejeneral temelin zemin ile olan teması kesildiği için yatay yönde gerçekleşen yerdeğiştirmeler kazıklı radyejeneral temele oranla daha fazla bulunmuştur.



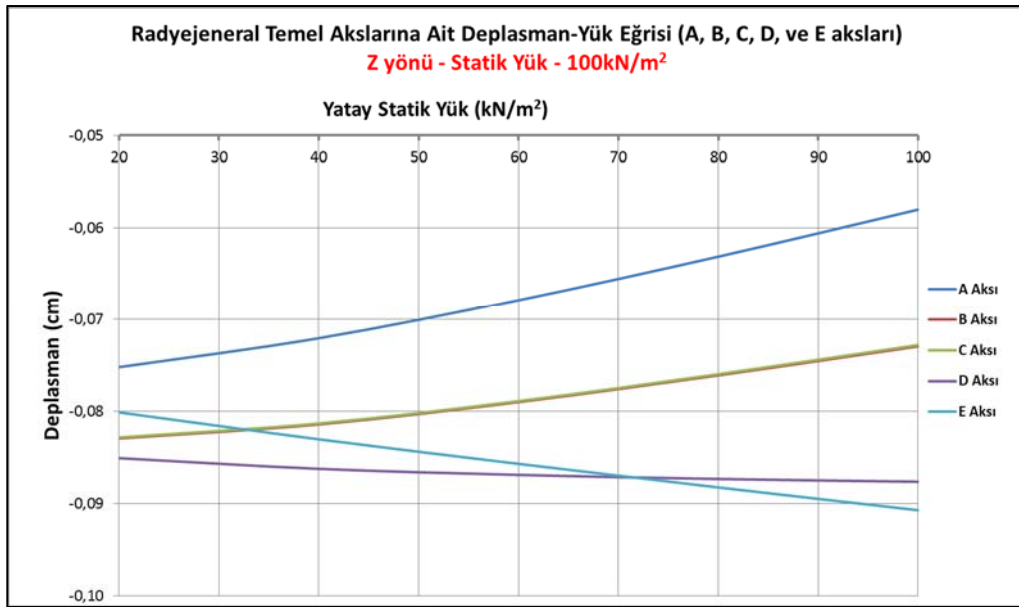
Şekil 6.87 : Kazıklı temel akslarına ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).

Kazıklı temel akslarında dinamik analiz neticesinde belirlenen yerdeğiştirme zaman grafiği Şekil 6.88’de gösterilmiştir.

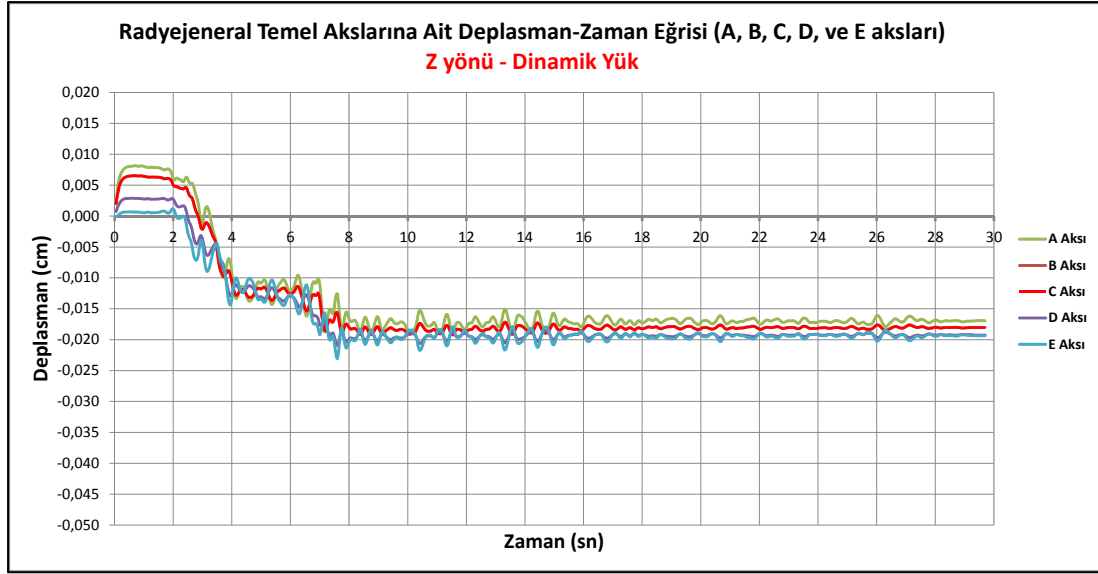


Şekil 6.88 : 30 sn’lik dinamik analize ait kazıklı temel akslarında meydana gelen yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).

Kazıklı temel akslarının statik ve dinamik yük altındaki yatay yerdeğiştirmelerine ilave olarak düşey yerdeğiştirmeleri de Şekil 6.89 ve 6.90’da verilmiştir.



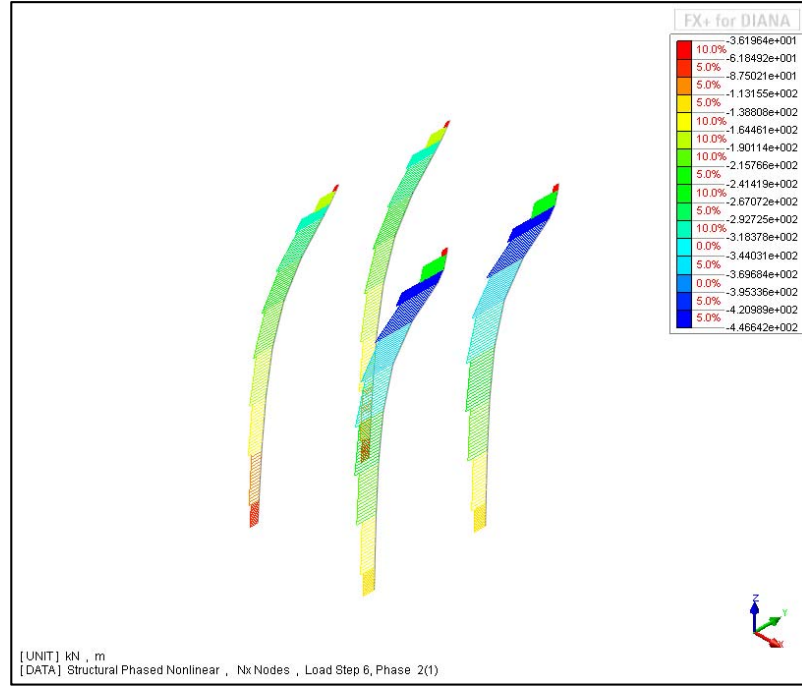
Şekil 6.89 : Kazıklı temel akslarına ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).



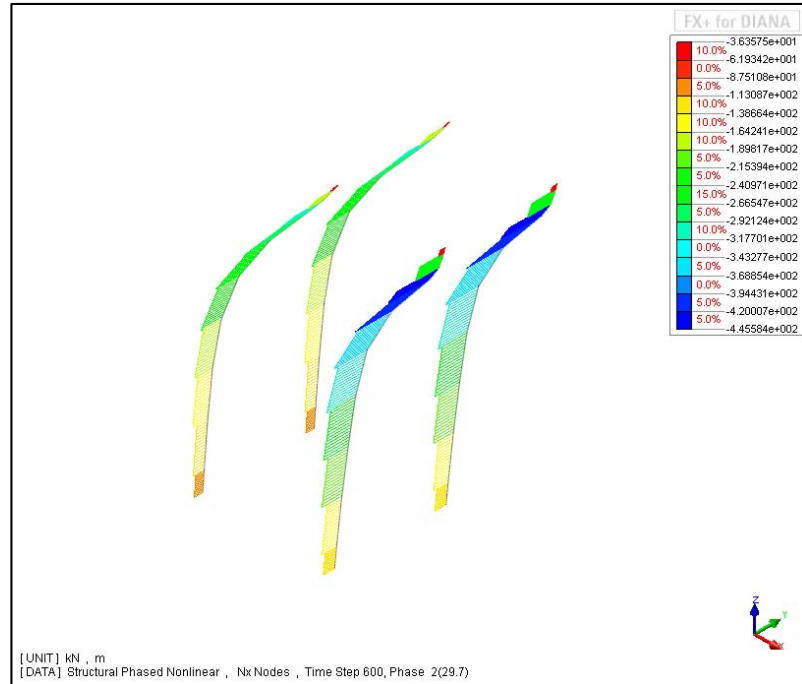
Şekil 6.90 : 30 sn’lik dinamik analize ait kazıklı radyejeneral temel akslarında meydana gelen düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).

Kazıklarda meydana gelen eksenel yükün etkisine ait statik ve dinamik koşullar altında meydana getirdiği yük konturları Şekil 6.91 ve 6.92’de verilmiştir.

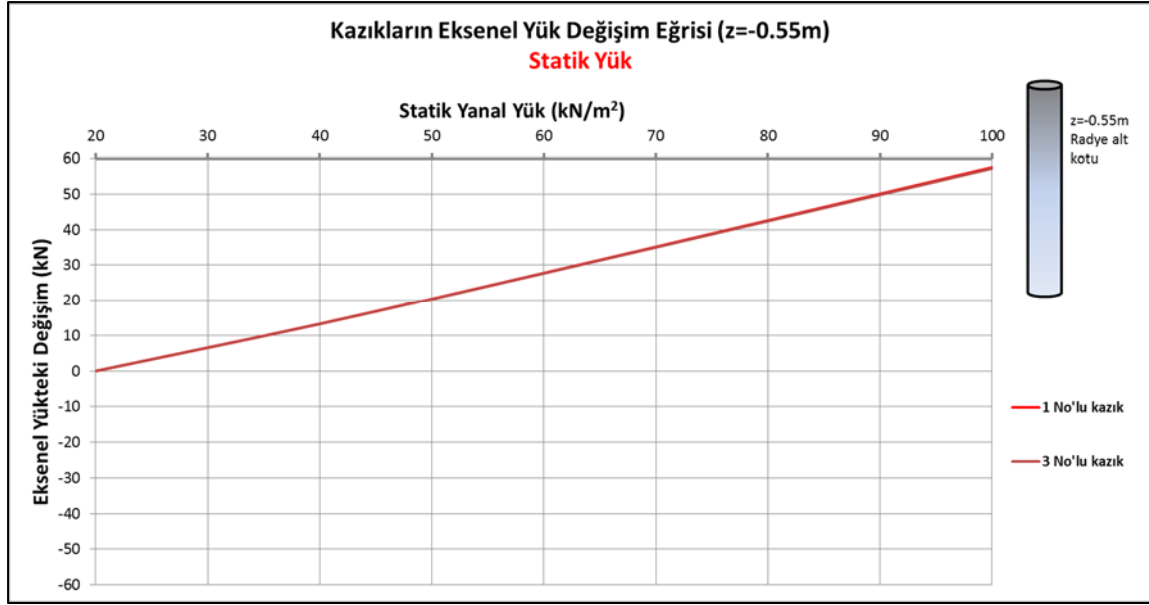
Kazıklı temelin statik ve dinamik yük altındaki davranışı sırasında kazık başlarına etkiyen normal kuvvette meydana gelen değişimler Şekil 6.93, 6.94 ve 6.95’te gösterilmiştir. İlk olarak statik yük artımları altında kazıklardaki normal kuvvet değişimleri, daha sonra dinamik etki nedeniyle kazık başlarındaki normal kuvvet değişimleri ile bu değişimlerin rölatif olarak gösterdikleri davranış belirlenmiştir. Statik yükün artışına bağlı olarak statik yükün uygulama noktasına yakın olan 1 ve 3 No’lu kazıklarda eksenel yük azalırken 2 ve 4’No’lu kazıklarda eksenel yük artışı gözlenmiştir. Bunun yanında yük artışlarındaki miktar kazıklı radyejeneral temel davranışına göre daha fazladır.



Şekil 6.91 : Kazıklarda meydana gelen eksenel yük (statik).

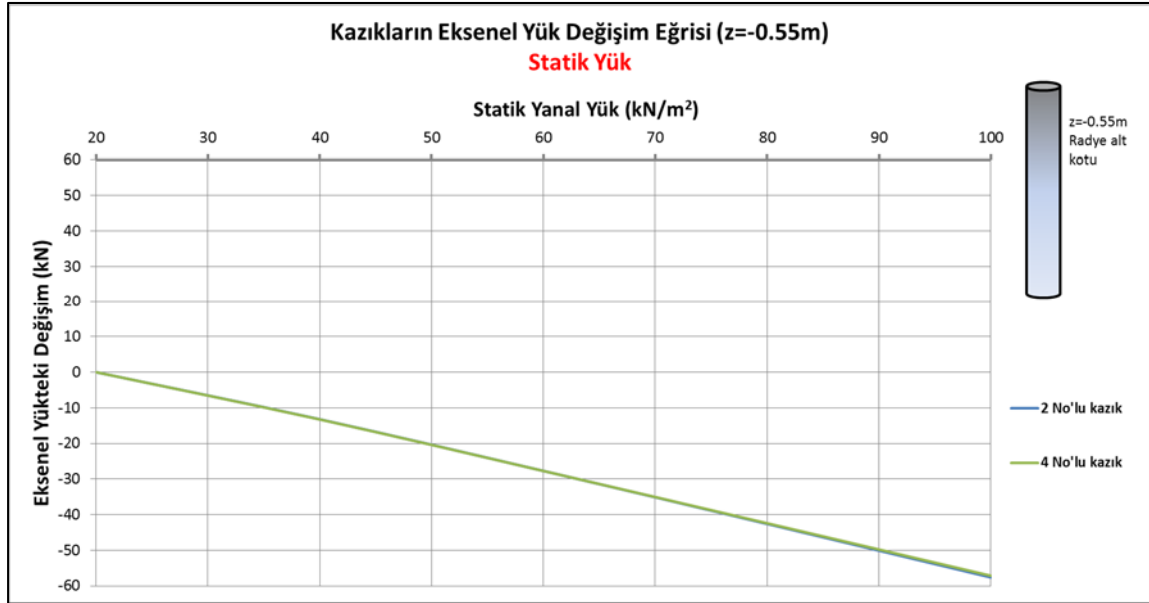


Şekil 6.92 : 30. sn’de kazıklarda meydana gelen eksenel yük (dinamik).



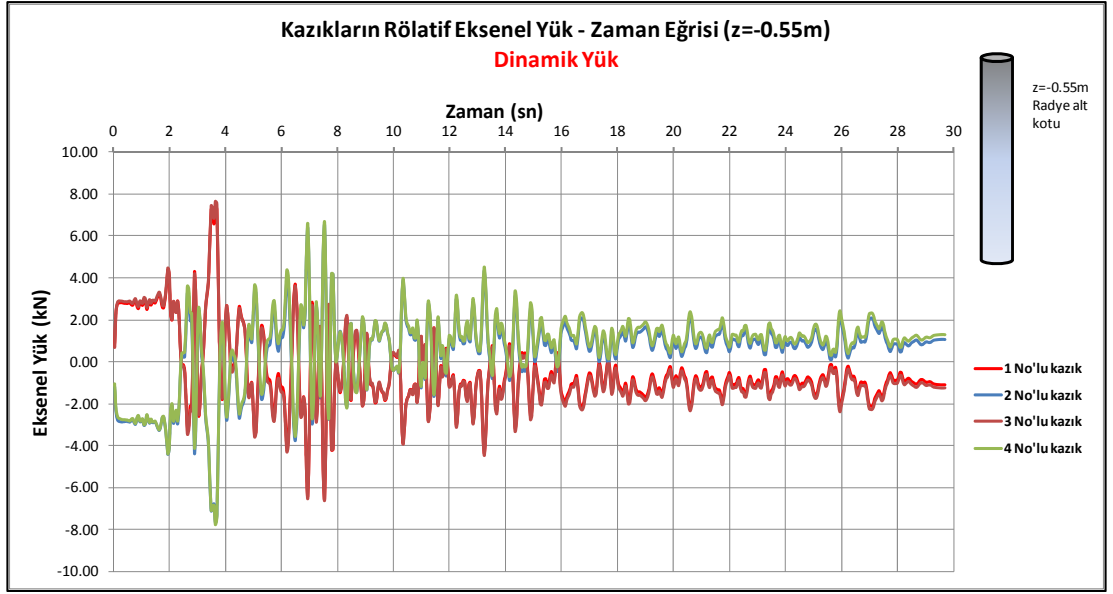
Şekil 6.93 : 1 ve 3 No'lu kazıkların eksenel yük değişimi (statik).

Dinamik yük etkisi sonucunda tüm kazıkların eksenel yüklerinde değişim gözlenmemiştir.



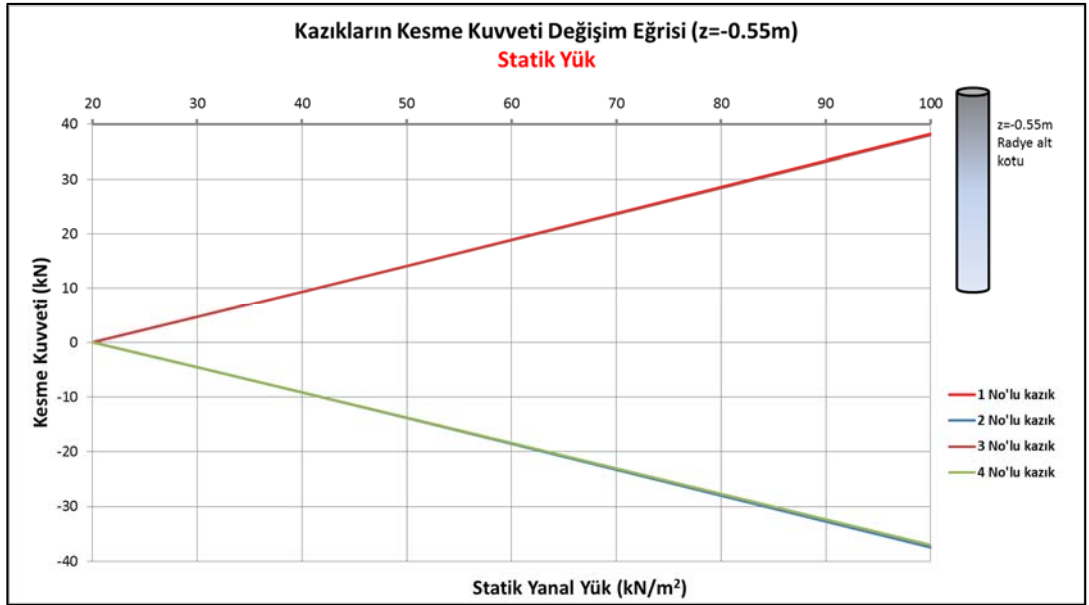
Şekil 6.94 : 2 ve 4 No'lu kazıkların eksenel yük değişimi (statik).

