

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAZIK DESTEKLİ YANAŞMA YAPILARININ SİSMİK YÜKLER ALTINDA
TASARIMI**

MUSTAFA KÖROĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KIYI VE LİMAN MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. YALÇIN YÜKSEL**

İSTANBUL, 2012

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KAZIK DESTEKLİ YANAŞMA YAPILARININ SİSMİK YÜKLER ALTINDA
TASARIMI**

Mustafa KÖROĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 02.11.2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Doç. Dr. Bilge DORAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Esin ÇEVİK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Gülten GÜLAY
İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Liman taşımacılığının son yüzyılda göstermiş olduğu gelişim, bu sektöre yapılan yatırımların ve bu sektörün dünya ticaret hacmi içinde kapladığı alanı da artırmıştır. Bu gelişmelerin sonucunda modern liman tesislerinin kurulması ihtiyacı doğurmuştur. Dünya ticaretinde söz sahibi olan liman bölgeleri, faaliyet alanlarını genişletmiş, yapısal tesislerini daha etkili kullanabilme yolunu seçmiştir.

Bu ihtiyaçlar ışığında, kazıklı yanaşma yapıları başta olmak üzere kıyı yapılarının tasarımında da yeni yöntemlerin uygulanması zorunlu hale gelmiştir. Geleneksel tasarım metotlarına göre inşa edilmiş kıyı yapılarının, olası bir olumsuzluk durumunda (deprem, tsunami vs.) işleyemez hale gelmesi beraberinde yüklü ekonomik zararların oluşmasına sebep olmuştur.

Bu husus göz önünde bulundurularak, daha kullanışlı, daha ekonomik ve daha güvenli liman alanları oluşturabilmek için kıyı yapılarının tasarımında performansa dayalı tasarım yöntemleri tercih edilmiştir. Bu kapsam ve içeriğe uygun olarak hazırlanmış ve yürürlüğe girmiş olan DLH (2008) deprem teknik yönetmeliği bu alanda önemli bir ihtiyacı karşılamıştır.

Bu çalışma boyunca, değerli bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, akademik çalışma ahlakını ve metotlarını öğrenmemde yardımcı olan danışmanım Sayın Prof.Dr. Yalçın YÜKSEL'e, değerleri görüşleri ve bilgileri ile yönlendirmelerini esirgemeyen eş danışmanım Sayın Doç.Dr. Bilge DORAN'a, mühendislik tecrübeleri ve yardımları sebebiyle İnşaat Mühendisi Sayın Caner ÇAKIR'a ve bu süreçte desteklerini her an yanımda hissettiğim sevgili aileme ve eşime teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ekim, 2012

Mustafa KÖROĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMA LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ÖZET	xviii
ABSTRACT.....	xx
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	3
BÖLÜM 2	
KAZIK DESTEKLİ YANAŞMA YAPILARI	4
2.1 Kazıklı Yanaşma Yapılarının Tipleri.....	4
2.1.1 Rıhtımlar	5
2.1.1.1 Düşük Seviyeli Platformlar	5
2.1.1.2 Yüksek Seviyeli Platformlar	6
2.1.2 İskeleler.....	7
BÖLÜM 3	
KAZIKLI YANAŞMA YAPILARININ YAPISAL BİLEŞENLERİ	10
3.1 Giriş	10
3.2 Üst Yapı	10
3.3 Alt Yapı (Kazıklar)	11
3.4 Kazık Çeşitleri	12
3.4.1 Çakma Kazıklar.....	13
3.4.1.1 Prekast Betonarme Kazıklar	13
3.4.1.2 Ahşap Kazıklar	16
3.4.1.3 Çelik Kazıklar	16
3.4.1.4 Kompozit Kazıklar	21

3.4.2	Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar	22
3.5	Kazık Yerleşimi ve Düzenlemesi	23
3.5.1	Planda Kazık Yerleşimi	24
3.5.2	Kazık Yerleşim ve Düzenlemesi ile İlgili Yapısal Esaslar	25

BÖLÜM 4

DLH (2008) KAPSAMINDA DEPREM ETKİSİ ALTINDA TASARIM İLKELERİ	28
4.1 Giriş	28
4.2 Deprem Düzeyleri	29
4.2.1 D1 Deprem Düzeyi	29
4.2.2 D2 Deprem Düzeyi	29
4.2.3 D3 Deprem Düzeyi	29
4.3 Deprem Tasarım Spektrumları	30
4.4 Kıyı ve Liman Yapılarının Deprem Performansı Bakımından Sınıflandırılması	32
4.4.1 Özel Yapılar	33
4.4.2 Normal Yapılar	33
4.4.3 Basit Yapılar	33
4.4.4 Önemsiz Yapılar	33
4.5 Kıyı ve Liman Yapıları için Tanımlanan Performans Düzeyleri	33
4.5.1 Minimum Hasar Performans Düzeyi (MH)	34
4.5.2 Kontrollü Hasar Performans Düzeyi (KH)	34
4.5.3 İleri Hasar Performans Düzeyi (İH)	34
4.5.4 Göçme Hasarı Durumu (GH)	34
4.6 Kıyı ve Liman Yapılarında Öngörülen Performans Hedefleri	35
4.7 Yapı Davranışının Tanımlanması	35
4.8 Tasarım Yöntemleri	36
4.8.1 Dayanıma Göre Tasarım Yaklaşımı [DGT]	37
4.8.2 Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım Yaklaşımı [ŞGT]	37
4.8.3 Mevcut Yapıların Performanslarının Değerlendirilmesi	38
4.9 Dayanıma Göre Tasarım	38
4.9.1 Tasarım Kabulleri	38
4.9.2 Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları	38
4.9.3 Azaltılmış Deprem Yüğü ile Doğrusal Elastik Analiz Yöntemler	43
4.9.4 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	43
4.9.4.1 Eşdeğer Deprem Yüğü'nün Belirlenmesi	43
4.9.4.2 Tabliye Burulma Momenti'nin Belirlenmesi	43
4.9.4.3 Deprem Kuvvetine Maruz Yapı Kütlesi ve Dağılımı	44
4.9.4.4 Yer değiştirmelerin sınırlandırılması	45
4.10 Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım	47
4.10.1 Tasarım Yaklaşımı	48
4.10.2 Tasarım Kabulleri	52
4.10.3 Analiz Yöntemleri	54
4.10.4 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi için İşlem Sırası	55
4.10.5 Kapasite Eğrisinin Belirlenmesi	56
4.10.6 Statik İtme Eğrisinin Modal Kapasite Eğrisine Dönüştürülmesi	57

4.10.7	Deprem Talep Eğrisi Eksen Değişimi	58
4.10.8	Hedef Yer Değiştirme Sınırı Tayini.....	58

BÖLÜM 5

TASARIM	63
5.1 Liman Planlaması	63
5.2 Projelendirme Esasları	63
5.2.1 Tasarım Gemisi	64
5.2.1.1 Karakteristik Boyutlar.....	64
5.2.1.2 Gemi tonaj ölçüleri.....	65
5.2.2 Konumlandırma	67
5.2.3 Ön Boyutlarının Belirlenmesi.....	67
5.2.4 Tasarımda Dikkate Alınacak Yükler.....	72
5.2.4.1 Sabit yükler.....	73
5.2.4.2 Hareketli Yükler	73
5.2.4.3 Gemi Bağlama Kuvveti	74
5.2.4.4 Rüzgar Kuvvetleri	75
5.2.4.5 Akıntı Kuvvetleri	76
5.2.4.6 Gemi Çarpma Kuvveti.....	76
5.2.4.7 Dalga Kuvvetleri	80
5.2.5 Yük Kombinasyonları	85
5.3 Kazık Taşıma Gücü Hesapları	86
5.3.1 Tekil Kazığın Taşıma Gücü Hesabı.....	86

BÖLÜM 6

DÜŞEY KAZIKLI İSKELE TASARIMI	89
6.1 Giriş	89
6.2 Yapı Bilgileri.....	89
6.3 Malzeme Bilgileri.....	90
6.4 Kazık Ön Boyutlandırması	91
6.4.1 Kazık Et Kalınlığı Kontrolü	92
6.4.2 Kazık Yerleşimi ve Üst Yapı Elemanları	93
6.5 Zemin Özellikleri	98
6.5.1 Zemin Cinsinin Belirlenmesi	100
6.5.2 Ankraj Boyu Hesabı.....	100
6.5.3 Tekil Kazığın Taşıma Kapasitesi.....	101
6.6 Yapıya Tesir Eden Yükler	103
6.6.1 Sabit Yükler	103
6.6.2 Hareketli Yükler	104
6.6.3 Gemi Çarpma Kuvveti	105
6.6.4 Gemi Bağlama Kuvveti.....	105
6.6.5 Rüzgâr Yükleri	106
6.6.6 Akıntı Kuvveti.....	107
6.6.7 Dalga Yükleri	108
6.6.8 Suyun Kaldırma Kuvveti (S_K)	110

6.7	DGT Kapsamında Eş Değer Deprem Yüğü Yöntemi ile Analiz	111
6.7.1	Deprem Tasarım Spektrumları	111
6.7.2	Deprem Azaltma Katsayısı	113
6.7.3	Eş değer Deprem Yüğü	114
6.8	Yükler ve Yük Kombinasyonları	115
6.9	Kapasite ve Yer değıştirme Kontrolleri	117
6.9.1	Yer Değıştirmelerin Kontrolü	117
6.9.2	Kazık Kapasitesinin Kontrolü	118
6.9.3	Tekil Kazığa Ait Zemin Taşıma Kapasitesi	120
6.10	ŞGT ile Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	121
6.10.1	İtme Analizi İçin Yapılan Yüklemler	122
6.10.2	İtme Analizi Sonuçları	124
6.10.3	Tepe Yer Değıştirme İsteminin Belirlenmesi	125
6.10.4	Tepe Yer Değıştirme İstemi İçin Analizin Tekrarı	127
6.10.5	Yapı Performansının Değerlendirilmesi	128

BÖLÜM 7

EĞİK KAZIKLI İSKELE TASARIMI.....	132
7.1 Giriş	132
7.2 Yapı Bilgileri.....	132
7.3 Malzeme Bilgileri.....	133
7.4 Kazık Ön Boyutlandırması	134
7.4.1 Kazık Et Kalınlığı Kontrolü	135
7.4.2 Kazık Yerleşimi ve Üst Yapı Elemanları	136
7.5 Zemin Özellikleri	141
7.5.1 Zemin Cinsinin Belirlenmesi	143
7.5.2 Ankraj Boyu Hesabı.....	143
7.5.3 Tekil Kazığın Taşıma Kapasitesi.....	144
7.6 Yapıya Tesir Eden Yükler	146
7.6.1 Sabit Yükler	146
7.6.2 Hareketli Yükler	147
7.6.3 Gemi Çarpma Kuvveti	148
7.6.4 Gemi Bağlama Kuvveti.....	148
7.6.5 Rüzgâr Yükleri	149
7.6.6 Akıntı Kuvveti.....	150
7.6.7 Dalga Yükleri	151
7.6.8 Suyun Kaldırma Kuvveti (S_K)	154
7.7 DGT Kapsamında Eş Değer Deprem Yüğü Yöntemi ile Analiz	154
7.7.1 Deprem Tasarım Spektrumları	154
7.7.2 Deprem Azaltma Katsayısı	156
7.7.3 Eş değer Deprem Yüğü	156
7.8 Yükler ve Yük Kombinasyonları.....	158
7.9 Kapasite ve Yer değiştirme Kontrolleri	160
7.9.1 Yer Değiştirmelerin Kontrolü	160
7.9.2 Kazık Kapasitesinin Kontrolü	161
7.9.3 Tekil Kazığa Ait Zemin Taşıma Kapasitesi	162

7.10	ŞGT ile Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi.....	163
7.10.1	İtme Analizi İçin Yapılan Yüklemler	164
7.10.2	İtme Analizi Sonuçları.....	166
7.10.3	Tepe Yer Değıştirme İsteminin Belirlenmesi	167
7.10.4	Tepe Yer Değıştirme İstemi İçin Analizin Tekrarı	169
7.10.5	Yapı Performansının Değıerlendirilmesi	170
BÖLÜM 8		
SONUÇ VE ÖNERİLER		174
KAYNAKLAR.....		177
EK - A		
RÜZGÂR VE AKINTI KUVVETLERİNE AİT KATSAYILAR		180
EK - B		
DS7 SONDAJI		188
ÖZGEÇMİŞ.....		190

SİMGE LİSTESİ

$a_1^{(i)}$	(i)'inci itme adımında birinci moda ait modal ivme
a_{y1}	Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
A_p	Kazık enkesit alanı
B	Gemi bağlama yükü (Baba yükü)
C_{R1}	Birinci moda ait spektral yer değiştirme oranı
D	Kazık çapı
d	Su derinliği
$d_1^{(i)}$	(i)'inci itme adımında birinci moda ait modal yer değiştirme
$d_1^{(p)}$	En son (p)'inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait maksimum modal yer değiştirme (modal yer değiştirme istemi)
e	Kazıklar arası mesafe (kazık uç noktaları için)
$(EI)_e$	Çatlamış betonarme kesite ait etkin eğilme rijitliği
F_a	Kısa periyot zemin katsayısı
F_v	1 sn. periyodu zemin katsayısı
f_{ck}	Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{yk}	Donatı çeliği akma dayanımı
K	Yanal toprak basınç katsayısı
k_h	Yatak katsayısı
k_{py}	Yatak katsayısı değişim sabiti
L_p	Plastik bölge uzunluğu (plastik mafsallık boyu)
$M_{x,1}$	x deprem doğrultusunda hâkim (birinci) modda etkin kütle
m_i	Yapının (i)'inci katının kütlesi
M_p	Plastik moment
N_q	Taşıma gücü katsayısı
P_{st}, P_{sd}	Nihai direnç
p	Gerçek yanal direnç
p_u	Nihai direnç
Q	Uç direnç
Q_p	Maksimum uç direnç
R_y	Dayanım azaltma katsayısı
S_1, S_2	Kazıklar arası mesafe (tabliye düzleminde)
$S_{ae1}^{(1)}$	İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme

$S_{de}^{(1)}$	İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme
$S_{di,1}$	Birinci moda ait doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yer değiştirme
S_{MS}	Kısa doğal titreşim periyoduna karşılık gelen spektral ivme değeri
S_{M1}	1 saniye doğal titreşim periyoduna karşılık gelen spektral ivme değeri
T	Doğal titreşim periyodu
T_o, T_s	Spektrum köşe periyotları
T_L	Uzun periyot bölgesine geçiş periyodu
$u_{xT,1}^{(i)}$	(i)'inci itme adımında x deprem doğrultusunda hâkim (birinci) moda tabliye kütle merkezinin yer değiştirmesi
$V_{x,1}^{(i)}$	(i)'inci itme adımında x deprem doğrultusunda hâkim (birinci) modda toplam eşdeğer deprem yükü
$\omega_1^{(1)}$	Başlangıçtaki (i=1) itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moduna ait doğal açısal frekans
ω_s	İvme spektrumundaki köşe periyoduna karşı gelen doğal açısal frekans
α	Ampirik katsayı
ϵ_c	Laboratuarda drenajsız basınç değerlerinden elde edilen maksimum düşey direncin yarısına eşit düşey gerilmede oluşan birim yer değiştirme
ϵ_y	Donatı çeliği akma birim şekil değiştirmesi
σ_y	Yapı çeliği akma dayanımı
σ_0	Efektif gerilme
ϕ_y	Eşdeğer akma eğriliği
ϕ_p	Plastik eğrilik
ϕ_t	Toplam eğrilik
θ_p	Plastik dönme
$\Phi_{xT,1}$	x deprem doğrultusunda hâkim moda ait mod şekli genliği
Φ	Sürtünme açısı
$\Gamma_{x,1}$	x deprem doğrultusunda hâkim (birinci) moda ait katkı çarpanı
γ	Zemin birim hacim ağırlığı
δ	Zemin ve kazık arasındaki sürtünme açısı

KISALTMA LİSTESİ

DLH 2008	Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği
KYL-PTTE 2007	Kıyı Yapıları ve Limanlar Planlama ve Tasarım Teknik Esasları
SAP2000	Integrated Software for Structural Analysis and Design
TDY 2007	Türk Deprem Yönetmeliği, 2007
TS 648	Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, 1980
PIANC	Seismic Design Guidelines for Port Structures
CERC	Coastal Engineering Research Center
API	American Petroleum Institute
DGT	Dayanıma Göre Tasarım
ŞGT	Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Düşük seviyeli platformlar [14]	5
Şekil 2.2 Yüksek seviyeli platformlar [14]	6
Şekil 2.3 İskele tipleri	7
Şekil 2.4 Düşey kazıklı iskele	8
Şekil 2.5 Eğik kazıklı iskele	8
Şekil 2.6 Düşey ve eğik kazık kombinasyonlu iskele	9
Şekil 3.1 Kazıklı iskele alt ve üst yapı elemanları	11
Şekil 3.2 Kazık çeşitleri [13]	12
Şekil 3.3 Betonarme çakma kazıkların kaldırılma şekline göre maruz kaldıkları momentler [15]	14
Şekil 3.4 Çelik kazık tipleri	17
Şekil 3.5 Başlıca kompozit kazık tipleri [13]	22
Şekil 3.6 Yerinde dökme betonarme kazıklar [13]	23
Şekil 3.7 Tipik bir rıhtım kazık yerleşim planı	24
Şekil 3.8 Tipik bir iskele kazık yerleşim planı	24
Şekil 3.9 Kazık yerleşimi	25
Şekil 3.10 Kazıklarda minimum kazık aralıkları [28]	26
Şekil 3.11 Çakma kazıklarda kazık ucunun altında bulunması gereken minimum taşıyıcı zemin kalınlığı [28]	26
Şekil 3.12 Çelik boru kazık detayı [21]	27
Şekil 4.1 Deprem tasarım spektrumu [2]	32
Şekil 4.2 Deprem etkisi altında yapı davranışı	39
Şekil 4.3 Dayanım azaltma katsayısı, R_y	41
Şekil 4.4 Deprem kuvvetinin (a) sadece tabliye kütesine etkimesi (b) tabliye ve kazık kütlelerine etkimesi	44
Şekil 4.5 Doğrusal elastik olmayan davranışa özgü yapı davranışı	49
Şekil 4.6 $T > T_s$ durumu için S_{di} tayini	50
Şekil 4.7 $T < T_s$ durumu için S_{di} tayini	52
Şekil 4.8 Plastik mafsal boyu, L_p	53
Şekil 4.9 Kapasite eğrisi [17]	57
Şekil 4.10 Statik itme eğrisinin modal kapasite eğrisine dönüştürülmesi [2]	58
Şekil 4.11 Deprem talep eğrisi eksen değişimi [17]	58
Şekil 4.12 $T_1^{(1)} \geq T_s$ durumu [2]	60

Şekil 4.13	$T_1^{(1)} < T_s$ durumu; 1. Adım (a) [2]	61
Şekil 4.14	$T_1^{(1)} < T_s$ durumu; 2. adım (b) [2]	62
Şekil 5.1	Projelendirme esasları akış şeması [21]	65
Şekil 5.2	Gemi boyutları ve ilgili tanımlar [23]	66
Şekil 5.3	Değişik iskele planları	67
Şekil 5.4	İkili ve dörtlü yanaşma durumundaki iskele yerleşimleri [21]	68
Şekil 5.5	Gemi uzunluğuna bağlı iskele boyutları (a), (b), (c) ve (d) [21]	68
Şekil 5.6	Sürekli rıhtımlarda usturmaça düzeni [22]	72
Şekil 5.7	Gemi yanaşma şekli [23]	78
Şekil 5.8	İskelede etkili dalga kuvvetleri [12]	81
Şekil 5.9	Kazık tiplerine göre C_D değerleri [22]	83
Şekil 6.1	Başlık kirişi ve kazık yerleşimi	93
Şekil 6.2	İskele planı	95
Şekil 6.3	Düşey kazıklı iskele en kesiti	96
Şekil 6.4	Düşey kazıklı iskele boy kesiti	97
Şekil 6.5	Zemin tabakaları	98
Şekil 6.6	X doğrultusunda hâkim moda ait doğal titreşim şekli	112
Şekil 6.7	Y doğrultusunda hâkim moda ait doğal titreşim şekli	112
Şekil 6.8	Deprem tasarım spektrumu	113
Şekil 6.9	Düşey doğrultudaki yüklemeleri içeren analiz durumunun SAP2000, ver.14.2.2'de tanımlanması [17]	122
Şekil 6.10	X-X doğrultusundaki yüklemeyi içeren analiz durumunun SAP2000, ver.14.2.2'de tanımlanması [17]	123
Şekil 6.11	Y-Y doğrultusundaki yüklemeyi içeren analiz durumunun SAP2000, ver.14.2.2'de tanımlanması [17]	123
Şekil 6.12	X-X doğrultusu itme eğrisi [17]	124
Şekil 6.13	Y-Y doğrultusu itme eğrisi [17]	124
Şekil 6.14	X-X doğrultusu performans noktasının belirlenmesi [17]	125
Şekil 6.15	Y-Y doğrultusu performans noktasının belirlenmesi [17]	126
Şekil 6.16	X-X doğrultusu itme eğrisi [17]	127
Şekil 6.17	Y-Y doğrultusu itme eğrisi [17]	127
Şekil 6.18	X-X doğrultusu plastik mafsall oluşumu [17]	128
Şekil 6.19	X-X doğrultusu kesit hasar bölgesi [17]	129
Şekil 6.20	Y-Y doğrultusu plastik mafsall oluşumu [17]	129
Şekil 6.21	Y-Y doğrultusu kesit hasar bölgesi [17]	130
Şekil 7.1	Başlık kirişi ve kazık yerleşimi	136
Şekil 7.2	İskele planı	138
Şekil 7.3	Eğik kazıklı iskele en kesiti	139
Şekil 7.4	Eğik kazıklı iskele boy kesiti	140
Şekil 7.5	Zemin Tabakaları	141
Şekil 7.6	Deprem tasarım spektrumu	156
Şekil 7.7	Düşey doğrultudaki yüklemeleri içeren analiz durumunun SAP2000, ver.14.2.2'de tanımlanması [17]	164
Şekil 7.8	X-X doğrultusundaki yüklemeyi içeren analiz durumunun SAP2000, ver.14.2.2'de tanımlanması [17]	165

Şekil 7.9	Y-Y doğrultusundaki yüklemeyi içeren analiz durumunun SAP2000,ver.14.2.2’de tanımlanması [17].....	165
Şekil 7.10	X-X doğrultusu itme eğrisi [17]	166
Şekil 7.11	Y-Y doğrultusu itme eğrisi [17].....	166
Şekil 7.12	X-X doğrultusu performans noktasının belirlenmesi [17].....	168
Şekil 7.13	Y-Y doğrultusu performans noktasının belirlenmesi [17].....	169
Şekil 7.14	X-X doğrultusu itme eğrisi [17]	169
Şekil 7.15	Y-Y doğrultusu itme eğrisi [17].....	170
Şekil 7.16	X-X doğrultusu plastik mafsall oluşumu [17]	171
Şekil 7.17	Eğik kazıklar X-X doğrultusu kesit hasar bölgesi [17]	171
Şekil 7.18	Y-Y doğrultusu plastik mafsall oluşumu [17]	172
Şekil 7.19	Eğik kazıklar Y-Y doğrultusu kesit hasar bölgesi [17]	172
Şekil A.1	Rüzgâr geliş açısı ile rüzgâr kuvveti katsayıları arasındaki ilişki [22].....	181
Şekil A.2	Çok büyük petrol tankerleri için rüzgâr kuvveti katsayıları [22]	182
Şekil A.3	Yük gemileri için rüzgâr kuvveti katsayıları [22]	183
Şekil A.4	Tankerler için boyuna izdüşüm alanları [22]	184
Şekil A.5	Konteyner gemileri için “uzunluk/boyuna izdüşüm alanları” ile “ölü ağırlık (DWT)” arasındaki ilişki [22].....	184
Şekil A.6	Bütün gemiler için derin denizde akıntı kuvveti direnç katsayıları [22]	185
Şekil A.7	Enine akıntı kuvvetleri için derinlik düzeltme faktörü [22].....	186
Şekil A.8	Boyuna akıntı kuvvetleri için derinlik düzeltme faktörü [22].....	186
Şekil A.9	Sığ sularda ağırlıkları 150.000-500.000 DWT arasında değişen tankerlerde boyuna akıntı kuvveti katsayısı değişimi [22]	187
Şekil B.1	DS7 Sondaj logu	189

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4.1	Kısa periyot zemin katsayısı F_a [2] 31
Çizelge 4.2	1.0 s periyodu zemin katsayısı F_v [2] 32
Çizelge 4.3	Çeşitli deprem düzeylerinde hedeflenen performans düzeyleri [2] 35
Çizelge 4.4	Kazıklı iskele ve rıhtımlara çeşitli deprem düzeylerinde uygulanacak tasarım yöntemleri [2] 38
Çizelge 4.5	Deprem yükü azaltma katsayısı, R_d 42
Çizelge 4.6	Kazıklı iskele ve rıhtımlarda taşıyıcı sistem davranış katsayıları (R) [2]... 42
Çizelge 4.7	Kazıklı iskele ve rıhtımlarda izin verilen göreceli öteleme oranları..... 46
Çizelge 5.1	Ölü ağırlık tonajı ve gross tonaj arasındaki ilişki [23] 66
Çizelge 5.2	Gemi uzunluğuna bağlı iskele boyutları [21] 70
Çizelge 5.3	Başlıca gemi boyutlarına göre yanaşma yeri boyutları [23] 70
Çizelge 5.4	Apron genişliği standart değerleri [23] 72
Çizelge 5.5	Çeşitli yapı malzemelerinin hesap ağırlıkları [21] 73
Çizelge 5.6	İskele ve rıhtımlarda düzgün yayılı yükler [21] 74
Çizelge 5.7	Gemilerin bağlanma kuvvetleri [23] 75
Çizelge 5.8	Rıhtımlar için baba aralık ve sayıları[22] 75
Çizelge 5.9	Gemilerin deplasman tonajı (DT) ile ölü ağırlık tonajı (DWT) / gros tonajı (GT) arasındaki ilişki [23] 77
Çizelge 5.10	DWT ve GT verileri ile L_{BP} arasındaki ilişki[23] 79
Çizelge 5.11	DWT ve yanaşma hızları [23] 80
Çizelge 5.12	Kazıklı rıhtım ve iskeleler için yük kombinasyonları [22] 85
Çizelge 5.13	Taşıma kapasite katsayıları N_q 87
Çizelge 5.14	Toprak basıncı katsayıları 87
Çizelge 5.15	Kazık-zemin arası sürtünme açısı δ 87
Çizelge 6.1	Tasarım gemisi özellikleri 89
Çizelge 6.2	Tasarıma esas en küçük iskele boyutları 90
Çizelge 6.3	Kazık karakteristik özellikleri 92
Çizelge 6.4	İskelede bir anoya ait yapısal bilgiler 94
Çizelge 6.5	Orta sıkı/sıkı kum tabakası için yatay yatak katsayısı 99
Çizelge 6.6	Basınç ve çekme yük taşıma kapasiteleri 101
Çizelge 6.7	Emniyetli yük taşıma kapasitesi 102
Çizelge 6.8	Üst yapı özgül ağırlıkları 103
Çizelge 6.9	Toplam tabliye ağırlığı 103
Çizelge 6.10	Toplam kazık ağırlığı 103
Çizelge 6.11	Ek hareketli yükler (E_p) [21] 104

Çizelge 6.12	Gemi yanaşma enerjisi (E_f)	105
Çizelge 6.13	Gemiye etkiyen rüzgâr yükleri.....	107
Çizelge 6.14	İskele dolaylı olarak etkiyen rüzgâr yükleri	107
Çizelge 6.15	Gemiye etkiyen enine akıntı kuvveti, F_{TC}	107
Çizelge 6.16	Tasarım dalgasına ait veriler	108
Çizelge 6.17	K_i ve K_D boyutsuz parametreleri	109
Çizelge 6.18	F_i ve F_D değerleri	109
Çizelge 6.19	Dalga yükleri S_w	110
Çizelge 6.20	B zemin sınıfı için spektral ivme değerleri.....	111
Çizelge 6.21	Yapı için geçerli spektral ivme değerleri.....	111
Çizelge 6.22	Yapıya ait doğal titreşim periyodu	111
Çizelge 6.23	Deprem tasarım spektrumları	113
Çizelge 6.24	Eş değer deprem yükü ($V_{x,1}$ $V_{y,1}$)	114
Çizelge 6.25	Burulma momenti (M_b)	114
Çizelge 6.26	Yapıya tesir eden düşey ve yatay yükler	115
Çizelge 6.27	Yapıya tesir ettirilecek yük kombinasyonları	116
Çizelge 6.28	Enine yönde oluşan kesit tesirleri ve yer değiştirmeleri	116
Çizelge 6.29	Boyuna yönde oluşan kesit tesirleri ve yer değiştirmeleri	117
Çizelge 6.30	Kazık gerilme hesabı	120
Çizelge 6.31	Hasar yüzdesi.....	121
Çizelge 6.32	X-X doğrultusunda M_1 ve F_1 hesaplanması	125
Çizelge 6.33	X-X doğrultusu itme analizi sonuçları - modal kapasite değerleri.....	125
Çizelge 6.34	Y-Y doğrultusunda M_1 ve F_1 hesaplanması.....	126
Çizelge 6.35	Y-Y doğrultusu itme analizi sonuçları - modal kapasite değerleri.....	126
Çizelge 7.1	Tasarım gemisi özellikleri	132
Çizelge 7.2	Tasarıma esas en küçük iskele boyutları	133
Çizelge 7.3	Kazık karakteristik özellikleri	135
Çizelge 7.4	İskelede bir anoya ait yapısal bilgiler	137
Çizelge 7.5	Orta Sıkı/Sıkı Kum tabakası için Yatay Yatak Katsayısı	142
Çizelge 7.6	Basınç ve çekme yük taşıma kapasiteleri	144
Çizelge 7.7	Emniyetli yük taşıma kapasitesi	145
Çizelge 7.8	Üst yapı özgül ağırlıkları	146
Çizelge 7.9	Toplam tabliye ağırlığı	146
Çizelge 7.10	Toplam kazık ağırlığı	146
Çizelge 7.11	Ek hareketli yükler (E_p) [21]	147
Çizelge 7.12	Gemi yanaşma enerjisi (E_f)	148
Çizelge 7.13	Gemiye etkiyen rüzgâr yükleri.....	150
Çizelge 7.14	İskeleye dolaylı olarak etkiyen rüzgâr yükleri	150
Çizelge 7.15	Gemiye etkiyen enine akıntı kuvveti, F_{TC}	150
Çizelge 7.16	Tasarım dalgasına ait veriler	151
Çizelge 7.17	K_i ve K_D boyutsuz parametreleri	152
Çizelge 7.18	F_i ve F_D değerleri	152
Çizelge 7.19	Dalga yükleri S_w	153
Çizelge 7.20	B zemin sınıfı için spektral ivme değerleri.....	154
Çizelge 7.21	Yapı için geçerli spektral ivme değerleri.....	154
Çizelge 7.22	Yapıya ait doğal titreşim periyodu	155

Çizelge 7.23	Deprem tasarım spektrumları	155
Çizelge 7.24	Eş değer deprem yükü ($V_{x,1}; V_{y,1}$).....	157
Çizelge 7.25	Burulma momenti (M_b)	157
Çizelge 7.26	Yapıya tesir eden düşey ve yatay yükler	158
Çizelge 7.27	Yapıya tesir ettirilecek yük kombinasyonları	158
Çizelge 7.28	Enine yönde oluşan kesit tesirleri ve yer değiştirmeleri	159
Çizelge 7.29	Boyuna yönde oluşan kesit tesirleri ve yer değiştirmeleri	159
Çizelge 7.30	Kazık gerilme hesabı	162
Çizelge 7.31	Hasar yüzdesi.....	163
Çizelge 7.32	X-X doğrultusunda M_1 ve Γ_1 değerleri	167
Çizelge 7.33	X-X doğrultusu itme analizi sonuçları - modal kapasite değerleri.....	167
Çizelge 7.34	Y-Y doğrultusunda M_1 ve Γ_1 değerleri	168
Çizelge 7.35	Y-Y doğrultusu itme analizi sonuçları - modal kapasite değerleri.....	168

**KAZIK DESTEKLİ YANAŞMA YAPILARININ SİSMİK YÜKLER ALTINDA
TASARIMI**

Mustafa KÖROĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

Eş Danışman: Doç. Dr. Bilge DORAN

Limanlar, dünya ticaretinde büyük öneme sahip durak noktalarıdır. Sadece ülke ekonomileri için değil aynı zamanda küresel ölçekte ticari faaliyetlerin yapıldığı karşılıklı etkileşim alanlarıdır. Bu derece büyük bir öneme sahip olan liman alanları, doğru tasarlanmalı ve etkili şekilde kullanılabilecek özelliklere sahip olmalıdır.

Bu noktalar göz önünde bulundurularak kıyı ve liman yapılarının tasarım ve analiz aşamaları için esas oluşturan DLH (2008) Deprem Teknik Yönetmeliği yürürlüğe girmiştir. Yönetmelik, deprem etkileri altında temel ilke olarak performansa dayalı tasarımı esas almaktadır.

DLH (2008)'de tasarım ve değerlendirme için dayanıma göre tasarım ile şekil değiştirmeye göre tasarım olmak üzere iki yöntem önerilmektedir. Ayrıca yönetmelik çerçevesinde Normal sınıfa giren kıyı ve liman yapılarının D1 deprem seviyesi altında Minimum Hasar, D2 Deprem seviyesi altında Kontrollü Hasar ve D3 deprem seviyesi altında ise İleri Hasar limitleri altında kalması istenmektedir. Şekil değiştirmeye göre tasarım ve değerlendirme, rıhtım ve iskeleyi oluşturan yapısal elemanlarla, yani kazıklarla, zeminin doğrusal olmayan etkileşiminin tanımlanmasını gerektirmektedir.

Bu çalışmada, düşey ve eğik kazıklı bir iskele yapısının dayanıma göre tasarım ilkeleri ve yöntemleri anlatılmış, DLH 2008 esasları kapsamında örnek çalışmalar üzerinde hem

dayanıma göre tasarım hem de şekil değiştirmeye göre tasarım yöntemleri kullanılarak performans analizi yapılmış ve deprem performansları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kazık destekli yanaşma yapıları, iskeleler, rıhtımlar, dayanıma göre tasarım, şekil değiştirmeye göre tasarım, itme analizi

ABSTRACT

PILE SUPPORTED MARINE STRUCTURE DESIGN UNDER SEISMIC LOADS

Mustafa KÖROĞLU

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

Co-Advisor: Assoc. Prof. Dr. Bilge DORAN

Port facilities are the main transportation bases for world trade and also an area of interaction from the local commercial activities to the global trade activities. For this reason, marine facilities should be designed properly and should be equipped with effective use in.

Seismic performance evaluation of pile-wharf structures based on performance-based evaluation criteria is set forth by the Turkish Code for Shore Structures (TCSS, 2008). TCSS (2008) recommends two methods for design and evaluation of pile-wharf structures which are called Strength-based Design and Deformation-based Design.

According to TCSS (2008), a Normal Class pile-wharf structure is expected to withstand D1 level of earthquake ground motion with minor or no damage (Serviceable Damage Level), D2 level of earthquake ground motion with short-term loss of serviceability (Controlled Damage Level) and D3 level of earthquake ground motion with long-term or complete loss of serviceability (Extensive Damage in Near Collapse). The nonlinear interaction between soil and pile should somehow be considered in the pushover analysis.

In this study, it is mentioned about force-based design methods of the vertical/batter pile-wharf structures. Performance-based design methods and force-based design

methods were used separately for case studies and accomplished according to TCSS (2008) and results have been discussed.

Key words: Pile supported marine structures, jetties, wharfs, force-based design methods, performance-based design methods.

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Kıyı ve liman yapılarının tasarımı 20. yüzyılın sonlarına kadar Dayanıma Göre (DGT) yapılmaktaydı ancak 1990'lı yıllarda dünyada özellikle kıyı kentlerinde yaşanan depremlerden edinilen tecrübeler neticesinde oluşturulan PIANC (Belkama, 2001) [1] ile özellikle deprem etkilerine maruz kalan kıyı yapılarının performanslarına yönelik geniş çaplı çalışmalar yer almıştır. Bu çalışmalar büyük deprem etkileri altında performans sergileyen kazık destekli kıyı yapıları ile ilgili hasar tipleri ve yapılması gereken analiz yöntemleri hakkında açıklamalar getirilmiştir.

Türkiye'de ise yapılan çalışmalar sonucu 2007 yılında yayınlanan ve kapsamı genişletildikten sonra 2008 yılında yürürlüğe giren Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği (2008) [2] ışığında, Performansa Dayalı Tasarım'ın temelini oluşturan Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım'ın kıyı yapılarının tasarımında ve analizinde uygulanması hedeflenmiştir. Deprem etkilerine maruz kalan kazık destekli kıyı yapılarının bu etkiler neticesinde hasar düzeyleri ve özellikle performans değerleri ile ilgili detaylı analiz yöntemleri yer almaktadır.

Bu kapsamda Yüksel vd. (2003) [3] tarafından 1999 Kocaeli Depremi sonrasında, Marmara Denizi'nde hasara uğrayan kıyı yapıları ile geniş çaplı bir araştırma yapılmış ve hasar tipleri ile ilgili detaylı incelemelerde bulunulmuştur.

Ergin ve Yüksel (2006) [4] sismik yükler ve tsunami etkileri altında performansa dayalı tasarım yaklaşımını ele alarak zemin hareketi, yapı davranışları ve deprem seviyeleri hakkında bilgiler vermişlerdir.

1989 Loma Prieta depreminde San Francisco koyunda hasar sonrası güçlendirilen düşey ve eğik kazıklı rıhtımlarda doğrusal olmayan performans analizleri Singh vd. (2003) [5] tarafından yapılmış ve kesme kapasitesini aşan kazıklar ve hasar bölgeleri belirlenmiştir.

Takahashi ve Takemura (2005) [6], 1995 Kobe depreminde hasar gören bir kazıklı iskelede sıvılaşmanın etkisini incelemişler ve daha kalın sıvılaşabilir bir kum tabakasının ince bir kum tabakasına göre zeminde ve yapıda daha büyük deformasyonlara yol açmayabileceğini göstermişlerdir.

Vahdani vd. (2011) [7], Kaliforniya’da bulunan mevcut bir liman yapısının doğrusal olmayan itme analizi yardımıyla farklı seviyelerde tanımlı deprem etkileri altında yapısal performansını belirlemeye çalışmışlardır. Analiz sonucunda düşük olasılıklı depremlerde (dönüş periyodu 2500 yıl) yapıda göçme meydana gelmeyeceği sonucuna varmışlardır.

Siyahi vd. (2011) [8], örnek bir kazıklı iskele yapısı üzerinde DLH 2008 esaslarına göre şekil değiştirmeye göre tasarım prensiplerini uygulayarak farklı deprem seviyeleri için performans değerlendirmesi yapmışlardır. Analizler neticesinde, dayanıma göre tasarımı yapılan kazıklı iskele yapısının deprem performansının yeterli olduğunu göstermişlerdir.

Doran vd. (2011) [9], Doran vd. (2012) [10], eğik ve düşey kazıklardan oluşan iskele yapılarında itme analizi gerçekleştirmişlerdir. Analiz sonucunda, önemli oranda yatay yer değiştirme yapan düşey kazıklı iskele yapısında hasarın daha düşük seviyede kaldığını elde etmişlerdir.

Siyahi vd. (2012) [11], Marmara Denizi’nde bulunan kazıklı iskele yapısının performans değerlendirmesini DLH (2008)’de tanımlanan iki farklı deprem düzeyi için gerçekleştirmişlerdir. Sonuçta, deformasyona bağlı tasarım ve performansa dayalı değerlendirmenin kazıklı iskele yapıları için kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir.

1.2 Tezin Amacı

Karaların ve denizlerin birleşim noktasında inşa edilmekte olan kıyı yapılarının, deniz şartlarına ilave olarak maruz kaldıkları deprem kuvvetleri altında doğru şekilde projelendirilmesi gerekmektedir. Performansa Dayalı Tasarım ilkeleri doğrultusunda tasarımı yapılması gereken kazık destekli kıyı yapılarının, yapısal olarak çözümlendirilmesi gereken bazı detayların üzerinde hassasiyetle durulması planlanmaktadır. Bu çalışmada, Düşey Kazıklı İskele Sistemi ve Eğik Kazıklı İskele Sistemi olmak üzere iki örnek çalışma üzerinden iskele tasarımı hakkında bilgiler verilip, deprem yükleri altında her iki sistemin davranışları analiz edilecektir. Bu analizler için, örnek çalışmalar üzerinde Dayanıma Göre Tasarım (DGT) ve Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım (ŞGT) ilkeleri uygulanacak ve yapılara ait performans hedefleri ile sismik davranışları karşılaştırılacaktır.

1.3 Hipotez

DLH (2008) kapsamında, tasarım yöntemi olarak hem DGT, hem de ŞGT yöntemlerinin uygulanması konusunda tercih yapma hakkının verildiği¹ D2 Deprem Düzeyi altındaki Özel ve Normal sınıfa giren yapılar için, bu iki yönteme ait sonuçlar karşılaştırılacak ve değerlendirilecektir.

¹ Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği (2008), Madde 2.1.5.2.2

KAZIK DESTEKLİ YANAŞMA YAPILARI

Kıyı ve liman yapıları, I. Dünya Savaşından sonra gelişmeye başlamış, ilerleyen yıllarda dünya ticaretinde giderek daha da önemli hale gelmiştir. 1956 yılında New York ile Hudson arasında yapılan ilk konteyner taşımacılığı bu potansiyelin daha da hızla artmasına sebep olmuştur [12]. Deniz yolları ticari taşımacılığın ana hattını oluşturması sebebiyle, artan ticari hacme paralel olarak, yeni kıyı yapılarının inşa edilmesi ihtiyaç haline gelmiştir. Bu durumun farkında olan ülkeler, ticari paylarını artırabilmek için liman işletmelerine ve yapılarına yatırımlar yapmaya başlamışlardır.

Bu aşamada ortaya çıkan en önemli sorun kıyı alanlarının sınırlı olması sebebiyle liman yanaşma yapılarının ve elleçleme alanlarının doğru konumlandırılması ve inşa edilmesidir.

İnşa edilecek kıyı yapıları, yapısal olarak deniz ile etkileşimleri ve stabiliteleri açısından kapalı yüzlü ve açık yüzlü yanaşma yapıları olarak sınıflandırılabilirler.

Bu çalışma kapsamında, bir açık yüzlü yanaşma yapı tipi olan kazık destekli yanaşma yapılarını incelenmiştir.

2.1 Kazıklı Yanaşma Yapılarının Tipleri

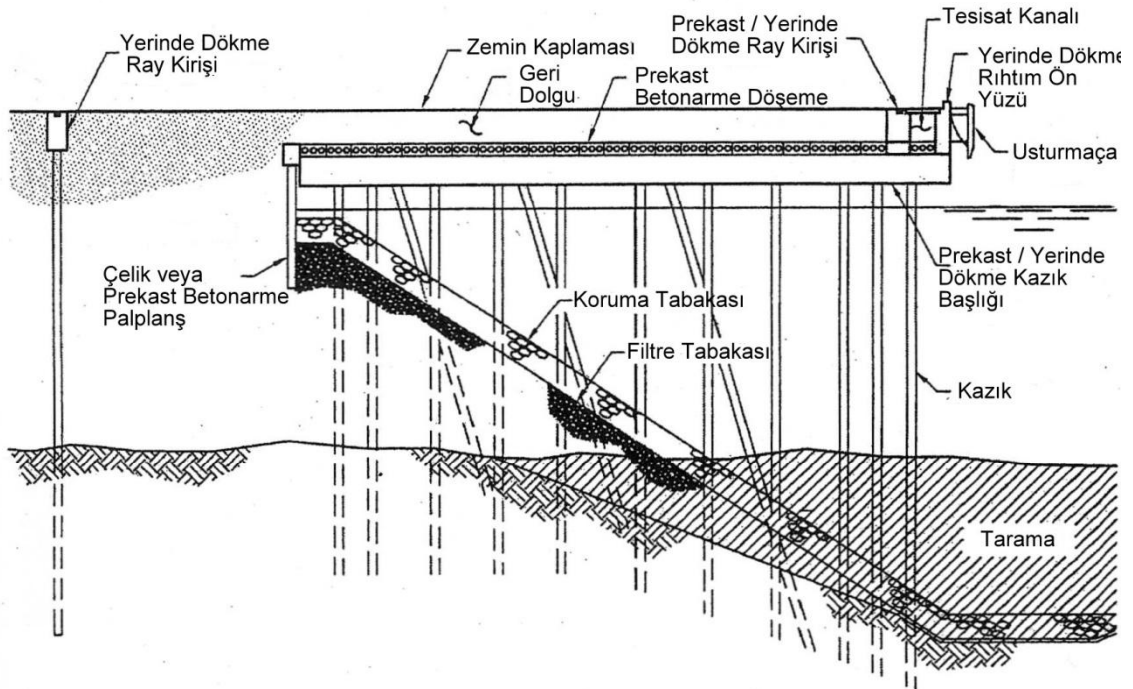
Kazıklı yanaşma yapıları, başta kıyı çizgisine göre konumları bakımından iskeleler ve rıhtımlar olarak ikiye ayrılmaktadırlar.

2.1.1 Rıhtımlar

Rıhtımlar kıyı çizgisine paralel inşa edilen kıyı yanaşma yapılarıdır. Tek yüzü ile yanaşma hizmeti sağlayan rıhtımların diğer yüzleri ise kara ile bağlantılıdır. Rıhtım arkası toprak dolgu ile doldurulduktan sonra açığa çıkan toprak basıncını dengelemek için istinat duvarı veya palplanş duvar ile birlikte inşa edilirler. Platform seviyelerine göre iki başlık altında incelenmektedirler.

2.1.1.1 Düşük Seviyeli Platformlar

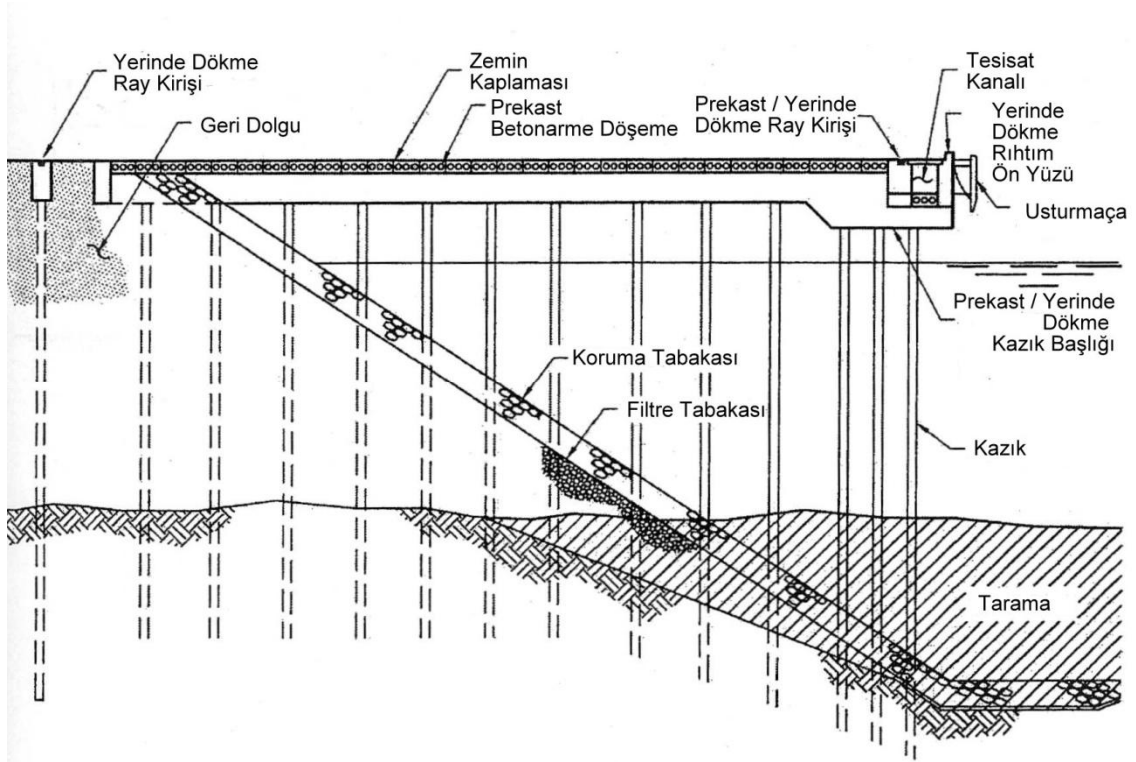
Bu tip rıhtım platformlarında, rıhtım-kara bağlantısında toprak basıncını dengelemek için istinat yapısı veya palplanş bulunur. Rıhtım platformu bu noktadan başlayarak yanaşma yüzüne kadar uzatılarak rıhtım üstü toprak dolgu ile doldurulur. Platform, Şekil 2.1’de görüldüğü gibi toprak dolgunun altında kaldığı için düşük seviyeli platform olarak isimlendirilir. Rıhtım ağırlığı ile birlikte toprak dolgu ağırlığı da yapının ölü ağırlığını oluşturur. Yapının yatay stabilitesini sağlayabilmek için eğik kazıklar kullanılmaktadır [13].



Şekil 2.1 Düşük seviyeli platformlar [14]

2.1.1.2 Yüksek Seviyeli Platformlar

Bu tip rıhtım platformlarında, platform rıhtım yanaşma yüzeyinden geri dolgu alanına kadar uzatılmaktadır. Platform üstüne toprak dolgu yapılmadığı için yüksek seviyeli platform olarak isimlendirilir. Platform doğal şev eğiminin başlangıç noktasına kadar uzatıldığı için dengelenmesi gereken bir zemin basıncı meydana gelmez ve bu sebeple Şekil 2.2’de görüldüğü gibi herhangi bir istinat yapısı veya palplanş uygulaması yapılmaz. Böylece büyük orandaki zemin basıncı engellenmiş olur ve eğik kazık kullanılmasına gerek kalmadan yapının yatay stabilitesi sağlanır. Sadece düşey kazıklar kullanılarak imal edilmeye imkân sağlayan yüksek seviyeli platformlara sahip yanaşma yapıları, aktif sismik hareketliliğe sahip ve deprem riski yüksek olan bölgelerde tercih edilirler. Bu tercihte en büyük etken daha hafif¹ ve daha esnek² (narin) olmalarıdır [13].



Şekil 2.2 Yüksek seviyeli platformlar [14]

¹ Düşük seviyeli platform tipine göre. Çünkü platform üstünde toprak dolgu bulunmadığı için ölü yük değerleri daha düşüktür.

² Eğik kazıklı sistemlere göre. Çünkü eğik kazıklar rijit çerçeveler oluşturdukları için esnekliklerini kaybederler.

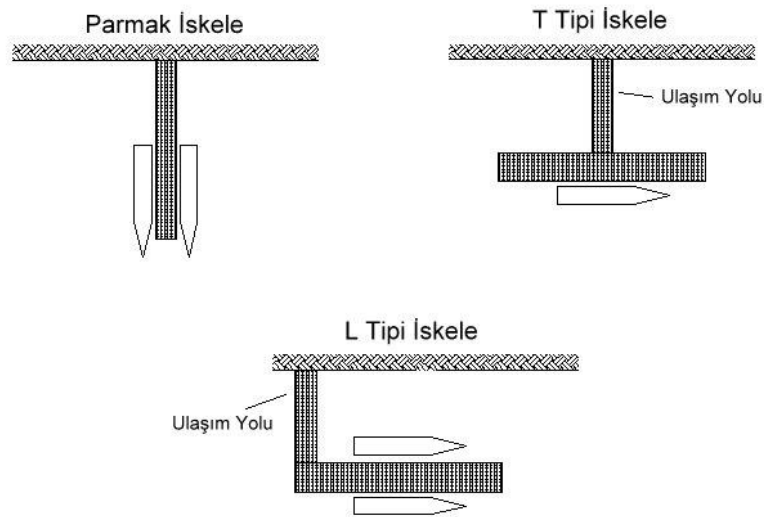
2.1.2 İskeleler

İskeleler kazıklar ile bunların üzerine oturtulan plaklardan (döşeme) oluşan kıyıya dik yapılardır [12]. Kıyı çizgisine dik veya açılı şekilde inşa edilen iskelelerin birden fazla yanaşma yüzeyleri bulunabilir. Yanaşma yüzeylerinin şekillerine göre 3 tipte incelenirler. Bunlar Şekil 2.3'teki, T tipi, L tipi ve Parmak tip iskelelerdir.

Parmak iskeleler kıyı çizgisine dik olarak yönlendirilmiş ve her iki yüzeyine de yanaşma imkânı bulunan iskele tipleridir. Bu iskele tipleri, su derinliğinin yeterli olduğu durumlarda görülmektedir.

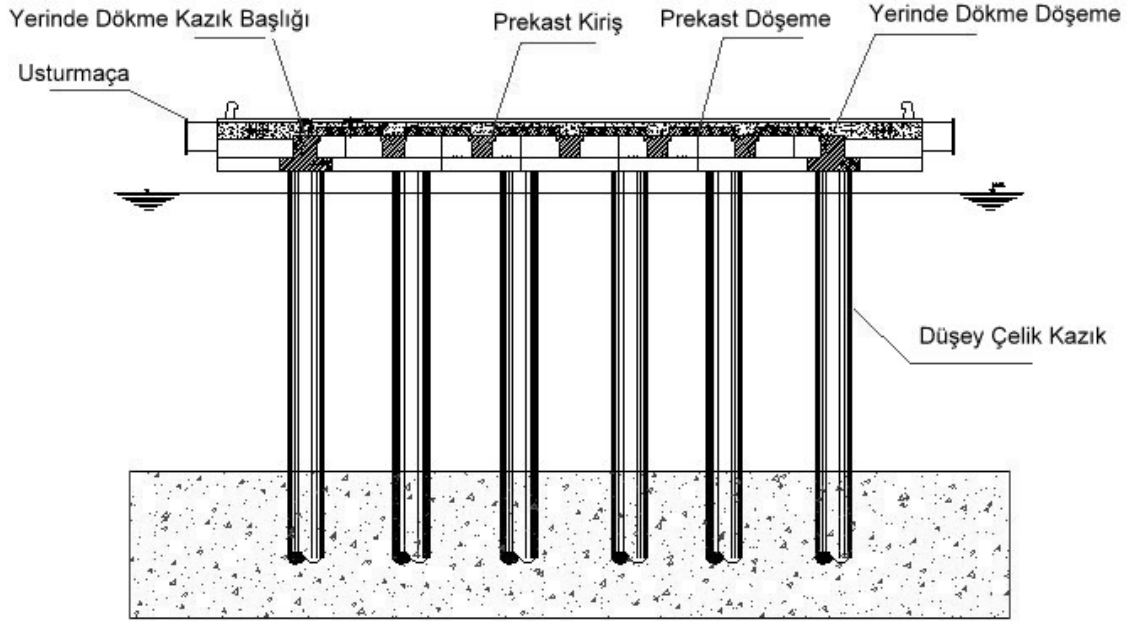
T tipi iskeleler tek taraflı yanaşma yüzeyine sahip ve kıyıya paralel konumlandırılmış iskele kafası ve bu iskele kafasını kıyıya bağlayan bir yaklaşım köprüsünden oluşmaktadır. Bu yaklaşım köprüsü, iskele kafasının orta noktasına bağlanmaktadır. Genellikle yeterli su derinliğinin sağlanamadığı durumlarda, iskele kafası kıyı çizgisinden uzakta konumlandırılarak yanaşma gemilerinin güvenle yanaşmasına olanak tanımaktadır.

L tipi iskeleler ise, T tipi iskeleler ile aynı özellikleri barındırmaktadır. Aralarındaki fark yaklaşım köprüsü ile iskele kafasının bağlanma şeklinde ortaya çıkmaktadır. L tipi bir iskelede köprü platformun bir kenarındadır, buna karşılık T tipi bir iskelede köprü platforma ortalanmıştır. L tipi bir iskelenin bir avantajı ise, römorklar için platformun iç tarafında bağlanma alanı sağlamasıdır [12].

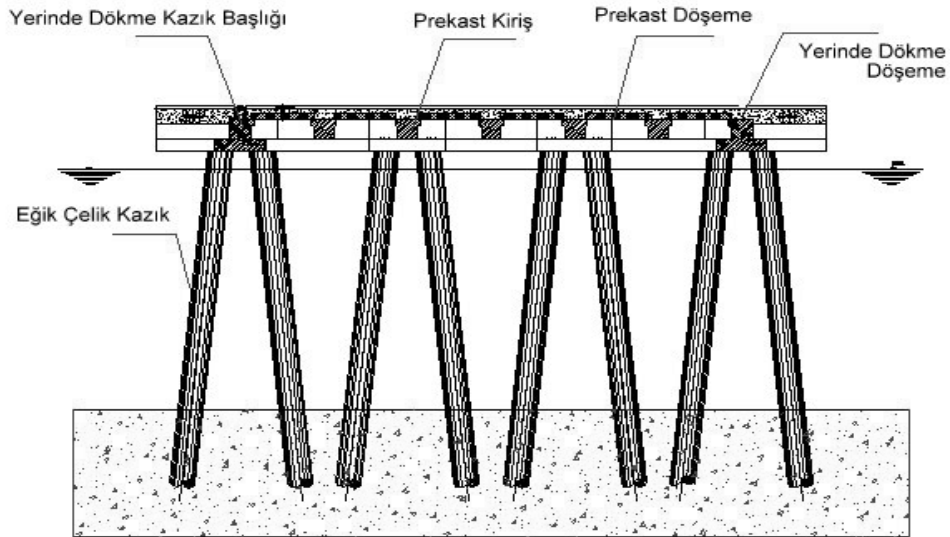


Şekil 2.3 İskele tipleri

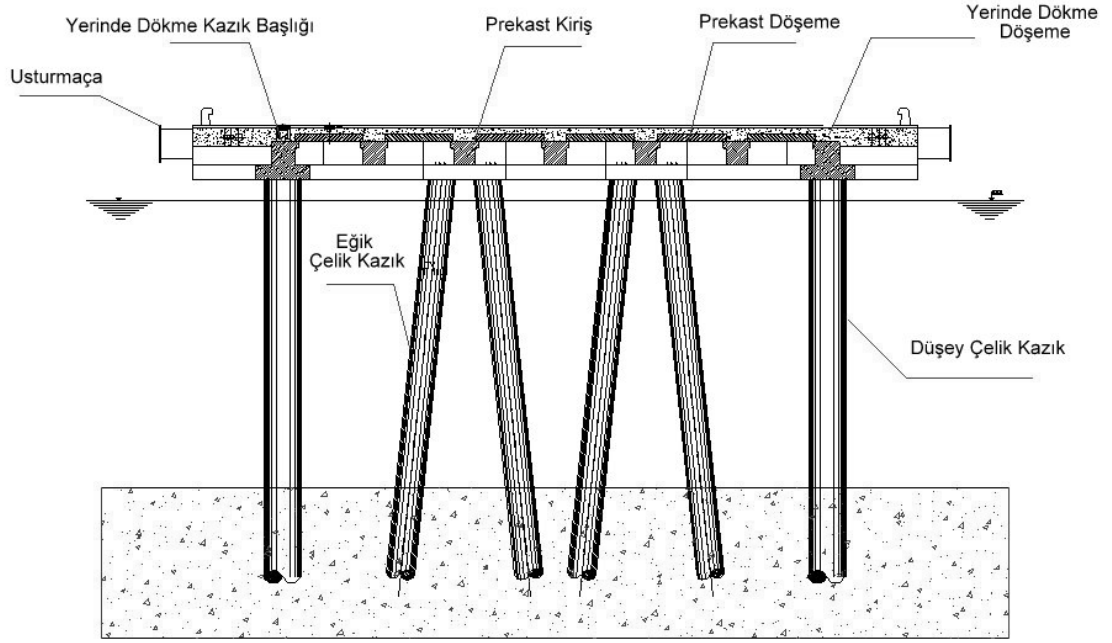
iskeleler kapalı yüzlü olarak tasarlansalar bile genellikle açık yüzlü iskeleler daha fazla tercih edilir. Kapalı ya da açık tip olarak inşa edilmeleri zemin koşullarına, su derinliğine, akıntıya, dalga iklimine ve katı madde hareketine bağlıdır [12]. Açık yüzlü iskeleler; tamamı düşey kazıklı (Şekil 2.4), tamamı eğik kazıklı (Şekil 2.5), düşey ve eğik kazık kombinasyonu (Şekil 2.6) ile inşa edilirler [13].



Şekil 2.4 Düşey kazıklı iskele



Şekil 2.5 Eğik kazıklı iskele



şekil 2.6 Düsey ve eğik kazık kombinasyonlu iskele

KAZIKLI YANAŞMA YAPILARININ YAPISAL BİLEŞENLERİ

3.1 Giriş

Kazıklı yanaşma yapılarını, maruz kalacağı etkileri daha iyi tanımlamak ve performans değerlendirmesini daha sağlıklı yapabilmek için yapısal açıdan incelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla bir iskele ve rıhtımı oluşturan yapısal elemanları genel olarak Üst Yapı ve Alt Yapı olmak üzere ikiye ayrılabilir.

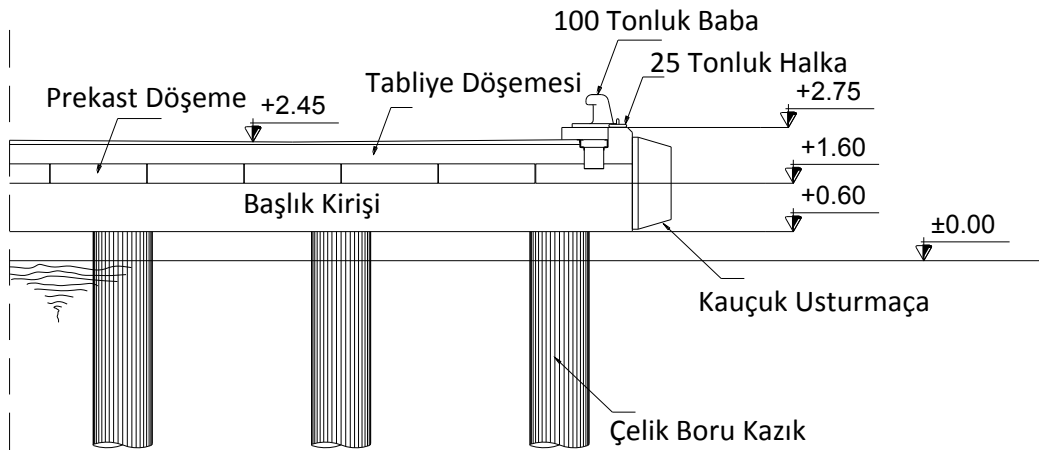
3.2 Üst Yapı

Betonarme sistemden teşkil edilecek üst yapı elemanları, elleçleme ve işletme yüklerinin ilk etkiye noktası olması ve bu gelen yükleri kazık başlık kirişleri vasıtasıyla alt yapı (kazık) elemanlarına en uygun şekilde aktarması gerektiğinden, tasarımının özenle yapılması gerekmektedir. Kullanım amacına uygun olarak, döşeme üzerindeki düşey ve hareketli yükleri güvenle taşıyacak dayanım özelliğine sahip olmalıdır. Bu kapsamda betonarme döşeme şu elemanları bünyesinde bulundurmalıdır (Şekil 3.1):

- *Kazık Başlık Kirişleri:* Tekil olarak çakılmış olan kazıkları, kazık grubu formuna getiren ve birlikte çalışmasını sağlayan kirişlerdir. Üst yapı ile alt yapı arasındaki bağlantıyı yapma görevini de üstlenirler.
- *Enleme ve Boylama Kirişleri:* Bir ızgara formuna sahip olan ve birbirine dik açı oluşturarak başlık kirişi ile döşeme arasında yük aktarım görevi üstlenirler. Ancak bazı durumlarda enleme ve boylama kirişlerine ihtiyaç duyulmamaktadır.

