

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**LİMAN İÇİ ÇALKANTILARININ FİZİKSEL VE SAYISAL MODELLENMESİ**

**DOKTORA TEZİ**

**İnş. Yük. Müh. Murat KANKAL**

**EKİM 2010  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**LİMAN İÇİ ÇALKANTILARININ FİZİKSEL VE SAYISAL MODELLENMESİ**

**İnş. Yük. Müh. Murat KANKAL**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“Doktor (İnşaat Mühendisliği)”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02.09.2010  
Tezin Savunma Tarihi : 08.10.2010**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ömer YÜKSEK  
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU  
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hızır ÖNSOY  
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ercan KÖSE  
Jüri Üyesi : Doç. Dr. Murat İhsan KÖMÜRCÜ**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU**

**Trabzon 2010**

## ÖNSÖZ

Çeşitli dalga şartlarını, ana ve tali mendirek özelliklerini dikkate alarak örnek bir yat ve yük limanında oluşan liman içi çalkantıları belirlemeye yönelik bu çalışma; Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır.

Doktora Tez Danışmanlığımı üstlenerek konu seçiminde ve çalışmaların ilerleyen aşamalarında yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Dr. Ömer YÜKSEK'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Doktora Tez İzleme Komitesi Hocalarım Sayın Prof. Dr. Ercan KÖSE ve Sayın Doç. Dr. Murat İhsan KÖMÜRCÜ'ye eleştirileri ve yönlendirmelerinden dolayı teşekkür ederim.

Yapıcı eleştirilerinden faydalandığım Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Hocam Prof. Dr. Hızır ÖNSOY'a ve İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim Dalı Başkanı Sayın Hocam Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU'na teşekkür ederim.

Tezin hazırlanması sırasında önemli desteklerini gördüğüm Öğr. Gör. Adem AKPINAR'a, Arş. Gör. Adem BAYRAM'a ve Arş. Gör. Ergun UZLU'ya şükranlarımı sunarım. Tezin fiziksel model çalışmalarında, manevi ve teknik desteklerini esirgemeyen Hidrolik Laboratuvarı Teknisyenleri Yüksel HARDAL ve Halil DEMİRCİ ile bitirme çalışması öğrencileri İnş. Müh. Zekariya ERSOY ve İnş. Müh. Mehmet YILDIZ'a teşekkür ederim.

Tezin maddi desteğini 2006.112.001.5 No'lu proje ile sağlayan KTÜ BAP Yönetim Birimine teşekkür ederim.

Son olarak hayatımın her aşamasında, bana karşılıksız destek veren eşime, arkadaşlarıma ve aileme sonsuz teşekkür ederim.

Murat KANKAL

Trabzon 2010

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	2
1.3. Önceki Çalışmalar.....	3
1.4. Dalgaların Genel Özellikleri.....	10
1.4.1. Dalga Mekaniği.....	10
1.4.1.1. Basit Dalga Profili.....	10
1.4.1.2. Dalga Boyu ve Dalga Hızı.....	11
1.4.1.3. Derin Deniz Dalgaları.....	12
1.4.2. Dalgaların Kıyıya Yaklaşırken Uğradığı Değişimler.....	12
1.4.2.1. Dalga Sığlaşması.....	12
1.4.2.2. Dalga Kırınımı.....	13
1.4.2.3. Dalga Yansıması.....	16
1.4.2.4. Dalga Sapması.....	17
1.4.2.4.1. Düz Paralel Konturlarda Dalga Sapması.....	17
1.4.2.4.2. Karmaşık Konturlarda Dalga Sapması.....	18
1.4.2.5. Dalga Kırılması.....	18
1.4.2.6. Dalga İletimi.....	19
1.5. Liman İçinde Kabul Edilebilir Çalkantı Düzeyi.....	19
1.6. Liman İçi Çalkantılarının Sayısal Modellenmesi.....	20
1.6.1. MIKE 21 BW Dalga Modeli.....	21

1.6.1.1.	Giriş.....	21
1.6.1.2.	Modelde Kullanılan Temel Denklemler.....	22
1.6.1.3.	Modelin Çalışma Adımları.....	23
1.6.1.3.1.	Deniz Taban Topografyasının Oluşturulması.....	23
1.6.1.3.2.	Giriş Verilerinin Oluşturulması.....	26
1.6.1.3.3.	Programın Çalıştırılması.....	27
1.6.1.3.4.	Sonuçları Sunumu.....	27
1.7.	Yapay Sinir Ağları (YSA) .....	29
1.7.1.	Giriş.....	29
1.7.2.	Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA).....	30
1.7.2.1.	ÇKA Model Yapısı.....	30
1.7.2.2.	ÇKA Ağının Öğrenme Kuralı.....	31
1.7.2.3.	ÇKA Ağının Çalışma Adımları.....	34
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	36
2.1.	Giriş.....	36
2.2.	Fiziksel Model Çalışmaları.....	36
2.2.1.	Model Ölçeği.....	37
2.2.2.	Dalga Şartları.....	38
2.2.3.	Ana Mendirek Özellikleri.....	39
2.2.4.	Tali Mendirek Özellikleri.....	39
2.2.5.	Dalga Havuzu ve Donanımı.....	39
2.2.6.	Deneylerin Yapılışı ve Ölçüm Sistemi.....	41
2.2.7.	Yapılan Deneyler.....	44
2.3.	YSA Model Çalışmaları.....	45
2.3.1.	YSA Modelinin Yapısı.....	46
2.3.2.	YSA Modeli Girdileri.....	47
2.3.3.	YSA Modelinin Eğitimi.....	49
2.4.	Sayısal Model Çalışmaları.....	50
2.4.1.	Deniz Taban Topografyasının Oluşturulması.....	50
2.4.2.	Giriş Verilerinin Oluşturulması.....	51
2.4.3.	Modelin Çalıştırılması.....	53
3.	BULGULAR.....	54
3.1.	Fiziksel Model Bulguları.....	54

3.1.1.	Yat Limanı Fiziksel Model Bulguları.....	54
3.1.2.	Yük Limanı Fiziksel Model Bulguları.....	56
3.2.	YSA ve Sayısal Model Bulguları.....	58
3.2.1.	Yat Limanı YSA ve Sayısal Model Bulguları.....	58
3.2.2.	Yük Limanı YSA ve Sayısal Model Bulguları.....	61
4.	İRDELEME.....	63
4.1.	Giriş.....	63
4.2.	Yat Limanı Çalkantı Sonuçlarının İrdelenmesi.....	64
4.2.1.	Yat Limanı YSA ve Sayısal Model Bulgularının İrdelenmesi.....	64
4.2.2.	Dalga Şartlarının Yat Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi.....	66
4.2.2.1.	Dalga Yüksekliğinin Yat Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi.....	66
4.2.2.2.	Dalga Periyodunun Yat Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi.....	68
4.2.2.3.	Dalga Yönünün Yat Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi.....	69
4.2.3.	Mendirek Boylarının Yat Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi.....	70
4.2.3.1.	Ana Mendirek Boyunun Yat Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi.....	70
4.2.3.2.	Tali Mendirek Boyunun Yat Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi.....	71
4.3.	Yük Limanı Çalkantı Sonuçlarının İrdelenmesi.....	72
4.3.1.	Yük Limanı YSA ve Sayısal Model Bulgularının İrdelenmesi.....	72
4.3.2.	Dalga Şartlarının Yük Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi.....	75
4.3.2.1.	Dalga Yüksekliğinin Yük Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi.....	75
4.3.2.2.	Dalga Periyodunun Yük Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi.....	76
4.3.2.3.	Dalga Yönünün Yük Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi.....	77
4.3.3.	Mendirek Boylarının Yük Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi.....	78
4.3.3.1.	Ana Mendirek Boyunun Yük Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi.....	78
4.3.3.2.	Tali Mendirek Boyunun Yük Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi.....	79
4.4.	Değişkenlerin Farklı Değerlerinin YSA Modeline Uygulanması.....	80
4.4.1.	Yat Limanı Değişkenlerin Farklı Değerlerinin İncelenmesi.....	80
4.4.2.	Yük Limanı Değişkenlerin Farklı Değerlerinin İncelenmesi.....	84
4.5.	Liman İçerisinde Çalkantı Yüksekliği Dağılımının İncelenmesi.....	89
4.5.1.	Yat Liman İçerisinde Çalkantı Yüksekliği Dağılımının İncelenmesi.....	89
4.5.2.	Yük Liman İçerisinde Çalkantı Yüksekliği Dağılımının İncelenmesi.....	93
4.6.	Değişkenlerin Etki Oranlarının Belirlenmesi.....	97
4.6.1.	Yat Limanı İçin Değişkenlerin Etki Oranlarının Belirlenmesi.....	97

4.6.2.	Yük Limanı İçin Değişkenlerin Etki Oranlarının Belirlenmesi.....	98
4.7.	Çalkantı Yüksekliği İçin Belirlenen Sınır Şartların İrdelenmesi.....	99
4.8.	Liman İçi Çalkantı Miktarının Azaltılması İçin Alınabilecek Önlemler	101
5.	SONUÇLAR.....	102
6.	ÖNERİLER.....	105
7.	KAYNAKLAR.....	106
8.	EKLER.....	111
ÖZGEÇMİŞ		

## ÖZET

Bir limanın temel işlevi, gemilere güvenli demirleme imkânı sağlamak ve kara ile gemiler arasındaki yolcu ve yük alışverişini sorunsuz olarak gerçekleştirmektir. Limanların bu görevi yerine getirebilmeleri için, liman içerisinde belli bir sakinlik (korunaklılık) düzeyinde olması gerekmektedir. Limanlar için son derece önemli olan sakinlik düzeyi liman içi çalkantı çalışmaları ile belirlenmektedir.

Bu çalışmada, örnek bir yat ve yük limanı için liman içi çalkantı değerleri, dalga yüksekliği, periyodu ve yönü, ana mendirek ve tali mendirek uzunlukları dikkate alınarak fiziksel bir modelle incelenmiştir. Fiziksel model verileri yapay sinir ağları (YSA) modeliyle irdelenmiştir. YSA modelinde deneme ve doğrulama aşamasında değerlendirilen veriler için MIKE 21 BW paket programı kullanılarak sayısal model gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma yedi bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın ilk bölümünde konuyla ilgili daha önce yapılmış çalışmalar ile dalga mekaniği, sayısal model ve YSA ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde, yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, fiziksel model çalışmalarından ve bu çalışmaların verileri kullanılarak kurulan YSA modelinden ve sayısal modelden elde edilen bulgular verilmiştir. Dördüncü bölümde, YSA ve sayısal model verilerinin fiziksel model verileri ile karşılaştırılması, liman içinde çalkantı yüksekliklerinin dağılımı, değişkenlerin etki oranları ve sonuçların sınır değerlere göre analizi sunulmuştur. Beşinci ve altıncı bölümlerde sırasıyla çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler verilmiştir. Yedinci bölümde kaynaklar, eklerde ise değişkenlerin ortalama çalkantıya etkisini irdeleyen grafikler sunulmuştur.

Çalışmada; liman içi çalkantıyı etkileyen en önemli parametrenin dalga yüksekliği olduğu sonucuna varılmıştır. Sayısal modelin YSA modelinden daha iyi sonuçlar vermesine karşın, elde edilen sonuçların birbirine yakın olduğu belirlenmiştir. Liman içi çalkantı çalışmalarında YSA ve sayısal modelin kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Liman İçi Çalkantıları, Yapay Sinir Ağları, MIKE 21 BW, Fiziksel Model, Yat Limanı, Yük Limanı



## SUMMARY

### **Physical and Numerical Modeling of Harbour Oscillation**

The fundamental functions of a harbour are to provide safe anchorage for vessels and to facilitate smooth transfer of passengers and cargo between vessels and land. In order to fulfill these functions, basins of harbours must be tranquil. The amount of harbour tranquility which is very important for harbours is determined by the harbour oscillation studies.

In this study, by taking in the consideration of wave height, period and direction and main and secondary breakwater length; harbour oscillations are investigated in a physical model for both a yacht and a cargo harbour cases. The experimental results are evaluated by using the artificial neural networks (ANNs) model. The numerical model is performed by exploiting MIKE 21 BW software for the testing and validation data set in the ANNs model.

The study comprises of seven chapters and appendices. In the first chapter, general knowledge about wave mechanics, the numerical model and the ANNs as well as a general literature review are presented. In the second chapter, the performed studies are given. In the third chapter, the results of experimental, numerical and ANNs models, which have been obtained from resulting data of physical model studies, are presented. In the fourth chapter, the comparison of the results of the physical model and numerical and ANNs model, the change of oscillations in the harbours, the impact values of variables, and also the analysis of experimental results with respect to the limit value are given. In the fifth and sixth chapter, the conclusions and recommendations of this study are given, respectively. In the seventh chapter, references are given. In the appendices, the figures which include the effect of variables on the average oscillations are presented.

It has been concluded that, the most important parameter that affect the harbour oscillation is the wave height. Although the results of numerical model are better than those of the ANNs model, it is determined that the results of numerical and ANNs models are very closer. It is also concluded that numerical and ANNs model can be used on the harbour oscillation studies.

**Key Words:** Harbour Oscillations, Artificial Neural Networks, MIKE 21 BW, Physical Model, Yacht Harbour, Cargo Harbour

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1.1.	Sünizoidal dalga profili..... 11
Şekil 1.2.	Dalga kırınım terimleri..... 14
Şekil 1.3.	Dalga kırınım şeması (60° açılı)..... 15
Şekil 1.4.	Model kurulum planlayıcısı..... 25
Şekil 1.5.	Üç boyutlu deniz taban topografyası..... 25
Şekil 1.6.	İç dalga oluşum çizgisi planı..... 26
Şekil 1.7.	Eşitlik tipinin düzenlenmesi ara yüzü..... 27
Şekil 1.8.	Üç boyutlu hareketli görüntünün anlık görünümü..... 28
Şekil 1.9.	Dalga yüksekliği dağılımı haritası..... 28
Şekil 1.10.	Zamana bağlı dalga değişimi grafiği..... 29
Şekil 1.11.	ÇKA modeli..... 31
Şekil 1.12.	İşlemci fonksiyonları..... 34
Şekil 2.1.	Dalga havuzu plan ve kesiti..... 40
Şekil 2.2.	Dalga yüksekliği ölçüm sistemi ekipmanları..... 41
Şekil 2.3.	Yat limanı için üç boyutlu model..... 42
Şekil 2.4.	Yük limanı için üç boyutlu model..... 42
Şekil 2.5.	Yat limanı için ölçüm noktaları..... 43
Şekil 2.6.	Yük limanı için ölçüm noktaları..... 43
Şekil 2.7.	YSA mimarisi..... 46
Şekil 2.8.	Yat limanı taban topografyasının üç boyutlu görünümü..... 51
Şekil 2.9.	Yük limanı taban topografyasının üç boyutlu görünümü..... 51
Şekil 2.10.	Sayısal model giriş verilerinde dikkate alınan bölgeler..... 52
Şekil 3.1.	YA44 No'lu deney için elde edilen fiziksel model sonuçları..... 55
Şekil 3.2.	YÜ55 No'lu deney için elde edilen fiziksel model sonuçları..... 57
Şekil 3.3.	YA44 No'lu deney için sayısal model sonuçları..... 59
Şekil 3.4.	YÜ107 No'lu deney için sayısal model sonuçları..... 61
Şekil 4.1.	Yat limanı deneme takımı için çalkantı değerlerinin karşılaştırılması... 65

Şekil 4.2.	Yat limanı doğrulama takımı için çalkantı değerlerinin karşılaştırılması.....	66
Şekil 4.3.	Yat limanı $\theta=136.5^\circ$ ve $T=0.8$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga yüksekliği ile değişimi.....	67
Şekil 4.4.	Yat limanı $\theta=91.5^\circ$ ve $T=1.0$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga yüksekliği ile değişimi.....	68
Şekil 4.5.	Yat limanı $\theta=136.5^\circ$ ve ana mendirek boyu= 720 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi.....	69
Şekil 4.6.	Yat limanı $T=0.8$ s ve ana mendirek boyu=720 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin $\theta$ açısı ile değişimi.....	70
Şekil 4.7.	Yat limanı $\theta=136.5^\circ$ ve $T=1.0$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin ana mendirek boyu ile değişimi.....	71
Şekil 4.8.	Yat limanı $\theta=136.5^\circ$ ve $T=1.0$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin ana mendirek boyu ile değişimi.....	72
Şekil 4.9.	Yük limanı deneme takımı için çalkantı değerlerinin karşılaştırılması..	74
Şekil 4.10.	Yük limanı doğrulama takımı için çalkantı değerlerinin karşılaştırılması.....	75
Şekil 4.11.	Yük limanı $\theta=79.2^\circ$ ve $T=0.8$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga yüksekliği boyu ile değişimi.....	76
Şekil 4.12.	Yük limanı $\theta=124.2^\circ$ ve ana mendirek boyu=1130 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi.....	77
Şekil 4.13.	Yük limanı $T=1.0$ s ve ana mendirek boyu=1275 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi.....	78
Şekil 4.14.	Yük limanı $\theta=79.2^\circ$ ve $T=0.8$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin ana mendirek boyu ile değişimi.....	79
Şekil 4.15.	Yük limanı $\theta=79.2^\circ$ ve $T=0.8$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin tali mendirek boyu ile değişimi.....	80
Şekil 4.16.	Yat limanında farklı $\theta$ açıları için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	82
Şekil 4.17.	Yat limanında farklı periyotlar için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	82
Şekil 4.18.	Yat limanında farklı ana mendirek boyu için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	83
Şekil 4.19.	Yat limanında farklı tali mendirek boyu için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	84
Şekil 4.20.	Yük limanında farklı $\theta$ açıları için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	86
Şekil 4.21.	Yük limanında farklı periyotlar için elde edilen sonuçlarının karşılaştırılması.....	87

Şekil 4.22.	Yük limanında farklı ana mendirek boyu için elde edilen sonuçlarının karşılaştırılması.....	87
Şekil 4.23.	Yük limanında farklı tali mendirek boyu için elde edilen sonuçlarının karşılaştırılması.....	88
Şekil 4.24.	YA49 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı.....	89
Şekil 4.25.	YA78 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı.....	90
Şekil 4.26.	YA109 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı.....	91
Şekil 4.27.	YA144 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı.....	92
Şekil 4.28.	YA175 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı.....	92
Şekil 4.29.	YÜ49 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı.....	93
Şekil 4.30.	YÜ78 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı.....	94
Şekil 4.31.	YÜ109 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı.....	95
Şekil 4.32.	YÜ144 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı.....	96
Şekil 4.33.	YÜ175 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı.....	96
Ek Şekil 1.	Yat limanı $\theta=136.5^\circ$ ve $T=1.0$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga yüksekliği ile değişimi.....	111
Ek Şekil 2.	Yat limanı $\theta=91.5^\circ$ ve $T=0.8$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga yüksekliği ile değişimi.....	112
Ek Şekil 3.	Yat limanı $\theta=136.5^\circ$ ve ana mendirek boyu=750 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi.....	112
Ek Şekil 4.	Yat limanı $\theta=136.5^\circ$ ve ana mendirek boyu=780 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi.....	113
Ek Şekil 5.	Yat limanı $\theta=91.5^\circ$ ve ana mendirek boyu= 720 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi.....	113
Ek Şekil 6.	Yat limanı $\theta=91.5^\circ$ ve ana mendirek boyu=750 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi.....	114
Ek Şekil 7.	Yat limanı $\theta=91.5^\circ$ ve ana mendirek boyu=780 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi.....	114
Ek Şekil 8.	Yat limanı $T=0.8$ s ve ana mendirek boyu=750 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin $\theta$ açısı ile değişimi.....	115
Ek Şekil 9.	Yat limanı $T=0.8$ s ve ana mendirek boyu=780 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin $\theta$ açısı ile değişimi.....	115
Ek Şekil 10.	Yat limanı $T=1.0$ s ve ana mendirek boyu=720 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin $\theta$ açısı ile değişimi.....	116
Ek Şekil 11.	Yat limanı $T=1.0$ s ve ana mendirek boyu=750 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin $\theta$ açısı ile değişimi.....	116
Ek Şekil 12.	Yat limanı $T=1.0$ s ve ana mendirek boyu=780 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin $\theta$ açısı ile değişimi.....	117

Ek Şekil 13.	Yat limanı $\theta=136.5^\circ$ ve $T=0.8$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin ana mendirek boyu ile değişimi.....	117
Ek Şekil 14.	Yat limanı $\theta=91.5^\circ$ ve $T=0.8$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin ana mendirek boyu ile değişimi.....	118
Ek Şekil 15.	Yat limanı $\theta=91.5^\circ$ ve $T=1.0$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin ana mendirek boyu ile değişimi.....	118
Ek Şekil 16.	Yat limanı $\theta=136.5^\circ$ ve $T=0.8$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin tali mendirek boyu ile değişimi.....	119
Ek Şekil 17.	Yat limanı $\theta=91.5^\circ$ ve $T=0.8$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin tali mendirek boyu ile değişimi.....	119
Ek Şekil 18.	Yat limanı $\theta=91.5^\circ$ ve $T=1.0$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin tali mendirek boyu ile değişimi.....	120
Ek Şekil 19.	Yük limanı $\theta=124.2^\circ$ ve $T=0.8$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga yüksekliği ile değişimi.....	120
Ek Şekil 20.	Yat limanı $\theta=124.2^\circ$ ve $T=1.0$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga yüksekliği ile değişimi.....	121
Ek Şekil 21.	Yat limanı $\theta=79.2^\circ$ ve $T=1.0$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga yüksekliği ile değişimi.....	121
Ek Şekil 22.	Yük limanı $\theta=124.2^\circ$ ve ana mendirek boyu=1275 cm durumunda çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi.....	122
Ek Şekil 23.	Yük limanı $\theta=124.2^\circ$ ve ana mendirek boyu=1385 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi.....	122
Ek Şekil 24.	Yük limanı $\theta=79.2^\circ$ ve ana mendirek boyu=1275 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi.....	123
Ek Şekil 25.	Yük limanı $\theta=79.2^\circ$ ve ana mendirek boyu=1330 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi.....	123
Ek Şekil 26.	Yük limanı $\theta=79.2^\circ$ ve ana mendirek boyu=1385 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi.....	124
Ek Şekil 27.	Yük limanı $T=0.8$ s ve ana mendirek boyu=1275 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin $\theta$ açısı ile değişimi.....	124
Ek Şekil 28.	Yük limanı $T=0.8$ s ve ana mendirek boyu=1330 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin $\theta$ açısı ile değişimi.....	125
Ek Şekil 29.	Yük limanı $T=0.8$ s ve ana mendirek boyu=1385 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin $\theta$ açısı ile değişimi.....	125
Ek Şekil 30.	Yük limanı $T=1.0$ s ve ana mendirek boyu=1330 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin $\theta$ açısı ile değişimi.....	126
Ek Şekil 31.	Yük limanı $T=1.0$ s ve ana mendirek boyu=1385 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin $\theta$ açısı ile değişimi.....	126
Ek Şekil 32.	Yük limanı $\theta=124.2^\circ$ ve $T=0.8$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin ana mendirek boyu ile değişimi.....	127

Ek Şekil 33. Yük limanı $\theta=124.2^\circ$ ve $T=1.0$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin ana mendirek boyu ile değişimi.....	127
Ek Şekil 34. Yük limanı $\theta=79.2^\circ$ ve $T=1.0$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin ana mendirek boyu ile değişimi.....	128
Ek Şekil 35. Yük limanı $\theta=124.2^\circ$ ve $T=0.8$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin tali mendirek boyu ile değişimi.....	128
Ek Şekil 36. Yük limanı $\theta=124.2^\circ$ ve $T=1.0$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin tali mendirek boyu ile değişimi.....	129
Ek Şekil 37. Yük limanı $\theta=79.2^\circ$ ve $T=1.0$ s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin tali mendirek boyu ile değişimi.....	129

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 2.1. Fiziksel modelde kullanılan dalga özellikleri.....	39
Tablo 2.2. Yat limanı için deneylerde kullanılan değişkenlerin özellikleri.....	44
Tablo 2.3. Yük limanı için deneylerde kullanılan değişkenlerin özellikleri.....	45
Tablo 2.4. Yat limanı için deneme ve doğrulama takımlarında kullanılan deneylerin özellikleri.....	47
Tablo 2.5. Yük limanı için deneme ve doğrulama takımlarında kullanılan deneylerin özellikleri.....	48
Tablo 2.6. Farklı YSA mimarileri için kullanılan değişkenler.....	49
Tablo 3.1. Yat limanı için fiziksel modelden elde edilen çalkantı sonuçları ( $\theta=136.5^\circ$ ).....	55
Tablo 3.2. Yat limanı için fiziksel modelden elde edilen çalkantı sonuçları ( $\theta=91.5^\circ$ ).....	56
Tablo 3.3. Yük limanı için fiziksel modelden elde edilen çalkantı sonuçları ( $\theta=124.2^\circ$ ).....	57
Tablo 3.4. Yük limanı için fiziksel modelden elde edilen çalkantı sonuçları ( $\theta=79.2^\circ$ ).....	58
Tablo 3.5. Yat limanı için en iyi sonucu veren YSA ağı özellikleri.....	59
Tablo 3.6. Yat limanında deneme takımı için elde edilen çalkantı sonuçları.....	60
Tablo 3.7. Yat limanında doğrulama takımı için elde edilen çalkantı sonuçları.....	60
Tablo 3.8. Yük limanı için en iyi sonucu veren YSA ağı özellikleri.....	61
Tablo 3.9. Yük limanında deneme takımı için elde edilen çalkantı sonuçları.....	62
Tablo 3.10. Yük limanında doğrulama takımı için elde edilen çalkantı sonuçları.....	62
Tablo 4.1. Yat limanında deneme takımı için elde edilen rölatif hata değerleri.....	64
Tablo 4.2. Yat limanında doğrulama takımı için elde edilen rölatif hata değerleri.....	65
Tablo 4.3. Yük limanında deneme takımı için elde edilen rölatif hata değerleri.....	73
Tablo 4.4. Yük limanında doğrulama takımı için elde edilen rölatif hata değerleri.....	73
Tablo 4.5. Yat limanı değişkenlerinin farklı değerleri için liman içi çalkantı değerleri.....	81
Tablo 4.6. Yük limanı değişkenlerinin farklı değerleri için liman içi çalkantı değerleri.....	85
Tablo 4.7. Yat limanı ortalama çalkantı değerleri için elde edilen etki oranları.....	97

Tablo 4.8.	Yat limanı ortalama çalkantı değeri için regresyon katsayıları.....	98
Tablo 4.9.	Yük limanı ortalama çalkantı değerleri için elde edilen etki oranları.....	98
Tablo 4.10.	Yük limanı ortalama çalkantı değeri için regresyon katsayıları.....	99
Tablo 4.11.	Yat limanı $\theta=136.5^\circ$ durumu için en büyük çalkantı değerleri.....	100
Tablo 4.12.	Yük limanı $\theta=124.2^\circ$ durumu için en büyük çalkantı değerleri.....	100



## SEMBOLLER DİZİNİ

a	: Dalga genliği, katman elemanları için net girdi
A	: Sabit bir katsayı
AMU	: Ana mendirek uzunluğu
b	: Sapan dalga dikleri arasındaki mesafe, Regresyon katsayıları
$b_0$	: Derin deniz dalga dikleri arasındaki mesafe
B	: Boussinesq dağılım faktörü
C	: Dalga hızı, Chezy direnç katsayısı ( $m^{1/2}/s$ )
$C_0$	: Açık deniz dalga hızı
$C_t$	: İletim katsayısı
Ç	: Çıktı katmanı elemanları
ÇKA	: Çok katmanlı algılayıcı
DHI	: Danish Hydraulic Institute
DLH	: Demiryolları Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı
$e_{röl}$	: Rölatif hata
$E^k$	: Toplam karesel hata
f	: işlemci fonksiyonu
$F_r$	: Froude sayısı, kuvvet ölçeği
g	: Yerçekimi ivmesi
G	: Girdi katmanı elemanları
GWT	: Ağırılık Dalgaları Tabloları
h	: Su derinliği, toplam su derinliği ( $=d+S$ ) (m)
$h_b$	: Kırılma derinliği
H	: Lokal dalga yüksekliği
$H_b$	: Kırılma anındaki dalga yüksekliği
$H_d$	: Engelin arkasında belli bir noktadaki dalga yüksekliği
$H_i$	: Engelin ucundaki dalga yüksekliği, yansımada gelen dalga yüksekliği
$H_0$	: Açık deniz dalga yüksekliği
$H_s$	: Yapı önü belirgin dalga yüksekliği
$H_{st}$	: Yapı arkasında ölçülen iletilmiş belirgin dalga yüksekliği

$H_y$	: Yansıyan dalga yüksekliği
$H_{1/3}$	: Belirgin dalga yüksekliği
$i,j$	: İşlem elemanı
$K$	: Boyutsuz bir katsayı, Orijinal kıyı çizgisi, Dalga sayısı
$K_d$	: Kırınım katsayısı
$K_r$	: Sapma katsayısı
$K_s$	: Sığlaşma katsayısı
$K_y$	: Yansıma katsayısı
$L$	: Lokal dalga boyu, katman numarası
$L_0$	: Açık deniz dalga boyu
$L_r$	: Uzunluk ölçeği
$n$	: Porozite
OÇD	: Ortalama çalkantı değeri
PLC	: Programlanabilir Lojik kontrolör
$P(x,y,t)$	: x-yönündeki akış yoğunluğu ( $m^3/s/m$ )
$Q(x,y,t)$	: y-yönündeki akış yoğunluğu ( $m^3/s/m$ )
$r$	: Engel arkasındaki nokta ile dalgakıran ucu arasındaki uzaklık
$R^2$	: Determinasyon katsayısı
SCADA	: Veri tabanlı kontrol ve gözetleme sistemi
$S(x,y,t)$	: Referans seviyesi üzerindeki su seviyesi (m)
$t$	: Zaman
$T$	: Dalga periyodu,
TMU	: Tali mendirek uzunluğu
$T_r$	: Zaman ölçeği
$T_{1/3}$	: Belirgin dalga periyodu
$u^k$	: YSA'da girdi vertörü
$V_p$	: Prototipteki hız
$V_m$	: Modeldeki hız
$y_p$	: Prototipteki su derinliği
$y_m$	: Modeldeki su derinliği
$y^k$	: YSA'da çıktı vertörü
YSA	: Yapay Sinir Ağları
$z$	: Tabandan yükseklik

$w$	: Her katman elemanındaki ağırlık değeri
$x$	: Yatay eksen boyunca alınan mesafe, Bağımsız değişken
$x_h$	: YSA veya sayısal modelden hesaplanan değer
$x^k$	: İşlem elemanları için çıktı değerleri
$x_0$	: Fiziksel modelde ölçülen değer
$\eta$	: Dalga profilinin durgun suya göre düşey mesafesi
$\alpha$	: Sapan dalga cephelerinin kıyı çizgisiyle yaptığı açı, pürüzlü ortamda laminar akış direnç katsayısı
$\alpha_0$	: Başlangıç dalga açısı
$\psi_{1,2}$	: Boussinesq terimleridir
$\gamma$	: Kırılma indisi, Öğrenme katsayısı
$\delta^k$	: Çıktı tabakasındaki hata değerleri
$\eta$	: Momentum katsayısı
$\beta$	: Dalgakıran ucuna düz uzaklık ile dalgakıran arasındaki açı, pürüzlü ortamda türbülanslı akış direnç katsayısı

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Son yıllarda dünya ekonomisinde yaşanan gelişmelerle birlikte, insanların kıyılara olan bakışı değişmiş, deniz ve göl kıyıları çok farklı amaçlar için geniş ölçüde kullanılmaya başlanmıştır. Kıyıların kullanımındaki bu artış; kıyı mühendisliğini, birçok değişik soruna karşı farklı çözümler bulmak zorunda bırakmış ve kıyı mühendisliğinde önemli gelişmeler meydana gelmiştir.

Yaşanan teknolojik gelişmelerin getirdiği küreselleşme, dünyanın tek bir pazar haline gelmesini sağlamıştır. Bu pazarda meydana gelen yük alış verişinin en önemli ayağını, kara ve demiryolu taşımacılığına göre çok daha ucuz olan deniz taşımacılığı oluşturmaktadır. Limanlar ise deniz taşımacılığının deniz-kara bağlantısını oluşturan en önemli halkalarından biridir. Bunun yanında limanların turizm, eğlence ve dinlenme gibi ticaret dışı amaçlarla kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır.

Limanların işlevlerini düzgün bir biçimde yerine getirebilmeleri, liman için belirli bir sakinlik seviyesinde olmasına bağlıdır. Liman sakinliği genel olarak, hidrolik model deneylerinde liman içerisindeki dalga dağılımı dikkate alınarak belirlenir. Ancak aynı yükseklığe sahip olan rüzgar dalgaları ile ölü deniz dalgalarının liman içinde farklı etkiler oluşturabileceği de unutulmamalıdır. Bunun yanında aynı çalkantı şartlarında büyük gemiler işlevlerini yerini getirebilirken daha küçük gemiler bu çalkantıdan önemli oranda etkilenebilmektedir. Bu fiziksel unsurların yanında, liman giriş bölgesinde gemi hareketinin kolaylığı ve ağır fırtına şartlarında gemilerin liman içerisindeki durumları da önemlidir. Elleçleme işlerinin etkinliği, gemi çalışmalarının yapılamadığı süredeki gecikme maliyetleri, mendirek ve diğer koruyucu yapıların maliyetleri gibi ekonomik unsurlar da büyük önem taşımaktadır.

Liman planlanmasına; ilk olarak açık deniz ve fırtına dalgalarının yapısını anlamakla başlanılmalı, liman koruyucu yapılarının etkisi göz önüne alınarak liman içerisindeki dalgaların tahmin edilmesi ile devam edilmelidir. Tahmin edilen veriler, limanda çalışılabilme şartları belli olan elleçleme aletleri ve gemi hareketleri ile birlikte değerlendirilmelidir. Sonuç olarak planlama aşamasında liman içi sakinlik değerlendirilmesinde, birçok unsur göz önüne alınarak sonuca varılmalıdır [1].

Çeşitli türdeki teknelerin (balıkçı teknesi, yat, ro-ro gemisi, ticari veya askeri gemi vb.), bir problemle karşılaşmadan liman içi faaliyetlerini kesiksiz olarak gerçekleştirebilmeleri için gerekli asgari şartlar, başka bir ifadeyle azami dalga yükseklikleri belirlenip, çeşitli dalga şartlarında ve liman durumlarında bu yüksekliklerin aşılma ihtimallerinin hesabı liman planlanmasında çok önemli bir yer tutmaktadır.

## **1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Bir limanın temel işlevi; gemilere güvenli demirleme imkânı sağlamak ve kara ile gemiler arasındaki yolcu ve yük alışverişini sorunsuz ve gecikmesiz olarak gerçekleştirmektir. Limanların bu görevi yerine getirebilmeleri için liman içerisinde belli bir sakinlik (korunaklılık) düzeyinde olması gerekmektedir. Liman içi sakinliğinin kabul edilebilir sınırların içinde kalması sadece emniyetli demirleme için değil, aynı zamanda güvenli ve ekonomik bir liman işletmeciliği için de hayati bir öneme sahiptir. Dalga şartları (yönü, periyodu ve yüksekliği), mendirek ve rıhtım gibi liman yapıları liman içindeki sakinliği (çalkantı miktarını) önemli derecede etkilemektedir.

Yapılan çalışmanın amacı; dalga özellikleri (yükseklik, periyot, yön) ve ana ve tali mendirek boylarını dikkate alarak, örnek bir yat ve yük limanı içerisinde oluşan çalkantı miktarını belirlemektir.

Bu amaç doğrultusunda, farklı dalga yüksekliği, periyodu ve yönüne sahip dalgalar ile farklı ana ve tali mendirek uzunluklarına sahip örnek yat ve yük limanı için fiziksel model deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda, her iki liman için liman içerisinde oluşan çalkantı verileri elde edilmiştir. Elde edilen veriler YSA ile modellenmiştir. YSA modelinde deneme ve doğrulama amaçlı kullanılan deneyler için sayısal modelleme yapılmış ve fiziksel model ve YSA modeli sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Eğitilen YSA modeli farklı değişken değerleri için kullanılmış ve o deney şartları için çalkantı miktarları elde edilmiştir. Sayısal model verilerine dayanarak liman içi çalkantı dağılımı incelenmiştir. Ortalama çalkantı değerleri dikkate alınarak yapılan regresyon analizi ile her bir değişkenin etki oranları irdelenmiştir. N yönünden gelen dalga durumundaki deneyler için fiziksel model verilerinden elde edilen en büyük çalkantı miktarları irdelenmiş, sınır değerleri aşp aşmadığı belirlenmiştir. Son olarak liman içi çalkantılarının azaltılması ile ilgili alınabilecek önlemlerden bahsedilmiştir.

### 1.3. Önceki Çalışmalar

Allizadegan [2] yaptığı çalışmada rüzgar dalgaları etkisinde liman içinde veya açık iskelelerde meydana gelecek çalkantıları hesaplayan bir bilgisayar programı sunmaktadır. Program, çalkantı hesaplarında düzensiz ve düzenli dalga metodu olmak üzere iki hesap metodu kullanabilmektedir. Düzenli dalga metodu dalgaları tek bir özellikte, düzensiz dalga metodu ise dalgalarda frekans ve yön farklılıkları olduğunu kabul etmektedir. Düzensiz dalga metodu ile yapılan hesapların gerçek deniz halini daha doğru tarif edeceğini tahmin etmektedir.

Bilgin vd. [3], Hopa Limanı'nın çalkantı sorununu bir fiziksel modelde inceleyerek, liman içi çalkantılarını azaltmak için ana mendirek ve liman içi yapılarında çeşitli değişiklikler yapmışlar ve en uygun çözümü seçmişlerdir. Fiziksel model sonuçları, geliştirilmiş bir sayısal modelle karşılaştırılmış ve oldukça iyi bir uyum sağladıkları belirlenmiştir. Liman içi çalkantının azaltılması için, ana dalgakıranın kendi doğrultusunda 350 m uzatımına karar verilmiştir.

Aksoy [4] yaptığı çalışmasının ilk altı bölümünde yat limanları, liman tasarımında kullanılacak dalga özellikleri ve fiziksel modellerinin önemi, dalgaların değişimi, kıyılardaki katı madde hareketleri ve dalgakıranlar ile ilgili temel bilgiler sunmuştur. Son iki bölümde ise Güzelce yat limanı için yapılan stabilite ve liman içi çalkantı deneylerini tanıtmış, sonuçlarını sunmuş ve değerlendirmesini yapmıştır. Çalışma sonucunda, anroşman tabakada 6.5 tonluk taşların kullanımının uygun olduğu ve liman içerisinde 0.25 ila 0.39 m. arasında çalkantı oluşacağı belirlenmiştir.

Yadipour [5] yaptığı çalışmada liman optimizasyonu için geliştirilmiş bir bilgisayar programı sunmaktadır. Program, önceden verilmiş olan bir liman konumunda ana dalgakıranın boyunu ve açısını değiştirerek liman içi çalkantı ve navigasyon ölçütlerinin sağlanmasını kontrol etmekte, her konumda inşaat maliyeti, bakım maliyeti, kazı maliyeti ve kullanma maliyetlerini toplayarak bir toplam fiyat hesaplamaktadır. Bunun yanında liman konumu denize ve karaya doğru kaydırılarak ta denemeler yapılmıştır. Sonuç olarak en düşük fiyatlı ve teknik şartları sağlayan liman optimum liman olarak belirlenmiştir.

Chou ve Han [6], farklı su derinliğine ve farklı şekle sahip limanlardaki dalga yüksekliği dağılımını tahmin etmek için sınır eleman yöntemine dayalı bir yöntem tanımlamışlardır. Dikdörtgen bir limanda tam sönümlenmeli, tam yansıtılmalı ve kısmen yansıtılmalı sınırlar için elde edilen dalga yüksekliği sonuçlarını sunmuşlardır. Bunun

yanında gerçek bir liman geometrisi seçip, elde ettikleri değerleri hidrolik model deney sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Dalga söndürücü özelliği olan rıhtımların kullanımında çalkantının önemli derecede azaldığını belirlemişlerdir. Elde ettikleri matematiksel yöntemin mühendislik amaçlı kullanılabilmesi sonucuna varmışlardır.

Chang [7], değişik geometrik şekillere sahip limanlarda açık deniz dalgalarının değişimini incelemiştir. Liman içerisinde açık deniz ile aynı ve farklı derinlikte olduğu durumları değerlendirmiştir. Liman içerisindeki çalkantıyı matematiksel modellerle belirlemiştir. Beş farklı liman geometrisinin beş farklı noktasında ölçüm yapmıştır. Liman içindeki derinliğin açık denizdeki derinlikten az olduğu durumlarda çalkantı miktarının daha az olduğunu ifade etmiştir.

Özbahçeci vd. [8] çalışmalarında ülkemizde ilk kez çok yönlü düzensiz (dalga yüksekliği, periyodu ve yönü farklı) dalgalarla gerçekleştirilen liman içi çalkantısı hidrolik model deneyi sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Deneyler tek yönlü düzensiz (dalga yüksekliği ve periyodu farklı ancak yönü sabit) ve düzenli (dalga yüksekliği, periyodu ve yönü sabit) dalgalar kullanılarak tekrarlanmış ve böylece çok yönlü düzensiz, tek yönlü düzensiz ve düzenli dalgaların liman içi çalkantı deneylerine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca aynı çalışmanın sayısal benzeşim modellemesi de yapılarak hidrolik model deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, özellikle limanın iç kısımları için çalkantı deneylerinin tek yönlü düzensiz dalgalarla yapılmasının buradaki dalga yüksekliğinin çok yönlü dalgalara göre daha az değerlerle tahmin ettiğini belirlemişlerdir.

Yerli [9], Çeşme Yat Limanı'ndaki dalga oluşumunu, transformasyonunu, dalga girmesini ve çalkantıyı içeren analizler gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında, açık denizden gelip limana giren ve yerel olarak rüzgar tarafından basen içerisinde oluşturulan dalgalar olmak üzere iki tip dalga analiz edilmiştir. Açık deniz dalgaları rüzgar verilerinden tahmin edilmiş ve bu dalgaların yat limanı yakınında meydana getirdiği dalga karakteristikleri nümerik benzetme model yardımıyla belirlenmiştir. Çalışmada yat limanının mevcut durumunda, Çeşme İskelesi'nin arkasında kalan bölümlerde çalkantı düzeyinin kötü olduğu; Çeşme İskelesi'nin taş dolgu tali bir dalgakıranına dönüştürülmesi durumunda, bu iskelenin hemen arkasında kalan kısımlarda çalkantı düzeyi mükemmel bir yat limanı sakinliğine sahip olduğu; limana giren dalgaların üzerine eklenen ve nadiren de olsa bu dalgaların büyüklükleri ile kıyaslanacak ölçüde gelişebilen basen içerisindeki yerel rüzgar dalgaların, bir dalgakıran ile önlenemediği sonuçlarına varılmıştır.

Yip vd. [10], gözenekli duvarlar tarafından çevrelenmiş dairesel limanlardaki dalga titreşimlerini incelemişlerdir. Titreşim şartları dalga sıklığına, karmaşık gözenek etki parametrelerine ve gözenekli duvarın iç boyutlarına dayanarak bulunmuştur. Çalkantı özellikleri farklı durumlar için analiz edilmiştir. Doğal çalkantı şartları, gözenekli duvarlarla çevrili kapalı dairesel limanda dalga titreşimi çalışmalarlarıyla belirlenmiştir. En yüksek dalga sönümlenmesinin sağlanabilmesi için gözenekli duvar ile liman duvarı arasındaki açıklığın yaklaşık olarak liman dışındaki dalga boyunun dörtte birine eşit olması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Lee ve Williams [11] sundukları sayısal modelde, bazı bölgelerinde yansıma olabilen değişik geometrik şekillere sahip limanlarda, farklı yönden gelen dalgaların kırınımı sonucu oluşan dalga alanlarını tahmin etmektedirler. Sayısal model sonuçlarını, daha önce yapılmış teorik ve deneysel çalışmalarla karşılaştırılmışlardır. Tüm durumlar için uyumlu sonuçlar ortaya çıktığını belirlemişlerdir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda, sunulan sayısal modelin liman içerisindeki ve mendirek etrafındaki dalga alanlarının belirlenmesinde, uygulama açısından kullanılabilir olduğu belirlenmiştir.

Thompson ve Demirbilek [12], yaptıkları çalışmada Amerika Birleşik Devletlerine bağlı Tutuila Adası'ndaki Pago Pago Körfezi'nde ileride yapılması planlanan liman yapıları için dalga analizi gerçekleştirmişlerdir. Dalga analizini CGWAVE sayısal modelini kullanarak dört farklı konum için gerçekleştirmişlerdir. Modelden elde edilen sonuçlar liman işletme kriterleri ve mevcut limanlardaki deneyimlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın, liman yapılarının yapılacağı yerin seçimi için faydalı bir çalışma olmasına karşın, planlama ve tasarım aşamalarında daha ayrıntılı çalışmaların yapılmasını önermişlerdir.

Londhe ve Deo [13] yaptıkları çalışmada, liman içi dalga yüksekliğinin ve dağılımlarının belirlenmesinde kullanılan geleneksel yöntemlere seçenek olarak, yapay sinir ağları metodundan yararlanarak yeni bir teknik uygulamışlardır. Liman giriş kanalındaki dalga yüksekliğini tahmin etmek için bir birimsel ağ geliştirmişlerdir. Çalışmada Hindistan'da bulunan iki limana ait veriler kullanılmıştır. Ağ eğitimi MIKE 21 BW sayısal model kullanılarak yapılmıştır. Ağ denemesi, dalga sakinliği çalışmalarının gerçekleştirilmesinde yapay sinir ağları yaklaşımının kullanılabileceğini göstermiştir. Çalışmada en iyi ağ eğitiminin seçilmesi için çeşitli öğrenme düzenleri ve araştırma yordamları uygulanmıştır. Bunlar arasında en hızlı olanı scaled conjugate metodu iken, en etkili hafıza, one step secant metodu için gerçekleşmiştir. Yapay sinir ağı sonuçlarının



ortalama karesel hata ve toplam karesel hata metodları ile yapılan kontrollerinde sonuçların gerçeğe yakın olduğu belirlenmiştir.

Önsoy vd. [14], Ünye Limanı'nın genişletilmesi için, yapılacak yeni ana ve tali dalgakıranın ve liman içi yapılarının projelendirilmesini gerçekleştirmişlerdir. Bu kapsamda, yapılan fiziksel modelle liman içi çalkantı düzeyi ölçülmüştür. Çalkantı düzeyi çeşitli dalga yüksekliklerinde ve rıhtım düzenlerinde ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ana ve tali mendireklerin önerilen şekilde yapılması durumunda rıhtım düzenlerinin tümünde oluşan çalkantı düzeylerinin, gemilerin liman içerisindeki faaliyetleri açısından bir sorun oluşturmadığı sonucuna varılmıştır. Bunun yanında, büyük dalga periyodu durumunda limanda daha fazla çalkantı olduğunu belirlemişlerdir.

Londhe ve Deo [15] yaptıkları çalışmada, liman içinde ve çevresine ilerleyen dalgaların hesaplanmasında kullanılan geleneksel yöntemlere seçenek olarak yapay sinir ağlarını kullanmışlardır. Modellemeyi New-Mangalore, Hindistan Limanı yaklaşım kanalı için yapmışlardır. Sonuç olarak, yapay sinir ağları modelinin liman içi ve etrafındaki dalga yüksekliği dağılımını belirlemede ileride yapılacak çalışmalar için geleneksel yöntemlere seçenek olacak bir yaklaşım olduğunu göstermişlerdir.

Köksal [16] çalışmasında liman içi çalkantıların sayısal modellemesinde kullanılan MIKE 21 BW paket programını tanıtmış ve örnek çalışma olarak Marmara Kabul Limanı'na uygulamasını gerçekleştirmiştir. Çalkantı modellenmesinden önce MIKE 21 NSW kullanılarak dalga transformasyonu çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Liman koruyucu dalgakıranların en uygun yerleşimleri yine sayısal modelde denenerek belirlenmiş, liman içi çalkantısının uluslararası kriterlerde tanımlanan düzeyi aşmaması için gerekli düzenlemeler araştırılmıştır. Yapı yerleşimlerinde alternatifler geliştirilerek, bunlar içinden en ekonomik olan uygulama için önerilmiştir.

Woo ve Liu [17] geliştirdikleri yenilenmiş Boussinesq eşitliği için sonlu elemanlar modelini liman içi çalkantı çalışmalarında kullanmışlardır. İç dalga üretme tekniği yapısız sonlu eleman ağına uygulanmış ve sünger tabakası açık sınır koşullarında kullanılmıştır. Dairesel ve dikdörtgen basenlerde lineer ve lineer olmayan dalga çalkantıları incelenmiş ve sonuçlar modelin doğrulanması için kullanılmıştır. Sonuç olarak, küçük dalga dönüşümü lineer olmayan çalkantı sorununun geçici özelliklerinin analizi için kullanılmıştır. Model ve deney sonuçlarının karşılaştırılması sonucunda, modelin liman içi çalkantı sorunları için kullanılabilir olduğu anlaşılmıştır.

Jong ve Battjes [18] çalışmalarında Rotterdam limanındaki çalkantı olayının oluşumunu tahmin etmeye çalışmışlardır. Rotterdam limanındaki çalkantı oluşumunun işleyişi yakın zamanda tanımlanmıştı. Bu tanımlama, atmosferik aktarım hücrelerini içermektedir. Bu yeni anlayış Rotterdam limanındaki çalkantı özelliklerinin ayrıntılı incelenmesi için eski verilerle birlikte bu çalışmada kullanılmıştır. Daha önce tanımlanan işleyişin farklı doğal frekanslar ile basende hareketlenmeler oluşturabildiği bulunmuştur. Liman içindeki farklı noktadaki çalkantı genliklerinin oranları ölçümlerden elde edilmiştir. Ayrıca, hesaplanan büyütme spektrumu ve liman ağzı uyarım spektrumunun parametrelerle gösterimine dayanan teorik genliklerin değerleri belirlenmiştir. Daha sonra, geçmişte yapılmış sayısal liman modelleri çalışmalarından hesaplamalar yapılmıştır. Sonuçlar, bu yöntemin geçerliliğini doğrulamıştır. Bunun yanında, Rotterdam ana fırtına kabarması engelleri tasarımı için kullanılan genlik oranları yüzde beş hata yüzdesi içinde doğrulanmıştır. Sonuç olarak çalkantı olayının meydana gelmesinin olasılığının tahmini çalışılmıştır. Tahmin tespitinde aktarım hücrelerinin oluşması ölçütüne dayanan tahmin yöntemi denenmiştir. Sonuçlar Rotterdam Limanındaki çalkantı olayının oluşumunun büyük bir doğruluk oranı ile tahmin edilebileceğini göstermiştir.

Sasa vd. [19], çalışmalarında tayfun kaynaklı limit demirleme şartlarının tahmini için yeni bir sayısal model geliştirmişlerdir. Bu model tayfunda dalganın büyüdüğünü ve soluğanda dalganın küçüldüğünü ortaya koyan Kalman Filter kuramlarına dayanmaktadır. Model meteorolojik modellerden daha az giriş verisi istemektedir. Model tahminlerinin hassasiyeti, Pasifik okyanusuna açık değişik yerlerdeki limanlarda tayfun sırasında oluşan rüzgar veya ölü deniz dalgaları ile ölçülmüştür. Bu model, tayfun etkisi oluşumundan önceki yarım gün ile iki gün arasındaki bir sürede demirleme sınır şartlarının tahminine izin vermektedir. Bunun yanında, denize açık limanlarda bu tahmin modelinin demirleme sınır şartlarını takip etmek için rıhtım yanaşma işlemlerinde kullanılması önerilmiştir.

Hansen vd. [20], çalışmalarında dalga kırılmasını içeren Boussinesq modeli kullanarak iki farklı liman durumu için uzun dalgaların oluşturduğu çalkantıyı modellemişlerdir. Torsminde Balıkçı Barınağı'ndan çalkantı değerleri elde edilmiş, modellemesi yapılmış, elde edilen sonuçlar ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. İkinci olarak Long Beach Limanı'ndaki çalkantıların modellemesi yapılmıştır. Sayısal modelleme MIKE 21 BW paket programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Boussinesq modelinin kırılan ve kırılmayan dalgaları için uygun tahmin yapabildiği sonucuna varılmıştır.

Vilibic ve Mihanoviç [21], Ploce Limanı'nda (Hırvatistan) oluşan yüksek frekanslı çalkantıları, bir sene süreyle ölçtükleri su seviyesi değişimlerine dayanarak değerlendirmişlerdir. Çalkantıların yıl boyunca beklenen düzeyde olmasına karşın, yaz boyunca maksimum genlik değerleri yaklaşık iki katına çıkmıştır. Yapılan modelleme çalışmaları, çalkantının oluşmasındaki en önemli etkinin açık denizden gelen dalgaların olduğunu göstermiştir. Bunun yanında kıyı bölgesinde oluşan rüzgardan kaynaklanan etkinin önemsiz olduğu görülmüştür. Fırtına zamanlarında çalkantının, sadece feribotlar ve küçük tekneler için değil büyük kargo gemileri için de tehlike oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

Yüksek vd. [22] çalışmalarında Ünye ek liman inşaatı için gerçekleştirdikleri liman içi çalkantı deneylerini sunmuşlardır. Çalışmalarında öncelikle dalga analizi ve batimetrik çalışma gerçekleştirmişler, daha sonra liman içi çalkantıları belirlemek için fiziksel modelleme oluşturmuşlardır. Oluşturdukları modelde, kuzey ve doğu-kuzeydoğu yönünden gelen çeşitli dalga yükseklik ve periyotları ile farklı rıhtım durumlarında oluşan çalkantılarla birlikte; ana mendireğin tam olarak tamamlanmaması ve tali mendireğin yapılmaması durumunda oluşacak çalkantılar ile, planlanan liman baseninin taranmaması ve ana mendirek üzerinde bir rıhtım olması durumunda oluşacak çalkantılarda ölçülmüştür. Sonuç olarak ana ve tali mendireklerin önerilen biçimde yapılması koşuluyla, tüm rıhtım durumlarında oluşan çalkantı miktarı, gemilerin liman içi faaliyetlerini engellemeyeceği kanaatine varmışlardır.

Hsiao ve Fang [23] çalışmalarında İkili İlişkili Sınır Elemanlar Metodu'nun (DRBEM) sayısal planını, enerji dağılımı etkisini dikkate alarak liman içindeki çalkantı araştırmalarına uyarlamıştır. Elde edilen sonuçlar, daha önce yapılmış deneysel çalışma sonuçları ve diğer kuramsal sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışma, modelin liman içi çalkantı sorunlarının çözümünde geçerli ve etkili olduğunu göstermiştir.

Bao ve Lian [24] yaptıkları çalışmada Çin'de bulunan liman özelliklerine dayanan dalga hareketi sonucu oluşan gemi hareketlerinin bazı hesaplanmış değerlerini sunmuşlardır. İlk olarak, çözüm için Basit Yeşil Fonksiyon yöntemini uygulamışlar ve açık veya tahkimat rıhtımının önündeki iki boyutlu hidrodinamik katsayılarla karşılaştırmışlardır. Sonuçlar ikisi arasında büyük farklılıklar olduğunu göstermiştir. Daha sonra, farklı dalga frekanslarında ve dalga yönlerinde açık rıhtımların önündeki gemi hareketleri hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

Stiassnie ve Drimer [25], lineer olmayan sığlaşma nedeniyle uzun dalgalarda oluşan değişimin yaklaşık değerini elde etmişler ve bunları dalga kanalı deneylerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırıp doğrulamışlardır. Çalışmadan elde edilen sonuçların, liman içi çalkantı çalışmaları vb. mühendislik uygulamalarında uzun dalga veri girdisi olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir.

Kriauciuniene vd. [26], Klaipeda (Litvanya) Limanı'nda fırtına sırasında Baltık denizinden gelen büyük dalgalar nedeniyle navigasyon sorunları oluştuğunu belirlemişlerdir. Çalışmalarının amacı, Klaipeda Limanı çevresindeki rüzgar ve dalga iklimini belirlemek ve 15, 20 ve 25 m/s rüzgar hızlarında oluşan farklı yöne sahip kısa dalgaların yayılım modelini geliştirmektir. Dalga yayılım modellemesi MIKE 21 BW paket programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Meteorolojik gözlemler sonucu, fırtınaların en sık olarak Ekim- Mart ayları arasında meydana geldiği gözlenmiştir. En büyük çalkantıyı oluşturan dalgaların  $270^\circ$  ile  $292^\circ$  arasında esen sert rüzgarlar sonucu oluştuğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, model sonuçlarının gemi hareketlerinin ve yükleme boşaltma işlemlerinin güvenli sürdürülmesi ile ilgili sorunlarda kullanılabilmesi ortaya konmuştur.

Bellotti [27], çalışmasında uzun dalgaların liman içerisinde oluşturduğu çalkantıları, zamana bağlı olarak belirlemeyi amaçlamıştır. Bu kapsamda Roma Yat Limanı'nda oluşan çalkantıları sayısal modelle incelenmiştir. Liman ağzının farklı konumlarda bulunması durumlarında liman içinde oluşan çalkantı miktarları belirlenmiştir. Sonuç olarak liman giriş ağzının limanın ortasında bulunması veya bir dış liman yapılması durumunda çalkantının azaldığı gözlemlenmiştir.

Kankal vd. [28], Ünye Ek Limanı için gerçekleştirdikleri liman içi çalkantılarının fiziksel ve sayısal modellemesini ve model sonuçlarının karşılaştırılmasını içeren bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Sayısal modellemede MIKE 21 BW programı kullanılmıştır. Çalışmalarında farklı yön, periyot ve yüksekliğe sahip dalgalar kullanılarak 8 değişik durum için modelleme yapılmıştır. Modellemede 36 farklı noktadan ölçüm alınmıştır. Fiziksel ve sayısal model sonuçlarının karşılaştırılması sonucu elde edilen rölatif hata değerleri % 3 ile % 7.5 arasında değişmektedir. Sayısal ve fiziksel model sonuçları arasında önemli derecede bir uyumun olduğu sonucuna varmışlardır.

Kim ve Lee [29], yaptıkları çalışmada liman girişi yakınlarında yaklaşım kanalı için yapılan kazının, seçilen iki limanın içinde ve çevresinde kırınımına uğrayan dalga bölgelerindeki oluşturduğu sönümleyici etkiyi tahmin etmişlerdir. Tahmin işlemini sınır integral eşitlik çözümü kullanarak oluşturulan matematiksel modelle gerçekleştirmişlerdir.

Liman girişine uzun bir yaklaşım kanalı açılması ile liman içinde ve çevresinde oluşan kırınım katsayısında bir düşüş olduğunu belirlemişlerdir. Oluşturdukları matematiksel modelin, liman plan ve tasarımı için kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

#### **1.4. Dalgaların Genel Özellikleri**

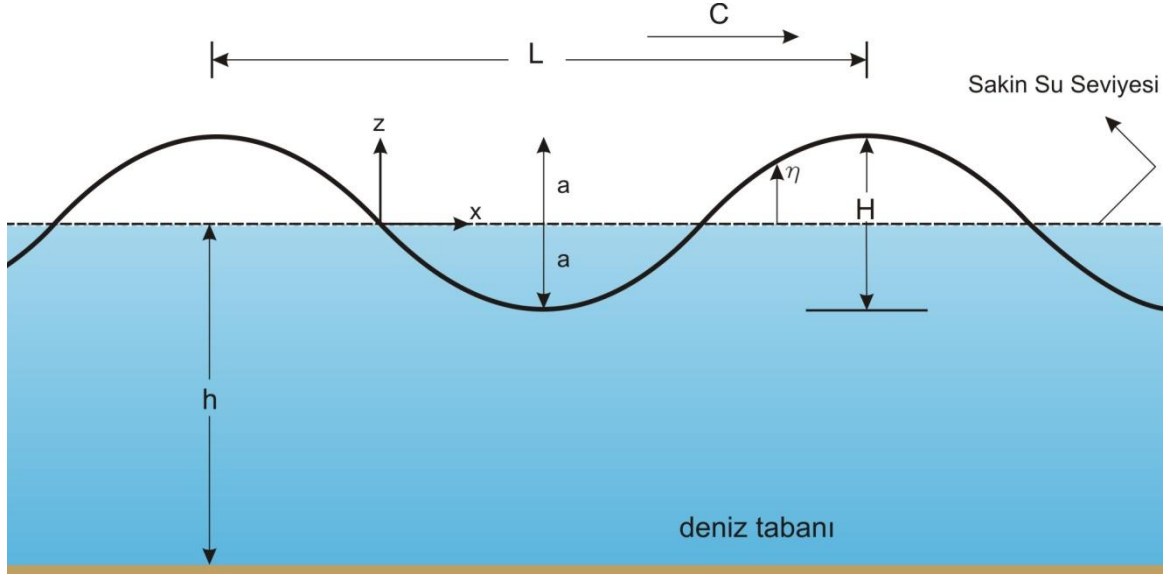
Deniz yüzeyinde rüzgar etkileri ile oluşan dalgalara ilerleyen ağırlık dalgaları denir [30]. Ağırlık dalgaları rastgele karaktere sahiptirler, rüzgar etkisiyle suyun dengesi bozulduktan sonra, dalganın rüzgara karşı ve ona ters oluşan sırtları arasında basınç farkı doğar. Böylece rüzgar enerjisi su yüzeyine geçer. Açık denizdeki, bu atmosferden su yüzeyine sürekli enerji geçişi rüzgar dalgalarını oluşturur [31].

Gerçek ortamda oluşan ağırlık dalgaları hem çok düzensiz bir dizide oluşurlar hem de su yüzü profili olarak değişkenlik gösterirler. Bu nedenle matematiksel olarak ifade edilmeleri mümkün değildir. Diğer taraftan basit dalga durumunda dalganın çeşitli özelliklerini veren ifadeler belirli bir yaklaşıklıkla değişik dalga teorilerinde verilebilmektedir. Bunlar; küçük genlikli dalgalar teorisi, sığ su teorisi, akım fonksiyonu ve sayısal çözümdür. Uygulamada en çok kullanılan dalga teorisi küçük genlikli dalgalar teorisidir [30].