Statik yükün uygulandığı bölgeye yakın olan 1 ve 3 No'lu kazıklarda meydana gelen rölatif eksenel yük değişimi 2 ve 4 No'lu kazık ile benzerlik göstermektedir.

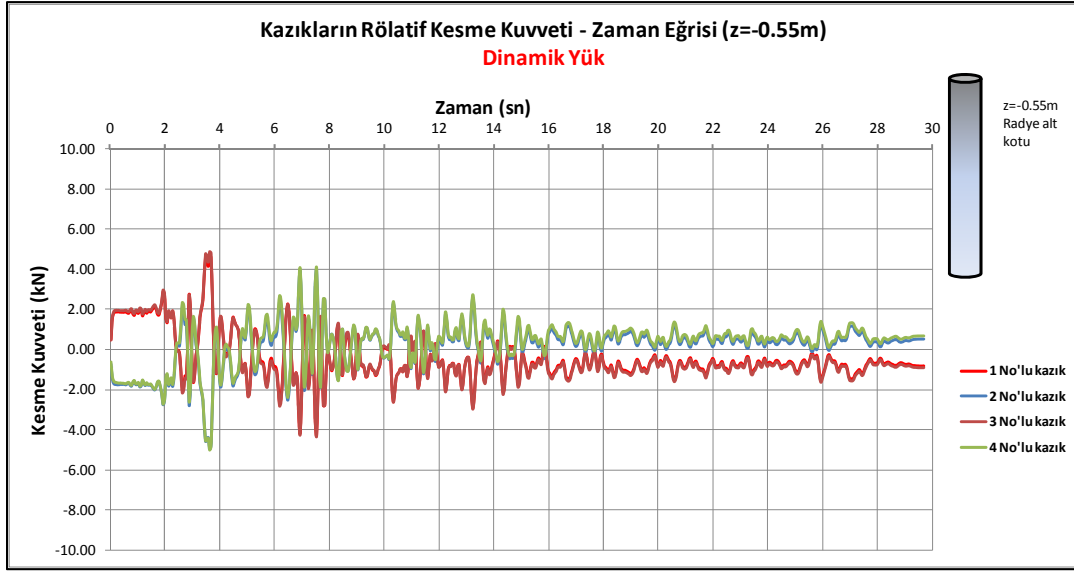


Şekil 6.95 : Kazıkların rölatif eksenel yük değişimi (dinamik).

Kazıklı temelin statik ve dinamik yük altındaki davranışı sırasında kazık başlarına etkiyen kesme kuvvetinde meydana gelen değişimler Şekil 6.96 ve 6.97’de gösterilmiştir. İlk olarak statik yük artımları altında kazıklardaki normal kuvvet değişimleri, daha sonra dinamik etki nedeniyle kazık başlarındaki kesme kuvveti değişimleri rölatif olarak belirlenmiştir. Statik yükün artışına bağlı olarak kazıklardaki artış miktarları kazıklı radyejeneral temel sistemindeki kazıklara oranla daha fazladır.



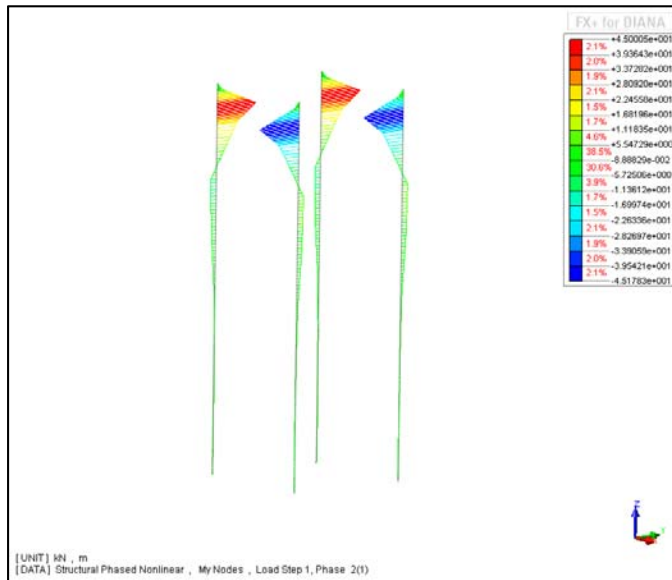
Şekil 6.96 : Kazıkların kesme kuvveti değişimi (statik).



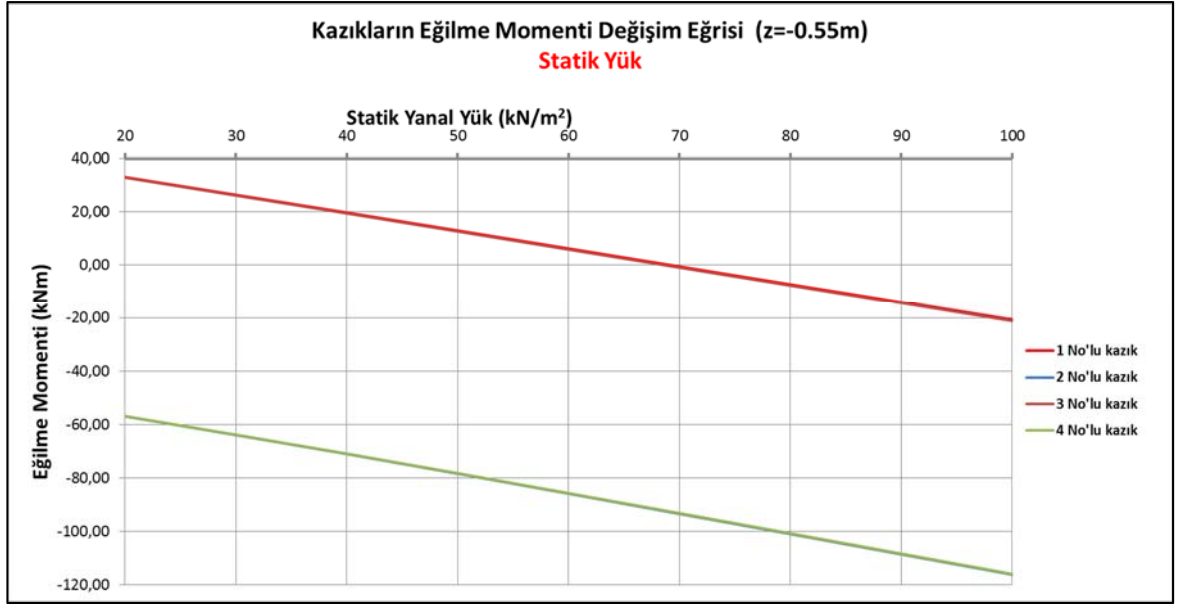
Şekil 6.97 : Kazıkların rölatif kesme kuvveti değişimi (dinamik).

Kazık başlarında oluşan momentlere ait TNO DIANA yazılımıyla belirlenen konturlar, maksimum ve minimum moment değerleri Şekil 6.98’de gösterilmiştir.

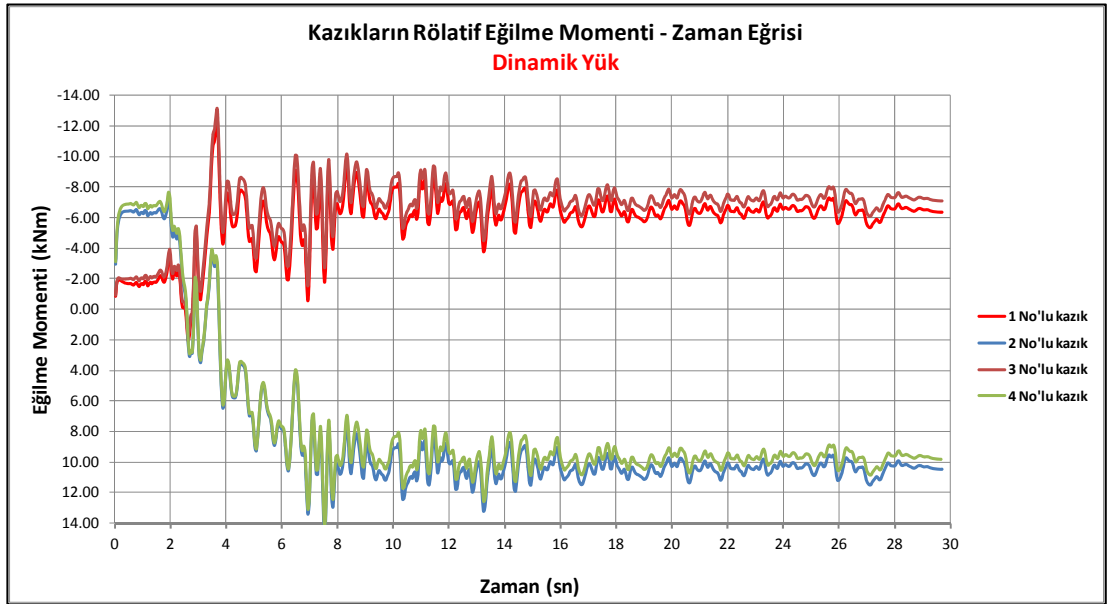
Kazıklı temelde kazıklarda meydana gelen momentler incelendiğinde statik yük altındaki moment değişimleri mutlak değerce tüm kazıklarda birbirine yakın değerlerde gerçekleşmiştir (Şekil 6.99). Eğilme momentlerindeki değişim miktarı kazıklı radyejeneral temel ile karşılaştırıldığında kazıklı temeldeki momentlerin daha büyük olduğu görülmektedir. Dinamik analiz sırasında statik yükün uygulandığı noktaya yakın olan 1 ve 3 No’lu kazıklardaki moment değişim miktarı 2 ve 4 No’lu kazığa göre daha az gerçekleşmiştir (Şekil 6.100).



Şekil 6.98 : Kazıklarda meydana gelen moment (statik).

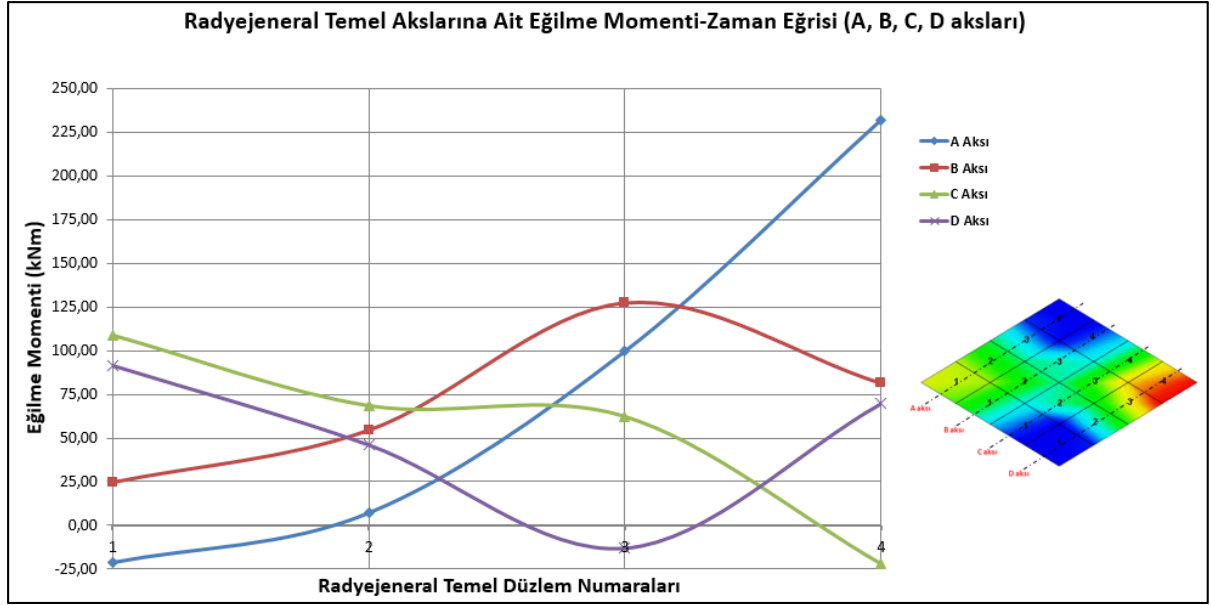


Şekil 6.99 : Kazıkların eğilme momenti değişimi (statik).

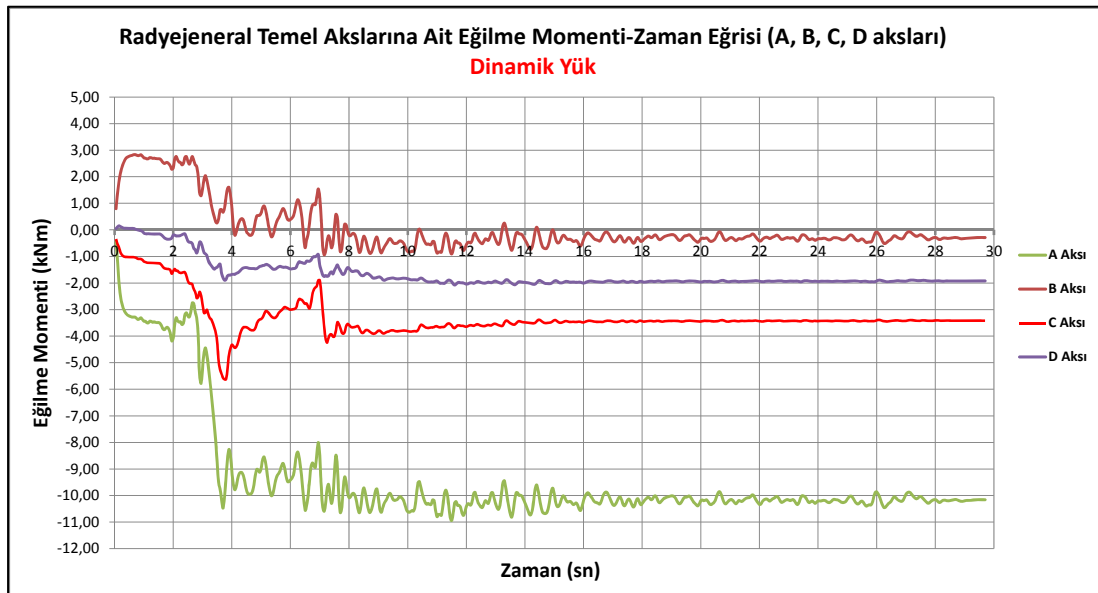


Şekil 6.100 : Kazıkların eğilme momenti değişimi (dinamik).

Kazıklı temelde radyejeneral temel akslarında meydana gelen momentler incelendiğinde statik yük altındaki moment değişimleri mutlak değerce tüm akslarda birbirine yakın değerlerde gerçekleşmiştir (Şekil 6.101). Elde edilen moment değerleri kazıklı radyejeneral temel sisteminde elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında sistemde oluşan momentlerin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Dinamik analiz sırasında ise kazıkların dinamik analiz sonuçlarına paralellik gösterecek şekilde statik yükün uygulandığı noktaya yakın olan akstaki moment değişim miktarı diğer akslara daha fazla gerçekleşmiştir (Şekil 6.102).



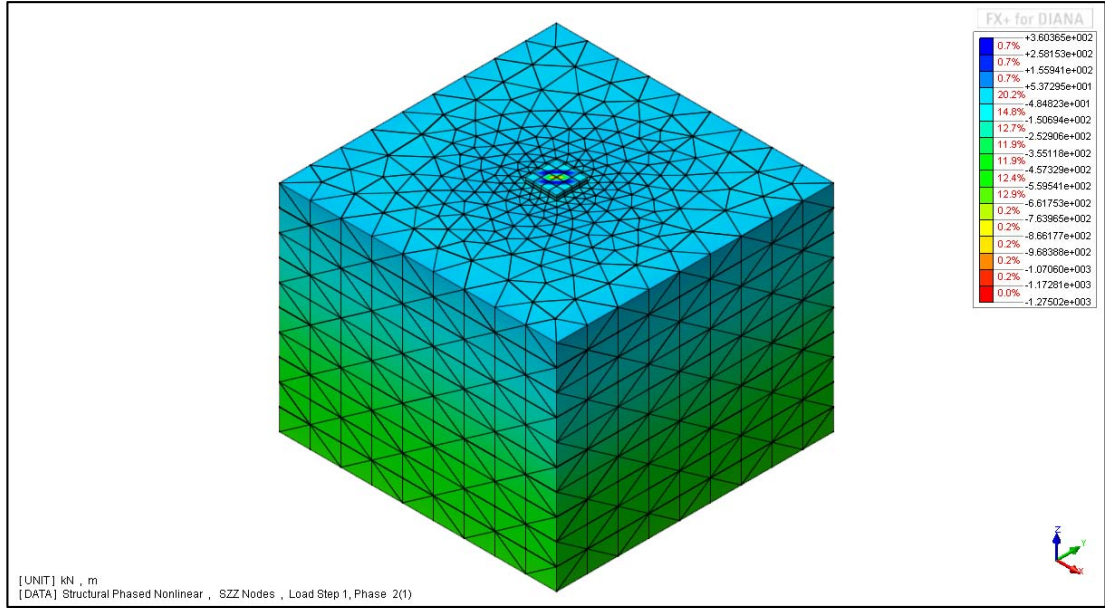
Şekil 6.101 : Radyejeneral temel akslarına ait eğilme momenti değişimi (statik).



Şekil 6.102 : Radyejeneral temel akslarına ait eğilme momenti değişimi (dinamik).

6.7 Radyejeneral Temel Sisteminin Analizine Ait Sonuçlar

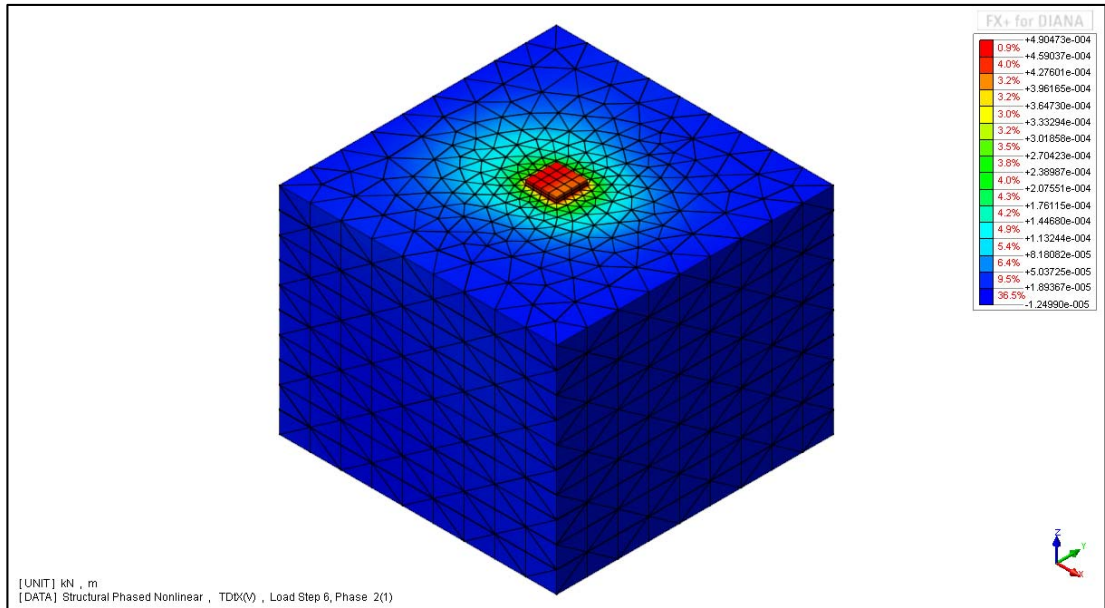
Kazıklı radyejeneral temel ve kazıklı temel sistemlerinin analizlerinde göz önüne alındığı gibi radyejeneral temel sisteminin de ilk olarak üzerindeki kütle ve kendi ağırlığından dolayı zeminde oluşacak gerilemeler ve oturmalar ilk etapta dikkate alınmıştır (Şekil 6.103).



