T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖNGERİLMELİ PREKAST BETONARME KAZIKLI İSKELENİN DOĞRUSAL OLMAYAN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

ALİ DUMAN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM ve YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2014

T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ

MÜHENDİSLİK ve FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÖNGERİLMELİ PREKAST BETONARME KAZIKLI İSKELENİN DOĞRUSAL OLMAYAN PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

ALİ DUMAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DEPREM ve YAPI MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI

DOÇ. DR. YASİN FAHJAN

GEBZE

2014

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

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 27.01.2014 tarih ve 2014/06 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 21.02/2014 tarihinde tez savunması sınavı yapılan Ali DUMAN' ın tez çalışması Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Yasin FAHJAN

ÜYE : Doç. Dr. Gülüm TANIRCAN

ÜYE : Yard. Doç. Dr. Erkan AKPINAR

ONAY

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

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Dünyada birçok ülkede kazıklı kıyı-liman yapılarında, öngerilmeli prekast betonarme kazıklar kullanılmaktadır. Türkiye'de ise genellikle çelik kazıklar kullanılmaktadır. Çelik kazıkların deprem etkisi altında enerji sönümleme ve yer değiştirme kapasitesi fazladır. Diğer taraftan, öngerilmeli prekast betonarme kazıklar yüksek dayanımlı betona sahip oldukları için, moment, eksenel çekme ve basınç kuvvetlerine karşı oldukça etkilidir. Bununla beraber, öngerilmeli prekast betonarme kazıkların boru kesitli olması ve ağırlıklarının düşük olması, normal betonarme kazıklara kıyasla, çakma zorluklarını azaltmakta ve çakma işleminde daha düşük kapasiteli çekiçlerin kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Genellikle öngerilmeli prekast betonarme kazıklar, çelik kazıklardan daha düşük maliyetlidir.

Bu tez çalışmasında, öngerilmeli prekast betonarme kazıklı, 20 metre derinlikli bir iskelenin, deprem yükleri altındaki doğrusal olmayan davranışı Ulaştırma Bakanlığı, Demiryollar, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Kıyı Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına Ait Deprem Teknik Yönetmeliği'ne göre kontrol edilmiştir. İtme ve performans analizi, öngerilmeli prekast betonarme kazıklı ve normal betonarme kazıklı iskeleler için yapılmıştır. İlgili performans noktalarındaki itme analizi sonuçları karşılaştırılmıştır.

SUMMARY

In many countries around the world, prestressed spun concrete piles are used for pile supported marine structures. In Turkey; steel pile are usually used for marine structures. Steel piles have high displacement and damping capacity under earthquake loads. On the other hand, prestressed spun concrete piles are highly effective in resisting moment, axial tensile stress and also compressive stress because of the high compressive strength of concrete. Additionally, lighter weight of prestressed spun concrete pile increases driving efficiency thus requiring smaller driving hammer in comparison with normal concrete piles with its hollowed, round geometry. In general, prestressed spun concrete piles are cheaper than steel piles.

In this study, nonlinear structural behavior of the prestressed spun concrete pile supported marine jetty with 20 meter depth, is analyzed under seismic load effects according to Turkish Ministry of Transportation, Seismic Code for the Construction of Harbour and Coastal Structures, Railways and Airports, General Directorate for Construction of Railways, Harbours and Airports. Push-over and performance analyses are performed for the marine jetty considering two pile systems: prestressed spun concrete piles and normal concrete piles. The pushover results at the corresponding performance points are compared.

.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimin her aşamasında desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ve hoşgörüsü ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan başta tez danışmanım Doç. Dr. Yasin FAHJAN' a, tez aşamasında tanışma fırsatı bulduğum, bilgi ve tecrübeleriyle, bu çalışmanın şekillenmesinde önemli katkıları olan Doç. Dr. Gülüm TANIRCAN' a ve Yard. Doç. Dr. Erkan Akpınar'a,

Bütün yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan değerli arkadaşım Mehmet Hakan AĞRI' ya,

Bana olan inancı ve anlayışından dolayı sevgili eşim Nilgün'e ve eğitim hayatım boyunca her anlamda yanımda olan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLOLAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	1
2. ÖNGERİLMELİ PREKAST BETONARME KAZIK	3
3. İSKELE KAZIKLARININ KAPASİTESİ	10
3.1. Kazıklı İskele Yapılarının Performansa Dayalı Tasarımı	10
3.1.1. Deprem Etkisinin Tanımlanması	10
3.1.2. Deprem Tasarım Spektrumları	11
3.1.3. Eşdeğer Deprem İvmesi Katsayıları	13
3.1.4. Ek su kütlesi	13
3.2. Kıyı liman Yapılarının Deprem Etkisi Altındaki Tasarımı	14
3.2.1. Kazıklı Rıhtım ve İskeleler	14
3.2.2. Kıyı ve Liman Yapılarının Deprem Performansı Bakımından Sınıflandırılması	14
3.2.3. Kıyı Liman Yapıları İçin Tanımlanan Performans Düzeyleri	15
3.2.4. Kıyı Liman Yapılarında Öngörülen Performans Hedefleri	15
3.2.5. Tasarım ve Değerlendirme Yöntemleri	16
3.2.6. Kazıklı Rıhtım ve iskelelerin Deprem Etkisi Altındaki Tasarımı	17
3.2.7. Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım	19
3.3. Öngerilmeli Beton	27
3.3.1. Tanımlar	28
3.3.2. Germe İşlemi	30

3.3.2.1. Genel 30
3.3.2.2. Güvenlik Önlemleri 31
3.3.2.3. Öngerme Çeliğinin Kesilmesi 31
3.3.2.4. Öngerme Çeliğinin Ankre Edilmesi 31
3.3.2.5. Öngerme 32
3.3.2.6. Ardgerme 32
3.3.3. Öngerilmeli Betonun Elastisite Modülü, Poisson Oranı, Kayma Modülü 33
3.3.4. Minimum Öngerilme ve Donatı 33
3.3.5. Eksenel Basınç Elemanları 34
3.3.6. Öngerilmeli Elemanlarda Gerilme Yayılışı 34
3.3.7. Öngerilmeli Prekast Betonarme Kazık İmalat Aşamaları 35
3.3.7.1. Kazık Donatı Kafesinin Hazırlanılması 35
3.3.7.2. Kazık Donatılarının Başlık levhalarına Sabitlenmesi 37
3.3.7.3. Kazık Donatılarının Özel Kalıplara Yerleştirilmesi 38
3.3.7.4. Kazık Öngerme İşlemi 41
3.3.7.5. Beton Dökülmesi 44
3.3.7.6. Beton Sonrası Kürleme İşlemi 44
3.4. Bölge Zemin Özellikleri 51
3.5. Geoteknik Tasarım Esasları 53
3.5.1. Zemin Yatak Katsayısı 53
3.5.2. Derin Temellerin Geoteknik Tasarım Esasları 54
3.5.3. Tekil Kazığın Taşıma Gücü 54
3.5.4. Kazık Gruplarının Taşıma Kapasitesi 58
3.5.5. Kazık Yanal Yük Altındaki Davranışı. 59
3.5.6. Kazıklarda Eksenel Yük Transferi-Deplasman (t-z) Eğrileri 59
3.5.7. Kazıkların Uç Yükü-Deplasman İlişkisi 60
3.5.8. Kumlarda Yanal Taşıma Gücü 62
4. YAPISAL MODEL 64
4.1. Malzeme Tanımı 65
4.2. Sistem Kesitlerinin Tanımlanması 70
4.3. Yükler 73
4.4. Zemin Özelliklerinin Tanımlanması 76

4.5. Plastik Mafsal Tanımlaması 78
4.6. Deprem Spektrumunun Oluşturulması 79
4.7. Modal Analiz 81
4.8. İtme Analizi 81
5. SONUÇLAR 94

KAYNAKLAR 99
ÖZGEÇMİŞ 100

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar		**Açıklamalar**
A_c	:	Betonarme kesitin brüt alanı
A_{ws}	:	Spiral enine donatının kesit alanı
D	:	Kazık çapı
E_{cj}	:	Kısa süreli kullanım yükleri için öngerilmeli beton elastisite modülü
$(EI)_e$	:	Çatlamış betonarme kesite ait etkin eğilme rijitliği
$(EI)_0$	:	Çatlamamış betonarme kesite ait brüt eğilme rijitliği
EI_s	:	Çeliğin elastisite modülü
F_{cjk}	:	J günlük karakteristik basınç dayanımı
F_{ck}	:	Beton karakteristik silindir dayanımı
F_P	:	Kazıkta öngerme kuvveti
F_{ywk}	:	Spiral enine donatının karakteristik akma dayanımı
G_{cj}	:	J günlük beton kayma modülü
$S_{ae}(T)$	:	T periyoduna karşılık gelen elastik spektral ivme [m/sn2]
$S_{aR}(T)$	:	T periyoduna karşılık gelen azaltılmış spektral ivme [m/sn2]
$S_{di,1}$	:	1. moda ait doğrusal olmayan (nonlineer) spektral yerdeğiştirme [m]
S_K	:	Suyun kaldırma kuvveti
s	:	Spiral donatıların adım aralığı
T	:	Doğal titreşim periyodu [s]
T_S	:	Spektrum köşe periyodu [s]
V_c	:	Kazık kesme kuvveti kapasitesine betonun katkısı
V_e	:	Kazık kesitinin kesme kuvveti kapasitesi
V_p	:	Kazık kesme kuvveti kapasitesine eksenel kuvvetin katkısı
V_s	:	Kazık kesme kuvveti kapasitesine enine donatının katkısı
N	:	Betonarme kazık eksenel basınç kuvveti [kN]
R	:	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$	:	Deprem yükü azaltma katsayısı
θ_p	:	Plastik eğrilik [m^{-1}]

Φ_t	:	Toplam eğrilik $[m^{-1}]$
Φ_p	:	Plastik dönme [rad]
Φ_y	:	Akma eğriliği $[m^{-1}]$
ρ_s	:	Spiral enine donatının hacimsel oranı
μ_Φ	:	Kazık kesitinde eğrilik sünekliği istemi
L_p	:	Plastik bölge uzunluğu (plastik mafsal boyu)
M_B	:	Öngerilmeli kirişte kırılma momenti
$M_{B'}$	:	Öngerilmesiz kirişte kırılma momenti
DLH DTY	:	Ulaştırma Bakanlığı, Demiryollar, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Kıyı Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına Ait Deprem Teknik Yönetmeliği
DLH PTT	:	Ulaştırma Bakanlığı, Demiryollar, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Kıyı Yapıları ve Limanlar, Planlama ve Tasarım Teknik Esasları
DLH GTE	:	Ulaştırma Bakanlığı, Demiryollar, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Geoteknik Tasarım Esasları
DBYBHY	:	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:		Sayfa
2.1:	Öngerilmeli prekast betonarme boru kazıklı konteyner terminali.	4
2.2:	Öngerilmeli prekast betonarme kazıklı Napa Köprüsü.	5
2.3:	Öngerilmeli betonarme boru kazığın çakma işlemi için yüzer deniz vinci ile hazırlanması.	6
2.4:	Kazıkların proje alanına kara yoluyla taşınması.	7
2.5:	Kazıkların yüzen platformlarla proje alanına taşınması.	7
2.6:	Farklı uzunlukta çakmaya hazır haldeki kazıklar.	8
2.7:	Lumut fabrikası dalgakıranı.	8
2.8:	Aden Konteyner Terminali.	9
3.1	Deprem tasarım spektrumları.	12
3.2:	Akma çizgileri.	21
3.3:	Plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı.	22
3.4:	Moment-eğrilik ilişkisi.	25
3.5:	Kesite etkiyen eksenel kuvvet.	27
3.6:	Öngerilmeli ve öngerilmesiz betonda kırılma yüküne kadar gerilmenin seyri.	35
3.7:	Kazık boyuna donatısının uçlarının, ankraj plakasına sabitlenebilmesi için şekillendirilmesi.	36
3.8:	Kazık donatı kafesinin özel makine yardımıyla hazırlanmasının birinci aşaması.	36
3.9:	Kazık donatı kafesinin özel makine yardımıyla hazırlanmasının ikinci aşaması.	37
3.10:	Öngerme donatılarının başlık plakalarına sabitlenmesinin birinci aşaması.	38
3.11:	Öngerme donatılarının başlık plakalarına sabitlenmesinin ikinci aşaması.	38
3.12:	Donatı kafesinin kalıplara yerleştirilmesi.	39
3.13:	Kazık üst kalıbının kapatılması.	39
3.14:	Kapatılmış kazık kalıbının birinci aşaması.	40
3.15:	Kapatılmış kazık kalıbının ikinci aşaması.	40

3.16: Öngerme işleminin birinci aşaması. 41
3.17: Öngerme işleminin ikinci aşaması. 41
3.18: Tiremi borusu ile beton dökülmesinin birinci aşaması. 42
3.19: Tiremi borusu ile beton dökülmesinin ikinci aşaması. 42
3.20: Kazığın döndürme makinesine taşınması. 43
3.21: Kazık betonun dökülmesinin hemen ardından gerçekleştirilen döndürme işleminin birinci aşaması. 43
3.22: Kazık betonun dökülmesinin hemen ardından gerçekleştirilen döndürme işleminin ikinci aşaması. 44
3.23: Kazıkların kür fırınlarına aktarılmasının birinci aşaması. 44
3.24: Kazıkların kür fırınlarına aktarılmasının ikinci aşaması. 45
3.25: Kür fırınının kapatılması. 45
3.26: Kalıpların açılması. 46
3.27: Kazığın vakumlu ekipman yardımıyla kalıptan çıkarılması. 46
3.28: Kalıbı sökülmüş kazığın görüntüsü. 47
3.29: Kazıkların istiflenmesinin birinci aşaması. 47
3.30: Kazıkların istiflenmesinin ikinci aşaması. 48
3.31: Kazıkların aktarılması. 48
3.32: Kazık başlarının proje özelliklerine göre çakım kolaylığı için tasarlanmış başlıkları. 49
3.33: Farklı tip kazık başlıkları. 49
3.34: Kazıkların birbirine eklenebilmesi için kullanılan ilave parça. 50
3.35: Eklenmiş kazıkların kaynak ile sabitlenmesi. 50
3.36: Daneli zeminlerde tek kazık taşıma kapasitesi. 55
3.37: Yanal yatak katsayısı değişim katsayısı. 57
3.38: Kil ve kum zeminler için (t-z) eğrilerine ait parametreler 60
3.39. Kil ve kum zeminler için (Q-z) eğrilerine ait parametreler. 60
3.40: Kazıklarda tipik eksenel yük transfer - deplasman (t-z) eğrileri. 61
3.41: Kazıklarda uç yükü deplasman (Q-z) eğrileri. 61
3.42: $C1, C2, C3$ katsayıları. 62
3.43: K değerleri. 63
4.1: İskelenin SAP2000 programından alınmış 3 boyutlu görünüşü. 64
4.2: Sargılı ve sargısız beton gerilme-şekil değiştirme eğrisi. 65
4.3: Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme eğrisi. 65

4.4: C30 Beton gerilme-şekil değiştirme eğrisi. 66
4.5: C70 Beton gerilme-şekil değiştirme eğrisi. 66
4.6: S420 Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme eğrisi. 67
4.7: S220 Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme eğrisi. 67
4.8: Öngerme demetlerinin mekanik özellikleri. 68
4.9: S7A Öngerme demeti mekanik özelliklerinin tanımlanması. 68
4.10: S7A Öngerme demeti gerilme-şekil değiştirme eğrisi. 69
4.11: Normal donatı ve öngerme donatısı gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin kıyaslanması. 69
4.12: Kazık P801 kesiti. 71
4.13: Kazık P802 kesiti. 71
4.14: P801 Kesiti için moment-eğrilik ilişkisi eğrisi. 72
4.15: P802 Kesiti için moment-eğrilik ilişkisi eğrisi. 73
4.16: Öngerme elemanının tanımlanması. 74
4.17: Öngerme kuvvetinin kazıklara atanmasının birinci bölümü. 75
4.18: Öngerme kuvvetinin kazıklara atanmasının ikinci bölümü. 75
4.19: Öngerme kuvveti etkisi altındaki kazık eksenel kuvvet diyagramı. 76
4.20: Nonlineer zemin yay modelleri. 77
4.21: P-Y eğrisi. 77
4.22: Q-z eğrisi. 78
4.23: t-z eğrisi. 78
4.24: Kısa periyod için spektral ivme- Ss kontur haritaları. 79
4.25: Uzun periyod için spektral ivme- S1 kontur haritaları. 79
4.26: Modal analiz sonuçları. 81
4.27: Birinci itme analizi parametrelerinin tanımlanması. 82
4.28: X yönündeki birinci itme analizi parametrelerinin tanımlanması. 82
4.29: Y yönündeki birinci itme analizi parametrelerinin tanımlanması. 83
4.30: X yönündeki birinci itme analizi sonucunda sistemin deformasyona uğramış hali. 83
4.31: X yönündeki birinci itme analizi eğrisi. 84
4.32: Y yönündeki birinci itme analizi sonucunda sistemin deformasyona uğramış hali. 84
4.33: Y yönündeki birinci itme analizi eğrisi. 85
4.34: X yönü için kapasite/talep eğrisi. 86

4.35: Y yönü için kapasite/talep eğrisi. 86
4.36: X yönündeki ikinci itme analizi sonucunda sistemin deformasyona uğramış hali. 87
4.37: Y yönündeki ikinci itme analizi sonucunda sistemin deformasyona uğramış hali. 88
4.38: Öngerilmeli kazık x yönünde kapasite/talep eğrisi. 90
4.39: Öngerilmesiz kazık y yönünde kapasite/talep eğrisi. 90
4.40: Öngerilmeli kazık y yönünde kapasite/talep eğrisi. 91
4.41: Öngerilmesiz kazık y yönünde kapasite/talep eğrisi. 91
4.42: Öngerilmeli ve öngerilmesiz kazıklı iskele modelleri için x yönündeki itme analizi sonuçlarına göre oluşturulan kıyaslama tablosu. 92
4.43: Öngerilmeli ve öngerilmesiz kazıklı iskele modelleri için y yönündeki itme analizi sonuçlarına göre oluşturulan kıyaslama tablosu. 93

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:		Sayfa
3.1:	Kısa periyod zemin katsayısı Fa.	12
3.2:	1.0 sn periyodu zemin katsayısı Fv.	12
3.3:	Çeşitli deprem düzeylerinde hedeflenen performans düzeyleri.	16
3.4:	Kazıklı iskele ve rıhtımlara çeşitli deprem düzeylerinde uygulanacak tasarım yöntemleri.	17
3.5:	Kazıkların plastik kesitleri için tanımlanan birim şekil değiştirme kapasiteleri.	25
3.6:	Öngerme teli mekanik özellikleri.	29
3.7:	Öngerme toronu mekanik özellikleri.	29
3.8:	Öngerme çubuğu mekanik özellikleri.	29
3.9:	Araştırma sondajı bilgileri.	51
3.10:	Zemin kesiti.	52
3.11:	Kohezyonsuz zeminlerde nh değerleri.	53
3.12:	Kazık aralığına bağlı yanal yatak katsayısı azaltma faktörü.	59
4.1:	Kısa ve uzun periyod spektral ivme tablosu.	80
4.2:	Kazıkların plastik kesitleri için tanımlanan birim şekil değiştirme kapasiteleri.	89

1. GİRİŞ

Dünyadaki teknolojik kazanımlar ve gelişen deniz ticareti nedeniyle daha fazla derinliğe sahip yeni kıyı yapılarının oluşturulması kaçınılmaz hale gelmektedir. İhtiyaç duyulan derinliğin artması da keson, istinat duvarı ve beton blok gibi farklı elemanlar yerine farklı derinlikler ve zemin çeşitleri için tasarlanabilen kazıkların kıyı yapılarında kullanılmasını cazip hale getirmektedir.

Ülkemizde 1950'li yıllarda kullanılmaya başlanılan kazıklı iskeleler kare kesitli betonarme olarak yapılmış fakat davranışı tam olarak anlaşılamadığı için yüksek yapı yükleri altında yetersiz kalmış ve ilerleyen senelerde yerini çelik kazığa bırakmıştır. Çelik kazıkların dış etkenlere karşı korunması zor ve maliyetli, yurtdışına ham madde bağımlılığı fazladır. Bu nedenle %30 daha düşük maliyetli olan ve Dünyada başta A.B.D. olmak üzere Japonya, Kore ve Çin gibi birçok gelişmiş ülkede yaygın olarak kullanılmakta olan öngerilmeli prekast betonarme kazıklı iskele sisteminin, ülkemizde anlaşılıp uygulanması önem kazanmaktadır.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

İstanbul Tuzla' daki mevcut tersaneler bölgesinin bulunduğu alanda, kesonlu ve istinat duvarlı olarak projelendirilmiş olan bir tersane limanı projesine ait zemin sondaj raporu incelenmiş ve zemin profiline uygun olarak kazık mesnet koşullarını oluşturulmuş, kazıkların deniz tabanında çakılacağı alanda doğrusal olmayan zemin yayları tanımlanmıştır. Betonarme ve donatı çeliği özelliklerinin doğrusal olmayan davranışları dikkate alınarak taşıyıcı sisteme tanımlanmasının ardından yapılan analiz sonucunda, sistem performansının değerlendirilmesinde kullanılacak olan plastik mafsal özellikleri kazık boyunca tanımlanmıştır. Düşey olarak üstyapı yüklerinin, yatay olarak deprem yüklerinin etkisi altında depremin talep ettiği yer değiştirmeler doğrultusunda itme analizi yapılmıştır. Analiz sonucunda sistemin doğrusal olmayan performansı değerlendirilmiş ve öngörülen hasar sınırının altında olmadığı kontrol edilmiştir.

Kazıklı iskelelerin doğrusal olmayan davranışının incelenmesi konusunda yaygın olmamakla birlikte çeşitli akademik çalışmalar yapılmıştır. Farklı tipteki kazıklı kıyı-liman yapılarının doğrusal olmayan davranışı detaylı olarak incelenmiş,

öngerilmeli prekast betonarme kazıklar anlatılmış ve bu tez çalışmasında da yararlanılmıştır [1].

Bu tez çalışmasının amacı; üç tarafı denizlerle çevrili olan ülkemizin ekonomisinde önemli bir paya sahip olan kıyı-liman yapılarının performansa dayalı tasarımında öngerilmeli prekast betonarme kazıkların deprem yükleri altındaki doğrusal olmayan davranışının anlaşılmasını sağlamak ve kullanılmasını yaygınlaştırmaktır.

2. ÖNGERİLMELİ PREKAST BETONARME KAZIK

Öngerilmeli prekast betonarme kazıklar; yüksek yapı yükleri altında çalışabilen, farklı derinlik ve çaplarda imal edilip istenilen uzunlukta imal edilen ya da parçalar halinde imal edilip kazık çakım işlemi esnasında birbirine eklenebilen iskele elemanlardır. Bu elemanların tercih edilmesinin nedenleri şu şekilde sıralanabilir;

- Farklı tip zeminlerde kullanılabilir çünkü eğilme momenti ve eksenel çekme kuvveti etkisi altında oldukça etkilidir. Aynı zamanda öngerme işlemi sonucunda yüksek basınç dayanımlı beton elde edildiğinden eksenel basınç kuvvetine karşı da oldukça etkilidir.
- Farklı boylardaki kazıklar birbirine kolaylıkla eklenebilir ve yeterli dayanıma sahip bağlantı noktaları kaynak ile hızlı bir şekilde oluşturulabilir. Böylelikle, yapısal olarak bir sakıncası olmadığı takdirde, fabrikasyon alanında ya da proje sahasında birbirine eklenerek istenilen boylarda kazıklar elde edilmiş olur.
- Boru kesitinden dolayı ağırlıkları öngerilmesiz kazıklara göre oldukça az olan öngerilmeli prekast betonarme kazıklar çakma işlemi sırasında kolaylıklar sağlamakta ve daha düşük kapasiteli çekiçlerin kullanılmasına olanak vermektedir.
- Taşıyıcı sistemin yüksek atalet momenti ve rijitliğe sahip olmasını ve analiz sonucunda düşük deformasyonların oluşmasını sağlar.
- Öngerilme etkisi, kazıklarda çatlakların oluşmasını engeller [2].

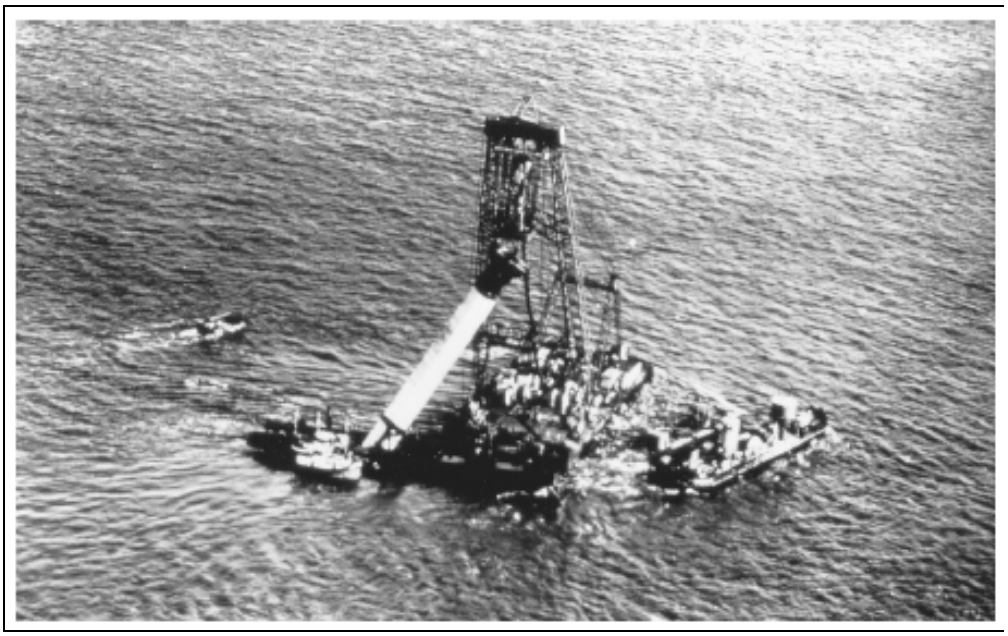
Aşağıda öngerilmeli prekast betonarme kazıklı konteyner limanına ait fotoğraf görülmektedir (Şekil 2.1).

Şekil 2.1: Öngerilmeli prekast betonarme kazıklı konteyner terminali.

Taşıma ve aktarma yöntemleri ve kullanılan ekipmanlar kazıklar için çok önemlidir. Fabrikada üretim aşamasında kazıklar aktarılırken, kazık yapısına zarar vermeyecek genişlikte köprü vinçler kullanılmalı ve tasarım aşamasında belirlenmiş noktalardan tutularak kaldırılmalıdır. Kazıkların çakılabilmesi için zemin özelliklerine bağlı olarak tasarlanmış kazık başlık pabuçları kullanılabilir.

Öngerilmeli prekast betonarme kazıkların imalatı ve uygulaması kalifiye personelin kontrol ve yönetiminde gerçekleştirilmelidir.

Şekil 2.2: Öngerilmeli prekast betonarme kazıklı Napa Nehri Köprüsü.



Şekil 2.3: Öngerilmeli prekast betonarme kazığın çakma işlemi için yüzer deniz vinci ile hazırlanması.

Öngerilmeli prekast betonarme kazıklar iskele yapılarının yanında köprüler ve petrol platformları gibi farklı tipteki özel yapılarda da kullanılmaktadır. Dünyadaki uygulamalarda, kırk metreye varan uzunluk ve dört metreye varan çaplarda kullanılmaktadır (Şekil 2.2) ve (Şekil 2.3).

Kazıklar proje bölgesinde üretilebildiği gibi farklı yerlerde imal edilip deniz ya da kara yoluyla proje bölgesine nakledilebilir (Şekil 2.4) ve (Şekil 2.5).

Şekil 2.4: Kazıkların proje alanına kara yoluyla taşınması.

Şekil 2.5: Kazıkların yüzen platformlarla proje alanına taşınması.

Öngerilmeli prekast betonarme kazıklar tek parça olarak üretilerek ya da parçalar halinde üretilip proje alanında birleştirilerek kullanılabilir. Uzunluğu fazla, kazık kesiti büyük olan, ağır kazıklardan oluşan iskele yapılarında bu durum büyük bir avantaj sağlamaktadır (Şekil 2.6).

Şekil 2.6: Farklı uzunlukta çakmaya hazır haldeki kazıklar.

Şekil 2.7: Lumut fabrikası dalgakıranı.

Şekil 2.8: Aden Konteyner Terminali.

3. İSKELE KAZIKLARININ KAPASİTESİ

Kazıkların kapasitesinin belirlenmesinde; performansa dayalı tasarım esasları, sondaj raporlarına bağlı zemin özellikleri ve geoteknik tasarım esasları, öngerilmeli beton tasarım esasları ve iskele yapısına bağlı olarak yapıya etki edecek üstyapı yükleri önemli rol oynar.

3.1. Kazıklı İskele Yapılarının Performansa Dayalı Tasarımı

Bu tasarım yaklaşımında, belirli düzeylerdeki deprem yer hareketleri altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar sayısal olarak tahmin edilir ve bu hasarın 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 düzeyleri 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 dayalı tasarım yaklaşımı, doğrusal olmayan (nonlineer) analiz yöntemleri ve şekil değiştirmeye göre tasarım kavramı doğrudan ilişkilidir [3].

3.1.1. Deprem Etkisinin Tanımlanması

Yapıların servis ömürleri boyunca meydana gelebilme olasılıklarına ve şiddetlerine göre üç ana grupta sınıflandırılan deprem düzeyleri için tasarım spektrumları oluşturulacaktır.

