T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAZIKLI KIYI YAPILARININ DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI VE ŞEKİL DEĞİŞTİRMEYE GÖRE TASARIMI

ZİYA KADIOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2015

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KAZIKLI KIYI YAPILARININ DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞI VE ŞEKİL DEĞİŞTİRMEYE GÖRE TASARIMI

ZİYA KADIOĞLU
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. BİLGE SİYAHİ

GEBZE
2015

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

DEFORMATION BASED DESIGN AND NONLINEAR BEHAVIOR OF PILE SUPPORTED WHARF STRUCTURES

ZİYA KADIOĞLU

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF EARTHQUAKE AND STRUCTURE ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. BİLGE SİYAHİ

GEBZE

2015

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ	**YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU**

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 27/10/2014 tarih ve 2014/60 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 24/11/2014 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ziya KADIOĞLU'nun tez çalışması Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

Prof.Dr. Bilge SİYAHİ
(TEZ DANIŞMANI) :

Prof.Dr. Bülent AKBAŞ :

Öğr.Gör.Dr. Murat Ergenekon SELÇUK :

ONAY

- GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ...../..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Uluslararası ticaretin önemli bir ayağı olan limanlar ulaşım ağında önemli bir yer tutar. Bu liman yapılarının işlevlerindeki herhangi bir kesinti büyük kayıplara yol açabilir. Çoğu limanlar orta-yüksek deprem tehlikesine sahip bölgelerde yer almaktadır. Kıyı yapılarında dolgulardaki sıvılaşma ve yanal yayılmaya bağlı geçmiş 1995 Kobe ve 2010 Haiti depremlerinde, yapısal ve yapısal olmayan önemli hasarlar gözlenmiştir. Özellikle sismik bölgelerde kıyı ve liman yapılarında depreme dayanıklı tasarım ve uygulamanın önemi büyüktür.

Bu çalışmada, İzmit körfezinde yer alan bir kazıklı rıhtım yapısı seçilmiştir. Ele alınan yapının önce yapısal modeli oluşturulmuş, bu model ile lineer olmayan itme analizi gerçekleştirilmiştir. Hipotetik olarak mevcut eğik çelik kazıkların eğim açıları değiştirilmiş ve bu değişikliklerin modelin genel davranışına olan etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kazık Temeller, Eğik Çelik Kazıklar, Kazık Temellerin Deprem Davranışları, Doğrusal Olmayan Modellemeler.

SUMMARY

Serving as critical gateways for international trade seaports are essential elements in transportation networks. Any disruption in the activities of port structure may lead significant losses. Many of ports are located in seismic zones subjected to moderate to high seismic hazards. Critical damages have been experienced during past earthquakes such as 1995 Kobe Earthquake and 2010 Haiti Earthquake in which liquefaction and lateral spreading of embankments imposed severe damage to both structural and non-structural components of port structures. Hence it is important that port and wharf structures should adequately be designed and built in seismic zones.

In this study, pile supported wharf structure located at İzmit Bay is selected to be modeled. Nonlinear static (push-over) analysis for the seismic performance evaluation has been carried out on structure model. As hypothetically, four different incline angles 0, 15, 30, 45, respectively of steel piles are used inside the model. The effects of angle changes and inferences on the seismic response of model are investigated.

Keywords: Pile Foundations, Inclined Steel Piles, Seismic Response of Pile Foundations, Nonlinear Simulation.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim ve tez çalımsam sırasında bilgi ve deneyimlerini her zaman bana cömertçe sunan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Bilgi SİYAHİ ve Prof. Dr. Bülent AKBAŞ'a

Modelleme uygulamasında bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Arş.Gör. Bora AKŞAR ve Arş. Gör. Önder UMUT'a

Yüksek Lisans tez çalışmamın her aşamasında, ilgi ve desteklerini esirgemeyen, manevi desteklerle bana güç kaynağı olan ve çalışmalarımda bana sabırla katlanan esim Seray ve kızım Betül Seda KADIOĞLU'na en derin sevgi ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLOLAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAZIK TEMELLER	4
2.1. Kazıklı Temel Tasarımına Etki Eden Faktörler	5
2.2. Kazık Temel Çeşitleri	6
2.2.1. Yükleri Taşıma ve Zemine İletme Şekillerine Göre	6
2.2.2. İmal Edildikleri Malzemelere Göre	8
2.3. Çelik Çakma Kazıklar	12
2.3.1. Hazır Çelik Çakma Kazıkların Avantaj ve Dezavantajları	14
2.4. Eğik Çelik Kazıklar	14
2.5. Kazıkların Taşıma Gücü Hesabı	15
3. KAZIK TEMELLERİN DEPREM DAVRANIŞLARI	19
3.1. Göçme Mekanizmaları	19
3.1.1. Genel Kayma Göçmesi	19
3.1.2. Bölgesel Kayma Göçmesi	20
3.1.3. Zımbalama Kayma Göçmesi	21
3.1.4. Taşıma Gücü Kavramı	22
3.2. Kazık–Zemin Etkileşimi	24
3.2.1. Kazık–Zemin-Yapı Etkileşim Modellemesi	27
3.2.2. Kazık–Zemin-Yapı Etkileşimlerinin İrdelenmesi - Yükleme Durumları	29
3.3. Performansa Dayalı Tasarım	31
3.3.1. Liman Yapıları	31

3.3.2. Performans Düzeyleri 32
3.3.3. Deprem Düzeyleri 33
3.3.4. Öngörülen Performans Hedefleri 34
3.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi 34
4. VAKA ANALİZİ 36
4.1. İzmit Körfezi'nin Genel Özellikleri Ve Deniz Yapıları 36
4.1.1. 1999 Gölcük Depremi Ve Körfezde Hasar Gören Deniz Yapıları 37
4.1.2. Körfez Bölgesindeki Deniz Yapılarında Yapı Hasar Dağılımı 42
4.1.3. Körfez Bölgesinin Geoteknik Kriterleri ile Zemin Durumu 43
4.1.4. 1999 Gölcük Depreminde Deniz Yapılarında Tespit Edilen Durumlar 44
4.2. Eğik Kazıklı Kıyı Yapılarının Deprem Performansının İncelenmesi 45
4.2.1. Modellemelerin İncelenmesi 45
4.2.2. Deprem Performansının Değerlendirilmesi 47
4.2.3. Basitleştirilmiş “t-z”, “Q-z”, “p-y” Eğrileri 50
4.2.4. Performans Analizleri 52
5. SONUÇLAR ve YORUMLAR 65

KAYNAKLAR 67
ÖZGEÇMİŞ 69

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		**Açıklamalar**
°	:	Derece
cm	:	Santimetre
F	:	Kuvvet
Hz	:	Hertz
km	:	Kilometre
kN	:	Kilonewton
kPa	:	Kilopaskal
m	:	Metre
MPa	:	Megapaskal
Pa	:	Paskal
BÜ	:	Boğaziçi Üniversitesi
GYTE	:	Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü
MÖ	:	Milattan Önce
MS	:	Milattan Sonra
SPT	:	Standart Penetrasyon Testi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
2.1:	Kazıklı temellerin kullanım yerleri.	4
2.2:	Sürtünme ve uç kazık tipleri.	7
2.3:	Vibrex kazık imalat aşamaları.	10
2.4:	Fore kazık yapım aşamaları.	11
2.5:	Kazık taşıma gücü bileşenleri.	15
2.6:	Düşey yükler altında kazıkta yük aktarılışı.	16
2.7:	Göçme anında zemindeki kırılma yüzeyleri	17
3.1:	Zeminde gözlenen göçme yüzeyi ve yük-oturma eğrisi.	20
3.2:	Bölgesel kayma göçmesi.	21
3.3:	Zımbalama kayma göçmesi.	22
3.4:	Göçme anında zemindeki kırılma yüzeyleri.	23
3.5:	Rijit temel tabanındaki oturma ve basınç dağılımı.	24
4.1:	İzmit körfezi fay haritası.	36
4.2:	İzmit körfezinin haritası.	37
4.3:	Marmara bölgesi jeoloji haritası.	40
4.4:	0° Eğik kazıklı doğrusal olmayan yapı modeli.	45
4.5:	15° Eğik kazıklı doğrusal olmayan yapı modeli.	46
4.6:	30° Eğik kazıklı doğrusal olmayan yapı modeli.	46
4.7:	45° Eğik kazıklı doğrusal olmayan yapı modeli.	47
4.8:	Betonarme kesitler için akma yüzeyleri ve plastik moment-plastik moment ilişkisi	49
4.9:	Basitleştirilmiş t-z eğrisi.	50
4.10:	Basitleştirilmiş Q-z eğrisi.	51
4.11:	Basitleştirilmiş p-y eğrisi.	52
4.12:	0° için modal kapasite-davranış spektrumu eğrileri.	53
4.13	15° için modal kapasite-davranış spektrumu eğrileri.	54

4.14: 30° için modal kapasite-davranış spektrumu eğrileri. 54
4.15: 45° için modal kapasite-davranış spektrumu eğrileri. 55
4.16: 0° için kazık eksenleri boyunca eksenel kuvvetler. 55
4.17: 15° için kazık eksenleri boyunca eksenel kuvvetler. 56
4.18: 30° için kazık eksenleri boyunca eksenel kuvvetler. 56
4.19: 45° için kazık eksenleri boyunca eksenel kuvvetler. 57
4.20: 0° için plastik mafsal dağılımı ve yatay yer değiştirmeler. 57
4.21: 15° için plastik mafsal dağılımı ve yatay yer değiştirmeler. 58
4.22: 30° için yatay yer değiştirmeler. 58
4.23: 45° için yatay yer değiştirmeler. 59
4.24: 0° için kazık boyunca eğilme momentleri. 59
4.25: 15° için kazık boyunca eğilme momentleri. 60
4.26: 30° için kazık boyunca eğilme momentleri. 60
4.27: 45° için kazık boyunca eğilme momentleri. 61
4.28: Modellerin yer değiştirme istemlerinin karşılaştırılması. 61
4.29: Modellerde oluşan maksimum eksenel kuvvetlerin karşılaştırılması. 62
4.30: Modellerin plastik mafsal sayılarının karşılaştırılması. 63
4.31: Modellerde oluşan maksimum eğilme momentlerin karşılaştırılması 63

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa
3.1:	Kıyı ve liman yapılarında çeşitli deprem düzeylerinde hedeflenen performans düzeyleri.	34
4.1:	17/08/1999 Depremine ait bazı özellikler.	38
4.2:	Kocaeli depremi sonrası yapı hasar dağılımları.	41
4.3:	Kazık çeperi boyunca oluşan “t-z” ilişki tablosu.	50
4.4:	Kazık ucunda oluşan “Q-z” ilişki tablosu.	51
4.5:	Yatay doğrultuda oluşan “p-y” ilişki tablosu.	52

1. GİRİŞ

Yapıları desteklemek için taşıyıcı kazıkların çakılması inşaat mühendisliğinin ilk sanat ve bilim örneğidir. İsviçre'nin neolitik insanının günümüzden 12.000 yıl önce sığ göl tabanlarında ahşap kazık çakarak üzerlerine barınak inşa ettikleri belirlenmiştir [Sowers, 1979]. Britanya'da Romalılar tarafından inşa edilen nehir kıyısı yerleşimlerinde ve köprülerde sayısız ahşap kazık kullanımı örneği bulunmaktadır. Çin'de, Han Dynasty'deki köprü inşaatçıları ahşap kazık kullanmışlardır (M.Ö. 200-M.S. 200). İsviçre'nin neolitik insanının günümüzden 12000 yıl önce sığ göl tabanlarında ahşap kazık çakarak üzerlerine barınak inşaa ettikleri belirlenmiştir.

Yapı yükleri; taşıma gücünün yetersizliği yanında çoğu kez oturma şartlarının sağlanamamasından dolayı, derin temel sistemi kullanılarak zemine aktarılmaktadır. Böylece yüzeydeki zayıf tabakalar geçilerek, derindeki taşıyıcı tabakalara ulaşılmakta ve bu anlamda kullanılan yapı elemanları, kazık olarak nitelendirilmektedir. Temel sistemi de adını kullanılan yapı elemanından almakta ve kazıklı temel olarak nitelendirilmektedir [Özkan ve Sağlamer, 1995].

Ahşabın hafifliği ile birleşen dayanımı, durabilitesi, kesme ve taşıma kolaylığı son zamanlara kadar kazık işlerinde kullanılan tek malzeme olmasına neden olmuştur. Daha sonra bu malzeme beton ve çeliğe yerini bırakmıştır. Bunun nedeni ise aynı boyutlardaki ahşaba göre daha fazla basınç, eğilme ve çekme kuvvetlerini taşımaları ve fabrikada istenilen birimlere getirilebilmeleridir.

19.Yüzyılın sonları 20. Yüzyılın başlarında yapısal bir eleman olarak gelişen betonarme, karadaki yüksek kapasiteli kazık işlerinde büyük oranda ahşabın yerini almıştır. Betonarme kazıklar ok değişik zemin ve kaya ortamlarında kullanılabilirler ve büyük çaplarda imal edilebilirler. Sondaj delikleri açılarak, istenilen derinliğe kadar uygulanabilirler.

Kazık işlerinde çelik kullanımı ise vazgeçilmezdir. Bu artan kullanım fabrikasyon ve taşıma kolaylığının yanı sıra çok zor şartlardaki çakma işlemlerinde uygulanabilmesi yüzündendir. Kıyı yapılarında çelikteki korozyon probleminin üstesinden dayanıklı kaplama ve katodik korumalarla gelinmektedir.

Kazıklar, temel elemanı olarak görev yaptıklarında üstyapı yüklerini zemine aktarırlar. Bunun dışında, yan yana yapılmış sıralı kazıklar, gerektiğinde ankraj elemanları ile güçlendirilerek dayanım yapısı olarak projelendirilebilirler [Birand,

2001]. Kazıklar; yükleri iletme şekillerine göre sürtünme ve uç kazığı; imal edildikleri malzemeye göre ahşap, betonarme, çelik; imalat şekline göre; çakma kazıklar, yerinde dökülen kazıklar olarak sınıflandırılırlar. Kazık temeller, bir deprem sırasında temel hareketleri azaltmanın en etkin yöntemlerinden biridir. Kazık temellerin deprem koşullarında en yaygın kullanılan iki çeşidi, fore kazık bağlantı kiriş sistemi ve ön gerilmeli kazık temellerdir [Coduto, 2005]. Kazıklı radye temellerin kullanımı son yıllarda artmıştır. Kazıklar ve radyenin birlikte çalışması, taşıma kapasitesini arttırmakta, oturmayı azaltmakta ve kazıklar radyenin farklı oturmasını azaltmaktadır. Bu sebeplerden dolayı kazıklı radye temeller tercih sebebi olmaktadır.

Kazıklı temeller; viyadük, köprü, liman, baca, kule ve benzeri bir çok inşaat mühendisliği uygulamasında düşey doğrultudaki yükler ile rüzgar, deprem ve benzeri üst yapıya etkiyen yanal yüklerin temel zeminine aktarılmasında da kullanılmaktadır [Kulaç ve Durgunoğlu, 1992]. Genel anlamda, yanal yüklenmiş kazıklı temellerin davranışları, eksenel yüklenmiş kazıklı temellerin davranışlarından farklıdır. Zemin davranışının doğrusal olmaması sonucu kazıklarda büyük deformasyonlar oluşmaktadır. Kazık boyunca çeşitli derinliklerde, eğilme momenti, kesme kuvveti, zemin gerilmeleri ve deplasmanlar belirlenerek şartnamelerce öngörülen yöntemler ile kazıklı temel projeleri gerçekleştirilir.

Derin temeller, statik ve dinamik koşullar altında yanal yüklenmeye maruz kalabilmektedirler. Genelde statik yükleme; uzun açıklıklı köprüler ile iletim hatları gibi durumlarda kilit rol oynarken, dinamik yükleme; rüzgâr, okyanus dalgaları veya deprem yükleri altındaki durumlarda, yapılar için önemli olmaktadır. Derin temellerin deprem altındaki davranışları, özellikle günümüzde tasarımda önemli rol oynamaktadır.

Kazıklar şu alanlarda kullanılmaktadır:

- Sağlam zemin derinlerde ise,
- Temel altındaki zeminin oyulma riski var ise,
- Temellerde büyük konsantre yük mevcut ise,
- Yapı farklı oturmaya hassas ise,
- Şevlerin sağlamlaştırılmasında,
- Kaldırma kuvvetlerinin ve yatay zemin itkilerinin karşılanmasında,
- Limanlar ve köprü ayakları gibi su içinde yapılan yapılarda,

- Su içindeki yapılarda palplanş perde yapımı.

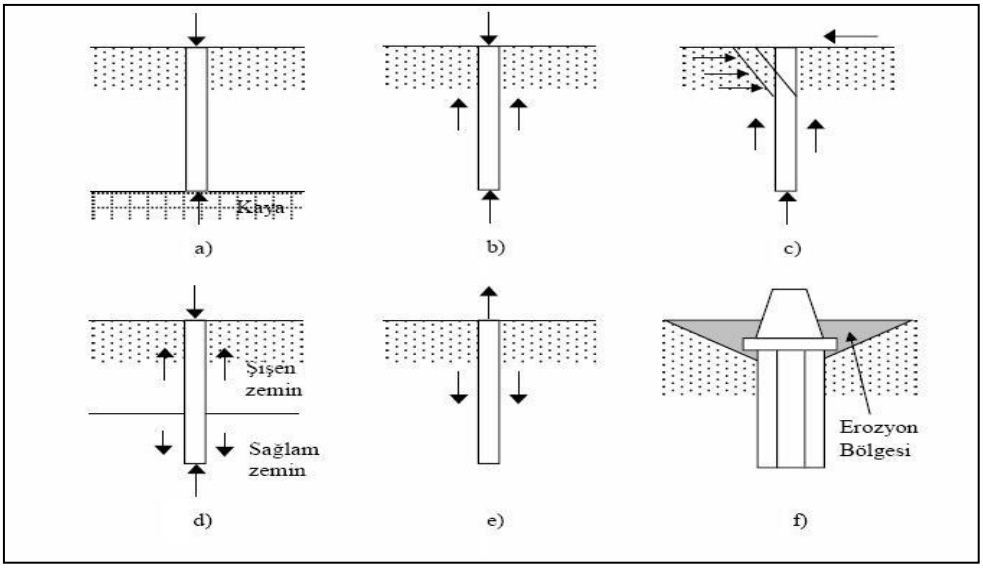
Uygun kazık tipinin seçimi dört ana etkene dayanmaktadır. Bunlar; yapının konumu ve tipi, zemin koşulları, kazığın taşıma gücü ve izin verilebilir oturma miktarıdır. Ayrıca, kazık tipinde başta ekonomi olmak üzere, kazık boyu, boyların eşit veya değişken olması, boyların değişken olması durumunda uygulanabilirlik, mevcut zemin şartlarında, her tipin emniyetle taşıyacağı yük, kazıkların, zemine uygulanmasında kolaylık, imalat hızı veya hazırlanması ile çakılma hızıdır. Ayrıca kazık başlarının kolay kesilmesi veya uygun olarak emniyete alınması, gerekirse kazık sayısını arttırma kolaylığı, eski yapıya ilave kazık yapılması durumunda önceden yapılmış kazıkların tipi, eğik kazık gerektiğinde kazığın belli açıda uygulanabilme kolaylığı, uygulanacak tip için yüklenici ve işverenin tecrübesi önemli olmaktadır [Yıldırım, 2008].

Kazıklı temellerin, kaç adet kazıktan oluşacağı; üst yapı statik ve dinamik yüklerine, geometrik boyutları, malzeme cinsleri ve yapım türleri ise zemin tabakalarının mukavemet parametrelerine ve buna bağlı olarak belirlenen zemine yük aktarma biçimlerine bağlıdır.

2. KAZIK TEMELLER

Kazıklı temeller esas itibarı ile yapı yüklerini, zeminin derin tabakalarına aktarılması amacı ile yapılan bir temel çeşididir. Zemin yüzeyine yakın tabakaların yapı yüklerini, göçmeden veya aşırı oturmalara yol açmadan taşıyabilecek bir yüzeysel temel teşkiline müsait olmadığı durumlarda, derin temel sistemi tercih edilir. Kazıklı temellerin projelendirilmesinde göçmeye karşı güvenliğin bulunduğu; ayrıca servis yüklerinin meydana getireceği oturmaların kabul edilebilir bir sınırı aşmadığı gösterilmelidir. Bu temellerin gerek tasarımında ve gerekse yapımında çeşitli seçenekler bulunmaktadır. Uygulamada optimal çözümün elde edilmesi iş başındaki mühendisin; bilgisine, tecrübesine ve ilgisine bağlı olmaktadır. Bilindiği gibi mühendislik yapılarının hesap ve yapımında yeterli optimal çözümün sağlanması gerekmektedir. [Gören, 2007]

Kazıklı temellerin sistem olarak kaç adet kazıktan oluşacağı; üst yapının statik ve dinamik yüklerine, geometrik boyutlarına, kazık çapına ve kazık aralığına bağlıdır. Ayrıca malzeme cinsleri ve yapım türleri ise zemin tabakalarının dayanım parametrelerine ve buna bağlı olarak kazık sisteminin zemine yük aktarma biçimlerine bağlı olmaktadır. [Gören, 2007]



Şekil 2.1: Kazıklı temellerin kullanım yerleri. a),b) Kaya zemindeki uç kazıklar, c) Yatay yükler halindeki kazık, d) Şişen zeminlerdeki kazık, e),f) Erozyonlu zemindeki kazıklar.

Şekil 2.1. a) ve b)'de görüldüğü gibi zayıf zemin tabakalarının altında kaya gibi sağlam bir zemin tabakası varsa, kazıklar bu tabaka içine soketlenirler. Bu durumda

kazık tüm dayanımını uç direncinden almakta ve bu kazıklar uç kazıkları olarak adlandırılmaktadır. Eğer kaya tabakası ulaşılabilecek uzaklıkta değilse orta sıkılıkta ve sert bir zeminde kazık dayanımlarını, kısmen çevre sürtünmesinden kısmen de uç direncinden alır. Kazıkların düşey yüklere ilave olarak yatay yükleri de taşıması gerekebilir. İstinat yapıları ve yüksek binaların temellerine, deprem ve rüzgâr yüklerinin etkisi ile yatay yükler nakledilebilir (Şekil 2.1.c). Kazıklar üst seviyelerde şişen veya göçen zeminin bulunması durumunda ve kaldırma yüklerinin etkisi altında kalacak yapılarda, temel olarak kullanılabilirler (Şekil 2.1.d). Fore kazıklar köprü kenar ayakları gibi yapıların altındaki kazıklarda yüzey erozyonu sebebiyle temeli kaybetmemek için inşa edilebilirler (Şekil 2.1.e.f) [Gören, 2007]

2.1. Kazıklı Temel Tasarımına Etki Eden Faktörler

Geoteknik hasarlardan kaçınmak için temel tasarımının detaylı araştırma ve verilere dayanması gerekmektedir.

Temel tasarımı öncesinde mutlaka sahayı üç boyutta (sondaj ve jeofizik ölçümlerle) incelemek ve anlamak, tasarımda kullanılacak parametreleri yerinde veya laboratuar deneylerinden elde etmek, kabullerle veya ampirik formüllerle temel tasarımı yapmamak, hem insan yaşamını korumakla hem de yapının kabul edilebilir boyutta hasara uğramasıyla sonuçlanacaktır.

Bu nedenle;

- Jeolojik, jeomorfolojik, tektonik, sismik ve zemin parametrelerinin toplanarak ve/veya elde edilerek sahayı anlamak ve bu bilgileri edindikten sonra temel tasarımı yapmak geoteknik hasarları kabul edilebilir boyutlara indirgeyecektir.
- Temel tasarımında gerekli zemin parametreleri; statik (uzun ve kısa vadeli stabilite tahkikleri, taşıma gücü, oturma, farklı oturma v.b.) ve dinamik analizler için yerinde ve/veya laboratuar deneylerinden elde edilerek kullanılmalıdır.
- Gerekiyorsa zemin ıslahı yapılmalıdır. Deprem nedeniyle SPT-N<10 olan siltli ve kumlu zeminlerde sıvılaşma riski, wn>LL ve cu< 50 kPa olan killi zeminlerde taşıma gücü ve zemin büyütmesi nedeniyle önemli hasarlar oluşabilmektedir.

- Temel Tasarımında; yüzeysel temellerde temel seviyesinin altındaki zeminin üç boyutlu geometrisi elde edilmeden ve taşıyıcı zemin tam olarak tanımlanmadan tasarıma geçilmemelidir.

Kazıklı temellerde kazık türü seçilirken zeminle en uyumlu olanı seçebilmek için kazık yüzeyinin yer alacağı zeminin çok iyi tanımlanması gerekmektedir. Ayrıca birinci derece deprem bölgesinde uç kazıklarının toptan göçtüğü, yeterli derinliğe ve kesit alanına sahip çelik boru sürtünme kazıklarının ise kabul edilebilir hasarlarla ayakta kaldığı unutulmamalıdır. Bu bakımdan önemli kıyı yapılarında çelik boru sürtünme kazıkları tercih edilmelidir.

Malzeme seçiminde dünya standartlarına uyulmalı ve dolguda kum kullanılmamalıdır. Malzemenin kaynağı, şekli, boyutları ve iyi sıkıştırılması yapının ayakta kalabilmesinde önemli etkenlerdir [Yüksel ve Güler, 2005].