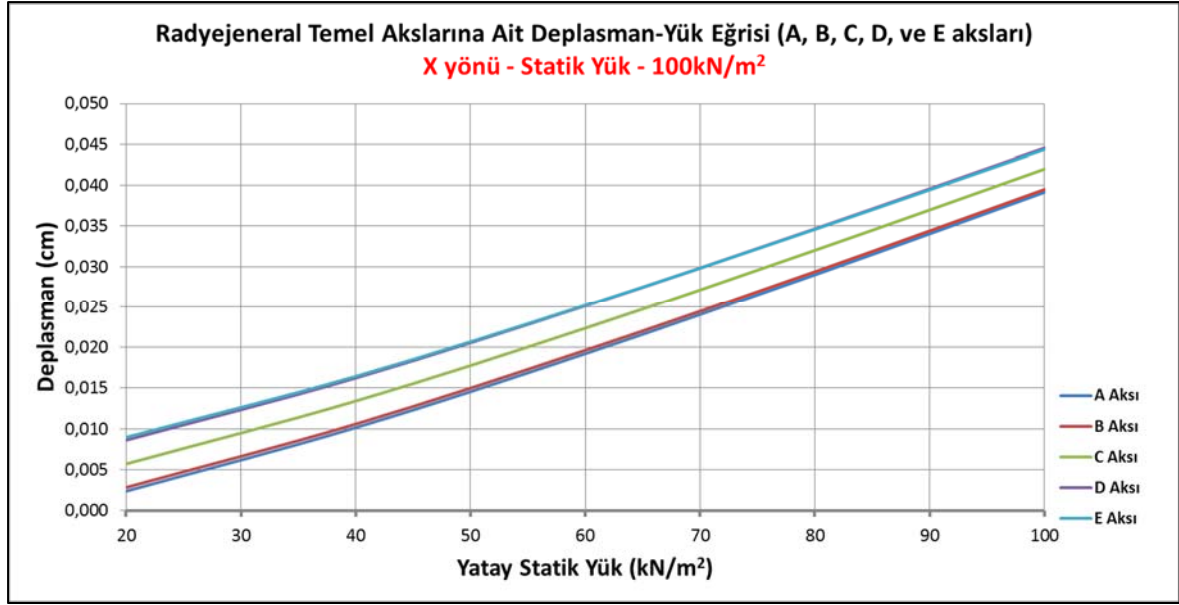
Şekil 6.103 : Sistemin kendi ağırlığından dolayı oluşan gerilmeler.

Daha sonra yatay statik yük olarak 100 kN/m^2 mertebesindeki yük 5 kademeli artırımlarla sisteme uygulanmış ve radyejeneral temelin yük altındaki davranış sonuçları elde edilmiştir. Statik yükün ardından 30 sn'lik deprem kaydı ile dinamik analiz önceki analizlerde olduğu gibi sisteme uygulanmıştır.

Analizlere ait sonuçlar verilirken ilk olarak radyejeneral temelin statik yük altındaki yatay yerdeğiştirmeleri verilmiştir. Şekil 6.104'te statik yatay yük altındaki radyejeneral temel sistemine ait yatay deformasyon konturları gösterilmiştir.

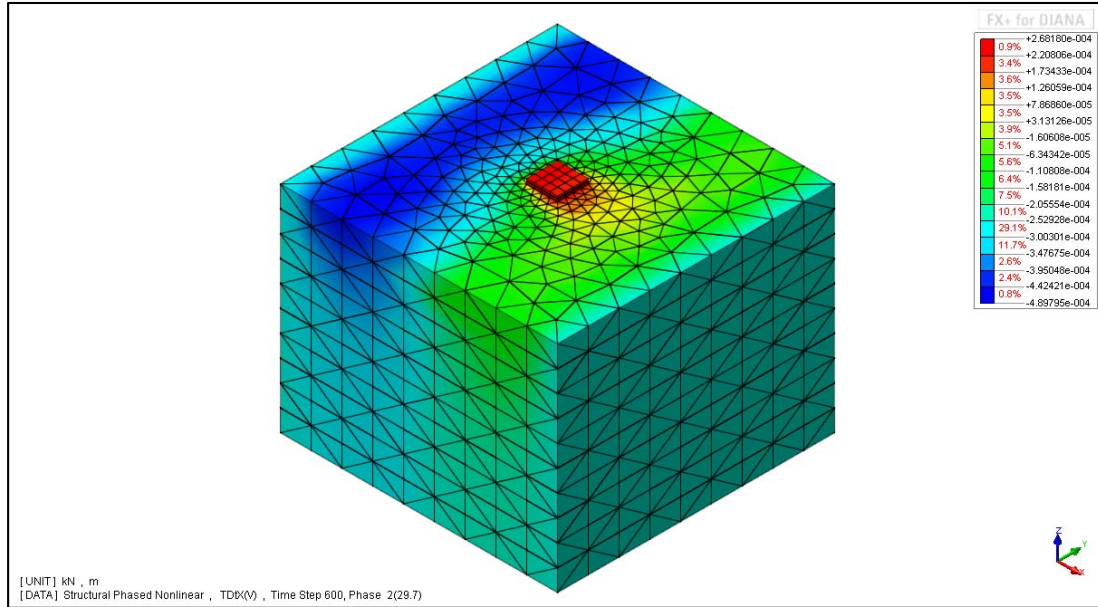


Şekil 6.104 : Statik yük altında temel sisteminde oluşan yatay deformasyon.



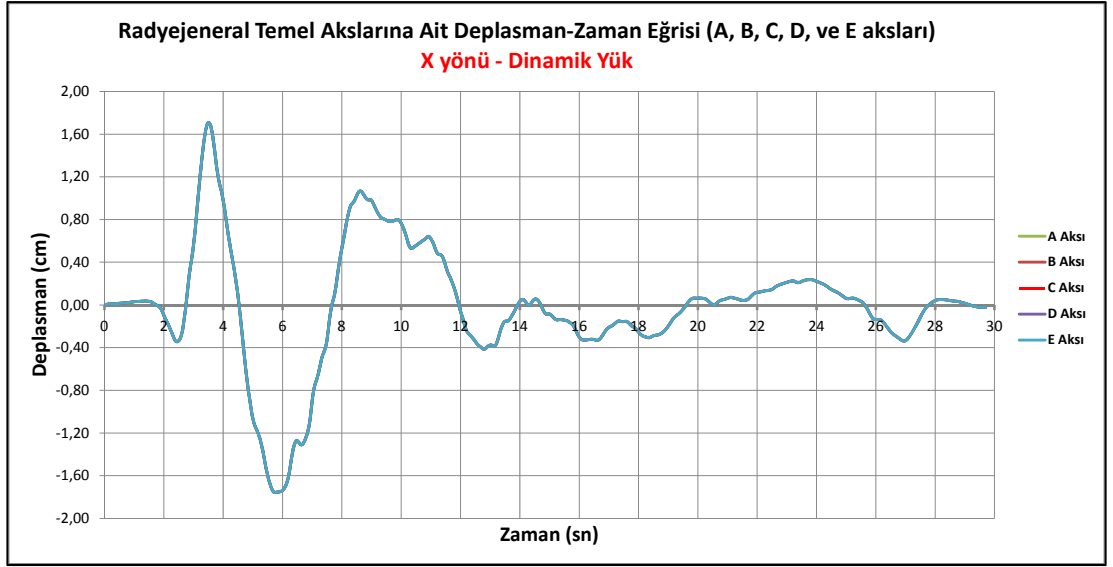
Şekil 6.105 : Radyejeneral temele ait yatay deplasman ve yük eğrisi (statik).

Radyejeneral temelin 30sn'lik dinamik analiz sırasında gösterdiği yatay deplasmana ait temel sisteminde oluşan deformasyon konturları Şekil 6.106'da gösterilmiştir.



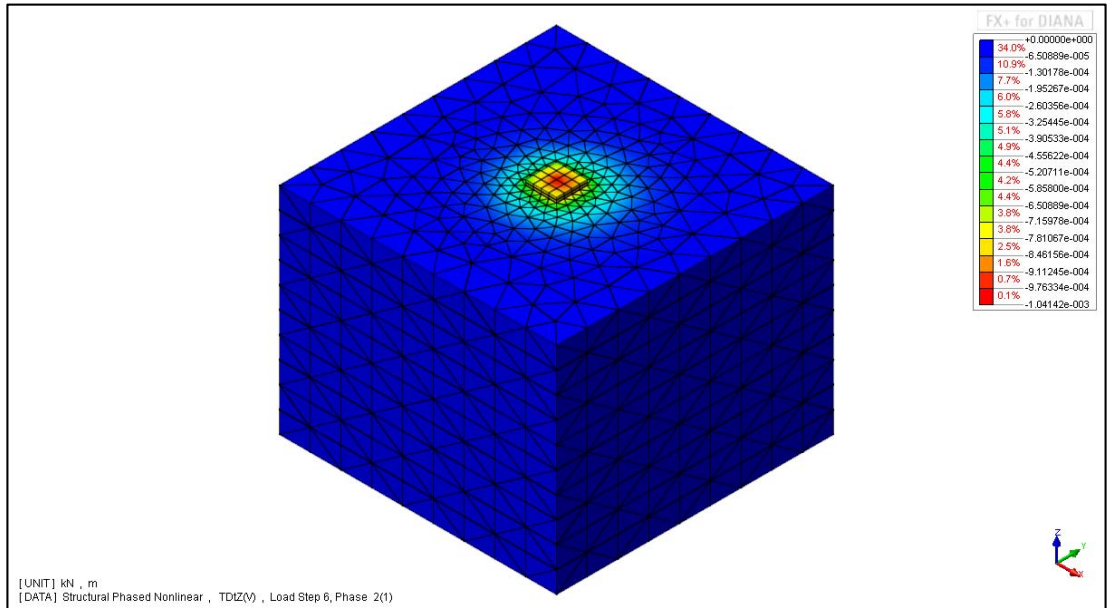
Şekil 6.106 : 30. sn'de sistemde oluşan yatay yerdeğıştirmeler.

Radyejeneral temel akslarının dinamik analiz süresince göstermiş oldukları yatay yerdeğıştirmeler kazıklı sistemlerdeki kazık davranışları ile benzerlik göstermektedir (Şekil 6.107).



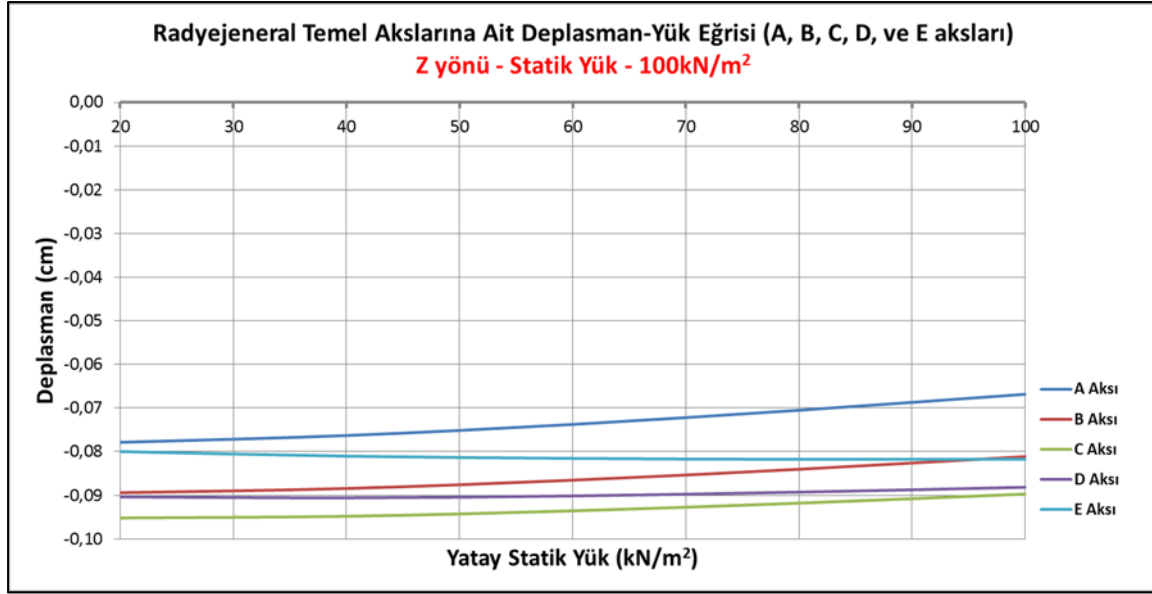
Şekil 6.107 : Radyejeneral temele ait yatay deplasman ve yük eğrisi (dinamik).

Statik yanal yüklerden dolayı oluşan düşey yerdeğiştirmelere ait deformasyon konturları Şekil 6.108’de gösterilmiştir.



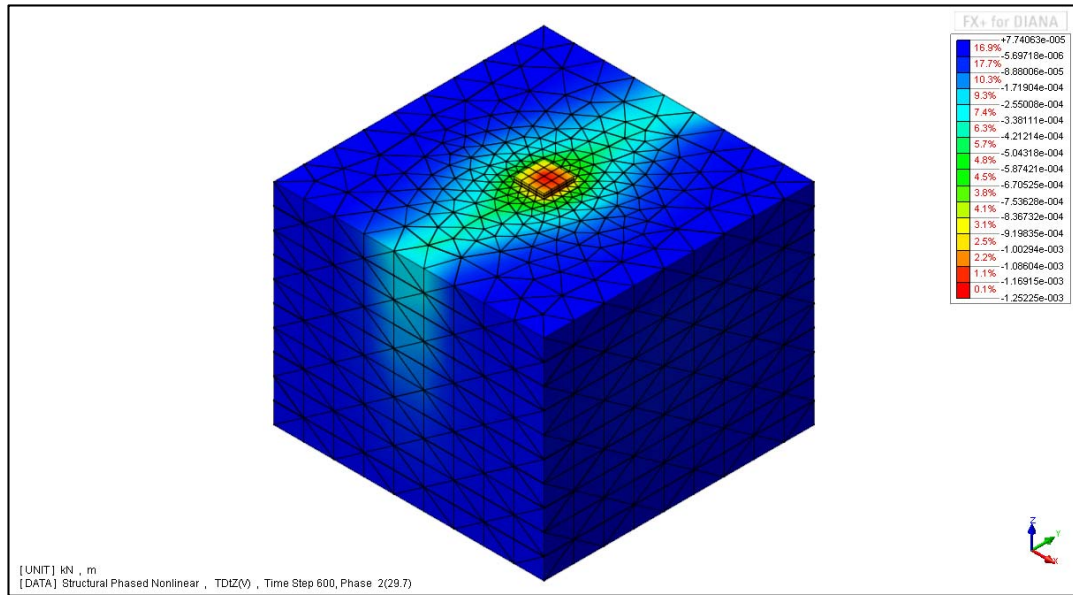
Şekil 6.108 : Statik yükleme neticesinde oluşan düşey yerdeğiştirmeler.

Statik yük altında radyejeneral temelde oluşan düşey yerdeğiştirmeler kazıklı sistemlerdeki değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Bu noktada kazıkların temel sistemine yaptığı olumlu bir etki söz konusudur. Statik yanal yük altında radyejeneral temel akslarında meydana gelen düşey deformasyonlar incelendiğinde kenar akslardaki oturmaların orta aksa göre daha az gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 6.109).



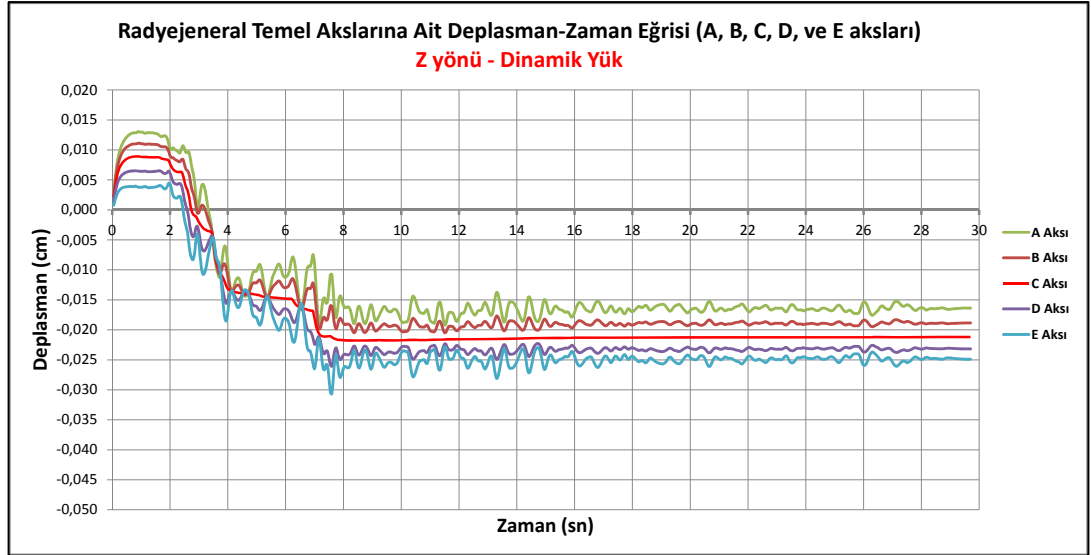
Şekil 6.109 : Radyejeneral temele ait düşey deplasman ve yük eğrisi (statik).

Dinamik analiz neticesinde temel sisteminde oluşan düşey deformasyonlara ait kontur eğrileri 30. sn için Şekil 6.110’da gösterilmiştir. Radyejeneral temelde oluşan düşey deformasyon değerleri diğer sistemlerin analizleri ile karşılaştırıldığında radyejeneral temel sisteminde daha yüksek değerlerdedir. Bu noktada kazıkların düşey yerdeğiştirmeyi azaltıcı yönde fayda sağladığı görülmektedir.