Bu durumlarda kazık başlık kirişleri ile onları birbirine bağlayan prekast kirişler kullanılmaktadır.

- *Usturmaça Kirişleri:* İskelenin iki kenar bölgesinde ve boylama kirişleri ile aynı doğrultuda bulunan usturmaça kirişleri, gemi sebebiyle oluşacak yanal yükleri iskelenin tamamına yayarak bütünlük sağlanmasına yardımcı olurlar. Usturmaça yerleşim düzeni, sadece başlık kirişlerine bağlantı yapılmasına izin veriyorsa, enleme kirişlerinin kullanılmasından vazgeçilebilir.
- *Döşeme:* Enleme ve Boylama Kirişlerinin üzerinde, servis yüklerini karşılayarak güvenli bir şekilde altındaki elemanlara aktarma görevini üstlenir. Prestast elemanlar şeklinde üretilip, başlık kirişlerine oturtulur ve üst kısmına gelen yerinde dökme betonarme ile rijit hale gelmesi sağlanır.



Şekil 3.1 Kazıklı iskele alt ve üst yapı elemanları

3.3 Alt Yapı (Kazıklar)

Kazıklar, esas olarak, üst yapı yüklerini zeminin derin tabakalarına taşıtmak amacı ile kullanılan bir derin temel çeşididir [12]. Kıyı yapılarında ise kazıklar, deniz tabanında ve sağlam olmayan zemin şartlarında yapıyı, göçme ve aşırı oturmalar meydana gelmeden taşıyabilecek daha sağlam tabakalara ulaşmak için kullanılmaktadır. Özellikle kazıklı yanaşma yapılarında, yapıların deprem kuvvetleri ve deniz etkilerine karşı stabilitesinin sağlanması konusunda kazıklar çok daha büyük önem arz etmektedir. Sadece düşey yükleri taşımakla kalmayıp aynı zamanda yatay yükleri de güvenli bir

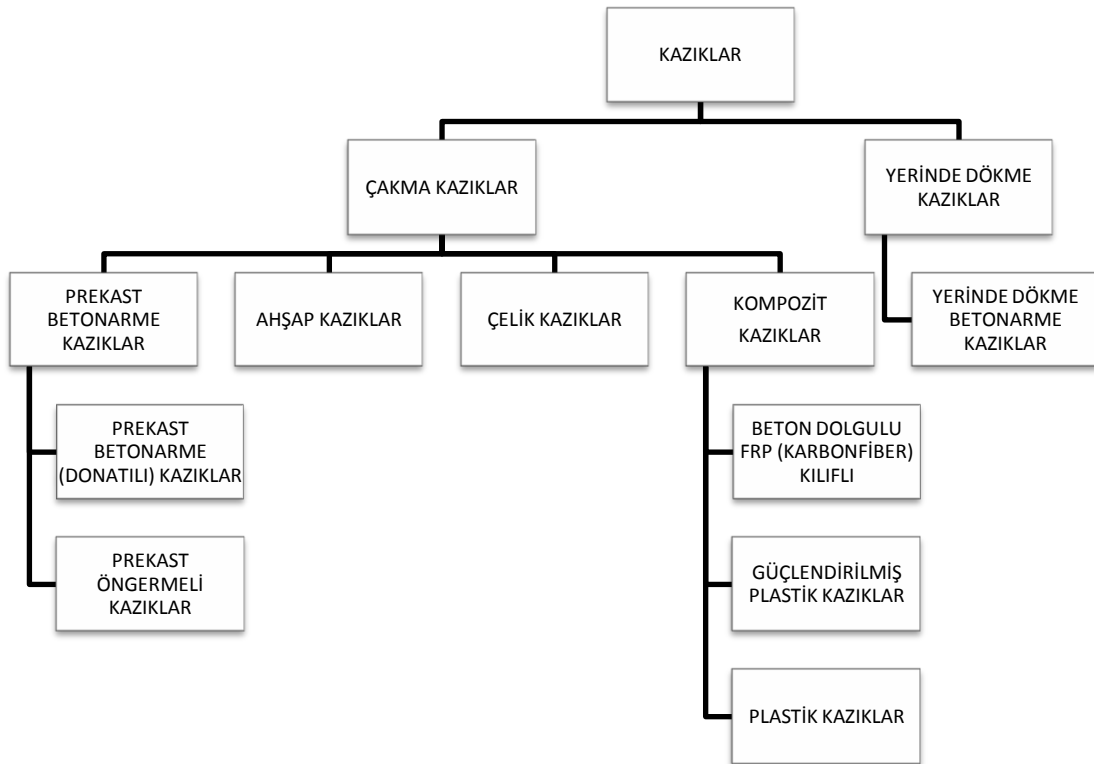
şekilde karşılaması gerekmektedir. Bu kapsamda limanlarda elleçleme esnasında açığa çıkan hareketli veya ölü düşey yükler ile gemi yaslanması ve baba çekmesi şeklinde etkiyen yatay yükler kazıkların karşılaması gereken yüklemelerdir. Bu elverişsiz şartlar altında kazıklardan beklenen ise, izin verilen yer değiştirme sınırları içinde kalarak yapının ömrü boyunca her hangi bir hasar veya göçme riski oluşturmamasıdır.

3.4 Kazık Çeşitleri

Kazıklar genel olarak iki başlık altında sınıflandırılmaktadır;

- Çakma kazıklar
- Yerinde dökme kazıklar

Prekast betonarme kazıklar, çelik kazıklar, ahşap kazıklar ve kompozit kazıklar çakma kazık sınıfına girmektedir. Yerinde dökme kazıklar ise sadece yerinde dökme betonarme kazıklardan (Şekil 3.2) oluşmaktadır [13].



Şekil 3.2 Kazık çeşitleri [13]

3.4.1 Çakma Kazıklar

Deniz yapıları uygulamalarında sıklıkla kullanılan kazık türüdür. Önceden imal edilerek uygulama sahasına getirildikleri için zamandan büyük ölçüde tasarruf yapılmasını sağlarlar. İmal edildikleri malzeme tiplerine göre prekast betonarme, çelik, ahşap ve kompozit olmak üzere sınıflandırılırlar [15].

3.4.1.1 Prekast Betonarme Kazıklar

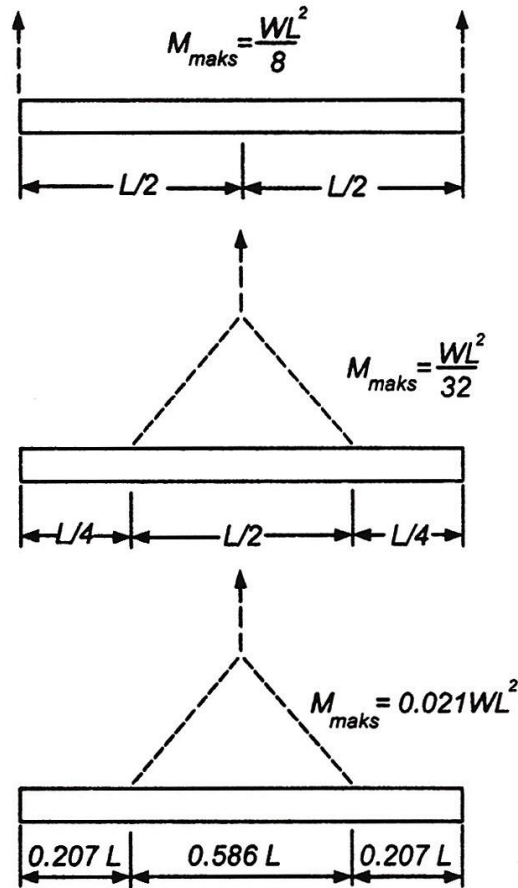
Prekast betonarme çakma kazıklar proje kapsamında belirtilen özelliklerde ve niteliklerde şantiye dışında üretilip daha sonra uygulama sahasına nakledilirler. İstenilen özellik ve nitelikteki bu betonarme kazıklar, uygun şartlar oluşturulduğunda nakliye masraflarını azaltmak açısından şantiye sahasında da üretilmektedir. Oldukça büyük yükleri yumuşak ve gevşek zemin tabakaları altındaki sağlam tabakaya taşıma konusunda son derece kullanışlıdır. Genellikle kare, daire veya sekizgen kesitli olarak üretilirler. Kazıkların ağırlıklarından tasarruf sağlanabilmesi için gerekli görüldüğü takdirde boşluklu olarak da imal edilirler. Çakma işlemi gerçekleştirildikten sonra boşluk kesitleri beton ile doldurularak mukavemet değerleri artırılabilir.

Prekast betonarme çakma kazıkların kesitlerinin ve konulacak minimum donatı miktarının hesaplanmasında, kazığın taşınması esnasında maruz kalacağı gerilmeler etkin rol oynamaktadır. Kazığın kaldırılması ve taşınması belirli kurallar çerçevesinde yapılmalı ve hesap edilen gerilme değerleri aşılmamalıdır. Bu noktada kazığın nasıl taşındığı büyük önem arz etmektedir. Şekil 3.3'te gösterildiği gibi kazık boyunca oluşacak eğilme momenti değerlerinin minimum seviyede kalacak şekilde bir taşıma tipi seçilmelidir.

Çeşitli ülkelerin standartlarında taşıma ve çakma işlemleri esnasında betonun sahip olması gereken beton basınç mukavemet değerleri şöyle belirtilmiştir [15]:

- DIN4026'ya göre;
 - Kaldırma esnasında; 22 N/mm^2
 - Çakma sırasında ise en az; 34 N/mm^2

- TS3169'a göre;
 - Kalıptan çıkarılma sırasında; 22.5 N/mm²
 - Çakma sırasında ise; 35 N/mm²
- BS8004'e göre;
 - Zor koşullarda çakma halinde; 40 N/mm²
 - Normal koşullarda ise; 25 N/mm²



Şekil 3.3 Betonarme çakma kazıkların kaldırılma şekline göre maruz kaldıkları momentler [15]

Ayrıca çakma anında kazık uç bölgesinin zarar görmemesi için dökme demirden bir kazık çarık yapılmalıdır. Çarık uygulamasına ihtiyaç duyulan zeminler kohezyonsuz ve dayanımı yüksek olan zeminlerdir.

Prekast betonarme çakma kazıklar, minimum donatılı üretildikleri gibi, çakma anında oluşacak gerilmeleri karşılayabilmeleri açısından önerilmeli olarak da üretilebilmektedir. Bu tip kazıklarda, minimum donatı miktarının yanı sıra proje kapsamında karşılaması gereken gerilmeler göz önüne alınarak imalat esnasında ön germe işlemine tabi tutulurlar. Minimum donatılı prekast betonarme çakma kazıklar gereken gerilme değerlerini sağlayamadıkları ve istenilen dayanımı karşılayamadıkları için kıyı yapıları uygulamalarında tercih edilmezler. Bu tip uygulamalarda önermeli prekast betonarme çakma kazıklar daha sıklıkla tercih edilir.

Öngermeli prekast betonarme çakma kazıklar yüksek dayanımlı beton (28 günlük küp dayanımı minimum 40 MPa) kullanılarak ve daha dikkatli bir kontrol aşamasından geçerek imal edilirler.

Prekast öngermeli betonarme çakma kazıklar diğer kazık tipleri ile karşılaştırıldığında şu avantajları ile ön plana çıkmaktadırlar [13]:

- Minimum donatılı prekast betonarme çakma kazıklara göre, çakma anında açığa çıkan çekme gerilmelerine karşı çok daha dayanıklıdır ve taşıma esnasında çok daha az hasar görürler. Çakma anında açığa çıkan eğilme gerilmelerine karşı da çok daha mukavimdirler.
- Minimum donatılı prekast betonarme çakma kazıklara göre permeabilitesi daha düşüktür. Su emme kapasitesinin az olmasının getirdiği bu avantaj sayesinde deniz şartlarında daha fazla tercih edilmektedir.
- Çelik kazıklar ile mukayese edildiğinde özellikle zorlu deniz şartlarında daha az bakım ve onarım ihtiyacı duymaktadır. Korozyon etkilerinin yoğun olduğu bu bölgelerde çelik kazıklar özel bakım yöntemlerine ihtiyaç duymaktadır.
- Aynı özelliklere sahip kompozit ve çelik kazıklara göre daha az maliyetlidir.

Dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- Çelik çakma kazıklar ile kıyaslandıklarında ağırlıkları daha fazladır. Ayrıca ihtiyaç duyulduğunda kazık boyunun uzatılması veya kısaltılması çok daha zordur.
- Çakma anında oluşan yüksek kuvvetler altında öngerilme değerlerinin artmasına bağlı olarak eksenel basınç değerleri düşer. Böylece kazık, çakma

anındaki çarpma etkilerine karşı çok daha narinleşir ve kırılğan bir yapıya sahip olur.

Çoğu ülkede yaygın bir kullanım alanına sahip olmasına rağmen ülkemizde kıyı yapılarında tasarım ve uygulama tecrübesi konusunda sınırlı olması sebebiyle çok fazla tercih edilmemektedir.

3.4.1.2 Ahşap Kazıklar

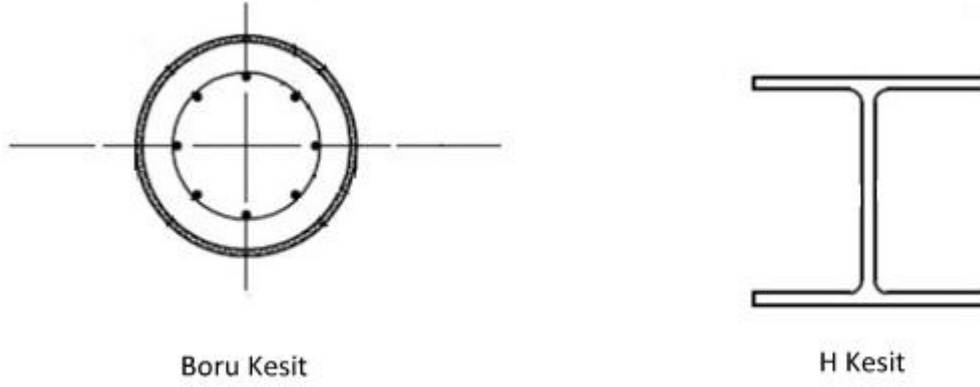
Ahşap kazıklar kullanım tarihi en eski olan kazık tipidir. Temin edilmesi ve uygulamasının kolay olması sebebiyle en basit kazık uygulamalarında ilk tercih edilen kazık tipi olmuştur. Sağladığı taşıma gücüne oranla hafif oluşu, taşıma kolaylığı ve boylarının kolayca ayarlanabilmesi ahşap kazıkların üstünlüklerindendir [15].

Ahşap kazıkların çakımı esnasında dikkat edilmesi gereken husus, özellikle kohezyonsuz zeminlerde (sıkı kum veya çakıl) kazık başında oluşan deformasyonun önlenmesidir. Ahşap kazıkların çakım sırasında aşırı zorlanma nedeni ile kırılma veya kısmen tahrip olmasının önlenmesi için kazık başı ve kazık ucu çelik çarık ile takviye edilir [15].

Ancak son dönemdeki proje uygulamalarında çok fazla tercih edilmemiş, yerine daha uzun süre kullanım ömrü olan çelik, betonarme ve kompozit kazıklar tercih edilmiştir.

3.4.1.3 Çelik Kazıklar

Çelik kazıklar farklı tip ve kesitlerde üretilebilirler. Çakma kazık uygulamalarında genellikle H ve Boru kesitler tercih edilir (Şekil 3.4). Boru kesitler, korozyon yüzeyini azalttığı ve hasar görmeye meyilli olan köşeli kısımlardan oluşmadığı için kıyı yapılarında daha fazla tercih edilirler. Kullanım mecburiyeti oluşmadığı sürece kıyı uygulamalarında H kesitli çelik kazıkların uygulamasından kaçınılmaktadır [13].



Şekil 3.4 Çelik kazık tipleri

Çelik çakma kazıklar zemin şartlarına göre kapalı uçlu veya açık uçlu olarak çakılırlar. Açık uçlu borular çakılırken boru içinde kalan zemin, sürtünme etkisi ile belirli bir seviyeye kadar yükselerek denge haline ulaşır. Zemin tapası olarak adlandırılan bu kısım, kazık başlangıcına kadar tamamen yükselmiş ise kapalı uçlu kazık ile aynı dayanım kapasitesine sahip olur. Ancak çakılmanın yapıldığı zemin orta yoğunlukta gevşek granüler özellikler taşıyorsa dayanım kapasitesi daha düşük olur. Çünkü kapalı uçlu kazıklar çakıldıktan sonra boşlukları beton ile doldurulmaktadır. İki tip arasında yapılan kıyas, zemin tapası tamamen yükselmiş açık uçlu kazık ile daha sonradan beton ile doldurulmuş kapalı uçlu kazık arasındadır ve dayanımı etkileyen faktör zemin özelliklerinin beton ile kıyaslanmasındadır.

Çelik kazıklar çakıllı kohezif zeminlere kapalı uçlu olarak da çakılabilirler ancak kazık çevresindeki zeminde bir miktar yükselme gözlenebilir. Bu tip çakma kazıkların darbe dayanımları ve eğilme momentlerine karşı dirençleri daha iyidir. Bu sayede büyük çaplı kesitler ağır yüklerin taşınmasında kullanılabilirler.

Kapalı uçlu kazıkların çoğunda, açık uçlu kazıkların ise bazılarında çakmadan sonra beton ile doldurulma işlemi uygulanır. Bu uygulama, öncelikle kazıkların korozyon etkilerinden korunmasını sağlamaktır. Bir diğer avantajı ise dayanımı ve dayanıklılığı artırmasıdır.

Sağlam kayaya oturan çakma kazıklarda, kazık çakılması sırasında yüksek çakma enerjisi uygulanması kayayı parçalayabilir ve kazık altında yüksek gerilme birikmesine neden olabilir. Kazık çakımının yol açacağı başka bir problem de kazığın çakılması esnasında

çakılmış komşu kazıklarda yükselme meydana gelmesidir. Bu denelerle, çakma kazıklarda da kazıkların sağlam kaya içerisinde, D kazık çapı olmak üzere, 3D-5D veya en az 1.5 m uzunluğunda soket teşkil etmek pratikte uygulanan bir yöntemdir. Orta-sert kayalarda son bulan geniş çaplı kazıklarda, kaya içerisindeki soket boyu sert sağlam kayalardakinden daha büyük olup kazık çapından küçük olmamalıdır. Soketler arası uzaklık ise kazık çapının 1.5 ile 2 katı olmalıdır [31].

Çakma kazık uygulamalarında farklı zemin tiplerine bağlı olarak kazığın zemin içinde hızı ilerlemesi farklılık göstermektedir. Çakım sırasında kazığa uygulanan darbe sayısına karşılık gelen zemine girme miktarı refü olarak adlandırılmaktadır [15].

Çakım esnasında kazık başındaki tahribatı önlemek için refü değerleri şu şekilde verilmiştir [15].

- Ahşap Kazıklarda 2 darbe/10mm
- Betonarme Kazıklarda 4 darbe/10mm
- Çelik Boru Kazıklarda 4~8 darbe/10mm

Korozyon, çelik kazıklar için hayati önem taşımaktadır. Örselenmemiş tabi zeminlere çakılması durumunda korozyon tehlikesi daha azdır. Ancak örselenmiş veya dolgu zeminlerde bu tehlike daha fazladır. Bunun başlıca sebebi bu zemin tiplerinde oksijen miktarının daha fazla olmasıdır. Örselenmemiş zeminlerde bir iki metre derinlikten sonra oksijen miktarı iyice azalmaktadır [15].

Kıyı yapılarında ve denize maruz yapılarda korozyon etkileri üstünde durulması ve önlenmesi için özel önlemler alınması gereken bir konudur. Deniz tabanının bir miktar altından başlayarak su seviyesinin üstüne kadar kazık çeperleri korozyon etkilerine doğrudan muhataptır. Islanma bölgesi adını verdiğimiz ve sakin su seviyesinin üstüne ulaşan bu bölgeye kadar çelik kazıkların için beton ile doldurulmalıdır. Bu yukarıda da bahsettiğimiz gibi kazık dayanımına da katkı sağlamaktadır. Deniz suyu içinde veya pH değeri 7 den küçük veya çok büyük olan (fazla asidik ve fazla bazik) sularla temas halinde bu önlemlerin alınması mecburidir. Bunun yanı sıra çakma kazıkların korozyondan korunmasında şu önlemler de alınabilir [16]:

- Kazık et kalınlığının artırılması

- Kazıkların beton ile kaplanması
- Katodik boya uygulanması
- Koroziv zeminin uzaklaştırılması
- Çeliğe anti-koroziv madde ilave edilmesi
- Gerilmenin düşük seçilmesi
- Boya ve kaynamış katran sürülmesi

Çelik kazıkların çakma boyları kaynak ile ek yapılarak uzatılabilir. Özellikle açık deniz yapılarında gevşek deniz tabanı altındaki sağlam zemin tabakalarına ulaşabilmek için bu yöntem uygulanarak uzun çelik kazıkların çakılması sağlanır.

Kazıklardaki et kalınlıkları çeliğin kalitesine ve istenilen proje tasarım değerlerine uygun olarak değişebilir. Aynı kazıkta farklı et kalınlığında eklemeler yapılarak malzemeden tasarruf sağlanmış olur. Bunun yanı sıra üst ve alt kısımlar düşük karbonlu çelikten, orta kısımlar ise yüksek karbonlu dayanımlı çelikten üretilebilirler. Böylece çok daha pahalı olan yüksek dayanımlı çelik, deniz tabanına yakın yüksek gerilme altındaki kısımlarda kullanılabilir [13]. Boru tipi kazıklar, levhaların kazık boyunca kaynaklanarak üretilebileceği gibi genellikle sarmal şekilde kaynaklanarak üretilmektedir. Bunun en önemli sebebi, çakma anında sarmal kaynaklı kazıklarda dikiş yerlerinden çatlama ve çatlak ilerlemesinin daha zor olmasıdır. Aksi halde dikiş yerinde atma meydana gelen kazık, çakma işlemi boyunca ikiye ayrılarak görevini yerine getiremeyecektir. Çelik boru et kalınlıklarının belirlenmesi konusunda Özel Sınıf¹'a ve Normal Sınıf²'a giren tüm kazıklı iskele yapılarında (3.1) ve (3.2) koşullarının sağlanması gerekmektedir [2].

$$\frac{D}{t} \leq c \frac{E_s}{\sigma_y} \quad (3.1)$$

$$\frac{D}{t} \leq 80 \quad (3.2)$$

¹ Deprem sonrasında acil yardım ve kurtarma amacı olan yapılar ile toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddeler ile ilgili yapılar.

² Can ve mal kaybının önlenmesi gereken, ekonomik veya sosyal bakımdan önemli olan yapılar ile deprem sonrasında onarım ve güçlendirmesi zor ve zaman kaybına neden olan yapılar.

Burada D boru çapını, t elik et kalınlığını, E_s çeliğin elastisite modülünü ve σ_y ise çeliğin akma gerilmesini ifade etmektedir. Bu bağıntıdaki c katsayısı aşağıdaki şekilde belirlenecektir:

(a) İskeleler için ucu açık olarak çakılan elik boru kazıklarda, kazık içinde zemin tapasının bütün akım derinliği boyunca doğal olarak oluştuğu durumlarda $c = 0.12$ alınabilir.

(b) İskeleler için ucu açık olarak çakılan elik boru kazıklarda, zemin tapasının kazık ucunda akım derinliğinden daha kısa bir kesimde oluştuğu ve akım derinliğinin geri kalan st kesiminde granüle kum dolgu yapıldığı durumlarda $c = 0.12$ alınabilir.

(c) İskeleler için ucu kapalı olarak çakılan elik boru kazıklarda, bütün akım derinliği boyunca kazık içine granüle kum dolgu yapıldığı durumlarda $c = 0.12$ alınabilir.

(d) Rıhtımlarda $c = 0.12$ alınabilmesi için, yukarıda tanımlanan **(a)** durumunda en az şevli dolgunun st kotuna kadar kazık içine granüle kum dolgu yapılması, **(b)** ve **(c)** durumlarında ise kazık içinde mevcut granüle kum dolgunun en az şevli dolgunun st kotuna kadar yükseltilmesi gereklidir.

(e) İskele ve rıhtımlarda ucu açık olarak çakılan kazıklarda kazık ucuna kadar foraj yapılması kaydıyla veya ucu kapalı olarak çakılan elik boru kazıklarda, bütün kazık boyunca kazık içine beton dolgu yapılarak kompozit kazık oluşturulması durumunda $c = 0.14$ alınabilir. Beton kalitesi en az C30 olacaktır.

(f) Yukarıdaki **(b)** ila **(e)** durumlarında belirtilen kazık içi kum veya beton dolgusunun yapılmadığı bütün durumlarda $c = 0.08$ alınacaktır.

elik akma kazıkların diğer tipteki kazıklara göre avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz.

- Prekast betonarme kazıklara göre nakledilmesi ve taşınması daha kolaydır. Bu işlemler esnasında hasar görme ihtimali daha azdır.
- İstenilen uzunluk sağlanamadığında, çakma işlemi başlamış olsa bile gerektiği takdirde kesilerek boyunun kısaltılması veya kaynak yapılarak boyunun uzatılması daha kolaydır.

- Açık uçlu kazıklarda çakma anında oluşan zemin tahribatı ve zemin örselenmesi son derece azdır.
- Büyük bir hasar riski meydana gelmeden zorlu zemin şartlarında çakılması kolaydır. Uygulanan eksenel çakma kuvvetine karşı direnci yüksektir.
- Eğimli zeminlerde çakılması esnasında hesaplanan koordinatlardan sapma riski çok azdır.

Çelik çakma kazıkların dezavantajları ise:

- Prefabrik betonarme kazıklar ile kıyaslandıklarında özellikle denize maruz yapılarda korozyon etkilerine karşı çok daha hassastır. Korozyonu önlemek için gerekli tedbirlerin alınması ve periyodik bakım ve kontrollerinin yapılması gerekmektedir.

3.4.1.4 Kompozit Kazıklar

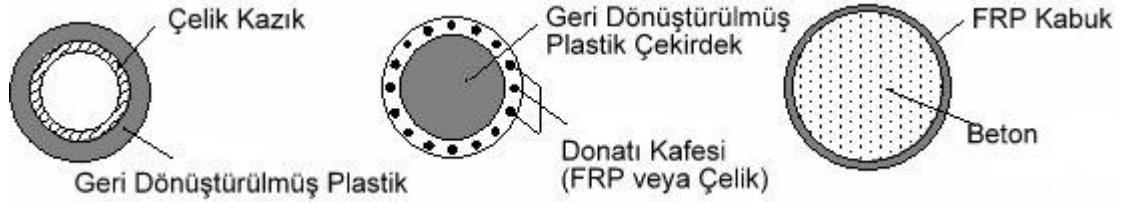
Kompozit kazıklar, kullanılmakta olan Prefabrik betonarme, ahşap ve çelik kazıkların farklı tip ve şekillerde birlikte uygulanması ile oluşan kazık tipleridir. Kazık türlerinin dezavantajlarını azaltmak için diğer kazık tipleri ile uygulanması sonucunda daha verimli ve uzun kullanım ömrüne sahip dayanıklı kazık tipleri oluşturulmaktadır (Şekil 3.5). Bu tip kazıklardan en basitleri boru kesitli çelik çakma kazıkların betonarme ile donatılı şekilde doldurularak imal edilenlerdir. Aynı zamanda maliyetleri azaltmak ve imalat süresini kısaltma amacıyla, bir kazığın belirli bölgesi çelik kazık belirli bölgesi ise betonarme veya ahşap kazık olacak şekilde de teşkil edilebilir.

Ayrıca son dönemde gelişen teknoloji sayesinde güçlendirilmiş fiber polimerler(FRP)¹ ve geri dönüşümlü plastiklerden farklı tiplerde kazıklar üretilmektedir. Özellikle 1980'lerden sonra Kuzey Amerika'da kullanılmaya başlamasına rağmen günümüzde çok geniş bir kullanım alanına ulaşamamıştır. Bunun en büyük sebebi maliyetlerin genel olarak yüksek olmasıdır.

Günümüzde öne çıkan beş tip kompozit kazık türü şöyledir [13]:

¹Fiber Reinforced Polymers

- Geri dönüşümlü plastik kılıfa sahip çelik çekirdekli kazıklar
- Güçlendirilmiş plastik tabanlı kazıklar
- FRP(Karbon fiber lifli polimer) kılıflı beton dolgulu boru kazıklar
- Çekmeli sıkılmış fiberglas kazıklar
- Ahşap plastik kazıklar



Şekil 3.5 Başlıca kompozit kazık tipleri [13]

Kompozit kazıklar, kullanım ömürleri sınırlı olan çelik, ahşap veya beton kazıkların aksine zorlu deniz şartlarına maruz kalan kıyı yapılarında çok daha dayanıklıdırlar. Ancak en büyük dezavantajları maliyetlerinin son derece yüksek olmasıdır.

3.4.2 Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar

Fore kazık olarak da bilinen yerinde dökme betonarme kazıklar, zemin koşulları çakma işlemine elvermediği sağlam zeminlerde sıklıkla tercih edilmesine rağmen kıyı yapılarında nadiren uygulanmaktadır. Çakma kazık uygulamalarında açığa çıkan yüksek titreşim ve gürültü sorunlarından kaçınmak için de fore kazık uygulaması tercih edilebilir. Yerinde dökme betonarme kazık uygulaması, açılan sondaj deliğinin içine donatı ile birlikte betonun dökülmesi ile yapılmaktadır. Şantiye ortamında hazırlanan donatı kafesi, beton dökme işlemi başlamadan önce sondaj deliğine indirilmektedir. Tüm bu işlemler yapılmadan önce gerekli görüldüğü takdirde, sondaj deliğine çelik kılıf yerleştirilebilir. Bu kılıf betonarmeyi korumak ve beton dökülmesi esnasında zemindeki gevşek kısımların göçmesini önlemek içindir. Çelik kılıf ile beton arasında yeterli sürtünme oluşursa kılıf içerde bırakılabilir ve bu haliyle bir kompozit kazık görevi üstlenir (Şekil 3.6).

Ayrıca yerinde dökme betonarme kazıkların çukurunun kazılması sırasında döküntü zemin veya taban kabarması ile ortaya çıkan zayıf zeminin dışarı çıkarılması sırasında

güçlük olabilir ya da kazığın uç mukavemetinden tam olarak yararlanılması istenebilir. Bu gibi durumlarda, kazık ucuna soket yapılması düşünülebilir. Soket yapılması için uygun bir yöntem, donatı kafesi içine çimento enjeksiyonu yapılmasına elverişli borular monte edilmesi ve kazığın içine beton dökümü yapıldıktan sonra bu borulardan basınçlı harç püskürtülerek soket yapılmasıdır [15].

Yerinde dökme betonarme kazıklar, prekast betonarme kazıklara ve çelik kazıklara göre daha ucuz maliyetlidir. Ancak uygulama esnasında kalite kontrol sorunu ve sahadaki uzun süren imalat süreçleri sebebiyle kıyı yapıları uygulamalarında ikinci sıraya itilmektedir.



Şekil 3.6 Yerinde dökme betonarme kazıklar [13]

3.5 Kazık Yerleşimi ve Düzenlemesi

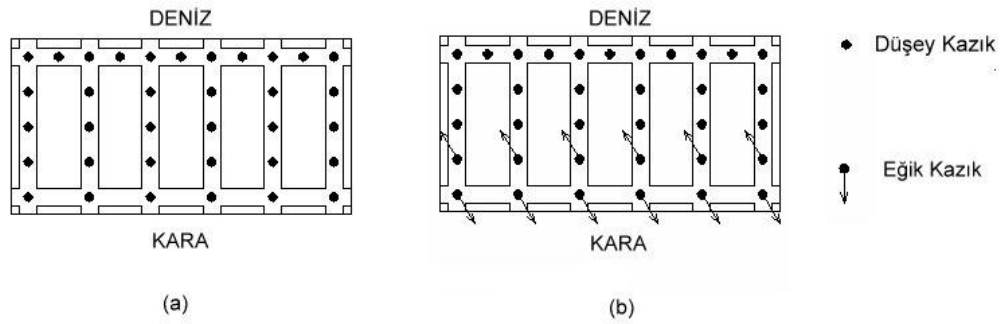
Kazık yerleşimi ve düzenlemesi, tasarım aşamasına geçilmeden önce planlanması gereken en önemli adımlardan biridir. Zemin koşullarına ve proje verilerine göre belirlenmiş olan kazık tipleri, bu aşamada belirli kurallar çerçevesinde yerleştirilir. Kazık yerleşiminin doğru planlanması hem ekonomik açıdan hem de yapısal güvenliğin sağlanması açısından büyük önem arz etmektedir [13]. Doğru bir planlama yapılmadan seçilen yerleştirme tipleri, ilerleyen zamanlarda yapısal sorunların ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir.

Kazık yerleşim planları oluşturulurken iki tip yükleme durumu göz önüne alınmalıdır. Planda yapılacak olan yerleştirme işleminde yapıya etkiyen düşey yük değerleri dikkate alınmalıdır. Bununla beraber yapı için taşıyıcı bir nitelik taşıyan zemin tabakaları ile ilgili dayanım değerleri de incelenmelidir. Yapının boy ve en kesitinde yapılacak yerleşim

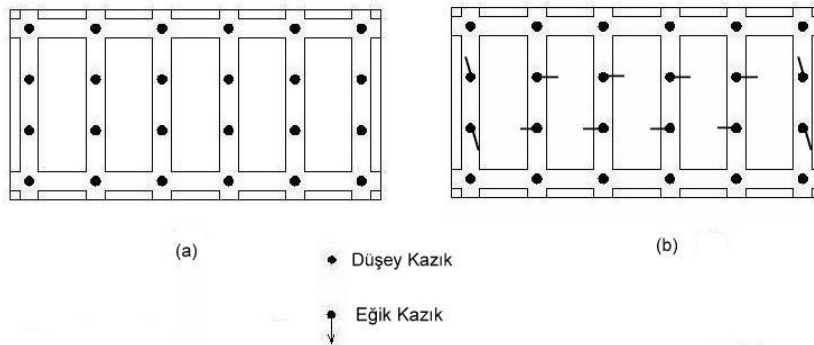
planları ise deprem, baba çekmesi, yaslanma kuvvetleri ve rüzgâr kuvvetleri gibi yatay kuvvetlerin etkileri göz önüne alınarak hazırlanmalıdır.

3.5.1 Planda Kazık Yerleşimi

Plan görünümünde kazık düzenlemesi yapıya etki eden düşey yükler ve zemin tabakalarının özelliklerine göre belirlenmektedir. İskele ve rıhtımlar için belirenmiş olan belli başlı kazık yerleşim planları Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de; tamamen düşey kazıklı bir yanaşma yapısı (a) ile düşey ve eğik kazık birlikteliğinden oluşan bir yanaşma yapısı (b) gösterilmiştir.

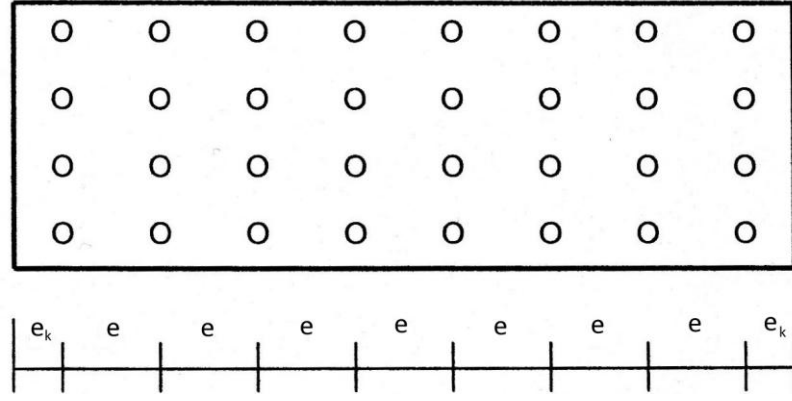


Şekil 3.7 Tipik bir rıhtım kazık yerleşim planı



Şekil 3.8 Tipik bir iskele kazık yerleşim planı

Kazık destekli yanaşma yapılarında en önemli yapısal elemanlar, iskele ve rıhtımı ayakta tutan, yüklerin aktarıldığı kazık elemanlardır. Üst yapı yüklerinin kazık ve kazık gruplarına doğru şekilde aktarılması doğru bir kazık yerleşimi ile sağlanır (Şekil 3.9). Burada e_k , tablie düzleminde, kazık aksı ile tablie kenarları arasındaki mesafeyi, e ise kazık aksları arasındaki mesafeyi göstermektedir [21].



Şekil 3.9 Kazık yerleşimi [21]

3.5.2 Kazık Yerleşim ve Düzenlemesi ile İlgili Yapısal Esaslar

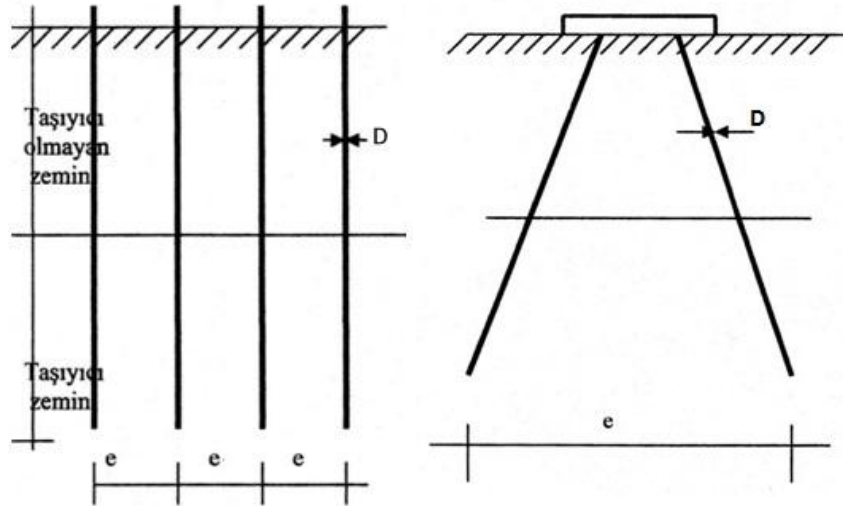
Çelik çakma kazıklar ile teşkil edilecek yanaşma yapılarında, kazıklar uç kısmı kapalı veya açık şekilde çakılabilirler. Ayrıca gerekli durumlarda gövde veya uç kısımlarda takviye yapılarak çakma anındaki olumsuzluklardan kaçınılabilir. Yapılacak takviyeler kazık eksenine göre simetrik olmalı ve en zor çakım şartlarına bile dayanabilecek şekilde devamlı veya aralıklı kaynak dikişleri ile gövde kısmına tutturulmuş olmalıdır. Özellikle kazık uç kısmındaki takviyeler enine yönde de kaynaklanmış olmalıdır.

Kaynaklı birleşimler için gerekli hesaplar yapılmalı ve uygulamasına özen gösterilmelidir. Kazık çeliği dayanım sınıfı en az ST 37 olmalı ve bu dayanım gerektiğinde artırılmalıdır [21].

Çelik kazıkların boyları taşıma imkânları sebebiyle sınırlandırılmıştır. Çakım işlemini gerçekleştiren şahmerdanların büyüklüğü ve hadde uzunluğundan dolayı en uzun 34 m olabilmektedir [21].

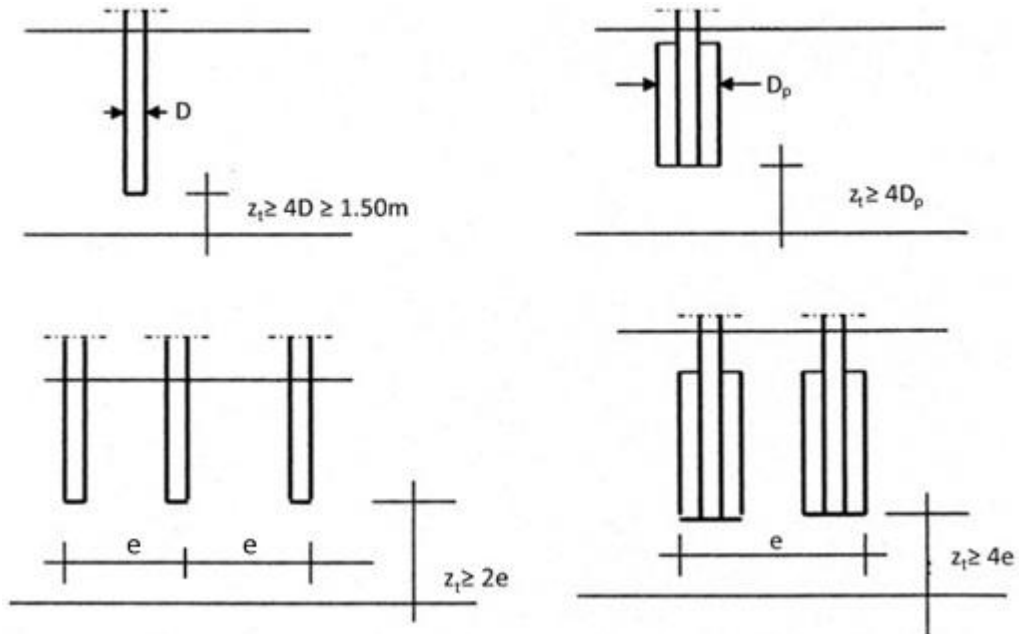
Kazık yerleşiminde dikkat edilmesi gereken bazı konstrüktif esaslar bulunmaktadır. Paralel ve eğik kazıklarda, kazık uçları arasındaki uzunluk e , kazık çapı ise D olacak şekilde ve cm biriminden (3.3) denkleminde ifade edilmiş ve Şekil 3.10'da gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} e &\geq 3d \\ e &\geq 100 + d \end{aligned} \tag{3.3}$$



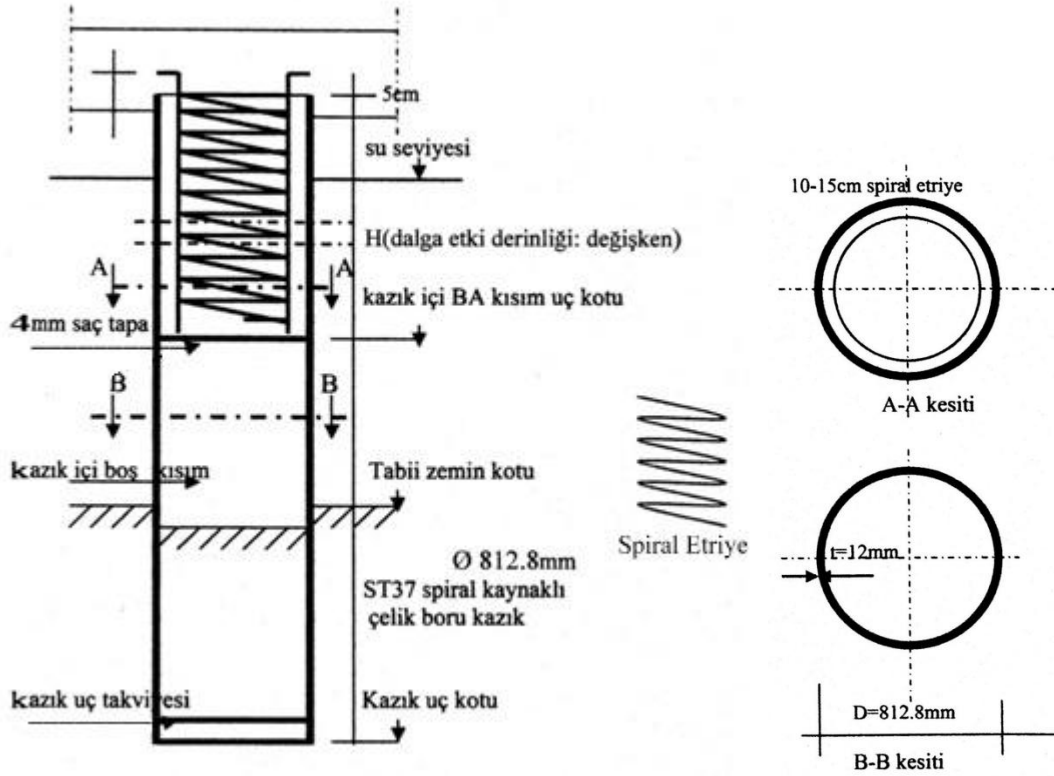
Şekil 3.10 Kazıklarda minimum kazık aralıkları [28]

Çakma kazıklarda, çakma derinliğinin belirlenmesi de zemin ve kazık tipi ile ilgilidir. Kazık çakma derinliğini ve kazık boyunu belirleyen bu detay, taşıyıcı zemin tabakası içinde kazık ucunun altında kalması gereken minimum taşıyıcı zemin kalınlığı z_t ile gösterilmektedir (Şekil 3.11). Şekil 3.11’de tanımlanan kazık çapı D , kazık kesiti büyütülmüş kazık çapı ise D_p ile gösterilmektedir. Bu durum zemin içinde yeterli sürtünme direncine ulaşılmadığı ve farklı zemin tabakalarında farklı kazık kesitlerine ihtiyaç duyulduğu şartlarda yapılmaktadır.



Şekil 3.11 Çakma kazıklarda kazık ucunun altında bulunması gereken minimum taşıyıcı zemin kalınlığı [28]

Genel olarak, yerleşimi ve çakım derinliği belirlenmiş olan çelik kazıkların, üst yapı ile birleşim bölgesini oluşturan kazık-kazık başlığı detayı, yapısal olarak hem çelik hem de betonarme birlikteliği gerektirdiğinden, tasarımının bu iki malzeme özellikleri göz önüne alınarak yapılması gerekmektedir. Su seviyesinin üstünde ve dalga etki bölgesini de içine alacak şekilde yüksekliği belirlenen bu kompozit bölgenin donatı detayı ve kazık kesiti Şekil 3.12'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.12 Çelik boru kazık detayı [21]

DLH (2008) KAPSAMINDA DEPREM ETKİSİ ALTINDA TASARIM İLKELERİ

4.1 Giriş

Depremeler dünya üzerinde farklı büyüklük ve şiddetlerde gerçekleşmekte olan yer hareketleridir. Büyük şehirlere yakın bölgelerde büyük depremlerin oluşma riski daha az olsa bile, oluşması durumunda hem sosyal hem de ekonomik etkileri çok büyük olmaktadır. 1994 yılında Los Angeles, ABD¹; 1995'te Kobe, Japonya²; 1999'da Kocaeli, Türkiye³; 1999'da Atina, Yunanistan⁴; 1999'da Tayvan⁵ depremleri 20. asrın son on yılında meydana gelen örneklerdir [1]. 21.yy'ın başında 2004 Endonezya ve 2011 Japonya depremleri hasarın sadece depremlerle değil aynı zamanda tsunami etkileri ile arttığını göstermiştir.

Depremlerin ve deprem tarafından tetiklenen tsunamilerin sebep olduğu bu hasarları en aza indirmek için sismik tasarım yöntemleri geliştirilmiş ve 20. Yüzyılın başlarından itibaren uygulanmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalar ve yöntemler sistematikleştirilerek şartnameler geliştirilmiştir. Şartnamelerde tasarım yöntemleri çoğunlukla kuvvet dengesi yaklaşımına dayalıdır. Bu yaklaşım yönteminde yapının öz ağırlığı ile tasarım deprem kuvvetlerine karşı koyabilmesi amaçlanmaktadır. Tasarım depremi etkisinde

¹ 61 ölüm ve 40 milyar ABD doları zarar

² 6400 e yakın ölüm ve 100 milyar ABD doları zarar

³ 15000 den fazla ölüm ve 20 milyar ABD dolarına yakın zarar

⁴ 143 ölüm ve 2 milyar ABD doları zarar

⁵ 2300 ölüm ve 9 milyar ABD doları zarar

kalan yapının davranışını temsil eden hareket denklemi ifade edilir, denklemin bir şekilde çözümü ile elastik kuvvetler bulunarak sistem elemanları bu kuvvetleri de karşılayacak şekilde boyutlandırılır.

4.2 Deprem Düzeyleri

Yapıların ömürleri boyunca karşılaşma süreleri ve deprem şiddetlerine bağlı olarak sınıflandırılan deprem seviyeleri, deprem risklerinin farklılık gösterdiği ülkelerde küçük farklılıklar gösterebilmektedir. PIANC (2001)'de iki seviye¹ olarak sınıflandırılan deprem düzeyleri, DLH (2008)'de ise üç seviye altında tanımlanmıştır.

4.2.1 D1 Deprem Düzeyi

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

4.2.2 D2 Deprem Düzeyi

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

4.2.3 D3 Deprem Düzeyi

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

¹ (L1) Level1: Dönüş periyodu 75 yıl, aşılma olasılığı %50; (L2) Level2: Dönüş periyodu 475 yıl, aşılma olasılığı %10

4.3 Deprem Tasarım Spektrumları

Deprem etkilerinin, deprem esnasında kayıt altına alınan ivme kayıtları ile gerçekçi bir şekilde tanımlanmasına karşın, yapısal tasarımda kullanabilmek için daha basit ve genel bir formda ifade edilmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyaç göz önüne alınarak DLH (2008)¹ çerçevesinde deprem tasarım spektrumları ile ilgili açıklamalar yapılmıştır.

D1, D2 ve D3 deprem düzeyleri için zemin sınıflandırmasına göre spektral ivme değerleri tanımlanmıştır. Spektral ivme değerleri, yapının bulunduğu koordinata bağlı olarak, deprem hesabında kullanılacak olan ve zemin karakteristiğini belirleyen ivme değerleridir. Türkiye genelinde, 0.02 derecelik enlem ve boylam artımları ile DLH (2008)'de tablolar halinde verilmiştir.

Yapının bulunduğu bölgeye ait koordinat değerleri kullanılarak, B zemin sınıfının² temel alındığı *0.2 saniyelik kısa doğal titreşim periyodu (S_s)* ve *1.0 saniyelik doğal titreşim periyodu (S_1)* değerleri bulunur.³ Elde edilen değer, yapı koordinatına ait B zemin sınıfındaki şartlar için geçerli olan spektral ivme değerleridir. Ancak farklı tipte bir zemin sınıfı olması durumunda, Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de verilmiş olan F_a ve F_v parametreleri yardımıyla (4.1) ve (4.2) denklemleri kullanılarak sırasıyla S_{MS} ve S_{M1} spektral ivme değerleri elde edilmiş olur:

$$S_{MS} = F_a \times S_s \quad (4.1)$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 \quad (4.2)$$

Zemin sınıfına göre spektral ivme katsayıları belirlendikten sonra, birinci (hâkim) moda ait yapı periyot değerinin (T), zemine ait spektrum köşe periyotları (T_0 ve T_s) ve uzun periyot bölgesine geçiş periyodu (T_L) ile karşılaştırma sonucuna göre (4.3), (4.4), (4.5) ve (4.6) eşitliklerinden, uygun olanları kullanılarak yapıya ait Deprem Tasarım Spektrumları, S_{ae} (Şekil 4.1) bulunur.

¹ Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği (2008), Madde 1.2.2.

² Kaya, ($760 \text{ m/sn} < \bar{V}_s \leq 1500 \text{ m/sn}$)

³ Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği (2008), Ek A

Çizelge 4.1 Kısa periyot zemin katsayısı F_a [2]

Zemin Sınıfı*	Kısa Periyot 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
* Bkz. DLH (2008), Ek B ^a S_s'in ara değerleri için lineer interpolasyon yapılacaktır. ^b Sahaya özel geoteknik inceleme ve dinamik zemin davranış analizi yapılacaktır.					

$$S_{ae}(T) = 0.4 \times S_{MS} + 0.6 \times \frac{S_{MS}}{T_0} \times T \quad T \leq T_0 \quad (4.3)$$

$$S_{ae}(T) = S_{MS} \quad T_0 \leq T \leq T_s \quad (4.4)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{M1}}{T} \quad T_s \leq T \leq T_L \quad (4.5)$$

$$S_{ae}(T) = \frac{S_{M1} \times T_L}{T^2} \quad T_L \leq T \quad (4.6)$$

Uzun periyot bölgesine geçiş periyodu $T_L=12s$ alınacaktır [2]. Spektrum köşe periyotları T_0 ve T_s ise (4.7)'de gösterildiği gibi tanımlanmıştır.

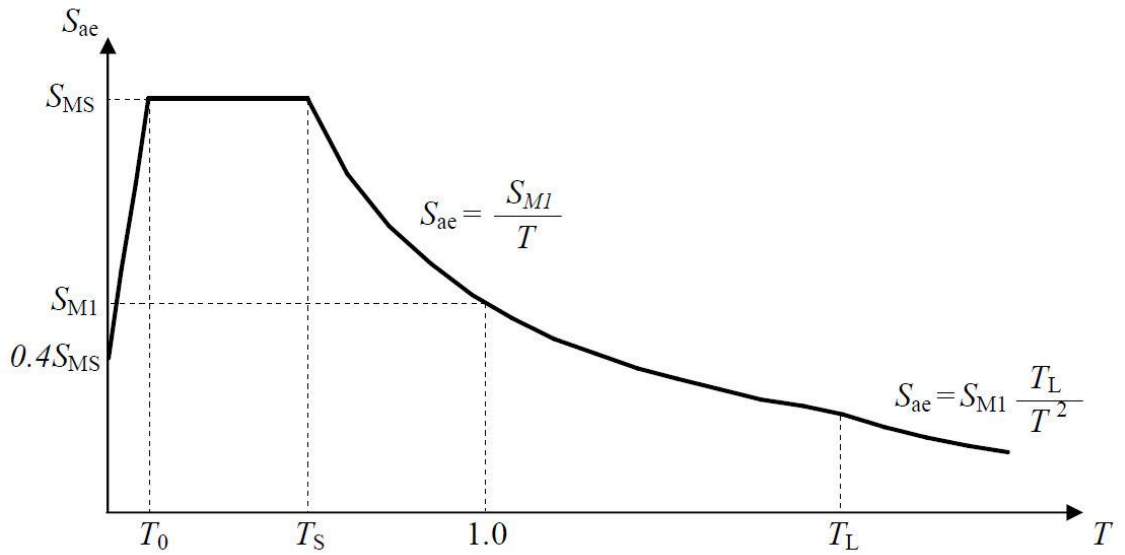
$$T_s = \frac{S_{M1}}{S_{MS}} \quad , \quad T_0 = 0.2 \times T_s \quad (4.7)$$

Çizelge 4.2 1.0 s periyodu zemin katsayısı F_v [2]

Zemin Sınıfı	1.0 sn periyodunda Spektral İvme (g) ^a				
	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
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

^a S_1 'in ara değerleri için lineer interpolasyon yapılacaktır.

^b Sahaya özel geoteknik inceleme ve dinamik zemin davranış analizi yapılacaktır.



Şekil 4.1 Deprem tasarım spektrumu [2]

4.4 Kıyı ve Liman Yapılarının Deprem Performansı Bakımından Sınıflandırılması

Kıyı ve liman yapıları; öngörülen deprem performansına, kullanım amacına ve sahip olduğu öneme göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılacaktır [2].

4.4.1 Özel Yapılar

Özel sınıfa giren kıyı ve liman yapıları aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır [2]:

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

4.4.2 Normal Yapılar

Normal sınıfa giren kıyı ve liman yapıları aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır [2]:

- (a) Can ve mal kaybının önlenmesi gereken yapılar
- (b) Ekonomik veya sosyal bakımdan önemli olan yapılar
- (c) Deprem sonrasında onarım ve güçlendirmesi zor ve zaman kaybına neden olacak yapılar

4.4.3 Basit Yapılar

Basit sınıfa giren kıyı ve liman yapıları aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır [2]:

- (a) Özel Sınıf ve Normal Sınıf'taki yapıların dışında kalan daha az önemli yapılar
- (b) Önemsiz Sınıfı'ndaki yapıların dışında kalan yapılar

4.4.4 Önemsiz Yapılar

Önemsiz sınıfına giren kıyı ve liman yapıları aşağıdaki şekilde gruplandırılmıştır [2]:

- (a) Kolaylıkla yeniden yapılabilecek yapılar,
- (b) İleri derecede hasar görmesi bile can güvenliğini tehlikeye atmayan yapılar
- (c) Geçici yapılar

4.5 Kıyı ve Liman Yapıları için Tanımlanan Performans Düzeyleri

Kıyı ve 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 veya elemanı için ayrı ayrı ve sayısal olarak tanımlanacaktır.

4.5.1 Minimum Hasar Performans Düzeyi (MH)

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 içinde kolayca giderilebilecek düzeyde kalır [2].

4.5.2 Kontrollü Hasar Performans Düzeyi (KH)

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 elemana ilişkin liman operasyonunda kısa süreli (birkaç hafta veya ay) aksamaların meydana gelmesi normaldir [2].

4.5.3 İleri Hasar Performans Düzeyi (İH)

İleri Hasar Performans Düzeyi (İH), 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 elemana ilişkin liman operasyonunda uzun süreli aksamaların meydana gelmesi, hatta ilgili liman servisinin tamamen iptal edilmesi mümkündür [2].

4.5.4 Göçme Hasarı Durumu (GH)

Bu durumda, kıyı ve liman yapılarında ve bunları oluşturan elemanlarda deprem etkisi altında tam göçme hasarı meydana gelir. İlgili yapı veya elemana ilişkin liman operasyonuna devam edilemez [2].

4.6 Kıyı ve Liman Yapılarında Öngörülen Performans Hedefleri

Kullanım amacı, türü ve önemine göre performans sınıfları tanımlanan kıyı ve liman yapıları için hedeflenen performans düzeyleri, yukarıda tanımlanmış bulunan deprem düzeylerine bağlı olarak Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3'te parantez içinde gösterilen performans hedeflerinin kendiliğinden gerçekleşeceği varsayılmaktadır. Bu bağlamda Basit Sınıf'taki yapılar için (D1) depremi altında Kontrollü Hasar (KH) performans hedefinin sağlanmış olması yeterlidir ve bu tür yapılar için (D2) depremi altında İleri Hasar (İH) performans hedefinin irdelenmesine gerek yoktur. Benzer biçimde, can güvenliğini tehlikeye atmayan ve kolayca yenilenebilecek olan Önemsiz Sınıf'taki yapılar için (D1) depremi altında (İH) performansının ve (D2) depremi altında (GH) durumunun kendiliğinden gerçekleşeceği öngörülmektedir. Bu nedenle bu tür yapıların sadece deprem dışı etkilere göre tasarımının yapılması yeterlidir [2].

Çizelge 4.3 Çeşitli deprem düzeylerinde hedeflenen performans düzeyleri [2]

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

4.7 Yapı Davranışının Tanımlanması

Yapıların deprem etkilerini minimum hasar ile karşılamalarını sağlayabilmek için, yapının yatay yükler altındaki gerçek davranışı ve davranışına etkiyen parametreler mutlaka belirlenmelidir. Deprem kuvvetleri altında yapılarda yer değiştirmelerin oluşması, ancak deprem yükleri ortadan kalktığında ise tekrar eski formlarına hasar almadan ulaşmaları yani *doğrusal elastik davranış* sergilemeleri istenmektedir.

Teorik olarak yapıların doğrusal elastik davranış sergilemelerini istense bile gerçekte bu şekilde davranış göstermezler. Yapı artan yatay yükler altında belirli oranda hasar görecektir yani plastik davranış sergileyecektir.

Hasarların (plastik deformasyonlar) olduğu bu noktada yapı, doğrusal elastik olmayan davranış sergilemeye başlar ve karşılaması gereken deprem yükünü karşılayamaz hale gelir. Sabit bir değere yaklaşan deprem yüküne karşı yapı, yer değiştirme hareketini devam ettirir. İşte bu durum, yapının teorik olarak beklenen doğrusal elastik davranış şartlarını yerine getiremediğini gösterir.

Bu durum göz önüne alınarak yapıların, elastik ötesi davranış kabiliyetlerinin de tanımlanması gerekmektedir. İşte *süneklik*; bir kesitin veya bir elemanın ya da bir taşıyıcı sistemin, dış yükte önemli bir değişme olmaksızın, elastik sınırın ötesinde şekil değiştirme, dolayısıyla yer değiştirme yapma özelliğinin ölçüsü olarak tanımlanabilir [20]. Bu kapsamda, *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik (2007)*'de yapıların süneklik düzeyleri, süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi normal olmak üzere iki gruba ayrılmıştır [19].

Tasarım aşamasında, deprem etkileri altında karşılanması planlanan dayanım değerlerinin yapı sistemi tarafından hangi ölçüde karşılanabildiği sorunu çözülmesi gereken en temel sorundur. Bu sorunu çözebilmek için, tasarım aşamasında süneklik derecesinin belirlenmesi gerekmektedir. Süneklik derecesi, doğrusal elastik olmayan davranış sonucu oluşan maksimum yer değiştirmenin, doğrusal elastik davranış sonucu oluşması planlanan yer değiştirme değerine oranı şeklinde tanımlanmaktadır.

4.8 Tasarım Yöntemleri

Deprem etkilerini daha aza indirmek ve deprem enerjisinin sönmelenmesi esnasında, yapıların davranış şekillerinin ve yapıda oluşması muhtemel hasarların derecesi ve dağılımının belirlenebilmesi açısından, Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yöntemi yerine Şekil Değiştirmeye Göre (Performansa Dayalı) Tasarım (ŞGT) yöntemine doğru bir yönelim söz konusudur. Kıyı ve liman yapılarının depreme karşı tasarımında ve değerlendirilmesinde kullanılacak yöntemler aşağıda tanımlanmıştır.

4.8.1 Dayanıma Göre Tasarım Yaklaşımı [DGT]

Ülkemizde kullanılmakta olan yöntemlerin başında gelen bu yöntem, yapısal elemanların düşey yükler ve azaltılmış deprem yükleri altında gerekli ve yeterli dayanımın sağlanmasını temel almaktadır.