2.2. Kazık Temel Çeşitleri

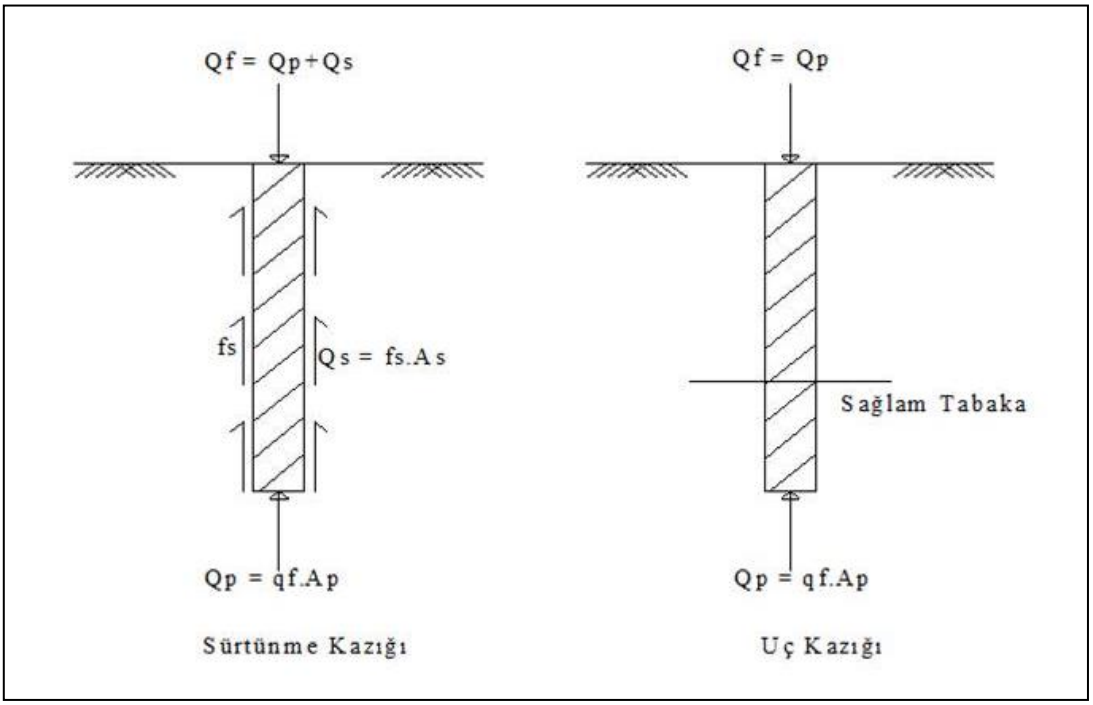
Kazıklı temeller üst yapıdan gelen yükleri daha derinlerdeki sağlam zemin tabakalarına taşıttıran uzun ve genel olarak narin yapısal temel elemanlarıdır..Kazıklı temelleri yükleri taşıma ve iletme şekillerine, yapıldıkları malzemelere, zeminde yerleştirme tarzına, zeminde sebep oldukları deplasmanlar yönünden, yapıldıkları veya inşa edildikleri teknolojiye göre sınıflandırmak mümkündür.

2.2.1. Yükleri Taşıma ve Zemine İletme Şekillerine Göre

- Sürtünme kazıkları (yüzen kazıklar)
- Uç kazıkları olarak ikiye ayrılabilir.

Yükün önemli bir kısmı kazığın etrafındaki çevre sürtünmesi ile taşınması durumunda bu tür kazıklara sürtünme kazığı denir. Sürtünme kazıkları bazen yüzen kazıklar olarak da bilinir. Bu tür kazıklar kum çakıl gibi granüllü zeminlerde çakılırsa bunlara sıkıştırma (kompaksiyon) kazığı denir.

Yükü derindeki sağlam bir tabakaya (kaya veya sıkı kum çakıl) kazık uç direnci yolu ile aktaran kazıklara ise uç kazıkları denir. Uç kazıklarında çevre sürtünmesi ihmal edilebilecek seviyelerdedir.



Şekil 2.2: Sürtünme ve uç kazık tipleri.

Burada ;

- Qf: Tek kazığın nihai taşıma gücü,
- Qp: Kazığın uç taşıma kapasitesi,
- Qs: kazığın sürtünme direnci,
- qf : kazık ucundaki zeminin birim nihai taşıma kapasitesi,
- fs : birim sürtünme direnci,
- Ap: kazık ucundaki enkesit alanı,
- As: kazık sürtünme alanı

olarak ele alınır.

2.2.2. İmal Edildikleri Malzemelere Göre

- Ahşap Kazıklar

Ahşap kazıklar hafif oldukları için kolay nakledilebilirler. Özellikle killi zeminlerde, kazık ile zemin arasında iyi bir adezyon sağlarlar. Ayrıca su seviyesi altında ömürleri uzundur. Ancak su seviyesi üzerinde yosun ve mantar çürümeye neden olurlar. Çürümeyi önlemek için ahşabın liflerine nüfuz edecek şekilde basınçlı kreozot kullanılmaktadır.

Ahşap kazıkların taşıma gücü yüksek değildir. Yaklaşık olarak 20-25 cm çaplı bir kazığın taşıyacağı yük 20-30 ton civarındadır. Ahşap kazık uçları çoğunlukla dört köşeli ve bazen yuvarlak şekilde yapılır. Bu uçların boyu sıkı yerleşmiş zeminlerde, en az kazık çapının 1,2 katına ve gevşek yerleşmiş zeminlerde ise, en az kazık çapının 2 katına eşit olmalıdır.

- Betonarme Kazıklar

Betonarme kazıklar en çok kullanılan kazık tipidir. Yer altı suyundan etkilenmedikleri için ve istenilen boyda yapılabildikleri için diğer kazıklara göre üstünlük kazanırlar. En yaygın olarak önceden dökme ve yerinde dökme kazıklar olarak kullanılmaktadır.

• Önceden Dökme Kazıklar

Genellikle sabit kesitli imal edilip uç kısımları sivridir ve genelde çelik çarıklarla korunur. Kazık başlarına da çelik yastıklar konulabilir. Kazıklarda boyuna ve enine donatı yerleştirilir. Bu donatı oranı %1-4 arasındadır. Daire, kare veya sekizgen kesitli olabilir.

• Yerinde Dökme Kazıklar

Zeminde çeşitli delme teknikleri kullanarak veya zemine boş bir boru çakarak oluşturulan deliğin gereğinde donatıda konarak betonla doldurulması yolu ile imal edilen kazıklardır. Yerinde dökme betonarme çakma kazıklar ve yerinde dökülen kazıklar (fore kazıklar) olarak ikiye ayrılırlar.

i) Yerinde dökme betonarme çakma kazıklar

Bu tip kazıklar kaplama borusuz, kaplama borusu yerinde bırakılan ve kaplama borusu çakılan tipte imal edilebilirler bu şekilde teşkil edilen kazıklar taşıyıcı eleman olabildikleri gibi zemini sıkıştırmak içinde kullanılabilirler.

Kaplama borusu olanlardan kompres kazığı zemin içinde silindirik bir çukur açan çelik bir çarığın zemine çakılması ve meydana gelen çukurun betonla kaplanması yolu ile oluşturulur. Raymond kazıklarında ise konik ve silindirik helisel kaplama borusu, bu borunun içine giren bir çelik mandrelin çakılması ile zemine girer. Sonra mandrel çıkarılır ve kaplama borusunun içi betonlanır. Konik olanlarının dış yüzü 1/10 eğimindedir.

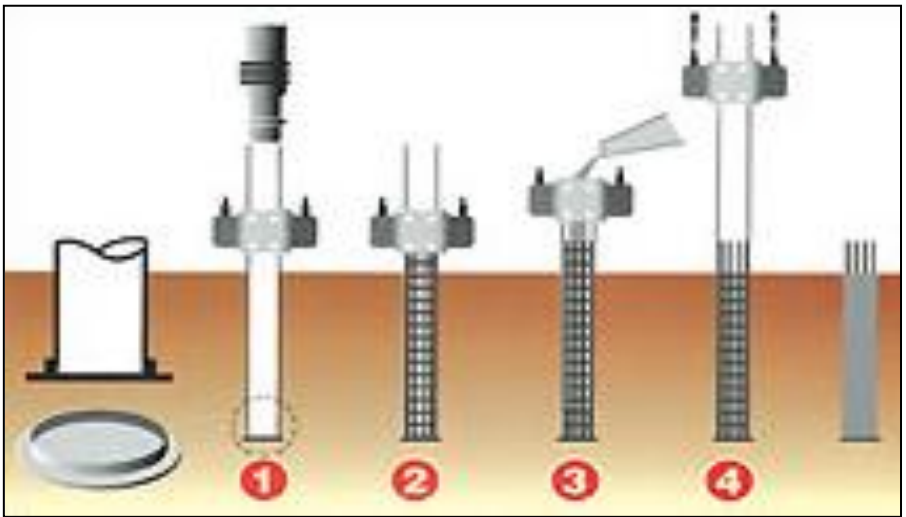
Raymond kazıkları 50-90 ton yük taşıyabilirler ve sürtünme veya uç kazığı olarak kullanılabilirler.

Kaplama borusu çıkarılan tipe örnek olarak Franki kazığı verilebilir. Bu kazığı oluşturmak için 30 veya 50 cm çapında bir çelik borunun dibine kuru beton veya kum çakıl konularak tokmaklanır.

Bunlar tampon gibi çalışarak boruyu zeminin içine doğru sürükler. İstenilen derinliğe inilince boru içine beton dökülerek tokmaklanır, bu esnada da boru dışarı çekilebilir. Franki kazıkları killi zeminlerde olduğu gibi gevşek kumlarda da uygulanabilir.

Bir başka tip olan Simplex kazıklarında ise timsah ağzı denen açılıp kapanabilen özel uçlu bir kaplama borusu zemine çakılır. Sonra beton dökülürken timsah ağzı açılarak boru ile birlikte dışarı çekilir. Dökülen beton tokmaklanarak zemine intibakı sağlanır ve betonda boşluk kalmaması temin edilir.

Diğer bir tür olan Vibrex tipi temel kazıkları, prefabrik çakma ve yerinde dökme fore kazıkların özelliklerini bünyesinde toplayan yerinde dökme kazıklardır. Vibrex kazıklar, deplasman tipi kazıklardır. Kazık imalatı, alt ucu taban plakası ile kapatılmış muhafaza borusunun dizel veya hidrolik bir çekiç yardımıyla zemine çakılması ile başlar. Muhafaza borusu çakımı esnasında kazık ucu ve çevresindeki zemin sıkışır. Böylece imalat tekniğinden dolayı zemin iyileştirmesi de sağlanır. Vibrex kazıklar, her türlü kumlu, killi, çakıllı zemin şartlarında çakılabilir. Kapalı muhafaza borusu sayesinde yüksek yeraltı su seviyesi altında emniyetle kazık imalatı yapılabilir [Yücetürk, 2002].



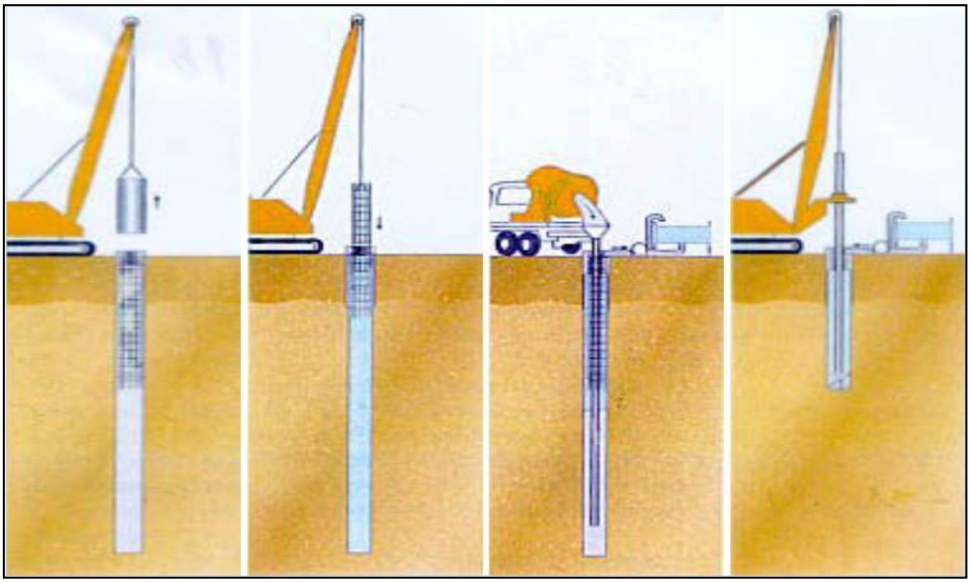
Şekil 2.3: Vibrex kazık imalat aşamaları.

Şekil 2.3.'deki imalat aşamaları şu şekildedir:

- Adım 1: Ucu çelik çapa ile kapalı muhafaza borusu dizel veya hidrolik çekiç ile istenilen kazık boyunda çakılır.
- Adım 2: Donatı kafesi indirilir.
- Adım 3: Beton dökülür.
- Adım 4: Muhafaza borusu vibratörle çekilir ve vibrex kazık tamamlanmış olur.

ii) Yerinde Dökülen Kazıklar

Fore kazıklar (sondaj kazıkları, delme kazıklar) zeminde yanal bir deplasman yaratmayan cinsten kazıklardır. Basit şekliyle, önce zeminde bir delik açılır, bu deliğe demir donatı yerleştirilir ve alttan başlamak suretiyle delik betonlanır ve kazık oluşturulur. Şekil 2.4'de fore kazık yapım aşamaları görülmektedir.



Şekil 2.4: Fore kazık yapım aşamaları.

- Çelik Kazıklar

Çelik kazıkların kesiti H veya I profili şeklinde veya dairesel olabilir. Dairesel kesitli yani boru şeklinde olanlarının ucu kapalı veya açık olabilir ve genellikle içleri betonlanır. Bu kazıklar yüksek yük taşıma kapasitesine sahip uç kazıkları olarak kullanılabilirler. Dış etkilere karşı korumak için dışları bitümlü maddelerle kaplanabilir, katodik koruma yapılabilir veya beton gömlek içine alınabilir.

- Kompozit Kazıklar

Birden fazla farklı malzeme kullanılarak teşkil edilen kazıklardır bu tip kazıklar genellikle alt kısmı ahşap üst kısmı da beton veya çelikten oluşan kazıklardır.

- Özel Kazıklar (Mini kazıklar)

Mini kazıklar 10-25 cm çapında olup foraj yolu ile açılan deliğin basınç altında, gereğinde teçhizatlanarak, betonlaştırılmasıyla oluşturulurlar. Bu kazıkların taşıma gücü yüksek olabilmektedir. Örneğin 25 cm çaplı bir mini kazık 100kN basınç yükü taşıyabilir. Ancak bu kazıkların moment taşıma kapasiteleri sınırlıdır.

- Kum Kazıklar

Kum kazıklar fore kazık veya çakma kazık tekniği ile imal edilen ancak demir ve betonun kullanılmadığı tipte kazıklar olup daha çok zemin ıslahında kullanılmaktadır.

2.3. Çelik Çakma Kazıklar

Çelik çakma kazıkların en çok kullanılan tipleri H profili ve boru en kesitli olanlarıdır. Bunlardan başka I profili de sıkça kullanılan bir tiptir. Çelik çakma kazıklarda boy sınırlandırılması yoktur. Ortalama boyları 12,0 m-30,0 m arasındadır. H profilleri sıkı ve sert çakımlarda oluşabilecek maksimum büyük çarpma kuvvetlerine dayanabilir. Boru kazıklar üniform kesitli olmanın yarattığı bir üstünlüğe sahiptirler. Bundan dolayı dik boru kazıklar deniz yapılarında önceliklidir.

"Kazık çapı / kazık boyu" oranının 1/80 den küçük olması tavsiye edilmektedir.

Çelik boru kazıkların açık uçlu olarak çakılması:

- Kapalı çakmanın imkansız olması
- Kazığın kaya üzerine iyice oturmasının temini
- Kazığın meydana getireceği zemin sıkışmasından ve kabarmasından kurtulmak gibi hallerde kullanılması daha faydalı sonuçlar vermektedir.

Uçları kapalı çelik çakma boru veya kutu en kesitli kazıkların yapımı için uç kısma düz bir plaka kaynatılmaktadır. Bu ucun koni olarak yapılması ekonomik değildir, aynı zamanda gereklide değildir. Ancak çelik plakalı uçların kayaya girmesi güç olduğundan plaka altına haç şeklinde bir uç konulması ve özel bir başlık yapılması çok kullanılan ve tavsiye edilen bir yöntemdir. Koni şeklinde yapılan çelik çakma kazıkların geometrisi gereği çakılması daha kolaydır.

Çelik çakma kazıklarda uç seçimi genellikle zemin şartlarına bağlıdır.

Kapalı uçlarda çakma; çakmanın zorlanması halinde, kazık uç kısmının ezilip burkulmaması, betonlamanın kolayca yapılması için tercih edilir. Ancak kazığın sağlam tabakaya iyice oturup oturmadığının kontrol edilmesi oldukça zordur.

Boru kazıklar, dikişli veya dikişsiz (düz veya spiral) olarak imal edilirler.

Kazık yapımında kullanılacak çelik en az St. 37 olmalıdır. Çelik boru kazıkların içerisine beton kullanılması çok kullanılan bir yöntemdir. Taşıyıcı olması bakımından bu beton kalitesi en az BS 16 olmalıdır.

Çelik çakma kazıkların gereğine göre uç kısmına veya gövde kısmına ek ile boylarının uzatılması mümkündür. Ek yerleri perçin veya bulon çoğu zamanda kaynaklı olarak yapılırlar.

En büyük yük durumlarına ve en sert çakma durumlarına dayanıklı olmalıdırlar. Ek yapılan kazıklar iyi tahkik edilmelidir. Varsa eğilme momentini karşılayıp karşılayamadığı kontrol edilmelidir. Normal koşullarda dahi kazıklar önemli gerilmelere maruz kalırlar. H kazıklarda ek yerinin, kesitte meydana gelen momentin 1/3-1/2 si kadar dirençte olması istenmektedir.

Çelik çakma kazıklar, bir hadde ürününden ve tek parçalı olarak yapılabileceği gibi muhtelif hadde ürünlerinden bir araya getirilip birleştirilmesi yolu ile boru veya kutu en kesitinde ve uç tarafı açık veya kapalı olarak oluşturabilirler.

Ülkemizde İstanbul Galata Köprüsünde 2,0m çapında ve 20 mm kalınlığında boyları 30 m kadar varan çelik çakma kazıklar vardır.

Sürtünme katsayısını küçültebilecek yüzey işlemlerinden sakınılmalıdır. Bu gibi durumlarda "katodik" koruma metodu uygulanmalıdır. Çelik kazıklar örselenmemiş tabii zeminlere çakılırsa korozyon tehlikesi azdır. Aynı şekilde kimyasal ve organik madde içermeyen kuru zeminlerde de korozyon tehlikesi çok azdır.

Oksijen ihtiva eden zeminler örselenmiş ve dolgu zeminlerde korozyon çelik kazık için problem yaratabilir. Örselenmiş zeminlerde iki metreden daha derinde oksijen çok azdır. Çelik kazık, hava ve su içinde bulunuyorsa su ile hava temas seviyesi bölgesinde tuzlu suda daha fazla, tatlı su da ise daha az korozyona uğrar. Korozyondan korunmak için aşağıdaki yöntemlerden biri veya bir kaçı kullanılabilir.

- Kazık et kalınlığının artırılması
- Kazıkların beton ile kaplanması
- Katodik boya uygulanması
- Korozit zeminin uzaklaştırılması
- Çeliğe anti-korozit madde ilave edilmesi
- Gerilmenin düşük seçilmesi
- Boya ve kaynamış katran sürülmesi

2.3.1. Hazır Çelik Çakma Kazıkların Avantaj ve Dezavantajları

Avantajları :

- Kazık malzemesi zemine girmeden önce kontrol edilebilir.
- Yandaki kazıkların çakımı sırasında zemin genişlemesinden etkilenmez.
- Yapım yer altı suyundan bağımsızdır.
- Bir bölümü zemin dışında bırakılabilir (iskele kazıkları).
- İstenen uzunlukta çakılabilir.

Dezavantajları :

- Taşıyıcı katmanın değişebilecek kalınlık ve derinliğe göre boyu kolayca değiştirilemez,
- Aşırı çakma sırasında zarar görebilirler ve bu zararın farkına kolayca varılmayabilir,
- Eğer kesit hesabı alacağı yük yerine taşımadan oluşacak gerilmelere göre yapılıyorsa ekonomik olmaz,
- Çakma sırasında çevrede gürültü ve zarar oluşturur,
- Çakma sırasında kazık sayısı arttıkça yandaki yapılar zeminin kabarmasıyla hasar görebilir,
- Büyük çaplı kazıklar çakılamaz (Dmax ≈ 60cm),
- Kazık ucunda taşıma gücünün arttırılması için ampulü genişletmek olanaksızdır,
- Tavan yüksekliği kısıtlı ise çakma mümkün değildir [Yücetürk, 2002].

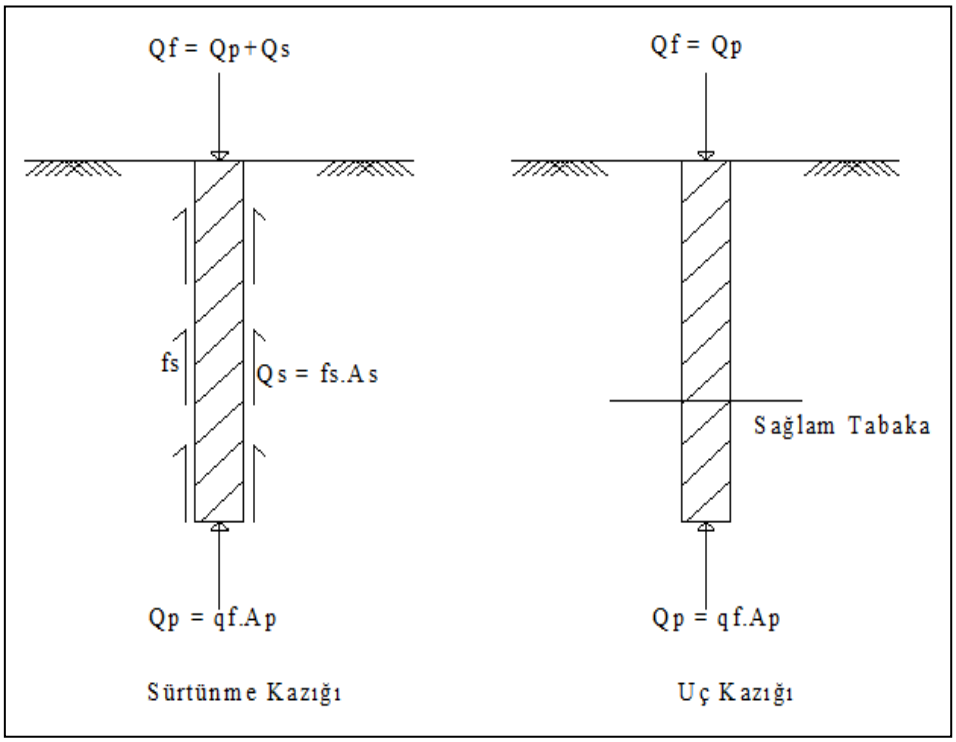
2.4. Eğik Çelik Kazıklar

Yatay yükler altında büyük ölçüde performans sergileyen eğik kazıklar, sistemin dik kazıklara oranla daha rijit davranmasına ve daha az yanal deformasyon yapmasına neden olur. Bununla birlikte, büyük gerilme yığılmaları nedeniyle hasarın büyük çoğunluğu eğik kazıklarda oluştuğundan eğik kazık kullanımı artık tercih edilmemektedir. [Siyahi vd., 2011]

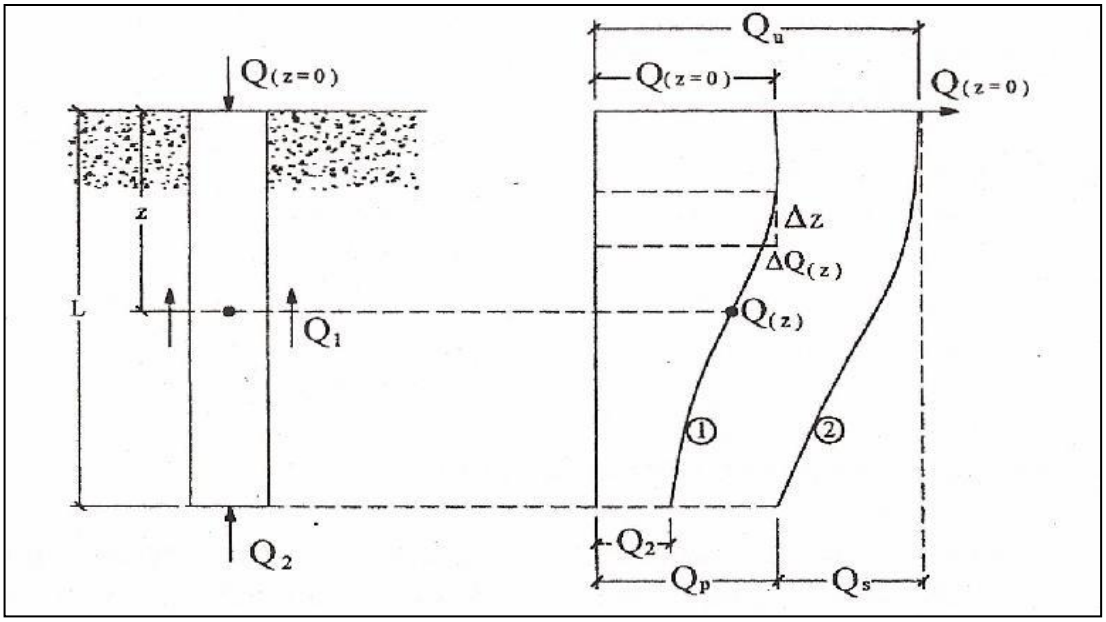
2.5. Kazıkların Taşıma Gücü Hesabı

Kazık grubunun taşıma gücü, kazıkların grup halinde davranışları düşünülerek hesaplanır. Zira grup içindeki bir kazık ve çevre zemin, diğer kazıklardan iletilen gerilmelerin etki alanı içinde kalabilir (Şekil 2.8.). Kazıklar arası etkileşim nedeni ile grup içindeki kazıkların taşıma güçlerinde meydana gelen azalmayı saptamak amacı ile formüller geliştirilmiştir. n sayısı ile gösterilen grup verimi, kazıkların tek tek taşıma güçlerinin toplanması ile bulunan değerle çarpılarak grup taşıma gücü hesaplanır.

Fore Kazıkların taşıma gücü hesabında en çok kullanılan formüller Statik Formüllerdir. Bu formüller Şekil 2.a'da verilen kazık taşıma gücüne ait yük bileşenleri ve düşey yükler altında kazıkta yük aktarılışı (Şekil 2.b), dikkate alınarak aşağıda verilen bağıntılar şeklinde kullanılabilirler.