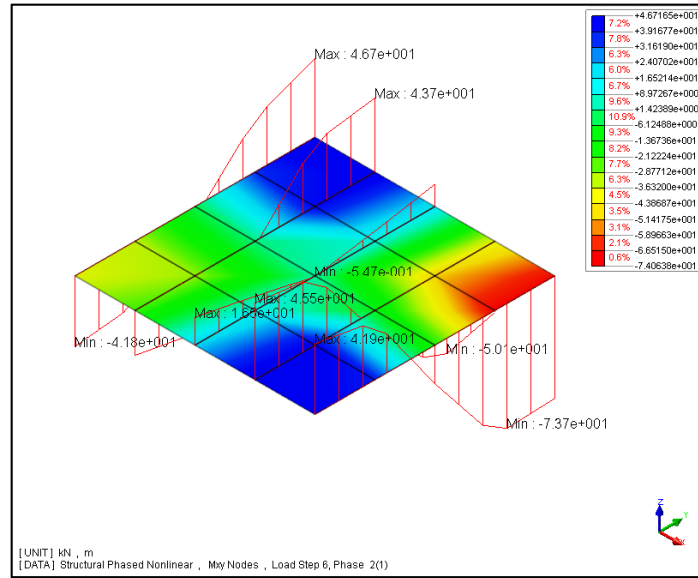
Şekil 6.110 : 30. sn’de sistemde oluşan düşey yerdeğiştirmeler.

Dinamik yük altında meydana gelen düşey yerdeğiştirmelerde statik yüke yakın olan aksta (A aksı) meydana gelen yerdeğiştirme değerleri uzak olan aksa (E aksı) göre daha yüksek değerler elde edilmiştir (Şekil 6.111).

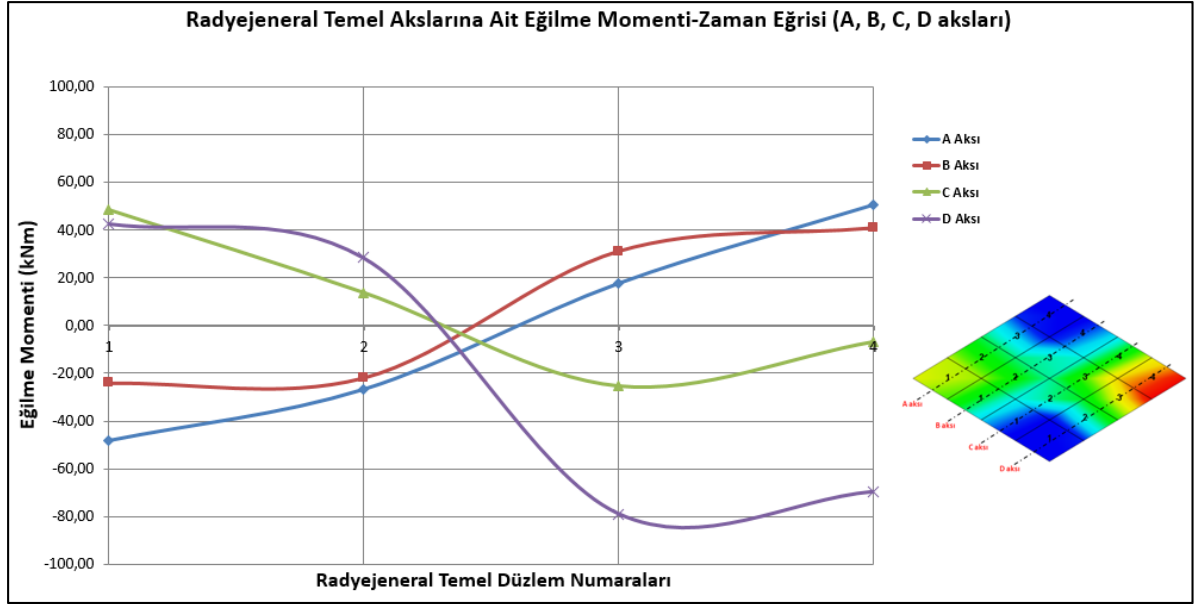


Şekil 6.111 : Radyejeneral temele ait düşey deplasman ve yük eğrisi (dinamik).

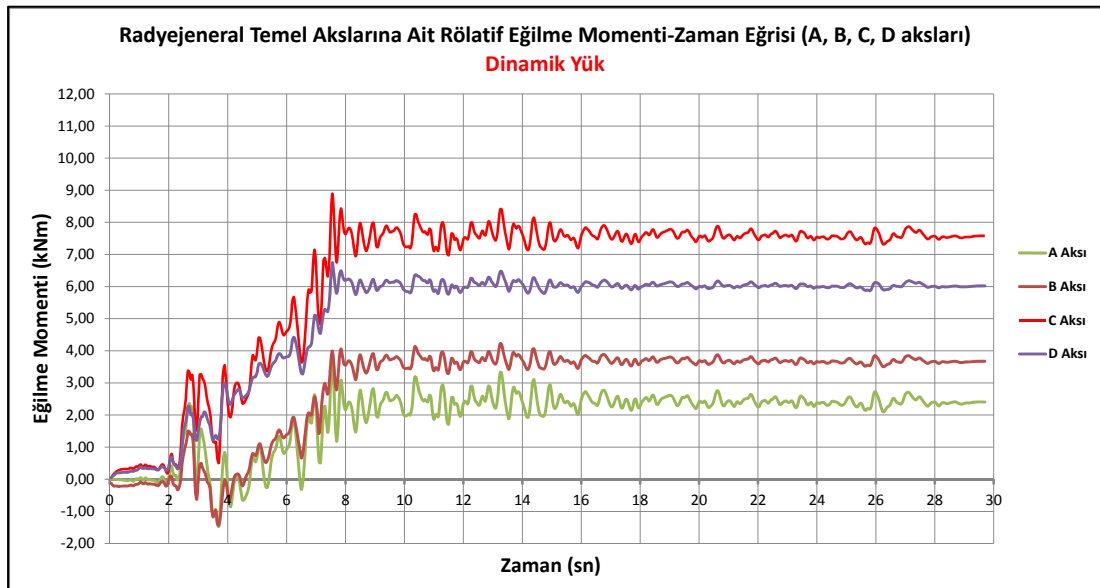
Radyejeneral temel sistemine ait statik ve dinamik analizlerin neticesinde kenar akslarda (A ve D aksı) meydana gelen maksimum ve minimum momentlerin, orta akslarda (C ve D aksı) meydana gelen momentlerden yüksek çıktığı gözlenmiştir. Kazıklı temel sistemindeki radyejeneral temelde oluşan moment değerleri ise radyejeneral temelin zeminle temas yüzeyi ortadan kalktığı için daha yüksek değerler olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 6.112 : Radyejeneral temel akslarında statik yükleme ile oluşan momentler.



Şekil 6.113 : Radyejeneral temel akslarına ait eğilme momenti değişimi (statik).



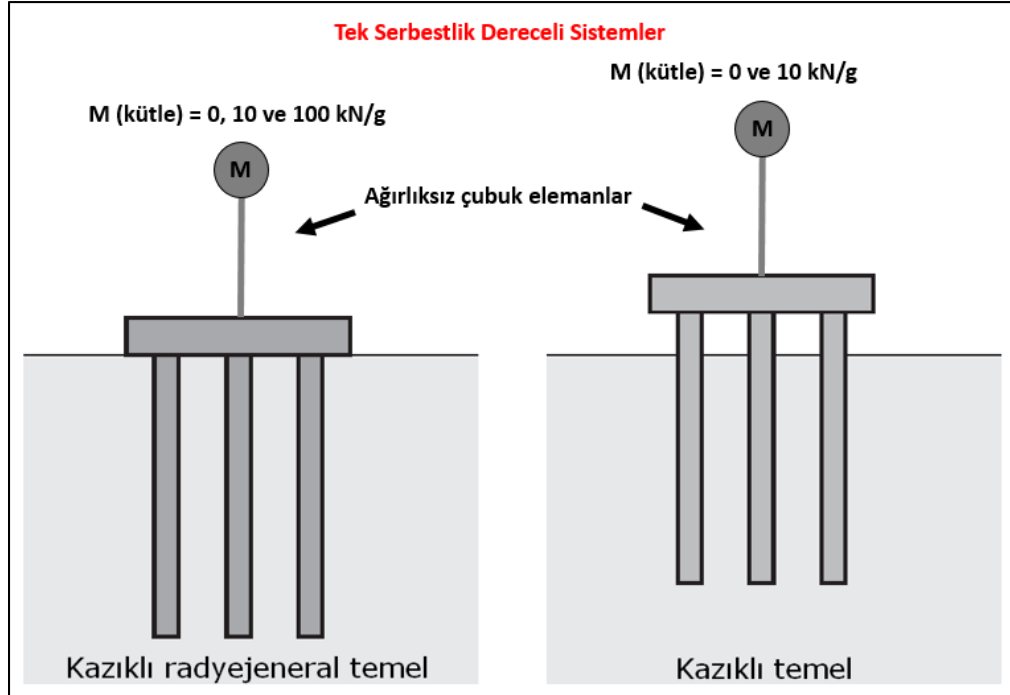
Şekil 6.114 : Radyejeneral temel akslarına ait eğilme momenti değişimi (dinamik).

7. KAZIKLI RADYEJENERAL TEMEL ve KAZIKLI TEMEL TEMEL SİSTEMLERİNİN ÜSTYAPI YÜKLERİ ALTINDAKİ DİNAMİK DAVRANIŞLARININ ANALİZİ

Bu bölümde, kazıklı radyejeneral ve kazıklı temel sistemlerinde üstyapı yükleri ve dinamik yükler altında kazık ile plak sistemleri arasındaki yük paylaşımı ve kazıklarda meydana gelen yatay deplasmanlar incelenmiştir.

Analizler için gerekli zemin ve plak modelleri, 3 boyutlu solid eleman olarak tanımlanmıştır. Kazık ile plak temeller arasındaki yük paylaşımının belirlenebilmesi için kazık elemanları zemine gömülü 1 boyutlu çubuk eleman (reinforcement bar embeded solid) olarak modellenmiştir.

Üstyapı yüklerini temsil etmek amacıyla her iki temel sisteminde de tek serbestlik dereceli sistem kullanılmıştır. Bu sistem plak temel üzerine yerleştirilmiş ağırlıksız çubuk elemanlardan ve kütleden (M) oluşmaktadır. Böylelikle farklı kütle değerlerine sahip temel sistemlerinin aynı deprem yükleri altında davranışları karşılaştırmak mümkün olmaktadır.



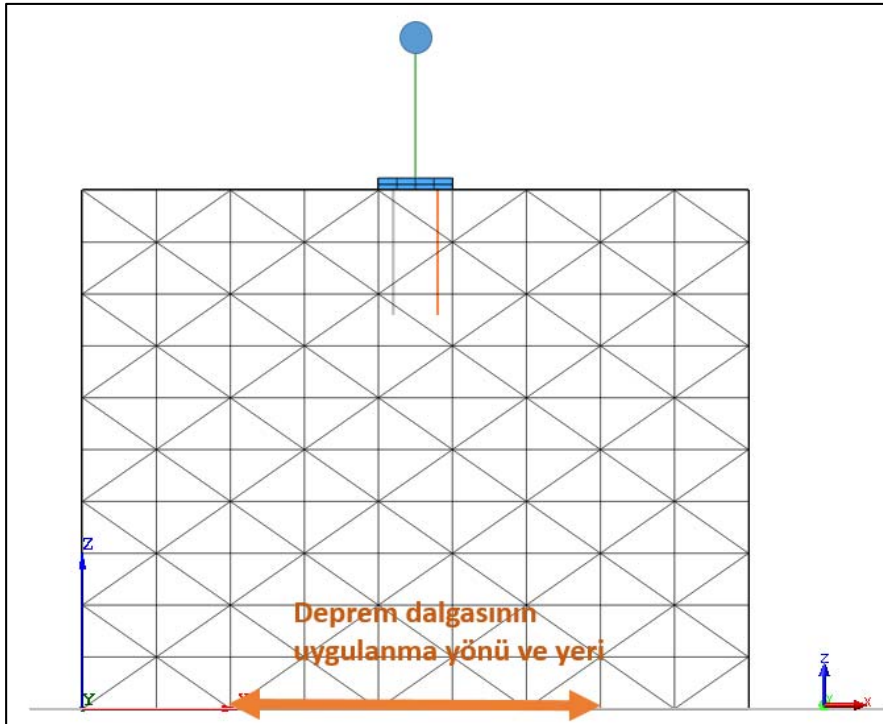
Şekil 7.1 : Tek serbestlik dereceli kazıklı radyejeneral ve kazıklı temel.

Analizlerde kullanılan Duncan – Chang Zemin Modeli Parametreleri aşağıdaki tabloda verilmiştir:

Çizelge 7.1 : Nümerik analizlerde kullanılan Duncan-Chang zemin parametreleri.

Parametre	Tanım	Birim	Değer
E_{ur}	Boşaltma – yeniden yükleme modülü	kN/m^2	75.000
E_i	Başlangıç teğet modülü	kN/m^2	25.000
c	Kohezyon	kN/m^2	100
$\sin \phi$	Kayma mukavemeti açısı sinüs değeri	-	0.02
R_f	Göçme oranı	-	0.95
P_{ref}	Referans basıncı	kN/m^2	100
n	Malzeme parametresi	-	0.5
m	Malzeme parametresi	-	0.5
E_{tmin}	Minimum teğet modülü	kN/m^2	100.000
σ_3	Asal gerilme	kN/m^2	10

Analizlerde 0, 10 kN/g ve 100 kN/g olmak üzere 3 farklı kütle değeri kullanılmıştır. Temel sistemine üstyapı yükü olarak sadece kullanılan kütle değerlerinin etkimesi için modeli oluştururken kullanılan çubuk elemanlar ağırlık olarak tanımlanmıştır. Yatay dinamik yük olarak 1999 yılı Marmara Depremi'nin 30 sn'lik Arçelik kaydı kullanılmıştır ve deprem yükünün uygulanma noktası aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



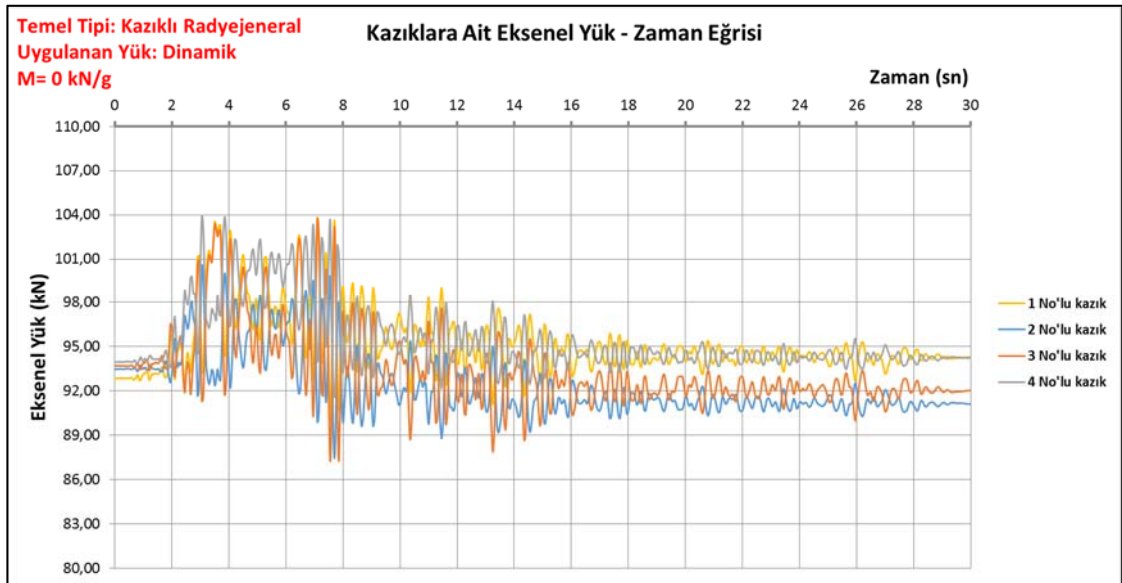
Şekil 7.2 : Deprem dalgasının uygulama yönü ve yeri.

Kazıklı radyejeneral ve kazıklı temel için gerçekleştirilen yük paylaşım analizleri aşağıda listelenmiştir.

Çizelge 7.2 : Yük paylaşım analizleri.

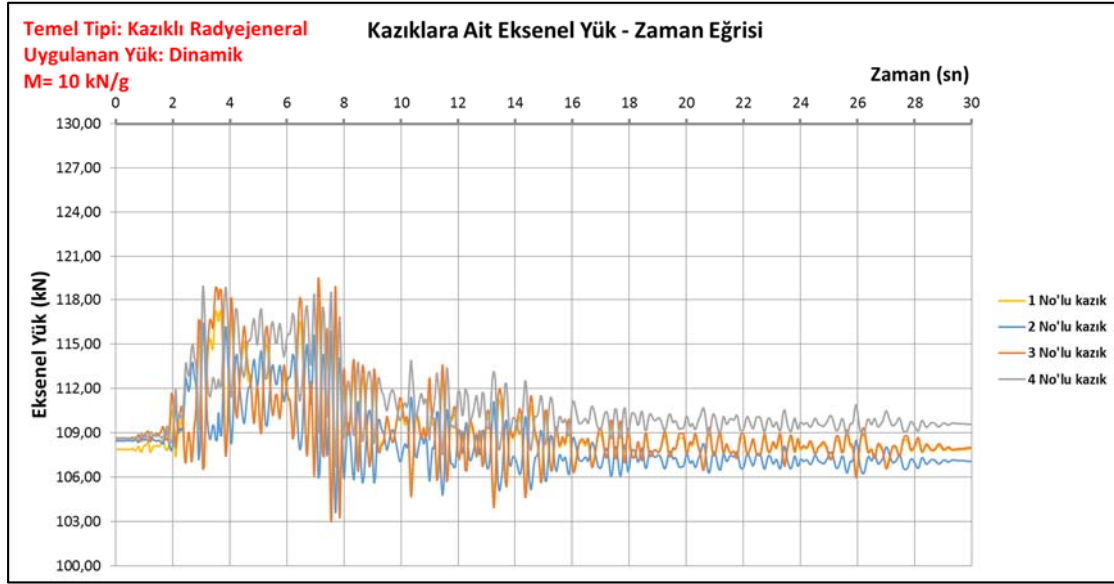
	1 No'lu Kazık	2 No'lu Kazık	3 No'lu Kazık	4 No'lu Kazık	Plak
Kazıklı Radyejeneral Temel (M=0)					
Ortalama	✓	✓	✓	✓	✓
Maksimum	✓	✓	✓	✓	✓
Minimum	✓	✓	✓	✓	✓
Kazıklı Radyejeneral Temel (M=10kN/g)					
Ortalama	✓	✓	✓	✓	✓
Maksimum	✓	✓	✓	✓	✓
Minimum	✓	✓	✓	✓	✓
Kazıklı Radyejeneral Temel (M=100kN/g)					
Ortalama	✓	✓	✓	✓	✓
Maksimum	✓	✓	✓	✓	✓
Minimum	✓	✓	✓	✓	✓
Kazıklı Temel (M=0)					
Ortalama	✓	✓	✓	✓	✓
Maksimum	✓	✓	✓	✓	✓
Minimum	✓	✓	✓	✓	✓
Kazıklı Temel (M=10kN/g)					
Ortalama	✓	✓	✓	✓	✓
Maksimum	✓	✓	✓	✓	✓
Minimum	✓	✓	✓	✓	✓

Temel sistemi üzerindeki üstyapı yükünün olmaması durumunda (M=0) dinamik yük süresince herbir kazık tarafından taşınan yük miktarı 90 ila 103kN arasında değişim göstermektedir. Kazık ve radye arasındaki yük paylaşımları karşılaştırıldığında kazıkların diğer koşullara göre daha fazla miktarda yükü karşıladığı belirlenmiştir.