Dayanıma Göre Tasarım, performans hedeflerinin kontrolü için sözel olarak tanımlanmış hasar seviyeleri belirlemiştir. *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik (2007)*'nin 1.2.1. maddesi; hafif şiddetteki depremlerde binaların yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile hasar oluşumu sınırlandırılmıştır. Ancak bu tanım, yapıdaki yapısal veya yapısal olmayan hasar değerlerini sayısal bir ifade ile açıklayamamaktadır.

4.8.2 Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım Yaklaşımı [ŞGT]

Şekil değiştirmeye göre tasarım yaklaşımı, dayanıma göre tasarımın yeterli olmadığı ve istenilen bilgileri veremediği durumlarda kullanılabilen detaylı bir yaklaşım türüdür. Bu yaklaşımın temel ilkeleri, 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 doğrusal olmayan şekil değiştirmelere veya bunlarla uyumlu yer değiştirmelere karşı geldiğinden bu yaklaşım, “Şekil değiştirmeye (Yer değiştirmeye) Göre Tasarım” yaklaşımı olarak adlandırılır. ŞGT Yöntemleri, modern tasarım yaklaşımı “Performansa Göre Tasarım”ın temel yöntemleridir [2]. Yönetmelikler¹ çerçevesinde kıyı ve liman yapılarında yapı sınıflarına bağlı olarak uygulanması gereken tasarım yaklaşım yöntemleri Çizelge 4.4’te tanımlanmıştır.

¹ Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği(2008), Madde 2.1.5.2.2

Çizelge 4.4 Kazıklı iskele ve rıhtımlara çeşitli deprem düzeylerinde uygulanacak tasarım yöntemleri [2]

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

4.8.3 Mevcut Yapıların Performanslarının Değerlendirilmesi

Yukarıda açıklanan Dayanıma Göre Tasarım (DGT) ve Şekil değiştirmeye Göre Tasarım (ŞGT) Yöntemleri, mevcut kıyı ve liman yapılarının deprem performanslarının değerlendirilmesi için de kullanılabilir. DLH (2008) kapsamında kazıklı rıhtım ve iskelelerde değerlendirmeler tercihan ŞGT Yöntemleri ile yapılmalıdır.

4.9 Dayanıma Göre Tasarım

4.9.1 Tasarım Kabulleri

Deprem etkisi altında göz önüne alınacak yatay ve düşey yük kombinasyonları aşağıda tanımlanmıştır:

$$\text{Yatay yük kombinasyonu} = (D_M) + 0.5(B)$$

$$\text{Düşey yük kombinasyonu} = (G) + (S_K)$$

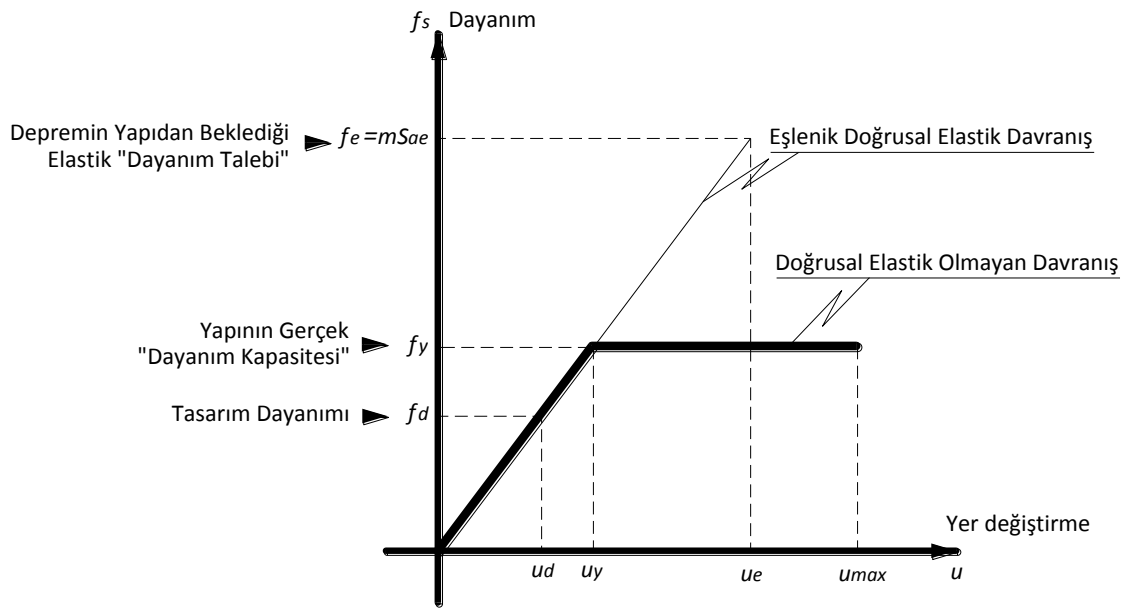
Bu yük kabullerinde, yapı kütesine etkiyen deprem kuvveti D_M , baba çekme kuvveti B , yapı öz ağırlığı G ve suyun kaldırma kuvveti S_K olarak verilmiştir [2].

4.9.2 Deprem Yüğü Azaltma Katsayıları

Deprem kuvvetleri altında, yapının karşılaması beklenen bir dayanım değeri bulunmaktadır. Bu dayanım değeri f_e , yapının elastik spektral ivme (S_{ae}) değerine bağlı olarak belirlenir. Deprem yükleri altında elastik spektral ivme değeri ve yapı kütlesi (m),

elastik dayanım değerin belirlenmesi için kullanılan parametrelerdir. Yapının doğrusal elastik davranışa uygun olarak karşılaması beklenen bu yük karşısında, yapının elastik yer değıştirme (u_e) yapması beklenmektedir.

Ancak yapı talep edilen doğrusal elastik davranış tamamen sergileyemez ve belirli bir dayanım değeri (f_y) sonra doğrusal elastik olmayan davranış sergilemeye başlar (Şekil 4.2). Yapının gerçek dayanım kapasitesini temsil eden f_y değeri altında yaptığı yer değıştirme u_y , göçme durumu anındaki maksimum yer değıştirmesi ise u_{max} olarak ifade edilir.



Şekil 4.2 Deprem etkisi altında yapı davranış [18]

Yapının tasarımında, kapasite sınırlarını temsil eden yükler yerine tasarım aşamasında emniyet katsayıları ile azaltılmış tasarım dayanım ve yer değıştirme değeri (f_d , u_d) kullanılmaktadır. Bu değeri sayesinde yapı dayanım sınırlarının sonuna kadar kullanıldığı kapasite değeri göre değil, daha güvenilir tarafta kalan dayanım değeri göre projelendirilir.

İşte süneklik katsayısı μ , yapı davranışını tanımlayan bu değeri kullanarak (4.8) ifadesi ile belirlenir.

$$\mu = \frac{u_{max}}{u_y} \quad (4.8)$$

Bu ifadeden anlaşılacağı üzere, süneklik katsayısının artması yapının dayanıma ulaştıktan sonra daha fazla yer değiştirme yaparak yüksek süneklik göstermesi manasına gelmektedir.

Gerçek dayanım değeri ile tasarımda kullanılacak dayanım değeri oranını ifade eden Dayanım Fazlalığı Katsayısı (4.9) ifadesi ile gösterilmiştir. DLH (2008) kapsamında bu değer 1.5 olarak belirlenmiştir.

$$D = \frac{f_y}{f_d} \quad (4.9)$$

Deprem yükleri altında “dayanım talebinin f_e ” gerçek “dayanım kapasitesine f_y ” oranı olarak tanımlanan “Dayanım Azaltma Katsayısı R_y ” (4.10) eşitliği ile verilmiştir.

$$R_y = \frac{f_e}{f_y} \quad (4.10)$$

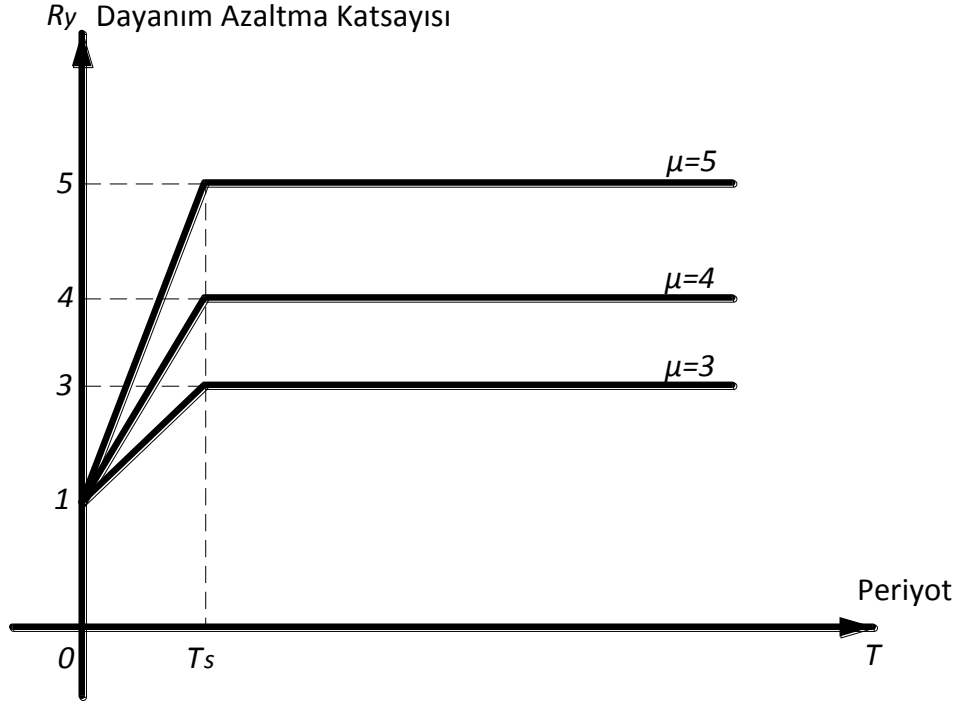
Dayanım azaltma katsayısı R_y , yapının kabul edilen doğrusal elastik davranışı ile gerçekte sergileyeceği doğrusal elastik olmayan davranışı arasındaki orandır. Bu sayede yapı, gerçekte sergilemeyeceği bir dayanım değeri yerine gerçek dayanım değeri üzerinden değerlendirilir.

Bu değer göz önüne alınarak, DLH(2008)’de;

- Esnek (doğal periyodu uzun) yapılarda ($T > T_s; u_{\max} \cong u_e$) eşit yer değiştirme kuralı gereği dayanım azaltma katsayısı süneklik katsayısına yaklaşık olarak eşit alınır ($R_y \cong \mu$).
- Rijit (doğal periyodu kısa) yapılarda ise ($T < T_s; u_{\max} > u_e$) olduğu için dayanım azaltma katsayısı (4.11) eşitliği ile ifade edilmiştir (Şekil 4.3).

$$R_y = 1 + (\mu - 1) \frac{T}{T_s} \quad (4.11)$$

Burada T yapıya ait doğal titreşim periyodunu, T_s ise deprem spektrumu köşe periyodunu tanımlamaktadır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Dayanım azaltma katsayısı, R_y [18]

Yapı davranışındaki belirsizlikler sebebiyle azalttığımız dayanım değerlerinin (R_y) yanı sıra, elastik davranış kabulü sebebiyle daha büyük olan deprem yükleri de doğrusal olmayan elastik davranışı temsil edecek şekilde azaltılacaktır. Elastik dayanım değeri f_y ile gerçek dayanım değeri f_d arasındaki oran olarak tanımlanır.

Bu amaçla, “Deprem yükü azaltma katsayısı R_d ”, dayanım fazlalığı katsayısına (D) ve dayanım azaltma katsayısına (R_y) bağlı olarak genel formda (4.12) ifadesi ile verilmiştir.

$$R_d = \frac{f_e}{f_d} = DR_y \quad (4.12)$$

Ayrıca yapılarda, yapıların kendilerine ait karakteristik özellikleri sebebiyle deprem yüklerinde farklılıklar oluşmaktadır. Yapıların iskele veya rıhtım tipinde olması, kazıkların düşey veya eğik kazık olarak projelendirmesi bu karakteristik özelliklerdendir. Ayrıca yapıdan beklenen performans hedefi de büyük önem arz etmektedir.

İşte bu karakteristik özellikleri göz önüne almamıza yardımcı olan “Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)” belirlenmiştir.

Süneklik katsayısına ve dayanım fazlalığı katsayısına bağlı olarak “Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R ” (4.13) eşitliği ile tanımlanmıştır.

$$R = \mu D \quad (4.13)$$

Elde edilen bu ifadeler neticesinde “Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı” yapı periyoduna bağılı olarak Çizelge 4.5’de gösterilen işlemler neticesinde belirlenir.

Çizelge 4.5 Deprem yüğü azaltma katsayısı, R_a [18]

Yapı Periyodu, T		$0 < T < T_s$	$T_s < T$
Dayanım Azaltma Katsayısı, R_y		$R_y = 1 + (\mu - 1)T/T_s$	$R_y = \mu$
Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı, R_a	$R_a = DR_y$ dönüşümü yapılarak	$R_a = D + (R - D)T/T_s$	$R_a = R$
	$D = 1.5$ dönüşümü yapılarak	$R_a = 1.5 + (R - 1.5)T/T_s$	$R_a = R$

DLH (2008)’e göre, spektral ivme değeri dikkate alınarak bulunacak elastik davranış altındaki deprem yükleri, “Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (R_a)’na bölünerek azaltılmaktadır. DLH (2008)’e göre Çizelge 4.6’da tanımlanan *Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı* $R \leq 1.5$ olan taşıyıcı sistemlerde $R_a=R$ alınması tavsiye edilmiştir. $R > 1.5$ için ise azaltma katsayıları doğal titreşim periyodu T ’ye bağılı olarak (4.14) ifadeleri ile belirlenecektir. T_s , spektrum köşe periyodunu göstermektedir.

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_s} \quad (0 \leq T \leq T_s) \quad (4.14)$$

$$R_a(T) = R \quad (T_s < T)$$

Çizelge 4.6 Kazıklı iskele ve rıhtımlarda taşıyıcı sistem davranış katsayıları (R) [2]

Sistem	Kazık düzenlemesi	Performans Düzeyi	
		MH	KH
Rıhtım	Düşey kazıklı sistemler	1.5	2.5
	Eğik kazıklı sistemler	1.0	1.5
İskele	Düşey kazıklı sistemler	2.5	4.0
	Eğik kazıklı sistemler	1.0	1.5

4.9.3 Azaltılmış Deprem Yükleri ile Doğrusal Elastik Analiz Yöntemler

DLH (2008)'de azaltılmış deprem yükleri altında doğrusal elastik analiz için kullanılabilecek yöntemler, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi'dir. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi her iki doğrultuda simetrik olan yapılarda uygulanabilmektedir. Bu çalışma kapsamında bu yöntem tercih edilmiştir.

4.9.4 Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

4.9.4.1 Eşdeğer Deprem Yüğü'nün Belirlenmesi

Göz önüne alınan herhangi bir x deprem doğrultusunda, rıhtım veya iskele taşıyıcı sisteminin kütle merkezine etkiyen *Eşdeğer Deprem Yüğü*, $V_{x,1}$, (4.15) eşitliği ile belirlenecektir [2].

$$V_{x,1} = \frac{M_t S_{ae}(T_{x,1})}{R_a(T_{x,1})} \geq \eta M_t S_{ae}(0) \quad (4.15)$$

Burada, $S_{ae}(T_{x,1})$ x deprem doğrultusunda birinci (hâkim) doğal titreşim periyoduna karşılık gelen elastik spektral ivme, $S_{ae}(0)$ başlangıç periyoduna karşılık gelen elastik spektral ivme ve R_a deprem azaltma katsayısını değerini göstermektedir. Özel Sınıf'a giren kazıklı iskele ve rıhtımlarda $\eta=0.20$, Normal Sınıf'a giren iskele ve rıhtımlarda $\eta=0.15$, Basit Sınıf'taki iskele ve rıhtımlarda ise $\eta=0.10$ alınacaktır. Sistemin kütlesi $M_t=W/g$ [ton] olarak hesaplanacaktır [2].

4.9.4.2 Tabliye Burulma Momenti'nin Belirlenmesi

(4.15) ifadesi ile tanımlanan yatay eşdeğer deprem yüküne ek olarak, ek burulma etkisini temsil etmek üzere, sistemin kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafında etkiyen $M_{bx,1}$ burulma momenti (4.16) ifadesinde göz önüne alınacaktır [2]:

$$M_{bx,1} = \pm 0.05 B_y V_{x,1} \quad (4.16)$$

Burada B_y , göz önüne alınan x deprem doğrultusuna dik y doğrultusundaki en büyük tabliye plan boyutudur.

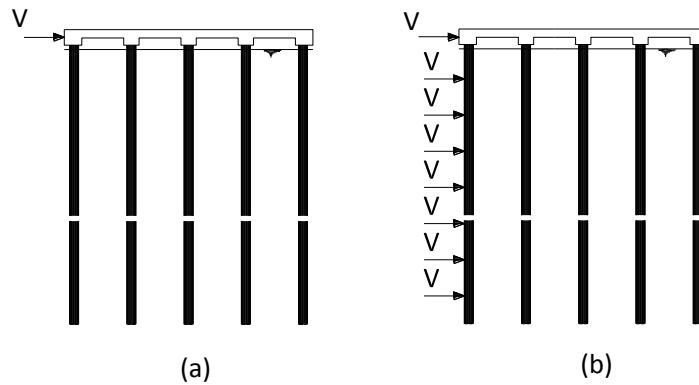
4.9.4.3 Deprem Kuvvetine Maruz Yapı Kütlesi ve Dağılımı

Kazıkların toplam kütlesinin tabliye kütlesine oranının %15'den daha az olduğu durumlarda, sistemin kazıklar dâhil tüm kütlesinin tabliyenin kütle merkezinde toplandığı varsayımı yapılabilir. Bu durumda, kazıklarda kazık boyunca ayrı kütleler ayrıca dikkate alınmamakta, (4.15) eşitliği ile tanımlanan $V_{x,1}$ toplam deprem yükü ve (4.16) eşitliği ile tanımlanan $M_{bx,1}$ burulma momenti, tabliyenin kütle merkezine etki ettirilecektir (Şekil 4.4a). Göz önüne alınan x deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin hâkim periyodu $T_{x,1}$ 'in hesabında (4.17) eşitliğinden kullanılmaktadır [2]:

$$T_{x,1} = 2\pi \sqrt{\frac{M_t}{K_x}} \quad (4.17)$$

Burada K_x rijitlik katsayısı (birimi: kN/m), göz önüne alınan x deprem doğrultusunda kütle merkezine etki ettirilen 1 kN değerindeki yatay yükten dolayı aynı kütle merkezinde meydana gelen yatay yer değiştirme Δ_x 'in (birimi: m) tersini göstermektedir ($K_x = 1/\Delta_x$) [2].

Kazıkların toplam kütlesinin tabliye kütlesine oranının %15'den daha fazla olduğu durumlarda, göz önüne alınan x deprem doğrultusunda taşıyıcı sistemin hâkim periyodu $T_{x,1}$, analiz modeli esas alınarak yapılacak serbest titreşim hesabından elde edilecektir. Bu durumda tabliyenin kütlesi ile birlikte kazıklarda kazık boyunca ayrı kütleler göz önüne alınacak ve x deprem doğrultusunda bu külelere etkiyen eşdeğer deprem yükleri (4.18) ile belirlenecektir (Şekil 4.4b) [2].



Şekil 4.4 Deprem kuvvetinin (a) sadece tabliye kütlesine etkimesi (b) tabliye ve kazık kütlelerine etkimesi

$$F_{xj,1} = \frac{m_j \phi_{xj,1}}{\sum_j (m_j \phi_{xj,1})} V_{x,1} \quad (4.18)$$

(4.15) ifadesine göre tabliye kütlesine etkiyen eşdeğer deprem yükünün, (4.16)'da $V_{x,1}$ 'in yerine konulması ile elde edilen tabliye burulma momenti de analizde göz önüne alınacaktır [2].

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, taşıyıcı sistem kütle merkezine etki ettirilen eş değer deprem yükleri neticesinde yapılan doğrusal elastik analiz neticesinde belirlenir. Etki eden yükler neticesinde, taşıyıcı sistem birleşim bölgelerindeki (kazık-tabliye birleşimi) yer değiştirme değerleri belirlenir. Bu yer değiştirme değerleri, izin verilen göreceli öteleme sınırları dâhilinde kalması koşuluyla yapının dayanım kriterlerini sağladığı belirlenmektedir. Aksi durumda, taşıyıcı sistem birleşim bölgelerinde hasar oluşacağı göz önüne alınarak analizler kesitler değiştirilerek yeniden yapılmalıdır.

Ancak bu analiz yöntemlerindeki doğrusal elastik kabulü, gerçekte yapının hareketini tanımlamak için yeterli değildir. Çünkü kuvvetler altında yapının davranışı, belirli bir yer değiştirme miktarına göre doğrusal elastik, belirli bir noktadan sonra ise doğrusal elastik olmayan özellikler sergilemektedir. Ayrıca yapıda kesit bazında oluşan doğrusal olmayan şekil değiştirmeler sonucunda yapı, sürekli biçimde bu yeni değişime uyum sağlamış olur. Kesitlerde kaybedilen moment taşıma kapasiteleri neticesinde taşıyıcı sistem içinde moment dağılımı sürekli değişmektedir. Değişen bu duruma karşı yapı, moment değerlerini diğer kesitlere aktarmaktadır. Bu duruma ise “yeniden dağılım” ismi verilmektedir.

Bu kabul ve dönüşümler sonucunda, depreme maruz kalan yapının taşıyıcı sistemindeki yapısal elemanlarının dayanımının yeterli olması aranmaktadır. Bu şart ile birlikte açığa çıkan yer değiştirme değerlerinin de belirli sınırlar arasında kalması gerekmektedir. Detaylı bir dayanım sınıflandırması ve yer değiştirme miktarlarına bağlı performans tanımlaması yapılmamaktadır.

4.9.4.4 Yer değiştirmelerin sınırlandırılması

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan kazık-tabliye birleşim noktası yer değiştirmelerinden (Δ_j) yararlanılarak, Taşıyıcı Sistem

Davranış Katsayısı'na (R) bağlı olarak azaltılan, Performans Değerlendirmesine esas Yer değiştirme Değerleri (δ_j) (4.19) ifadesi ile elde edilecektir [2].

$$\delta_j = \beta R \Delta_j \quad (4.19)$$

DLH(2008)'e göre taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R \leq 1.5$ için $\beta=1$, aksi durumda $\beta=2/3$ alınacaktır. Çizelge 4.7'de, sadece düşey ve eğik kazıklar için bir ayırım yapılmış ancak yapı önem sınıfı (özel, normal, basit), yapı tipi (iskele, rıhtım) ve deprem düzeyleri (D1,D2,D3) ile ilgili bir ayırım yapılmamıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı R , deprem düzeyine, yapı tipine ve yapı önem sınıfına göre değişiklik gösterdiği için, eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesaplanan tabliye yer değiştirmelerini (Δ_j), daha uygun bir karşılaştırma yapabilmek adına, performans değerlendirmesine esas olan yer değiştirmelere (δ_j) dönüştürmek için kullanılmıştır.

Bütün kazıklar için hesaplanan maksimum göreceli öteleme (δ_j / h_{kj}), Çizelge 4.7'de verilen sınırı aşmaması istenmektedir. Aksi durumda, kazık kesitleri büyütülerek veya taşıyıcı sistem değiştirilerek analiz tekrarlanacaktır [2].

Burada h_{kj} , j'inci kazığa ait kazık-tabliye birleşimi ile kazık büküm noktası arasındaki mesafedir. Kazık büküm noktası ise, taşıyıcı etkisi olmayan dayanımsız zemin tabakası altındaki ankastrelik boyu alt noktası olarak tanımlanabilir. Böylece h_{kj} , iskele üst kotu, su derinliği, dayanımsız zemin tabakası kalınlığı ve ankastrelik boyunun toplamı olarak belirlenir.

Çizelge 4.7 Kazıklı iskele ve rıhtımlarda izin verilen göreceli öteleme oranları (δ_j / h_{kj}) [2]

Kazık düzenlemesi	MH	KH
Düşey kazıklı sistemler	0.008	0.015
Eğik kazıklı sistemler	0.005	0.010

4.10 Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım

Performansa dayalı tasarım yaklaşımı, ilk olarak 1990'lı yıllarda yaşanmış olan depremlerden¹ alınan dersler neticesinde yapılan çalışmalar ile ortaya çıkmıştır [1]. Bu yaklaşımdaki ana amaç dayanıma göre tasarım aksine ilk olarak yapının dayanım kapasitesi ile elastik ötesi aşamada meydana gelecek hasarın dağılımını ve dolayısıyla süneklik istemini belirlemektir. Dayanıma göre tasarım yaklaşımında yapının düşey yüklerin yanında öngörülen tasarım depremi de dikkate alınarak her iki etki altında oluşacak kesit zorlarını karşılayacak şekilde boyutlandırılması esastır. Ancak deprem kuvvetlerine maruz kalan yapılarda meydana gelecek olan hasarın derecesi ve dağılımı hakkında herhangi bir bilgi vermemektedir. Bu bilgi eskiliği tasarımı yapılacak binalar ile ilgili çok sayıda belirsizliğe sebep olmakta ve ihtiyaçları karşılamak için büyük emniyet katsayıları ile yapılar projelendirilmeye çalışılmaktadır. Bu tasarım yaklaşımı kullanılarak projelendirilen, çok nadir ama büyük etkilere sahip deprem şartlarında bile ayakta kalması istenilen yapıların maliyetleri çok büyük seviyelere ulaşmaktadır.

Şekil değiştirmeye dayalı tasarım yaklaşımı ise dayanıma göre tasarımda ortaya çıkan bu belirsizlikleri ortadan kaldırarak, tasarım anında öne çıkan yapısal belirsizlikleri sınıflandırarak istenilen performans değerlerine sahip yapıların planlanmasına olanak sağlamaktadır; yapının yatay yük taşıma kapasitesi doğrusal olmayan statik hesap yöntemi ile belirlendikten sonra tasarım depremi altında ne şekilde davranacağı, nasıl performans göstereceği araştırılır.

Şekil değiştirmeye göre tasarımın üç önemli kavramı *talep*, *performans* ve *kapasite*dir. Tasarıma esas deprem hareketi ile *talep*, yapının bu *talebi* karşılama yeteneği ile de *kapasite* kastedilmektedir. *Performans* ise; *kapasitenin*, istenilen *talebi* yerine getirebilme kabiliyeti olarak düşünülmelidir. Yapının, tasarım veya değerlendirme performans hedefine ulaşması için kapasitenin talebi karşılayacak düzeyde olması gerekmektedir [17].

¹SEAO, 1995; İai and İchii, 1998; Steedman,1998

- **Talep**

Göz önüne alınan deprem etkisinde yapıda ortaya çıkacak kesit etkileri, şekil değiştirme ve yer değiştirme değerleridir [17].

- **Kapasite**

Yapının toplam kapasitesi yapıyı oluşturan elemanlarının dayanım ve şekil değiştirme kapasitelerine bağlıdır. Elastik sınıra kadar olan kapasite doğrusal analiz yöntemleri ile hesaplanabilirken, elastik sınırın ötesindeki kapasiteyi belirleyebilmek için itme (pushover) analizi gibi doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerine ihtiyaç vardır [17].

- **Performans**

Modal kapasite ile davranış spektrumunun kesişmesiyle belirlenen performans noktası altında yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarların düzeyine ve dağılımına bağlı olarak belirlenen yapı güvenliği durumudur [17].

Şekil değiştirmeye dayalı tasarım kapsamında, yapının deprem etkileri altında sergilediği performansı; yapının davranışı ve yapısal veya yapısal olmayan hasarları, farklı deprem düzeyleri altında, sayısal olarak tahmin edilebilmektedir [16]. Elde edilen bu sayısal veriler, yapıların performans seviyeleri hakkında fikir edinilmesini sağlamaktadır.

Bu bilgileri ışığında performans esaslı tasarım ve değerlendirme için uyulması gereken kurallar yönetmelikte tanımlanmıştır [2].

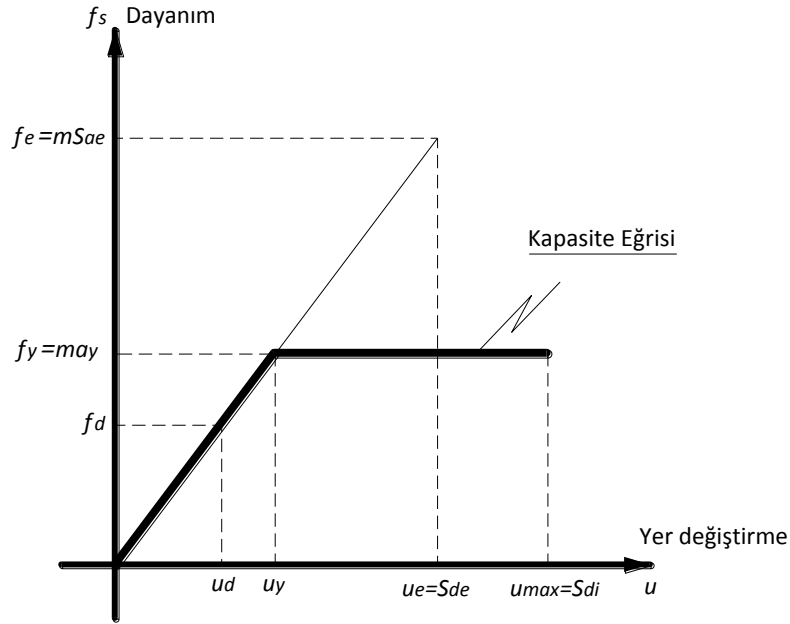
4.10.1 Tasarım Yaklaşımı

Dayanıma göre tasarım yaklaşımında, sistemin azaltılmış deprem yükleri altında doğrusal elastik çalıştığı kabul edilmiştir. Hâlbuki sistemde doğrusal olmayan şekil değiştirmeler oluşmakta ve sistem bu duruma adapte olmaya çalışmaktadır [18].

Bu doğrultuda, ŞGT yaklaşımı tanımlanırken kullanılmış olan “doğrusal elastik olmayan davranış” özellikleri daha detaylı açıklanmalıdır.

Yapıyı temsil eden tek kütleli bir konsol kolonun yatay yükler altında doğrusal olmayan davranışını temsil eden “Dayanım-Yer değiştirme” diyagramı Şekil 4.5’te verilmiştir.

Burada, S_{de} doğrusal elastik spektral yer değiştirmeyi, S_{di} ise doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirmeyi göstermektedir.



Şekil 4.5 Doğrusal elastik olmayan davranışa özgü yapı davranışı

S_{di} , doğrusal elastik spektral yer değiştirmeye bağlı olarak (4.20) ifadesi ile gösterilmiştir.

$$S_{di} = S_{de} C_R \quad (4.20)$$

Burada, C_R spektral yer değiştirme oranı olarak ifade edilmektedir. Yapının doğrusal elastik davranışı ile doğrusal olmayan elastik davranışı için tanımlanmış olan yer değiştirme değerleri (S_{de} , S_{di}) arasındaki oranı temsil etmektedir. C_R spektral yer değiştirme katsayısı genel formda (4.22) ifadesi ile verilir.

$$C_R = \frac{\mu}{R_y} = \frac{u_{maks}}{u_e} = \frac{S_{di}}{S_{de}} \quad (4.21)$$

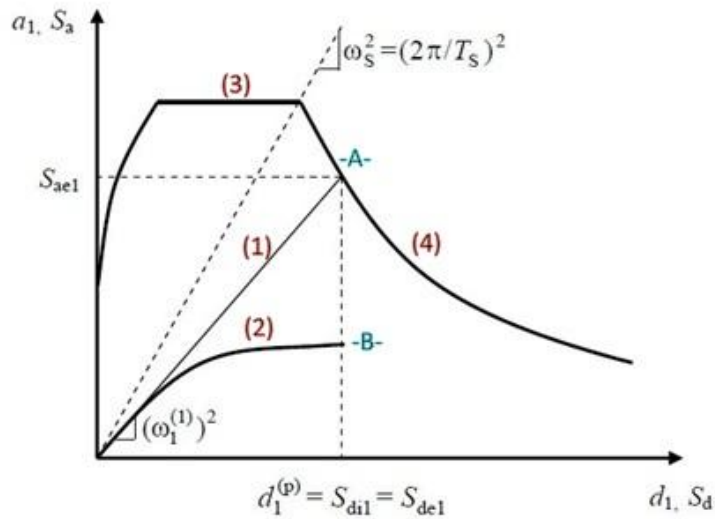
Burada μ ve R_y daha önce 4.9.2'de tanımlandığı üzere süneklik katsayısı ve deprem yükü azaltma katsayısıdır.

Yapının doğrusal olmayan davranışa uygun olarak yapılacak itme analizi neticesinde maksimum tabliye yer değiştirmesi (u_{maks}) ve dayanım kapasitesini (f_y) temsil eden deprem kuvveti (V_x) değerlerinden oluşan itme eğrisi elde edilir. Elde edilen bu eğri üzerinde DLH (2008)'de tanımlanmış olan modal dönüşüm uygulanarak “modal kapasite diyagramı” elde edilmiş olur¹.

Modal Kapasite Diyagramı ile Deprem Tasarım Spektrumu birlikte çizilir (Şekil 4.6). Bu çizim neticesinde iki farklı durum ortaya çıkmaktadır [2].

1. Durum ($T > T_s$):

Yapı periyodunun (T), spektrum köşe periyodu (T_s) değerinden daha büyük olması durumunda (Şekil 4.6), doğrusal elastik davranışı ifade eden eğri (1), deprem spektrum eğrisini köşe periyodundan daha ileride (4) eğrisi üzerinde A noktasında keser. A noktasından yatay düzleme indirilen dik ile doğrusal elastik olmayan davranış (2), B noktasından itibaren devam etmez ve maksimum spektral yer değiştirme değeri S_{di} tanımlanmış olur. Elde edilen bu nokta aynı zamanda S_{de} değerine de eşit olduğu için spektral yer değiştirme oranı $C_R=1$ olarak alınır.



Şekil 4.6 $T > T_s$ durumu için S_{di} tayini

¹ Bu konuyla ilgili ayrıntılı bilgi 4.10.6'da verilmiştir.

2. Durum ($T < T_s$):

Yapı periyodunun (T), spektrum köşe periyodu (T_s) değerinden daha küçük olması durumunda (Şekil 4.7), doğrusal elastik davranışı simgeleyen eğri(1), deprem spektrum eğrisini köşe periyodundan daha önce (3) eğrisi üzerinde C noktasında kesecektir. Bu durumda 1. Durum'dan farklı olarak doğrudan S_{di} değerine ulaşamaz. Ancak C noktasından indirilen bir dik ile S_{de} değeri tayin edilmiş olur. Spektral yer değiştirme katsayısının 1 den farklı olduğu bu durumda C_R , (4.23) ifadesi ile verilmiştir.

$$C_R = \frac{\mu}{R_y} = \frac{1 + (R_y - 1) \frac{T}{T_s}}{R_y} \quad (4.23)$$

Dayanım azaltma katsayısını ifade eden R_y ise (4.24) eşitliği ile elde edilir.

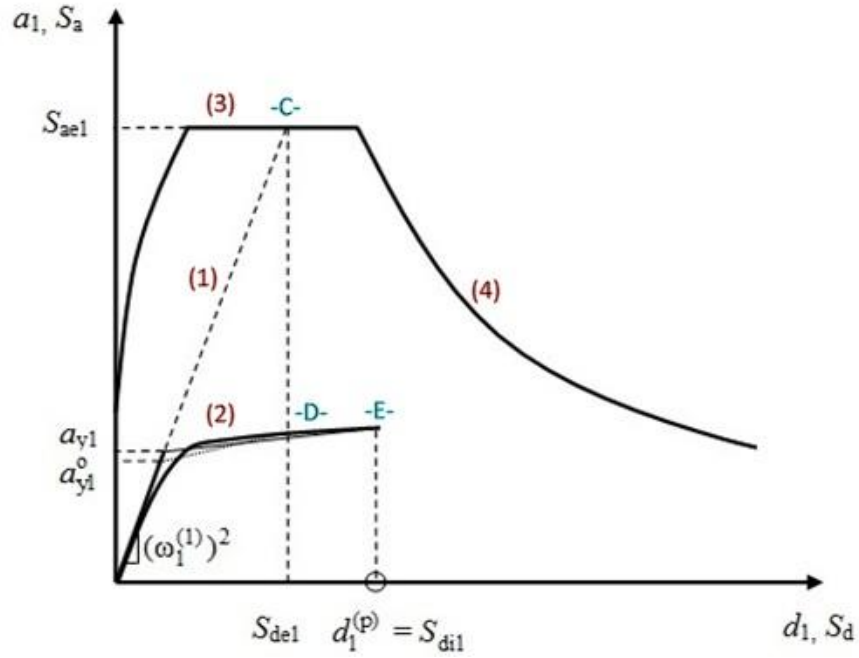
$$R_y = \frac{f_e}{f_y} = \frac{S_{ae}}{a_y} \quad (4.24)$$

Ancak C_R katsayısının elde edilebilmesi için R_y değerine ve yine aynı şekilde a_y değerine ihtiyaç duyulmaktadır. a_y değeri, doğrusal elastik olmayan davranışın başladığı ivme değerini ifade etmektedir.

Bu değer in diyagram üzerinden tahmin edilebilmesi için interpolasyon metodu uygulanır. İlk olarak $C_R=1$ gibi düşünülerek (2) eğrisi D noktasından kesilir ve eğri altında kalan alanlar eşit olacak şekilde a_y^0 değeri şekil üzerinden yaklaşık olarak bulunur.

Daha sonra elde edilen a_y^0 değeri kullanılarak (2) eğrisi E noktasına kadar uzatılarak C_R katsayısı tespit edilir. Ardışık yapılan işlemler sonucunda C_R katsayısı sabit bir değere yaklaştığı görülerek interpolasyon işlemi sonlandırılır ve yapıya ait spektral yer değiştirme oranı C_R belirlenmiş olur.

Elde edilen değer (4.20) ifadesi kullanılarak doğrusal elastik olmayan davranışa ait yer değiştirme değeri S_{di} elde edilir.



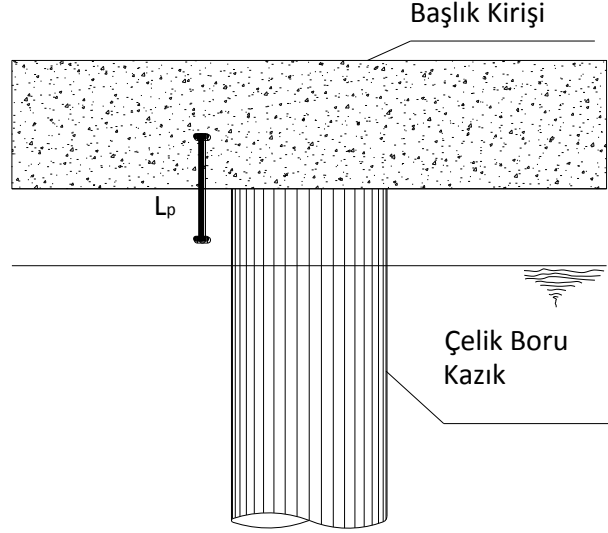
Şekil 4.7 $T < T_s$ durumu için S_{di} tayini

Yapılan işlemler neticesinde, doğrusal elastik olmayan davranışa özgü yer değiştirme ve dayanım değerleri elde edilmiş olur¹.

4.10.2 Tasarım Kabulleri

Eğilme ve eksenel kuvvet etkisi altındaki kazıklarda doğrusal elastik olmayan davranışın idealleştirilmesi için, basit eğilme durumunda "Plastik Mafsal Hipotezi"ne karşı gelen yığılı plastik davranış modeli tercih edilebilir. Bu modelde, çubuk eleman olarak idealleştirilen kiriş, kolon ve perde gibi elemanlardaki iç kuvvetlerin, plastik kapasitelerine eriştiği bölgeler boyunca plastik şekil değiştirmelerin uniform biçimde olduğu kabul edilir. Oysa gerçekte bu bölgelerdeki plastik şekil değiştirmeler düzensizdir ve plastik mafsal boyunun belirlenebilmesi güçtür. Plastik mafsal boyu (Şekil 4.8) olarak adlandırılan plastik şekil değiştirme bölgesinin uzunluğu (L_p), eğilmeye çalışan doğrultudaki kesit boyutu (h)'nın yarısına eşit alınacaktır ($L_p = 0.5h$). Dairesel kesitli kazıklarda eğilmeye çalışan kesit kazık çapına eşit olduğu için plastik mafsal boyu kazık çapının yarısına eşit alınır ($L_p = 0.5D$) [2].

¹ Bu konuyla ilgili ayrıntılı bilgi 4.10.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8 Plastik mafsalsal boyu, L_p

Bir veya iki eksenli eğilme ve aksenal 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 [2].

İç kuvvet-plastik şekil değiştirme bağıntılarında pekleşme etkisi (plastik dönme artışına bağlı olarak yapıda oluşan plastik moment artışı) yaklaşık olarak ihmal edilebilir [2].

Betonarme kazıkların akma öncesi başlangıç rijitlikleri olarak çatlamış kesite ait *etkin eğilme rijitlikleri* $(EI)_e$ kullanılacaktır (4.23) [2].

$$(EI)_e = \frac{M_p}{\phi_y} \quad (4.23)$$

Burada, M_p düşey yükler sebebiyle oluşan aksenal kuvvetler sonunda oluşan plastik moment, ϕ_y ise akma eğriliğini temsil etmektedir [2]. Çatlamış kesit alanı, betonarme kesitin eğilmeye uğramadan önceki tam dolu kesit alanı yerine, eğilme anında oluşan gerilmeler ve çatlamlar sebebiyle beton kesit alanında ortaya çıkan dayanım azalmasını ifade etmektedir. Beton kesitinin tamamı için tanımlanmış bir eğilme rijitliği yerine, daha güvenli olması ve kesit davranışını daha iyi ifade etmesi bakımından, belirli oranda azalmış bir kesit alanı için eğilme rijitliği hesap edilir. Hesap edilen bu rijitlik ise çatlamış kesite ait eğilme rijitliği olarak ifade edilir.

Kazık–zemin etkileşimini temsil eden ayrık zemin yaylarında, doğrusal elastik olmayan “kuvvet - yer değiştirme” ilişkileri göz önüne alınacaktır. Bu doğrultuda, birbirine dik iki yatay doğrultuda (P-y eğrileri), eksenel doğrultuda kazık çeperi boyunca (t-z eğrileri) ve kazık ucunda (Q-z eğrileri) tanımlanacaktır. P-y eğrileri, kazık ile zemin arasında oluşan etkileşimi x ve y doğrultusunda tanımlayan eğrilerdir. Yatay yükler sebebiyle kazığın yapacağı yer değiştirmeye (y) karşılık oluşan kazık çeperinin normal doğrultusundaki kuvvet (P) değerlerini ifade etmektedir. Yine aynı şekilde t-z eğrileri ise, kazık derinliği (z) boyunca değişen ve kazık doğrultusunda oluşan kuvvet değerini (t) temsil etmektedir. Q-z eğrileri ise, sadece kazık ucunda tanımlanıp, kazık uç yüzeyi normalinde oluşan kuvvet – yer değiştirme değerini ifade etmektedir. Numerik modelde bu eğriler doğrusallaştırılıp başlangıç eğimleri kullanılarak kazık – zemin arasındaki doğrusal olmayan davranış tanımlanmış olmaktadır [2].

Doğrusal olmayan itme analizinin başlangıç koşullarını belirlemek üzere kazıklı rıhtım veya iskele sistemi, ilk aşamada öz ağırlık ve gemi bağlama yükünün (baba yükü) yarısının ortak etkisi altında doğrusal olmayan taşıyıcı sistem modeli ile analiz edilecektir. Ancak bu analizde doğrusal olmayan davranışa sadece zeminde izin verilecek, zemin üstündeki kazık boyunca ve kazık-tabliye birleşim bölgesinde plastik mafsall oluşumuna izin verilmeyecektir. Aksi durumda plastik mafsall oluşumu gözlenen kazıkta, çap ve kesit değerleri artırılarak analiz tekrarlanacaktır [2].

4.10.3 Analiz Yöntemleri

Doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin esas amacı, verilen bir deprem etkisi altında sistemde oluşan maksimum yer değiştirmelere ve özellikle maksimum plastik şekil değiştirmelere ilişkin “Deprem İstemi”nin (Seismic Demand) belirlenmesi, daha sonra bu istem değerlerinin, seçilen performans düzeyleri için tanımlanan şekil değiştirme kapasiteleri ile karşılaştırılması ve böylece yapısal performansın değerlendirilmesidir [17].

Deprem etkisi altında kullanılabilecek üç farklı doğrusal olmayan statik analiz yöntemi vardır.

- Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

- Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi
- Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi

4.10.4 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi için İşlem Sırası

“Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi”nin amacı, birinci (deprem doğrultusunda hâkim) titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır [2].

Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her adımında, taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli (kümülatif) değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi, sadece her iki deprem doğrultusunda da tam simetrisi olan düzenli sistemlere uygulanabilir [2]. Aşağıda yöntem için algoritma verilmiştir [17].

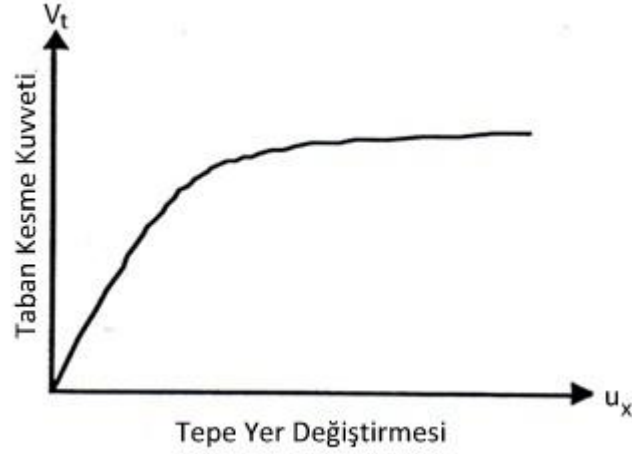
- Yanaşma yapısında her iki deprem doğrultusu için simetri uygunluğu kontrol edilir.
- Şekil değiştirmeye göre tasarım ilkeleri göz önünde bulundurularak yapının sayısal modeli oluşturulur.
- Zemin sınıfı dikkate alınarak deprem tasarım spektrumu belirlenir. Tasarım spektrumu, “Spektral yer değiştirme – Spektral ivme eğrisi”ne dönüştürülür.
- Başlangıç yüklemesi olarak sabit yüklerle baba yüklerinin yarısı için doğrusal olmayan statik analiz (itme analizi) yapılır.
- Başlangıç yüklemesi için analizin bittiği andan itibaren yatay yükler belirli oranda artırılarak her yük artımı için itme analizi tekrarlanır. Her adıma ait yatay yük değerleri ile tabliye yer değiştirmeleri belirlendikten sonra, yer değiştirmeler yatay, yatay yükler düşey ekseninde alınarak kapasite (itme) eğrileri çizilir. İtme analizi yapılarak yapının yatay yük taşıma kapasitesi belirlenir.
- İtme analizi sonucunda elde edilen itme eğrisi eksen değişimi ile modal kapasite eğrisine dönüştürülür.

- Kapasite spektrumu ile modal kapasite eğrisi kesiştirilerek öngörülen deprem etkisi altında yapının performans noktası (yer değıştirme talebi) elde edilir.
- Bu yer değıştirme değeri için itme analizi tekrarlanır.
- Statik itme analizinin hedef yer değıştirme sınırına ulaştığı son adımında elemanlardaki birim şekil değıştirme ve iç kuvvetler bulunur.
- Şekil değıştirme istemleri yönetmelikte tanımlanan şekil değıştirme kapasiteleri ile karşılaştırılarak, kesit düzeyinde taşıyıcı sistem performansı belirlenerek istenen performans hedefinin gerçekleşip gerçekleşmeyeceğı kontrol edilir.

4.10.5 Kapasite Eğrisinin Belirlenmesi

Yapısal kapasite, kapasite eğrisi ile temsil edilir (Şekil 4.9). Yapı; sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yük altında, kesitte ve malzemede elastik ötesi davranış göz önüne alınarak, taşıma kapasitesinin sona erdiği duruma kadar itme analizleri tekrarlanır. Bu analiz sonucunda her yük artımı için yapıda tepe yer değıştirmesi ve taban kesme kuvveti (yatay yük kapasitesi) belirlenerek grafik ortamda çizilecek olursa kapasite eğrisi elde edilmiş olur [17].

Kapasite eğrisinde eğimin değıştiğı her nokta yapıda hasar gören yani plastikleşen kesite karşı gelmektedir (plastik mafsal). Analizin sona erdiği nokta ise tüm taşıyıcı kesitlerde plastik mafsal oluştuğı ve yapı sisteminin göçme durumuna geldiğı anı işaret eder. Bu bağlamda, kapasite eğrisinin izlenmesi sistemin adım adım mekanizma durumuna nasıl ulaştığının belirlenmesi ve her adımda hasar gören kesitlerdeki kapasite değğerlerinin (yük-yer değıştirme) elde edilmesi açısından oldukça önemlidir [17].



Şekil 4.9 Kapasite eğrisi [17]

4.10.6 Statik İtme Eğrisinin Modal Kapasite Eğrisine Dönüştürölmesi

Statik itme eğrisi, deprem talep eğrisi ile kesiştirilebilmesi için eksen değişimine tabi tutularak modal kapasite eğrisine dönüştürölür. (4.26) ve (4.27) eşitlikleri kullanılarak; $V_{x,1}$ toplam deprem yükü, a_1 modal ivmeye ve u_x en üst katın (tabliyenin) yer değiştirmesi, d_1 modal yer değiştirmeye dönüştürölür (Şekil 4.10) [2].

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x,1}^{(i)}}{M_{x,1}} \quad (4.26)$$

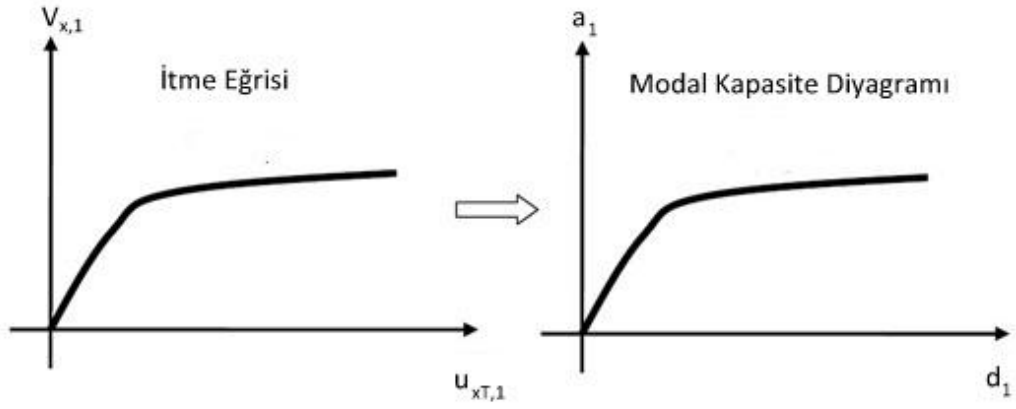
$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xT,1}^{(i)}}{\Phi_{xT,1} \Gamma_{x,1}} \quad (4.27)$$

Birinci moda ait modal katkı çarpanı $\Gamma_{x,1}$ ve 1. modal kütle $M_{x,1}$ (4.28) ve (4.29) kullanılarak elde edilebilir [2].

$$\Gamma_{x,1} = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{i1})}{\sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{i1}^2)} \right] \quad (4.28)$$

$$M_1 = \left[\frac{(\sum_{i=1}^N m_i \Phi_{i1})^2}{\sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{i1}^2)} \right] \quad (4.29)$$

Burada m_i i'inci serbestlik derecesine ait kütle, Φ_i ise i'inci serbestlik derecesinin hâkim (birinci) mod şekil genliğini ifade etmektedir [2].

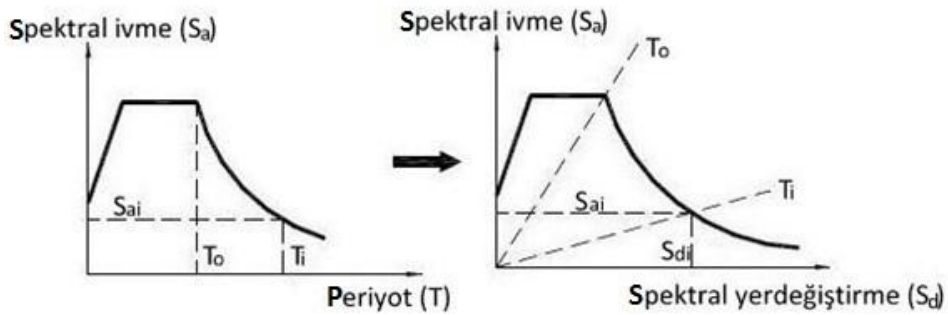


Şekil 4.10 Statik itme eğrisinin modal kapasite eğrisine dönüştürülmesi [2]

4.10.7 Deprem Talep Eğrisi Eksen Değişimi

Kapasite spektrumu ile aynı eksen takımı üzerinde gösterilebilmesi için, DLH (2008)'e göre elde edilen elastik istem spektrumunun da "spektral ivme – spektral yer değiştirme" formatına dönüştürülmesi gerekir (Şekil 4.11). Bunun için, spektral ivme S_a ile spektral yer değiştirme S_d arasındaki (4.30) bağıntısından yararlanılır. T ise yapının hâkim doğal titreşim periyodunu ifade etmektedir.

$$S_d = S_a \frac{T^2}{4\pi^2} \quad (4.30)$$



Şekil 4.11 Deprem talep eğrisi eksen değişimi [17]

4.10.8 Hedef Yer Değiştirme Sınırı Tayini

İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı ile birlikte, elastik davranış spektrumu göz önüne alınarak, birinci (hâkim) moda ait maksimum modal yer değiştirme, diğer deyişle modal yer değiştirme istemi hesaplanacaktır. (4.31) eşitliği ile

verilen modal yer değıştirme istemi $d_1^{(p)}$, doğrusal elastik olmayan spektral yer değıştirme $S_{di,1}$ 'e eşittir [2].

$$d_1^{(p)} = S_{di,1} \quad (4.31)$$

Doğrusal elastik olmayan spektral yer değıştirme $S_{di,1}$, itme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hâkim) moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşılık gelen doğrusal elastik spektral yer değıştirme S_{de1} 'e bağlı olarak (4.32) ile elde edilir [2].

$$S_{di,1} = C_{R1} S_{de1} \quad (4.32)$$

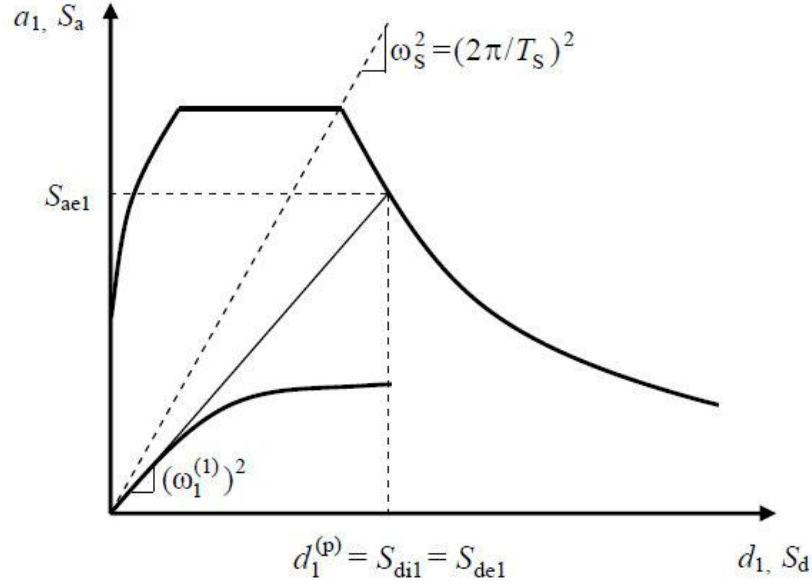
Doğrusal elastik spektral yer değıştirme S_{de1} , itme analizinin ilk adımında birinci moda ait elastik spektral ivme S_{ae1} 'den (4.33) eşitliği ile hesaplanır [2].

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (4.33)$$

Spektral yer değıştirme oranı C_{R1} , başlangıç periyodu $T_1^{(1)}$ 'in değerine ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$) bağlı olarak belirlenir [2].

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki köşe periyodu T_s 'ye eşit veya daha uzun olması durumunda ($T_1^{(1)} \geq T_s$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 \leq \omega_s^2$), eşit yer değıştirme kuralı uyarınca C_{R1} katsayısı 1 olarak alınır. Böylece doğrusal elastik olmayan spektral yer değıştirme $S_{di,1}$, doğal periyodu $T_1^{(1)}$ olan eşlenik doğrusal elastik sisteme ait doğrusal elastik spektral yer değıştirme S_{de1} 'e eşit olur [2].

$T_1^{(1)} \geq T_s$ durumu için, modal kapasite diyagramı ile koordinatları spektral yer değıştirme (S_d) - spektral ivme (S_a) olan davranış spektrumu Şekil 4.12'te bir arada çizilmiştir [2].



Şekil 4.12 $T_1^{(1)} \geq T_s$ durumu [2]

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, ivme spektrumundaki köşe periyodu T_s 'den daha kısa olması durumunda ($T_1^{(1)} < T_s$ veya $(\omega_1^{(1)})^2 > \omega_s^2$), spektral yer değiştirme oranı C_{R1} ardışık yaklaşımla aşağıdaki gibi hesaplanacaktır [2].

- İtme analizi sonucunda elde edilen modal kapasite diyagramı, Şekil 4.13 (a)'da gösterildiği üzere, yaklaşık olarak iki doğrulu (bi-lineer) bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki (i=1) doğrunun eğimi olan birinci moda ait değere, $(\omega_1^{(1)})^2$, eşit alınır. ($T_1^{(1)} = 2\pi / \omega_1^{(1)}$).
- Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1} = 1$ kabulü yapılarak, eşdeğer akma noktası'nın koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir. Şekil 4.13 (a)'da görülen a_{y1}^o esas alınarak C_{R1} (4.34) ifadesi ile tanımlanır.

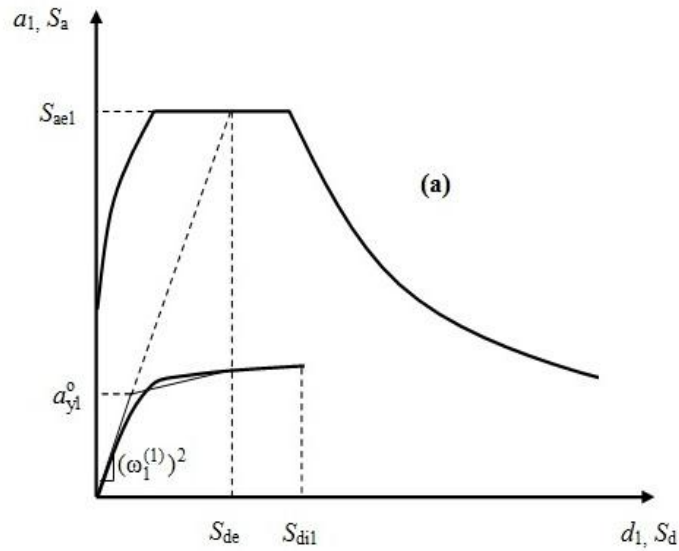
$$C_R = \frac{\mu}{R_y} = \frac{1 + (R_y - 1) \frac{T}{T_s}}{R_y} \quad (4.34)$$

Bu bağıntıda R_{y1} birinci moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir ve (4.35) ifadesi kullanılarak hesaplanır.

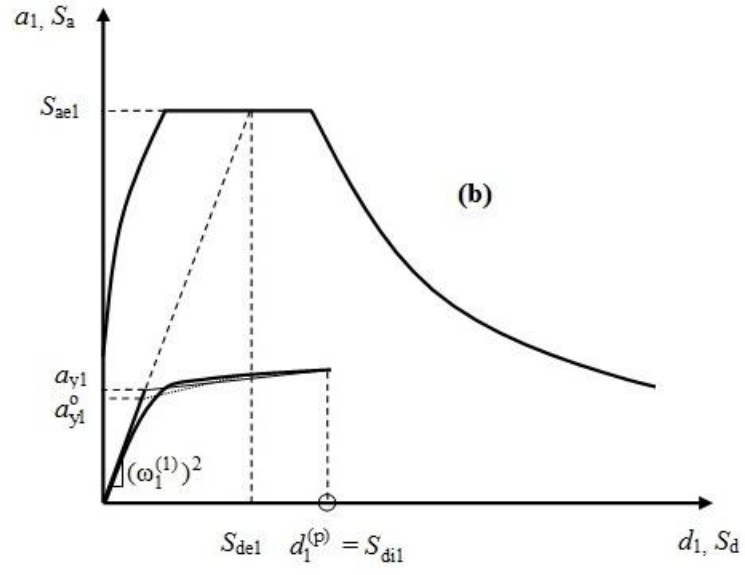
$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (4.35)$$

- (4.29)'de bulunan C_{R1} kullanılarak (4.27)'e göre hesaplanan S_{di1} esas alınarak "eşdeğer akma noktası"nın koordinatları, Şekil 4.14(b)'de gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir ve bunlara göre a_{y1} , R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.
- Hedef spektral yer değiştirme değeri $d_{1(p)}$ bulunduktan sonra denklem (4.36) ile tepe noktası yer değiştirme istemi $u_{xT,1}$ elde edilir. Bu yer değiştirme istemi için itme analizi tekrarlanarak eleman kesitlerinde oluşan hasar dağılımları tespit edilir.

$$u_{xT,1}^{(p)} = \Phi_{xT,1} \Gamma_{x,1} a_1^{(p)} \quad (4.36)$$



Şekil 4.13 $T_1^{(1)} < T_s$ durumu; 1. Adım (a) [2]



Şekil 4.14 $T_1^{(1)} < T_s$ durumu; 2. adım (b) [2]

BÖLÜM 5

TASARIM

Kazık destekli bir iskele yapısının, yapısal olarak tasarımına geçmeden önce bu yapının ticari hizmet sahası ve karşılaşması beklenen görev doğru bir şekilde planlanmalıdır. Bu ise, iskelenin yer alacağı liman bölgesi hakkında geniş, kapsamlı ve özenle yapılmış bir çalışmayı gerektirmektedir. Tasarımı planlanan iskele, özelde bir veya birkaç terminali bünyesinde bulundursa bile genelde liman alanının temelini oluşturmaktadır. Bu kapsamda Liman Planlaması ile ilgili temel bilgilerin edinilmesi gerekmektedir.