Şekil 2.5: Kazık taşıma gücü bileşenleri.



Şekil 2.6: Düşey yükler altında kazıkta yük aktarılışı.

Hesaplarda kullanılan formüller;

$$Qu = Qs + Qp(Qb) \tag{2.1}$$

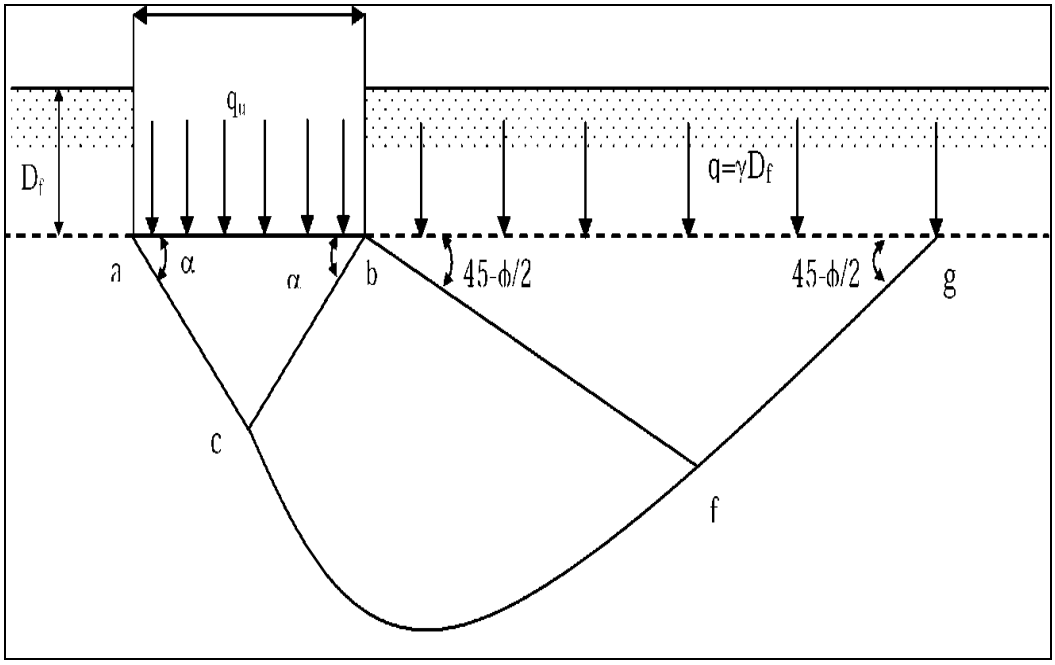
Burada;

- Qu = Kazığın nihai taşıma gücü (kN),
- Qs = Çevre sürtünme ile taşınan toplam yük (kN),
- Qp(Qb) = Kazık ucu tarafından taşınan toplam yük (kN) olarak alınır.

$$Qb = qb + Ab \tag{2.2}$$

Burada;

- qb = Kazık ucunda birim alan için uç direnci (kN/m²),
- Ab = Kazık ucundaki en kesit alanı (m²) olarak alınır.



Şekil 2.7: Göçme anında zemindeki kırılma yüzeyleri (Terzaghi Kabulü).

$$qb = c.Nc + \gamma.DfNq + \gamma.B.N\gamma \qquad (2.3)$$

Burada;

- c = Kohezyon katsayısı,
- Nc, Nq, Nγ = Zeminin içsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayıları,
- γ = Zeminin birim hacim ağırlığı (kN/m³),
- B =Taban genişliği, dairesel kazıklarda B = D, kazık çapı (m),
- Df = Kazık derinliği (m),
- y.Df = cv = Kazığın ucundaki düşey geostatik gerilme olarak alınır.

Kazık derinliği, kazık çapına göre çok büyük olduğu için Nγ teriminin Nq terimine göre oldukça küçük olduğu düşünülerek ihmal edilebilir. Buna göre uç mukavemeti için aşağıdaki bağıntı kullanılır;

$$qb = c.Nc + \gamma.Df.Nq \qquad (2.4)$$

Burada;

Kohezyonlu zeminlerde; $\Phi = 0$ olduğu için,

$$qb = c.\ Nc \tag{2.5}$$

Kazık dairesel kesitli ve taşıyıcı zemine 5B kadar girdi ise Nc 'nin değeri 9 olarak alınır.

$$qb = 9c \tag{2.6}$$

Kohezyonsuz zeminlerde ise $c = 0$ olduğu için, $qb = \gamma.Df.Nq = cv.Nq$ olarak bulunur.

Çevre sürtünme ile taşınan yük ise;

$$Qs = fs + As \tag{2.7}$$

formülü ile elde edilir.

Burada;

- fs = Birim sürtünme direnci,
- As = $\Delta P.\ \Delta L$ = Kazık sürtünme alanı,
- ΔP = Kazığın Çevresi,
- ΔL = Tabaka boyunca yükseklik,

olarak verilmektedir.

3. KAZIK TEMELLERİN DEPREM DAVRANIŞLARI

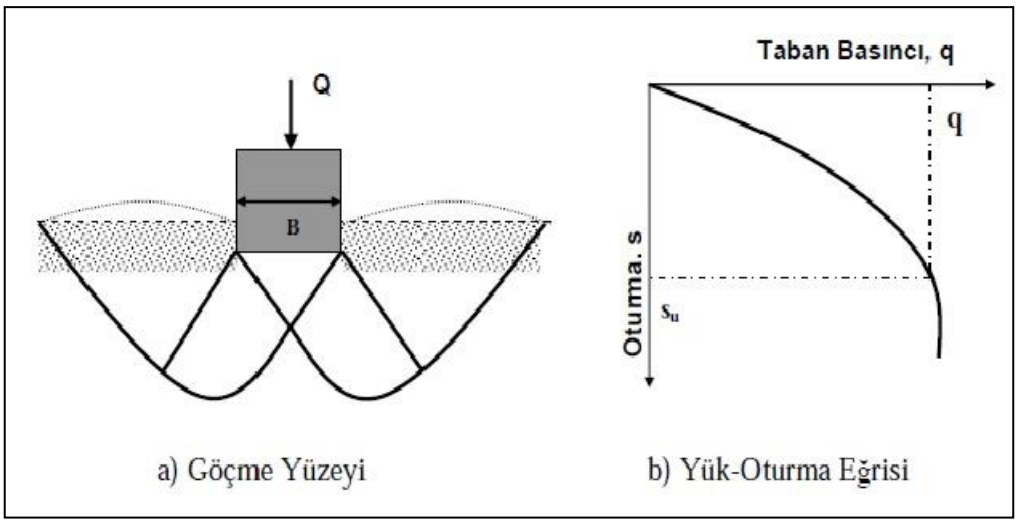
Deprem etkisi kazık zemin davranışında oldukça önemli etkiler meydana getirmektedir. Zemin şartları frekans özelliklerini, yer ivmesinin genliğini, atalet kuvvetlerini etkilemektedir. Deprem sırasında zemin profilleri farklılaştıkça farklı davranışlar görülmektedir. Farklı zemin özellikleri farklı deprem hasarlarına yol açabilmektedir. Yapısal davranıştaki değişiklik, kazık modellemesi sırasında farklı deprem etkilerinin de mutlaka dikkate alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Deprem etkisi dikkate alınmadan boyutlandırılan kazıklar, istenen davranışı ortaya koyamayacaktır. Ülkemizdeki yapıların önemli bir kısmının deprem tehlikesi altında olduğu düşünüldüğünde, kazıklı yapıların tasarımında deprem davranışının önemli olduğu ve tasarımda deprem etkilerinin dikkate alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

3.1. Göçme Mekanizmaları

3.1.1. Genel Kayma Göçmesi

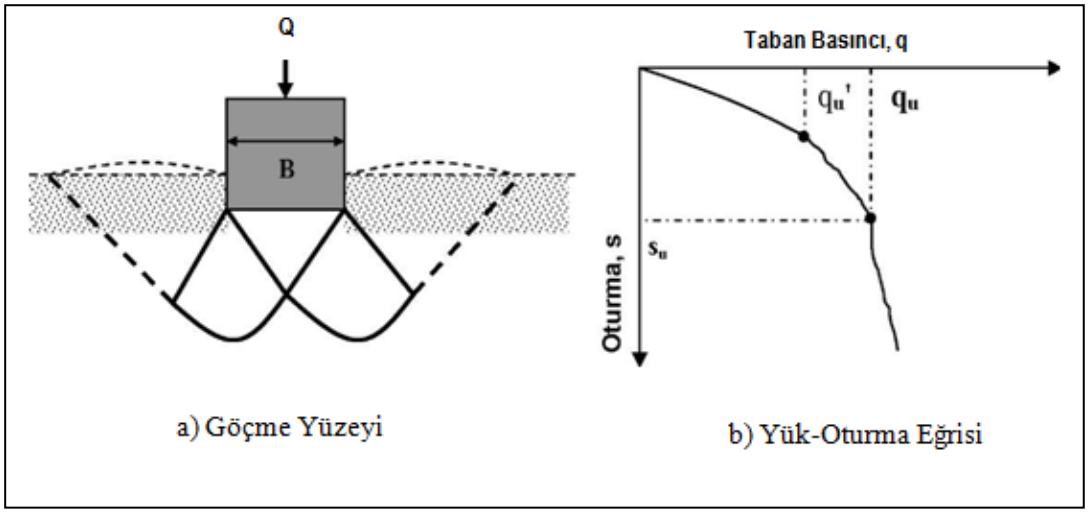
Bu tür bir göçme türü genellikle, sıkı kum veya sert killerde görülmektedir. Temel zemininde gözlenen göçme yüzeyi ile tipik bir yük-oturma eğrisi Şekil 3.1'de yer almaktadır. Başlangıçta, temele uygulanan Q yükü (q=Q/A) arttıkça oturmalar artmakta iken, göçme yüküne ulaşıldığında, yük sabit kalırken oturmalar devam ederek büyük değerlere ulaşmaktadır. Zemin, kayma yüzeyleri boyunca kırılarak göçmekte ve zemin yüzeyinde kabarmalar oluşmaktadır. Nihai taşıma kapasitesi q_u, yük-oturma eğrisinin en üst noktasındaki değeri olup, yük-oturma eğrisinden açıkça belirlenebilmektedir. Grafikteki s_u, göçme anındaki oturma değeridir [Yıldız, 2002].



Şekil 3.1: Zeminde gözlenen göçme yüzeyi ve yük-oturma eğrisi.

3.1.2. Bölgesel Kayma Göçmesi

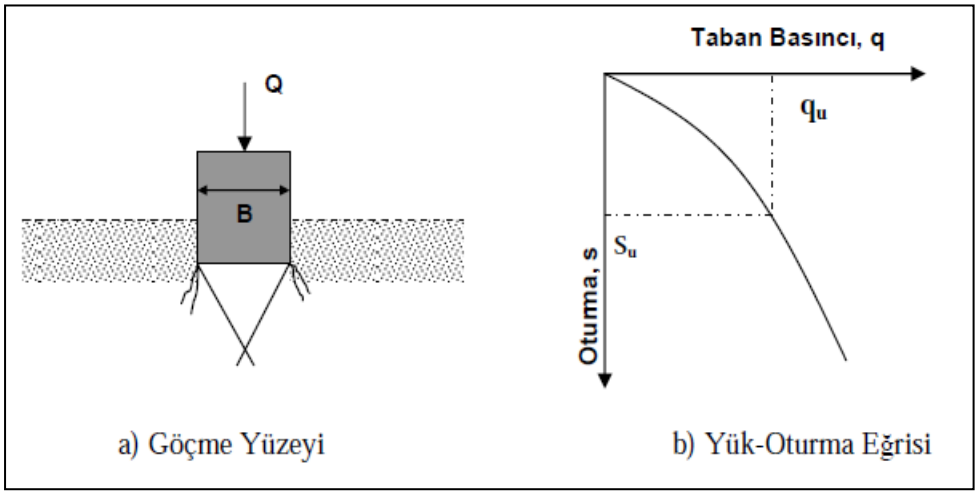
Bu tür bir göçme türü genellikle, orta sıkı kum veya orta sertlikteki kil zeminlerde görülmektedir. Zeminde gözlenen göçme yüzeyi ve yük-oturma eğrisi Şekil 3.2'de yer almaktadır. Şekilden görüldüğü üzere yük-oturma eğrisi, 3 bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde qu'=ilk göçme yükü olmak üzere, q=qu' değerine kadar yükün arttırılması durumunda, oturmalar da artmaktadır. Bu bölümde, zemin düşey yönde sıkışırken çok az miktarda yanal deformasyonlar görülmektedir. İkinci bölümde, yani, yükün daha da arttırılması durumunda yük-oturma eğrisi daha dik ve düzensiz bir şekilde artmaktadır. Zeminde dışa ve yukarı doğru hareketler gözlenmektedir. Üçüncü bölümde yani, $q=q_u$ olduğunda ise, göçme yüzeyi zemin yüzeyine ulaşmaktadır. Yük arttırılmaya devam ederse, zemin yüzeyinde kabarmalar oluşmakta yük-oturma eğrisi de doğrusal olarak artmaktadır. Bu tür bir göçmede eğri üzerinde qu değeri tam olarak belirgin değildir [Yıldız, 2002].



Şekil 3.2: Bölgesel kayma göçmesi.

3.1.3. Zımbalama Kayma Göçmesi

Bu tür bir göçme türü genellikle, gevşek kumlarda veya yumuşak kil zeminlerde görülmektedir. Zeminde gözlenen göçme yüzeyi ve tipik bir yük-oturma eğrisi Şekil 3.3.'de yer almaktadır. Bu tür göçmelerde, zemin yüzeyinde kabarmalar oluşmamaktadır. Yük arttıkça oturmalar da sürekli artmakta olup, eğri üzerinde göçme yükü qu net olarak tayin edilememektedir. Bu durumda, nihai taşıma kapasitesi değeri q_u'nun belirlenmesi için iki yöntem ileri sürülmüştür. İlk yöntemde Das (1999) tarafından, nihai taşıma kapasitesi değeri yük-oturma eğrisinde, AS/Aq oranının en büyük olduğu ve bundan sonra sabit kaldığı nokta olarak tanımlanmıştır. İkinci yöntemde ise, Yetimoğlu (1994) tarafından yük-oturma eğrisinin başlangıç ve bitiş teğetlerinin kesişim noktası olarak tanımlanmıştır [Yıldız, 2002].



Şekil 3.3: Zımbalama kayma göçmesi.

3.1.4. Taşıma Gücü Kavramı

Terzaghi tarafından üniform yüklü şerit temel için ileri sürülen taşıma gücü teorisinde, göçme anında temel zemininde oluşan kırılma yüzeyleri Şekil 2.5'de olduğu gibi kabul edilmiştir [Das, 1999]. Bu teoride, temel altındaki göçme bölgesi üç ana bölgeye ayrılmaktadır.

Bunlar;

- abc bölgesi: Temelin hemen altında yer alan kama şeklindeki elastik bölgedir. abc üçgeninin ac ve bc kenarları eşit olup $\alpha = \phi$ 'dir.
- bcf bölgesi: Prandtl radyal kayma bölgesidir. cf kırılma yüzeyi logaritmik spiraldir.
- bfg bölgesi: Rankine pasif bölgesidir. Bu bölgenin kayma yüzeylerinin yatayla yaptığı açı (45- ϕ /2)'dir.

Temel zemini; homojen, izotrop ve yarı sonsuz kabul edilerek şerit temelin nihai taşıma kapasitesi için aşağıdaki bağıntı çıkarılmıştır.

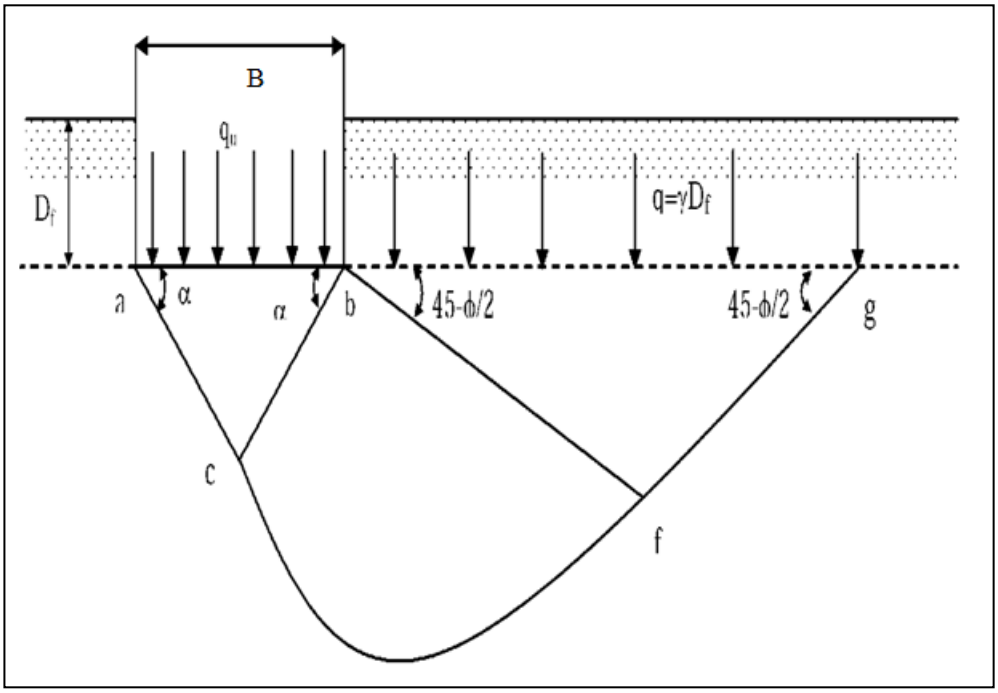
$$q_u = cN_c + \gamma D_f N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma \qquad (3.1)$$

Burada Nc, Nq, N γ , ϕ 'ye bağlı taşıma gücü katsayıları, c, kohezyon, y, zeminin birim hacim ağırlığı, B, temel genişliği ve Df ise, temel derinliğidir.

Terzaghi formülünün genel biçimi ise aşağıda verilmektedir:

$$qu = K1cNc + \gamma DfNq + K2 \gamma BN \gamma \qquad (3.2)$$

Burada, K1 ve K2, temel şekil katsayılarıdır.



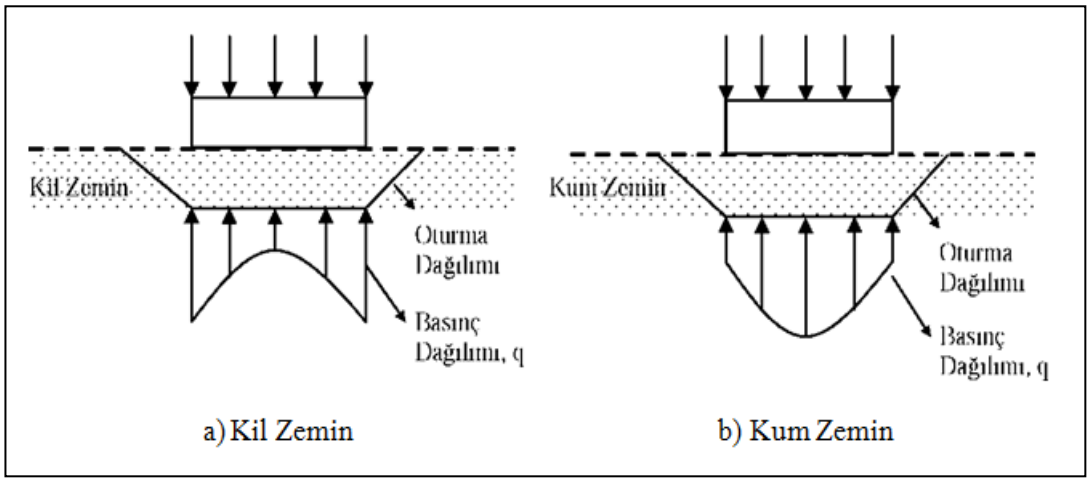
Şekil 3.4: Göçme anında zemindeki kırılma yüzeyleri (Terzaghi Kabulü).

Güvenli bir temel veya temel sisteminin taşıma gücü ve oturma gibi iki ana şartı sağlaması gerekmektedir. Taşıma gücü şartı göre, üstyapı yükü altında temel zemininde kayma kırılması oluşmamalı ve göçmeye karşı belli bir güvenlik olmalıdır. Bu durumda nihai taşıma kapasitesi değeri, belli bir güvenlik sayısına (GS) bölünerek elde edilmektedir.

Oturma şartına göre, üstyapı yükü nedeniyle temel tabanında meydana gelen oturmalar yapıya zarar vermemeli veya müsaade edilebilir sınırlar içerisinde olmalıdır. Temel zemininde meydana gelen oturmalar elastik oturma (zemin boşluklarındaki havanın dışarı çıkması ile zemin danelerinin birbirine yaklaşması

sonucu oluşan), konsolidasyon oturması (zemin boşluklarındaki suyun zamanla dışarı çıkmasıyla meydana gelen oturma) ve ikincil konsolidasyon oturması (suya doygun killerde görülen ve konsolidasyon oturmasını takip eden sıkışma) olmak üzere 3 bileşenden oluşmaktadır. Bir temel oturmasında, zemin cinsine bağlı olarak bu bileşenlerden bir veya birkaçı ihmal edilebilmektedir. Taşıma gücü ve oturma şartları sağlanarak hesaplanan taban basıncı değeri, zemin emniyet gerilmesi olarak tanımlanmaktadır

Temele aktarılan yük nedeniyle rijit bir temel tabanında oluşan oturma ve basınç dağılımı, zemin cinsine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Kil ve kum zemin üzerine oturan rijit bir temel tabanında oluşan oturma ve basınç dağılımları Şekil 3.5'de görülmektedir. Her iki zeminde de oturmalar üniform iken taban basınç dağılımları farklıdır. Kil zeminlerde temel kenarlarında taban basıncı maksimum olurken, kum zeminde ise, temel merkezinde maksimum olmaktadır.



Şekil 3.5: Rijit temel tabanındaki oturma ve basınç dağılımı.

3.2. Kazık–Zemin Etkileşimi

Kuvvetli yer hareketlerinin, özellikle zayıf zemin koşullarında yapılan kazıklı temel sistemlerini önemli ölçüde etkilediği, yakın zamanlarda meydana gelmiş Marmara gibi yıkıcı depremlerle gözlemlenen yapısal hasarlarla açıkça ortaya konulmuştur. Deprem sırasında oluşan yer hareketleri, yapılara etkiyen sismik kuvvetleri doğrudan etkilediği gibi, aynı zamanda zeminin malzeme olarak göçmesine ve zeminin taşıdığı yapının fonksiyonuna zarar verecek şekilde temel

hareketlerine yol açabilmektedir. Bu nedenle, zemin tabakalarının davranışlarının ve bu tabakalar üzerinde bulunan yapılara etkilerinin incelenmesi önem kazanmaktadır.

Genelde, uzun kazıklarla derin zemin tabakaları geçilirken, ani değişen mukavemet ve rijitlikteki zemin tabakaları ile karşılaşılabilmektedir [Karkee et al., 1998]. Bilhassa kayma modülleri arasında önemli fark olan iki zemin tabakası sınırında, göreceli deformasyondan dolayı, kazığın tabaka geçişlerine karşı gelen noktalarında, kesme ve eğilme çatlakları ile plastik mafsallar oluşabilmektedir [Aydınoğlu vd., 2000]. Uygulamada pek bilinmeyen ve genellikle ihmal edilen kinematik kazık-zemin etkileşimi, kazıklarda büyük zorlanmalara neden olabilmektedir. Bu durum, kazıklı temel sistemlerinin tasarımında göz önüne alınması gerekli bir olgudur.

Kazık taşıma gücünün belirlenmesi, tasarım aşamasında önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Kazık boyutu, zemin cinsi, yüzeye yakın zemin profili, kazığın imalat şekli, kazık başlığının durumu, tekrarlı yükler, kazık aralıkları vb. kazığın taşıma gücünü etkileyen faktörlerdir. Konu ile ilgili çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Ordu ve Özkan tabaka dayanımları arasında ani değişimler bulunan iki farklı zemin profili içerisinde aynı kazık yapısını modellemişlerdir. Çalışmalarında farklı katmanlardan oluşan zemin profillerinde deprem etkisindeki kazıklarda kesme kuvveti ile momentlerin büyüklüğünün ve dağılımının, zemin şartları ile deprem yüklerine bağlı olduğunu göstermişlerdir. Özen ve Özkan tabakalı bir zemin profilinde, üst tabakadaki zeminin sıkılığı ve sıkı zemin kalınlığı arttıkça yer değiştirmelerin önemli ölçüde azaldığını belirtmişlerdir. Omel'chak I.M., kazıkların bulunduğu zeminin yüksek plastisiteli kil olması durumunda aynı yük kademesinde oturma miktarlarının düşük plastisiteli orta sert kil olması durumundan daha fazla olacağını göstermişlerdir. Karthigeyan, gevşek ve sıkı kumdaki kazıkların düşey yük etkisindeki yanal tepkilerini göstermişler ve zeminin içsel sürtünme açısı, dilatasyon açısı gibi özelliklerinin önemini belirtmişlerdir. Cow ve Teh., homojen olmayan zemin profillerinde, her bir kazıktaki yük taşıma yüzdeleri artmasına rağmen, kazık başlığının yük taşımasında önemli azalma olduğunu göstermişlerdir.

Alsaleh ve Shahrour çalışmalarında zemin kazık yapı ilişkisini incelemişlerdir. Mohr-Coulomb ilişkisini kullanarak yaptıkları modellemede üst yapı, zemin ve kazık üç boyutlu kiriş eleman olarak modellenmiştir. Analizlerde ilk olarak harmonik yükleme, daha sonra gerçek deprem yükleri kullanarak, zemin ve kazığın doğrusal

olmayan davranışını incelemişlerdir. Zamana bağlı olarak yer değiştirme değerlerini, kazıklardaki en elverişsiz durumdaki eksenel kuvvet ve burulma momenti değerlerini, elastik ve elasto plastik durumlar için elde etmişlerdir. Zeminin plastikliğinin, üst yapıya enerji geçişini azalttığı ve atalet kuvvetlerindeki artışın önemli olduğunu göstermişlerdir.