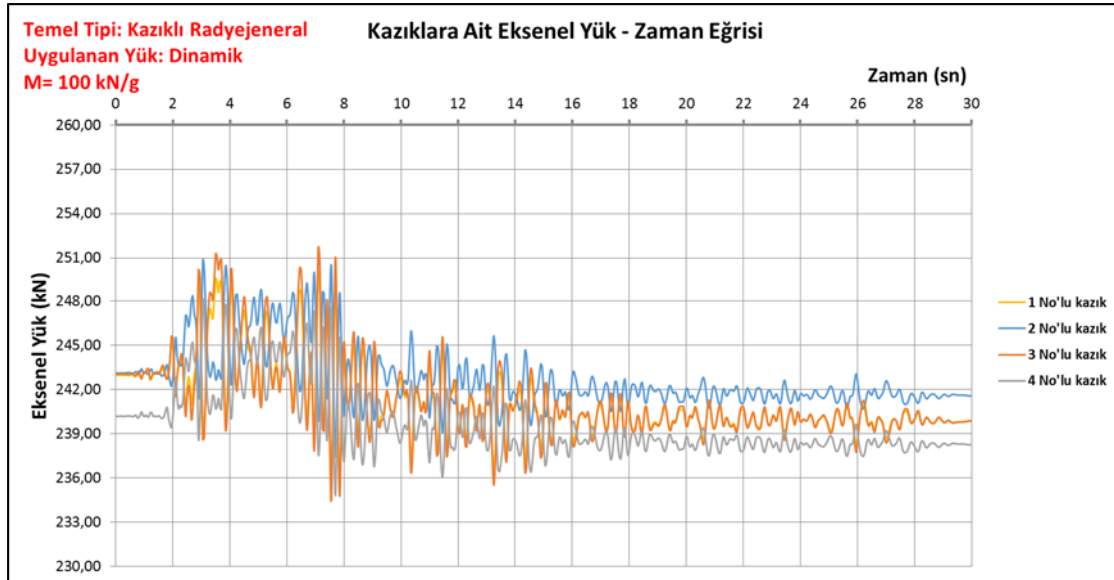
Şekil 7.3 : Kazıklar tarafından karşılanan eksenel yük – zaman değişimi (M=0kN/g, KRJT).

Temel sistemi üzerindeki üstyapı temsil eden kütlenin $M=10\text{kN/g}$ olması durumunda her bir kazık tarafından taşınan yük miktarı 104 ila 118kN arasında değişim göstermektedir. Plağa aktarılan yük miktarında da artış meydana gelmiştir.



Şekil 7.4 : Kazıklar tarafından karşılanan eksenel yük – zaman değişimi ($M=10\text{kN/g}$, KRJT).

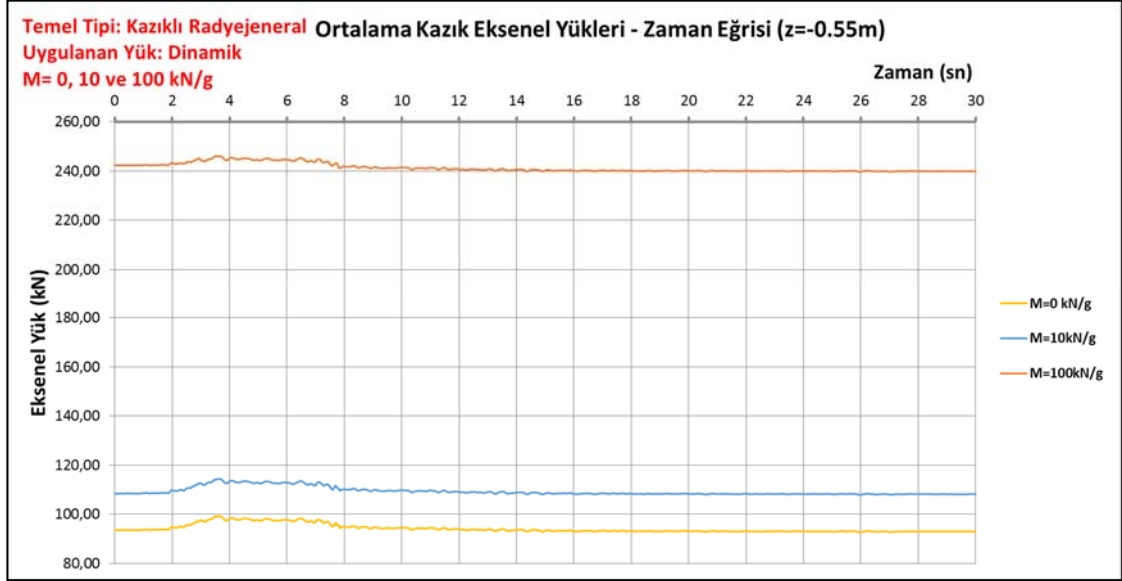
Temel sistemi üzerindeki üstyapı temsil eden kütlenin $M=100\text{kN/g}$ olması durumunda her bir kazık tarafından taşınan yük miktarı 235 ila 250kN arasında değişim göstermektedir.



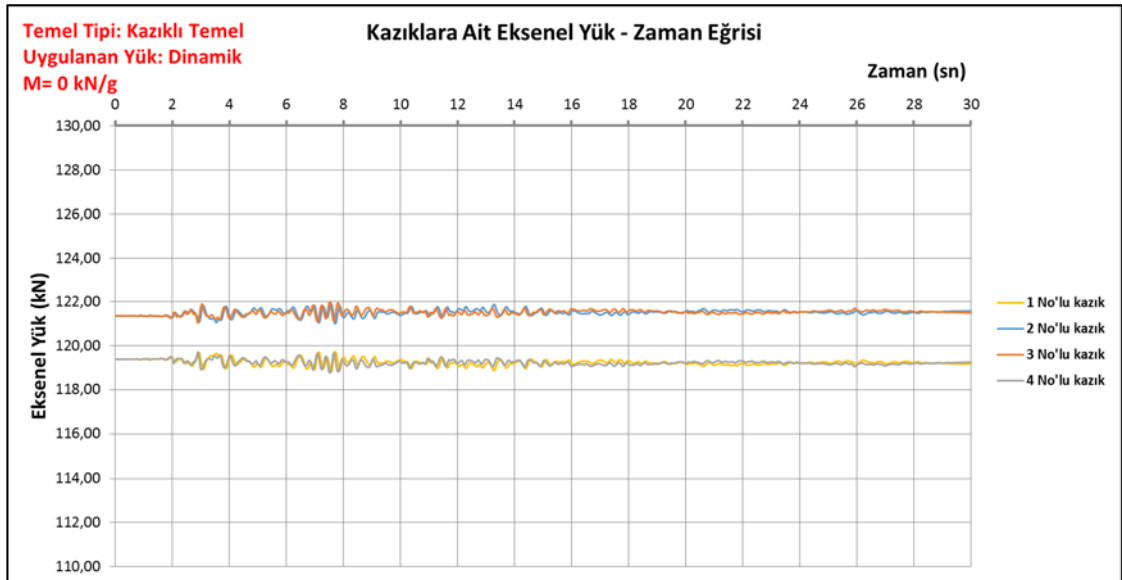
Şekil 7.5 : Kazıklar tarafından karşılanan eksenel yük – zaman değişimi ($M=100\text{kN/g}$, KRJT).

Farklı üstyapı yüklerin altında 4 kazığın ortalama eksenel yükleri karşılaştırıldığında üstyapı yükü olmadığı durumda ortalama değer yaklaşık 95kN civarında, üstyapı

yükünün $M=10\text{kN/g}$ olması durumunda yaklaşık 110kN ve üstyapı yükünün $M=100\text{kN/g}$ olması durumunda ise yaklaşık 240kN olduğu ortaya çıkmıştır.



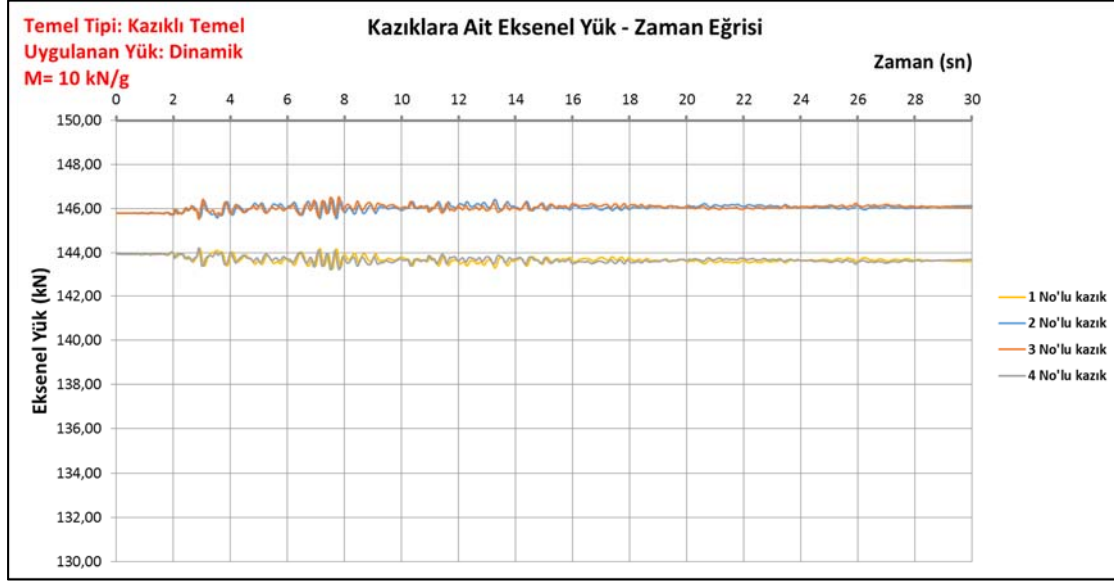
Şekil 7.6 : Ort. kazık eksenel yük – zaman değişimi ($M=0, 10$ ve 100kN/g , KRJT). Temel sisteminin kazıklı temel olması durumunda üstyapı yükünün olmaması koşulu için her bir kazık tarafından taşınan yük miktarı yaklaşık 120kN olarak belirlenmiştir. Kazık ve radye arasındaki yük paylaşımları karşılaştırıldığında üstyapı yükünün yaklaşık tamamının kazıklar tarafından karşılandığı ortaya çıkmıştır.



Şekil 7.7 : Kazıklar tarafından karşılanan eksenel yük – zaman değişimi ($M=0\text{kN/g}$, KT).

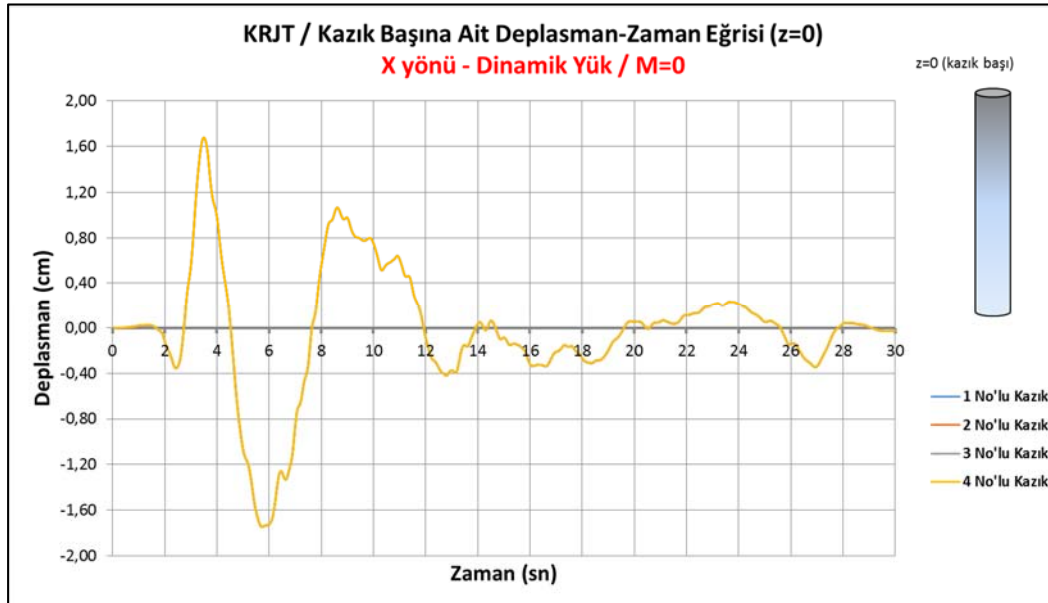
Kazıklı temel sistemi için üstyapı yükünün $M=10\text{kN/g}$ olması durumunda her bir kazık tarafından taşınan yük miktarı yaklaşık 145kN olarak belirlenmiştir. Üstyapı

yükündeki artışın tamamına yakın bölümü kazıklar tarafından karşılandığı ortaya çıkmıştır.

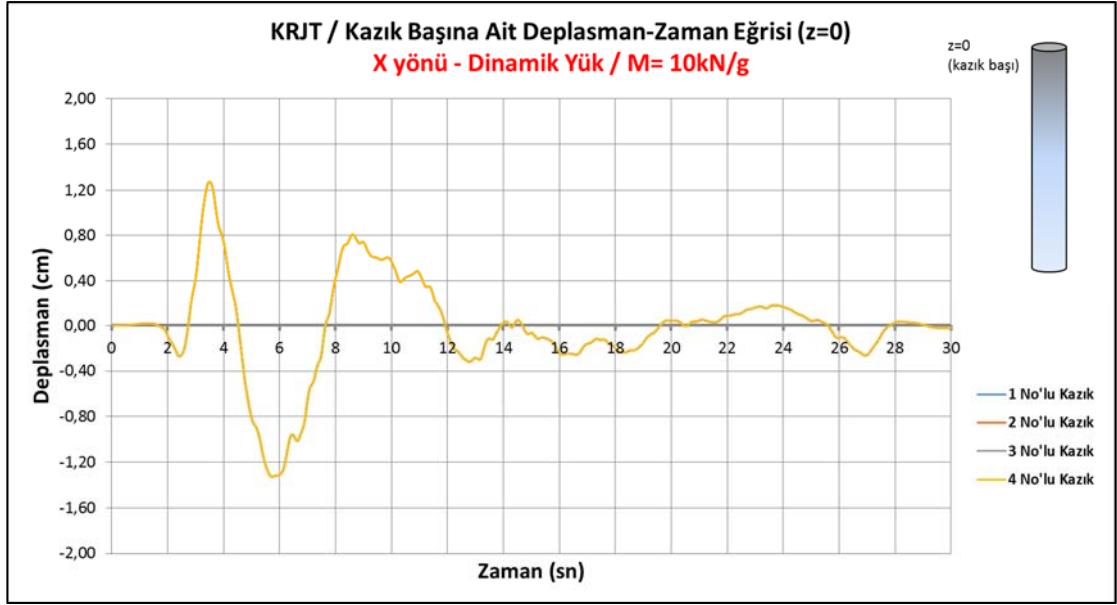


Şekil 7.8 : Kazıklar tarafından karşılanan eksenel yük – zaman değişimi (M=10kN/g, KT).

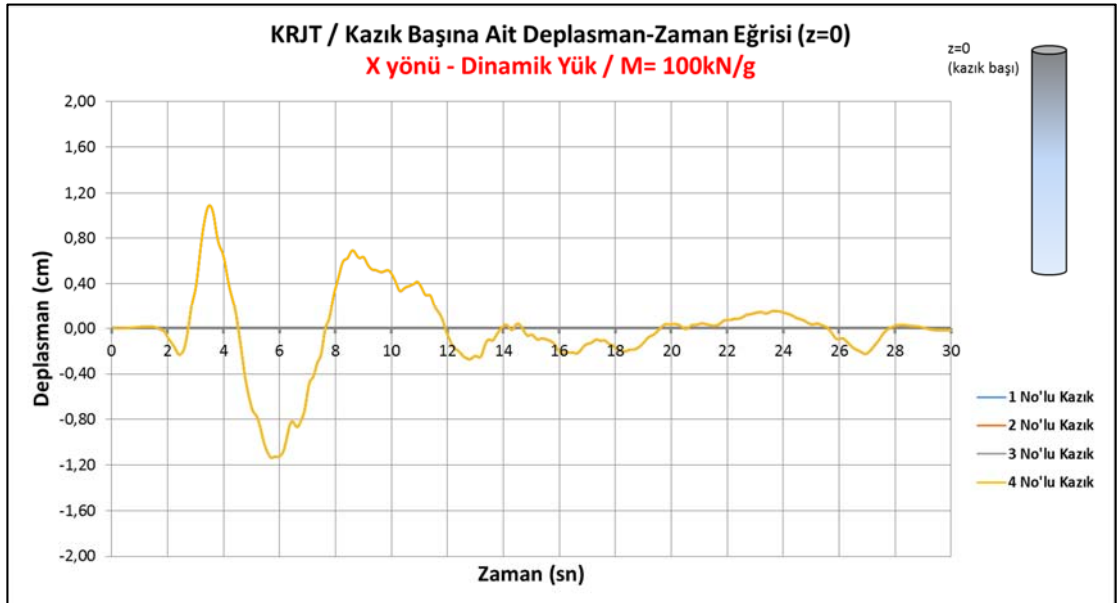
Yük paylaşımlarının haricinde kazık başlarında meydana gelen yatay deplasmanlar da karşılaştırılmıştır. Kazıklı radye jeneral temel sisteminde üst yapı kütlelerinin M=0 olması durumunda kazık başının yaptığı maksimum yatay yer değiştirme değeri 1,75cm olarak belirlenirken M=10kN/g değeri için 1,32cm, M=100kN/g değeri için 1,14cm olarak belirlenmiştir (Şekil 7.9, Şekil 7.10, Şekil 7.11).