5.1 Liman Planlaması

Liman Planlaması disiplinler arası bir aktivitedir. Dolayısıyla mühendislik, ulaştırma ekonomisi, denizcilik, emniyet ve lojistik gibi konularla ilgili uzmanlık gerektirmektedir. Ayrıca dalga ve akıntı bilgisi, katı madde taşınımı, kıyı morfolojisi, tarama-doldurma ve dalgakıran ile rıhtım tasarımını içeren temel kıyı mühendisliği bilgilerini de gerektirmektedir. Bu nedenle liman planlaması bir takım işidir. Çoğu liman planlayıcıları kıyı ve liman mühendisliğinde eğitim ve deneyim sahibi olan inşaat mühendisleridir. Ancak liman planlayıcısı bunlara ilave olarak şu iki niteliğe de sahip olmalıdır; liman planlamasının diğer disiplinlerle ilgili olduğunun bilincinde olmak ve yaratıcılık [12].

5.2 Projelendirme Esasları

iskele yapılarının tasarımı geniş kapsamlı bir çalıştırmayı gerektirmektedir. Yapımı planlanan iskele tipinin ve konumunun belirlenebilmesi için detaylı bir zemin etüdü, taban batimetrisi ve dalga iklimi çalışması yapılmalıdır. Batimetrik değerler ve zemin

dayanım bilgileri, yapının kazıklı bir sistem olabilmesi için bazı ön koşullar getirmektedir. Bu noktada en önemli husus, ağırlık tipi bir yanaşma yapısı için gerekli olan sağlam zemin tabakalarına rahatlıkla ulaşamıyor olmasıdır. Sağlam zemin tabakalarına ulaşmanın kolay olmadığı, kazık çakımına uygun özellikte ve derin su özelliğine sahip bölgelerde ise Kazık Destekli Yanaşma Yapıları tercih edilmektedir.

Ayrıca dalga hareketlerinin etkili ve zemin şartlarının olumsuz olduğu kesimlerde iskeleleri kazıklar üzerinde inşa etmenin en uygun çözüm olduğu bildirilmiştir [21]. Bu kapsamda izlenecek projelendirme esasları Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

5.2.1 Tasarım Gemisi

Tasarımı yapılan kazık destekli yanaşma yapısının hangi ticari hizmet için kullanılacağı yani terminal tipinin belirlenmesi gerekmektedir. Terminal tipi, iskelenin hizmet edeceği tasarım gemisi ve elleçlenecek yük tipine göre belirlenmektedir.

Limanlarla ilgili deniz yapılarının planlama ve tasarımında, tasarım gemisinin doğru tanımlanması ve son derece kritik bir noktadır. Gemi boyutları ve özellikleri (Şekil 5.2), gemiye servis verecek olan tesislerin uygun bir şekilde planlanmasına bir anahtar oluşturmaktadır. *Tasarım gemisi* gerçek bir gemi ya da birkaç gemi özelliklerinin bir birleşimi olabilmektedir. Tasarım gemisinin özellikleri ve boyutları denizcilikte gelecekteki gelişmelerle ilgili tahminlere dayanmalıdır [12].

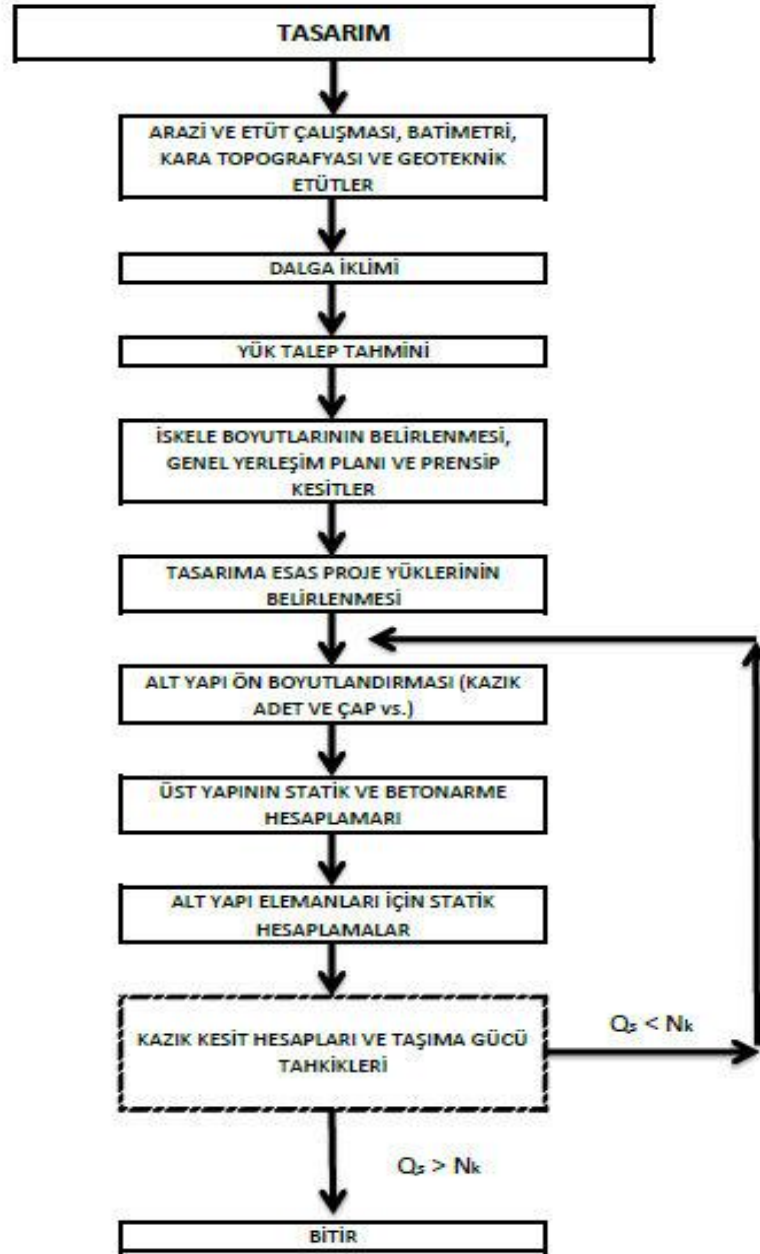
Bu durum göz önüne alınarak, tasarım gemisi boyutlarının belirlenmesinde; gerçek boyutlar mevcut ise bu gerçek değerler, gerçek boyutlar yok ise istatistiksel veriler kullanılarak hesaplanan değerler kullanılır [22].

Gemi boyutlarını karakteristik boyutlar ve gemi tonaj ölçüleri olmak üzere iki grupta inceleyebiliriz [22].

5.2.1.1 Karakteristik Boyutlar

- L_{OA} : Geminin toplam boyu (m)
- L_{BP} : Gemi boyu [geminin su kesimindeki boyu] (m)
- B : Gemi gövdesinin en geniş yerinin ölçüsü [Breadth] (m)

- D : Tamamen dolu olduğunda ortalama su çekimi [Draft] (m)
- D_s : Geminin toplam yüksekliği



Şekil 5.1 Projelendirme esasları akış şeması [21]

5.2.1.2 Gemi tonaj ölçüleri

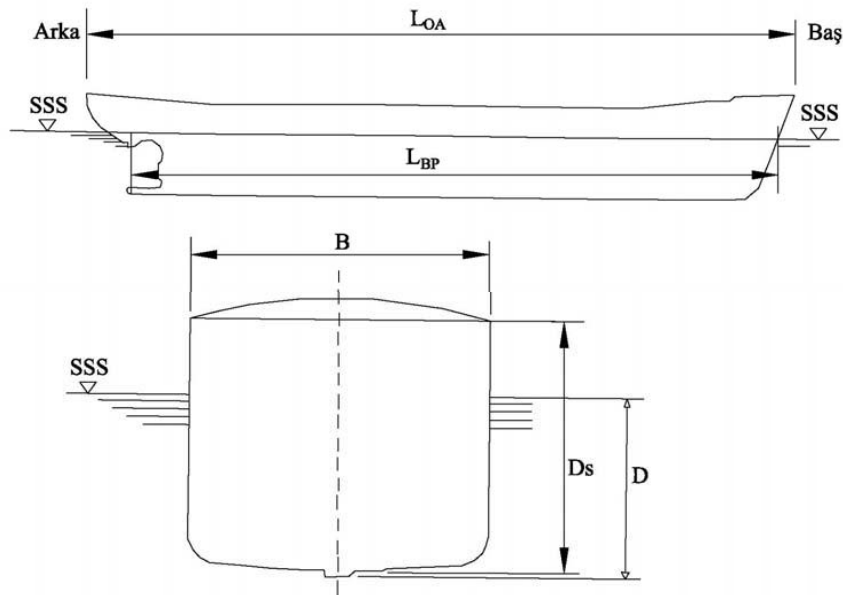
- Gros Tonaj (Gross Tonnage, GT) : Bir geminin hacim kapasitesinin 100 ft^3 (2.83 m^3) cinsinden ölçüsü olup, geminin bütün kapalı alanlarını kapsar.

- Ölü Ağırlık Tonajı (Dead Weight Tonnage, DWT) : Taşınan kargonun gerçek ağırlığı veya geminin yüksüzken yer değiştirdiği su ile yüklüken yer değiştirdiği su miktarı arasındaki farktır.
- Yer Değiştirme Tonajı (Displacement Tonnage, DT) : Geminin dolu olarak yüzerken taşıdığı toplam suyun ağırlığıdır.

Ölü Ağırlık Tonajı (DWT) ile Gros Tonaj (GT) arasındaki ilişkiler için Çizelge 5.1'den yararlanılabilir.

Çizelge 5.1 Ölü ağırlık tonajı ve gros tonaj arasındaki ilişki [23]

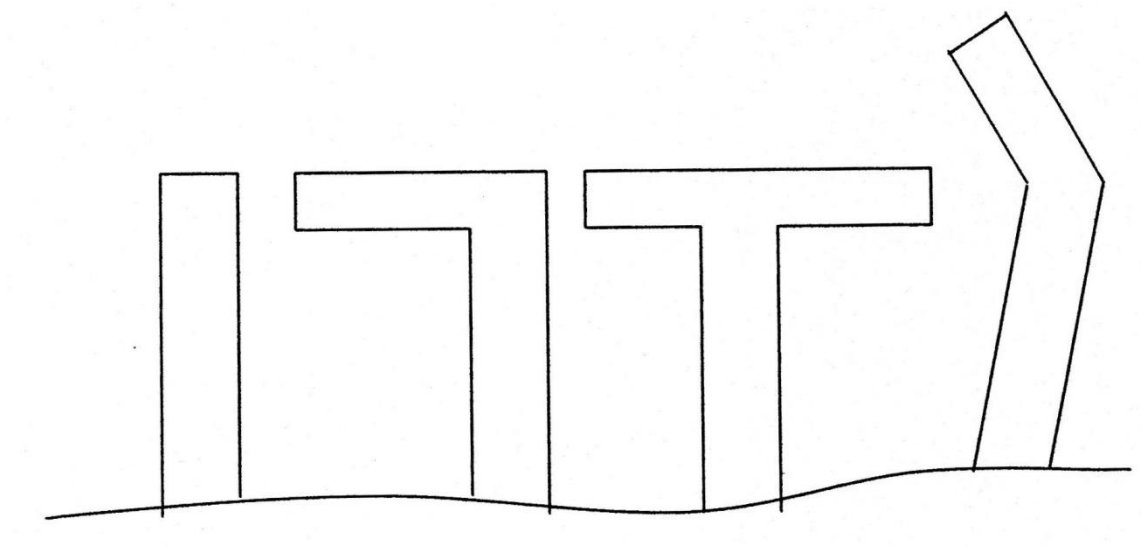
Yük (kargo) Gemileri	GT = 0.541 DWT
Konteyner Gemileri	GT = 0.880 DWT
Tankerler	GT = 0.553 DWT
Ro-Ro Gemileri	GT = 0.808 DWT
GT: Gros Tonajı	DWT: Ölü Ağırlık Tonajı



Şekil 5.2 Gemi boyutları ve ilgili tanımlar [23]

5.2.2 Konumlandırma

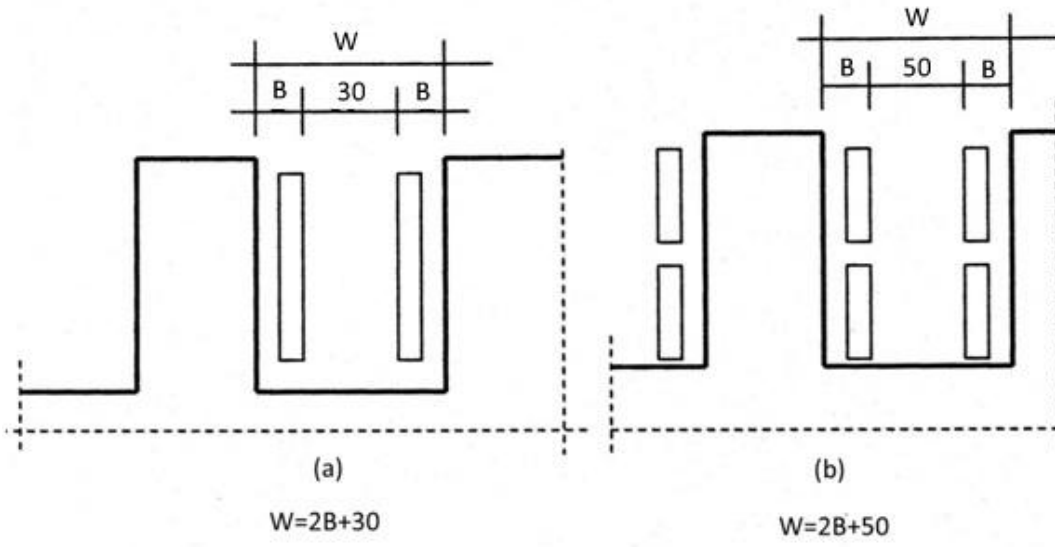
Tasarım gemisi ve kullanım amacı tayin edildikten sonra yanaşma yapısının konumlandırılma işlemine geçilmektedir. Daha önce de bahsedildiği gibi coğrafi özellikler ve dalga iklimi bu aşamada en önemli etkindir. Yapı önündeki su derinliğinin ve yapının maruz kalacağı hâkim rüzgâr yönü ve dalga etkileri dikkatlice incelenmelidir. Yanaşacak gemilerin rüzgârı büyük yüzey alanlarının olduğu iskele ve sancak bölgelerinden değil, rüzgâr kuvvetlerinin en az etkilediği baş veya kıç bölgelerinden alması sağlanmalıdır. Bunun yanı sıra, dalga geliş açısı için de yine aynı şartlar göz önünde tutulmalıdır. Bu durumlar dikkate alınarak farklı ihtiyaç tiplerine göre farklı geometride iskeleler planlanırlar (Şekil 5.3).



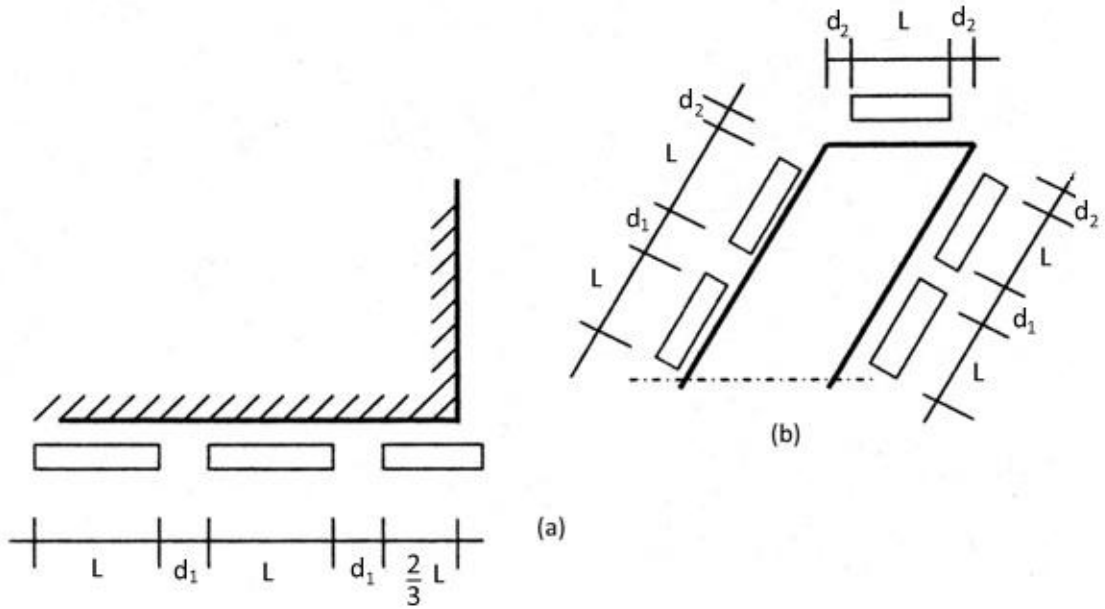
Şekil 5.3 Değişik iskele planları

5.2.3 Ön Boyutlarının Belirlenmesi

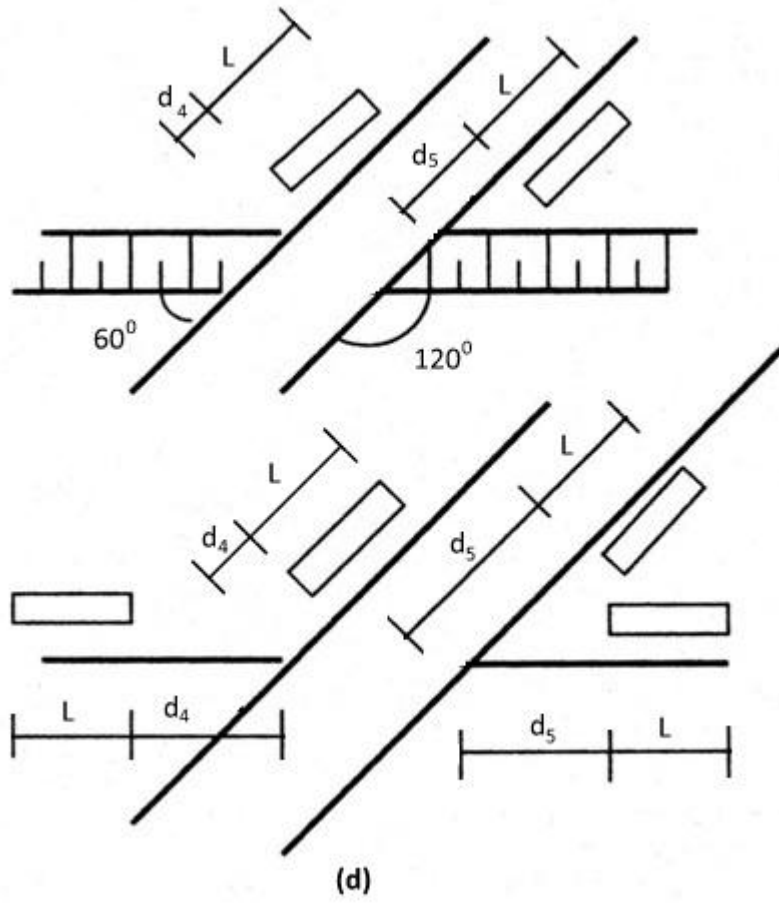
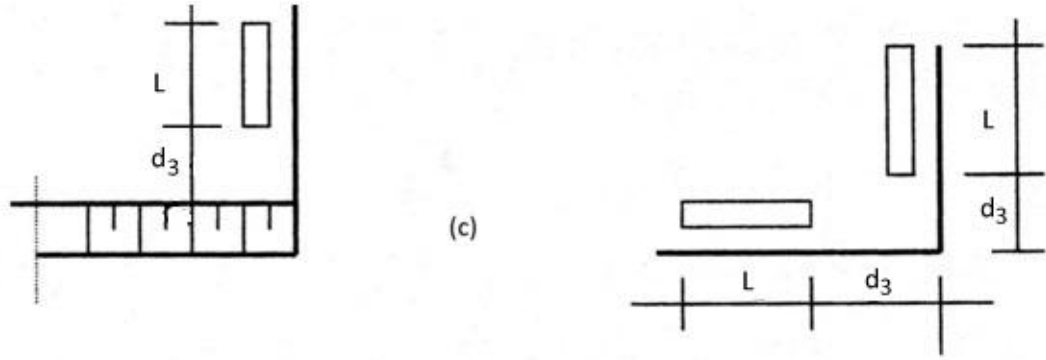
İskele ve rıhtımların ön boyutlandırılmasında, daha önceden yapılmış zemin etüdü ve batimetri çalışmalarının sonrasında, liman içinde gemilerin güvenli şekilde seyir ve yanaşma yapabilmesi içinde iskele ve rıhtımlar arasında belirlenmiş mesafeler bulunmaktadır. Bu mesafeler, belirlenen *tasarım gemisi* boyutları ile doğrudan ilişkilidir. B, en büyük gemi genişliğini; W, en küçük iskele arası mesafeyi göstermek üzere, çift yanaşma (a) ve dörtlü yanaşma (b) durumları Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Ayrıca L, gemi boyunu ve d_1, d_2, d_3, d_4, d_5 gemi arası mesafeleri göstermek üzere Çizelge 5.2'deki iskele boyutları Şekil 5.5 (a),(b),(c) ve (d)'de gösterilmiştir.



Şekil 5.4 İkili ve dörtlü yanaşma durumundaki iskele yerleşimleri [21]



Şekil 5.5 Gemi uzunluğuna bağlı iskele boyutları (a), (b), (c) ve (d) [21]



Şekil 5.5 Gemi uzunluğuna bağlı iskele boyutları (a), (b), (c) ve (d) [21] (devam)

Çizelge 5.2 Gemi uzunluğuna bağlı iskele boyutları [21]

	Ortalama Gemi Uzunluğu (m)			
	> 200	200 - 150	149 - 100	< 100
d₁	25	20	15	10
d₂	10	7	5	3
d₃	30	25	20	15
d₄	20	15	15	10
d₅	50	40	30	

Bölüm 5.2.1’de verilen tasarım gemisi ölçüleri ve özellikleri dikkate alınarak yanaşma yerlerinin ön tasarımında kullanılabilecek boyutlar belirlenmiştir. Bu boyutlar; sırasıyla Çizelge 5.3’te Yük gemileri, Konteyner gemileri, Yolcu gemileri ve Tankerler için verilmiştir.

Çizelge 5.3 Başlıca gemi boyutlarına göre yanaşma yeri boyutları [23]

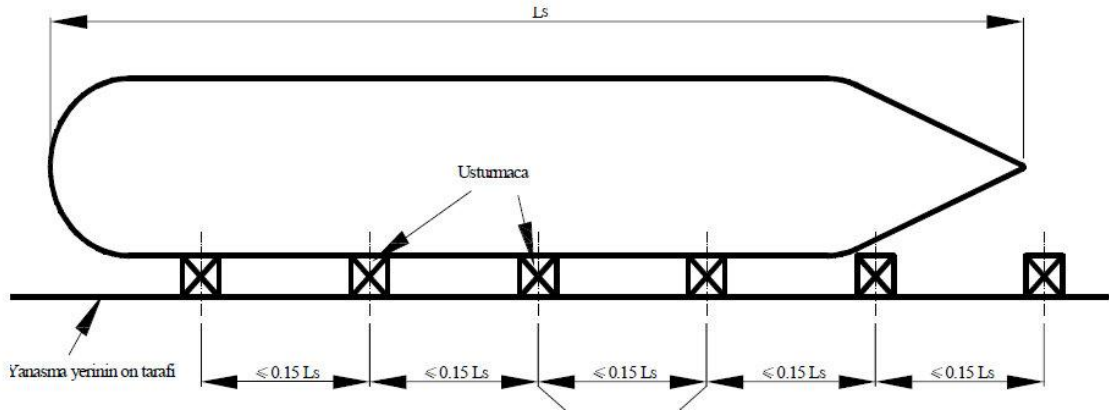
Yük Gemileri		
Gemi Tonajı (DWT)	Yanaşma Yeri Uzunluğu (m)	Yanaşma Yeri Derinliği (m)
1000	80	4.5
2000	100	5.5
3000	110	6.5
5000	130	7.5
10000	160	9.0
12000	170	10.0
18000	190	11.0
30000	240	12.0
40000	260	13.0
55000	280	14.0
70000	300	15.0
90000	320	16.0
100000	330	17.0
150000	370	19.0

Çizelge 5.3 Başlıca gemi boyutlarına göre yanaşma yeri boyutları [23] (devam)

Konteyner Gemileri		
Gemi Tonajı (DWT)	Yanaşma Yeri Uzunluğu (m)	Yanaşma Yeri Derinliği (m)
30000	250	12.0
40000	300	13.0
50000	330	14.0
60000	350	15.0
Yolcu Gemileri		
Gemi Tonajı (GT)	Yanaşma Yeri Uzunluğu (m)	Yanaşma Yeri Derinliği (m)
20000	220	9.0
30000	260	9.0
50000	310	9.0
70000	340	9.0
Tankerler		
Gemi Tonajı (DWT)	Yanaşma Yeri Uzunluğu (m)	Yanaşma Yeri Derinliği (m)
1000	80	4.5
2000	100	5.5
3000	110	6.5
5000	130	7.5
10000	170	9.0
15000	190	10.0
20000	210	11.0
30000	230	12.0
50000	270	14.0
70000	300	16.0
90000	300	17.0

Gemilerin yanaşma esnasında yanaşma yapılarına zarar vermemeleri ve aynı şekilde zarar görmemeleri için darbenin söndürülmesinde kullanılan usturmaçaların yanaşma yapısına konumlandırılmaları gerekmektedir. Rihtımlar için usturmaça aralığı,

L_s rıhtıma yanaşacak en küçük gemi boyunu göstermek üzere, $0.15L_s$ olarak belirlenmiş ve Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Sürekli rıhtımlarda usturma düzeni [22]

Yanaşma yapılarının kullanım amacına ve yapı tipine göre değişim göstermekle beraber ön tasarım için kullanılabilecek apron genişlik değerleri yanaşma yeri su derinliğine bağlı olarak Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 Apron genişliği standart değerleri [23]

Yanaşma Yeri Su Derinliği (m)	Apron Genişliği (m)
< 4.5	10
4.5 - 7.5	15
> 7.5	20

5.2.4 Tasarımda Dikkate Alınacak Yükler

Kazık destekli yanaşma yapıları farklı özelliklerde ve doğrultularda yüklere maruz kalmaktadırlar. Kazık ve üst yapıların tasarımı için bu yüklerin özenli şekilde belirlenmesi ve yapı davranışa etkilerinin detaylıca incelenmesi gerekmektedir.

Deniz yapıları olmaları sebebiyle, dalga yüklerinin tayin edilmesi büyük önem arz ettiği için deniz ortamının düzensizliği ile dalga etkilerinin değişkenliği doğru bir şekilde analiz edilmelidir. Bunun yanı sıra yanaşma yapılarına etkiyen en önemli yatay yüklerden birisi de gemi yanaşma ve bağlama yükleridir. Yanaşma ve bağlanma esnasında oluşma ihtimali olan gemi çarpma kuvveti ise nadir ama ivmesi yüksek bir dinamik kuvvettir.

Büyük ölçekli ticaret alanları olan limanlarda oluşan yük trafiği ve bu yüklerin elleçlenmesi için konumlandırılmış ekipmanların sebep olduğu trafik yükleri ise hareketli düşey yüklerdendir.

5.2.4.1 Sabit yükler

Betonarme döşeme ve kiriş elemanların kendi öz ağırlıkları ile birlikte varsa vinç ve demiryolu rayları, borular, tesisat vb. sabit ağırlıkların tamamını oluşturur. Hesaplara esas teşkil edecek üst yapı malzeme birim hacim ağırlıkları Çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 Çeşitli yapı malzemelerinin hesap ağırlıkları [21]

Malzeme	Hesap Ağırlıkları (t/m ³)	
	Su üstünde	Su altında
Beton	2.30	1.30
Betonarme	2.40	1.40
Betonarme (Vibre edilmiş)	2.50	1.50
Çelik	7.85	6.85
Kum	1.80	1.00
Çakıl	1.70	1.00
Taş Dolgu	1.80	1.10
Ocak Artığı	1.80	1.00

5.2.4.2 Hareketli Yükler

İskele ve rıhtım üzerinde hareket eden elleçleme ekipmanları, kara ve demiryolu vasıtaları gibi hareketli araç yükleri ve yayılı yüklerdir.

Düzgün Yayılı Yükler

İskele ve rıhtımın hizmet amacı ve işletme anındaki şartlar göz önünde bulundurularak Çizelge 5.6'daki yayılı yükler hesaplarda dikkate alınır.

Çizelge 5.6 İskele ve rıhtımlarda düzgün yayılı yükler [21]

Yanaşma Yeri	Düzgün Yayılı Yük (t/m ²)
Yolcu Rıhtımı ve İskelesi	1.00
Motor Rıhtımı ve İskelesi	1.50
Feribot ve Parça Eşya Rıhtımı ve İskelesi	2.00
Konteyner Rıhtımı ve İskelesi	2.50
Cevher Rıhtımı ve İskelesi	3.00 – 4.00
Ağır Yük Rıhtımı ve İskelesi	5.00

Ek Düzgün Yayılı Yükleri

Karayolu ile taşıma yapılan yanaşma tesislerinde iskele üzerindeki kamyon yüklerini belirleyebilmek için Karayolları Genel Müdürlüğü Karayolu Teknik Şartnamesi'nde verilen kamyon yükleri alınır [21]:

- H₃₀ – S₂₄ tipi kamyon için 300 kN
- H₂₀ – S₁₆ tipi kamyon için 200 kN
- H₁₅ – S₁₂ tipi kamyon için 150 kN
- H₁₀ tipi kamyon için 100 kN

5.2.4.3 Gemi Bağlama Kuvveti

Gemi bağlama kuvveti, geminin iskeledeki babalara bağlanması sebebiyle iskeleye aktarılan yüklerdir. Bu yüklerin tespitinde detaylı bir çalışma ve modelleme yapılırsa, gemiye tesir eden akıntı ve rüzgâr yükleri ile bağlanma şekli önemli rol oynamaktadır. Ancak ön tasarım aşamasında kullanılacak olan yaklaşık bağlama kuvvetleri Çizelge 5.7'de verilmiştir.

Çizelge 5.7 Gemilerin bağlanma kuvvetleri [23]

Gros Tonajı (GT)	Babaya Etki Eden Bağlama Kuvveti (kN)
200 < GT < 500	150
500 < GT < 1000	250
1000 < GT < 2000	250
2000 < GT < 3000	350
3000 < GT < 5000	350
5000 < GT < 10000	500
10000 < GT < 20000	700
20000 < GT < 50000	1000
50000 < GT < 100000	1000

Baba aralıklarının belirlenmesinde detaylı bir çalışma yapılmadığı müddetçe 20000 DT den daha küçük olan gemilerde 15 m ile 30 m arasında değerler alınabilir [22]. Bu değerden daha büyük gemilerde ise özel ve ayrıntılı hesap yapılmalıdır. Ayrıca rıhtımlarda kullanılacak babalar için Çizelge 5.8’de verilen baba aralık ve sayıları kullanılabilir.

Çizelge 5.8 Rıhtımlar için baba aralık ve sayıları [22]

GT	En Büyük Baba Aralığı (m)	Birim yanaşma Yeri için En Düşük Baba Sayısı
GT < 2000	10-15	4
2000 < GT < 5000	20	6
5000 < GT < 20000	25	6
20000 < GT < 50000	35	8
50000 < GT < 100000	45	8

5.2.4.4 Rüzgar Kuvvetleri

Gemiye etkiyen rüzgâr kuvvetleri, enine rüzgâr kuvvetleri ve boyuna rüzgâr kuvvetleri olmak üzere iki kısımda incelenir [22].

Enine rüzgar kuvveti (F_{TW}) eşitlik (5.1) ile boyuna rüzgar kuvveti (F_{LW}) ise eşitlik (5.2) ile verilmiştir[birimi kN].

$$F_{TW} = C_{TW} \rho_A A_L U_w^2 \times 10^{-4} \quad (5.1)$$

$$F_{LW} = C_{LW} \rho_A A_L U_w^2 \times 10^{-4} \quad (5.2)$$

Burada C_{TW} ve C_{LW} enine ve boyuna rüzgar kuvveti katsayılarını (rüzgar geliş açısı θ ve gemi özelliklerine bağlıdır), ρ_A havanın özgül kütlesini (kg/m^3), A_L geminin su çizgisi üzerindeki boyuna iz düşüm alanını (m^2) ve U_w su seviyesinden 10 m yükseklikteki tasarım rüzgar hızını (m/s) ifade etmektedir [22]. Hesaplarda kullanılacak katsayıların tayini için gerekli şekiller Ek A'da tanımlanmıştır. Rüzgar kuvveti katsayıları Şekil A.1, Şekil A.2 ve Şekil A.3'te, gemiye ait iz düşüm alanı ise Şekil A.4 ve Şekil A.5'te verilmiştir.

5.2.4.5 Akıntı Kuvvetleri

Gemiye etki eden akıntı kuvvetleri (5.3) ve (5.4) eşitliklerinde verilmiştir [22].

$$F_{TC} = C_{TC} C_{CT} \rho L_{BP} d_m (V_c^2) \times 10^{-4} \quad (5.3)$$

$$F_{LC} = C_{LC} C_{CL} \rho L_{BP} D (V_c^2) \times 10^{-4} \quad (5.4)$$

Burada, F_{TC} ve F_{LC} enine ve boyuna yöndeki akıntı kuvvetlerini (kN), ρ suyun özgül kütlesini (kg/m^3), L_{BP} gemi uzunluğunu (m), d_m su derinliğini (m), D geminin tamamen dolu iken ortalama su çekimini (m), V_c ortalama akıntı hızını (m/s) ifade etmektedir. Ayrıca C_{TC} ve C_{LC} sırasıyla enine ve boyuna yönde akıntı direnç katsayısını, C_{CT} ve C_{CL} ise enine ve boyuna yönde akıntı kuvvetleri için derinlik düzeltme faktörlerini vermektedir [22]. Hesaplarda kullanılacak katsayıların tayini için gerekli şekiller Ek A'da tanımlanmıştır. Akıntı kuvveti ve derinlik düzeltme katsayıları Şekil A.6, Şekil A.7, Şekil A.8 ve Şekil A.9'da verilmiştir.

5.2.4.6 Gemi Çarpma Kuvveti

Gemi yanaşması esnasında ortaya çıkan çarpma kuvveti, gemi yanaşma enerjisinin hesaplanması ile bulunur [22]. Gemi yanaşma enerjisi (5.5) eşitliği ile gösterilmiştir.

$$E_f = \left[\frac{M_s V^2}{2} \right] C_e C_m C_s C_c \quad (5.5)$$

Burada E_f , gemi yanaşma enerjisini (kNm), M_s gemi kütlesini (t), V ise gemi yanaşma hızını (m/s) ifade etmektedir. Gemi yanaşma enerjisi bunların yanı sıra geminin yanaşma anındaki dış merkezlik faktörüne C_e , hidrodinamik atalet katsayısına C_m , esneklik faktörüne C_s ve yanaşma şekil faktörüne C_c bağlıdır [22].

M_s ile verilen gemi kütlesi, tasarım gemisinin yüklü deplasman tonajını ifade etmektedir. Yüklü deplasman tonajı gemi tam doluyken yer değiştirdiği su kütlesini tanımlamaktadır [22]. Bu kütlenin tespit edilebilmesi için, Çizelge 5.9'da verilen yer değiştirme tonajı (DT) ile ölü ağırlık tonajı (DWT)/gros tonajı (GT) arasındaki logaritmik ilişkiden yararlanılabilir.

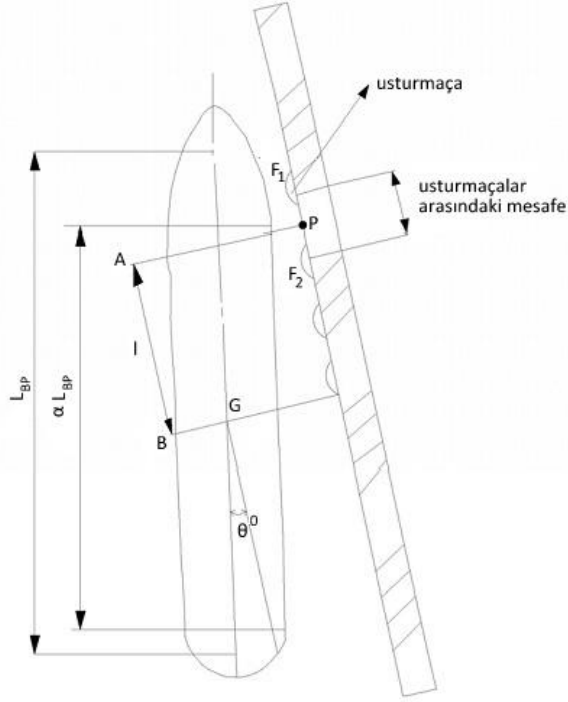
Çizelge 5.9 Gemilerin deplasman tonajı (DT) ile ölü ağırlık tonajı (DWT) / gros tonajı (GT) arasındaki ilişki [23]

Yük Gemileri: < 10000 DWT	$\log(DT) = 0.550 + 0.899 \log(DWT)$
Yük Gemileri: > 10000 DWT	$\log(DT) = 0.511 + 0.913 \log(DWT)$
Konteyner Gemileri	$\log(DT) = 0.365 + 0.953 \log(DWT)$
Feribotlar (uzun mesafe)	$\log(DT) = 1.388 + 0.683 \log(GT)$
Feribotlar (kısa ve orta mesafe)	$\log(DT) = 0.506 + 0.904 \log(GT)$
Ro-Ro Gemileri	$\log(DT) = 0.657 + 0.909 \log(DWT)$
Yolcu Gemileri (Japonya)	$\log(DT) = 0.026 + 0.981 \log(GT)$
Yolcu Gemileri (Yabancı)	$\log(DT) = 0.341 + 0.891 \log(GT)$
Otomobil Taşıyıcısı	$\log(DT) = 1.915 + 0.588 \log(GT)$
Yağ Tankerleri	$\log(DT) = 0.332 + 0.956 \log(DWT)$

C_e dış merkezlik (eksantrisite) faktörü (5.6) ifadesi yardımıyla bulunur [23].

$$C_e = \frac{1}{1 + \left(\frac{l}{r}\right)^2} \quad (5.6)$$

Burada l , geminin iskelele yaslama noktası (P) ile gemi ağırlık merkezi (G) arasındaki iskelele paralel uzaklık (A-B) olarak Şekil 5.7'de tarif edilmiştir. F_1 ve F_2 usturmaçaları, L_{BP} gemi uzunluğunu, θ ise yanaşma açısını ($0 - 10^\circ$ arasında değişim göstermekle birlikte 10° alınması önerilir) göstermektedir.



Şekil 5.7 Gemi yanaşma şekli [23]

I uzaklığının belirlenebilmesi için (5.7) ve (5.8) ifadeleri kullanılır. $k=0.5$ için C_e değerini maksimum yapan değer I değeri olarak kabul edilir.

$$I_1 = (0.5\alpha - e \times k) L_{BP} \times \cos\theta \quad k < 0.5 \quad (5.7)$$

$$I_2 = (0.5\alpha + (1 - k) L_{BP} \times \cos\theta \quad k > 0.5 \quad (5.8)$$

I_1 ve I_2 : Sırasıyla F_1 ve F_2 usturmaçaları ile gemi ağırlık merkezi arasındaki iskeleye paralel mesafe,

e : Usturmaça arasındaki mesade ile L_{BP} arasındaki oran

α : 1/2 veya 1/3 alınır (C_e değerini maksimum yapan değerin alınması önerilir) [22].

k : Usturmaçalar arasında yer alan geminin, bağlama tesislerine en yakın olduğu konumu ifade eden bir parametredir. 0 ile 1 arasındaki değerler alabilse de genellikle 0.5 değeri alınır.

Geminin ağırlık merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme yarıçapı olan r değerinin tespit edilmesinde (5.9) ifadesi kullanılır [22].

$$r = (0.19C_b + 0.11)L_{BP} \quad (5.9)$$

Burada C_b blok katsayısını ifade etmek üzere, gemi tarafından yer değiştiren su hacmine (∇), gemi uzunluğuna (L_{BP}), gemi genişliğine (B) ve su çekimine (D) bağlı olarak (5.10) eşitliği ile bulunur [22].

$$C_b = \frac{\nabla}{L_{BP}BD} \quad (5.10)$$

Gemi uzunluğu L_{BP} değeri, gemiye ait DWT ve GT bilgilerine bağlı olarak hesaplanır (Çizelge 5.10).

Çizelge 5.10 DWT ve GT verileri ile L_{BP} arasındaki ilişki [23]

Yük Gemileri: < 10000 DWT	$\log(L_{BP}) = 0.867 + 0.310 \log(DWT)$
Yük Gemileri: > 10000 DWT	$\log(L_{BP}) = 0.964 + 0.285 \log(DWT)$
Konteyner Gemileri	$\log(L_{BP}) = 0.516 + 0.401 \log(DWT)$
Feribotlar (uzun mesafe) : < 13000 GT	$\log(L_{BP}) = \log[94.6 + 0.00596(GT)]$
Feribotlar (kısa-orta mesafe): <6000 GT	$\log(L_{BP}) = 0.613 + 0.401 \log(GT)$
İçe dışa yalpalayan gemileri	$\log(L_{BP}) = 0.840 + 0.349 \log(DWT)$
Yolcu Gemileri (Yabancı)	$\log(L_{BP}) = 0.787 + 0.330 \log(GT)$
Otomobil Taşıyıcısı	$\log(L_{BP}) = 1.046 + 0.280 \log(DWT)$

C_m , Hidrodinamik atalet katsayısını hesaplamak için (5.11) ifadesi kullanılır. Burada B gemi genişliği, D tam dolu geminin su çekimi, L_{BP} ise gemi genişliğidir [22].

$$C_m = 1 + \left(\frac{\pi}{2C_b} \right) \times \left(\frac{D}{B} \right) \quad (5.11)$$

Esneklik faktörü C_s , gemi yüzeyinin ve usturmacanın rijitliği ile ilgili bir parametredir ve yapılan araştırmalar neticesinde 0.9 ile 1.0 arasında olduğu belirtilmiştir [22].

Yanaşma şekil faktörü C_c , geminin tekne kısmı ile rıhtım duvarı arasındaki ilişkiye bağlıdır ve rıhtım altının açık veya kapalı olmasına göre değişir. Rıhtım tiplerine göre altı açık rıhtım için 1.0; altı yarı açık rıhtım için 0.9 ve altı kapalı rıhtım için 0.8 alınır. Standart olarak $C_c=1.0$ kabul edilir [22].

V, yanaşma hızını temsil etmektedir ve yapılan araştırmalar neticesinde yük gemileri için 10 cm/sn değeri alınabilir [22]. Ancak tüm gemiler için ortalama yanaşma hızları Çizelge 5.11’de verilmiştir.

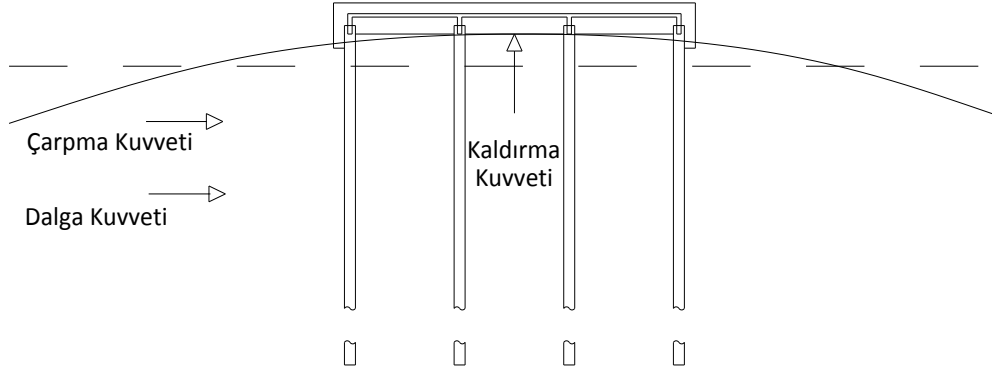
Çizelge 5.11 DWT ve yanaşma hızları [23]

DWT	Yanaşma Hızı (cm/s)			
	Yük Gemisi	Konteyner Gemisi	Araç Taşıyıcılar	Tüm Gemiler
1000	8.1	-	-	8.1
5000	6.7	7.8	-	7.2
10000	5.0	7.2	4.6	5.3
15000	4.5	4.9	4.7	4.6
30000	3.9	4.1	4.4	4.1
50000	3.5	3.4	-	3.4
Tüm Gemiler	5.2	5.0	4.6	5.0

Usturmaçalarda güvenlik değerini sağlayabilmek için, maksimum gemi yanaşma enerjisinin iki katı tasarım enerjisi olarak alınır. Çelik aksamlarda ise maksimum gerilme değeri, çeliğin akma gerilmesinin 0.8 katını geçmemelidir. Rıhtım ve iskelelerde, gemi boyu L_s olmak üzere, usturmaça aralığı $0.15L_s$ değerini aşmamalıdır [22].

5.2.4.7 Dalga Kuvvetleri

İskelelerin dalga yükleri altında tasarımında, döşemelere tesir eden dalga çarpma kuvvetleri ile döşemelere alttan ve kazıklara tesir edebilecek dalga kuvvetleri dikkate alınmalıdır (Şekil 5.8). Döşemenin altından tesir edecek olan dalga kuvveti iskeleyi kaldırmaya çalışacaktır ancak bu kuvvetin belirlenmesi için yeterince güvenilir bir yöntem tanımlanmamıştır [12].



Şekil 5.8 İskelede etkili dalga kuvvetleri [12]

Kazık destekli kıyı yapılarında, kazıklar ile dalga arasındaki ilişki son derece karmaşıktır. Dalga hareketinin sahip olduğu karmaşıklığın yanı sıra, tekil kazık ve kazık gruplarına bu hareketin tesiri sonucunda açığa çıkan kuvvetleri belirlemek son derece zordur. Bu etkilerin belirlenebilmesi için birçok deneysel çalışma yapılarak bazı teorik ifadeler oluşturulmuştur [12].

Kazık çapı (D) ile dalga boyu (L) arasındaki boyutsuz oran (D/L), dalga kuvvetlerinin çözüm yönteminin belirlenmesinde önem teşkil etmektedir.

D/L değeri 0.20 değerinden küçük olan kazıklar, küçük çaplı silindirik kazık olarak sınıflandırılmış ve çözüm için Morison Denklemi (1950)'nin kullanılması istenmiştir.

D/L değeri 0.20 den büyük olan büyük çaplı silindirik kazıklar için ise sistemin çözümünde Difraksiyon Teorisi'nin kullanılması önerilmiştir [12].

Ayrıca D/L değeri 0.05 den küçük ise, dalga boyu lineer dalga teorisi kullanılarak hesaplanmaktadır [12].

Birim uzunluktaki silindirik kazığa etki eden dalga kuvvetinin hesabı için Morison (1950) tarafından (5.12) ifadesi önerilmiştir.

$$f = f_i + f_d = \left[C_M \rho \frac{\pi D^2}{4} \frac{du}{dt} \right] + \left[C_D \frac{1}{2} \rho D u |u| \right] \quad (5.12)$$

Burada f_i birim uzunluktaki kazık için atalet kuvveti, f_d ise birim uzunluktaki kazık için direnç kuvvetini ifade etmektedir. C_M ve C_D sırasıyla hidrodinamik atalet ve

hidrodinamik direnç kuvveti katsayılarıdır. ρ suyun özgül kütlesi, D kazık çapı, u kazığın bulunmadığı ancak kazığın konumundaki su zerreciğinin yatay yörüngesel hızı, du/dt ise aynı durum için su zerreciğinin ivmesini göstermektedir.

(5.12) eşitliğinde ifade edilen kuvvetler ayrı ayrı incelenerek bu değerlerin tespitinde etkili olan parametreler bulunur.

Direnç Kuvveti

Direnç kuvveti gerçek viskoz bir akışkanın kararlı akımı içine yerleştirilen silindirik bir kazığa etki eden kuvveti ifade etmektedir. Morison (1950) tarafından ifade edilen (5.13) eşitliği kullanılarak tespit edilmiş olur.

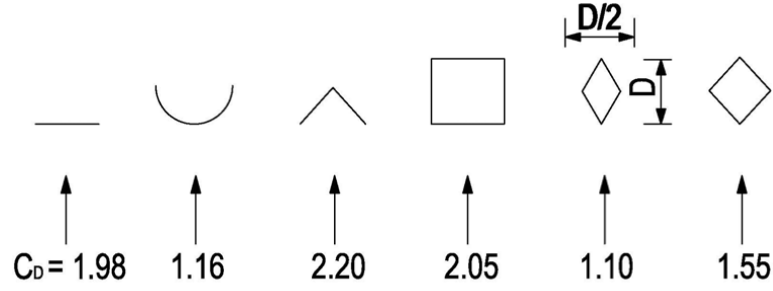
$$f_D = C_D \frac{1}{2} \rho D u |u| \quad (5.13)$$

Burada,

- C_D , Hidrodinamik direnç kuvveti katsayısı,
- ρ , Akışkanın özgül ağırlığı (Deniz suyu için 1.025 kg/m^3)
- D , Kazık çapı (m)
- u , akışkan taneciklerinin yörüngesel yatay hızı (m/s)

değerlerini göstermektedir. Hidrodinamik direnç kuvveti katsayısı C_D , kazığın geometrik şekline, yüzey pürüzlülüğüne ve Reynold Sayısı (Re)'na bağlıdır. Reynold Sayısı ise yüzey sertliğine ve türbülans derecesine göre değişiklik gösterir.

Dairesel kazıklar için hidrodinamik direnç kuvveti katsayısı C_D , genellikle 0.7 olarak alınır [22]. Ayrıca farklı geometrik özelliklere sahip kazıklar için C_D değerleri Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9 Kazık tiplerine göre C_D değerleri [22]

Kazığa etkiyen direnç kuvveti sabit bir değer olmadığı için zamana göre değişen kuvvet ve moment toplamının maksimum değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ancak akışkanın tanecik hızlarının belirlenmesinde kazığın bulunduğu noktadaki uygun dalga teorisi belirlenmelidir. D/L değerinin 0.05 değerinden daha küçük olduğu durumlar için lineer dalga teorisi kullanılmalı, diğer durumlar için lineer olmayan dalga teorisi dikkate alınmalıdır. Bu bilgiler dikkate alındığında kazığa etkiyen toplam kuvveti (5.14) ve toplam momentini (5.15) ile belirleyebiliriz [12].

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho g D H^2 K_D \quad (5.14)$$

$$M_D = C_D \frac{1}{2} \rho g D H^2 K_D d S_D = F_D d S_D \quad (5.15)$$

K_D ve S_D boyutsuz parametreleri, kazığın bulunduğu konumdaki dalga teorisine (lineer/lineer olmayan) bağlı olarak belirlenen boyutsuz parametrelerdir [12].

Lineer Dalga Teorisi için (5.16), (5.17) ve (5.18)'da gösterilmiştir. C ve C_g dalga faz hızı ve dalga grup hızını ifade etmektedir.

$$K_D = \frac{1}{4} n \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \left| \cos \frac{2\pi t}{T} \right| \quad (5.16)$$

$$S_D = \frac{1}{2} + \frac{1}{2n} \left(\frac{1}{2} + \frac{1 - \cosh(4\pi d/L)}{(4\pi d/L) \sinh(4\pi d/L)} \right) \quad (5.17)$$

$$n = \frac{C_g}{C} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)} \right) \quad (5.18)$$

Atalet Kuvveti

Atalet kuvveti ideal akışkanın ivmeli akımı içindeki bir cisim üzerinde etkili olan kuvvetin analizinden elde edilmektedir [12]. Morison tarafından verilen (5.12) ifadesindeki atalet kuvvetini temsil eden kısım (5.19) eşitliğinde verilmiştir.

$$f_i = C_M \rho \frac{\pi D^2}{4} \frac{du}{dt} \quad (5.19)$$

C_M değeri, hidrodinamik atalet kuvveti katsayısını ifade etmekte ve genellikle dairesel kazıklar için 2.00 değerini almaktadır. $\frac{du}{dt}$ değeri ise, kazığın konumunda ancak kazık yokmuş gibi düşünülerek belirlenen su taneciğinin ivmesini ifade etmektedir.

Atalet kuvveti (5.20) ve (5.21) eşitliklerinde gösterildiği gibi K_i ve S_i boyutsuz parametrelerine bağlıdır [12].

$$F_i = C_M \rho g \frac{\pi D^2}{4} H K_i \quad (5.20)$$

$$F_i = C_M \rho g \frac{\pi D^2}{4} H K_i dS_i = F_i dS_i \quad (5.21)$$

Lineer Dalga Teorisi şartlarına bağlı olarak K_i ve S_i boyutsuz parametreleri (5.22) ve (5.23) eşitliklerinde verilmiştir [12].

$$K_i = \frac{1}{2} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \sin\left(-\frac{2\pi t}{T}\right) \quad (5.22)$$

$$S_i = \left(1 - \frac{1 - \cosh(2\pi d / L)}{(2\pi d / L) \sinh(2\pi d / L)}\right) \quad (5.23)$$

Kazığa etkiyen toplam dalga yükü düşünüldüğünde atalet kuvvetinin maksimum değeri $t = -T/4$ anında, direnç kuvvetinin maksimum değeri ise $t = 0$ anında meydana gelmektedir. Bu değerlerin maksimumlarının toplamı çok güvenli tarafta kalmamıza sebep olmaktadır. Daha doğru hesap için kuvvet ve momentlerin zamanla değişimlerinin hesaplanması gerekir. Yörüngesel hız ve ivmenin en büyük olduğu sakin su seviyesinin üzerinde kalan dalganın etkili kuvvet ve moment değerleri belirlenmelidir [12].

Ancak su seviyesinde ortaya çıkan bu belirsizlikler lineer olmayan dalga teorileri ile çalışılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Dalgaya ait kinematikler 5. Mertebe Stokes dalga teorisi ve akım fonksiyonu teorisi kullanılarak CERC (2001)'de açıklanmıştır.

Lineer olmayan Dalga Teorisinde su yüzü profillerine bağlı olarak bulduğumuz boyutsuz parametreler K_D , S_D , K_i ve S_i , CERC (2001)'de grafikler halinde verilmiştir. Bu grafiklerin kullanılmasında iki parametrenin belirlenmesi gerekmektedir [12];

- Göreceli Su Derinliği olarak tanımlanan d/gT^2 ,
- Dalga yüksekliğinin, kırılan dalga yüksekliğine oranı H/H_b

Lineer Dalga Teorisinden farklı olarak, maksimum moment ve kuvvet değerlerinin toplamını kullanmak yerine, Lineer olmayan Dalga Teorisinde fazlara göre değişiklik gösteren bir toplam maksimum kuvvet F_M , değeri belirlenir. Bu değerin belirlenmesi için CERC (2001)'den yararlanılabilir [12].

5.2.5 Yük Kombinasyonları

KYL-PTTE (2007)' göre yapıya etki eden yükler ile ilgili yük kombinasyonları tanımlanmıştır. Kazıklı rıhtım ve iskeleler için verilmiş olan yük kombinasyonları Çizelge 5.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.12 Kazıklı rıhtım ve iskeleler için yük kombinasyonları [22]

$K_{11} = G + E_p + Y$ $K_{21} = G + E_Q + Y$	<i>G: Öz Ağırlık</i> <i>E_p: Ek hareketli yükler</i> <i>E_Q: Ek düzgün yayılı yükler</i> <i>Y: Gemi yanaşma yükü</i>
$K_{12} = G + E_p + B$ $K_{22} = G + E_Q + B$	<i>B: Gemi bağlama yükü (Baba yükü)</i> <i>S_A: Akıntı yükü</i>
$K_{13} = [G + E_p + S_A] \text{ veya } [S_w + 0.5W_G + 0.5W_p]$ $K_{23} = [G + E_Q + S_A] \text{ veya } [S_w + W_G]$	<i>S_w: Dalga yükü</i> <i>W_G: Rüzgâr yükü</i> <i>W_p: Rüzgâr yükü (elleçleme ve taşıma ekipmanlarına etkiyen yük)</i>

5.3 Kazık Taşıma Gücü Hesapları

5.3.1 Tekil Kazığın Taşıma Gücü Hesabı

Temel (kazık) derinliğinin temel (kazık) genişliğine oranı 5'ten büyük olan temeller derin temel olarak sınıflandırılmaktadır [30]. Çakma kazık, fore kazık gibi sistemler bu kapsamda değerlendirilmektedir. Arazi deneylerinden Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) kullanılarak elde edilen veriler ışığında kazık taşıma gücü hesapları izah edilmiştir [30].

Kohezyonsuz Zeminler

Homojen özellikler gösteren taneli (silt, kum, çakıl ve karışımları) zeminler içindeki tekil bir kazığın basınç altında taşıma gücü kapasitesi (5.24) ifadesi, çekme altındaki yük taşıma kapasitesi ise (5.25) ifadesi kullanılarak hesaplanır [30].

$$Q_{ult} = (P_T \times N_q \times A_T) + [K_{HC} \times P_0 \times \tan \delta \times S \times z] \quad (5.24)$$

$$T_{ult} = [K_{HT} \times P_0 \times \tan \delta \times S \times z] \quad (5.25)$$

Burada,

- Q_{ult} basınç altında yük taşıma kapasitesini (kN),
- P_T kazık ucundaki düşey efektif gerilmeyi (kN/m³),
- N_q taşıma kapasitesi katsayısını (Çizelge 5.13),
- A_T kazık uç (dolu kesit) alanını (m²),
- K_{HC} ve K_{HT} sırasıyla basınç ve çekme altındaki elemanın yan yüzündeki yatay efektif gerilmenin düşey efektif gerilmeye oranını (Çizelge 5.14),
- P_0 gömülü uzunluk (z) boyunca düşey efektif gerilme (kN/m³),
- δ kazık ile zemin arasındaki sürtünme açısını (Çizelge 5.15),
- S birim uzunluk için kazık çevre alanını (m²) vermektedir.

Emniyetli basınç yük taşıma kapasitesinin (Q_{all}) hesabında güvenlik katsayısı FS , geçici yükler için 2, sürekli yükler için 3 olarak alınır [30].

Emniyetli çekme yük taşıma kapasitesinin (T_{all}) hesabında güvenlik katsayısı $FS=3$ alınarak (5.26) eşitliği ile hesap yapılır. Burada W_p kazığın efektif ağırlığını temsil etmektedir [30].

$$T_{all} = \frac{T_{ult}}{3} + W_p \quad (5.26)$$

Çizelge 5.13 Taşıma kapasite katsayıları N_q [30]

Ø	26	28	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
N_q^*	10	15	21	24	29	35	42	50	62	77	86	120	145
N_q^{**}	5	8	10	12	14	17	21	25	30	38	43	60	72
*Çakma kazıklar **Fore kazıklar													

Çizelge 5.14 Toprak basıncı katsayıları [30]

Kazık Tipi	K_{HC}	K_{HT}
Tekil Çakma H veya Ucu Açık Çelik Boru Kazık	0.5 - 1.0	0.3 – 0.5
Tekil Çakma Deplasman Kazığı (Prefabrik Beton veya Ucu Kapalı Çelik Boru Kazık)	1.0 – 1.5	0.6 – 1.0
Sivri Uçlu Tekil Çakma Deplasman Kazığı	1.5 – 2.0	1.0 – 1.3
Fore Kazık	0.7	0.4

Çizelge 5.15 Kazık-zemin arası sürtünme açısı δ [30]

Kazık Tipi	δ
Çelik	20°
Beton	$\frac{3}{4} \phi$
Ahşap	$\frac{3}{4} \phi$

Kohezyonlu Zeminler

İnce taneli (killi) zeminlerde basınç ve çekme yük taşıma kapasiteleri (5.27) ve (5.28) ifadeleri ile tanımlanmıştır [30].

$$Q_{ult} = (c \times N_{cs} \times A_T) + (c_a \times \pi D \times z) \quad (5.27)$$

$$T_{ult} = (c_a \times \pi D \times z) \quad (5.28)$$

Burada,

- c killi zemine ait kohezyon değerini,
- N_{cs} taşıma kapasitesi faktörünü,
- A_T kazık uç alanını (m^2),
- c_a kazık ile zemin arasındaki adhezyonu,
- D kazık çapını (m),
- z değeri kazığın gömülü olduğu killi zemin tabakası kalınlığını (m) ifade etmektedir [30].

Birden fazla zemin tabakası içinde ilerleyen kazıkların taşıma kapasiteleri her zemin tabakasının kazık kapasitesine katkılarının toplamı şeklinde basit bir yöntemle hesaplanabilir [30].

BÖLÜM 6

DÜŞEY KAZIKLI İSKELE TASARIMI

6.1 Giriş

Bu çalışma kapsamında Kocaeli ili, Gebze ilçesi, Dilovası mevkiinde 40°46' Kuzey, 29°33' Doğu koordinatlarında planlanan bir terminale ait kazık destekli yanaşma yapısının (iskele) yapısal tasarımı örnek olarak verilecektir.

6.2 Yapı Bilgileri

Kereste ve kereste mamullerinin oluşturduğu genel kargo yüklerinin elleçleneceği iskele, üzerinde depolamanın yapılmadığı, kara nakil vasıtaları ile yük nakliyesi sağlanacak şekilde planlanmıştır. Bu kullanım amacına uygun olarak iskeleye yanaşacak tasarım gemisi ile ilgili bilgiler Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1 Tasarım gemisi özellikleri

Gemi Tipi	Yük (kargo) gemisi
Gemi Tonajı (DWT)	50000 DWT
Gemi Tonajı (GT)*	27050 GT
Geminin Toplam Boyu (L _{OA})	218.00 m
Gemi Genişliği (B)	32.3 m
Su Çekimi (D)	12.9 m

Tasarıma esas gemi özellikleri dikkate alınarak, uygun en küçük iskele uzunluğunun ve yeterli su derinliğinin belirlenebilmesi için daha önce Çizelge 5.3'te verilmiş olan bilgiler kullanılmış ve projelendirmeye esas ön boyutlar elde edilmiştir (Çizelge 6.2).

Çizelge 6.2 Tasarıma esas en küçük iskele boyutları

Gemi Tonajı (DWT)	Yanaşma Yeri Uzunluğu (m)	Yanaşma Yeri Derinliği (m)
55000	280	14.0

Batimetrik özellikler göz önünde bulundurularak, tasarım gemisi için minimum yanaşma derinliğinin sağlandığı kıydan 66 m'lik açıklığın, minimum yanaşma yeri uzunluğuna ilave edilmesi ile 346 m toplam iskele uzunluğu hesaplanmıştır. En büyük geminin yanaşabileceği durumların haricinde, aynı anda birden fazla daha küçük geminin yanaşabileceği ihtimali de göz önünde bulundurulmuştur.