Yapıların servis ömürleri boyunca meydana gelebilme olasılığı fazla olan, göreli olarak sık ancak şiddeti çok yüksek olmayan deprem hareketlerini ifade etmektedir. D1 düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %50, buna karşılık gelen dönüş periyodu ise 72 yıldır.

Yapıların servis ömürleri boyunca meydana gelebilme olasılığı çok fazla olmayan, seyrek ancak şiddetli deprem yer hareketlerini ifade etmektedir. D2 düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %10, buna karşılık gelen dönüş

periyodu ise 475 yıldır. Bu tez çalışmasında D2 deprem düzeyi için spektrum tanımlanacaktır.

Yapıların maruz kalabileceği en şiddetli deprem yer hareketini ifade eder. D3 düzeyindeki depremin 50 yılda aşılma olasılığı %2, buna karşılık gelen dönüş periyodu ise 2475 yıldır.

3.1.2. Deprem Tasarım Spektrumları

(D1), (D2) ve (D3) Deprem Düzeyleri için kısa doğal titreşim periyodu (0.2 saniye) ve 1.0 saniyelik doğal titreşim periyoduna karşı gelen spektral ivme değerleri (sırası ile S_s ve S_1), referans olarak alınan B zemin sınıfı için DLH DTY Ek A' da verilmiştir. Diğer zemin sınıfları için, aynı doğal titreşim periyodlarına karşılık gelen spektral ivme değerleri S_{MS} ve S_{M1} aşağıda verilen denklemler kullanılarak hesaplanacaktır.

$$S_{MS} = F_a x S_s \tag{3.1}$$

$$S_{M1} = F_v x S_1 \tag{3.2}$$

F_a ve F_v parametreleri, sırası ile Tablo 3.1 ve Tablo 3.2' de tanımlanmıştır. Bu tablolarda gösterilen zemin sınıfları DLH DTY Ek B' de tanımlanmıştır.

Deprem tasarım spektrumları, aşağıdaki eşitliklerden yararlanılarak tanımlanacaktır.

$$S_{ae}(T) = 0.4S_{MS} + 0.6\frac{S_{MS}}{T_0}T \qquad (T_0 \leq T) \tag{3.3}$$

$$S_{ae}(T) = S_{MS} \qquad (T_0 \leq T \leq T_S) \tag{3.4}$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{M1}}{T} \qquad (T_S \leq T \leq T_L) \tag{3.5}$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{M1}T_L}{T^2} \qquad (T_S \leq T) \tag{3.6}$$

Uzun periyod bölgesine geçiş periyodu $T_L = 12$ s alınacaktır. Spektrum köşe periyodları T_0 ve T_s ise aşağıdaki şekilde tanımlanır.

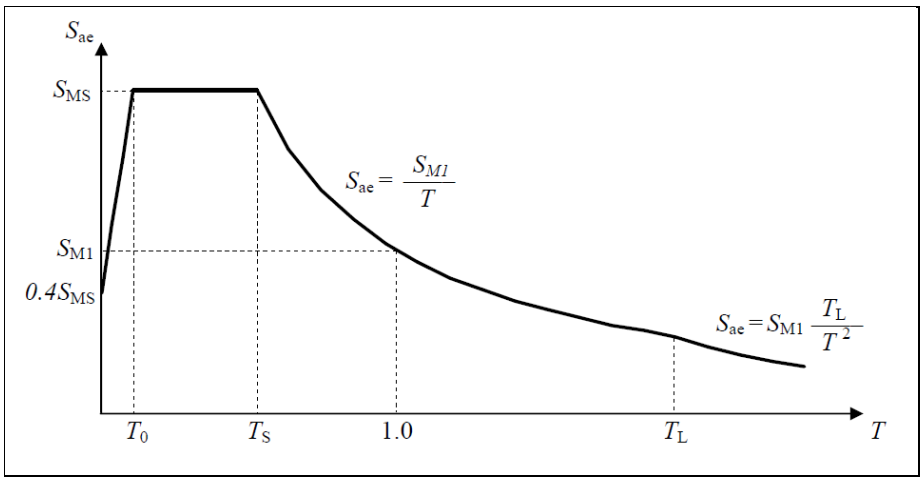
$$T_S = \frac{S_{M1}}{S_{MS}} \qquad T_0 = 0.2T_S \tag{3.7}$$

Tablo 3.1: Kısa periyod zemin katsayısı $\mathbf{F_a}$.

Zemin Sınıfı*	Kısa Periyod Spektral İvmesi (g)[a]				
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.0$	$S_S \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	–[b]	–[b]	–[b]	–[b]	–[b]

Tablo 3.2: 1.0 sn periyodu zemin katsayısı $\mathbf{F_v}$.

Zemin Sınıfı*	1.0 sn periyodunda Spektral İvme (g)[a]				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.20$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	–[b]	–[b]	–[b]	–[b]	–[b]



Şekil 3.1: Deprem tasarım spektrumları.

3.1.3. Eşdeğer Deprem İvmesi Katsayıları

D1 ve D2 deprem düzeylerinde statik-eşdeğer dinamik zemin basıncı ile su basıncının hesabında göz önüne alınacak olan eşdeğer deprem ivmesi katsayıları**,** etkin yer ivmesi katsayıları cinsinden hesaplanacaktır. Aşağıda denklem 3.8 ve 3.4' de yer alan A_{10} ve A_{20} etkin yer ivmesi katsayıları denklem 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6 ile tanımlanan tasarım spektrumlarında T=0 s periyoduna karşı gelen spektral ivmenin (0.4 S_{MS}) yerçekimi ivmesine bölünmesi ile elde edilir. D2 Deprem Düzeyi için Eşdeğer Deprem İvmesi Katsayısı k_h aşağıdaki şekilde tanımlanacaktır.

$$k_h = A_{20} \qquad (A_{20} \leq 0.20) \tag{3.8}$$

$$k_h = (\tfrac{1}{3})A_{20}{}^{(\frac{1}{3})} \qquad (A_{20} \geq 0.20) \tag{3.9}$$

Burada A_{20}, D2 deprem düzeyindeki depremin etkin yer ivmesi katsayısıdır.

3.1.4. Ek Su Kütlesi

Su içindeki kazıklarda ve köprü ayaklarında, elemanın kendi kütlesine ve kutu kesit durumunda kesitin içinde alınacak su kütlesine ek olarak, kazık-su ve ayak-su eylemsizlik etkileşimi bağlamında göz önüne alınacak ek su kütlesine ilişkin bağıntılar aşağıda verilmiştir.

Yarıçapı r olan dairesel kesitli elemanlarda göz önüne alınacak ek su kütlesi denklem 3.10 da verilmiştir.

$$m_A = \rho_w \pi r^2 \tag{3.10}$$

3.2. Kıyı Liman Yapılarının Deprem Etkisi Altındaki Tasarımı

3.2.1. Kazıklı Rıhtım ve İskeleler

Kazıklı rıhtımlar, tek taraftan gemi yanaşmasına olanak sağlayan, arkadaki zemin dolgunun kazıkların arasından denize doğru şev oluşturduğu, ancak tabliyeye doğrudan yük aktarmadığı sistemlerdir. Kazıklı iskeleler, iki veya daha çok taraftan gemi yanaşmasına olanak sağlayan bağımsız sistemlerdir [3].

3.2.2. Kıyı Ve Liman Yapılarının Deprem Performansı Bakımından Sınıflandırılması

Özel sınıfa giren kıyı liman yapıları aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır:

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

Normal sınıfa giren kıyı liman yapıları aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır:

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

Basit sınıfa giren kıyı liman yapıları aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır:

- Özel sınıf ve normal sınıftaki yapıların dışında kalan daha az önemli yapılar
- Önemsiz Sınıfı'ndaki yapıların dışında kalan yapılar

Önemsiz sınıfına giren kıyı ve liman yapıları aşağıdaki gibi gruplandırılmıştır:

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

3.2.3. Kıyı Liman Yapıları İçin Tanımlanan Performans Düzeyleri

Kıyı liman yapılarının performans düzeyleri, deprem etkisi altında meydana gelmesi beklenen hasarlara bağlı olarak aşağıda tanımlanmıştır. Bu performans düzeyleri için kabul edilebilir hasar limitleri, her bir yapı tipi ve elemanı için ayrı ayrı ve sayısal olarak tanımlanacaktır.

Minimum hasar performans düzeyi, kıyı ve liman yapılarında 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 operasyonu kesintisiz olarak devam eder veya meydana gelebilecek aksamalar birkaç gün içerisinde kolayca giderilebilecek düzeyde kalır.

Kontrollü hasar performans düzeyi, kıyı ve liman yapılarında 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 elamana ilişkin liman operasyonunda kısa süreli aksamaların meydana gelmesi normaldir.

İleri hasar performans düzeyi, kıyı ve liman yapılarında ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında göçme öncesinde meydana gelen ileri derecedeki yaygın hasarı temsil etmektedir. Bu durumda, ilgili yapı veya elamana ilişkin liman operasyonunda uzun süreli aksamaların meydana gelmesi, hatta ilgili liman servisinin tamamen iptal edilmesi mümkündür.

Bu durumda kıyı ve liman yapılarında ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında tam göçme hasarı meydana gelir. İlgili yapı ve elamana ilişkin liman operasyonuna devam edilemez.

3.2.4. Kıyı ve Liman Yapılarında Öngörülen Performans Hedefleri

Kullanım amacı, türü ve önemine göre performans sınıfları tanımlanan kıyı liman yapıları için hedeflenen performans düzeyleri, yukarıda tanımlanmış bulunan deprem düzeylerine bağlı olarak Tablo 3.3.’ de verilmiştir.

Tablo 3.3: 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)**	–

3.2.5. Tasarım ve Değerlendirme Yöntemleri

Kıyı ve liman yapılarının depreme karşı tasarımında kullanılacak yöntemler iki temel gruba ayrılmaktadır. Yöntemlerin genel tanımları ve uygulama kapsamları aşağıda verilmiştir.

Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımı, elastik deprem kuvvetleri ve elastik ötesi sünek davranış dikkate alınarak azaltılan eşdeğer deprem kuvvetleri altında yapılan doğrusal elastik analize göre, sistemlerin stabilitesinin ve yapısal elemanların dayanımlarının yeterliliklerinin sağlanması esasına dayanır.

Şekil değiştirmeye (yer değiştirmeye) Göre Tasarım (ŞGT) yaklaşımında, belirli düzeylerdeki deprem yer hareketleri altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar sayısal olarak belirlenir ve bu hasarın ilgili elemanlar için kabul edilebilir hasar limitlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilir. Kabul edilebilir hasar limitleri, çeşitli deprem düzeylerinde yapı için öngörülen hedef performans düzeyleri ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır. Eleman düzeyinde hesaplanması öngörülen deprem hasarı, şiddetli depremlerde genel olarak doğrusal elastik sınırlar ötesinde meydana nonlineer şekil değiştirmelere veya bunlarla uyumlu yer değiştirmelere karşı geldiğinden bu yaklaşım Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım yaklaşımı olarak adlandırılır. ŞGT yöntemleri, modern tasarım yaklaşımı Performansa Dayalı Tasarım' ın temel yöntemidir [3].

Tablo 3.4: Kazıklı iskele ve rıhtımlara çeşitli deprem düzeylerinde uygulanacak tasarım yöntemleri.

Yapının Sınıfı	**(D1) Deprem Düzeyi**	**(D2) Deprem Düzeyi**	**(D3) Deprem Düzeyi**
Özel	–	**DGT / ŞGT**	**ŞGT**
Normal	**DGT**	**DGT / ŞGT**	–
Basit	**DGT**	–	–
Önemsiz	–	–	–

Yukarıda açıklanan Dayanıma Göre Tasarım (DGT) ve Şekil değiştirmeye Göre Tasarım Yöntemleri (ŞGT) mevcut kıyı ve liman yapılarının deprem performanslarının değerlendirilmesi için de kullanılabilir. Kazıklı rıhtım ve iskelelerde değerlendirmeler tercihen ŞGT Yöntemleri ile yapılmalıdır.

3.2.6. Kazıklı Rıhtım ve İskelelerin Deprem Etkisi Altında Tasarımı

Deprem yüklerini taşıyan rıhtım ve iskele taşıyıcı sistemlerinde ve aynı zamanda taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların her birinde, deprem yüklerinin kazıklar aracılığıyla temel zeminine güvenli bir şekilde aktarılmasını sağlayacak yeterlikte rijitlik, kararlılık, dayanım ve süneklik bulundurmalıdır [3].

Kazıklı rıhtım ve iskelelerde tabliyeler, birbirleri ile ve kazıklarla moment aktaran monolitik birleşimlere sahip kirişlerden ve bu kirişlerin taşıdığı döşeme plaklarından oluşur. Kiriş ve plaklar, kendi aralarında veya kazıklarla birlikte yerinde dökme betonla kompozit duruma getirilmek kaydı ile prekast elemanlar olarak yapılabilirler.

Tabliye taşıyıcı sistemi deprem kuvvetlerinin ve diğer yatay yüklerin tabliyeden kazıklara ve kazıklar arasında güvenle aktarılmasını sağlayacak yeterlikte iç rijitliğe ve dayanıma sahip olmalıdır. Yeterli olmayan durumlarda, tabliyede uygun aktarma elemanları düzenlenmelidir.

Kazıklı rıhtım ve iskelelerde kazıklar, çelik boru kazık, betonarme kazık veya öngerilmeli kazık olarak yapılabilir. Mutlak zorunluluk olmadıkça rıhtım ve iskelerde eğik kazık yapımından olabildiğince kaçınılmalıdır.

Çelik boru kazıkların kazık başlığı veya tabliye ile monolitik bağlantısı, ıslanma bölgesi boyunca kazığın içine doldurulan betondan kazık başlığına veya

tabliyeye uzatılan betonarme donatıları ile sağlanacaktır. Çelik boru kesit, kazık başlığının veya tabliyenin altına en fazla pas payı kadar sokulacaktır. Monolitik bağlantıda, boru kazık iç çapına eşit çaplı betonarme kesit esas alınacaktır. Aynı bağlantı detayı, betonarme ve öngerilmeli kazıklarda da uygulanacaktır.

Kazıklı rıhtım ve iskelelerde, tabliye kirişlerinde plastik mafsal oluşumuna izin verilmeyecektir. Plastik mafsallar sadece kazıklarda ve/veya kazıkların kazık başlığı veya tabliye ile monolitik bağlantılarında meydana gelebilir.

Rıhtım ve iskeleler, yanaşma çizgisi boyunca uygun uzunluklu anolar halinde düzenlenmelidir. Ano boylarına, deprem analizinden bağımsız olarak 20°C düzgün sıcaklık düzgün sıcaklık değişmesi için yapılacak taşıyıcı sistem analizine göre karar verilebilir. Anoların olabildiğince uzun olmasına çalışılmalıdır. Anolar arasındaki boyuna doğrultudaki farklı yer değiştirmelere olabildiğince izin verecek derz boşlukları bırakılmalı, enine doğrultuda ise yatay kuvvetlerin bir anodan diğerine aktarılmasını sağlayacak takoz ve benzeri elemanlar kullanılmalıdır.

Kazıkların beton kalitesi en az C40, tabliyenin beton kalitesi ise en az C30 olacaktır. Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım'da sadece kazıklarla sınırlı olmak üzere, öngerme çeliği hariç, tasarım dayanımı olarak ortalama dayanım f_e değerleri kullanılacak, malzeme güvenlik katsayıları gözönüne alınmayacaktır. Ortalama dayanım değerleri ile karakteristik dayanım değerleri arasındaki ilişkiler, beton için $f_{ce} = 1.3\, f_{ck}$, donatı çeliği için $f_{ye} = 1.17\, f_{yk}$ olarak alınabilir. Tabliye elemanları ile kazıkların kesit hesapları, taşıma gücü ilkesine göre yapılacaktır.

Betonarme ve öngerilmeli betonarme kazıkların minimum en kesit boyutları 30/30 cm veya Ø30 cm olacaktır.

Özel Sınıfa ve Normal Sınıfa giren rıhtım ve iskelelerde betonarme ve öngerilmeli kazıkların spiral enine donatıları en az denklem 3.11 ve denklem 3.12 'de verilen kadar olacaktır.

$$\rho_s \geq 0.12 \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \tag{3.11}$$

Burada ρ_s spiral enine donatının aşağıda tanımlanan hacimsel oranını göstermektedir.

$$\rho_s = \frac{4A_{ws}}{(D-2d')s} \tag{3.12}$$

Çelik boru, betonarme ve öngerilmeli kazıkların kazık başlığına veya tabliyeye betonarme kesitli monolitik bağlantısında; yarısı kazık içinde diğer yarısı ise kazık başlığı ve tabliye içinde olmak üzere, en az $L_p = 0.044\ f_{yk}\ d_b$(mm) bağıntısı ile hesaplanan kritik uzunluk boyunca donatılar minimum değeri denklem 3.11 ve denklem 3.12' de verilen spiral donatı ile sarılacaktır. Burada f_{yk} ve d_b sırasıyla bağlantıda gözönüne alınan betonarme kesitteki donatı çeliğinin karakteristik akma gerilmesini [Mpa] ve çapını [mm] göstermektedir.

Tabliye analiz modelinde kirişlerin sadece yatay eksenler etrafında eğilme ve burulma şekil değiştirmesi yapabileceği göz önüne alınacak, kiriş-döşeme sisteminin kendi düzlemi içinde sonsuz rijit tek bir diyafram olarak çalıştığı varsayılacaktır. Deprem analizinde tabliye kütlesi olarak sadece öz ağırlığa karşı gelen kütle hesaba katılacaktır.

Analiz modelinde kazıklar yeterince küçük parçalara ayrılacak ve kazık kütleleri, bu elemanların birleşim noktalarında yığılı kütleler olarak tanımlanacaktır. Kazıkların su içinde kalan kısımlarındaki yığılı kütlelerde ek su kütlesi de göz önüne alınacaktır.

Kazıkların zeminle etkileşimi Şekil Değiştirmeye Göre tasarım durumunda elastik olmayan (nonlineer) zemin yayları ile göz önüne alınacaktır. Doğrusal elastik zemin yayları sadece yatay doğrultuda tanımlanacaktır.

Yeteri kadar küçük parçalarla modellenen kazık elemanlarının rijitlik matrislerinde ikinci mertebe (P-Δ) etkileri göz önüne alınacaktır.

Kazıklı rıhtım ve iskelelerde depremin sadece yatay düzlemde ve birbirine dik iki eksen doğrultusunda ayrı ayrı etkidiği varsayılacaktır.,

3.2.7. Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım (ŞGT)

Rıhtım ve iskeleler düşey veya eğik olarak tasarlanabilmektedir. Taşıyıcı sistemleri betonarme kazıklar ile bu kazıklara monolitik olarak bağlanmış başlık kirişleri ve döşeme plaklarında oluşmaktadır. Eleman düzeyinde hesaplanması öngörülen deprem hasarı, şiddetli depremlerde genel olarak doğrusal elastik sınırlar

ötesinde meydana gelen şekil değiştirmelere veya bunlarla uyumlu yer değiştirmelere karşı geldiğinden bu yaklaşım " Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım" yaklaşımı olarak adlandırılır. Şekil değiştirmeye göre tasarım yöntemleri, modern tasarım yaklaşımı "Performansa Dayalı Tasarım" ın temel yöntemleridir. ŞGT yaklaşımında belirli düzeylerdeki yer hareketleri altında taşıyıcı sistem elemanlarında oluşabilecek hasar sayısal olarak belirlenir ve bu hasarın ilgili elemanlar için kabul edilebilir hasar limitlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilir. Kabul edilebilir hasar limitleri, çeşitli deprem düzeylerinde yapı için öngörülen hedef performans düzeyleri ile uyumlu olacak şekilde tanımlanır.

- Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Yapı-Zemin Etkileşimi Analizi

Rıhtım veya iskeleyi oluşturan yapısal elemanlarla zemin ortamını bir arada, doğrusal elastik olmayan (nonlineer) biçimde idealleştiren ve ayrıca zemin ortamının geometrik sınırsızlığını göz önüne alan üç boyutlu dinamik yapı zemin etkileşimi modelinin zaman tanım alanındaki analizidir. Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım'ın gerekli olduğu bütün durumlarda yapılabilir. Ancak bu tür bir ideal analiz modeli yerine aşağıda tanımlanan basitleştirilmiş nonlineer kazık-zemin etkileşimi modeli kullanılmasına izin verilebilir.

- Nonlineer Kazık Modeli

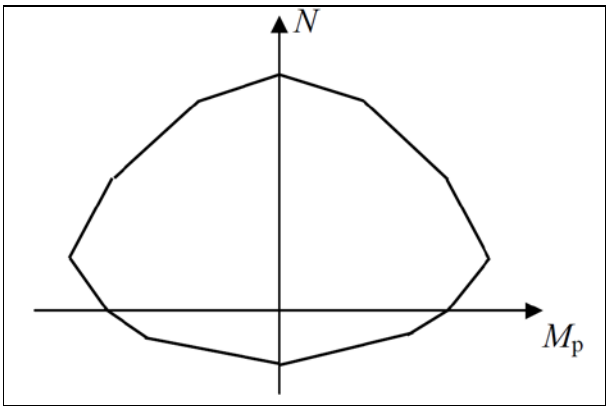
Kazıkların analiz modelleri ile ilgili olarak verilen kurallara ek olarak, nonlineer kazık modeli için aşağıdaki kurallara da uyulacaktır.

Eğilme ve eksenel kuvvet etkisi altındaki kazıklarda doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, literatürde geçerliliği kanıtlanmış modeller kullanılabilir. Bu bağlamda, mühendislik uygulamalarındaki yaygınlığı ve pratikliği nedeniyle yığılı plastik davranış modeli tercih edilebilir. Plastik mafsal hipotezi' ne karşılık gelen bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kazıklardaki iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler (plastik şekil değiştirme bölgesi) boyunca, plastik şekil değiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır.

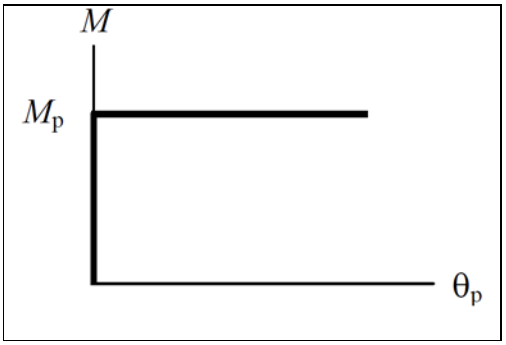
Kazıklarda plastik mafsalların oluşabileceği yerlere göre, plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu (plastik mafsal boyu) aşağıdaki şekilde belirlenecektir:

- Kazıkların kazık başlığına veya tabliyeye betonarme kesitli monolitik bağlantısında oluşacak plastik mafsal için göz önüne alınacak plastik şekil değiştirme bölgesi uzunluğu Lp (plastik mafsal boyu), daha önce tanımlanan kritik uzunluk' a eşit alınacaktır.
- Tarama kotu altındaki zemin içinde veya rıhtımlarda dolgu zemin içerisinde oluşacak plastik mafsallarda, plastik şekil değiştirme bölgesi uzunluğu (plastik mafsal boyu), kazığın çalışan doğrultudaki kesit boyutuna eşit alınacaktır (Lp=h).

Bir veya iki eksenli eğime ve eksenel kuvvet etkisinde plastikleşen betonarme, çelik ve kompozit kazık kesitlerinin akma yüzeyleri uygun biçimde doğrusallaştırılarak iki boyutlu davranış durumunda akma çizgileri, üç boyutlu davranış durumunda ise akma düzlemleri olarak modellenebilir. Betonarme kazık için Şekil 3.2 kullanılabilir. Betonarme ve kompozit kazık kesitlerinin eşdeğer akma yüzeylerinin belirlenmesinde minimum sargı donatısına sahip betonun maksimum basınç birim şekil değiştirmesi 0.004, donatının veya boru çeliğinin maksimum birim şekil değiştirmesi ise 0.015 alınabilir [3].



Şekil 3.2: Akma çizgileri.



Şekil 3.3: Plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı.

İç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak plastik momentin artışı) yaklaşık olarak terk edilebilir (Şekil 3.3). Bu durumda, bir veya iki eksenli eğilme ve eksenel kuvvet etkisindeki kesitlerde plastikleşmeyi izleyen itme adımlarında, iç kuvvetlerin akma yüzeyinin üzerinde kalması koşulu ile plastik şekil değiştirme vektörünün akma yüzeyine yaklaşık olarak dik olması koşulu göz önüne alınmalıdır.

Betonarme kazıkların akma öncesi başlangıç rijitlikleri olarak çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitlikleri $(EI)_e$ kullanılacaktır. Etkin eğilme rijitliği aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanır.

$$(EI)_e = \frac{M_P}{\Phi_y} \tag{3.13}$$

Burada M_p, düşey yüklerden oluşan kazık eksenel kuvvetleri kullanılarak hesaplanan nominal plastik momenti, Π_y ise akma eğriliğini göstermektedir. Daha kesin bir hesap yapılmadıkça, akma eğriliği için aşağıdaki yaklaşık bağıntıdan yararlanılabilir.

$$\Phi_y = \alpha \frac{\varepsilon_y}{d} \tag{3.14}$$

Burada ε_y donatı çeliğinin akma birim şekil değiştirmesini, d kesitin eğilmede çalışan boyutunu, α ise aşağıda tanımlanan ampirik katsayıyı göstermektedir.

- Dairesel Kazıkta : $\alpha = 2.25$
- Dikdörtgen Kazıkta : $\alpha = 2.10$

Betonarme tabliye kirişlerinde plastik mafsalların oluşmasına hiçbir zaman izin verilmeyecektir. Bu elemanlarda etkin eğilme rijitliği için $\alpha = 2.0$ alınarak denklem 3.13 ve denklem 3.14' den yararlanılabilir.

Nonlineer kazık modelinde;

- Kazık-zemin etkileşimini temsil eden ayrık zemin yaylarında, doğrusal-elastik olmayan (nonlineer) kuvvet-yer değiştirme ilişkileri göz önüne alınacaktır. Bu ilişkiler, birbirine dik iki yatay doğrultuda (p-y eğrileri), eksenel doğrultuda kazık çeperi boyunca (t-z eğrileri) ve kazık ucunda (Q-Z eğrileri) tanımlanacaktır. Daha ileriki kısımlarda bu eğrilere detaylı olarak değinilecektir. Bu eğrilerin tanımlandığı zemin parametrelerinin alt ve üst limitleri göz önüne alınarak ayrı ayrı hesap yapılacak, en elverişsiz sonuç tasarıma esas alınacaktır.
- Kazıkların alt ucunda eşdeğer ankastre mesnet tanımlaması yapılmayacaktır.

Deprem etkisi altında nonlineer itme analizi yöntemleri; deprem etkisi altında nonlineer itme analizi için kullanılabilecek yöntemler, artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ve artımsal mod birleştirme yöntemidir. Aşağıda tanımlanan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi, sadece iki deprem doğrultusunda da tam simetrisi olan düzenli sistemlere uygulanabilir. Diğer bütün rıhtım ve iskele sistemlerinde aşağıda tanımlanan artımsal mod birleştirme yöntemi veya zaman tanım alanında doğrusal olmayan hesap yöntemi kullanılacaktır.

Artımsal mod birleştirme yönteminde, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeterli sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yer değiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak mod birleştirme yöntemi artımsal olarak uygulanır. Ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında, taşıyıcı sistemde "adım adım doğrusal elastik" davranışın esas alındığı bu itme analizi yöntemi Ek D'de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

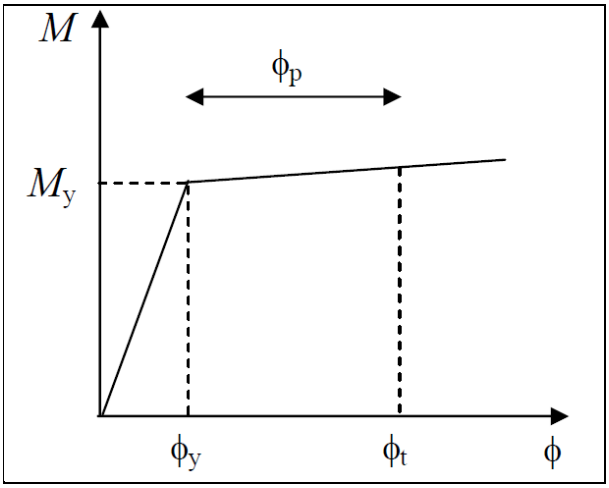
Birim Şekil Değiştirme İstemlerinin Belirlenmesi; artımsal mod birleştirme yöntemi ile yapılan itme analizi sonucunda çıkış bilgisi olarak herhangi bir kazık kesitinde elde edilen θ_p plastik dönme istemine bağlı olarak plastik eğrilik istemi, aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır.

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \tag{3.15}$$

Amaca uygun olarak seçilen çelik ve beton modelleri kullanılarak, kesitteki eksenel kuvvet istemi altında yapılan analizlerden elde edilen iki doğrulu moment-eğrilik ilişkisi ile tanımlanan Φ_y eşdeğer akma eğriliği, denklem 3.15 ile tanımlanan Φ_p plastik eğrilik istemine eklenerek, kazık kesitindeki Φ_t toplam eğrilik istemi elde edilecektir (Denklem 3.16).

$$\phi_t = \phi_y + \phi_p \tag{3.16}$$

Betonarme, öngerilmeli ve çelik kazıklarda beton, donatı çeliği, öngerme çeliği veya yapı çeliğinin birim şekil değiştirme istemleri, denklem 3.16. ile tanımlanan toplam eğrilik istemine göre moment-eğrilik analizi yapılarak hesaplanacaktır.