Şekil 7.9 : Kazık başına ait yatay yer değiştirme – zaman değişimi (M=0, KRJT).

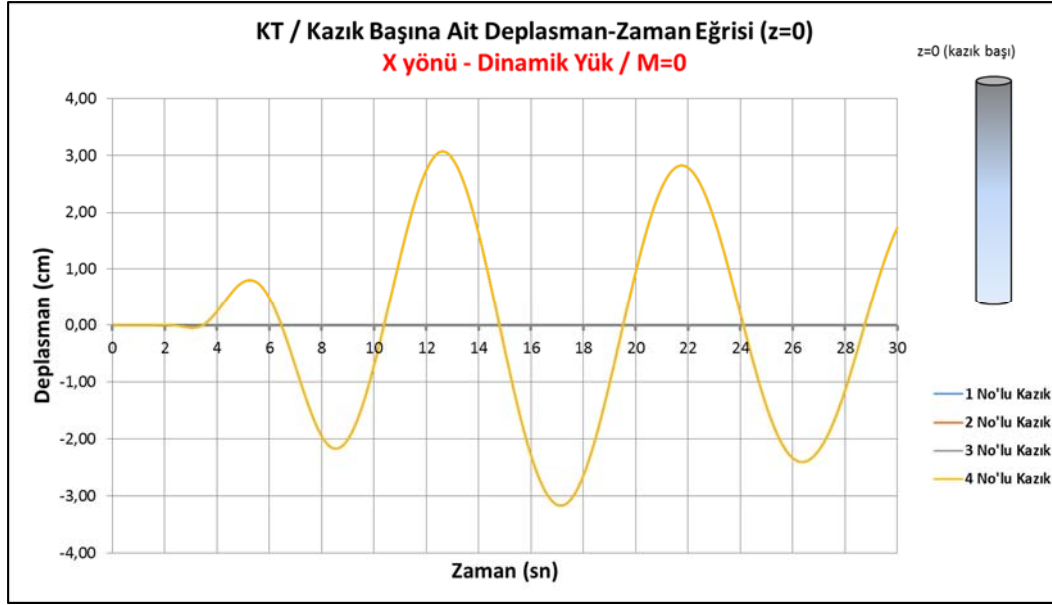


Şekil 7.10 : Kazık başına ait yatay yer değiştirme – zaman değişimi (M=10kN/g, KRJT).

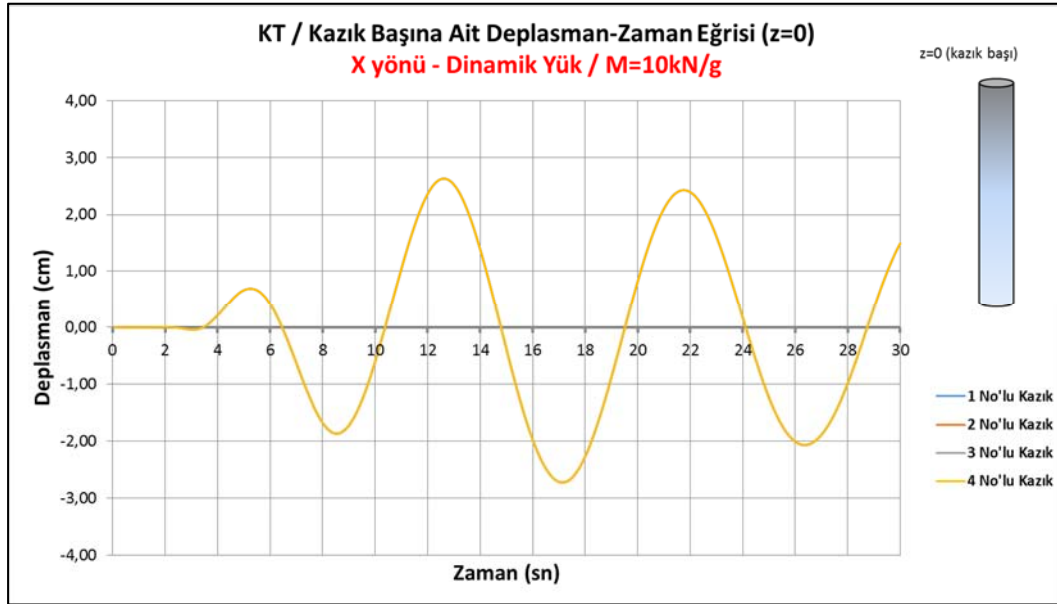


Şekil 7.11 : Kazık başına ait yatay yer değiştirme – zaman değişimi (M=100kN/g, KRJT).

Kazık başlarında meydana gelen yatay deplasmanlar kazıklı temel sistemi için incelendiğinde üst yapı kütlelerinin $M=0$ olması durumunda kazık başının yaptığı maksimum yatay yer değiştirme değeri 3,17cm olarak belirlenirken $M=10\text{kN/g}$ değeri için 2,72cm olarak belirlenmiştir (Şekil 7.12, Şekil 7.13).



Şekil 7.12 : Kazık başına ait yatay yer değiştirme – zaman değişimi (M=0, KT).



Şekil 7.13 : Kazık başına ait yatay yer değiştirme – zaman değişimi (M=10kN/g, KT).

8. SONUÇLAR

Arazi deneyleri ve model deneylerde karşılaşılan zorluklar nedeniyle sonlu eleman yöntemi çözümüne dayanan nümerik analizler, çözümü karmaşık olan bu sistemlerin davranışlarını gerçeğe yakın yansıtmaktadır ve kullanılan en yaygın yöntemlerdendir.

Tez çalışmasında, kazıklı radyejeneral temel, kazıklı temel ve radye temel sistemlerinde kazıkların ve plak temelin, yatay dinamik ve statik yük altında taşıma gücü, yatay ve düşey deplasmanlarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

Kazıklı radyejeneral temel sisteminin yanal yük altında davranışının daha iyi anlaşılması için ilk olarak düşey yük altındaki davranış ile ilgili analizler gerçekleştirilerek bulunan sonuçların mevcut yöntemlerle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

TNO Diana yazılımı ile ilk olarak Frankfurt'taki Yeni Sergi Salonu'nun kazıklı radyejeneral temellerinin yatay yük altında davranışını incelenmiştir. Yanal yükün statik ve dinamik olması durumları için radye temelde ve kazıklarda meydana gelen yatay yer değiştirmelerin ve yük paylaşımlarının irdelenmesi çalışmanın amaçlarından bir diğeridir. Bu amaç doğrultusunda modellenen kazıklı radyejeneral temel, kazıklı temel ve radye temelin analizleri yapılarak bulunan sonuçlar tartışılmıştır.

Kazıklı radyejeneral temelin zemin ile temasının taşıma gücüne ve yer değiştirmeye sağladığı katkıların da ortaya konması hedeflenmiştir. Ayrıca üst yapı yükündeki değişikliklerin yanal dinamik yüke maruz kazıklı radye jeneral temel ve kazıklı temel sisteminde meydana getirdiği taşıma gücü paylaşımları ve yatay yerdeğiştirmeler de ayrıca incelenmiştir.

Düşey yük altında kazıklı radyejeneral temel ile ilgili birçok çalışma olmasına karşın yatay yüklü kazıklar ile ilgili çalışmalar kısıtlıdır. Bu çalışma kapsamında statik ve dinamik yükler altında kazıklı radyejeneral temeller, kazıklı temeller ve radyejeneral temellerin davranışının anlaşılması bakımından birçok nümerik analiz gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın ilk aşamasında kazıklı radyejeneral temelin düşey yük altındaki deformasyonları ve temel sistemi elemanları arasındaki yük paylaşımı irdelenmiştir.

Kazıklı radyejeneral temel sisteminde kazık sayısının 3, 9, 15 ve 45 kazıklı ve plak kalınlığının da 0.50 ve 1.00 m olması durumları için 12 MN'luk düşey tekil yük altında radyedeki maksimum oturma, maksimum moment, kenar ve orta kazıkların oturma farkları ile kazıklar tarafından taşınan yükün yüzdesel oranı için bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Temel sistemi Plaxis 3D Foundation yazılımı ile 3 boyutlu olarak modellenmiştir.

- 9 kazıklı radyejeneral temel için yayılı yük ve tekil yük için ortalama oturma miktarı diğer yöntemlerle belirlenen değerlere oldukça yakın değerler vermiştir.
- Radyejeneral temelde oluşan maksimum moment değeri tekil yük için literatürdeki diğer yöntemlerle benzerlik gösterirken yayılı yük için diğer yöntemlerle elde edilen değerlerden daha az bulunmuştur.
- Yayılı yük altında radyejeneral temelde ortaya çıkan farklı oturmalar tekil yük altında ortaya çıkan değerlerden daha azdır.
- Kazıklı radyejeneral temel sistemindeki kazıklar, tekil ve yayılı yük altında toplam düşey yükün yaklaşık %55-60'ını karşılamaktadır.
- Kazık sayısının artması radyejeneral temelde oluşan maksimum oturma miktarını azaltmaktadır. Fakat kazık sayısının belli bir değerden yüksek olması durumunda kazık sayısının radyejeneral temelde oluşan maksimum oturmaya etkisi olmadığı gözlenmiştir.

- Düşey yük altındaki davranışta radyejeneral temel kalınlığının artması ile radyejeneral temelde oluşan moment değeri de artış göstermiştir. Bunun yanında radyejeneral temel kalınlığının artması temel sisteminde oluşan farklı oturmayı azaltmaktadır.
- Kazık uzunluğunun artmasıyla radyejeneral temelde oluşan maksimum oturmalar azalma göstermiştir. Kazık uzunluğu ile radyejeneral temelde oluşan maksimum moment arasında da bir ilişki söz konusudur. Kazık uzunluğu arttıkça çok az da olsa radyejeneral temeldeki maksimum moment azalmıştır. Bunun yanında kazık uzunluğunun artmasının kazıklar tarafından taşınan yükün artmasıyla orantılı olduğu aşıkardır.
- Radyejeneral temelin kalınlığının artması temel sisteminin kenar ve orta kazıkları arasındaki farklı oturmayı azaltmaktadır.

Çalışmanın ikinci aşamasında Frankfurt'taki Yeni Sergi Salonu – 3. Kısım Binası'na ait temel sisteminin yanal yük altındaki statik ve dinamik davranışı incelenmiştir. Temel sistemi kazıklı radyejeneral temel ve radyejeneral temel sistemi olarak 2 farklı şekilde TNO DIANA yazılımı ile 3 boyutlu olarak modellenmiştir. Yük kombinasyonları statik yük ve dinamik olarak sistemlere uygulanmıştır.

- Kazıkların yaptığı yatay yerdeğiştirmeler sistemin sadece kendi ağırlığı göz önüne alındığında düşey yayılı yük altındaki değerlere oranla daha az hesaplanmıştır.
- Kullanılan arayüz elemanının Elastisite Modülü'nün azalması ile kazıklarda meydana gelen yatay deplasmanlarda artış gözlenmiştir. Düşey yayılı yük altında kazıklarda meydana gelen düşey yerdeğiştirmeler kazık başlarında daha fazla gerçekleşmektedir.
- Dinamik analiz neticesinde ise kazık boyunca oluşan maksimum yerdeğiştirmeler kazık boyunca çok fazla değişmemektedir. Kazıklı radyejeneral temellerin dinamik analizleri neticesinde kazıklarda oluşan rölatif düşey ve yatay yerdeğiştirmeler farklı arayüz oranları için birbirine yakın sonuçlar vermektedir. Fakat statik yük altında kazıkların yatay yerdeğiştirmeleri incelendiğinde arayüz elemanının etkisi açıkça gözükmemektedir.

- Radyejeneral temel sistemi için yatay yerdeğiştirme değerleri karşılaştırıldığında radyejeneral temelde oluşan yatay yer değiştirme, arayüz elemanın Elastisite Modülü'nün azalmasıyla hem statik hem de dinamik yükleme durumunda artmaktadır. Radyejeneral temelde oluşan düşey yer değiştirme, arayüz elemanın Elastisite Modülü'nün azalmasıyla hem statik yükleme koşulunda hem de dinamik analiz durumunda artmaktadır.

Çalışmanın üçüncü aşamasında kazıklı radyejeneral, kazıklı temel ve radyejeneral temel sistemlerinin statik ve dinamik yanal yükler altında davranışı incelenmiştir. Temel sistemleri için TNO DIANA yazılımı ile 3 boyutlu modeller oluşturulmuştur.

Kazıklar için 1 boyutlu reinforcement bar elemanlar, zemin ve radyejeneral temel için 3 boyutlu solid elemanlar seçilmiştir. Analizlerde zemin modeli olarak Duncan Chang zemin modeli kullanılmıştır.

Kazıklı radyejeneral temel sistemi:

- Sisteme uygulanan yatay statik yük arttıkça kazık başlarında ve radyejeneral temel alt kotu bölgesinde oluşan yatay deplasmanlar kazık alt ucuna göre artış göstermiştir. Yükün uygulama bölgesine yakın olan 1 ve 3 No'lu kazıkların uç bölgelerinde yaptıkları yatay deplasmanlar 2 ve 4 No'lu kazıklara göre daha azdır.
- Statik yanal yük altında meydana gelen düşey yerdeğiştirmeler incelendiğinde kazık başlarında ve radyejeneral temel alt kotlarındaki değerler kazık alt ucunda hesaplanan yerdeğiştirmelere oranla daha fazladır.
- Yatay statik yükün uygulanma bölgesine yakın olan 1 ve 3 No'lu kazıklarda yatay yükün artması ile düşey yerdeğiştirmeler azalırken 2 ve 4 No'lu kazıklarda düşey yerdeğiştirmelerde değişim gözükmemektedir.
- Statik yükün uygulanma noktasına yakın olan plağın A ve B akslarında, oluşan düşey yerdeğiştirmeler, yükün uygulanma noktasına uzak olan D ve E akslarındaki değere göre daha büyük hesaplanmıştır.
- Statik yükün artışına bağlı olarak statik yükün uygulama noktasına yakın olan 1 ve 3 No'lu kazıklarda eksenel yük azalırken 2 ve 4 No'lu kazıklarda eksenel yük artışı gözlenmiştir.

- Dinamik analizde statik yükün uygulandığı bölgeye yakın olan 1 ve 3 No'lu kazıklarda meydana gelen eksenel yük değişimi 2 ve 4 No'lu kazığa oranla daha fazla gözlenmiştir.
- Statik yükün artışına bağlı olarak statik yükün uygulama noktasına yakın olan 1 ve 3 No'lu kazıklarda kesme kuvveti artışı 2 ve 4 No'lu kazıklardaki kesme kuvvetinde artışından daha fazladır.
- Kazıklı radyejeneral temelde kazıklarda meydana gelen momentler incelendiğinde statik yük altındaki moment değişimleri mutlak değerce tüm kazıklarda birbirine yakın değerlerde gerçekleşmiştir.
- Dinamik analiz sırasında statik yükün uygulandığı noktaya yakın olan 1 ve 3 No'lu kazıklardaki moment değişim miktarı 2 ve 4 No'lu kazığa göre daha fazla gerçekleşmiştir.
- Kazıklı radyejeneral temelde radyejeneral temel akslarında meydana gelen momentler incelendiğinde statik yük altındaki moment değişimleri mutlak değerce tüm akslarda birbirine yakın değerlerde gerçekleşmiştir. Dinamik analiz sırasında ise kazıkların dinamik analiz sonuçlarına paralellik gösterecek şekilde statik yükün uygulandığı noktaya yakın olan A ve B akslarındaki moment değişim miktarı C ve D akslarındaki moment değişim miktarına göre daha fazla gerçekleşmiştir.

Kazıklı temel sistemi:

- Kazıkların dinamik analiz süresince göstermiş oldukları yatay yerdeğiştirmeler benzerlik göstermektedir. Kazıkların yaptıkları yatay yerdeğiştirmeler +X ve +X yönlerinde maksimum 1.70cm civarındadır.
- Tüm kazıklar için statik yanal yük altındaki düşey yerdeğiştirmelerin kazık başında ve radyejeneral temel alt kotundaki değerleri kazık alt ucunda hesaplanan düşey yerdeğiştirmelere oranla daha azdır. Yatay yükün uygulandığı yere yakın olan 1 ve 3 No'lu kazıklarda yatay yükün artması ile düşey yerdeğiştirmeler azalırken 2 ve 4 No'lu kazıklarda düşey yerdeğiştirmelerde değişiklik gözükmemektedir.
- Dinamik yük altında kazıklarda meydana gelen düşey yerdeğiştirmeler tüm kazıklar için yakın sonuçlar bulunmuştur. Kazıklı temel sisteminde

radyejeneral temelin zemin ile olan teması kesildiği için yatay yönde gerçekleşen yerdeğiştirmeler kazıklı radyejeneral temele oranla daha fazla bulunmuştur.

- Statik yükün artışına bağlı olarak statik yükün uygulama noktasına yakın olan 1 ve 3 No'lu kazıklarda eksenel yük azalırken 2 ve 4'No'lu kazıklarda eksenel yük artışı gözlenmiştir. Bunun yanında yük artışlarındaki miktar, kazıklı radyejeneral temel davranışına göre daha fazladır.
- Dinamik analizde statik yükün uygulandığı bölgeye yakın olan 1 ve 3 No'lu kazıklarda meydana gelen rölatif eksenel yük değişimi 2 ve 4 No'lu kazık ile benzerlik göstermektedir. Statik yükün artışına bağlı olarak kazıkların kesme kuvvetlerindeki artış miktarları kazıklı radyejeneral temel sistemindeki kazıklara oranla daha fazladır.
- Kazıklı temelde kazıklarda meydana gelen momentler incelendiğinde statik yük altındaki moment değişimleri mutlak değerce tüm kazıklarda birbirine yakın değerlerde gerçekleşmiştir.
- Eğilme momentlerindeki değişim miktarı kazıklı radyejeneral temel ile karşılaştırıldığında kazıklı temeldeki momentlerin daha büyük olduğu görülmektedir.
- Dinamik analiz sırasında statik yükün uygulandığı noktaya yakın olan 1 ve 3 No'lu kazıklardaki moment değişim miktarı 2 ve 4 No'lu kazığa göre daha az gerçekleşmiştir Kazıklı temelde radyejeneral temel akslarında meydana gelen momentler incelendiğinde statik yük altındaki moment değişimleri mutlak değerce tüm akslarda birbirine yakın değerlerde gerçekleşmiştir. Elde edilen moment değerleri kazıklı radyejeneral temel sisteminde elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında sistemde oluşan momentlerin daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Dinamik analiz sırasında ise kazıkların dinamik analiz sonuçlarına paralellik gösterecek şekilde statik yükün uygulandığı noktaya yakın olan akstaki moment değişim miktarı diğer akslara daha fazla gerçekleşmiştir.