##### **1.4.1. Dalga Mekaniği**

###### **1.4.1.1. Basit Dalga Profili**

Dalga problemlerini çözümede teorik bir dalga formu kullanılmaktadır. İdealize edilmiş bu dalga profiline, sinüs fonksiyonu ile aynı yapıda olduğundan sünizoidal dalga ismi verilmektedir. Dalga profili zamanın ve yerin bir fonksiyonudur ve değişik su seviyelerindeki dalga profilini, su yüzeyinin düşey hareketini belirlemektedir. Sünizoidal dalga profili, Şekil 1.1'de verilmektedir.



Şekil 1.1. Sinüsoidal dalga profili

Sünizoidal dalga profili Denklem 1.1’de verilmiştir.

$$\eta = a \cdot \sin(2\pi) \cdot \left[ \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right] \quad (1.1)$$

Denklemde,  $\eta$  dalga profilinin durgun suya göre düşey mesafesini,  $x$  yatay eksen boyunca alınan mesafeyi,  $a$  dalga genliğini,  $t$  zamanı,  $L$  dalga boyunu ve  $T$  ise dalga periyodunu göstermektedir.

#### 1.4.1.2. Dalga Boyu ve Dalga Hızı

Dalga boyu, periyodu, su derinliği ve dalga hızı arasındaki ilişkiler Denklem 1.2 ve 1.3’de verilmiştir.

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2\pi} \cdot \tanh \left[ \frac{2\pi \cdot h}{L} \right] \quad (1.2)$$

$$C = \frac{L}{T} \quad (1.3)$$

Burada verilen iki denklemden, dalga hızı ( $C$ ) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$C = \frac{g \cdot T}{2\pi} \cdot \tanh \left[ \frac{2\pi \cdot h}{L} \right] \quad (1.4)$$

#### 1.4.1.3. Derin Deniz Dalgaları

Derin deniz dalgalarının iki önemli parametresi, belirgin dalga yüksekliği ( $H_{1/3}$ ) ve belirgin dalga periyodu ( $T_{1/3}$ )'tür. Derin denizde oluşan dalgalar, kıyıya doğru yaklaşırken çeşitli etkenler nedeniyle değişime maruz kalırlar. Bu değişimin başladığı derinlik, derin deniz sınırıdır. Dalgaların maruz kaldığı değişiklikler dalga yönü ve yüksekliğinde olur; dalga periyodu ise sabit kalır. Derin deniz sınırı, su derinliğinin dalga boyunun yarısına eşit olduğu yerdir ve aşağıdaki denklemle verilir [32].

$$h = 0.5 L_0 \quad (1.5)$$

Denklemdaki, açık deniz dalga boyu Denklem 1.6 ile verilebilir. Denklemden  $h$  ve  $L_0$ , metre (m);  $T$  ise saniye (s) boyutundadır.

$$L_0 = 1.56 T^2 \quad (1.6)$$

#### 1.4.2. Dalgaların Kıyıya Yaklaşırken Uğradığı Değişimler

Dalgalar derin sulardan sığ sulara doğru hareket ederken, taban topografyasının değişiminden ve bir takım doğal ve yapay engellerden etkilenirler. Bu değişimler, dalga mekaniğini önemli ölçüde etkiler. Bunlar, sığlaşma (shoaling), kırınım (diffraction), yansıma (reflection), kırılma (breaking), ve sapma (refraction)'dır. Liman içi çalkantıların oluşumunda etkin olan kırınım olayı ayrıntılı bir biçimde incelenecektir.

##### 1.4.2.1. Dalga Sığlaşması

Su derinliğinin azalması nedeniyle dalgalar tabandan etkilenir. Bunun sonucu, dalga yüksekliğinde çoğu kez azalma, bazı durumlarda ise artma meydana gelir. Sığlaşma sonucu oluşan dalga yüksekliği şöyle hesaplanır [33];

$$K_s = \frac{H}{H_0} = \left[ \tanh \left( \frac{2\pi h}{L} \right) \right]^{-0.5} \left[ 1 + \frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right]^{-0.5} \quad (1.7)$$

Denklemden, H ve H<sub>0</sub> ilgili noktadaki ve derin denizdeki dalga yüksekliği, K<sub>s</sub> ise sığlaşma katsayısıdır. K<sub>s</sub> katsayısı, h/L<sub>0</sub> değerine bağlı olarak Ağırlık Dalgaları Tabloları (GWT)'den de bulunabilir [34].

#### 1.4.2.2. Dalga Kırınımı

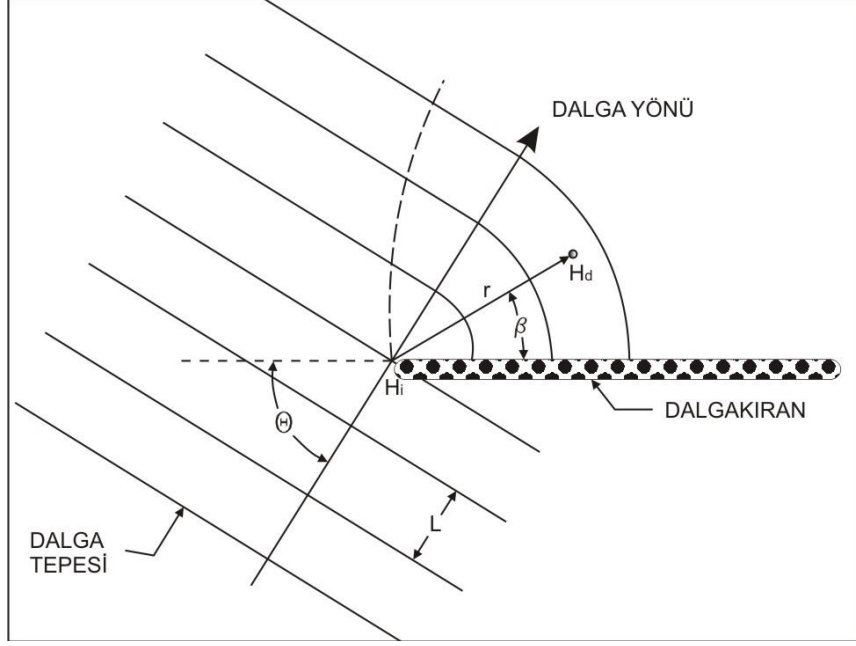
Dalga kırınımı, kıyı mühendisliğindeki bir çok çalışmada önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle kıyıda korunmuş bir alan oluşturmak için yapılan dalgakıran yapılarının etkinliği kırınımına uğrayan dalga büyüklüğüne bağlıdır. Bunun yanında, liman giriş ağzı konumu ve boyutu ve liman içi çalkantıları bu olaya bağlıdır.

Kırınım, liman içerisindeki dalga şartlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Dalga mendirek uç bölgesinden geçtiği zaman; kırınım, dalga tepelerinin dalgakıran arkasındaki sakin bölgeye yayılmalarına neden olur. Sakin bölgedeki dalgaların yönü ve dalga yükseklikleri önemli derecede değişir.

Limanların tasarımı ve planlanmasındaki en büyük sorun, seçilen tasarım dalgasında liman içinde oluşacak dalga şartlarının (yükseklik ve yön) analizidir. Bu dalgalar liman ağzını geçtikten sonra sığlaşabilir veya kırılabilir, ancak çoğunlukla liman içerisindeki dalga şartlarını etkileyen en önemli olay dalga kırınımıdır. İki genel tip durumla karşılaşılır; uzun dalgakıranın ucundan geçen dalgaların kırınımı ve dalgakıranın içindeki küçük boşluklardan geçen dalgaların kırınımıdır. Burada, dalgakıranın içinden geçen dalgaların etkisinin çok az olması nedeniyle sadece uzun dalgakıran ucundan geçen dalgalar incelenecektir.

Şekil 1.2'de su derinliğinin sabit olduğu bir bölgede (dalga kırılması veya sığlaşmasının olmadığı) yarı geçirgen bir dalgakıranaya gelen düzenli dalgalar gösterilmektedir. Dalgaların bir bölümü dalgakıranaya direkt vurmakta ve vuran dalganın bir kısmı sönmülmekte bir kısmı ise yansımaktadır. Dalgakıran ucundan liman içine giren dalgalar ise dalgakıranın arka kısmında kırınımına uğramaktadır. Kırınımına uğrayan dalgalar, her bir dalga tepesi boyunca dalga yüksekliğindeki azalma ile merkezci yuvarlak yay biçimine dönüşmektedir. Kırınımdan etkilenen dalga yüksekliklerinin bulunduğu bölge Şekil 1.2'de kesikli çizgi sınırına kadar ulaşmaktadır [35].





Şekil 1.2. Dalga kırınım terimleri [35].

Kırılan dalga tepeleri (bunlar şekilde gösterilmemiştir), aynı zamanda dalgakıran ucundan arkasına doğru kıvrılan merkezci dalga tepeleri biçiminde kırınımına uğrayabilirler. Bu dalgalar genellikle gelen dalgadan daha yavaşlırlar ve dalgakıran arkasına ulaştıkları zaman kırınımından çokça etkilenirler. Böylece dalgakıran arkasındaki dalgalar çok küçük yüksekliklerde olurlar.

Kırınım katsayısı;

$$K_d = \frac{H_d}{H_i} \quad (1.8)$$

şeklinde belirlenir. Burada  $H_d$  dalgakıranın arka noktasındaki dalga yüksekliği,  $H_i$  ise dalgakıran ucundaki gelen dalga yüksekliğidir. Eğer belirlenen nokta ile dalgakıran ucundaki düz uzaklık  $r$  ( $K_d$ 'i belirlemede kullanılan) ve  $\beta$  dalgakıran ile bu düz uzaklık arasındaki açı ise, o zaman;

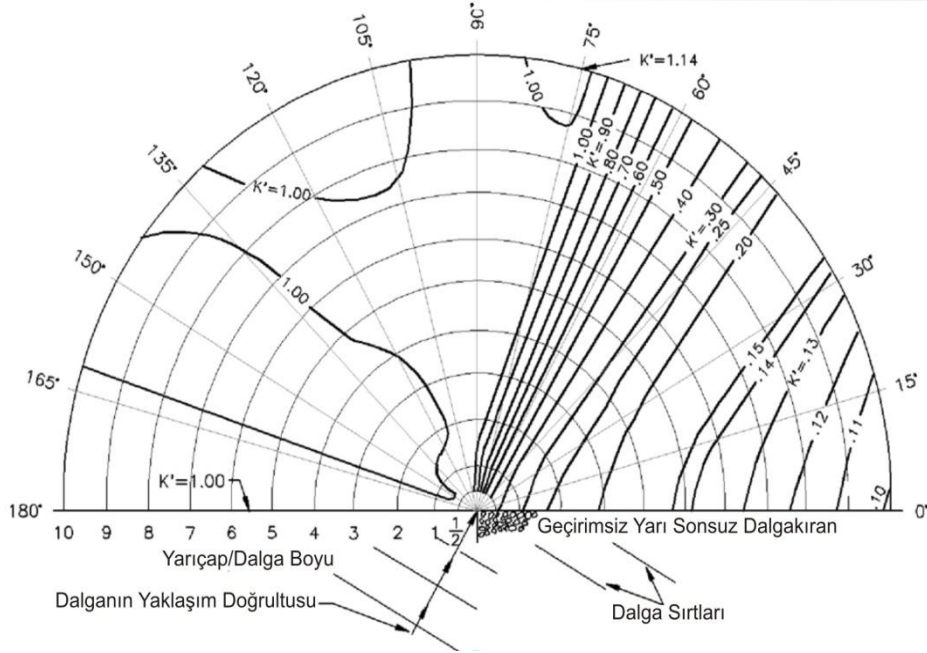
$$K_d = f\left(\frac{r}{L}, \beta, \theta\right) \quad (1.9)$$

olur. Burada  $\theta$  gelen dalga açısını tanımlar ve  $L$  ise dalga boyudur. Sonuç olarak, dalgakıran arkasındaki belirlenen nokta için, kırınım katsayısı, gelen dalganın periyodunun

ve geliş açısının bir fonksiyonudur. Böylece, gelen dalga spektrumları için, dalga spektrumlarının her frekans bileşeni dalgakıran arkasında verilen nokta için farklı kırınım katsayısına sahip olacaktır [35].

Wiegel [36], seçilen  $r/L$ ,  $\beta$  ve  $\theta$  değerleri için elde edilen  $K_d$  sonuçlarını tabloştürmüştür. Wiegel'in  $60^\circ$  için elde ettiği sonuç Şekil 1.3'te gösterilmektedir. 15 derece aralıklarla 15 dereceden 180 dereceye kadar değişen yaklaşım açısı  $\theta$  için işaretlenmiş değerler Wiegel [36] ve Shore Protection Manuel [37] kaynaklarında bulunabilir.

Şekil 1.3'te görünen ilginç nokta, gelen dalga açısı yönündeki dalgakıran ucundan genişleyen dalgakıran arkasındaki çizgi boyunca kırınım katsayısı değerinin yaklaşık 0.5 değerinde olmasıdır. Bu sadece 60 derece için değil, diğer açılardaki yaklaşımlar için de geçerlidir. Dalgakıran arkasındaki korunaklı bölge için bir diğer nokta ise, aynı yönden gelen dalgaların bir boyutlu spektrumları, spektrum içinde art arda gelen yüksek frekanslı dalgalar için büyük yükseklik (enerji yoğunluğu) azalmaları oluşturabilir. Frekansın artması küçük dalga boyu ve buna bağlı olarak büyük  $r/L$  oranı (verilen  $\theta$  ve  $\beta$  değerleri için) anlamına gelmektedir. Böylece kırınım uğramış spektrum, spektrumun düşük frekanslı kısmına doğru enerji yoğunluğunu kaydıracaktır [35].



Şekil 1.3. Dalga kırınım şeması ( $60^\circ$  açılı) [35].

Sonlu uzunluklu bir dalgakıranın iki ucu nedeniyle dönmeye uğrayan dalgalar eğer dalgakıran beş dalga boyundan daha kısa ise dalgakıranın korunma bölgesinde girişime uğrayacaklardır. Böylece oldukça karmaşık dalga yapısı meydana getireceklerdir. Bu tip dalga yapısı, dalga etkisi nedeniyle oluşan akıntı ile birlikte dalgakıranın korunan bölgesinde karakteristik kıyı şekillenmesi olan “tombolo” ların meydana gelmesine neden olur.

İki taraflı bir dalgakıran durumunda iki dalgakıranın uçları arasında kalan açıklığın genişliği bir dalga boyundan küçük ise, dönen dalgalar giriş ağzının bir kaynak noktası olduğu düşünülerek belirlenir. Eğer genişlik dalga boyundan daha büyük ise yarı sonsuz dalgakıran hali için verilen çözümün süperpoze edilmesi ile dönme hesabı yapılır. Buna karşılık, iki yarı sonsuz dalgakıran arasındaki ağzın genişliği dalga boyunun beş katından büyükse, her iki dalgakıranın birbirinden bağımsız gibi davrandığı düşünülebilir [38].

Bir açık deniz dalgakıranından sonra batimetride önemli değişimler var ise dönme ve sapma birlikte düşünülmelidir. Öncelikle sapma tesirleri ile dalga dalgakıranın ucuna kadar getirilir, sonra üç ve dört dalga boyuna kadar dönmenin hakim olduğu kabul edilir, daha sonra sapmanın hakim olduğu duruma geçtiği düşünülerek hesaplamalar yapılır.

### 1.4.2.3. Dalga Yansıması

Açık denizden kıyıya doğru yaklaşan dalga bir engelle karşılaştığında, eğer engelin geometrisi ve yüzey özellikleri dalganın tamamen sönümlenmesine yol açmıyorsa, gelen dalga enerjisinin bir kısmı veya tamamı geri yansır.

Dalga yansıması, çeşitli kıyı problemlerinde ve özellikle liman boyutlarının ve liman yapı tiplerinin belirlenmesinde başlıca etkenlerden birisidir. Bir limanda yansıyan ve gelen dalgaların üst üste çakışması ile büyük çalkantılar meydana gelmektedir. Yansıma katsayısı,

$$K_y = \frac{H_y}{H_i} \quad (1.10)$$

şeklinde dir.

Bu katsayı 0 ile 1 arasındadır.  $K_y=1$  olduğunda dalganın tam yansıdığı,  $K_y=0$  olduğunda ise tamamen sönümlendiği söylenebilir [39].

#### 1.4.2.4. Dalga Sapması

Kıyıya belli bir açı altında yaklaşan dalgaların, kıyıya yakın taraflarının taban tesirinden daha önce etkilenerek yavaşlamaları nedeniyle dönerek taban eş derinlik eğrilerine (batimetri çizgileri) paralel duruma gelmeleri olayına sapma adı verilir.

Dalga sapmasının uygulamadaki önemli iki sonucu ;

- Derin denizdeki devinimi bir yönde olan dalgalar, kıyıya değişik bir yönde ulaşabilirler.
- Deniz tabanı topoğrafyasına ve dalga sapmasına bağlı olarak, dalga yükseklikleri derin deniz değerinden önemli ölçüde daha büyük ya da daha küçük olabilir [40].

Dalga sapması olayı düz paralel kontur durumunda analitik olarak kolayca belirlenebilmesine karşın düzensiz topografyalarda oldukça zor belirlenebilmektedir. Bu nedenle, günümüzde dalga sapmasını belirlemek için bilgisayar yardımıyla çalışan sayısal modeller kullanılmaktadır.

##### 1.4.2.4.1. Düz Paralel Konturlarda Dalga Sapması

Deniz tabanındaki değişimler kompleks olmayıp düzgün ve yavaş olduğunda bu yöntem dalga sapmasının hesabında kesin sonuç vermektedir. Dalga sapması, derinlik konturları;  $h/L_0=0.5, 0.4$  vb. gibi rölatif derinliklere göre Snell Kanunu uygulaması yapılarak hesaplanır.

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\alpha_0} = \frac{C}{C_0} \quad (1.11)$$

Denklem 1.11'den dalga sapmasının yönü,

$$\alpha = \arcsin \left[ \frac{C}{C_0} \sin\alpha_0 \right] = \arcsin \left[ \frac{L}{L_0} \sin\alpha_0 \right] \quad (1.12)$$

denklemleriyle belirlenebilir. Sapma katsayısı ise;

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos\alpha_0}{\cos\alpha}} \quad (1.13)$$

denklemleriyle hesaplanabilir. Denklemlerde;  $K_r$  sapma katsayısını,  $\alpha_0$  ve  $\alpha$  sırasıyla derin deniz ve sapan dalga cephelerinin kıyı çizgisiyle yaptığı açığı,  $b_0$  ve  $b$  sırasıyla derin deniz ve sapan dalga dikleri arasındaki mesafeyi göstermektedir [41].

#### 1.4.2.4.2. Karmaşık Konturlarda Dalga Sapması

Kıyı topografyası genellikle çok karmaşıktır, taban konturları birbirine ve kıyıya paralel değildir. Bu durum, özellikle yakın kıyıda çok daha belirgindir. Karmaşık topografya durumunda, Snell Kanunu'ndan yararlanılarak yaklaşık hesap yapan grafik yöntemler geliştirilmiştir. Bu durumlarda sapma hesabı başlıca iki yöntemle yapılmaktadır; bunlar, dalga cephesi ve diki yöntemleridir [42]. Bu yöntemlerin dışında dalga sapması hesabı için bilgisayar yardımıyla çalışan sayısal modeller de kullanılmaktadır.

#### 1.4.2.5. Dalga Kırılması

Kırılma noktasına kadar bir salınım halinde gelen dalgalar, bu noktadan itibaren bir kütle taşınımına dönüşerek enerjilerini kaybederler. Dalgaların kırılma noktası, katı madde taşınımı için önemli parametrelerden biridir. Kıyıya yaklaşan dalgalar, tabandan etkilenmeye başlarlar ve belirli bir noktaya geldikten sonra kırılırlar. Kırılma anındaki su derinliğine kırılma derinliği ( $h_b$ ), dalga yüksekliğine kırılma yüksekliği ( $H_b$ ) ve su derinliğinin dalga yüksekliğine oranına da kırılma indisi ( $\gamma$ ) adı verilmektedir. Kırılma indisini bulabilmek için deneysel ve teorik çalışmalardan çeşitli denklemler elde edilmiştir [43, 44, 45, 46, 47, 48, 49].

$$\gamma = \frac{h_b}{H_b} = \frac{1}{b-a} \frac{H_b}{g T^2} \quad (1.14)$$

$$a = 43.75 (1 - e^{-19m}) \quad (1.15)$$

$$b = \frac{1.56}{1 + e^{-19.5 m}} \quad (1.16)$$

$$H_b = \left( \frac{H'_0}{T} \right)^2 + 0.8 m^{0.125} T^{0.5} (H'_0)^{0.75} + 0.785 \cdot 10^{-3} T^2 \quad (1.17)$$

$$H'_0 = K_s K_r H_0 \quad (1.18)$$

Denklemlerde, m taban eğimini göstermektedir [41].

#### 1.4.2.6. Dalga İletimi

Geçirgen kıyı yapılarının gövdesinden yapı arkasındaki korunmuş deniz alanına dalga iletimi olabilir. Bu dalga korunmuş alanda dalga hareketi oluşturabilir. Aynı zamanda yapı üzerinden dalga aşması da olursa, korunmuş alanda dalga yüksekliğinin bulunması için dalga aşması ve iletimi göz önüne alınır. Buna göre, dalga iletiminden ve dalga aşmasından kaynaklanan korunmuş alandaki dalga yüksekliğinin hesaplanmasında yapı arkasına iletilen dalga yüksekliği tek bir iletim katsayısı ( $C_t$ ) kullanılarak bulunur ;

$$C_t = \frac{H_{st}}{H_s} \quad (1.19)$$

Burada  $H_{st}$ , yapı arkasında ölçülen iletilmiş belirgin dalga yüksekliğini,  $H_s$  ise yapı önü belirgin dalga yüksekliğini göstermektedir [40].

#### 1.5. Liman İçinde Kabul Edilebilir Çalkantı Düzeyi

Gemiler korunmuş liman içinde genellikle 0.50 m'lik dalga yüksekliğinde güvenle barınabilirler. Büyük fırtınalarda 0.70-1.00 m'lik dalga yüksekliği tehlikesiz sayılabilir. Rıhtımlar boyunca 0.30-0.40 m'lik dalgalanma kabul edilebilir. Bu değer 0.50 m'yi aşmamalıdır. Bu koşullarda yükleme ve boşaltma işlemleri sürdürülebilir. Gemi onarım rıhtımları ve doklarda dalga yüksekliği 0.30 m'yi aşmamalıdır, çünkü havuz kapaklarının açılıp kapanması daha yüksek dalgalarda güçleşir. Hafif donanma gemileri, balıkçı tekneleri ve yatlar için limanda 0.30 m'den yüksek dalga kabul edilemez [31] .

## 1.6. Liman İçi Çalkantılarının Sayısal Modellenmesi

Liman içi çalkantıları için geliştirilmiş bir çok sayısal model bulunmaktadır. Bu sayısal modellerden bazıları aşağıda açıklanmaktadır:

Takayama [50] liman içi çalkantı için kullanılan bir sayısal model geliştirmiştir. Model derin denizden gelen dalgaların dalga tarafından döndürülmesi ve bu dönen veya ağızdan giren dalgaların içerideki doğal ve yapay kıyı yapıları tarafından yansıtılmasını içermektedir. Düzenli, tek yönlü düzensiz ve çok yönlü düzensiz dalga tiplerini kullanabilen programda ortalama sabit bir su derinliği alınmaktadır. Yapı önündeki dalga özelliklerini, dalgakıran ve liman içindeki yapıların koordinatlarını ve yansıma katsayılarını girdi olarak kullanan program, liman içindeki dalga yüksekliği ve periyodunun dağılımını vermektedir [8].

Lee ve Williams [11]; sundukları sayısal modelde, bazı bölgelerinde yansıma olabilen değişik geometrik şekillere sahip limanlarda, farklı yönden gelen dalgaların kırınımı sonucu oluşan dalga yüksekliklerini tahmin etmektedirler. Modelde su seviyesi sabit kabul edilmektedir. Bunun yanında model düzenli dalgalar için iki boyutlu sınır integral eşitliği yaklaşımından elde edilen kırınım sonuçlarının çakıştırılmasına dayanmaktadır.

Demirbilek ve Panchang, çeşitli derinlik ve büyüklükteki limanlardaki dalga tepkisini hesaplayan CGWAVE isminde sayısal model geliştirmişlerdir. Model açık kıyı alanlarında, adaların çevrelerinde, sabit ve yüzen kıyı yapı etrafındaki dalga değişimini de modelleyebilmektedir. CGWAVE, genişletilmiş yumuşak kıyı eşitliğini içeren yansıma ve kırınım etkisini birlikte hesaba katarak benzeşim yapabilmektedir. Bunun yanında dalgaya sürtünme, kırılma, doğrusal olmayan genlik saçılımı ve liman giriş ağzından kaynaklanan etkileri de içermektedir. Modelin temeli düzenli dalgalara dayanmaktadır, ancak düzenli dalgaların üst üste bindirilmesi ile düzensiz hesapları yapılabilmektedir [51].

Bu çalışmada, DHI (Danish Hydraulic Institute) tarafından geliştirilen ve kıyı alanlarında ve limanlarda dalga hareketinin belirlenmesi ve değerlendirilmesinde kullanılan sayısal model MIKE 21 BW kullanılmıştır. Bu sayısal modele ait detaylı bilgiler aşağıda verilmektedir.

## 1.6.1. MIKE 21 BW Dalga Modeli

### 1.6.1.1. Giriş

MIKE 21 BW modeli kıyı alanlarında ve limanlarda dalga hareketinin belirlenmesi ve değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Model, liman ve kıyı mühendisliğinin ilgilendiği tüm önemli dalga olaylarının birleşik etkisini dikkate alan bir özelliğe sahiptir [52]. Bu olaylar sığlaşma, sapma, kırınım, kırılma, sürtünme, kıyı çizgisi değişimi, kısmi dalga, yansıması ve dalga geçişi, doğrusal olmayan dalga – dalga etkileşimi, frekans dağılımı ve yön dağılımı olarak sıralanabilir.

MIKE 21 BW dalga grupları, sörf salınımı, alt harmonik ve süper harmonik grupların oluşumu ve yakın titreşimin üçlü etkileşimi gibi olayları da modelleyebilmektedir. Bu nedenle, model ana dalga değişimi nedeniyle oluşan düşük frekanslı çalkantı oluşumu ve salınımı gibi detayları iyi bir şekilde açıklayabilmektedir. Bu durum liman çalkantısı ve kıyı olaylarında çok önemli bir yere sahiptir.

Model ayrıca rıhtım ve mendireklerden geçen ve yansıyan dalgaların benzeşimleri için gözeneklilik özelliği içermektedir. Dalga enerjisinin tümüyle sönmülmesinin istendiği noktalarda sünger tabakası (dalga enerjisini tamamen sönmüleyen tabaka) oluşturulabilmektedir. Bunun yanında model dalgaların içsel oluşumlarını da benzeştirebilmektedir. Dalgaların içsel oluşumu, açık deniz dalgalarının modelleme yapılacak bölge içerisine belirlenen bir noktaya taşınmasını ifade etmektedir.

Model iki boyutlu Boussinesq dalga modeli ve bir boyutlu Boussinesq dalga modeli olmak üzere iki işleve sahiptir [52].

İki boyutlu dalga modeli ile yapılabilecek uygulamalar şu şekilde sıralanabilir:

- Ölü deniz dalgası (soluğan) ve rüzgar dalgaları nedeniyle oluşan dalgaların dağılımının belirlenmesi
- Kısa dalgalar tarafından oluşturulan uzun dalgaların gücüyle oluşan düşük frekanslı çalkantıların (seiche ve harbor resonance) analizi
- Yansıma ve/veya kırınımın önemli olduğu kıyı alanlarındaki dalga değişimi
- Kırılma bölgesinde; tırmanma, geri çekilme ve dalga nedeniyle oluşan sirkülasyon hesapları
- Heyelan, tsunami ve gemi hareketleri gibi geçici durumların gelişimi ve değişiminin benzetimi.



Bir boyutlu dalga modeli ile yapılabilecek uygulamalar ise aşağıdaki şekildedir:

- Derin denizden sörf bölgesine ve her türlü kıyı alanına ulaşan doğrusal olmayan dalgaların değişiminin hesaplanması
- Düşük frekanslı dalgaların oluşumunun ve salınımının hesaplanması
- Kanallarda, tahkimatlarda ve kıyılarda dalga tırmanmasının, ters dip akıntısının ve dalga kırılmasının değerlendirilmesi.

### 1.6.1.2. Modelde Kullanılan Temel Denklemler

MIKE 21 BW modelinin çözdüğü denklemler şu şekildedir:

Süreklilik denklemi;

$$nS_t + P_x + Q_y = 0 \quad (1.20)$$

x-momentum denklemi;

$$nP_t + \left(\frac{P^2}{h}\right)_x + \left(\frac{PQ}{h}\right)_y + n^2ghS_x + n^2P \left[ \alpha + \beta \left( \frac{\sqrt{P^2+Q^2}}{h} \right) + \frac{gP\sqrt{P^2+Q^2}}{C^2h^2} \right] + n\Psi_1 = 0 \quad (1.21)$$

y-momentum denklemi;

$$nQ_t + \left(\frac{Q^2}{h}\right)_y + \left(\frac{PQ}{h}\right)_x + n^2ghS_y + n^2Q \left[ \alpha + \beta \left( \frac{\sqrt{P^2+Q^2}}{h} \right) + \frac{gQ\sqrt{P^2+Q^2}}{C^2h^2} \right] + n\Psi_2 = 0 \quad (1.22)$$

Burada  $\Psi_1$  ve  $\Psi_2$  Boussinesq terimleridir ve şu şekilde hesaplanır:

$$\Psi_1 \equiv - \left( B + \frac{1}{3} \right) d^2 \left( P_{xxt} + Q_{xyt} \right) - nBgb^3 \left( S_{xxx} + S_{xyy} \right) - dd_x \left[ \frac{1}{3} P_{xt} + \frac{1}{6} Q_{yt} + nBgd(2S_{xx} + S_{yy}) \right] - dd_y \left( \frac{1}{6} Q_{xt} + nBgdS_{xy} \right) \quad (1.23)$$

$$\Psi_2 \equiv - \left( B + \frac{1}{3} \right) d^2 \left( Q_{yyt} + P_{xyt} \right) - nBgb^3 \left( S_{yyy} + S_{xxy} \right) - dd_y \left[ \frac{1}{3} Q_{yt} + \frac{1}{6} P_{xt} + nBgd(2S_{yy} + S_{xx}) \right] - dd_x \left( \frac{1}{6} P_{yt} + nBgdS_{xy} \right) \quad (1.24)$$

Boussinesq denklemlerinin klasik formunda bugün kullanılan bir çok sayısal modelde derin su terimlerini hesaba katmayarak  $B=0$  alınmaktadır. Genellikle, eğim terimleri ihmal edilmektedir, örneğin  $d_x \approx 0$  ve  $d_y \approx 0$ . Pratikte  $d/L_0$  için üst limit 0.22'dir. Burada  $d$  su derinliğini ve  $L_0$  derin su dalga uzunluğunu göstermektedir [16]. Genişletilmiş Boussinesq eşitlikleri ile, derinden sığ sulara hareket eden yönlü dalgaların yayılım benzeşimi için uygun hale getirilmiştir. Bu şekilde derinlik ve dalga boyu için en büyük oran ( $h/L_0$ ) 0.22 değerinden 0.5 değerine kadar genişletilmiştir [53].

Genişletilmiş Boussinesq eşitlikleri ile ilgili ayrıntılar, MIKE 21 BW Boussinesq dalga modeli bilimsel dokümantasyonunda [53] ve Köksal'ın [16] çalışmasında ayrıntılı biçimde verilmektedir.

### **1.6.1.3. Modelin Çalışma Adımları**

Programın çalıştırılması 4 ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm deniz taban topografyasının oluşturulmasını kapsamaktadır. İkinci bölümde program için giriş verileri oluşturulmaktadır. Giriş verileri; sünger tabaka, gözenekli tabaka ve iç dalga oluşum verilerini içermektedir. Üçüncü bölümde ise model kurulumu için yapılması gerekli düzenlemeler ve programın çalıştırılması gerçekleştirilmektedir. Son bölümde sonuç çıktılarının düzenlenmesi yapılmaktadır [54].

#### **1.6.1.3.1. Deniz Taban Topografyasının Oluşturulması**

Deniz taban topografyasının programa doğru bir biçimde girilmesi gerçekçi sonuçlar elde edilmesi bakımından çok önemlidir. Bunun yanında oluşturulacak dilim aralıklarının ve belirlenecek sınırların yer ve tiplerinin de doğru seçilmesi gerekmektedir.

Girilecek su derinlikleri, modellenebilecek dalga şartlarını doğrudan etkilemektedir. Örneğin en büyük su derinliği modellenebilecek en küçük dalga periyodunu sınırlamaktadır. Aynı zamanda eğer kırılma söz konusu değilse, en küçük su derinliği de dalga yüksekliğini sınırlandırabilmektedir. Bunun yanında, düşük su derinlikleri düşük dalga boyları oluşturmakta bu da hesaplama zamanını arttırarak küçük dilim aralıklarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, doğru deniz taban topografyası ile doğru dalga şartları arasında bir uyuma ulaşmak için bazen deniz taban topografyasında düzenlemeler

yapmak gerekebilir. Örneğin kıyıya yakın bölgelerde bulunan küçük su derinlikleri yukarıda bahsedilen nedenlerden ötürü belli bir derinlik düzeyine yükseltilmesi gibi bir düzenleme yapılabilir.

Deniz taban topografyasını oluşturmaya başlamadan önce; açık deniz şartlarının belirlenmesi amacıyla belirgin dalga yüksekliği, izgesel tepe (spectral peak) dalga periyodu, ortalama dalga yönü, standart Josnswap sıklık izgesi (frequency spectrum) ve yönsel ve yönsel olmayan dalga dağılımı bilgilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun yanında, program kurulum planlayıcısı (Şekil 1.4) ara yüzüne programın çalıştırılma süresini, en düşük dalga periyodu, dilim açıklığını, programın ihtiyaç duyduğu bellek büyüklüğünü belirlemek için çeşitli bilgilerin girilmesi gerekmektedir. Bu bilgiler, en büyük su derinliği, en küçük su derinliği, x ve y yönlerindeki model mesafeleri, toplam su kaplı yüzeylerin yüzdesi vb. değerleri kapsamaktadır [54].

Deniz taban topografyasının oluşturulması, daha önceden hazırlanmış su ve kara bölgelerinin koordinatlarını içeren xyz uzantılı dosyaların programa yüklenmesi ile gerçekleşmektedir. Dosya programa yüklendikten sonra, deniz taban topografyası üzerinde programın daha etkin kullanımı için çeşitli düzenlemeler yapılabilmektedir. Örneğin dosyadan alınan çalışma alanı, programın çalıştırılması için gerekli alandan daha büyük ise, bu alan istenilen sınırlara indirilebilmektedir. Bunun yanında xyz uzantılı dosyalar daha önce oluşturulmamış ise, liman planı resim formatında (örneğin .bmp uzantılı) koordinatlarla birlikte programa girilebilmektedir. Resim üzerinden eş derinlik eğrileri ve kara alanları oluşturularak modelleme için gerekli deniz taban topografyası elde edilebilmektedir.

Son olarak oluşturulan deniz tabanı dağılımı üç boyutlu olarak istenilen açıdan gözlemlenebilmektedir (Şekil 1.5). Bunun yanında iki boyutlu görüntüsü ve sayısal değerleri de elde edilmektedir.

MIKE 21 BW Model Setup Planner - Microsoft Internet Explorer

MIKE 21 BW Model Setup Planner

DHI  
WATER & ENVIRONMENT

**Define your model**

Max. water depth (m)

Min. water depth (m)

Model extent in X-direction (m)

Model extent in Y-direction (m)

Percentage of water points (%)

Max. distance for waves to propagate (m)

Time required for calculation of statistics (minutes prototype time)

Computational points per CPU second <sup>2)</sup>

Spectral peak period (s)

Exclude wave breaking/moving shoreline

Include wave breaking/moving shoreline

**Calculate simulation period**

**A: Total simulation time**

Total time required for simulation (minutes prototype time) <sup>3)</sup>

**Reset and clear all**

**Legend:** OK Not OK

**Notes:**

1) The MIKE 21 BW Model Setup Planner is based on the step-by-step procedure shown [here](#).

2) The computational points per CPU second can be found at [http://www.dhi.com](#).

3) The total simulation time is based on the default settings.

**Calculate and check/evaluate  $T_{min}$ ,  $dx$  and  $dt$  <sup>1)</sup>**

**B: Calculate default upper limits**

	Classical eq.	Enhanced eq.
Min. wave period, $T_{min}$ (s)	6.72	4.5
Max. spatial resolution, $dx$ (m)	4.78	3.03
Max. time step, $dt$ (s)	0.387	0.128

**C: Update upper limits using  $T_{min}$  and check/evaluation**

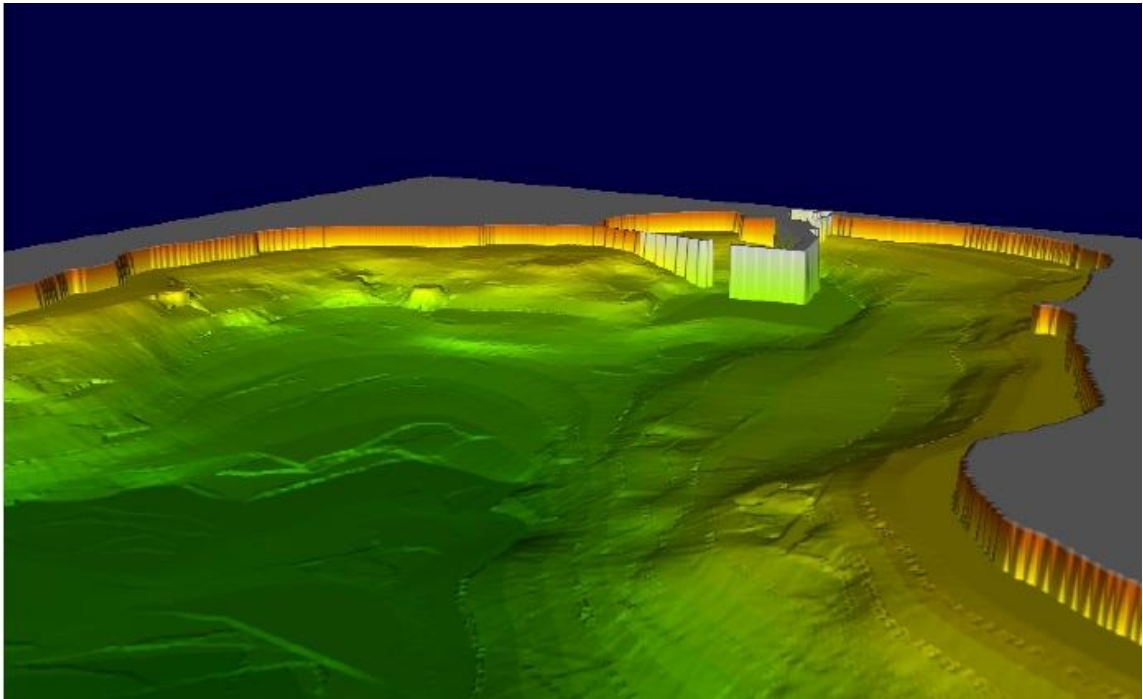
**Own suggestion**

	Classical eq.	Enhanced eq.
Min. wave period, $T_{min}$ (s)	6.72	4.5
Spatial resolution <sup>4)</sup> , $dx$ (m)	4.78	3
Time step, $dt$ (s)	0.387	0.125

**Check/evaluation of selected  $T_{min}$ ,  $dx$  and  $dt$**

	Classical eq.	Enhanced eq.
Max. ratio $h/L_0$ for $T_{min}$	0.2196	0.4897
Max. ratio $h/L_0$ for $T_p$	0.0581	0.0581
Min. ratio $L/dx$ for $T_{min}$	7.0067	7.0825
Min. ratio $L/dx$ for $T_p$	5.6136	0.9443
Ratio $T/dt$ for $T_{min}$	17.364	36
Ratio $T/dt$ for $T_p$	14.211	44
Max. Courant Number	0.9988	0.5140
Estimated CPU time (hours)	0.3591	2.6179
Estimated RAM (MB)	24.200	52.129

Şekil 1.4. Model kurulum planlayıcısı

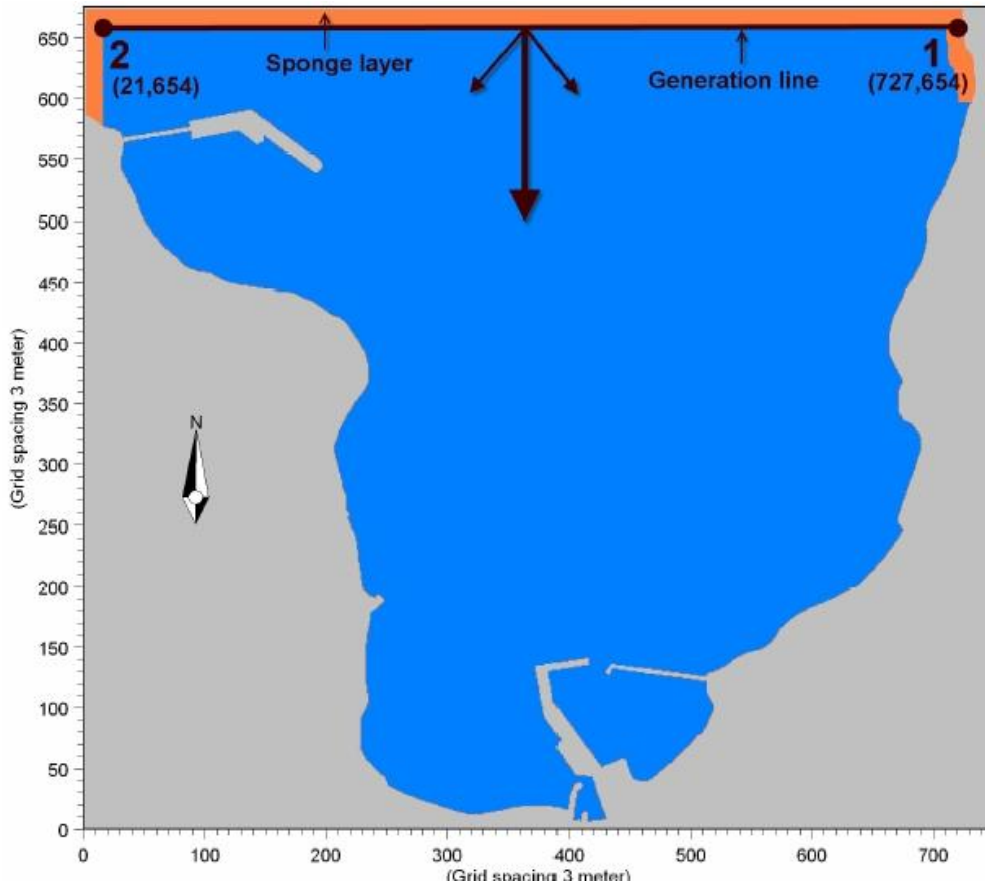


Şekil 1.5. Üç boyutlu deniz taban topografyası

### 1.6.1.3.2. Giriş Verilerinin Oluşturulması

MIKE 21 BW programı çalıştırılmadan önce aşağıda belirtilen üç giriş verisinin hazırlanması gerekmektedir [54]. Bu veriler sünger tabaka haritası, geçirgen tabaka haritası ve iç dalga oluşum verileridir.

Sünger tabaka haritası oluşumunda dalganın yansıma yapması istenmeyen bölgeler belirlenir. Geçirgen tabaka oluşumunda dalganın yansıma oluşturacağı bölgeler dikkate alınır. Bu nedenle yansıma miktarını belirlemek için bu bölgelerde yapı özellikleri (taşların çapı, tabaka genişliği vb.) ayrıntılı biçimde programa yüklenir. İç dalga oluşum verileri açık deniz dalga verilerinden elde edilir. İç dalga oluşum verilerinin oluşturulmasının en önemli üstünlüğü arka ve yan bölgesinde sünger tabakası oluşturabilmesidir (Şekil 1.6).



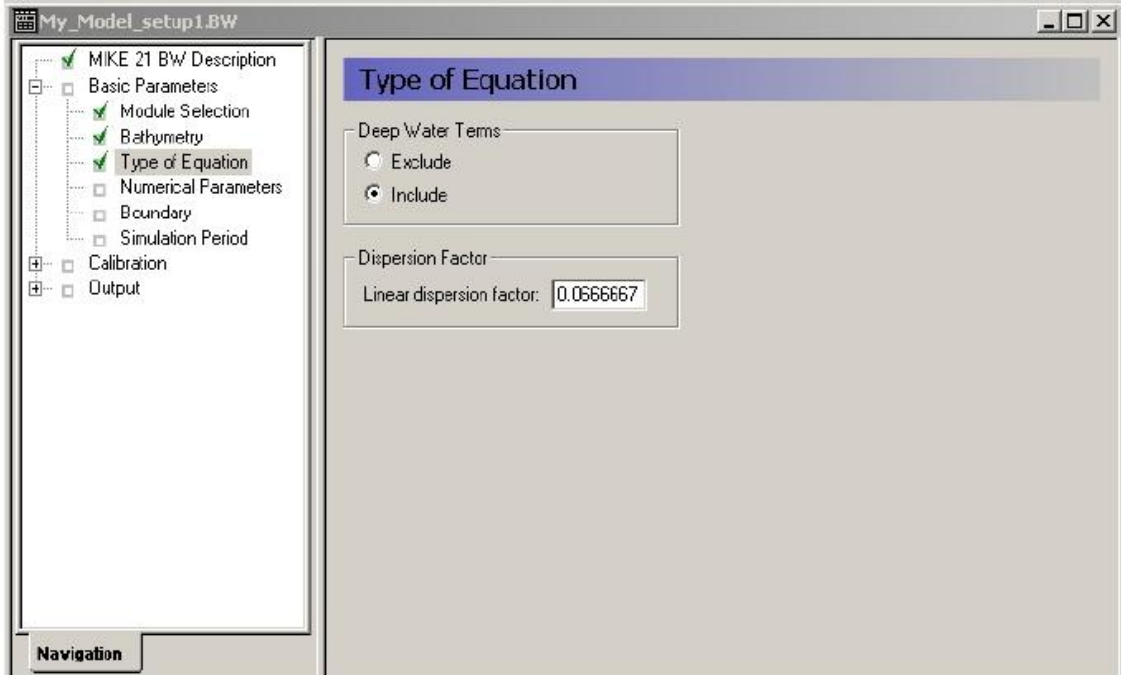
Şekil 1.6. İç dalga oluşum çizgisi planı

### 1.6.1.3.3. Programın Çalıştırılması

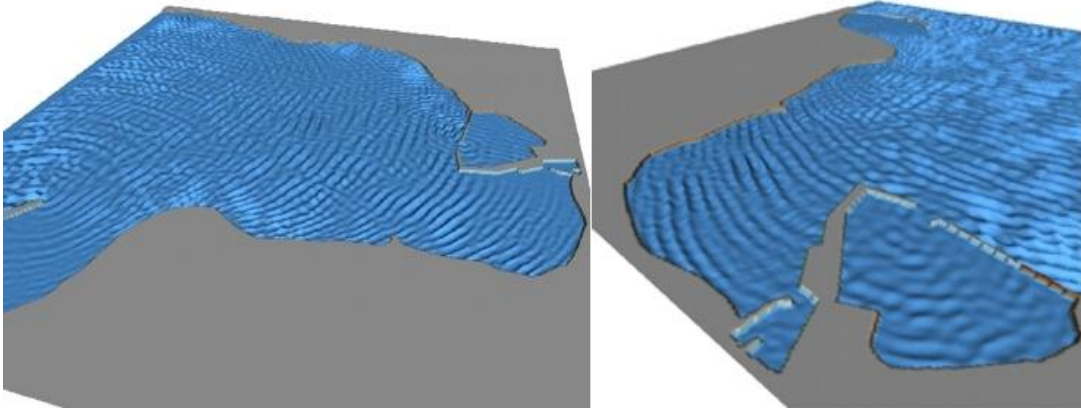
Program çalıştırılmadan önce ana değiştirgelerde (modül seçimi, eşitlik tipi, benzeşim süresi vb.), ayar değiştirgelerinde (taban sürtünmesi, dalga kırılması, su yüksekliği vb.) ve çıktı değiştirgelerinde düzenlemeler yapılması gerekmektedir (Şekil 1.7). Bu düzenlemeler yapıp kayıt edildikten sonra program çalıştırılabilmektedir. Modelin büyüklüğüne bağlı olarak programın çalıştırma süresinin birkaç saat sürmesi normal karşılanmalıdır. Çalıştırma sırasında oluşabilecek hataları görmek için sonuçlar zaman zaman denetlenebilmektedir [54].

### 1.6.1.3.4. Sonuçların Sunumu

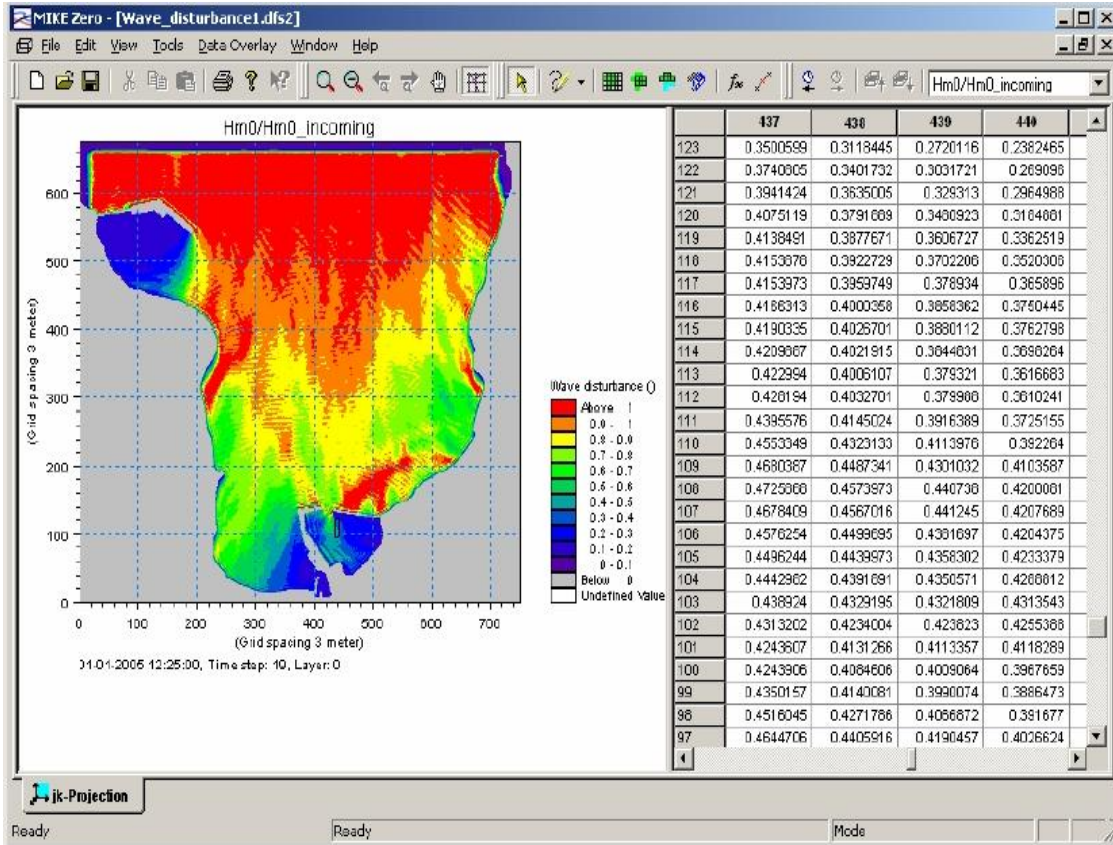
Sonuçlar sayısal, grafik ve görüntü biçimlerinde elde edilebilmektedir. Örneğin su seviyesi değişimleri değişik açılardan üç boyutlu hareketli görüntü şeklinde elde edilebilmektedir (Şekil 1.8). Bunun yanında çeşitli zamanlardaki iki boyutlu dalga dağılımı haritaları da oluşturulabilmektedir (Şekil 1.9). Seçilen bir bölgedeki zamana bağlı dalga değişimlerine grafik halinde (Şekil 1.10) ulaşılabilmektedir [54].



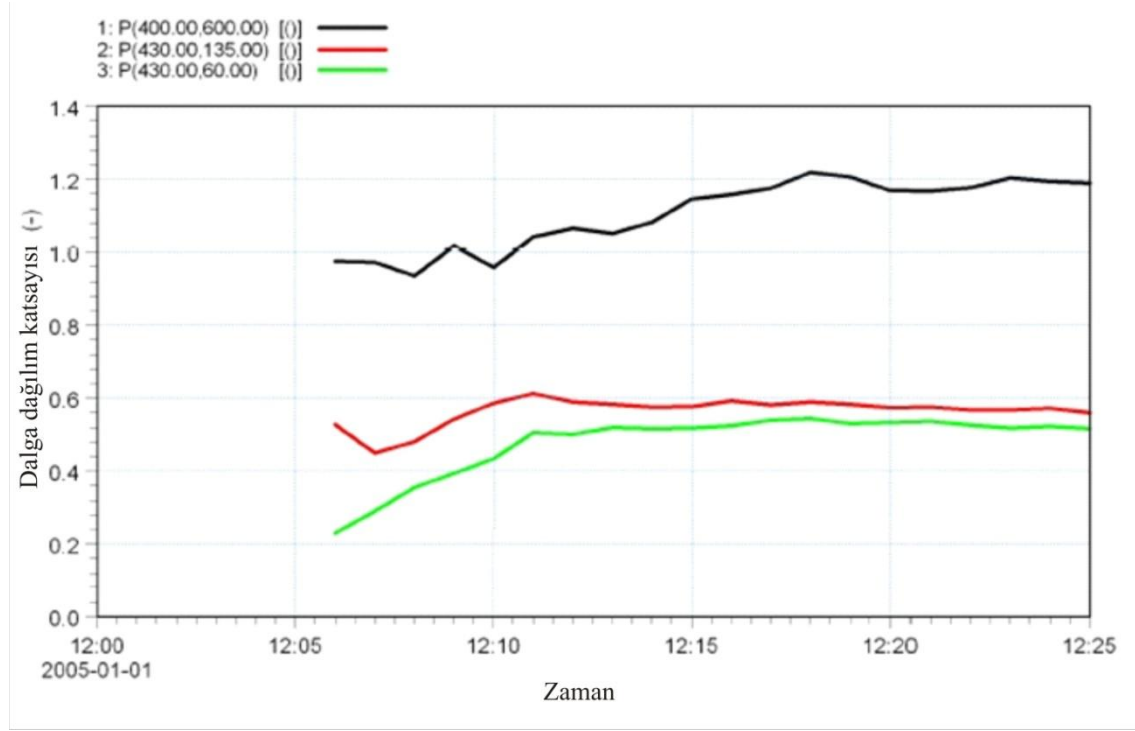
Şekil 1.7. Eşitlik tipinin düzenlenmesi ara yüzü



Şekil 1.8. Üç boyutlu hareketli görüntünün anlık görünümü



Şekil 1.9. Dalga yüksekliği dağılımı haritası



Şekil 1.10. Zamana bağılı dalgı değişim grafiği

## 1.7. Yapay Sinir Ağları

### 1.7.1. Giriş

İnsanın düşünme yapısını anlamak ve bunun benzerini ortaya çıkaracak bilgisayar işlemlerini geliştirmeye çalışmak olarak tanımlanan yapay zeka, aslında programlanmış bilgisayarlara düşünme yeteneği sağlama girişimidir. İnsan gibi düşünen ve davranan sistemlerin geliştirilmesine yönelik olarak 1950’li yıllardan beri süren yapay zeka çalışmaları, bir noktada insanı taklit etmeye yönelik olduğundan mühendislik, nöroloji ve psikoloji gibi alanlara da yayılmıştır. İnsan gibi düşünebilen ve davranabilen sistemlerin geliştirilmesi için yapılan çalışmalarda bugün gelinen nokta, henüz yapay zekanın geliştirilememiş olmasıdır. Ancak, bu konudaki çalışmaları bu alanı destekleyen farklı alanlardaki çalışmaları birlikte devam etmektedir [55].

Yapay zeka tekniklerinden biri olan yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Bu yetenekleri geleneksel programlama yöntemleri ile



gerçekleştirmek mümkün değildir. O nedenle, yapay sinir ağlarının, programlanması çok zor veya mümkün olmayan olaylar için geliştirilmiş adaptif bilgi işleme ile ilgilenen bir bilgisayar bilim dalı olduğu söylenebilir.

Teknik olarak bir yapay sinir ağının en temel görevi, kendisine gösterilen bir girdi takımına karşılık gelebilecek bir çıktı takımı belirlemektir. Bunu yapabilmesi için ağ, ilgili olayın örnekleri ile eğitilerek (öğrenme) genelleme yapabilecek yeteneğe kavuşturulur. Bu genelleme ile benzer olaylara karşılık gelen çıktı takımları belirlenir [56].

YSA günümüzde çok kullanılan bir analiz tekniği olmuş ve özellikle kıyı mühendisliğinin bir çok alanına uygulanmıştır.

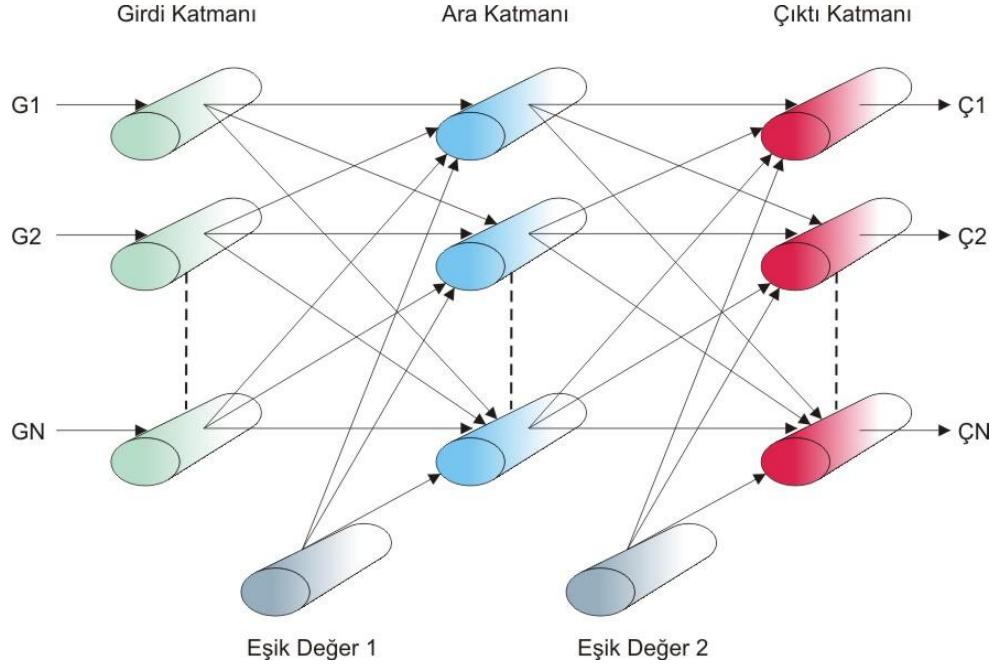
Günümüzde bir çok YSA modeli geliştirilmiştir. Bu modeller YSA ile ilgili yazılan birçok kaynakta ayrıntılı bir biçimde verilmektedir [57, 58]. Bu çalışmada, elde edilen verilerin analizinde, bir çok kıyı mühendisliği çalışmasında [13, 59, 60, 61, 62, 63, 64] başarıyla uygulanmış çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) YSA modeli kullanılmıştır. Bu nedenle sadece bu modelin işleyişi ile ilgili temel bilgiler sunulacaktır.

### **1.7.2. Çok Katmanlı Algılayıcı**

Yapay sinir ağlarının ilk geliştirilen modellerinin en önemli özellikleri doğrusal olayları çözebilmeleridir. Bu özelliklerinin dışında, doğrusal olmayan ilişkileri öğrenmelerinde güçlüklerle karşılaşmıştır. Bu nedenle çok katmanlı algılayıcılar geliştirilmiştir.

#### **1.7.2.1. ÇKA Model Yapısı**

ÇKA ileri doğru bağlantılı ağlardır ve üç katmandan oluşurlar. Bu katmanlar girdi, ara ve çıktı katmanlarıdır (Şekil 1.11).



Şekil 1.11. ÇKA modeli

Girdi katmanı dış dünyadan gelen girdileri ( $G_1, G_2, \dots, G_N$ ) alarak ara katmana gönderir. Bu katmanda veri işleme olmaz ve gelen her bilgi geldiği gibi bir sonraki katmana gider. Girdi katmanındaki her işlem elemanı bir sonraki katmanda bulunan işlem elemanlarına bağlıdır.

Ara katmanlar girdi katmanından gelen bilgileri işlerler ve bir sonraki katmana gönderirler. Ara katman sayısı ve ara katmanda bulunan işlem elemanı birden fazla olabilir. Ara katmanda bulunan her işlem elemanı da bir sonraki katmandaki tüm işlem elemanlarına bağlıdır.

Çıkış katmanı ara katmandan gelen bilgileri işleyerek ağıın ürettiği çıktıları ( $\Ç_1, \Ç_2, \dots, \Ç_N$ ) belirleyerek dış dünyaya iletir. Çıktı katmanında birden fazla işlem elemanı olabilir. Bu işlem elemanları tek çıktı verebilirler ve bir önceki katmanda bulunan tüm işlem elemanlarına bağlıdır [56].