Şekil 3.4: Moment-eğrilik ilişkisi.

Kazıklarda Kesit Birim Şekil Değiştirme Kapasiteleri; betonarme, öngerilmeli ve çelik kazıkların plastik şekil değiştirme bölgelerinde beton, donatı çeliği, öngerme çeliği veya yapı çeliğinin birim şekil değiştirmeleri cinsinden elde edilen deprem istemleri, Tablo 3.5.' de tanımlanan birim şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenecektir [3].

Tablo 3.5: Kazıkların plastik kesitleri için tanımlanan birim şekil değiştirme kapasiteleri.

Birim şekildeğiştirme	**Performans Düzeyi**	
	MH	**KH**
Betonarme ve öngerilmeli beton kazık		
Kazık – kazık başlığı / tabliye bağlantısındaki plastik kesitte ve zemin içindeki plastik kesitte:		
Beton basınç birim şekildeğiştirmesi	0.005	0.020
Donatı çeliği çekme birim şekildeğiştirmesi	0.010	0.040
Zemin içindeki plastik kesitte:		
Öngerme çeliği birim şekildeğiştirmesi	0.005(1)	0.040
Çelik boru kazık		
Kazık – kazık başlığı / tabliye bağlantısındaki betonarme plastik kesitte:		
Beton basınç birim şekildeğiştirmesi	0.008	0.025
Donatı çeliği çekme birim şekildeğiştirmesi	0.010	0.040
Zemin içindeki plastik kesitte çelik basınç ve çekme birim şekildeğiştirmesi:		
İçi boş boru kazık	0.008	0.025
İçi beton doldurulmuş kompozit kazık	0.008	0.035
(1) Birim şekildeğiştirmede deprem nedeni ile meydana gelen artış		

Betonarme kazıkların kesme kuvveti kapasitesi; artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi sonucunda betonarme kazıklarda çıkış bilgisi olarak elde edilen kesme kuvveti istemi esas alınarak gevrek kesme kırılmasına göre performans değerlendirmesi yapılacaktır. Kesme kuvveti ile karşılaştırmada esas alınacak kesit kesme kuvveti kapasitesi V_e aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$$V_e = V_c + V_s + V_p \tag{3.17}$$

Burada V_c, V_s ve V_p sırası ile betonun, çeliğin ve kesite etkiyen eksenel kuvvetin kesme kuvveti kapasitesine katkısını göstermektedir. Çeliğin katkısı, karakteristik dayanım esas alınarak TS-500'e göre belirlenecektir. Betonun katkısı ise aşağıdaki bağıntı ile hesaplanacaktır.

$$V_c = 0.80 A_c k_c \sqrt{f_{ck}} \tag{3.18}$$

Burada $A_c$kesitin brüt alanını [mm2], f_{ck} karakteristik beton basınç dayanımını [Mpa], k_c ise eğrilik sünekliği istemine bağlı olarak aşağıda tanımlanan katsayıyı göstermektedir. Bu bağıntı ile hesaplanan V_c' nin birimi [N] dir.

$$k_c = 0.288 \qquad (\mu_\phi \leq 3) \tag{3.19}$$

$$k_c = 0.432 - 0.048\mu_\phi \qquad (3 < \mu_\phi \leq 7) \tag{3.20}$$

$$k_c = 0.137 - 0.0059\mu_\phi \qquad (7 < \mu_\phi \leq 15) \tag{3.21}$$

$$k_c = 0.0485 \qquad (15 < \mu_\phi) \tag{3.22}$$

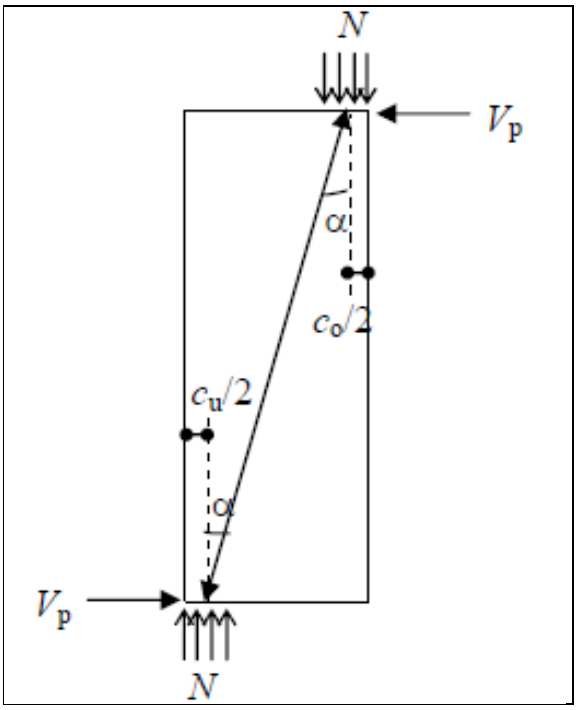
Yukarıdaki bağıntılarda μ_ϕ kesitin eğrilik sünekliği istemini göstermektedir.

$$\mu_\phi = \phi_t / \phi_y \tag{3.23}$$

Denklem 3.18 ’ de yer alan üçüncü terim V_p aşağıda tanımlanmıştır.

$$V_p = N tan\alpha \tag{3.24}$$

Burada N, ayağın eksenel kuvvetini (basınç pozitif), c_0 ve $c_u$ise üst ve alt kesitlerdeki eşdeğer basınç bloğunun derinliğini göstermektedir. Kesin hesap yapılmaması durumunda bu değerler kesit yükseklinin yaklaşık olarak %20’ sine eşit alınabilir [3].



Şekil 3.5: Kesite etkiyen eksenel kuvvet.

Betonarme tabliye elemanlarının kesme kapasitesi**;** artımsal mod birleştirme yöntemi ile itme analizi sonucunda doğrusal elastik olarak çalışması öngörülen betonarme tabliye elemanlarının gevrek kesme kırılmasına göre performans değerlendirilmesi TS-500’e göre yapılacaktır.

3.3. Öngerilmeli Beton

Öngerilmeli beton, elemana gelecek yüklerin etkilerinin, çeliğin gerilmesi ile istenilen şekilde dengelendiği betondur. Bir diğer tarife göre; yüksek dayanımlı beton

ile yüksek dayanımlı, haddelenmiş, yüksek elastik sınırlı çelik donatıların bir arada kullanılmasıyla elde edilen, çeliğe yapay olarak verilen gerilmenin betona iletilmesiyle kesitte oluşacak çekme gerilmelerinin dengelendiği betona, öngerilmeli beton denilmektedir. Öngerilmeli betonlar; yüksek kaliteli çelik ve betonun birlikte kullanılmasıyla ağırlığın azaltılarak büyük açıklıkların ekonomik olarak geçilebilmesi, kesitin bütün yüksekliğinin çalışmasını sağlayarak narin ve cazip elemanlar yapılabilmesi, iç kuvvetlerin istenilen durumda olmasını sağlayarak sehimlerin istenilen mertebelerde tutulabilmesi ve çatlama durumuna hakim olunabilmesi gibi birçok avantaj sağlamaktadır [4].

Bu tez çalışmasındaki iskele sistemindeki kazıklarda öngerilmeli betonun kullanılmasının sebebi; kazıkların taşınması, kaldırılması ve çakılması sırasında oluşacak ekstra gerilmelerin kazık yapısına olan etkilerini azaltmak ve belirli bir sınırda tutarak, hasar oluşmasını önlemektir.

3.3.1. Tanımlar

Çimento; genel olarak normal portland tipi çimento öngerilmeli betonda kullanılabilir. Gerekli durumlarda çabuk sertleşen portland tipi çimento kullanılmalıdır. Agrega; TS 706’ ya uygun olmalıdır. Su; TS 500’ e uygun olmalıdır ancak öngerilmeli beton için deniz suyu, nitratlı sular kullanılmamalıdır. Katkı maddeleri; öngerilmeli beton yapımında katkı maddelerinin kullanımından kaçınılmalıdır. Özellikle kalsiyum klorürlü katkı maddeleri öngerilmeli betonda kesinlikle kullanılmamalıdır. Diğer katkı maddeleri ancak deneysel karışımlarla uygunlukları kanıtlanırsa kullanılmalıdır. Betonarme çeliği; betonarme çeliği TS 500’e ve TS 708’e uygun çelik çubuk veya hasırdır. Çubuk olarak nervürlü nervürlü donatı tercih edilmelidir ancak karakteristik akma dayanımı 420 N/mm2’ yi aşmamalıdır [5].

Öngerme teli; yüksek dayanımlı çeşitli çaplarda imal edilen, düz veya kıvrımlı çelik teldir. Öngerilmeli betonda kullanılacak teller, kaplamasız, gerilmeden arınmış, orantılılık sınırı yükseltilmiş ve Tablo 3.6’ daki özelliklere sahip olacaktır.

Tablo 3.6: Öngerme teli mekanik özellikleri.

Anma Çapı mm	Minimum Kopma (Çekme) Dayanımı kgf/cm² (N/mm²)	Minimum Akma Limiti = % 1 Birim Uzama Karşılığı Gerilme[1]	Kopmada Birim Uzama % (Minimum)	Elastisite Modülü kgf/cm² (N/mm²)
1,5 ila ≤ 3.0	18000 (1800)	Kopma dayanımının	4	2.0 x 10^6
> 3.0 ila ≤ 4.0	17000 (1700)			(2.0 x 10^5)
> 4.0 ila ≤ 12	15000 (1500)	% 80'i		

1) Gerilme-Birim uzama eğrisine % 1 birim uzama değerinden dik çıkılarak elde edilen gerilmedir.

Öngerme toronu; bir telin etrafında bir veya birden fazla telin veya en az iki telin birbirine sarılmasıyla elde edilmiş örüktür. Öngerilmeli betonda kullanılacak toronlar öngerme telinden örülecek ve Tablo 3.7' deki özelliklere sahip olacaktır.

Tablo 3.7: Öngerme toronu mekanik özellikleri.

Tel Çapı (mm)	Tel Sayısı	Minimum Kopma Dayanımı kgf/cm² (N/mm²)	Minimum Akma Limiti = % 1 Birim Uzama Karşılığı Gerilme	Kopmada Birim Uzama % (Min.)	Elastisite Modülü Kgf/cm² (N/mm²)
2 ila 3	2 veya 3	16000 (1600)	Kopma Dayanımının % 85'i'	3,5	1,8 x 10^6
2 ila 4	7	16000 (1600)			(1,8 x 10^5)

Öngerme çubuğu; yüksek dayanımlı çeşitli çaplarda üretilmiş özel alaşımlı çelik çubuktur (Tablo 3.8).

Tablo 3.8: Öngerme çubuğu mekanik özellikleri.

Çapı (mm)	Minimum Kopma Dayanım Kgf/cm² (N/mm²)	Minimum Akma Lim. = % 1 Birim Uzama Karşılığı Gerilme	Kopmada Birim Uzama % (Min.)	Elastisite Modülü kgf/cm² (N/mm²)
7 ilâ 32	10 000 (1000)	Kopma Dayanımının % 90'ı	4	2,0 x 10^6 (2,0 x 10^5)

Öngerme kablosu; öngerme tel, toron veya çubukların grup olarak kullanılmasıdır. Genellikle ardgerme metodunda kullanılır.

Öngerme çeliği, öngerilmeli elemanlarda donatı olarak kullanılan, tel, toron, çubuk veya bunlardan oluşan kablodur. Kılıf, ard çekme metodu kullanılan elemanlarda betonun içinde öngerme donatısının geçeceği yörüngede boşluk bırakmak için kullanılan metal ya da plastik borulardır. Ankraj kilidi, öngerme kablosunu kesilmesinden sonra sabitlenmesini sağlamak için yerine konulan gereçtir. Öngerilme verme aygıtı**,** hidrolik çekme aygıtı, normal öngerilme verme aygıtıdır. Yerine göre ağırlıklar, kaldıraçlar veya yassı krikolar kullanılarak öngerilme verilebilir. Mesnet koşullarının uygun olduğu yerlerde (kayalık zeminlerde) betona doğrudan basınç verilerek de öngerilme elde edilebilir. Öngerilme aygıtı aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır;

- Öngerme çeliğinin çekme aygıtına veya çeliği tutan ankraja bağlantısı sağlam olmalıdır.
- İki veya daha fazla sayıda öngerme çeliği kullanılması halinde bütün öngerme çelikleri aynı anda gerilebilmelidir.
- Çekme aygıtı, toplam yükün betona aktarılmasında çelikte, ankrajda veya betonda herhangi bir tehlikeli sekonder gerilme oluşturmamalıdır.
- Çekme anında öngerilme çeliği veya ankrajlar üzerindeki kuvveti doğrudan dinamometre ile ya da basınç göstergesi ile ölçecek göstergelerin aygıt üzerine yerleştirilmesi gerekmektedir.
- Öngerme çeliğininin çekme aygıtına ve veya çeliği tutan aygıta ankraja bağlantısı emin ve sağlam olmalıdır.
- İki veya daha fazla sayıda öngerme çeliği kullanılması halinde bütün öngerme çelikleri aynı miktarda gerilebilmelidir [5].

3.3.2. Germe İşlemi

3.3.2.1. Genel

Öngerme çeliğindeki gerilmenin düzgün ve muntazam olarak artacağı şekilde kalifiye elemanların kontrolü altında yapılmalıdır. Çekme kuvveti, ankraj basıncı kontrolü ve/veya dinamometre ile ölçülmeli, öngerme çeliğindeki uzamaların ölçülmesi ile kontrol edilmelidir. Ankraj basıncı göstergesi veya dinamometrenin iyi

kalibre edilmiş olması ve kalibrasyonunun sık sık kontrol edilmesi zorunludur. Uzama miktarları, kullanılan çeliğin yük-deformasyon eğrisinden alınabilir.

Sıcaklığın 0 °C' den az olduğu hallerde, germe işlemi ancak sorumlu mühendis denetiminde yapılmalıdır.

3.3.2.2. Güvenlik Önlemleri

Öngerme çeliği gerildiği anda büyük ölçüde enerji birikimine yol açar. Telin kopması, ankrajın ya da krikonun kırılması halinde tel büyük bir hızla yerinden fırlayabilir. Bu tehlikenin çalışanlara zarar vermemesi için çekme işleminden evvel, çekme sırasında veya sonrasında her türlü güvenlik önlemlerinin alınması zorunludur.

3.3.2.3. Öngerme Çeliğinin Kesilmesi

Kesme işlemi uygun mekanik ve alevli kesicilerle yapılmalıdır. Alevli kesici kullanılması halinde alevin gerilmiş diğer öngerme çeliklerine gelmemesine dikkat edilmelidir. Metalin alevle keserken fazla erimemesi için aleve bol oksijen verilmelidir. Kesme işleminde, kesim noktası ve sırası önceden saptanmalıdır. Ard çekme sistemlerinde kesme işlemi ankraj kısmından en az bir çap boyu uzaklıkta olmalıdır.

3.3.2.4. Öngerme Çeliğinin Ankre Edilmesi

Eğer hazır ankrajlar kullanılıyorsa, ankre etme işlemi yapımcının önerilerine uygun olmalıdır. Ankrajlardaki öngerme çeliği sıyırma toleransı mühendise bağlıdır ve her ankrajdaki sıyırma kaydedilmelidir. Çelik ankre edildikten sonra çekme aygıtı tarafından uygulanan kuvvet öngerme çeliği ve ankrajı herhangi bir darbeye maruz bırakmamak için yavaşça boşaltılmalıdır. Şerbet ile doldurulmamış aderanssız öngerme çeliği ankrajları, yükü tamamen betona aktaracak kapasitede olmalıdır. Ankrajların paslanmaya karşı korunmalarına da dikkat edilmelidir.

3.3.2.5. Öngerme

Öngerme çeliğinin beton dökülmeden önce çekilmesi işlemidir. Öngerme donatıları önceden belirlenen gerilme miktarınca gerilerek sabit kütlelere ankrajlanırlar. Beton bu gerilen donatıların etrafına yerleştirilmiş kalıpların içine dökülür, bakımı yapılır ve yeterli dayanıma ulaşınca donatılar serbest bırakılır. Beton ile donatılar arasındaki aderans, donatıların kısalmasına direnç gösterir ve böylece beton basınç gerilmesi ile yüklenmiş olur. Buradaki öngerme ifadesi beton sertleşmeden önce donatıların çekme gerilmesi ile yüklendiğini ifade etmektedir. Öngerilme donatılarını germek için genellikle hidrolik krikolar kullanılır. Öngerme metodu ile üretilen elemanlarda, beton ile donatı arasındaki aderansın mümkün olduğunca fazla olmasını sağlamak için öngerme donatılarının çaplarının küçük seçilmesinde fayda vardır. Öngerme metodu fabrikasyon için büyük avantajlar sağladığından ardgermeye göre tercih edilmektedir. Öngerme mekanizmasının daha ekonomik ve seri kullanımı maksadıyla öngerilmeli kazık betonunun kürü dikkatlice yapılmalı ve mümkün olan en kısa sürede aktarılmalıdır [5].

3.3.2.6. Ardgerme

Öngerme çeliğinin, beton döküldükten sonra yeterli dayanıma ulaşmasından sonra çekilmesi ve kolonun uç noktalarına ankre edilmesi işlemidir. Kılıf denilen ince cidarlı borular beton dökülmeden önce kazık boyunca yerleştirilir. Öngerme donatıları bu kılıfların içerisine beton dökülmeden önce veya döküldükten sonra yerleştirilebilirler. Donatılar gerildikten ve ankrajlandıktan sonra kılıf ve donatı arasındaki boşluklar özel harçlar ile doldurulur. Bu harç ile donatı ve betonun aderansı sağlanmış olur. Öngerilmeli elemanın çatlama direnci arttırılmış ve donatılardaki korozyon riski azaltılmış olur [5].

Bu bilgiler ve incelenen uygulama fotoğrafları neticesinde, ön germe ve ardgerme metodunun kıyaslaması aşağıdaki gibi yapılabilir;

- Öngerme metodu; taşınabilir elemanlar ve fabrikasyon için uygun, ardgerme metodu; daha ağır, özellikle boyu itibariyle taşınması zor olan, yerinde yapılması öngörülen ve fabrikasyona elverişsiz olan yapı elemanları için uygundur.

- Öngerme metodunda donatıları içerisinden geçirilmesi için bırakılan kılıflar kullanılmadığından donatı ve beton arasındaki aderansı sağlamak için ekstra özel üretim harçların kullanılmasına gerek yoktur, ardgerme metodunda ise bu işlem gerekmektedir [4].

3.3.3. Öngerilmeli Betonun Elastisite Modülü, Poisson Oranı, Kayma Modülü

Kısa süreli kullanım yükleri için beton elastisite modülü aşağıdaki denklemden hesaplanabilir.

$$E_{cj} = 3250\sqrt{F_{cjk}} + 14000\ N/mm2 \tag{3.25}$$

Denklemde f_{cjk}, betonun j günlük karakteristik basınç dayanımıdır. Poisson oranı 0.2 alınacak, kayma modülü;

$$G_{cj} = 0{,}40\ E_{cj} \tag{3.26}$$

TS 3233' deki hesap esasları ortalama öngermesi 16kg/cm^2 ve daha fazla olan elemanlar için düzenlenmiştir. Bu değerden daha az ortalama gerilmeli elemanlar TS 500' deki minimum donatı koşullarını sağlamalıdır. Buradaki ortalama öngerilme, toplam etkin öngerme kuvvetinin toplam beton kazık kesit alanına bölünmesi ile elde edilecektir.

3.3.4. Minimum Öngerilme ve Donatı

Deformasyon ve gerilme hesaplarında, bütün öngerilmeli beton kolonlarda, dönüştürülmüş kesit için, kayıplardan sonra ortalama 16kg/cm^2 'lik minimum bir öngerilme sağlanacaktır. Bütün öngerilmeli beton kolonlarda, aktarma bölgesine gereken normal etriye ve fretlere ek olarak ilave donatı konulmalıdır.

3.3.5. Eksenel Basınç Elemanları

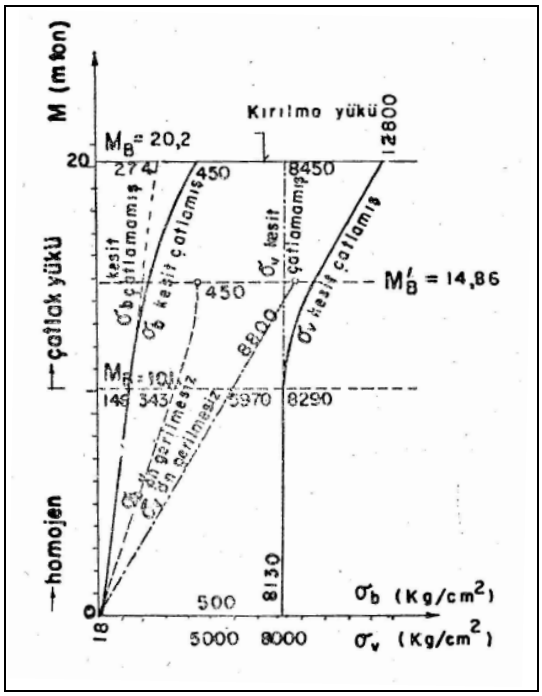
Eksenel basınca zorlanan öngerilmeli elemanlar, kolonlar ve kazıklar olarak sıralanabilir. Eksenel basınca zorlanan kazıkların, taşıma, kaldırma ve çakma etkilerine en iyi dayanım sağlaması yönünden kazık kesitine verilecek ortalama gerilme 5 N/mm^2 kadar olmalıdır.

3.3.6. Öngerilmeli Elemanlarda Gerilme Yayılışı

Öngerilmeli ve öngerilmesiz betonda kırılma yüküne kadar gerilmenin seyri gösterilmiştir. Öngerilmesiz betonda, beton ve çelik gerilmeleri eğilme momenti ile orantılı olarak artar.

Öngerilmeli ve çatlamamış kesitte basınç bölgesindeki beton gerilmeleri ile germe donatısındaki gerilmeler de eğilme momenti ile orantılı olarak artar. Öngerilmeli betonda, öngerme neticesi, yüklenmemiş durumda da çelikte gerilme vardır. Öngerme donatısının kesitteki yeri ve germe kuvveti miktarı basınç bölgesindeki beton gerilmesinin değerini belirler.

Çatlama yükünün aşılması ile betondaki ve çelikteki gerilmelerin artışı hızlanmaktadır. Kırılma durumuna yaklaşıldıkça, öngerilmeli ve öngerilmesiz betonda gerilme artış seyri birbirine benzemektedir. Kırılma durumundan hemen önce çelik gerilmesi, öngerilmelide biraz fazla olmak üzere ikisinde de hemen hemen aynıdır. Buna denk gelen beton gerilmesi öngerilmelide daha düşüktür, buda öngerilmenin basınç bölgesinin yükünü azalttığını göstermektedir [6].



Şekil 3.6: Öngerilmeli ve öngerilmesiz betonda kırılma yüküne kadar gerilmenin seyri.

3.3.7. Öngerilmeli Prekast Betonarme Kazık İmalat Aşamaları

3.3.7.1. Kazık Donatı Kafesinin Hazırlanılması

Öngermeli çelikten imal edilmiş kazık boyuna donatılarının uçları, öngerme işleminde kullanılacak ankraj plakasına sabitlenebilmesi için özel makinelerle bombe şekline getirilir. Normal çelikten imal edilmiş spiral donatılar ile sarılır. Donatı kafesinin hazırlanması işlemi için özel olarak üretilmiş makineler kullanılır. Bu makineler kaynak yardımıyla donatı kafesini hızlı bir şekilde oluşturur [7].

Şekil 3.7: Kazık boyuna donatısının uçlarının, ankraj plakasına sabitlenebilmesi için şekillendirilmesi.

Şekil 3.8: Kazık donatı kafesinin özel makine yardımıyla hazırlanmasının birinci aşaması.

Şekil 3.9: Kazık donatı kafesinin özel makine yardımıyla hazırlanmasının ikinci aşaması.

3.3.7.2. Kazık Donatılarının Başlık Levhalarına Sabitlenmesi

Uçları bombe haline getirilmiş öngerme donatıları özel başlık levhalarına sabitlenir. Buradaki amaç, bütün öngerme donatılarının aynı miktarda gerilmesini sağlayacak bir düzenek oluşturmaktır. Bütün donatıların boylarının aynı olması gerekmektedir, aksi takdirde bütün donatıların eşit olarak gerilebilmesi mümkün olmamaktadır. Çünkü öngerme işlemi bu başlık plakalarından tutularak yapılacaktır [7].

Şekil 3.10: Öngerme donatılarının başlık plakalarına sabitlenmesinin birinci aşaması.

Şekil 3.11: Öngerme donatılarının başlık plakalarına sabitlenmesinin ikinci aşaması.

3.3.7.3. Kazık Donatı Kafesinin Özel Kalıplara Yerleştirilmesi

Başlık levhaları sabitlenmiş donatı kafesi kazık boyuna ve çapına ve başlık levhalarına uygun olarak yapılmış kalıplara vinçler vasıtasıyla yerleştirilir. Öngerilmeli prekast betonarme kazıklarda sökülme zorluğundan dolayı iç kalıp kullanılmaz, sadece iki parçadan oluşan dış kalıp kullanılır [7].

Şekil 3.12: Donatı kafesinin kalıplara yerleştirilmesi.

Şekil 3.13: Kazık üst kalıbının kapatılması.

Şekil 3.14: Kapatılmış kazık kalıbının birinci aşaması.

Şekil 3.15: Kapatılmış kazık kalıbının ikinci aşaması

3.3.7.4. Kazık Öngerme İşlemi

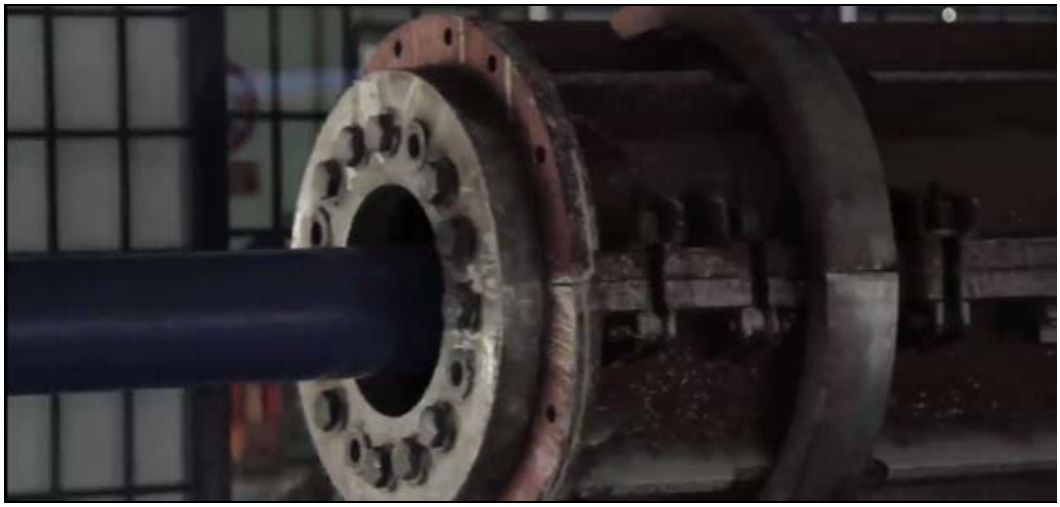
Öngerme işlemi için gerekli dayanım ve takviyelere sahip olduğundan emin olunan kalıp, proje özelliklerine uygun olarak hesaplanmış öngerme kuvveti ile kalıp başına monte edilmiş özel ekipman kullanılarak gerilmektedir. Bu işlem öngerilmeli prekast betonarme kazıklar için en önemli ve hassas aşamadır. Öngerme işleminin hızının kontrol edilebilmesi için gerekli ölçü aletlerinin kalibrasyonundan emin olunmalıdır. Bir diğer önemli husus ise bütün öngerme donatılarının aynı miktarda gerilmemesinden kaynaklanan ilave momentlerin oluşmadığından emin olunmalı ve germe işleminin hızı kontrol altında tutulmalıdır [7].

Şekil 3.16: Öngerme işleminin birinci aşaması.

Şekil 3.17: Öngerme işleminin ikinci aşaması.

3.3.7.5. Beton Dökülmesi

Öngerme işleminden sonra kazık boyunca uzatılan tiremi boruları ile yüksek dayanımlı ve özel karışımlı beton dökümüne başlanılır. Kazık içi kalıbı kullanılmadığı için dökülmesi gereken beton miktarı hassas şekilde hesaplanıp, hesaba uygun miktarda döküldüğünden emin olunmalıdır [7].



Şekil 3.18: Tiremi borusu ile beton dökülmesinin birinci aşaması.

Şekil 3.19: Tiremi borusu ile beton dökülmesinin ikinci aşaması.

Beton döküldükten sonra kazıklar betonun merkezkaç kuvvetinden yararlanılarak düzgün şekilde dökülmesi ve istenilen kazık içi formunun verilebilmesi için kazık döndürme makinesine aktarılırlar. Betonun prizini alacağı süreye kadar uygun hızda döndürülürler ve betonun yerleştirilmesi işlemi tamamlanmış olur.

Şekil 3.20: Kazığın döndürme makinesine taşınması.

Şekil 3.21: Kazık betonun dökülmesinin hemen ardından gerçekleştirilen döndürme işleminin birinci aşaması.

Şekil 3.22: Kazık betonun dökülmesinin hemen ardından gerçekleştirilen döndürme işleminin ikinci aşaması.

3.3.7.6. Beton Sonrası Kürleme İşlemi

Kazıkların taşınması için gerekli dayanıma erken kavuşabilmesi ve imalatı hızlandırabilmek için kazıklar kür fırınlarına aktarılır [7].