Apron genişliğinin hesabında, iskele üzerinde elleçleme yapacak ekipmanların genişliği ve yüklerin taşınmasını sağlayan kamyon ulaşım yolu düşünülerek iskele genişliğinin 30 m olmasına karar verilmiştir. Bu boyutlandırma neticesinde 346 m uzunluğunda ve 30 m genişliğinde iskele boyutları netleştirilmiştir.

6.3 Malzeme Bilgileri

- Çelik Boru Kazıklar;
 - Çelik Sınıfı: ST52
 - Emniyet Gerilmesi: 2160 kg/cm²
 - Beton Dayanımı (kazık içi): C40/50
 - Betonarme Donatı Çeliği Sınıfı (düşey): S420
 - Betonarme Donatı Çeliği Sınıfı (spiral): S220
- Başlık Kirişleri;
 - Beton Dayanımı: C40/50
 - Betonarme Donatı Çeliği: S420
- Prekast Elemanlar ve Tabliye;

- Beton Dayanımı: C40/50
- Betonarme Donatı Çeliği: S420

olarak DLH(2008)'e uygun olarak belirlenmiştir.

6.4 Kazık Ön Boyutlandırması

Kazıkların ön boyutlandırmasında üst yapıdan etkiyecek yükler önemlidir. Bu yükler tabliye ağırlığı ve ek hareketli yüklerdir. Ek hareketli yükler işletmede kullanılacak ekipmanlara göre belirlenmektedir. Ancak tabliye ağırlığı;

- Başlık kirişinin genişlik ve yüksekliğine
- Prekast döşeme yüksekliğine
- II. Kademe döşeme betonu yüksekliğine
- Kaplama betonu yüksekliğine göre belirlenmektedir.

Bu ebatların belirlenmesinde, mimari olarak sınırlayıcı parametreler vardır:

- Kazık çapları sebebiyle başlık kirişlerinin genişliği,
- İskele üst kotunun sınır değeri,
- Su seviyesi değişimi sebebiyle başlık kiriş alt kotu,
- Kazık arası mesafeler sebebiyle prekast döşeme yüksekliği vd.

Bu parametreler, tasarım öncesinde bilinen sınırlayıcı değerler olmasına rağmen özellikle başlık kiriş boyutları doğrudan kazık çapına bağlı olarak değişim gösterdiği için net olarak bilinmemektedir. Çünkü hem kazık çapının bilinmesi için düşey yüklere (tabliye ağırlığı ve işletme yükleri), hem de tabliye ağırlığının bilinmesi için kazık çapına ihtiyaç duyulması, bir optimizasyon çalışmasının yapılmasını gerektirmektedir.

Bu belirsizlikler göz önüne alınarak yapılan tahminlerden, ön boyutlandırmaya esas kazık çapı ve et kalınlığı değeri (1219.2 mm / 18 mm) esas alınarak yapısal hesaplara başlanmıştır.

6.4.1 Kazık Et Kalınlığı Kontrolü

Öncelikle kazık çapı ile kazık et kalınlığı arasında DLH (2008)'de belirtilen şartların sağlanması için kazık et kalınlığı kontrolü yapılmıştır. Hesaplarda kullanılacak kazığa ait karakteristik değerler Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3 Kazık karakteristik özellikleri

Kazık Dış Çapı	D		... =	1219,20	mm
Et Kalınlığı	t		... =	18	mm
Kazık İç Çapı	D _i		... =	1183.20	mm
Kesit Alanı	F	$= \frac{\pi(D^2 - D_i^2)}{4}$	... =	679.26	cm ²
Atalet Momenti	I	$= \frac{\pi(D^4 - D_i^4)}{64}$	... =	1225394.34	cm ⁴
Polar Atalet Momenti	J	$= 2 \times I$	... =	2450788.69	cm ⁴
Mukavemet Momenti	W	$= \frac{\pi(D^4 - D_i^4)}{32D}$	... =	20101.6	cm ³
Kazık Birim Ağırlığı	g _k	$= F \times \gamma_{çelik}$	... =	533.22	kg/m
Atalet Yarıçapı	i	$= \sqrt{\frac{I}{F}}$	... =	42.5	cm
Ucu açık çakılan kazık için	c		... =	0.12	
Elastisite Modülü	E _s		... =	2100000	kg/cm ²
Kayma Modülü	G		... =	810000	kg/cm ²
Akma Gerilmesi	σ _y		... =	3600	kg/cm ²
Çekme Emniyet Ger.	σ _{ç,em}		... =	2160	kg/cm ²

Kazık et kalınlığının kontrolü için, önceden verilen (3.1) ve (3.2) eşitliklerinden faydalanılarak kazık et kalınlığının uygunluğu (6.1) ve (6.2) ifadeleriyle gösterilmiştir.

$$\frac{D}{t} \leq 80 \Rightarrow t_{\min} = 15.24 \text{ mm} < 18 \text{ mm} \quad (6.1)$$

$$\frac{D}{t} \leq c \frac{E_s}{\sigma_y} = 0.12 \times \frac{2100000}{3600} = 70 \Rightarrow t_{\min} = 17.42 \text{ mm} < 18 \text{ mm} \quad (6.2)$$

Kazık çapına bağlı olarak en küçük kazık et kalınlıkları 15.24 mm ve 17.42 mm olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre 18 mm et kalınlığının uygun olduğu görülmüştür.

6.4.2 Kazık Yerleşimi ve Üst Yapı Elemanları

Kazık çapı belirlendikten sonra, kazıklar arası mesafeler ve bu mesafelere uygun olarak başlık kirişleri bulunmaktadır. İskele apron genişliği 30 m olarak belirlendiği için başlık kiriş uzunluğu bu değere eşittir. Başlık kirişi boyunca paralel olarak dizilen düşey kazıklarda, TS 3167’de tanımlanan minimum kazık aralığı (e_{min}), kazık çapına bağlı olarak (6.3) ifadesi kullanılarak (6.4) eşitliğinde yapılan hesaplar ile bulunur.

$$e \geq 3d \geq 1m + d \quad (6.3)$$

$$\left[\begin{array}{l} \rightarrow 3d = 3 \times 1.2192 = 3.7m \\ \rightarrow 1 + d = 1 + 1.2192 = 2.3m \end{array} \right] \Rightarrow e = 3.7m \quad (6.4)$$

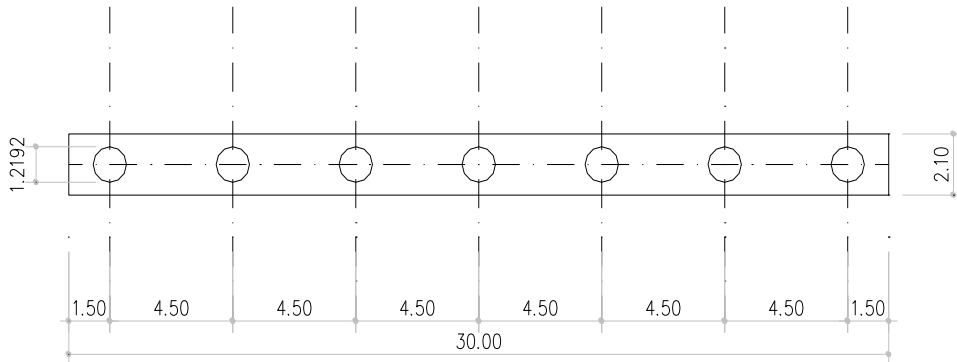
Başlık kirişinde her iki yanaşma tarafından kazık aksına kadar, kazık yarıçapı ve emniyet payı için 1.50m pay bırakıldıktan sonra yerleştirilebilecek maksimum kazık sayısı, (6.5) ifadesindeki aralık sayısının bir fazlası olacak şekilde bulunur.

$$\text{Maksimum aralık sayısı} = \frac{30 - (2 \times 1.50)}{3.7} = 7.30 \approx 7 \quad (6.5)$$

$$\text{Maksimum kazık sayısı} = 7 + 1 = 8 \text{ adet}$$

Sahadaki uygulamada daha düzenli bir yerleşim için 7 kazık konulması uygun görülmüş ve (6.6) ifadesi ile aks aralığı bulunarak başlık kiriş düzenlemesi yapılmıştır (Şekil 6.1).

$$\frac{27}{6} = 4.5m \quad (6.6)$$



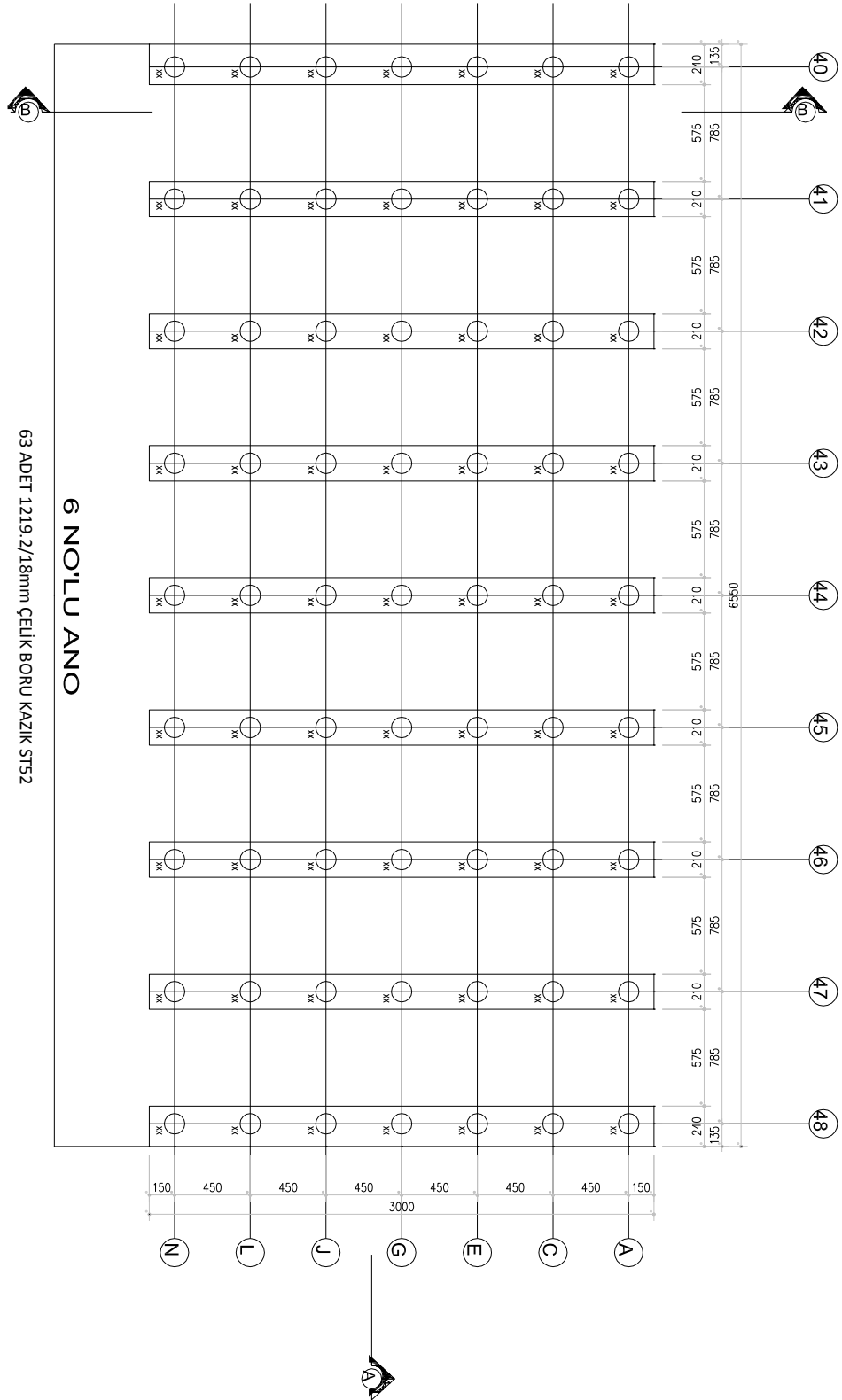
Şekil 6.1 Başlık kirişi ve kazık yerleşimi

Kazık başlık kirişinin genişliğinin belirlenebilmesi için kazık çapı ve imalat esnasında kazık aksındaki sapmalar hesaba katılmalıdır. Bu amaçla kazık çapı ve kazık çakımı esnasındaki aks kaymalarını tolere edecek şekilde başlık kiriş genişliği 2.10 m olarak belirlenmiştir.

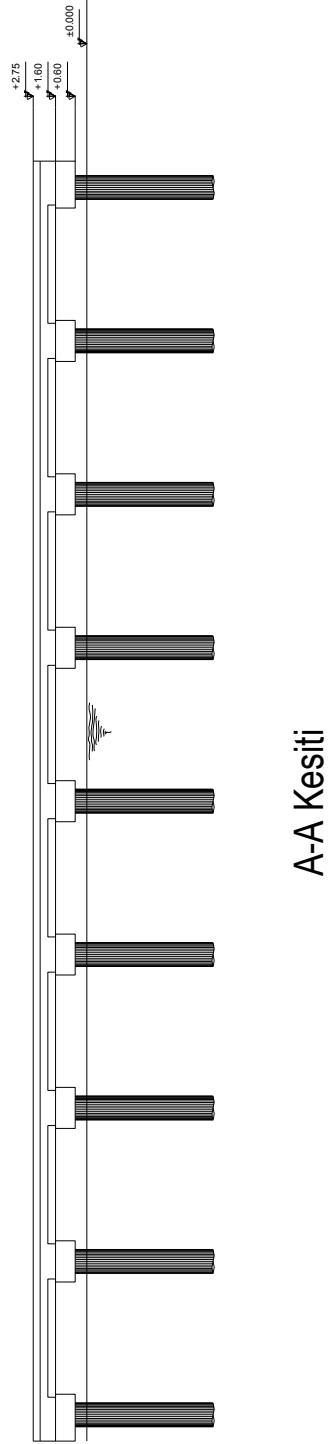
Yapısal çözümlmeye uygun büyüklükte ve birbirine benzer uzunluklarda ano oluşturabilmek için 65.5 m ano uzunluğu ve 9 adet başlık kirişi tercih edilerek başlık kirişleri aks arası mesafe 7.85 m olarak belirlenmiştir. Her başlık kirişinde 7 tane olmak üzere 9 başlık kirişinde toplam 63 adet kazık hesap edilmiştir. Oluşturulan iskele anosuna ait yapısal bilgi ve özellikler Çizelge 6.4'te verilmiş ve Şekil 6.2, Şekil 6.3, Şekil 6.4'te gösterilmiştir. Tasarım gemisi özelliklerine ve kullanım amacına uygun olarak iskele üst kotu +2.70, iskele alt kotu +0.60 olarak belirlenmiştir ve dalga hareketi sebebiyle ıslanma bölgesi boyunca kazık-tabliye birleşimi için kazık içi beton yüksekliği 6 m olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.4 İskelede bir anoya ait yapısal bilgiler

İskele (Ano) Boyu	65.50	m
İskele (Ano) Eni	30.00	m
Başlık Kiriş Sayısı	9	ad
Kirişte Kazık Sayısı	7	ad
Toplam Kazık Sayısı	63	ad
Aks Aralığı	7.85	m
Kazık aralığı	4.50	m
Kazık Çapı (D)	1219.2	mm
Kazık Et Kalınlığı (t)	18	mm
Başlık I. Kademe Yüksekliği	1.00	m
İskele Üst Kotu	2.75	m
Başlık Kiriş Alt Kotu	0.60	m
Kenar Başlık Kiriş Eni	2.40	m
Orta Başlık Kiriş Eni	2.10	m
Prekast Döşeme Yüksekliği	0.40	m
II. Kademe Beton Yüksekliği	0.40	m
Toplam Döşeme Yüksekliği	0.80	m
Kaplama Betonu Yüksekliği	0.35	m
Kazık içi Beton Yüksekliği	6.00	m



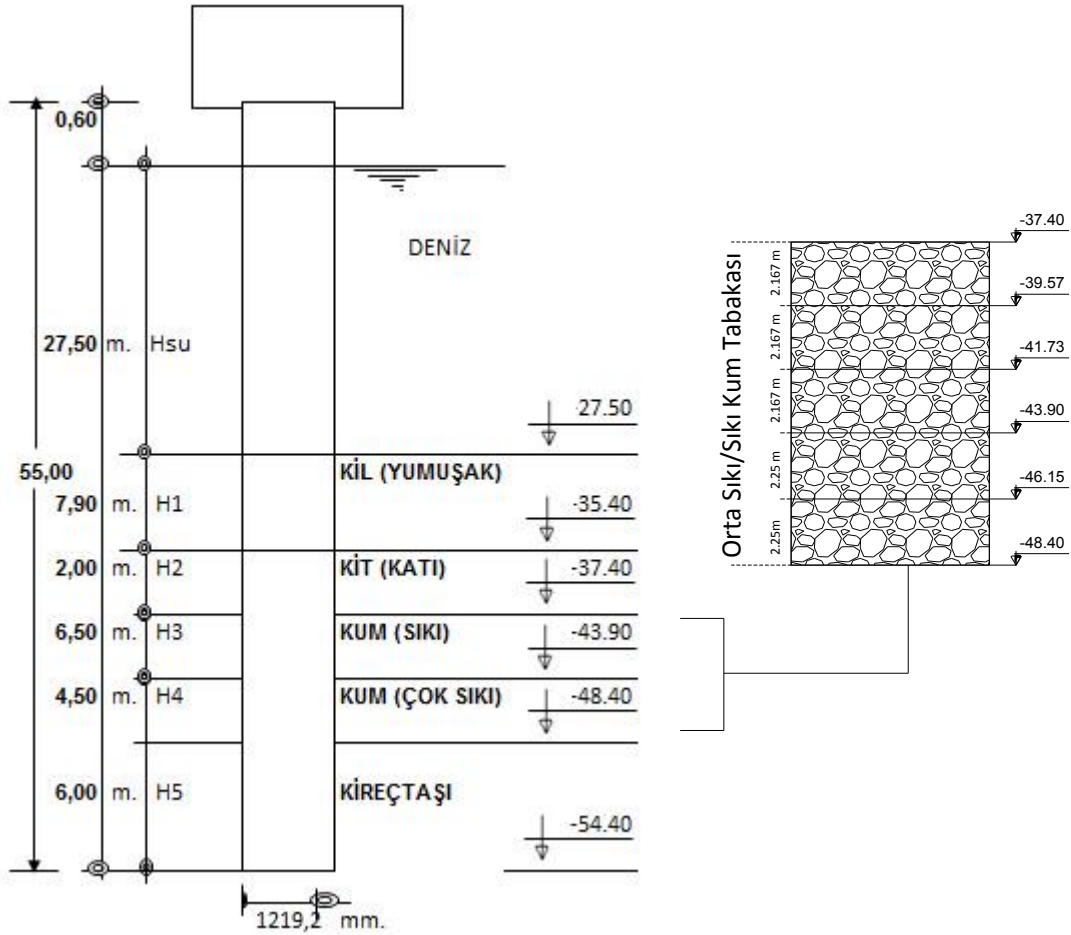
Şekil 6.2 İskele planı



Şekil 6.4 Düşey kazıklı iskele boy kesiti

6.5 Zemin Özellikleri

Proje sahasında yapılmış zemin etüdü neticesinde zemin tabakaları (Şekil 6.5) ile ilgili Ek B'de detayı sunulmuş olan DS7 numaralı sondaj çalışmasında yapılan Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) sonuçları esas alınarak tasarımda kullanılacak karakteristik zemin özelliklerine ulaşılmıştır [27].



Şekil 6.5 Zemin tabakaları

Balçık Tabakası;

Hesaplara dâhil edilmeyecek, akıcı kıvamda, dayanımsız bir tabakadır.

Çok Gevşek Kum Tabakası;

Yüksek oranda silt ihtiva eden bu tabaka zemin raporuna göre dayanımsız kabul edilmiş ve hesaplara dâhil edilmemiştir.

Çok Yumuşak-Orta Katı Kil Tabakası için;

Standart Penetrasyon Deneyi sonucu elde edilen ortalama düzeltilmiş SPT değeri,

$$N_{60,ort} = 4,$$

$$\text{Drenajsız Kayma Dayanımı, } c_u = 1.83 \text{ t/m}^2,$$

$$\text{Zemin Elastisite Modülü, } E_s = 152.91 \text{ t/m}^2,$$

Yatay Yatak Katsayısı, k_h ise kayma dayanımı (c_u) ve kazık çapına (D) bağlı olarak (6.7) eşitliğine göre belirlenir.

$$k_h = 67 \times \left(\frac{c_u}{B} \right) = 67 \times \left(\frac{1.83}{1.2192} \right) = 100.83 \text{ t/m}^3 \quad (6.7)$$

Orta Sıkı/Sıkı Kum – Çakıl Tabakası için:

$$\text{Ortalama düzeltilmiş SPT, } N_{60,ort} = 17$$

$$\text{İçsel Sürtünme Açısı, } \phi = 32^\circ$$

$$\text{Zemin Elastisite Modülü, } E_s = 1630.99 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Düşey Yatak Katsayısı, } k_v = 1019.37 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Zemin Sıklık Katsayısı, } n_h = 509.68 \text{ t/m}^3$$

Yatay Yatak Katsayısı, k_h ise zemin sıklık katsayısı (n_h), deniz tabanından itibaren derinlik (z) ve kazık çapına (D) bağlı olarak (6.8) eşitliği ile belirlenir.

$$k_h = n_h \times \left(\frac{z}{D} \right) \quad (6.8)$$

11.00 m kalınlığındaki kohezyonsuz zemin tabakası boyunca ortalama her 2 m'lik dilim için k_h belirlenmiştir (Çizelge 6.5).

Çizelge 6.5 Orta sıkı/sıkı kum tabakası için yatay yatak katsayısı

Deniz Tabanından İtibaren Derinlik, z (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	Yatay Yatak Katsayısı, k_h	
12.07 (-39.57)	2.167	5044.46	t/m ³
14.23 (-41.73)	2.167	5950.24	t/m ³
16.40 (-43.90)	2.167	6856.03	t/m ³
18.65 (-46.15)	2.250	7796.64	t/m ³
20.90 (-48.40)	2.250	8737.24	t/m ³

Çok Zayıf Anakaya (Kireçtaşı-Marn) Tabakası için;

Tek Eksenli Basınç Dayanımı, $q_u = 1529,05 \text{ t/m}^2$

İçsel Sürtünme Açısı, $\phi = 32^\circ$

Zemin Elastisite Modülü, $E_s = 3058,10 \text{ t/m}^2$

Düşey ve Yatay Yatak Katsayısı, $k_s = 2548,42 \text{ t/m}^3$, olarak belirlenmiştir.

Zemin sınıfları hakkında elde edilen bilgiler ışığında, zemine çakılacak olan toplam kazık boyu, kireçtaşı tabakasının içine girecek şekilde toplam 55 m olarak belirlenmiştir.

6.5.1 Zemin Cinsinin Belirlenmesi

DS7 sondaj verileri özelinde SPT sonuçları kullanılarak DLH (2008)'e göre zemin sınıfı (6.9) ifadesine uygun olarak belirlenmiştir.

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}} = \frac{30}{\left(\frac{7.9}{1} + \frac{2.0}{9} + \frac{6.5}{32} + \frac{4.5}{53} + \frac{6}{23} \right)} = 3.46 < 15 \Rightarrow \text{E zemin sınıfı} \quad (6.9)$$

Ancak proje bölgesinin tamamı düşünülerek hazırlanmış Zemin Raporu [27]'na göre, yapılan hesaplarda "Zemin Grubu B1-C2 ve Yerel Zemin Sınıfı Z2" olarak alınmıştır.

6.5.2 Ankraj Boyu Hesabı

Kısmen gömülü kazıklarda kazığın taşıyıcı zemin tabakası içindeki sabitlenme (ankraj) boyunun (L_z) belirlenmesi KLY-PTTE (2007)'de verilen yöntem doğrultusunda (6.9) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$L_z = 1.4 \sqrt[4]{\frac{E \times I}{k_h \times D}} \quad (6.9)$$

Burada, E kazığa ait elastisite modülünü, I kazığın atalet momentini, k_h taşıyıcı zeminin yanal yatak katsayısı, D ise kazık çapını ifade etmektedir. Yapılan hesaplar neticesinde minimum sabitlenme (ankraj) boyu (6.10) ifadesi ile gösterilmiştir.

$$L_z = 1.4 \sqrt[4]{\frac{2100000 \times 1225394}{0.10 \times 121.9}} = 947 \text{ cm} = 9.47 \text{ m} \quad (6.10)$$

Çakma kazıklarda kazık ucunun altında kalması gereken minimum taşıyıcı zemin kalınlığı (z_t) Şekil 3.11'den faydalanılarak (6.11) eşitliği ile gösterilmiştir.

$$\left[\begin{array}{l} z_t \geq 4d = 4.88m \\ z_t \geq 1.5m \end{array} \right] \Rightarrow z_t = 4.88m \quad (6.11)$$

6.5.3 Tekil Kazığın Taşıma Kapasitesi

Arazi çalışmaları neticesinde elde edilen SPT sonuçları ve zeminlere ait karakteristik özellikler kullanılarak tekil kazık için zemin taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Dayanımsız kabul edilen zemin tabakası hariç, kohezyonlu ve kohezyonsuz zemin tabakaları için basınç ve çekme altındaki taşıma gücü kapasitesi Çizelge 6.6'da belirlenmiştir.

Çizelge 6.6 Basınç ve çekme yük taşıma kapasiteleri

Kohezyonsuz Zemin		
Kazık Ucundaki Düşey Efektif Gerilme: Taşıma Kapasitesi Katsayısı: Basınç altında Yatay/Düşey Gerilme Oranı: Çekme altında Yatay/Düşey Gerilme Oranı: Kazık ile Zemin Arasındaki Sürtünme Açısı: Gömülü Uzunluk (z) Boyunca Düşey Efektif Gerilme:	$P_T=123.5 \text{ kN/m}^2$ $N_q=29$ $K_{HC}=0.70$ $K_{HT}=0.40$ $\delta=20^\circ$ $P_{0(H3+H4)}=73.5 \text{ kN/m}^2$ $Z_{(H3+H4)}=11.00 \text{ m}$ $P_{0(H5)}=110 \text{ kN/m}^2$ $Z_{(H5)}=6.00 \text{ m}$	<i>Zemin Raporundan Elde Edilen Veriler</i>
Kazık Uç (dolu kesit) Alanı: $\{A_T = \pi D^2/4\}$ Kazık Çevre Alanı (Birim uzunlukta): $\{S = \pi D\}$	$A_T=1.17 \text{ m}^2$ $S=3.83 \text{ m}^2$	<i>Hesaplardan Elde Edilen Veriler</i>
$Q_1 = (P_T \times N_q \times A_T) + [K_{HC} \times P_0 \times \tan \delta \times S \times z]$ $Q_1 = (123.5 \times 29 \times 1.17) + [0.7 \times (73.5 \times 11 + 110 \times 6) \times \tan 20 \times 3.83]$ $Q_1 = 5614.29 \text{ kN} \quad (572.30t)$		Basınç Yük Taşıma Kapasitesi
$T_1 = [K_{HT} \times P_0 \times \tan \delta \times S \times z]$ $T_1 = [0.4 \times (73.5 \times 11 + 110 \times 6) \times \tan 20 \times 3.83]$ $T_1 = 818.84 \text{ kN} \quad (83.47t)$		Çekme Yük Taşıma Kapasitesi

Çizelge 6.6 Basınç ve çekme yük taşıma kapasiteleri (devam)

Kohezyonlu Zemin		
Kohezyon: Taşıma Kapasitesi Katsayısı: Kazık Zemin arası Adhezyon: Kazığın gömülü olduğu tabaka kalınlığı:	$c=64$ $N_{cs}=9$ $c_{a(H1+H2)}=12 \text{ kN/m}^2$ $c_{a(H5)}=34 \text{ kN/m}^2$ $z_{(H1+H2)}=9.90 \text{ m}$ $z_{(H5)}=6.00 \text{ m}$	<i>Zemin Raporundan Elde Edilen Veriler</i>
Kazık Uç (dolu kesit) Alanı: $\{A_r = \pi D^2/4\}$ Kazık Çevre Alanı (Birim uzunlukta): $\{S = \pi D\}$	$A_r=1.17$ $D=1.2192 \text{ m}$	<i>Hesaplardan Elde Edilen Veriler</i>
$Q_2 = (c \times N_{cs} \times A_r) + (c_a \times \pi D \times z)$ $Q_2 = (64 \times 9 \times 1.17) + [(12 \times 9.90 + 34 \times 6.00) \times \pi \times 1.2192]$ $Q_1 = 1908.85 \text{ kN} \quad (194.58 \text{ t})$		Basınç Yük Taşıma Kapasitesi
$T_2 = (c_a \times \pi D \times z)$ $T_2 = [(12 \times 9.90 + 34 \times 6.00) \times \pi \times 1.2192]$ $T_2 = 1236.40 \text{ kN} \quad (126.03 \text{ t})$		Çekme Yük Taşıma Kapasitesi

Kazığa ait sürtünme taşıma kapasitesine ek olarak, Çok Zayıf Anakaya tabakasındaki uç taşıma kapasitesi de göz önüne alınmıştır. Böylece basınç ve çekme altında elde edilen toplam yük taşıma kapasiteleri ile emniyetli basınç ve çekme yük taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır (Çizelge 6.7). Kazık ağırlığı W_p , kazık birim ağırlığı 533.22 kg/m olacak şekilde 55.00 m kazık uzunluğu için 29.33 t alınmıştır.

Çizelge 6.7 Emniyetli yük taşıma kapasitesi

Toplam Basınç Yük Taşıma Kapasitesi (Q_1+Q_2)+ Q_u	$Q_{ult} = (572.30 + 194.58) + (1785.10)$ $Q_{ult} = 2551.98 \text{ t}$
Emniyetli Basınç Kapasitesi (Sürekli Yükler için)	$Q_{all1} = Q_{ult}/3 = 850.66 \text{ t}$
Emniyetli Basınç Kapasitesi (Geçici Yükler için)	$Q_{all2} = Q_{ult}/2 = 1275.99 \text{ t}$
Toplam Çekme Yük Taşıma Kapasitesi (T_1+T_2)	$T_{ult} = (83.47) + (126.03) = 209.51 \text{ t}$
Emniyetli Çekme Kapasitesi	$T_{all} = T_{ult}/3 + W_p = 69.84 + 29.33 = 99.17 \text{ t}$

6.6 Yapıya Tesir Eden Yükler

6.6.1 Sabit Yükler

Üst yapı ağırlığının belirlenmesinde dikkate alınan birim yükler Çizelge 6.8’de belirtilmiştir.

Çizelge 6.8 Üst yapı özgül ağırlıkları

Özgül Ağırlıklar	Betonarme (Kuru):	2.50 t/m ³
	Betonarme (Islak):	2.65 t/m ³
	Kaplama Betonu:	2.40 t/m ³

Tabliye boyutları kullanılarak yapıya tesir eden sabit yükler hesaplanmış ve Çizelge 6.9’da verilmiştir.

Çizelge 6.9 Toplam tabliye ağırlığı

Döşeme	... = 1 x [(65.50 x 30.00) x 0.80]	x 2.50 = 3930.00	t
Kenar Başlık Kirişleri	... = 2 x [(30.00 x 2.40) x 1.00]	x 2.50 = 360.00	t
Orta Başlık Kirişleri	... = 7 x [(30.00 x 2.10) x 1.00]	x 2.50 = 1102.50	t
Kaplama	+ ... = 1 x [(65.50 x 30.00) x 0.35]	x 2.40 = 1650.60	t
Toplam Tabliye Ağırlığı G	... =	= 7043.10	t
1 m ² ’ye düşen ağırlık	... = 7043.10 / (65.50 x 30.00)	= 3.58	t/m ²

Deprem hesabında kullanılacak toplam yapı kütlesi M_t için kazıkların toplam ağırlığının da bilinmesi gerekmektedir. Birim uzunluk için çelik kazık ağırlığı 0.53 t/m, içi su dolu kısım (çelik kazık+su) için 1.13 t/m ve içi beton dolu kısım (çelik kazık+beton) için 2.75 t/m olarak hesaplanmıştır. Hesaplar, her bir malzemeye ait birim uzunluk hacmi ile özgül ağırlıkların çarpılması şeklinde yapılmıştır.

Çizelge 6.10 Toplam kazık ağırlığı

Çelik Kazık Ağırlığı	... =	28.10 x 0.53	= 14.98	t
İçi Su Dolu Kısım	... =	22.10 x 1.13	= 24.91	t
İçi Beton Dolu Kısım	+ ... =	6.00 x 2.75	= 16.49	t
Tekil Kazık Ağırlığı	... =		= 56.38	t
Toplam Kazık Ağırlığı	... =	63 x 56.38	= 3552.16	t

Çizelge 6.10’da detayı verilen toplam kazık ağırlığı ile tabliye ağırlığı toplanarak deprem hesabına esas toplam yapı kütlesi (6.12) ifadesinde gösterilmiştir.

$$M_t = \frac{(7043.10) + (3552.20)}{9.81} = \frac{10595.3}{9.81} = 1080.05 \text{ ts}^2 / m \quad (6.12)$$

6.6.2 Hareketli Yükler

Yapıya tesir eden hareketli yükler Düzgün Yayılı Yükler (E_Q) ve Ek Hareketli Yükler (E_p) olarak iki başlıkta değerlendirilmiştir.

Düzgün Yayılı Hareketli Yük (E_Q)

Kereste ve kereste mamulâtı sevkiyatı için kullanılacak iskelede, buna uygun olarak tabliye üzerinde düzgün yayılı hareketli yük olarak 3.00 t/m^2 alınmıştır [21]. Bu yük kullanılarak yapıya etki eden E_Q , (6.13) ifadesi ile belirlenmiştir.

$$E_Q = 3 \times (65.50 \times 30.00) = 5895t \quad (6.13)$$

Ek Hareketli Yükler (E_p)

Ek hareketli yüklerin belirlenmesinde elleçleme ve taşıma ekipmanları tarafından yapıya etki eden yükler dikkate alınır. Yapı üzerine etki edecek ekipman tip ve birim ağırlıkları Çizelge 6.11’de verilmiş ve en büyük değer alınmıştır. Burada, iskele üzerinde hareket edecek olan kamyon tipi, iskele kullanım amacına uygun olarak $H_{30}S_{24}$ olarak belirlenmiştir [21]. Yine iskele üzerinde elleçleme faaliyetlerini yapmak üzere 30 ton kapasiteli mobil vinç hesaplarda dikkate alınmıştır. Vinç için öz ağırlığı 380 ton, kurulum alanı ise $12.00 \times 13.00 \text{ m}$ ölçülerindedir [21].

Çizelge 6.11 Ek hareketli yükler (E_p) [21]

Ek Hareketli Yükler (E_p)	$H_{30}S_{24}$ Kamyon Yüğü:	3.30 t/m^2
	Mobil Vinç Yüğü (380t) :	2.44 t/m^2

Bu değerler kullanılarak maksimum değeri veren 3.30 t/m^2 için yapıya tesir eden E_p , (6.14) ifadesi ile verilmiştir.

$$E_p = 3.3 \times (65.50 \times 30.00) = 6484.5t \quad (6.14)$$

6.6.3 Gemi Çarpma Kuvveti

Tasarıma gemisi özelliklerine bağlı olarak, yapılan hesaplar neticesinde yapıya yatay düzlemde tesir edecek olan yanaşma enerjisi Çizelge 6.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.12 Gemi yanaşma enerjisi (E_f)

Gemi Kütlesi, DT (t)	63264
Gemi Yanaşma Hızı, V (m/s)	0.10
<i>Gemi ağırlık merkezi ile usturmaçaya yaslanma arası mesafesi, l</i>	45.62
<i>Geminin ağırlık merkezinden geçen eksen etrafındaki dönme yarıçapı, r</i>	50.26
Dışmerkezlik (eksantrisite) Faktörü, C_e	0.548
Blok katsayısı, C_b	0.74
Hidrodinamik Direnç Katsayısı, C_m	1.85
Esneklik Faktörü, C_s	1.00
Yanaşma Şekil Faktörü, C_c	1.00
Gemi Yanaşma Enerjisi, E_f (kNm)	320.69
Gemi Yanaşma Enerjisi, E_f [tm]	[32.69]

Gemi yanaşma enerjisi, gemilerin yanaşma yapılarına güvenli bir şekilde bağlanabilmeleri için kullanılan enerji sönümleyici ve darbe emici usturmaça elemanlarının belirlenebilmesi için kullanılmaktadır.

Bu amaçla, 52.25 tm enerji kapasitesi ve 125 t kuvvet kapasitesi olan SUMITOMO LMD 1000H CLO %52.5 tipi usturmaça seçilmiş ve gemi çarpma kuvveti 125 t olarak belirlenmiştir.

6.6.4 Gemi Bağlama Kuvveti

Tasarım gemisi özelliklerine bağlı olarak ön tasarımda kullanılacak baba çekme kuvveti B , daha önce verilmiş olan Çizelge 5.7 kullanılarak bulunmuş ve (6.15) ile verilmiştir.

$$B = 100 \text{ t.} \quad (6.15)$$

Burada, geminin gros tonajı 27050 GT dir ve 20.000 – 50.000 GT aralığında kaldığı için baba çekme kuvveti 100t olarak kabul edilmiştir. Ancak rüzgâr (F_{TW}) ve akıntı (F_{TC})

kuvvetleri sebebiyle gemiye etki eden toplam enine kuvvet değeri tespit edildikten sonra karşılaştırma yapılarak en elverişsiz olan değer alınmalıdır.

Ayrıca Çizelge 5.8 kullanılarak, iskelenin tek tarafındaki baba aralık ve sayısı belirlenmiş ve baba aralığı 35m, baba sayısı ise 8 olarak tespit edilmiştir.

6.6.5 Rüzgâr Yükleri

Rüzgâr yükleri, iskeleye doğrudan etki eden rüzgâr yükleri ve iskeleye dolaylı olarak etki eden rüzgâr yükleri olarak iki başlık altında incelenebilir.

İskeleye Doğrudan Etki Eden Rüzgâr Yükleri

İskele yüzeyinde depolama faaliyeti yapılmadığı için tabliye üzerinin boş olduğu düşünülerek hesap yapılacaktır. Bu durum için yapıya tesir edecek birim rüzgâr yükü 0.25 t/m^2 olarak alınacaktır [21]. Ayrıca yapıda depolama faaliyetleri yapılması ihtimalinde tabliye üzerinde 3 m yüksekliğinde rüzgâr kuvvetine maruz şerit yüzey alanı dikkate alınır [21]. Bu durumda etki edecek birim rüzgâr kuvveti 0.125 t/m^2 olarak alınır [21].

İskele yüzeyinin boş olması durumu için, enine ve boyuna etki edecek rüzgâr yükü W_G (6.16) ifadesi ile verilmiştir.

$$\begin{aligned} W_{G,e} &= \text{Rüzgar Yüğü} \times (\text{Ano Boyu} \times \text{Rüzgara maruz tabliye yüksekliği}) \\ W_{G,e} &= 0.25 \times (65.50 \times 1.15) = 18.83t \\ W_{G,b} &= \text{Rüzgar Yüğü} \times (\text{Ano Eni} \times \text{Rüzgara maruz tabliye yüksekliği}) \\ W_{G,b} &= 0.25 \times (30.00 \times 2.15) = 16.13t \end{aligned} \tag{6.16}$$

İskeleye Dolaylı Olarak Etki Eden Rüzgâr Yükleri

Gemiye tesir eden rüzgâr yükleri Çizelge 6.13'te yapılan hesaplar ile gösterilmiştir. Rüzgâr geliş açısı 90° olmak üzere, gemi bordosuna dik olarak etki ettiği için en büyük rüzgâr kuvveti enine doğrultuda oluşacaktır. Hesaplarda rüzgâr kuvveti katsayısı $C_{TW}=1.90$ [22], 0° C'de havanın özgül kütlesi $\rho_A=1.309 \text{ kg/m}^3$, geminin rüzgâra maruz yüzey alanı $A_L=6000 \text{ m}^2$ [22] ve rüzgâr hızı $U_w=50 \text{ m/s}$ olarak alınmıştır.

Çizelge 6.13 Gemiye etkiyen rüzgâr yükleri

Enine Yönde Rüzgâr Kuvveti F_{TW}	$F_{TW} = C_{TW} \rho_A A_L U_w^2 \times 10^{-4}$ $F_{TW} = (1.90)(1.309)(6000)(50)^2 \times 10^{-4}$ $F_{TW} = 3730.65kN \text{ (380.29t)}$
-------------------------------------	--

Gemiye etki eden rüzgâr kuvvetinin bulunmasından sonra, rüzgâr kuvvetine maruz kalan geminin iskeleye aktardığı yük hesaplanmıştır (Çizelge 6.14). Burada iskele boyu 65.50 m ve gemi uzunluğu $L_{BP}=201$ m'dir. Bununla birlikte iskele üstünde çalışacak elleçleme ekipmanları sebebiyle iskeleye aktarılacak olan yük için ekipman ağırlığının %10'u dikkate alınacaktır [21].

Çizelge 6.14 İskele dolaylı olarak etkiyen rüzgâr yükleri

Gemi Yaslanması Sebebiyle Etkiyen Rüzgâr Kuvveti	$W_{p1} = 380.29 \times \frac{65.50}{201} = 123.93t$
Elleçleme Ekipmanları Sebebiyle Etkiyen Rüzgâr Kuvveti	$W_{p2} = 350 \times 0.10 = 35t$
En Büyük Rüzgâr Kuvveti Seçilirse;	$W_p = 123.93t$

6.6.6 Akıntı Kuvveti

Gemiye etki edecek en büyük akıntı kuvveti, enine doğrultuda dik olarak etki eden kuvvettir. Akıntı geliş açısı θ bu durumda 90° olarak alınır. Akıntı geliş açısına ve gemi özelliklerine bağlı olarak enine akıntı kuvveti katsayısı $C_{TC}=1.25$ ve derinlik düzeltme faktörü $C_{CT}=2.0$ olarak alınır [22]. Gemi uzunluğu $L_{BP}=201$ m, tuzlu suya ait özgül kütle $\rho=1.025$ t/m³, su derinliği $d=27.50$ m ve ortalama akıntı hızı 1.50 m/s alınarak hesaplar yapılmış ve enine akıntı kuvveti F_{TC} Çizelge 6.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.15 Gemiye etkiyen enine akıntı kuvveti, F_{TC}

Enine Yönde Akıntı Kuvveti F_{TC}	$F_{TC} = C_{TC} C_{CT} \rho L_{BP} d (V_c)^2 \times 10^{-4}$ $F_{TC} = (1.25)(2.0)(1.025)(201)(27.5)(1.5)^2 \times 10^{-4}$ $F_{TC} = 3.19kN \text{ (0.32t)}$
-------------------------------------	--

Gemiye etki eden akıntı kuvveti sebebiyle iskeleye aktarılacak S_A akıntı yükü (6.17) eşitliği ile belirlenir.

$$S_A = 0.32 \times \frac{65.50}{201} = 0.10t \quad (6.17)$$

Gemi bağlama yükü olarak alınan $B=100t$ değerinin, elde edilen enine yöndeki akıntı ve rüzgâr kuvvetleri toplamı ile karşılaştırılması (6.18) eşitliği ile yapılarak $B=100t$ olarak alınmıştır.

$$\left[\begin{array}{l} F_{TW} = 380.29t \\ F_{TC} = 0.32t \end{array} \right] \rightarrow F_{toplaml} = 380.61 \rightarrow \text{Baba aralığı} = 8 \Rightarrow \frac{F_{toplaml}}{8} = 47.58t < B = 100t \quad (6.18)$$

6.6.7 Dalga Yükleri

Tekil kazığa etki eden dalga yüklerini belirleyebilmek için tasarım dalgasına ait parametreler belirlenmelidir. Bu kapsamda dalga iklim çalışması neticesinde elde edilen parametreler Çizelge 6.16'da verilmiştir.

Çizelge 6.16 Tasarım dalgasına ait veriler

Tasarım dalgası, H_s	2.00 m
Tasarım dalgası periyodu, T	5.00 s
Derin su dalga boyu, L_0	$1.56T^2 = 1.56 \times 5^2 = 39.00$ m
Deniz taban eğimi, m	0.05

D/L oranına göre küçük çaplı silindirik kazık olduğu (6.19) ifadesi ile belirlenmiş ve Morison (1950)¹ denklemi kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür.

$$\frac{D}{L} = \frac{1.2192}{39} = 0.03 < 0.20 \quad (6.19)$$

Ayrıca, (6.20) eşitliği ile lineer dalga teorisi kullanımının uygun olduğu görülmüştür.

$$\frac{D}{L} = \frac{1.2192}{39} = 0.03 < 0.05 \quad (6.20)$$

¹ Bkz. (5.8) ifadesi

Atalet kuvveti katsayısı C_M , genellikle dairesel kesitli kazıklar için 2.00 olarak alınır. Direnç kuvveti katsayısı C_D , kazığın şekline, Reynold sayısına ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak değişim göstermekle beraber dairesel kesitli kazıklar için 0.70 olarak belirlenmiştir.

Bölüm 5.2.4.7’de tanımlanmış olan ifadeler yardımıyla, F_D ve F_i için maksimum değerlerin elde edileceği t anına göre K_i ve K_D boyutsuz parametreleri bulunmuş ve Çizelge 6.17’de detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 6.17 K_i ve K_D boyutsuz parametreleri

$\left[\frac{2\pi d}{L} = \frac{2\pi(27.50)}{39.00} = 4.43 \right]; \left[\frac{2\pi t}{T} = \frac{2\pi(-5/4)}{5.00} = -1.57 \right]$		$F_{i,\max} \rightarrow \begin{bmatrix} t = -T/4 \\ t = -5/4 \end{bmatrix}$	$F_{D,\max} \rightarrow t = 0$
K_i	$K_i = \frac{1}{2} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \sin\left(-\frac{2\pi t}{T}\right)$ $K_i = \frac{1}{2} \tanh(4.43) \sin(1.57)$	0.50	-
K_D	$K_D = \frac{1}{4} n \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \left \cos \frac{2\pi t}{T} \right $ $K_D = \frac{1}{4} (0.5) \cos(0) \cos(0) $	-	0.125
n	$n = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)} \right)$ $n = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2 \times 4.43}{\sinh(2 \times 4.43)} \right)$	-	0.50

Elde edilen boyutsuz parametreler kullanılarak F_i ve F_D değerleri elde edilerek Çizelge 6.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.18 F_i ve F_D değerleri

F_i	$F_i = C_M \rho g \frac{\pi D^2}{4} H K_i$ $F_i = (2.00)(1.025)(9.81) \frac{\pi (1.2192)^2}{4} (2)(0.50)$	2.39 t (23.45 kN)
F_D	$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho g D H^2 K_D$ $F_D = (0.7) \frac{1}{2} (1.025)(9.81)(1.2192)(2)^2 (0.125)$	0.22 t (2.15 kN)
$C_M = 2.00, C_D = 0.7, H=2.00 \text{ m}, D=1.2192 \text{ m}, d=27.5 \text{ m}, \rho=1.025 \text{ t/m}^3$		

Elde edilen değerler, farklı t zamanlarına bağlı olarak maksimum değerlerdir. Yapıya tesir edecek maksimum dalga kuvveti F_m ise (6.21) eşitliği ile bulunur.

$$F_m = \varphi_m \times \rho \times g \times C_D \times D \times H^2 \quad (6.21)$$

Burada φ_m değeri (6.22) eşitliğinde verilen W , H/gT^2 ve d/gT^2 boyutsuz parametreleri kullanılarak belirlenir[12].

$$\left[\begin{array}{l} W = \frac{C_M D}{C_D H} = \frac{2.0 \times 1.2192}{0.7 \times 2.00} = 1.74 \\ \frac{d}{gT^2} = \frac{27.50}{9.81(5)^2} = 0.112 \\ \frac{H}{gT^2} = \frac{2.00}{9.81(5)^2} = 0.008 \end{array} \right] \Rightarrow \varphi_m = 0.67 \quad (6.22)$$

Bu şekilde etki edecek maksimum dalga kuvveti F_m bulunur ve yapıya enine ve boyuna yönde etki edecek dalga yükleri belirlenir. Dalgaların enine ve boyuna doğrultuda yapıya etkimesi esnasında, bu dalga kuvvetine maruz kalan kazık sayısı sırasıyla 9 ve 7 dir. Burada, kazık sayısı o doğrultudaki kesit izdüşümü düşünülerek belirlenir (Çizelge 6.19).

Çizelge 6.19 Dalga yükleri S_w

$F_m = (\varphi_m \times \rho \times g \times C_D \times D \times H^2) = (0.67 \times 1.025 \times 9.81 \times 0.70 \times 1.2192 \times 2^2) = 2.33t$	
Enine Yönde - Dalgaya Maruz Kazık Sayısı = 9 için;	$S_{w,e} = 9 \times 2.33 = 20.97t$
Boyuna Yönde - Dalgaya Maruz Kazık Sayısı = 7 için;	$S_{w,b} = 7 \times 2.33 = 16.31t$

6.6.8 Suyun Kaldırma Kuvveti (S_k)

Deprem hesabında dikkate alınması gereken, suyun kazığa etki eden kaldırma kuvveti S_k , su içinde bulunan kazık uzunluğu boyunca kapladığı kesit hacmi kullanılarak (6.23) ifadesi ile hesaplanır.

$$S_k = A_{kesit} \times \rho \times d = 0.068 \times 1.025 \times 27.50 = 1.91t \quad (6.23)$$

6.7 DGT Kapsamında Eş Değer Deprem Yüğü Yöntemi ile Analiz

6.7.1 Deprem Tasarım Spektrumları

Yapının bulunduğu 40°46' Kuzey, 29°33' Doğu koordinatları esas alınarak, D2 deprem düzeyi ve B zemin sınıfı için [27], yapıya ait spektral ivme değerleri S_s ve S_a DLH (2008) Ek-A'da verilmiş olan çizelgelerden faydalanılarak Çizelge 6.20'de verilmiştir.

Çizelge 6.20 B zemin sınıfı için spektral ivme değerleri

Boylam	Enlem	Kısa Periyot – S_s (g)	1 sn Periyot – S_a (g)
29.3	40.5	1.35	0.61

Çizelge 6.20 'de B zemin sınıfı esas alınarak hazırlandığı ve yapı zemin sınıfının da B zemin grubu olması sebebiyle F_a ve F_v değerleri 1 alınarak spektral ivme değerleri ve köşe periyotları Çizelge 6.21 Yapı için geçerli spektral ivme değerleri'de gösterilmiştir.

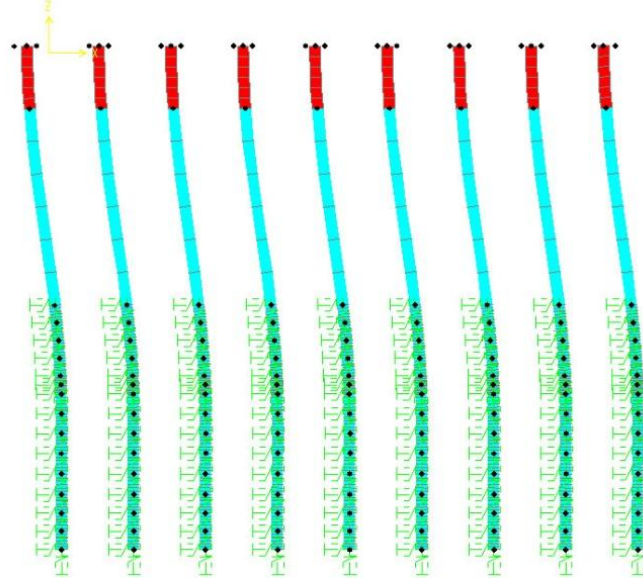
Çizelge 6.21 Yapı için geçerli spektral ivme değerleri

Kısa periyot spektral ivme değeri	$S_{MS} = F_a \times S_s = 1 \times 1.35 = 1.35g$
1.0 s periyodu için spektral ivme değeri	$S_{M1} = F_v \times S_1 = 1 \times 0.61 = 0.61g$
Bitiş köşe periyodu	$T_s = \frac{S_{M1}}{S_{MS}} = \frac{0.61}{1.35} = 0.45$
Başlangıç köşe periyodu	$T_0 = 0.2T_s = 0.2 \times (0.45) = 0.09$

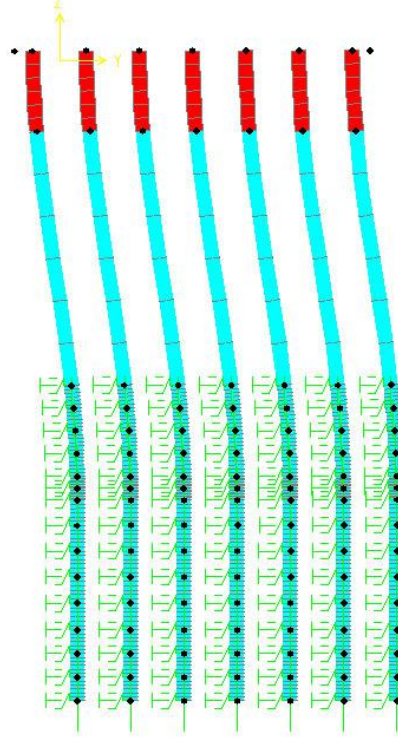
Yapıya ait deprem tasarım spektrumunun çizilebilmesi için, yapının deprem doğrultusundaki hâkim moduna ait yapı periyodunun bilinmesi gerekmektedir. Bunun için SAP2000, ver.14.2.2 programı kullanılarak yapı sistemi modellenmiş ve elde edilen değerler Çizelge 6.22'de verilerek Şekil 6.6 ve Şekil 6.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.22 Yapıya ait doğal titreşim periyodu

X doğrultusunda hâkim moda ait doğal titreşim periyodu	$T_{x,1}=2.58$ s
Y doğrultusunda hâkim moda ait doğal titreşim periyodu	$T_{y,1}=2.43$ s



Şekil 6.6 X doğrultusunda hâkim moda ait doğal titreşim şekli

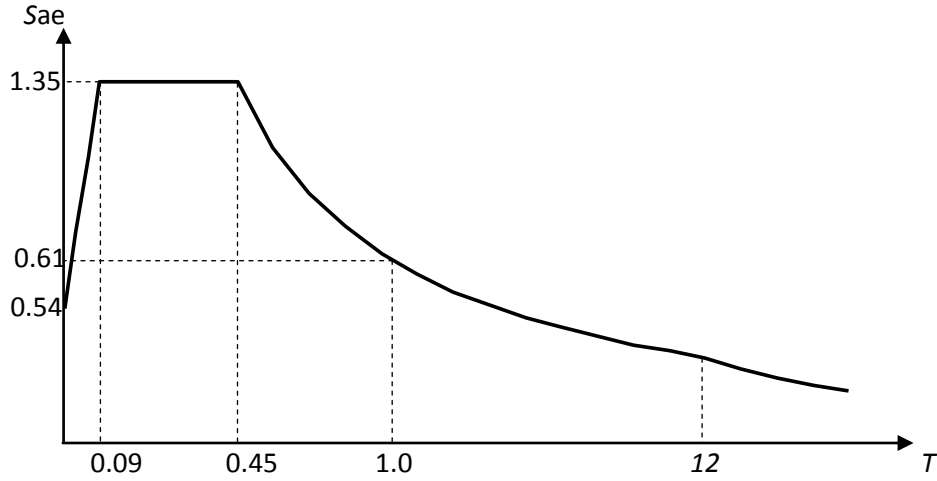


Şekil 6.7 Y doğrultusunda hâkim moda ait doğal titreşim şekli

Elde edilen yapı periyotları ile köşe periyotları kıyaslanarak X ve Y deprem doğrultularındaki deprem tasarım spektrumları (S_{ae}) Çizelge 6.23'te verilmiş ve Şekil 6.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.23 Deprem tasarım spektrumları

Deprem Tasarım Spektrumları		X doğrultusu	Y doğrultusu
$T \leq T_0$	$S_{ae}(T) = 0.4 \times S_{MS} + 0.6 \times \frac{S_{MS}}{T_o} T$	$S_{ae}(0) = 0.4 \times (1.35) = 0.54g$	
$T_o \leq T \leq T_s$	$S_{ae}(T) = S_{MS}$	$S_{ae}(0.09) = 1.35g$ $S_{ae}(0.45) = 1.35g$	
$T_s \leq T \leq T_L$	$S_{ae}(T) = \frac{S_{M1}}{T}$	$S_{ae}(2.58) = \frac{0.61g}{2.58} = 0.24g$	$S_{ae}(2.43) = \frac{0.61g}{2.43} = 0.25g$
$T_L \leq T$	$S_{ae}(T) = \frac{S_{M1} \times T_L}{T^2}$	$S_{ae}(12) = \frac{1.35 \times 12}{12^2} = 0.11g$	
$T_0=0.09\ s,\ T_s=0.45\ s,\ T_L=12\ s,\ T_{x,1} = 2.58\ s,\ T_{y,1} = 2.43\ s$			



Şekil 6.8 Deprem tasarım spektrumu

6.7.2 Deprem Azaltma Katsayısı

Bölüm 4.9.2'deki ifadeler dikkate alınarak deprem azaltma katsayısının (R_d) bulunmasında, önceden tanımlanmış olan, Çizelge 4.6'daki düşey kazıklardan oluşmuş iskele yapıları için taşıyıcı sistem davranış katsayısı R ;

- Kontrollü Hasar(KH) performans düzeyi için $R=4.0$ değeri olarak alınacaktır [2].

Aynı şekilde (6.24) ifadesi kullanılarak;

$$R_a(T) = R \quad (T_s < T) \quad (6.24)$$

hem $T_{x,1}=2.58>T_s=0.45$ hem de $T_{y,1}=2.43>T_s=0.45$ koşulları göz önüne alınarak X ve Y deprem doğrultuları için $R_a=4.0$ değeri deprem azaltma katsayısı olarak bulunmuştur.

6.7.3 Eş değer Deprem Yüğü

D2 deprem düzeyi için, hem X yönünde hem de Y yönünde yapıya tesir eden eş değer deprem yükleri ve burulma momentleri tayin edilmiştir. X doğrultusunda etki eden deprem durumu için yapılan hesaplara göre eş değer deprem yükü $V_{x,1}$ (6.25) ifadesi kullanılarak Çizelge 6.24'te gösterilmiştir.

$$V_{x,1} = \frac{M_t S_{ae}(T_{x,1})}{R_a(T_{x,1})} \geq \eta M_t S_{ae}(0) \quad (6.25)$$

Çizelge 6.24 Eş değer deprem yükü ($V_{x,1}$ $V_{y,1}$)

$M_t = 1080.05 \text{ ts}^2 / m$	$\frac{M_t S_{ae}(T_{x,1})}{R_a(T_{x,1})} = \frac{(1080.05)(0.24 \times 9.81)}{4} = 635.72t$
$S_{ae}(T_{x,1}) = S_{ae}(2.58) = 0.24g$	$\frac{M_t S_{ae}(T_{y,1})}{R_a(T_{y,1})} = \frac{(1080.05)(0.25 \times 9.81)}{4} = 662.20t$
$S_{ae}(T_{y,1}) = S_{ae}(2.43) = 0.25g$	
$R_a = 4$	
$\eta = 0.15$ (Normal Sınıf)	$\eta M_t S_{ae}(0) = (0.15)(1080.05)(0.54 \times 9.81)$
$S_{ae}(0) = 0.54g$	$\eta M_t S_{ae}(0) = 858.22t$

Yapılan hesaplarda büyük olan değer esas alınarak $V_{x,1} = 858.22 \text{ t}$ olarak belirlenmiştir. Y doğrultusundaki deprem durumu için yapılan hesaplar sonucunda da yine aynı şekilde $V_{y,1} = 858.22 \text{ t}$ olarak bulunmuştur. Tabliyeye etki eden burulma momenti M_b ise Çizelge 6.25'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.25 Burulma momenti (M_b)

$M_{bx,1} = \pm 0.05 B_y V_{x,1}$	$M_{bx,1} = \pm 0.05(30)(858.22)$
$B_y = 30m$	$M_{bx,1} = \pm 1287.33tm$
$M_{by,1} = \pm 0.05 B_x V_{y,1}$	$M_{by,1} = \pm 0.05(65.5)(858.22)$
$B_x = 65.5m$	$M_{by,1} = \pm 2810.67tm$

Eş değer deprem kuvvetinin, yapı sistemine etki noktasının belirlenmesinde iki durum söz konusudur. Birinci durum yapının tüm ağırlığının tabliye kütle merkezinde toplandığı varsayılarak sadece tabliye kütle merkezine etki ettirilmesi, diğeri ise toplam kazık ağırlığı ile tabliye ağırlığının ayrı ayrı değerlendirilerek tabliye merkezi ile kazıklara etki ettirilmesidir.

Kazıkların toplam kütlesi ile tabliye kütlesi arasında (6.26) ifadesinde gösterilen oranın %15'ten küçük olması koşulunda birinci durum, aksi koşulda ise ikinci durum uygulanır.

$$\frac{\text{Kazıkların toplam kütlesi}}{\text{Tabliye kütlesi}} = \frac{362.10}{717.95} = \%50 > \%15 \quad (6.26)$$

Elde edilen değer, %15 değerinden büyük olduğu için eş değer deprem yükü, tabliye kütle merkezine ve kazık kütlelerine ayrı ayrı etki ettirilecektir.

6.8 Yükler ve Yük Kombinasyonları

Yapıya etki eden yükler belirlenmiş ve Çizelge 6.26'da verilmiştir.

Çizelge 6.26 Yapıya tesir eden düşey ve yatay yükler

Öz Ağırlık	G	=	7043.10	t
Ek düzgün yayılı yükler	E _Q	=	5895.00	t
Ek hareketli yükler	E _P	=	6543.50	t
Gemi yanaşma yükü	Y	=	125.00	t
Gemi bağlama yükü (Baba yükü)	B	=	100.00	t
Akıntı yükü	S _A	=	0.10	t
Dalga yükü (Enine Yönde)	S _{W,e}	=	21.00	t
Dalga yükü (Boyuna Yönde)	S _{W,b}	=	16.31	t
Rüzgâr yükü (Enine Yönde)	W _{G,e}	=	18.83	t
Rüzgâr yükü (Boyuna Yönde)	W _{G,b}	=	16.13	t
Elleçleme ve taş. ekip. etk. Yük (Enine Yönde)	W _{P,e}	=	123.93	t
Elleçleme ve taş. ekip. etk. Yük (Boyuna Yönde)	W _{P,b}	=	35.00	t
Deprem Kuvveti (Enine Yönde – Y doğrultusu)	V _y	=	858.22	t
Deprem Kuvveti (Boyuna Yönde – X doğrultusu),	V _x	=	858.22	t
Suyun Kaldırma Kuvveti	S _K	=	1.91	t

Çizelge 5.12’de tanımlanmış olan yük kombinasyonları belirlenmeden önce, Çizelge 6.27’de verilen karşılaştırmalar yapılarak en elverişsiz kombinasyonlar belirlenmiştir.