Uzuoka arkadaşları, çalışmalarında sıvılaşmış bir zeminde grup kazıkların dinamik davranışını incelemişlerdir. Grup kazıklar üç boyutlu zemin-kazık modeli ile modellenmiştir. 1995 Kobe depremi sırasında ortaya çıkan kazık zararlarından dolayı beş katlı bir yapı ele alınarak analiz yapılmıştır. Sıvılaşmadan hemen sonra kazıklarda akmalar oluştuğunu ve yatay yer değiştirmenin 10 cm'ye ulaştığını belirtmişlerdir. Sıvılaşmadan hemen sonra, atalet etkisinin kazık ucu ve zemin tabakasının alt kısmında, kinematik etkinin ise tabaka dibinde görüldüğünü belirtmişlerdir.

Sadek, çalışmasında kazık uç ve tabanındaki durumları sismik yüklemeyle göstermiştir. Modellemede üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanmıştır. Üst yapı tek serbestlik dereceli ve yoğunlaştırılmış kütle ve kolon olarak, zemin ise lineer elastik kabul edilerek modellenmiştir. Çalışmada düşey ve eğimli kazıklar kullanılmıştır. Kazıklarda iki eksenel kuvvet ve eğilme momenti değerleri elde edilmiştir. Ayrıca kazıklardaki iç kuvvet değerleri incelenmiştir. Özellikle küçük kazıkların sismik bölgelerdeki katı zeminlerde kullanılmaması gerektiği ve sismik yüklemenin zemin kazık sistemindeki plastikliği azalttığı belirtilmiştir. Ayrıca, kazık-zemin modellerinde, zeminin elasto plastik olarak analiz edilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Sadek ve Isam, sismik yüklemeler altında kazıkların davranışlarını incelemişlerdir. Modeller üç boyutlu olarak sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Zemin elastik, yapı yoğunlaşmış kütle kolon ve tek serbestlik dereceli olarak modellenmiştir. Kazıkların dinamik etkiler ve sismik atalet kuvvetleri etkisi altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Sismik yük etkisiyle kesme kuvvetlerinde ve burulma momentlerinde azalma olduğunu göstermişlerdir. Nikoloaou ark., çalışmalarında zemin içinde yer alan bir kazığa ait yer değiştirme değerlerini kinematik burulma momentleri üreterek elde etmişlerdir. Bu momentlerin, yumuşak ve katı zemin tabakalarının yüzeyinde yoğunlaştığını göstermişlerdir. Çalışmalarını, a)Kinematik olarak kazığın yüklenmesi b)homojen ve tabakalı zeminlerdeki kazıkların analitik çözümü ve c) Arazi deneyleri şeklinde üç grup olarak ele

almışlardır. Çalışmada Winkler temel modeli uygulanarak özellikle kazıklara gelen sismik tepkiler belirlenmiştir. Kazığın sabit ve hareketli uç kısımlarında farklı sınır şartları gözlenmiştir. Kinematik momentlerin büyüklüğünün zemin tabakaları arasındaki rijitliğe bağlı olduğu belirtilmiştir. İki kazık arasındaki altı noktada burulma ve eksenel gerilmeler elde edilerek arazi test sonuçları ve bilgisayar çözümleri karşılaştırılmıştır.

Basu arkadaşları, dikdörtgen kesitli kazıkların farklı tabakalı zeminlerdeki durumunu araştırmışlardır. Zemin kazık sisteminde elde edilen yer değiştirme değerlerini elde etmişlerdir. Zemini elastik olarak kabul etmişlerdir. Laman ark., kısa kazıklı temellerin moment taşıma kapasiteleri üzerinde durmuşlardır. Üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle zemin ve kazık yapısını modellemişlerdir. Gevşek ve kohezyonlu zeminler üzerinde çalışmışlardır. Bilgisayarda elde ettikleri değerlerle, deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır. Zemin basınç değeri olan Ko değerinin çok hassas değerler aldığını göstermişlerdir. Zhang, çalışmasında yatay yüklü kazığın kohezyonlu zemindeki durumunu üç boyutlu sonlu elemanlarla belirlemişlerdir. Yanal eksantrik olarak yüklenmiş bir kazığı kuvvet moment dengesini göz önünde bulundurarak ele almış ve kazığın direncini ölçmüşlerdir. Laboratuar modelleriyle arazide gerçekleştirilen test modellerini karşılaştırmışlardır.

Çimen arkadaşları, farklı kalınlıklarda kum ve kil tabakalarının yerleştirilmesiyle oluşturulan farklı zemin profilleri içerisinde 1 m çapında 10 m boyunda sürtünme ve uç direncine sahip olan kazıklar yerleştirilmiş ve sonlu elemanlar yöntemiyle katı olarak modellenmiştir. Oluşturulan bu zemin- kazık modellerinin zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilmiş ve deprem etkisi altında, tamamen kil ve kum ve farklı kalınlıklarda kil-kum tabakaları şeklinde dizilmiş zemin profillerinde kazık davranışının oldukça farklı olduğu görülmektedir. Analizler sonucunda deprem etkisindeki zemin-kazık etkileşiminde, zemin yapısındaki değişikliğin oldukça önemli olduğu görülmüştür.

3.2.1. Kazık–Zemin-Yapı Etkileşim Modellemesi

Bir kazık–zemin–yapı etkileşimi sisteminde, başarılı bir analiz için etkin bir zemin–kazık etkileşim modeli önemli noktalardan birisidir [Mossallamy, 1997]. Küçük deplasman durumlarında, kazığın zeminle birlikte hareket ettiği varsayımı çözüm için yeterli olabilir. Ancak, genel olarak kazığın zemin içindeki göreli

hareketini uygun bir şekilde incelemek için daha ileri kazık-zemin etkileşimi modelleri gerekebilir. Alışılagelmiş sonlu elemanlar (SE) yönteminde, kazık hacim elemanlarıyla modellenebilmektedir. Kazık–zemin etkileşimi, kazık çeperinde ve ucunda kullanılan arayüz elemanlarıyla modellenmektedir. Hassas çözümler için, bu yöntem kazık etrafında çok küçük zemin elemanları gerektirmekte ve dolayısıyla çözüm süresini arttırmaktadır.

Kazık–zemin etkileşimi, kazık ile zemin düğüm noktaları arasındaki göreli deplasman ile modellenmiştir. Kazık ile zemin düğüm noktaları, kazık çeperinde özel arayüz elemanları [Sadek and Shahrour, 2002], ucunda ise doğrusal olmayan yay elemanlarıyla [Septanika, 2005] birbirine bağlanmıştır. Bu modelde, ayrıca, kazık kapasitesi yüzey sürtünmesi ve uç direnci olarak tanımlanabilmektedir.

Modelleme 6 adımdan oluşmaktadır:

- Adım 1: Yapısal özellikler:

  Modellerin boyut ve şekillerinin belirlenmesi
- Adım 2: Malzeme Modelleri ve Parametreleri:

  Zeminlerin ve yapıların malzeme özelliklerinin ve parametrelerinin belirlenmesi
- Adım 3: Zemin Profili:

  Zemin profilinin belirlenmesi
- Adım 4: Sonlu Elemanlar Ağı:

  Analizlerde kullanılacak sonlu elemanlar modelinin oluşturulması
- Adım 5: Sınır Şartları:

  Dinamik analizlerde sonlu eleman sınırlarının belirlenmesi önemli sorunlardan birisidir. Sonlu eleman analizlerinde, kullanılan bilgisayar ve program kapasitesinden dolayı zemin yanal olarak istenildiği kadar geniş alınamaz. Zemin ortamı üst yapıya belirli bir uzaklıkta bir miktar hataya sebep olabilse de, kesilerek sınırlar oluşturulur. Yayılan dalgaların, bu zemin bölgesinin sınırlarından yansıyıp geri dönmelerinin önlenmesi gerekir. Ayrıca bu sınırlardaki hareketin “serbest alan”daki harekete benzemesi de istenmektedir. Analizlerde kullanılan modellerle ilgili sınırların belirlenmesinde, y doğrultusundaki genişlik kazık başlığı altındaki zemin kalınlığına eşit alınabilirken, x doğrultusundaki genişlik sınır etkisinin ortadan kaldırılması amacıyla, yapının her iki kenarından

200m uzatılabilir. Ayrıca Sadek - Shahrour (2002) ve Zheng - Takeda (1995) çalışmalarında benzer yaklaşımlar kullanılmış olup, Zheng ve Takeda'nın çalışmasında 12xtemel genişliği ve Sadek ve Shahrour'un çalışmasında ise 200xkazık çapı alınmıştır. Modellerden de görüleceği gibi, ağ (mesh), kazıklar etrafında daha sık ve sınırlara yaklaştıkça daha seyrek olarak sonlu eleman ağı oluşturulmuştur.

- Adım 6: Deprem Hareketi:

Analizlerde ana kayaya uygulanacak deprem verisi, uygun frekans sınırları içerisinde filtrelenmeli ve temel çizgisi hataları (baseline errors) ortadan kaldırılmalıdır.

3.2.2. Kazık–Zemin-Yapı Etkileşimlerinin İrdelenmesi - Yükleme Durumları

Zeminin davranışı ile yapı-zemin sisteminin karşılıklı etkileşimlerinin irdelenmesi, sistematik olarak 3 aşamada ele alınmıştır:

-Statik Analiz: Hazırlanan model, önce jeolojik yüklerin elde edilmesi için kendi ağırlığı ile yüklenmiştir. Bunu oluşturmada, sabit bünye yükü CBF (constant body force) özelliği kullanılmıştır. Buradan elde edilen gerilme değerleri, ağı oluşturan elemanlara atanmıştır. Bu tip bir yükün tanımlanması, SSRE (rezidüel gerilme) komutu kullanılarak yapılmıştır. Bu atamalar yapılırken, zemin deformasyonları sıfırlanmakta, yalnızca zemin gerilmeleri elemanlara atanmaktadır.

- Özdeğer Analiz: Bir yapı deprem etkisinde rastgele titreşir. Bu titreşim, aslında harmonik olan modların birleşimidir. Bu modların analizi için bir özdeğer analizi gerekli olmaktadır. Sistemin özdeğer sayısı, sistemin serbestlik derecesine eşit olmaktadır. Bununla birlikte, bir yapının titreşimine ilk birkaç mod katkıda bulunmaktadır.Titreşim frekansları ve karşı gelen mod şekillerinin hesaplanması bir karma Jacobian yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerekli sayıdaki özdeğerler ile bunlara bağlı öz vektörlerin bulunmasında, tüm gerekli öz parçaların hesaplanmasında bir iterasyon işleminden yararlanılabilir.

- Dinamik Analiz: Genellikle deprem büyüklüğünü göz önüne almadan maksimum yatay zemin ivmesine göre bir sismik katsayı seçimine dayalı statik benzeşimli bir analiz, kısa süreli sismik kuvvetin sürekli etkidiği varsayımı

nedeniyle bizlere fazla tutucu sonuçlar vermektedir [Wakai ve Ugai,1997]. Sismik tasarım için dinamik analizin çok yararlı olduğu bilinmektedir. Geoteknik mühendisliğinde sismik tasarım, sadece yapıyla ilgili olmayıp, bunun yanında hem temel, hem de temel zemini ile ilgilidir. Temel zemini, temel ve yapının oluşturduğu sistemin, dinamik analiz sırasında birlikte ele alınması uygun bir yaklaşım olacaktır [Kimura et al., 1997]. Bu durumda, temel zemini ve yapının, doğrusal olmayan davranışlarının dikkate alındığı, zaman tanımlı bir analizde, tüm sistemi değerlendirmek oldukça güçtür. Büyük hesap yükü getirmesi, işlem hacminin fazla olması nedeniyle, hem bilgisayar programlama tekniği açısından, hem de belleğin ekonomik kullanılması açısından uygunluğu tartışılmaktadır. Böyle bir durumda, kazıklı temel ile zemin arasındaki doğrusal olmayan etkileşimin uygun bir biçimde değerlendirilmesi de ayrıca önemlidir.

Yapı-zemin dinamik etkileşimi çözümlerinde yapı ve zemini içeren uygun modeli oluşturduktan sonra, sistemde dış yük olan deprem ivme kaydı için sistemin çözülmesi ve iç kuvvetler, yer değiştirmeler gibi mühendislikte kullanılan büyüklüklerin belirlenmesi gereklidir. Sistemin doğru olarak çözülmesi de en az modeli oluşturmak kadar güçtür.

Deprem gibi dinamik yük hareketine maruz kalan kazıklı radye-zemin alt sisteminin analizinde dinamik denge eşitlikleri, matris formunda aşağıdaki biçimde yazılabilmektedir.

$$[M]\{\ddot{v}\}+[C]\{\dot{v}\}+[K]\{v\} =-[M]\{I\}\ddot{vo}(t)_o \qquad (3.4)$$

Burada;

- F(t); zamana-bağlı kuvvetler,
- $\{\ddot{v}\}$, $\{\dot{v}\}$, $\{v\}$; ilgili modlara göre ivme, hız ve yer değiştirmeler,
- [M], [C], [K]; sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrisleridir.

Hareket denklemi, verilen başlangıç koşullarından itibaren artan zaman aralıkları için adım adım entegre edilmesi ve de hareketin başından sonuna kadar tüm anlardaki değerlerin bulunması esasına dayanan adım adım entegrasyon (doğrudan entegrasyon) tekniğiyle çözülmüştür. Bu yöntem ayrıca, sistem içerisinde doğrusal

olmama özelliği ile gerçek fiziksel işlemleri yansıtmadaki yeteneğe de sahiptir. Bu çözüm tekniği ile deprem etkisi altında bulunan ortak sisteme ait yer değiştirmelerin taşıyıcı elemanlara ait kesit zorlarının, mod şekillerinin ve zemin gerilmelerinin zamana bağlı olarak çözümünün tek adımda hesabı amaçlanmıştır.

Doğrusal olmayan zaman tanımlı analizlerde, her bir zaman adımının başında, rijitlik matrisinin yeniden yapılandırıldığı uyarlanmış Newton-Raphson yaklaşımından yararlanılmıştır. Her bir zaman adımı içerisindeki iterasyonların, gerilmelerin yakınsaması uygun akma yüzeylerine ulaşıncaya kadar analiz yürütülmüştür.

3.3. Performansa Dayalı Tasarım

Bu tasarım yaklaşımında, belirli düzeylerdeki deprem yer hareketleri altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar sayısal olarak tahmin edilir ve bu hasarın her bir elemanda kabul edilebilir hasar limitlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilir. Kabul edilebilir hasar limitleri, çeşitli deprem düzeylerinde yapı için öngörülen performans hedefleri ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır. Eleman düzeyinde hesaplanması öngörülen deprem hasarı, şiddetli depremlerde genel olarak doğrusal elastik sınırlar ötesinde meydana nonlineer deformasyonlara karşı geldiğinden performansa göre tasarım yaklaşımı, doğrusal olmayan (nonlineer) analiz yöntemleri ve şekil değiştirmeye (deformasyona) göre tasarım kavramı ile doğrudan ilişkilidir. Yönetmelikte, hasarın sınırlı olmasının öngörüldüğü performans hedefleri için, geleneksel dayanıma göre tasarım ilkesi çerçevesinde doğrusal (lineer) analiz yöntemlerinin kullanılmasına da izin verilmektedir. (DLH Deprem Yönetmeliği Madde 1.1.2)

Yukarıda özetlenen tasarım yaklaşımı çerçevesinde, öncelikle liman yapıları öngörülen deprem performanslarına, kullanım amaçlarına ve sahip oldukları öneme göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılmışlardır.

3.3.1. Liman Yapıları

Liman yapılarının sınıflandırılması aşağıda özetlenmiştir:

- Özel Yapılar

- Deprem sonrasında acil yardım ve kurtarma amacı ile hemen kullanılması gereken yapılar
- Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddeler ile ilgili yapılar.

- Normal Yapılar
  - Can ve mal kaybının önlenmesi gereken yapılar
  - Ekonomik veya sosyal bakımdan önemli olan yapılar
  - Deprem sonrasında onarım ve güçlendirmesi zor ve zaman kaybına neden olacak yapılar.

- Basit Yapılar
  - Özel Sınıf ve Normal Sınıf taki yapıların dışında kalan daha az önemli yapılar
  - Önemsiz Sınıfı'ndaki yapıların dışında kalan yapılar.

- Önemsiz Yapılar
  - Kolaylıkla yeniden yapılabilecek yapılar,
  - İleri derecede hasar görmesi bile can güvenliğini tehlikeye atmayan yapılar
  - Geçici yapılar

3.3.2. Performans Düzeyleri

Kıyı ve liman yapıları ile demiryolu köprülerinin performans düzeyleri, deprem etkisi altında meydana gelmesi beklenen hasarlara bağlı olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır. Bu performans düzeyleri için kabul edilebilir hasar limitleri, her bir yapı tipi veya elemanı için ayrı ayrı ve sayısal olarak tanımlanmıştır.

- Minimum Hasar Performans Düzeyi (MH)

Minimum Hasar Performans Düzeyi, ilgili yapılarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi ile hiç hasar meydana gelmemesi veya meydana gelecek yapısal hasarın çok sınırlı olması durumunu tanımlayan performans düzeyidir. Bu durumda liman veya köprü operasyonu kesintisiz olarak devam eder veya meydana gelebilecek aksamalar birkaç gün içinde kolayca giderilebilecek düzeyde kalır.

- Kontrollü Hasar Performans Düzeyi (KH)

Kontrollü Hasar Performans Düzeyi, ilgili yapılarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında çok ağır olmayan ve onarılabilir hasarın meydana gelmesine izin verilen performans düzeyi olarak tanımlanır. Bu durumda, ilgili yapı veya elemana ilişkin liman veya köprü operasyonunda kısa süreli (birkaç hafta veya ay) aksamaların meydana gelmesi normaldir.

- İleri Hasar Performans Düzeyi (İH)

İleri Hasar Performans Düzeyi (İH), ilgili yapılarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında göçme öncesinde meydana gelen ileri derecedeki yaygın hasarı temsil etmektedir. Bu durumda, ilgili yapı veya elemana ilişkin liman veya köprü operasyonunda uzun süreli aksamaların meydana gelmesi, hatta operasyonun tamamen iptal edilmesi mümkündür.

- Göçme Hasarı Durumu (GH)

Bu durumda, ilgili yapılarda ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında tam göçme hasarı meydana gelir. İlgili yapı veya elemana ilişkin operasyona devam edilemez.

3.3.3. Deprem Düzeyleri

Yönetmelik kapsamındaki yapıların performansa göre tasarımında esas alınacak deprem düzeyleri aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır. Bu düzeylerdeki depremler için ivme spektrumlarını tanımlayan parametreler, Türkiye genelinde 0.02 derecelik enlem ve boylam artımları ile, Yönetmelik Ek-A'da verilmiştir. Yerel zemin etkisi ise Ek-B'ye göre belirlenecektir.

- (D1) Deprem Düzeyi

Bu deprem düzeyi, yönetmelik kapsamındaki yapıların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı fazla olan, göreli olarak sık ancak şiddeti çok yüksek olmayan deprem yer hareketlerini ifade etmektedir. (D1) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %50, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 72 yıldır.

- (D2) Deprem Düzeyi

Bu deprem düzeyi, yönetmelik kapsamındaki yapıların servis ömürleri boyunca meydana gelebilmesi olasılığı çok fazla olmayan, seyrek ancak şiddetli deprem yer hareketlerini ifade etmektedir. (D2) düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %10, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 475 yıldır.

- (D3) Deprem Düzeyi

Bu deprem düzeyi, yönetmelik kapsamındaki yapıların maruz kalabileceği en şiddetli deprem yer hareketini ifade etmektedir. (D3) düzeyindeki bu çok seyrek depremin 50 yılda aşılma olasılığı %2, buna karşı gelen dönüş periyodu ise 2475 yıldır.

3.3.4. Öngörülen Performans Hedefleri

Kullanım amacı, türü ve önemine göre performans sınıfları tanımlanan kıyı ve liman yapıları ile demiryolu köprüleri için hedeflenen performans düzeyleri, yukarıda tanımlanmış bulunan deprem düzeylerine bağlı olarak Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Kıyı ve liman yapılarında çeşitli deprem düzeylerinde hedeflenen performans düzeyleri.

Yapının Sınıfı	(D1) Deprem Düzeyi	(D2) Deprem Düzeyi	(D3) Deprem Düzeyi
Özel	-	MH	KH
Normal	MH	KH	(İH)
Basit	KH	(İH)	-
Önemsiz	(İH)	(GH)	-

Not: Tablolarda parantez içinde gösterilen performans hedefinin kendiliğinden gerçekleşeceği varsayılmaktadır. Bunlar için analize gerek yoktur.

3.4. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi; farklı mühendislik problemlerini çözmek için kullanılan bir yöntemdir. Problemin genel bir denkleminin yazımı ve denklemin çözümü yerine önce ortam sonlu elemanlara ayrılır ve her eleman için problemin bütünü göz önüne alınarak denklemler çıkartılır. Mevcut sınır şartları dikkate alınarak elemanlar birleştirilir ve ortamın tamamı için matris şeklinde denklemler elde edilir. Elde edilen denklem takımları çözülerek bilinmeyenler hesaplanır. Bu yöntemde, sürekli ortam önce sonlu sayıda elemanlara bölünür. Bu elemanlar birbirine düğüm noktaları olarak adlandırılan sonlu sayıda noktalarla bağlıdır [Bathe, 1967], [Cook et al., 1989].

Her elemanın düğüm noktalarına serbestlik derecesi kadar bilinmeyen sayısı vardır. Eleman davranışı bu bilinmeyen serbestlik dereceleri içeren denklemlerle ifade edilir. Gerek düğüm noktalarında gerekse eleman sınır yüzeylerinde bazı süreklilik şartları sağlandığında cismin veya yapının matematiksel bir modeli elde edilmiş olur. Böylece sonsuz serbestlik derecesi olan bir modele dönüştürülür. Bu modele yapının sonlu eleman ağı adı verilir.

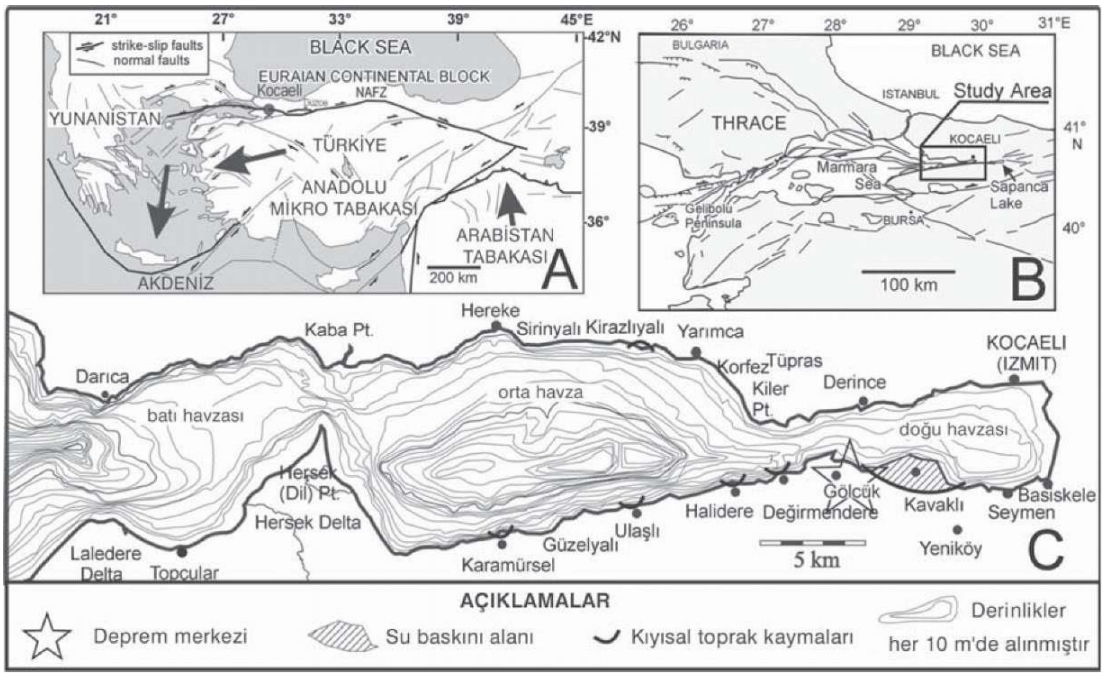
Sonlu elemanlar yönteminde elemanlar geometrisine göre, (üçgen, paralel kenar, dörtgen),düğüm sayısına göre, düğüm sayısındaki bilinmeyenlere göre ve sürekli ortam probleminin özelliklerine göre (plak, levha, kabuk problemleri) sınıflanır. Ayrıca eleman temel matrislerin elde edilmesine göre de elemanları matematik modelleme açısından sınıflandırmak mümkündür [Cook et al., 1989]. Yapının davranış sisteminin serbestlik dereceleri bilinmeyenler olarak kabul edildikten sonra bir denklemler silsilesi ile ifade edilmesi mümkündür. Modeldeki doğruluk ve kesinlik, alınan elemanların davranışlarının kabulüne ve ağdaki eleman sayısına bağlıdır. Genel olarak, eleman sayısı arttıkça bilinmeyenlerin sayısında da bir artış olur ve neticede sonuçların doğruluk ve kesinliği de artar [Bathe, 1967].

4. VAKA ANALİZİ

4.1. İzmit Körfezi'nin Genel Özellikleri Ve Deniz Yapıları

Marmara Denizi'nin bir uzantısı şeklinde Darıca'dan doğuya doğru yaklaşık 50 km uzanan İzmit Körfezi, yıllardan beri coğrafi konumu, jeolojik ve yapısal özellikleri bakımından bir çok yerli ve yabancı araştırmacının dikkatini çekmiştir.

