

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

GEMİ İNŞAATI VE DENİZ BİLİMLERİ FAKÜLTESİ



TEKNİK RAPOR

**GEMİ VE DENİZ TEKNOLOJİSİ MÜHENDİSLİĞİ
BÖLÜMÜ**

Rapor Tipi: İnceleme - Araştırma

Rapor No: DEN 2016 / 02

Tarih: 19.12.2016

Onaylayan: Prof.Dr. Hakan AKYILDIZ

**TANKER - ŞAMANDIRA BAĞLAMA
SİSTEMLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI
TEKNİĞİYLE MODELLENMESİ**

**Yrd.Doç.Dr. Ayhan MENTEŞ
Prof.Dr. İsmail H. HELVACIOĞLU
Prof.Dr. Hakan AKYILDIZ
Y.Müh. Murat YETKİN**

ÖNSÖZ

Endüstride pek çok uygulama alanında olduğu gibi, deniz endüstrisinde de gemi ve açık deniz yapıları problemlerinin çözümünde ve modellenmesinde Yapay Sinir Ağları (ANN) ve Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) yöntemlerinin önemi ve uygulamaları giderek artmaktadır. Bu çalışmada, çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemlerinin değişik çevre şartları altındaki dinamik davranış problemi ele alınmış ve ANN ve ANFIS yöntemleri ile modellemeleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçların bundan sonraki yapılacak çalışmalara katkı sağlaması hedeflenmiştir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
TABLO LİSTESİ.....	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. MODELLEME TEKNİKLERİ.....	5
2.1 Yapay Sinir Ağları	5
2.1.1 Genel.....	5
2.1.2 Yapay Sinir Ağları Tarihçesi	6
2.1.3 Kullanım Alanları	7
2.1.3.1 Sınıflandırma.....	7
2.1.3.2 Kümeleme	7
2.1.3.3 Tahmin	7
2.1.3.4 Desen tanıma.....	7
2.1.3.5 Fonksiyon yaklaşımı	8
2.1.3.6 Optimizasyon	8
2.1.4 ANN'nin Özellikleri	8
2.1.4.1 Doğrusal olmama	8
2.1.4.2 Öğrenme	8
2.1.4.3 Genelleme	9
2.1.4.4 Uyarlanabilirlik	9
2.1.4.5 Hata toleransı	9
2.1.4.6 Hız ve tasarım kolaylığı	9
2.1.5 ANN'nin Yapısı.....	10
2.1.5.1 Girdi katmanı	10
2.1.5.2 Ara katman	10
2.1.5.3 Çıktı katmanı.....	11
2.1.6 ANN'de İşlem Elemanları	11
2.1.6.1 Girdiler	11
2.1.6.2 Ağırlıklar	11
2.1.6.3 Birleştirme fonksiyonu.....	11
2.1.6.4 Aktivasyon fonksiyonu	11
Doğrusal aktivasyon fonksiyonu:	12
Sigmoid aktivasyon fonksiyonu:.....	12
Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu:	12
Diğer aktivasyon fonksiyonları:.....	13
2.1.7 Çıktı.....	13
2.1.8 ANN Öğrenme Türleri ve Öğrenme Kuralları.....	14
2.1.8.1 Öğrenme türleri	14
Eğitimli öğrenme:	14
Eğitimsiz öğrenme:	14
Yarı eğitimli öğrenme:.....	14