Şekil 3.23: Kazıkların kür fırınlarına aktarılmasının birinci aşaması.

Şekil 3.24: Kazıkların kür fırınlarına aktarılmasının ikinci aşaması.

Şekil 3.25: Kür fırınının kapatılması.

Şekil 3.26: Kalıpların açılması.

Şekil 3.27: Kazığın vakumlu ekipman yardımıyla kalıptan çıkarılması.

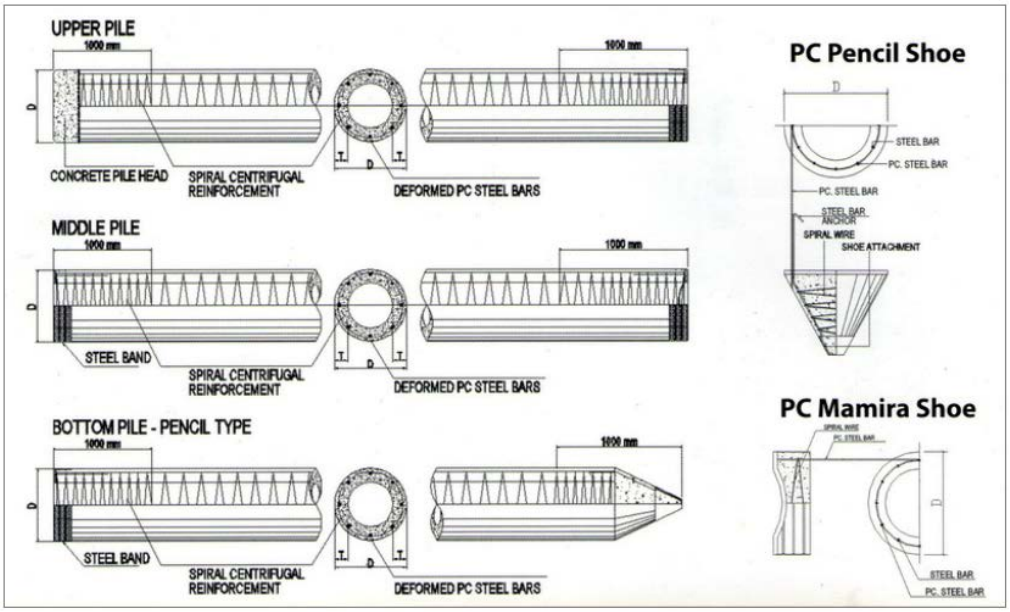
Şekil 3.28: Kalıbı sökülmüş kazığın görüntüsü.

Şekil 3.29: Kazıkların istiflenmesinin birinci aşaması.

Şekil 3.30: Kazıkların istiflenmesinin ikinci aşaması.

Şekil 3.31: Kazıkların aktarılması.

Şekil 3.32: Kazık başlarının proje özelliklerine göre çakım kolaylığı için tasarlanmış başlıkları.



Şekil 3.33: Farklı tip kazık başlıkları.

Şekil 3.34: Kazıkların birbirine eklenebilmesi için kullanılan ilave parça.

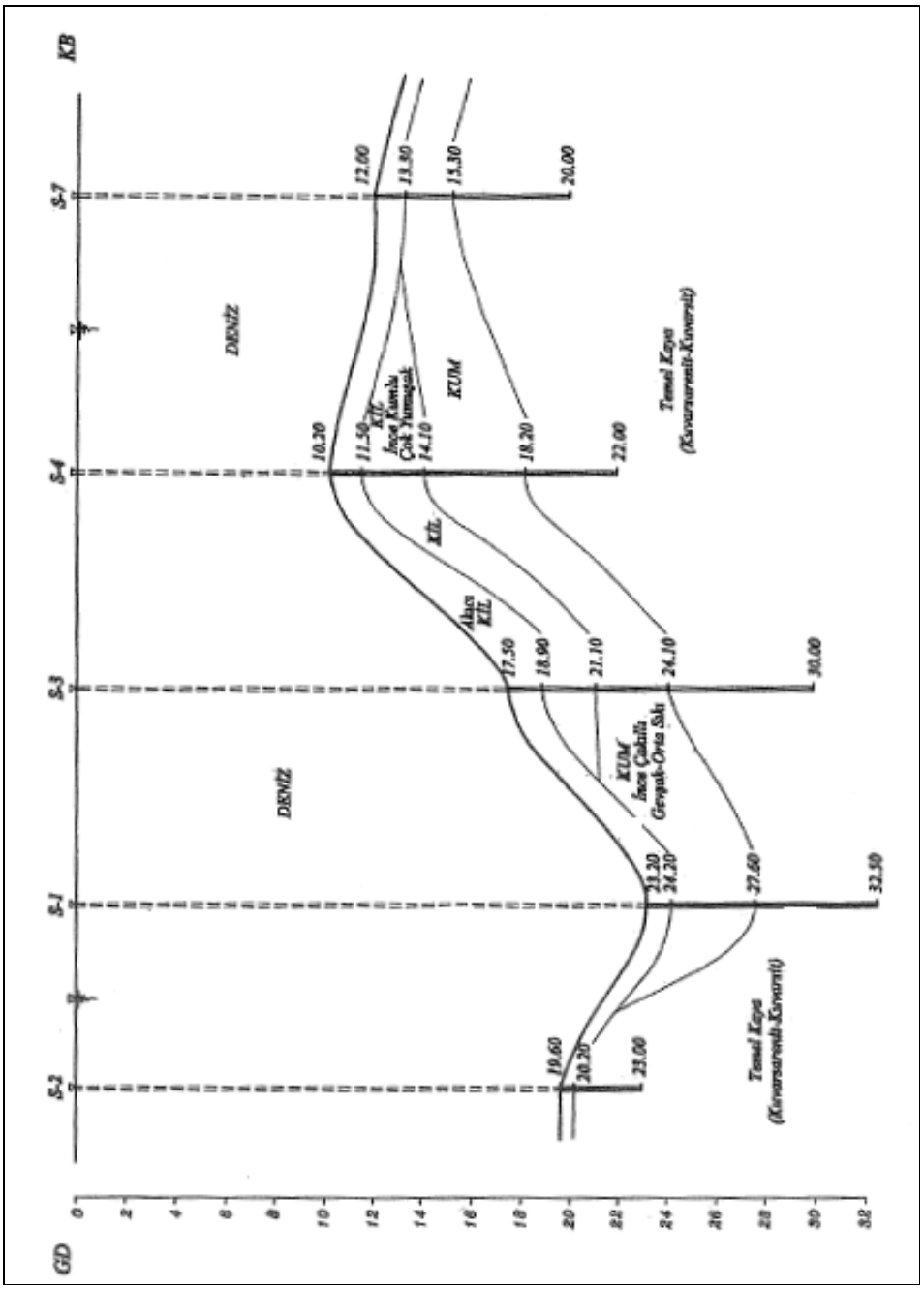
Şekil 3.35: Eklenmiş kazıkların kaynak ile sabitlenmesi.

3.4. Bölge Zemin Özellikleri

Bu tez çalışmasında kullanılacak zemin parametreleri; İstanbul Tuzla bölgesinde yer alan mevcut tersanelerin dışına yapılması düşünülen, yeni bir tersane limanı projesi için Marmara Denizi kıyısında, deniz tabanında sondajlı olarak 2004 yılında bir yapılan zemin araştırmasından alınmıştır. İnceleme alanında 10 farklı noktada deniz tabanı zemin araştırma sondajı yapılmıştır [8]. Bu sondajlardan aşağıdaki çizelgede görebileceğiniz S1 sondajına ait parametreler kullanılmıştır (Tablo 3.9) ve (Tablo 3.10).

Tablo 3.9: Araştırma sondajı bilgileri.

Sondaj No	Su Derinliği(m)	Sondaj Derinliği(m)	S. Boyu(m)	Koordinatlar[18]	
				X	Y
S1	23,20	32,50	9,30	0,000	0,000
S2	19,60	23,00	3,40	-14,147	-155,879
S3	17,50	30,00	12,50	352,377	284,320
S4	10,20	22,00	11,80		
S5	10,00	21,00	11,00	258,810	416,901
S6	14,70	25,00	10,30	323,362	127,400
S7	12,00	20,00	8,00	1176,425	319,378
S8	33,60	41,00	7,40	243,014	-588,262
S9	24,80	32,00	7,20	1210,312	-528,018
S10	27,60	34,00	6,40	714,259	-558,899
Toplam			**87,30 m**		



Tablo 3.10: Zemin kesiti.

Bu çalışmada yerinde yapılan SPT deneyleri ile elde edilen değerler, $N_{30} = 4 - 33$ arasında değişmektedir. Zemin Gevşek-Orta Sıkı bir kumdan oluşmaktadır. Danelerinin içinde %1-10 arasında çakıl boyu gereç bulunduğu, kum boyu gerecin %47-82 arasında ve ince dane oranının da %14-99 olduğu anlaşılmaktadır. Tabakanın SM olarak sınıflandırılabileceği görülmektedir [8].

Bu tabakanın elastisite modülü' nün $E_s = 8$Mpa; Poisson Oranı' nın, μ= 0,22; ve Düşey Yatak Katsayısı' nın, $k_v = 10\mathrm{MN/m^3}$ kabul edilebileceği

düşünülmektedir. Kayma dayanımı açısı Φ=32 alınabilir. Anakayaya (kuvars arenit), zemin kesitinden de görüleceği gibi 27.60 metreden sonra rastlanmaktadır. Kazık bu ana kayaya kadar ulaşmamaktadır.

3.5. Geoteknik Tasarım Esasları

3.5.1. Zemin Yatak Katsayısı

Düşey yatak katsayısı için "DLH GTE' de zemin çeşitlerine göre çeşitli denklemler yer almaktadır. Fakat bu tez çalışmasında düşey yatak katsayısı için herhangi bir hesap yapılmamış, sondaj raporunda verilen değer kullanılmıştır [9].

Kazıklı temellerin yatay yükler altındaki davranışını modellemede kullanılan zemin yatay yatak katsayısı k_h, kohezyonsuz zeminler için aşağıdaki yöntemle elde edilebilir.

$$K_h = n_h(\frac{z}{B}) \tag{3.27}$$

Burada;

- n_h: zemin sıklığına bağlı katsayı
- Z: derinlik
- B: kazık çapıdır.
- CGS 1992 n_h değerlerinin Tablo 3.11' den alınmasını önermektedir.

Tablo 3.11: Kohezyonsuz zeminlerde $\mathbf{n_h}$ değerleri.

Zemin Sıkılığı	YASS üzerinde n_h (kN/m^3)	YASS altında n_h (kN/m^3)
Gevşek	2200	1300
Orta sık	6600	4400
Sıkı	18000	11000

3.5.2. Derin Temellerin Geoteknik Tasarım Esasları

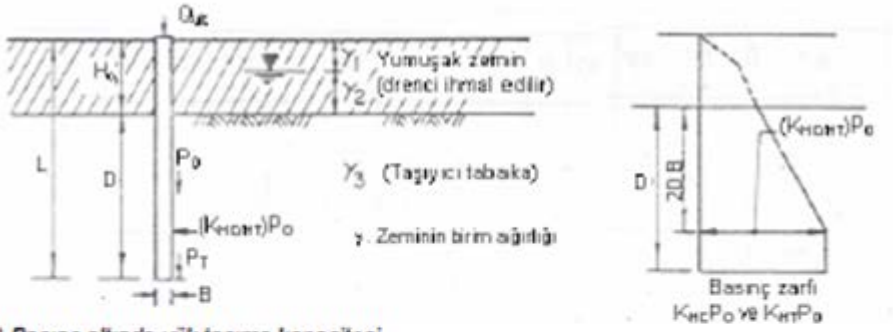
Derin temeller terimi temel derinliğinin temel genişliğine oranının 5'ten büyük olduğu temel sistemleri için kullanılmıştır. Bunlar çakma, fore, keson, vb. kazık sistemleri olarak sayılabilir [9].

3.5.3. Tekil Kazığın Taşıma Gücü

Kazık boyunca ortaya çıkan gerilmeler kazık malzemesinin emniyetli gerilme değerleri ile malzeme kalite şartlarını sağlamalıdır. Kazığın, taşıyıcı zemin tabakası dışına uzanan kısımları varsa kolon etkisinin göz önüne alınabilmesi için emniyetli gerilmelerde bir azaltma uygulanmalıdır.

Kazığı çevreleyen zeminler, basınç, çekme ve yatay kuvvetlere direnç gösterebilmelidir. Bu dirençlerin miktarı çakma sırasında elde edilen ilerleme hızları, zemin mukavemeti değerleri ya da yerinde yükleme deney sonuçları kullanılarak belirlenebilir. Zemin direncinin inşaat öncesinde, esnasında ve sonrasında değişebileceği göz önüne alınarak kazık kapasitesinin belirlenmesinde bu aşamalara karşılık gelen tutarlı zemin mukavemet değerleri kullanılmalıdır.

Homojen özellikler gösteren daneli (silt, kum, çakıl ve karışımları) zeminler içerisindeki tekil bir kazığın taşıma kapasitesi teorik olarak Şekil 3.7' de sunulduğu gibi hesaplanır. Kazığın basınca çalıştırılmasında uç direncine ek olarak çeper sürtünmesi göz önüne alınır. Çekmeye karşı direnç ise sadece çeper sürtünmesince sağlanır.



(A) Basınç altında yük taşıma kapasitesi

$$Q_{ult} = P_T \; N_q \; A_T + \sum_{H=H_0}^{H=H_0+D} (K_{HC}.P_o \,.\, \tan\delta.\, S)$$

Q_{ult} = Basınç altında yük taşıma kapasitesi
P_T = Kazık ucundaki düşey efektif gerilme (Bkz. Not 1)
N_q = Taşıma kapasitesi katsayısı (şekil 1'in devamındaki çizelgeye bakınız)
A_T = Kazık ucunun alanı
K_{HC} = Basınç altındaki elemanın yan yüzündeki yanal efektif gerilmenin düşey efektif gerilmeye oranı
P_o = Gömülü uzunluk (D) boyunca düşey efektif gerilme
δ = Kazık ve zemin arasındaki sürtünme açısı (Şekil 1'in devamındaki çizelgeye bakınız)
S=Birim uzunluk için kazık çevre alanı
Emniyetli yük kapasitesinin (Q_{all}) hesabında güvenlik katsayısı (FS) geçici yükler için 2, sürekli yükler için 3 olarak alınır.

(B) Çekme Altında Yük Taşıma Kapasitesi

$$T_{ult} = \sum_{H=H_0}^{H=H_0+D} (K_{HT}.P_o \,.\, \tan\delta.\, S.D)$$

T_{ult} = Çekme yük taşıma kapasitesi
K_{HT} = Çekme altındaki elemanın yan yüzündeki yatay efektif gerilmenin düşey efektif gerilmeye oranı

Emniyetli yük kapasitesinin (T_{all}) hesabında güvenlik katsayısı , FS=3 alınarak aşağıdaki ifadeyle hesap yapılır.

$$T_{all} = \frac{T_{ult}}{3} + W_P$$

W_P : Kazığın efektif ağırlığıdır.

Not 1 : Deney ve saha gözlemleri, daneli zeminin rölatif sıkılığına (Dr) ve su tablasının konumuna göre, taşıma basıncı ve çeper sürtünmesinin belli bir sınır derinliğe kadar düşey efektif gerilme (P_o) ile arttığını göstermiştir. Bu sınır derinlikten (10B ± den 40B±'ye) sonra uç direncinde çok düşük artmalar olmakta ve çeper sürtünmesi kazığın yüzey alanıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu sebeple D değeri 20B'den büyükse, kazık ucundaki sınır P_o değeri; D = 20 B derinliğindeki P_o değerine karşılık gelmektedir.

Not 2 : Kazık kapasitesinin yükleme deneyleriyle doğrulandığı ve oturmaların kabul edilebilir olduğu durumlarda, şayet bina yükleri ve zemin profili iyi bir şekilde biliniyorsa, 2'den az olmamak koşuluyla 3'ten daha küçük güvenlik katsayıları kullanılabilir.

Şekil 4.1. Daneli Zeminlerde Tek Kazık Taşıma Kapasitesi

Şekil 3.36: Daneli zeminlerde tek kazık taşıma kapasitesi.

TAŞIMA KAPASİTESİ KATSAYILARI - Nq

ϕ° (DERECE)	26	28	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
N_q ÇAKMA (DEPLASMAN) KAZIĞI	10	15	21	24	29	35	42	50	62	77	86	120	145
N_q FORE KAZIK	5	8	10	12	14	17	21	25	30	38	43	60	72

TOPRAK BASINCI KATSAYILARI K_{HC} ve K_{HT}

KAZIK TİPİ	K_{HC}	K_{Ht}
TEKİL ÇAKMA H VEYA UCU AÇIK ÇELİK BORU KAZIK	0.5 – 1.0	0.3 – 0.5
TEKİL ÇAKMA DEPLASMAN KAZIĞI (PREFABRİK BETON VEYA UCU KAPALI ÇELİK BORU KAZIK)	1.0 – 1.5	0.6 – 1.0
SİVRİ UÇLU TEKİL ÇAKMA DEPLASMAN KAZIĞI	1.5 – 2.0	1.0 – 1.3
FORE KAZIK	0.7	0.4

SÜRTÜNME AÇISI - δ

KAZIK TİPİ	δ
ÇELİK	20°
BETON	¾ ϕ
AHŞAP	¾ ϕ

Şekil 3.36: (devamı)

Birden fazla zemin tabakası içerisinde ilerleyen kazıkların taşıma kapasitesi her zemin tabakasının taşıma kapasitesine kazık kapasitesine katkılarının toplamı şeklinde basit bir yöntemle hesaplanabilir. Ancak bu durumda yumuşak zemin tabakalarının konsolidasyonu sonrası yük boşaltması ya da kazığı aşağı çekmesi (negatif çeper gerilmesi) durumlarının ortaya çıkabileceği dikkate alınmalıdır.

Tamamen gömülü kazıkların burkulması genellikle rastlanmayan bir durumdur ve bu durum kritik görülmemektedir. Ancak serbest kazık uzunluğu L, 4 x T'den büyük olan kazıklarda, serbest başlıklı kazıklarda burkulmaya karşı kritik yük, P_B, Vesic (1977) tarafından verildiği üzere hesaplanır:

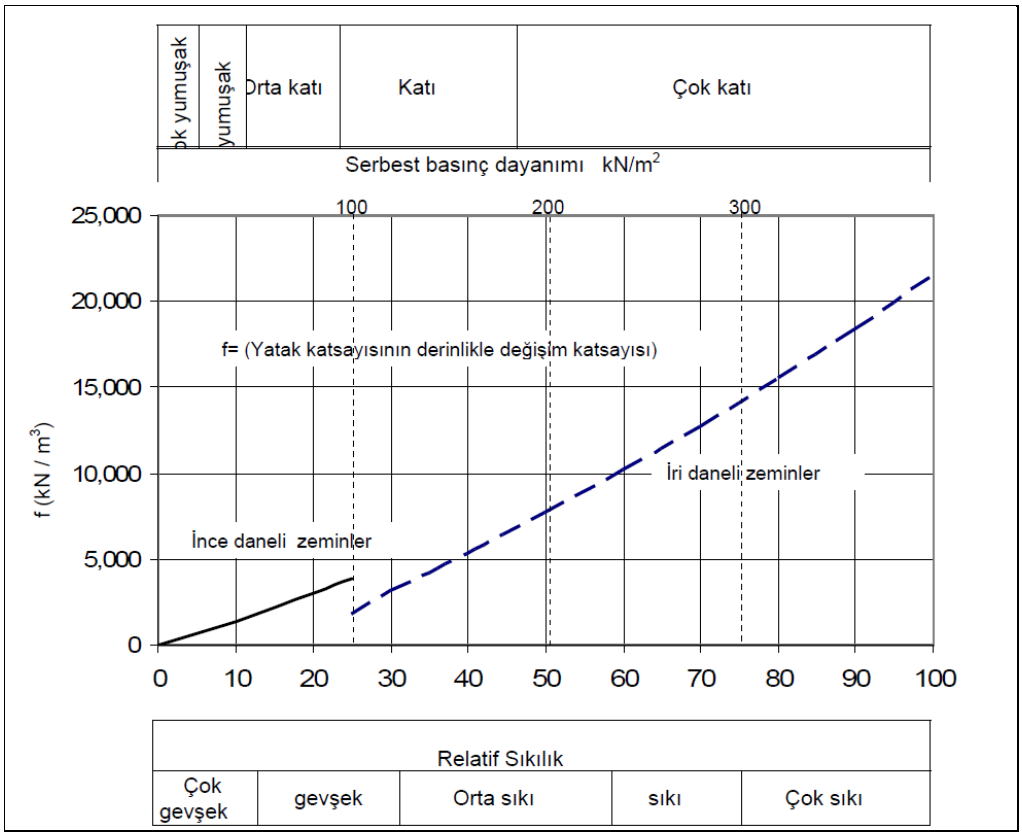
$$P_B = 0{,}78\ x\ T^3\ x\ f; L \geq 4\ x\ T\ için \tag{3.28}$$

- f : yanal yatak katsayısı değişim katsayısı (Şekil 3.37)

- T: göreceli rijitlik oranı $\left[\frac{EI}{f}\right]^{\frac{1}{5}}$
- E: kazık malzemesinin elastisite modülü
- I: kazık kesit alanının atalet momenti

Kısmen gömülü kazıklarda içinse, zemin yüzeyinden itibaren serbest uzanan ve 1,8 x T derinlikte sabitlenmiş bir kolon varsayımı yapılır ve burkulmaya karşı kritik yük statik analiz metotları ile hesaplanır. Bu tip kazıklarda burkulmayı önlemek için emniyetli kazık gerilmeleri de hesaplanmalıdır. Zeminin yanal yatak katsayısının (K_h) derinlik boyunca sabit olduğu durumlarda sabitlenme derinliği aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$1.4\sqrt[4]{\frac{E.I}{K_h.B}} \tag{3.29}$$



Şekil 3.37: Yanal yatak katsayısı değişim katsayısı.

Hesaplanan P_B değeri kazık başının serbest olmayıp, yatay deplasmana ve dönmeye izin vermeyecek şekilde mesnetli olduğu durumlarda %13 arttırılabilir. Yatayda tutulu ancak dönmeye serbest kazık başlığının mevcut olması halinde ise P_B değeri %62 arttırılabilir.

Temel taşıma kapasitesinin belirlenmesi için kullanılan ampirik denklemler standart penetrasyon (SPT) ,konik penetrasyon ve persiyometre test sonuçlarının, kazıklar ve derin kazılarda yapılan model ve tam ölçekli saha deneyleriyle ilişkilendirilmesiyle elde edilmiştir.

Kazığın taşıma kapasitesi yerleştirme sırasında çakma direncine bağlı olarak belirlenebilir, fakat sonuçlar genellikle güvenilir olmadığından kazık kapasitesinin belirlenmesinde kazık çakma kayıtları yerine kazık yükleme deneyleri sonuçlarından yararlanılması daha uygundur.

3.5.4. Kazık Gruplarının Taşıma Kapasitesi

Kazık gruplarının taşıma kapasitesi tekil kazıkların toplam taşıma kapasitelerinden daha azdır ve bu durum tasarım sırasında dikkate alınmalıdır. Grup verimliliği, kazık grubu kapasitesinin aynı zemin profilinde ve aynı derinlikteki tekil kazıkların toplam kapasitesine oranıyla ifade edilir. Kazık gruplarının basınç altındaki performanslarının belirlenmesinde oturma temel kriterdir [9].

Çakma kazıklarda kazık gruplarının kapasiteleri, kazık grubu teşkili esnasında kazıkları çevreleyen zeminin sıklığının artacağı ve kazıklar çevresindeki yanal zemin gerilmelerinde bir artış olacağı nedenleri ile gruptaki kazık kapasitesi tekil kazık kapasiteleri toplamından daha yüksektir. Bu nedenle grup azaltması yapılmaz.

Daneli zeminlerde kaldırma direnci aşağıda verilen durumlarda hesaplanan en düşük direnç değeri seçilerek belirlenir;

- Güvenlik katsayısı 3 seçilerek hesaplanan gruptaki tüm kazıkların çeper sürtünmeleri toplamı
- Grup içinde ve kazıkların uçlarından başlayarak 4 düşey ve 1 yatay ilerleyerek oluşan kamanın içinde kalan bloğun efektif ağırlığı (Güvenlik katsayısı 1 alınır.)

3.5.5. Kazıkların Yanal Yükler Altındaki Davranışı

Kazıklarda yanal yükler altında oluşan deplasman, moment ve kesme değerlerinin hesaplanmasında:

- Yanal zemin desteğini yay mesnetlerle modelleyen ve yanal yatak katsayıları kullanılan çözüm yöntemleri
- Sürekli ortam mekaniği prensibine dayanan elastik çözümler vardır. Günümüzde bu analizler geliştirilmiş bilgisayar yazılımları ile yapılmaktadır. Literatürde bilgisayar analizlerinde bir mertebe kontrolü yapmak amacıyla yanal yatak katsayısına dayanan grafiksel çözümler yer almaktadır.

Tablo 3.12: Kazık aralığına bağlı yanal yatak katsayısı azaltma faktörü.

Yatay yük yönünde kazık aralığı D: kazık çapı	Yanal yatak katsayısındaki azaltma faktörü, R
8 D	1.00
6 D	0.70
4 D	0.40
3 D	0.25

3.5.6. Kazıklarda Eksenel Yük Transferi – Deplasman (t-z) Eğrileri

API 2000 kazıklarda eksenel yük transferi (t-z) eğrilerinin teşkili için aşağıda verilen yöntemi önermektedir.

Kil Zeminler	Z/D	t/t_{maks}
	0,0016	0,30
	0,0031	0,50
	0,0057	0,75
	0,0080	0,90
	0,0100	1,00 (pik)
	0.020	0,70-0,90 (rezidüel)
	∞	0,70-0,90 (rezidüel)

Kum Zeminler	S/inç	t/t_{maks}
	0,00	0,00
	0,10	1,00
	∞	1,00

Z : kazık üzerindeki belli bir derinlikteki noktanın eksenel hareketi

D : kazık çapı

t: kazık yüzeyinde mobilize olan sürtünme gerilmesi

t_{max} : maksimum sürtünme direnci

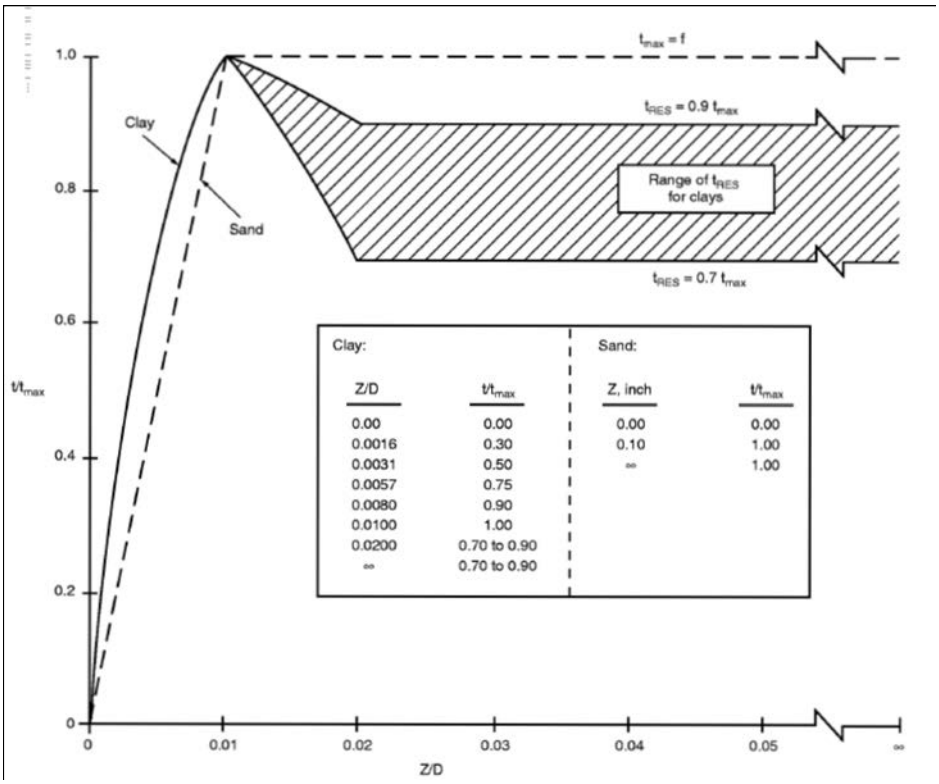
Şekil 3.38: Kil ve kum zeminler için (t-z) eğrilerine ait parametreler.

3.5.7. Kazıklarda Uç Yükü – Deplasman İlişkisi

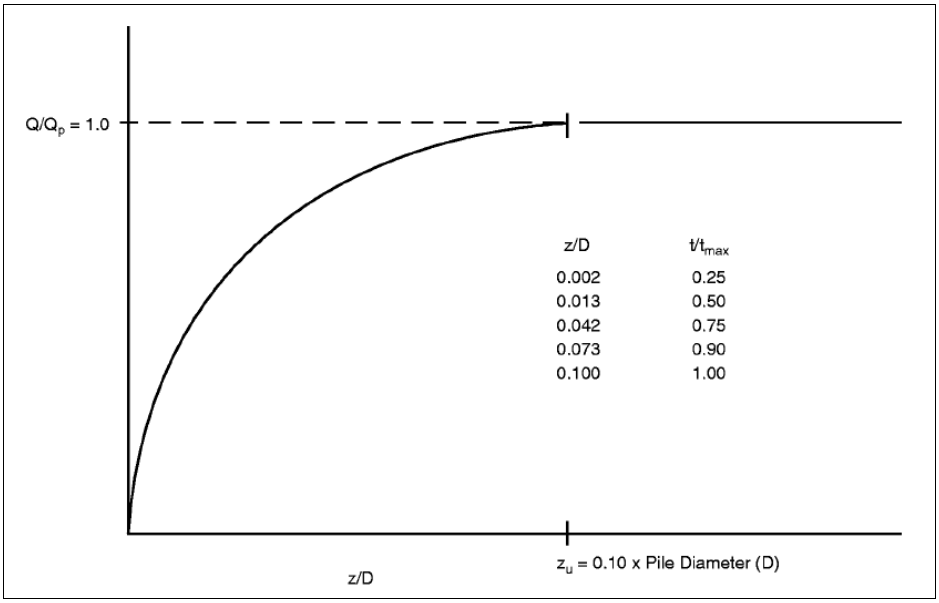
Aşağıdaki API 2000 tarafından verilen kriter hem kil hemde kum zeminlerde kullanılabilecektir.