Genişliği 1800 m (Tütünçiftlik ve Yüzbaşılar, Gölcük arası) ile 9800 m (Hereke ve Karamürsel arası) arasında değişen İzmit Körfezi, en doğudaki İzmit havzasından ayrı olarak, biri Hersek burnunun batısında, diğeri ise doğusundaki fay kontrollü iki derin deniz çukurundan oluşmaktadır (Şekil 4.1). Hersek burnunun doğusundaki Karamürsel havzası yaklaşık olarak 18 km uzunluğunda 10 km genişliğin- dedir. Doğudaki çukurluğun en derin yeri Ulaşlı açıklarında 204 metredir. Güney kesimi kuzeyine göre daha eğimlidir. Batıdaki Çınarcık Havzası ise Marmara Denizi'nin en büyük havzasıdır. Bu çukurluklar Pliyosen'de oluşan sismik aktivitenin denetiminde gelişmişlerdir [Ergün ve Yörük, 1990].



Şekil 4.1: İzmit körfezi fay haritası. a) Türkiye fay haritası, b) Marmara bölgesi fay haritası, c) İzmit Körfezi havza haritası

Yaklaşık 1500 km olan sağ-yanal atımlı Kuzey Anadolu Transform Fay Zonu (KAF) Marmara Denizi'nin doğusunda üç kola ayrılmaktadır. Güney kol Yenişehir ile Edremit arasındadır. Orta kol Geyve'den Bandırma'ya kadar Marmara kıyı çizgisini izler ve Bayramiç'ten Ege Denizi'ne girer. Kuzey kol ise İzmit Körfezi ile derin Marmara'yı yanal geçerek Saroz Körfezi'ne doğru yönlenmektedir [Barka, 1992].

4.1.1. 1999 Gölcük Depremi Ve Körfezde Hasar Gören Deniz Yapıları

Şekil 4.2: İzmit körfezinin haritası.

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde nüfus yoğunluğunun en fazla olduğu Doğu Marmara Bölgesini etkilenmiştir. Bu deprem Şekil 4.3'de görülen özelliklere sahiptir.

Tablo 4.1: 17/08/1999 Depremine ait bazı özellikler.

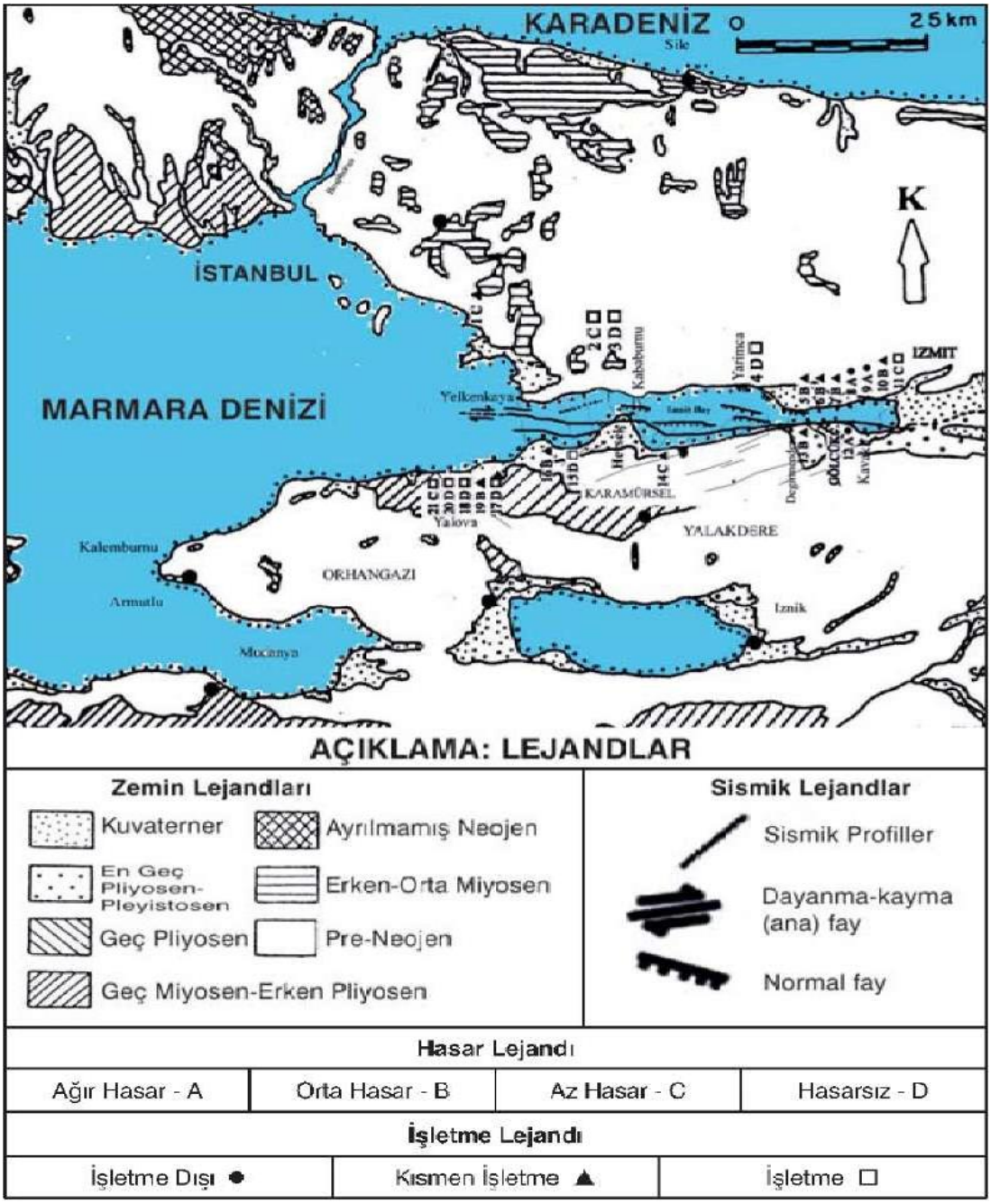
Tarih ve Saat 17.08.1999	03:01:37 a.m. yerel saat 00:01 39.80
Yüzey Dalga Büyüklüğü	7.8
Kütlesel Dalga Büyüklüğü	6.3
Süresel Büyüklük	6.7 (Kandilli)
Moment Büyüklüğü	7.4 (Kandilli)
Odak	40.702 N
Merkez	Gölcük

Bu depremde kara yapılarının yanında deniz yapıları ve kıyı alanları da hasar görmüştür. Bu nedenle birçok limanda işletmeler aksamış ve deniz yapılarının bir kısmı kullanılamaz duruma gelmiştir. Bu amaçla, İzmit Körfezi kıyı alanında mevcut olan deniz yapıları incelenerek deprem hasarları belirlenmeye çalışılmıştır. Böylece hasar nedenleri araştırılabilecek ve gelecekte olması muhtemel deprem etkilerine karşı koyabilecek sismik performansları daha iyi olan yapısal tasarımlar gerçekleştirilebilecektir [Yüksel ve Güler, 2002].

İzmit Körfezi gerek çevresel etkenlere (dalga, rüzgar vb. gibi) karşı korunaklı bir konumda bulunması, gerekse jeopolitik açıdan emniyetli bir coğrafyaya sahibi olmasının yanı sıra İstanbul gibi ticari, sanayi, turizm ve eğitim işlevlerinin en yoğun olduğu şehrin hinterlandı içinde kalması nedeniyle sivil ve askeri amaçlı çok sayıda deniz yapısının bu körfezin kıyı şeridi boyunca inşa edilmesine sebep olmuştur. Ayrıca bu bölgede karayolu, demiryolu ve havayolu gibi ulaşım sistemlerinin gelişmiş olması da, Türkiye'nin daha iç bölgelerine hizmet verme imkânını sağlamaktadır. Bu bölgede, sanayinin de çok gelişmesi ithalat ve ihracatın en büyük yüzdeyle yapıldığı deniz taşımacılığı dolayısıyla gerek devlete gerekse özel sektöre ait çok sayıda limanın gelişmesine neden olmuştur. Sanayi tesisleri ve bunlara hizmet veren yanaşma yapıları ile diğer limanlar çoğunlukla körfezin kuzey kıyılarında yer almışlardır. Marmara Bölgesi'nin, özellikle İstanbul'un tarihi dokusu nedeniyle bölgede turizme yönelik yatırımların da artmasına sebep olmuştur. Bu nedenle yat limanları inşa edilmiştir, bir kısmında ya inşa edilme ya da planlama aşamasındadır. Ayrıca, körfezde balıkçılıkla uğraşan halka hizmet amacıyla birçok inşa edilmiş balıkçı barınağı da mevcuttur. Körfez Bölgesi sahibi olduğu sanayi potansiyeli ile Türkiye Cumhuriyeti Devleti için son derece hayati bir yapıya sahiptir.

Ne yazık ki bütün bu gelişmişliğe karşın bölgenin tarih boyunca gelişiminde karşılaştığı sismik hareketler, bu yapılanmayı korkutucu biçimde tehdit etmektedir. Bu amaçla, yöredeki gerek sanayi yapılarının gerekse bunlara hizmet veren en önemli ulaşım yapılarından biri olan deniz yapılarının sismik performansları çok dikkatlice tasarlanmalıdır. 17 Ağustos 1999 Gölcük merkezli Gölcük depreminin bu yapılarda neden olduğu hasarların envanterinin hazırlanması ve bu hasarların nedenlerinin araştırılması bu araştırmanın başlıca amacıdır. Bu nedenle Tablo 2'de görülen İzmit Körfezi üzerinde kurulu bulunan deniz yapılarından 21 adedinde hasar tespit çalışmaları yapılmıştır. Değişik hizmetlere sahip bu deniz yapılarının öncelikle yapısal durumları ve geoteknik yapıları, daha sonrada oluşan hasarlar belirlenmiştir [Yüksel ve Güler, 2002].

Yapı-Hasar dağılımı incelendiğinde hasarın ağır ve orta büyüklükte olduğu deniz yapılarının kuva- terner yaşlı çökeller üzerine kurulu olduğu görülmektedir. Bu durum stratigrafik dikme kesitlerinden görüldüğü gibi zemin kum, kil ve silt kil çökellerden oluşmaktadır. Yeteri zemin etüdünün yapılmaması dolayısıyla zemin ıslah çalışmalarının da yetersiz kalması bu yapılardaki hasarın artmasına neden olmuştur. Ayrıca yapılar 1997 deprem şartnamesinden önce tasarlanmış ve deprem bölge katsayıları Gölcük depremi yer ivmesine göre düşük alınmıştır. Bu durum güvenliklerin küçük olmasına neden olmuştur. O halde zemin şartları ve yapı tipi ile tasarım kriterleri deniz yapılarının depreme karşı sismik performanslarını etkilemiştir [Yüksel ve Güler, 2002].



Şekil 4.3: Marmara bölgesi jeoloji haritası.

Tablo 4.2: Kocaeli depremi sonrası yapı hasar dağılımları.

SIRA NO	TESİS ADI	YAPI TİPİ	HASAR DURUMU	İŞLETME DURUMU	MERKEZ UZAKLIK (KM)
1	TUZLA TERSANE LİMANI	Beton Bloklu Rıhtım, Beton Blok Dalgakıran	C	▲	48
2	ESKİHİSAR FERİBOT İSKELESİ	Beton Bloklu Rıhtım, Kapak Atma Rampası	C	□	35
3	ESKİ HİSAR BALIKÇI BARINAĞI	Taş Dolgu Dalgakıran	D	□	35
4	ROTA DENİZCİLİK İSKELESİ	Betonarme Kazıklı İskele	D	□	8.5
5	TÜPRAŞ KIYI TESİSLERİ	Betonarme ve Çelik Kazıklı İskeleler	B	▲	5.5
6	DERİNCE LİMANI	Beton Bloklu ve Kazıklı Rıtımlar	B	▲	3
7	PETROLOFİSİ İSKELESİ	Betonarme ve Çelik Kazıklı İskleler	A	▲	4.5
8	SHELL DERİNCE İSKELESİ	Çelik Kazıklı İskele	A	●	5
9	KORUMA TARIM İSKELESİ	Betonarme Kazıklı İskele	A	●	5.5
10	TRANSTÜRK İSKELESİ	Çelik Kazıklı İskele	B	▲	6
11	İZMİT YAT LİMANI	Betonarme Kazıklı İskele	C	□	9.5
12	UM DENİZCİLİK LİMAN TESİSİLERİ	Çelik Kazıklı İskele	A	●	7.5
13	GÖLCÜK TERSANE KIYI TESİSİLERİ	Çelik Kazıklı İskele	B	▲	0.0
14	KARAMÜRSEL EREĞLİ BALIKÇI BARINAĞI	Taş Dolgu Dalgakıran	C	▲	13.5
15	TOPÇULAR FERİBOT İSKELESİ	Betonarme Palplanjlı Dolgu ve Çelik Kazıklı İskele	D	□	32
16	AKSA İSKELE VE DOLFENLERİ	Çelik Kazıklı İskele	B	▲	43
17	YALOVA YAT LİMANI	Taş Dolgu Dalgakıran	D	□	48
18	KORUKÖY İSKELESİ	Betonarme Kazıklı İskele	D	□	56
19	ÇINARCIK BALIKÇI BARINAĞI	Taş Dolgu Dalgakıran	B	▲	65
20	KOCADERE MOTOR İSKELESİ	Betonarme Kazıklı İskele	D	□	71

4.1.2. Körfez Bölgesindeki Deniz Yapılarında Yapı Hasar Dağılımı

Körfez Bölgesi'nde deniz yapılarında yapılan hasar tespit çalışmaları ve bu yapıların sismik performanslarının da değerlendirilmesinden sonra yapı zemin etkileşimleri de dikkate alınarak Kocaeli Depremi sonrası yapı hasar dağılımlarının elde edilmesine çalışılmıştır (Tablo 4.1, 4.2).

- Hasar Tanımları: Bu amaçla öncelikle yapılar oluşan hasar durumlarına göre dört ana gruba ayrılmıştır. Bu hasar durumları aşağıdaki tanımlara göre belirlenmiştir [Yüksel ve Güler, 2002].

  - Ağır Hasar: Yapı toptan göçmeye uğramış ve yeniden inşa edilmelidir. Bu durumda işletme tamamen durmuştur.
  - Orta Hasar: Yapıda kısmi hasarlar mevcuttur, yapının kalan kısmında da görünür fakat işletmeyi engelleyici hasar yoktur. Servis sistemleri hasar görmüş olmasına karşın geçici servis imkanları oluşturulabilir. Kontrollü de olsa kısmi işletme yapılabilir. Yapıdaki hasarların durumuna göre yeniden yapılanma ve restorasyon gerekmektedir.
  - Az Hasar: Yapıda kısmi küçük hasarlar oluşmuştur. Bu hasarlar işletmeyi engellememektedir. Yapı restorasyon çalışmalarıyla tam olarak hizmet verebilecek duruma gelebilir.
  - Hasarsız: Yapıda işletmeyi engelleyici herhangi bir hasar meydana gelmemiştir.

- İşletme Durumu: Yapıların deprem sonrası işletmedeki durumları üçe ayrılmıştır.

  - İşletme Dışı: Yapı toptan göçmüş, böylece hiçbir şekilde yapı hizmet verememektedir.
  - Kısmen İşletme: Yapı orta ya da az hasarlıdır, bu durumda yapı tam aktivite ile yeteri hizmeti verememektedir.
  - İşletmede: Yapı az hasarlı ya da hasarsızdır, bu durumda yapı hizmeti aksatmamaktadır.

4.1.3. Körfez Bölgesinin Geoteknik Kriterleri ile Zemin Durumu

Bölgedeki kıyı yapılarının altında yer alan Kuaverterner yaşlı çökeller geoteknik kriterleri göz önüne alınarak 3 bölgede incelenmiş olup yerel morfoloji nedeniyle küçük farklılıklar göstermekle birlikte genel olarak aşağıdaki gibi özetlenmiştir [Yüksel ve Güler, 2002].

- Yelkenkaya Burnu-Yarımca Arası Zemin Profili: 3-10m güncel deniz tabanı çökelleri, genellikle üstte 2-3m kalınlığında gevşek-orta sıkı kavkılı killi kum ve çakıl, alta doğru çakıllı orta sıkı- çok sıkı kum veya orta katı-sert kil seviyesinden oluşmaktadır.
- Yarımca-Değirmendere Arası Zemin Profili: Üstte güncel deniz tabanı çökelleri olarak nitelendirilen Holosen yaşlı çok yumuşak- yumuşak kil (SPT N=0-4) olup kalınlığı sahilden derine doğru artarak 5-25 m arasında değişmektedir. Kıyı yapıları altındaki Holosen yaşlı bu tabakanın kalınlığı 20-30 m civarında olup altında Geç Piliyosen-Pleyistosen yaşlı taşıyıcı nitelikte orta katı-sert kıvamında kil ve/veya orta sıkı çok sıkı kum seviyeleri yer almaktadır.
- Değirmendere-Kalem Burnu Arası Zemin Profili: Bu bölgenin jeolojik ve jeomorfolojik yapısı Körfezin kuzeyinden oldukça farklılık göstermekte olup delta çökelleri daha büyük loblar oluşturur. Muhtelif kıyı yapılarının yer aldığı Yalova ve Hersek gibi yerleşim yerleri delta ve denizel bataklık çökellerinin üzerinde yer almaktadır. Çınarcık ise yamaç molozu çökelleri, denizel kıyı düzlüğü çökelleri ve Plaj çökelleri üzerine kurulmuş bir yerleşim birimidir.

Genel olarak zemin profili üstte Holosen yaşlı 5-20 m kalınlığında çok yumuşak-yumuşak kil ve/veya çok gevşek-gevşek kum altta ise Geç Piliyosen-Pleyistosen yaşlı taşıyıcı nitelikte çok katı-sert kıvamında kil ve/veya orta sıkı-çok sıkı kum seviyeleri yer almaktadır. Hersek Deltasında yapılan bir sondajda taşıyıcı nitelikli bu zeminin -118 m de tabanına ulaşılamamıştır [Yüksel ve Güler, 2002].

4.1.4. 1999 Gölcük Depreminde Deniz Yapılarında Tespit Edilen Durumlar

Gölcük depreminde deniz yapılarında aşağıda belirtilen tipik davranışlar belirlenmiştir:

- Taş dolgu dalgakıranlar eğer temel zeminleri yeterli taşıma gücüne sahip değilse oturma nedeniyle kronman kotları değişmiş ve deformasyona uğramışlardır (Karamürsel Ereğli Balıkçı Barınağı'nda olduğu gibi).
- Ağırlıklı blok tipli rıhtımlar genellikle düşey deplasman yerine denize doğru yatay deplasman yapmışlardır, bunun nedeni ise geri dolgularında kullanılan zemin kalitesi ve sıvılaşmadır. Ayrıca bu tip yapıların, deprem katsayılarının küçük alınarak tasarlanmış olmaları kaymaya karşı güvenirliklerinin küçük olmasına neden olmuştur.
- Kazıklı yanaşma yapılarında, kazık başlarında kırıklar belirlenmiştir. Bunun nedenleri genellikle yapım hatalarından kaynaklanmıştır. Ağır hasara neden olan kazıklı yapılarda ise kazık boylarının kısa olduğu belirlenmiştir. Çelik kazıklarda ise sakin su seviyesi civarındaki korozyon bu bölgede kazıkların buruşmasına neden olmuştur.
- Kompozit yapılarda, bu yapıların birbirlerine göre farklı dinamik davranışlarından dolayı hasar daha büyük olmaktadır.

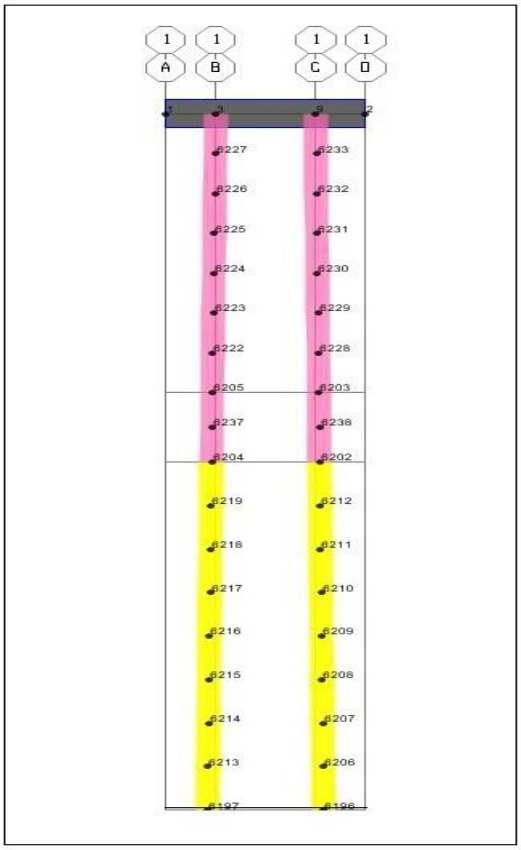
Çökellerin oluşturduğu zeminler yukarıda bahsedildiği gibi iyi etüd edilmeli ve yapılaşmada zemin ıslahı yapılmalıdır. Deprem nedeniyle kıyı çizgisinin değiştiği kıyı alanlarında yeni dolgu alanlarından kaçınılmalıdır.

4.2. Eğik Kazıklı Kıyı Yapılarının Deprem Performansının İncelenmesi

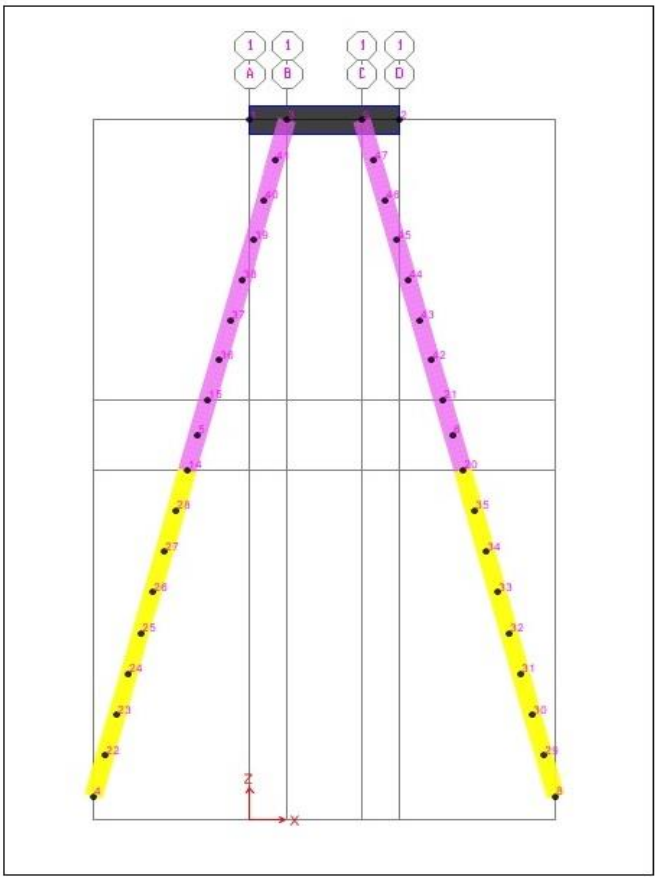
4.2.1. Modellemelerin İncelenmesi

Bu çalışmada dört farklı açılardaki (0°,15°,30°,45°) eğik kazıklı düzlemsel kıyı yapılarının doğrusal olmayan modelleri oluşturulmuştur (Şekil 4.4, 4.5, 4.6). 30 m uzunluğunda, 0,711m çapında ve 0,009m et kalınlığındaki çelik tüp kesitli kazıklar

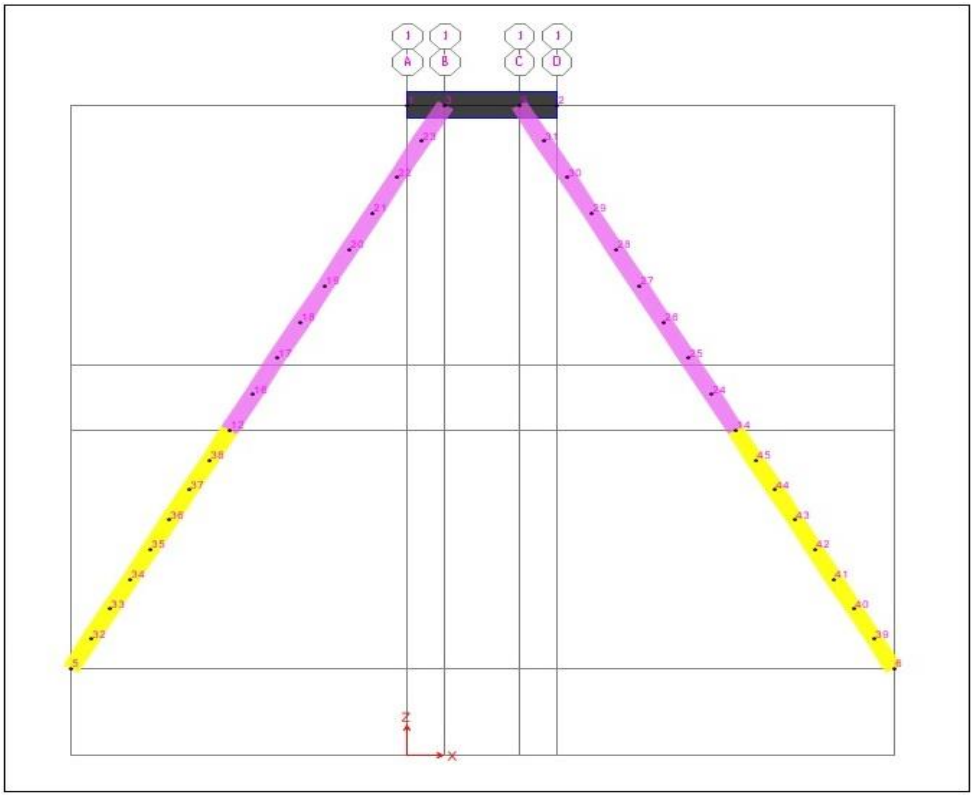
için çelik sınıfı Fe52 (akma gerilmesi=380 MPa) alınmıştır. Başlık kirişi ile deniz tabanı arası 12m kabul edilmiş ve çelik kazıkların içi başlık seviyesinin 15m altına kadar betonarme ile doldurulmuştur. Çelik tüplerde ve başlık kirişinde kullanılan beton sınıfının minimum basınç dayanımı 30 MPa alınmıştır. Yapının başlık kirişi 1,65m*6m ebatlarından ve 1,2m yüksekliğinden oluşmaktadır. Boyuna donatı için çelik sınıfı S420 (akma gerilmesi=500 MPa), etriyeler için ise S220 (akma gerilmesi=270MPa) alınmıştır. Analizler SAP2000, V15.0 kullanılarak yapılmıştır.