2.1.8.2 Öğrenme kuralları	14
Hebb kuralı:	14
Hopfield kuralı:	15
Kohonen kuralı:	15
Delta kuralı:	15
Levenberg-Marquart algoritması:	15
Geri yayılım algoritması:	16
2.1.9 Ağ Yapılarına göre ANN	17
2.1.9.1 İleri beslemeli yapay sinir ağları	17
2.1.9.2 Geri beslemeli yapay sinir ağları	17
2.1.10 Katmanlarına Göre ANN	18
2.1.10.1 Tek katmanlı algılayıcılar	18
Basit algılayıcı (Perceptron):	18
Yinelemeli algılayıcı (ADALINE):	19
Çoklu yinelemeli algılayıcı (MADALINE):	19
2.1.10.2 Çok katmanlı algılayıcılar	19
2.1.11 Yapay Sinir Ağlarının Avantajları ve Dezavantajları	20
2.1.11.1 ANN'lerin avantajları	20
2.1.11.2 ANN'lerin dezavantajları	21
2.1.12 ANN Yazılımları	21
2.1.12.1 MatLab: Neural network toolbox	22
2.1.12.2 NeuroSolutions yazılımı	24
2.2 Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS)	25
3. TANKER-ŞAMANDIRA BAĞLAMA SİSTEMLERİ	29
3.1 Bağlama Sistemi Malzeme Seçimi	31
3.2 Tanker-Şamandıra Bağlama Sistemi Seçimi	35
3.2.1 Seçeneklerin Belirlenmesi	36
3.2.2 Çevre Koşullarının ve Terminal Bölgesinin Belirlenmesi	36
3.2.3 Terminal bölgesinin seçimi	36
3.2.4 Rüzgar karakteristikleri ve dalga iklimi	37
3.2.5 Akıntı özellikleri	42
3.2.6 Global ve Gemi Bazlı Koordinat Sistemleri	42
3.2.7 Tanker-Şamandıra Sisteminin Genel Karakteristikleri	43
3.3 Sistemin Matematik Modellemesi	43
3.3.1 Dinamik Hesaplamalar	44
3.3.2 OrcaFlex programı genel özellikleri	44
3.3.3 OrcaFlex programında bağlama sisteminin oluşturulması	48
4. ANN VE ANFIS İLE TANKER-ŞAMANDIRA BAĞLAMA SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ	59
4.1 Model 1	59
4.1.1 Tanker-Şamandıra bağlama sistemi genel karakteristikleri	59
4.1.2 Yapay Sinir Ağları	59
4.1.3 ANFIS	61
4.2 Model 2	62
4.2.1 Yapay Sinir Ağları (Model 2)	63
4.2.2 ANFIS (Model 2)	65
5. SONUÇLAR	79

KISALTMALAR

ADALINE	: Adaptive Linear Element
ALP	: Articulated Leg Platform
ANFIS	: Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
ANN	: Artificial Neural Network
ART	: Adaptive Resonance Theory
CALM	: Catenary Anchored Leg Mooring
CPPP	: Capability Polar Plots Program
FANN	: Fast Artificial Neural Network
HYSA	: Hücresel Yapay Sinir Ağı
LM	: Levenberg-Marquardt Algoritması
LNG	: Liquid Natural Gas
LPG	: Liquid Petrol Gas
MADALINE	: Multi Adaptive Linear Element
MPM	: Multiple Point Mooring
NNT	: Neural Network Toolbox
OCIMF	: The Oil Companies International Marine Forum
RAO	: Response Amplitude Operator
SAL	: Single Anchor Loading
SALM	: Single Anchored Leg Mooring
SM	: Spread Mooring
SPAR	: Single Point Anchor Reservoir
SPM	: Single Point Mooring
WN	: Wavelet Networks