Z/D	Q/Q_P	
0,002	0,25	Z : Kazık ucunun deplasmanı
0,013	0,50	D : Kazık çapı
0,042	0,75	Q : Stabilize olmuş uç direnci
0,073	0,90	Q_P : Maksimum uç direnci
0,100	1,00	

Şekil 3.39: Kil ve kum zeminler için (Q-z) eğrilerine ait parametreler.



Şekil 3.40: Kazıklarda tipik eksenel yük transfer - deplasman (t-z) eğrileri.

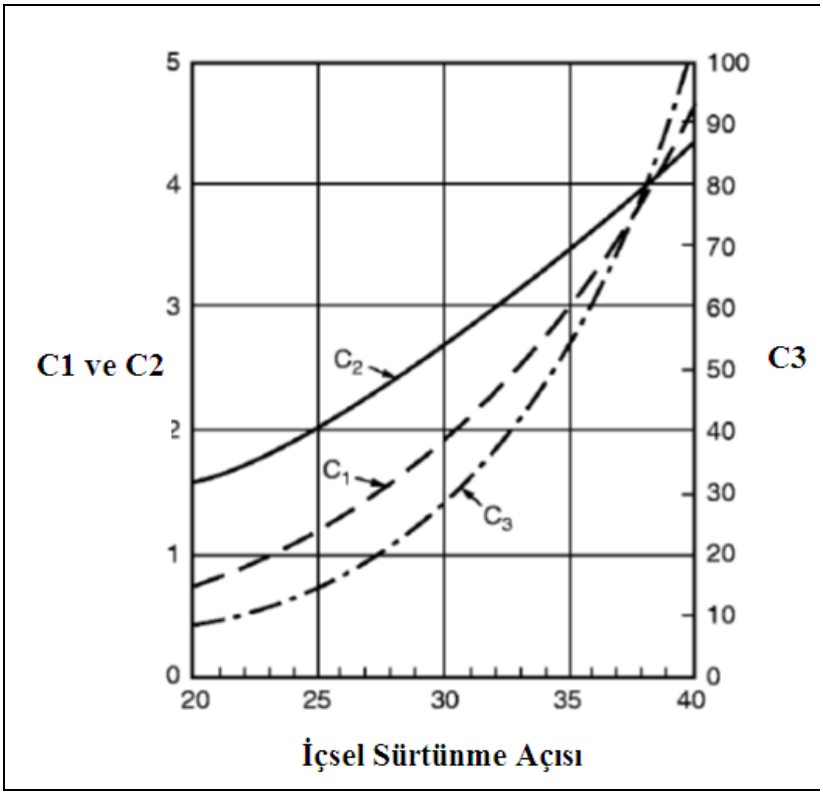


Şekil 3.41: Kazıklarda uç yükü deplasman (Q-z) eğrileri.

3.5.8. Kumlarda Yanal Taşıma Gücü

Kum zeminlerde yanal taşıma gücü değeri aşağıda verilen sığ ve derin derinliklerde hesaplanan değerler arasında değişmektedir. Tanımlanan bir derinlik için nihai yanal taşıma gücü değeri P_u aşağıdaki iki bağıntıdan elde edilen değerlerden küçük olan olarak tanımlanmaktadır. Sığ derinlikler için;

- $P_{us} = (C_1H + C_2D)\ \Upsilon H$
- Derin seviyeler için:
- $P_{ud} = C_3D + \Upsilon H$
- Υ= zeminin efektif birim hacim ağırlığı
- H=derinlik
- $\Phi' =$ kumun kayma direnci açısı
- $C_1, C_2, C_3 = \Phi'$ değerine bağlı olarak Şekil 3.42' den elde edilen katsayılar
- D= kazığın çapı



Şekil 3.42: $\mathbf{C_1, C_2, C_3}$ katsayıları.

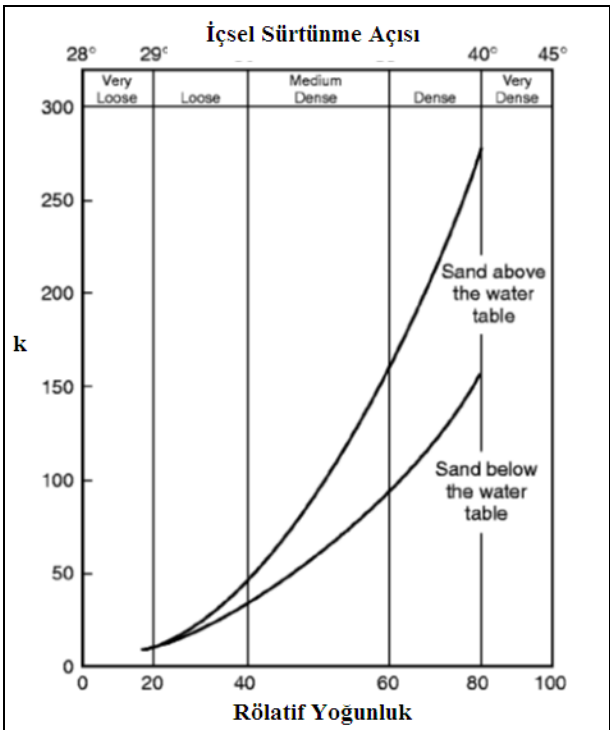
Kum zeminlerde yanal yük - deplasman (p-y) eğrileri:

Kum zeminlerde yanal zemin gerilmesi- deplasman ilişkisi aşağıdaki yöntemle belirlenebilir:

$$P = AP_u \tanh\left(\frac{kH}{AP_u}\right) y \tag{3.30}$$

Burada:

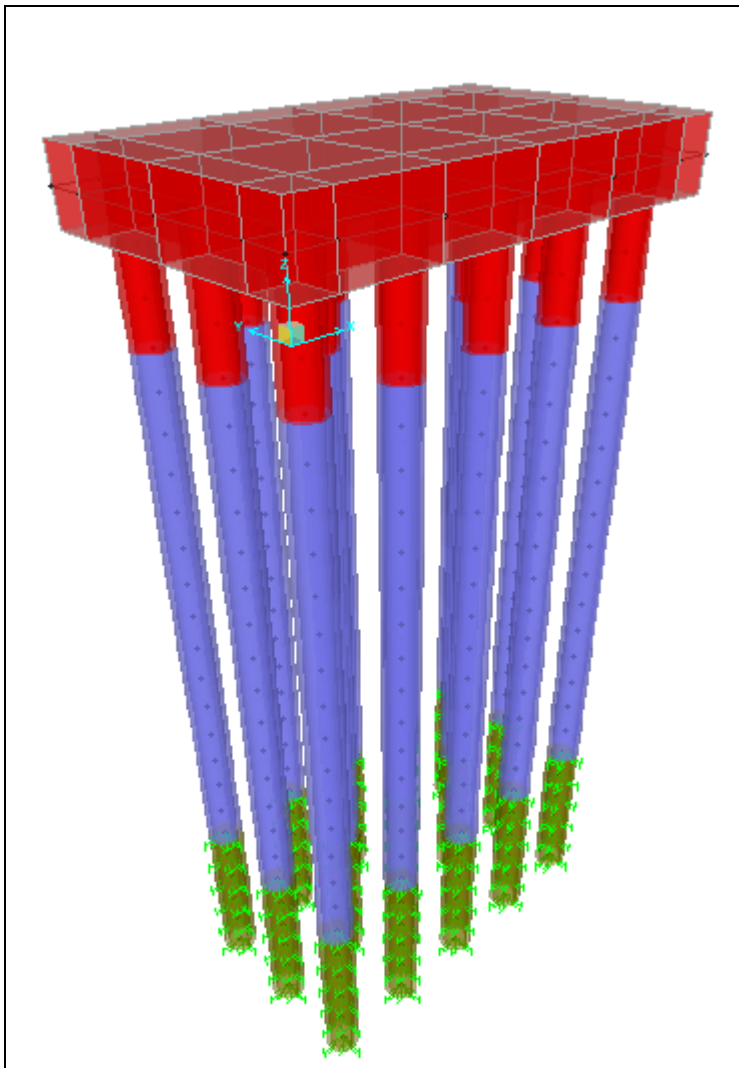
- A= Statik ve tekrarlı yükleme durumuna bağlı faktör
- Tekrarlı Yükleme Hali: A=0,9
- Statik Yükleme Hali: A= (3,0 – 0,8H/D) ≥ 0,9
- P_u = Nihai yanal taşıma gücü
- K = zemin yanal yatak katsayısı (Φ' değerine göre Şekil 3.43 ten alınır.)
- Y = yanal deplasman
- H=derinlik



Şekil 3.43: K değerleri.

4. YAPISAL MODEL

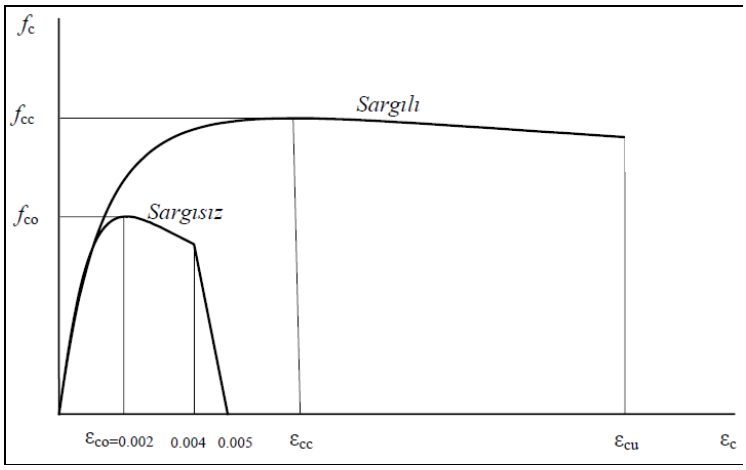
Daha önceki yıllara ait koşullar düşünülerek tasarlanmış olan mevcut Tuzla Tersaneler Bölgesi' ndeki iskeleler, 10 metre civarındaki su derinlikleri nedeniyle daha büyük tonajlı, 16 metre üzerinde su derinliğine ihtiyaç duyan gemilerin bu bölgeye yanaşabilmesini engellemektedir. Bu durum ülkemizin liman ticaretini gereksinimlerini karşılayamamaktadır. Bu nedenle daha büyük gemilerin yanaşmasına olanak sağlayacak 18 metre ve üzerinde su derinliğine sahip iskelelerin yapılması gerekmektedir. Bu tez çalışmasında 20 metre derinlikli bir iskele için analizler yapılacaktır.



Şekil 4.1: İskelenin SAP2000 programından alınmış 3 boyutlu görünüşü.

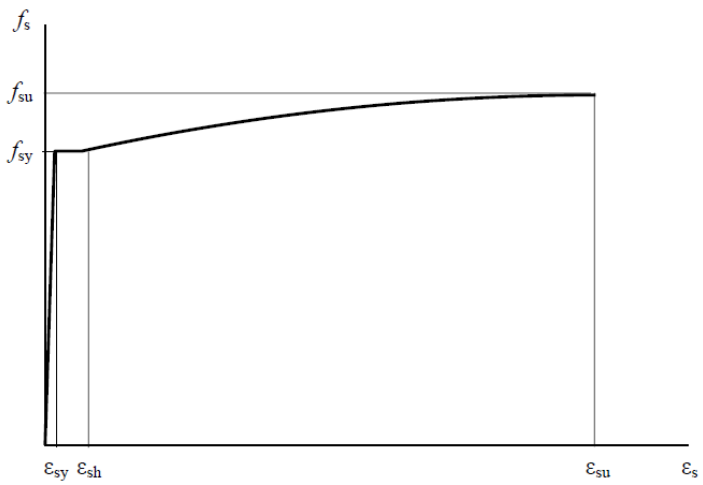
4.1. Malzeme Tanımı

Öngerilmeli prekast betonarme kazıklar için beton sınıfı C70, kazık ile tabliye monolitik bağlantısında ve tabliyede C30 beton sınıfı, kazık spiral donatıları için S220 çelik sınıfı seçilmiştir. Kazık boyuna donatıları için aşağıda tariflenmiş öngerme demetleri, doğrusal olmayan performans değerlendirmesine uygun olarak tanımlanmıştır.

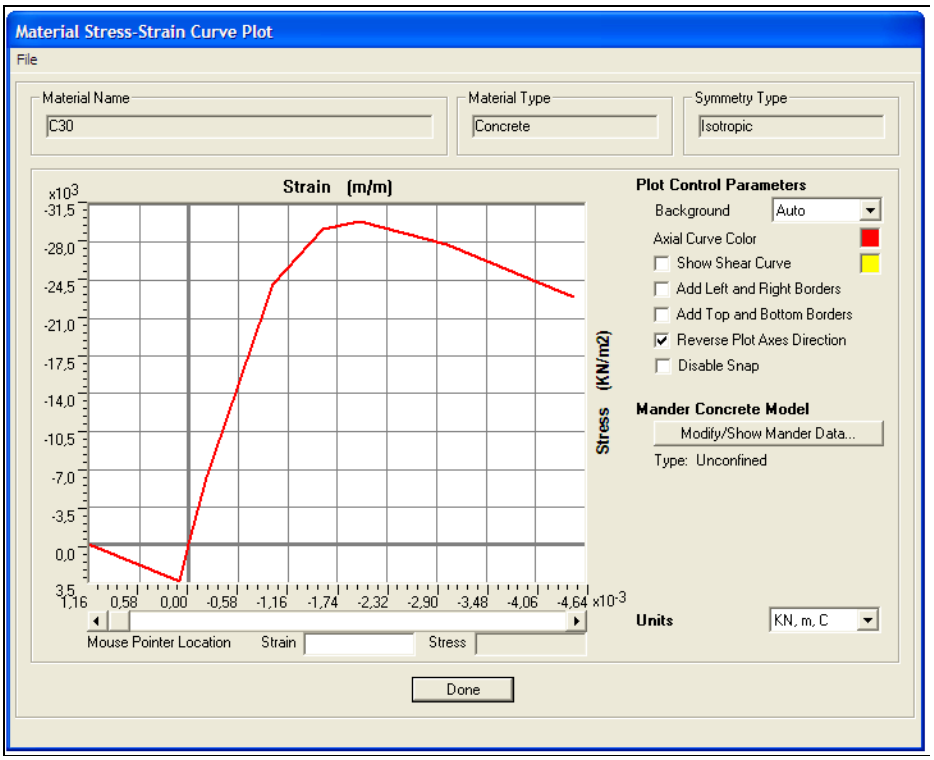


Şekil 4.2: Sargılı ve sargısız beton gerilme-şekil değiştirme eğrisi.

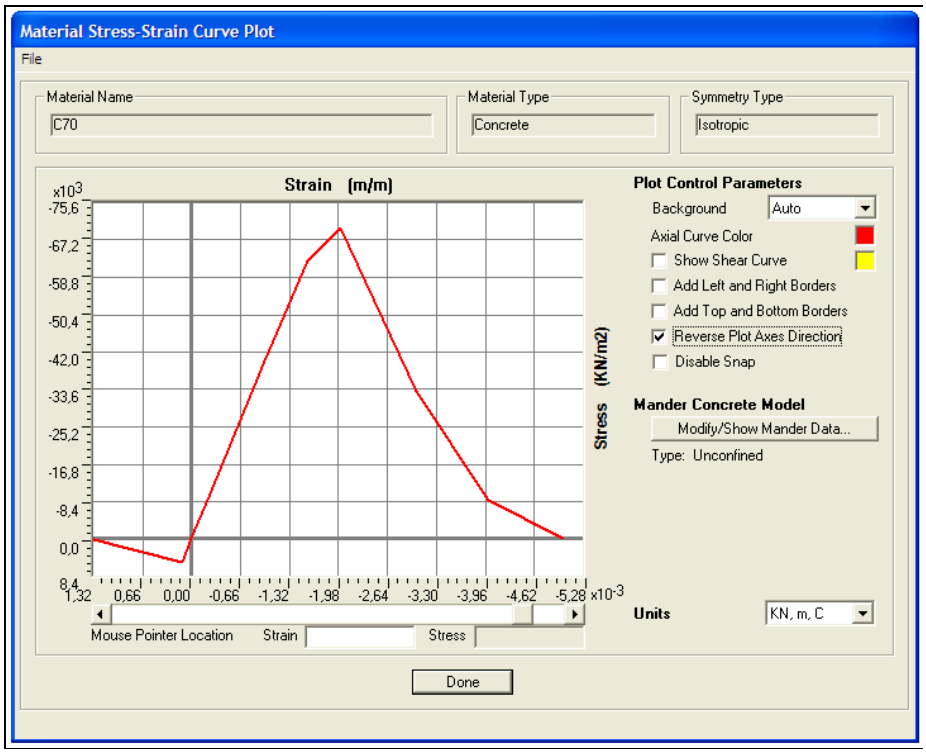
Kalite	f_{sy} (Mpa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su} (Mpa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550



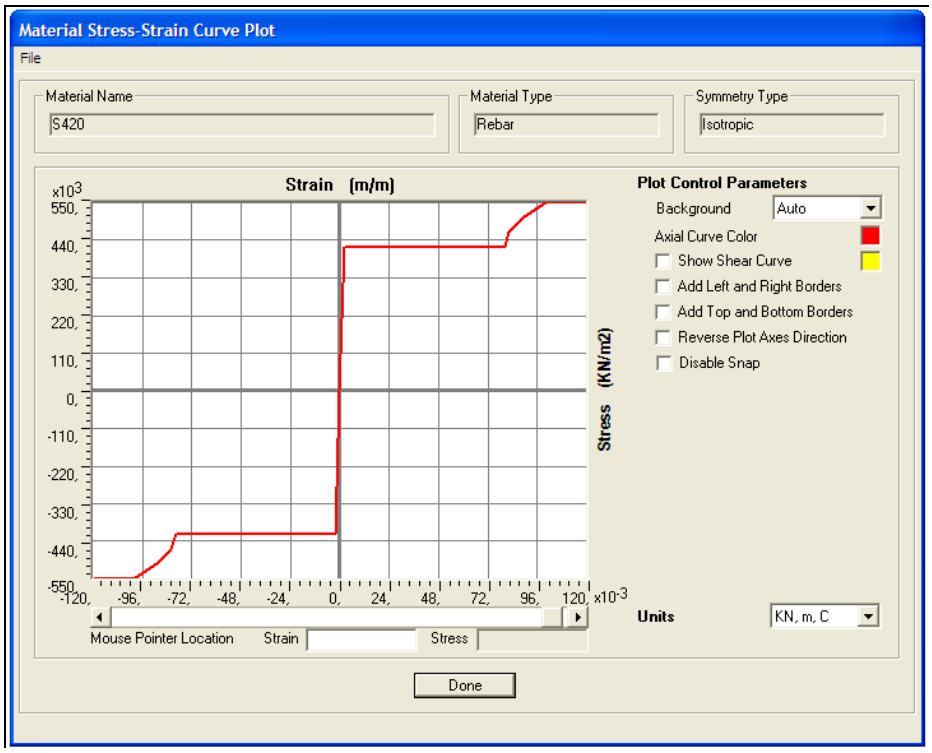
Şekil 4.3: Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme eğrisi.



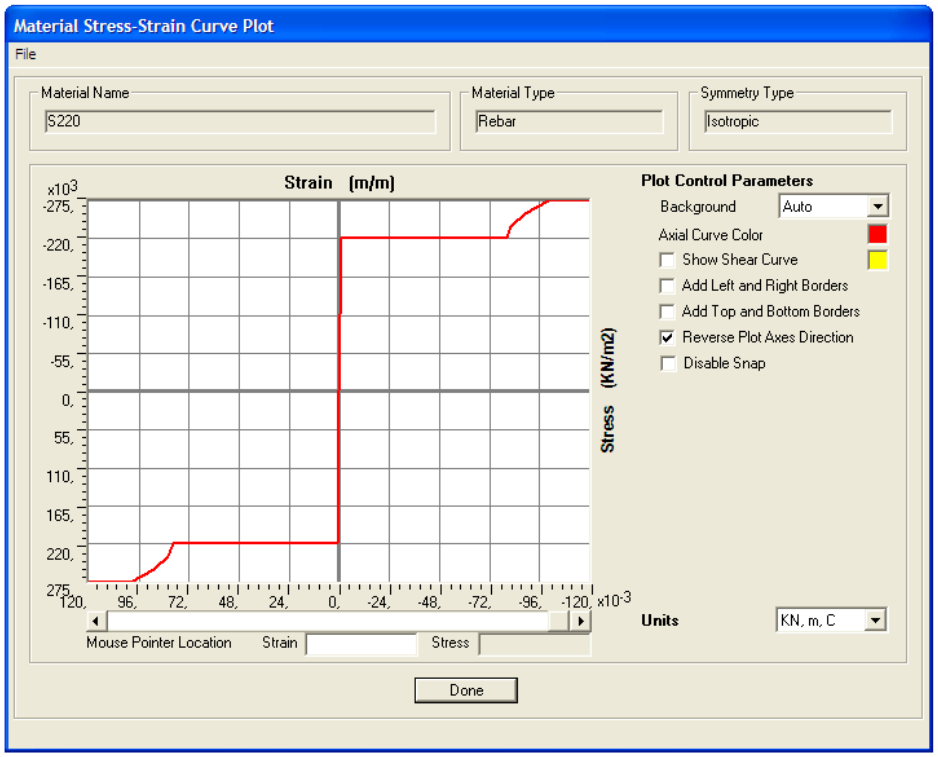
Şekil 4.4: C30 Beton gerilme-şekil değiştirme eğrisi.



Şekil 4.5: C70 Beton gerilme-şekil değiştirme eğrisi.



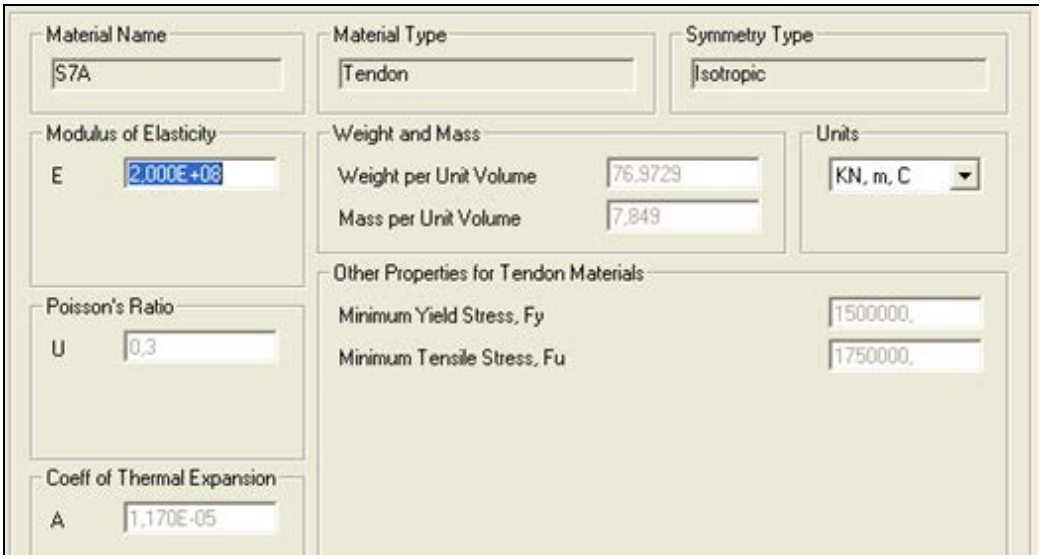
Şekil 4.6: S420 Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme eğrisi.



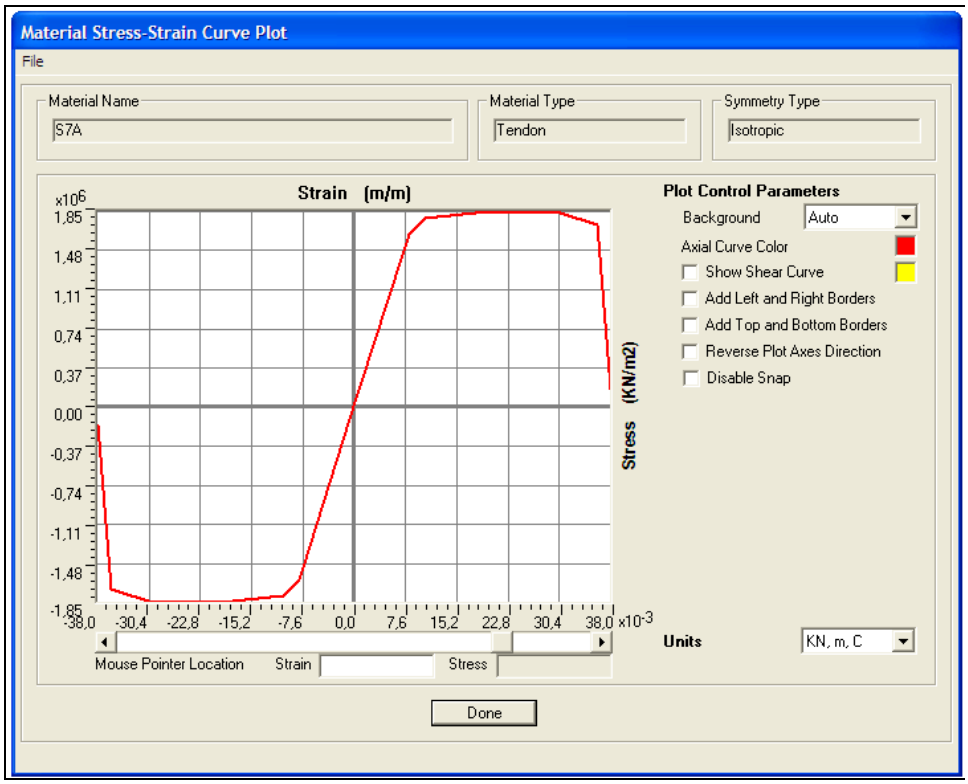
Şekil 4.7: S220 Donatı çeliği gerilme-şekil değiştirme eğrisi.

Demet Sınıfı	Anma Çapı (mm)	Karakteristik Akma Sınırı [1] min kgf/mm² (kN/mm²) (R 1.0)		% 0,1 Kalıcı Uzama Sağlayan Karakteristik Gerilme min kgf/mm² (kN/mm²) (R_p 0,1)	Karakteristik Çekme Mukavemeti, min kgf/mm² (kN/mm²) (R_m)	Maksimum Yük Altın da Toplam Uzama min[2] (%)	1000 Saat Sonunda Max Gevşeme (%)			
							Normal		Gevşemesi Az	
		Normal Gevşemeli	Gevşemesi Az				%70	%80	%70	%80
S2	2x2,65 2x2,90 2x3,0	153 (1,53)	162 (1,62)	148 (1,48)	180 (1,80)	3,5	7	12	2,5	3,5
S3	3x2,65 3x2,90 3x3.0	153 (1,53)	162 (1,62)	148 (1,48)	180 (1,80)	3,5	7	12	2,5	3,5
S7A	6,35 7,94 9,53 11,1 12,7 15,2 15,7 18,0	150 (1,50)	158 (1,58)	145 (1,45)	175 (1,75)	3,5	7	12	2,5	3,5
S7B	9,53 11,1 12,7 15,2 15,7 18,0	161 (1,61)	171 (1,71)	156 (1,56)	190 (1,90)	3,5	7	12	2,5	3,5
S19	17,8 19,3 20,3 21,8	159 (1,59)	168 (1,68)	154 (1,54)	187 (1,87)	3,5	7	12	2,5	3,5

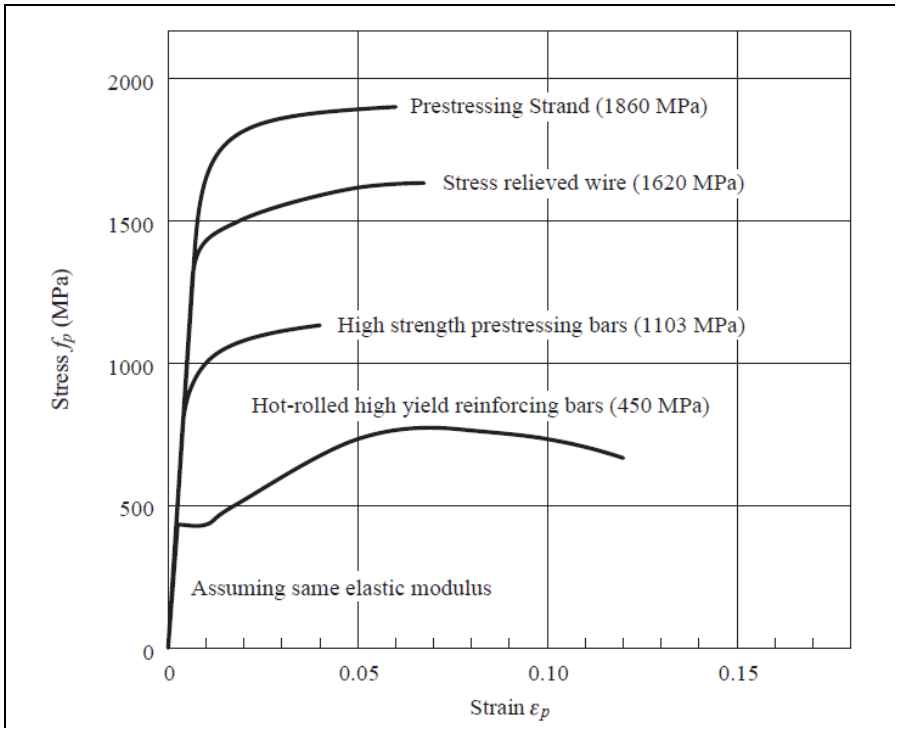
Şekil 4.8: Öngerme demetlerinin mekanik özellikleri.