### 1.7.2.2. ÇKA Ağının Öğrenme Kuralı

ÇKA ağları öğretmenli öğrenme modeline göre çalışırlar. Bu durum, ağlara eğitim sırasında hem girdilerin hem de o girdilere karşılık üretilmesi beklenen çıktıların ağa tanıtılması demektir. ÇKA ağının öğrenme kuralı en küçük kareler yöntemine dayalı Delta

Öğrenme Kuralının genelleştirilmiş halidir. O nedenle öğrenme kuralına Genelleştirilmiş Delta Kuralı da denmektedir. Ağın öğrenbilmesi için eğitim takımı adı verilen ve örneklerden oluşan bir veri takımına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veri takımında her örnek için hem girdiler hem de o girdiler için ağın üretmesi gereken çıktılar belirlenmiştir. Genelleştirilmiş Delta Kuralı iki safhadan oluşur. İlk safha ileri doğru hesaplama adı verilen ağın çıktısını hesaplama safhasıdır. İkinci safha ise geriye doğru hesaplama olarak bilinen ağırlıkları değiştirme safhasıdır [56]. Bu iki safhada gerçekleştirilen işlemler kısaca şu şekilde tanımlanabilir:

Adım 1. Ağırlıkların ilklendirilmesi: Rastgele küçük sayılar seçilerek gerçekleştirilir;

Adım 2. Örneklerin ağa girilmesi:  $y^k$  çıkış vektörüne karşılık gelen  $u^k$  giriş vektörü ağa girilir;

Adım 3. İleri doğru hesaplama safhası: İlk ara katmandan başlanır ve çıktı katmanına kadar ilerlenir;

Adım 3.1. L katmanındaki işlem elemanları için net girdiler hesaplanır:

Adım 3.1.1. L-1 giriş katmanı ise

$$a_{h_L}^k = \sum_{j=0}^N w_{jh_L} u_j^k \quad (1.25)$$

Adım 3.1.2. L-1 ara katmanı ise

$$a_{h_L}^k = \sum_{j_{L-1}=0}^{N_{L-1}} w_{j_{L-1}h_L} u_{j_{L-1}}^k \quad (1.26)$$

Adım 3.2. L katmanındaki işlem elemanları için çıktı değerleri hesaplanır:

$$x_{h_L}^k = f_L(a_{h_L}^k) \quad (1.27)$$

Burada, değer çıkış tabakası için hesaplanacaksa  $h_L$  yerine  $i_0$  kullanılmalıdır ve  $f$  ise işlemci fonksiyonudur.

Adım 4. Çıktı hataları: çıktı tabakasındaki hata değerleri hesaplanır:

$$\delta_{i_0}^k = (y_{i_0}^k - x_{i_0}^k) f'(a_{i_0}^k) \quad (1.28)$$

Adım 5. Geriye doğru hesaplama safhası: Hata değerlerinin giriş katmanından başlayarak her L tabakası için geri yayılır:

$$\delta_{h_L}^k = f'(a_{h_L}^k) \sum_{i_{L+1}=0}^{N_{L+1}} \delta_{i_{L+1}}^k w_{h_L i_{L+1}}^k \quad (1.29)$$

Burada, değer çıkış tabakası için hesaplanacaksa  $h_L$  yerine  $i_0$  kullanılmalıdır.

Adım 6. Ağırlıkların değiştirilmesi: Ağırlıklar şu şekilde değiştirilmektedir:

$$w_{j_{(L-1)}h_L}(t+1) = w_{j_{(L-1)}h_L}(t) + \gamma \delta_{h_L}^k x_{j_{(L-1)}}^k + \eta [w_{j_{(L-1)}h_L}(t) - w_{j_{(L-1)}h_L}(t-1)] \quad (1.30)$$

burada  $\gamma$  öğrenme katsayısını ve  $\eta$  ise momentum katsayısını ifade etmektedir.

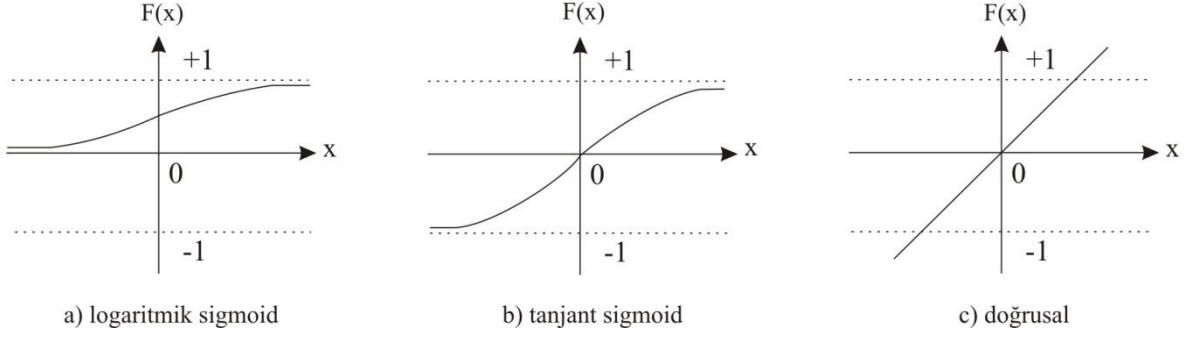
Adım 7. Verilen iterasyon sayısına veya toplam karesel hata değerine ulaşıncaya kadar 2.-6. adımlar tekrar edilir. Toplam karesel hata şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\langle E^k \rangle = \left\langle \frac{1}{2} \sum_{i_0=1}^M (y_{i_0}^k - x_{i_0}^k)^2 \right\rangle \quad (1.31)$$

Burada, ara katman işlem elemanları ve çıktı katmanı işlem elemanları arasında yapılan işlemleri tanımlamada sırasıyla L ve o alt indisleri kullanılmıştır. Bunun yanında, giriş ve çıkış tabakalarını ifade etmek için j ve i, ara tabakaları ifade etmek için ise h alt indisleri kullanılmıştır [65].

Yukarıda denklem 1.27'de geçen işlemci fonksiyonları içerisinde en sık kullanılan logaritmik sigmoid işlemci fonksiyonudur (Şekil 1.12). Bu fonksiyonun çıktısı 0 ile 1 arasında değişmektedir ve matematiksel ifadesi şu şekildedir:

$$F(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (1.32)$$



Şekil 1.12. İşlemci fonksiyonları [66].

Diğer bir fonksiyonda tanjant sigmoid fonksiyonudur ve Şekil 1.12’de görülmektedir. Bu fonksiyonda farklı olarak çıktı değerleri -1 ile 1 arasında değişmektedir. Matematiksel ifadesi ise şu şekildedir:

$$F(x) = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{-2x}} \quad (1.33)$$

Daha az kullanılan fonksiyonlardan birisi de doğrusal fonksiyondur (Şekil 2.12) [66]. Matematiksel ifadesi aşağıda gösterildiği gibidir:

$$F(x) = A \cdot x \quad (1.34)$$

Burada A sabit bir katsayıdır.

### 1.7.2.3. ÇKA Ağının Çalışma Adımları

ÇKA ağlarının çalışması şu adımları içermektedir:

- Örneklerin toplanması; ağın çözmesi istenilen olay için daha önce gerçekleştirilmiş örneklerin bulunması adımıdır. Ağın eğitilmesi için örnekler toplandığı gibi (eğitim takımı) ağın denenmesi için de örneklerin (deneme takımı) toplanması gerekmektedir. Ağın eğitilmesi sırasında deneme takımı ağa hiç gösterilmez. Eğitim takımındaki örnekler tek tek gösterilerek ağın olayı öğrenmesi sağlanır. Ağ olayı öğrendikten sonra, deneme takımındaki örnekler gösterilerek

ağın becerisi ölçülür. Hiç görmediği örnekler karşısındaki başarısı ağın iyi öğrenip öğrenmediğini ortaya koymaktadır.

- Ağın topolojik yapısının belirlenmesi; öğrenilmesi istenen olay için oluşturulacak olan ağın topolojik yapısının oluşturulduğu adımdır. Kaç tane girdi ünitesi, kaç tane ara katman, her ara katmanda kaç tane işlem elemanı ve kaç tane çıktı elemanı olması gerektiği bu adımda belirlenmektedir.
- Öğrenme parametrelerinin belirlenmesi; ağın öğrenme katsayısı, momentum katsayısı ve işlem fonsiyonlarının belirlendiği adımdır.
- Ağırlıkların başlangıç değerlerinin atanması; işlem elemanlarını birbirlerine bağlayan ağırlık değerlerinin ve eşik değer ağırlıklarının başlangıç değerlerinin atanmasının yapıldığı adımdır. Başlangıçta genellikle rastgele değerler atanır. Daha sonra ağ uygun değerleri öğrenme sırasında kendisi belirler.
- Öğrenme takımından örneklerin seçilmesi ve ağa gösterilmesi; ağın öğrenmeye başlaması ve öğrenme kuralına uygun olarak ağırlıkları değiştirmesi için ağa örneklerin (Girdi/Çıktı değerleri) belirli bir düzende gösterildiği adımdır.
- Öğrenme sırasında ileri hesaplamaların yapılması; sunulan girdiler için çıktılarının hesaplandığı adımdır.
- Gerçekleşen çıktının beklenen çıktı ile karşılaştırılması; ağın ürettiği hata değerlerinin hesaplandığı adımdır.
- Ağırlıkların değiştirilmesi; geri hesaplama yöntemi uygulanarak üretilen hatanın azalması için ağırlıkların değiştirilmesi yapılır.

Yukarıdaki adımlar ağın öğrenmesi tamamlanıncaya kadar, yani gerçekleşen çıktılar ile beklenen çıktılar arasındaki hatalar kabul edilir düzeye ininceye kadar devam eder. Ağın öğrenmesi için bir durdurma kriteri olması gerekmektedir. Bu ise genellikle üretilen hatanın belirli bir düzeyin altına düşmesi olarak alınmaktadır [56].

## **2. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

### **2.1. Giriş**

Bir limanın temel işlevi; gemilere güvenli demirleme imkânı sağlamak ve kara ile gemiler arasındaki yolcu ve yük alışverişini sorunsuz ve gecikmesiz olarak gerçekleştirmektir. Limanların bu görevi yerine getirebilmeleri için liman içerisinde belli bir sakinlik (korunaklılık) düzeyinde olması gerekmektedir. Liman içi sakinliğinin kabul edilebilir sınırların içinde kalması sadece emniyetli demirleme için değil, aynı zamanda güvenli ve ekonomik bir liman işletmeciliği için de hayati bir öneme sahiptir. Dalga şartları (yönü, periyodu ve yüksekliği) ile mendirek ve rıhtım gibi liman yapıları, liman içindeki sakinliği (çalkantı miktarını) önemli derecede etkilemektedir.

Kıyı problemlerinin laboratuvar model çalışmalarıyla incelenmesi, tüm dünyada yaygın olarak kullanılan tekniklerden biridir. Kıyı mühendisliği problemleri birçok değişken içermekte ve karmaşık bir yapı oluşturmaktadır. Bu nedenle, bir kıyı probleminin incelenmesinde öncelikli tercih arazi ölçümleri olmalıdır. Bu ölçümler olmadığı takdirde, o bölgenin özelliklerini dikkate alarak fiziksel veya sayısal model çalışmaları yapılmaktadır. Fiziksel modelleme, bazı ölçeklendirme hatalarını beraberinde getirmesine karşın, pek çok problemin çözümünde başarıyla uygulanmaktadır [41, 49, 67, 68, 69].

Bu çalışmada; farklı dalga ve mendirek özellikleri kullanılarak, örnek bir yat ve yük limanı için, liman içi çalkantı miktarları fiziksel model çalışması ile belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar YSA modeli ile irdelenmiştir. YSA modelinde, deneme ve doğrulama aşamalarında kullanılan deneyler için MIKE 21 BW paket programı yardımıyla sayısal model gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar fiziksel model ve YSA sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

### **2.2. Fiziksel Model Çalışmaları**

Fiziksel model çalışmaları, KTÜ İnşaat Mühendisliği Hidrolik Laboratuvarı'nın üç boyutlu dalga havuzunda gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.1. Model Ölçeği

Doğadaki olayları laboratuvar ortamında incelemek için çeşitli büyüklükleri belirli oranlarda küçültmek gerekmektedir. İncelenecek olaya göre, model tekniği (Froude, Reynold, Weber, Cauchy, Euler) seçilir ve bu tekniğe göre model büyüklükleri belirlenir [41]. Kıyı mühendisliği problemlerinde genelde ya yerçekimi ya da viskoz kuvvetler hakim olduğundan, Froude ve Reynolds sayıları çoğunlukla kullanılan ölçek şartları olarak ön plana çıkmaktadır. Bu sayıların geometrik benzeşimi ile birlikte sağlanması hidrodinamik benzeşim için gerekli şartların oluşmasına neden olacaktır [31]. Liman içi çalkantı çalışmalarında yer çekimi kuvvetleri etkili olduğundan, bu çalışmada Froude Modeli kullanılmıştır.

Seçilen model tekniğinde, ölçek büyüklüğünü belirlemede en önemli etkenler; modellenecek işin cinsi, laboratuvar düzeneğinin durumu ve kullanılacak malzemenin özellikleridir. Model ölçeğinin mümkün olduğu kadar büyük seçilmesi ve hatta bire bir modelleme yapılması ideal çözümü vermesine rağmen, ekonomiklik ve oldukça büyük zaman kayıpları da göz önüne alındığında, kıyı modellemeleri için 1/150'ye kadar küçük model ölçeklerinin kullanılabileceği belirtilmiştir [67].

Çalışmadaki model deneyleri, distorsiyonsuz olarak geometrik benzeşim ilkesi ve Froude Modeli kuramına göre gerçekleştirilmiştir. Fiziksel model ölçeği, deney havuzu boyutları ile liman boyutları ve dalga yönünün limana göre konumları dikkate alınarak, mümkün olabilen en büyük uzunluk ölçeği olan  $L_r=1/100$  olarak seçilmiştir. Froude Modelinin esası, tabiattaki (prototipteki) ve modeldeki (laboratuardaki) Froude Sayılarının eşit olması prensibine dayanmaktadır:

$$(F_r)_p = \frac{V_p}{\sqrt{g_p y_p}} = (F_r)_m = \frac{V_m}{\sqrt{g_m y_m}} \quad (2.1)$$

Burada;  $F_r$  Froude Sayısını,  $V$  hızı,  $g$  yerçekimi ivmesini,  $y$  su derinliğini,  $p$  prototipteki değerleri ve  $m$  modeldeki değerleri göstermektedir. Froude Modeli prensibine göre, uzunluk ölçeği  $L_r$  olan bir deneyde, zaman ( $T$ ) ve kuvvet ( $F$ ) ölçekleri şöyle hesaplanır:

$$T_r = (L_r)^{0.5}, \quad F_r = (L_r)^3 \quad (2.2)$$



Buna göre deneylerde dalga yüksekliği ölçeği  $H_r=1/100$  ve dalga periyodu ölçeği ise  $T_r=(1/100)^{0.5}=1/10$  olmaktadır.

### 2.2.2. Dalga Şartları

Liman içi çalkantı deneylerinde; meydana gelme ihtimali çok az olan en uç dalgaların kullanılması yerine, yüksekliği daha küçük, fakat oluşma ihtimali daha yüksek olan dalgaların hesaba katılması gerekmektedir [14].

Çalışma kapsamında dalga özellikleri belirlenirken, “Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası” [70] isimli kaynaktan yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında örnek deniz tabanı olarak seçilen Trabzon Yat Limanı'nın konumlandığı liman bölgesine en yakın alan olan  $41.25^\circ$  Kuzey Enlemi ve  $39.80^\circ$  Doğu Boylamı'nın dalga verileri dikkate alınmıştır. Buna göre, etkin dalga yönleri kuzeybatı ve batı-kuzeybatı'dır. Bunun yanında, yıllık en büyük dalga yüksekliklerinin en büyük değerler istatistiği oluşturulurken dikkate alınan etken yön dilimi batı-kuzeybatı ile kuzey arasındadır. Bu bilgilerden yararlanılarak çalışmada, kuzey ve kuzeydoğu olmak üzere iki yönden gelen dalgalar dikkate alınmıştır. Kuzeybatı ve batı-kuzeybatı dalga yönünden gelen dalgaların oluşturacağı çalkantı miktarının çok düşük olacağı öngörüsüyle bu yönler dikkate alınmamıştır. Kuzeydoğu yönü ise kuzey ve kuzeydoğu aralığında oluşacak çalkantı miktarını tahmin etme kolaylığı sağlayacağından ve bu dalga yönünde kırımının etkisinin daha az olmasından dolayı tercih edilmiştir.

Dalga yönlerinin liman konumuna göre liman içinde oluşturacağı etkiyi daha iyi ifade etmek için dalga şartlarında değişken olarak dalga yönü yerine dalga dikinin ana mendirek ile yaptığı açı olan  $\theta$  dikkate alınmıştır.

Çalışmada iki farklı  $\theta$  açısı (yat limanı için  $91.5^\circ$  ve  $136.5^\circ$ , yük limanı için  $79.2^\circ$  ve  $124.2^\circ$ ) oluşturacak şekilde iki yönde olmak üzere; 1, 2, 3, 4 ve 5 cm yüksekliğinde ve 0.8 ve 1 s periyodunda 20 adet farklı dalga durumu kullanılmıştır (Tablo 2.1). Kullanılan en büyük dalga yüksekliği 5 cm'dir. Bu dalga yüksekliğinin oluşma ihtimali 10 yılda birdir. Dalga periyodu Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası'nda [70] bulunan derin deniz dalga yüksekliği periyot dağılımı grafiği dikkate alınarak belirlenmiştir. Laboratuvar ortamında dalgalar düzenli olarak üretilmiştir.

Tablo 2.1. Fiziksel modelde kullanılan dalga özellikleri

Dalga dikinin ana mendirek ile yaptığı açı ( $\theta$ )		Dalga periyodu (T) (s)	Dalga yüksekliği ( $H_0$ ) (cm)
Yat limanı	Yük limanı		
91.5°	79.2°	0.8	1.0
136.5°	124.2°	1.0	2.0
			3.0
			4.0
			5.0

### 2.2.3. Ana Mendirek Özellikleri

Bir limanın ana mendireğinin yönü ve uzunluğu, liman içinde oluşacak çalkantı miktarı için oldukça önemlidir. Ana mendireğin kısa olması durumunda liman içerisinde oluşan çalkantı miktarı artarken, uzun olduğu durumda proje maliyeti önemli derecede artmaktadır.

Çalışma kapsamında yukarıda bahsedilen durumlar dikkate alınarak ana mendirek uzunlukları; yat limanı için 720, 750 ve 780 cm, yük limanı için ise 1275, 1330 ve 1385 cm olarak dikkate alınmıştır.

### 2.2.4. Tali Mendirek Özellikleri

Bir limanın tali mendireğinin yönü ve uzunluğu da, liman içinde oluşacak çalkantı miktarı için oldukça önemlidir. Tali mendireğin kısa olması durumu liman içerisinde oluşan çalkantı miktarını yükseltirken, uzun olduğu durumda ise proje maliyetini arttırmaktadır. Bunun yanında; tali mendireğin uzunluğu, limanın hizmet edeceği gemi büyüklüğüne göre belirlenen en küçük liman giriş ağzı genişliği değeri tarafından da sınırlandırılmaktadır.

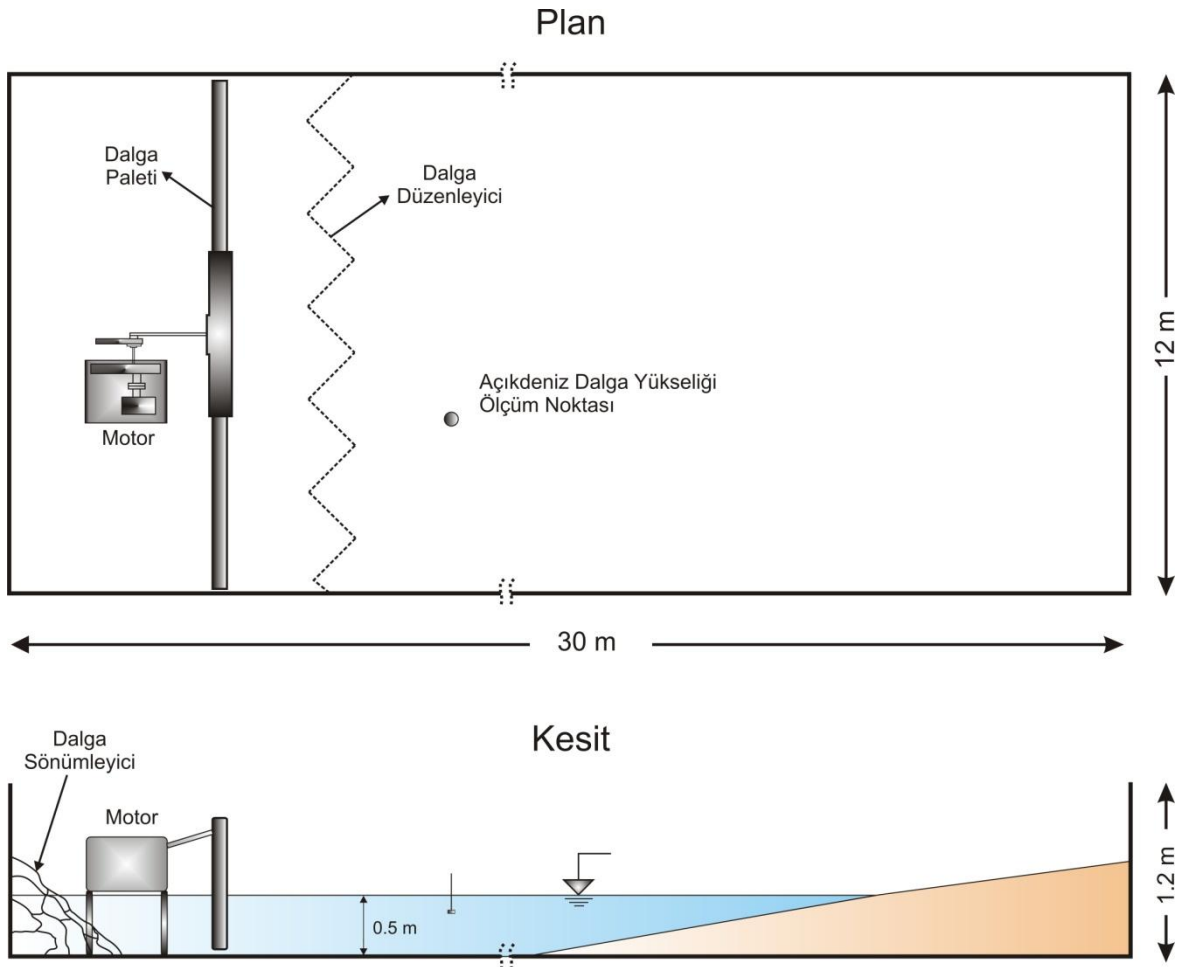
Yukarıda belirtilen şartlar dikkate alınarak tali mendirek uzunlukları; yat limanı için 75, 100 ve 125 cm, yük limanı için ise 467, 492 ve 517 cm olarak dikkate alınmıştır.

### 2.2.5. Dalga Havuzu ve Donanımı

Fiziksel modelleme çalışmaları plan ve kesiti Şekil 2.1'de görülen üç boyutlu dalga havuzunda gerçekleştirilmiştir. Dalga havuzunun boyu 30 m, eni 12 m ve yüksekliği 1.2 m

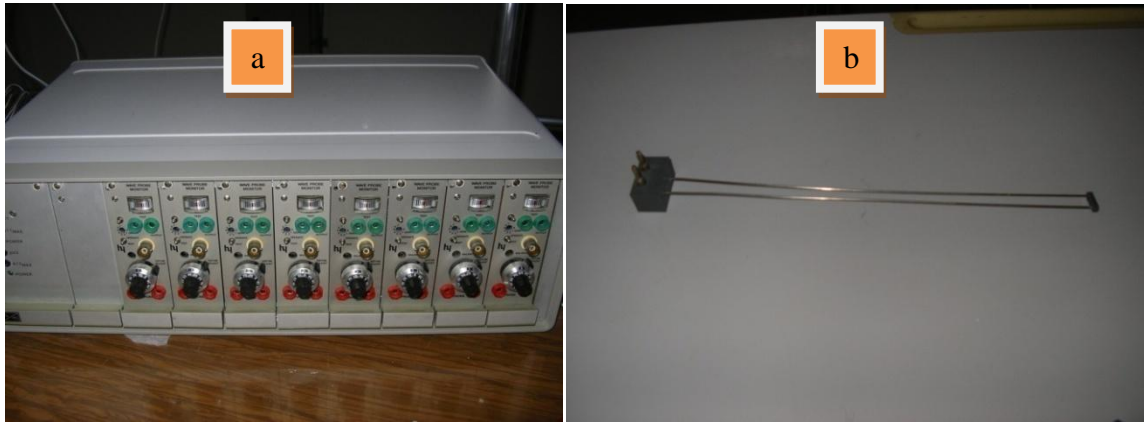
olan betonarme bir yapıdır. Havuzda; dalga üreten bir motor, motor hızını ayarlamak için kullanılan değişken redüktör (ayarlayıcı), sabit hız düşürücü dişli kutusu ve palet sistemi bulunmaktadır. Bunun yanında, palet arkasında oluşan yansımanın sönmülmesi için kırma taşlardan oluşturulmuş geçirimli bir duvar ve dalga paleti tarafından üretilen dalgaların düzenliliğini korumak için kanala dik kesitte çapraz olarak delikli tel yerleştirilmiştir.

Dişli kutusu flanşına mafsallı olarak bağlı sonsuz vidalı bir kol yardımıyla, paletin öne ve arkaya yatış açısı ayarlanarak dalga yüksekliği, motor hızı değiştirilerek de dalga periyodu ayarlanabilmektedir. Dalga üretimi için kullanılan varyatörlü elektrik motoru 10 Hp gücündedir ve motorun dönüş hızı 50-400 devir/dakika arasında değişmektedir. Bu sistemle, yüksekliği 1-10 cm, periyodu 0.6-2.0 s arasında değişen düzenli dalgalar üretilmektedir.



Şekil 2.1. Dalga havuzu plan ve kesiti

Dalga yüksekliğini ölçmek için, gerilim farklarından dalga yüksekliğini tespit eden elektronik cihaz kullanılmıştır (Şekil 2.2a). Havuz içine yerleştirilen, birbirine paralel olarak bağlanmış iki adet paslanmaz çelik uçtan oluşan deney çubuklarından (Şekil 2.2b) gelen gerilim farkları; önce bu elektronik cihaza, daha sonra da PLC (programlanabilir lojik kontrolör) yardımıyla bilgisayara gönderilmiş ve SCADA (veri tabanlı kontrol ve gözetleme sistemi) yazılımı ile dalga yükseklikleri belirlenmiştir. Ölçüm sisteminin hassasiyeti 0.01 mm olarak ayarlanmıştır. Dalga periyodu ise kronometre ile ölçülmüştür.



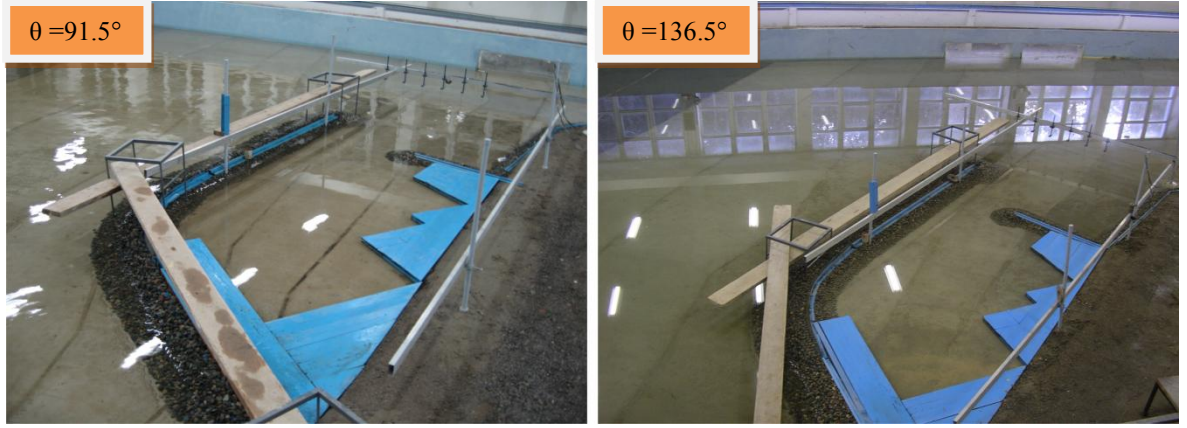
Şekil 2.2. Dalga yüksekliği ölçüm sistemi ekipmanları

### 2.2.6. Deneylerin Yapılışı ve Ölçüm Sistemi

Deney havuzuna ilk önce deniz taban topografyası uygulanmıştır. Deniz taban topografyası çok değişkenlik gösteren bir yapıya sahiptir. Bu nedenle bu konuda genelleme yapmak oldukça zordur. Bu çalışmada, örnek deniz taban topografyası olarak Trabzon Yat Limanı'nın konumlandığı  $41^{\circ} 00' 20''$  Kuzey Enlemi,  $39^{\circ} 77' 77''$  Doğu Boylamı ile  $40^{\circ} 99' 79''$  Kuzey Enlemi,  $39^{\circ} 78' 63''$  Doğu Boylamı koordinatları arasında kalan kıyı bölgesi seçilmiştir. Taban topografyası, Trabzon Yat Limanı planının da bulunduğu pafta içerisinde DLH (Demiryolları Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı) Trabzon Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Yat limanı için deniz tabanı aynen uygulanmış, yük limanı için ise liman içi ve giriş ağzı -13 cm'ye taranmıştır. Taban topografyası oluşturulurken, ilk önce eş derinlik eğrilerini temsil eden ahşap çiteler 20 cm derinliğe kadar tabana sabitlenmiş daha sonra araları beton doldurulmuştur.

Deney havuzunun boyutları ve model ölçeği dikkate alınarak, derin deniz su derinliği 50 cm olarak seçilmiş ve taban topografyası buna göre teşkil edilmiştir.

Taban topografya oluşturma işlemi yat limanında  $\theta$ 'nın  $91.5^\circ$  ve  $136.5^\circ$  olduğu durumlar için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Her iki yön için ayrı ayrı olmak üzere, oluşturulan taban üzerine ana ve tali dalgakıranlar, rıhtımlar ve diğer yapılar yerleştirilerek üç boyutlu modelleme yapılmıştır. Şekil 2.3'te yat limanı için oluşturulan modelin her iki yön için durumu, Şekil 2.4'te ise yük limanı için oluşturulan modeller verilmektedir.



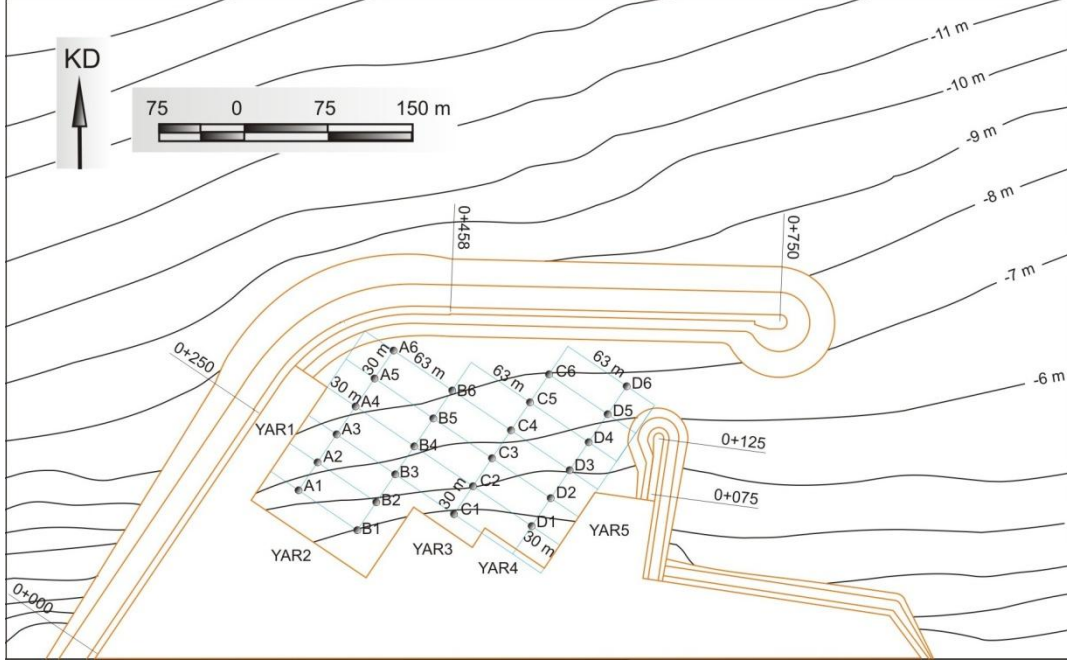
Şekil 2.3. Yat limanı için üç boyutlu model



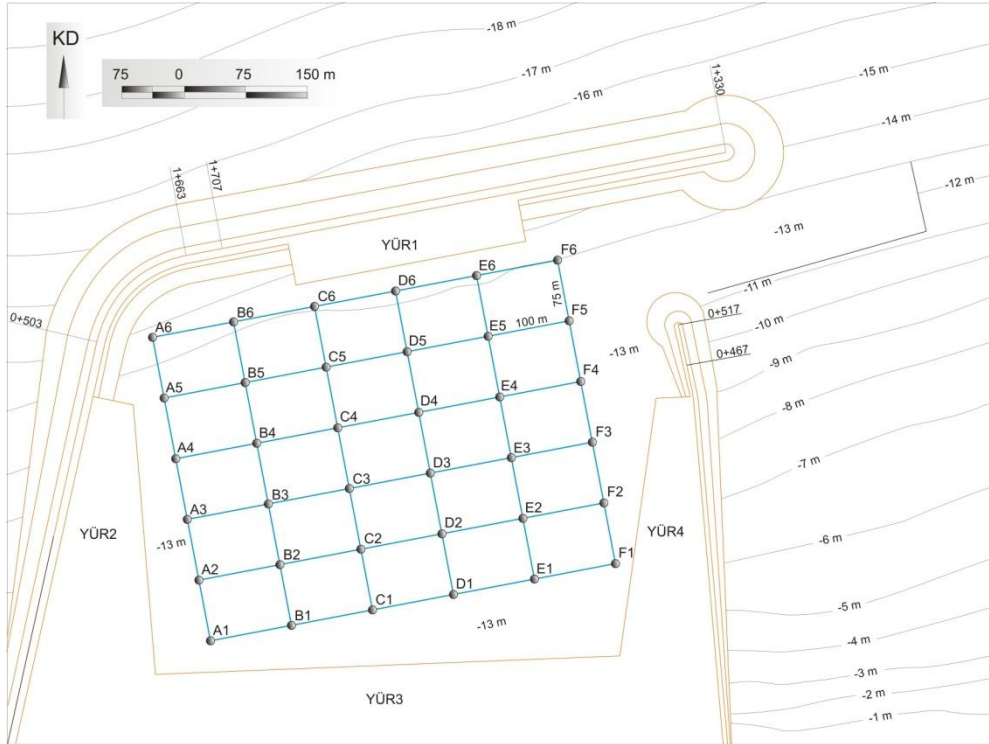
Şekil 2.4. Yük limanı için üç boyutlu model

Derin denizde üretilen dalga yükseklikleri ile liman baseninin çeşitli noktalarında meydana gelen çalkantı miktarları ölçülerek bilgisayara kaydedilmiştir. Her deneyde aynı noktalardan ölçüm alınabilmesi için liman baseni yatayda ve düşeyde ayrı büyüklükte olmak üzere eşit aralıklı dilimlere bölünmüştür. Liman baseninde ölçüm yapılan noktalar

ve ölçüm aralıkları yat limanı için Şekil 2.5'te, yük limanı için ise Şekil 2.6'da verilmektedir.



Şekil 2.5. Yat limanı için ölçüm noktaları



Şekil 2.6. Yük limanı için ölçüm noktaları

### 2.2.7. Yapılan Deneyler

Deney havuzuna, her iki liman için ayrı iki yönde olmak üzere dört farklı deniz tabanı oluşturarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde ana ve tali mendirek için üç farklı uzunluk kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan dalgalar ise iki farklı yön için iki farklı periyot ve beş farklı dalga yüksekliği kullanılarak elde edilmiştir. Deneylerde kullanılan değişkenler yat limanı için Tablo 2.2’de, yük limanı için Tablo 2.3’te ayrıntılı biçimde verilmektedir. Çalışmanın bundan sonraki kısmında, deney numaralarının karışmaması için yat limanı ile ilgili deneylere YA, yük limanı ile ilgili deneylere ise YÜ ön ekleri eklenecektir.

Tablo 2.2. Yat limanı için deneylerde kullanılan değişkenlerin özellikleri

Deney No	Dalganın ana mendirek ile yaptığı açısı ( $\theta$ )	Ana mendirek boyu (cm)	Tali mendirek boyu (cm)	Dalga periyodu (T) (s)	Dalga yüksekliği ( $H_0$ ) (cm)
1-5	136.5°	720	75	0.8	1-5
6-10				1.0	1-5
11-15			100	0.8	1-5
16-20				1.0	1-5
21-25			125	0.8	1-5
26-30		1.0		1-5	
31-35		750		75	0.8
36-40			1.0	1-5	
41-45			100	0.8	1-5
46-50				1.0	1-5
51-55			125	0.8	1-5
56-60		1.0		1-5	
61-65		780		75	0.8
66-70			1.0	1-5	
71-75			100	0.8	1-5
76-80	1.0			1-5	
81-85	125		0.8	1-5	
86-90		1.0	1-5		
91-95		91.5°	720	75	0.8
96-100	1.0				1-5
101-105	100			0.8	1-5
106-110				1.0	1-5
111-115	125			0.8	1-5
116-120			1.0	1-5	
121-125			750	75	0.8
126-130	1.0			1-5	
131-135	100			0.8	1-5
136-140				1.0	1-5
141-145	125			0.8	1-5
146-150			1.0	1-5	
151-155			780	75	0.8
156-160	1.0			1-5	
161-165	100			0.8	1-5
166-170		1.0		1-5	
171-175	125	0.8		1-5	
176-180		1.0	1-5		

Tablo 2.3. Yük limanı için deneylerde kullanılan değişkenlerin özellikleri

Deney No	Dalga'nın ana mendirek ile yaptığı açı ( $\theta$ )	Ana mendirek boyu (cm)	Tali mendirek boyu (cm)	Dalga periyodu (T) (s)	Dalga yüksekliği ( $H_0$ ) (cm)	
1-5	124.2°	1275	467	0.8	1-5	
6-10				1.0	1-5	
11-15			0.8	1-5		
16-20			1.0	1-5		
21-25			0.8	1-5		
26-30		1.0	1-5			
31-35		1330	467	0.8	1-5	
36-40				1.0	1-5	
41-45			0.8	1-5		
46-50			1.0	1-5		
51-55	0.8		1-5			
56-60	1.0	1-5				
61-65	79.2°	1385	467	0.8	1-5	
66-70				1.0	1-5	
71-75			0.8	1-5		
76-80			1.0	1-5		
81-85			0.8	1-5		
86-90		1.0	1-5			
91-95		1275	1330	467	0.8	1-5
96-100					1.0	1-5
101-105				0.8	1-5	
106-110				1.0	1-5	
111-115	0.8			1-5		
116-120	1.0		1-5			
121-125	1385		467	0.8	1-5	
126-130				1.0	1-5	
131-135			0.8	1-5		
136-140			1.0	1-5		
141-145		0.8	1-5			
146-150	1.0	1-5				
151-155	1385	1330	467	0.8	1-5	
156-160				1.0	1-5	
161-165			0.8	1-5		
166-170			1.0	1-5		
171-175			0.8	1-5		
176-180		1.0	1-5			

### 2.3. YSA Model Çalışmaları

Yapay zeka tekniklerinden biri olan yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirmek amacı ile geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Teknik olarak bir yapay sinir ağının en temel görevi, kendisine gösterilen bir girdi takımına karşılık gelebilecek bir çıktı takımı belirlemektir. Bunu yapabilmesi için ağ, ilgili olayın örnekleri ile eğitilerek (öğrenme) genelleme



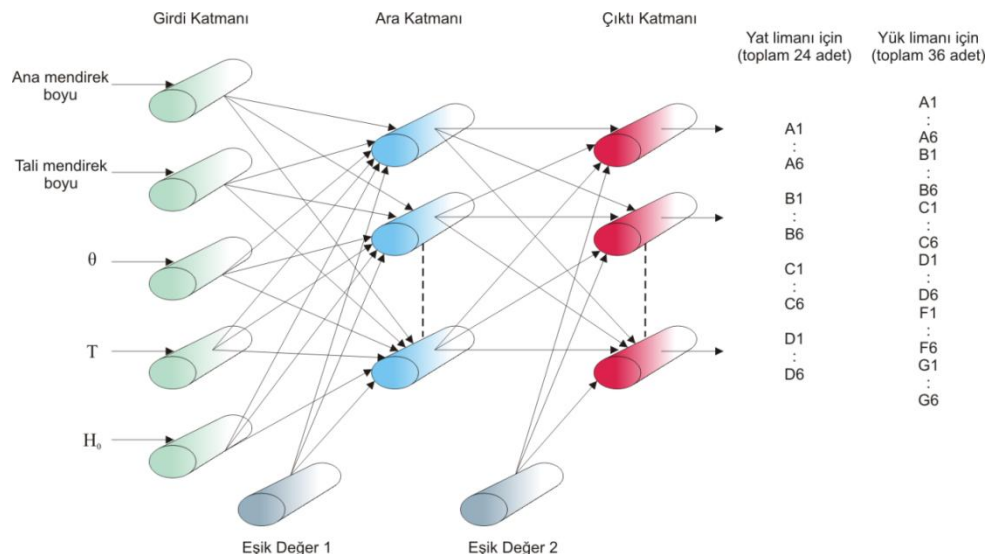
yapabilecek yeteneğe kavuşturulur. Bu genelleme ile benzer olaylara karşılık gelen çıktı takımları belirlenir [56].

Çalışma kapsamında liman içi çalkantıları için elde edilen fiziksel model sonuçları kullanılarak YSA modeli tasarlanmıştır. YSA modelinde veriler eğitim, deneme ve doğrulama veri takımı olarak üç bölüme ayrılmıştır. Her iki liman için ayrı ayrı olmak üzere, fiziksel model kapsamında yapılan toplam 180 adet deneyin 144 adeti modelin eğitim takımında, 24 adeti deneme takımında ve 12 adeti ise model sonuçlarının doğrulanmasında kullanılmıştır. Deneme ve doğrulama için ayrılan veriler seçilirken, seçilen verilerin tüm verileri temsil etmesine ve eğitim aşamasına olumsuz etki etmemesine dikkat edilmiştir.

### 2.3.1. YSA Modelinin Yapısı

Bu çalışmada kullanılan ÇKA modelinde; girdi katmanı, ara katmanlar ve çıktı katmanı olmak üzere üç katman mevcuttur. Her iki liman için oluşturulan YSA modelinin mimarisi Şekil 2.7’de verilmektedir.

Girdi katmanında, her iki liman içinde beş değişken kullanılmıştır. Ara katman sayısı ise bir ve iki olarak iki farklı şekilde seçilmiştir. Çıktı katmanındaki eleman sayısı, yat limanı için 24, yük limanı için ise 36’dır. Bu farklılık, fiziksel model sırasında liman içerisinden ölçüm alınan nokta sayısının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.



### 2.3.2. YSA Modeli Girdileri

YSA modeli oluşturulurken; 144 adet veri eğitim takımında, 24 adet veri deneme takımında ve 12 adet veri de doğrulama takımında kullanılmıştır. Deneme takımında ve doğrulama takımında kullanılan verilere ait deneyler yat limanı için Tablo 2.4'te, yük limanı için ise Tablo 2.5'te verilmektedir.

Tablo 2.4. Yat limanı için deneme ve doğrulama takımında kullanılan deneylerin özellikleri

Deney No	Dalğanın ana mendirek ile yaptığı açı ( $\theta$ )	Ana mendirek boyu (cm)	Tali mendirek boyu (cm)	Dalga periyodu (T) (s)	Dalga yüksekliği ( $H_0$ ) (cm)
Yat limanı (deneme takımı)					
YA04	136.5°	720	75	0.8	4
YA09			75	1.0	4
YA19			100	1.0	4
YA23			125	0.8	3
YA40			75	1.0	5
YA44		750	100	0.8	4
YA49			100	1.0	4
YA57			125	1.0	2
YA65			75	0.8	5
YA78			100	1.0	3
YA87	125	1.0	2		
YA94	91.5°	720	75	0.8	4
YA97			75	1.0	2
YA107			100	1.0	2
YA114			125	0.8	4
YA119			125	1.0	4
YA122		750	75	0.8	2
YA125			75	0.8	5
YA137			100	1.0	2
YA144			125	0.8	4
YA153			75	0.8	3
YA156	780	75	1.0	1	
YA164		100	0.8	4	
YA172		125	0.8	2	
Yat limanı (doğrulama takımı)					
YA08	136.5°	720	75	1.0	3
YA25			125	0.8	5
YA52		750	125	0.8	2
YA59			125	1.0	4
YA67			780	75	1.0
YA73	100	0.8		3	
YA102	91.5°	720	100	0.8	2
YA109			100	1.0	4
YA126		750	75	1.0	1
YA133	100		0.8	3	
YA158	780		75	1.0	3
YA175			125	0.8	5

Tablo 2.5. Yük limanı için deneme ve doğrulama takımında kullanılan deneylerin özellikleri

Deney No	Dalga'nın ana mendirek ile yaptığı açı ( $\theta$ )	Ana mendirek boyu (cm)	Tali mendirek boyu (cm)	Dalga periyodu (T) (s)	Dalga yüksekliği ( $H_0$ ) (cm)
Yük limanı (deneme takımı)					
YÜ04	124.2°	1275	467	0.8	4
YÜ09			467	1.0	4
YÜ19			492	1.0	4
YÜ23			517	0.8	3
YÜ40			467	1.0	5
YÜ44		1330	492	0.8	4
YÜ49			492	1.0	4
YÜ57			517	1.0	2
YÜ65			467	0.8	5
YÜ78			492	1.0	3
YÜ87	1385	517	1.0	2	
YÜ94	79.2°	1275	467	0.8	4
YÜ97			467	1.0	2
YÜ107			492	1.0	2
YÜ114			517	0.8	4
YÜ119			517	1.0	4
YÜ122		1330	467	0.8	2
YÜ125			467	0.8	5
YÜ137			492	1.0	2
YÜ144			517	0.8	4
YÜ153			467	0.8	3
YÜ156	1385	467	1.0	1	
YÜ164		492	0.8	4	
YÜ172		517	0.8	2	
Yük limanı (doğrulama takımı)					
YÜ08	124.2°	1275	467	1.0	3
YÜ25			517	0.8	5
YÜ52		1330	517	0.8	2
YÜ59			517	1.0	4
YÜ67			1385	467	1.0
YÜ73	492	0.8		3	
YÜ102	79.2°	1275	492	0.8	2
YÜ109			492	1.0	4
YÜ126		1330	467	1.0	1
YÜ133			492	0.8	3
YÜ158			1385	467	1.0
YÜ175	517	0.8		5	

Bu çalışmada, liman içi çalkantılarını etkilediği düşünülen dalga özellikleri ve mendirek uzunluklarının farklı durumlarda kullanılmasından elde edilen fiziksel model sonuçları, YSA modelinde girdi olarak verilmektedir.

YSA modelinde girdi katmanı ile ara katman arasında işlemci fonksiyonu olarak tanjant sigmoid fonksiyonu diğer katmanlarda ise logaritmik sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyonlardan; tanjant sigmoid -1 ile 1 aralığında, logaritmik sigmoid

ise 0 ile 1 aralığında geçerli olduğundan, öğrenme hızını arttırmak için girdi ve çıktı katmanındaki veriler 0.1 ile 0.9 arasında normalize edilmiştir. Normalize işlemi şu şekilde yapılmıştır:

$$\text{Normalize değer} = \left[ \frac{\text{Gerçek değer} - \text{En küçük değer}}{\text{En büyük değer} - \text{En küçük değer}} \right] \times (0.9 - 0.1) + 0.1 \quad (2.3)$$

YSA'dan elde edilen sonuçları değerlendirebilmek için normalize işlemi tersine çevrilmiştir.

### 2.3.3. YSA Modelinin Eğitimi

YSA modelinde en iyi sonucu elde edebilmek için birçok işlem yapılabilmektedir. Bunlardan bazıları; ara katman sayısını arttırmak, ara katmanlardaki eleman sayısını artırıp azaltmak, iterasyon sayısını arttırmak ve öğrenme ve momentum katsayılarını değiştirmektir. Bu işlemlerle ilgili kabul görmüş bir yöntem bulunmamaktadır. Bu çalışmada kullanılan YSA modelinde; en iyi sonuca ulaşabilmek için, bir ve iki adet olmak üzere iki farklı ara katman sayısı, üç farklı ara katman eleman sayısı ve beşer farklı öğrenme ( $\gamma$ ) ve momentum katsayısı ( $\eta$ ) kullanılmıştır (Tablo 2.6). Ağ eğitiminde en büyük yineleme sayısı 20.000 olarak belirlenmiştir.

YSA modelinde ara katman sayısında, ara katmalarda kullanılan eleman sayılarında, öğrenme ve momentum katsayılarında ve iterasyon sayısında başka değişik durumlar da denenebilmektedir. Ancak değişik durumların denenmesi ile eğitim için harcanan vakit arasında ters orantı söz konusudur. Bu durum göz önüne alınarak, ağ eğitiminde Tablo 2.6'da verilen değişkenler kullanılmıştır.

Tablo 2.6. Farklı YSA mimarileri için kullanılan değişkenler

Ara Katmanda Bulunan Eleman Sayısı		Öğrenme Katsayısı ( $\gamma$ )	Momentum Katsayısı ( $\eta$ )
1. Katman	2. Katman		
		0.10	0.10
5	0	0.25	0.25
10	5	0.50	0.50
15	10	0.75	0.75
	15	1.00	1.00

## 2.4. Sayısal Model Çalışmaları

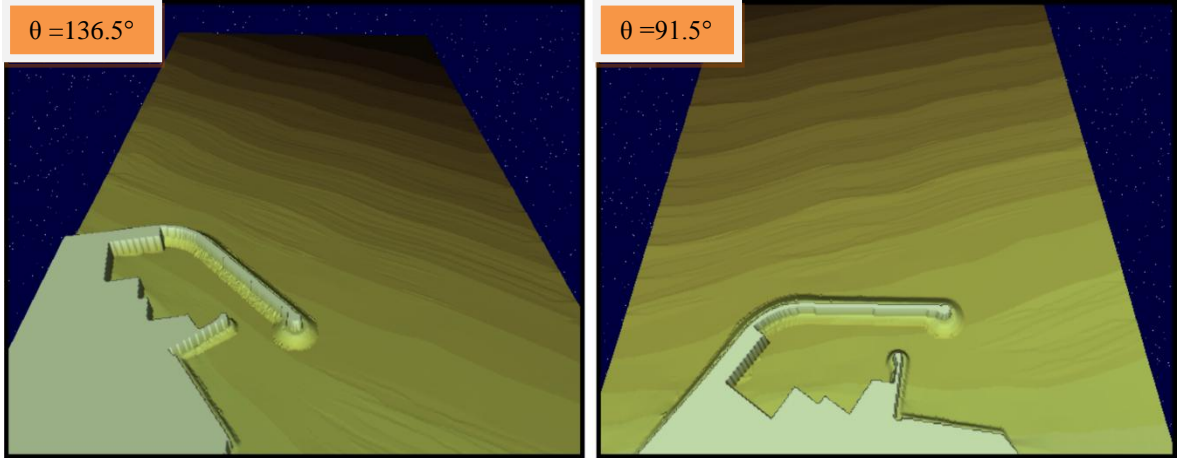
Çalışmada sayısal model olarak MIKE 21 BW paket programı kullanılmıştır. MIKE 21 BW modeli kıyı alanlarında ve limanlarda dalga hareketinin belirlenmesi ve değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Liman ve kıyı mühendisliğinin ilgilendiği tüm önemli dalga olaylarının birleşik etkisini dikkate alan bir özelliğe sahiptir [52].

Sayısal model çalışmalarında ilk olarak; sayısal modelin fiziksel model ile uyumunu belirlemek için, Önsoy vd. [14] tarafından gerçekleştirilen Ünye Ek Liman İnşaatı Uygulama Projesi'nden elde edilen fiziksel model verileri kullanılmıştır. Farklı dalga yüksekliği, dalga periyodu, dalga yönü ve rıhtım özelliklerine sahip 16 durum için Ünye Limanı'nın sayısal modeli gerçekleştirilmiş ve fiziksel model verileri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma toplam 36 ölçüm noktasındaki veriler için yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda, ortalama rölatif hata değeri yaklaşık olarak % 5.75 olarak elde edilmiştir. Rölatif hata değerleri hesaplanırken, tüm deney durumlarında uyumsuzluk gösteren iki nokta dikkate alınmamıştır. Sonuç olarak, sayısal model verileri ile fiziksel model verileri arasında bir uyum olduğu belirlenmiştir.

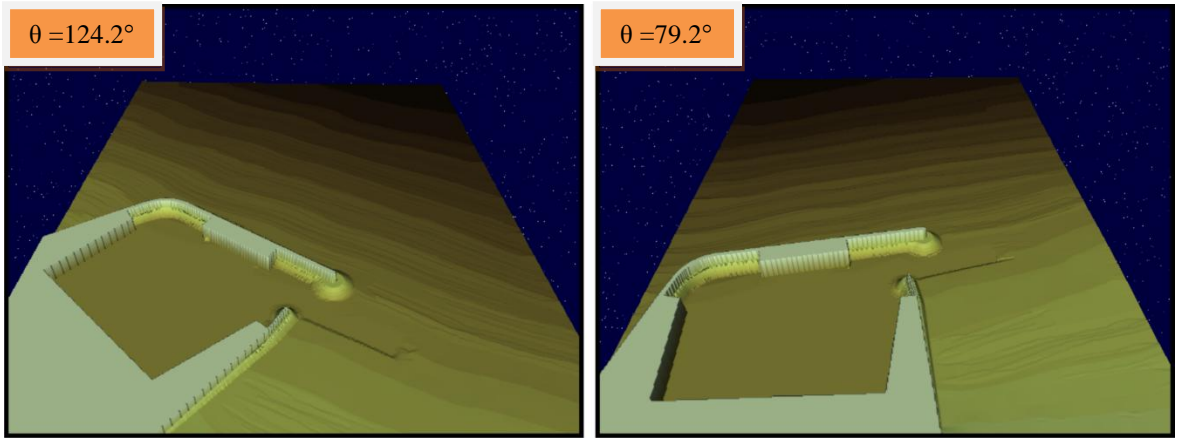
Sayısal model daha sonra çalışma kapsamında gerçekleştirilen örnek yat ve yük limanına uygulanmıştır. Yat ve yük limanı için ayrı ayrı olmak üzere, toplam 36'şar farklı durum için sayısal model gerçekleştirilmiştir. YSA modelinde deneme ve doğrulama takımı için kullanılan deney durumlarının sayısal modellenmesi yapılmıştır. Burada amaç YSA modelinden elde edilen sonuçların fiziksel ve sayısal model verileri ile karşılaştırılmasıdır. Modelin çalıştırılması üç ana bölümden oluşmaktadır.

### 2.4.1. Deniz Taban Topografyasının Oluşturulması

Deniz taban topografyası, yat limanı ve yük limanı için ayrı ayrı hazırlanmıştır. Yat limanda  $\theta$ 'nın  $91.5^\circ$  ve  $136.5^\circ$  olduğu durumlar için iki farklı, yük limanında ise  $\theta$ 'nın  $79.2^\circ$  ve  $124.2^\circ$  olduğu durumlar için iki farklı olmak üzere toplam dört farklı deniz taban topografyası hazırlanmıştır. Yat limanında ana mendirek uzunluğunun 750 m ve tali mendirek uzunluğunun 125 m olduğu durum için hazırlanan taban topografyasının üç boyutlu görünümü Şekil 2.8'de verilmektedir. Yük limanında ana mendirek uzunluğunun 1330 m ve tali mendirek uzunluğunun 492 m olduğu durum için hazırlanan taban topografyasının üç boyutlu görünümü Şekil 2.9'da verilmektedir.



Şekil 2.8. Yat limanı taban topografyasının üç boyutlu görünümü



Şekil 2.9. Yük limanı taban topografyasının üç boyutlu görünümü

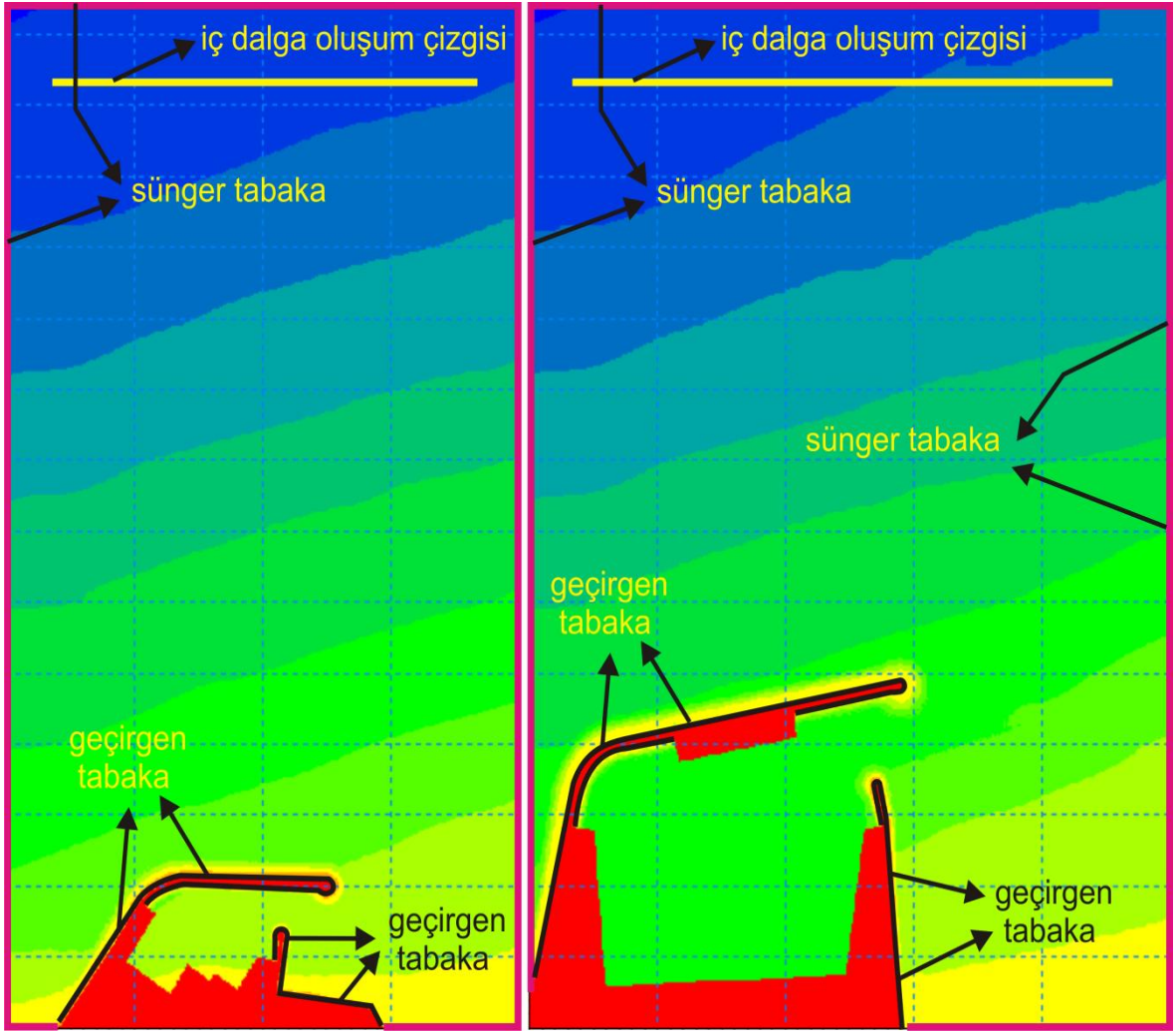
Modelleme alanının genişliği yat limanı için 1200 m, yük limanı için ise  $\theta=79.2^\circ$  durumunda 1650 m,  $\theta=124.2^\circ$  durumunda 1500 m olarak belirlenmiştir. Model alanının boyu her iki liman içinde 2165 m olarak seçilmiştir. Model alanı boyutları belirlenirken, hem dalganın liman içerisine gelene kadar herhangi bir dış etkiye maruz kalmamasına hem de çalışma rahatlığı için olabildiğince küçük olmasına dikkat edilmiştir.

#### 2.4.2. Giriş Verilerinin Oluşturulması

Model çalıştırılmadan önce, her bir durum için aşağıda belirtilen üç giriş verisi hazırlanmıştır:

- Sünger tabaka haritası
- Geçirgen tabaka haritası
- İç dalga oluşum verileri

Sünger tabaka haritası, dalganın yansımaya yapması istenmeyen bölgeleri dikkate alınarak oluşturulmuştur. Geçirgen tabaka haritası ise dalganın yansımaya oluşturacağı bölgeler dikkate alınarak hazırlanmıştır. Geçirgen tabakalardaki yansımaya katsayıları, yapının eğimi ve yapı önündeki dalga yükseklikleri göz önünde tutularak belirlenmiştir. İç dalga oluşum verileri açık deniz dalga verilerinden yararlanılarak elde edilmiştir. Şekil 2.10'da, oluşturulan sünger tabaka bölgeleri, geçirgen tabaka bölgeleri ve iç dalga oluşum çizgisi yat ve yük limanı için ayrı ayrı verilmektedir.



Şekil 2.10. Sayısal model giriş verilerinde dikkate alınan bölgeler

### 2.4.3. Modelin alıştırılması

Sayısal model yat ve yk limanı için ayrı ayrı olmak üzere, toplam 36'şar farklı durum için gerçekleştirilmiştir. YSA modelinde deneme ve doğrulama takımı için kullanılan deney durumlarının sayısal modellenmesi yapılmıştır. Modelleme yapılan deneylerdeki değişkenlerin özellikleri yat limanı için Tablo 2.4'te, yk limanı için ise Tablo 2.5'te verilmektedir. Modelin alışma süresi her bir durum için yaklaşık iki saat sürmüştür.



### **3. BULGULAR**

Bu bölümde, liman içi çalkantıları belirlemeye yönelik yapılan çalışmalarından elde edilen bulgular sunulmaktadır. Bu kapsamda, yat limanı için ölçüm alınan 24 noktadan, yük limanı için ölçüm alınan 36 noktadan elde edilen çalkantı değerleri çeşitli çalışmalarla incelenmiştir.

Dalga yüksekliği, periyodu ve yönü ile ana ve tali mendirek boyları dikkate alınarak fiziksel model çalışmaları gerçekleştirilmiş ve elde edilen liman içi çalkantı değerleri sunulmuştur.

Fiziksel model verileri YSA yöntemiyle incelenmiş, yöntemin girdi parametresi olan dalga şartları ( $H_0$ ,  $T$  ve  $\theta$ ) ve mendirek boyları ile çıktı parametresi olan liman içi çalkantı değerleri arasında ağ sistemi kurulmuş ve YSA modelinde deneme ve doğrulama takımlarında kullanılan deneyler için elde edilen değerler verilmiştir.