Radyejeneral temel sistemi:

- Statik yük altında radyejeneral temelde oluşan düşey yerdeğiştirmeler kazıklı sistemlerdeki değerlerden daha yüksek bulunmuştur. Bu noktada kazıkların temel sistemine yaptığı olumlu bir etki söz konusudur. Statik yanal yük altında radyejeneral temel akslarında meydana gelen düşey deformasyonlar incelendiğinde kenar akslardaki oturmaların orta aksa göre daha az gerçekleştiği görülmektedir.
- Dinamik analizde radyejeneral temelde oluşan düşey deformasyon değerleri diğer sistemlerin analizleri ile karşılaştırıldığında radyejeneral temel sisteminde daha yüksek değerlerdedir. Bu noktada kazıkların düşey yerdeğiştirmeyi azaltıcı yönde fayda sağladığı görülmektedir. Dinamik yük altında meydana gelen düşey yerdeğiştirmelerde statik yüke yakın olan aksta (A aksı) meydana gelen yerdeğiştirme değerleri uzak olan aksa (E aksı) göre daha yüksek değerler elde edilmiştir.
- Radyejeneral temel sistemine ait statik ve dinamik analizlerin neticesinde kenar akslarda (A ve D aksı) meydana gelen maksimum ve minimum momentlerin, orta akslarda (C ve D aksı) meydana gelen momentlerden yüksek çıktığı gözlenmiştir. Kazıklı temel sistemindeki radyejeneral temelde oluşan moment değerleri ise radyejeneral temelin zeminle temas yüzeyi ortadan kalktığı için daha yüksek değerler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yatay ve düşey yük etkisi eş zamanlı olarak incelenmiştir. Çünkü kazıklı radyejeneral temelin yatay yük altındaki davranışı düşey yük miktarından etkilenmektedir. Kazıklı radyejeneral temel ile yapılan temel sistemi hem oturmayı hem de yatay deplasmanları azalttı. Küçük yatay deplasmanlarda yatay yükün çoğu radyejeneral temel tarafından karşılanırken büyük yatay deplasmanlarda yatay yükün 20-30%'luk kısmı radyejeneral temel tarafından karşılanmaktadır.

Çalışmanın sonuçlarından birisi de yatay yükler altındaki kazıklı radyejeneral temellerin sadece oturma değerlerini azaltmak ile kalmayıp yatay deplasmanları da azalttığıdır.

Kazıklı radyejeneral temel ile kazıklı temel analiz sonuçları karşılaştırıldığında statik yanal yük altında kazıklı temeldeki kazık başlarında meydana gelen yatay deplasman

miktarı kazıklı radyejeneral temeldeki kazık başlarındaki yatay deplasmandan % 37 daha fazla gerçekleşmiştir. Benzer karşılaştırma düşey deplasman için yapıldığında kazıklı temelde kazık başlarında meydana gelen yerdeğiştirme miktarı kazıklı radyejeneral temeldeki kazık başlarında meydana gelen yerdeğiştirmenin 2 katından fazladır.

Dinamik yük altında düşey deplasman miktarında ise % 20 artış belirlenmiştir. Statik yük altında kazıklarda meydana gelen eksenel yük değişimleri kazıklı temellerde 5 kat daha fazla gerçekleşmiştir. Dinamik yük altında kazıklardaki eksenel yük değişimleri kazıklı temellerde % 43 oranında daha fazladır. Dinamik yük altında kazık başlarında meydana gelen kesme kuvvetleri karşılaştırıldığında kazıklı temelde meydana gelen kesme kuvveti % 47 oranında daha fazla belirlenmiştir. Statik düşey yük altında kazık başlarında meydana gelen eğilme momenti kazıklı temel için 2 kat daha fazla hesaplanmıştır. Dinamik analizde ise kazık başlarında meydana gelen eğilme momenti kazıklı temelde % 14 oranında daha fazla belirlenmiştir.

Statik yanal yük altında kazıklı temelin plağının akslarında meydana gelen yatay deplasman kazıklı radyejeneral temelin plağının akslarında meydana gelen yatay deplasmandan % 60 oranında daha fazladır. Aynı akslar statik yanal yük altında düşey deplasmanlar olarak karşılaştırıldığında kazıklı temeldeki değerler % 10 oranında daha fazla belirlenmiştir. Dinamik yük altında ise bu oran % 22 olarak bulunmuştur. Akslarda meydana gelen moment değişim oranı ise statik yükleme için 3,85 olarak belirlenmiştir.

Kazıklı radyejeneral temel ile plak temel arasında analiz sonuçları karşılaştırıldığı vakit statik yanal yük altında radyejeneral temel plağının akslarında meydana gelen yatay yerdeğiştirme % 8 oranında fazla hesaplanmıştır. Aynı akslar statik yanal yük altında düşey deplasmanlar olarak karşılaştırıldığında radyejeneral temel plağındaki değerler % 19 oranında daha fazla belirlenmiştir. Dinamik yük altında ise plak temel akslarında meydana gelen düşey deplasman kazıklı radyejeneral temelin plağındaki akslardaki değer 2,33 katı olarak bulunmuştur. Akslarda meydana gelen moment değişim oranı ise statik yükleme için 6,25 olarak belirlenmiştir.

Yatay deprem kuvvetleri altında kazıklı radyejeneral temel ve kazıklı temel sistemlerinde incelenen kazık - plak yük paylaşımlarında kazıklı radyejeneral sistemdeki plağın taşıma gücüne katkısı açıkça gözükmemektedir.

Kazıklı radye jeneral temelin üstyapı yükünün olmadığı durumda, temel ağırlığının % 77'si kazıklar tarafından taşınırken %23'ü plağın zemin ile teması ile karşılanmaktadır. Üstyapı temsil eden kütlenin $M=10\text{kN/g}$ olması durumunda da yük paylaşım oranları benzer gözükmemektedir. Üstyapı temsil eden kütlenin $M=100\text{kN/g}$ olması durumunda ise kazıklar tarafından karşılanan yük oranı %65'e düşerek plak tarafından karşılanan yük oranı %35'e yükselmiştir. Açıkça görülmektedir ki üstyapı kütlesindeki artışla birlikte radye tarafından karşılanan yük miktarı da artış göstermektedir. Bu durum kazıklı temel ile karşılaştırılırsa eğer kazıklı temelde üstyapı yükünün olmaması ve artması durumlarında yükün tamamının kazıklar tarafından karşılandığı görülmektedir (Çizelge 8.1).

Kazıklı radye jeneral temel ile kazıklı temel için kazık başlarında meydana gelen yatay yerdeğiştirmelerde kütlesiz durumda kazıklı temeldeki kazıkların %25 daha fazla yatay yer değiştirme yaptığı belirlenmiştir. $M=10\text{kN/g}$ 'lik üst yapı yükünün olması durumunda ise bu fark % 51 mertebesine yükselmiştir. Üstyapı yükünün artması durumunda ($M=0$ değerinden $M=10\text{kN/g}$ değerine artması) ise kazıklı radye jeneral temel kazıklarında meydana gelen yatay yerdeğiştirme %25 oranında azalırken kazıklı temellerde bu azalma %14 olarak belirlenmiştir. Böylelikle üstyapı yükünün artması ile plağın zemin ile temasının sağlanması, kazık başlarında meydana gelebilecek yatay yerdeğiştirmelerin de kazıklı radye jeneral temelde kazıklı temele göre daha düşük değer elde edilmesine olanak sağlamaktadır.

Kazıklı radyejeneral temel sistemlerinin boyutlandırılmasında kazık-radyejeneral temel-zemin etkileşiminin ve radyejeneral temelin de yük taşıdığı düşünülürse ihtiyaç duyulacak kazık sayısındaki azalmanın da beraberinde ekonomiyi getireceği açıktır. Fakat geleneksel kazıklı temel yaklaşımında üst yapı yüklerinin kazıklar tarafından karşılandığı kabulü temel sistemini ekonomiklikten uzaklaştırmaktadır. Bu nedenle temel sisteminin optimum ekonomi, taşıma gücü ve oturma kriterlerini sağlayabilmesi için kazıklı temel sistemi yerine kazıklı radyejeneral sistem olarak modellenmesi mühendislik açısından daha doğru bir tercihtir.

Yapılan bu çalışma ile güncelliğini koruyan konulardan birisi olan kazıklı radyejeneral temellerin düşey ve yatay yük altındaki davranışları ortaya konmuştur.

Kazıklı radyejeneral temellerin arazide uygun izleme yöntemleri kullanılarak ölçümlerinin yapılması ve bu bilgilerin yatay yük altındaki davranışını açıklamak amacıyla kullanılması gerekmektedir. Çünkü kazık-radyejeneral temel-zemin arasındaki etkileşim ancak bu şekile gerçeğe yakın bir şekilde belirlenmiş olur. Kazıklı radyejeneral temellerin farklı koşullar altında (zemin cinsi, yeraltı su seviyesi, kazık sayısı, kazık boyları, yük durumları, farklı deprem kayıtları v.b.) davranışlarının tam olarak anlaşılabilmesi için çeşitli ve özgün çalışmaların yapılması gerekmektedir. Yatay yüklü kazıklı radyejeneral temelin yapısal davranışı ile ilgili literatürde çok fazla araştırma bulunmamaktadır. Kulhawy ve Prakoso (1997)'ye göre bu temel sisteminin yatay yük altında davranışının belirlenmesi ileride en önemli konulardan birisi olacaktır.

Çizelge 8.1 : KRJT ve KT'lerin düşey yük paylaşım oranları.

	(kN)	Kazık No:1	Kazık No:2	Kazık No:3	Kazık No:4	Radye	Kazık	Radye
Radye Temel Ağırlığı	489,46	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(%)	(%)
Kazıklı Radyejeneral Temel (M=0)		95,19	92,41	93,33	95,49	113,04	77%	23%
<i>Maksimum</i>	489,46	103,81	100,54	103,69	103,90	77,52	84%	16%
<i>Minimum</i>		89,97	87,46	87,25	91,57	133,22	73%	27%
Kazıklı Radyejeneral Temel (M=10kN/g)		108,95	108,30	109,15	110,72	152,33	74%	26%
<i>Maksimum</i>	589,46	117,73	116,34	119,47	118,90	117,02	80%	20%
<i>Minimum</i>		104,11	103,60	102,99	106,70	172,06	71%	29%
Kazıklı Radyejeneral Temel (M=100kN/g)		241,22	242,76	241,26	239,66	524,56	65%	35%
<i>Maksimum</i>	1.489,46	250,02	250,82	251,72	248,07	488,84	67%	33%
<i>Minimum</i>		235,95	237,46	234,43	234,83	546,79	63%	37%
Kazıklı Temel (M=0)		119,23	121,49	121,50	119,23	8,02	98%	2%
<i>Maksimum</i>	489,46	119,72	121,90	121,94	119,69	6,21	99%	1%
<i>Minimum</i>		118,82	121,00	121,03	118,78	9,84	98%	2%
Kazıklı Temel (M=10kN/g)		143,70	146,05	146,06	143,70	9,95	98%	2%
<i>Maksimum</i>	589,46	143,30	146,45	146,54	144,23	8,94	98%	2%
<i>Minimum</i>		143,30	145,57	145,53	143,26	11,80	98%	2%

KAYNAKLAR

- Anagnostopoulos, C. and Georgiadis, M.** (1998). A Simple Analysis of Piles in Raft Foundations. *Geotechnical Engineering, Vol. 29 (1)*, 71-83.
- Beatty, C.I.** (1970). Lateral test on pile groups. *Foundation Facts. 6(1)*, 18-21.
- Bhushan, K., Haley, S. C. and Fong, P. T.** (1979). Lateral Load Tests on Drilled Piers in Stiff Clays. *J. Geotech. Eng. Div. ASCE, Vol. 105, No. GT 8*, 969-985.
- Brinch Hansen, J.** (1961). The Ultimate Resistance of Rigid Piles Against Transversal Forces. *Danish Geotechnical Institute (Geoteknisk Institut) Bull. No. 12*, 5-9.
- Broms, B.** (1964). The Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soils. *J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 90, No. SM2*, 27-63.
- Broms, B.** (1964). The Lateral Resistance of Piles in Cohesionless Soils. *J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 90, No. SM3*, 123-156.
- Brown, P.T. and Wiesner, T.J.** (1975). The Behaviour of Uniformly Loaded Piled Strip Footings. *Soils and Foundations*, 15(4), 13-21.
- Burland, J.B.** (1995). Piles as Settlement Reducers. Keynote Address, *18th Italian Congress on Soil Mechanics*, Pavia, Italy.
- Burland, J.B., Broms, B.B. and de Mello, V.F.B.** (1977). Behaviour of Foundations and Structures. *Proc. 9 ICSMFE, Tokyo, 2*, 495-546.
- Butterfield, R. and Banerjee, P.K.** (1971). The Elastic Analysis of Compressible Piles and Pile Groups. *Geotechnique, 21(1)*: 43-60.
- Clancy, P. and Randolph, M.F.** (1993). Analysis and Design of Piled raft Foundations. *Int. J. NAM Geomechs.*
- Chellis, R. D.** (1961). *Pile Foundations*. McGraw Hill Book Co.: NY.
- Chen, W.C.** (2006). *Prediction of Ultimate Load Bearing Capacity of Driven Piles.* (Yüksek lisans tezi). Universiti Teknologi, Malaysia.
- Cox, W. R., Reese, L. C. and Grubbs, B. R.** (1971). Field Testing of Laterally Loaded Piles in Sand. *Offshore Technology Conference, Houston, TX*, 459-472.
- Chow, H.S.W.** (2007). *Analysis of Piled – Raft Foundation with Piles of Different Lengths and Diameters.* (Doktora tezi). University of Sydney, Australia.
- Coduto, D.P.** (2001). *Foundation Design: Principles and Practices, Second Edition*, Prentice Hall, Upper Saddle River NJ.
- Davis, E.H. and Poulos, H.G.** (1972). The Analysis of Piled Raft Systems. *Aust. Geomechs. J., G2*, 21-27.

- Davisson, M. T.**, (1970). Lateral Load Capacity of Piles. *Highway Research Record*. Washington, DC, 104-112.
- Davisson, M. T. and Prakash, S.** (1963) A Review of Soil Pile Behavior. *Highway Research Record*, No. 39, 25-48.
- Decourt, L.** (1995). Predictions of Load-Settlement Relationships for Foundations on the Basis of SPT-T. *Ciclo de Conf. Int. "Leonardo Zeevaert"*, UNAM, Mexico, 85-104.
- Desai, C.S.** (1974). Numerical Design Analysis for Piles in Sands. *J. Geot. Eng. Div., ASCE, 100(GT6)*: 613-635.
- El-Mossallamy and Franke** (1997). *Piled Rafts-Numerical Modelling to Simulate the Behaviour of Piled Raft Foundations*. Darmstadt, Germany.
- Engin, H.K., Septanika, E.G., ve Brinkgreve R.B.J.** (2007). Improved embedded beam elements for the modelling of piles. *Proceedings of the 10th International Symposium on Numerical Models in Geomechanics – NUMOG X, Taylor&Francis*, 475 - 480.
- Engin, H.K., Septanika, E.G., ve Brinkgreve R.B.J.** 2008. Estimation of Pile Group Behavior using Embedded Piles, In Singh (ed), *International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics; 12th International IACMAG Conference, Goa, India*, 3231-3238.
- Fleming, K., Weltman, A., Randolph, M.F., and Elson, K.** (2009) *Piling Engineering, (3rd Ed.)*, Oxford, Taylor&Francis.
- Franke, E.** (1991). *Measurements Beneath Piled Rafts*. Keynote Lecture, ENPC Conf., Paris, 1-28.
- Franke, E., Lutz, B. and El-Mossallamy, Y.** (1994). Measurements and Numerical Modelling of High-Rise Building Foundations on Frankfurt Clay. *Geot. Spec. Pub. 40, ASCE, 2*: 1325-1336.
- Fraser, R.A. and Wardle, L.J.** (1976). Numerical Analysis of Rectangular Rafts on Layered Foundations. *Geotechnique, Vol.26, No.4*, 613.
- Hain, S.J. and Lee, I.K.** (1978). The Analysis of Flexible Raft-Pile Systems. *Geotechnique, 28 (1)*: 65-83.
- Hansbo, S.** (1993). Interaction Problems Related to the Installation of Pile Groups. *Sem. on Deep Founds. on Bored and Auger Piles, BAP2, Ghent*, 59-66.
- Hewitt, P. and Gue, S.S.** (1994). Piled Raft Foundation in a Weathered Sedimentary Formation, Kuala Lumpur, Malaysia. *Proc. Geotropika '94, Malacca, Malaysia*, 1-11.
- Hongladaromp, T., Chen, N.J. and Lee, S.L.** (1973). Load Distributions in Rectangular Footings on Piles. *Geotech. Eng., 4(2)*, 77-90.
- Hooper, J.A.** (1973). Observations on the Behaviour of a Piled-Raft Foundation on London Clay. *Proc. Inst. Civ. Engrs.*, 55(2): 855-877.
- Hooper, J.A.** (1974). Review of Behaviour of Piled Raft Foundations. *Rep. No. 83*, CIRIA, London.

- Horikoshi, K. and Randolph, M.F.** (1998). A Contribution to the Optimum Design of Piled Rafts. *Geotechnique*, Vol. 48, No.2. 301-317.
- Horikoshi, K., Matsumoto, T., Hashizume, Y., ve Watanabe, T.** (2003b). Performance of piled raft foundations subjected to dynamic loading, *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics*, Vol. 3, No:2. 51-62.
- Horikoshi, K., Matsumoto, T., Hashizume, Y., Watanabe, T., ve Fukuyama, H.**, (2003a). Performance of piled raft foundations subjected to static horizontal loads. *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics*, Vol. 3, No:2. 37-50.
- Jaeger, L. G. and Bakht, B.** (1983). Number of Tests Versus Design Pile Capacity. *J. Geotech. Eng. Div. ASCE*, Vol. 109, No. 6. 821-831.
- Katzenbach, R.** (2010) Kişisel görüşme. 1 Mart, Darmstadt, Almanya.
- Katzenbach, R., Arslan, U., Moormann, C. and Reul, O.** (1998). Piled Raft Foundation – Interaction Between Piles and Raft. *Darmstadt Geotechnics, Darmstadt Univ. of Technology*, No. 4. 279-296.
- Katzenbach, R.**, (2006). Soil Interaction by High Rise Buildings. *Vol. I, Proceedings of Indian Geotechnical Conference, 2006*, IIT Madras, Chennai.
- Katzenbach, R. and J. Turek.** (2004). New exhibition hall 3 in Frankfurt-case history of a combined pile raft foundation subjected to horizontal load. *Proceedings of the 5th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, New York, Paper No. 1.33*.
- Katzenbach, R., Arslan, U., ve Moormann, C.** (2000). Piled raft foundation projects in Germany, in *Design Applications of Raft Foundations*. Ed. Hemsley, J.A., Thomas Telford Publications, London. 323-393.
- Katzenbach, R., Bachmann, G., ve Ramm, H.** (2005a). Vom Einzelpfahl über die Pfahlgruppe zur Kombinierten Pfahl-Plattengründung, *Festschrift zur 60. Geburtstag von Herrn Prof. H.G. Kempfert*, Kassel.
- Katzenbach, R., Hoffmann, H., Moormann, C., ve Vogler, M.** (2001a). Neue geotechnische Konzepte für den technisch und wirtschaftlich optimierten Hochhausbau. *Bauingenieur, Band 76*. 314-325.
- Katzenbach, R., Kinzel, J., El-Mossallamy, Y., und von der Hude, N.** (2001b). Besondere Aspekte bei der Gründung des Hochhauses Galileo in Frankfurt am Main, Vorträge zum 8. Darmstadter Geotechnik-Kolloquium, Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt, Heft 55.
- Katzenbach, R., Schmitt, A., Turek, J.** (2005b). Assessing Settlement of High-Rise Structures by 3D Simulations. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol: 20 Issue 3. 221-229.
- Katzenbach, R., Arslan, U., Moormann, C., König, G., Soukhov, D. and Ahner C.** (2000). Richtlinie für den Entwurf, die Bemessung und den Bau von kombinierten Pfahl-Platten-Gründungen (KPP).