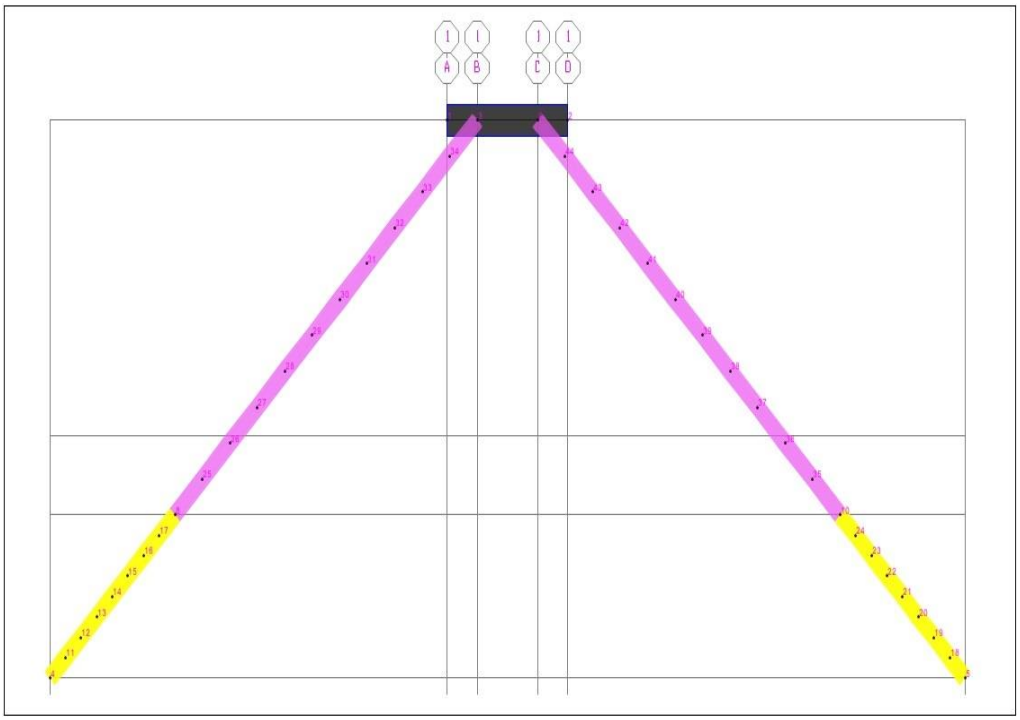
Şekil 4.4: 0° Eğik kazıklı doğrusal olmayan yapı modeli.



Şekil 4.5: 15° Eğik kazıklı doğrusal olmayan yapı modeli.



Şekil 4.6: 30° Eğik kazıklı doğrusal olmayan yapı modeli.



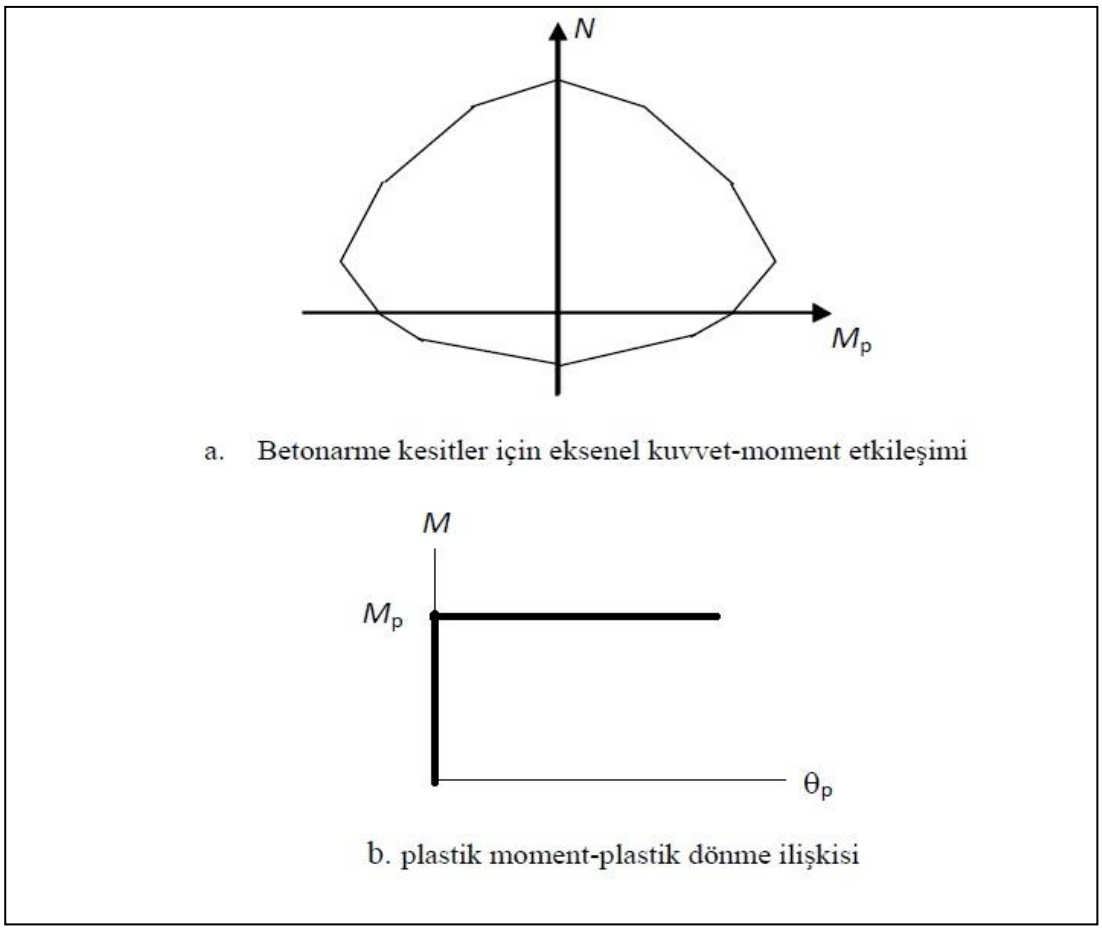
Şekil 4.7: 45° Eğik kazıklı doğrusal olmayan yapı modeli.

4.2.2. Deprem Performansının Değerlendirilmesi

Yapısal elemanlar (kazıklar ve başlık kirişleri) doğrusal olmayan bir şekilde modellenmiştir. Kazıkların zeminle etkileşimi ise doğrusal olmayan zemin yayları ile göz önüne alınmıştır. Bu amaçla oluşturulan ayrık zemin yaylarının modellenmesinde doğrusal elastik olmayan; a) eksenel doğrultuda kazık çeperi boyunca (t-z eğrileri), b)kazık ucunda (Q-z eğrileri) kuvvet-yer değiştirme ilişkileri, c)birbirine dik iki yatay doğrultuda (p-y eğrileri) göz önüne alınmıştır. Deprem performansının değerlendirilmesi için yapılan itme analizinin başlangıç koşullarını belirlemek için ilk aşamada uygun yüklemeler altında statik analiz yapılmıştır. Daha sonra yapılarda X doğrultusunda mod şekline uygun olarak yapılan itme analizi sonucunda modal yer değiştirme istemleri hesaplanmıştır. Yapıların X doğrultudaki deprem performansının değerlendirilmesi ise kazıkların plastik kesitleri için tanımlanan birim şekil değiştirme kapasiteleri kullanılarak yapılmıştır. Yapıların deprem performansının değerlendirilmesinde ilgili yönetmelikler doğrultusunda aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Kazıklı iskele yapısı normal yapı olarak sınıflandırılmıştır.

- Deprem performansının değerlendirilmesinde D1 deprem seviyesi kullanılmıştır. D1 deprem seviyesi, 50 senede aşılma olasılığı %50 olan deprem seviyesine karşılık gelmektedir. D1 deprem seviyesine ait tasarım spektrumları Şekil 4.8'de verilmiştir.
- Zemin sınıfı D alınmıştır.
- Plastik mafsalların sadece kazıklarda ve kazık başlıklarında oluşmasına izin verilmiştir.
- Plastik mafsal boyları kazık-başlık kirişi birleşimlerinde ve zemin seviyesinin altında 0.44*fy*db alınmıştır. fy ve db, sırasıyla, donatı çeliğinin akma gerilmesi ve boyuna donatı çapı olarak tanımlanmıştır.
- Su seviyesinin altındaki kazık kısımlarında ek su kütlesi tanımlanmıştır.
- Kazıkların bileşik eğilme etkisi altında doğrusal olmayan davranışlarının idealleştirilmesinde plastik mafsal hipotezi kullanılmıştır.
- Çelik ve betonarme kesitlerin doğrusal olmayan davranışlarının tanımlanmasında doğrusallaştırılmış akma yüzeyleri kullanılmıştır (Şekil 4.8a).
- Plastik moment-plastik dönme bağıntılarında pekleşme etkisi dikkate alınmamıştır (Şekil 4.8b).
- Kazık-zemin etkileşimi doğrusal olmayan zemin yayları ile dikkate alınmıştır. Bu amaçla oluşturulan ayrık zemin yaylarının modellenmesinde doğrusal elastik olmayan; a)birbirine dik iki yatay doğrultuda (p-y eğrileri), b)eksenel doğrultuda kazık çeperi boyunca (t-z eğrileri), c)kazık ucunda (Q-z eğrileri) kuvvet-yer değiştirme ilişkileri gözönüne alınmıştır. Şekil 4.9, 4.10, 4.11’de yapı için tanımlanan t-z, Q-z ve P-y eğrileri verilmiştir.

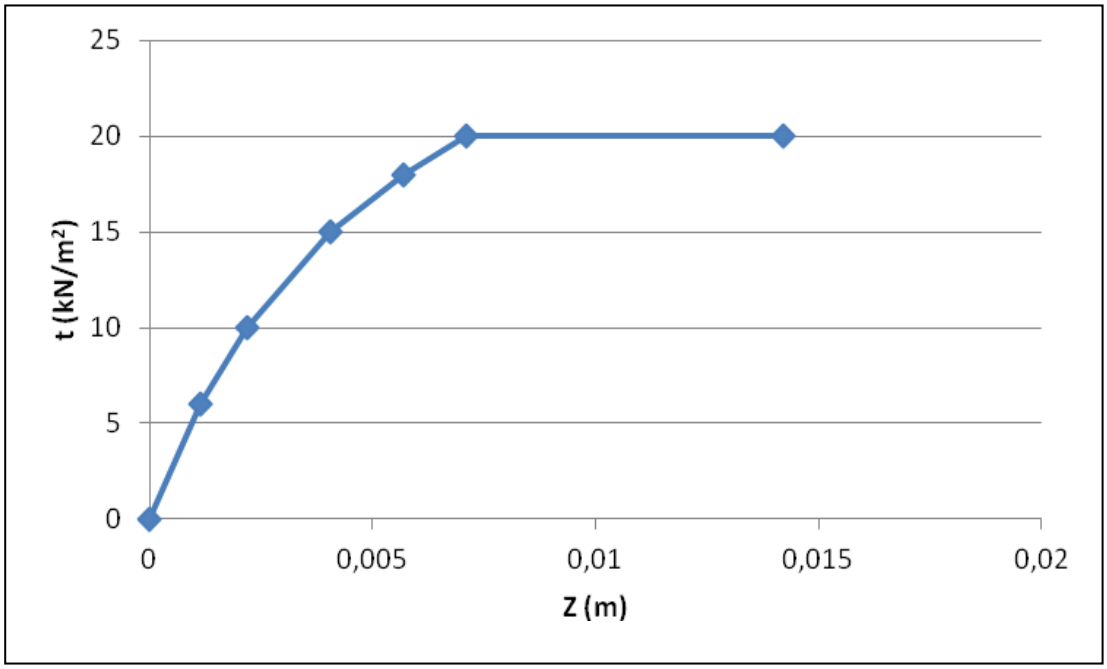


Şekil 4.8. Betonarme kesitler için akma yüzeyleri ve plastik moment-plastik moment ilişkisi.

4.2.3. Basitleştirilmiş “t-z”, “Q-z”, “p-y” Eğrileri

Tablo 4.3: Kazık çeperi boyunca oluşan “t-z” ilişki tablosu.

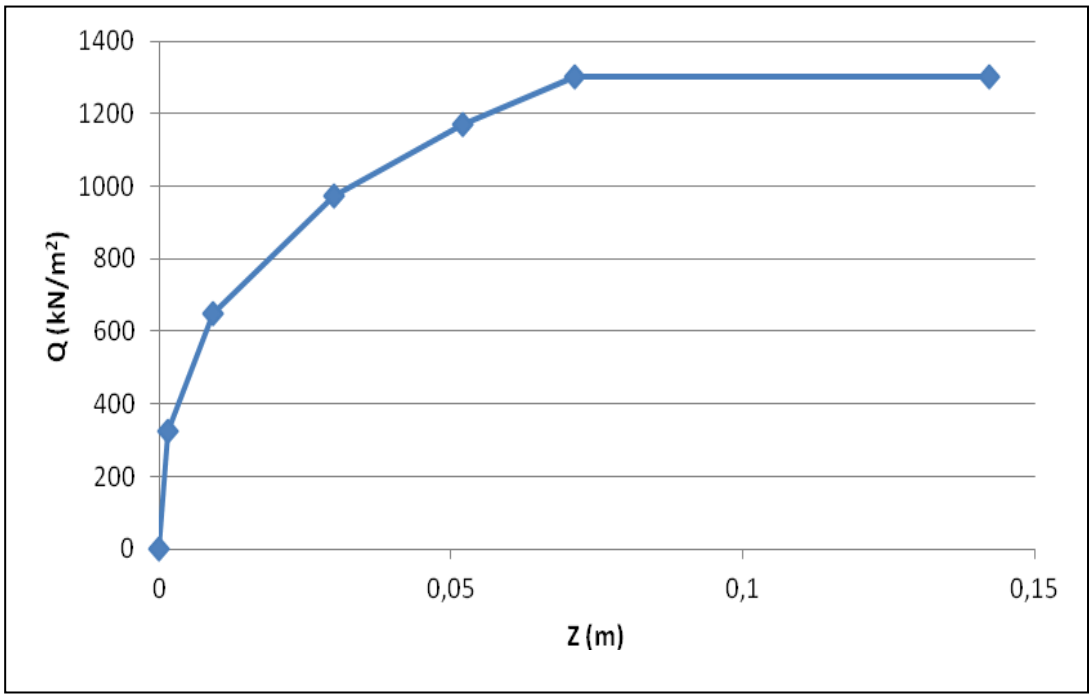
Z/D	t/t_{maks}
0	0
0,0016	0,3
0,0031	0,5
0,0057	0,75
0,008	0,9
0,01	1
0,02	1



Şekil 4.9: Basitleştirilmiş *t-z* eğrisi.

Tablo 4.4: Kazık ucunda oluşan “Q-z” ilişki tablosu.

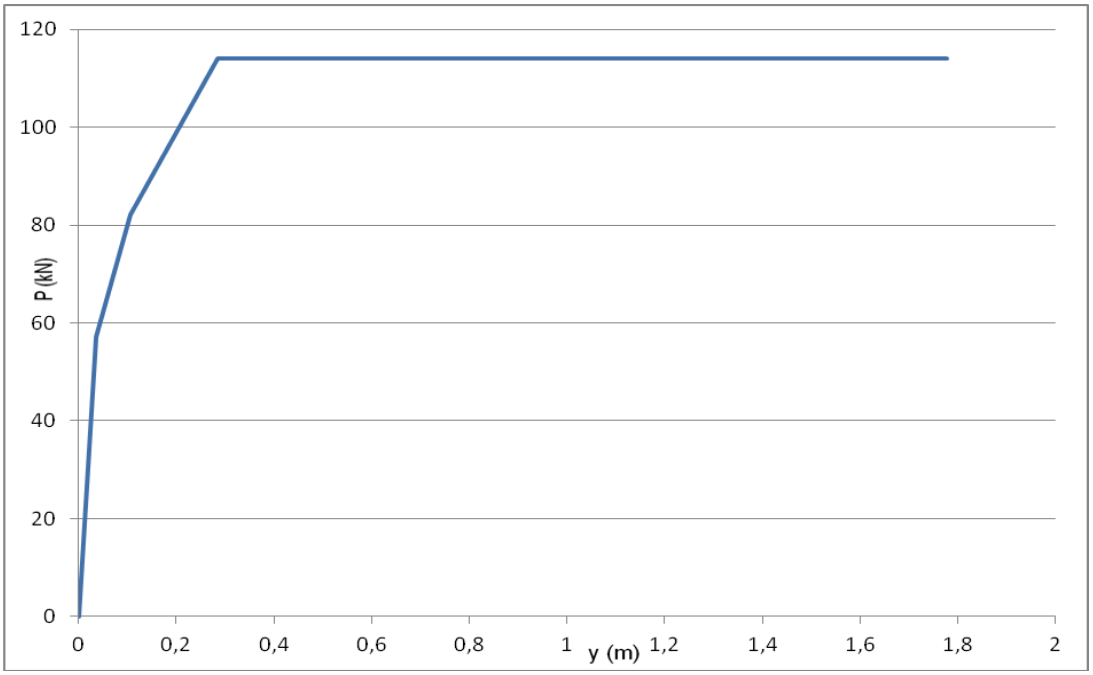
Z/D	Q/Q_p
0	0
0,002	0,25
0,013	0,5
0,042	0,75
0,073	0,9
0,1	1



Şekil 4.10: Basitleştirilmiş *Q*-z eğrisi.

Tablo 4.5: Yatay doğrultuda oluşan “p-y” ilişki tablosu.

$X>X_R$		$X<X_R$	
p/p_u	y/y_c	p/p_u	y/y_c
0	0	0	0
0,5	1	0,5	1
0,72	3	0,72	3
0,72	∞	$0.72X/X_R$	15
-	-	$0.72X/X_R$	∞



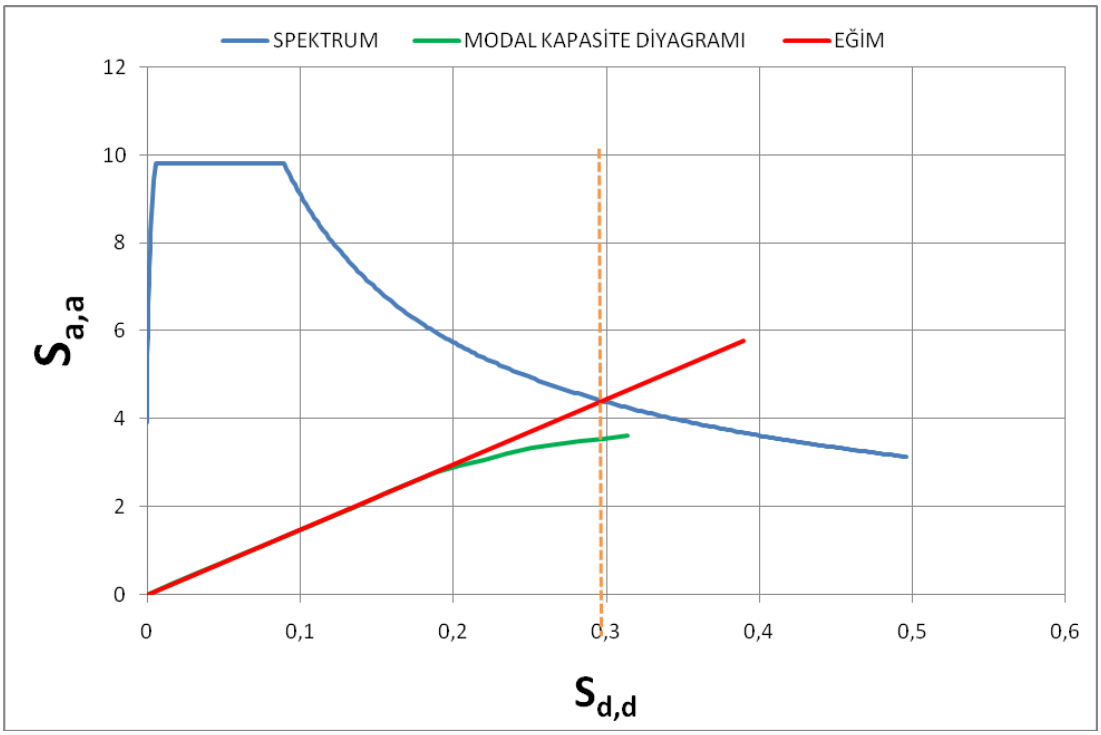
Şekil 4.11: Basitleştirilmiş *p-y* eğrisi.

4.2.4. Performans Analizleri

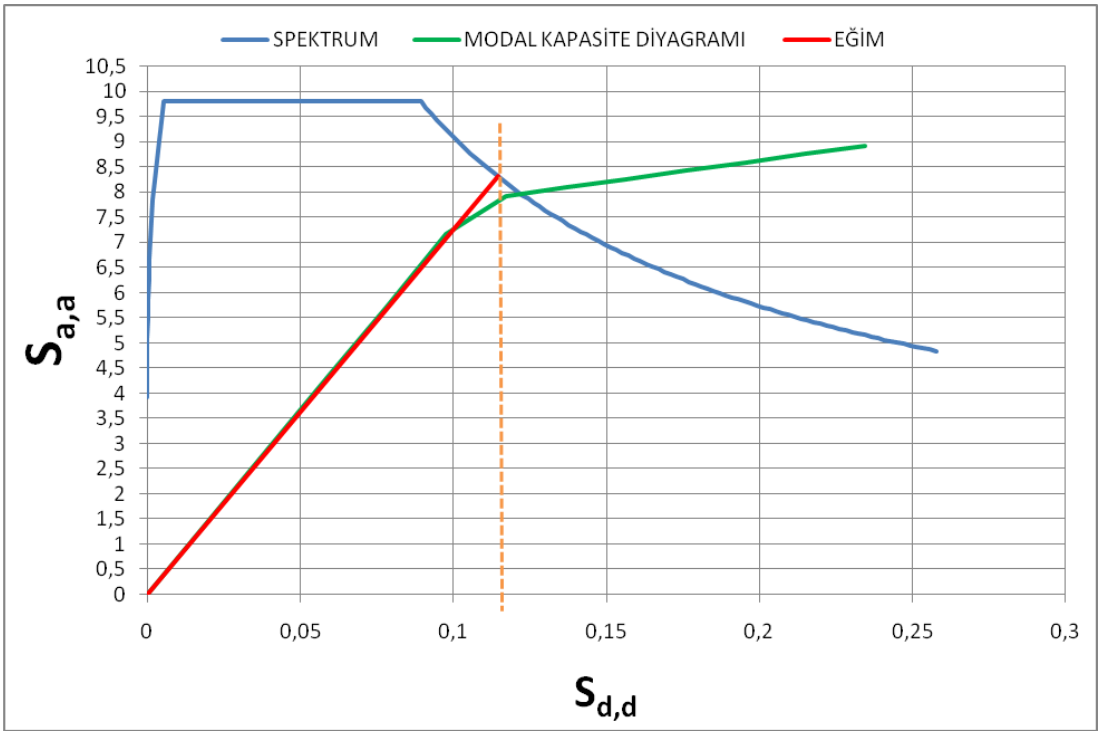
DLH (2008) her deprem seviyesi için farklı performans düzeyleri tanımlamıştır. D1 ve D2 deprem düzeylerindeki deprem hareketlerine maruz yapıların, sırasıyla, minimum hasar ve kontrollü hasar performans düzeylerini sağlamaları beklenmektedir (DLH, 2008).

Dayanıma göre tasarımdan farklı olarak, DLH (2008) yönetmeliği kazıklı iskelelerin deprem performanslarının değerlendirilmesinde doğrusal olmayan statik

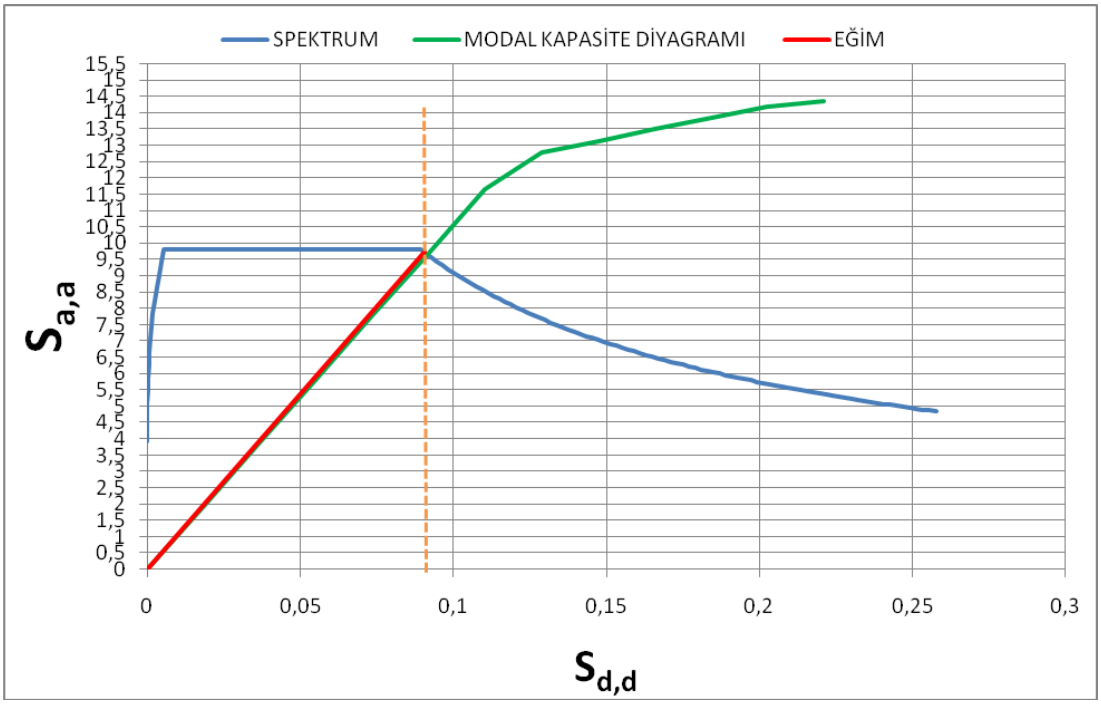
öteleme analizi (pushover) yapılmasını gerektirmektedir. Buna göre 0°,15°,30°,45°'lik yapısal modellerde, ölü yükü başlangıç koşulları altında her iki ortogonal doğrultudaki mod şekillerine uygun olarak doğrusal olmayan statik öteleme analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda D1 deprem seviyesi için elde edilen her bir modele ait modal kapasite-davranış spektrumları Şekil 4.12, 4.13, 4.14, 4.15'da verilmiştir.