YSA yönteminde deneme ve doğrulama takımlarında kullanılan deney durumları için sayısal modelleme yapılmış ve bu deney durumları için elde edilen liman içi çalkantı değerleri sunulmuştur.

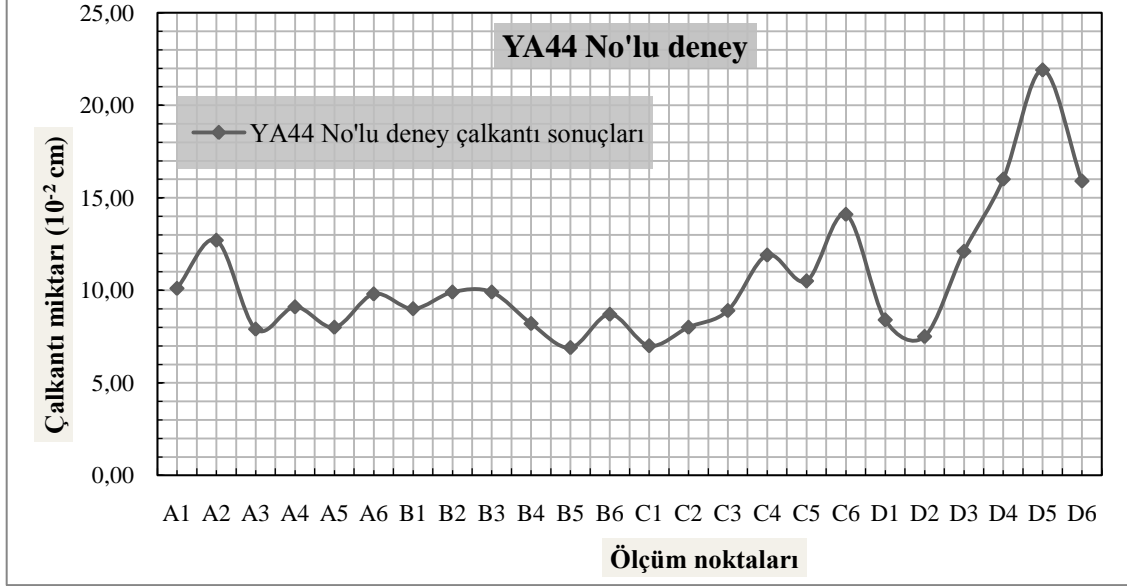
#### **3.1. Fiziksel Model Bulguları**

##### **3.1.1. Yat Limanı Fiziksel Model Bulguları**

Yat limanı için gerçekleştirilen fiziksel model çalışmalarında her deney durumu için liman içerisinde 24 noktadan ölçüm alınmıştır. Örnek olarak seçilen YA44 No'lu deney için hesaplanan liman içi çalkantı değerleri Şekil 3.1'de verilmektedir.

Tüm deney durumları için, liman içinde oluşan çalkantı değerlerinin ortalamaları ve en büyük değerleri  $\theta=136.5^\circ$  için Tablo 3.1'de ve  $\theta=91.5^\circ$  için Tablo 3.2'de verilmektedir.

Tablo 3.1 ve Tablo 3.2 incelendiğinde, ortalama çalkantı değerlerinin 0.27 ile 6.1 mm arasında, en büyük çalkantı değerlerinin ise 0.46 ile 13.53 mm arasında değerler aldığı görülmektedir.



Şekil 3.1. YA44 No'lu deney için elde edilen fiziksel model sonuçları

Tablo 3.1. Yat limanı için fiziksel modelden elde edilen çalkantı sonuçları ( $\theta=136.5^\circ$ )

Deney No	Ortalama (10 <sup>-2</sup> cm)	En Büyük Değer (10 <sup>-2</sup> cm)	Deney No	Ortalama (10 <sup>-2</sup> cm)	En Büyük Değer (10 <sup>-2</sup> cm)	Deney No	Ortalama (10 <sup>-2</sup> cm)	En Büyük Değer (10 <sup>-2</sup> cm)
YA01	4.1	10.8	YA31	3.1	6.2	YA61	3.8	8.7
YA02	5.7	12.9	YA32	4.0	9.2	YA62	5.6	12.1
YA03	8.7	20.0	YA33	6.9	14.0	YA63	8.7	15.5
YA04	12.6	24.4	YA34	8.9	16.9	YA64	11.0	24.3
YA05	13.2	30.0	YA35	16.4	31.0	YA65	15.0	25.0
YA06	5.4	12.7	YA36	7.1	16.4	YA66	5.0	8.8
YA07	10.9	18.9	YA37	10.1	22.2	YA67	6.7	12.0
YA08	16.2	29.2	YA38	13.8	29.5	YA68	8.7	19.8
YA09	22.0	48.4	YA39	12.3	19.4	YA69	13.1	19.3
YA10	31.3	64.1	YA40	23.6	35.6	YA70	23.3	37.2
YA11	3.7	9.3	YA41	2.7	4.6	YA71	2.8	4.8
YA12	7.1	17.3	YA42	3.5	6.3	YA72	4.7	8.0
YA13	10.0	18.6	YA43	6.3	13.6	YA73	7.2	11.3
YA14	11.2	20.0	YA44	10.5	21.9	YA74	8.4	17.3
YA15	13.8	39.6	YA45	15.3	31.8	YA75	12.2	27.6
YA16	4.8	10.5	YA46	4.6	13.0	YA76	4.6	9.2
YA17	8.7	18.4	YA47	5.2	12.4	YA77	4.4	7.3
YA18	13.7	32.7	YA48	8.7	15.8	YA78	7.6	11.8
YA19	17.1	35.1	YA49	13.6	24.3	YA79	12.5	21.4
YA20	20.6	37.4	YA50	18.2	30.5	YA80	17.3	30.1
YA21	3.2	6.8	YA51	3.5	6.8	YA81	3.8	9.3
YA22	4.3	10.4	YA52	3.9	7.4	YA82	5.1	10.2
YA23	6.5	14.0	YA53	5.5	12.1	YA83	4.6	10.2
YA24	8.8	18.1	YA54	6.9	18.0	YA84	6.8	10.6
YA25	12.1	24.9	YA55	11.0	26.6	YA85	8.6	15.0
YA26	3.7	8.0	YA56	3.6	7.8	YA86	3.4	7.8
YA27	7.9	16.7	YA57	5.5	12.5	YA87	4.9	10.5
YA28	13.8	27.3	YA58	8.2	17.2	YA88	5.8	14.0
YA29	11.5	25.2	YA59	11.5	22.0	YA89	8.1	19.7
YA30	12.1	22.5	YA60	13.0	20.8	YA90	14.2	27.3

Tablo 3.2. Yat limanı için fiziksel modelden elde edilen çalkantı sonuçları ( $\theta=91.5^\circ$ )

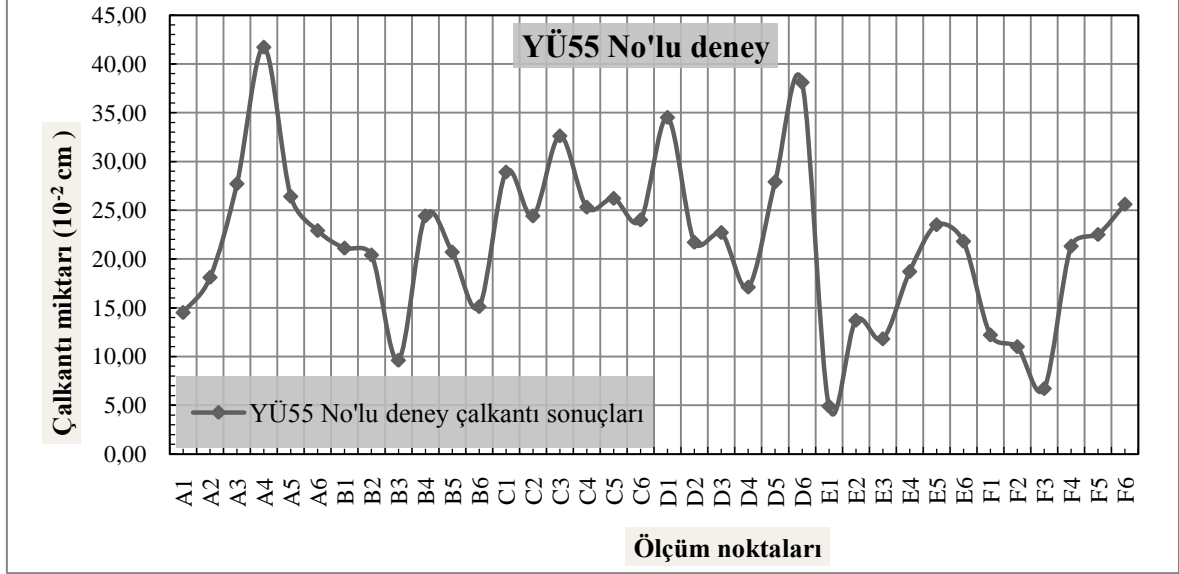
Deney No	Ortalama ( $10^{-2}$ cm)	En Büyük Değer ( $10^{-2}$ cm)	Deney No	Ortalama ( $10^{-2}$ cm)	En Büyük Değer ( $10^{-2}$ cm)	Deney No	Ortalama ( $10^{-2}$ cm)	En Büyük Değer ( $10^{-2}$ cm)
YA91	6.7	14.4	YA121	8.5	21.6	YA151	3.8	6.9
YA92	15.2	27.2	YA122	15.5	29.0	YA152	8.6	22.3
YA93	24.1	47.6	YA123	31.4	66.1	YA153	21.5	32.0
YA94	35.1	53.8	YA124	44.1	73.7	YA154	27.6	59.7
YA95	35.6	64.5	YA125	38.1	58.8	YA155	35.3	57.1
YA96	6.1	12.7	YA126	9.1	14.3	YA156	11.9	21.9
YA97	22.2	42.0	YA127	20.6	35.9	YA157	26.7	61.1
YA98	44.5	87.7	YA128	47.4	72.7	YA158	52.0	78.4
YA99	61.0	103.2	YA129	48.1	93.1	YA159	51.3	96.4
YA100	45.3	89.6	YA130	52.6	88.9	YA160	41.6	63.2
YA101	4.7	9.6	YA131	3.9	8.2	YA161	3.0	6.5
YA102	10.3	19.0	YA132	7.6	15.0	YA162	5.9	10.8
YA103	18.5	36.5	YA133	15.8	25.6	YA163	21.0	44.6
YA104	21.9	41.4	YA134	22.6	36.4	YA164	20.8	36.8
YA105	22.3	54.0	YA135	29.3	66.3	YA165	21.2	48.0
YA106	5.2	11.3	YA136	5.1	8.3	YA166	7.6	17.8
YA107	14.9	21.7	YA137	17.4	31.3	YA167	21.1	42.0
YA108	34.5	60.1	YA138	24.5	49.0	YA168	31.2	66.8
YA109	46.4	89.0	YA139	49.8	135.3	YA169	40.2	66.5
YA110	30.3	52.3	YA140	45.3	77.7	YA170	18.3	34.0
YA111	3.2	7.9	YA141	3.1	6.5	YA171	2.6	5.0
YA112	7.2	12.7	YA142	6.5	11.3	YA172	6.1	13.5
YA113	14.1	27.3	YA143	12.1	22.0	YA173	14.7	29.3
YA114	17.0	34.4	YA144	17.3	36.5	YA174	13.1	30.3
YA115	21.8	38.3	YA145	16.6	37.0	YA175	18.0	31.2
YA116	6.2	11.6	YA146	6.9	13.7	YA176	5.9	15.8
YA117	12.3	24.4	YA147	10.5	27.2	YA177	13.5	32.9
YA118	25.2	48.4	YA148	23.3	70.0	YA178	25.8	49.0
YA119	31.4	69.2	YA149	22.7	43.4	YA179	28.8	58.4
YA120	23.4	58.1	YA150	30.3	62.6	YA180	19.1	39.5

### 3.1.2. Yük Limanı Fiziksel Model Bulguları

Yük limanı için gerçekleştirilen fiziksel model çalışmalarında her deney durumu için liman içerisinde 36 noktadan ölçüm alınmıştır. Şekil 3.2’de örnek olarak seçilen YÜ55 No’lu deney için hesaplanan liman içi çalkantı değerleri verilmektedir.

Tüm deney durumları için, liman içinde oluşan çalkantı değerlerinin ortalamaları ve en büyük değerleri  $\theta=124.2^\circ$  için Tablo 3.3’te ve  $\theta=79.2^\circ$  için Tablo 3.4’te verilmektedir.

Tablo 3.3 ve Tablo 3.4 incelendiğinde, ortalama çalkantı değerlerinin 0.46 ile 7.41 mm arasında, en büyük çalkantı değerlerinin ise 1.01 ile 12.11 mm arasında değerler aldığı görülmektedir.



Şekil 3.2. YÜ55 No'lu deney için elde edilen fiziksel model sonuçları

Tablo 3.3. Yük limanı için fiziksel modelden elde edilen çalkantı sonuçları ( $\theta=124.2^\circ$ )

Deney No	Ortalama ( $10^{-2}$ cm)	En Büyük Değer ( $10^{-2}$ cm)	Deney No	Ortalama ( $10^{-2}$ cm)	En Büyük Değer ( $10^{-2}$ cm)	Deney No	Ortalama ( $10^{-2}$ cm)	En Büyük Değer ( $10^{-2}$ cm)
YÜ01	6.5	16.2	YÜ31	8.4	16.8	YÜ61	5.8	17.5
YÜ02	11.8	26.4	YÜ32	10.9	28.8	YÜ62	12.7	40.0
YÜ03	16.8	32.1	YÜ33	15.3	41.2	YÜ63	14.7	45.6
YÜ04	26.1	42.0	YÜ34	21.7	46.4	YÜ64	20.9	62.0
YÜ05	30.8	51.4	YÜ35	20.9	47.6	YÜ65	20.4	44.5
YÜ06	10.6	19.9	YÜ36	7.0	13.2	YÜ66	7.8	11.2
YÜ07	16.4	27.4	YÜ37	14.7	24.4	YÜ67	14.0	21.1
YÜ08	25.3	38.1	YÜ38	25.6	37.4	YÜ68	21.2	31.4
YÜ09	33.9	49.8	YÜ39	33.2	54.3	YÜ69	22.1	34.5
YÜ10	38.4	62.8	YÜ40	40.5	62.1	YÜ70	24.8	36.6
YÜ11	6.6	14.5	YÜ41	5.5	15.1	YÜ71	6.0	19.3
YÜ12	13.3	45.0	YÜ42	12.2	30.1	YÜ72	9.7	27.8
YÜ13	17.4	35.6	YÜ43	16.7	41.7	YÜ73	15.1	38.6
YÜ14	26.4	62.7	YÜ44	21.3	54.0	YÜ74	17.8	48.6
YÜ15	29.8	77.7	YÜ45	22.7	50.5	YÜ75	20.7	50.1
YÜ16	8.5	15.5	YÜ46	8.6	13.0	YÜ76	8.2	14.6
YÜ17	18.3	31.8	YÜ47	11.6	21.4	YÜ77	15.3	25.2
YÜ18	24.4	40.3	YÜ48	21.7	36.5	YÜ78	18.0	29.5
YÜ19	32.4	51.6	YÜ49	30.5	47.4	YÜ79	21.4	38.8
YÜ20	38.1	64.1	YÜ50	35.1	58.7	YÜ80	25.1	41.3
YÜ21	6.0	14.7	YÜ51	4.8	11.9	YÜ81	4.6	12.6
YÜ22	12.5	33.3	YÜ52	8.7	16.3	YÜ82	11.2	28.4
YÜ23	17.1	31.4	YÜ53	11.5	27.6	YÜ83	13.2	40.2
YÜ24	21.5	45.2	YÜ54	19.9	41.1	YÜ84	18.0	50.4
YÜ25	27.0	45.9	YÜ55	21.7	41.7	YÜ85	17.1	34.1
YÜ26	8.8	15.4	YÜ56	6.4	10.8	YÜ86	6.5	11.4
YÜ27	14.9	24.4	YÜ57	15.6	24.8	YÜ87	13.1	20.5
YÜ28	22.2	32.8	YÜ58	21.9	33.7	YÜ88	17.1	29.4
YÜ29	28.9	54.8	YÜ59	32.3	48.0	YÜ89	21.9	38.3
YÜ30	32.7	47.7	YÜ60	37.5	53.9	YÜ90	24.4	42.8

Tablo 3.4. Yük limanı için fiziksel modelden elde edilen çalkantı sonuçları ( $\theta=79.2^\circ$ )

Deney No	Ortalama ( $10^{-2}$ cm)	En Büyük Değer ( $10^{-2}$ cm)	Deney No	Ortalama ( $10^{-2}$ cm)	En Büyük Değer ( $10^{-2}$ cm)	Deney No	Ortalama ( $10^{-2}$ cm)	En Büyük Değer ( $10^{-2}$ cm)
YÜ91	13.3	20.5	YÜ121	9.6	19.1	YÜ151	5.6	12.8
YÜ92	22.1	40.1	YÜ122	18.3	27.7	YÜ152	12.7	19.6
YÜ93	35.3	64.3	YÜ123	28.6	47.0	YÜ153	20.1	31.2
YÜ94	43.6	78.0	YÜ124	37.4	60.9	YÜ154	24.5	45.3
YÜ95	48.7	77.7	YÜ125	47.0	72.1	YÜ155	42.7	77.2
YÜ96	16.4	34.1	YÜ126	11.8	21.2	YÜ156	8.2	19.1
YÜ97	35.4	58.3	YÜ127	25.6	43.8	YÜ157	14.6	31.4
YÜ98	48.8	74.0	YÜ128	40.3	73.5	YÜ158	21.9	37.8
YÜ99	56.3	103.2	YÜ129	49.8	96.5	YÜ159	35.6	77.4
YÜ100	66.4	107.3	YÜ130	74.1	121.1	YÜ160	55.4	83.8
YÜ101	9.8	17.9	YÜ131	7.2	17.4	YÜ161	5.6	10.6
YÜ102	23.3	40.6	YÜ132	15.2	30.8	YÜ162	10.8	21.9
YÜ103	35.6	61.0	YÜ133	24.1	40.2	YÜ163	16.5	31.5
YÜ104	42.3	72.5	YÜ134	32.5	50.1	YÜ164	24.7	41.8
YÜ105	47.1	80.5	YÜ135	43.6	90.2	YÜ165	33.5	59.7
YÜ106	17.6	19.7	YÜ136	12.1	21.6	YÜ166	8.3	18.1
YÜ107	31.2	53.9	YÜ137	25.9	49.8	YÜ167	16.2	27.0
YÜ108	43.2	71.5	YÜ138	35.6	58.5	YÜ168	19.3	36.5
YÜ109	51.2	88.2	YÜ139	42.2	65.6	YÜ169	25.4	50.1
YÜ110	61.6	105.3	YÜ140	65.5	99.9	YÜ170	42.2	78.8
YÜ111	7.3	14.9	YÜ141	7.8	15.7	YÜ171	5.1	10.1
YÜ112	23.0	41.6	YÜ142	14.7	27.2	YÜ172	11.2	21.2
YÜ113	31.7	60.6	YÜ143	21.1	44.5	YÜ173	14.9	35.0
YÜ114	37.8	65.0	YÜ144	28.9	54.4	YÜ174	23.2	45.3
YÜ115	40.5	66.8	YÜ145	36.7	66.9	YÜ175	30.5	60.0
YÜ116	17.0	28.0	YÜ146	11.2	20.3	YÜ176	6.6	13.2
YÜ117	29.6	55.0	YÜ147	22.1	43.5	YÜ177	12.5	24.8
YÜ118	39.2	73.8	YÜ148	36.9	71.2	YÜ178	18.0	35.0
YÜ119	47.4	81.7	YÜ149	55.5	97.5	YÜ179	21.9	40.6
YÜ120	56.8	90.3	YÜ150	66.9	90.6	YÜ180	39.8	69.0

### 3.2. YSA ve Sayısal Model Bulguları

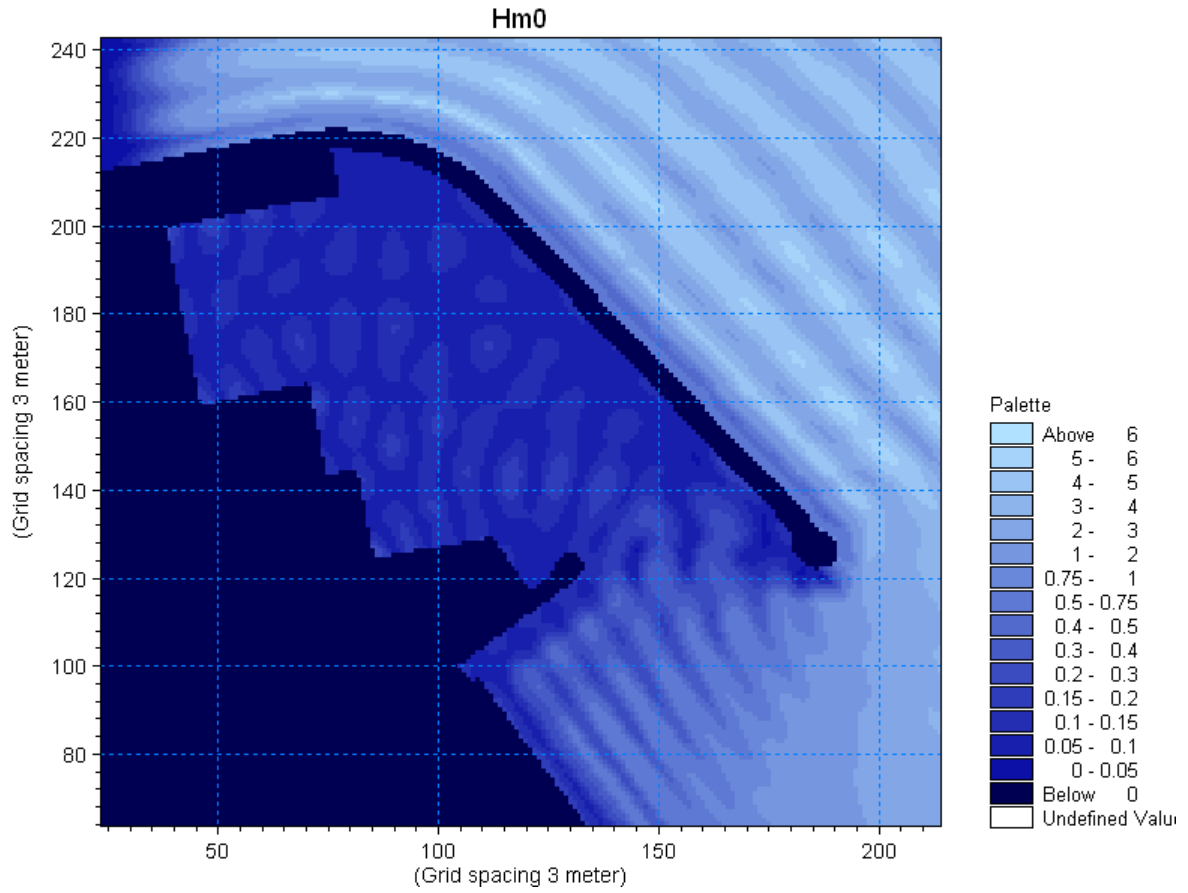
#### 3.2.1. Yat Limanı YSA ve Sayısal Model Bulguları

Yat limanı YSA analizinde, deneme takımı için en küçük ortalama rölatif hata değeri öğrenme katsayısının 0.75 ve momentum katsayısının 1.00 olduğu ağdan elde edilmiştir (Tablo 3.5). Bu ağdan elde edilen ortalama rölatif hata değeri % 15.55'dir.

Tablo 3.5. Yat limanı için en iyi sonucu veren YSA ağı özellikleri

I.-II. Ara Katman Eleman Sayısı	Öğrenme Katsayısı	Momentum Katsayısı	Eğitim Hatası (%)	Deneme Hatası (%)	Deneme Takımındaki En Büyük Rölatif Hata (%)	Deneme Takımındaki Ortalama Rölatif Hata (%)
10 - 0	0.75	1.00	14.37	2.15	19.60	15.55

Yat limanı için sayısal modelleme, YSA yönteminde deneme takımı ve doğrulama takımında kullanılan deney durumları için gerçekleştirilmiştir. Sayısal model liman içindeki tüm bölgelerdeki çalkantı yükseklikleri veren bir özelliğe sahiptir. Örnek olarak, YA44 No'lu deney durumu için elde edilen sayısal model sonuçları Şekil 3.3'te verilmektedir.



Şekil 3.3. YA44 No'lu deney için sayısal model sonuçları (m)

En iyi sonucu veren YSA ağından ve sayısal modelden elde edilen çalkantı sonuçları ile fiziksel model çalkantı sonuçlarının ortalama ve en büyük değerleri deneme takımı için Tablo 3.6’da doğrulama takımı için ise Tablo 3.7’de verilmektedir.

Tablo 3.6. Yat limanında deneme takımı için elde edilen çalkantı sonuçları

Deney No	Fiziksel Model		YSA		Sayısal Model	
	Ortalama (10 <sup>-2</sup> cm)	En Büyük Değer (10 <sup>-2</sup> cm)	Ortalama (10 <sup>-2</sup> cm)	En Büyük Değer (10 <sup>-2</sup> cm)	Ortalama (10 <sup>-2</sup> cm)	En Büyük Değer (10 <sup>-2</sup> cm)
YA04	12.6	24.4	11.1	19.0	14.2	24.3
YA09	22.0	48.4	21.9	37.3	21.1	41.6
YA19	17.1	35.1	15.8	30.1	17.0	27.9
YA23	6.5	14.0	6.4	12.5	7.1	12.3
YA40	23.6	35.6	23.8	37.2	22.5	29.4
YA44	10.5	21.9	8.5	15.0	10.2	15.2
YA49	13.6	24.3	12.6	23.0	13.9	20.8
YA57	5.5	12.5	5.9	11.9	5.5	9.1
YA65	15.0	25.0	13.2	21.5	13.6	18.6
YA78	7.6	11.8	8.3	15.3	7.9	11.7
YA87	4.9	10.5	5.6	11.1	4.7	7.7
YA94	35.1	53.8	38.5	57.2	32.7	49.0
YA97	22.2	42.0	20.2	33.9	20.4	40.0
YA107	14.9	21.7	15.2	26.2	15.0	22.0
YA114	17.0	34.4	16.1	29.3	17.3	32.7
YA119	31.4	69.2	30.4	57.5	27.2	46.4
YA122	15.5	29.0	13.3	21.2	14.4	23.0
YA125	38.1	58.8	35.6	52.0	32.4	51.6
YA137	17.4	31.3	16.4	30.3	15.6	25.1
YA144	17.3	36.5	14.9	28.1	15.9	31.0
YA153	21.5	32.0	25.5	39.4	18.5	30.5
YA156	11.9	21.9	10.2	16.0	10.4	17.4
YA164	20.8	36.8	20.8	34.5	19.0	35.3
YA172	6.1	13.5	6.4	13.8	6.4	13.0

Tablo 3.7. Yat limanında doğrulama takımı için elde edilen çalkantı sonuçları

Deney No	Fiziksel Model		YSA		Sayısal Model	
	Ortalama (10 <sup>-2</sup> cm)	En Büyük Değer (10 <sup>-2</sup> cm)	Ortalama (10 <sup>-2</sup> cm)	En Büyük Değer (10 <sup>-2</sup> cm)	Ortalama (10 <sup>-2</sup> cm)	En Büyük Değer (10 <sup>-2</sup> cm)
YA08	16.2	29.2	15.4	28.7	15.5	28.8
YA25	12.1	24.9	11.3	20.4	13.6	20.1
YA52	3.9	7.4	4.5	9.5	4.0	6.6
YA59	11.5	22.0	10.2	19.9	12.1	16.6
YA67	6.7	12.0	7.1	12.6	6.3	11.3
YA73	7.2	11.3	6.5	12.2	6.9	10.4
YA102	10.3	19.0	9.1	15.9	10.7	22.7
YA109	46.4	89.0	43.6	67.6	37.0	64.2
YA126	9.1	14.3	8.5	15.0	9.1	15.6
YA133	15.8	25.6	18.2	30.1	15.5	25.8
YA158	52.0	78.4	43.9	66.9	42.7	59.6
YA175	18.0	31.2	17.4	33.0	16.7	24.9

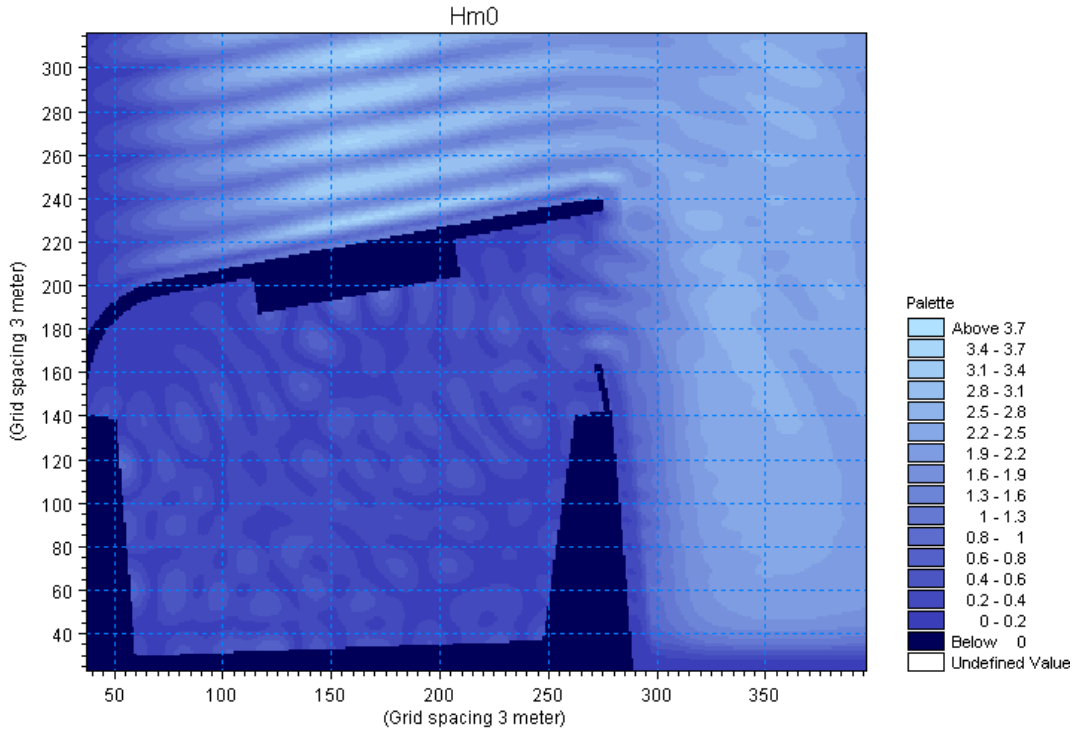
### 3.2.2. Yük Limanı YSA ve Sayısal Model Bulguları

Yük limanı YSA analizinde, deneme takımı için en küçük ortalama rölatif hata değeri öğrenme katsayısının 1.00 ve momentum katsayısının 0.50 olduğu ağdan elde edilmiştir (Tablo 3.8). Bu ağdan elde edilen ortalama rölatif hata değeri % 12.75'tir.

Tablo 3.8. Yük limanı için en iyi sonucu veren YSA ağı özellikleri

I.-II. Ara Katman Eleman Sayısı	Öğrenme Katsayısı	Momentum Katsayısı	Eğitim Hatası (%)	Deneme Hatası (%)	Deneme Takımındaki En Büyük Rölatif Hata (%)	Deneme Takımındaki Ortalama Rölatif Hata (%)
15 - 15	1.00	0.50	15.82	3.24	16.25	12.75

Yük limanı için sayısal modelleme, yat limanında olduğu gibi YSA yönteminde deneme takımı ve doğrulama takımında kullanılan deney durumları için gerçekleştirilmiştir. Örnek olarak, YÜ107 No'lu deney durumu için elde edilen sayısal model sonuçları Şekil 3.4'te verilmektedir.



Şekil 3.4. YÜ107 No'lu deney için sayısal model sonuçları (m)



En iyi sonucu veren YSA ağından ve sayısal modelden elde edilen çalkantı sonuçları ile fiziksel model çalkantı sonuçlarının ortalama ve en büyük değerleri deneme takımı için Tablo 3.9’da doğrulama takımı için ise Tablo 3.10’da verilmektedir.

Tablo 3.9. Yük limanında deneme takımı için elde edilen çalkantı sonuçları

Deney No	Fiziksel Model		YSA		Sayısal Model	
	Ortalama (10 <sup>-2</sup> cm)	En Büyük Değer (10 <sup>-2</sup> cm)	Ortalama (10 <sup>-2</sup> cm)	En Büyük Değer (10 <sup>-2</sup> cm)	Ortalama (10 <sup>-2</sup> cm)	En Büyük Değer (10 <sup>-2</sup> cm)
Y04	26.1	42.0	24.3	38.8	25.1	42.6
Y09	33.9	49.8	32.0	45.2	34.8	54.9
Y19	32.4	51.6	29.7	40.1	31.2	48.1
Y23	17.1	31.4	15.6	29.2	16.4	26.8
Y40	40.5	62.1	41.6	56.3	39.2	60.1
Y44	21.3	54.0	20.4	44.3	20.9	42.3
Y49	30.5	47.4	30.0	43.6	29.6	42.9
Y57	15.6	24.8	14.6	20.4	14.9	21.5
Y65	20.4	44.5	20.3	50.0	20.9	41.4
Y78	18.0	29.5	18.7	27.5	18.0	28.1
Y87	13.1	20.5	13.0	18.1	12.6	19.1
Y94	43.6	78.0	42.8	65.7	42.3	69.3
Y97	35.4	58.3	34.4	67.2	34.3	54.2
Y107	31.2	53.9	30.4	53.3	30.2	51.7
Y114	37.8	65.0	37.6	67.2	35.3	58.9
Y119	47.4	81.7	48.6	78.2	46.8	77.1
Y122	18.3	27.7	17.5	25.7	17.7	28.3
Y125	47.0	72.1	49.6	69.6	44.3	58.9
Y137	25.9	49.8	22.7	39.6	25.4	48.4
Y144	28.9	54.4	28.9	52.8	28.2	42.3
Y153	20.1	31.2	17.1	26.0	20.5	33.7
Y156	8.2	19.1	7.3	15.0	9.3	20.3
Y164	24.7	41.8	23.2	36.3	25.7	44.9
Y172	11.2	21.2	10.5	19.6	12.0	20.7

Tablo 3.10. Yük limanında doğrulama takımı için elde edilen çalkantı sonuçları

Deney No	Fiziksel Model		YSA		Sayısal Model	
	Ortalama (10 <sup>-2</sup> cm)	En Büyük Değer (10 <sup>-2</sup> cm)	Ortalama (10 <sup>-2</sup> cm)	En Büyük Değer (10 <sup>-2</sup> cm)	Ortalama (10 <sup>-2</sup> cm)	En Büyük Değer (10 <sup>-2</sup> cm)
Y08	25.3	38.1	25.0	34.4	27.2	38.0
Y25	27.0	45.9	28.7	49.4	25.7	40.6
Y52	8.7	16.3	9.1	19.6	9.0	14.8
Y59	32.3	48.0	28.7	42.2	30.1	46.4
Y67	14.0	21.1	12.9	16.7	14.1	23.1
Y73	15.1	38.6	15.2	36.3	16.0	41.7
Y102	23.3	40.6	22.6	40.4	22.1	36.9
Y109	51.2	88.2	52.3	82.9	51.7	94.9
Y126	11.8	21.2	10.6	20.8	12.4	24.7
Y133	24.1	40.2	23.9	40.2	23.3	37.1
Y158	21.9	37.8	21.5	35.7	24.4	42.5
Y175	30.5	60.0	28.4	52.7	30.6	45.1

## 4. İRDELEME

### 4.1. Giriş

Bu bölümde, yat ve yük limanı için fiziksel model, YSA ve sayısal modelden elde edilen liman içi çalkantı değerleri ile ilgili bulgular irdelenmiştir.

YSA yönteminden ve sayısal modelden elde edilen veriler, fiziksel model verileri ile karşılaştırılmış ve aralarındaki rölatif hatalar hesaplanmıştır. Rölatif hataların hesabı şu şekilde yapılmıştır:

$$e_{röl} = \left( \frac{|x_h - x_ö|}{x_ö} \right) * 100 \quad (4.1)$$

Denklemden,  $x_ö$  ve  $x_h$  sırasıyla, fiziksel modelde ölçülen ve YSA veya sayısal modelden elde edilen değerlerdir.

Fiziksel model verileri kullanılarak, dalga yüksekliği, periyodu ve yönü ile ana ve tali mendirek boylarının liman içi çalkantılara olan etkisi belirlenmiştir.

Dalga yüksekliği, periyodu ve yönü ile ana ve tali mendirek boyu değerlerinin fiziksel modelde kullanılan değerlerden farklı değerler alması durumunda, oluşacak çalkantı miktarını belirlemek için YSA ağı kullanılmış ve elde edilen değerler irdelenmiştir.

Liman içinde oluşan çalkantının dağılımı sayısal model verilerine dayanarak irdelenmiş ve en yüksek çalkantı yüksekliğine sahip bölgeler belirlenmiştir.

Ortalama çalkantı değerleri dikkate alınarak yapılan regresyon analizi ile her bir değişkenin etki oranları irdelenmiştir.

N yönünden gelen dalga durumundaki deneyler için fiziksel model verilerinden elde edilen en büyük çalkantı miktarları irdelenmiş ve genel olarak kabul görmüş sınır değerleri aşıp aşmadığı belirlenmiştir.

Son olarak liman içi çalkantılarının azaltılması için alınabilecek önlemlerle ilgili bilgiler sunulmuştur.

## 4.2. Yat Limanı Çalkantı Sonuçlarının İrdelenmesi

### 4.2.1. Yat Limanı YSA ve Sayısal Model Bulgularının İrdelenmesi

Bu bölümde, yat limanı için YSA'dan ve sayısal modelden elde edilen liman içi çalkantı değerleri fiziksel model verileri ile karşılaştırılmış ve hesaplanan rölatif hatalar verilmiştir. Karşılaştırmalar YSA yönteminde deneme ve doğrulama takımı için kullanılan deney durumları için yapılmıştır.

Deneme takımı için elde edilen rölatif hata değerleri Tablo 4.1'de verilmektedir. Her bir deney durumu için verilen rölatif hata değerleri, ölçüm alınan 24 nokta için ayrı ayrı hesaplanan rölatif hata değerlerinin ortalamasıdır.

Tablo 4.1. Yat limanında deneme takımı için elde edilen rölatif hata değerleri

Deney No	Rölatif Hata (%)		Deney No	Rölatif Hata (%)	
	YSA	Sayısal Model		YSA	Sayısal Model
YA04	14.9	20.7	YA97	17.2	9.7
YA09	10.5	12.5	YA107	15.0	7.3
YA19	13.0	14.6	YA114	18.0	9.3
YA23	12.8	21.4	YA119	14.3	13.4
YA40	11.1	8.8	YA122	19.5	8.3
YA44	19.6	8.6	YA125	14.4	14.6
YA49	12.7	10.7	YA137	15.3	9.7
YA57	19.2	18.1	YA144	18.3	9.2
YA65	15.6	14.3	YA153	19.1	15.3
YA78	17.6	11.8	YA156	16.2	12.5
YA87	16.9	12.4	YA164	11.8	9.8
YA94	14.0	14.3	YA172	16.0	9.1

Tablo 4.1 incelendiğinde, YSA modeli ve sayısal model için elde edilen rölatif hataların ortalamasının sırasıyla % 15.5 ve % 12.4 olduğu görülmektedir. En büyük rölatif hata değeri, YSA için % 19.6 değeri ile YA44 No'lu deneyde, sayısal model için ise % 21.4 değeri ile YA23 No'lu deneyde görülmüştür. Ortalama rölatif hatalar dikkate alındığında, sayısal modelin YSA'dan daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

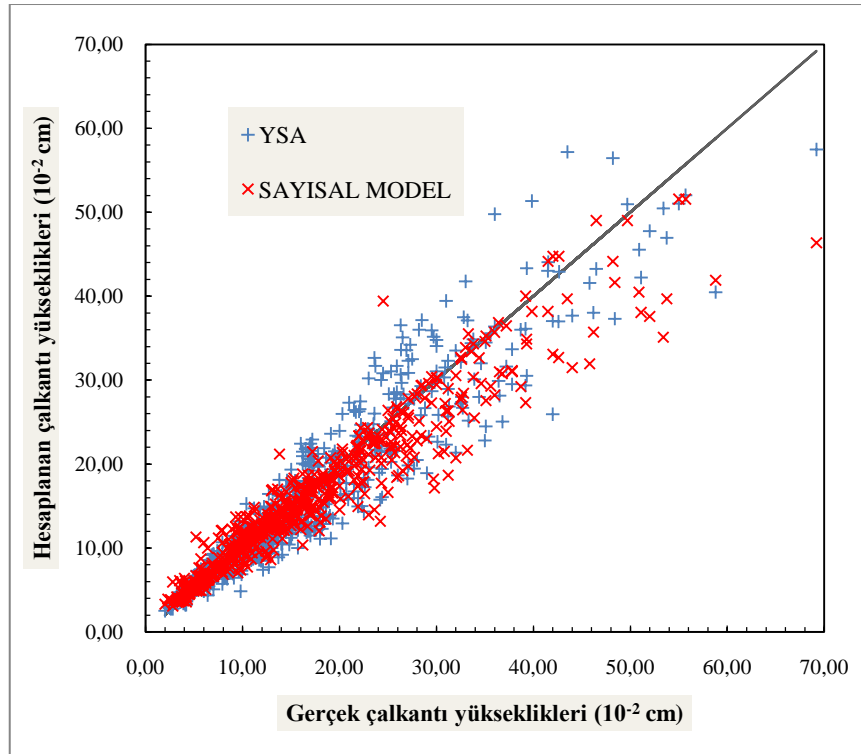
Tablo 4.2'de doğrulama takımı için elde edilen hata değerleri sunulmaktadır. Tablo incelendiğinde, YSA yöntemi için rölatif hata ortalamasının % 15.9, sayısal model için rölatif hata ortalamasının % 12.5 olduğu belirlenmiştir. En büyük rölatif hata değeri, YSA için % 19.8 değeri ile YA158 No'lu deneyde, sayısal model için ise % 19.0 değeri ile

YA25 No'lu deneyde görülmüştür. Doğrulama takımındaki hata değerleri deneme takımındaki hata değerlerine oldukça yakın çıkmıştır. Ortalama rölatif hatalar dikkate alındığında, doğrulama takımı için sayısal model YSA'ya göre daha iyi sonuç vermektedir.

Tablo 4.2. Yat limanında doğrulama takımı için elde edilen rölatif hata değerleri

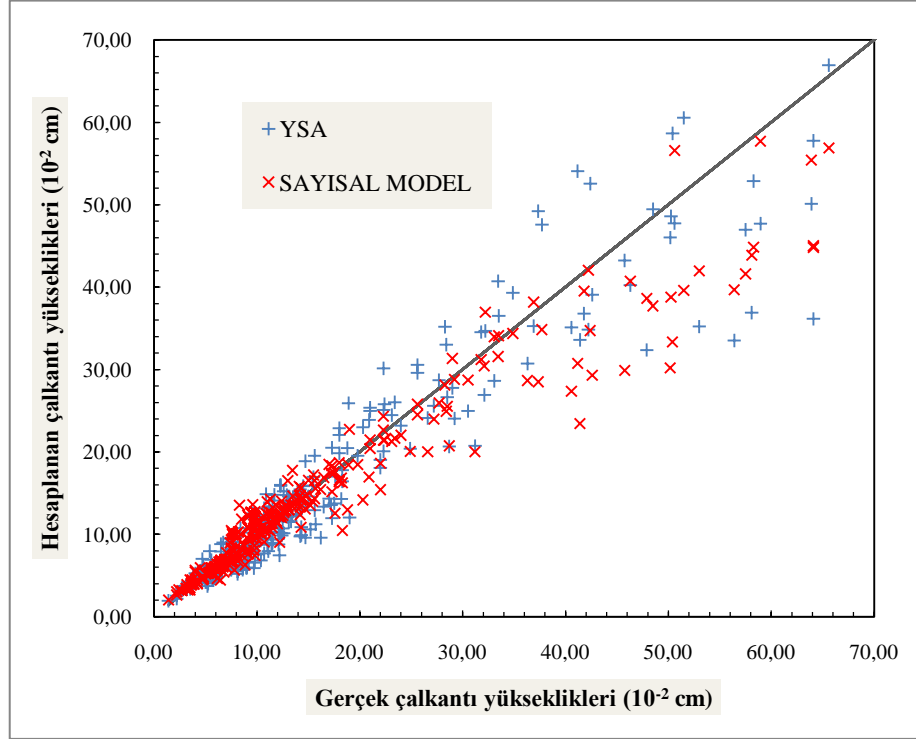
Deney No	Rölatif Hata (%)		Deney No	Rölatif Hata (%)	
	YSA	Sayısal Model		YSA	Sayısal Model
YA08	12.9	8.8	YA102	16.2	7.0
YA25	11.3	19.0	YA109	15.7	18.9
YA52	18.5	11.4	YA126	13.1	5.2
YA59	16.2	15.3	YA133	17.5	7.5
YA67	16.6	10.7	YA158	19.8	18.2
YA73	16.5	12.3	YA175	17.2	16.0

Şekil 4.1'de deneme takımında kullanılan deney durumları için ölçüm alınan 24 noktadaki çalkantı değerlerinin karşılaştırılması verilmektedir. Şekil 4.1 incelendiğinde, sayısal model verilerinin YSA'ya oranla daha iyi sonuç verdiği ve sayısal modelden elde edilen verilerin genelde gerçek verilerden daha düşük hesaplama yaptığı görülmektedir.



Şekil 4.1. Yat limanı deneme takımı için çalkantı değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.2’de doğrulama takımında kullanılan deney durumları için ölçüm alınan 24 noktadaki çalkantı değerlerinin karşılaştırılması verilmektedir. Şekil 4.2 incelendiğinde, sayısal model verilerinin YSA’ya oranla daha iyi sonuç verdiği ve sayısal modelden elde edilen verilerin özellikle yüksek çalkantı değerleri için gerçek verilerden daha düşük hesaplama yaptığı görülmektedir.



Şekil 4.2. Yat limanı doğrulama takımı için çalkantı değerlerinin karşılaştırılması

#### 4.2.2. Dalga Şartlarının Yat Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi

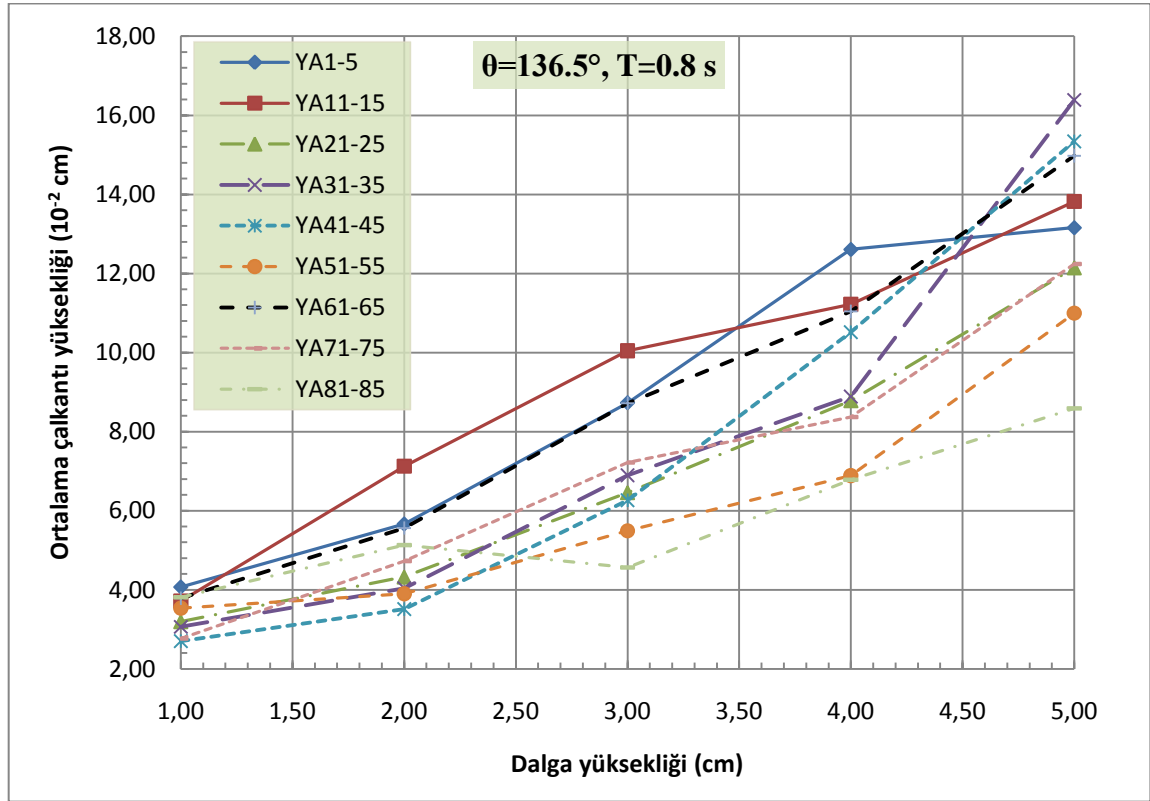
##### 4.2.2.1. Dalga Yüksekliğinin Yat Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi

Bu bölümde, fiziksel model verileri kullanılarak derin deniz dalga yüksekliğindeki değişimin liman içi çalkantıya olan etkisi irdelenmiştir.

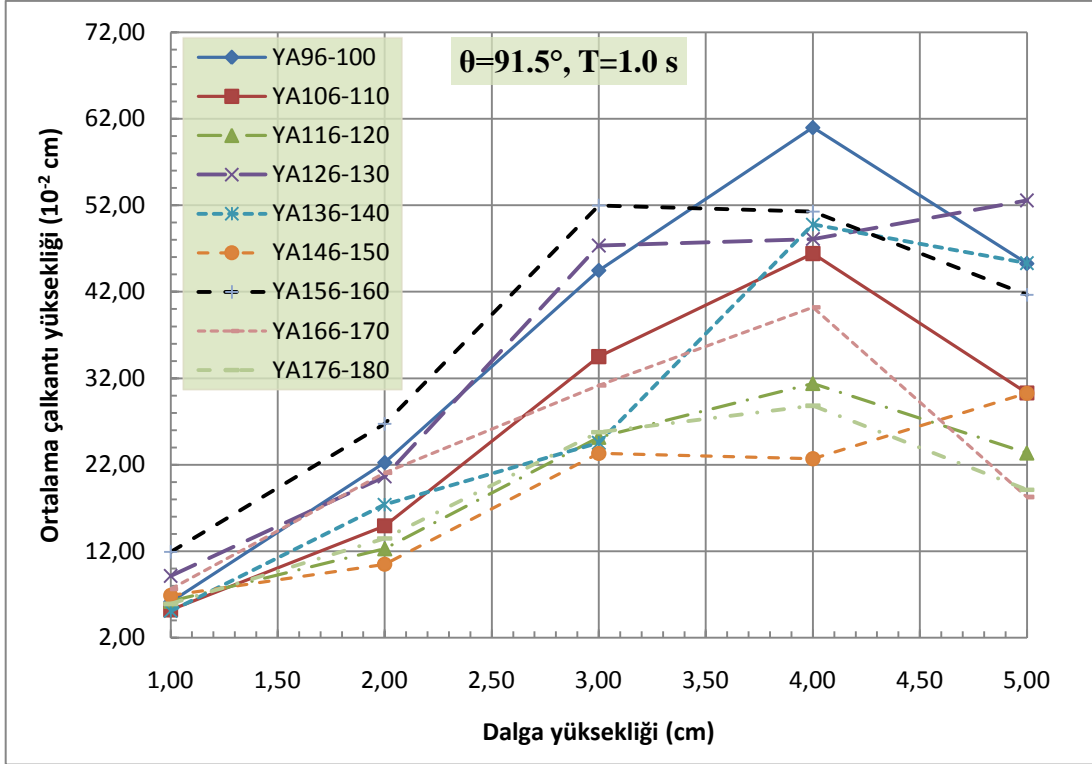
Fiziksel modele ait ortalama çalkantı değerleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de verilmektedir. Dalga yüksekliğindeki değişimin liman içi çalkantıya etkisini irdellemek için, yatayda derin deniz dalga yüksekliği ve düşeyde ortalama çalkantı miktarı olacak şekilde grafikler çizilmiştir. Bu grafikler  $\theta=136.5^\circ$  ve  $T=0.8$  s durumu için Şekil 4.3’te,  $\theta=91.5^\circ$  ve  $T=1.0$  s durumu için ise Şekil 4.4’te,  $\theta=136.5^\circ$  ve  $T=1.0$  s durumu için

Ek Şekil 1’de ve  $\theta=91.5^\circ$  ve  $T=0.8$  s durumu için Ek şekil 2’de verilmektedir. Dalga yüksekliğinin 1 cm’den 5 cm’ye yükselmesi ile çalkantı yükseklerinin ortalamasının  $\theta=136.5^\circ$  durumunda yaklaşık 3-4 kat arttığı,  $\theta=91.5^\circ$  durumunda ise bu artışın yaklaşık 5-6 kat olduğu görülmektedir.

Şekil 4.3 ile Ek Şekil 1 ve Ek Şekil 2 incelendiğinde, ortalama çalkantı değerinin dalga yüksekliği ile arttığı görülmektedir. Şekil 4.4’te ise benzer durum 4 cm dalga yüksekliğine kadar devam etmekte, ancak 5 cm dalga yüksekliğinde ortalama çalkantı miktarında bir azalma meydana gelmektedir. Bunun nedeni,  $\theta=91.5^\circ$ ,  $T=1.0$  s durumunda 5 m’lik dalgaların daha derinde kırılarak enerjilerini bir miktar kaybetmeleridir.



Şekil 4.3. Yat limanı  $\theta=136.5^\circ$  ve  $T=0.8$  s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga yüksekliği ile değişimi

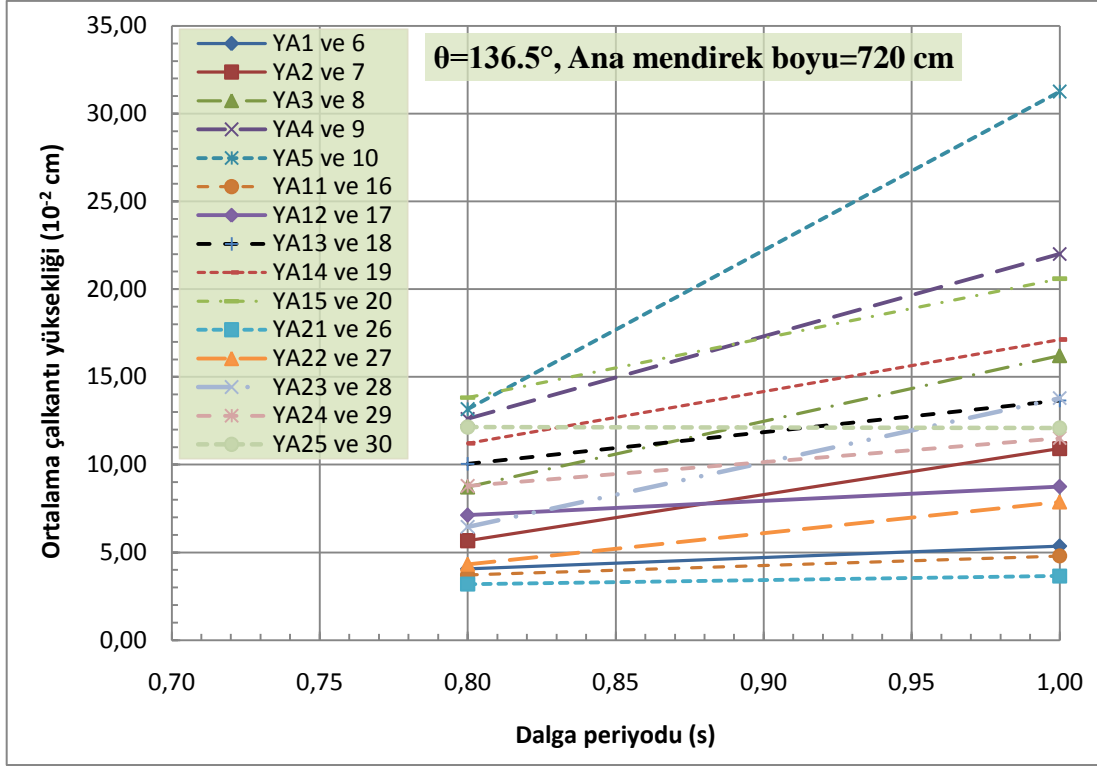


Şekil 4.4. Yat limanı  $\theta=91.5^\circ$  ve  $T=1.0$  s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga yüksekliği ile değişimi

#### 4.2.2.2. Dalga Periyodunun Yat Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi

Bu bölümde, fiziksel model verileri kullanılarak dalga periyodunun liman içi çalkantıya olan etkisi irdelenmiştir.

Fiziksel modele ait ortalama çalkantı değerleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de verilmektedir. Dalga periyodundaki değişimin liman içi çalkantıya etkisini irdellemek için, yatayda dalga periyodu ve düşeyde ortalama çalkantı miktarı olacak şekilde grafikler çizilmiştir. Bu grafikler  $\theta=136.5^\circ$  ve ana mendirek boyu 720 cm durumu için Şekil 4.5’te, diğer durumlar için ise Ek Şekil 3 - Ek Şekil 7’de verilmektedir. Şekil 4.5 ve Ek Şekil 3 – Ek Şekil 7 incelendiğinde, ortalama çalkantı değerinin dalga periyodu ile arttığı açıkça görülmektedir. Artış oranı düşük dalga yüksekliklerinde azken, büyük dalga yüksekliklerinde de bu oran daha fazla olarak görülmektedir. Bazı durumlarda  $T$ ’nin 8 s’den 10 s’ye yükselmesi ortalama çalkantı miktarında 2.5-3 kat büyümelere neden olmaktadır.



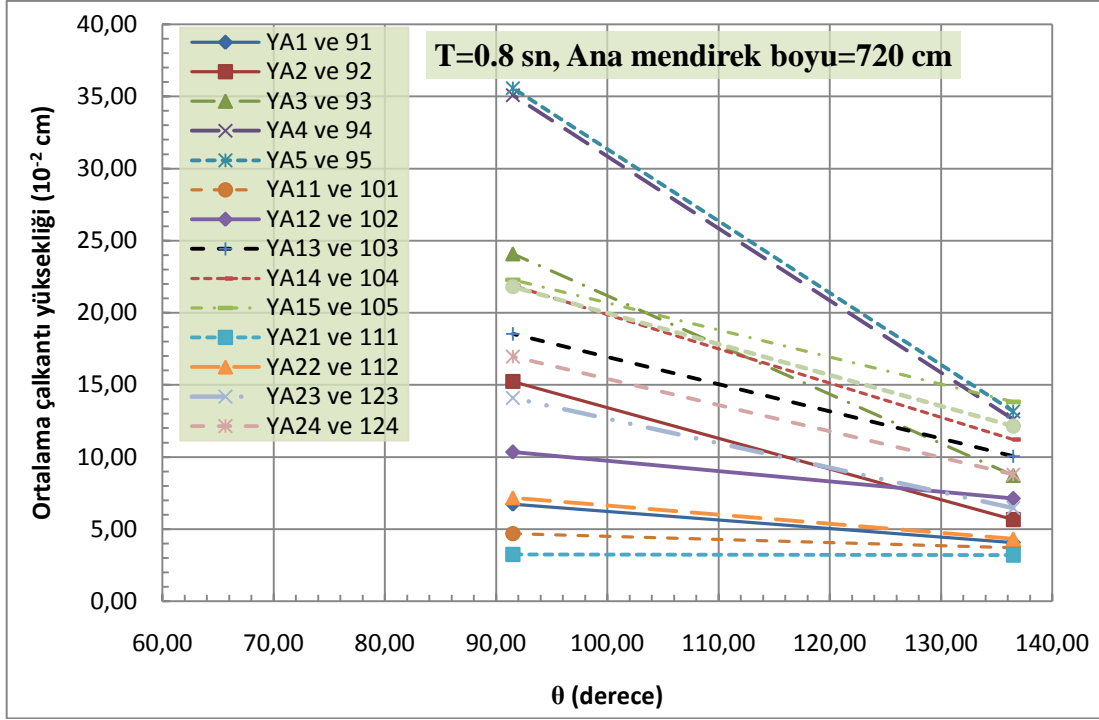
Şekil 4.5. Yat limanı  $\theta=136.5^\circ$  ve ana mendirek boyu= 720 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi

#### 4.2.2.3. Dalga Yönünün Yat Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi

Bu bölümde, fiziksel model verileri kullanılarak dalga yönünün liman içi çalkantıya olan etkisi irdelenmiştir.

Fiziksel modele ait ortalama çalkantı değerleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de verilmektedir. Dalga yönündeki değişimin liman içi çalkantıya etkisi, yatayda  $\theta$  açısı ve düşeyde ortalama çalkantı miktarı olacak şekilde çizilen grafikler ile irdelenmiştir. Bu grafikler  $T=0.8$  s ve ana mendirek boyu 720 cm durumu için Şekil 4.6’da, diğer durumlar için ise Ek Şekil 8 - Ek Şekil 12’de verilmektedir. Şekil 4.6 ve Ek Şekil 8 – Ek Şekil 12 incelendiğinde, ortalama çalkantı değerinin  $\theta$  açısının artması ile azaldığı görülmektedir. Bu azalmanın büyük dalga yüksekliklerinde, küçük dalga yüksekliklerine oranla daha fazla olduğu görülmektedir.  $\theta$  açısındaki  $45^\circ$ ’lik bir artış, bazı durumlarda ortalama çalkantı yüksekliğini yarıdan daha fazla azaltmaktadır.