Şekil 4.9: S7A Öngerme demeti mekanik özelliklerinin tanımlanması.



Şekil 4.10: S7A Öngerme demeti gerilme-şekil değiştirme eğrisi.



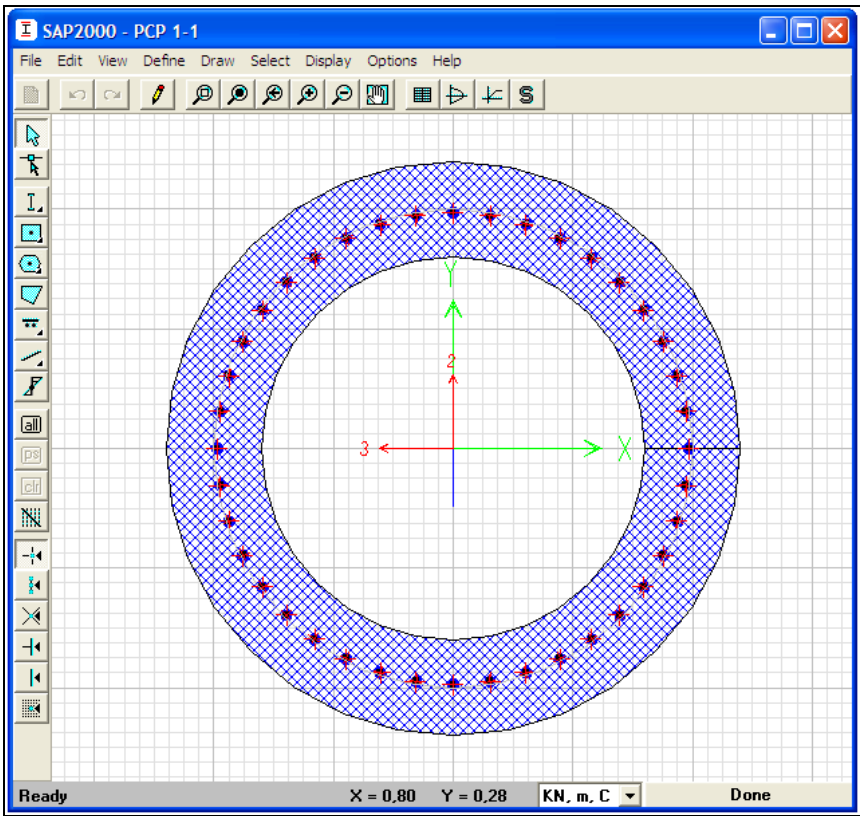
Şekil 4.11: Normal donatı ve öngerme donatısı gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin kıyaslanması.

Kazık boyuna donatısı olarak, Şekil 4.8' de işaretlenmiş, TS 5680'de tariflenen öngerme demetleri kullanılmıştır [10]. Öngerme demetlerine ait gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 4.10' da görülmektedir. Bu demetler, hem germe işleminde kullanılacak elemanlar hem de kazık boyuna donatısı olarak çalışacak elemanlar olarak Sap 2000 programına atanmıştır.

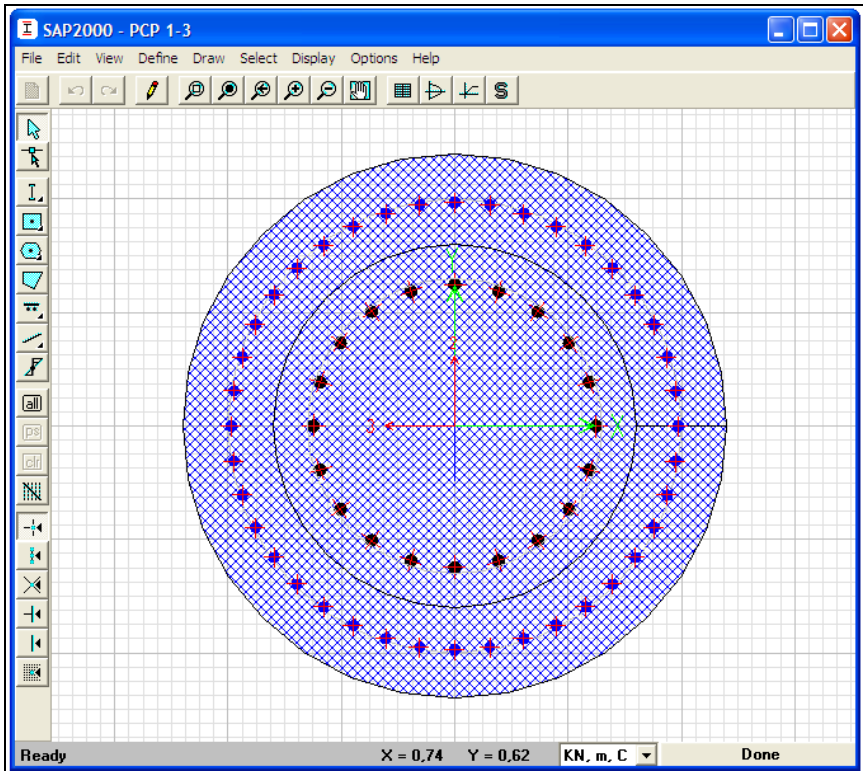
4.2. Sistem Kesitlerinin Tanımlanması

Kazıklar için P801 ve P802 olmak üzere iki farklı kesit tanımlanmıştır. P801 kesiti; deniz tabanındaki kum zemine 6 metre uzunluğunda çakılarak sabitlenmiş, boru kesitli kısmı göstermektedir. Beton sınıfı C70, beton kalınlığı 20 santimetre ve toplam uzunluğu 24 metredir. P802 kesiti ise P801 boru kesitinin boş olan çekirdeğinin, C30 betonu ile doldurulmuş ve S420 boyuna donatıları ile takviye edilmiş, kazık başlığı ile tabliyenin monolitik bağlantısını sağlayan kesiti göstermektedir. 3,50 metre uzunluğunda ve dairesel kesitlidir. Kazık enine donatısı olarak, kazık boyunca S220 donatı çeliği kullanılmıştır.

İskele üzerinde, kazıkları birbirine bağlayan, 2 metre kalınlığındaki C30 beton sınıfına sahip tabliye elemanı rijit diyafram kabulü ile tanımlanmıştır. Bütün tabliye elemanının betonunun yerinde dökülmesinin uygun görülmediği durumlarda kazıkların bağlantısı başlık kirişleri ve prekast kirişler yardımıyla yapılabilir.



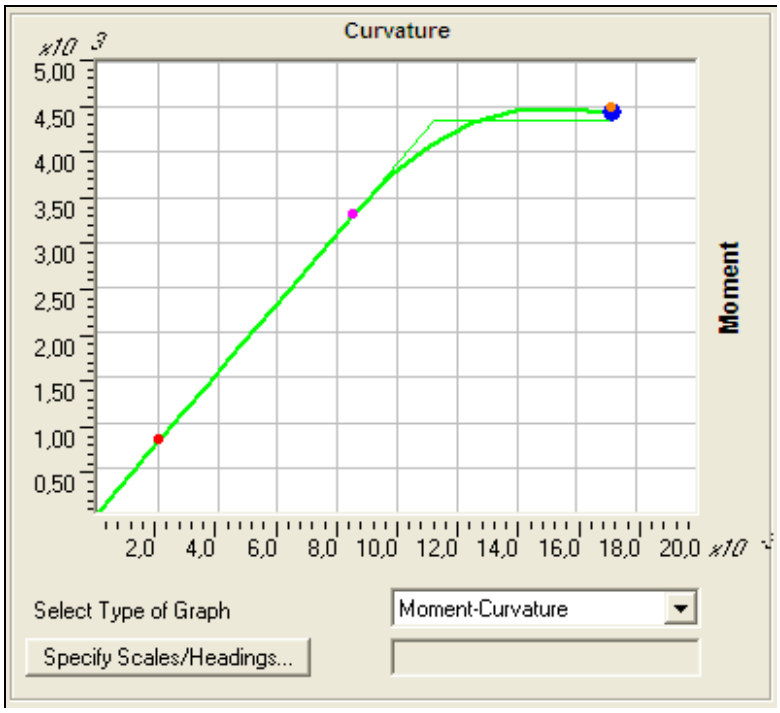
Şekil 4.12: Kazık P801 kesiti.



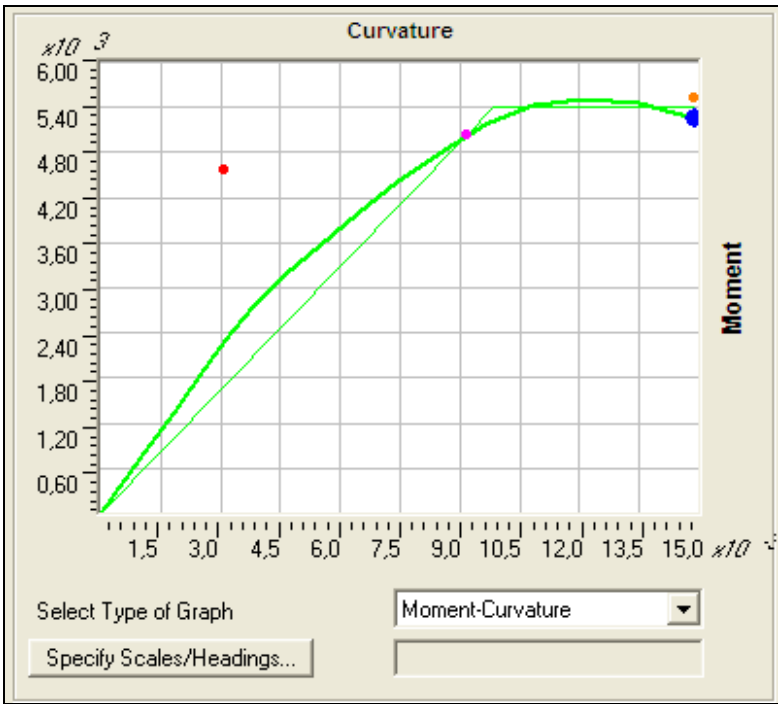
Şekil 4.13: Kazık P802 kesiti.

Kazık boyuna donatısı olan öngerme demetleri, Sap 2000 programında kesite yerleştirildikten sonra, bütün donatıların üzerine gerilme noktaları tanımlanır. Böylelikle öngerme işlemi, boyuna donatıların bulunduğu noktalardan, her donatının eşit miktarda çekilmesine imkan verecek şekilde yapılabilecektir.

Kazık kesitlerinin tanımlanmasının ve malzeme özelliklerinin atanmasının ardından kesitlere ait moment-eğrilik ilişkisi eğrileri aşağıdaki şekilde oluşur (Şekil 4.14) ve (Şekil 4.15).



Şekil 4.14: P801 Kesiti için moment-eğrilik ilişkisi eğrisi.



Şekil 4.15: P802 Kesiti için moment-eğrilik ilişkisi eğrisi.

Sap 2000 programında, kazık kesitlerine gerilme noktaları tanımlanabilmesine karşın öngermenin moment-eğrilik ilişkisi eğrisine ve kazık kapasitesi etkisi görülememektedir.. Program analiz esnasında öngerme kuvvetini dikkate almakta fakat yukarıdaki şekillerde, sadece öngerme donatısı tanımlanmış olan kazık kesitlerinin moment-eğrilik ilişkisi eğrileri görülmektedir Öngermenin kazık kapasitesine etkisi, sistemin deprem etkisi altındaki itme analizi sonuçlarına bakılarak ileride yorumlanacaktır.

Kazık başlıklarını birbirine bağlayan ve iskele üstyapısını oluşturacak 2 metre kalınlığında döşeme rijit diyafram kabulü ile tanımlanmış ve C30 beton sınıfı kullanılmıştır.

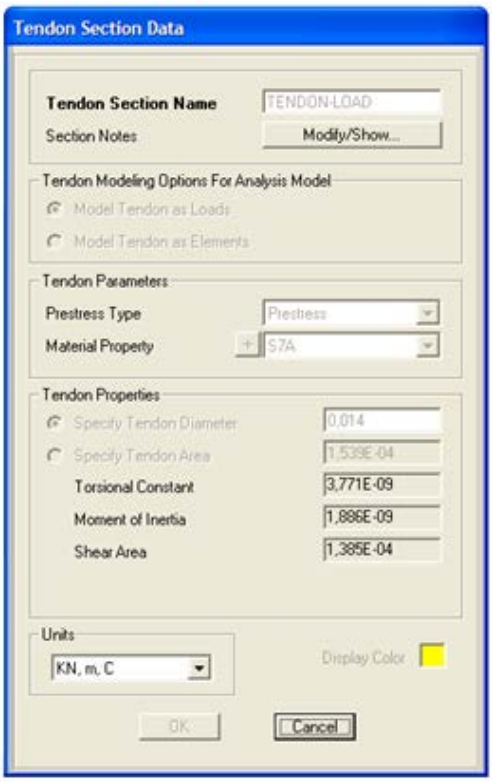
4.3. Yükler

Analizde kullanılan yükler 20 metre derinlikli iskeleye yanaşabilecek gemi tipine ve iskele kullanım amacına uygun olarak DLH PTT' ndaki değerler doğrultusunda belirlenmiş ve aşağıdaki gibi seçilmiştir [11].

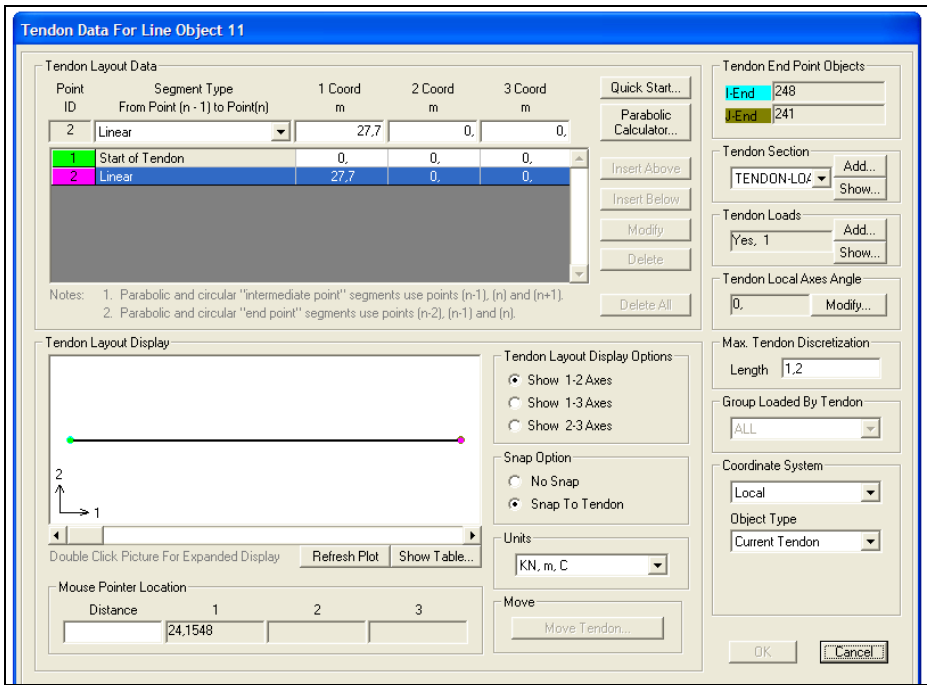
- Ölü Yük : 30 kN/m2
- Hareketli Yük : 10 kN/m2

Bütün kazıklara taşınma, kaldırma ve çakma etkilerine en iyi dayanımın sağlanması için kazık kesitine verilecek ortalama öngerilme, 5N/mm2 olarak TS-3233' te tanımlanmıştır [10]. Bu bilgiye göre kazık başına verilecek öngerilme kuvveti; $Fp = 5\ N/mm2$ x kazık kesit alanı = 2474 kN' dur.

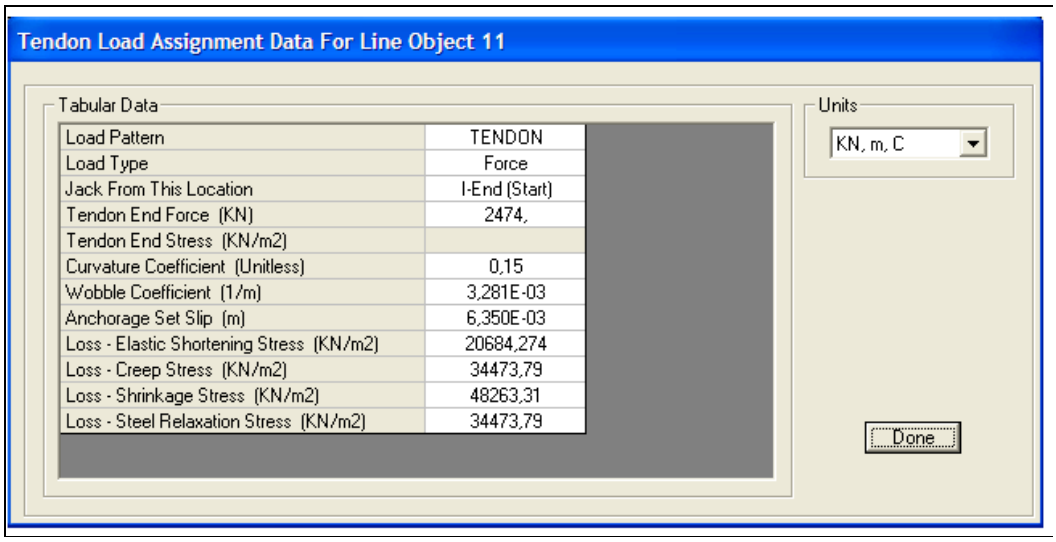
Hesaplanan ortalama öngerilmenin kazıklara atanması (Şekil 4.16), (Şekil 4.17), (Şekil 4.18) ve kazıkların öngerme kuvveti altında eksenel kuvvet diyagramı (Şekil 4.19) aşağıda görülmektedir.



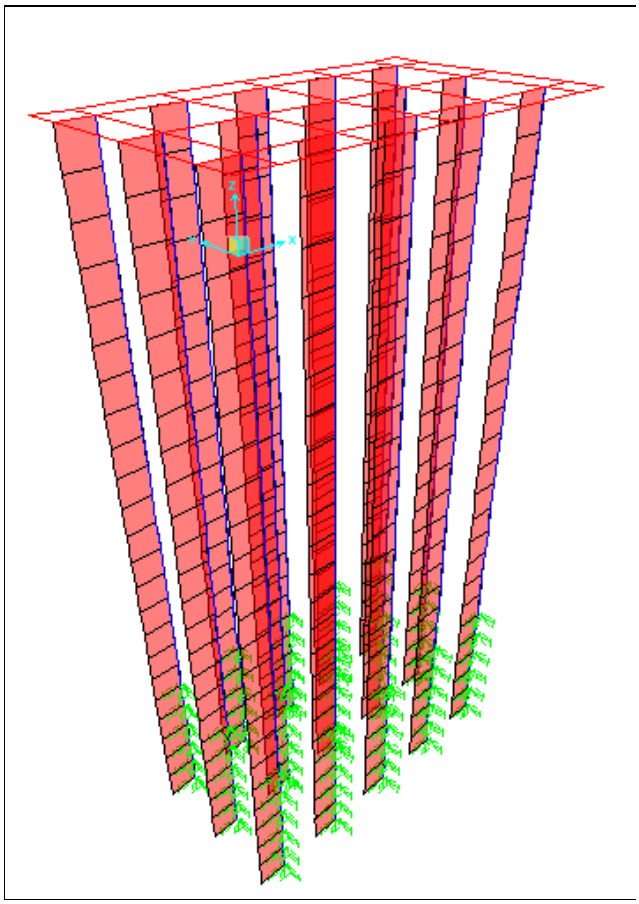
Şekil 4.16: Öngerme elemanının tanımlanması.



Şekil 4.17: Öngerme kuvvetinin kazıklara atanmasının birinci bölümü.



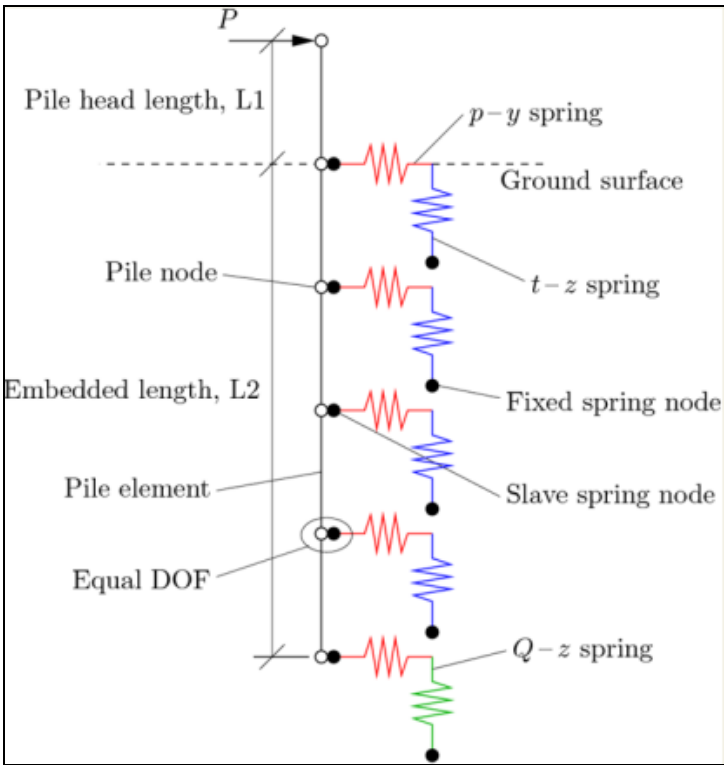
Şekil 4.18: Öngerme kuvvetinin kazıklara atanmasının ikinci bölümü.



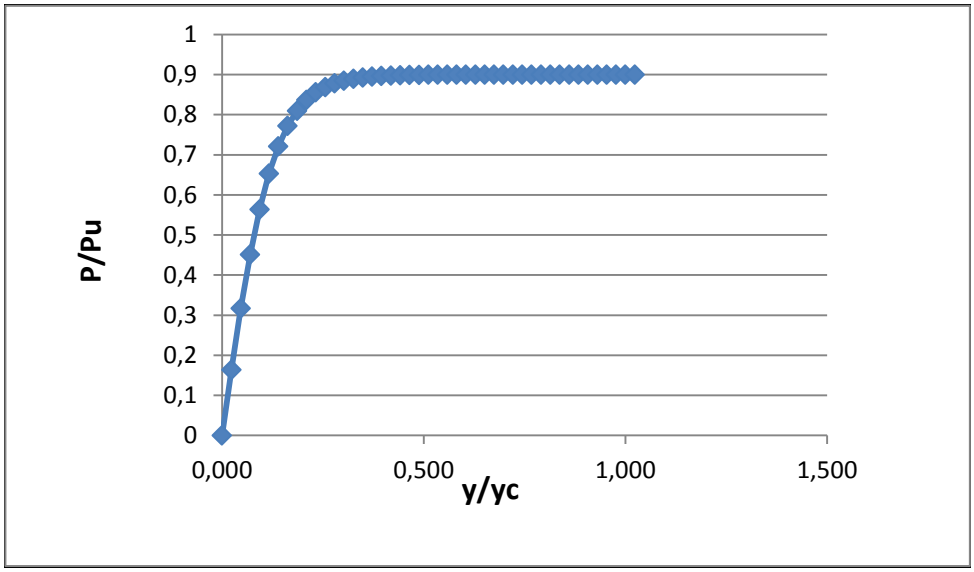
Şekil 4.19: Öngerme kuvveti etkisi altındaki kazık eksenel kuvvet diyagramı.

4.4. Zemin Özelliklerinin Tanımlanması

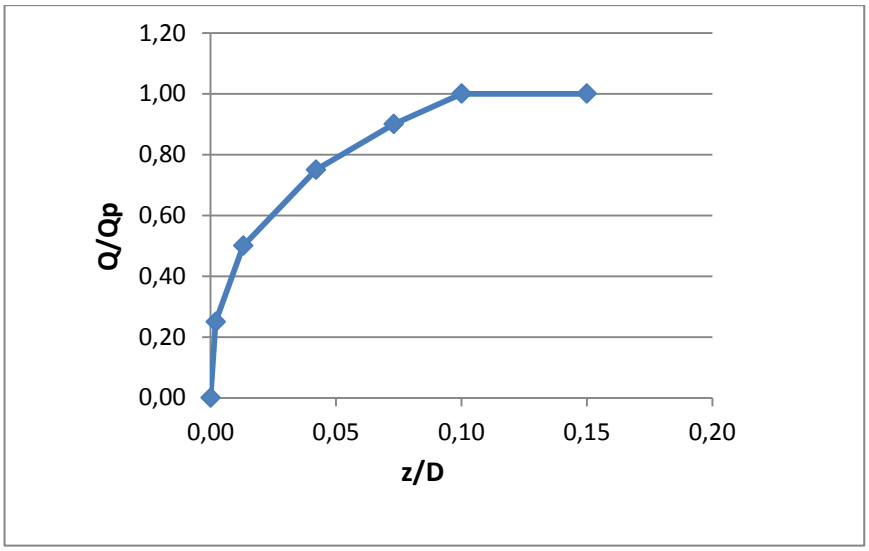
Kazıkların deniz tabanında çakılacağı bölge için doğrusal olmayan zemin yayları tanımlanmıştır. Bu tanımlamanın yapılabilmesi için DLH GTE' nda anlatılan P-y, Q-z ve t-z eğrilerinin oluşturulması gerekmektedir [9], [19], [1].



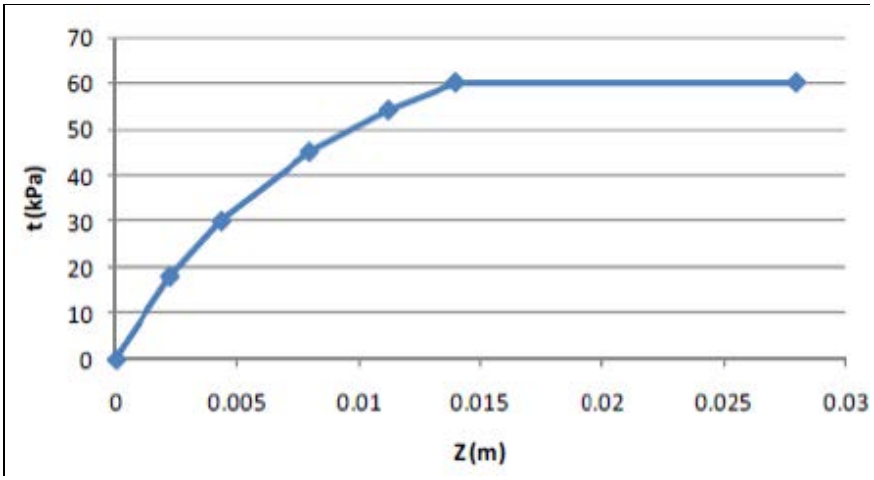
Şekil 4.20: Nonlineer zemin yay modelleri.



Şekil 4.21: P-y eğrisi.



Şekil 4.22: Q-z eğrisi.



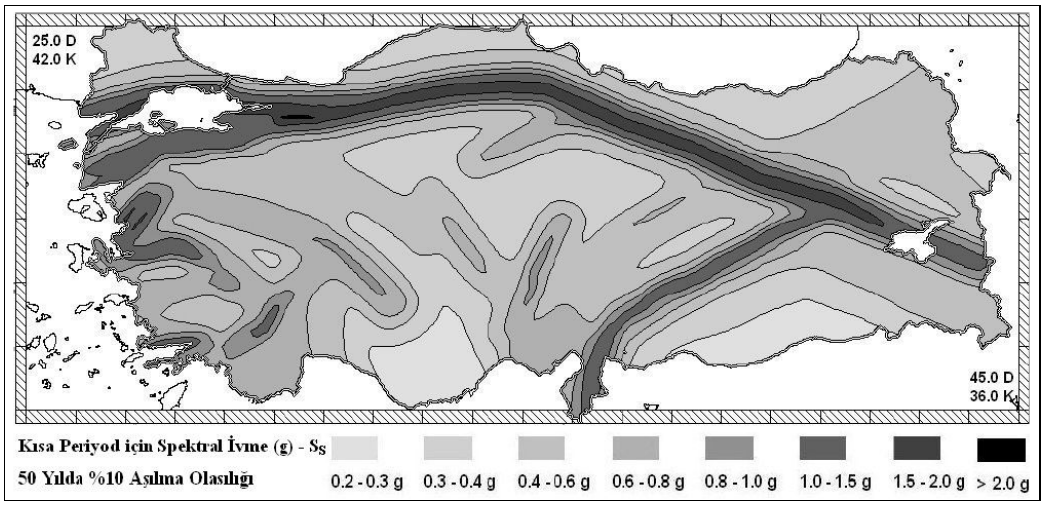
Şekil 4.23: t-z eğrisi.