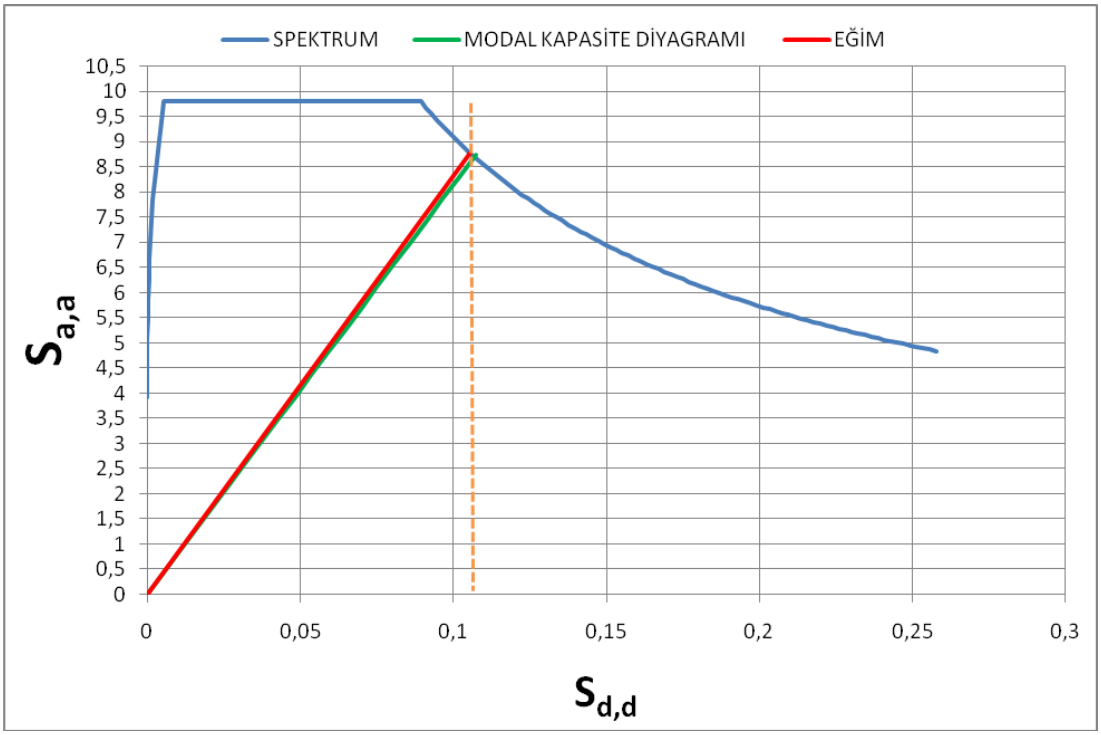
Şekil 4.12: 0° için modal kapasite-davranış spektrumu eğrileri.



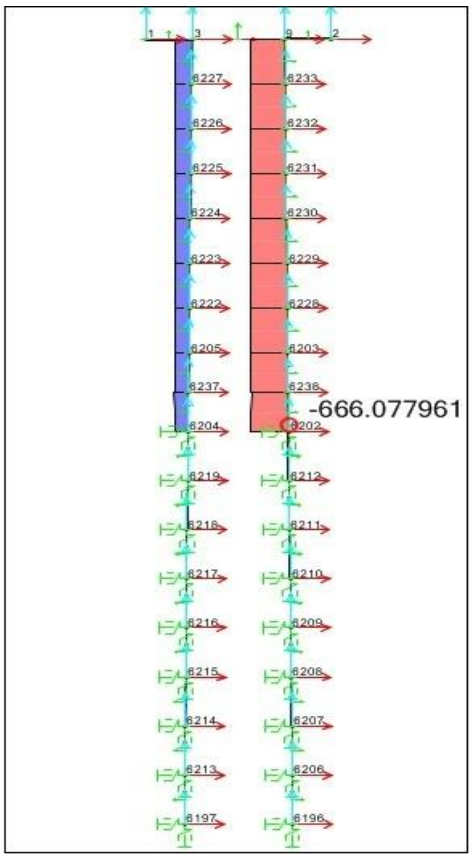
Şekil 4.13: 15° için modal kapasite-davranış spektrumu eğrileri.



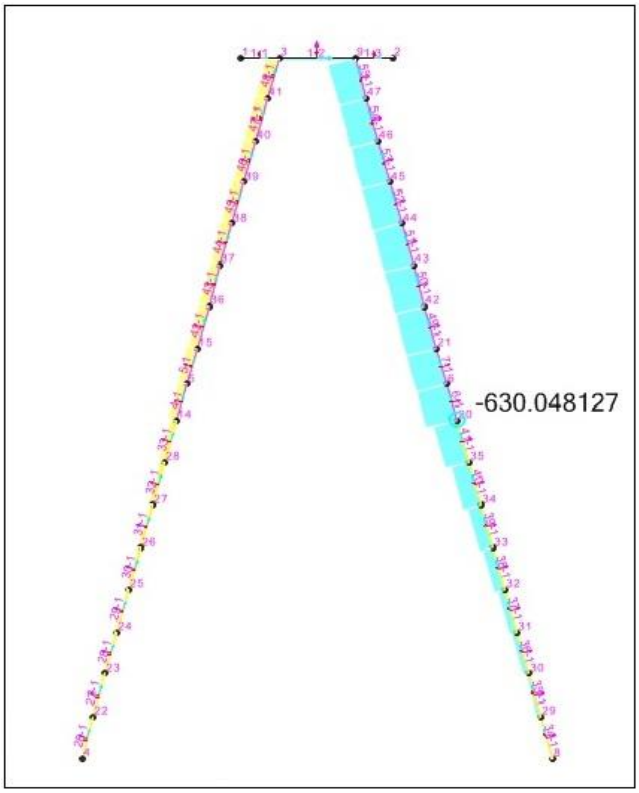
Şekil 4.14: 30° için modal kapasite-davranış spektrumu eğrileri.



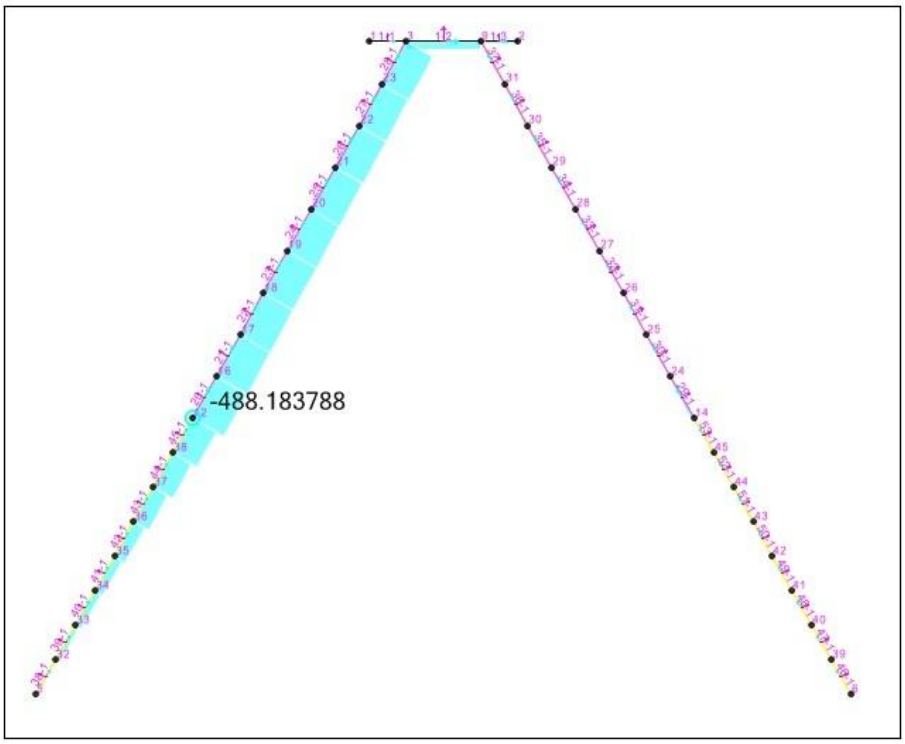
Şekil 4.15: 45° için modal kapasite-davranış spektrumu eğrileri.



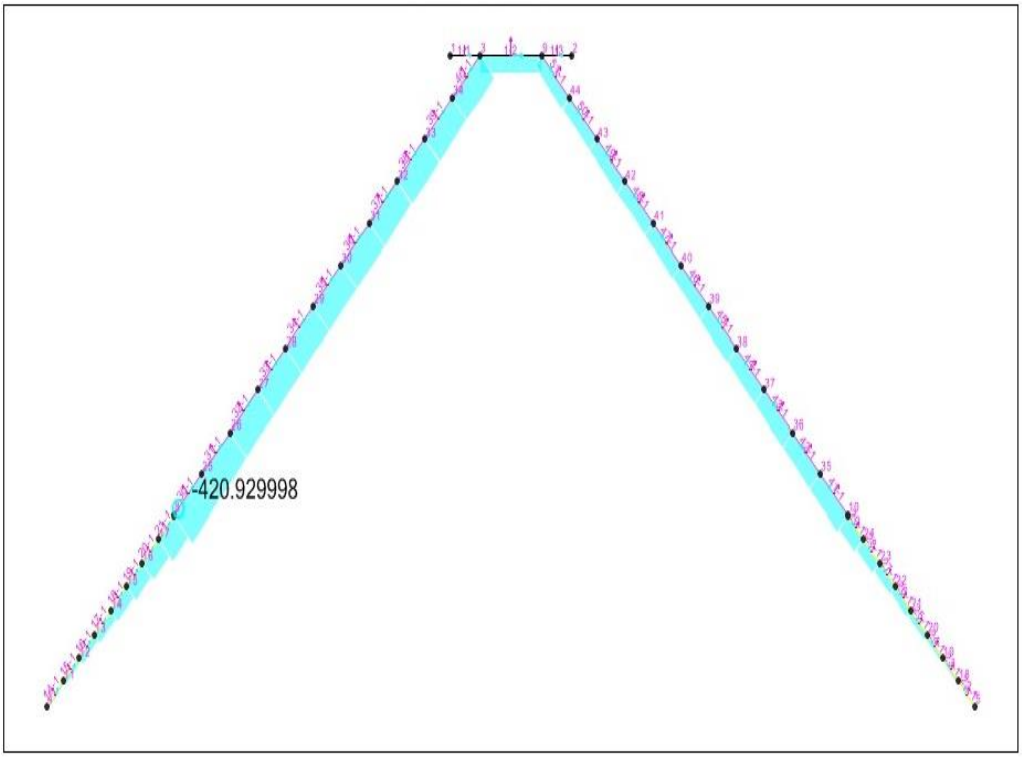
Şekil 4.16: 0° için kazık eksenleri boyunca eksenel kuvvetler.



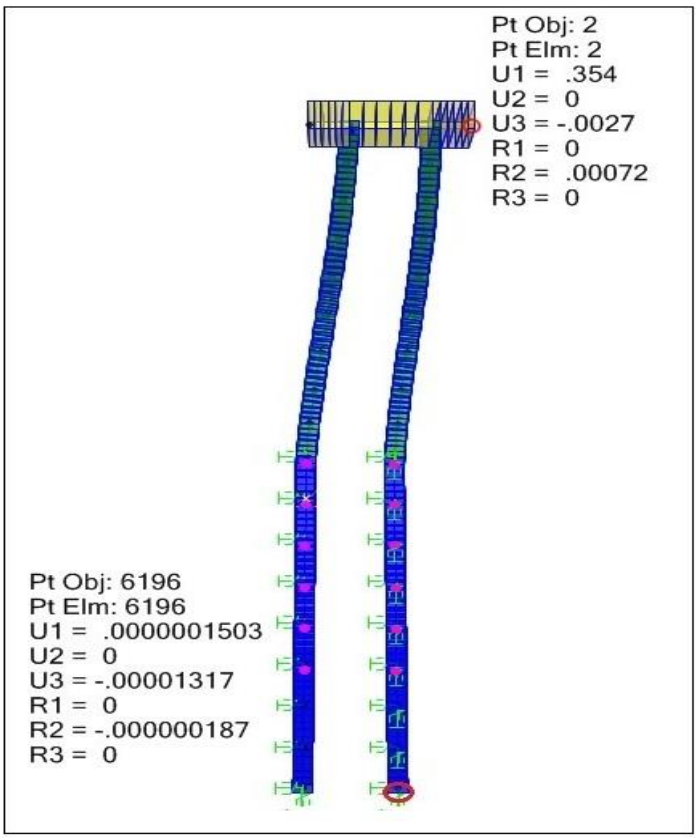
Şekil 4.17: 15° için kazık eksenleri boyunca eksenel kuvvetler.



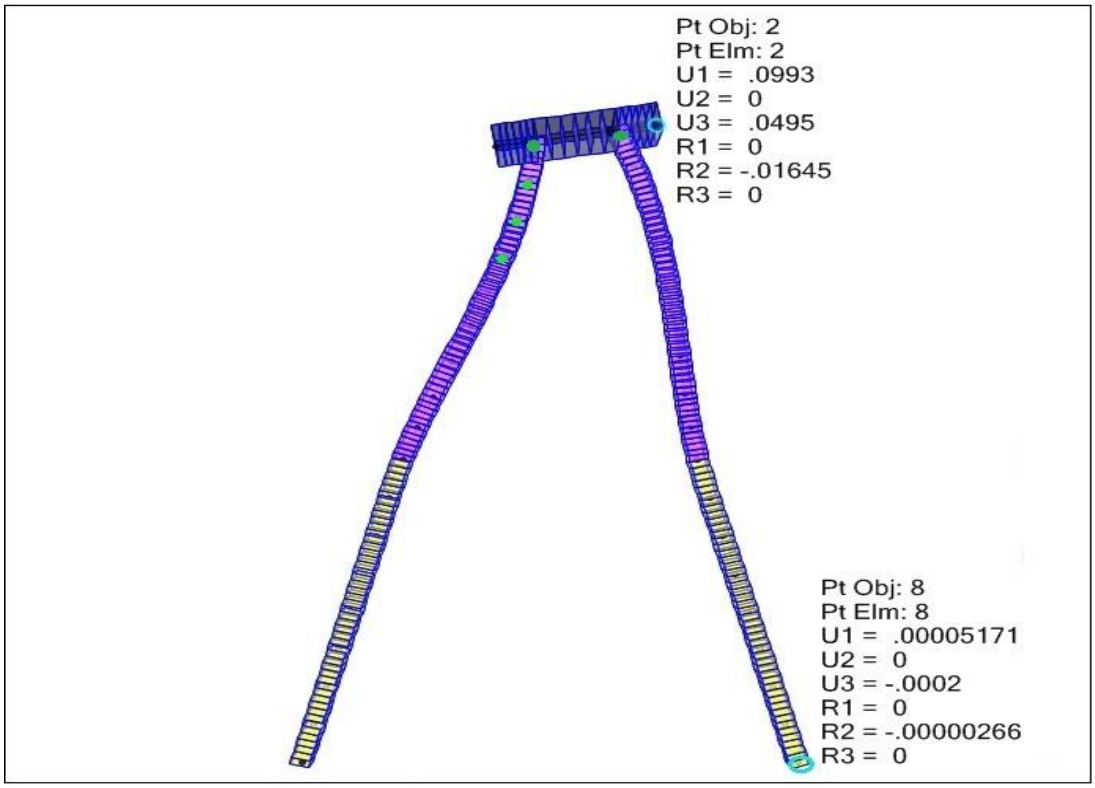
Şekil 4.18: 30° için kazık eksenleri boyunca eksenel kuvvetler.



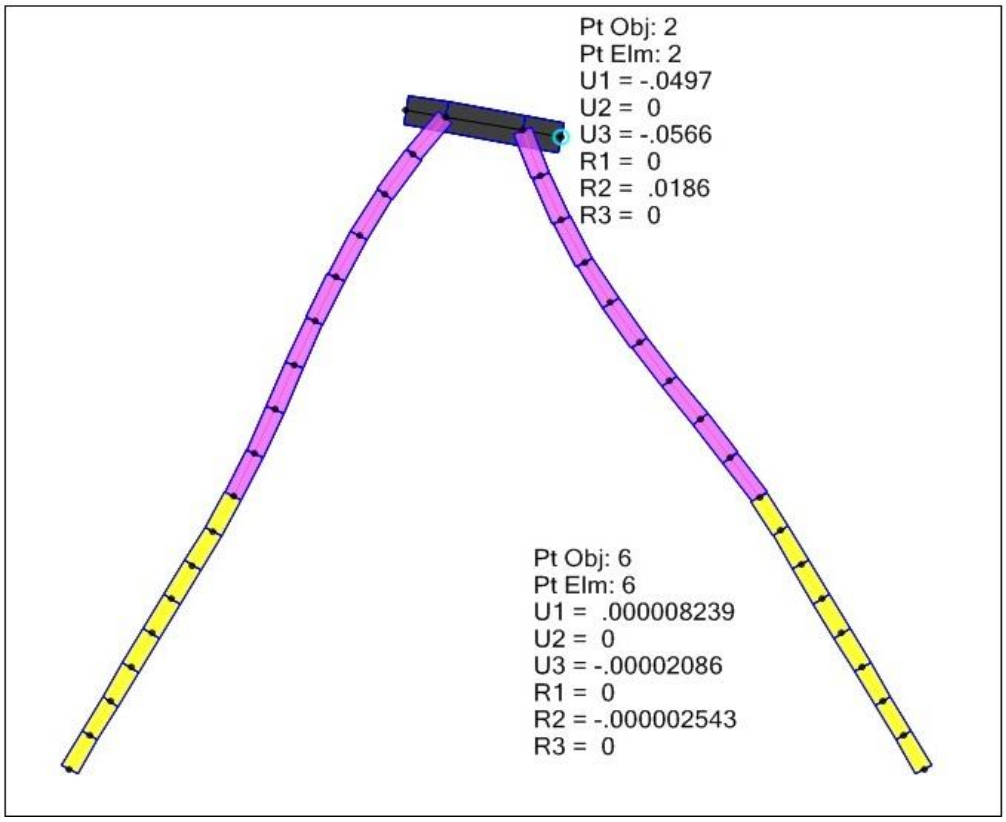
Şekil 4.19: 45° için kazık eksenleri boyunca eksenel kuvvetler.



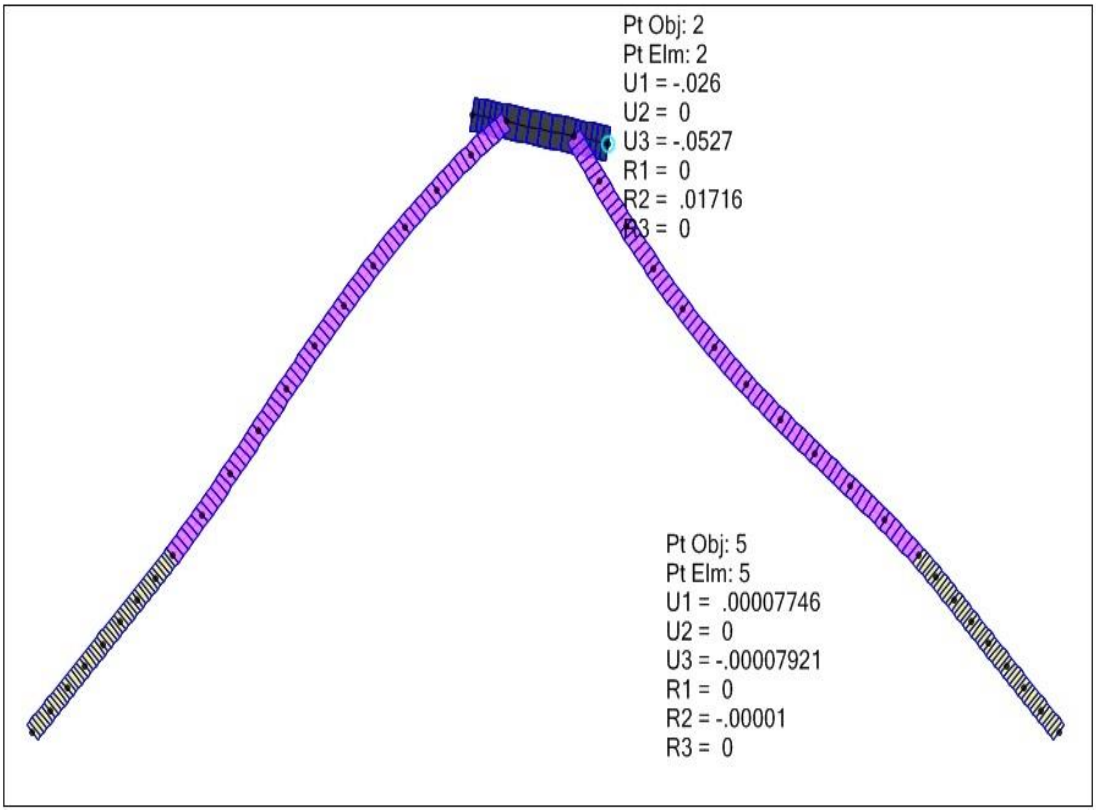
Şekil 4.20: 0° için plastik mafsal dağılımı ve yatay yer değiştirmeler.



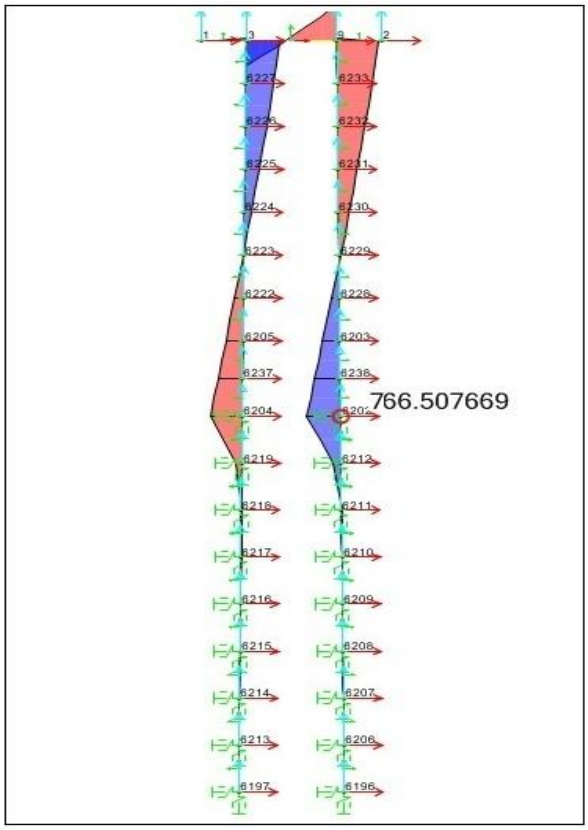
Şekil 4.21: 15° için plastik mafsal dağılımı ve yatay yer değiştirmeler.



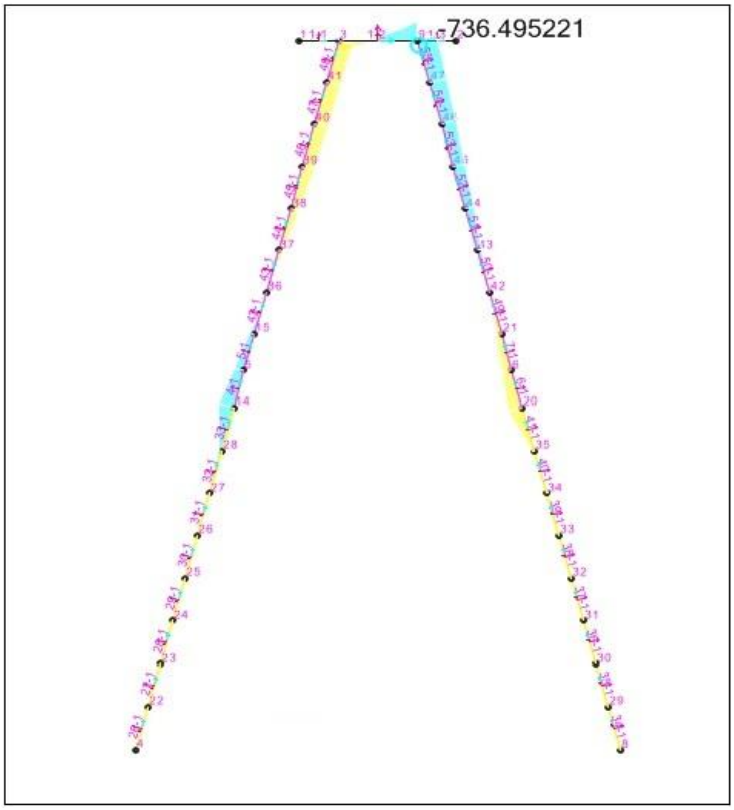
Şekil 4.22: 30° için yatay yer değiştirmeler (Plastik mafsal oluşmamıştır).