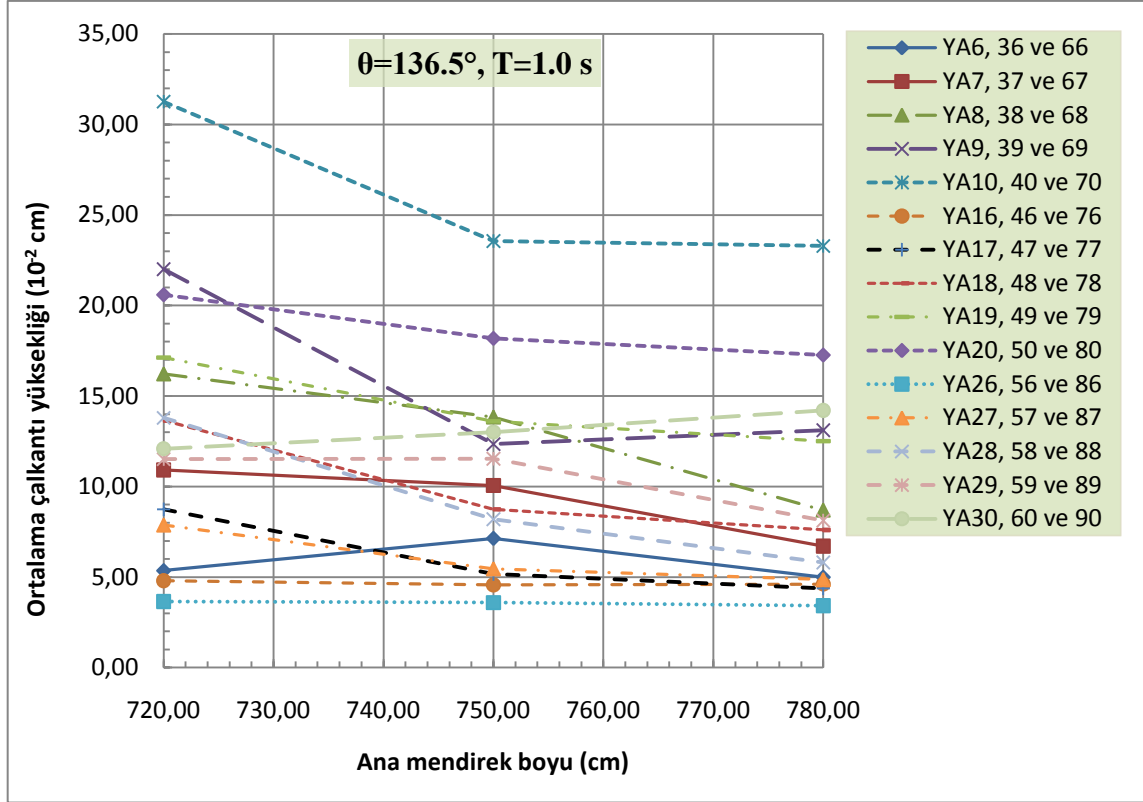
Şekil 4.6. Yat limanı T=0.8 s ve ana mendirek boyu=720 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin  $\theta$  açısı ile değişimi

### 4.2.3. Mendirek Boylarının Yat Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi

#### 4.2.3.1. Ana Mendirek Boyunun Yat Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi

Bu bölümde, fiziksel model verileri kullanılarak ana mendirek boyunun liman içi çalkantıya olan etkisi irdelenmiştir.

Fiziksel modele ait ortalama çalkantı değerleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmektedir. Ana mendirek boyundaki değişimin liman içi çalkantıya etkisi, yatayda ana mendirek boyu ve düşeyde ortalama çalkantı miktarı olacak şekilde çizilen grafikler ile irdelenmiştir. Bu grafikler  $\theta=136.5^\circ$  ve T=1.0 s durumu için Şekil 4.7'de, diğer durumlar için ise Ek Şekil 13 - Ek Şekil 15'te verilmektedir. Şekil 4.7 incelendiğinde, ana mendirek boyunun uzaması ile ortalama çalkantı yüksekliğinin azaldığı görülmektedir. Bu beklenen bir durumdur. Ek Şekil 13 - Ek Şekil 15'te incelendiğinde ise ana mendirek boyunun uzaması ile ortalama çalkantı miktarı her durum için azalmamaktadır. Ortalama çalkantı yüksekliğindeki değişim derin deniz dalga yüksekliği değerlerine göre farklılıklar göstermektedir. Bunun nedeni, ana mendirek boyunun değişimi ile liman içini etkileyen dalgaların kırılma derinliklerinde oluşan değişimdir.

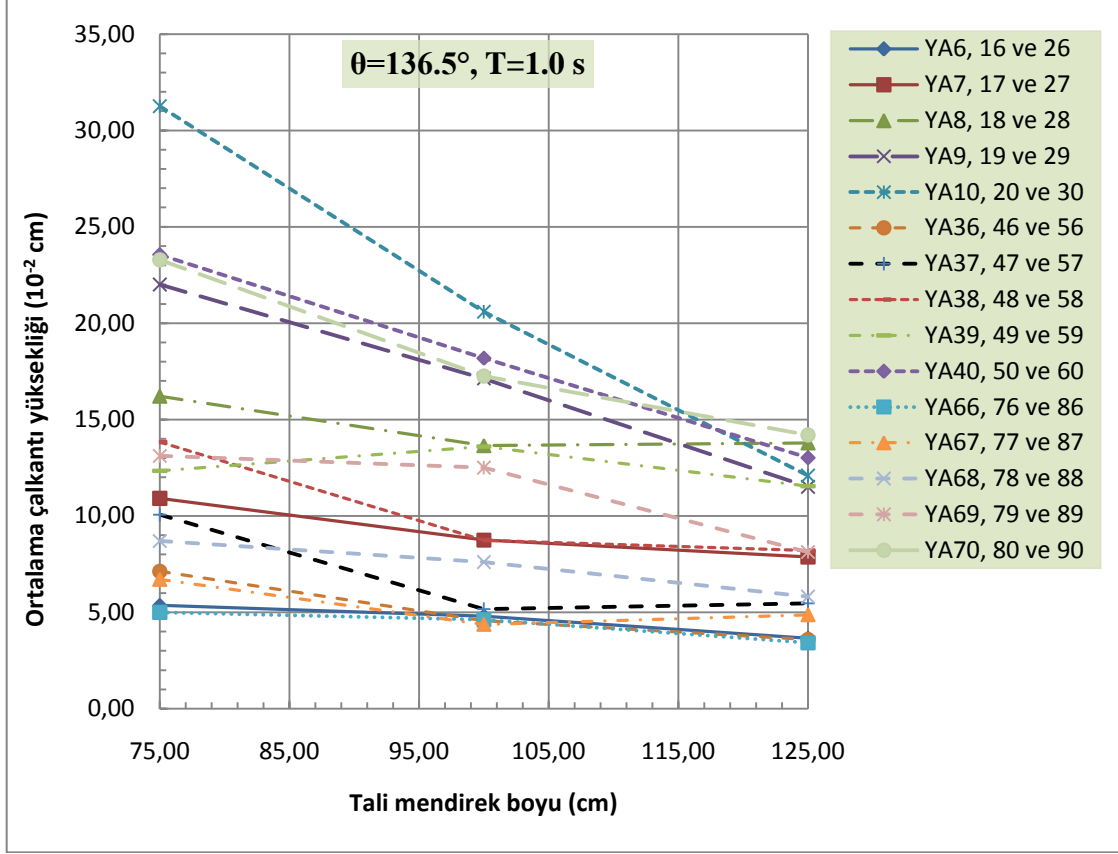


Şekil 4.7. Yat limanı  $\theta=136.5^\circ$  ve  $T=1.0 \text{ s}$  durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin ana mendirek boyu ile değişimi

#### 4.2.3.2. Tali Mendirek Boyunun Yat Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi

Bu bölümde, fiziksel model verileri kullanılarak tali mendirek boyunun liman içi çalkantıya olan etkisi irdelenmiştir.

Fiziksel modele ait ortalama çalkantı değerleri Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de verilmektedir. Tali mendirek boyundaki değişimin liman içi çalkantıya etkisi, yatayda tali mendirek boyu ve düşeyde ortalama çalkantı miktarı olacak şekilde çizilen grafikler ile irdelenmiştir. Bu grafikler  $\theta=136.5^\circ$  ve  $T=1.0 \text{ s}$  durumu için Şekil 4.8’de, diğer durumlar için ise Ek Şekil 16 - Ek Şekil 18’de verilmektedir. Şekil 4.8 ve Ek Şekil 16 - Ek Şekil 18 incelendiğinde, tali mendirek boyunun uzaması ile ortalama çalkantı yüksekliğinin azaldığı görülmektedir.  $\theta$  açısının  $136.5^\circ$  T’nin  $0.8 \text{ s}$  olduğu durumlarda, tali mendirek boyunun liman içi çalkantıya etkisi düşük görünmesine karşın, diğer durumlarda, özellikle büyük dalga yüksekliklerinde tali mendireğin  $50 \text{ cm}$  uzaması ile ortalama çalkantı yüksekliklerinde yarı yarıya bir azalma gözlemlenebilmektedir.



Şekil 4.8. Yat limanı  $\theta=136.5^\circ$  ve  $T=1.0 \text{ s}$  durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin tali mendirek boyu ile değişimi

### 4.3. Yük Limanı Çalkantı Sonuçlarının İrdelenmesi

#### 4.3.1. Yük Limanı YSA ve Sayısal Model Bulguların İrdelenmesi

Bu bölümde, yük limanı için YSA'dan ve sayısal modelden elde edilen liman içi çalkantı değerleri fiziksel model verileri ile karşılaştırılmış ve hesaplanan rölatif hatalar verilmektedir. Karşılaştırmalar YSA yönteminde deneme ve doğrulamada kullanılan deney durumları için yapılmıştır.

Deneme takımı için elde edilen rölatif hata değerleri Tablo 4.3'te verilmektedir. Her bir deney durumu için verilen rölatif hata değerleri, ölçüm alınan 36 nokta için ayrı ayrı hesaplanan rölatif hata değerlerinin ortalamasıdır.

Tablo 4.3. Yük limanında deneme takımı için elde edilen rölatif hata değerleri

Deney No	Rölatif Hata (%)		Deney No	Rölatif Hata (%)	
	YSA	Sayısal Model		YSA	Sayısal Model
YÜ04	15.0	8.7	YÜ97	10.9	9.5
YÜ09	13.0	13.0	YÜ107	8.3	11.4
YÜ19	14.9	12.7	YÜ114	11.0	11.9
YÜ23	15.4	9.8	YÜ119	10.4	10.6
YÜ40	13.0	11.3	YÜ122	13.2	9.2
YÜ44	14.4	10.0	YÜ125	13.2	10.9
YÜ49	12.3	13.4	YÜ137	13.8	9.1
YÜ57	11.1	10.8	YÜ144	12.1	11.6
YÜ65	13.9	9.5	YÜ153	15.3	9.5
YÜ78	12.0	10.2	YÜ156	16.2	14.7
YÜ87	10.2	8.1	YÜ164	12.4	11.1
YÜ94	11.6	7.5	YÜ172	12.2	10.9

Tablo 4.3 incelendiğinde, YSA yöntemi ve sayısal model için elde edilen rölatif hataların ortalamasının sırasıyla % 12.7 ve % 10.6 olduğu görülmektedir. En büyük rölatif hata değeri, YSA için % 16.2 değeri ile YÜ156 No'lu deneyde ve sayısal model için ise % 14.7 değeri ile yine YÜ156 No'lu deneyde görülmüştür. Ortalama rölatif hatalar dikkate alındığında, sayısal modelin YSA'dan daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

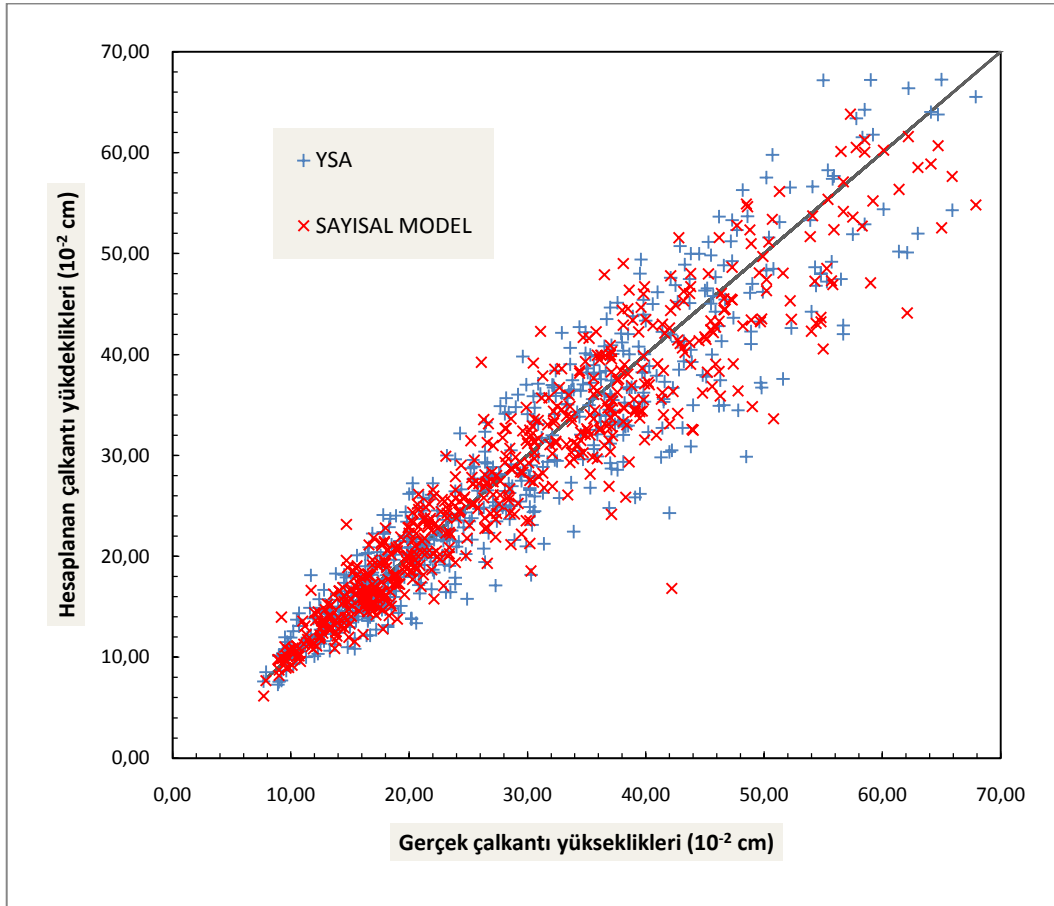
Doğrulama takımı için elde edilen hata değerleri Tablo 4.4'te verilmektedir. Tablo incelendiğinde, YSA yöntemi için rölatif hata ortalamasının % 12.8, sayısal model için rölatif hata ortalamasının % 10.8 olduğu görülmektedir. En büyük rölatif hata değeri, YSA için % 16.6 değeri ile YÜ67 No'lu deneyde sayısal model için ise % 13.7 değeri ile YÜ52 No'lu deneyde görülmüştür. Doğrulama takımındaki hata değerleri deneme takımındaki hata değerlerine çok yakın çıkmıştır. Ortalama rölatif hatalar dikkate alındığında, doğrulama takımı için de sayısal model YSA'ya göre daha iyi sonuç vermektedir.

Tablo 4.4. Yük limanında doğrulama takımı için elde edilen rölatif hata değerleri

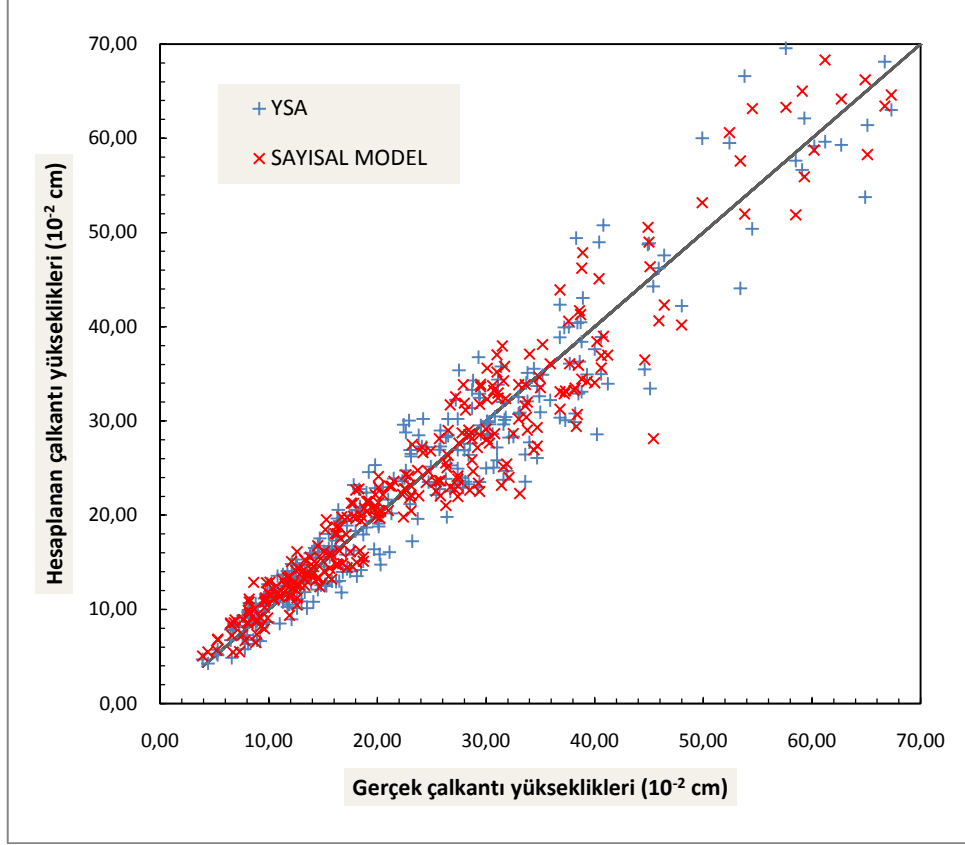
Deney No	Rölatif Hata (%)		Deney No	Rölatif Hata (%)	
	YSA	Sayısal Model		YSA	Sayısal Model
YÜ08	11.8	9.0	YÜ102	11.9	11.6
YÜ25	14.0	10.7	YÜ109	8.7	10.5
YÜ52	13.0	13.7	YÜ126	15.3	11.1
YÜ59	13.6	11.9	YÜ133	12.7	9.3
YÜ67	16.6	10.4	YÜ158	9.9	11.1
YÜ73	11.9	9.7	YÜ175	14.3	10.1

Şekil 4.9’da deneme takımında kullanılan deney durumları için ölçüm alınan 36 noktadaki çalkantı değerlerinin karşılaştırılması verilmektedir. Şekilden, sayısal model verilerinin YSA’ya oranla daha iyi sonuç verdiği ve sayısal modelden elde edilen verilerin genelde gerçek verilerden daha düşük hesaplama yaptığı görülmektedir.

Şekil 4.10’da doğrulama takımında kullanılan deney durumları için ölçüm alınan 36 noktadaki çalkantı değerlerinin karşılaştırılması verilmektedir. Şekilden, sayısal model verilerinin YSA’ya oranla daha iyi sonuç verdiği ve sayısal modelden elde edilen verilerin özellikle yüksek çalkantı değerleri için gerçek verilerden daha yüksek hesaplama yaptığı görülmektedir.



Şekil 4.9. Yük limanı deneme takımı için çalkantı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 4.10. Yük limanı doğrulama takımı için çalkantı değerlerinin karşılaştırılması

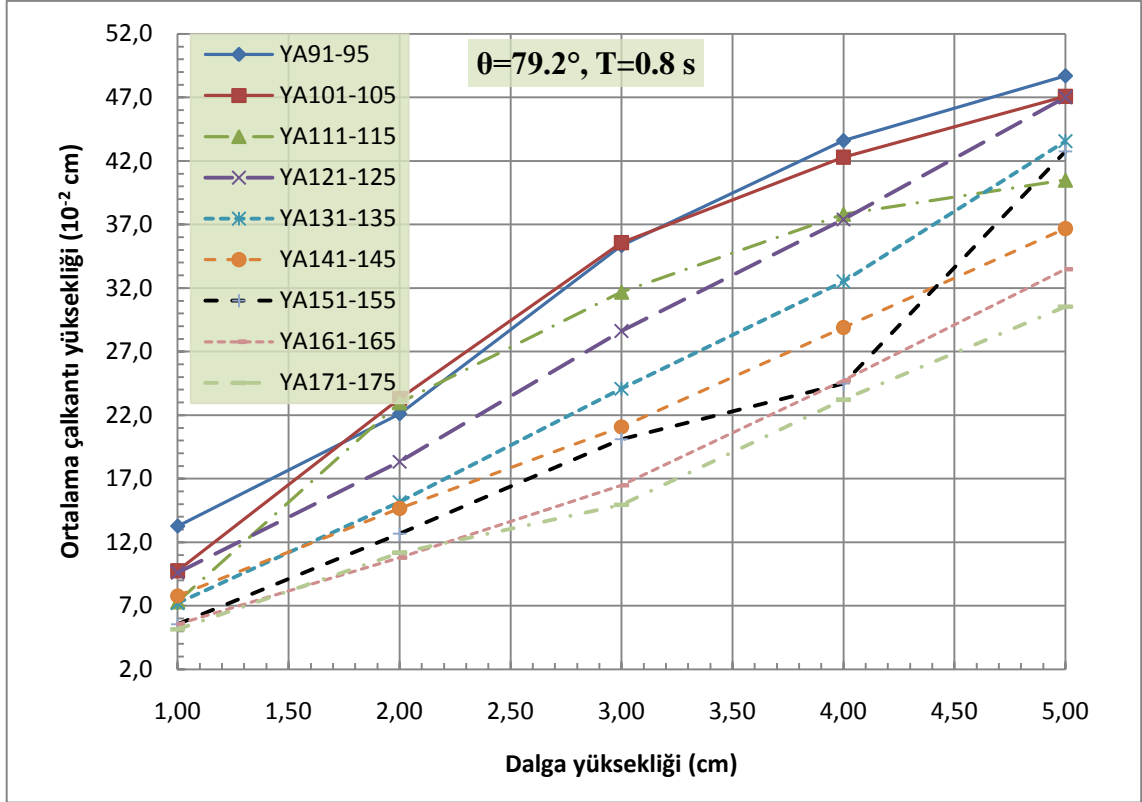
### 4.3.2. Dalga Şartlarının Yük Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi

#### 4.3.2.1. Dalga Yüksekliğinin Yük Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi

Bu bölümde, fiziksel model verileri kullanılarak derin deniz dalga yüksekliğindeki değişimin liman içi çalkantıya olan etkisi irdelenmiştir.

Fiziksel modele ait ortalama çalkantı değerleri Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te verilmektedir. Dalga yüksekliğindeki değişimin liman içi çalkantıya etkisini irdelemek için, yatayda dalga yüksekliği ve düşeyde ortalama çalkantı miktarı olacak şekilde grafikler çizilmiştir. Bu grafikler  $\theta=79.2^\circ$  ve  $T=0.8$  s durumu için Şekil 4.11'de, diğer durumlar için Ek Şekil 19, Ek Şekil 20 ve Ek Şekil 21'de verilmektedir.

Şekil 4.11 ile Ek Şekil 19 - Ek Şekil 21 incelendiğinde, ortalama çalkantı değerinin dalga yüksekliği ile arttığı görülmektedir.



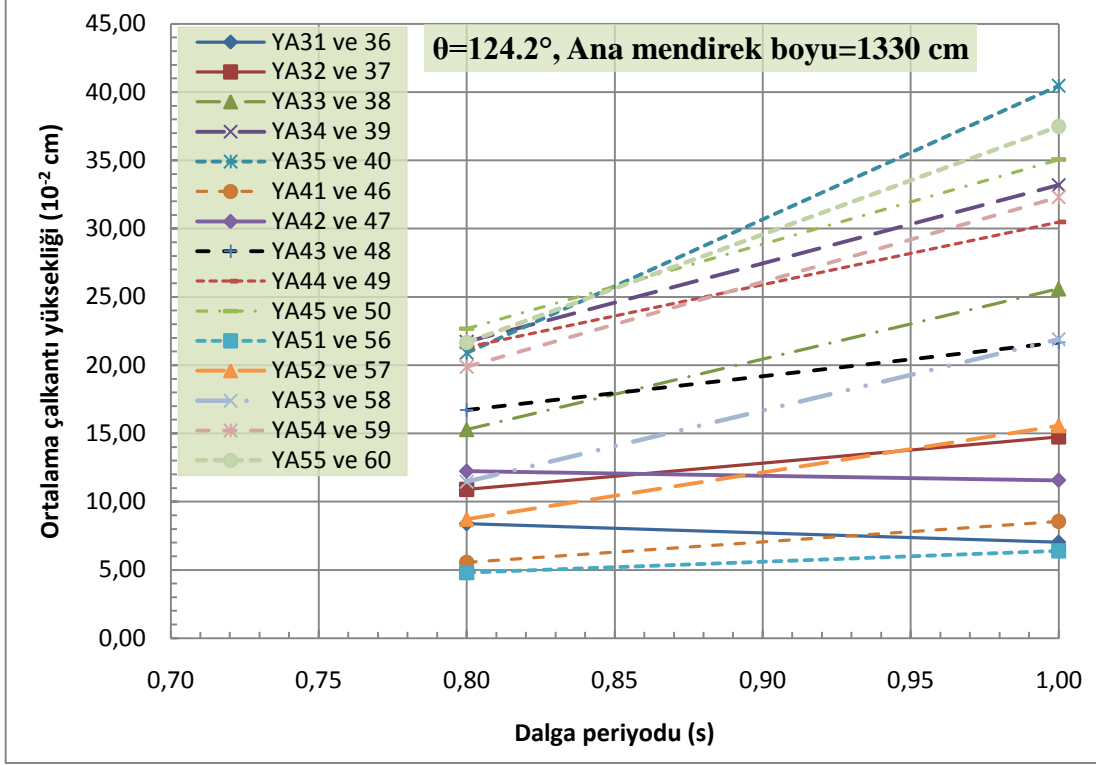
Şekil 4.11. Yük limanı  $\theta=79.2^\circ$  ve  $T=0.8 \text{ s}$  durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga yüksekliği ile değişimi

#### 4.3.2.2. Dalga Periyodunun Yük Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi

Bu bölümde, fiziksel model verileri kullanılarak dalga periyodundaki değişimin liman içi çalkantıya olan etkisi irdelenmiştir.

Fiziksel modele ait ortalama çalkantı değerleri Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te verilmektedir. Dalga periyodunun değişimin liman içi çalkantıya etkisini irdelemek için, yatayda dalga periyodu ve düşeyde ortalama çalkantı miktarı olacak şekilde grafikler çizilmiştir. Bu grafikler  $\theta=124.2^\circ$  ve ana mendirek boyu=1330 cm durumu için Şekil 4.12'de, diğer durumlar için Ek Şekil 22 - Ek Şekil 26'da verilmektedir.

Şekil 4.12 ile Ek Şekil 22 - Ek Şekil 26 incelendiğinde, ortalama çalkantı değerinin dalga periyodu ile arttığı görülmektedir.



Şekil 4.12. Yük limanı  $\theta=124.2^\circ$  ve ana mendirek boyu=1130 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi

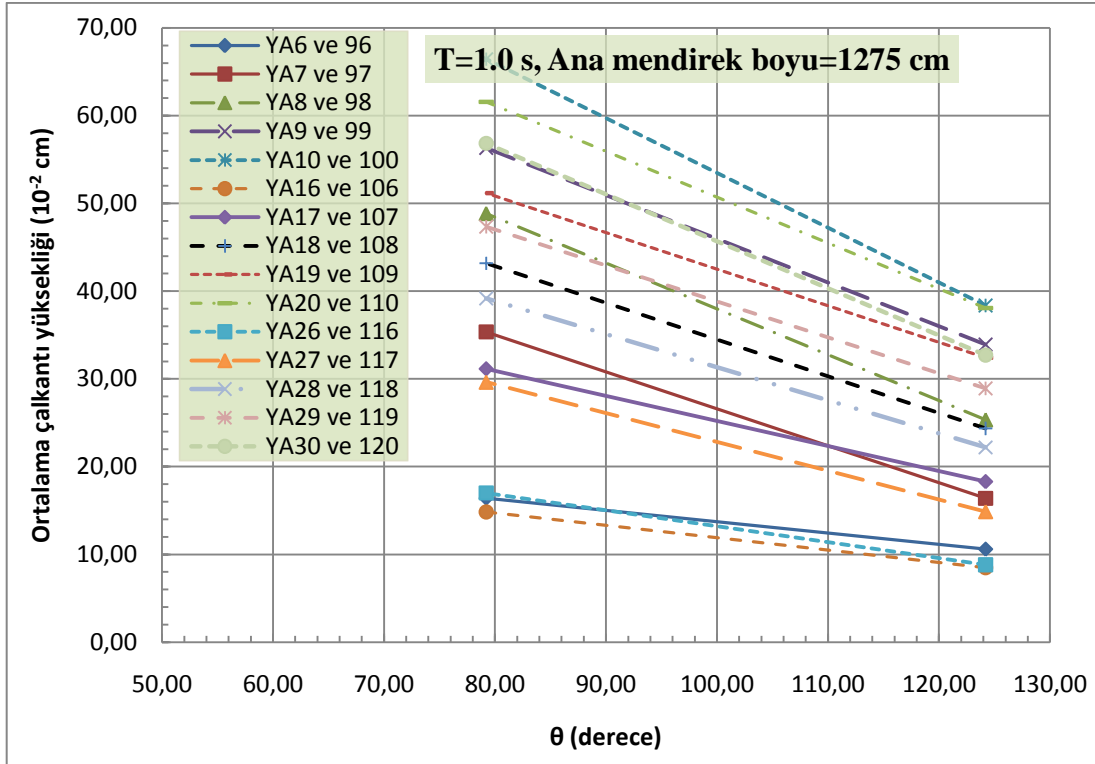
#### 4.3.2.3. Dalga Yönünün Yük Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi

Bu bölümde, fiziksel model verileri kullanılarak dalga yönündeki değişimin liman içi çalkantıya olan etkisi irdelenmiştir.

Fiziksel modele ait ortalama çalkantı değerleri Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te verilmektedir. Dalga yönündeki değişimin liman içi çalkantıya etkisini irdellemek için, yatayda  $\theta$  açısı ve düşeyde ortalama çalkantı miktarı olacak şekilde grafikler çizilmiştir. Bu grafikler  $T=1.0$  s ve ana mendirek boyu=1275 cm durumu için Şekil 4.13'te, diğer durumlar için Ek Şekil 27 - Ek Şekil 31'de verilmektedir.

Şekil 4.13 ile Ek Şekil 27 - Ek Şekil 31 incelendiğinde, ortalama çalkantı değerinin  $\theta$  açısının artması ile azaldığı görülmektedir.





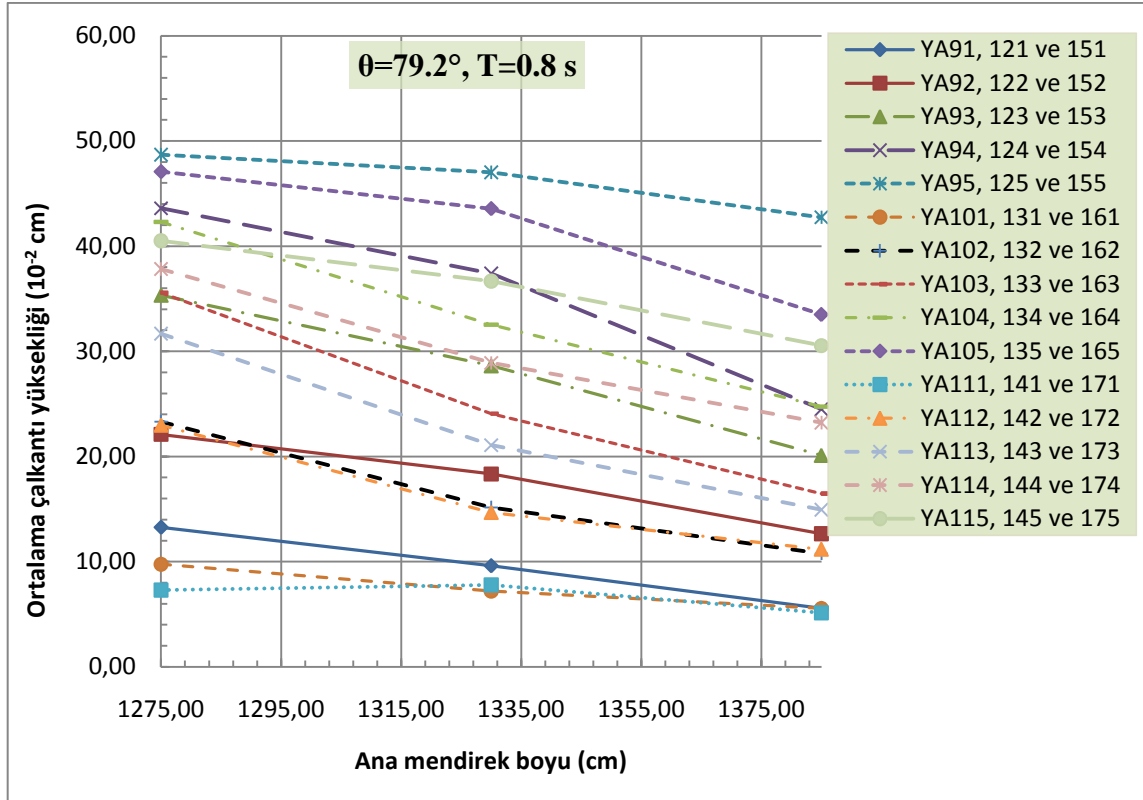
Şekil 4.13. Yük limanı T=1.0 s ve ana mendirek boyu=1275 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin  $\theta$  açısı ile değişimi

### 4.3.3. Mendirek Boylarının Yük Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi

#### 4.3.3.1. Ana Mendirek Boyunun Yük Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi

Bu bölümde, fiziksel model verileri kullanılarak ana mendirek boyunun liman içi çalkantıya olan etkisi irdelenmiştir.

Fiziksel modele ait ortalama çalkantı değerleri Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te verilmektedir. Ana mendirek boyundaki değişimin liman içi çalkantıya etkisi, yatayda ana mendirek boyu ve düşeyde ortalama çalkantı miktarı olacak şekilde çizilen grafikler ile irdelenmiştir. Bu grafikler  $\theta=79.2^\circ$  ve T=0.8 s durumu için Şekil 4.14'te, diğer durumlar için ise Ek Şekil 32- Ek Şekil 34'te verilmektedir. Şekil 4.14 ve Şekil 32 - Ek Şekil 34 incelendiğinde, ana mendirek boyunun uzaması ile ortalama çalkantı yüksekliğinin azaldığı görülmektedir.

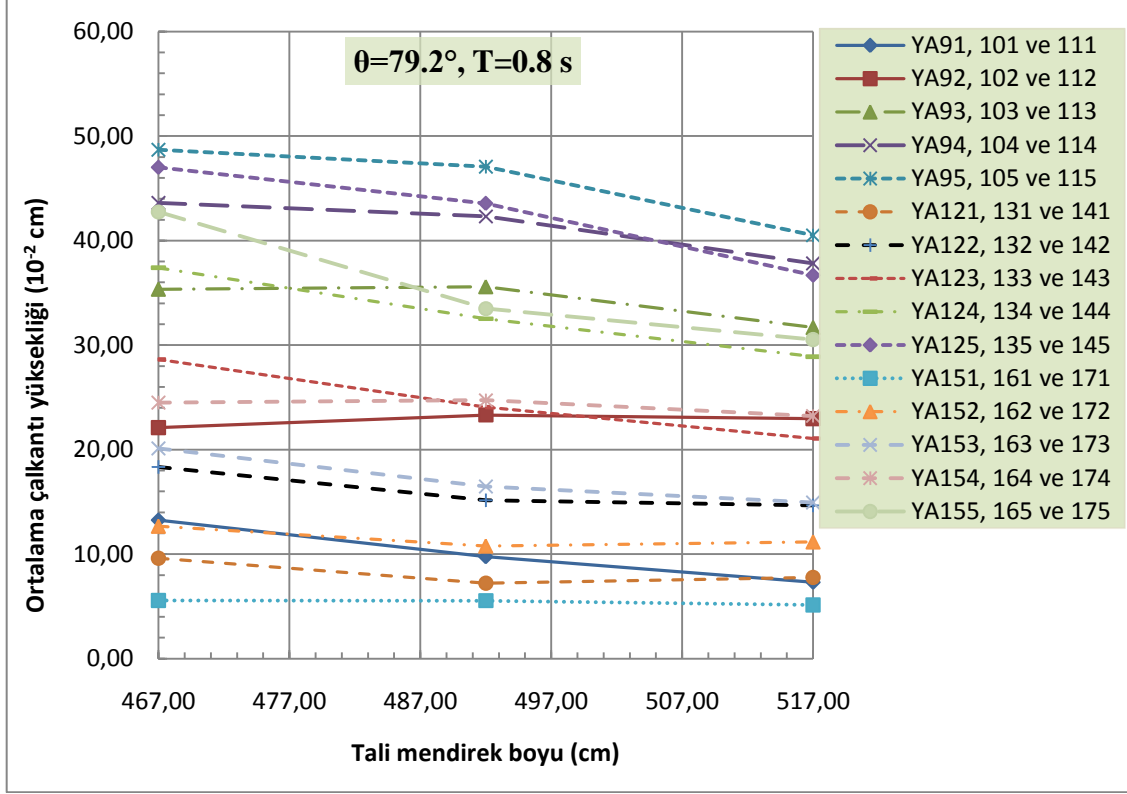


Şekil 4.14. Yük limanı  $\theta=79.2^\circ$  ve  $T=0.8$  s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin ana mendirek boyu ile değişimi

#### 4.3.3.2. Tali Mendirek Boyunun Yük Limanı Çalkantı Değerlerine Etkisi

Bu bölümde, fiziksel model verileri kullanılarak ana mendirek boyunun liman içi çalkantıya olan etkisi irdelenmiştir.

Fiziksel modele ait ortalama çalkantı değerleri Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te verilmektedir. Tali mendirek boyundaki değişimin liman içi çalkantıya etkisi, yatayda tali mendirek boyu ve düşeyde ortalama çalkantı miktarı olacak şekilde çizilen grafikler ile irdelenmiştir. Bu grafikler  $\theta=79.2^\circ$  ve  $T=0.8$  s durumu için Şekil 4.15'te, diğer durumlar için ise Ek Şekil 35- Ek Şekil 37'de verilmektedir. Şekil 4.15 ve Ek Şekil 35 - Ek Şekil 37'de incelendiğinde, tali mendirek boyunun uzaması ile ortalama çalkantı yüksekliğinin azaldığı görülmektedir. Azalma miktarının düşük olması, yük limanı için tali mendirek boyunun ortalama çalkantı miktarına etkisinin az olduğu sonucunu doğurmaktadır.



Şekil 4.15. Yük limanı  $\theta=79.2^\circ$  ve  $T=0.8 \text{ s}$  durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin tali mendirek boyu ile değişimi

#### 4.4. Değişkenlerin Farklı Değerlerinin YSA Yöntemine Uygulanması

##### 4.4.1. Yat Limanı Değişkenlerinin Farklı Değerlerinin İncelenmesi

Bu bölüm, yat limanı liman içi çalkantılarının belirlenmesinde kullanılan değişkenlerin farklı değerleri için, YSA modelinden çalkantı değerlerinin elde edilmesini ve irdelenmesini kapsamaktadır. Bu maksatla farklı deney durumları oluşturulmuş (Tablo 4.5) ve daha sonra bu deney durumlarından elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Tablo 4.5'te değiştirilen değerler koyu hale getirilmiştir. Deney durumları, irdelenmenin kolay yapılması amacıyla YAB ön eki ile numaralandırılmıştır.

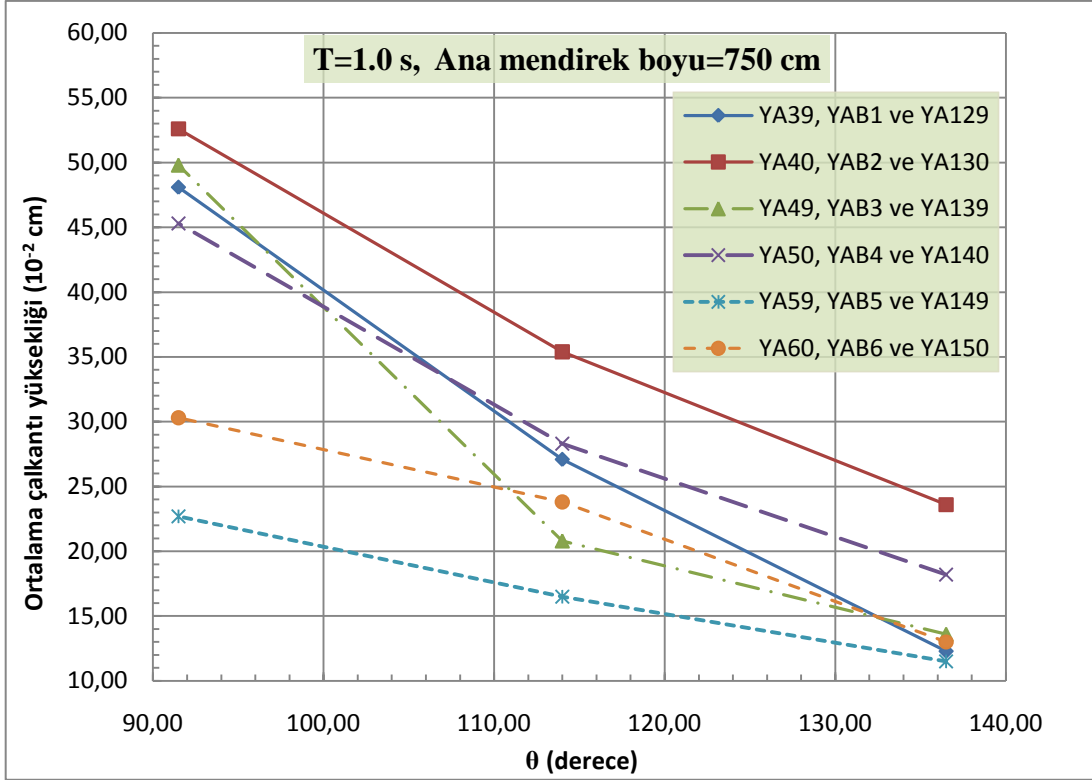
YAB1-YAB6 deney durumlarında, sadece  $\theta$  açısı  $114^\circ$  olarak değiştirilmiş diğer değişkenler fiziksel modelde kullanılan değerle aynı kalmıştır. YSA yönteminden elde edilen sonuçlar,  $\theta$  açısının  $91.5^\circ$  ve  $136.5^\circ$  olduğu fiziksel model sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.16). YSA modeli, fiziksel model sonuçlarından elde edilen

değerlerin arasında değerler tahmin etmiştir. Bu durum,  $\theta$  açısının artması ile ortalama çalkantı yüksekliğinin azaldığı tespitini doğrulamaktadır.

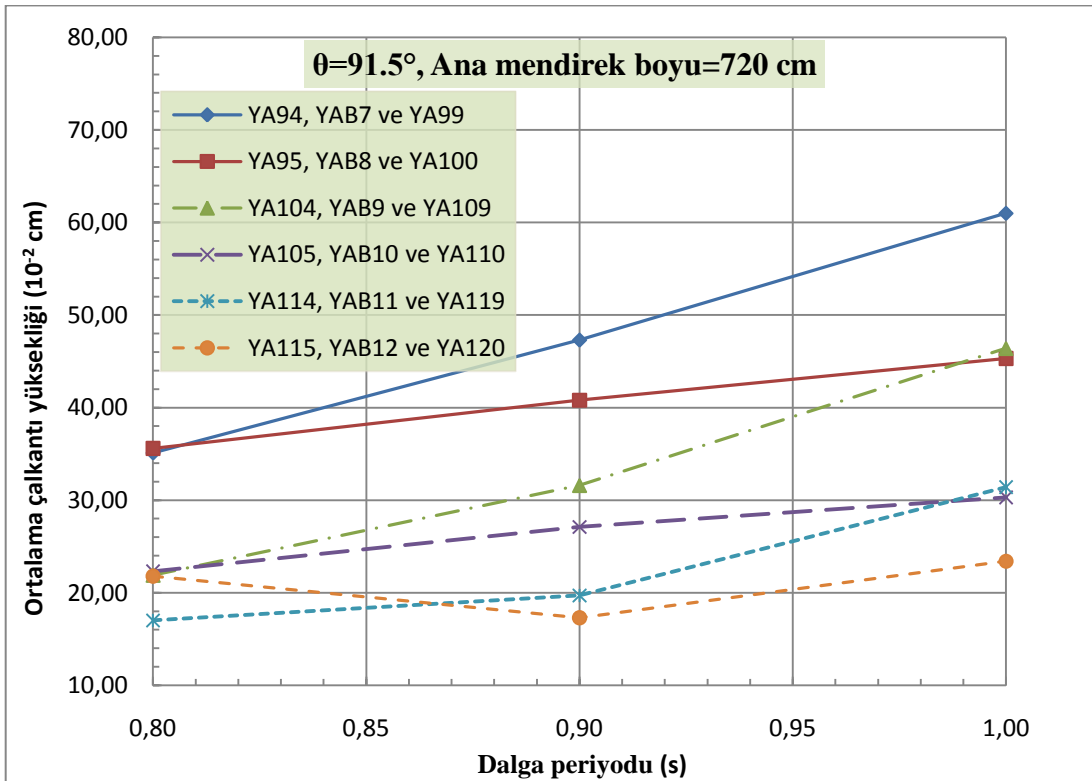
Tablo 4.5. Yat limanı değişkenlerinin farklı değerleri için liman içi çalkantı değerleri

Deney No	Dalganın Ana Mendirek İle Yaptığı Açısı ( $\theta$ ) (derece)	Ana Mendirek Boyu (cm)	Tali Mendirek Boyu (cm)	Dalga Periyodu (T) (s)	Dalga Yüksekliği ( $H_0$ ) (cm)	Ortalama Çalkantı Yüksekliği ( $10^{-2}$ cm)
YAB1	<b>114.0</b>	750	75	1.00	4.0	27.1
YAB2	<b>114.0</b>	750	75	1.00	5.0	35.4
YAB3	<b>114.0</b>	750	100	1.00	4.0	20.8
YAB4	<b>114.0</b>	750	100	1.00	5.0	28.3
YAB5	<b>114.0</b>	750	125	1.00	4.0	16.5
YAB6	<b>114.0</b>	750	125	1.00	5.0	23.8
YAB7	91.5	720	75	<b>0.90</b>	4.0	47.3
YAB8	91.5	720	75	<b>0.90</b>	5.0	40.8
YAB9	91.5	720	100	<b>0.90</b>	4.0	31.6
YAB10	91.5	720	100	<b>0.90</b>	5.0	27.1
YAB11	91.5	720	125	<b>0.90</b>	4.0	19.7
YAB12	91.5	720	125	<b>0.90</b>	5.0	17.3
YAB13	136.5	<b>735</b>	75	1.00	4.0	19.0
YAB14	136.5	<b>735</b>	75	1.00	5.0	26.4
YAB15	136.5	<b>735</b>	100	1.00	4.0	13.9
YAB16	136.5	<b>735</b>	100	1.00	5.0	19.1
YAB17	136.5	<b>735</b>	125	1.00	4.0	10.9
YAB18	136.5	<b>735</b>	125	1.00	5.0	14.8
YAB19	91.5	720	<b>88</b>	0.80	4.0	30.8
YAB20	91.5	720	<b>88</b>	0.80	5.0	31.7
YAB21	91.5	750	<b>88</b>	0.80	4.0	28.2
YAB22	91.5	750	<b>88</b>	0.80	5.0	29.5
YAB23	91.5	780	<b>88</b>	0.80	4.0	25.8
YAB24	91.5	780	<b>88</b>	0.80	5.0	27.7
YAB25	<b>114.0</b>	<b>735</b>	<b>88</b>	<b>0.90</b>	<b>3.5</b>	14.3
YAB26	<b>114.0</b>	<b>765</b>	<b>113</b>	<b>0.90</b>	<b>4.5</b>	17.5
YAB27	<b>106.5</b>	<b>735</b>	<b>113</b>	<b>0.85</b>	<b>2.5</b>	5.4
YAB28	<b>106.5</b>	<b>765</b>	<b>88</b>	<b>0.95</b>	<b>3.5</b>	18.9
YAB29	<b>121.5</b>	<b>735</b>	<b>88</b>	<b>0.90</b>	<b>2.5</b>	7.3
YAB30	<b>121.5</b>	<b>765</b>	<b>113</b>	<b>0.90</b>	<b>4.5</b>	14.8

YAB7-YAB12 deney durumlarında ise, sadece periyot 0.9 s olarak değiştirilmiş diğer değişkenler fiziksel modelde kullanılan değerle aynı kalmıştır. Şekil 4.17’de YSA yönteminden elde edilen sonuçlar, dalga periyodunun 0.8 s ve 1.0 s olduğu fiziksel model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. YSA modeli, fiziksel model sonuçlarından elde edilen değerlerin arasında değerler tahmin etmiştir. Bu durum, dalga periyodunun artması ile ortalama çalkantı yüksekliğinin arttığı tespitini doğrulamaktadır.



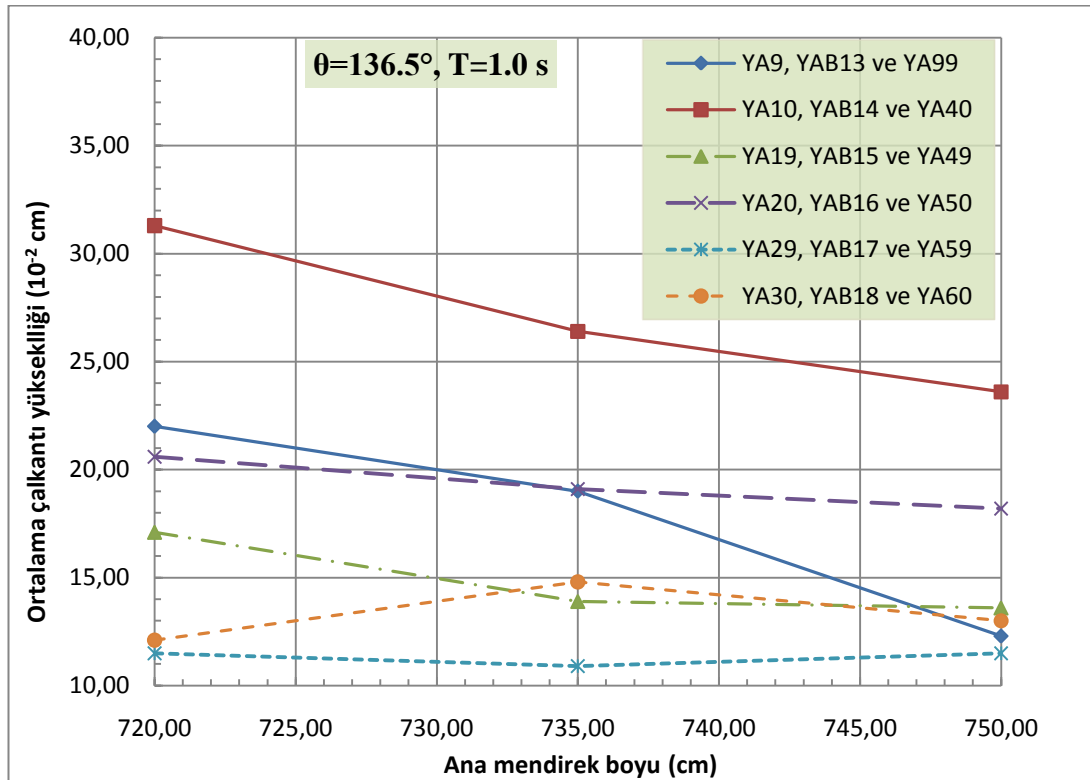
Şekil 4.16. Yat limanında farklı  $\theta$  açıları için elde edilen sonuçların karşılaştırılması



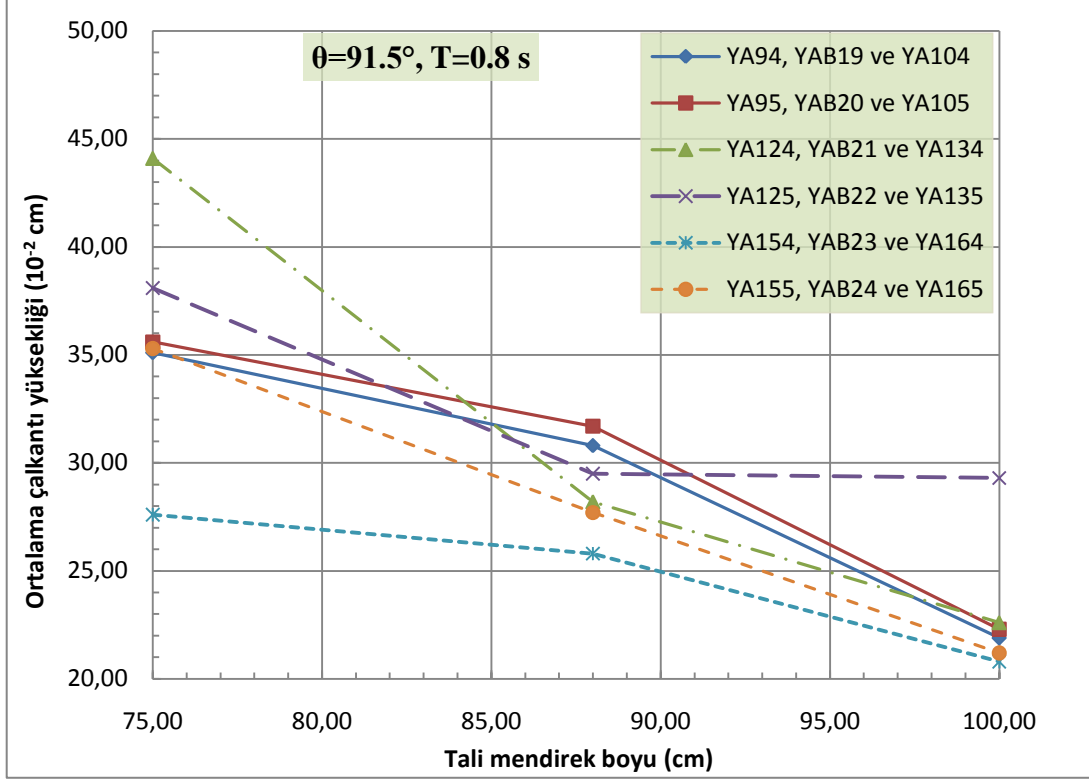
Şekil 4.17. Yat limanında farklı periyotlar için elde edilen sonuçların karşılaştırılması

YAB13-YAB18 deney durumlarında, sadece ana mendirek boyu 735 cm olarak değiştirilmiş diğer değişkenler fiziksel modelde kullanılan değerle aynı kalmıştır. YSA yönteminden elde edilen sonuçlar, ana mendirek boyunun 720 cm ve 750 cm olduğu fiziksel model sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.18). YSA modeli, çoğunlukla fiziksel model sonuçlarından elde edilen değerlerin arasında değerler tahmin etmiştir. Bu durum, ana mendirek boyunun uzaması ile ortalama çalkantı yüksekliğinin azaldığı tespitini doğrulamaktadır.

YAB19-YAB24 deney durumlarında, sadece tali mendirek boyu 88 cm olarak değiştirilmiş diğer değişkenler fiziksel modelde kullanılan değerle aynı kalmıştır. YSA yönteminden elde edilen sonuçlar, ana mendirek boyunun 75 cm ve 100 cm olduğu fiziksel model sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.19). YSA modeli, fiziksel model sonuçlarından elde edilen değerlerin arasında değerler tahmin etmiştir. Bu durum, tali mendirek boyunun uzaması ile ortalama çalkantı yüksekliğinin azaldığı tespitini doğrulamaktadır.



Şekil 4.18. Yat limanında farklı ana mendirek boyu için elde edilen sonuçların karşılaştırılması



Şekil 4.19. Yat limanında farklı tali mendirek boyu için elde edilen sonuçların karşılaştırılması

Son olarak YAB25-YAB30 deney durumları için YSA yönteminden çalkantı sonuçları elde edilmiştir. YAB25-YAB30 durumlarında kullanılan tüm değişkenler için farklı değerler girilmiş ve ortalama çalkantı değerleri elde edilmiştir. Elde edilen ortalama çalkantı değerleri Tablo 4.5'te verilmektedir. YSA yönteminden farklı değerler için sonuç elde edilmesi, YSA yönteminin en iyi liman planı seçiminde kullanılabileceğini göstermektedir.

#### 4.4.2. Yük Limanı Değişkenlerinin Farklı Değerlerinin İncelenmesi

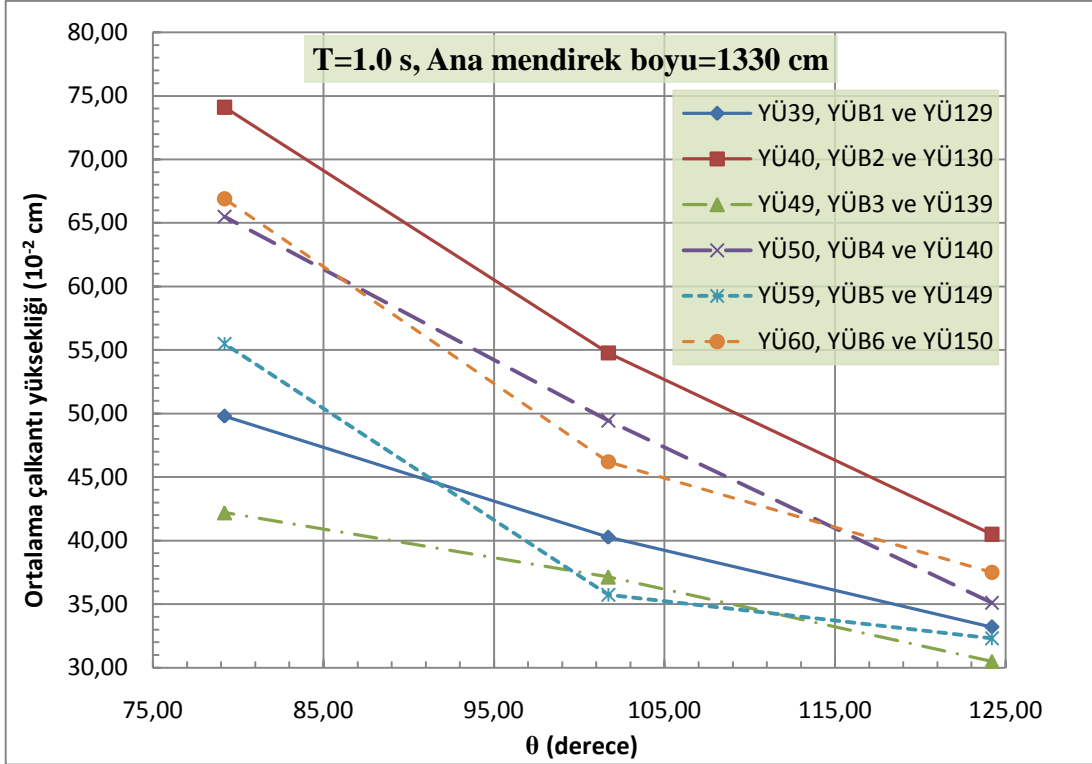
Bu bölüm, yük limanı liman içi çalkantılarının belirlenmesinde kullanılan değişkenlerin farklı değerleri için, YSA modelinden çalkantı değerlerinin elde edilmesini ve irdelenmesini kapsamaktadır. Bu maksatla farklı deney durumları oluşturulmuş (Tablo 4.6) ve daha sonra bu deney durumlarından elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Tablo 4.6'de değiştirilen değerler koyu hale getirilmiştir. Deney durumları, irdelenmenin kolay yapılması amacıyla YÜB ön eki ile numaralandırılmıştır.

Tablo 4.6. Yük limanı değişkenlerinin farklı değerleri için liman içi çalkantı değerleri

Deney No	Dalga'nın Ana Mendirek İle Yaptığı Açısı ( $\theta$ ) (derece)	Ana Mendirek Boyu (cm)	Tali Mendirek Boyu (cm)	Dalga Periyodu (T) (s)	Dalga Yüksekliği ( $H_0$ ) (cm)	Ortalama Çalkantı Yüksekliği ( $10^{-2}$ cm)
YÜB1	<b>101.7</b>	1330	467	1.00	4.0	40.3
YÜB2	<b>101.7</b>	1330	467	1.00	5.0	54.8
YÜB3	<b>101.7</b>	1330	492	1.00	4.0	37.1
YÜB4	<b>101.7</b>	1330	492	1.00	5.0	49.4
YÜB5	<b>101.7</b>	1330	517	1.00	4.0	35.7
YÜB6	<b>101.7</b>	1330	517	1.00	5.0	46.2
YÜB7	79.2	1275	467	<b>0.85</b>	4.0	33.6
YÜB8	79.2	1275	467	<b>0.85</b>	5.0	57.3
YÜB9	79.2	1275	492	<b>0.85</b>	4.0	27.7
YÜB10	79.2	1275	492	<b>0.85</b>	5.0	44.2
YÜB11	79.2	1275	517	<b>0.85</b>	4.0	25.2
YÜB12	79.2	1275	517	<b>0.85</b>	5.0	35.5
YÜB13	124.2	<b>1360</b>	467	1.00	4.0	32.4
YÜB14	124.2	<b>1360</b>	467	1.00	5.0	40.8
YÜB15	124.2	<b>1360</b>	492	1.00	4.0	29.5
YÜB16	124.2	<b>1360</b>	492	1.00	5.0	36.8
YÜB17	124.2	<b>1360</b>	517	1.00	4.0	28.3
YÜB18	124.2	<b>1360</b>	517	1.00	5.0	34.3
YÜB19	79.2	1275	<b>480</b>	0.80	4.0	42.9
YÜB20	79.2	1275	<b>480</b>	0.80	5.0	47.9
YÜB21	79.2	1330	<b>480</b>	0.80	4.0	35.0
YÜB22	79.2	1330	<b>480</b>	0.80	5.0	46.6
YÜB23	79.2	1385	<b>480</b>	0.80	4.0	23.6
YÜB24	79.2	1385	<b>480</b>	0.80	5.0	38.1
YÜB25	<b>101.7</b>	<b>1300</b>	<b>480</b>	<b>0.90</b>	<b>3.5</b>	40.7
YÜB26	<b>101.7</b>	<b>1360</b>	<b>505</b>	<b>0.90</b>	<b>4.5</b>	32.5
YÜB27	<b>94.2</b>	<b>1300</b>	<b>505</b>	<b>0.85</b>	<b>2.5</b>	21.6
YÜB28	<b>94.2</b>	<b>1360</b>	<b>480</b>	<b>0.95</b>	<b>3.5</b>	32.5
YÜB29	<b>109.2</b>	<b>1300</b>	<b>480</b>	<b>0.90</b>	<b>2.5</b>	23.9
YÜB30	<b>109.2</b>	<b>1360</b>	<b>505</b>	<b>0.90</b>	<b>4.5</b>	31.6

YÜB1-YÜB6 deney durumlarında, sadece  $\theta$  açısı 101.7° olarak değiştirilmiş diğer değişkenler fiziksel modelde kullanılan değerle aynı kalmıştır. YSA yönteminden elde edilen sonuçlar,  $\theta$  açısının 79.2° ve 124.2° olduğu fiziksel model sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.20). YSA modeli, fiziksel model sonuçlarından elde edilen değerlerin arasında değerler tahmin etmiştir. Bu durum,  $\theta$  açısının artması ile ortalama çalkantı yüksekliğinin azaldığı tespitini doğrulamaktadır.