Çizelge 6.27 Yapıya tesir ettirilecek yük kombinasyonları

$\left[\begin{array}{l} Y = 125.00t > B = 100.00t \\ E_p = 6543.50 > E_q = 5895.00t \end{array} \right] \Rightarrow$	$K_{11} = G + E_p + Y$
$\left[\begin{array}{l} (S_{W,e} + 0.5W_{G,e} + 0.5W_{P,e}) = 92.35t \\ (S_{W,e} + W_{G,e}) = 39.80t \\ S_A = 0.10 \end{array} \right] \Rightarrow$	Enine Yönde; $K_{13} = G + E_p + (S_W + 0.5W_G + 0.5W_P)$
$\left[\begin{array}{l} (S_{W,b} + 0.5W_{G,b} + 0.5W_{P,b}) = 41.88t \\ (S_{W,b} + W_{G,b}) = 32.44t \\ S_A = 0.00 \end{array} \right] \Rightarrow$	Boyuna Yönde; $K_{13} = G + E_p + (S_W + 0.5W_G + 0.5W_P)$

Deprem etkisi altında kullanılacak yük kombinasyonu ise daha önce Bölüm 4.9.1’de tanımlandığı üzere (6.27) ifadesi ile gösterilmiştir.

$$K_{14} = G + S_K + V + 0.5B \quad (6.27)$$

Kazığa etki eden suyun kaldırma kuvveti S_K , düşey yükler karşısında küçük mertebelerde olduğu için ihmal edilmiştir.

Yapılan hesaplamalar neticesinde toplam 6 adet yükleme tipi tanımlanmış ve yapıya etki ettirilerek SAP2000, ver.14.2.2 programı yardımıyla kazıklara ait kesit tesirleri ve tabliye yer değiştirme değerleri elde edilmiştir (Çizelge 6.28 ve Çizelge 6.29).

Çizelge 6.28 Enine yönde oluşan kesit tesirleri ve yer değiştirmeleri

Enine Yönde (Y Doğrultusu)			
1.Yükleme: $[K_{11} = G + E_p + Y]$	$N_{maks} = 246 \text{ t}$ $N = 203 \text{ t}$ $N_{min} = 9 \text{ t}$	$M = 24 \text{ tm}$ $M_{maks} = 39 \text{ tm}$ $M = 0 \text{ tm}$	$\Delta_{y,1} = 3 \text{ cm}$
2.Yükleme: $[K_{13} = G + E_p + (S_{W,e} + 0.5W_{G,e} + 0.5W_{P,e})]$	$N_{maks} = 246 \text{ t}$ $N = 203 \text{ t}$ $N_{min} = 9 \text{ t}$	$M = 17 \text{ tm}$ $M_{maks} = 29 \text{ tm}$ $M = 0 \text{ tm}$	$\Delta_{y,2} = 2 \text{ cm}$

Çizelge 6.28 Enine yönde oluşan kesit tesirleri ve yer değiştirmeleri (devam)

3.Yüklem:	$N_{maks} = 202 \text{ t}$	$M = 240 \text{ tm}$	
$[K_{14} = G + S_K + V_y + 0.5B]$	$N = 74 \text{ t}$	$M_{maks} = 408 \text{ tm}$	$\Delta_{y,2} = 22 \text{ cm}$
	$N_{min} = -16 \text{ t}$	$M = 393 \text{ tm}$	

Çizelge 6.29 Boyuna yönde oluşan kesit tesirleri ve yer değiştirmeleri

Boyuna Yönde (X Doğrultusu)			
4.Yüklem:	$N_{maks} = 246 \text{ t}$	$M = 24 \text{ tm}$	
$[K_{11} = G + E_p + Y]$	$N = 203 \text{ t}$	$M_{maks} = 39 \text{ tm}$	$\Delta_{x,1} = 0.2 \text{ cm}$
	$N_{min} = 9 \text{ t}$	$M = 0 \text{ tm}$	
5.Yüklem:	$N_{maks} = 246 \text{ t}$	$M = 8 \text{ tm}$	
$[K_{13} = G + E_p + (S_{W,b} + 0.5W_{G,b} + 0.5W_{P,b})]$	$N = 153 \text{ t}$	$M_{maks} = 25 \text{ tm}$	$\Delta_{x,2} = 1.1 \text{ cm}$
	$N_{min} = 9 \text{ t}$	$M = 0 \text{ tm}$	
6.Yüklem:	$N_{maks} = 155 \text{ t}$	$M = 157 \text{ tm}$	
$[K_{14} = G + S_K + V_x + 0.5B]$	$N = 83 \text{ t}$	$M_{maks} = 268 \text{ tm}$	$\Delta_{x,3} = 16 \text{ cm}$
	$N_{min} = 3 \text{ t}$	$M = 0 \text{ tm}$	

6.9 Kapasite ve Yer Değiştirme Kontrolleri

6.9.1 Yer Değiştirmelerin Kontrolü

Yer değiştirme değerlerinin elde edilmesinin ardından, DLH (2008)'de¹ belirtilen yer değiştirmelerin sınırlandırması ile ilgili kurallar doğrultusunda (Çizelge 4.7), (6.28) ifadesindeki performans değerlendirmesine esas yer değiştirme(δ) verilmiştir.

$$\delta = \beta R \Delta \quad (6.28)$$

Burada, yüklemeler sonucunda elde edilen tabliye yer değiştirmeleri Δ , taşıyıcı sistem davranış katsayısı R , taşıyıcı sistem davranış katsayısına bağlı olarak belirlenen katsayı ise β olarak ifade edilmiştir.

¹ Madde 2.3.3.6

Maksimum yer değiştirme değeri Δ_{maks} , Y doğrultusunda etkiyen deprem kuvvetleri (3. Yükleme) altında oluşmuş olup 22 cm'dir. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=4$ ve buna bağlı olarak DLH (2008)'e göre $\beta=2/3$ olarak alınır ve yer değiştirme değeri (6.29) eşitliğinde verilmiştir.

$$\delta = \beta R \Delta = \left(\frac{2}{3}\right)(4)(22) = 58.67 \text{ cm} \quad (6.29)$$

Değerlendirmeye esas yer değiştirme (δ) kullanılarak, maksimum göreceli öteleme değeri (6.30) ifadesi ile hesaplanır.

$$\text{Maksimum Göreceli Öteleme} = \frac{\delta}{h_k} \quad (6.30)$$

Burada h_k kazık tabliye birleşim noktası ile kazık büküm noktası arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır. Bu mesafe, ankraj boyu, su derinliği ve iskele üst kotuna kadar olan mesafe toplanarak (6.31) eşitliğinde gösterilmiştir.

$$h_k = 9.47 + 27.50 + 2.75 = 39.72 \text{ m} \quad (6.31)$$

Bu ifade kullanılarak maksimum göreceli öteleme değeri (6.32) ifadesinde gösterilmiştir.

$$\frac{\delta}{h_k} = \frac{58.67}{3972} = 0.0147 < 0.015 \quad (6.32)$$

Elde edilen değer, düşey kazıklı iskeledeki Kontrollü Hasar (KH) için limit değer olan 0.015 (Çizelge 4.7) değerinin altında kalarak, yapının D2 depremi altında yer değiştirme değeri bakımından performans hedefini karşıladığı görölmüştür.

6.9.2 Kazık Kapasitesinin Kontrolü

Yükleme tiplerine bağlı olarak gerilme değerleri;

- 1. ve 4. Yükleme için $\sigma_{em} = \sigma_{\zeta,em} = 2160 \text{ kg/cm}^2$
- 2. ve 5. Yükleme için $\sigma_{em} = 1.25 \times \sigma_{\zeta,em} = 2700 \text{ kg/cm}^2$
- 3. ve 6. Yükleme için $\sigma_{em} = 0.85 \times \sigma_a = 3060 \text{ kg/cm}^2$ şeklinde tanımlanmıştır.

Tüm yüklemeler için kazıklarda oluşan normal kuvvet ve moment değerleri için gerilme hesabı (6.33) ifadesine uygun olarak yapılmıştır.

$$\sigma = \left(\omega \frac{N}{F} \right) + \left(\alpha \frac{M}{W} \right)$$

(6.33)

Burada ω , burkulma katsayısı olmak üzere narinlik katsayısına (λ) bağlı olarak TS648'den belirlenir. Narinlik katsayısı (6.34) eşitliğinde;

$$\lambda = \frac{L_k}{i} \quad (6.34)$$

L_k , kazık burkulma boyunu ifade etmek üzere ankastrelik boyu, su derinliği ve su yüzeyi ile iskele alt kotu arasındaki mesafenin toplamı olarak 37.57 m'dir. i , burkulma doğrultusundaki atalet yarıçapını ifade etmektedir. Böylece kazığa ait narinlik katsayısı (6.35) ifadesi ile elde edilir.

$$\lambda = \frac{L_k}{i} = \frac{3757}{42.47} = 88$$

(6.35)

TS648'den burkulma katsayısı ω , narinlik katsayısına λ , bağlı olarak 2.15 olarak belirlenir.

Ayrıca F kazık kesit alanını, N ve M kazıklarda oluşan normal kuvvet ve moment değerlerini, W mukavemet momentini ifade eder ve α bir katsayı olmak üzere TS648'e göre 0.9 olarak alınır. Yapılan hesaplara ilişkin değerler Çizelge 6.30'da gösterilmiştir. Moment değerlerine (M), P- Δ etkileri göz önüne alınarak, düşey yükler altında yapılan yer değiştirmeler(Δ) ile kazığa etkileyen eksenel kuvvetler(P) çarpılarak oluşan ilave moment değerleri de eklenmiştir.

Çizelge 6.30 Kazık gerilme hesabı

Yükleme	$\left(\omega \frac{N}{F}\right) + \left(\alpha \frac{M}{W}\right)$	$\sigma = \left(\omega \frac{N}{F}\right) + \left(\alpha \frac{M}{W}\right)$	σ_{em}
1.	779+196 643+247 28+3	974 kg/cm ² 890 kg/cm ² 32 kg/cm ²	< 2160 kg/cm ² < 2160 kg/cm ² < 2160 kg/cm ²
2.	779+135 643+178 28+2	913 kg/cm ² 821 kg/cm ² 31 kg/cm ²	< 2700 kg/cm ² < 2700 kg/cm ² < 2700 kg/cm ²
3.	639+1512 234+1987 51+1725	2151 kg/cm ² 2221 kg/cm ² 1776 kg/cm ²	< 3060 kg/cm ² < 3060 kg/cm ² < 3060 kg/cm ²
4	779+113 643+179 28+0	892 kg/cm ² 822 kg/cm ² 29 kg/cm ²	< 2160 kg/cm ² < 2160 kg/cm ² < 2160 kg/cm ²
5	779+68 484+132 28+1	847 kg/cm ² 616 kg/cm ² 30 kg/cm ²	< 2700 kg/cm ² < 2700 kg/cm ² < 2700 kg/cm ²
6	491+946 263+1330 9+5	1436 kg/cm ² 1593 kg/cm ² 14 kg/cm ²	< 3060 kg/cm ² < 3060 kg/cm ² < 3060 kg/cm ²
$F=679 \text{ cm}^2, W=20102 \text{ cm}^3, \omega= 2.15, \alpha=0.90,$			

Elde edilen bu veriler ışığında kazık gerilme kapasitelerinin yeterli olduğu görülmüştür.

6.9.3 Tekil Kazığa Ait Zemin Taşıma Kapasitesi

Yapısal model üzerinde yapılan yüklemeler neticesinde elde edilen maksimum normal kuvvet değeri (N_{maks});

- Maksimum Basınç Kuvveti - Sabit Yükler : 246 t

(1. ve 4. Yüklemeler)

- Maksimum Basınç Kuvveti - Geçici Yükler : 246 t

(2.-3. ve 5.-6. Yükleme)

- Maksimum Çekme Kuvveti : 16 t

(3. Yükleme)

olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.7’de elde edilen taşıma kapasite değerleri ile kıyaslandığında;

- Maksimum Basınç Kuvveti - Sabit Yükler : 246 t < 850.66 t
- Maksimum Basınç Kuvveti - Geçici Yükler : 246 t < 1275.99 t
- Maksimum Çekme Kuvveti : 16 t < 99.17 t

olduğu görülür ve bu değerler neticesinde zeminin taşıma kapasitesinin yeterli olduğu görülmüştür.

6.10 ŞGT ile Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Aynı yapı üzerinde yapılan bir diğer çalışma ise Şekil Değiştirmeye göre Tasarım yaklaşımı çerçevesinde doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden eş değer deprem yükü yöntemi ile yapılan çalışmadır [17]. Bu çalışma kapsamında, aynı özelliklere sahip olan kazıklı iskele yapısı, doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak analiz edilmiş ve analiz aşamaları Bölüm 6.10.1’de açıklanmıştır.

Yapılan bu çalışma neticesinde elde edilen verilere göre, düşey kazıklı yapıda hasar yüzdeleri Çizelge 6.31’de verilmiştir. Yapı D2 depremi altında kontrollü hasar performans hedefini sağlamaktadır.

Çizelge 6.31 Hasar yüzdesi

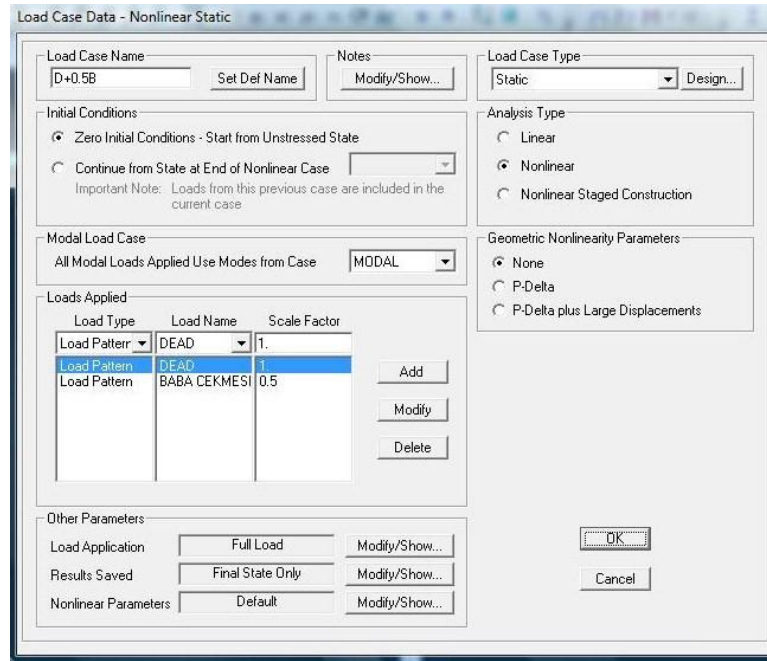
	Hasar Durumu	
	Minimum Hasar	Kontrollü Hasar
Düşey Kazıklı Sistem	%	%
X Doğrultusu	0	100
Y Doğrultusu	0	100

6.10.1 İtme Analizi İçin Yapılan Yüklemeler

Statik itme analizi için 3 adet yükleme tanımlanmıştır. Bunlar düşey yüklemeyi temsilen $G+0.5B$, X doğrultusunda yapılan itmeyi temsilen $G+0.5B+X$ ve Y doğrultusunda yapılan itmeyi temsilen $G+0.5B+Y$ olarak tanımlanmıştır. (G: öz ağırlık, B: gemi bağlama yükü) [17].

Başlangıç Yüklemesi

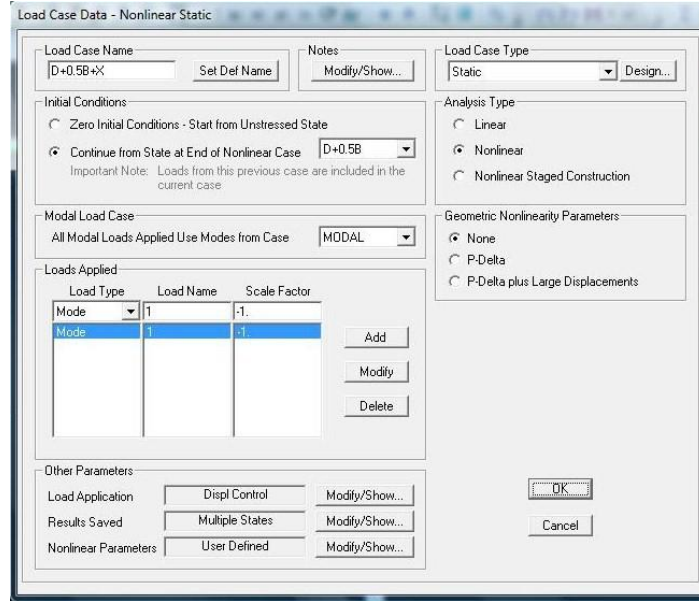
Yapının toplam ağırlığını ve baba çekme yükünün yarısını içeren doğrusal olmayan analiz durumunu ifade etmektedir. Şekil 6.9'da düşey doğrultudaki yüklere ait analiz durumu SAP2000,ver.14.2.2'de tanımlanmıştır [17].



Şekil 6.9 Düşey doğrultudaki yüklemeleri içeren analiz durumunun SAP2000, ver.14.2.2'de tanımlanması [17]

X–X Doğrultusu Yüklemesi

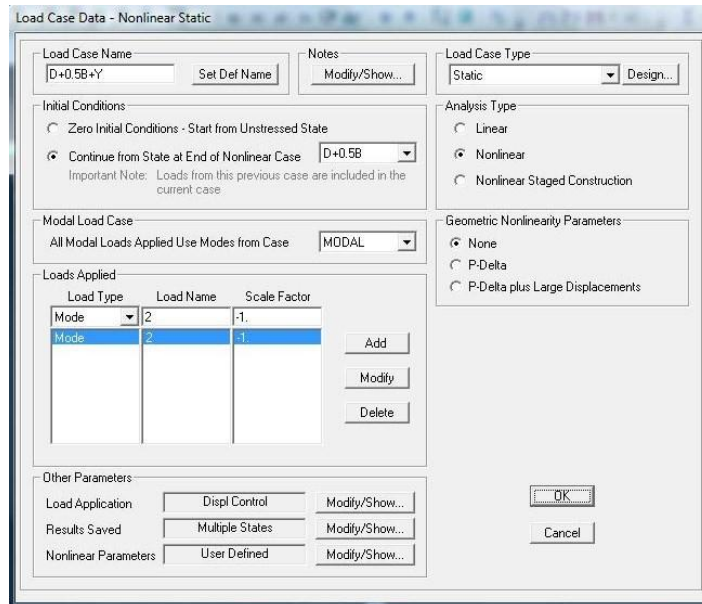
Başlangıç yüklemesi ile elastik çözümün tamamlandığı andan itibaren belirtilen yer değiştirme istemine kadar sürecek $X-X$ doğrultusunda yatay yükleme başlar. Şekil 6.10'da ait $X-X$ doğrultusuna ait yüklemeler SAP2000,ver.14.2.2 'de tanımlanmıştır [17].



Şekil 6.10 X-X doğrultusundaki yüklemeyi içeren analiz durumunun SAP2000,ver.14.2.2’de tanımlanması [17]

Y–Y Doğrultusu Yükleme

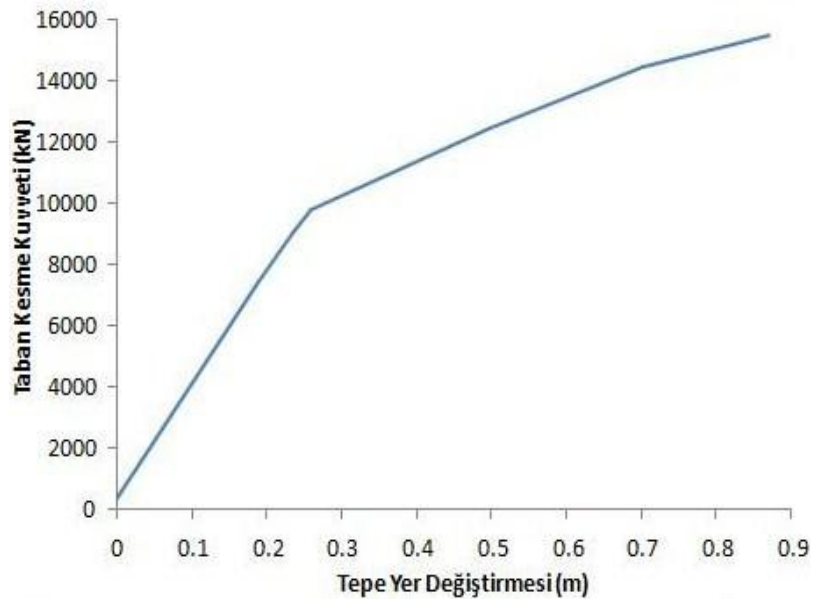
Başlangıç yüklemesi ile elastik çözümün tamamlandığı andan itibaren belirtilen yer değiştirme istemine kadar sürecek Y-Y doğrultusunda yatay yükleme başlar. Şekil 6.11’de Y-Y doğrultusuna ait yüklemeler SAP2000,ver.14.2.2 ‘de tanımlanmıştır [17].



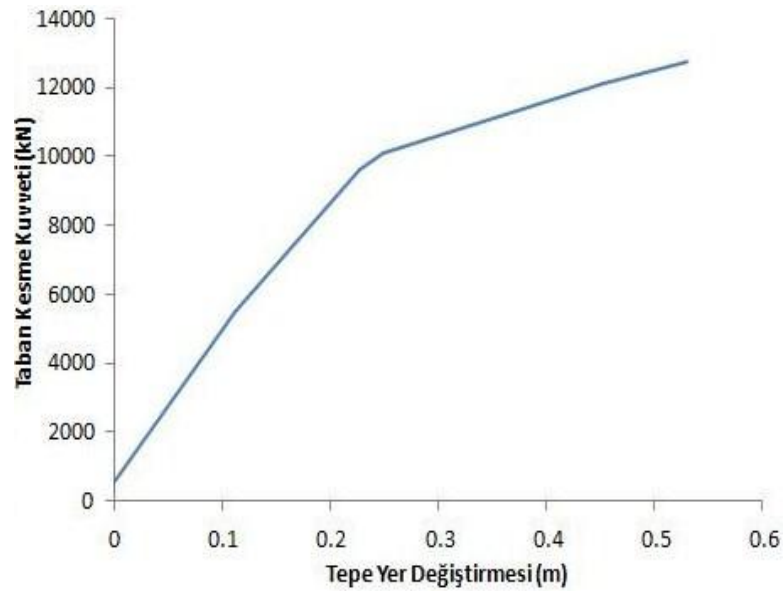
Şekil 6.11 Y-Y doğrultusundaki yüklemeyi içeren analiz durumunun SAP2000,ver.14.2.2’de tanımlanması [17]

6.10.2 İtme Analizi Sonuçları

Mevcut yüklemeler altında itme analizi yapılarak taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesi (kapasite eğrisi) elde edilmiştir. Düşey kazıklı sistem X-X ve Y-Y doğrultusu kapasite eğrileri Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'te verilmiştir. Yapı X-X doğrultusunda 0.88 m yer değiştirme ve 1600 ton kesme kuvveti karşılamıştır. Y-Y doğrultusunda ise 0.53 m yer değiştirme ve 12800 kN kesme kuvveti karşılamıştır [17].



Şekil 6.12 X-X doğrultusu itme eğrisi [17]



Şekil 6.13 Y-Y doğrultusu itme eğrisi [17]

6.10.3 Tepe Yer Değiştirme İsteminin Belirlenmesi

İtme eğrileri modal kapasite eğrilerine dönüştürülerek deprem talep eğrisi ile birlikte çizilmiştir [17]. Düşey kazıklı sistem X-X doğrultusu için gerçekleştirilen modal analiz sonucu modal katkı çarpanı ve modal kütle değerleri Çizelge 6.32’de verilmiştir [17]. Çizelge 6.33’te ise itme analizi sonuçları ve modal kapasite değerleri görülmektedir.

Çizelge 6.32 X-X doğrultusunda M_1 ve Γ_1 hesaplanması [17]

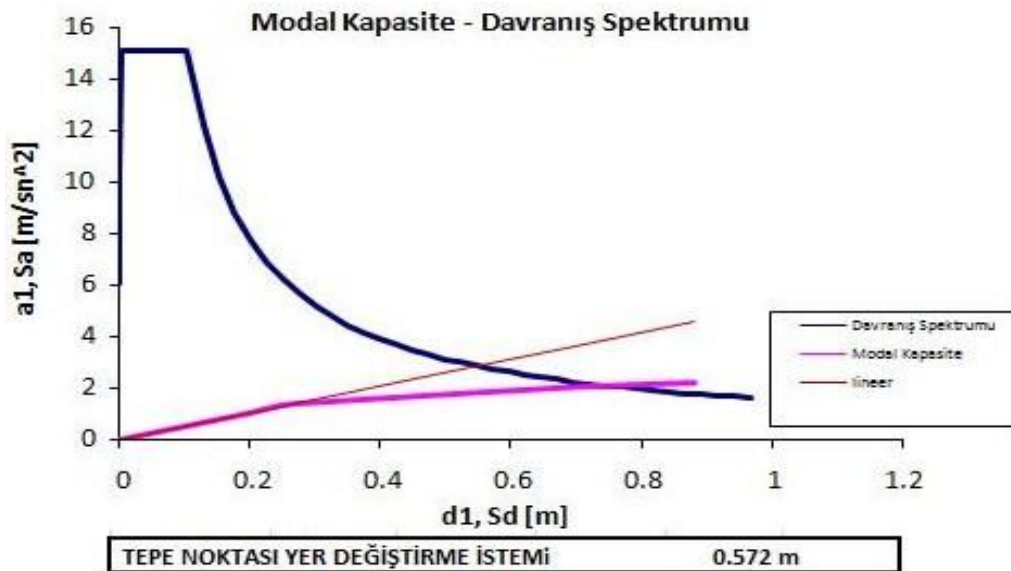
W_i (kN)	M_i	γ_1	M_1	Φ_{i1}	$M_i\Phi_{i1}$	$M_i(\Phi_{i1})^2$	Γ_1
80972	8254.03	0.87	7167.79	0.0378	312.00	11.79	26.46

Çizelge 6.33 X-X doğrultusu itme analizi sonuçları - modal kapasite değerleri [17]

UN1 [m]	V1 [kN]	M1	Φ_{N1}	Γ_1	a1	d1
0.00	0.00	7167.8	0.0378	26.46	0.00	0.00
0.20	7454.08	7167.8	0.0378	26.46	1.04	0.20
0.25	9104.46	7167.8	0.0378	26.46	1.27	0.25
0.27	9815.42	7167.8	0.0378	26.46	1.37	0.27
0.51	12485.99	7167.8	0.0378	26.46	1.74	0.51
0.71	14473.08	7167.8	0.0378	26.46	2.02	0.71
0.88	15490.22	7167.8	0.0378	26.46	2.16	0.88

Şekil 6.14’te hedef spektral yer değiştirme değeri elde edilmiş, bu değerden de (6.36) eşitliği ile tepe noktası yer değiştirme istemi hesaplanmıştır [17].

$$u_{xT,1}^{(p)} = \Phi_{xT,1} \Gamma_{x,1} d_1^{(p)} \quad (6.36)$$



Şekil 6.14 X-X doğrultusu performans noktasının belirlenmesi [17]

Düşey kazıklı sistem Y-Y doğrultusu için modal katkı çarpanı ve modal kütle değerleri Çizelge 6.34'te verilmiştir. Çizelge 6.35'de ise itme analizi sonuçları ve modal kapasite değerleri görülmektedir [17].

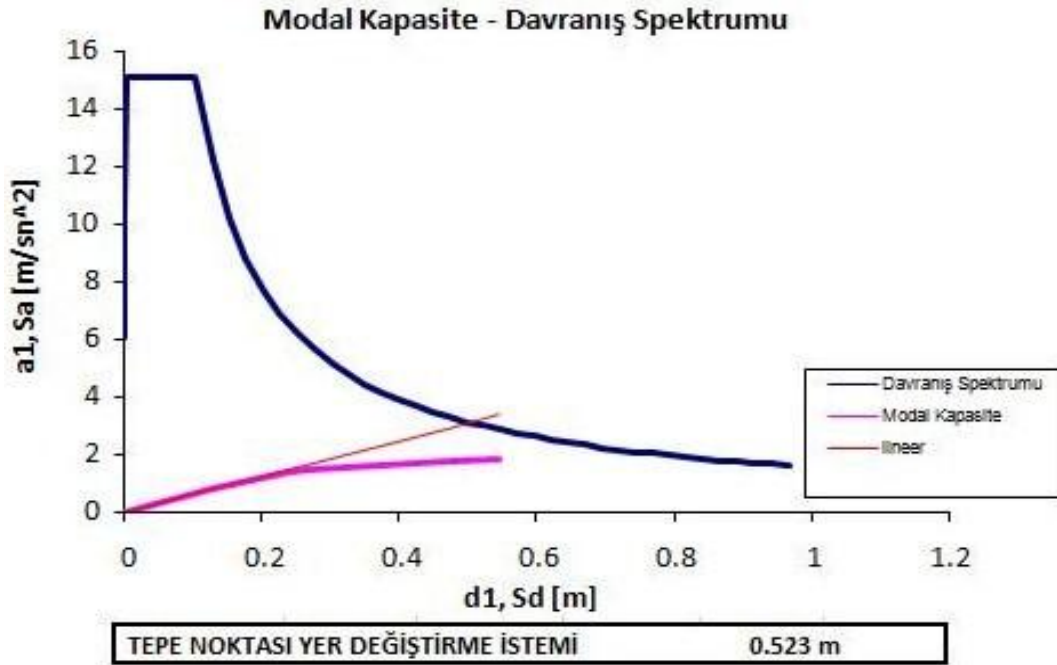
Çizelge 6.34 Y-Y doğrultusunda M_1 ve Γ_1 hesaplanması [17]

W_i (kN)	M_i	γ_1	M_1	Φ_{i1}	$M_i\Phi_{i1}$	$M_i(\Phi_{i1})^2$	Γ_1
80972	8254.03	0.86	7106.72	0.0378	312.00	11.79	26.46

Çizelge 6.35 Y-Y doğrultusu itme analizi sonuçları - modal kapasite değerleri [17]

UN1 [m]	V1 [kN]	M1	Φ_{N1}	Γ_1	a1	d1
0.00	0.00	7106.72	0.0378	26.46	0.00	0.00
0.12	5490.44	7106.72	0.0378	26.46	0.77	0.12
0.24	9657.94	7106.72	0.0378	26.46	1.36	0.24
0.26	10095.01	7106.72	0.0378	26.46	1.42	0.26
0.47	12115.31	7106.72	0.0378	26.46	1.70	0.47
0.54	12793.22	7106.72	0.0378	26.46	1.80	0.54

Şekil 6.15'te hedef spektral yer değiştirme değeri elde edilmiş, bu değerden de (6.36) eşitliği ile tepe noktası yer değiştirme istemi hesaplanmıştır [17].

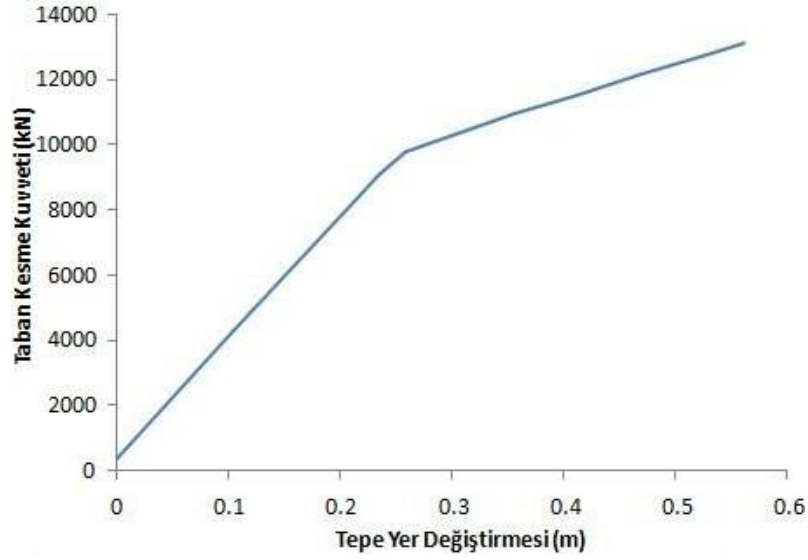


Şekil 6.15 Y-Y doğrultusu performans noktasının belirlenmesi [17]

6.10.4 Tepe Yer Değiştirme İstemi İçin Analizin Tekrarı

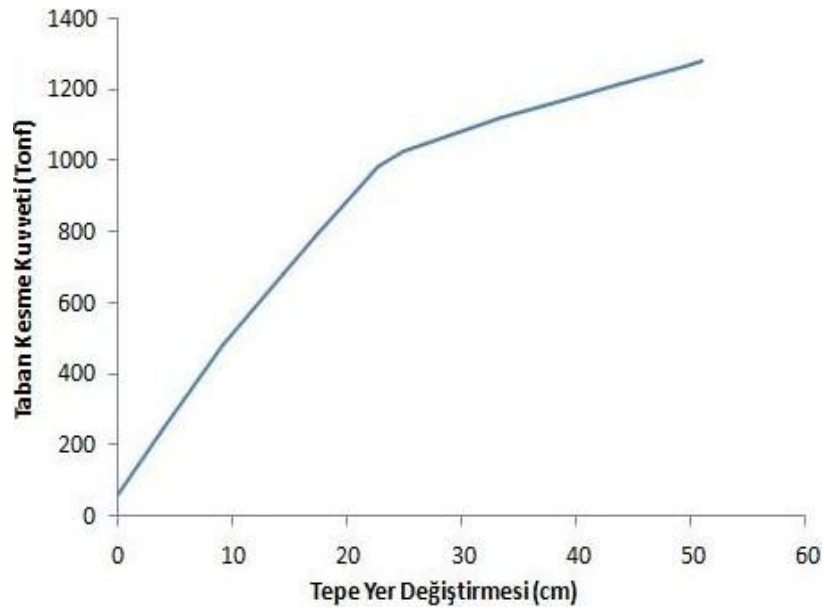
Yapılan itme analizlerinin ardından bulunan hedef yer değiştirme değeri üst sınır olarak analiz programına atanarak itme analizi tekrar edilmiştir [17].

Düşey kazıklı sistem X-X doğrultusunda 0.57 m itilerek kesme kuvvet değeri ve plastik mafsallı dönmeleri elde edilmiştir [17].



Şekil 6.16 X-X doğrultusu itme eğrisi [17]

Düşey kazıklı sistem Y-Y doğrultusunda 0.52m itilerek kesme kuvvet değeri ve plastik mafsallı dönmeleri elde edilmiştir [17].



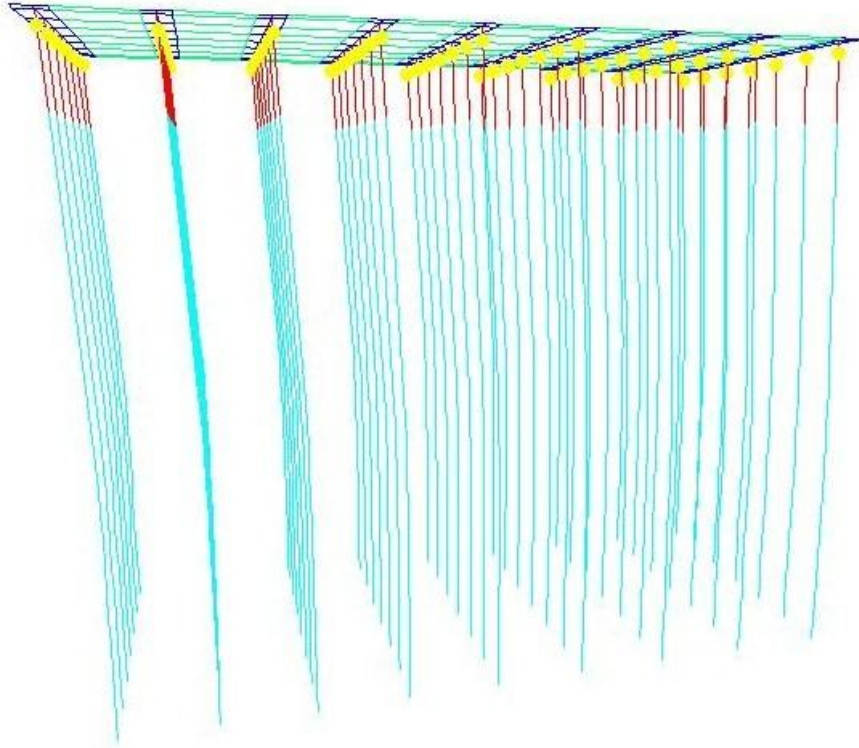
Şekil 6.17 Y-Y doğrultusu itme eğrisi [17]

6.10.5 Yapı Performansının Değerlendirilmesi

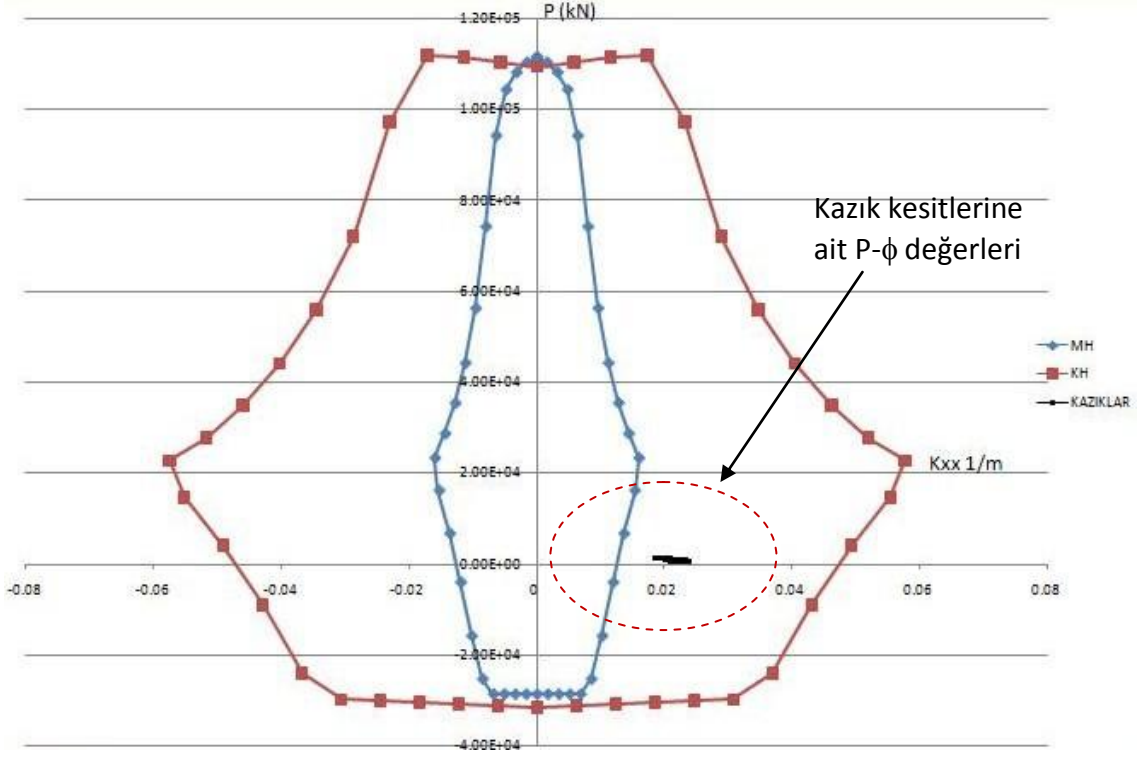
Plastik mafsalları oluşturan noktaların dönme değerlerinden bulunan eğrilik istemine akma eğriliği eklenerek kesit bazında hasar dereceleri ve dağılımı belirlenmiş ve buna bağlı olarak yapıların performansı değerlendirilmiştir [17].

X-X doğrultusundaki mekanizma durumuna ait plastik mafsalları oluşumları Şekil 6.18’de verilmiştir.

DLH 2008 Bölüm 2.3.4.9’deki hasar bölgelerini belirleyen sınır şekil değiştirmelerini kullanarak XTRACT ver.3.0.8 programında akma yüzeyi diyagramları çizilir [17]. Bu diyagramlarda her bir kazık kesitine ait normal kuvvet ve eğrilik değeri karşılaştırılarak hasar bölgesi belirlenir (Şekil 6.19).

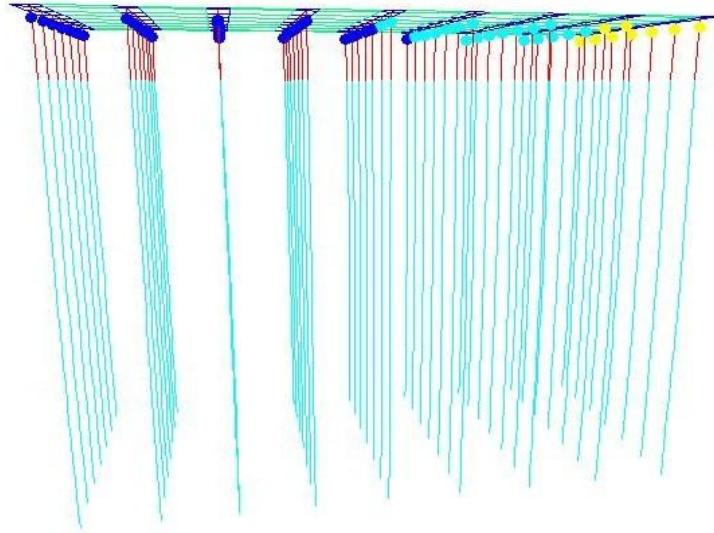


Şekil 6.18 X-X doğrultusu plastik mafsalları oluşumu [17]



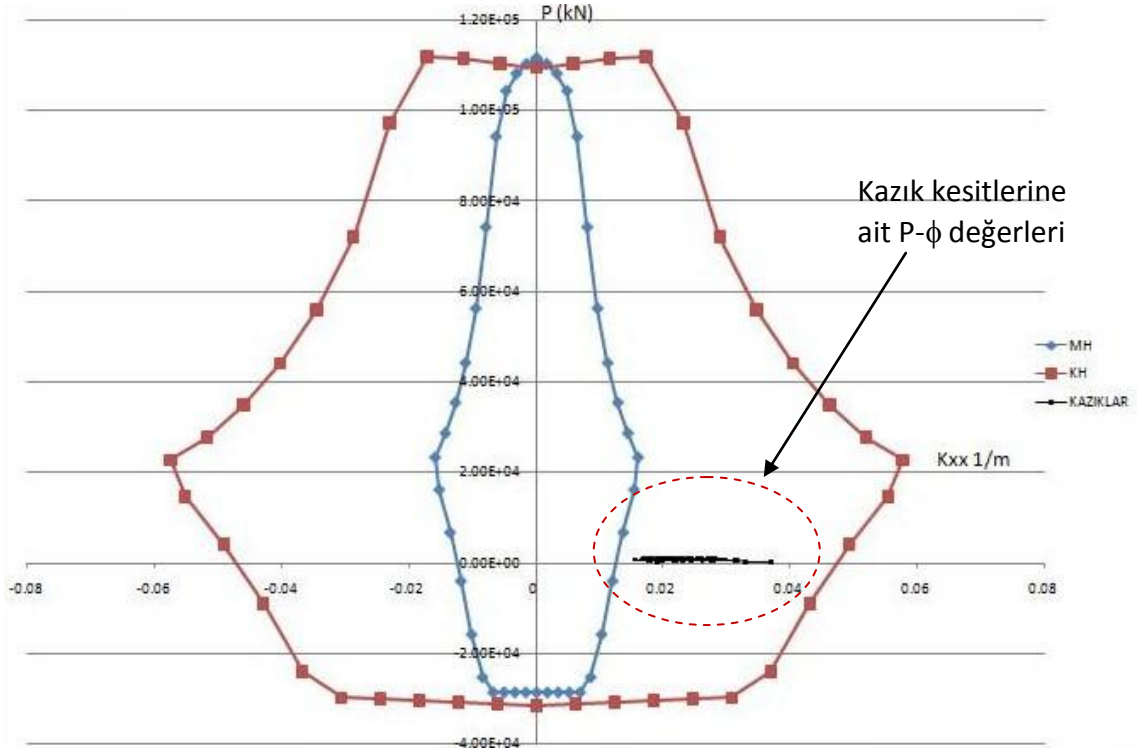
Şekil 6.19 X-X doğrultusu kesit hasar bölgesi [17]

Y-Y doğrultusundaki plastik mafsall oluşumları Şekil 6.20’de verilmiştir.



Şekil 6.20 Y-Y doğrultusu plastik mafsall oluşumu [17]

Kazıkların, $P - \Phi$ diyagramında denk geldiği hasar bölgesi Şekil 6.21’de gösterilmiştir [17].



Şekil 6.21 Y-Y doğrultusu kesit hasar bölgesi [17]

Aynı yapı üzerinde DGT ve ŞGT yöntemleri ile yapılmış olan analizler neticesinde her iki yapının da DLH (2008) de verilmiş olan Kontrollü Hasar (KH) limitleri altında kaldığı görülmüştür.

DGT yöntemi ile yapılan analiz neticesinde yapının tamamı için yapılan yer değiştirme kontrolü ve kazıklara ait kesit tesir değerlerinin istenen sınır emniyet değerlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilmiştir. Özellikle yer değiştirme kontrolünde yapı bir bütün olarak düşünülmüş, kesit bazında bir hasar kontrolü yapılmamıştır.

Ancak ŞGT yöntemi ile yapılan analiz sonuçlarında kazıklara ait plastik mafsall oluşumları, bu plastik mafsall oluşumlarının hangi mertebede olduğu ve yapısal elemanların yüzde kaçının hangi hasar limitleri altında kaldığı gibi sonuçlara ulaşılmıştır. İnceleme derinliğinin kesit ölçeğine kadar inmiş olması bu yöntemin en büyük avantajlarından.

Bu iki yöntem ile yapılan analizler göstermiştir ki ŞGT yöntemi yapısal hasarlar konusunda daha detaylı bilgiler elde edilmesine olanak sağlamıştır. Yapının yer değiştirme kabiliyetini sadece yapı genelinde değil, aynı zamanda kesit bazında

öğrenilmesine de imkân sağlamıştır. Deprem yükleri altında yapı performansının öğrenilmesi yine ŞGT yöntemi ile elde edilmiştir.

BÖLÜM 7

EĞİK KAZIKLI İSKELE TASARIMI

7.1 Giriş

Bu çalışma kapsamında Kocaeli ili, Gebze ilçesi, Dilovası mevkiinde 40°46' Kuzey, 29°33' Doğu koordinatlarında planlanan bir terminale ait kazık destekli yanaşma yapısının (iskele) yapısal tasarımı örnek olarak verilecektir.

7.2 Yapı Bilgileri

Düşey kazıklı iskelede olduğu gibi kereste ve kereste mamullerinin oluşturduğu genel kargo yüklerinin elleçleneceği eğik kazıklı iskele, üzerinde depolamanın yapılmadığı, kara nakil vasıtaları ile yük nakliyesi sağlanacak şekilde planlanmıştır. Bu kullanım amacına uygun olarak iskeleye yanaşacak tasarım gemisi ile ilgili bilgiler Çizelge 7.1 Tasarım gemisi özellikleri'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Tasarım gemisi özellikleri

Gemi Tipi	Yük (kargo) gemisi
Gemi Tonajı (DWT)	50000 DWT
Gemi Tonajı (GT)*	27050 GT
Geminin Toplam Boyu (L _{OA})	218.00 m
Gemi Genişliği (B)	32.3 m
Su Çekimi (D)	12.9 m

Tasarıma esas gemi özellikleri dikkate alınarak, uygun en küçük iskele uzunluğunun ve yeterli su derinliğinin belirlenebilmesi için daha önce Çizelge 5.3'te verilmiş olan bilgiler kullanılmış ve projelendirmeye esas ön boyutlar elde edilmiştir (Çizelge 7.2).

Çizelge 7.2 Tasarıma esas en küçük iskele boyutları

Gemi Tonajı (DWT)	Yanaşma Yeri Uzunluğu (m)	Yanaşma Yeri Derinliği (m)
55000	280	14.0

Batimetrik özellikler göz önünde bulundurularak, tasarım gemisi için minimum yanaşma derinliğinin sağlandığı kıyıdan 66 m'lik açıklığın, minimum yanaşma yeri uzunluğuna ilave edilmesi ile 346 m toplam iskele uzunluğu hesaplanmıştır. En büyük geminin yanaşabileceği durumların haricinde, aynı anda birden fazla daha küçük geminin yanaşabileceği ihtimali de göz önünde bulundurulmuştur.

Apron genişliğinin hesabında, iskele üzerinde elleçleme yapacak ekipmanların genişliği ve yüklerin taşınmasını sağlayan kamyon ulaşım yolu düşünülerek iskele genişliğinin 30m olmasına karar verilmiştir. Bu boyutlandırma neticesinde 346 m uzunluğunda ve 30m genişliğinde iskele boyutları netleştirilmiştir.

7.3 Malzeme Bilgileri

- Çelik Boru Kazıklar;
 - Çelik Sınıfı: ST52
 - Emniyet Gerilmesi: 2160 kg/cm²
 - Beton Dayanımı (kazık içi): C40/50
 - Betonarme Donatı Çeliği Sınıfı (düşey): S420
 - Betonarme Donatı Çeliği Sınıfı (spiral): S220
- Başlık Kirişleri;
 - Beton Dayanımı: C40/50
 - Betonarme Donatı Çeliği: S420

- Prekast Elemanlar ve Tabliye;
 - Beton Dayanımı: C40/50
 - Betonarme Donatı Çeliği: S420

olarak DLH(2008)'e uygun olarak belirlenmiştir.

7.4 Kazık Ön Boyutlandırması

Kazıkların ön boyutlandırmasında üst yapıdan etkiyecek yükler önemlidir. Bu yükler tabliye ağırlığı ve ek hareketli yüklerdir. Ek hareketli yükler işletmede kullanılacak ekipmanlara göre belirlenmektedir. Ancak tabliye ağırlığı;

- Başlık kirişinin genişlik ve yüksekliğine
- Prekast döşeme yüksekliğine
- II. Kademe döşeme betonu yüksekliğine
- Kaplama betonu yüksekliğine göre belirlenmektedir.

Bu ebatların belirlenmesinde, mimari olarak sınırlayıcı parametreler vardır:

- Kazık çapları sebebiyle başlık kirişlerinin genişliği,
- İskele üst kotunun sınır değeri,
- Su seviyesi değişimi sebebiyle başlık kiriş alt kotu,
- Kazık arası mesafeler sebebiyle prekast döşeme yüksekliği vd.

Bu parametreler, tasarım öncesinde bilinen sınırlayıcı değerler olmasına rağmen özellikle başlık kiriş boyutları doğrudan kazık çapına bağlı olarak değişim gösterdiği için net olarak bilinmemektedir. Çünkü hem kazık çapının bilinmesi için düşey yüklere (tabliye ağırlığı ve işletme yükleri), hem de tabliye ağırlığının bilinmesi için kazık çapına ihtiyaç duyulması, bir optimizasyon çalışması yapılmasını gerektirmektedir.

Bu belirsizlikler göz önüne alınarak yapılan hesaplarda, ön boyutlandırmaya esas kazık çapı ve et kalınlığı değeri (914.4 mm / 16 mm) esas alınarak yapısal hesaplara başlanmıştır.

7.4.1 Kazık Et Kalınlığı Kontrolü

Öncelikle kazık çapı ile kazık et kalınlığı arasında DLH (2008) de belirtilen şartların sağlanması için kazık et kalınlığı kontrolü yapılmıştır. Hesaplarda kullanılacak kazığa ait karakteristik değerler Çizelge 7.3'te verilmiştir.

Çizelge 7.3 Kazık karakteristik özellikleri

Kazık Dış Çapı	D		... =	1219,20	mm
Et Kalınlığı	t		... =	18	mm
Kazık İç Çapı	D _i		... =	1183.20	mm
Kesit Alanı	F	$= \frac{\pi(D^2 - D_i^2)}{4}$	... =	679.26	cm ²
Atalet Momenti	I	$= \frac{\pi(D^4 - D_i^4)}{64}$	... =	1225394.34	cm ⁴
Polar Atalet Momenti	J	$= 2 \times I$	... =	2450788.69	cm ⁴
Mukavemet Momenti	W	$= \frac{\pi(D^4 - D_i^4)}{32D}$	... =	20101.6	cm ³
Kazık Birim Ağırlığı	g _k	$= F \times \gamma_{çelik}$	... =	533.22	kg/m
Atalet Yarıçapı	i	$= \sqrt{\frac{I}{F}}$	... =	42.5	cm
Ucu açık çakılan kazık için	c		... =	0.12	
Elastisite Modülü	E _s		... =	2100000	kg/cm ²
Kayma Modülü	G		... =	810000	kg/cm ²
Akma Gerilmesi	σ _y		... =	3600	kg/cm ²
Çekme Emniyet Ger.	σ _{ç,em}		... =	2160	kg/cm ²

Kazık et kalınlığının kontrolü için, önceden verilen (3.1) ve (3.2) eşitliklerinden faydalanılarak kazık et kalınlığının uygunluğu (7.1) ve (7.2) ifadeleriyle gösterilmiştir.

$$\frac{D}{t} \leq 80 \Rightarrow t_{\min} = 11.43 < 16 \text{ mm} \quad (7.1)$$

$$\frac{D}{t} \leq c \frac{E_s}{\sigma_y} = 0.12 \times \frac{2100000}{3600} = 70 \Rightarrow t_{\min} = 13.06 < 16 \text{ mm} \quad (7.2)$$

Kazık çapına bağlı olarak en küçük kazık et kalınlıkları 11.43 mm ve 13.06 mm olarak bulunmuştur. Bu değerlere göre 16 mm et kalınlığının uygun olduğu görülmüştür.

7.4.2 Kazık Yerleşimi ve Üst Yapı Elemanları

Kazık çapı belirlendikten sonra, kazıklar arası mesafeler ve bu mesafelere uygun olarak başlık kirişleri bulunmaktadır. İskele apron genişliği 30 m olarak belirlendiği için başlık kiriş uzunluğu bu değere eşittir. Başlık kirişi boyunca paralel olarak dizilen çift sıra eğik kazıklarda, TS 3167’de tanımlanan minimum kazık aralığı (e_{min}), kazık çapına bağlı olarak (7.3) ifadesi kullanılarak (7.4) eşitliğinde yapılan hesaplar ile bulunur.

$$e \geq 3d \geq 1m + d \quad (7.3)$$

$$\left[\begin{array}{l} \rightarrow 3d = 3 \times 1.2192 = 3.7m \\ \rightarrow 1 + d = 1 + 1.2192 = 2.3m \end{array} \right] \Rightarrow e = 3.7m \quad (7.4)$$

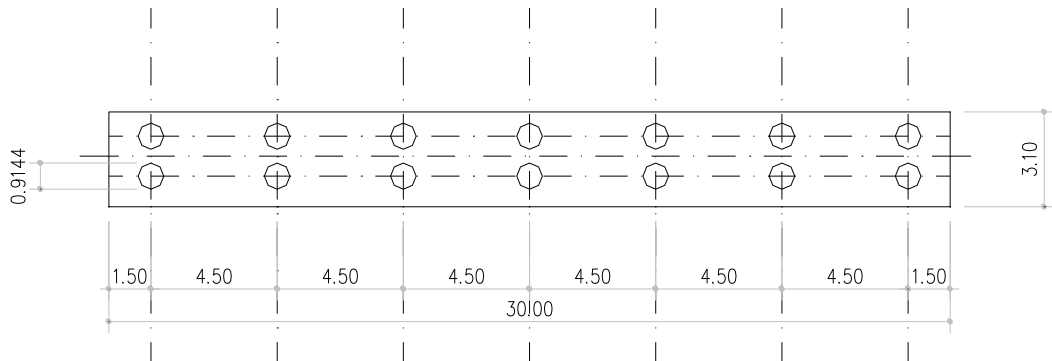
Başlık kirişinde her iki yanaşma tarafından kazık aksına kadar, kazık yarıçapı ve emniyet payı için 1.50m pay bırakıldıktan sonra yerleştirilebilecek maksimum kazık sayısı, (7.5) ifadesindeki aralık sayısının bir fazlası olacak şekilde bulunur.

$$\text{Maksimum aralık sayısı} = \frac{30 - (2 \times 1.50)}{3.7} = 7.30 \approx 7 \quad (7.5)$$

$$\text{Maksimum kazık sayısı} = 7 + 1 = 8 \text{ adet}$$

Sahadaki uygulamada daha düzenli bir yerleşim için 7 kazık konulması uygun görülmüş ve (7.6) ifadesi ile aks aralığı bulunarak başlık kiriş düzenlemesi yapılır (Şekil 7.1).

$$\frac{27}{6} = 4.5m \quad (7.6)$$



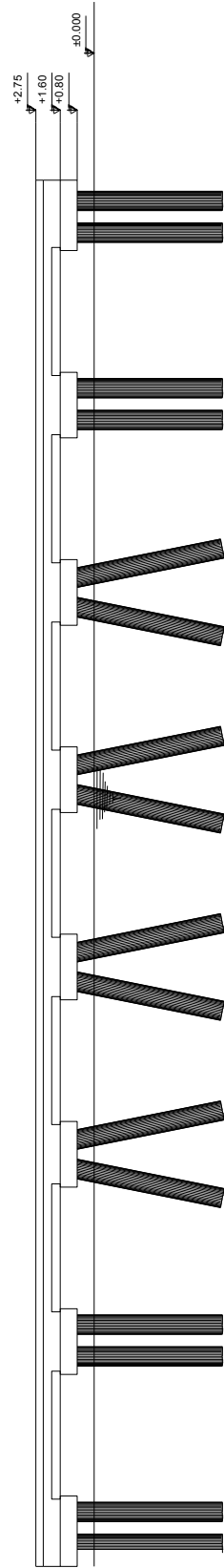
Şekil 7.1 Başlık kirişi ve kazık yerleşimi

Kazık başlık kirişinin genişliğinin belirlenebilmesi için kazık çapı ve imalat esnasında kazık aksındaki sapmalar hesaba katılmalıdır. Bu amaçla kazık çapı ve kazık çakımı esnasındaki aks kaymalarını tolere edecek şekilde başlık kiriş genişliği 3.10 m olarak belirlenmiştir.

Yapısal çözümlmeye uygun büyüklükte ve birbirine benzer uzunluklarda ano oluşturabilmek için 65.5 m ano uzunluğu ve 8 adet başlık kirişi tercih edilerek başlık kirişleri aks arası mesafe 8.85 m olarak belirlenmiştir. Her başlık kirişinde 14 tane olmak üzere 8 başlık kirişinde toplam 112 adet kazık hesap edilmiştir. Oluşturulan iskele anosuna ait yapısal bilgi ve özellikler Çizelge 7.4'te verilmiş ve Şekil 6.2, Şekil 6.3, Şekil 6.4'te gösterilmiştir. Tasarım gemisi özelliklerine ve kullanım amacına uygun olarak iskele üst kotu +2.70, iskele alt kotu +0.60 olarak belirlenmiştir ve dalga hareketi sebebiyle ıslanma bölgesi boyunca kazık-tabliye birleşimi için kazık içi beton yüksekliği 6 m olarak belirlenmiştir.

Çizelge 7.4 İskelede bir anoya ait yapısal bilgiler

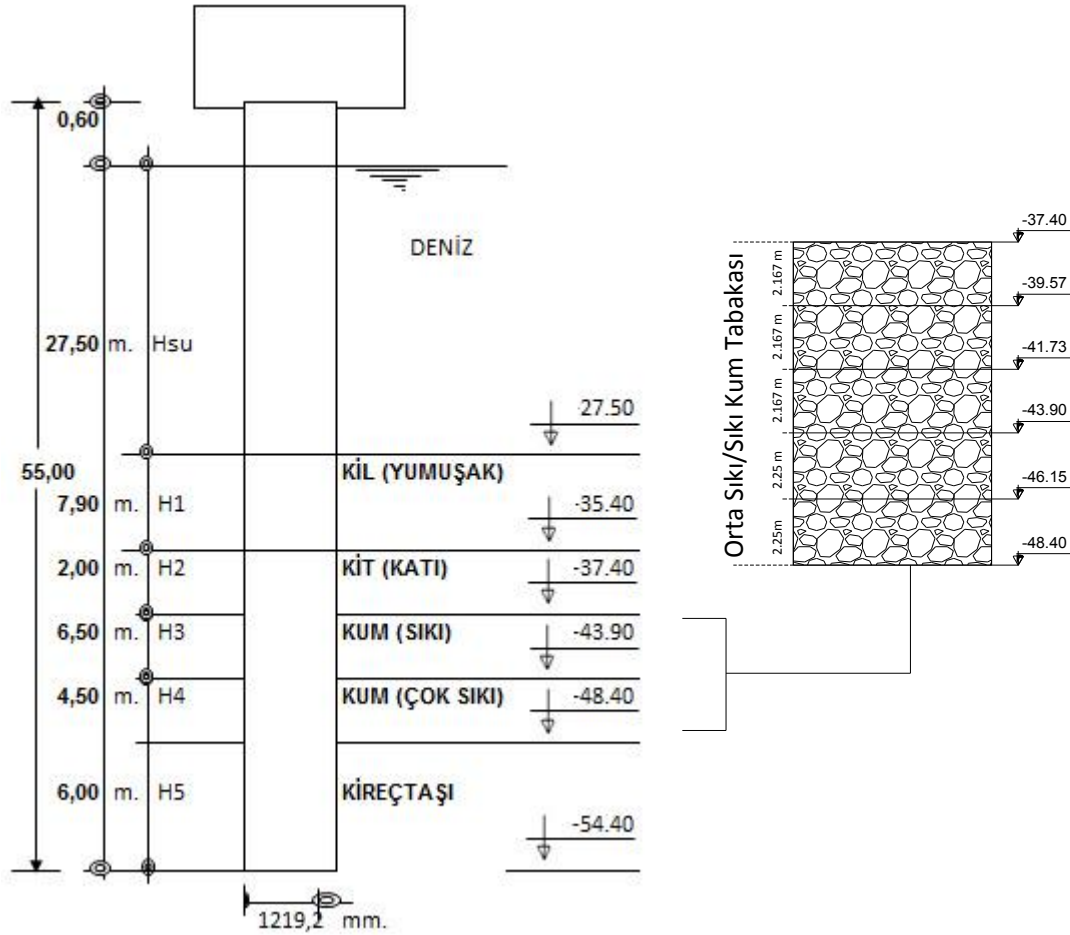
İskele (Ano) Boyu	65.50	m
İskele (Ano) Eni	30.00	m
Başlık Kiriş Sayısı	8	ad
Kirişte Kazık Sayısı	7	ad
Toplam Kazık Sayısı	112	ad
Aks Aralığı	8.85	m
Kazık aralığı	4.50	m
Kazık Çapı (D)	914.40	mm
Kazık Et Kalınlığı (t)	16	mm
Başlık I. Kademe Yüksekliği	1.00	m
İskele Üst Kotu	2.75	m
Başlık Kiriş Alt Kotu	0.60	m
Kenar Başlık Kiriş Eni	3.325	m
Orta Başlık Kiriş Eni	3.20	m
Prekast Döşeme Yüksekliği	0.40	m
II. Kademe Beton Yüksekliği	0.40	m
Toplam Döşeme Yüksekliği	0.80	m
Kaplama Betonu Yüksekliği	0.35	m
Kazık içi Beton Yüksekliği	6.00	m



Şekil 7.4 Eğik kazıklı iskele boy kesiti

7.5 Zemin Özellikleri

Proje sahasında yapılmış zemin etüdü neticesinde zemin tabakaları (Şekil 7.5) ile ilgili Ek B’de detayı sunulmuş olan DS7 numaralı sondaj çalışmasında yapılan Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) sonuçları esas alınarak tasarımda kullanılacak karakteristik zemin özelliklerine ulaşılmıştır [27].