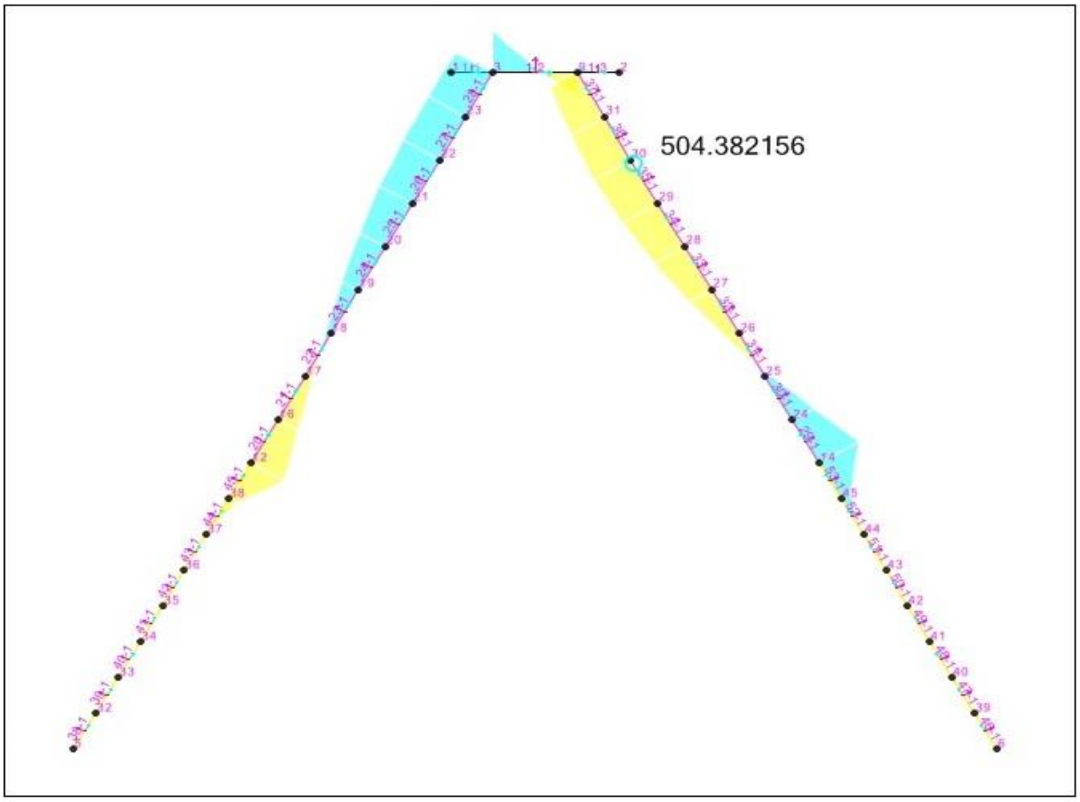
Şekil 4.23: 45° için yatay yer değiştirmeler (Plastik mafsal oluşmamıştır).



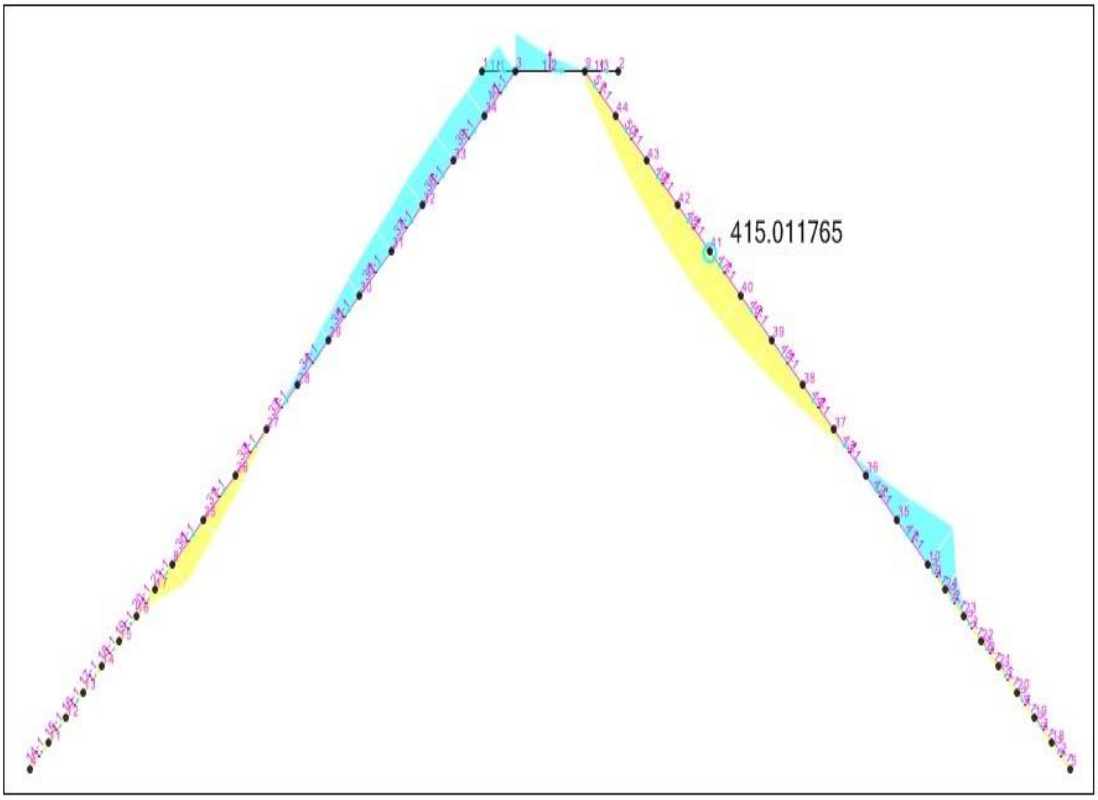
Şekil 4.24: 0° için kazık boyunca eğilme momentleri.



Şekil 4.25. 15° için kazık boyunca eğilme momentleri.

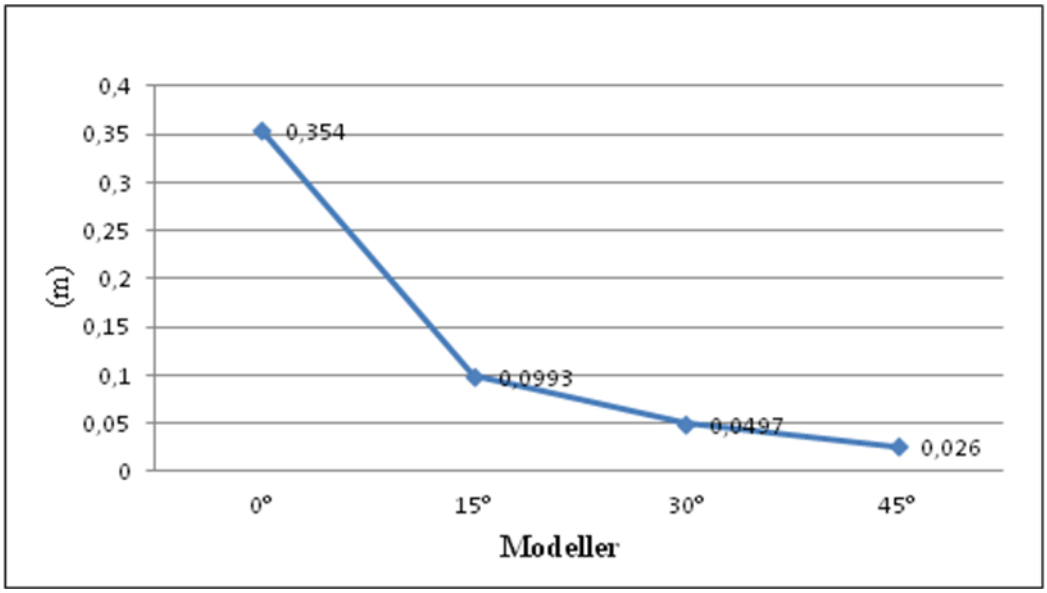


Şekil 4.26: 30° için kazık boyunca eğilme momentleri.



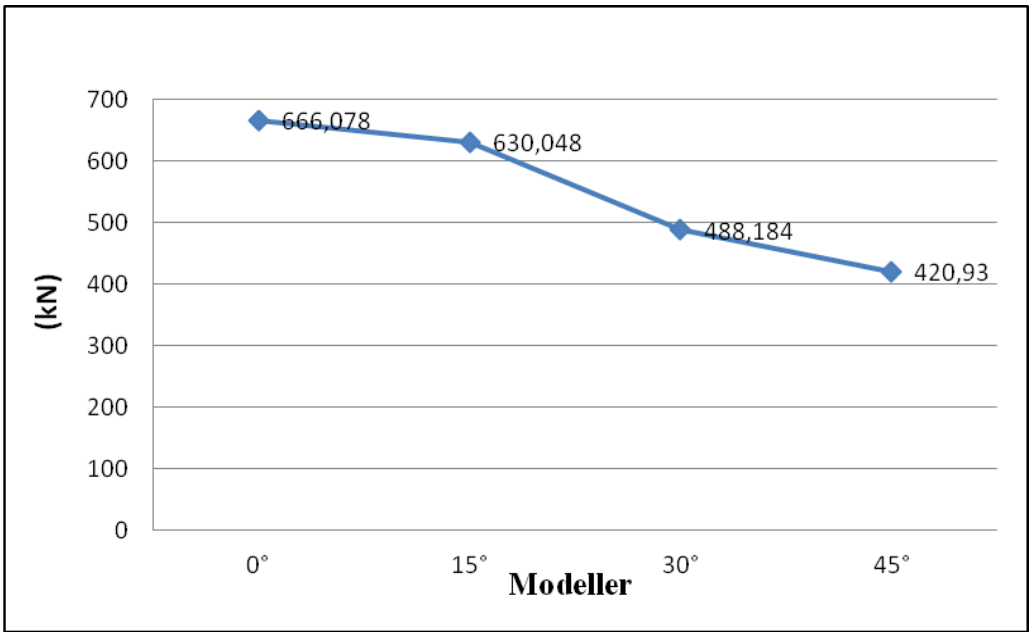
Şekil 4.27: 45° için kazık boyunca eğilme momentleri.

Sonuçlar bir araya getirildiğinde;



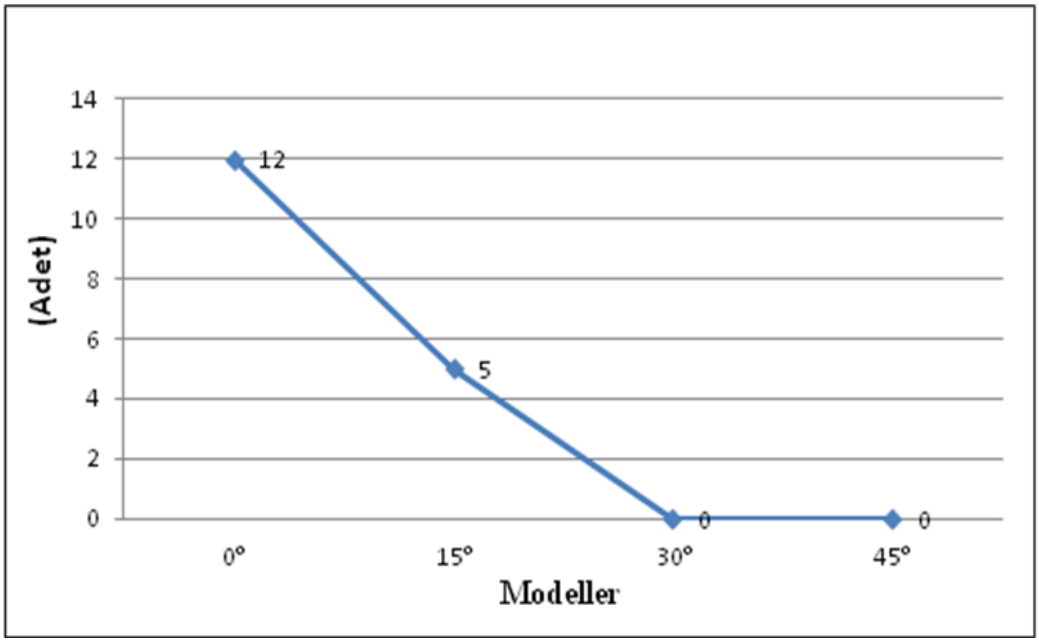
Şekil 4.28: Modellerin yer değiştirme istemlerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.28'de verilen modellemelerin yer değiştirme istemlerinin karşılaştırılmasında 0° eğikliğe sahip yapıyla 15° eğikliye sahip yapı arasında yer değiştirme istemlerinde yaklaşık %72; 15°ile 30° arasında %50; 30° ile 45° arasında ise % 48 gibi sürekli bir azalış gözlemlenmiştir.



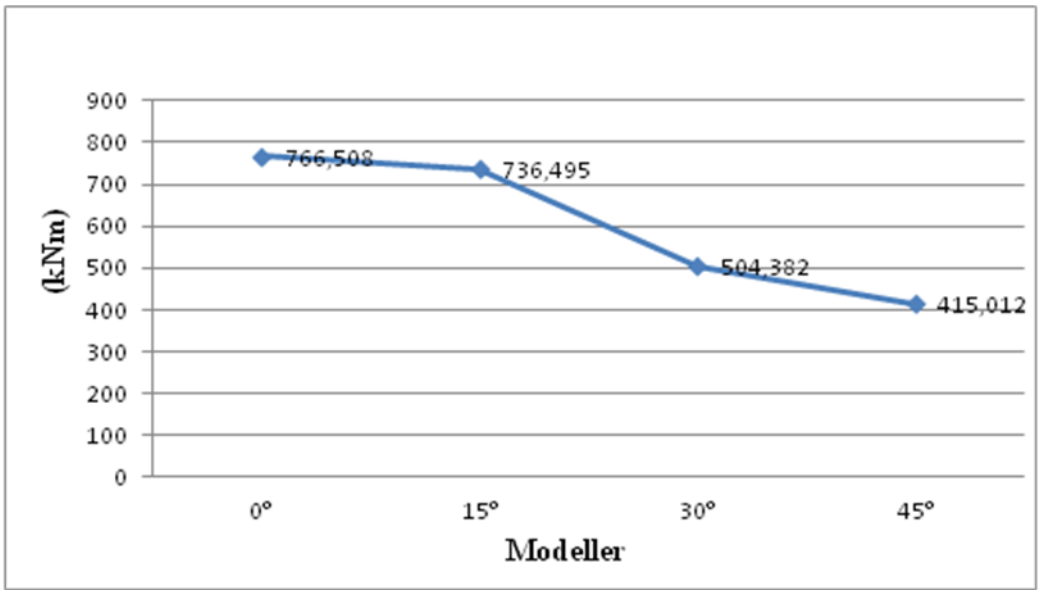
Şekil 4.29: Modellerde oluşan maksimum eksenel kuvvetlerin karşılaştırılması.

Şekil 4.29'da verilen modellerde oluşan maksimum eksenel kuvvetlerin karşılaştırılmasında 0° eğikliğe sahip yapıyla 15° eğikliye sahip yapı arasında maksimum eksenel kuvvetlerde yaklaşık %5; 15°ile 30° arasında %23; 30° ile 45° arasında ise % 14 gibi sürekli bir azalış gözlemlenmiştir.



Şekil 4.30: Modellerin plastik mafsal sayılarının karşılaştırılması.

Şekil 4.30'de verilen modellerde oluşan plastik mafsal sayılarının karşılaştırılmasında 0° eğikliğe sahip yapıyla 15° eğikliye sahip yapı arasında plastik mafsal sayılarında yaklaşık %58 oranında azalış; 30° ile 45°'lik modellerde ise plastik mafsal oluşmadığı gözlemlenmiştir.



4.31: Modellerde oluşan maksimum eğilme momentlerin karşılaştırılması.

Şekil 4.31'de verilen modellerde oluşan maksimum eğilme momentlerinin

karşılaştırılmasında 0° eğikliğe sahip yapıyla 15° eğikliye sahip yapı arasında maksimum eğilme momentlerde yaklaşık %4; 15°ile 30° arasında %32; 30° ile 45° arasında ise % 18 gibi sürekli bir azalış gözlemlenmiştir.

5. SONUÇLAR ve YORUMLAR

Kazıklı kıyı yapılarının tasarımında kullanılan doğrusal olmayan statik itme analizi gerçek davranışa çok yakın sonuçlar elde edilmesini sağlayabilmektedir. Bu yöntemler yapıların deprem etkisi altında nasıl davranış gösterdiğinin anlaşılması noktasında oldukça faydalıdır. Tezin birinci bölümünde genel bir giriş, ikinci bölümünde kazık temeller, üçüncü bölümünde kazık temellerin deprem davranışları, dördüncü bölümde ise yapı modellerinin yer aldığı İzmit körfezinin genel özellikleri ve deniz yapıları anlatıldıktan sonra modellemelerin vaka analizleri yapılmıştır.

Bu çalışmada dört farklı açılardaki (0°,15°,30°,45°) eğik kazıklı düzlemsel kıyı yapı modellemelerinin doğrusal olmayan statik itme analizleri SAP2000 V15.0 analiz programı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar tablolar halinde karşılaştırılmalı verilerek değerlendirilmiştir.

Yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibidir:

- Doğrusal olmayan statik itme analizleri yapılan dört farklı açılardaki (0°,15°,30°,45°) eğik kazıklı düzlemsel kıyı yapı modellemelerinin kazık açıları artıkça modellerde oluşan yer değiştirme istemlerinin, maksimum eksenel kuvvetlerinin, plastik mafsal sayılarının ve maksimum eğilme momentlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.
- Eğik kazıklarda düz kazıklara göre daha az yer değiştirme talebi olmaktadır. Bu da eksenel kuvvet ve eğilme momenti talebini azaltmaktadır.
- 0°'lik kazıklı yapıyla 45°'lik kazıklı yapı arasında yer değiştirme istemlerinde yaklaşık 14 kat fark olmasına rağmen eksenel kuvvette 1,5 ve eğilme momentinde 1,8 kat fark vardır. Eğik kazıklardaki yer değiştirme arttıkça eksenel kuvvet ve eğilme momentin artmasıyla birlikte kazıkların sünekliliği de azalacaktır.
- Aynı yer değiştirmeyi yapan eğik ve düz kazıklar karşılaştırıldığında eğik kazıklardaki eksenel kuvvet ve eğilme momentinin artışı kazığın sünekliliğini azaltacaktır.
- DLHM yönetmeliği eğik kazıkların kullanımını yasaklamıştır.
- Düz kazıklar eğilme etkisiyle yüksek süneklilik gösterme kapasitesine sahiptirler.
- Eğik ve düz kazıkların dinamik davranışı, zaman tanım alanında doğrusal

olmayan dinamik analizleriyle daha iyi incelenebilir.

- Eğik ve düz kazıkların davranışına zemin tipinin etkisi ayrıca araştırılmalıdır.
- Bu çalışmada eğik ve düz kazıkların düzlemsel davranışı incelenmiştir. 3 boyutlu modelleri yapılarak eğik ve düz kazıkların düzlem dışı davranışları da araştırılmalıdır.
- Kazık – başlık kirişi bağlantılarında büyük dönmeler oluşabilir. Bu bölgelerin uygun şekilde detaylandırılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Aydınoğlu M. N., Berilgen M., Özaydın K., (2000), "Depremde Kazık-Zemin Dinamik Etkileşimi", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 8nci Ulusal Kongresi, 427-436, İstanbul, Türkiye, 15-16 Eylül.

Alsaleh H., Shahrour I., (2008), "Influence of Plasticity 0n The Seismic Soil-Micropiles-Structure İnteraction" Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 46, 421-448.

Basu D., (2008), "Settlement Analysis of Piles With Rectangular Cross Sectionsin Multi-Layered Soils" , Computers and Geotechnics, 35, 563-575.

Bathe K., (1967), "The Finite Element Method Publisher", Journal of the University of Cape Town Engineering Society, 3, 57-61.

Coduto D. P., (2005), "Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar", 3. Baskı, Gazi Kitabevi.

Cook R., Malkus D., Plesha M., (1989), "Concepts and applications of finite element analysis Publisher", John Wiley&Sons, 31, 77-92.

Cow T., (1992), "Pile-Cap- Pile-Group interaction in nonhomogeneous soil, Journal of Geotechnical Engineering", 117(11), 1655-1668.

Çimen Ö., Korkmaz K., Keskin S., Ay Z., Çarhoğlu A., (2009), "Farklı Zeminlerdeki Kazıkların Deprem Davranışının İncelenmesi", Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25 (1-2), 223-236.

Das B. M., (1999), "Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement", 5th Edition, CRC Press.

Ergün M., Yörük R., (1990), "Distribution and texture of the bottom sediments in semi-closed coastal inlet Izmit Bay from the Eastern Sea of Marmara (Turkey), Estuarine", Coastal and Shelf Science, 30, 647-654.

Giannakou A., Gerolymos N., Gazeta G., Tazoh T., Anastasopoulos I., (2010), "Seismic Behavior of Batter Piles: Elastic Responce", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 136 (9), 1187-1199.

Gören H., (2007), "Kazıkların Taşıma Gücü", 3. Baskı, Birsen Yayınevi.

Karkee M. B., Sugimura Y., Fujiwara K., (1998), "Design of piles considering the deformation response under the action of earthquake shaking", Proc. UJNR Workshop on Soil-Structure Interaction, 1-13, California, USA, September 22-23.

Karthigeyan S., (2003), "Influence Of Vertical Load On The Lateral Response Of Piles In Sand", Computers and Geotechnics, 33, 121-131.

Kulaç F. H., Durgunoğlu H. T., (1992), “Yatay Yüklü Kazık Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 3ncü Ulusal Kongresi, 235-250, İstanbul, Türkiye, 11-12 Eylül.

Laman M., (1999), “Three-Dimensional Finite Element Studies of the Moment-Carrying Capacity of Short Pier Foundations in Cohesionless Soil”, Geotechnique, 25, 141-155.

Mossallamy Y., (1999), “Load-Settlement Behaviour of Large Diameter Bored Piles in Overconsolidated Clay”, Proc. of the 7th Int. Symposium on Numerical Models in Geomechanics –NUMOG VII, 443-450, Rotterdam, Netherlands, September 27-28.

Nikoloaou A., (2001), “Kinematic Pile Bending During Earthquakes: Analysis and Field Measurements,”, Geotechnique, 51(5), 425-440.

Omel’chak I. M., (2003), “Effect of Loading Character on Analysis of Pile And Pile-Foundation Settlements”, Soil Mechanics and Foundation Engineering, 40(5), 153-160.

Ordu E., Özkan T., (2006), “Kazıklı Temellerin Deprem Performanslarının Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi, 5 (2), 27-34.

Özen M., Özkan M. T., (2004), “Yatay Yüklü Kazıkların Davranışlarının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Belirlenmesi Hakkında Bir İnceleme”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, 301-314, İstanbul, Türkiye, 16-17 Eylül.

Özkan M. T., Sağlamer A., (1995), “Kazıklı Temeller”, Dünya İnşaat, No. 131/7, 35-38.

ResGaz 1, (2008), “Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği”, 26 Aralık 2008 tarih ve 27092 sayılı Resmi Gazete.

Sadek F., (2005), “Influence of The Head and Tip Connection on The Seismic Performance of Micropiles”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 26, 461-468.

Sadek F., Isam S., (2004), “Three-Dimensional Finite Element Analysis of The Seismic Behavior of Inclined Micropiles”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24, 473-485.

Sadek F., Shahrour I., (2002), “Three-Dimensional Finite Element Analysis of The Seismic Behavior of Inclined Micropiles”, Numerical Methods in Geotechnical Engineering, 59(5), 325-340.

Septanika E. G., (2005), “A Finite Element Description of The Embedded Pile Model”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 26, 191-199.

Siyahi B., Fahjan Y., Doran B., Akbaş B., Özkan T., (2011), “Kazıklı İskelelerin Deprem Performanslarının Değerlendirilmesi”, Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 3-7, İstanbul, Türkiye, 30 Mayıs.

Sowers G. F., (1979), “Intoductory Soil Mechancs and Foundations: Geotechnical Engineering”, 4th Edition, MacMillan Press.

Sönmez Y., (2002), “Kazıkların Eksenel Yük Taşıma Güçlerinin Belirlenmesi İçin Bir Model Deney Araştırması”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, 332-341, Eskişehir, Türkiye, 21-22 Ekim.

Uzuoka R., (2007), “Three-Dimensional Numerical Simulation of Earthquake Damage To Group-Piles in a Liquefied Ground”, Computers and Geotechnics, 27, 395-413.

Wakai A., Ugai K., (1997), “Three-Dimensional Seismic Analysis Of Bridge-Foundation-Ground System”, Proc. 6th Intern Sympos. On Numerical Models in Geomechanics, 2177-2182, Toronto, Canada, July 2-4.

Yetimoğlu T., (1994), “Geogrid Donatılı Kum Zemine Oturan Temellerin Taşıma Kapasitesi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Yıldırım M.Ş., (2008), “Fore Kazıkların Ekonomik Boyutlandırılması Üzerine Bir Araştırma”, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20 (4), 587-597.

Yıldız A., (2002), “Donatılı Zeminler Üzerine Oturan Yüzeysel Temellerin Analizi”, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi.

Yücetürk G., (2002), “Farklı Zeminlere Göre Uygulanan Derin Temeller”, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.

Yüksel Y., Güler I., (2005), “Deniz Yapılarında Deprem Etkileri ve 1999 Gölcük Depremi Örneği”, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 438 (4), 74-79.

Zhang J., (2009), “Nonlinear Analysis of Laterally Loaded Rigid Piles in Cohesionless Soil”, Computers and Geotechnics, 38, 263-276.

Zhang J., Takeda T., (1995), “Effects Of Soilstructure Interaction On Seismic Response Of Pc Cable-Stayed Bridge”, Soil Dynamic Earthquake English, 14, 427-437.

ÖZGEÇMİŞ

Ziya KADIOĞLU, 22.10.1982'de İstanbul'da doğdu; ilk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 2000 yılında başladığı Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü 2005 yılında başarıyla tamamladıktan sonra 2007 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim dalına başladı.

2006-2012 yılları arasında İstanbul Büyük Şehir Belediyesi Alt Yapı Hizmetleri Müdürlüğünde Kontrol Mühendisi olarak meydan düzenlemeleri, köprü, viyadük, altgeçit, üstgeçit, tünel uygulamaları gibi büyük projelerde görev almıştır. 2012 yılında eski eser restorasyonu sektöründe faaliyet gösteren Kadıoğlu İnş. Kol. Şti.'ne katılmış ve Beşiktaş Sinanpaşa Camiinde proje müdürü olarak görev almıştır. Restorasyonu devam eden Beyoğlu Tophane Nusretiye Cami ve Ortaköy Küçük Mecidiye Camilerinde proje müdürlüğü görevine devam etmektedir.