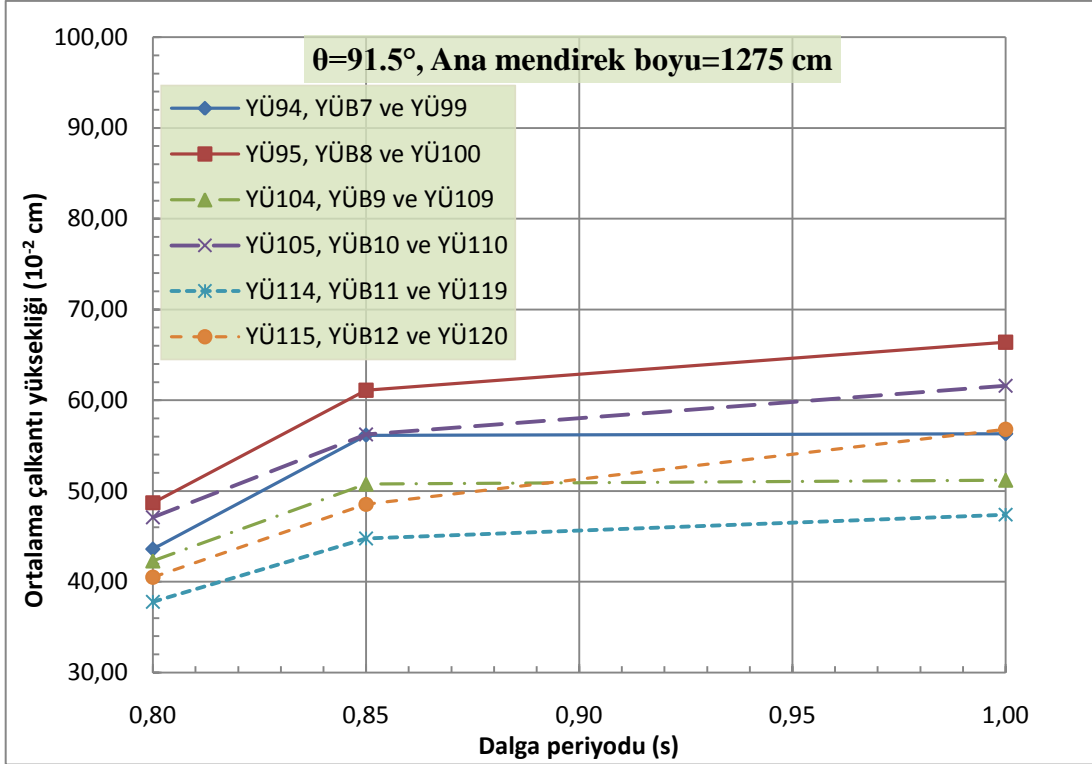




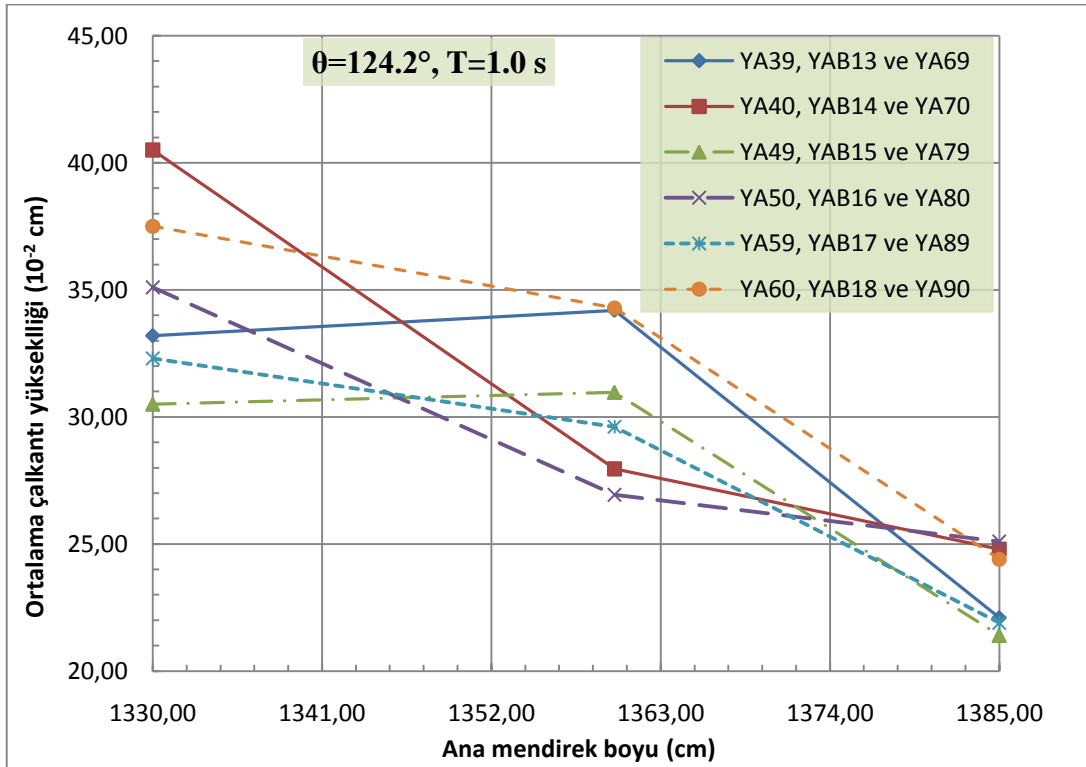
Şekil 4.20. Yük limanında farklı  $\theta$  açıları için elde edilen sonuçların karşılaştırılması

YÜB7-YÜB12 deney durumlarında ise, sadece periyot 0.85 s olarak değiştirilmiş diğer değişkenler fiziksel modelde kullanılan değerle aynı kalmıştır. Şekil 4.21’de YSA yönteminden elde edilen sonuçlar, dalga periyodunun 0.8 s ve 1.0 s olduğu fiziksel model sonuçları ile karşılaştırılmıştır. YSA modeli, fiziksel model sonuçlarından elde edilen değerlerin arasında değerler tahmin etmiştir, ancak tahmin değerleri beklenenin biraz üzerinde çıkmıştır. Elde edilen değerler dalga periyodunun artması ile ortalama çalkantı yüksekliğinin arttığı tespitini doğrulamaktadır.

YÜB13-YÜB18 deney durumlarında, sadece ana mendirek boyu 1300 cm olarak değiştirilmiş diğer değişkenler fiziksel modelde kullanılan değerle aynı kalmıştır. YSA yönteminden elde edilen sonuçlar, ana mendirek boyunun 1275 cm ve 1330 cm olduğu fiziksel model sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.22). YSA modeli, fiziksel model sonuçlarından elde edilen değerlere yakın yada bu değerlerin arasında tahminler yapmıştır. Bu durum, ana mendirek boyunun uzaması ile ortalama çalkantı yüksekliğinin azaldığı tespitini desteklemektedir.



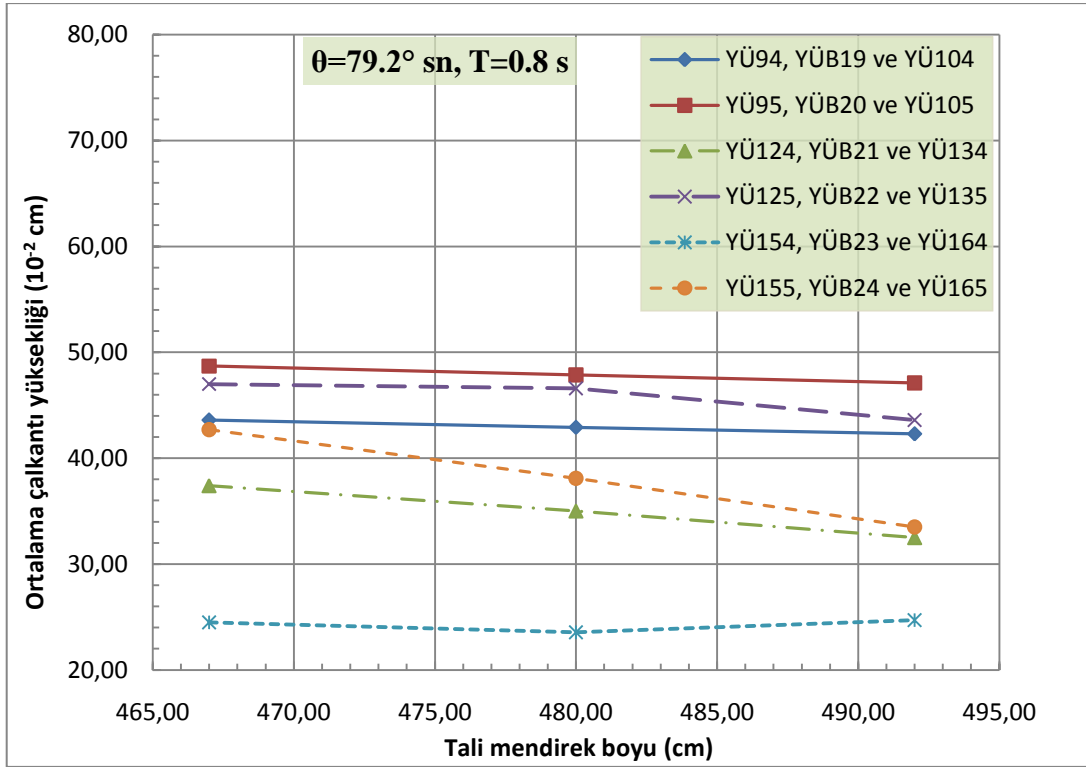
Şekil 4.21. Yük limanında farklı periyotlar için elde edilen sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 4.22. Yük limanında farklı ana mendirek boyu için elde edilen sonuçların karşılaştırılması

YÜB19-YÜB24 deney durumlarında, sadece tali mendirek boyu 480 cm olarak değiştirilmiş diğer değişkenler fiziksel modelde kullanılan değerle aynı kalmıştır. YSA yönteminden elde edilen sonuçlar, ana mendirek boyunun 467 cm ve 492 cm olduğu fiziksel model sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.23). YSA modeli, bir değer dışında fiziksel model sonuçlarından elde edilen değerlerin arasında tahminler yapmıştır. Bu durum, ana mendirek boyunun uzaması ile ortalama çalkantı yüksekliğinin azaldığı tespitini desteklemektedir.

Son olarak YÜB25-YÜB30 deney durumları için YSA yönteminden çalkantı sonuçları elde edilmiştir. YÜB25-YÜB30 deney durumlarında kullanılan tüm değişkenler için farklı değerler girilmiş ve ortalama çalkantı değerleri elde edilmiştir. Elde edilen ortalama çalkantı değerleri Tablo 4.6'da verilmektedir. YSA yönteminin farklı değerler için sonuç vermesi, en iyi liman planı seçiminde kullanılabileceğini göstermektedir.



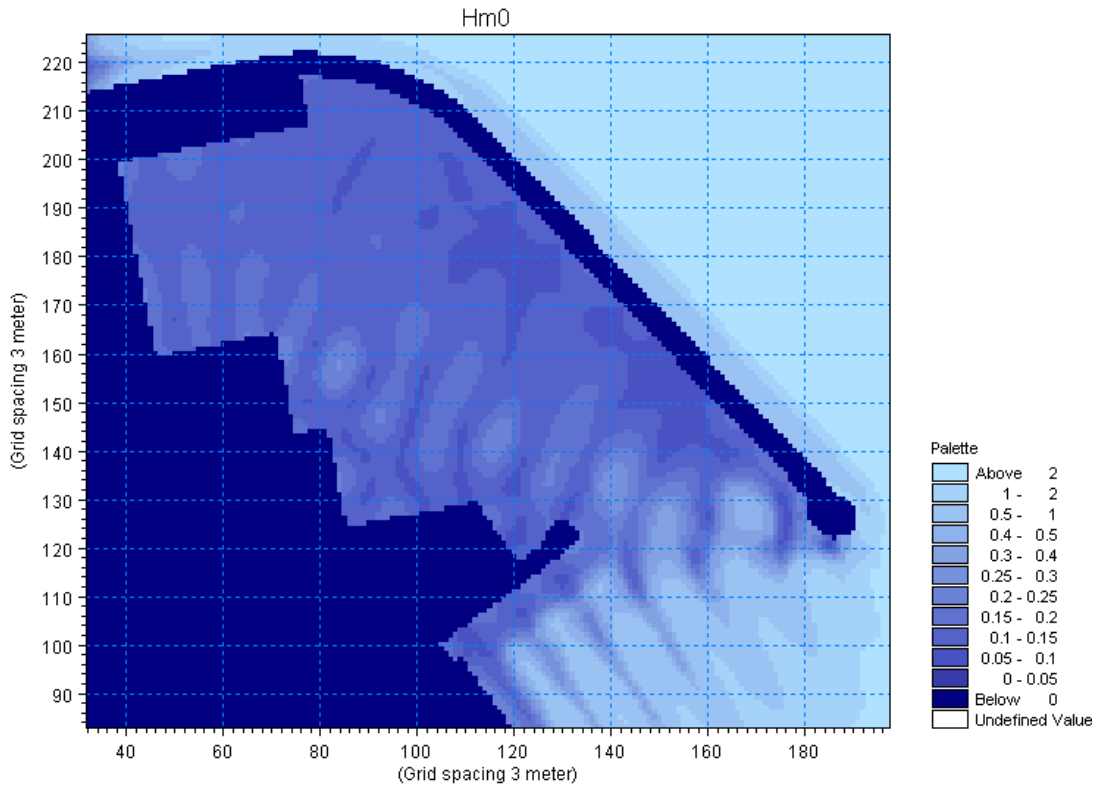
Şekil 4.23. Yük limanında farklı tali mendirek boyu için elde edilen sonuçların karşılaştırılması

## 4.5. Liman İçerisinde Çalkantı Yüksekliği Dağılımının İncelenmesi

### 4.5.1. Yat Limanı İçerisinde Çalkantı Yükseklik Dağılımının İncelenmesi

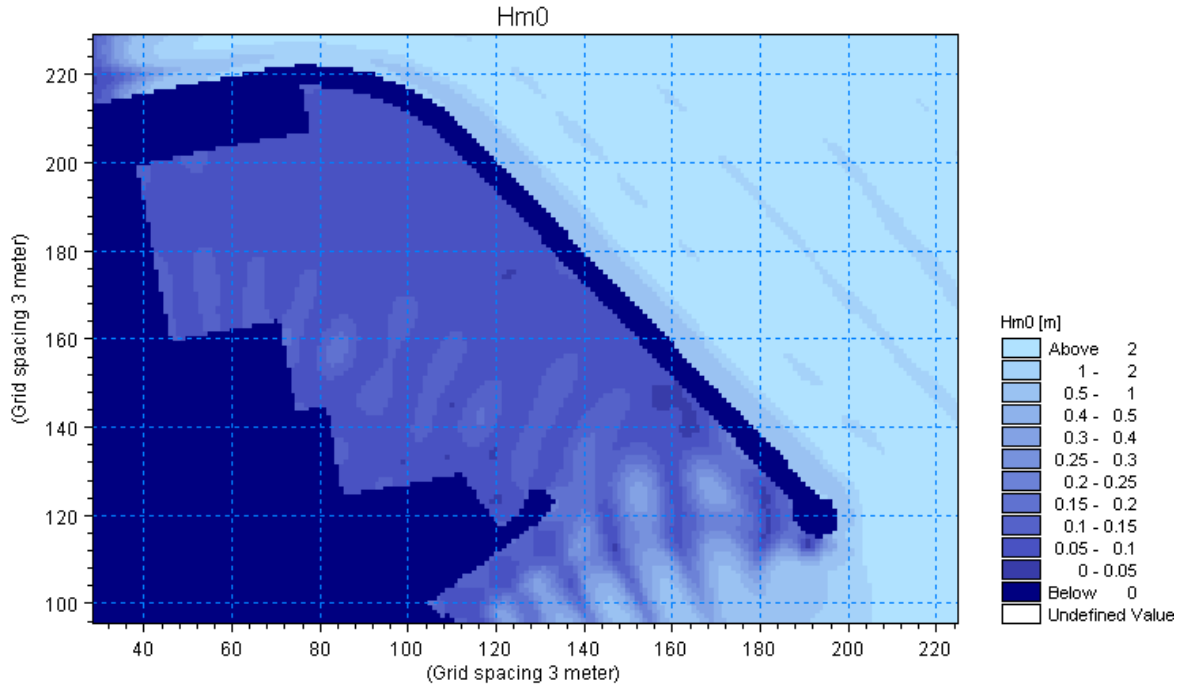
Bu bölümde, yat limanı içerisinde oluşan çalkantı miktarının dağılımı sayısal modelden elde edilen verilere dayanarak incelenmiştir. YA49, YA78, YA109, YA144 ve YA175 olmak üzere beş deney durumu için inceleme yapılmıştır. Deney durumları seçilirken dalga yüksekliklerinin büyük ve ana mendirek uzunluklarının farklı olmasına dikkat edilmiştir.

Şekil 4.24'te YA49 No'lu deney için sayısal modelden elde edilen liman içi çalkantı dağılımı görülmektedir. Şekil 4.24 incelendiğinde, çalkantı miktarının genelde 5 ila 20 cm arasında değiştiği ve en yüksek çalkantı değerlerinin 25-30 cm aralığında olduğu belirlenmiştir. Çalkantı miktarının, liman giriş ağzı ve YAR3 ve YAR4 No'lu rıhtımların yakınında yüksek, ana mendireğin iç kısımlarında ise oldukça düşük olduğu görülmektedir. YAR4 ve YAR5 No'lu rıhtımlar liman giriş ağzına uzak olmalarına karşın, rıhtımların kenarlarında çalkantı yüksekliklerinde yükselmeler meydana gelmektedir.



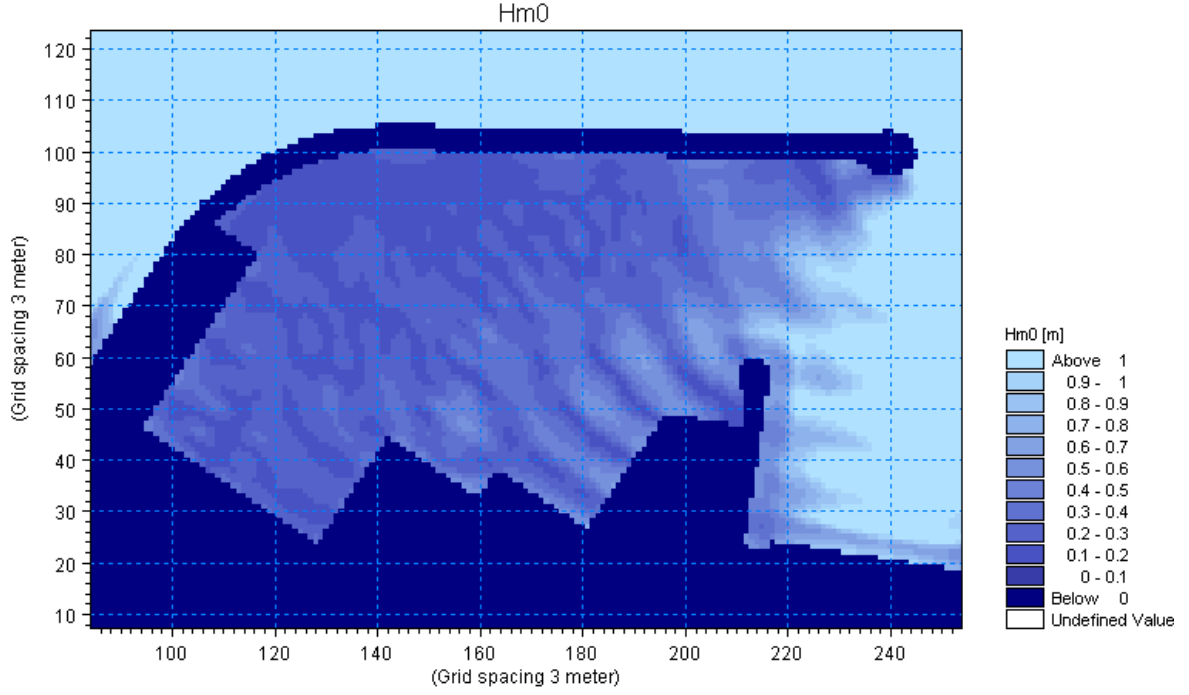
Şekil 4.24. YA49 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı (m)

YA78 No'lu deney için elde edilen liman içi çalkantı dağılımı Şekil 4.25'te görülmektedir. Şekil 4.25 incelendiğinde, çalkantı miktarının genelde 5 ila 15 cm arasında değiştiği ve en yüksek çalkantı değerlerinin 15-20 cm aralığında olduğu belirlenmiştir. Çalkantı miktarının YA49 No'lu deney durumuna benzer bir biçimde liman giriş ağzı ve YAR3 ve YAR4 No'lu rıhtımların yakınlarda yüksek ana mendireğin liman içi kısımlarında ise oldukça düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.25. YA78 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı

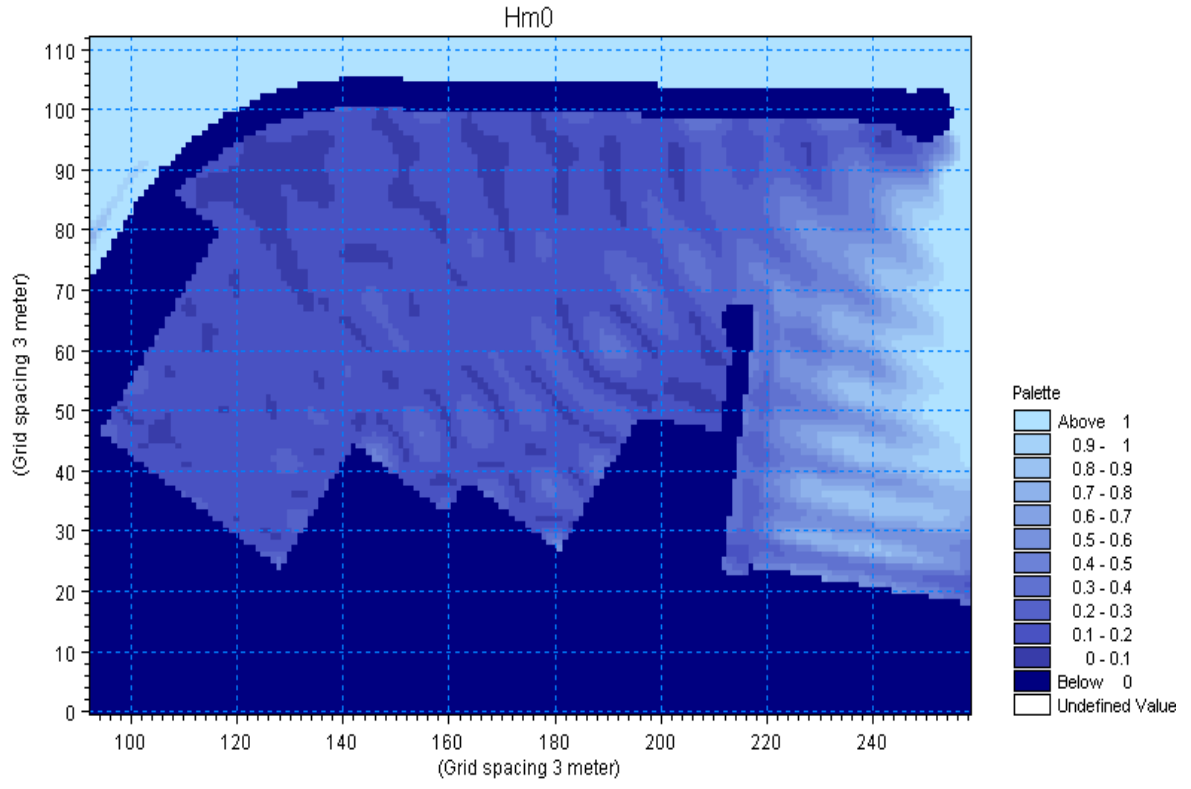
Şekil 4.26'da YA109 No'lu deney için elde edilen liman içi çalkantı dağılımı görülmektedir. Şekil 4.26 incelendiğinde, çalkantı miktarının genelde 10 ila 40 cm arasında değiştiği ve en yüksek çalkantı değerlerinin 60-70 cm aralığında olduğu belirlenmiştir. Çalkantı miktarının liman giriş ağzı ve YAR3, YAR4 ve YAR5 No'lu rıhtımların yakınlarda yüksek ana mendireğin liman içi kısımlarında ise oldukça düşük olduğu görülmektedir. YA49 ve YA78 No'lu deney durumlarındaki dağılıma göre, YAR5 No'lu rıhtım yakınlardaki çalkantı yüksekliklerinin göreceli olarak daha fazla olduğu görülmektedir.



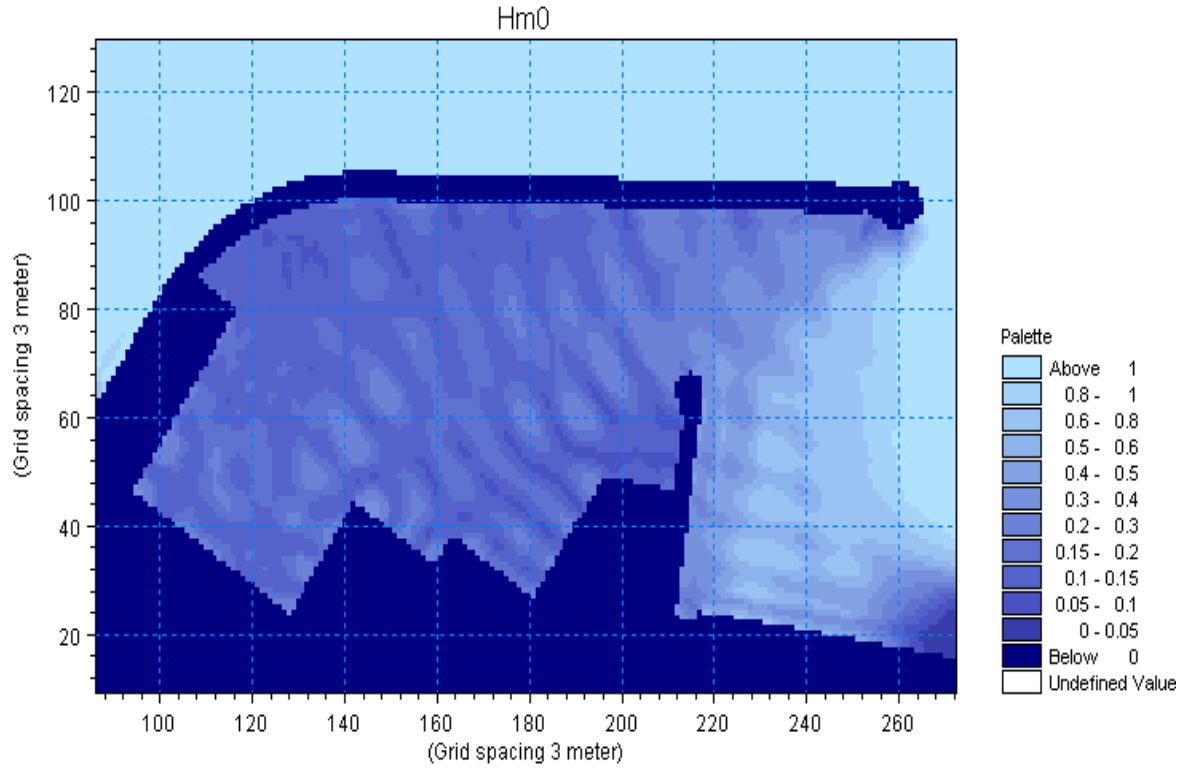
Şekil 4.26. YA109 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı

YA144 No'lu deney için elde edilen liman içi çalkantı dağılımı Şekil 4.27'de görülmektedir. Şekil 4.27 incelendiğinde, çalkantı miktarının genelde 10 ila 30 cm arasında değiştiği ve en yüksek çalkantı değerlerinin 40-50 cm aralığında olduğu belirlenmiştir. Çalkantı miktarının, YA109 No'lu deney durumuna benzer bir biçimde liman giriş ağzı ve YAR3, YAR4 ve YAR5 No'lu rıhtımların yakınlarında yüksek, ana mendireğin liman içi kısımlarında ise oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 4.28'de YA175 No'lu deney için elde edilen liman içi çalkantı dağılımı görülmektedir. Şekil 4.28 incelendiğinde, çalkantı miktarının genelde 10 ila 20 cm arasında değiştiği ve en yüksek çalkantı değerlerinin 30-40 cm aralığında olduğu belirlenmiştir. Çalkantı miktarının; liman giriş ağzı, liman baseni orta kısımlarında, YAR3 ve YAR4 No'lu rıhtımların yakınlarında yüksek, ana mendireğin liman içi kısımlarında ise oldukça düşük olduğu görülmektedir. Ana mendirek uzunluğunun artması ile çalkantı yüksekliği dağılımı değişmiş YAR5 No'lu rıhtım kayınlarındaki çalkantı yüksekliği göreceli olarak azalmıştır.



Şekil 4.27. YA144 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı (m)

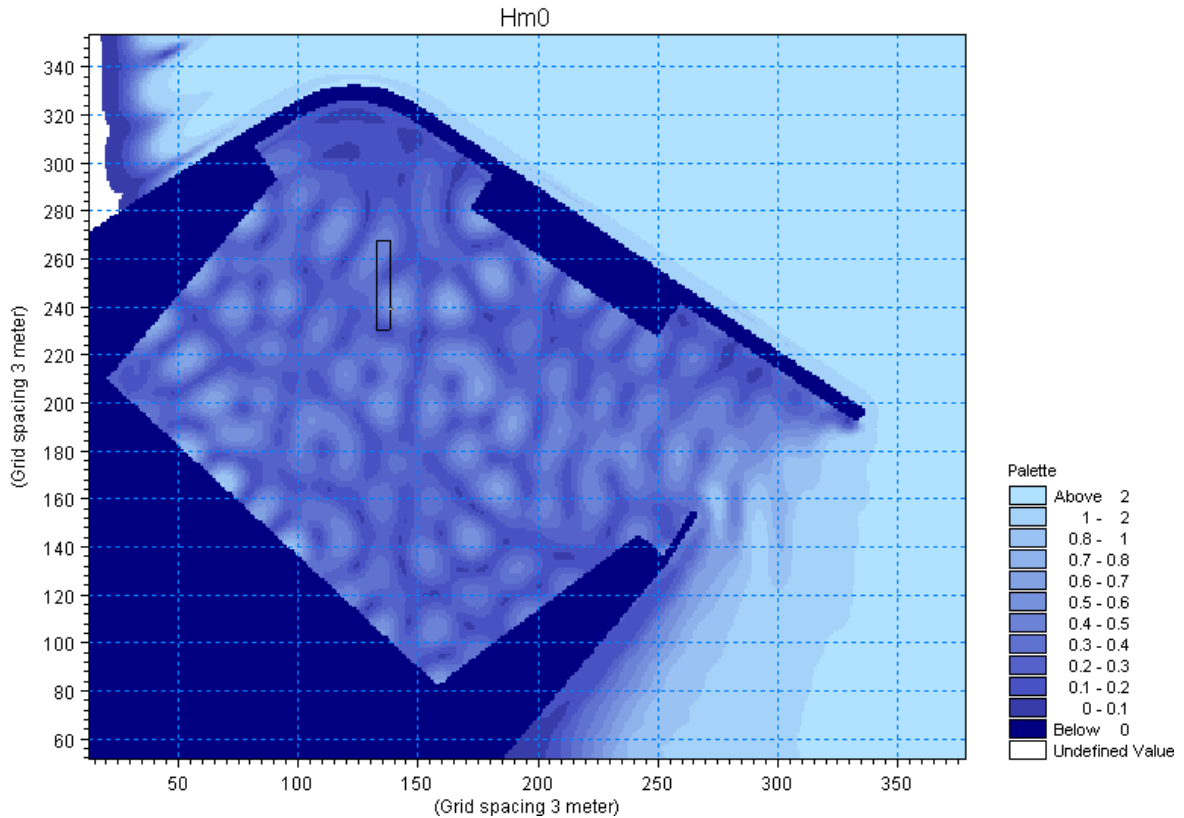


Şekil 4.28. YA175 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı (m)

#### 4.5.2. Yük Limanı İçerisinde Çalkantı Yükseklik Dağılımının İncelenmesi

Bu bölümde, yük limanı içerisinde oluşan çalkantı miktarının dağılımı sayısal modelden elde edilen verilere dayanarak incelenmiştir. YÜ49, YÜ78, YÜ109, YÜ144 ve YÜ175 olmak üzere beş deney durumu için inceleme yapılmıştır. Deney durumları seçilirken dalga yüksekliklerinin büyük ve ana mendirek uzunluklarının farklı olmasına dikkat edilmiştir.

Şekil 4.29'da YÜ49 No'lu deney için sayısal modelden elde edilen liman içi çalkantı dağılımı görülmektedir. Şekil 4.29 incelendiğinde, çalkantı miktarının genelde 10 ile 50 cm arasında değiştiği ve en yüksek çalkantı değerlerinin 90-100 cm aralığında olduğu belirlenmiştir. Çalkantı miktarının; liman giriş ağzı, liman baseni orta kısmı ve YÜR4 No'lu rıhtım dışındaki rıhtımların yakınlarında yüksek, ana mendireğin kurp bölgesinde ise oldukça düşük olduğu görülmektedir. YAR1 rıhtımı ana mendirek iç kısmında bulunmasına karşın, özellikle rıhtımın kenarlarında çalkantı yüksekliklerinde yükselmeler meydana gelmektedir.

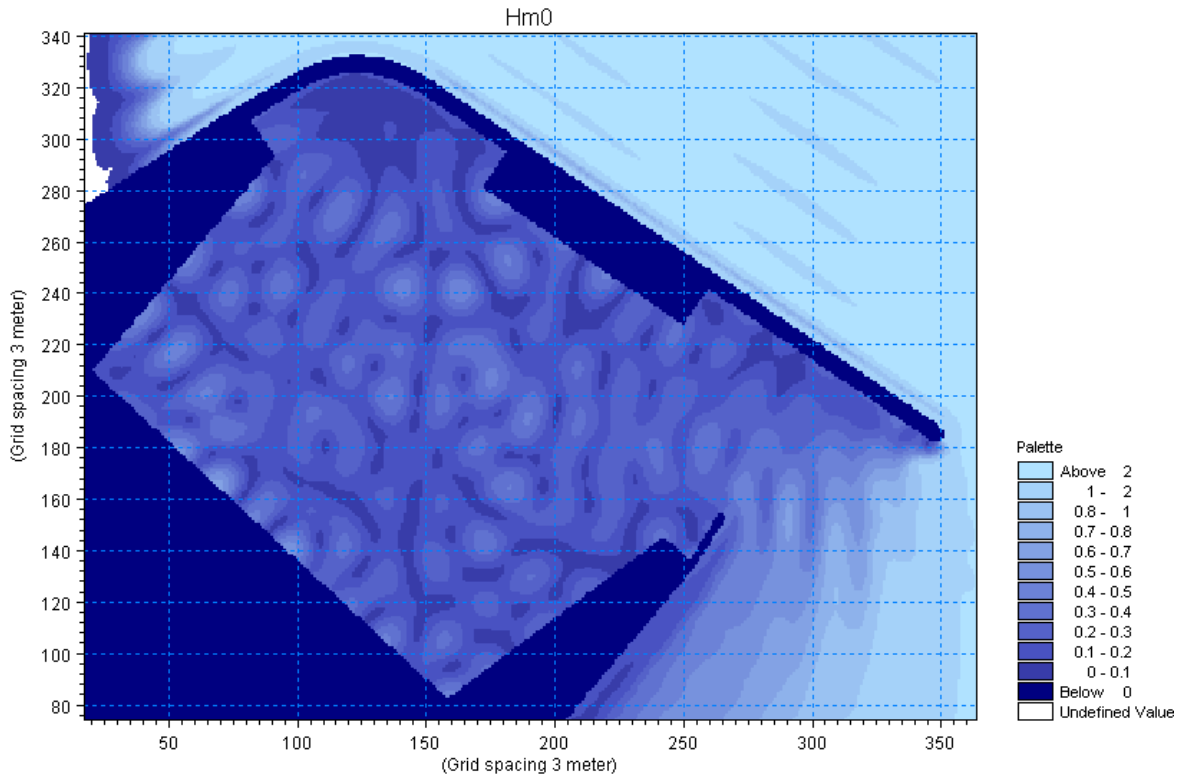


Şekil 4.29. YÜ49 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı (m)

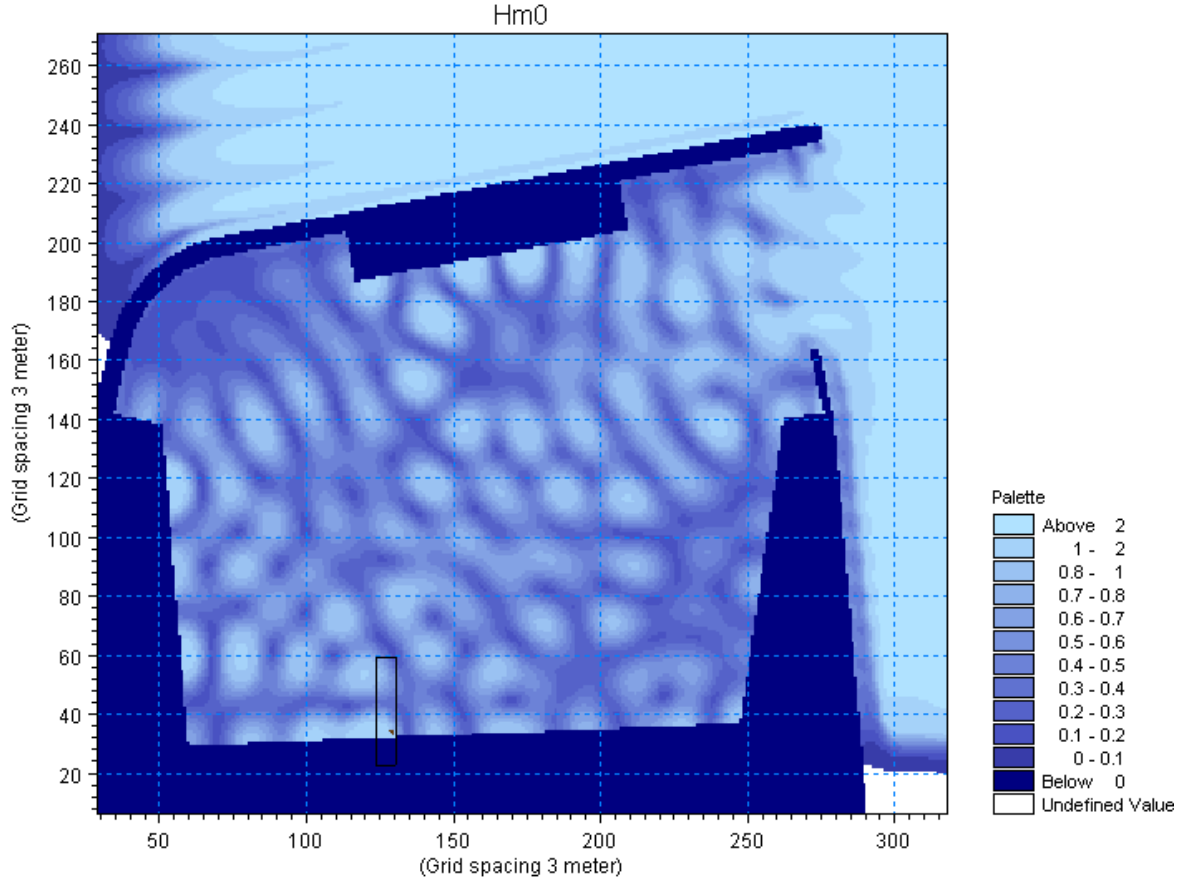


YÜ78 No'lu deney için elde edilen liman içi çalkantı dağılımı Şekil 4.30'da görülmektedir. Şekil 4.30 incelendiğinde, çalkantı miktarının genelde 10 ile 40 cm arasında değiştiği ve en yüksek çalkantı değerlerinin 50-60 cm aralığında olduğu belirlenmiştir. Çalkantı miktarının; YÜ78 No'lu deney durumuna benzer bir şekilde liman giriş ağzı, liman baseni orta kısmı ve YÜR4 No'lu rıhtım dışındaki rıhtımların yakınlarında yüksek, ana mendireğin kurp bölgesinde ise oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 4.31'da YÜ109 No'lu deney için elde edilen liman içi çalkantı dağılımı görülmektedir. Şekil 4.31 incelendiğinde, çalkantı miktarının genelde 20 ile 80 cm arasında değiştiği ve en yüksek çalkantı değerlerinin 100-110 cm aralığında olduğu belirlenmiştir. Çalkantı miktarının; liman giriş ağzı, liman baseni orta kısmı ve YÜR4 No'lu rıhtım dışındaki rıhtımların yakınlarında yüksek, ana mendireğin kurp bölgesinde ise oldukça düşük olduğu görülmektedir. Çalkantı yüksekliği dağılımı YÜ49 ve YÜ78 No'lu deneylerden elde edilen dağılımlara benzerlik göstermektedir.



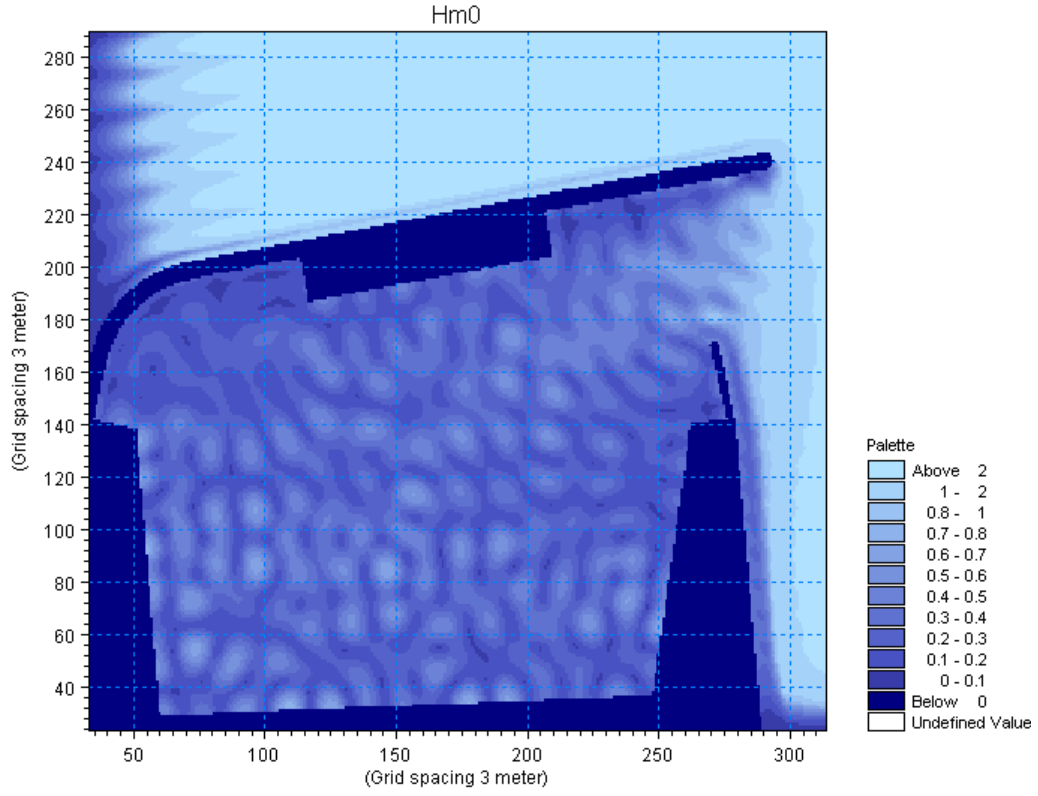
Şekil 4.30. YÜ78 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı (m)



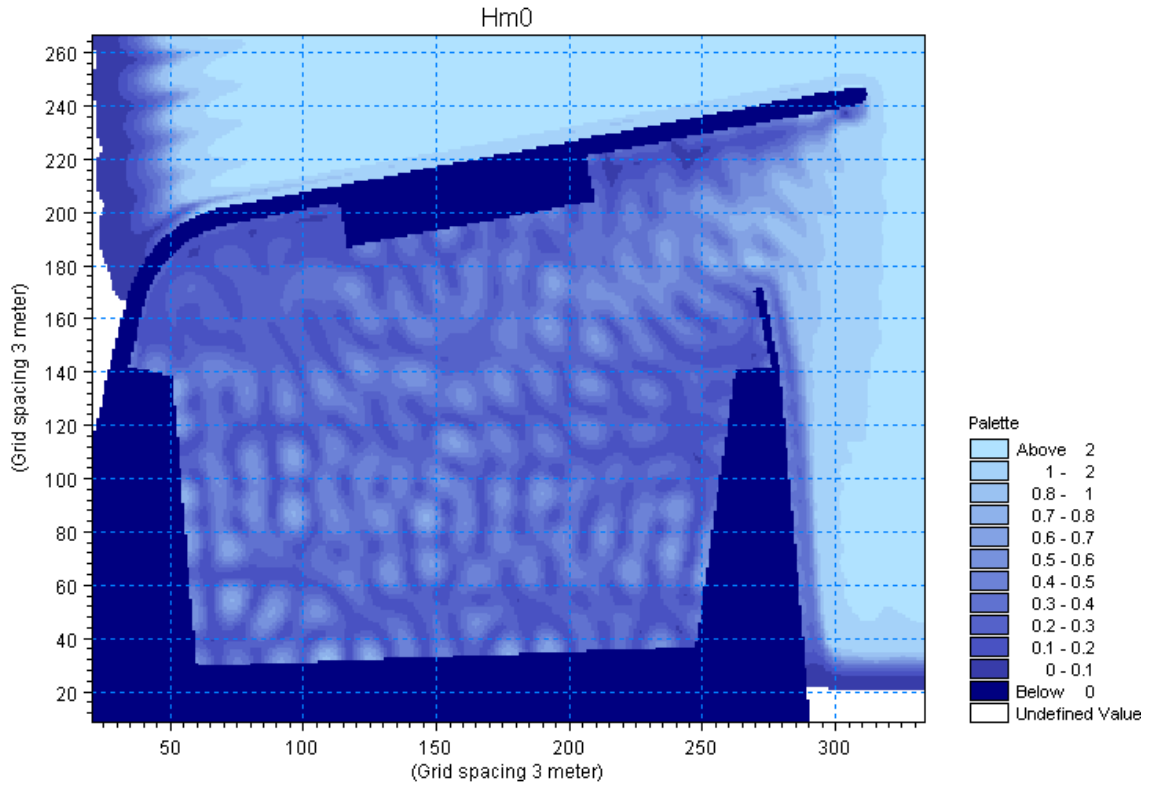
Şekil 4.31. YÜ109 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı (m)

YÜ144 No'lu deney için elde edilen liman içi çalkantı dağılımı Şekil 4.32'de görülmektedir. Şekil 4.32 incelendiğinde, çalkantı miktarının genelde 10 ila 50 cm arasında değiştiği ve en yüksek çalkantı değerlerinin 60-70 cm aralığında olduğu belirlenmiştir. Çalkantı miktarının; YÜ109 No'lu deney durumuna benzer bir biçimde liman giriş ağzı, liman baseni orta kısmı ve YÜR4 No'lu rıhtım dışındaki rıhtımların yakınlarında yüksek, ana mendireğin kurp bölgesinde ise oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 4.33'te YÜ175 No'lu deney için elde edilen liman içi çalkantı dağılımı görülmektedir. Şekil 4.33 incelendiğinde, çalkantı miktarının genelde 10 ila 50 cm arasında değiştiği ve en yüksek çalkantı değerlerinin 70-80 cm aralığında olduğu belirlenmiştir. Çalkantı miktarının; liman giriş ağzı, liman baseni orta kısmı ve YÜR2 ve YÜR3 No'lu rıhtımların yakınlarında yüksek, ana mendireğin kurp bölgesinde ise oldukça düşük olduğu görülmektedir. Ana mendirek uzunluğunun artması ile çalkantı yüksekliği dağılımı değişmiş YAR1 No'lu rıhtım kayınlarındaki çalkantı yüksekliği göreceli olarak azalmıştır.



Şekil 4.32. YÜ144 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı (m)



Şekil 4.33. YÜ175 No'lu deney için liman içi çalkantıların dağılımı (m)

Yat ve yük limanlarındaki çalkantı dağılımı ile ilgili genel bir değerlendirme yapıldığında, çalkantı miktarının büyük olduğu bölgeler genelde liman giriş ağzı, liman baseni ve özellikle limanların kıyı tarafında ve ana mendireğin kurptan önceki kısmında bulunan rıhtımlara yakın bölgelerdir. Rıhtımlarda yansımadan kaynaklanan büyük çalkantı değerleri gözlenmektedir.

#### 4.6. Değişkenlerin Etki Oranlarının Belirlenmesi

##### 4.6.1. Yat Limanı için Değişkenlerin Etki Oranlarının Belirlenmesi

Fiziksel model sonuçları kullanılarak elde edilen ortalama çalkantı değerlerine (OÇD) etki eden değişkenlerin ( $\theta$ ,  $H_0$ ,  $T$ , ana mendirek uzunluğu (AMU) ve tali mendirek uzunluğu (TMU)) etki oranlarını bulmak için regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizinin türünü belirlemek için lineer, hiperbolik, bileşik, artış, üssel, S ve logaritmik fonksiyon türleri kullanılmıştır. Bu fonksiyonlardan en büyük determinasyon katsayısına sahip S fonksiyon türü analiz için seçilmiştir.

Regresyon analizi sonucunda elde edilen beta değerleri ve etki oranları Tablo 4.7’de verilmektedir.

Tablo 4.7. Yat limanı ortalama çalkantı değerleri için elde edilen etki oranları

$OÇD=e^{(b_0+\frac{b_1}{\theta}+\frac{b_2}{AMU}+\frac{b_3}{TMU}+\frac{b_4}{T}+\frac{b_5}{H_0})}$		
Değişkenler	Beta Değerleri	Etki Oranı (%)
$\theta$	0.5250	28.5
AMU	0.0800	4.3
TMU	0.2930	15.8
T	-0.2890	15.7
$H_0$	-0.0659	35.7

Tablo 4.7 incelendiğinde, ortalama çalkantı miktarına en büyük etkiyi % 35.7 değeri ile derin deniz dalga yüksekliği yapmaktadır. Bunu % 28.5 değeri ile  $\theta$  açısı izlemektedir. Tali mendirek boyu ile dalga periyodunun etkileri birbirine yakın ve % 15 civarındadır. En düşük etki oranı ise % 4.3 değeri ile ana mendirek boyundadır.

Tablo 4.8’de determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) ve regresyon katsayıları verilmektedir.

Tablo 4.8. Yat limanı ortalama çalkantı değeri için regresyon katsayıları

$$O\check{C}D=e^{(b_0+\frac{b_1}{\theta}+\frac{b_2}{AMU}+\frac{b_3}{TMU}+\frac{b_4}{T}+\frac{b_5}{H_0})}$$

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları						R <sup>2</sup>
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	
$\theta, AMU, TMU, T, H_0$	0.477	221.970	1343.363	99.658	-1.745	-1.983	0.882

#### 4.6.2. Yük Limanı İçin Değişkenlerin Etki Oranlarının Belirlenmesi

Fiziksel model sonuçları kullanılarak elde edilen ortalama çalkantı değerlerine (OÇD) etki eden değişkenlerin ( $\theta, H_0, T$ , ana mendirek uzunluğu (AMU) ve tali mendirek uzunluğu (TMU)) etki oranlarını bulmak için regresyon analizi yapılmıştır. Regresyon analizinin türünü belirlemek için lineer, hiperbolik, bileşik, artış, üssel, S ve logaritmik fonksiyon türleri kullanılmıştır. Bu fonksiyonlardan en büyük determinasyon katsayısına sahip S fonksiyon türü analiz için seçilmiştir.

Regresyon analizi sonucunda elde edilen beta değerleri ve etki oranları Tablo 4.9'da verilmektedir.

Tablo 4.9. Yük limanı ortalama çalkantı değerleri için elde edilen etki oranları

$$O\check{C}D=e^{(b_0+\frac{b_1}{\theta}+\frac{b_2}{AMU}+\frac{b_3}{TMU}+\frac{b_4}{T}+\frac{b_5}{H_0})}$$

Değişkenler	Beta Değerleri	Etki Oranı (%)
$\theta$	0.323	18.4
AMU	0.273	15.5
TMU	0.099	5.6
T	-0.244	13.9
H <sub>0</sub>	-0.818	46.6

Tablo 4.9 incelendiğinde, ortalama çalkantı miktarına en büyük etkiyi % 46.6 değeri ile derin deniz dalga yüksekliği yapmaktadır. Bunu % 18.4 değeri ile  $\theta$  açısı izlemektedir. Ana mendirek boyu ile dalga periyodunun etkileri birbirine yakın ve % 15 civarındadır. En düşük etki oranı ise % 5.6 değeri ile tali mendirek boyundadır.

Tablo 4.10'da determinasyon katsayısı (R<sup>2</sup>) ve regresyon katsayıları verilmektedir.

Tablo 4.10. Yük limanı ortalama çalkantı değeri için regresyon katsayıları

$$O\check{C}D=e^{(b_0+\frac{b_1}{\theta}+\frac{b_2}{AMU}+\frac{b_3}{TMU}+\frac{b_4}{T}+\frac{b_5}{H_0})}$$

Bağımsız değişkenler	Regresyon katsayıları						R <sup>2</sup>
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	
θ, AMU, TMU, T, H <sub>0</sub>	-2.569	90.247	7133.333	737.764	-1.251	-1.804	0.958

#### 4.7. Çalkantı Yüksekliği İçin Belirlenen Sınır Şartların İrdelenmesi

Liman içinde kabul edilebilir çalkantı düzeyi ile ilgili bilgiler Bölüm 1.5'te verilmektedir. Bu bilgiler ışığında, değerlendirme yapılırken 1/100 ölçeğinde yük limanı için 5 mm yat limanı için ise 3 mm kabul edilebilir çalkantı düzeyi olarak dikkate alınacaktır. Değerlendirmede en büyük dalga yüksekliklerinin en büyük değerler istatistiği oluşturulurken dikkate alınan etken yön dilimi batı-kuzeybatı ile kuzey arasında olduğundan yat limanı için sadece θ'nın 136.5° olduğu durumlar, yük limanı için ise sadece θ'nın 124.2° olduğu durumlar incelenecektir. Bunun yanında, değerlendirmeler projelendirme esnasında kullanılacak en büyük dalganın 10 yıl yinelemeli 5 cm (1/100 ölçekte) yüksekliğe sahip dalga olduğu öngörüsü ile yapılmıştır.

Yat limanı θ=136.5° durumu için en büyük çalkantı değerleri Tablo 4.11'de verilmektedir. Tali mendireğin 125 cm olduğu tüm durumlarda en büyük çalkantı değeri sınır değer olan 3 mm'yi aşmamıştır. Bununla birlikte periyodun 0.8 s, ana mendireğin 780 cm uzunluğunda ve tali mendireğin 75 ve 100 cm uzunluğunda olduğu durumlarda da sınır değer aşılmamıştır. Projelendirme aşamasında dikkat edilmesi gereken durum, istenilen şartların en düşük maliyetle gerçekleştirilmesidir. Bu noktada birden fazla şartı sağlayan durum söz konusu olduğunda maliyet en iyilemesi yapılması gerekmektedir.

Tablo 4.12'de Yük limanı θ=124.2° durumu için en büyük çalkantı değerleri verilmektedir. Ana mendirek boyu 1275 cm iken tali mendireğin 517 cm ve periyodun 0.8 s olduğu durumda, ana mendirek boyu 1330 cm ve periyot 0.8 s iken tali mendireğin boyunun 467 cm ve 517 cm olduğu durumlarda ve son olarak ana mendirek boyunun 1385 cm ve periyodun 1.0 s olduğu durumlarda en büyük çalkantı değeri sınır değer olan 5 mm'yi aşmamıştır. Bu durumda da yat limanına benzer biçimde birden fazla şartı sağlayan durum söz konusu olmuştur. Bu nedenle projelendirmede maliyet en iyilemesi yapılması gerekmektedir.

Tablo 4.11. Yat limanı  $\theta=136.5^\circ$  durumu için en büyük çalkantı değerleri

Deney no	Ana Mendirek Boyu (cm)	Tali Mendirek Boyu (cm)	Dalga Periyodu (T) (s)	En Büyük Çalkantı Değeri ( $10^{-2}$ cm)
YA1-5	720	75	0.8	<b>30.0</b>
YA6-10			1.0	<b>64.1</b>
YA11-15	720	100	0.8	<b>39.6</b>
YA16-20			1.0	<b>37.4</b>
YA21-25	720	125	0.8	24.9
YA26-30			1.0	27.3
YA31-35	750	75	0.8	<b>31.0</b>
YA36-40			1.0	<b>35.6</b>
YA41-45	750	100	0.8	<b>31.8</b>
YA46-50			1.0	<b>30.5</b>
YA51-55	750	125	0.8	26.6
YA56-60			1.0	22.0
YA61-65	780	75	0.8	25.0
YA66-70			1.0	<b>37.2</b>
YA71-75	780	100	0.8	27.6
YA76-80			1.0	<b>30.1</b>
YA81-85	780	125	0.8	15.0
YA86-90			1.0	27.3

Tablo 4.12. Yük limanı  $\theta=124.2^\circ$  durumu için en büyük çalkantı değerleri

Deney no	Ana Mendirek Boyu (cm)	Tali Mendirek Boyu (cm)	Dalga Periyodu (T) (s)	En Büyük Çalkantı Değeri ( $10^{-2}$ cm)
YA1-5	1275	467	0.8	<b>51.4</b>
YA6-10			1.0	<b>62.8</b>
YA11-15	1275	492	0.8	<b>77.7</b>
YA16-20			1.0	<b>64.1</b>
YA21-25	1275	517	0.8	45.9
YA26-30			1.0	<b>54.8</b>
YA31-35	1330	467	0.8	47.6
YA36-40			1.0	<b>62.1</b>
YA41-45	1330	492	0.8	<b>54.0</b>
YA46-50			1.0	<b>58.7</b>
YA51-55	1330	517	0.8	41.7
YA56-60			1.0	<b>53.9</b>
YA61-65	1385	467	0.8	<b>62.0</b>
YA66-70			1.0	36.6
YA71-75	1385	492	0.8	<b>50.1</b>
YA76-80			1.0	41.3
YA81-85	1385	517	0.8	<b>50.4</b>
YA86-90			1.0	42.8

#### 4.8. Liman İçi Çalkantı Miktarının Azaltılması İçin Alınabilecek Önlemler

Bu bölümde, liman içi çalkantı miktarının azaltılması için alınabilecek genel önlemlerden bahsedilmiştir. Değerlendirmeler yat ve yük limanlarını dikkate alarak planlama aşamasında belirlenen değişkenler için ayrı ayrı yapılmıştır.

Dalga dikinin ana mendirek ile yaptığı açı olan  $\theta$  dikkate alındığında, bu açının liman içinde oluşan dalga yüksekliğinde önemli derecede etkili olduğu Bölüm 4.1.2 ve Bölüm 4.2.2'de belirlenmişti. Liman planı yapılırken liman içi çalkantıların düşük yüksekliklerde olması için, hakim dalga yönü dikkate alınarak dalga diki ile ana mendireğin yaptığı  $\theta$  açısının olabildiğince büyük seçilmesi gerekmektedir.

Ana ve tali mendirek boylarının değişiminin liman içi çalkantı yüksekliklerine etkisi ile ilgili değerlendirmeler Bölüm 4.1.2 ve Bölüm 4.2.2'de yapılmıştı. Bu değerlendirmeler dikkate alınarak liman planı yapılırken, tali mendireğin uzunluğu en küçük liman giriş ağzı açıklığı belirlendikten sonra olabilecek en uzun şekilde gerçekleştirilmelidir. Ana mendirek boyu ise daha sonra ve liman içinde oluşacak en büyük çalkantı miktarı sınır değerleri aşmayacak şekilde belirlenmelidir. Mendirek boylarının uzamaları liman içi çalkantı değerlerini azaltmasına karşın, önemli derecede maliyet yükü getirdiğinden, aşırı güvenli yapı tasarımından da kaçınılmalıdır.

Liman içi rıhtım yapılarının tasarımında ise, liman içi çalkantılarının azaltılması için, rıhtım konumu olarak özellikle çalkantı miktarının nispeten düşük olduğu kurptan sonraki ana mendirek ve tali mendirek iç kısımları tercih edilmelidir. Diğer bölgelerde ise yansıma etkisi daha düşük yapılar tercih edilmelidir.



## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, örnek yat ve yük limanlarında dalga özellikleri (yükseklik, periyot, yön) ve ana ve tali mendirek boylarını dikkate alarak, liman içinde oluşan çalkantı yükseklikleri fiziksel model çalışması ile belirlenmiştir. Fiziksel model verileri dikkate alınarak YSA modeli geliştirilmiş ve YSA modelinde deneme ve doğrulama aşamasında kullanılan deney durumları için sayısal modelleme yapılmış ve sonuçları sunulmuştur. YSA modeli ve sayısal modelden elde edilen sonuçlar fiziksel model verileri ile karşılaştırılmış ve elde edilen rölatif hata değerleri verilmiştir. Çalışmada kullanılan değişkenlerin ortalama liman içi çalkantı yüksekliklerine etkileri araştırılmıştır. Değişkenlerin farklı değerleri için YSA ağı kullanılmış ve elde edilen değerler irdelenmiştir. Sayısal model verilerine dayanarak liman içi çalkantı dağılımı incelenmiştir. Fiziksel modelden elde edilen ortalama çalkantı değerleri dikkate alınarak yapılan regresyon analizi ile değişkenlerin çalkantı yüksekliğine etki oranları belirlenmiştir. Elde edilen çalkantı değerlerin sınır değerleri aştığı durumlar incelenmiştir. Son olarak çalkantının azaltılması için alınabilecek önlemler üzerinde durulmuştur. Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar yat limanı ve yük limanı için ayrı ayrı aşağıda özetlenmektedir:

Yat limanı için elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

YSA ve sayısal modelden elde edilen çalkantı değerleri ile fiziksel modelden elde edilen çalkantı değerlerinin karşılaştırılması sonucu elde edilen rölatif hata değerlerinin ortalamaları, deneme takımı için sırasıyla % 15.5 ve % 12.4 ve doğrulama takımı için sırasıyla % 15.9 ve % 12.5'tir. Ortalama rölatif hatalar dikkate alındığında yat limanı için sayısal model verilerinin YSA modeline göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

Yat limanı için elde edilen ortalama çalkantı değerinin derin deniz dalga yüksekliği, dalga periyodu artması ile artmakta,  $\theta$  açının, ana mendirek ve tali mendirek boylarının artması ile azalmaktadır.