4.5. Plastik Mafsal Tanımlaması

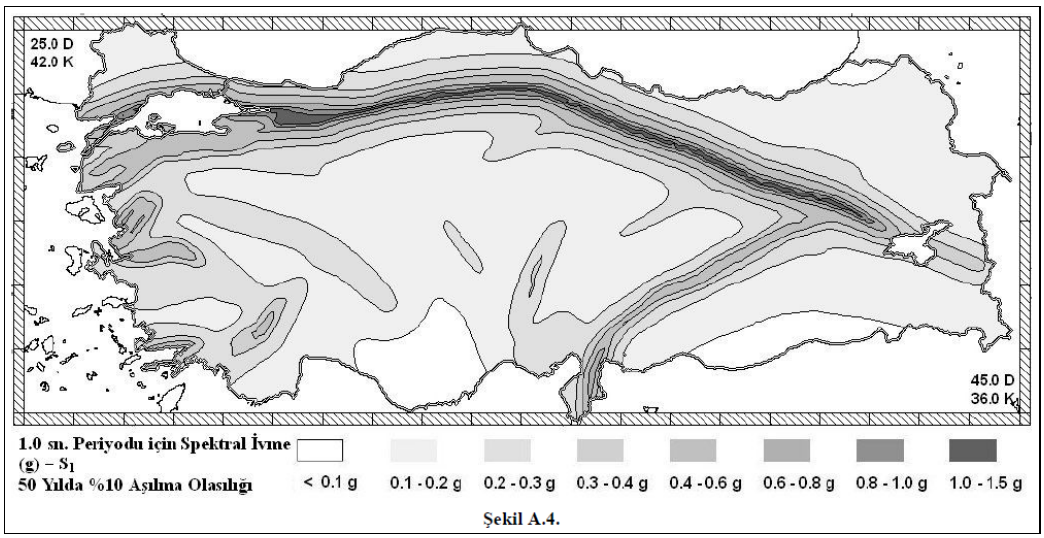
Kazık boyunca plastik mafsal tanımı yapılmıştır. Kazık için Lp=1,2 metre ve kazık başlık bölgesi için Lp=0,48 metre olarak belirlenmiştir ve kazık tabliye içerisine 1,2 metre kadar sokulup kazık ve tabliye bağlantısı sağlanılmıştır [3].

4.6. Deprem Spektrumunun Oluşturulması

Deprem spektrumu DLH DTY' ne göre D2 deprem düzeyi dikkate alınarak oluşturulmuştur. Deprem spektrumu oluşturulurken iskelenin yapılacağı bölgenin koordinatları çıkarılmış, DLH DTY' ndeki tablolar yardımıyla kısa titreşim periyodu (0,2sn) ve 1 sn'lik doğal titreşim periyoduna karşı gelen yatay deprem spektral ivme değerleri Ss ve S1 değerleri bulunmuştur.



Şekil 4.24: Kısa periyod için spektral ivme- Ss kontur haritaları.



Şekil 4.25: Uzun periyod için spektral ivme- S1 kontur haritaları.

Tablo 4.1: Kısa ve uzun periyod spektral ivme tablosu.

.

Koordinat		Kısa Periyod için Spektral İvme (g) - S_S			1.0 sn Periyodu için Spektral İvme (g) – S_1		
		50 yılda aşılma olasılığı			50 yılda aşılma olasılığı		
Boy.	En.	% 50	% 10	% 2	% 50	% 10	% 2
29.2	35.8	0.30	0.59	0.94	0.08	0.16	0.28
29.2	36.0	0.33	0.65	1.05	0.09	0.18	0.33
29.2	36.2	0.33	0.66	1.06	0.09	0.19	0.33
29.2	36.4	0.34	0.67	1.07	0.09	0.20	0.34
29.2	36.6	0.35	0.69	1.10	0.10	0.21	0.37
29.2	36.8	0.37	0.79	1.37	0.10	0.26	0.56
29.2	37.0	0.38	0.86	1.46	0.11	0.30	0.62
29.2	37.2	0.35	0.79	1.43	0.10	0.28	0.62
29.2	37.4	0.28	0.56	0.90	0.09	0.20	0.35
29.2	37.6	0.28	0.53	0.85	0.09	0.18	0.30
29.2	37.8	0.37	0.75	1.22	0.11	0.23	0.41
29.2	38.0	0.42	0.81	1.27	0.11	0.24	0.42
29.2	38.2	0.39	0.77	1.22	0.11	0.23	0.39
29.2	38.4	0.32	0.64	1.03	0.10	0.19	0.33
29.2	38.6	0.25	0.47	0.75	0.08	0.16	0.27
29.2	38.8	0.27	0.56	0.91	0.09	0.19	0.33
29.2	39.0	0.35	0.79	1.39	0.10	0.25	0.55
29.2	39.2	0.36	0.75	1.24	0.10	0.23	0.45
29.2	39.4	0.29	0.59	0.95	0.09	0.19	0.31
29.2	39.6	0.23	0.42	0.67	0.09	0.17	0.26
29.2	39.8	0.24	0.43	0.68	0.10	0.19	0.30
29.2	40.0	0.35	0.69	1.08	0.13	0.28	0.46
29.2	40.2	0.53	1.19	1.99	0.19	0.49	0.92
29.2	40.4	0.63	1.28	2.09	0.23	0.55	1.02
29.2	40.6	0.78	1.39	2.05	0.28	0.64	1.09
29.2	40.8	0.87	1.73	2.64	0.32	0.97	1.73
29.2	41.0	0.54	0.98	1.47	0.20	0.46	0.79
29.2	41.2	0.31	0.56	0.85	0.14	0.30	0.49
29.2	41.4	0.23	0.41	0.64	0.10	0.21	0.35
29.2	41.6	0.19	0.37	0.61	0.09	0.18	0.29
29.2	41.8	0.18	0.38	0.67	0.08	0.16	0.26
29.2	42.0	0.17	0.38	0.68	0.07	0.14	0.23
29.2	42.2	0.15	0.34	0.61	0.06	0.12	0.20

- Bölge Koordinatları;

  - Enlem : 40,80 Kuzey seçilmiş,
  - Boylam :29,3 Doğu değerleri için Tablo 4.1.' den interpolasyon yapılarak seçilmiş,
  - Ss= 1,665 g bulunmuş,
  - S1= 0,91 g bulunmuştur.

Yukarıda bulunan spektral ivmelerden sonra kısa ve uzun periyod zemin katsayıları Fa=1,0 ve Fv=2,40 bulunur ve deprem spektrumları oluşturulur.

4.7. Modal Analiz

İskele için yapılan modal analiz sonuçları aşağıdaki tabloda görülmektedir. Bu tabloya göre sistemin birinci modunun ‘Y Yönünde’ ve kütle katılım oranının %79 olduğu, ikinci modunun ‘X Yönünde’ ve kütle katılım oranının %81 olduğu görülmüştür.

Modal Participating Mass Ratios

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

Modal Participating Mass Ratios

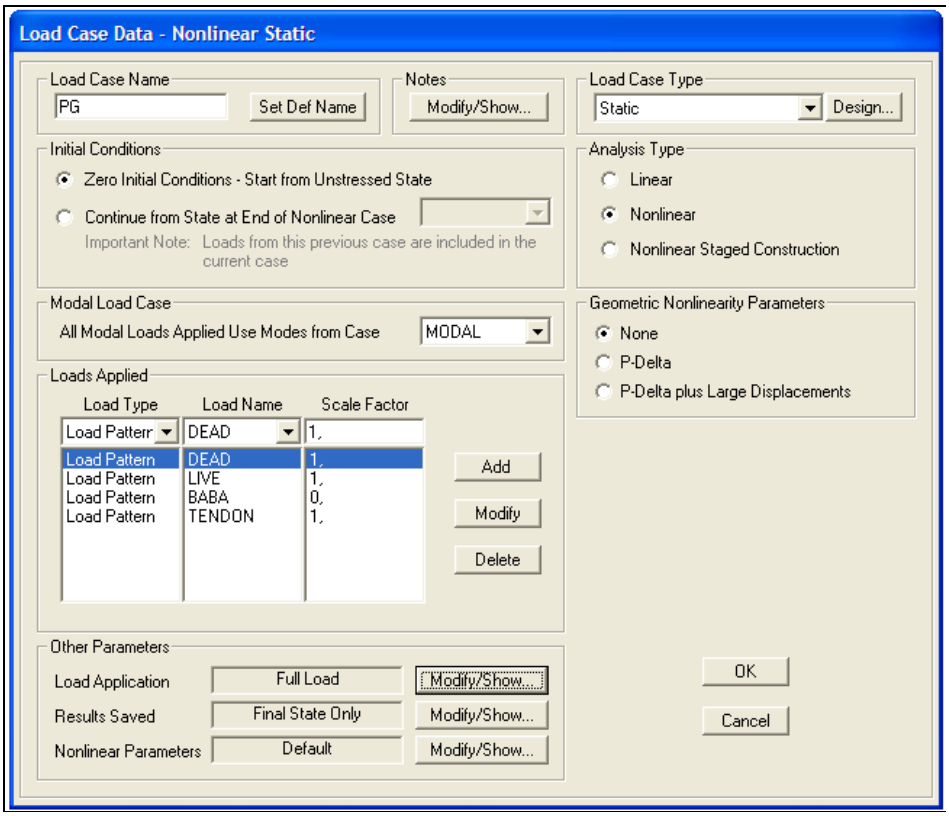
OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless
MODAL	Mode	1	1,234801	1,563E-19	0,79007	0	1,563E-19	0,79007
MODAL	Mode	2	1,223702	0,81158	4,842E-20	4,15E-20	0,81158	0,79007
MODAL	Mode	3	1,112599	9,813E-20	0	8,707E-20	0,81158	0,79007
MODAL	Mode	4	0,178551	9,31E-20	0,06177	0	0,81158	0,85184
MODAL	Mode	5	0,174462	0,0449	8,261E-18	1,077E-18	0,85648	0,85184
MODAL	Mode	6	0,156326	1,442E-13	1,24E-15	0,99854	0,85648	0,85184
MODAL	Mode	7	0,152535	1,934E-14	1,077E-16	0,00025	0,85648	0,85184
MODAL	Mode	8	0,148863	0,0000003918	7,884E-16	5,403E-14	0,85648	0,85184
MODAL	Mode	9	0,148364	1,724E-13	0,00000002166	8,778E-15	0,85648	0,85184
MODAL	Mode	10	0,148187	2,208E-15	1,008E-14	0,000006075	0,85648	0,85184
MODAL	Mode	11	0,148175	000000000108	5,287E-14	000000000261	0,85648	0,85184
MODAL	Mode	12	0,148029	5,563E-16	0,00000001139	1,111E-14	0,85648	0,85184
MODAL	Mode	13	0,148021	000000003046	6,268E-14	1,392E-13	0,85648	0,85184
MODAL	Mode	14	0,14801	1,031E-13	5,617E-15	1,217E-13	0,85648	0,85184
MODAL	Mode	15	0,147922	000000007588	5,937E-14	8,27E-14	0,85648	0,85184
MODAL	Mode	16	0,147834	4,637E-16	2,719E-17	3,433E-16	0,85648	0,85184
MODAL	Mode	17	0,147746	1,648E-15	5,741E-16	000000009773	0,85648	0,85184
MODAL	Mode	18	0,147613	000000001494	3,391E-14	3,554E-14	0,85648	0,85184
MODAL	Mode	19	0,147539	2,122E-14	2,982E-15	000000007843	0,85648	0,85184
MODAL	Mode	20	0,147471	0,00000000167	8,732E-14	1,458E-14	0,85648	0,85184

Record: 1 of 25 Add Tables... Done

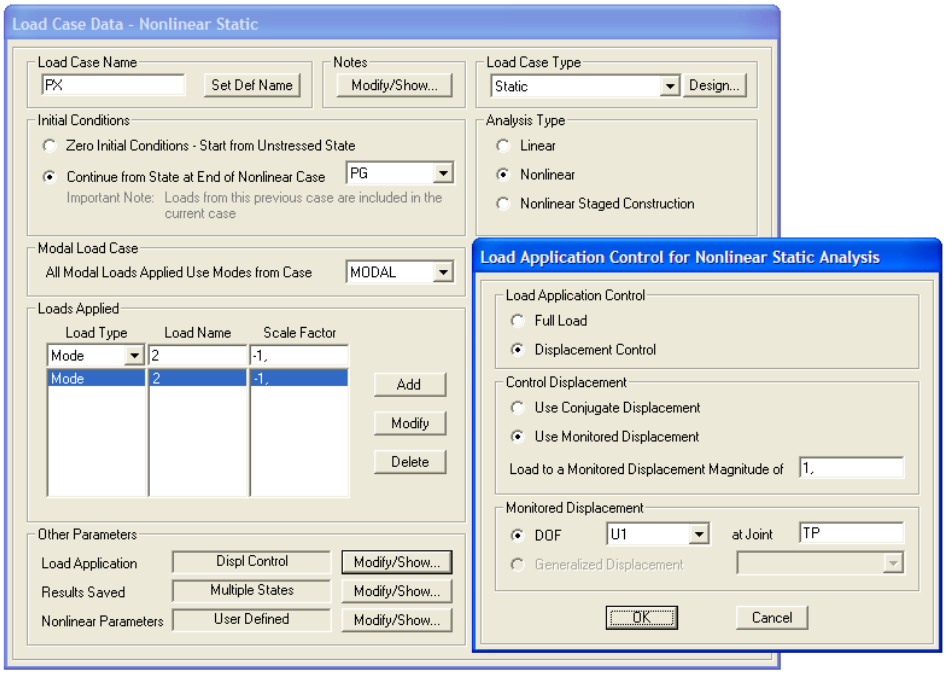
Şekil 4.26: Modal analiz sonuçları.

4.8. İtme Analizi

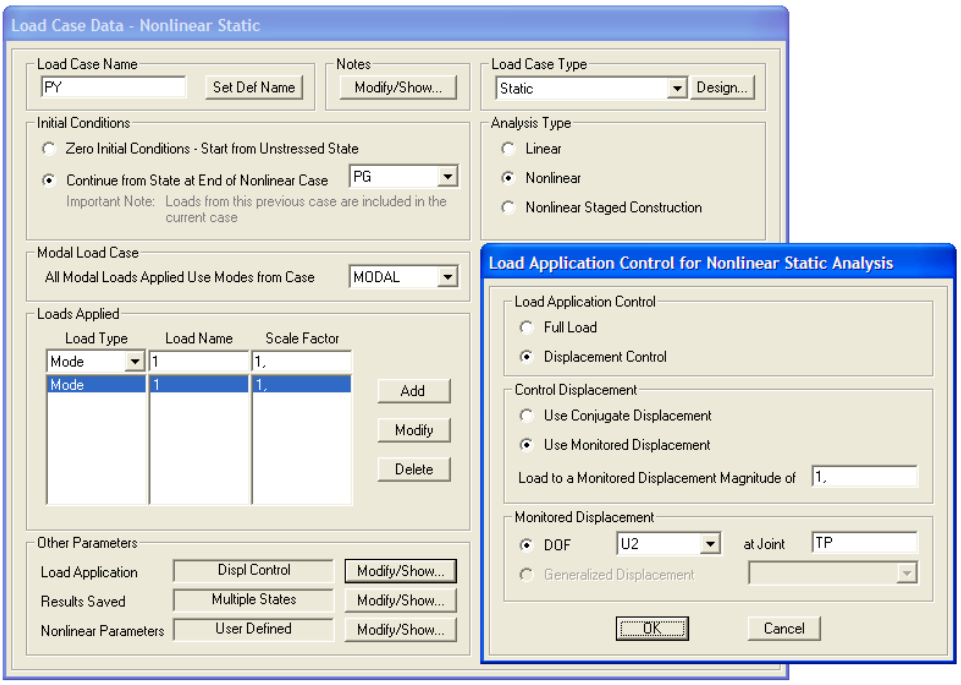
Sistemin deprem etkisi altındaki doğrusal olmayan performansının kontrol edilebilmesi için depremin talep ettiği yer değiştirme bulunmalıdır. Bunun için, iskele X ve Y yönünde tahmini olarak 1’er metre itilmiştir.



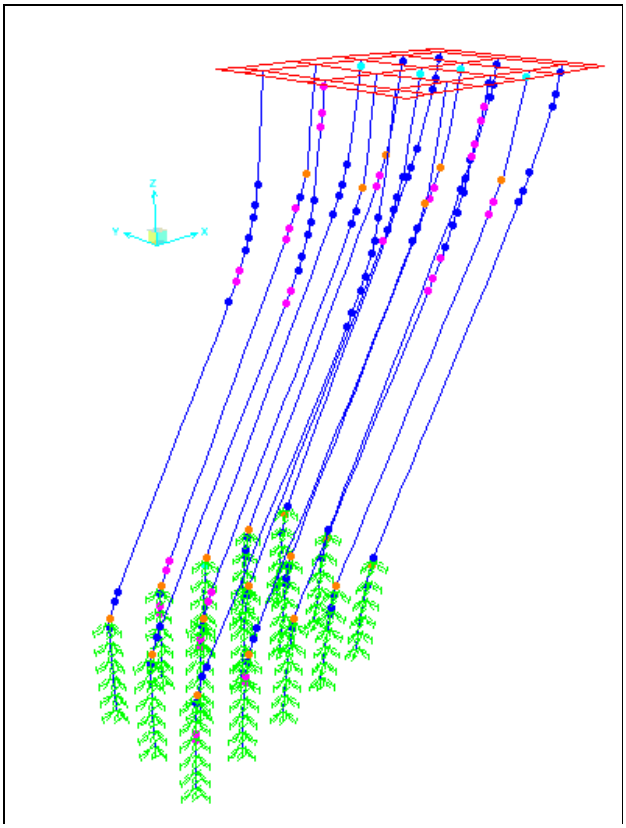
Şekil 4.27: Birinci itme analizi parametrelerinin tanımlanması.



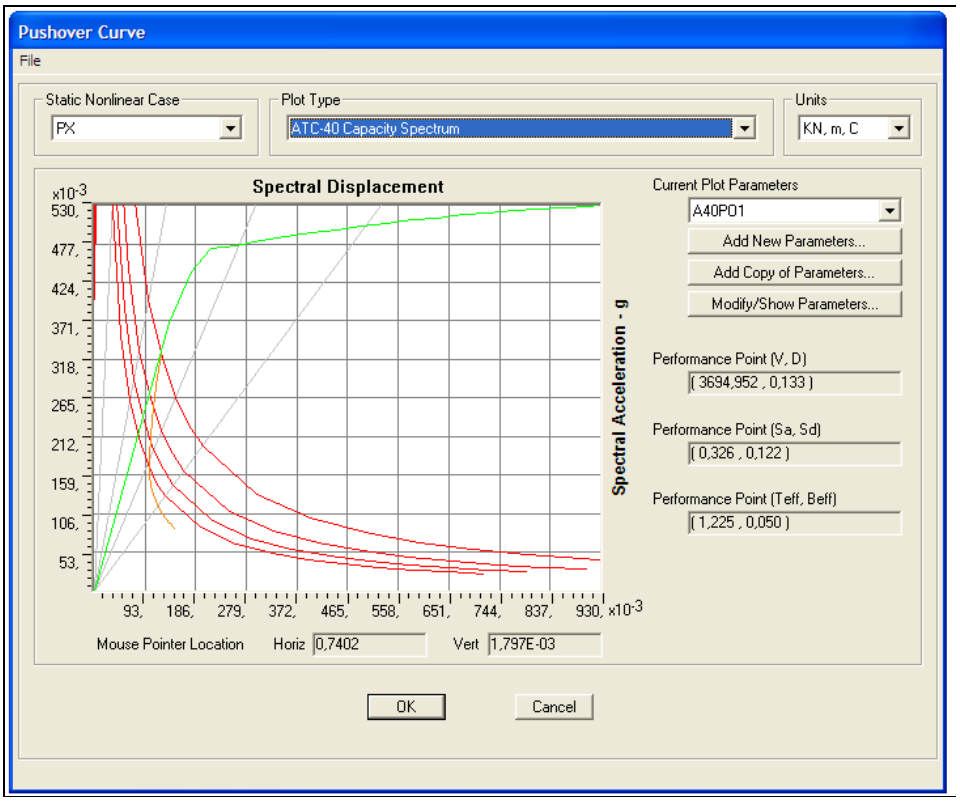
Şekil 4.28: X yönündeki birinci itme analizi parametrelerinin tanımlanması.



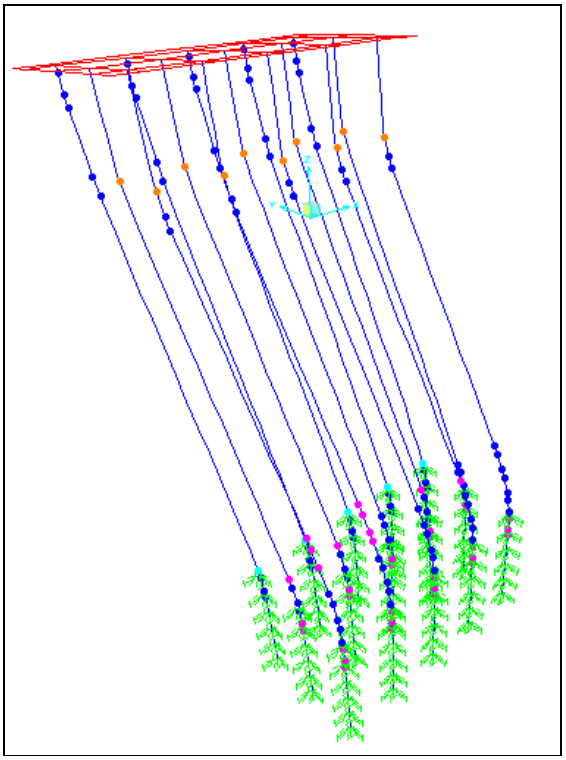
Şekil 4.29: Y yönündeki birinci itme analizi parametrelerinin tanımlanması.



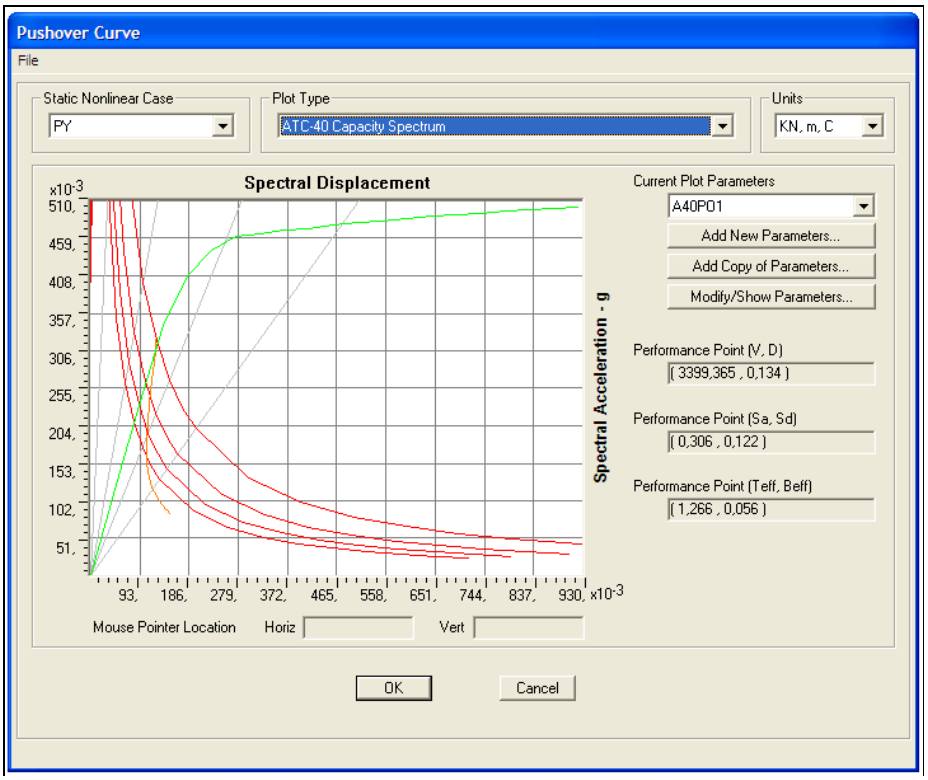
Şekil 4.30: X yönündeki birinci itme analizi sonucunda sistemin deformasyona uğramış hali.



Şekil 4.31: X yönündeki birinci itme analizi eğrisi.

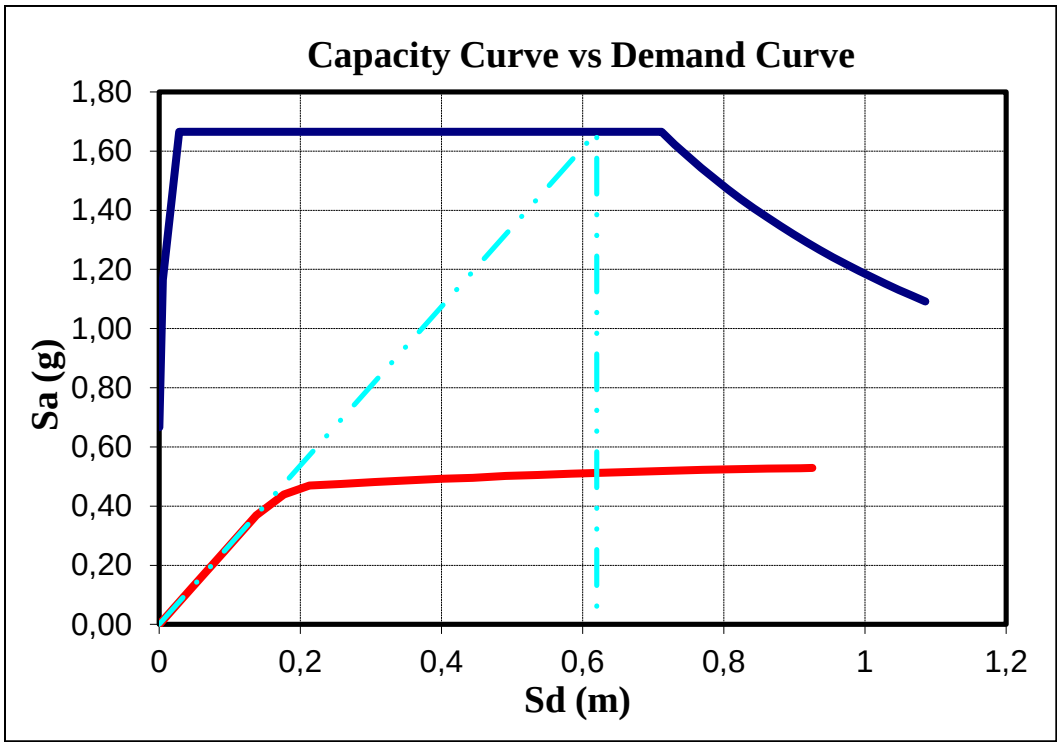


Şekil 4.32: Y yönündeki birinci itme analizi sonucunda sistemin deformasyona uğramış hali.

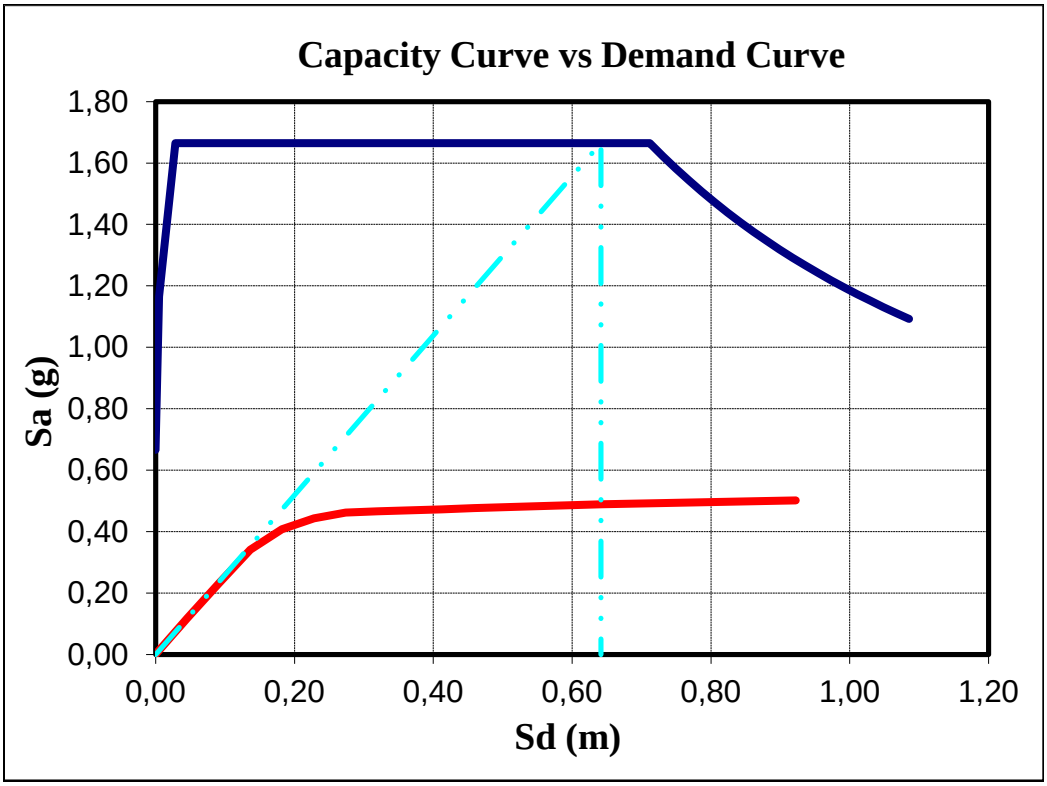


Şekil 4.33: Y yönündeki birinci itme analizi eğrisi.