- Katzenbach, R., and Moormann, C.** (2001). Recommendations for the design and construction of piled rafts. *15th ICSMFE, Istanbul, Turkey, 27-31 August*. 927-930.
- Katzenbach, R., and Romberg, W.** (1987). Foundation Of High Valley Bridges In Triassic Sediments. *International Society for Rock Mechanics 6th ISRM Congress*, Montreal, Canada.
- Kim, J.B., Brungraber, R.J.** (1976). Full-scale lateral load tests of pile groups. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 102, No. GT1*. 87-105
- Kim, J. B., Singh, L. P. and Brungraber, R.J.** (1979). Pile Cap Soil Interaction From Full-Scale Lateral Load Tests. *J. Geotech. Eng. Div. ASCE, Vol. 105, No. GT 5*. 643-653.
- Konder, R. L.** (1963). Hyperbolic Stress-Strain Response: Cohesive Soils. *Journal of Soil Mechanics and Foundations, ASCE, Vol. 89, No. SMI*. 115-143.
- Kuwabara, F.** (1989). An Elastic Analysis for Piled Raft Foundations in a Homogeneous Soil. *Soils and Foundations, 28(1)*. 82-92.
- Lee, I.K.** (1993). Analysis and Performance of Raft and Raft-Pile Systems. Keynote Lect., *3rd Int. Conf. Case Hist. in Geot. Eng., St. Louis* (also Res. Rep. R133, ADFA, Univ. NSW, Australia).
- Matlock, H.** (1970). Correlation for Design of Laterally Loaded Piles in Soft Clay. *Proceeding Offshore Technology Conference*, Houston, TX, Paper OTC 1204.
- Matlock, H. and Reese L.C.** (1961). Foundation Analysis of Offshore Pile Supported Structures. *Proceedings Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, Vol. 2*, 91-97.
- Matlock, H. and Reese L.C.** (1962). Generalized Solutions for Laterally Loaded Piles. *Transactions of the American Society of Civil Engineers, Vol. 127, part 1*. 1220-1247.
- Matsumoto, T., Fukumura, K., Horikoshi, K., ve Oki, A.** (2004b). Shaking Table Tests on Model Piled Rafts in Sand Considering Influence of Superstructures *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics, Vol. 4, No:3*. 21-38.
- Matsumoto, T., Fukumura, K., Pastsakorn, K., Horikoshi, K., ve Oki, A.** (2004a). Experimental and Analytical Study on Behaviour of Model Piled Rafts in Sand Subjected to Horizontal and Moment Loading. *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics, Vol. 4, No:3*. 1-19.
- Mayne, P.W. and Poulos, H.G.** (1999). Approximate Displacement Influence Factors for Elastic Shallow Foundations. *Jnl. Geot. & Geoenv. Eng., ASCE, Vol.125, No. 6*. 453-460.
- Meyerhof, G. G.** (1976). Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations. *J. Geotech. Eng. Div. ASCE, Vol. 102, No. GT 3*. 197-228.

- Meymand, P.J.** (1998). Shaking table scale model tests of nonlinear soil-pile-superstructure interaction in soft clay. *Dissertation, University of California, Berkeley.*
- Mokwa, R.L., Duncan, J.M.** (2001a). Experimental evaluation of lateral-load resistance of pile caps. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 127, No. 2.* 185-192.
- Mokwa, R.L., Duncan, J.M.** (2001b). Laterally loaded pile group effects and p-y multipliers. *Foundations and Ground Improvement, ASCE, Geotechnical Special Publication 113,* 728-742.
- O'Neill, M.W., Caputo, V., De Cock, F., Hartikainen, J. and Mets, M.** (2001). Case Histories of Pile-Supported Rafts. *Rep. for ISSMFE Tech. Comm. TC18,* Univ. of Houston, Texas.
- Oteo, C. S.** (1972). Displacements of a Vertical Pile Group Subjected to Lateral Loads. *Proceedings Fifth European Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Madrid, Vol. 1.* 397-405.
- Plaxis 3D Foundation** (Version 1.6) [Bilgisayar yazılımı]. Brinkgreve, R.B.J., Broere, W.
- Poulos, H.G.** (1989). Pile Behaviour – Theory and Application. *Geotechnique, Vol. 39 (3).* 365-415.
- Poulos, H.G.** (1990). DEFPIG Users Manual. *Centre for Geot. Res., Univ. of Sydney, Australia.*
- Poulos, H.G.** (1991). Analysis of Piled Strip Foundations. *Comp. Methods & Advances in Geomechs., ed. Beer et al, Balkema, Rotterdam, 1.* 183-191.
- Poulos, H.G.** (1994). An Approximate Numerical Analysis of Pile-Raft Interaction. *Int. J. NAM Geomechs., 18.* 73-92.
- Poulos, H.G.** (2000). Pile-Raft Interaction – Alternative Methods of Analysis. *Developments in Theor. Geomechanics, Ed. D.W. Smith, & J.P. Carter, Balkema, Rotterdam.* 445-468.
- Poulos, H.G.** (2001). Piled Raft Foundations – Design and Applications. *Geotechnique, Vol. 50, (2).* 95-113.
- Poulos, H.G. and Davis, E.H.** (1980). *Pile Foundation Analysis and Design.* Wiley, New York.
- Poulos, H.G. Small, J.C., Ta, L.D., Sinha, J. and Chen, L.** (1997). Comparison of Some Methods for Analysis of Piled Rafts. *Proc. 14 ICSMFE, Hamburg, 2.* 1119-1124.
- Poulos, H. G.** (2006). Pile Group Settlement Estimation – Research to Practice, Foundation Analysis and Design: Innovative Methods, *ASCE American Society of Civil Engineering.* 1-22.
- Poulos, H.G. Carter, J.P and Small, J.C.** (2001). Foundations and Retaining Structures – Research and Practice. *State of the Art Lecture, 14 Int. Cong. Soil Mechs. Geot. Eng. Istanbul.*

- Poulos, H. G.** (1971). Behavior of Laterally Loaded Piles: I-Single Piles. *J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 97, No. SM5*, 711-731.
- Poulos, H. G.,** (1971). Behavior of Laterally Loaded Piles: II-Pile Groups. *J. Soil Mech. Found. Div., ASCE, Vol. 97, No. SM5*. 733-751.
- Poulos, H. G.** (1974). Analysis of Pile Groups Subjected to Vertical and Horizontal Loads. *Aust. Geomechanics J., Vol., G4, No. 1*. 26-32.
- Poulos, H. G. and Davis, E. H.** (1980). *Pile Foundation Analysis and Design*. Wiley, NY.
- Prakash S.** (1962). *Behavior of Pile Groups Subjected to Lateral Loads*. (Doktora tezi). University of Illinois, Urbana.
- Prakash, S. and Saran, D.** (1967). Behavior of Laterally Loaded Piles in Cohesive Soils. *Proceedings 3rd Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Eng., Haifa (Israel)*. 235-238.
- Prakash, S. and Sharma, H. D.** (1990). *Pile Foundations In Engineering Practice*. John Wiley & Sons, Inc., NY.
- Prakoso, W.A. and Kulhawy, F.H.** (2000). Contribution to Piled Raft Foundation Design. *Jnl. Geot. and Geoenv. Eng., ASCE, 127(1)*. 17-24.
- Price, G. and Wardle, I.F.** (1986). Queen Elizabeth II Conference Centre: Monitoring of Load Sharing Between Piles and Raft. *Proc. Inst. Civ. Engrs., 80(1)*. 1505-1518.
- Randolph, M.F.** (1983). Design of Piled Foundations. Cambridge Univ. Eng. Dept., *Res. Rep. Soils TR143*.
- Randolph, M.F.** (1994). Design Methods for Pile Groups and Piled Rafts. S.O.A. *Report, 13 ICSMFE, New Delhi, 5*. 61-82.
- Randolph, M.F.,** 2004: Design Methods for Pile Groups and Piled Rafts. State Of The Art Report, *13 International Conference of Soil Mechanics and Foundation Engineering, New Delhi, No:5*. 61-82.
- Randolph, M.F. and Wroth, C.P.** (1978). Analysis of Deformation of Vertically Loaded Piles. *Jnl. Geot. Eng. Divn., ASCE, 104(GT12)*. 1465-1488.
- Reese, L. C.** (1977). Laterally Loaded Piles: Program Documentation. *J. Geotech. Eng. Div., ASCE, Vol. 103, No. GT 4*. 287-305.
- Reese, L. C., Cox, W. R. and Koop, F. D.** (1974). Analysis of Laterally Loaded Piles in Sand. *Proceedings Offshore Technology Conference, Houston, TX, Paper No. OTC 2080*. 473-483.
- Reese, L. C., Matlock, H.** (1956). Non-dimensional Solutions for Laterally Loaded Piles with Soil Modulus Assumed Proportional to Depth. *Proceedings 8th Texas Conference on Soil Mech. and Foundation Eng., Austin, TX*. 1-41.
- Reese, L. C., O'Neill, M. W., and Smith. E.** (1970). Generalized Analysis of Pile Foundations. *Proceedings J. Soil Mech. Found. Div., Vol. 96, No. SMM1*. 235-250.
- Reese, L. C. and Welch, R. C.** (1975). Lateral Loading of Deep Foundations in Stiff Clay. *J. Geotech. Eng. Div., ASCE, Vol. 101, No. GT7*. 633-649.

- Reul, O., Randolph, M. F.** (2004). Design Strategies for Piled Rafts Subjected to Nonuniform Vertical Loading. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 130, No. 1. 1–13.
- Reul, O., Randolph, M.F.** (2003). Piled Rafts in Overconsolidated Clay: Comparison of In-Situ Measurements and Numeric Analyses. *Geotechnique*, Vol.53, No.3. 301-315.
- Rollins, K.M., Sparks, A.** (2002). Lateral resistance of full-scale pile cap with gravel backfill. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, Vol. 128, No. 9. 711-723.
- Ruesta, P. F. & Townsend, F. C.** (1997). Evaluation of laterally loaded pile group at Roosevelt Bridge. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE* 123(12). 1153-1161.
- Russo, G.** (1998). Numerical Analysis of Piled Rafts. *Int. Jnl. Anal. & Num. Methods in Geomechs.*, 22(6). 477-493.
- Russo, G. and Viggiani, C.** (1998). Factors Controlling Soil-Structure Interaction for Piled Rafts. *Darmstadt Geotechnics, Darmstadt Univ. of Technology*, No. 4. 297-322.
- Sales, M.M., Poulos, H.G. and Small, J.C.** (2000). A New Approach for Analysis of Fully Mobilized Piles in Piled Rafts.
- Selvadurai, A.P.S.** (1979). Elastic Analysis of Soil-Foundation Interaction. Devel. *In Geot. Eng.*, Vol. 17, Elsevier, Amsterdam.
- Schmitt, A., Turek, J., Katzenbach, R.** (2002). Application of geotechnical measurements for foundations of high-rise structures. *Proceedings 2nd World Engineering Congress, Kuching, Vol. Geotechnical Engineering & Transportation*. 40-46.
- Sinha, J.** (1997). *Piled Raft Foundations Subjected to Swelling and Shrinking Soils*. (Doktora Tezi). Univ. of Sydney, Australia.
- Small, J. C. & Booker, J. R.** (1986). Finite layer analysis of layered elastic materials using a flexibility approach. *Part 2-circular and rectangular loadings. International Journal for Numerical Methods in Engineering* 23. 959-978.
- Small, J.C. and Zhang, H.H.** (2000). Piled Raft Foundations Subjected to General Loadings. Developments in Theor. *Geomechanics*, Ed. D.W. Smith, & J.P. Carter, Balkema, Rotterdam. 431-444.
- Sommer, H., Wittmann, P. and Ripper, P.** (1985). Piled Raft Foundation of a Tall Building in Frankfurt Clay. *Proc. 11 ICSMFE, San Francisco*, 4. 2253-2257.
- Sommer, H.** (1991). Entwicklung der Hochhausgründungen in Frankfurt/Main. *Festkolloquium anlässlich des 20-jährigen Bestehens des Grundbauinstitutes Prof. Dr.-Ing. H. Sommer und Partner GmbH*. 47-62.
- Ta, L.D. and Small, J.C.** (1996). Analysis of Piled Raft Systems in Layered Soils. *Int. J. NAM Geomechs.*, 2. 57-72.

- Ta, L. D. & Small, J. C.** (1997). An Approximation for Analysis of Raft and Piled Raft Foundations. *Computers and Geotechnics*, 20(2). 105-123.
- Teng, W. C.,** (1962). *Foundation Design*. Prentice-Hall, NY.
- Thaher, M.** (1991). Tragverhalten von Pfahl-Platten-Gründungen im bindigen Baugrund, Berechnungsmodelle und Zentrifugen-Modellversuche. *Ruhr-Universität Bochum Schriftenreihe des Instituts für Grundbau, Wasserwesen und Verkehrswesen*, Serie Grundbau, Heft 15.
- TNO Diana BV Analysis and Design** (Versin 9.4.4) [Computer software]. Delft, Netherland.
- Turek, J.** (2006). Beitrag zur Klärung des Trag- und Verformungsverhaltens horizontal belasteter Kombiniertes Pfahl-Plattengründungen. *Institut für Geotechnik, Technische Universität Darmstadt*, März 2006.
- Van Impe, W.F. and Clerq, L.** (1995). A Piled Raft Interaction Model. *Geotechnica*, No.73. 1-23.
- Van Impe, W.F. and Lungu, I.** (1996). *Technical Report on Settlement Prediction Methods for Piled Raft Foundations*. Ghent Univ., Belgium.
- Vesic, A. S.** (1969). Experiments with instrumented pile groups in sand. *Performance of Deep Foundations, American Society for Testing and Materials, ASTM STP 444*. 177-222.
- Viggiani, C.** (1998). Pile Groups and Piled Rafts Behaviour. *Deep Founds. on Bored and Auger Piles, BAP III, van Impe and Haegman (eds), Balkema, Rotterdam*. 77-90.
- Viggiani, C.** (2001). Analysis and Design of Piled Foundations. *1st Arrigo Croce Lecture, Rivista Italiana de Geot., 1/2001*. 47-75.
- Wang, A.** (1995). PhD thesis, Univ. of Manchester, U.K.
- Whitaker, T.** (1961). Some experiments on model piled foundations in clay. *Proceedings Symposium Pile Foundations, 6th Congress International Association of Bridge and Structural Engineering, Stockholm*. 124-139.
- Yalçın, A.,** (2010). *Kazıklı Radyejeneral Temellerin Düşey ve Yatay Yükler Altında Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldırım, S.,** (2002). *Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı*. Birsen Yayın Evi., İstanbul.
- Zeevaert, L.** (1957). Compensated Friction-pile Foundation to Reduce the Settlement of Buildings on Highly Compressible Volcanic Clay of Mexico City. *Proc. 4 ICSMFE, London, V.2*.
- Zhang, H. H. & Small, J. C.** (2000). Analysis of capped pile groups subjected to horizontal and vertical loads. *Computers and Geotechnics*, 26(1). 1-21.
- Zhang, L.,** (2009). Nonlinear analysis of laterally loaded rigid piles in cohesionless soil. *Computers and Geotechnics, Vol. 36, Issue 5*. 718-724.

- Zhang, H. H. & Small, J. C.** (1999). Analysis of axially and laterally loaded pile groups embedded in layered soils. *Proceedings of the 8th Australia – New Zealand Conference on Geomechanics, 15-17 February, Hobart, Tasmania, Edited by N. Vitharana and R. Coleman, 1.* 475-483.
- Zhuang, G.M., Lee, I.K. and Zhao, X.H.** (1991). Interactive Analysis of Behaviour of Raft-Pile Foundations. *Proc. Geo-Coast '91, Yokohama, 2.* 759-765.
- Zilch, K., Diederichs, C.J., Katzenbach, R.** (2001). *Handbuch für Bauingenieure.* Springer, Germany.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Hüsnü UYSAL

Doğum Yeri ve Tarihi: İzmit / Kocaeli – 23.12.1979

Adres: Dilek Sabancı Cad. No: 19 Tasarım Kent Sitesi A Blok
Kat:6 Daire:16 Ataşehir / İstanbul

E-Posta: drhusnuuysal@gmail.com

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği
Bölümü / 1998-2002

Yüksek Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği
Bölümü / 2002-2004

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

19.04.2006 – Devam Yapı Merkezi İnş. ve San. A.Ş.
İstanbul Tramvay Projesi / Zeytinburnu - Bağcılar
Arası (Ofis Müh.)
Şehir İçi Raylı Sistemler Direktörlüğü (Proje Kontrol
Müh.)
Proje Geliştirme ve Teklif Bölümü (Teklif Müh.)
Proje Geliştirme ve Teklif Bölümü (Uz. Teklif Müh.)
Proje Geliştirme ve Teklif Bölümü (Bölüm Şefi)

Yayın ve Patent Listesi:

- Uysal H., Yıldırım S.,2002: Denize Çakılan Büyük Çaplı Çelik Boru Kazıklarda Arazi Deneyleri ve Değerlendirilmesi. *Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi*, Ekim 21-22, 2002 Eskişehir, Türkiye
- Taylan Z. N., Uysal H., Lav M. A., Erken A., 2007: Sıvılaşma ve Taşıma Gücü Kaybı Sonucu Oluşan Oturmaları Kapsayan Vaka Analizi. *6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, Ekim 16-20, 2007 İstanbul, Türkiye

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- Uysal H., İncecik M., 2012: Kazıklı radyejeneral temellerin yanal yük altında davranışının belirlenmesi. *İTÜ Dergisi/d Mühendislik*, İstanbul, Türkiye