Şekil 7.5 Zemin Tabakaları

Balçık Tabakası;

Hesaplara dâhil edilmeyecek, akıcı kıvamda, dayanımsız bir tabakadır.

Çok Gevşek Kum Tabakası;

Yüksek oranda silt ihtiva eden bu tabaka zemin raporuna göre dayanımsız kabul edilmiş ve hesaplara dâhil edilmemiştir.

Çok Yumuşak-Orta Katı Kil Tabakası için;

Standart Penetrasyon Deneyi sonucu elde edilen ortalama düzeltilmiş SPT değeri,

$$N_{60,ort} = 4,$$

$$\text{Drenajsız Kayma Dayanımı, } c_u = 1.83 \text{ t/m}^2,$$

$$\text{Zemin Elastisite Modülü, } E_s = 152,91 \text{ t/m}^2,$$

Yatay Yatak Katsayısı, k_h ise kayma dayanımı(c_u) ve kazık çapına(D) bağlı olarak (7.7) eşitliğine göre belirlenir.

$$k_h = 67 \times \left(\frac{c_u}{D} \right) = 67 \times \left(\frac{1.83}{0.9144} \right) = 134.44 \text{ t/m}^3 \quad (7.7)$$

Orta Sıkı/Sıkı Kum – Çakıl Tabakası için:

$$\text{Ortalama düzeltilmiş SPT, } N_{60,ort} = 17$$

$$\text{İçsel Sürtünme Açısı, } \phi = 32^\circ$$

$$\text{Zemin Elastisite Modülü, } E_s = 1630,99 \text{ t/m}^2$$

$$\text{Düşey Yatak Katsayısı, } k_v = 1019,37 \text{ t/m}^3$$

Yatay Yatak Katsayısı, k_h ise zemin sıklığı katsayısı (n_h), deniz tabanından itibaren derinlik (z) ve kazık çapına (D) bağlı olarak (7.8) eşitliği ile belirlenir.

$$k_h = n_h \times \left(\frac{z}{D} \right) \quad (7.8)$$

11.00 m kalınlığındaki kohezyonsuz zemin tabakası boyunca ortalama her 2 m'lik dilim için k_h belirlenmiştir (Çizelge 7.5).

Çizelge 7.5 Orta sıkı/sıkı kum tabakası için yatay yatak katsayısı

Deniz Tabanından İtibaren Derinlik, z (m)	Tabaka Kalınlığı (m)	Yatay Yatak Katsayısı, k_h	
12.07 (-39.57)	2.167	6725.94	t/m ³
14.23 (-41.73)	2.167	7933.66	t/m ³
16.40 (-43.90)	2.167	9141.37	t/m ³
18.65 (-46.15)	2.250	10395.51	t/m ³
20.90 (-48.40)	2.250	11649.66	t/m ³

Çok Zayıf Anakaya (Kireçtaşı-Marn) Tabakası için;

Tek Eksenli Basınç Dayanımı, $q_u = 1529,05 \text{ t/m}^2$

İçsel Sürtünme Açısı, $\phi = 32^\circ$

Zemin Elastisite Modülü, $E_s = 3058,10 \text{ t/m}^2$

Düşey ve Yatay Yatak Katsayısı, $k_s = 2548,42 \text{ t/m}^3$, olarak belirlenmiştir.

Zemin sınıfları hakkında elde edilen bilgiler ışığında, zemine çakılacak olan toplam kazık boyu, kireçtaşı tabakasının içine girecek şekilde toplam 55 m olarak belirlenmiştir.

7.5.1 Zemin Cinsinin Belirlenmesi

DS7 sondaj verileri özelinde SPT sonuçları kullanılarak DLH (2008)'e göre zemin sınıfı daha önceden (6.9) ifadesinde tanımlandığı gibi E zemin sınıfı olarak bulunmuştur.

Ancak proje bölgesinin tamamı düşünülerek hazırlanmış Zemin Raporu [27] esas alınarak, yapılan hesaplarda Zemin Grubu B1-C2 ve Yerel Zemin Sınıfı Z2 olarak alınmıştır.

7.5.2 Ankraj Boyu Hesabı

Kısmen gömülü kazıklarda kazığın taşıyıcı zemin tabakası içindeki sabitleme (ankraj) boyunun (L_z) belirlenmesi KLY-PTTE (2007)'de verilen yöntem doğrultusunda (7.9) eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

$$L_z = 1.4 \sqrt[4]{\frac{E \times I}{k_h \times D}} \quad (7.9)$$

Burada, E kazığa ait elastisite modülünü, I kazığın atalet momentini, k_h taşıyıcı zeminin yatay yatak katsayısı, D ise kazık çapını ifade etmektedir. Yapılan hesaplar neticesinde minimum sabitleme (ankraj) boyu (7.10) ifadesi ile gösterilmiştir.

$$L_z = 1.4 \sqrt[4]{\frac{2100000 \times 455750}{0.13 \times 91.44}} = 740 \text{ cm} = 7.40 \text{ m} \quad (7.10)$$

Çakma kazıklarda kazık ucunun altında kalması gereken minimum taşıyıcı zemin kalınlığı (z_t) Şekil 3.11'den faydalanılarak (7.11) eşitliği ile gösterilmiştir.

$$\left[\begin{array}{l} z_t \geq 4d = 3.66m \\ z_t \geq 1.5m \end{array} \right] \Rightarrow z_t = 3.66m \quad (7.11)$$

7.5.3 Tekil Kazığın Taşıma Kapasitesi

Arazi çalışmaları neticesinde elde edilen SPT sonuçları ve zeminlere ait karakteristik özellikler kullanılarak tekil kazık için zemin taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Dayanımsız kabul edilen zemin tabakası hariç, kohezyonlu ve kohezyonsuz zemin tabakaları için basınç ve çekme altındaki taşıma gücü kapasitesi Çizelge 7.6'da belirlenmiştir.

Çizelge 7.6 Basınç ve çekme yük taşıma kapasiteleri

Kohezyonsuz Zemin		
Kazık Ucundaki Düşey Efektif Gerilme: Taşıma Kapasitesi Katsayısı: Basınç altında Yatay/Düşey Gerilme Oranı: Çekme altında Yatay/Düşey Gerilme Oranı: Kazık ile Zemin Arasındaki Sürtünme Açısı: Gömülü Uzunluk (z) Boyunca Düşey Efektif Gerilme:	$P_T=123.5 \text{ kN/m}^2$ $N_q=29$ $K_{HC}=0.70$ $K_{HT}=0.40$ $\delta=20^\circ$ $P_{0(H3+H4)}=73.5 \text{ kN/m}^2$ $z_{(H3+H4)}=11.00 \text{ m}$ $P_{0(H5)}=110 \text{ kN/m}^2$ $z_{(H5)}=6.00 \text{ m}$	<i>Zemin Raporundan Elde Edilen Veriler</i>
Kazık Uç (dolu kesit) Alanı: $\{A_T = \pi D^2/4\}$ Kazık Çevre Alanı (Birim uzunlukta): $\{S = \pi D\}$	$A_T=0.66 \text{ m}^2$ $S=2.87 \text{ m}^2$	<i>Hesaplardan Elde Edilen Veriler</i>
$Q_1 = (P_T \times N_q \times A_T) + [K_{HC} \times P_0 \times \tan \delta \times S \times z]$ $Q_1 = (123.5 \times 29 \times 0.66) + [0.7 \times (73.5 \times 11 + 110 \times 6) \times \tan 20^\circ \times 3.83]$ $Q_1 = 3426.74 \text{ kN} \quad (349.31t)$		Basınç Yük Taşıma Kapasitesi
$T_1 = [K_{HT} \times P_0 \times \tan \delta \times S \times z]$ $T_1 = [0.4 \times (73.5 \times 11 + 110 \times 6) \times \tan 20^\circ \times 2.87]$ $T_1 = 614.17 \text{ kN} \quad (62.61t)$		Çekme Yük Taşıma Kapasitesi

Çizelge 7.6 Basınç ve çekme yük taşıma kapasiteleri (devam)

Kohezyonlu Zemin		
Kohezyon: Taşıma Kapasitesi Katsayısı Kazık Zemin arası Adhezyon: Kazığın gömülü olduğu tabaka kalınlığı:	$c=64,$ $N_{cs}=9$ $c_{a(H1+H2)}=12 \text{ kN/m}^2$ $c_{a(H5)}=34 \text{ kN/m}^2$ $z_{(H1+H2)}=9.90 \text{ m}$ $z_{(H5)}=6.00 \text{ m}$	<i>Zemin Raporundan Elde Edilen Veriler</i>
Kazık Uç (dolu kesit) Alanı: $\{A_r = \pi D^2/4\}$ Kazık Çevre Alanı (Birim uzunlukta): $\{S = \pi D\}$	$A_r=0.66$ $D=0.9144 \text{ m}$	<i>Hesaplardan Elde Edilen Veriler</i>
$Q_2 = (c \times N_{cs} \times A_r) + (c_a \times \pi D \times z)$ $Q_1 = (64 \times 9 \times 0.66) + [(12 \times 9.90 + 34 \times 6.00) \times \pi \times 0.9144]$ $Q_2 = 1305.55 \text{ kN} \quad (133.08 \text{ t})$		Basınç Yük Taşıma Kapasitesi
$T_2 = (c_a \times \pi D \times z)$ $T_2 = [(12 \times 9.90 + 34 \times 6.00) \times \pi \times 0.9144]$ $T_2 = 927.30 \text{ kN} \quad (94.53 \text{ t})$		Çekme Yük Taşıma Kapasitesi

Kazığa ait sürtünme taşıma kapasitesine ek olarak, Çok Zayıf Anakaya tabakasındaki uç taşıma kapasitesi de göz önüne alınmıştır. Böylece basınç ve çekme altında elde edilen toplam yük taşıma kapasiteleri ile emniyetli basınç ve çekme yük taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır (Çizelge 7.7). Kazık ağırlığı W_p , kazık birim ağırlığı 354.49 kg/m olacak şekilde 55.00 m kazık uzunluğu için 19.50 t alınmıştır.

Çizelge 7.7 Emniyetli yük taşıma kapasitesi

Toplam Basınç Yük Taşıma Kapasitesi (Q_1+Q_2)+ Q_u	$Q_{ult} = (349.31 + 133.08) + (1004.12)$ $Q_{ult} = 1486.51 \text{ t}$
Emniyetli Basınç Kapasitesi (Sürekli Yükler için)	$Q_{all1} = Q_{ult}/3 = 495.50 \text{ t}$
Emniyetli Basınç Kapasitesi (Geçici Yükler için)	$Q_{all2} = Q_{ult}/2 = 743.26 \text{ t}$
Toplam Çekme Yük Taşıma Kapasitesi (T_1+T_2)	$T_{ult} = (62.61) + (94.53) = 157.14 \text{ t}$
Emniyetli Çekme Kapasitesi	$T_{ult} = T_{ult}/3 + W_p = 52.38 + 19.50 = 71.88 \text{ t}$

7.6 Yapıya Tesir Eden Yükler

7.6.1 Sabit Yükler

Üst yapı ağırlığının belirlenmesinde dikkate alınan birim yükler Çizelge 7.8’de belirtilmiştir.

Çizelge 7.8 Üst yapı özgül ağırlıkları

Özgül Ağırlıklar	Betonarme (Kuru):	2.50 t/m ³
	Betonarme (Islak):	2.65 t/m ³
	Kaplama Betonu:	2.40 t/m ³

Tabliye ebatları kullanılarak yapıya tesir eden sabit yükler hesaplanmış ve Çizelge 7.9’da verilmiştir.

Çizelge 7.9 Toplam tabliye ağırlığı

Döşeme	... = 1 x [(65.50 x 30.00) x 0.80] x 2.50 = 3930.00	t
Kenar Başlık Kirişleri	... = 2 x [(30.00 x 3.325) x 1.00] x 2.50 = 498.75	t
Orta Başlık Kirişleri	... = 7 x [(30.00 x 3.10) x 1.00] x 2.50 = 1395.00	t
Kaplama	+ ... = 1 x [(65.50 x 30.00) x 0.35] x 2.40 = 1650.60	t
Toplam Tabliye Ağırlığı G	... =	= 7474.35 t
1 m ² ’ye düşen ağırlık	... = 7474.35 / (65.50 x 30.00)	= 3.80 t/m ²

Deprem hesabında kullanılacak toplam yapı kütlesi M_t için kazıkların toplam ağırlığının da bilinmesi gerekmektedir. Birim uzunluk için çelik kazık ağırlığı 0.35 t/m, içi su dolu kısım (çelik kazık+su) için 0.63 t/m ve içi beton dolu kısım (çelik kazık+beton) için 1.53 t/m olarak hesaplanmıştır. Hesaplar, her bir malzemeye ait birim uzunluk hacmi ile özgül ağırlıkların çarpılması şeklinde yapılmıştır.

Çizelge 7.10 Toplam kazık ağırlığı

Çelik Kazık Ağırlığı	... =	28.10 x 0.35	=	14.98	t
İçi Su Dolu Kısım	... =	22.10 x 0.63	=	24.91	t
İçi Beton Dolu Kısım	+ ... =	6.00 x 1.53	=	16.49	t
Tekil Kazık Ağırlığı	... =		=	32.99	t
Toplam Kazık Ağırlığı	... =	112 x 32.99	=	3694.55	t

Çizelge 7.10’da detayı verilen toplam kazık ağırlığı ile tabliye ağırlığı toplanarak deprem hesabına esas toplam yapı kütlesi (7.12) ifadesinde gösterilmiştir.

$$M_t = \frac{(7474.35) + (3694.55)}{9.81} = \frac{11168.90}{9.81} = 1138,52 \text{ ts}^2 / m \quad (7.12)$$

7.6.2 Hareketli Yükler

Yapıya tesir eden hareketli yükler Düzgün Yayılı Yükler (E_Q) ve Ek Hareketli Yükler (E_p) olarak iki başlıkta değerlendirilmiştir.

Düzgün Yayılı Hareketli Yük (E_Q)

Kereste ve kereste mamulâtı sevkiyatı için kullanılacak iskelede, buna uygun olarak tabliye üzerinde düzgün yayılı hareketli yük olarak 3.00 t/m² alınmıştır[21]. Bu yük kullanılarak yapıya etki eden E_Q , (7.13) ifadesi ile belirlenmiştir.

$$E_Q = 3 \times (65.50 \times 30.00) = 5895t \quad (7.13)$$

Ek Hareketli Yükler (E_p)

Ek hareketli yüklerin belirlenmesinde elleçleme ve taşıma ekipmanları tarafından yapıya etki eden yükler dikkate alınır. Yapı üzerine etki edecek ekipman tip ve birim ağırlıkları Çizelge 7.11’de verilmiş ve en büyük değer alınmıştır. Burada, iskele üzerinde hareket edecek olan kamyon tipi, iskele kullanım amacına uygun olarak H₃₀S₂₄ olarak belirlenmiştir [21]. Yine iskele üzerinde elleçleme faaliyetlerini yapmak üzere 30 ton kapasiteli mobil vinç hesaplarda dikkate alınmıştır. Vinç için öz ağırlığı 380 ton, kurulum alanı ise 12.00 x 13.00 m ölçülerindedir [21].

Çizelge 7.11 Ek hareketli yükler (E_p) [21]

Ek Hareketli Yükler (E_p)	H ₃₀ S ₂₄ Kamyon Yüğü:	3.30 t/m ²
	Mobil Vinç Yüğü (380t) :	2.44 t/m ²

Bu değerler kullanılarak maksimum değeri veren 3.30 t/m² için yapıya tesir eden E_p , (7.14) ifadesi ile verilmiştir.

$$E_p = 3.3 \times (65.50 \times 30.00) = 6484.5t \quad (7.14)$$

7.6.3 Gemi Çarpma Kuvveti

Tasarım gemisi özelliklerine bağlı olarak, yapılan hesaplar neticesinde yapıya yatay düzlemde tesir edecek olan yanaşma enerjisi Çizelge 6.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.12 Gemi yanaşma enerjisi (E_f)

Gemi Kütlesi, DT (t)	63264
Gemi Yanaşma Hızı, V (m/s)	0.10
<i>Gemi ağırlık merkezi ile usturmaçaya yaslanma arası mesafesi, l</i>	45.62
<i>Geminin ağırlık merkezinden geçen eksen etrafındaki dönme yarıçapı, r</i>	50.26
Dışmerkezlik (eksantrisite) Faktörü, C_e	0.548
Blok katsayısı, C_b	0.74
Hidrodinamik Direnç Katsayısı, C_m	1.85
Esneklik Faktörü, C_s	1.00
Yanaşma Şekil Faktörü, C_c	1.00
Gemi Yanaşma Enerjisi, E_f (kNm)	320.69
Gemi Yanaşma Enerjisi, E_f [tm]	[32.69]

Gemi yanaşma enerjisi, gemilerin yanaşma yapılarına güvenli bir şekilde bağlanabilmeleri için kullanılan enerji sönümleyici ve darbe emici usturmaça elemanlarının belirlenebilmesi için kullanılmaktadır.

Bu amaçla, 52.25 tm enerji kapasitesi ve 125 t kuvvet kapasitesi olan SUMITOMO LMD 1000H CLO %52.5 tipi usturmaça seçilmiş ve gemi çarpma kuvveti 125 t olarak belirlenmiştir.

7.6.4 Gemi Bağlama Kuvveti

Tasarım gemisi özelliklerine bağlı olarak ön tasarımda kullanılacak baba çekme kuvveti B , daha önce verilmiş olan Çizelge 5.7 kullanılarak bulunmuş ve (7.15) ile verilmiştir.

$$B = 100 \text{ t.} \quad (7.15)$$

Burada, geminin gros tonajı 27050 GT dir ve 20.000 – 50.000 GT aralığında kaldığı için baba çekme kuvveti 100t olarak kabul edilmiştir. Ancak rüzgâr (F_{TW}) ve akıntı (F_{TC})

kuvvetleri sebebiyle gemiye etki eden toplam enine kuvvet değeri tespit edildikten sonra karşılaştırma yapılarak en elverişsiz olan değer alınmalıdır.

Ayrıca Çizelge 5.8 kullanılarak, iskelenin tek tarafındaki baba aralık ve sayısı belirlenmiş ve baba aralığı 35m, baba sayısı ise 8 olarak tespit edilmiştir.

7.6.5 Rüzgâr Yükleri

Rüzgâr yükleri, iskeleye doğrudan etki eden rüzgâr yükleri ve iskeleye dolaylı olarak etki eden rüzgâr yükleri olarak iki başlık altında incelenebilir.

İskeleye Doğrudan Etki Eden Rüzgâr Yükleri

İskele yüzeyinde depolama faaliyeti yapılmadığı için tabliye üzerinin boş olduğu düşünülerek hesap yapılacaktır. Bu durum için yapıya tesir edecek birim rüzgâr yükü 0.25 t/m^2 olarak alınacaktır [21]. Ayrıca yapıda depolama faaliyetleri yapılması ihtimalinde tabliye üzerinde 3 m yüksekliğinde rüzgâr kuvvetine maruz şerit yüzey alanı dikkate alınır [21]. Bu durumda etki edecek birim rüzgâr kuvveti 0.125 t/m^2 olarak alınır [21].

İskele yüzeyinin boş olması durumu için, enine ve boyuna etki edecek rüzgâr yükü W_G (7.16) ifadesi ile verilmiştir.

$$\begin{aligned} W_{G,e} &= \text{Rüzgar Yüğü} \times (\text{Ano Boyu} \times \text{Rüzgara maruz tabliye yüksekliği}) \\ W_{G,e} &= 0.25 \times (65.50 \times 1.15) = 18.83t \\ W_{G,b} &= \text{Rüzgar Yüğü} \times (\text{Ano Eni} \times \text{Rüzgara maruz tabliye yüksekliği}) \\ W_{G,b} &= 0.25 \times (30.00 \times 2.15) = 16.13t \end{aligned} \tag{7.16}$$

İskeleye Dolaylı Olarak Etki Eden Rüzgâr Yükleri

Gemiye tesir eden rüzgâr yükleri Çizelge 7.13'te yapılan hesaplar ile gösterilmiştir. Rüzgâr geliş açısı 90° olmak üzere, gemi bordosuna dik olarak etki ettiği için en büyük rüzgâr kuvveti enine doğrultuda oluşacaktır. Hesaplarda rüzgâr kuvveti katsayısı $C_{TW}=1.90$ [22], 0° C'de havanın özgül kütlesi $\rho_A=1.309 \text{ kg/m}^3$, geminin rüzgâra maruz yüzey alanı $A_L=6000 \text{ m}^2$ [22] ve rüzgâr hızı $U_w=50 \text{ m/s}$ olarak alınmıştır.

Çizelge 7.13 Gemiye etkiyen rüzgâr yükleri

Enine Yönde Rüzgâr Kuvveti F_{TW}	$F_{TW} = C_{TW} \rho_A A_L U_w^2 \times 10^{-4}$ $F_{TW} = (1.90)(1.309)(6000)(50)^2 \times 10^{-4}$ $F_{TW} = 3730.65kN \text{ (380.29t)}$
-------------------------------------	--

Gemiye etki eden rüzgâr kuvvetinin bulunmasından sonra, rüzgâr kuvvetine maruz kalan geminin iskeleye aktardığı yük hesaplanmıştır (Çizelge 7.14). Burada iskele boyu 65.50 m ve gemi uzunluğu $L_{BP}=201$ m'dir. Bununla birlikte iskele üstünde çalışacak elleçleme ekipmanları sebebiyle iskeleye aktarılacak olan yük için ekipman ağırlığının %10'u dikkate alınacaktır [21].

Çizelge 7.14 İskeleyle dolaylı olarak etkiyen rüzgâr yükleri

Gemi Yaslanması Sebebiyle Etkiyen Rüzgâr Kuvveti	$W_{p1} = 380.29 \times \frac{65.50}{201} = 123.93t$
Elleçleme Ekipmanları Sebebiyle Etkiyen Rüzgâr Kuvveti	$W_{p2} = 350 \times 0.10 = 35t$
En Büyük Rüzgâr Kuvveti Seçilirse;	$W_p = 123.93t$

7.6.6 Akıntı Kuvveti

Gemiye etki edecek en büyük akıntı kuvveti, enine doğrultuda dik olarak etki eden kuvvettir. Akıntı geliş açısı θ bu durumda 90° olarak alınır. Akıntı geliş açısına ve gemi özelliklerine bağlı olarak enine akıntı kuvveti katsayısı $C_{TC}=1.25$ ve derinlik düzeltme faktörü $C_{CT}=2.0$ olarak alınır [22]. Gemi uzunluğu $L_{BP}=201$ m, tuzlu suya ait özgül kütle $\rho=1.025$ t/m³, su derinliği $d=27.50$ m ve ortalama akıntı hızı 1.50 m/s alınarak hesaplar yapılmış ve enine akıntı kuvveti F_{TC} , Çizelge 7.15'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.15 Gemiye etkiyen enine akıntı kuvveti, F_{TC}

Enine Yönde Akıntı Kuvveti F_{TC}	$F_{TC} = C_{TC} C_{CT} \rho L_{BP} d (V_c)^2 \times 10^{-4}$ $F_{TC} = (1.25)(2.0)(1.025)(201)(27.5)(1.5)^2 \times 10^{-4}$ $F_{TC} = 3.19kN \text{ (0.32t)}$
-------------------------------------	--

Gemiye etki eden akıntı kuvveti sebebiyle iskeleye aktarılacak S_A akıntı yükü (7.17) eşitliği ile belirlenir.

$$S_A = 0.32 \times \frac{65.50}{201} = 0.10t \quad (7.17)$$

Gemi bağlama yükü olarak alınan $B=100t$ değerinin, elde edilen enine yöndeki akıntı ve rüzgâr kuvvetleri toplamı ile karşılaştırılması (7.18) eşitliği ile yapılarak $B=100t$ olarak alınmıştır.

$$\left[\begin{array}{l} F_{TW} = 380.29t \\ F_{TC} = 0.32t \end{array} \right] \rightarrow F_{toplaml} = 380.61 \rightarrow \text{Baba aralığı} = 8 \Rightarrow \frac{F_{toplaml}}{8} = 47.58t < B = 100t \quad (7.18)$$

7.6.7 Dalga Yükleri

Tekil kazığa etki eden dalga yüklerini belirleyebilmek için tasarım dalgasına ait parametreler belirlenmelidir. Bu kapsamda dalga iklim çalışması neticesinde elde edilen parametreler Çizelge 7.16'da verilmiştir.

Çizelge 7.16 Tasarım dalgasına ait veriler

Tasarım dalgası, H_s	2.00 m
Tasarım dalgası periyodu, T	5.00 s
Derin su dalga boyu, L_0	$1.56T^2 = 1.56 \times 5^2 = 39.00$ m
Deniz taban eğimi, m	0.05

D/L oranına göre küçük çaplı silindirik kazık olduğu (7.19) ifadesi ile belirlenmiş ve Morison (1950)¹ denklemi kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür.

$$\frac{D}{L} = \frac{0.9144}{39} = 0.02 < 0.20 \quad (7.19)$$

Ayrıca, (7.20) eşitliği ile lineer dalga teorisi kullanımına uygun olduğu görülmüştür.

$$\frac{D}{L} = \frac{0.9144}{39} = 0.02 < 0.05 \quad (7.20)$$

¹ Bkz. (5.8) ifadesi

Atalet kuvveti katsayısı C_M , genellikle dairesel kesitli kazıklar için 2.00 olarak alınır. Direnç kuvveti katsayısı C_D , kazığın şekline, Reynold sayısına ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak değişim göstermekle beraber dairesel kesitli kazıklar için 0.70 olarak belirlenmiştir.

Bölüm 5.2.4.7’de tanımlanmış olan ifadeler yardımıyla, F_D ve F_i için maksimum değerlerin elde edileceği t anına göre K_i ve K_D boyutsuz parametreleri bulunmuş ve Çizelge 7.17’de detaylı olarak gösterilmiştir.

Çizelge 7.17 K_i ve K_D boyutsuz parametreleri

$\left[\frac{2\pi d}{L} = \frac{2\pi(27.50)}{39.00} = 4.43 \right]; \quad \left[\frac{2\pi t}{T} = \frac{2\pi(-5/4)}{5.00} = -1.57 \right]$		$F_{i,\max} \rightarrow \begin{bmatrix} t = -T/4 \\ t = -5/4 \end{bmatrix}$	$F_{D,\max} \rightarrow t = 0$
K_i	$K_i = \frac{1}{2} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \sin\left(-\frac{2\pi t}{T}\right)$ $K_i = \frac{1}{2} \tanh(4.43) \sin(1.57)$	0.50	-
K_D	$K_D = \frac{1}{4} n \cos\left(\frac{2\pi t}{T}\right) \left \cos \frac{2\pi t}{T} \right $ $K_D = \frac{1}{4} (0.5) \cos(0) \cos(0) $	-	0.125
n	$n = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{4\pi d/L}{\sinh(4\pi d/L)} \right)$ $n = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2 \times 4.43}{\sinh(2 \times 4.43)} \right)$	-	0.50

Elde edilen boyutsuz parametreler kullanılarak F_i ve F_D değerleri elde edilerek Çizelge 7.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.18 F_i ve F_D değerleri

F_i	$F_i = C_M \rho g \frac{\pi D^2}{4} H K_i$ $F_i = (2.00)(1.025)(9.81) \frac{\pi (0.9144)^2}{4} (2)(0.50)$	1.35 t (13.24 kN)
----------------------	---	------------------------------------

Çizelge 7.18 F_i ve F_D değerleri (devam)

F_D	$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho g D H^2 K_D$ $F_D = (0.7) \frac{1}{2} (1.025) (9.81) (0.9144) (2)^2 (0.125)$	0.16 t (1.57 kN)
$C_M = 2.00, C_D = 0.7, H=2.00 \text{ m}, D=0.9144 \text{ m}, d=27.5 \text{ m}, \rho=1.025 \text{ t/m}^3$		

Elde edilen değerler, farklı t zamanlarına bağlı olarak maksimum değerlerdir. Yapıya tesir edecek maksimum dalga kuvveti F_m ise (7.21) eşitliği ile bulunur.

$$F_m = \varphi_m \times \rho \times g \times C_D \times D \times H^2 \quad (7.21)$$

Burada φ_m değeri (7.22) eşitliğinde verilen $W, H/gT^2$ ve d/gT^2 boyutsuz parametreleri kullanılarak belirlenir[12].

$$\left[\begin{array}{l} W = \frac{C_M D}{C_D H} = \frac{2.0 \times 0.9144}{0.7 \times 2.00} = 1.31 \\ \frac{d}{gT^2} = \frac{27.50}{9.81(5)^2} = 0.112 \\ \frac{H}{gT^2} = \frac{2.00}{9.81(5)^2} = 0.008 \end{array} \right] \Rightarrow \varphi_m = 0.67 \quad (7.22)$$

Bu şekilde etki edecek maksimum dalga kuvveti F_m bulunur ve yapıya enine ve boyuna yönde etki edecek dalga yükleri belirlenir. Dalgaların enine ve boyuna doğrultuda yapıya etkimesi esnasında, bu dalga kuvvetine maruz kalan kazık sayısı sırasıyla 8 ve 7 dir. Burada, kazık sayısı o doğrultudaki kesit izdüşümü düşünülerek belirlenir (Çizelge 7.19).

Çizelge 7.19 Dalga yükleri S_W

$F_m = (\varphi_m \times \rho \times g \times C_D \times D \times H^2) = (0.67 \times 1.025 \times 9.81 \times 0.70 \times 0.9144 \times 2^2) = 1.75t$	
Enine Yönde - Dalgaya Maruz Kazık Sayısı = 8 için;	$S_{W,e} = 8 \times 1.75 = 14.00t$
Boyuna Yönde - Dalgaya Maruz Kazık Sayısı = 7 için;	$S_{W,b} = 14 \times 1.75 = 24.50t$

7.6.8 Suyun Kaldırma Kuvveti (S_K)

Deprem hesabında dikkate alınması gereken, suyun kazığa etki eden kaldırma kuvveti S_K , su içinde bulunan kazık uzunluğu boyunca kapladığı kesit hacmi kullanılarak (7.23) ifadesi ile hesaplanır.

$$S_K = A_{kesit} \times \rho \times d = 0.045 \times 1.025 \times 27.50 = 1.27t \quad (7.23)$$

7.7 DGT Kapsamında Eş Değer Deprem Yüğü Yöntemi ile Analiz

7.7.1 Deprem Tasarım Spektrumları

Yapının bulunduğu 40°46' Kuzey, 29°33' Doğu koordinatları esas alınarak, D2 deprem düzeyi ve B zemin sınıfı için, yapıya ait spektral ivme değerleri S_s ve S_a DLH(2008) Ek-A'da verilmiş olan çizelgelerden faydalanılarak Çizelge 7.20'de verilmiştir.

Çizelge 7.20 B zemin sınıfı için spektral ivme değerleri

Boylam	Enlem	Kısa Periyot – S_s (g)	1 sn Periyot – S_a (g)
29.3	40.5	1.35	0.61

Çizelge 7.20'de B zemin sınıfını esas alınarak hazırlandığı ve yapı zemin sınıfının da B zemin grubu olması sebebiyle F_a ve F_v değerleri 1 olarak alınarak spektral ivme değerleri ve köşe periyotları Çizelge 7.21'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.21 Yapı için geçerli spektral ivme değerleri

Kısa periyot spektral ivme değeri	$S_{MS} = F_a \times S_s = 1 \times 1.35 = 1.35g$
1.0 s periyodu için spektral ivme değeri	$S_{M1} = F_v \times S_1 = 1 \times 0.61 = 0.61g$
Bitiş köşe periyodu	$T_s = \frac{S_{M1}}{S_{MS}} = \frac{0.61}{1.35} = 0.45$
Başlangıç köşe periyodu	$T_0 = 0.2T_s = 0.2 \times (0.45) = 0.09$

Yapıya ait deprem tasarım spektrumunun çizilebilmesi için, yapının deprem doğrultusundaki hâkim moduna ait yapı periyodunun bilinmesi gerekmektedir. Bunun

için SAP2000, ver.14.2.2 programı kullanılarak yapı sistemi modellenmiş ve elde edilen değerler Çizelge 7.22’de gösterilmiştir.

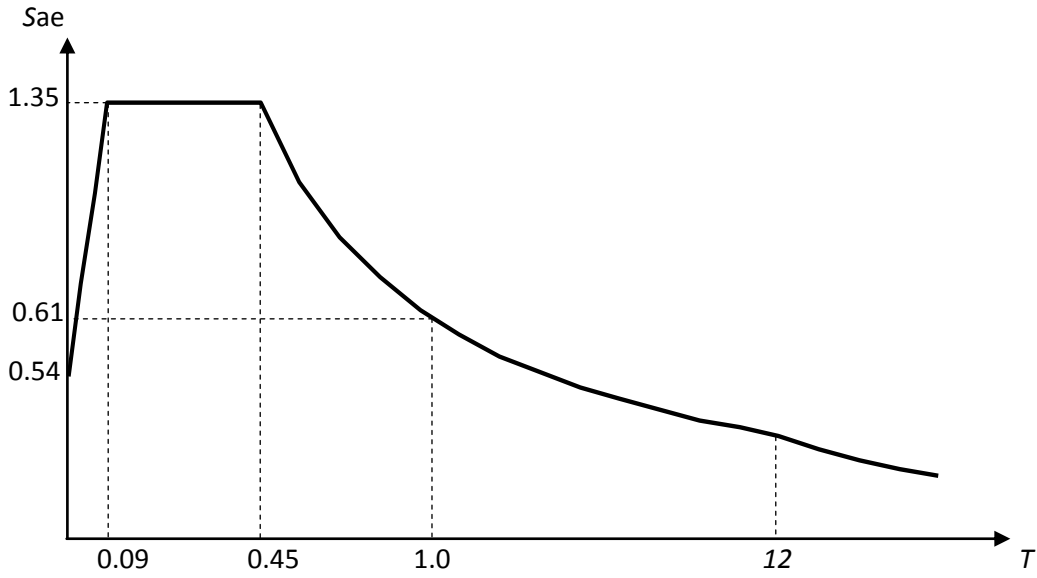
Çizelge 7.22 Yapıya ait doğal titreşim periyodu

X doğrultusunda hâkim moda ait doğal titreşim periyodu	$T_{x,1}=0.97 \text{ s}$
Y doğrultusunda hâkim moda ait doğal titreşim periyodu	$T_{y,1}=1.25 \text{ s}$

Elde edilen yapı periyotları ile köşe periyotları kıyaslanarak X ve Y deprem doğrultularındaki deprem tasarım spektrumları (S_{ae}) Çizelge 7.23’de verilmiş ve Şekil 7.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 7.23 Deprem tasarım spektrumları

Deprem Tasarım Spektrumları		X doğrultusu	Y doğrultusu
$T \leq T_0$	$S_{ae}(T) = 0.4 \times S_{MS} + 0.6 \times \frac{S_{MS}}{T_o} T$	$S_{ae}(0) = 0.4 \times (1.35) = 0.54g$	
$T_o \leq T \leq T_s$	$S_{ae}(T) = S_{MS}$	$S_{ae}(0.09) = 1.35g$ $S_{ae}(0.45) = 1.35g$	
$T_s \leq T \leq T_L$	$S_{ae}(T) = \frac{S_{M1}}{T}$	$S_{ae}(0.97) = \frac{0.61g}{0.97} = 0.63g$	$S_{ae}(1.25) = \frac{0.61g}{1.25} = 0.49g$
$T_L \leq T$	$S_{ae}(T) = \frac{S_{M1} \times T_L}{T^2}$	$S_{ae}(12) = \frac{1.35 \times 12}{12^2} = 0.11g$	
$T_0=0.09\text{ s} , T_s=0.45\text{ s} , T_L=12\text{ s} , T_{x,1} = 0.97\text{ s} , T_{y,1} = 1.25s$			



Şekil 7.6 Deprem tasarım spektrumu

7.7.2 Deprem Azaltma Katsayısı

4.9.2'deki ifadeler dikkate alınarak deprem azaltma katsayısının (R_a) bulunmasında, önceden tanımlanmış olan, Çizelge 4.6'daki düşey kazıklardan oluşmuş iskele yapıları için taşıyıcı sistem davranış katsayısı R ;

- Kontrollü Hasar(KH) performans düzeyi için $R=1.5$ değeri olarak alınacaktır.

Aynı şekilde (7.24) ifadesi kullanılarak;

$$R_a(T) = R \quad (T_s < T) \quad (7.24)$$

hem $T_{x,1}=0.97 > T_s=0.45$ hem de $T_{y,1}=1.25 > T_s=0.45$ koşulları göz önüne alınarak X ve Y deprem doğrultuları için $R_a=1.5$ değeri deprem azaltma katsayısı olarak bulunmuştur.

7.7.3 Eş değer Deprem Yüğü

D2 deprem düzeyi için, hem X yönünde hem de Y yönünde yapıya tesir eden eş değer deprem yükleri ve burulma momentleri tayin edilmiştir. X doğrultusunda etki eden deprem durumu için yapılan hesaplara göre eş değer deprem yükü $V_{x,1}$ (7.25) ifadesi kullanılarak Çizelge 7.24'te gösterilmiştir.

$$V_{x,1} = \frac{M_t S_{ae}(T_{x,1})}{R_a(T_{x,1})} \geq \eta M_t S_{ae}(0) \quad (7.25)$$

Çizelge 7.24 Eş değer deprem yükü ($V_{x,1}$; $V_{y,1}$)

$M_t = 1138.52 \text{ ts}^2/\text{m}$	$\frac{M_t S_{ae}(T_{x1})}{R_a(T_{x1})} = \frac{(1138.52)(0.63 \times 9.81)}{1.5} = 4663.31t$
$S_{ae}(T_{x,1}) = S_{ae}(0.97) = 0.63g$	
$S_{ae}(T_{y,1}) = S_{ae}(1.25) = 0.49g$	$\frac{M_t S_{ae}(T_{y1})}{R_a(T_{y1})} = \frac{(1138.52)(0.49 \times 9.81)}{1.5} = 3618.72t$
$R_a = 1.5$	
$\eta = 0.15$ (Normal Sınıf)	$\eta M_t S_{ae}(0) = (0.15)(1138.52)(0.54 \times 9.81)$
$S_{ae}(0) = 0.54g$	$\eta M_t S_{ae}(0) = 904.68t$

Yapılan hesaplarda büyük olan değer esas alınarak $V_{x,1} = 4663.31 \text{ t}$ olarak belirlenmiştir. Y doğrultusundaki deprem durumu için yapılan hesaplar sonucunda ise $V_{y,1} = 3618.72 \text{ t}$ olarak bulunmuştur. Tabliyeye etki eden burulma momenti M_b ise Çizelge 7.25'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.25 Burulma Momenti (M_b)

$M_{bx,1} = \pm 0.05 B_y V_{x,1}$	$M_{bx,1} = \pm 0.05(30)(4663.31)$
$B_y = 30m$	$M_{bx,1} = \pm 6994.97tm$
$M_{by,1} = \pm 0.05 B_x V_{y,1}$	$M_{by,1} = \pm 0.05(65.5)(3618.72)$
$B_x = 65.5m$	$M_{by,1} = \pm 11851.31tm$

Eş değer deprem kuvvetinin, yapı sistemine etki noktasının belirlenmesinde iki durum söz konusudur. Birinci durum yapının tüm ağırlığının tabliye kütle merkezinde toplandığı varsayılarak sadece tabliye kütle merkezine etki ettirilmesi, diğeri ise toplam kazık ağırlığı ile tabliye ağırlığının ayrı ayrı değerlendirilerek tabliye merkezi ile kazıklara etki ettirilmesidir.

Kazıkların toplam kütlesi ile tabliye kütlesi arasında (7.26)'da gösterilen oranın %15'ten küçük olması koşulunda birinci durum, aksi koşulda ise ikinci durum uygulanır.

$$\frac{\text{Kazıkların toplam kütlesi}}{\text{Tabliye kütlesi}} = \frac{376.61}{761.91} = \%49 > \%15 \quad (7.26)$$

Elde ettiğimiz değer, %15 değerinden büyük olduğu için eş değer deprem yükü, tabliye kütle merkezine ve kazık kütlelerine ayrı ayrı etki ettirilecektir.

7.8 Yükler ve Yük Kombinasyonları

Yapıya etki eden yükler belirlenmiş ve Çizelge 7.26’da verilmiştir.

Çizelge 7.26 Yapıya tesir eden düşey ve yatay yükler

Öz Ağırlık	G	=	7474.35	t
Ek düzgün yayılı yükler	E _Q	=	5895.00	t
Ek hareketli yükler	E _P	=	6543.50	t
Gemi yanaşma yükü	Y	=	125.00	t
Gemi bağlama yükü (Baba yükü)	B	=	100.00	t
Akıntı yükü	S _A	=	0.10	t
Dalga yükü (Enine Yönde)	S _{W,e}	=	14.00	t
Dalga yükü (Boyuna Yönde)	S _{W,b}	=	24.50	t
Rüzgâr yükü (Enine Yönde)	W _{G,e}	=	18.83	t
Rüzgâr yükü (Boyuna Yönde)	W _{G,b}	=	16.13	t
Elleçleme ve taş. ekip. etk. Yük (Enine Yönde)	W _{P,e}	=	123.93	t
Elleçleme ve taş. ekip. etk. Yük (Boyuna Yönde)	W _{P,b}	=	35.00	t
Deprem Kuvveti (Enine Yönde – Y doğrultusu)	V _x	=	3618.72	t
Deprem Kuvveti (Boyuna Yönde – X doğrultusu),	V _y	=	4663.31	t
Suyun Kaldırma Kuvveti	S _K	=	1.27	t

Çizelge 5.12’de tanımlanmış olan yük kombinasyonları belirlenmeden önce, Çizelge 7.27’de verilen karşılaştırmalar yapılarak en elverişsiz kombinasyonlar belirlenmiştir.

Çizelge 7.27 Yapıya tesir ettirilecek yük kombinasyonları

$\left[\begin{array}{l} Y = 125.00t > B = 100.00t \\ E_p = 6543.50 > E_q = 5895.00t \end{array} \right] \Rightarrow$	$K_{11} = G + E_p + Y$
$\left[\begin{array}{l} (S_{W,e} + 0.5W_{G,e} + 0.5W_{P,e}) = 85.36t \\ (S_{W,e} + W_{G,e}) = 32.81t \\ S_A = 0.10 \end{array} \right] \Rightarrow$	Enine Yönde; $[K_{13} = G + E_p + (S_{W,e} + 0.5W_{G,e} + 0.5W_{P,e})]$
$\left[\begin{array}{l} (S_{W,b} + 0.5W_{G,b} + 0.5W_{P,b}) = 50.03t \\ (S_{W,b} + W_{G,b}) = 40.59t \\ S_A = 0.00 \end{array} \right] \Rightarrow$	Boyuna Yönde; $[K_{13} = G + E_p + (S_{W,b} + 0.5W_{G,b} + 0.5W_{P,b})]$

Deprem etkisi altında kullanılacak yük kombinasyonu ise daha önce Bölüm 4.9.1’de tanımlandığı üzere (7.27) ifadesi ile gösterilmiştir.

$$K_{14} = G + S_K + D_{M,x} + 0.5B \quad (7.27)$$

Kazığa etki eden suyun kaldırma kuvveti S_K , düşey yükler karşısında küçük mertebelerde olduğu için ihmal edilmiştir.

Yapılan hesaplamalar neticesinde toplam 6 adet yükleme tipi tanımlanmış ve yapıya etki ettirilerek SAP2000, ver.14.2.2 programı yardımıyla kazıklara ait kesit tesirleri ve tabliye yer değiştirme değerleri elde edilmiştir (Çizelge 7.28 ve Çizelge 7.29).

Çizelge 7.28 Enine yönde oluşan kesit tesirleri ve yer değiştirmeleri

Enine Yönde (Y Doğrultusu)			
1.Yükleme: $[K_{11} = G + E_p + Y]$	$N_{maks} = 160 \text{ t}$ $N = 94 \text{ t}$ $N_{min} = 3 \text{ t}$	$M = 0 \text{ tm}$ $M_{maks} = 14 \text{ tm}$ $M = 0 \text{ tm}$	$\Delta_{y,1} = 0.6 \text{ cm}$
2.Yükleme: $[K_{13} = G + E_p + (S_{W,e} + 0.5W_{G,e} + 0.5W_{P,e})]$	$N_{maks} = 155 \text{ t}$ $N = 89 \text{ t}$ $N_{min} = 3 \text{ t}$	$M = 0 \text{ tm}$ $M_{maks} = 13 \text{ tm}$ $M = 0 \text{ tm}$	$\Delta_{y,2} = 0.5 \text{ cm}$
3.Yükleme: $[K_{14} = G + S_K + V_y + 0.5B]$	$N_{maks} = 261 \text{ t}$ $N = 182 \text{ t}$ $N_{min} = 168 \text{ t}$	$M = 16 \text{ tm}$ $M_{maks} = 37 \text{ tm}$ $M = 18 \text{ tm}$	$\Delta_{y,3} = 5.5 \text{ cm}$

Çizelge 7.29 Boyuna yönde oluşan kesit tesirleri ve yer değiştirmeleri

Boyuna Yönde (X Doğrultusu)			
4.Yükleme: $[K_{11} = G + E_p + Y]$	$N_{maks} = 160 \text{ t}$ $N = 94 \text{ t}$ $N_{min} = 3 \text{ t}$	$M = 0 \text{ tm}$ $M_{maks} = 14 \text{ tm}$ $M = 0 \text{ tm}$	$\Delta_{x,1} = 0.3 \text{ cm}$
5.Yükleme: $[K_{13} = G + E_p + (S_{W,b} + 0.5W_{G,b} + 0.5W_{P,b})]$	$N_{maks} = 149 \text{ t}$ $N = 82 \text{ t}$ $N_{min} = 3 \text{ t}$	$M = 0 \text{ tm}$ $M_{maks} = 12 \text{ tm}$ $M = 0 \text{ tm}$	$\Delta_{x,2} = 0.5 \text{ cm}$

Çizelge 7.29 Boyuna yönde oluşan kesit tesirleri ve yer değiştirmeleri (devam)

6.Yükleme: $[K_{14} = G + S_k + V_x + 0.5B]$	$N_{maks} = 378 \text{ t}$ $N = 332 \text{ t}$ $N_{min} = 258 \text{ t}$	$M = 30 \text{ tm}$ $M_{maks} = 59 \text{ tm}$ $M = 39 \text{ tm}$	$\Delta_{x,3} = 9.8 \text{ cm}$
---	--	--	---------------------------------

7.9 Kapasite ve Yer Değiştirme Kontrolleri

7.9.1 Yer Değiştirmelerin Kontrolü

Yer değiştirme değerlerinin elde edilmesinin ardından, DLH (2008)'de¹ belirtilen yer değiştirmelerin sınırlandırması ile ilgili kurallar doğrultusunda (Çizelge 4.7), (7.28) ifadesindeki performans değerlendirmesine esas yer değiştirme(δ) verilmiştir.

$$\delta = \beta R \Delta \quad (7.28)$$

Burada, yüklemeler sonucunda elde edilen tabliye yer değiştirmeleri Δ , taşıyıcı sistem davranış katsayısı R , taşıyıcı sistem davranış katsayısına bağlı olarak belirlenen katsayı ise β olarak ifade edilmiştir.

Maksimum yer değiştirme değeri Δ_{maks} , X doğrultusunda etkiyen deprem kuvvetleri (3. Yükleme) altında oluşmuş olup 9.8 cm'dir. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı $R=1.5$ ve buna bağlı DLH(2008)'e göre $\beta=1.0$ olarak alınır ve yer değiştirme değeri (7.29) eşitliğinde verilmiştir.

$$\delta = \beta R \Delta = (1.0)(1.5)(9.8) = 14.70 \text{ cm} \quad (7.29)$$

Değerlendirmeye esas yer değiştirme (δ) kullanılarak, maksimum göreceli öteleme değeri (7.30) ifadesi ile hesaplanır.

$$\text{Maksimum Göreceli Öteleme} = \frac{\delta}{h_k} \quad (7.30)$$

Burada h_k kazık tabliye birleşim noktası ile kazık büküm noktası arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır. Bu mesafe, ankraj boyu, su derinliği ve iskele üst kotuna kadar olan mesafe toplanarak (7.31) eşitliğinde gösterilmiştir.

¹ Madde 2.3.3.6

$$h_k = 7.40 + 27.50 + 2.75 = 37.65m \quad (7.31)$$

Bu ifadenin kullanılmasıyla maksimum görelî öteleme değeri (7.32) ifadesinde gösterilmiştir.

$$\frac{\delta}{h_k} = \frac{14.70}{3765} = 0.004 < 0.010 \quad (7.32)$$

Elde edilen değeri, eğik kazıklı iskelelerdeki Kontrollü Hasar (KH) için limit değeri olan 0.010 (Çizelge 4.7) değeri altında kalarak, yapının D2 depremi altında yer değıştirme değeri bakımından performans hedefini karşıladığı görülmüştür.

7.9.2 Kazık Kapasitesinin Kontrolü

Yükleme tiplerine bağılı olarak gerilme değeri;

- 1. ve 4. Yüklem için $\sigma_{em} = \sigma_{\zeta,em} = 2160 \text{ kg/cm}^2$
- 2. ve 5. Yüklem için $\sigma_{em} = 1.25 \times \sigma_{\zeta,em} = 2700 \text{ kg/cm}^2$
- 3. ve 6. Yüklem için $\sigma_{em} = 0.85 \times \sigma_a = 3060 \text{ kg/cm}^2$ şeklinde tanımlanmıştır.

Tüm yüklemeler için kazıklarda oluşan normal kuvvet ve moment değeri için gerilme hesabı (7.33) ifadesine uygun olarak yapılmıştır.

$$\sigma = \left(\omega \frac{N}{F} \right) + \left(\alpha \frac{M}{W} \right) \quad (7.33)$$

Burada ω , burkulma katsayısı olmak üzere narinlik katsayısına (λ) bağılı olarak TS648'den belirlenir. Narinlik katsayısı (7.34) eşitliğinde;

$$\lambda = \frac{L_k}{i} \quad (7.34)$$

L_k , kazık burkulma boyunu ifade etmek üzere ankastrelik boyu, su derinliği ve su yüzeyi ile iskele alt kotu arasındaki mesafenin toplamı olarak 35.50 m'dir. i , burkulma doğrultusundaki atalet yarıçapını ifade etmektedir. Böylece kazığa ait narinlik katsayısı (7.35) ifadesi ile elde edilir.

$$\lambda = \frac{L_k}{i} = \frac{3550}{31.77} = 112 \quad (7.35)$$

TS648'den burkulma katsayısı ω , narinlik katsayısına λ , bağı olarak 3.18 olarak belirlenir.

Ayrıca F kazık kesit alanını, N ve M kazıklarda oluşan normal kuvvet ve moment değerlerini, W mukavemet momentini ifade eder ve α bir katsayı olmak üzere 0.9 olarak alınır. Yapılan hesaplara ilişkin değerler Çizelge 7.30'da gösterilmiştir. Moment değerlerine (M), P - Δ etkileri göz önüne alınarak, düşey yükler altında yapılan yer değiştirmeler (Δ) ile kazığa etkiyen eksenel kuvvetler (P) çarpılarak oluşan ilave moment değerleri de eklenmiştir.

Çizelge 7.30 Kazık gerilme hesabı

Yüklemeye	$\left(\omega \frac{N}{F}\right) + \left(\alpha \frac{M}{W}\right)$	$\sigma = \left(\omega \frac{N}{F}\right) + \left(\alpha \frac{M}{W}\right)$	σ_{em}
1.	1127+23 662+140 21+0	1150 kg/cm ² 802 kg/cm ² 21 kg/cm ²	< 2160 kg/cm ² < 2160 kg/cm ² < 2160 kg/cm ²
2.	1091+19 627+128 21+9	1110 kg/cm ² 755 kg/cm ² 30 kg/cm ²	< 2700 kg/cm ² < 2700 kg/cm ² < 2700 kg/cm ²
3.	1838+490 1282+575 1183+385	2328 kg/cm ² 1857 kg/cm ² 1568 kg/cm ²	< 3060 kg/cm ² < 3060 kg/cm ² < 3060 kg/cm ²
4	1127+12 662+133 21+0	1139 kg/cm ² 795 kg/cm ² 21 kg/cm ²	< 2160 kg/cm ² < 2160 kg/cm ² < 2160 kg/cm ²
5	1049+18 577+118 21+9	1067 kg/cm ² 696 kg/cm ² 30 kg/cm ²	< 2700 kg/cm ² < 2700 kg/cm ² < 2700 kg/cm ²
6	2662+1163 2338+1316 1817+961	3825 kg/cm ² 3654 kg/cm ² 2778 kg/cm ²	> 3060 kg/cm ² > 3060 kg/cm ² < 3060 kg/cm ²
$F=452 \text{ cm}^2$, $W=9968 \text{ cm}^3$, $\omega= 3.18$, $\alpha=0.90$,			

Elde edilen bu veriler ışığında kazık gerilme kapasitelerinin 6. Yüklemeye şartlarında emniyet gerilme değerlerini aştığı görülmüştür.

7.9.3 Tekil Kazığa Ait Zemin Taşıma Kapasitesi

Yapısal model üzerinde yapılan yüklemeler neticesinde elde edilen maksimum normal kuvvet değeri (N_{maks});

- Maksimum Basınç Kuvveti - Sabit Yükler : 160 t

(1. ve 4. Yükleme)

- Maksimum Basınç Kuvveti - Geçici Yükler : 378 t

(2. 3. ve 5. 6. Yükleme)

- Maksimum Çekme Kuvveti : 258 t

(6. Yükleme)

olarak belirlenmiştir. Çizelge 6.7’de elde edilen taşıma kapasite değerleri ile kıyaslandığında;

- Maksimum Basınç Kuvveti - Sabit Yükler : 160 t < 495.50 t
- Maksimum Basınç Kuvveti - Geçici Yükler : 378 t < 743.26 t
- Maksimum Çekme Kuvveti : 258 t > 71.88 t

olduğu görülür ve bu değerler neticesinde zeminin basınç taşıma kapasitesinin yeterli olduğu ancak çekme taşıma kapasitesinin aşıldığı görülmüştür.

7.10 ŞGT ile Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi

Aynı yapı üzerinde yapılan bir diğer çalışma ise Şekil değiştirmeye Göre Tasarım yaklaşımı çerçevesinde doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden eş değer deprem yükü yöntemi ile yapılan çalışmadır [17]. Bu çalışma kapsamında, aynı özelliklere sahip olan eğik kazıklı iskele yapısı, doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak analiz edilmiş ve analiz aşamaları bölüm 7.10.1’de açıklanmıştır.

Yapılan bu çalışma neticesinde elde edilen verilere göre, eğik kazıklı yapıda ileri hasar bölgesinde plastik mafsallar oluşmuş ve hasar yüzdeleri Çizelge 7.31’de verilmiştir.

Çizelge 7.31 Hasar yüzdesi [17]

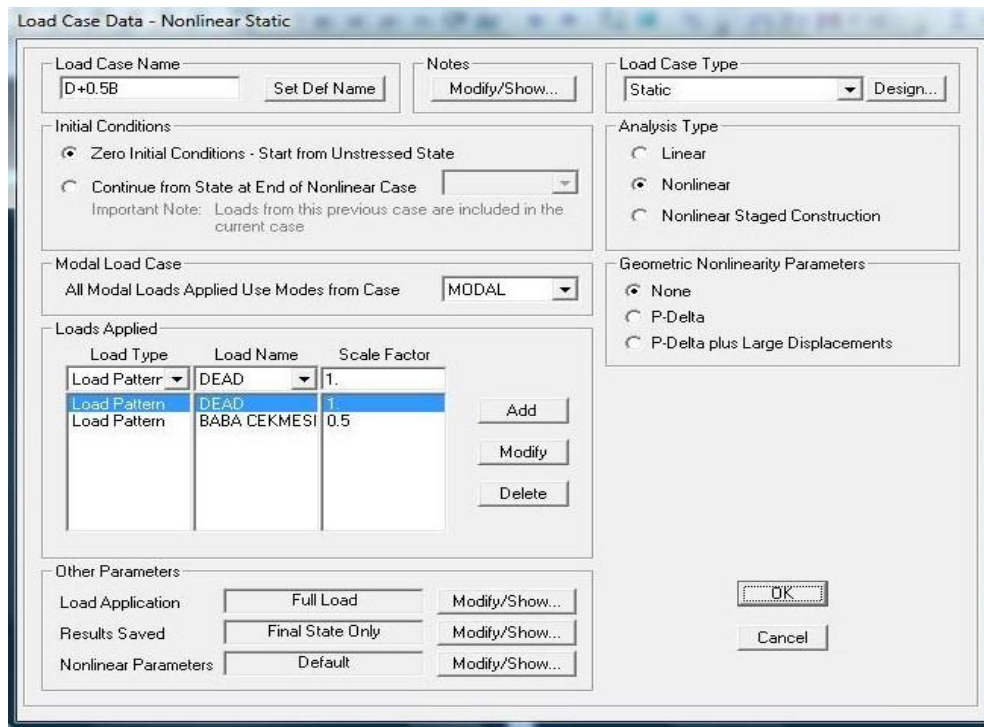
	Hasar Durumu		
	Minimum Hasar	Kontrollü Hasar	İleri Hasar
Düşey Kazıklı Sistem	%	%	%
X Doğrultusu	3.6	12.5	3.6
Y Doğrultusu	6.3	21	9

7.10.1 İtme Analizi İçin Yapılan Yüklemler

Statik itme analizi için 3 adet yükleme tanımlanmıştır. Bunlar düşey yüklemeyi temsilen G+0.5B, X doğrultusunda yapılan itmeyi temsilen G+0.5B+X ve Y doğrultusunda yapılan itmeyi temsilen G+0.5B+Y olarak tanımlanmıştır. (G: öz ağırlık, B: gemi bağlama yükü) [17].

Başlangıç Yüklemesi

Yapının toplam ağırlığını ve baba çekme yükünün yarısını içeren doğrusal olmayan analiz durumunu ifade etmektedir. Şekil 7.7’de düşey doğrultudaki yüklere ait analiz durumu SAP2000 ver.14.2.2’de tanımlanmıştır [17].



Şekil 7.7 Düşey doğrultudaki yüklemeleri içeren analiz durumunun SAP2000,ver.14.2.2’de tanımlanması [17]

X–X Doğrultusu Yüklemesi

Başlangıç yüklemesi ile elastik çözümün tamamlandığı andan itibaren belirtilen yer değiştirme istemine kadar sürecek X-X doğrultusunda yatay yükleme başlar. Şekil 7.8’de X-X doğrultusuna ait analiz durumu SAP2000 ver.14.2.2’de tanımlanmıştır [17].

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: D+0.5B+X Set Def Name Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Static Design...

Initial Conditions:

- ☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- ☒ Continue from State at End of Nonlinear Case D+0.5B Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1	-1.
Mode	1	-1.

Add Modify Delete

Other Parameters:

Load Application: Displ Control Modify/Show...

Results Saved: Multiple States Modify/Show...

Nonlinear Parameters: User Defined Modify/Show...

Analysis Type:

- ☐ Linear
- ☒ Nonlinear
- ☐ Nonlinear Staged Construction

Geometric Nonlinearity Parameters:

- ☒ None
- ☐ P-Delta
- ☐ P-Delta plus Large Displacements

OK Cancel

Şekil 7.8 X-X doğrultusundaki yüklemeyi içeren analiz durumunun SAP2000,ver.14.2.2’de tanımlanması [17]

Y-Y Doğrultusu Yükleme

Başlangıç yüklemesi ile elastik çözümün tamamlandığı andan itibaren belirtilen yer değiştirme istemine kadar sürecek Y-Y doğrultusunda yatay yükleme başlar. Şekil 7.9’da Y-Y doğrultusuna ait analiz durumu SAP2000 ver.14.2.2’de tanımlanmıştır [17].

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: D+0.5B+Y Set Def Name Notes: Modify/Show...

Load Case Type: Static Design...

Initial Conditions:

- ☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
- ☒ Continue from State at End of Nonlinear Case D+0.5B Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case:

All Modal Loads Applied Use Modes from Case: MODAL

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	2	-1.
Mode	2	-1.

Add Modify Delete

Other Parameters:

Load Application: Displ Control Modify/Show...

Results Saved: Multiple States Modify/Show...

Nonlinear Parameters: User Defined Modify/Show...