Sap 2000' de birinci itme analizi sonuçları ve deprem spektrumu kullanılarak taşıyıcı sistemin yer değiştirme kapasitesi ve depremin talep ettiği yer değiştirme miktarı aşağıdaki eğriler yardımıyla X ve Y yönünde ayrı ayrı bulunur. İkinci ve anlamlı itme analizi parametreleri elde edilmiş olur.

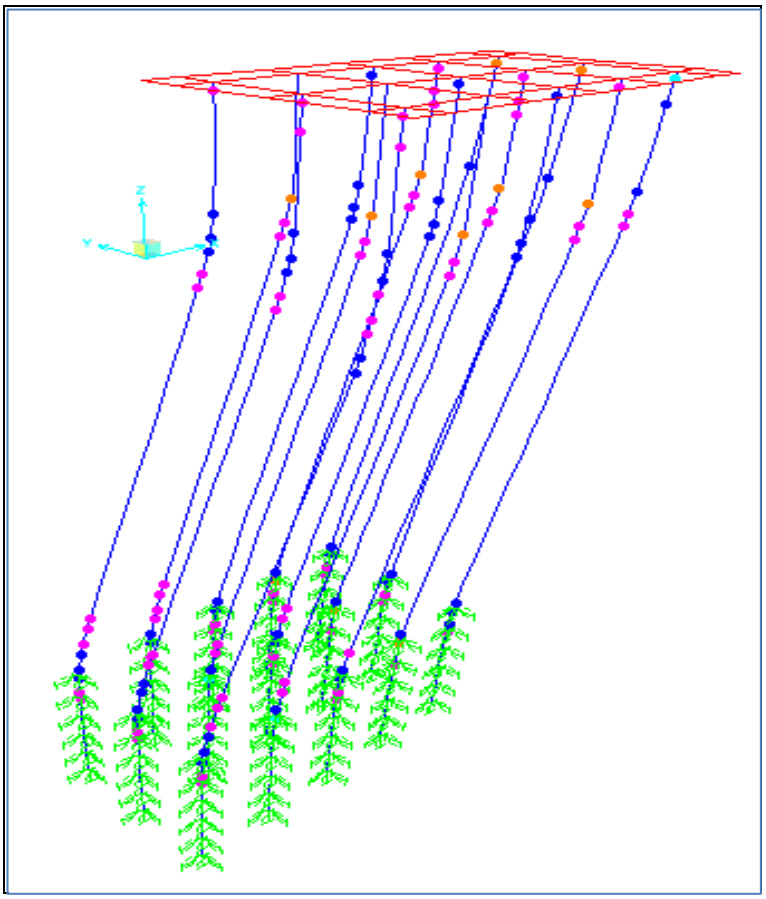


Şekil 4.34: X yönü için kapasite/talep eğrisi.

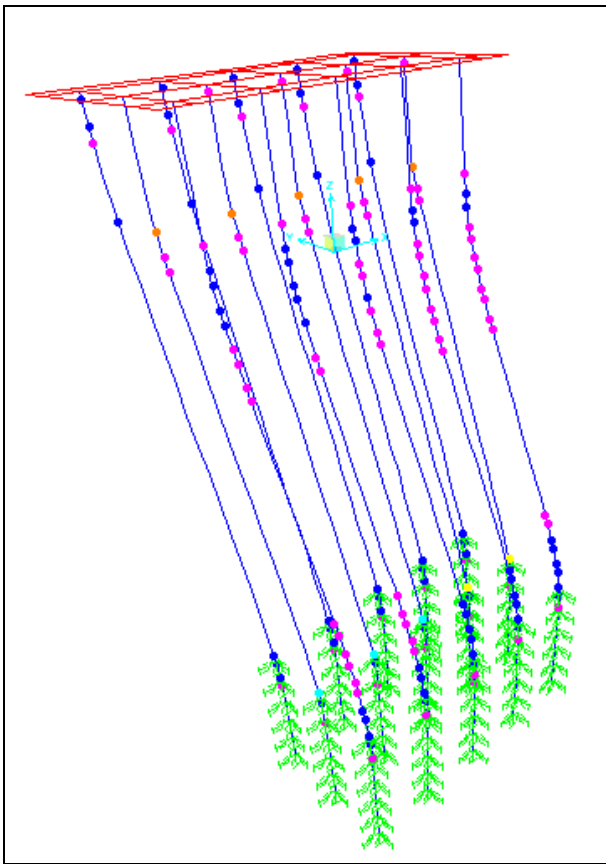


Şekil 4.35: Y yönü için kapasite/talep eğrisi.

Elastik bölgedeki kapasite eğrisinin, deprem spektrumu eğrisi ile kesiştiği nokta performans noktasıdır ve bu noktanın yatay düzlemdeki izdüşümü depremin sistemden talep ettiği yer değiştirmeyi verir. Bu bilgiler ışığında; iskele X yönünde 70,56 santimetre, Y yönünde 72,44 santimetre tekrar itilmiştir.



Şekil 4.36: X yönündeki ikinci itme analizi sonucunda sistemin deformasyona uğramış hali.



Şekil 4.37: Y yönündeki ikinci itme analizi sonucunda sistemin deformasyona uğramış hali.

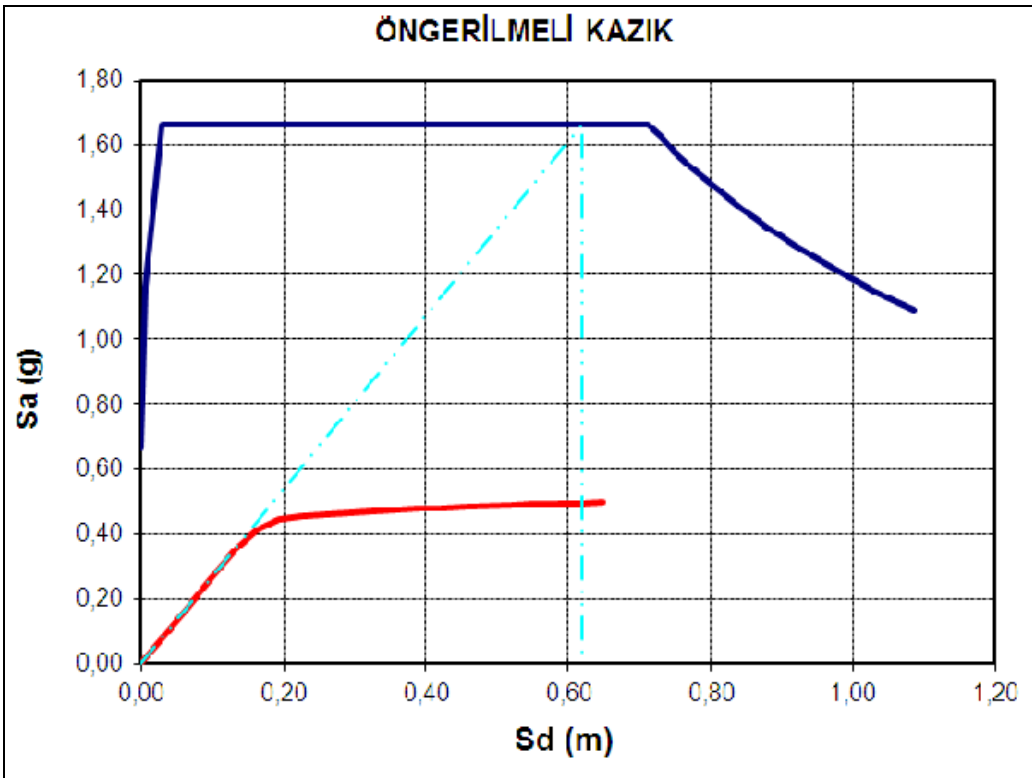
İtme analizi sonucunda plastik mafsallarda oluşan dönme miktarları Sap2000 programından elde edilen tablolar yardımıyla çıkartılmıştır. Plastik mafsallardaki dönme miktarları için DLH DTY' nde yer alan sınırlar kabul edilmiştir (Tablo 4.2).

Tablo 4.2: Kazıkların plastik kesitleri için tanımlanan birim şekil değiştirme kapasiteleri.

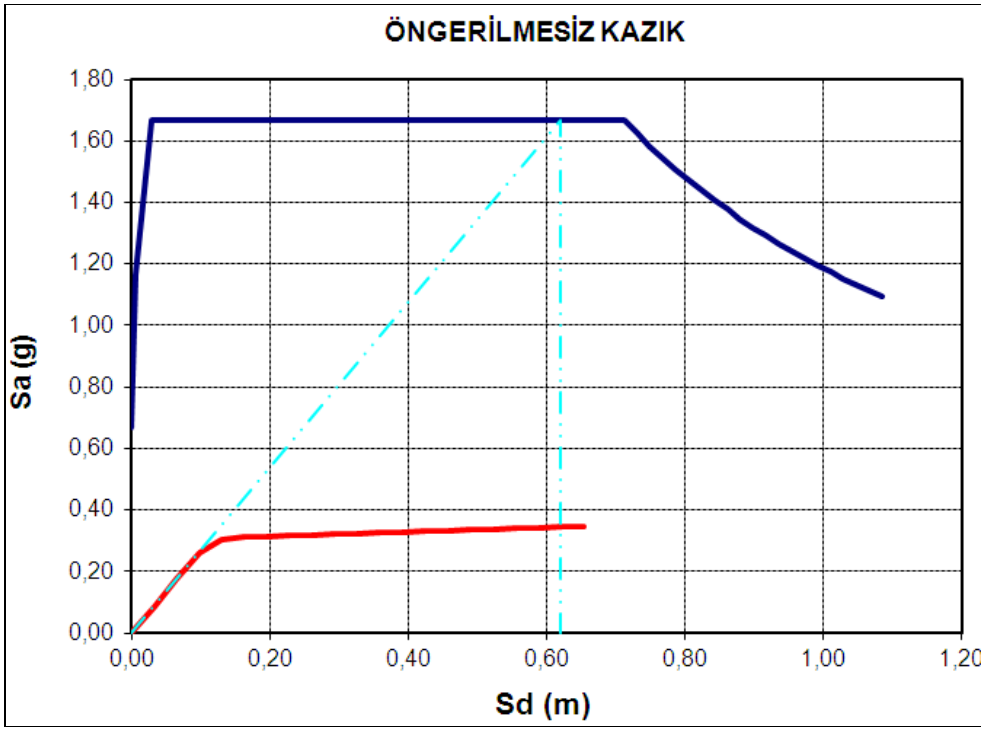
Birim şekildeğiştirme	Performans Düzeyi	
	MH	KH
Betonarme ve öngerilmeli beton kazık		
Kazık – kazık başlığı / tabliye bağlantısındaki plastik kesitte ve zemin içindeki plastik kesitte:		
Beton basınç birim şekildeğiştirmesi	0.005	0.020
Donatı çeliği çekme birim şekildeğiştirmesi	0.010	0.040
Zemin içindeki plastik kesitte:		
Öngerme çeliği birim şekildeğiştirmesi	0.005(1)	0.040
Çelik boru kazık		
Kazık – kazık başlığı / tabliye bağlantısındaki betonarme plastik kesitte:		
Beton basınç birim şekildeğiştirmesi	0.008	0.025
Donatı çeliği çekme birim şekildeğiştirmesi	0.010	0.040
Zemin içindeki plastik kesitte çelik basınç ve çekme birim şekildeğiştirmesi:		
İçi boş boru kazık	0.008	0.025
İçi beton doldurulmuş kompozit kazık	0.008	0.035

DLH DTY' ne göre, iskele taşıyıcı sisteminin; D2 deprem düzeyinde, normal yapılar için kontrollü hasar (KH) performans kriterlerini sağlaması gerekmektedir [3].

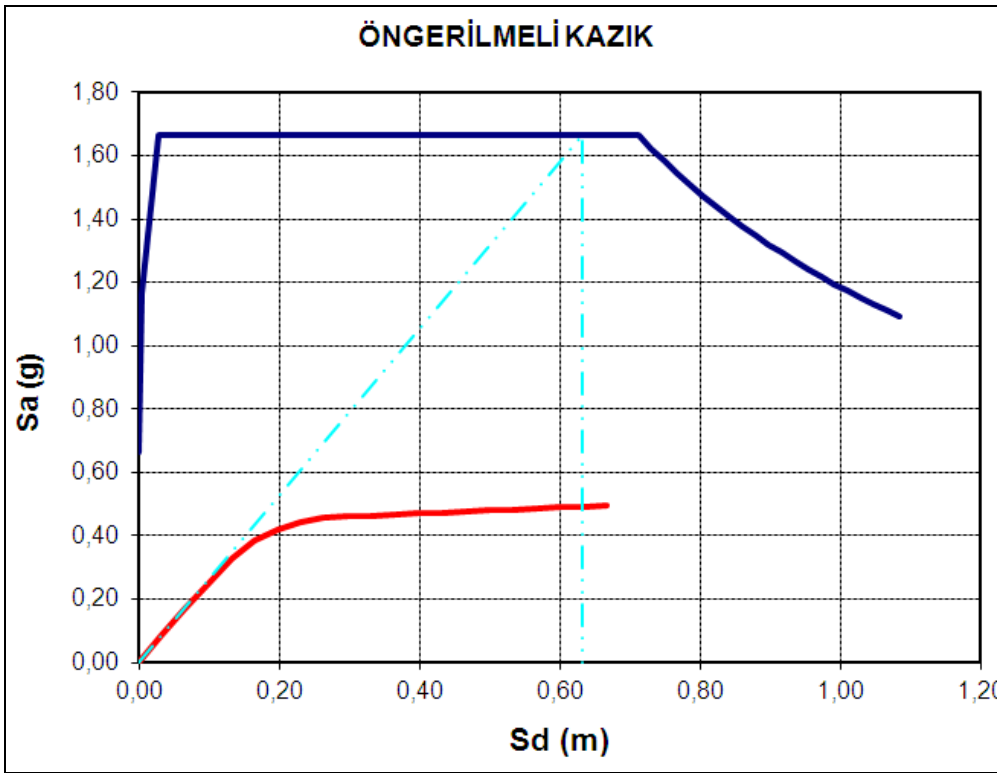
Bu tez çalışmasında incelenen kazıkların öngerilmesiz olarak yapılması kazıkların ağırlıklarını ve kalınlıklarını fazlasıyla arttıracağından büyük ölçüde çakma ve taşıma zorlukları oluşturmaktadır ve tez çalışmasında incelenen mertebelerdeki yüksek üst yapı yükleri altında kullanılmamaktadır. Fakat öngerilmeli kazıkların davranışlarının özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, aşağıdaki tablolar öngerilmeli ve öngerilmesiz durum için Sap 2000 programından elde edilen analiz sonuçları ile oluşturulmuştur. Sap 2000 programında kazık kesitleri tanımlanırken öngerilmeli eleman iki şekilde, eleman ya da yük olarak tanımlanabilmektedir. Bu çalışmada, yük olarak tanımlanmıştır fakat eleman olarak tanımlanan durumda da kazıklara tanımlanan bu öngerilmenin, analiz yapılmadan önce kazığa olan etkisi programda görülememektedir. Yani öngerilmeli ve öngerilmesiz kazıklar için moment, kesme kuvveti ve eksenel kuvvet kapasiteleri gibi değerler.aynı görülmektedir. İtme analizi sonucunda elde edilen itme eğrilerine bakıldığında ise iki durum için sonuçların çok farklı olduğu tespit edilmektedir. Bu nedenle; öngerilmenin kazık kapasitesine etkisinin anlaşılması için her iki model için aynı öngerme donatısı kazık kesitine tanımlanmış ve itme eğrileri incelenmiştir. Sonuçlarda görülen farklar öngerilme kuvvetinden kaynaklanmaktadır.



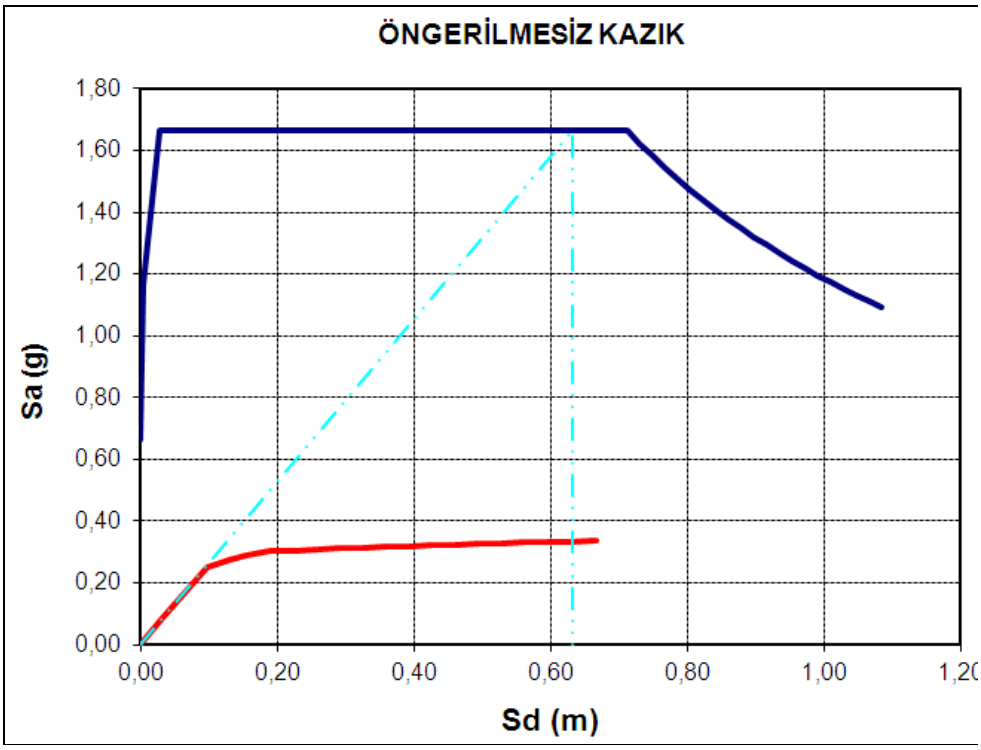
Şekil 4.38: Öngerilmeli kazık x yönünde kapasite/talep eğrisi.



Şekil 4.39: Öngerilmesiz kazık x yönünde kapasite/talep eğrisi.



Şekil 4.40: Öngerilmeli kazık y yönünde kapasite/talep eğrisi.



Şekil 4.41: Öngerilmesiz kazık y yönünde kapasite/talep eğrisi.

	ÖNGERİLMESİZ MODEL (X Yönünde)				ÖNGERİLMELİ MODEL(X Yönünde) (2474kN/kazık)			
	Pushover Curve		Pushover Curve Demand Capacity		Pushover Curve		Pushover Curve Demand Capacity	
Step	Displacement	BaseForce	SdCapacity	SaCapacity	Displacement	BaseForce	SdCapacity	SaCapacity
	m	KN	m	g	m	KN	m	g
0	5,89E-13	0	0	0	5,08E-13	0	0	0
1	0,03528	984.164	0,032332	0,086829	0,03528	984.164	0,032332	0,086829
2	0,07056	1.967.434	0,064665	0,173567	0,07056	1.967.434	0,064665	0,173567
3	0,10584	2.949.223	0,096998	0,260165	0,10584	2.949.222	0,096998	0,260165
4	0,14112	3.398.014	0,12969	0,301077	0,14112	3.929.526	0,129331	0,346624
5	0,1764	3.508.364	0,162285	0,31058	0,1764	4.679.542	0,161592	0,412974
6	0,21168	3.540.435	0,19479	0,312938	0,21168	5.061.402	0,193595	0,445571
7	0,24696	3.569.358	0,227767	0,31645	0,24696	5.170.915	0,225282	0,453406
8	0,28224	3.597.857	0,259965	0,317755	0,28224	5.217.275	0,257846	0,458585
9	0,31752	3.627.449	0,293291	0,321892	0,31752	5.263.790	0,290286	0,463151
10	0,3528	3.655.105	0,325505	0,32332	0,3528	5.310.386	0,323228	0,469096
11	0,38808	3.683.735	0,359095	0,327534	0,38808	5.353.764	0,356029	0,47406
12	0,42336	3.709.232	0,390917	0,328233	0,42336	5.391.455	0,38907	0,479004
13	0,423389	3.709.255	0,390944	0,328236	0,45864	5.425.052	0,421377	0,48168
14	0,458691	3.733.628	0,424316	0,331445	0,49392	5.457.094	0,454473	0,485965
15	0,493971	3.758.267	0,457003	0,333565	0,493922	5.457.097	0,454475	0,485965
16	0,529251	3.782.944	0,490261	0,336484	0,564413	5.509.931	0,519968	0,492046
17	0,564531	3.807.518	0,522888	0,33849	0,599727	5.527.549	0,5517	0,492549
18	0,59983	3.830.001	0,556212	0,34116	0,635041	5.544.787	0,584853	0,495548
19	0,635131	3.851.463	0,58877	0,342768	0,670321	5.561.967	0,616433	0,49589
20	0,670436	3.871.233	0,622187	0,345202	0,7056	5.577.577	0,649486	0,498502
21	0,7056	3.890.915	0,65465	0,346693				
	MAX.	**3.890.915**		**0,346693**	**MAX.**	**5.577.577**		**0,498502**
	Kesme Kuvveti Kapasitesi=		1.686.662	kN		**Öngerilmeli modelin;**		
			%	43,35		Kesme kuvveti kapasitesi **%43,35** artmıştır.		
	Spektral İvme Kapasitesi=		0,152	g		Spektral ivme kapasitesi **%43,79** artmıştır.		
			%	43,79				

Şekil 4.42: Öngerilmeli ve öngerilmesiz kazıklı iskele modelleri için x yönündeki itme analizi sonuçlarına göre oluşturulan kıyaslama tablosu.

	ÖNGERİLMESİZ MODEL (Y Yönünde)				ÖNGERİLMELİ MODEL (Y Yönünde) (2474kN/kazık)			
	Pushover Curve		Pushover Curve Demand Capacity		Pushover Curve		Pushover Curve Demand Capacity	
Step	Displacement	BaseForce	SdCapacity	SaCapacity	Displacement	BaseForce	SdCapacity	SaCapacity
	m	KN	m	g	m	KN	m	g
0	0,00E+00	0	0	0	0,00E+00	0	0	0
1	0,03601	955.113	0,032789	0,08637	0,03622	960.682	0,03298	0,086874
2	0,07202	1.870.360	0,065568	0,168755	0,07244	1.881.015	0,06595	0,169714
3	0,10803	2.769.728	0,098342	0,249594	0,10866	2.785.265	0,098915	0,250989
4	0,14404	3.061.982	0,130532	0,273105	0,14488	3.664.683	0,131873	0,329821
5	0,170317	3.254.922	0,154341	0,289452	0,1811	4.297.797	0,164865	0,386471
6	0,206327	3.384.790	0,188026	0,302797	0,21732	4.672.157	0,198162	0,420512
7	0,246769	3.421.536	0,225	0,304632	0,25354	4.952.777	0,231203	0,444779
8	0,282779	3.451.899	0,259192	0,30944	0,28976	5.110.852	0,263746	0,45592
9	0,318789	3.481.822	0,291958	0,31068	0,32598	5.145.499	0,297845	0,461521
10	0,354799	3.511.264	0,326002	0,314697	0,3622	5.175.485	0,331004	0,463604
11	0,390809	3.536.437	0,358955	0,316138	0,39842	5.205.766	0,364888	0,467683
12	0,426819	3.561.310	0,393265	0,319909	0,43464	5.235.744	0,398335	0,470585
13	0,462829	3.584.282	0,426378	0,321375	0,47086	5.265.743	0,43193	0,473744
14	0,498839	3.606.569	0,460671	0,324509	0,50708	5.296.702	0,465738	0,477402
15	0,534849	3.629.767	0,494669	0,327208	0,5433	5.327.743	0,499126	0,480136
16	0,570859	3.652.358	0,527981	0,328931	0,57952	5.358.662	0,532874	0,483512
17	0,606869	3.674.684	0,561813	0,33127	0,61574	5.386.690	0,5668	0,486838
18	0,642901	3.693.649	0,595208	0,332757	0,615778	5.386.718	0,566834	0,48684
19	0,678968	3.710.484	0,629106	0,334592	0,652011	5.407.297	0,600401	0,488823
20	0,71504	3.726.937	0,662514	0,33587	0,688231	5.426.875	0,634309	0,491252
21	0,7202	3.729.009	0,667331	0,336072	0,7244	5.444.929	0,668341	0,493735
	MAX.	**3.729.009**		**0,336072**	**MAX.**	**5.444.929**		**0,493735**
	Kesme Kuvveti Kapasitesi=		1.715.920	kN		**Öngerilmeli modelin;**		
			%	46,02		Kesme kuvveti kapasitesi **%46,02** artmıştır.		
	Spektral İvme Kapasitesi=		0,158	g		Spektral ivme kapasitesi **%46,91** artmıştır.		
			%	46,91				

Şekil 4.43: Öngerilmeli ve öngerilmesiz kazıklı iskele modelleri için y yönündeki itme analizi sonuçlarına göre oluşturulan kıyaslama tablosu.

5. SONUÇLAR

Kıyı-liman inşaatı uygulamalarında birçok gelişmiş ülkede yaygın olarak kullanılan öngerilmeli prekast betonarme kazık sisteminin yapısal özelliklerinin daha iyi anlaşılması ve böylelikle ülkemizde kullanılmasının yaygınlaştırılmasını amaçlayan bu tez çalışmasında yapılan itme analizi sonuçları incelenmiştir Öngerilmeli prekast betonarme kazıklı iskelenin, normal yapılar için tanımlanan kontrollü hasar performans hedefini sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte öngerilmesiz modele kıyasla kesme kuvveti ve spektral ivme kapasitesinin %50 mertebesinde daha fazla olduğu yukarıdaki tablolar yardımıyla tespit edilmiştir. Bu değerlerin, iskelenin deprem etkisi altındaki doğrusal olmayan performansını olumlu yönde önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Bununla birlikte yapılan araştırmalar sonucunda; öngerilmeli prekast betonarme kazık maliyetinin şu anda yaygın olarak kullanılan çelik kazık maliyetine oranla gerekli üretim tesisinin kurulmasından sonra yaklaşık %30 daha düşük olduğu hesaplanmıştır.

Bu bilgiler ışığında, aktif bir liman ticaretine sahip olan ülkemiz ekonomisine önemli katkısı olacağı düşünülen öngerilmeli prekast betonarme kazıkların yapısal özelliklerinin anlaşılmasında bu çalışmanın faydalı olacağı ve kıyı-liman inşaatı uygulamalarının yanısıra, yüksek yapı temelleri, köprü ve viyadük ayakları gibi bir çok farklı mühendislik yapılarında, hatta binaların taşıyıcı kolonlarında dahi kullanılabilirliğinin incelenmesi açısından, farklı araştırmalara için fikir verici nitelik olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Polat Ş., (2008), "Kazıklı Kıyı Yapılarının Şekil Değiştirmeye Göre Tasarımı", Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi.

[2] Web 2, (2014), http://www.scib.com, (Erişim Tarihi: 07/01/2014).

[3] DLH, (2008), Genel teknik şartnamesi, Türkiye Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü.

[4] Kozak M., (2011), "Öngermeli Betonlar ve Özelliklerinin Teorik olarak Araştırılması", Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi.

[5] TSE, (1979), Öngerilmeli beton yapıların hesap ve yapım kuralları, TS-3233, Türk Standartları Enstitüsü.

[6] IMO, (1967), "Öngerilmeli Beton", İstanbul İnşaat Mühendisleri Odası.

[7] Web 1, (2014), http://www.ijm.com/ICPB/home.aspx, (Erişim Tarihi: 10/02/2014).

[8] Geosan, (2004), "Tuzla Dalsan Limanı Deniz Yapıları Yeri Zemin Araştırması", Doğal Kaynaklar ve Hammaddeler İnşaat Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi.

[9] DLH, (2007), Geoteknik tasarım esasları, Türkiye Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü.

[10] TSE, (1988), Çelik demetler (toronlar) öngerilmeli beton için, TS-5680, Türk Standartları Enstitüsü.

[11] DLH, (2007), Kıyı yapıları ve limanlar planlama ve tasarım teknik esasları, Türkiye Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü.

[12] DBYBHY, (2007), Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.

[13] API, (2000), Recommended practice for planning, designing and constructing fixed offshore platforms-working stress design, API-RP2A-WSD, American Petroleum Institute.

[14] MS, (2004), Precast concrete piles, MS-1314, Malaysian Standard.

[15] BS, (1985), Design and construction of reinforced and prestressed concrete structures, BS-8110, British Standard.

[16] BS, (1986), Code of practice for foundations, BS-8004, British Standard.

[17] JIS, (1987), Prestensioned spun concrete piles, JIS-5335, Japanese Industial Standard.

[18] TSE, (2000), Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, TS-500, Türk Standartları Enstitüsü.

[19] Doran B.,(2011), “Düşey/Eğik Kazıklı İskele Yapılarının Doğrusal Olmayan Statik Çözümlemesi”,7.Kıyı Mühendisliği Konferansı, 1-10, Trabzon, Türkiye, 20-23 Kasım.

ÖZGEÇMİŞ

Ali Duman 1984 yılında Malatya'da doğdu. 2008 yılında başladığı kıyı-liman inşaatı uygulamaları üzerine Tekirdağ, İskenderun, İzmir ve İstanbul'daki birçok kıyı-liman inşaatı uygulamalarında sorumlu inşaat mühendisi olarak görev yaptı. 2011 yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Deprem ve Yapı Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Şu anda İzmit Körfez Geçiş Köprüsü Projesi'nde tasarım mühendisi olarak görev almaktadır.