Yat limanında farklı değerler için YSA ağından elde edilen sonuçların, fiziksel modelden elde edilen değerlerin irdelenmesi ile ortaya çıkan sonuçlara uyum gösterdiği belirlenmiştir.

Liman içi çalkantı dağılımı incelendiğinde, çalkantıların genelde liman giriş ağızı, YAR3 ve YAR4 rıhtımları yakınlarında yüksek ana mendireğin iç kısımlarında ise oldukça düşük olduğu belirlenmiştir.

Yat limanı için N yönünden gelen dalgalar ( $\theta=136.5^\circ$ ) dikkate alındığında, tali mendireğin 125 cm olduğu tüm durumlarda, periyodun 0.8 s, ana mendireğin 780 cm uzunluğunda ve tali mendireğin 75 ve 100 cm uzunluğunda olduğu durumlarda en büyük çalkantı değeri sınır değer olan 3 mm'yi aşmamıştır.

Ortalama çalkantı miktarı dikkate alınarak yapılan regresyon analizi sonucunda, ortalama çalkantıya derin deniz dalga yüksekliğinin % 35.7,  $\theta$  açısının % 28.5, tali mendirek boyunun % 15.8, dalga periyodunun % 15.7 ve son olarak ana mendirek boyunun % 4.3 etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Yük limanı için elde edilen sonuçlar ise şu şekildedir:

YSA ve sayısal modelden elde edilen çalkantı değerleri ile fiziksel modelden elde edilen çalkantı değerlerinin karşılaştırılması sonucu elde edilen rölatif hata değerlerinin ortalamaları, deneme takımı için sırasıyla % 12.7 ve % 10.6 ve doğrulama takımı için sırasıyla % 12.8 ve % 10.8'dir. Ortalama rölatif hatalar dikkate alındığında yük limanı için de sayısal model verilerinin YSA modeline göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

Yük limanı için elde edilen ortalama çalkantı değerinin yat limanına benzer bir biçimde derin deniz dalga yüksekliği, dalga periyodu artması ile artmakta,  $\theta$  açının, ana mendirek ve tali mendirek boylarının artması ile azalmaktadır.

Yük limanında farklı değerler için YSA ağından elde edilen sonuçların, fiziksel modelden elde edilen değerlerin irdelenmesi ile ortaya çıkan sonuçlara uyum gösterdiği belirlenmiştir.

Liman içi çalkantı dağılımı incelendiğinde, çalkantıların genelde liman giriş ağzı, liman baseni orta kısmı ve YÜR4 No'lu rıhtım dışında kalan rıhtımların yakınlarda yüksek ana mendireğin kurp bölgesinde ise oldukça düşük olduğu belirlenmiştir.

Yat limanı için N yönünden gelen dalgalar ( $\theta=124.2^\circ$ ) dikkate alındığında, ana mendirek boyu 1275 cm iken tali mendireğin 517 ve periyodun 0.8 s olduğu durumda, ana mendirek 1330 cm ve periyot 0.8 s iken tali mendireğin 467 ve 517 cm olduğu durumlarda ve son olarak ana mendirek boyunun 1385 cm ve periyodun 1.0 s olduğu durumlarda en büyük çalkantı değeri sınır değer olan 5 mm'yi aşmamıştır.

Ortalama çalkantı miktarı dikkate alınarak yapılan regresyon analizi sonucunda, ortalama çalkantıya derin deniz dalga yüksekliğinin % 46.6,  $\theta$  açısının % 18.4, ana mendirek boyunun % 15.4, dalga periyodunun % 13.9 ve son olarak tali mendirek boyunun % 5.6 etkisinin olduğu belirlenmiştir. Yat limanından farklı olarak, yük limanı ana mendirek boyunun etkisinin arttığı tali mendirek boyunun etkisini azaldığı görülmektedir.

Çalışmadan elde edilen genel sonuçlar şu şekilde özetlenmektedir:

Genel olarak, yük limanından elde edilen hata değerleri yat limanından elde edilen hata değerlerinden daha düşük çıkmıştır.

Her iki liman için elde edilen hata değerleri dikkate alındığında, YSA ve sayısal modelin liman içi çalkantı çalışmalarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

İki liman için de, ortalama çalkantı değerinin derin deniz dalga yüksekliği, dalga periyodu artması ile arttığı,  $\theta$  açının, ana mendirek ve tali mendirek boylarının artması ile azaldığı belirlenmiştir.

Ortalama çalkantıya her iki limanda da en fazla etkiyi dalga yüksekliğinin yaptığı, bunu  $\theta$  açısının izlediği sonucuna varılmıştır. Bunları sırasıyla, yat limanında tali mendirek boyu, dalga periyodu ve ana mendirek boyu ve yük limanında ana mendirek boyu, dalga periyodu ve tali mendirek izlemektedir. İki liman arasındaki en önemli fark, yat limanında ana mendireğin yük limanında ise tali mendireğin etkisinin düşük olmasıdır.

## 6. ÖNERİLER

Bu çalışma, KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda bulunan üç boyutlu deney havuzunda yapılan fiziksel model verilerine dayanmaktadır. Fiziksel modelle, dalga yüksekliği, periyodu ve yönü ile ana ve tali mendirek uzunluklarının örnek yat ve yük limanları için liman içi çalkantıya etkileri incelenmiştir.

Fiziksel model çalışmaları, örnek bir yat ve yük limanı için gerçekleştirilmiştir. Balıkçı barınağı, gemi inşa ve tamir limanları vb. limanlar içinde benzer çalışmaların yapılması faydalı olacaktır.

Fiziksel model çalışmaları limanların farklı ana ve tali mendirek uzunlukları için gerçekleştirilmiştir. Liman içi yapılarının farklı konumları ve uzunlukları ile ana ve tali mendireğin farklı açıları için de çalışmalar yapılması liman içi çalkantının değişiminin açıklanmasında faydalı olacaktır.

Fiziksel model çalışmaları 1/100 ölçekte gerçekleştirilmiştir. Ölçek etkilerini en aza indirmek için daha büyük ölçeklerde çalışılması veya mevcut limanlardan ölçüm alınması faydalı olacaktır.

Deniz taban topografyası bölgeden bölgeye çok değişkenlik gösteren bir yapıya sahiptir. Bu çalışmada örnek bir bölge için taban topografyası dikkate alınmıştır. Farklı bölgelerdeki taban topografyaları için de benzer çalışmaların yapılması faydalı olacaktır.

Çalışmada kullanılan dalgalar düzenli olarak üretilmiştir. Doğayı daha iyi temsil etmesi açısından fiziksel model çalışmalarının düzensiz dalgalar kullanılarak da yapılması uygun olacaktır.

Çalışma kapsamında, fiziksel model verileri YSA modeli kullanılarak değerlendirilmiş ve sayısal model olarak MIKE 21 BW paket programı kullanılmıştır. Fiziksel model verilerinin yeni geliştirilen ve gelecekte geliştirilecek analiz teknikleri ile de değerlendirilmesi yararlı olacaktır. MIKE 21 BW'dan farklı olarak geliştirilmiş sayısal modellerin de kullanılması ve elde edilen verilerle karşılaştırılması faydalı olacaktır.

## 7. KAYNAKLAR

1. Goda, Y., Random Sea Waves and Engineering Applications, World Scientific Publishing Co., 2000.
2. Allizadegan, M., H., Computer Programming of Wave Agitation in Harbors, Master Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 1990.
3. Bilgin, R., Önsoy, H. ve Yüksek, Ö., Hopa Limanı Liman İçi Çalkantısının Önlenmesi ve Dalgakıran Onarım Kesiti Araştırma Projesi Sonuç Raporu, Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 1992.
4. Aksoy, H., Kıyı Yapılarının Laboratuvar Çalışmaları ve Güzelce Yat Limanı Modelinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1993.
5. Yadıpour, S., A Computer Program for Harbor Lay-out Optimization, Master Thesis, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, 1993.
6. Chou, C., R. ve Han, W., Y., Wave Induced Oscillations in Harbours with Dissipating Quays, Coastal Engineering in Japan, 36 (1993) 1-23.
7. Chang, T., F., Wave Induced Oscillations in Arbitrary Harbours, Master Thesis, Faculty of Engineering, Dalhousie University, Canada, 1997.
8. Özbahçeci, B., Ö., Bilyay, E., Ünlü, S. ve Furukawa M., Liman İçi Çalkantı Deneylelerinde Çok Yönlü Düzensiz Dalgaların Kullanılması, Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları II. Ulusal Konferansı, Eylül 1998, Ankara, Bildiriler Kitabı, 851-863.
9. Yerli, Ü., Liman İçi Çalkantılarının Modellenmesi ve Çeşme Yat Limanı Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1999.
10. Yip, T., L., Sahoo, T. ve Chwang, A., T., Wave Oscillation in a Circular Harbor With Porous Wall, Journal of Applied Mechanics, 68 (2001) 603-607.
11. Lee H., S. ve Williams A., N., Boundary Element Modeling of Multidirectional Random Waves in a Harbor with Partially Reflecting Boundaries, Ocean Engineering, 29 (2002) 39-58.
12. Thompson E., F. ve Demirbilek Z., Wave Response, Pago Pago Harbor, Island of Tutuila, Territory of American Samoa Final Report,, USACE Engineer Research and Development Center, USA, 2002.

13. Londhe, S., N. ve Deo, M., C., Wave Tranquility Studies Using Neural Networks, Marine Structures, 16 (2003) 419-436.
14. Önsoy, H., Yüksek, Ö. ve Kömürcü M., İ., Ünye Ek Liman İnşaatı Uygulama Projesi Sonuç Raporu, Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 2003.
15. Londhe, S., N. ve Deo, M., C., Artificial Neural Networks for Wave Propagation, Journal of Coastal Research, 20 (2004) 1061-1069.
16. Köksal, F., D., Liman İçi Dalga Çalkantısında Kullanılan Nümerik Modelleme MIKE 21 BW, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2004.
17. Woo S., B. ve Liu P., L., F., Finite-Element Model for Modified Boussinesq Equations II: Application to Nonlinear Harbor Oscillations, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 130 (2004) 17-28.
18. Jong, M., P., C. ve Battjes, J., A., Seiche Characteristics of Rotterdam Harbour, Coastal Engineering, 51 (2004) 373-386.
19. Sasa, K., Kubo, M., Shiraishi, S. ve Nagai T., A Study on Prediction System of Critical Wave Condition for Ship Mooring Against Typhoons, Coastal Engineering Journal, 46 (2004) 65-91.
20. Hansen H., K., Kerper D., R., Sorensen O., R. ve Kirkegaard J., Simulation of Long Wave Agitation in Ports and Harbours Using a Time-Domain Boussinesq Model, Fifth International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, Spain, July 2005, Proceedings 1-11.
21. Vilibic I. ve Mihanovic H., Resonance in Ploce Harbor (Adriatic Sea), Acta Adriatica, 46 (2005) 125-136.
22. Yüksek, Ö., Kömürcü, M., İ., Önsoy, H., Kankal, M. ve Akpınar, A., Ünye Ek Liman İnşaatı Liman İçi Çalkantı Deneyleri, 5. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Mayıs 2005, Bodrum, Bildiriler Kitabı, 369-381.
23. Hsiao, S., S. ve Fang, H., M., A DRBEM Model for Harbor Oscillation with the Effect of Energy Dissipation, Journal of the Chinese Institute of Engineers, 28 (2005) 639-646.
24. Bao, L., Y., ve Lian, J., X., Research on the Wave-Induced Ship Motions in front of Different Types of Wharf, Modern Physics Letter B, 19 (2005) 1931-1934.
25. Stiassnie, M. ve Drimer, N., Prediction of Long Forcing Waves for Harbor Agitation Studies, Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 132 (2006) 166-171.

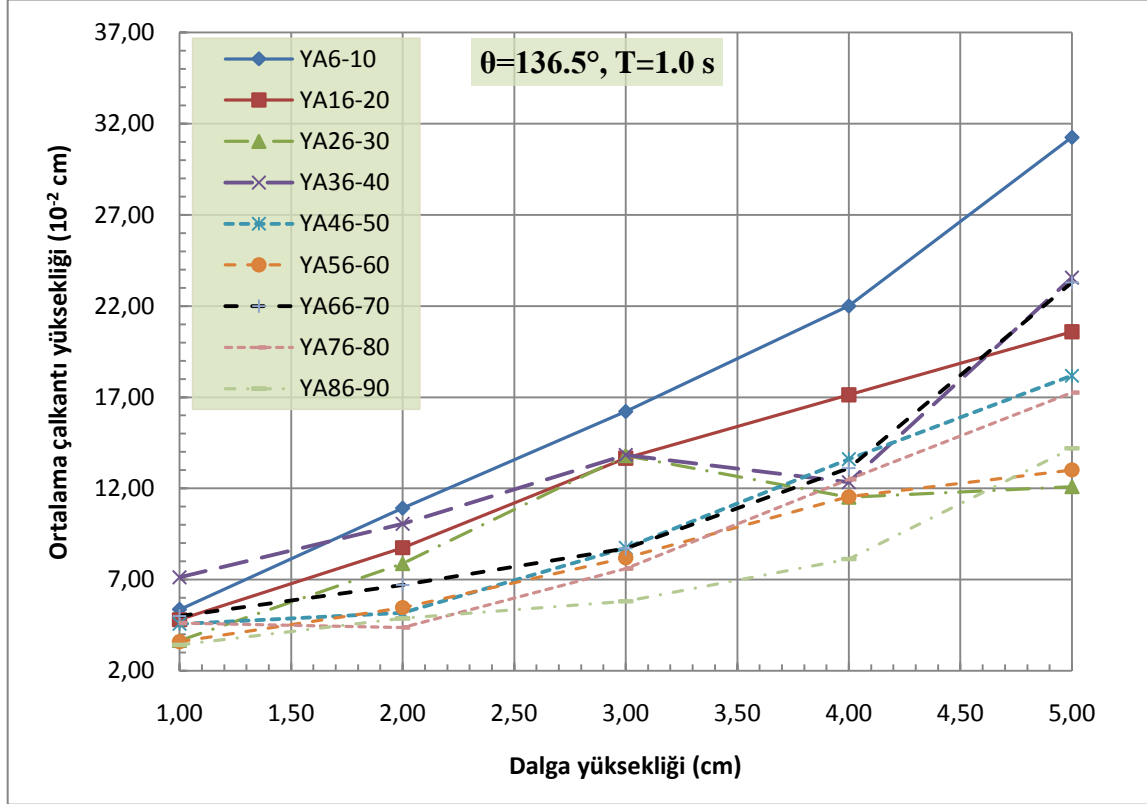
26. Kriauciuniene, J., Gailiusis, B. ve Kovalenkoviene, M., Peculiarities of Sea Wave Propagation in the Klaipeda Strait, Lithuania, Baltica, 19 (2006) 20-29.
27. Bellotti, G., Transient Response of Harbours to Long Waves under Resonance Conditions, Coastal Engineering, 54 (2007) 680-693.
28. Kankal, M., Yüksek, Ö., Kömürcü, M., İ., Akpınar, A. ve Önsoy, H., Liman İçi Çalkantıların Fiziksel ve Matematiksel Modellenmesi: Ünye Ek Liman Örneği, 4. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, Temmuz 2009, İstanbul, Bildiriler Kitabı 429-438.
29. Kim, S., D. ve Lee H., J., Multidirectional Random Wave Diffraction in Harbours by the Placing of Submarine Pit: A Case Study, Scientific Research and Essays, 5, 12 (2010) 1540-1552.
30. Kabdaşlı, S., Kıyı Mühendisliği, İTÜ Yayını No:1504, İstanbul, 1992.
31. Yüksel, Y., Çevik, E. ve Çelikoğlu, Y., Kıyı ve Liman Mühendisliği, TMMOB, Ankara, 1998.
32. Yüksek, Ö., Kıyı Hidroliği Ders Notları, K.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 1995.
33. Dean, R., G. ve Dalrymple, R., A., Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, World Scientific Publishing Co., Singapore, 1984.
34. Yüksek, Ö., Kıyı Mühendisliği Ders Notları, K.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 1999.
35. CERC, Coastal Engineering Manual (CEM), U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, USA, 2002.
36. Wiegel, R., L., Diffraction of Waves by Semi-infinite Breakwater, Journal of the Hydraulics Division, 88 (1962) 27-44.
37. CERC, Shore Protection Manuel, Fourth Edition, US Army WES, Washington, 1984.
38. Gourlay, M., R. ve Apelt, C., J., Coastal Hydraulics and Sediment Transport in a Coastal System, Department of Civil Engineering, University of Queensland Press, Australia, 1985.
39. Kankal, M., Kıyıya Dik Katı Madde Taşınımının Zamansal Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2004.
40. Yüksel Proje, Kıyı Yapıları ve Limanlar Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar, Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Ankara, 2007.

41. Kömürcü, M.,  ., Kıyıya Dik Katı Madde Hareketi Sonucu Oluşan Bar Parametrelerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, K.T. . Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2003.
42. Kömürcü, M.,  ., Dalga Sapmasının Sayısal Yöntemle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1998.
43. Ippen, T., Estuary and Coastline Hydrodynamics, McGraw-Hill Book Co., 1964.
44. Munk, W., H., The Solitary Wave Theory and Its Application to Surf Problems, Annals of the New York Academy of Sciences, 51 (1949) 376-462.
45. Iversen, H., W., Waves and Breakers in Shoaling Water, 3<sup>rd</sup>. Conference on Coastal Engineering, ASCE, Proceedings, 1953.
46. Galvin, C. J., Breaker Travel and Choice of Design Wave Height, Journal of the Waterways, Harbours and Coastal Engineering Division, ASCE, (1963), 175-200.
47. Goda, Y., A Synthesis of Breaker Indices, Transaction of the Japanese Society of Civil Engineering, 2 (1970).
48. Weggel, J. R., Maximum Breaker Height, Journal of the Waterways, Harbours and Coastal Engineering Division, ASCE, 98 (1972).
49. Birben, A. R., Kıyı Korumasında Aıkdeniz Dalgakıranların Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, K.T. . Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
50. Takayama T., 1985, Computation of Wave Height Distribution Inside a Harbour. Conf. Numerical and Hydraulic Modelling of Ports and Harbours, 1985, Proceedings, 295-302.
51. Demirbilek, Z., ve Panchang, V., CGWAVE: A Coastal Surface Water Wave Model of the Mild Slope Equation, Technical Report CHL-98-26, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS., 1998.
52. DHI Water and Environment, Boussinesq Waves Module User Guide, 2006.
53. DHI Water and Environment, Boussinesq Waves Module Scientific Documentation, 2006.
54. DHI Water and Environment, Boussinesq Waves Module Step by Step Training Guide, 2007.
55. Yurtoğlu, H., Yapay Sinir Ağları Metodolojisi ile  ng r  Modellemesi: Bazı Makroekonomik Değişkenler İçin Türkiye  rneği, DPT Uzmanlık Tezi, DPT, Ankara, 2005.
56.  ztemel, E, Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2006.

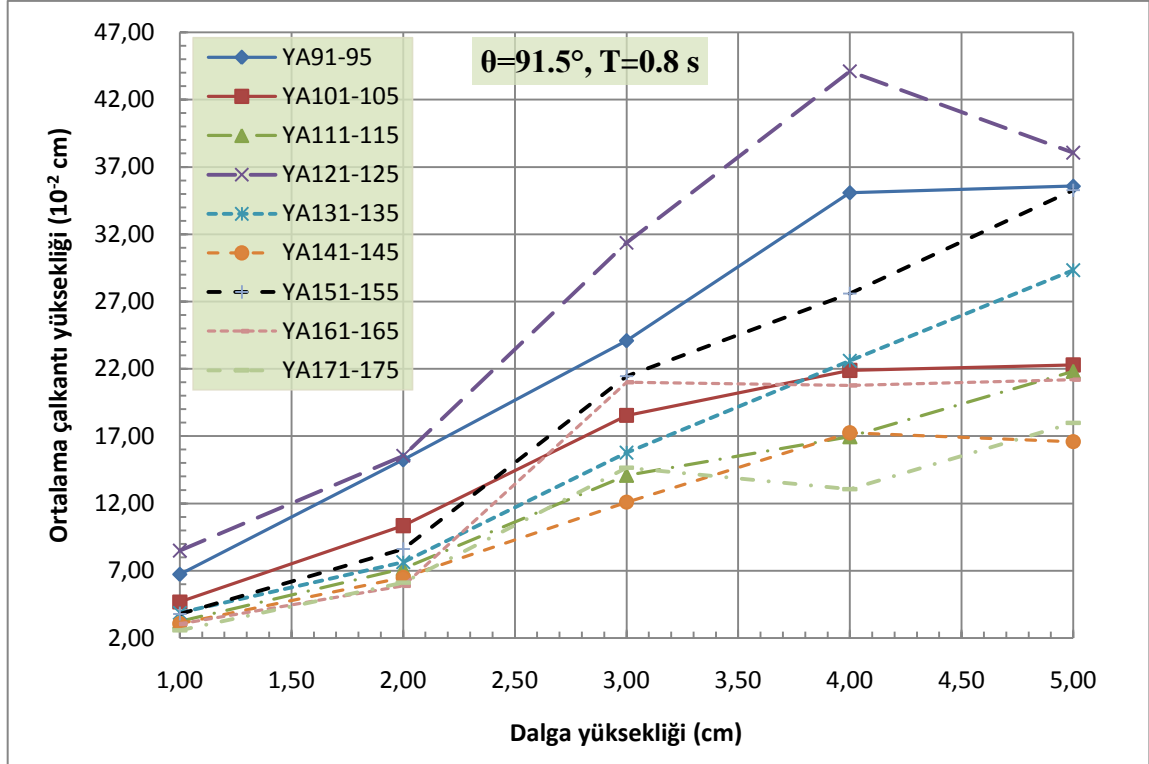


57. Şen, Z., Yapay Sinir Ağları İlkeleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2004.
58. S. Haykin, Neural Networks: A Comprehensive Foundation (second ed.), Macmillan, 1994.
59. Tsai, J., C. ve Tsai, C., H., Wave Measurements by Pressure Transducers Using Artificial Neural Networks, Ocean Engineering, 36 (2009) 1149-1157.
60. Etemad-Shahidi, A. ve Mahjoobi, J., Comparison between M5' Model Tree and Neural Networks for Prediction of Significant Wave Height in Lake Superior, Ocean Engineering, 36 (2009) 1175-1181.
61. Huang, W. ve Xu, S. Neural Network and Harmonic Analysis for Recovering Missing Extreme Water Level Data During Hurricanes in Florida, Journal of Coastal Research 25, 2 (2009) 417-426.
62. Malekmohamadi, I., Ghiassi, R. ve Yazdanpanah, M., J., Wave Hindcasting by Coupling Numerical Model and Artificial Neural Networks, Ocean Engineering, 35 (2008) 417-425.
63. Günaydın, K., The Estimation of Monthly Mean Significant Wave Heights by Using Artificial Neural Network and Regression Methods, Ocean Engineering, 35 (2008) 1406-1415.
64. Browne, M., Castelle, B., Strauss, D., Tomlinson, R., Blumenstein, M. ve Lane C., Near-shore Swell Estimation from a Global Wind-Wave Model: Spectral Process, Linear, and Artificial Neural Network Models, Coastal Engineering, 54 (2007) 445-460.
65. Halıcı, U., Artificial Neural Network, Lecture Notes.  
<http://vision1.eee.metu.edu.tr/~halici/543LectureNotes/543index.html> 21 Nisan 2010.
66. Demuth H., Beale M., and Hagan. M. Neural Network Toolbox 5 User's Guide, The Math Works, 2007.
67. Yüksek, Ö., Balıkçı Barınaklarının Dolma Sürecinin Araştırılması ve Uygun Proje Ölçütlerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1992.
68. Özölçer, İ. H., Kıyı Korumasında Mahmuzların Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
69. Karasu, S., Yapay Besleme Performansına Etki Eden Parametrelerin Belirlenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2004.
70. Özhan, E. ve Abdalla, S., Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası, Kıyı Alanları Yönetimi Türk Milli Komitesi/ MEDCOAST, Ankara, 2002.

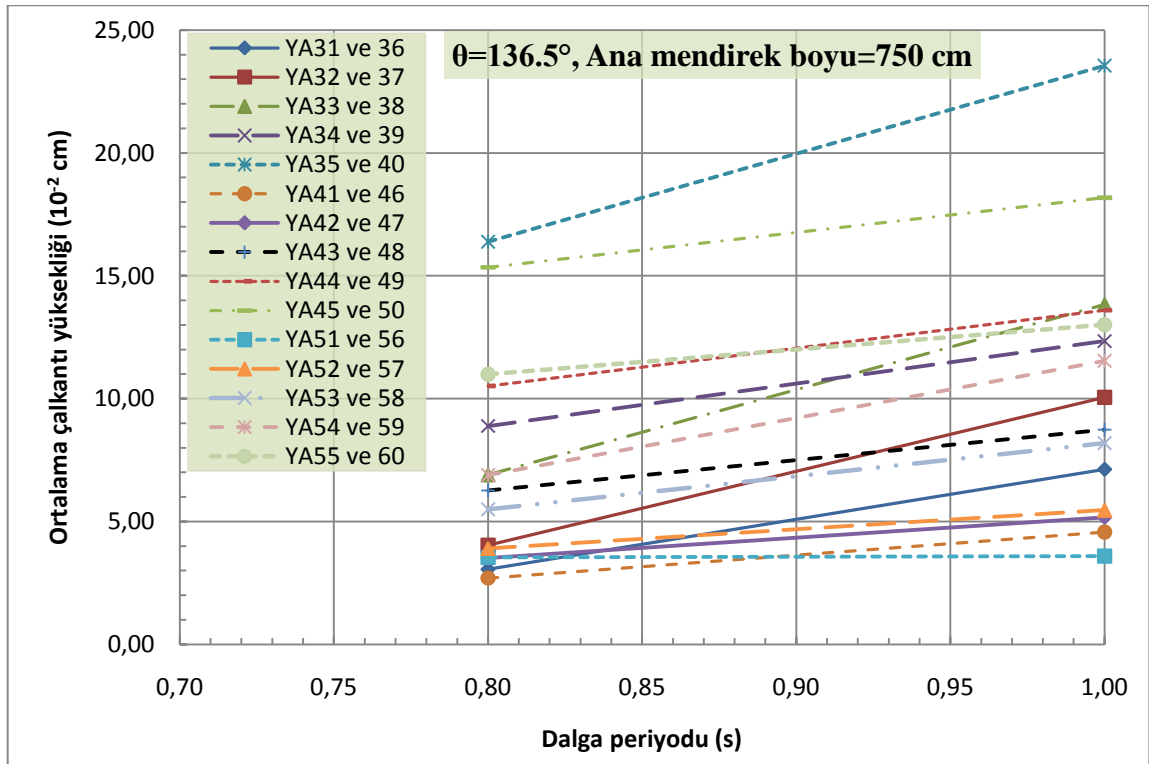
## 8. EKLER



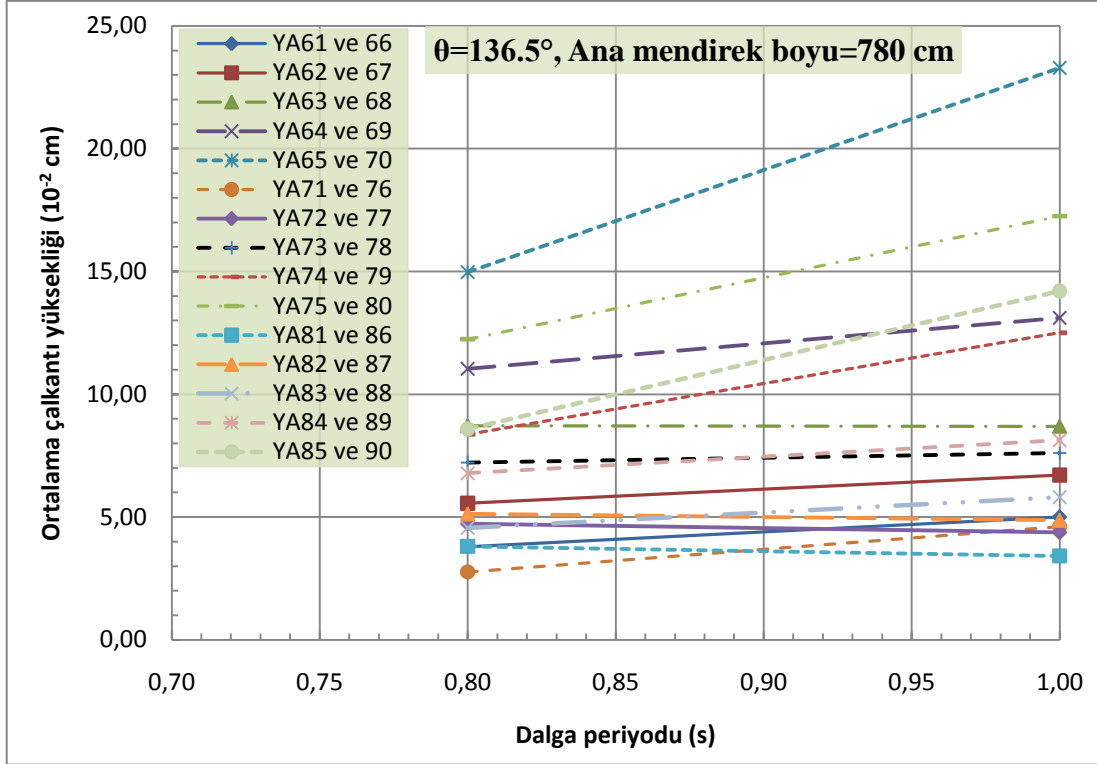
Ek Şekil 1. Yat limanı  $\theta=136.5^\circ$  ve  $T=1.0 \text{ s}$  durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga yüksekliği ile değişimi



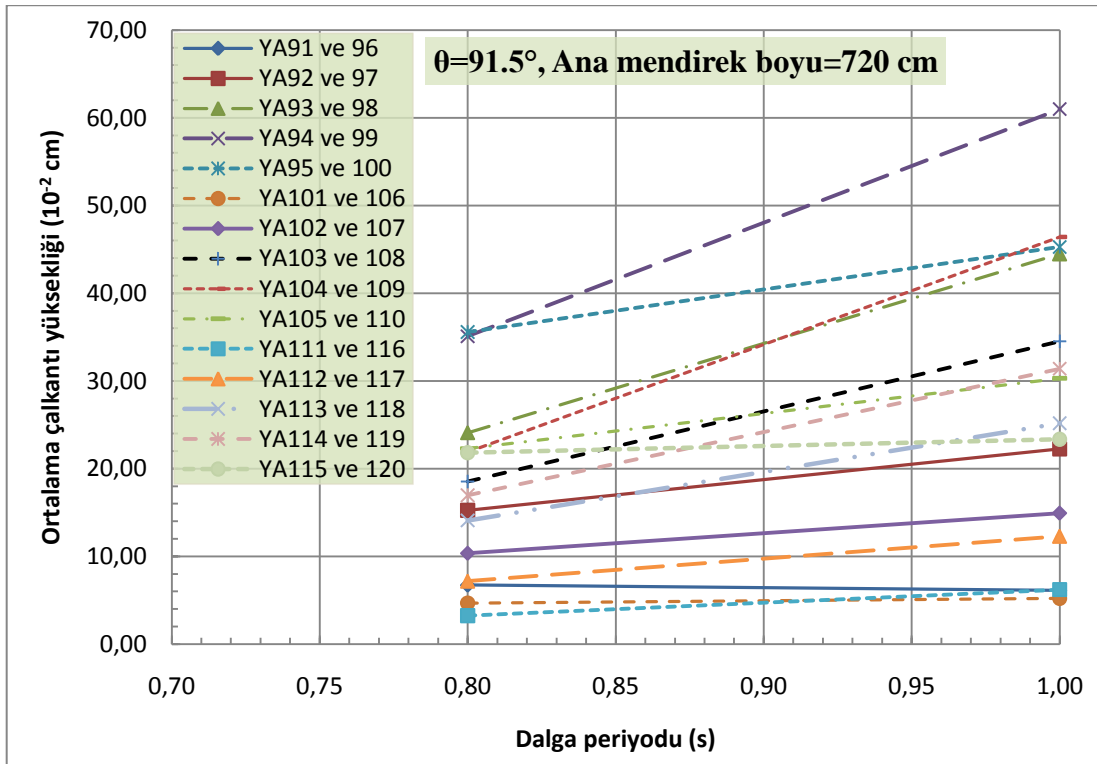
Ek Şekil 2. Yat limanı  $\theta=91.5^\circ$  ve  $T=0.8 \text{ s}$  durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga yüksekliği ile değişimi



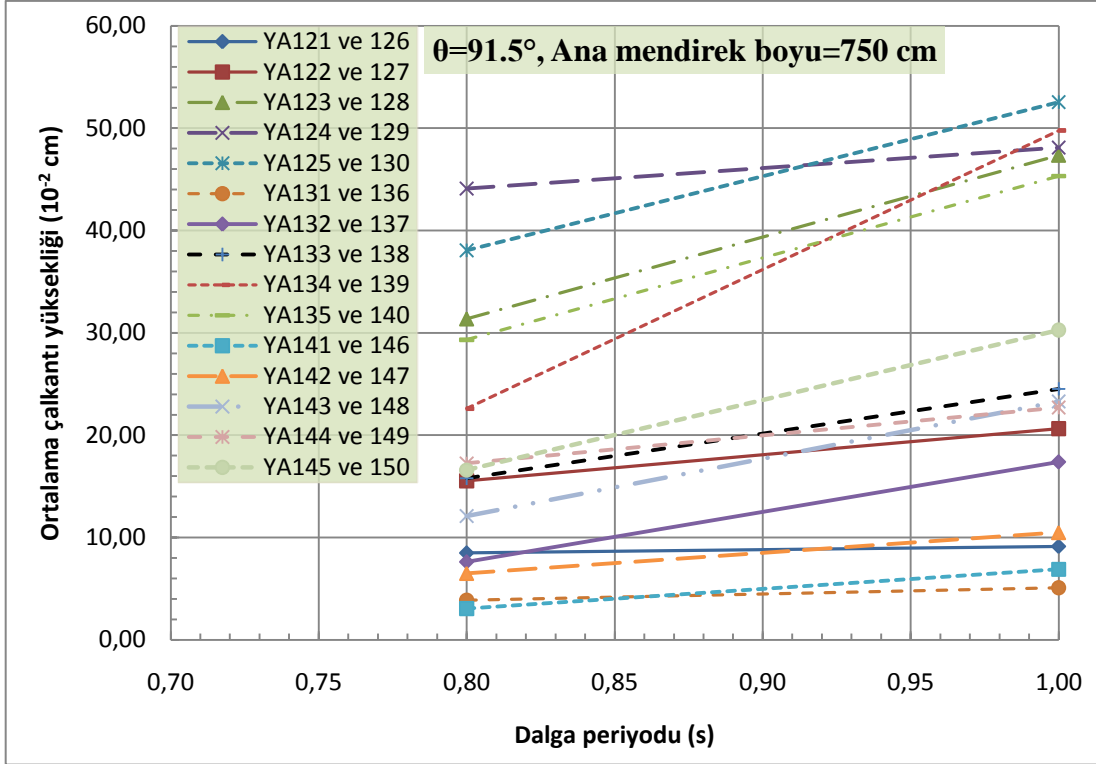
Ek Şekil 3. Yat limanı  $\theta=136.5^\circ$  ve ana mendirek boyu=750 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi



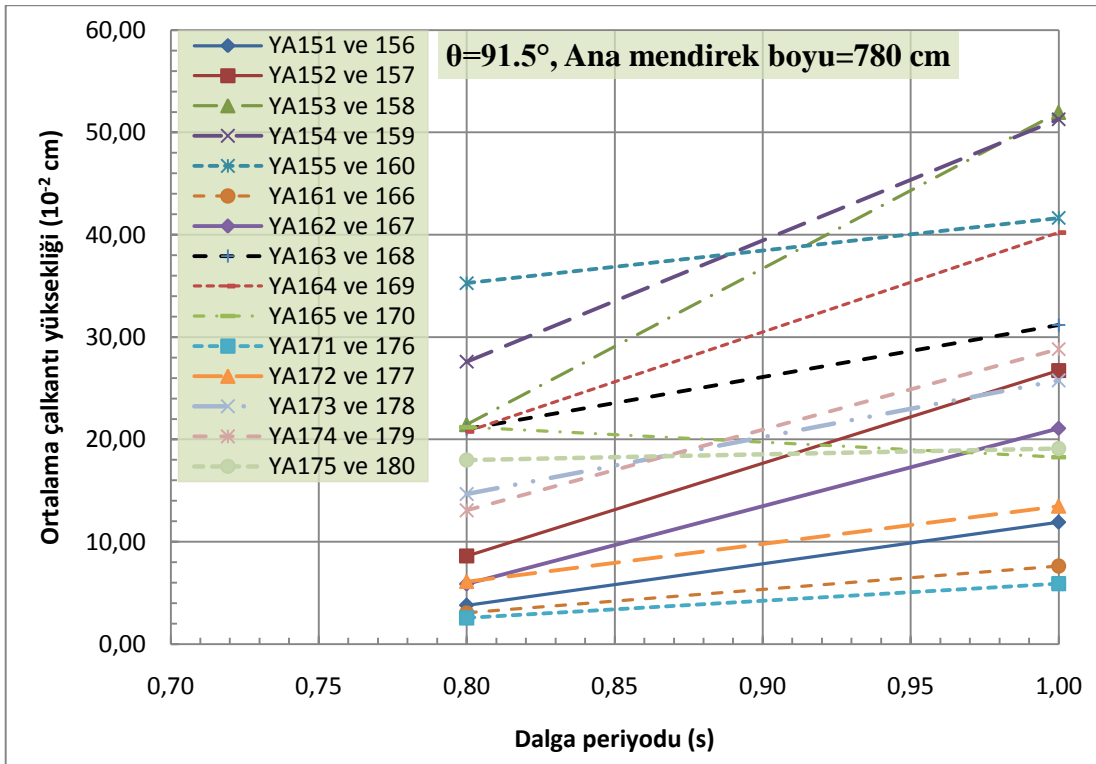
Ek Şekil 4. Yat limanı  $\theta=136.5^\circ$  ve ana mendirek boyu=780 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi



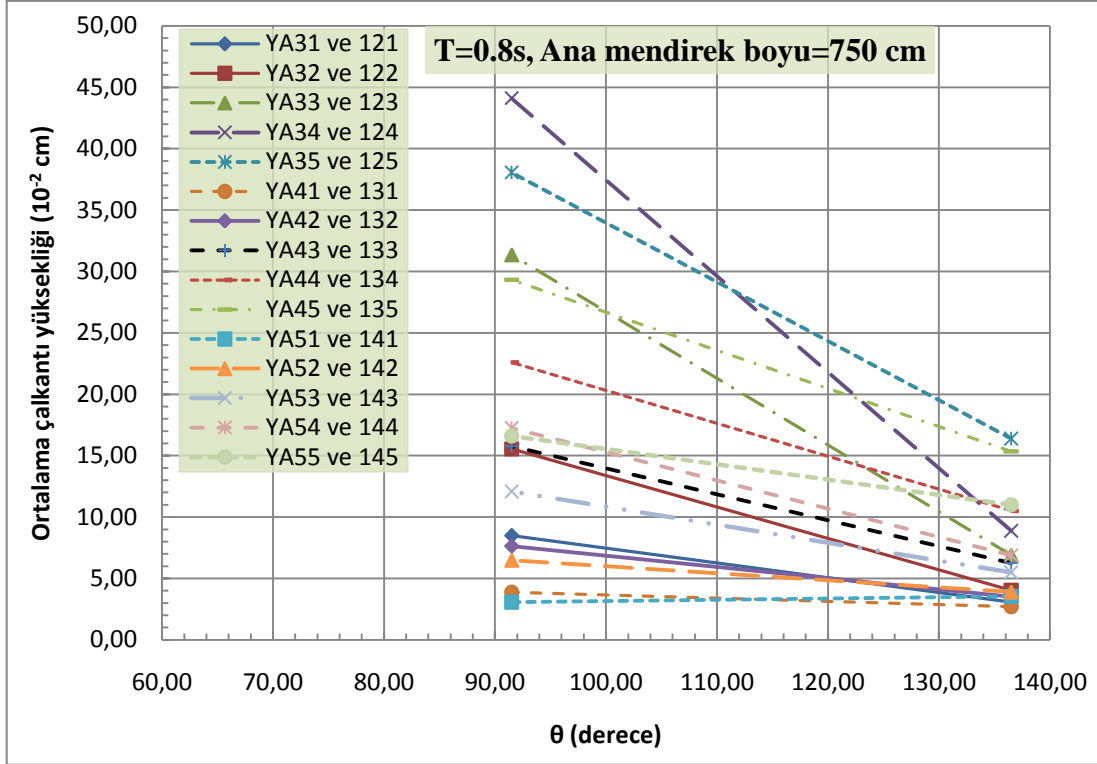
Ek Şekil 5. Yat limanı  $\theta=91.5^\circ$  ve ana mendirek boyu=720 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi



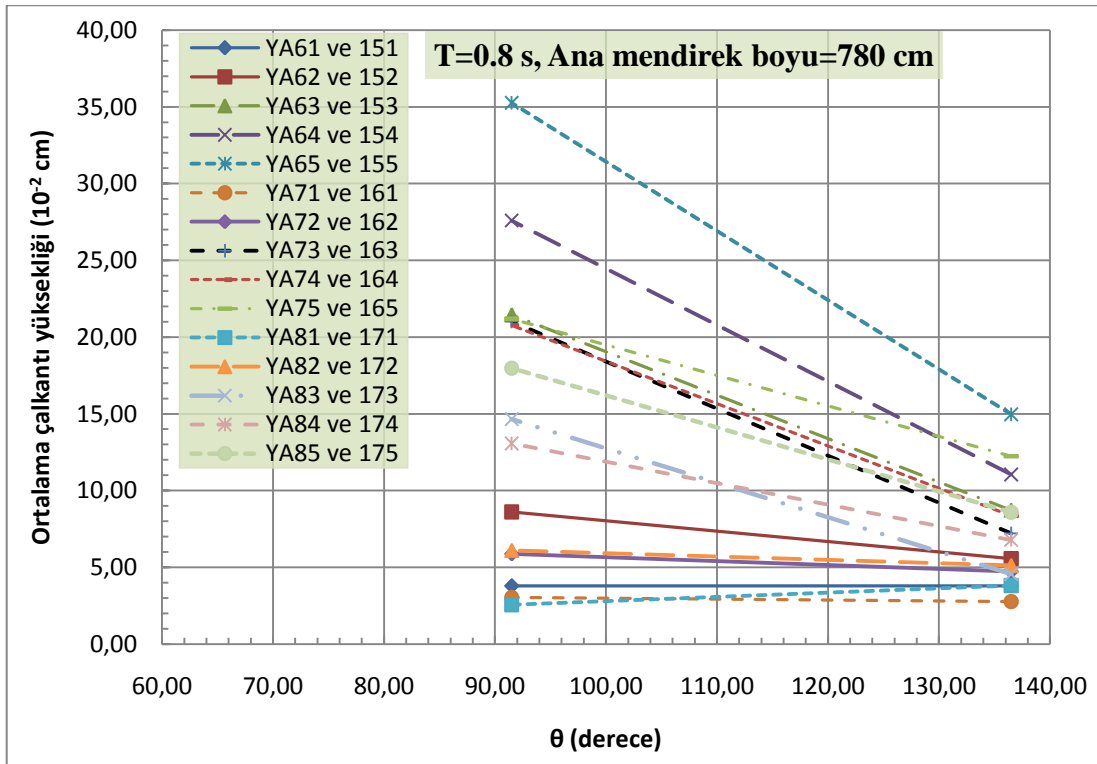
Ek Şekil 6. Yat limanı  $\theta=91.5^\circ$  ve ana mendirek boyu=750 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi



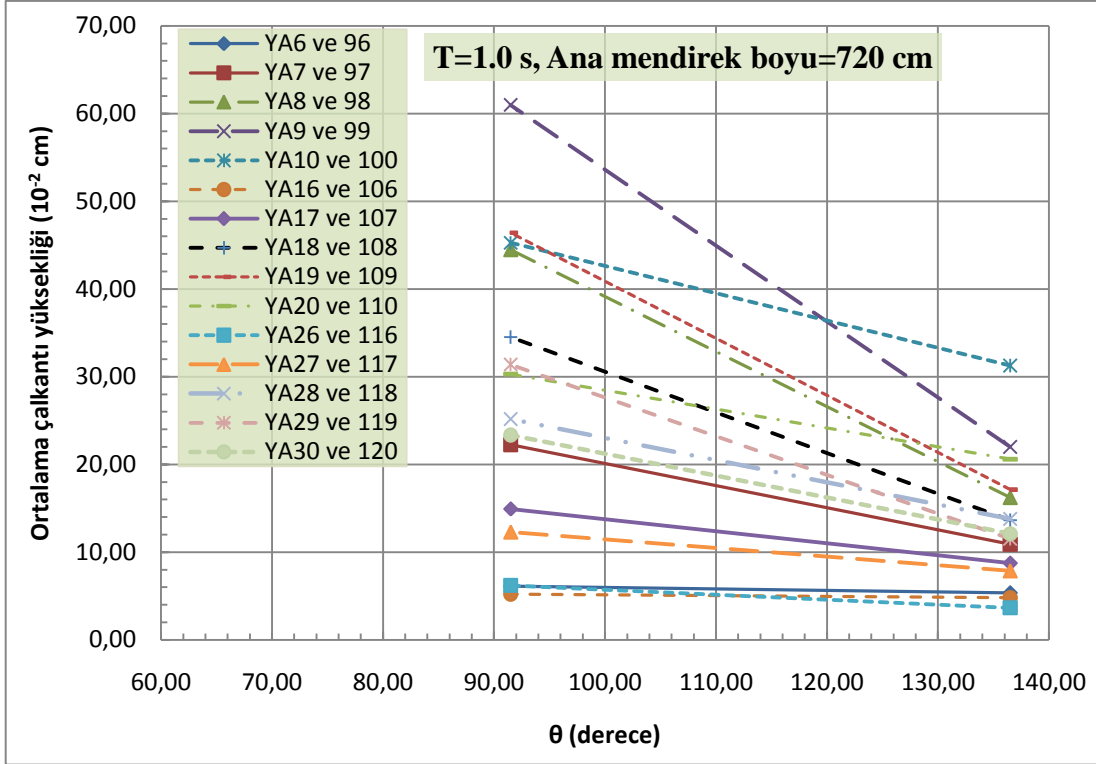
Ek Şekil 7. Yat limanı  $\theta=91.5^\circ$  ve ana mendirek boyu=780 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi



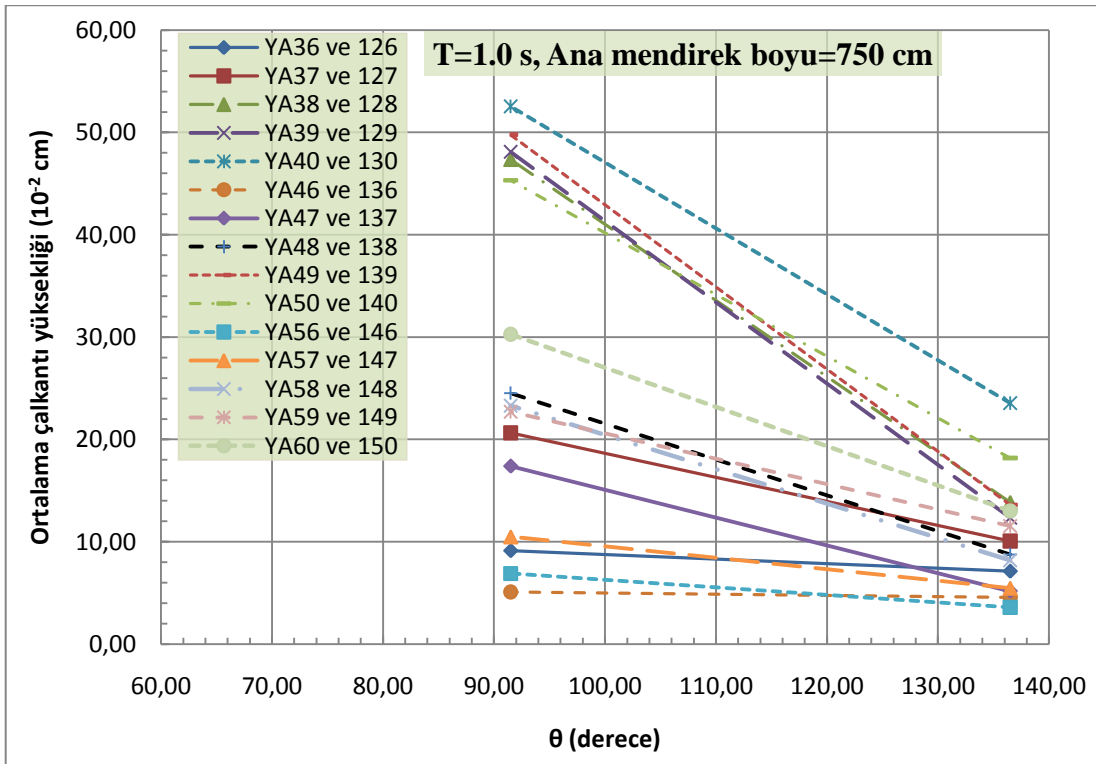
Ek Şekil 8. Yat limanı T=0.8 s ve ana mendirek boyu=750 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin  $\theta$  açısı ile değişimi



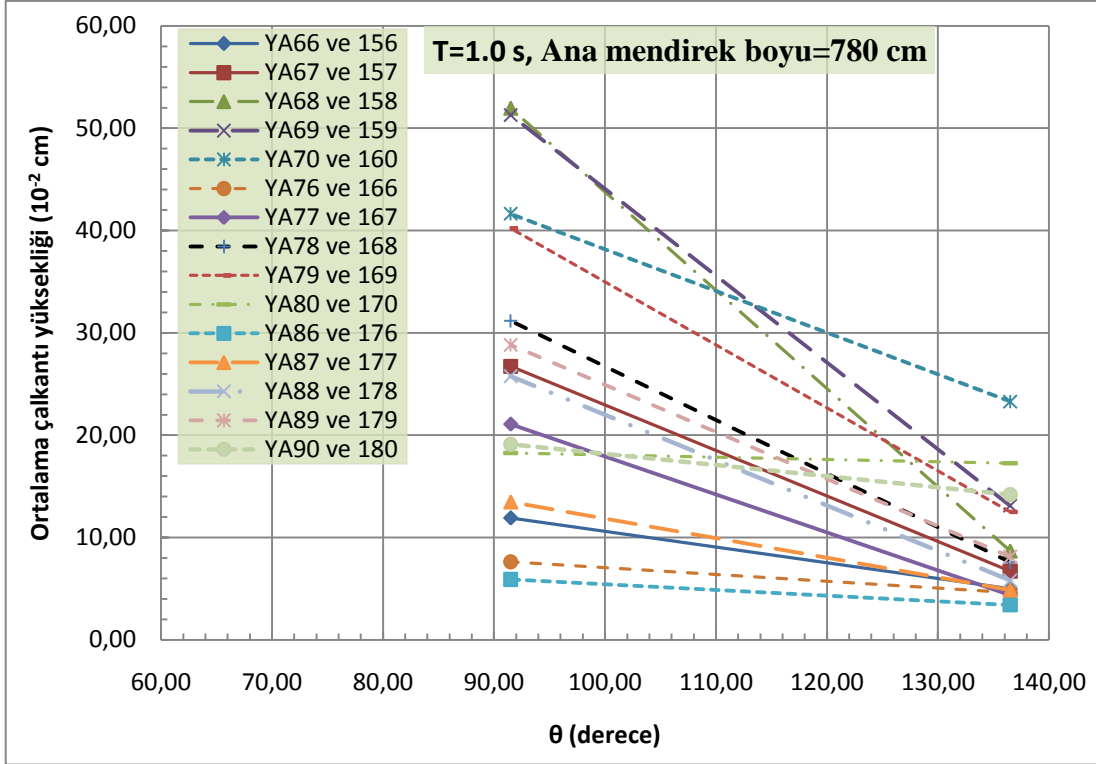
Ek Şekil 9. Yat limanı T=0.8 s ve ana mendirek boyu=780 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin  $\theta$  açısı ile değişimi



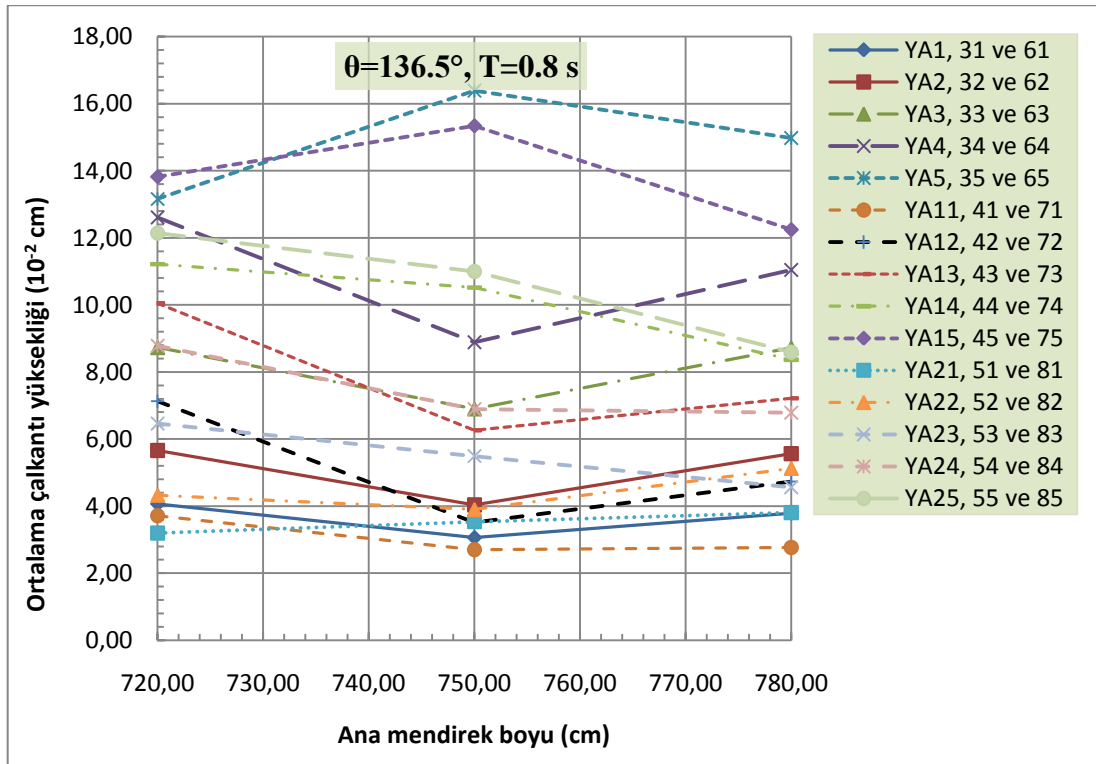
Ek Şekil 10. Yat limanı  $T=1.0$  s ve ana mendirek boyu=720 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin  $\theta$  açısı ile değişimi



Ek Şekil 11. Yat limanı  $T=1.0$  s ve ana mendirek boyu=750 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin  $\theta$  açısı ile değişimi

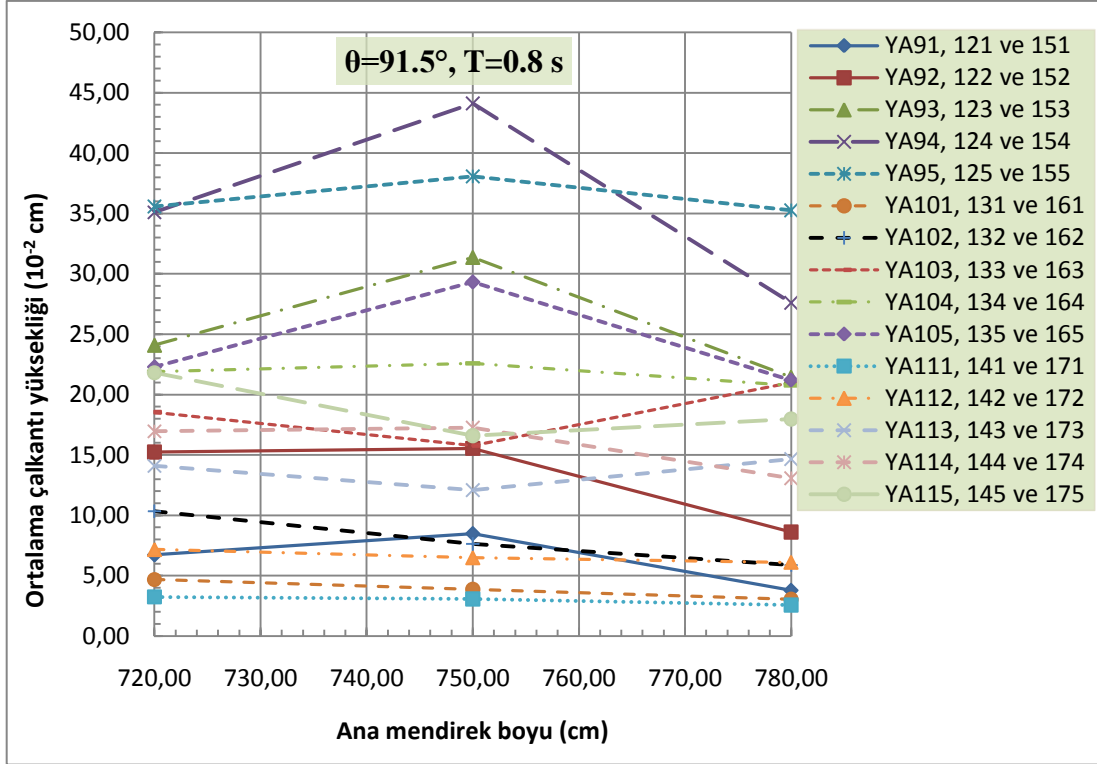


Ek Şekil 12. Yat limanı  $T=1.0$  s ve ana mendirek boyu=780 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin  $\theta$  açısı ile değişimi

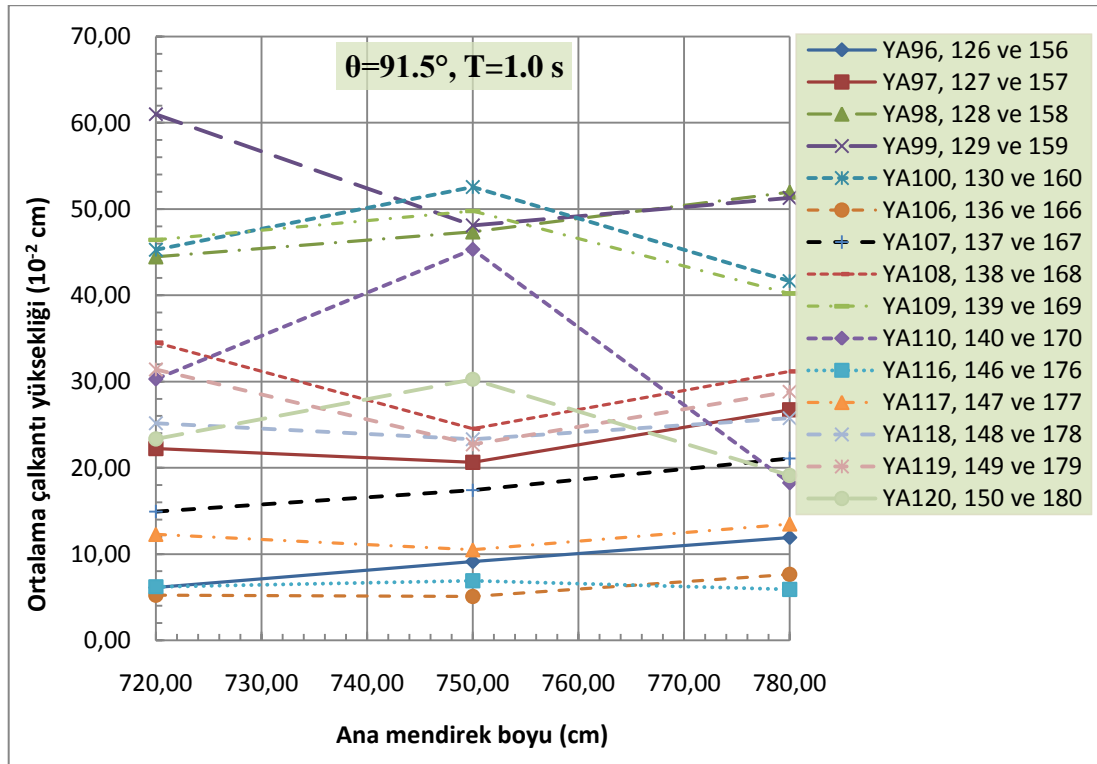


Ek Şekil 13. Yat limanı  $\theta=136.5^\circ$  ve  $T=0.8$  s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin ana mendirek boyu ile değişimi