Analysis Type:

- ☐ Linear
- ☒ Nonlinear
- ☐ Nonlinear Staged Construction

Geometric Nonlinearity Parameters:

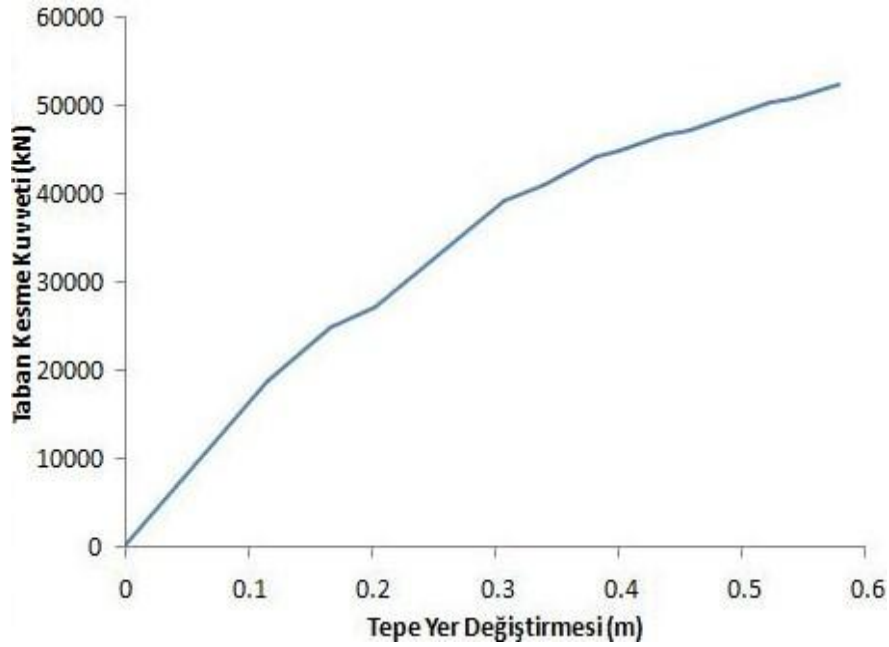
- ☒ None
- ☐ P-Delta
- ☐ P-Delta plus Large Displacements

OK Cancel

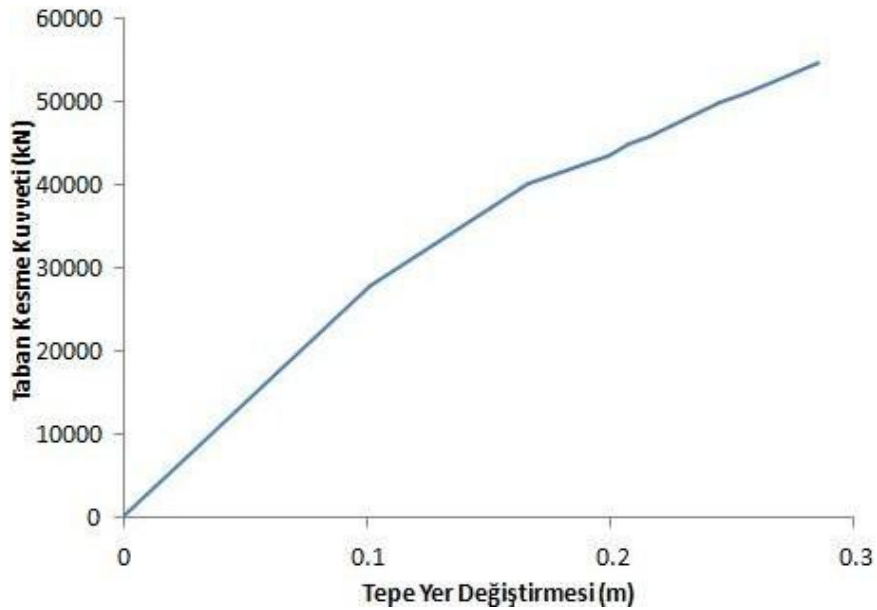
Şekil 7.9 Y-Y doğrultusundaki yüklemeyi içeren analiz durumunun SAP2000,ver.14.2.2’de tanımlanması [17]

7.10.2 İtme Analizi Sonuçları

Mevcut yüklemeler altında itme analizi yapılarak taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirmesi (kapasite eğrisi) elde edilmiştir. Eğik kazıklı yapı X-X ve Y-Y doğrultusu kapasite eğrileri Şekil 7.10 ve Şekil 7.11’de verilmiştir. Yapı X-X doğrultusunda 0.58 m yer değiştirme ve 53000 kN kesme kuvveti karşılamıştır. Y-Y doğrultusunda ise 0.29 m yer değiştirme ve 55000 kN kesme kuvveti karşılamıştır [17].



Şekil 7.10 X-X doğrultusu itme eğrisi [17]



Şekil 7.11 Y-Y doğrultusu itme eğrisi [17]

7.10.3 Tepe Yer Değiştirme İsteminin Belirlenmesi

İtme eğrileri modal kapasite eğrilerine dönüştürülerek deprem talep eğrisi ile çakıştırılmıştır [17].

Eğik Kazıklı Sistem

Eğik kazıklı yapıda X-X doğrultusu için modal katkı çarpanı(Γ_1) ve modal kütle(M_1) değerleri Çizelge 7.32’de verilmiştir [17]. Çizelge 7.33’te ise itme analizi sonuçları ve modal kapasite değerleri görülmektedir.

Çizelge 7.32 X-X doğrultusunda M_1 ve Γ_1 değerleri [17]

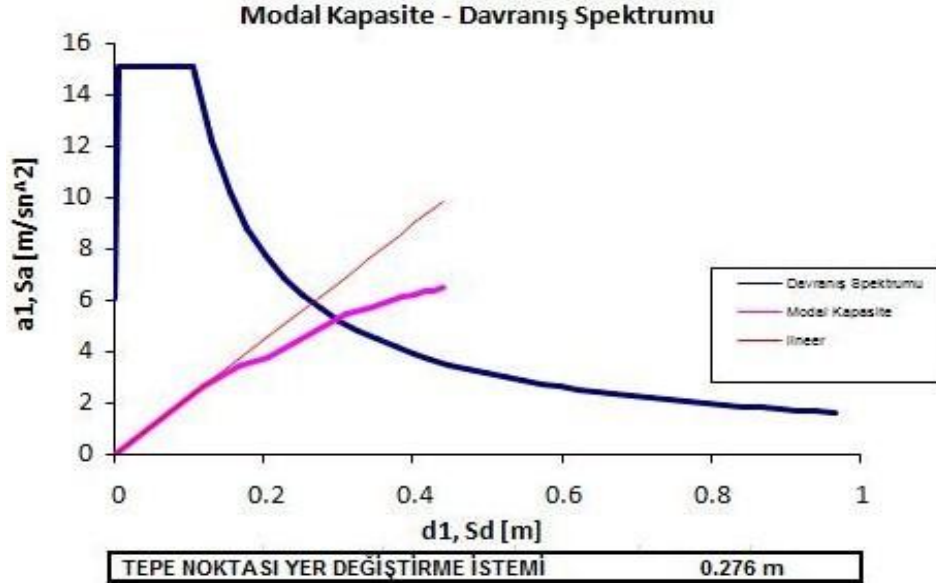
W_i (kN)	M_i	γ_1	M_1	Φ_{i1}	$M_i\Phi_{i1}$	$M_i(\Phi_{i1})^2$	Γ_1
84645	8628.44	0.84	7235.81	0.0373	321.84	12.00	26.81

Çizelge 7.33 X-X doğrultusu itme analizi sonuçları - modal kapasite değerleri [17]

UN1 [m]	V1 [kN]	M1	Φ_{N1}	Γ_1	a1	d1
0.00	0.00	7235.81	0.0373	26.81	0.00	0.00
0.12	18839.90	7235.81	0.0373	26.81	2.60	0.12
0.17	24874.11	7235.81	0.0373	26.81	3.44	0.17
0.20	27214.11	7235.81	0.0373	26.81	3.76	0.20
0.31	39296.06	7235.81	0.0373	26.81	5.43	0.31
0.34	41124.62	7235.81	0.0373	26.81	5.68	0.34
0.38	44359.91	7235.81	0.0373	26.81	6.13	0.38
0.40	44974.6	7235.81	0.0373	26.81	6.21	0.40

Şekil 7.12’de hedef spektral yer değiştirme değeri elde edilmiş, bu değerden de (7.36) ifadesi ile tepe noktası yer değiştirme istemi hesaplanmıştır [17].

$$u_{xT,1}^{(p)} = \Phi_{xT,1} \Gamma_{x,1} d_1^{(p)} \quad (7.36)$$



Şekil 7.12 X-X doğrultusu performans noktasının belirlenmesi [17]

Eğik kazıklı yapıda Y-Y doğrultusu için modal katkı çarpanı ve modal kütle değerleri Çizelge 7.34'te verilmiştir. Çizelge 7.35'te itme analizi sonuçları ve modal kapasite değerleri görülmektedir.

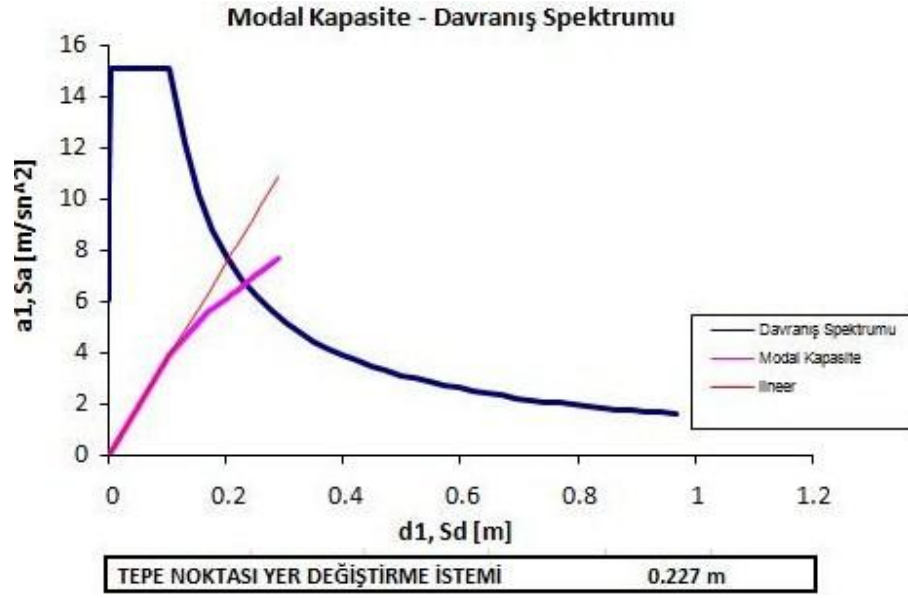
Çizelge 7.34 Y-Y doğrultusunda M_1 ve Γ_1 değerleri [17]

W_i (kN)	M_i	γ_1	M_1	Φ_{i1}	$M_i\Phi_{i1}$	$M_i(\Phi_{i1})^2$	Γ_1
84645	8628.44	0.83	7160.74	0.0374	322.70	12.07	26.74

Çizelge 7.35 Y-Y doğrultusu itme analizi sonuçları - modal kapasite değerleri [17]

UN1 [m]	V1 [kN]	M1	Φ_{N1}	Γ_1	a1	d1
0.00	0.00	7160.74	0.0374	26.74	0.00	0.00
0.10	27866.57	7160.74	0.0374	26.74	3.89	0.10
0.17	40112.62	7160.74	0.0374	26.74	5.60	0.17
0.20	43706.07	7160.74	0.0374	26.74	6.10	0.20
0.21	44995.54	7160.74	0.0374	26.74	6.28	0.21
0.22	45825.16	7160.74	0.0374	26.74	6.40	0.22
0.25	49976.51	7160.74	0.0374	26.74	6.98	0.25

Şekil 7.13'te hedef spektral yer değiştirme değeri elde edilmiş, bu değerden de (7.36) ifadesi ile tepe noktası yer değiştirme istemi hesaplanmıştır.

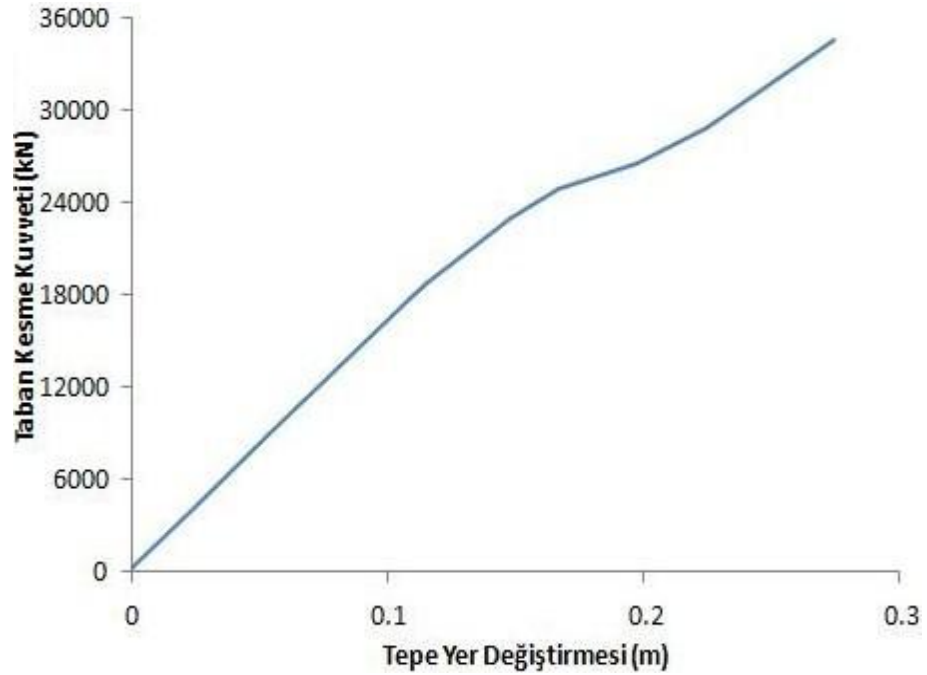


Şekil 7.13 Y-Y doğrultusu performans noktasının belirlenmesi [17]

7.10.4 Tepe Yer Değiştirme İstemi İçin Analizin Tekrarı

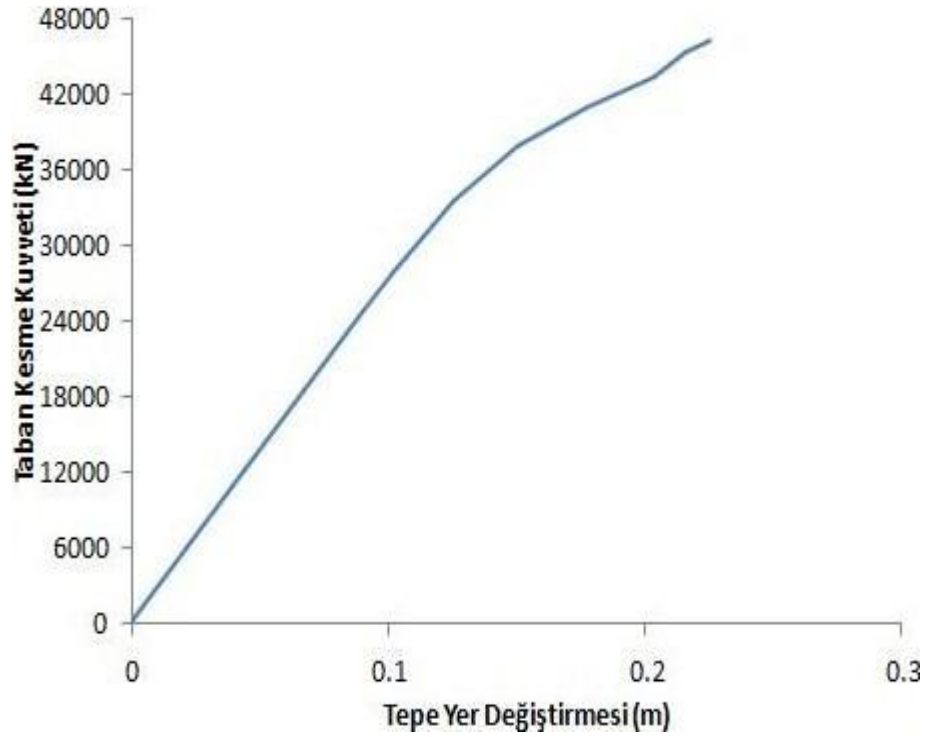
Yapılan itme analizlerinin ardından bulunan hedef yer değiştirme değeri üst sınır olarak analiz programına atanarak itme analizi tekrar edilmiştir [17].

Eğik kazıklı iskele X-X doğrultusunda 0.28 m itilerek kesme kuvvet değeri ve plastik mafsallı dönmeleri elde edilmiştir [17].



Şekil 7.14 X-X doğrultusu itme eğrisi [17]

Eğik kazıklı iskele Y-Y doğrultusunda 0.227 m itilerek kesme kuvvet değeri ve plastik mafsalsal dönmeleri elde edilmiştir [17].

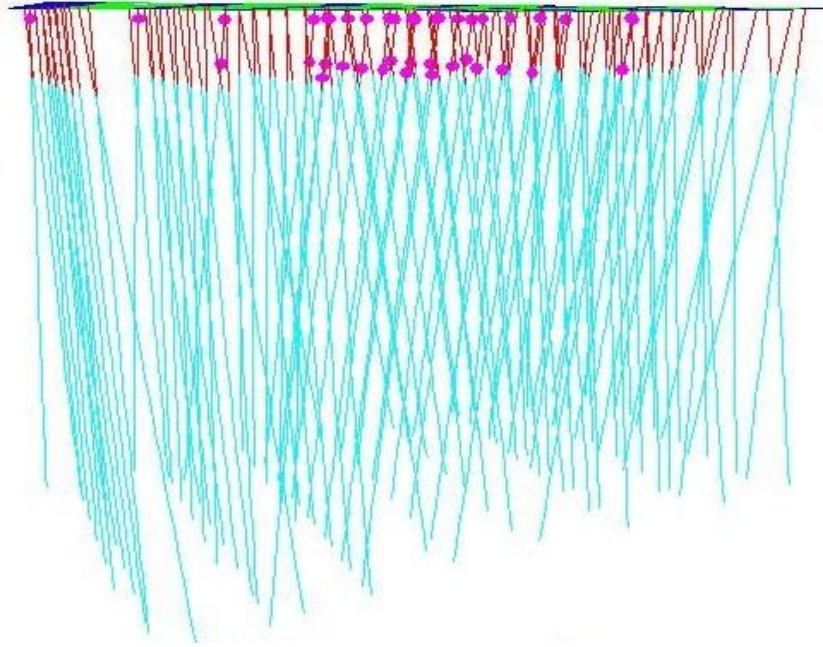


Şekil 7.15 Y-Y doğrultusu itme eğrisi [17]

7.10.5 Yapı Performansının Değerlendirilmesi

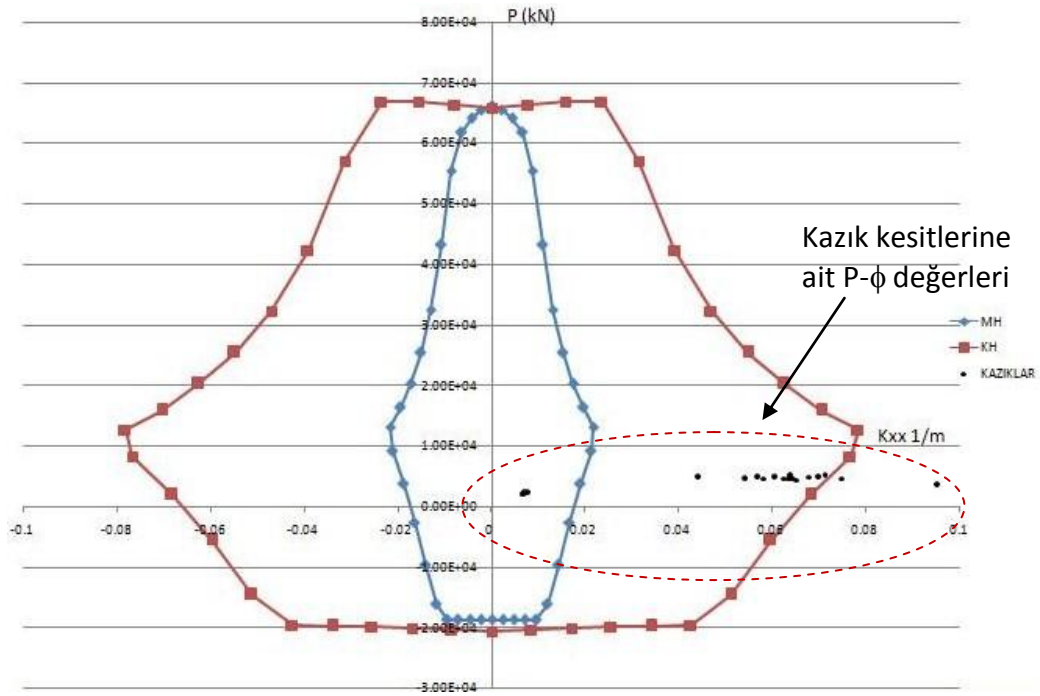
Plastik mafsalsal oluşan noktaların dönme değerlerinden yararlanılarak, moment-eğrilik analizi ile bulunan eğrilik istemine akma eğriliği eklenerek kesit bazında hasar dereceleri ve dağılımı belirlenmiş ve buna bağlı olarak yapıların performansı değerlendirilmiştir [17].

X-X doğrultusundaki plastik mafsalsal oluşumları Şekil 7.16'da verilmiştir [17].



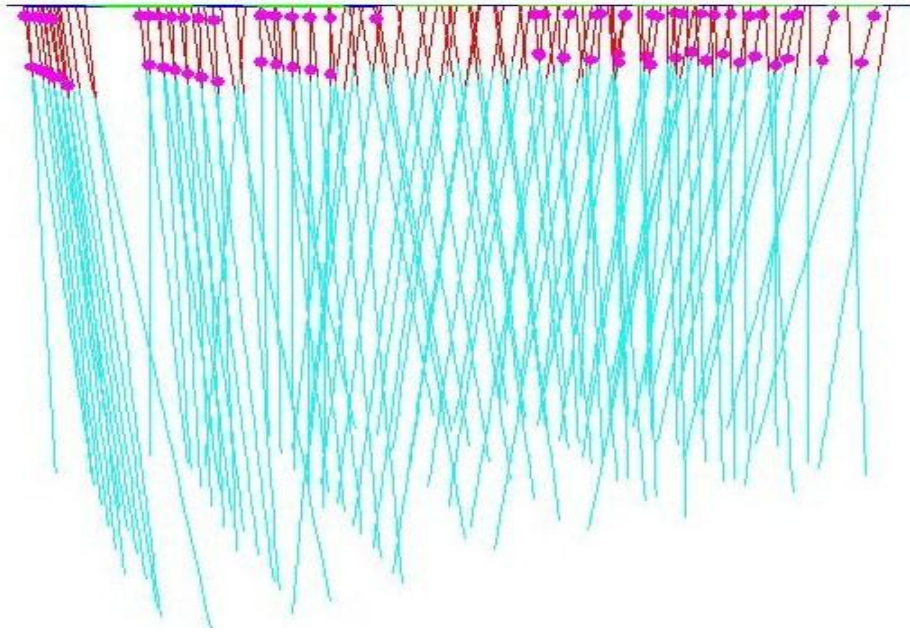
Şekil 7.16 X-X doğrultusu plastik mafsal oluşumu [17]

DLH 2008 Bölüm 2.3.4.9'daki hasar bölgelerini belirleyen sınır şekil değiştirmelerini kullanarak XTRACT ver.3.0.8 programında akma yüzeyi diyagramları çizilir [17]. Bu diyagramlarda her bir kazık kesitine ait normal kuvvet ve eğrilik değeri karşılaştırılarak hasar bölgesi belirlenir (Şekil 7.17).



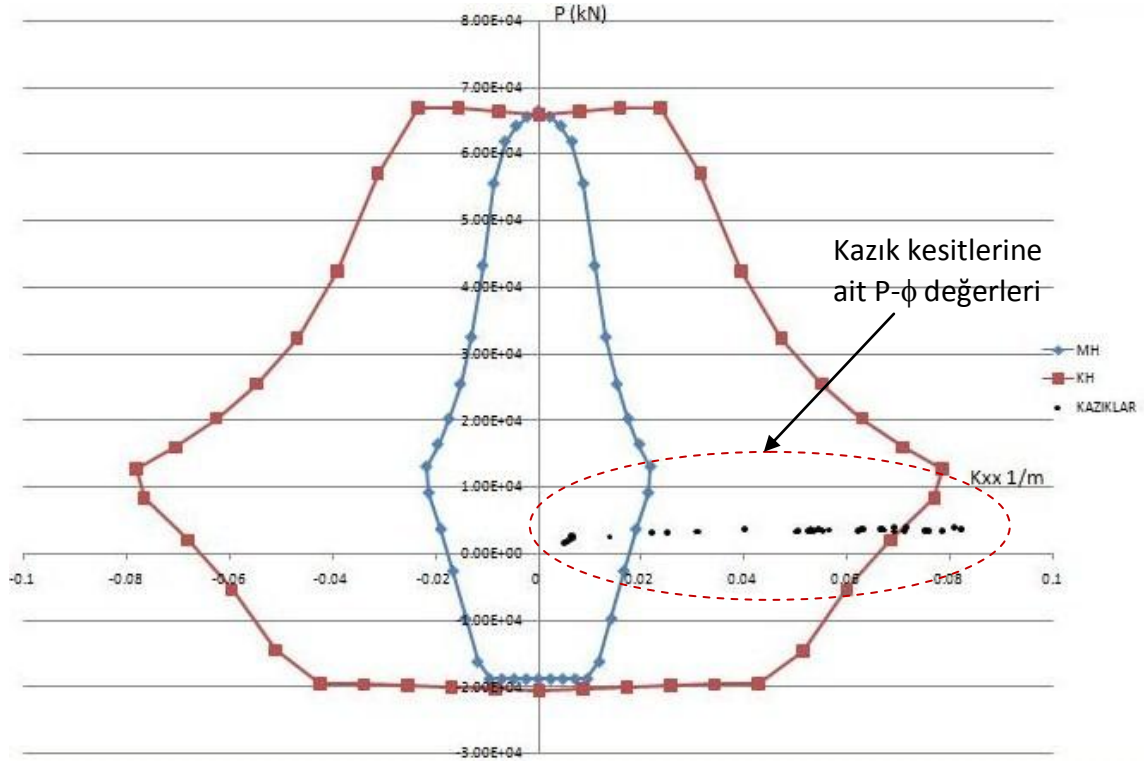
Şekil 7.17 Eğik kazıklar X-X doğrultusu kesit hasar bölgesi [17]

Y-Y doğrultusundaki plastik mafsall oluşumları Şekil 7.18’de verilmiştir.



Şekil 7.18 Y-Y doğrultusu plastik mafsall oluşumu [17]

Kazıkların, $P - \Phi$ diyagramında denk geldiği hasar bölgesi Şekil 7.19’da gösterilmiştir.



Şekil 7.19 Eğik kazıklar Y-Y doğrultusu kesit hasar bölgesi [17]

Aynı yapı üzerinde DGT ve ŞGT yöntemleri ile yapılmış olan analizler neticesinde, DGT ile yapılan analizlere göre yapının toplam yer değiştirme değerlerinin Kontrollü Hasar

(KH) limit değeri olan 0.010 altında kaldığı tespit edilmiştir. Ancak ŞGT ile kesit bazında yapılan analiz sonuçlarına göre, yapısal elemanlarda Kontrollü Hasar (KH) limitlerinin aşıldığı gözlenmiştir.

DGT yöntemi ile yapılan analiz neticesinde yapının tamamı için yapılan yer değiştirme kontrolü ve kazıklara ait kesit tesir değerlerinin istenen sınır emniyet değerlerinin altında kalıp kalmadığı kontrol edilmiştir. Özellikle yer değiştirme kontrolünde yapı bir bütün olarak düşünülmüş, kesit bazında bir hasar kontrolü yapılmamıştır.

Ancak ŞGT yöntemi ile yapılan analiz sonuçlarında kazıklara ait plastik mafsall oluşumları, bu plastik mafsall oluşumlarının hangi mertebede olduğu ve yapısal elemanların yüzde kaçının hangi hasar limitleri altında kaldığı gibi sonuçlara ulaşılmıştır. İnceleme derinliğinin kesit ölçeğine kadar inmiş olması bu yöntemin en büyük avantajlarındanıdır.

Bu iki yöntem ile yapılan analizler neticesinde ŞGT yönteminin yapısal hasarlar konusunda daha detaylı bilgiler elde etme olanağı sağladığı görülmüştür.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, düşey ve eğik kazık destekli yanaşma yapılarının tasarımı ile ilgili genel kurallar ve yöntemlere değinilmiştir. Ayrıca DLH (2008) deprem teknik yönetmeliği çerçevesinde deprem yükleri altında DGT ve ŞGT yöntemlerine göre tasarım ve analizler aşamaları ile KYL-PTTE (2007) çerçevesinde kıyı ve liman yapılarının planlama ve tasarımı için gerekli olan statik ve dinamik yükler hakkında bilgiler verilmiş ve tasarım için gerekli hususlar anlatılmıştır.

Bunun yanı sıra, DLH (2008) deprem teknik yönetmeliği çerçevesinde belirtilmiş olan analiz yöntemlerine uyularak, mevcut bir yapının eş değer deprem yükü yöntemi ile dayanıma göre analizi yapılmıştır. Ayrıca aynı yapı üzerinde şekil değiştirmeye göre analiz yapılmış [17] ve sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmeye çalışılmıştır. Yapılan analizler neticesinde şu bulgulara erişilmiştir.

- Düşey ve eğik kazıklardan oluşan yanaşma yapısı için yapı sınıfı “Normal” ve maruz kaldığı deprem düzeyi de “D2” olarak belirlenmiştir. Bu durumda yapı, DLH (2008)’e göre hem DGT hem de ŞGT ile tasarlanabilmektedir (Çizelge 4.4).
- Dayanıma Göre Tasarım yöntemleri sonucunda;
 - Düşey ve eğik kazıklı yapılarda DGT yöntemleri ile tasarım ve analiz yapılmış ve Düşey Kazıklı İskele Sisteminin DLH (2008)’de istendiği gibi Kontrollü Hasar (KH) limitleri altında kaldığı gözlenmiştir.¹ Ancak eğik

¹ Bölüm 6.9.1 ve 7.9.1

kazıklı iskele sisteminde kazığa ait emniyet gerilmelerinin ve zeminin çekme kapasitesinin aşıldığı gözlemlenmiştir.

- Yine aynı şekilde DGT yöntemleri ile yapılan analizler neticesinde kazıklarda meydana gelen gerilmelerin, düşey kazıklı sistemde emniyetli gerilme değerlerinin altında kaldığı fakat eğik kazıklı sistemde bu değerlerde aşımaların olduğu gözlenmiştir.¹
- DGT ile yapılan bu analizler neticesinde, yapının deprem performansı istenilen ölçüde belirlenememiş, kazık ve tabliye özelinde kesit bazındaki yapı davranışı ve yer değiştirme değerleri elde edilememiştir. Yapılan yer değiştirme kontrolü sadece yapının tümü için yapılmış (kesit bazında bir yer değiştirme verisi elde edilememiştir) ve sergilediği hasar durumu yüzdesel olarak belirlenememiştir.
- Tabliye yer değiştirme değerleri incelendiğinde, düşey kazıklı sistem için maksimum yer değiştirme 22 cm düzeyine ulaştığı gözlenmiştir. Ancak eğik kazıklı iskele sisteminde bu değer 9.8 cm mertebesinde kalmıştır. Bu iki değer kıyaslanması konusunda eğik kazıklı sistemin daha büyük deprem kuvvetine maruz kaldığı da unutulmamalıdır.
- Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım yöntemleri sonucunda;
 - ŞGT yöntemi ile yapılan analizlerde, yapıların gerçek davranışlarını temsil eden ve gerçek süneklik istemini gösteren veriler elde edilmiş olup, yapılardaki hasar dağılımları yüzdesel olarak tespit edilebilmiştir.² DGT ile kıyaslandığında yapının tamamı hakkında elde edilen yer değiştirme bilgisi yerine, kesit bazında değerlendirmeler yapıldığı için her yapısal eleman hakkında yer değiştirme ve hasar bilgisi elde edilmiş olur.

¹ Bölüm 6.9.2 ve 7.9.2

² Bölüm 6.10 ve 7.10

- Mekanizma durumuna adım adım getirilmiş olan yapıda her adıma ait plastik mafsallı dönmeleri ve kapasite değerleri belirlenerek kesit bazında performans değerlendirilmesi yapılabilmektedir.¹
- Elde edilen veriler sonucunda, DLH (2008)'e göre tercih hakkı bırakılan DGT ve ŞGT yöntemlerinden, ŞGT esaslı yöntemlerin uygulanmasının yapı performansının öğrenilmesinde daha detaylı bilgiler vermesi sebebiyle kullanılmasının daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kıyı ve Liman yapıları, tasarımında dikkat edilmesi gereken hidrodinamik yükler, deprem yükleri, kazık-zemin etkileşimleri gibi çözümü son derece karmaşık ve birçok disiplinin bir arada çalışmasını gerektiren yapılar olması sebebiyle üzerinde daha fazla durulmalıdır. Kapsamını sınırlandırmak zorunda kaldığımız bu çalışmaların haricinde, ŞGT yöntemlerinin mevcut yapıların sadece analizi için kullanılması ile yetinmeyerek, tasarım aşamasında da ŞGT esaslı yöntemler kullanılmasının daha pratik hale getirilmesi önerilmektedir.

¹ Bölüm 6.10.5 ve 7.10.5

KAYNAKLAR

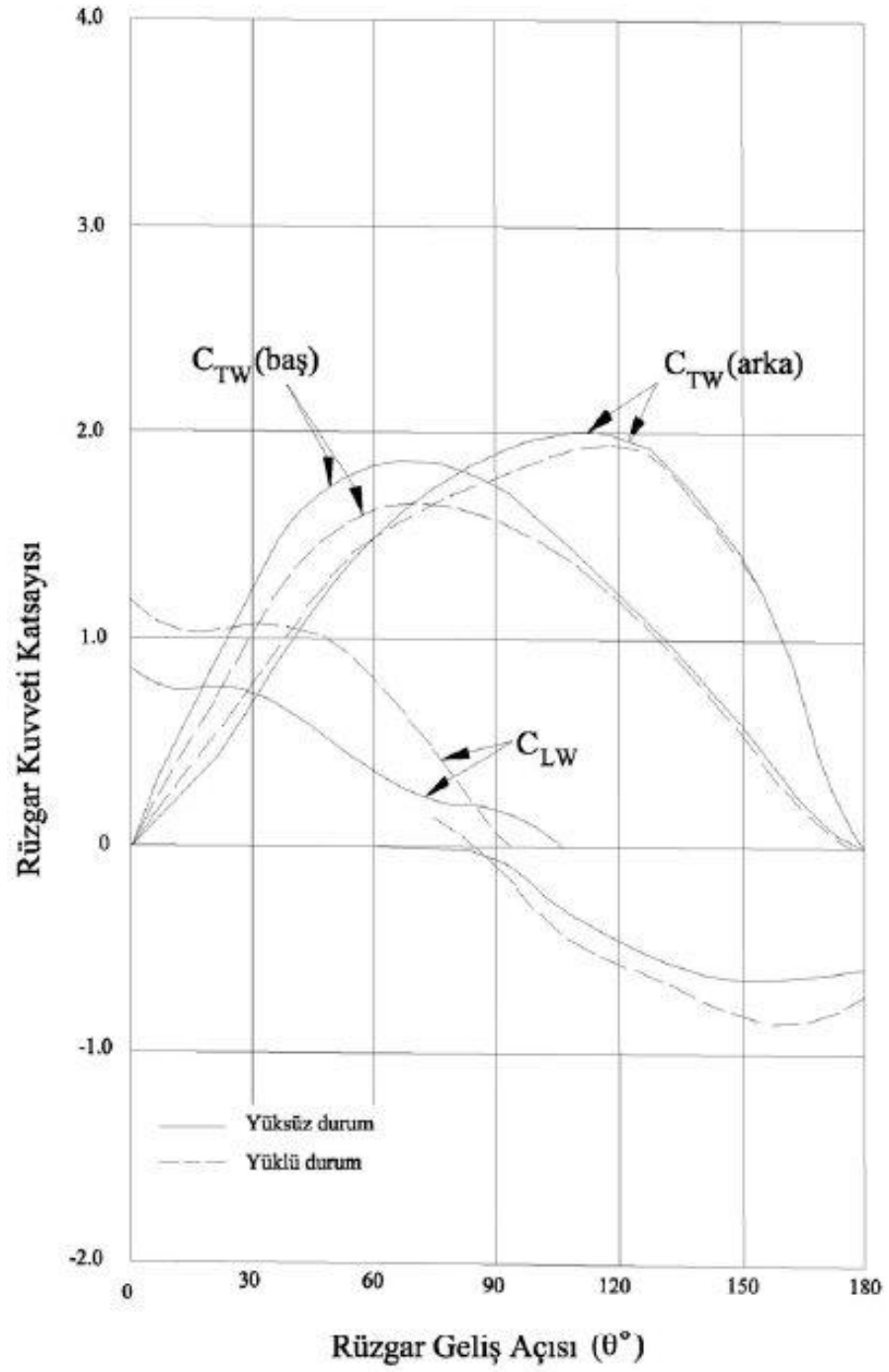
- [1] Belkama, A.A., (2001). Siesmic Design Guidelines for Port Structures (PIANC), Working Group No:34 of the Marine Naviagation Commision, International Navigation Association, Lisse/Abingdon/Exton(PA)/Tokyo
- [2] T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (2008). Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, İMO, İstanbul.
- [3] Yüksel, Y., Alpar, B., Yalçiner A.C., Özgüven. O. ve Çelikoğlu Y., (2003). "Effects of the eastern Marmara Earthquake on Marine Structures and Coastal Areas ICE". Water and Maritime Engineering Journal, 156/146:163, London.
- [4] Ergin, A. ve Yüksel, Y., (2006). "Deprem ve Tsunami Yükleri Altında Kıyı yapıları Tasarımına Yeni Bir Yaklaşım: Davranışa Dayalı Tasarım", Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi.
- [5] Singh, J.P., Tabatabaie, M. ve French, J. (2003). "Performance-Based Design Of Waterfront Structures", International Offshore and Polar Engineering Conference, 25 - 30 May 2003, Honolulu, Hawaii.
- [6] Takahashi, A. ve Takemura, J., (2005). "Liquefaction-induced Large Displacement of Pile-supported Wharf" Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25:811-82.
- [7] Vahdani, S., Egan, J., Pyke, R., Chin, C.C. ve Griswold, T., (2007). "Evaluating the Seismic Capacity of a Newly Designed Wharf at the Port of Oakland", ASCE Conf. Proc. doi:10.1061/40834(238)106, Ports 2007: 30 Years of Sharing Ideas, 1977–2007 Proceedings of the Eleventh Triennial International Conference.
- [8] Siyahi, B., Fahjan, Y., Doran, B., Akbaş, B. ve Özkan, T., (2011) "Kazıklı İskelelerinin Deprem Performanslarının Değerlendirilmesi", Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 30 Mayıs – 3 Haziran 2011, İstanbul.
- [9] Doran, B., Yüksel, Y., Çakır, C., Seçkin, A., Köroğlu, M. ve Korkmaz, Ş., (2012). "Düşey/Eğik Kazıklı İskele Yapılarının Doğrusal Olmayan Statik Çözümlemesi", 7. Kıyı Mühendisliği Konferansı, 20 -23 Kasım 2011, Trabzon.

- [10] Doran, B., Yüksel, Y., Çakır, C., Korkmaz, Ş., Seçkin, A. ve Köroğlu, M., (2012). "Non-Linear Static Analysis of Vertical/Batter Pile-Wharf Structures", ISOPE 2012 – The 22nd International Offshore (Ocean) and Polar Engineering Conference, June 17-22 2012, Rhodes (Rodos), Greece.
- [11] Siyahi, B., Akbaş, B., Doran, B., Fahjan, Y., Doran, B. ve Unutmaz, B., (2012). "Performance-Based Design of a Pile-Wharf Structure Subjected to Earthquake Excitation in Turkey", Second International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering May 28-30 2012, Taormina ,Italy.
- [12] Yüksel, Y. ve Özkan E.Ç., (2010). Liman Mühendisliği, 2. Baskı Beta Yayınevi, İstanbul.
- [13] Polat, Ş.Ş., (2008). Doktora Tezi, Deformation Based Seismic Design of Pile Supported Marine Facilities, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırmaları Enstitüsü Deprem Mühendisliği, İstanbul.
- [14] Tsinker, G.P., (2004). Port Engineering: Planning, Construction, Maintenance, and Security, Wiley.
- [15] Toğrol, E. ve Tan, O., (2003). Kazıklı Temeller, Birsen, 1.
- [16] Abebe, A. ve Smith, I. GN. (1999). Pile Foundation Design: A Student Guide, 25 Ekim 2005.
- [17] Seçkin, A., (2012). Yanaşma Yapılarının Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [18] Aydınoğlu, M.N., (2007). "Dayanıma Göre Tasarım'dan Şekil Değiştirmeye Göre Tasarım'a", Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.
- [19] T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik, Maya.
- [20] Celep Z. ve Kumbasar N., (2000). Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.
- [21] Özmen H.İ., Ekinci L.E., ve Özgüven O., (1990), Çakma Kazıklı Yanaşma Yapılarının Projelendirilmesi, İstanbul.
- [22] T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (2007). Kıyı Yapıları ve Limanlar Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, Yüksel Proje, Ankara.
- [23] OCDI, (2002). Technical Standarts and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan
- [24] CERC, (2001). Coastal Engineering Manuel, Coastal Engineering Research Center, US Army Corps Engrs., Vicksburg, Va.
- [25] SAP2000 ver.14.2.2, (2010). Integrated Structural Analysis and Design Software, Computer and Structures Inc., Berkeley, California.

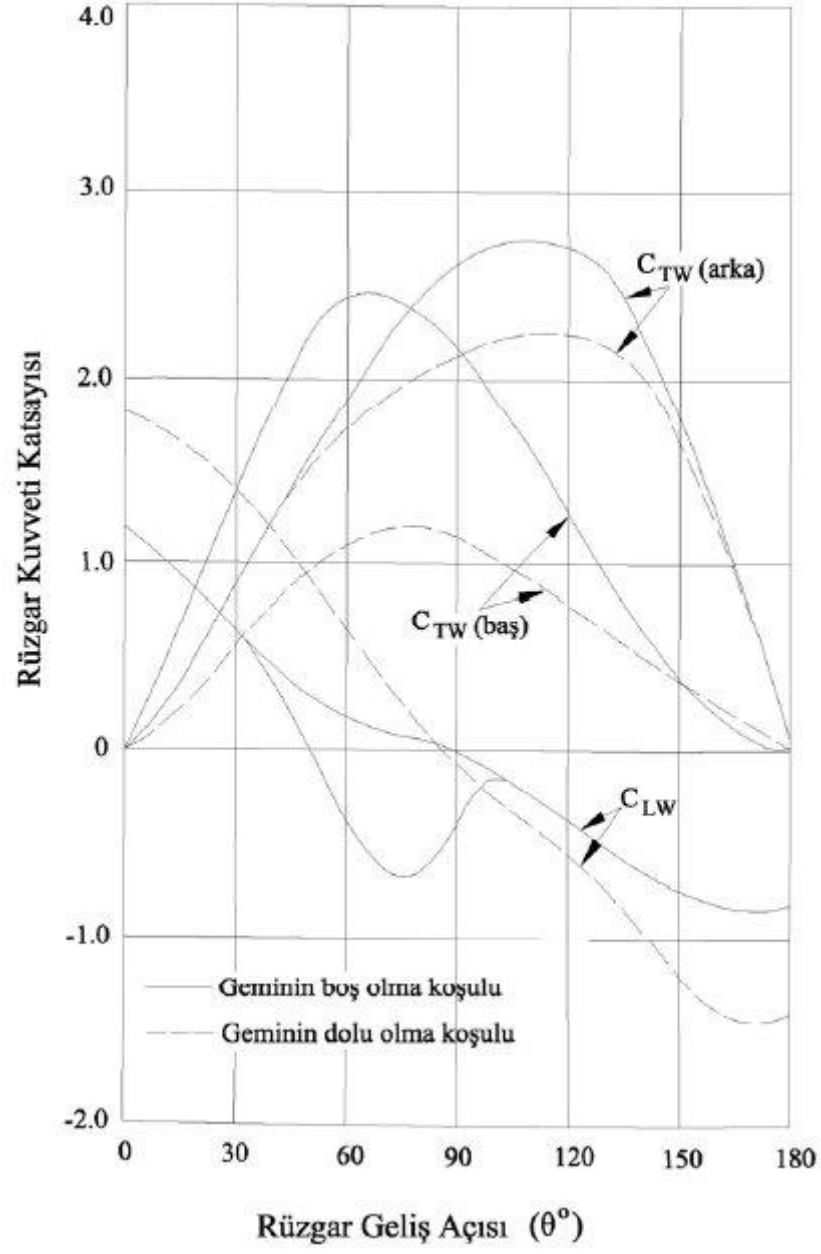
- [26] XTRACT ver.3.0.8, (2007), Cross Sectional Analysis of Components, Imbsen Software System, Sacramento.
- [27] “Dilovası Organize Sanayi Bölgesi, İstanbul Demir Çelik Fabrikaları A.Ş. Efesanport Limanı Dolgu ve İskele Sahası Deniz Tabanı Zemin İnceleme Raporu”, (2008), Geosan, Kocaeli.
- [28] TS 3167, (Nisan 1978), Kazık Temellerin Hesap ve Düzenlenmesinde Genel Kurallar
- [29] TS 3169, (Nisan 1978), Çakma Kazıklar-Tasarım Yapım ve Uygulama Kuralları
- [30] T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (2007). Geoteknik Tasarım Esasları, Yüksel Proje, Ankara.
- [31] Sağlamer A. ve Yetimoğlu T., “Kayaya Soketlenen Geniş Çaplı Kazıkların Taşıma Kapasitesi”, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi

EK - A

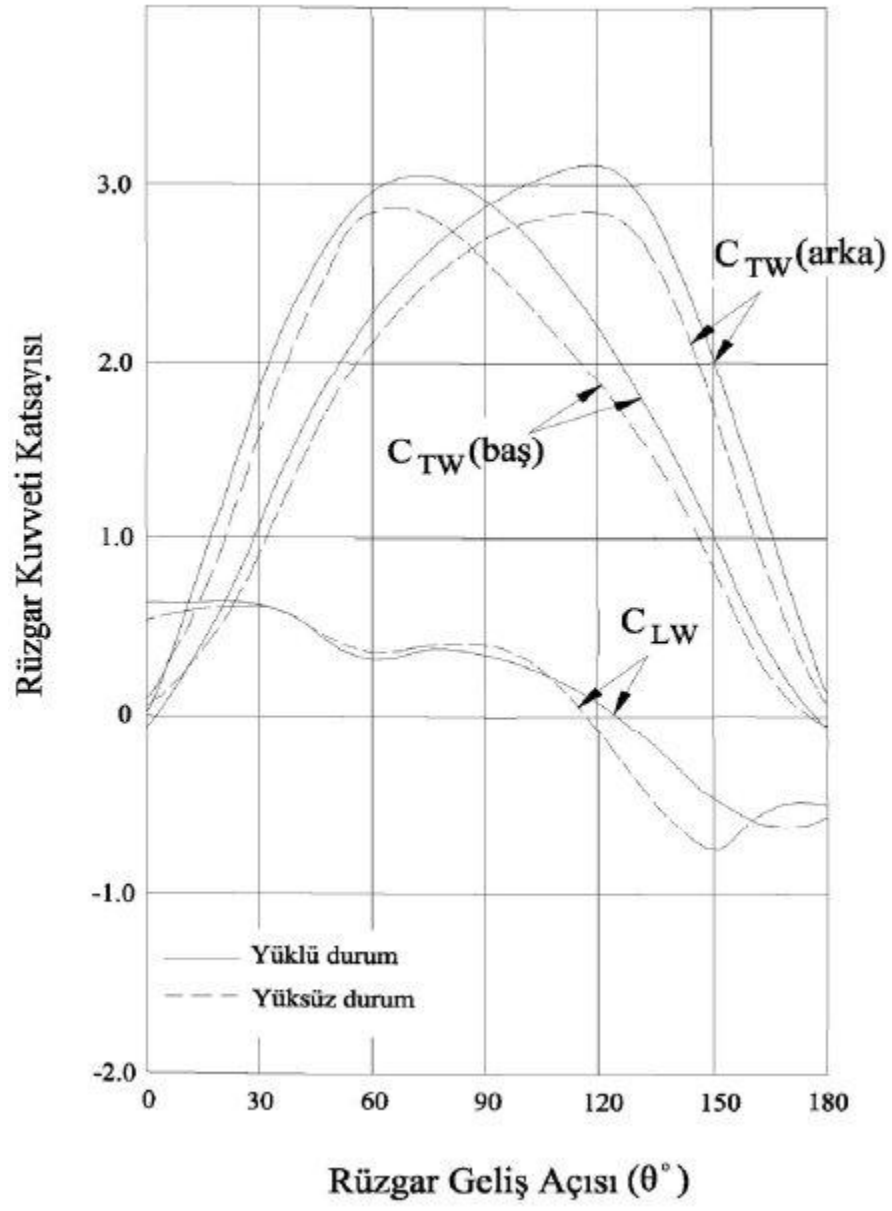
RÜZGÂR VE AKINTI KUVVETLERİNE AİT KATSAYILAR



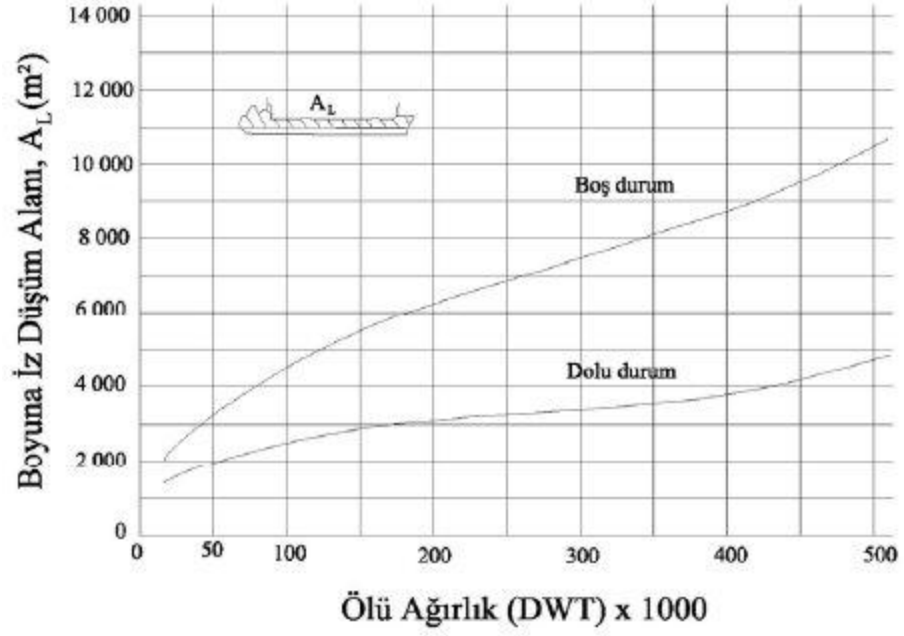
Şekil A.1 Rüzgâr geliş açısı ile rüzgâr kuvveti katsayıları arasındaki ilişki [22]



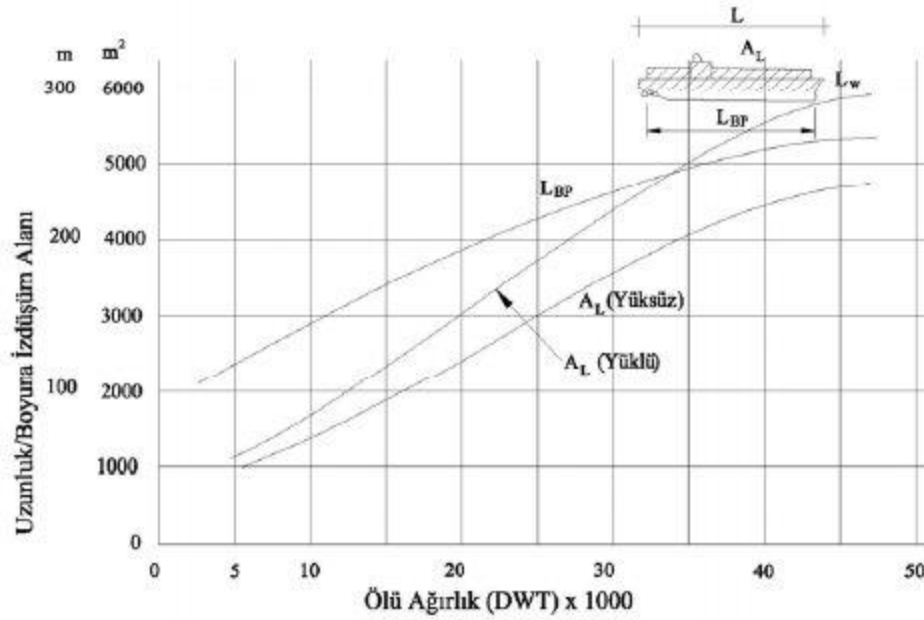
Şekil A.2 Çok büyük petrol tankerleri için rüzgâr kuvveti katsayıları [22]



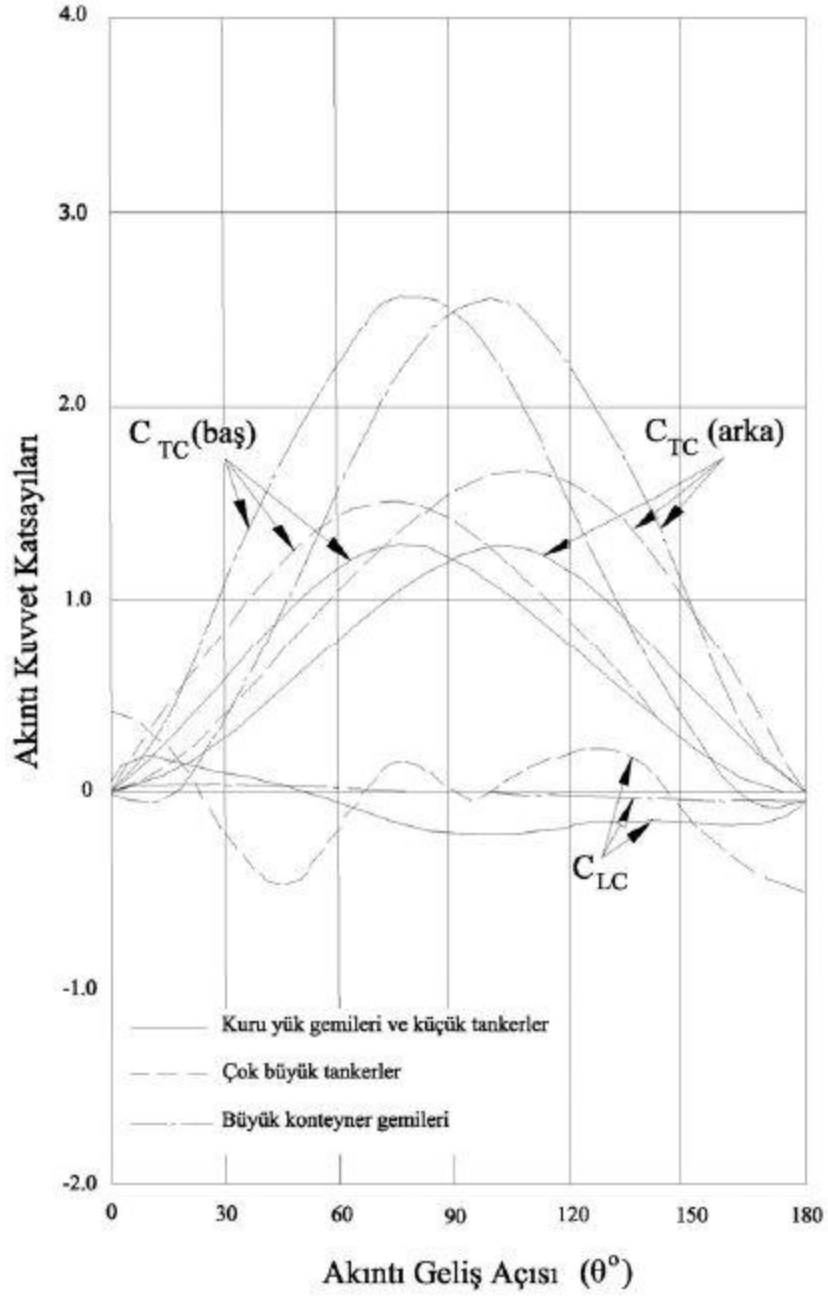
Şekil A.3 Yük gemileri için rüzgâr kuvveti katsayıları [22]



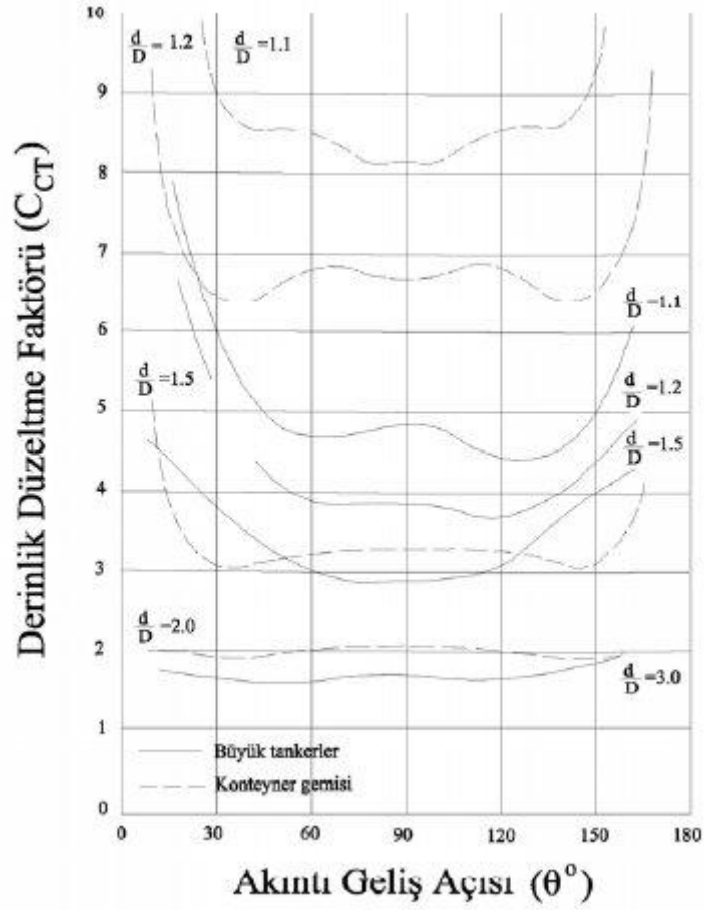
Şekil A.4 Tankerler için boyuna izdüşüm alanları [22]



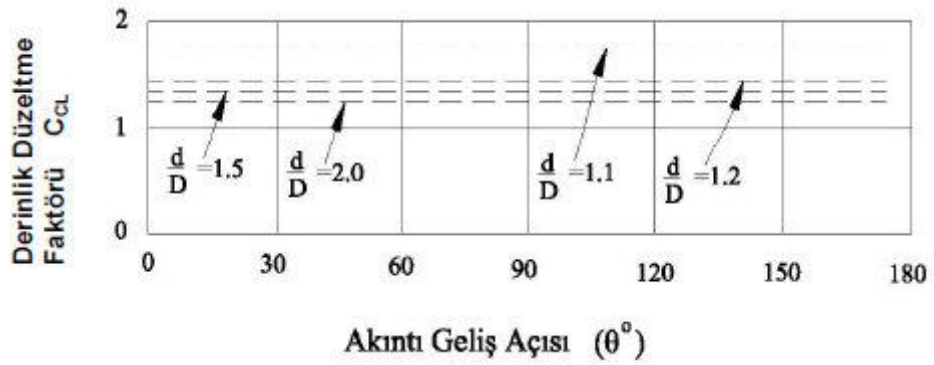
Şekil A.5 Konteyner gemileri için “uzunluk/boyuna izdüşüm alanları” ile “ölü ağırlık (DWT)” arasındaki ilişki [22]



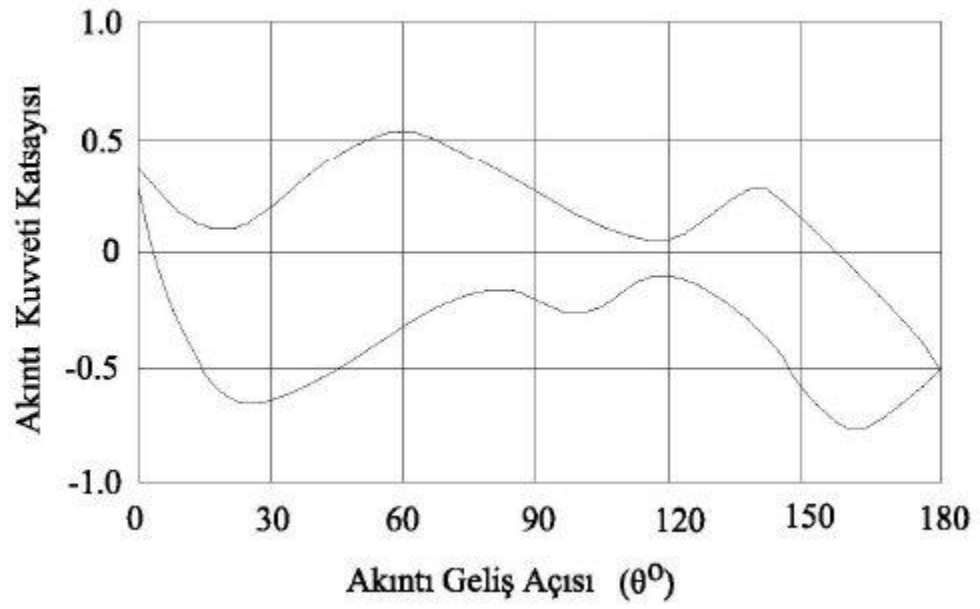
Şekil A.6 Bütün gemiler için derin denizde akıntı kuvveti direnç katsayıları [22]



Şekil A.7 Enine akıntı kuvvetleri için derinlik düzeltme faktörü [22]



Şekil A.8 Boyuna akıntı kuvvetleri için derinlik düzeltme faktörü [22]



Şekil A.9 Sığ sularda ağırlıkları 150.000-500.000 DWT arasında değişen tankerlerde boyuna akıntı kuvveti katsayısı değişimi [22]

EK - B

DS7 SONDAJI

GEO SAN

DOĞAL KAYNAKLAR VE HAMMADDELER İNŞAAT SANAYİ VE TİC. A.Ş.
Büyükdere Cad. 27/7 Şişli-İst. Tel.: 224 67 71 Fax: 240 60 84

SONDAJ LOGU

SONDAJ NO :

DS-7

İŞVEREN / PROJE : EFESAN PORT

SONDAJ YERİ : Dilovası-İZMİR

KAYA

ZEMİN

TCR SCR RQD

% Grafik % Grafik % Grafik

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa KÖROĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 10.02.1987 Sarıcakaya
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mkoroglu273@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Üsküdar Anadolu Lisesi	2005

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
08/2011-	S.S. İst. And. Yak. KUMCULAR KOOP.	İnşaat Mühendisi
06/2009-08/2011	Pİ İNŞAAT VE MALZ. PAZ. SAN. TİC.LTD. ŞTİ.	İnşaat Mühendisi
08/2008-12/2008	KORAY YAPI END. VE TİC. A.Ş.	İnşaat Mühendisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Doran, B., Yüksel, Y., Çakır, C., Seçkin, A., Korkmaz, Ş., Köroğlu, M., Düşey/Eğik Kazıklı İskele Yapılarının Doğrusal Olmayan Statik Çözümlemesi, 7. Kıyı Mühendisliği Konferansı, 20 -23 Kasım 2011, Trabzon.
2. Doran, B., Yüksel, Y., Çakır, C., Korkmaz, Ş., Seçkin, A., Köroğlu, M., Non-Linear Static Analysis of Vertical/Batter Pile-Wharf Structures, ISOPE 2012 – The 22nd International Offshore (Ocean) and Polar Engineering Conference, June 17-22 2012, Rhodes (Rodos), Greece.