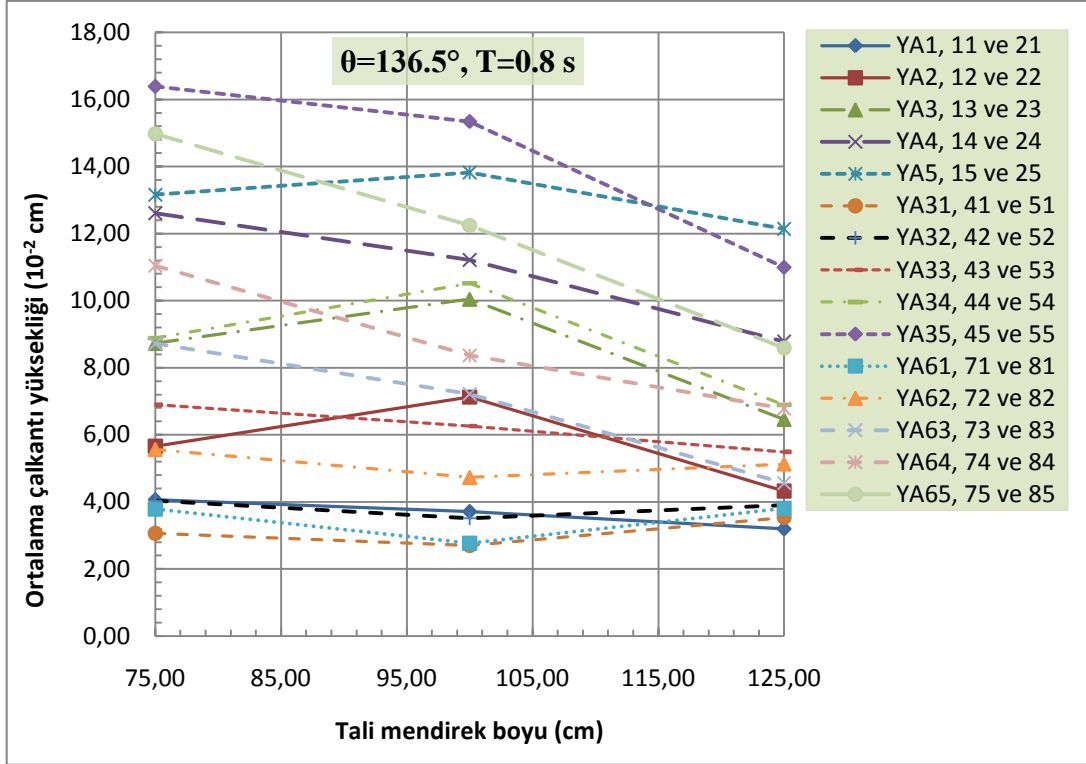




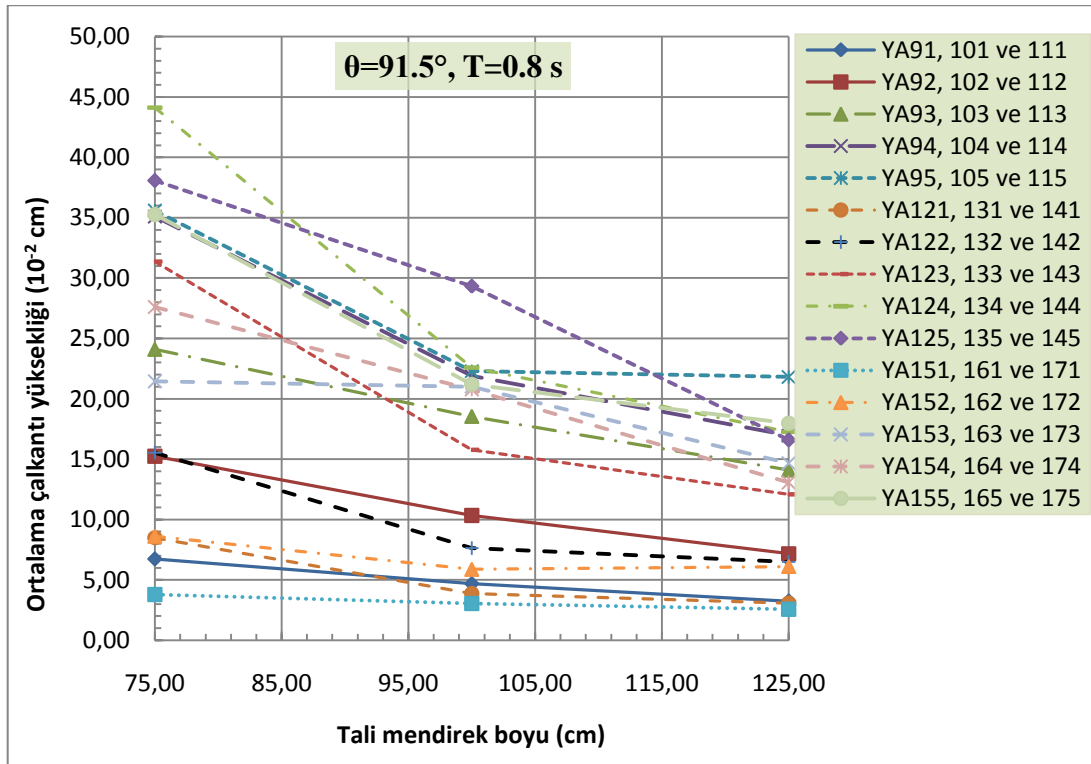
Ek Şekil 14. Yat limanı  $\theta=91.5^\circ$  ve  $T=0.8$  s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin ana mendirek boyu ile değişimi



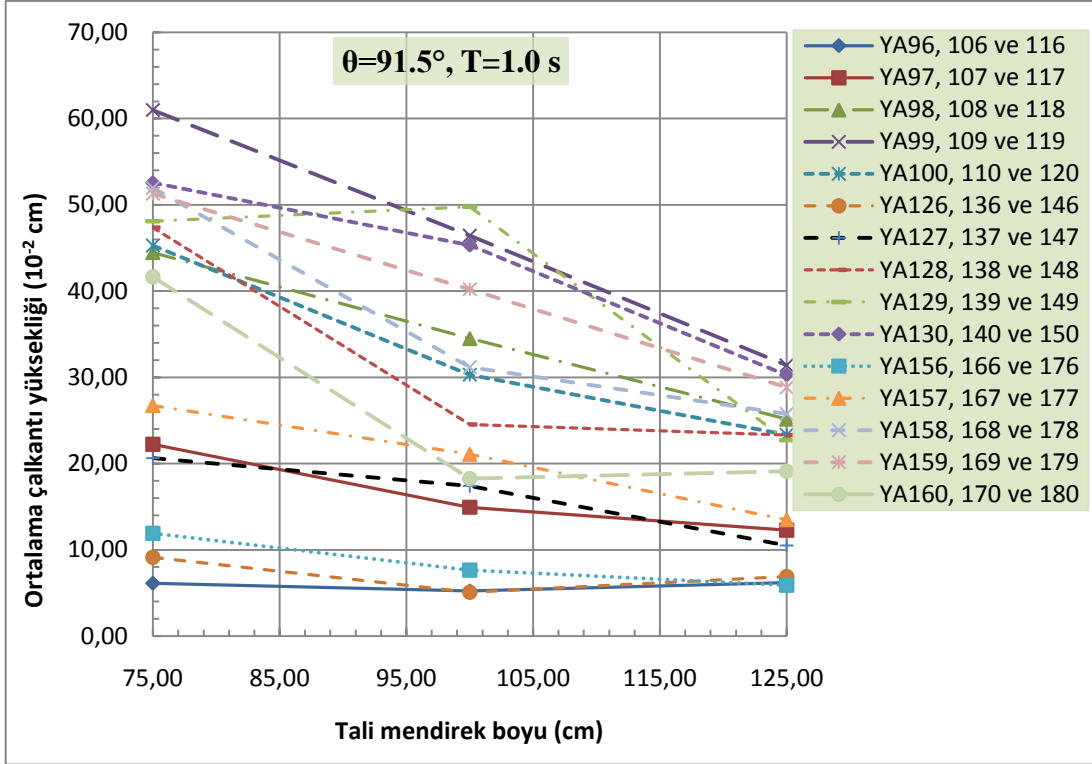
Ek Şekil 15. Yat limanı  $\theta=91.5^\circ$  ve  $T=1.0$  s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin ana mendirek boyu ile değişimi



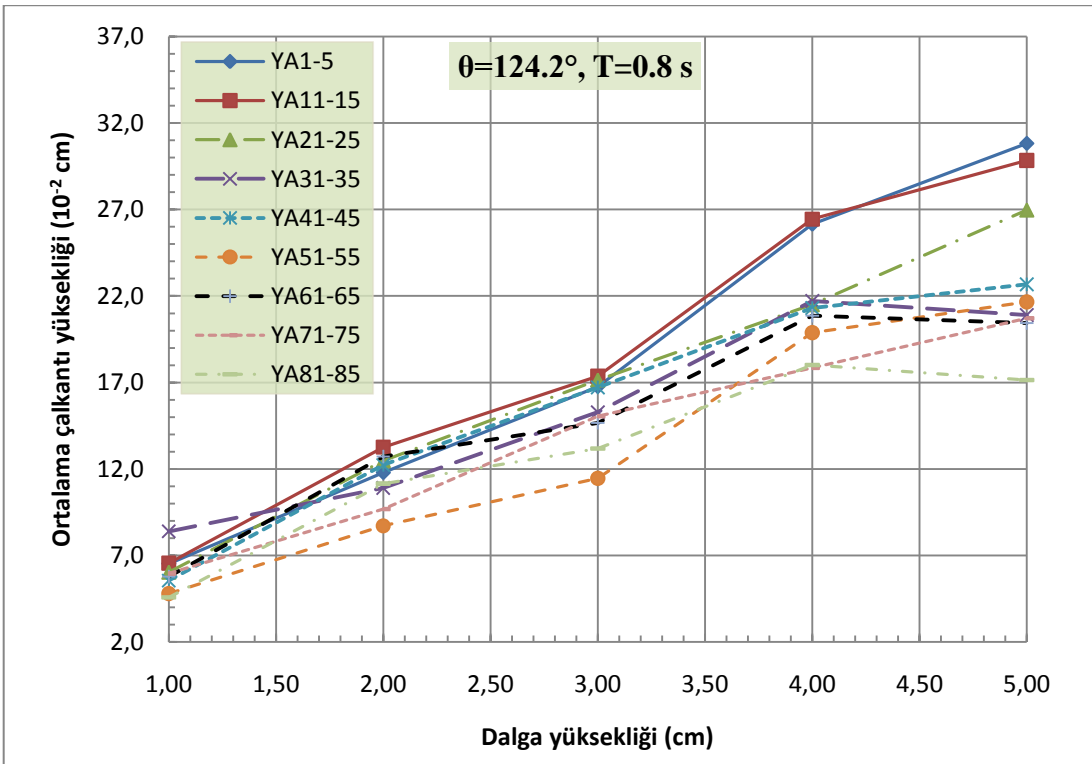
Ek Şekil 16. Yat limanı  $\theta=136.5^\circ$  ve  $T=0.8 \text{ s}$  durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin tali mendirek boyu ile değişimi



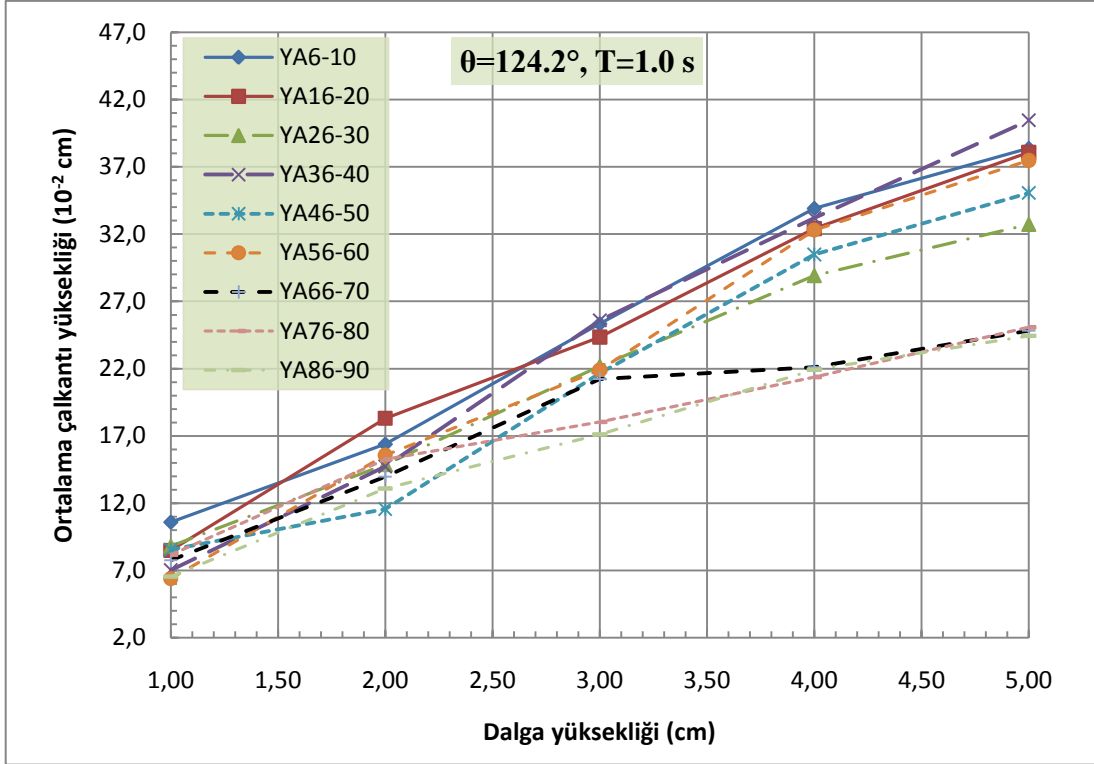
Ek Şekil 17. Yat limanı  $\theta=91.5^\circ$  ve  $T=0.8 \text{ s}$  durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin tali mendirek boyu ile değişimi



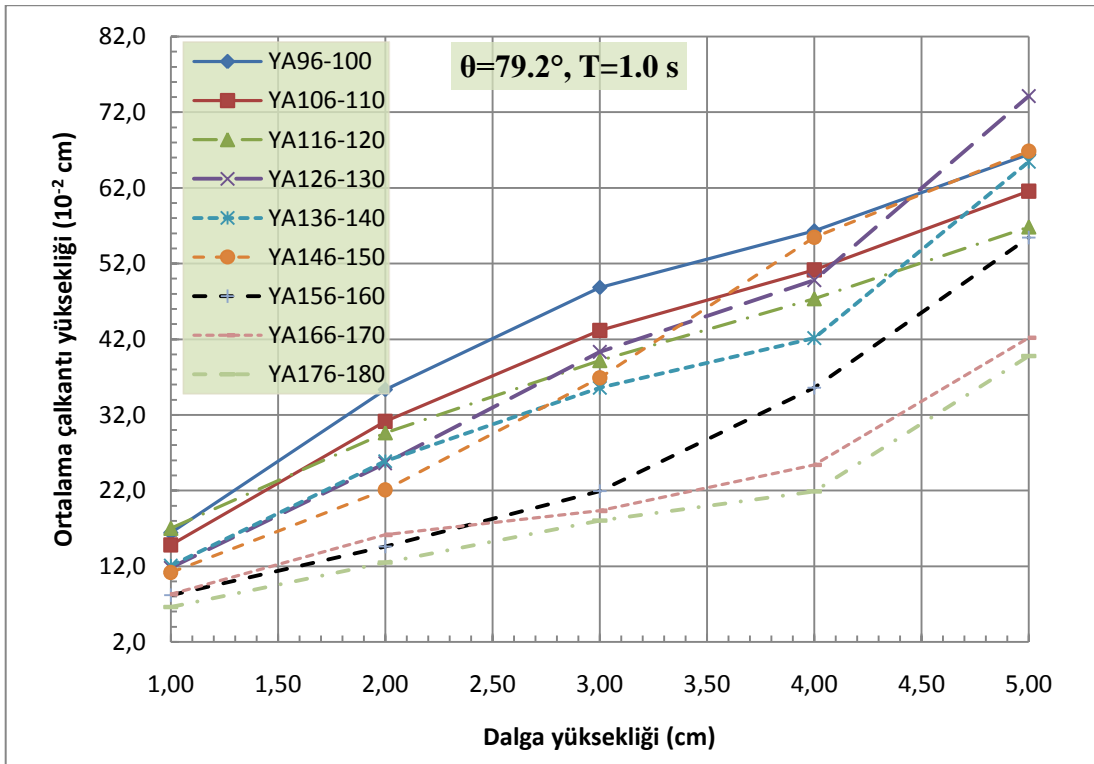
Ek Şekil 18. Yat limanı  $\theta=91.5^\circ$  ve  $T=1.0 \text{ s}$  durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin tali mendirek boyu ile değişimi



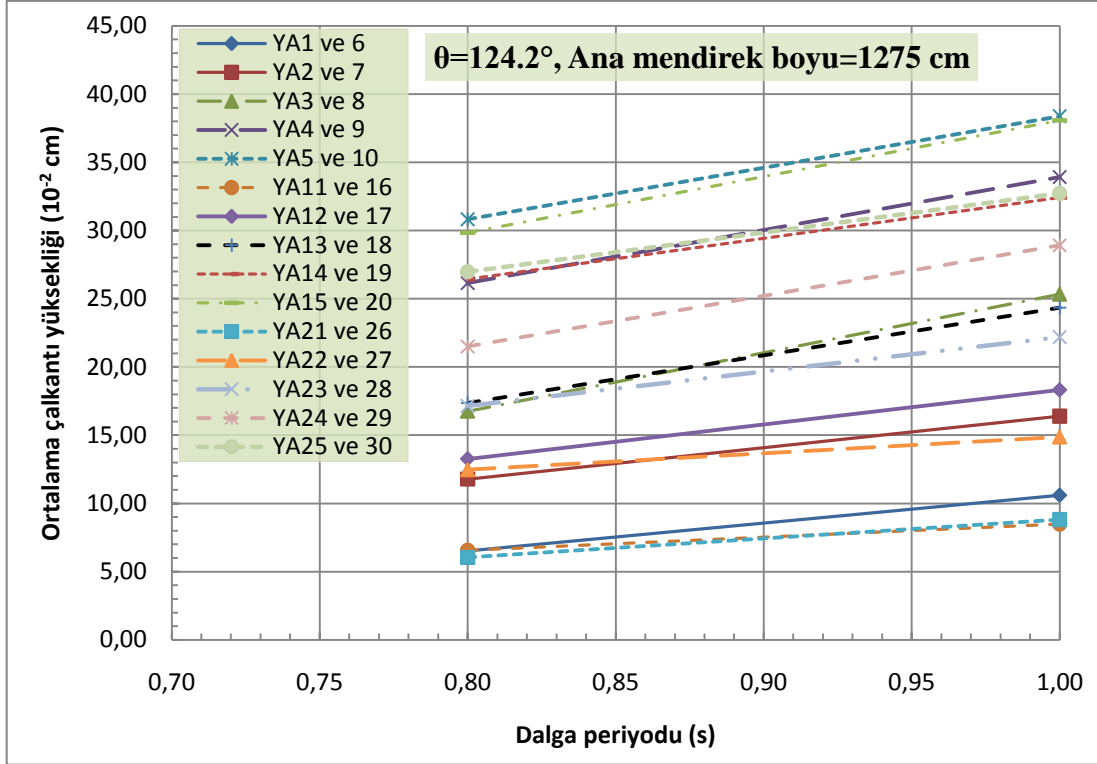
Ek Şekil 19. Yük limanı  $\theta=124.2^\circ$  ve  $T=0.8 \text{ s}$  durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga yüksekliği ile değişimi



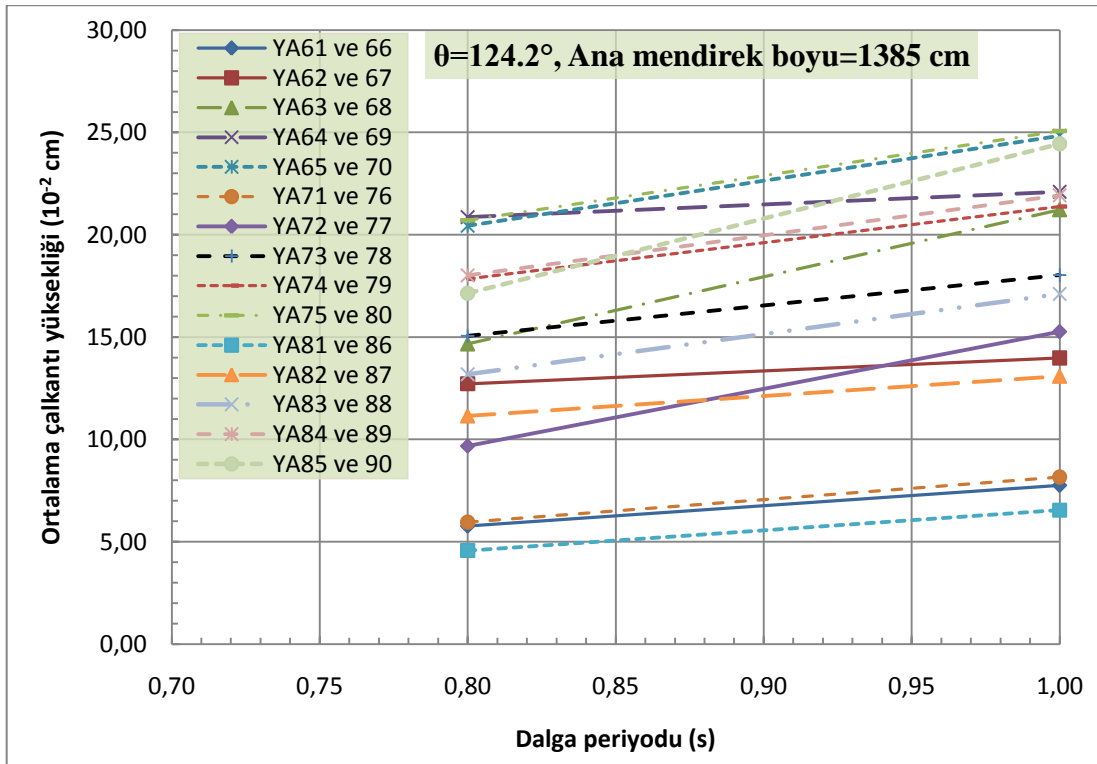
Ek Şekil 20. Yük limanı  $\theta=124.2^\circ$  ve  $T=1.0$  s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga yüksekliği ile değişimi



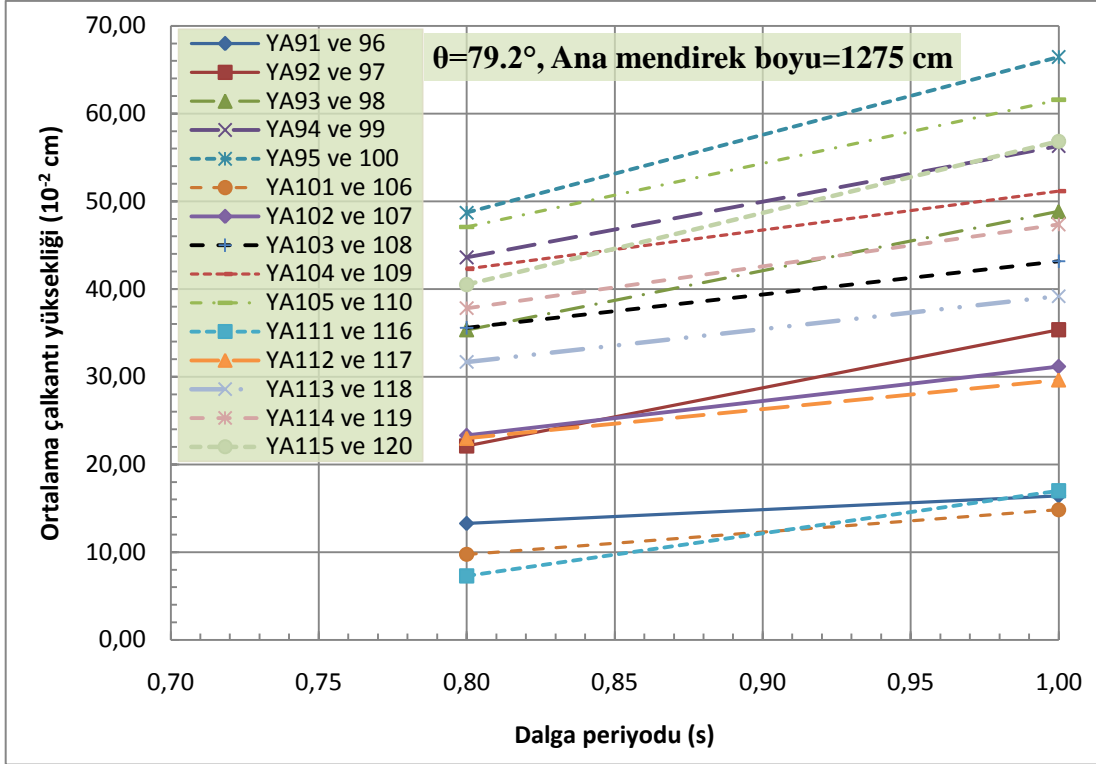
Ek Şekil 21. Yük limanı  $\theta=79.2^\circ$  ve  $T=1.0$  s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga yüksekliği ile değişimi



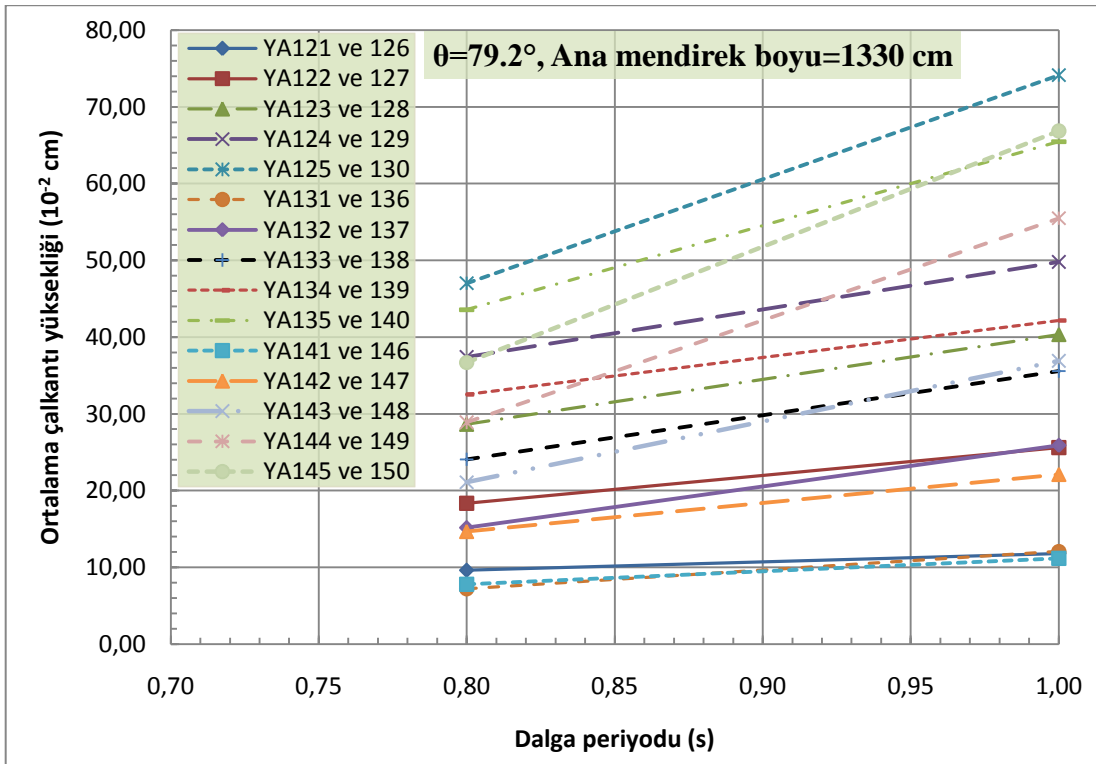
Ek Şekil 22. Yük limanı  $\theta=124.2^\circ$  ve ana mendirek boyu=1275 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi



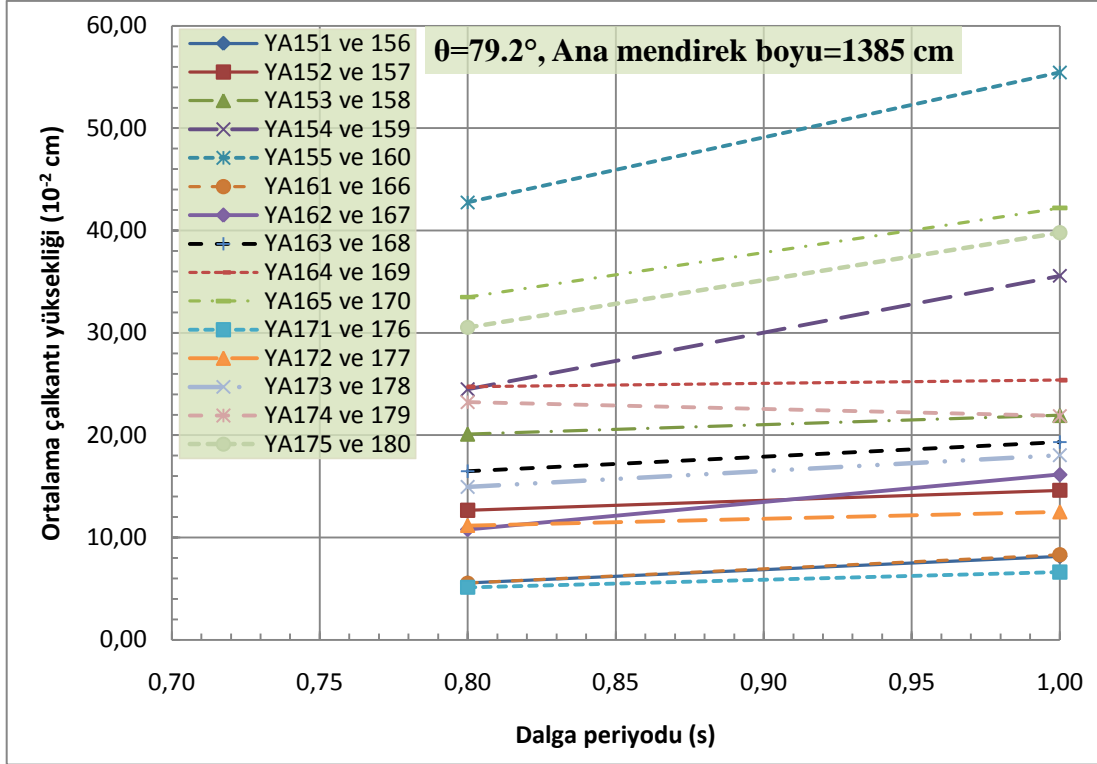
Ek Şekil 23. Yük limanı  $\theta=124.2^\circ$  ve ana mendirek boyu=1385 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi



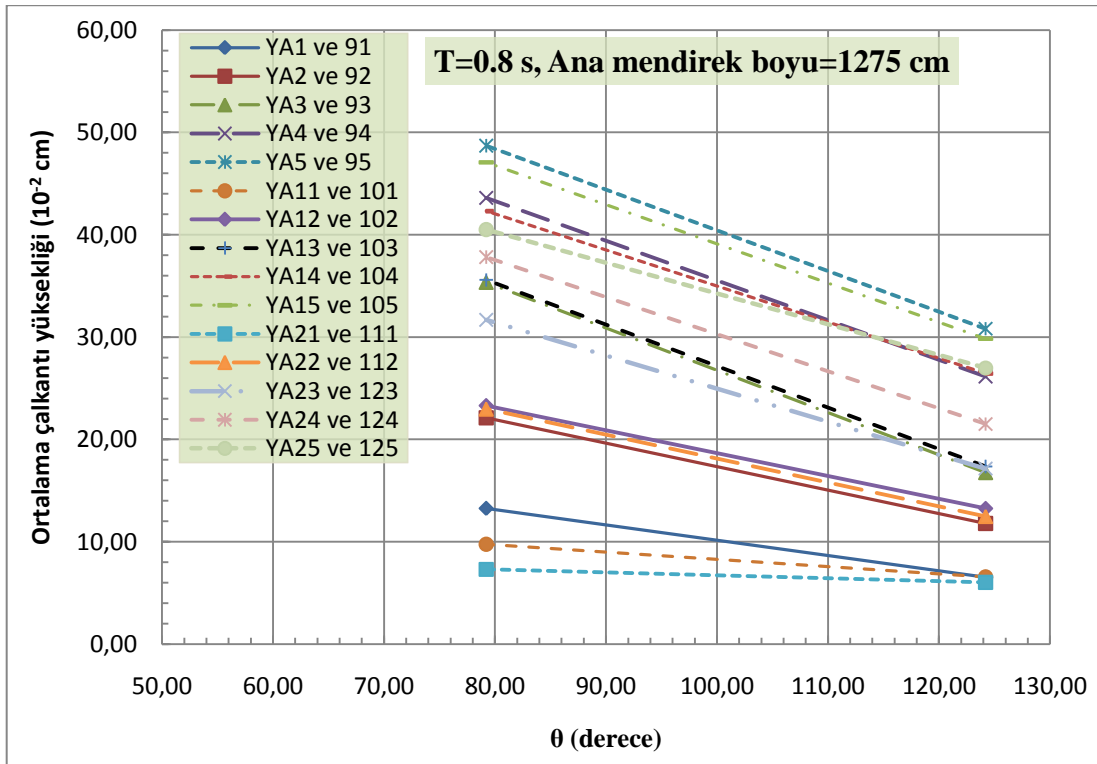
Ek Şekil 24. Yük limanı  $\theta=79.2^\circ$  ve ana mendirek boyu=1275 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi



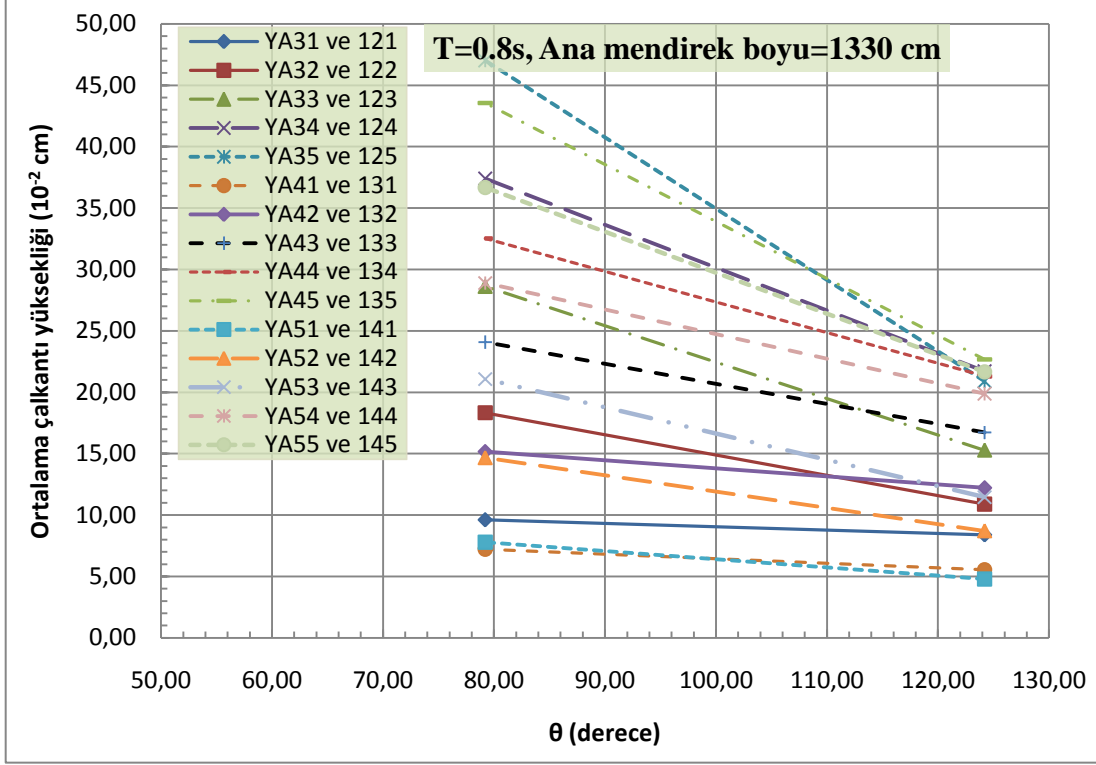
Ek Şekil 25. Yük limanı  $\theta=79.2^\circ$  ve ana mendirek boyu=1330 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi



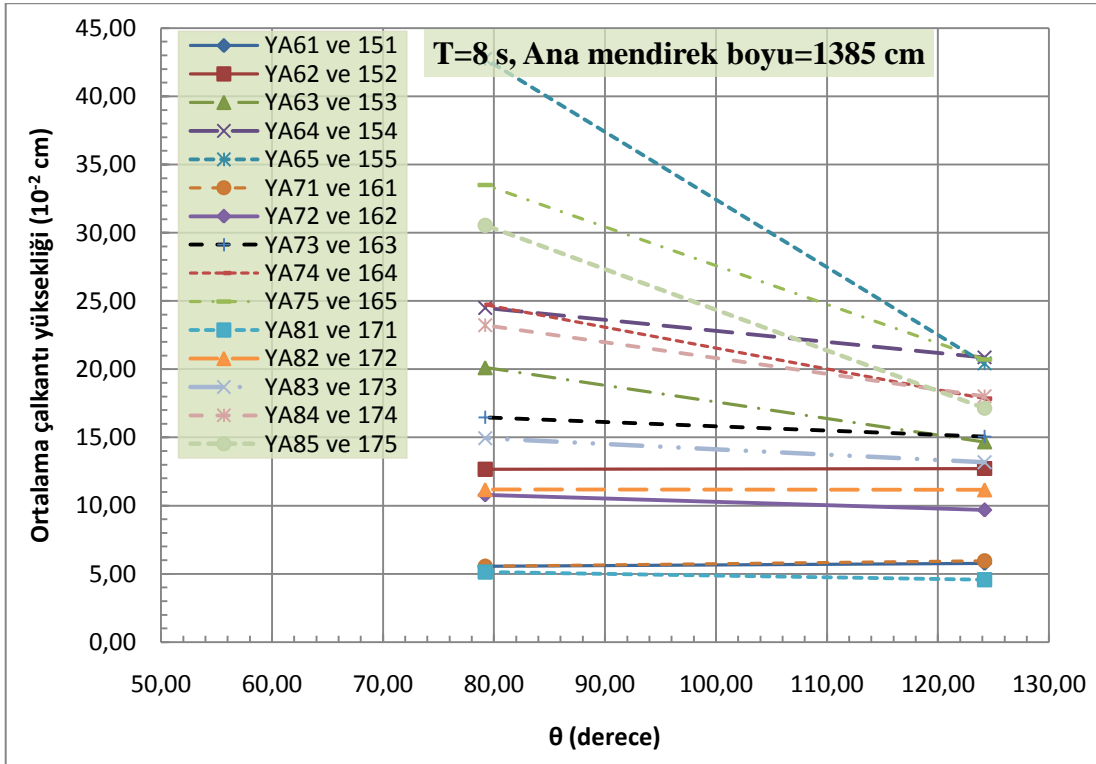
Ek Şekil 26. Yük limanı  $\theta=79.2^\circ$  ve ana mendirek boyu=1385 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin dalga periyodu ile değişimi



Ek Şekil 27. Yük limanı  $T=0.8$  s ve ana mendirek boyu=1275 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin  $\theta$  açısı ile değişimi

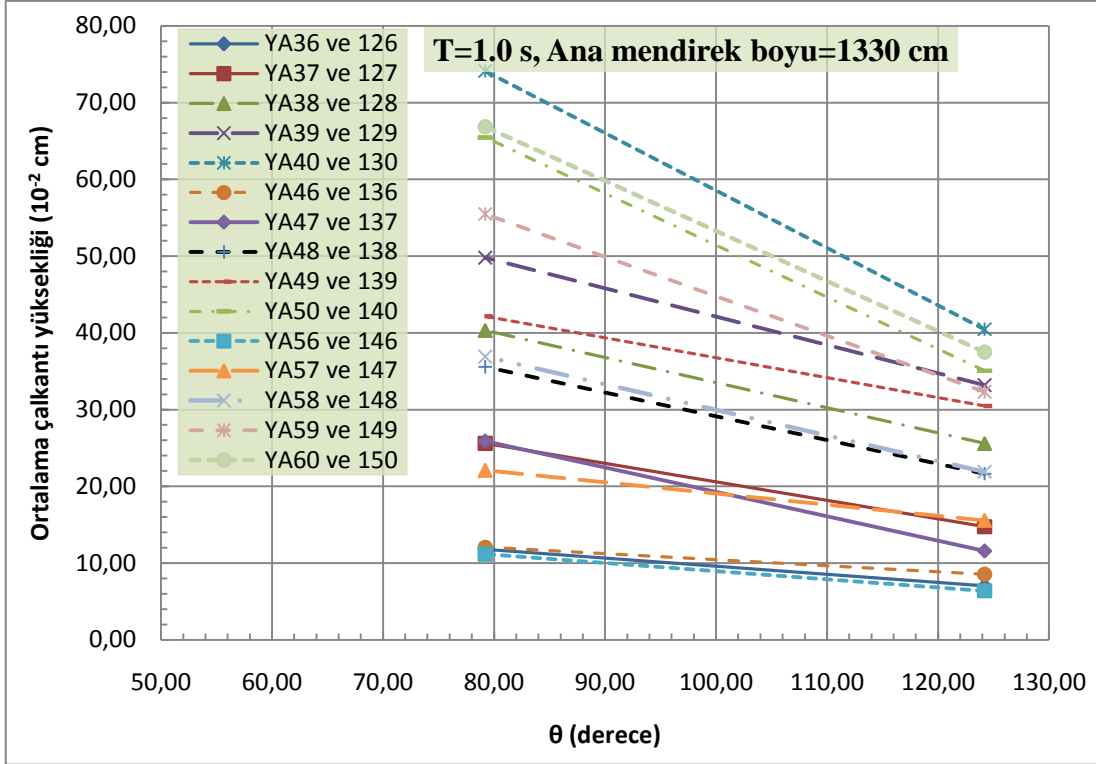


Ek Şekil 28. Yük limanı T=0.8 s ve ana mendirek boyu=1330 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin  $\theta$  açısı ile değişimi

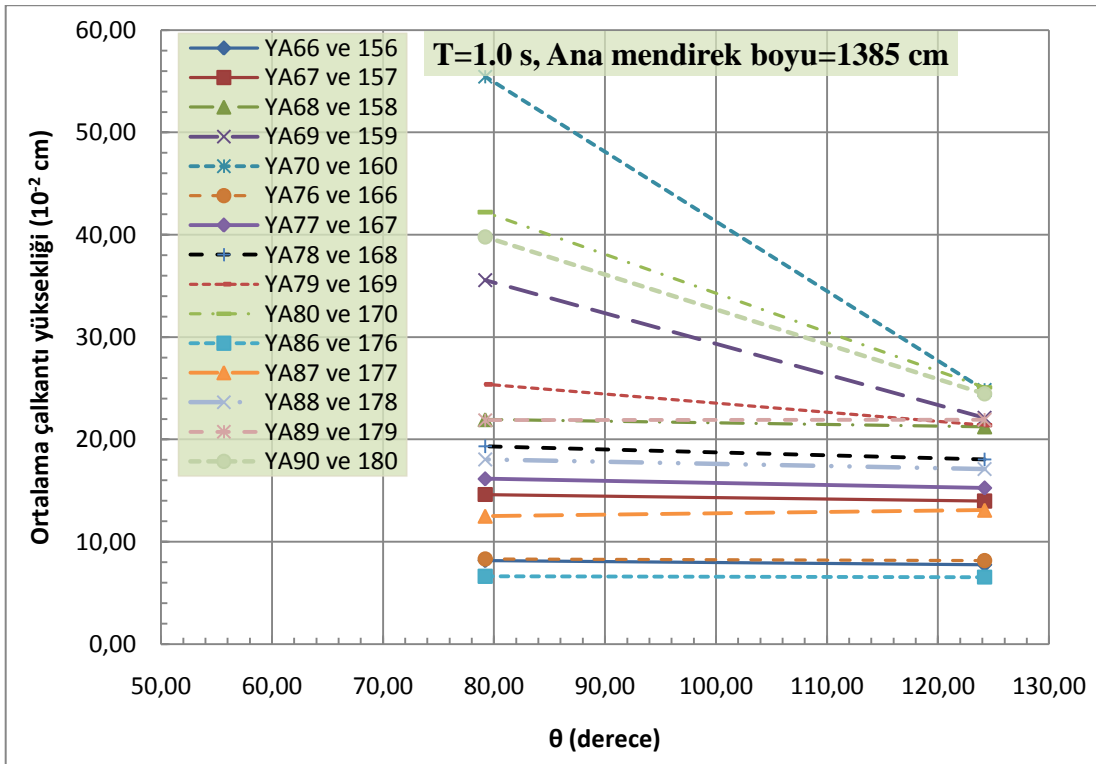


Ek Şekil 29. Yük limanı T=0.8 s ve ana mendirek boyu=1385 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin  $\theta$  açısı ile değişimi

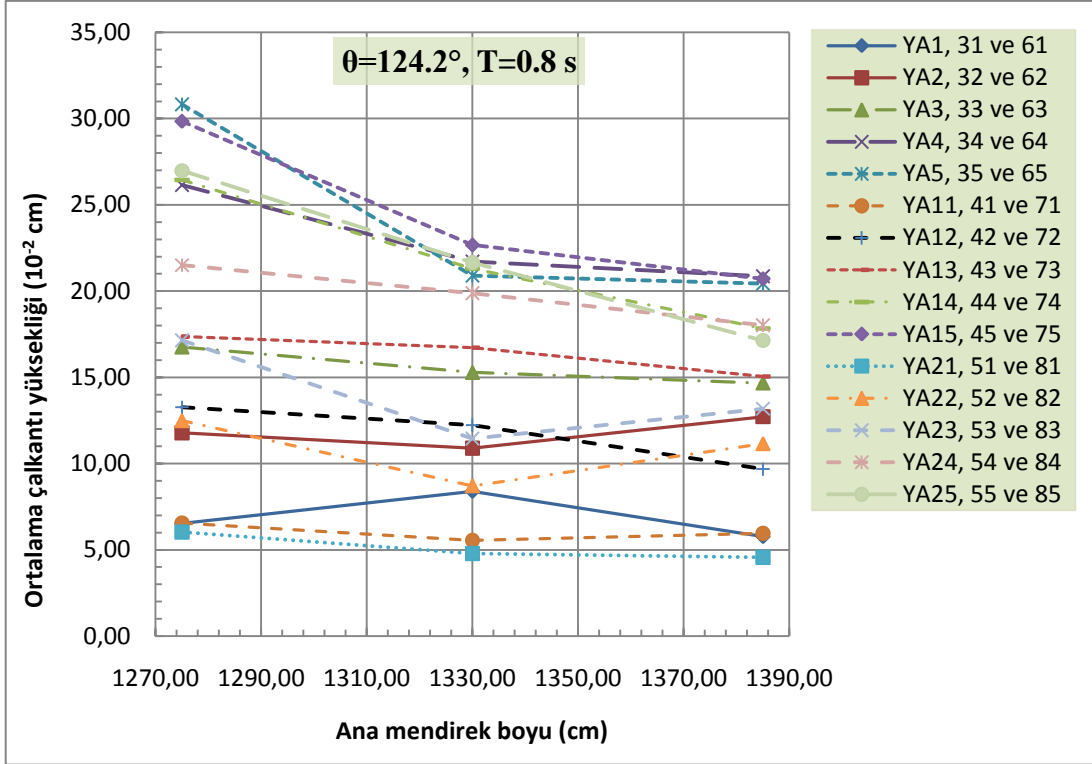




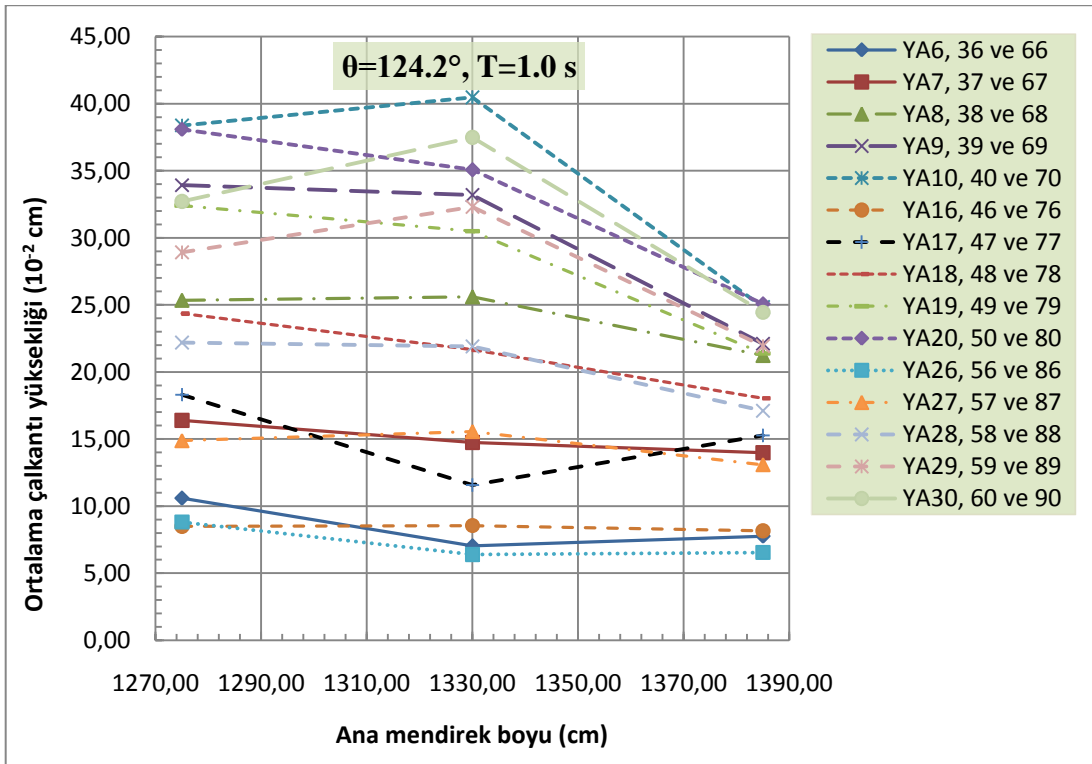
Ek Şekil 30. Yük limanı T=1.0 s ve ana mendirek boyu=1330 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin  $\theta$  açısı ile değişimi



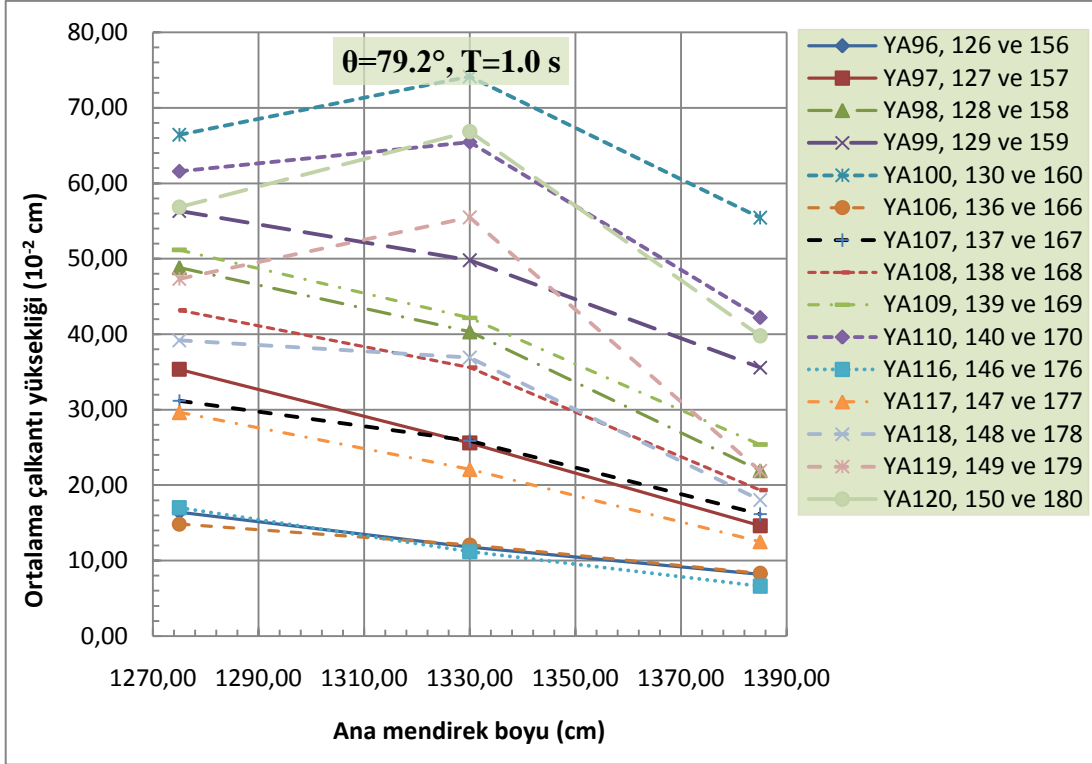
Ek Şekil 31. Yük limanı T=1.0 s ve ana mendirek boyu=1385 cm durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin  $\theta$  açısı ile değişimi



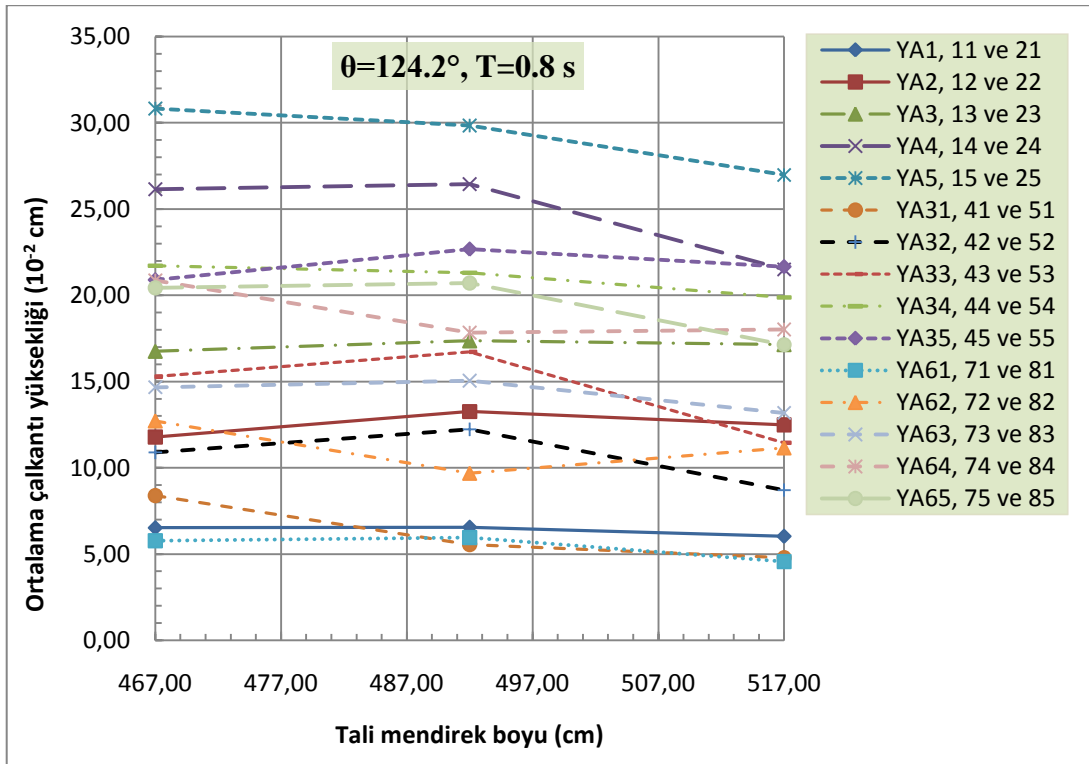
Ek Şekil 32. Yük limanı  $\theta=124.2^\circ$  ve  $T=0.8$  s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin ana mendirek boyu ile değişimi



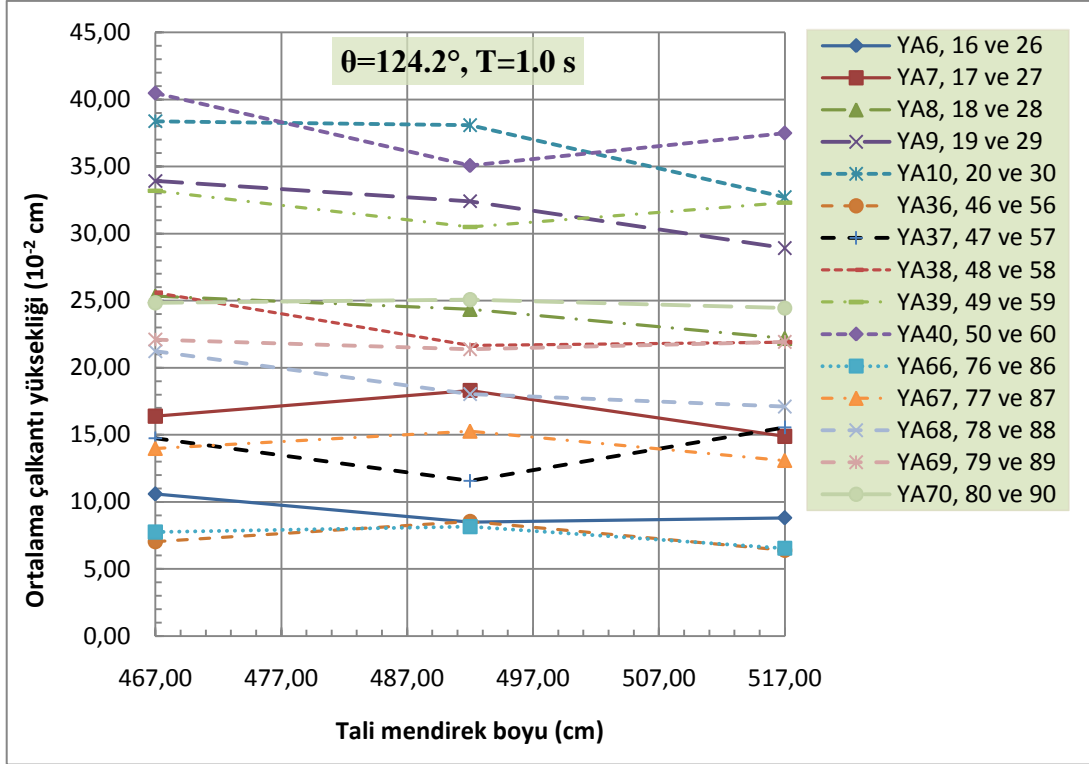
Ek Şekil 33. Yük limanı  $\theta=124.2^\circ$  ve  $T=1.0$  s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin ana mendirek boyu ile değişimi



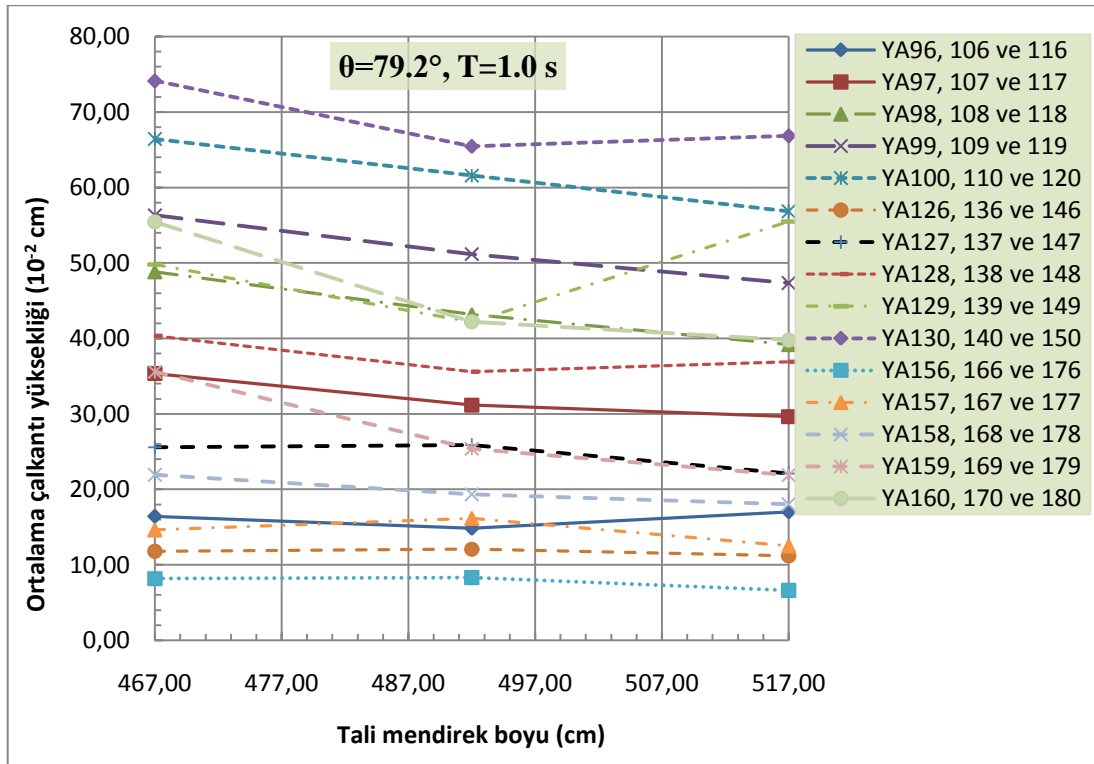
Ek Şekil 34. Yük limanı  $\theta=79.2^\circ$  ve  $T=1.0$  s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin ana mendirek boyu ile değişimi



Ek Şekil 35. Yük limanı  $\theta=124.2^\circ$  ve  $T=0.8$  s durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin tali mendirek boyu ile değişimi



Ek Şekil 36. Yük limanı  $\theta=124.2^\circ$  ve  $T=1.0\text{ s}$  durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin tali mendirek boyu ile değişimi



Ek Şekil 37. Yük limanı  $\theta=79.2^\circ$  ve  $T=1.0\text{ s}$  durumunda ortalama çalkantı yüksekliklerinin tali mendirek boyu ile değişimi

## ÖZGEÇMİŞ

Murat KANKAL 1979 yılında Ankara’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara’da tamamladı. 1996 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. Bu bölümden 2000 yılında mezun oldu ve aynı yıl yüksek lisans eğitimine başladı. Bir yıl süren İngilizce hazırlık programını bitirdikten sonra, Temmuz 2004’te “Kıyıya Dik Katı Madde Taşınımının Zamansal Değişimi” adlı tez ile yüksek lisansını tamamladı. Eylül 2004’te Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda doktora çalışmalarına başladı. 2002-2004 yılları arasında özel bir şirkette inşaat mühendisi olarak çalıştı. 2005 yılından itibaren Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır. Evli olan Murat KANKAL orta derecede İngilizce bilmektedir.