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1 : Bazı ANN yazılımları.....	21
Tablo 2 : Sürüklenerek gömülen çapa örnekleri.....	34
Tablo 3 : Tutunma kapasitesi parametreleri.....	35
Tablo 4 : Tanker –şamandıra bağlama sistemi için bağlama seçenekleri.....	36
Tablo 5 : LPG tankerlerinin genel özellikleri.....	43
Tablo 6 : LPG tankerleri için standart malzeme karakteristikleri.....	43
Tablo 7 : LPG tankerleri için benzetim senaryoları.....	44
Tablo 8 : Şamandıra için uzunluk ve ağırlık tablosu.....	49
Tablo 9 : Ağırlık hesabı.....	51
Tablo 10 : OrcaFlex Programı ana tekne modeli genel özellikleri.....	51
Tablo 11 : Tanker C için maksimum gerilme değerleri.....	57
Tablo 12 : Tanker C için maksimum yer değiştirme miktarları.....	57
Tablo 13 : Tanker için simülasyon senaryo aralıkları.....	60
Tablo 14 : Tankerin genel özellikleri.....	60
Tablo 15 : Orcaflex simülasyon model özellikleri.....	60
Tablo 16 : OrcaFlex modeli ana boyutları.....	61
Tablo 17 : OrcaFlex simülasyonları için çevre şartları ve bağlama konumları.....	64
Tablo 18 : Simülasyon sonuçları.....	65
Tablo 19 : Çevre şartları ve bağlama konumlarının normalizasyon sonuçları.....	66
Tablo 20 : Simülasyon sonuçlarının normalize edilmiş değerleri.....	67
Tablo 21 : Optimum gerilmenin bulunduğu şartlar.....	71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1 : Nöronun yapısı.....	5
Şekil 2 : ANN'nin temel yapısı.....	10
Şekil 3 : Doğrusal aktivasyon fonksiyonu.....	12
Şekil 4 : Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.....	12
Şekil 5 : Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu.....	13
Şekil 6 : ANN mimarisi.....	13
Şekil 7 : İleri beslemeli yapay sinir ağı.....	18
Şekil 8 : Çok katmanlı ANN.....	20
Şekil 9 : Neural network toolbox arayüzü.....	22
Şekil 10 : Neural network toolbox arayüzü.....	23
Şekil 11 : Neural network toolbox eğitim bölümü.....	24
Şekil 12 : NeuroSolutions programı.....	25
Şekil 13 : Tek noktadan bağlı tanker-şamandıra sistemi.....	29
Şekil 14 : Çok noktadan bağlı tanker-şamandıra sistemi.....	29
Şekil 15 : Tanker-şamandıra bağlama sistemi bileşenleri.....	32
Şekil 16 : Çapa-sinker bağlama.....	33
Şekil 17 : Katineri bağlama sistemi.....	33
Şekil 18 : Çok noktalı bağlama sistemi çapa çeşitleri.....	34
Şekil 19 : Rüzgar iklimi belirleme noktası (40.710 N, 29.290 E).....	37
Şekil 20 : Yıllık rüzgar gülü.....	38
Şekil 21 : Mevsimsel rüzgar gülleri.....	38
Şekil 22 : Aylık ortalama ve en yüksek rüzgar hızları.....	39
Şekil 23 : Yıllık en büyük rüzgar hızlarının en büyük değerler istatistiği.....	39
Şekil 24 : Yıllık dalga gülü.....	40
Şekil 25 : Mevsimsel dalga gülleri.....	40
Şekil 26 : Dalga yüksekliği (H_s) ve dalga periyodu (T_m) ilişkisi.....	41
Şekil 27 : Aylık ortalama ve en yüksek dalga yükseklikleri.....	41
Şekil 28 : Yıllık en büyük belirgin dalga yükseklikleri istatistiği.....	42
Şekil 29 : Koordinat sistemi.....	43
Şekil 30 : OrcaFlex programı eksen takımı.....	45
Şekil 31 : OrcaFlex programı görünümü.....	48
Şekil 32 : Şamandıra sistemi.....	49
Şekil 33 : Şamandıra geometrisi.....	50
Şekil 34 : 3 Boyutlu şamandıra görünümü.....	50
Şekil 35 : K1ç iskele şamandıra halatına gelen maksimum yük.....	52
Şekil 36 : K1ç sancak şamandıra halatına gelen maksimum yük.....	52
Şekil 37 : Baş iskele şamandıra halatına gelen maksimum yük.....	53
Şekil 38 : Baş sancak şamandıra halatına gelen maksimum yük.....	53
Şekil 39 : Gemi ortasındaki maksimum hareket miktarı.....	53
Şekil 40 : Gemi başındaki maksimum hareket miktarı.....	54
Şekil 41 : Gemi kışındaki maksimum hareket miktarı.....	54
Şekil 42 : 6 Noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi (A12).....	55
Şekil 43 : A ₁₀ hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey).....	55
Şekil 44 : A ₁₀ hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey doğu).....	56

Şekil 45 : A_{10} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney).....	56
Şekil 46 : A_{10} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney batı).....	56
Şekil 47 : Tanker-şamandıra bağlama sistemi.....	60
Şekil 48 : İlk bağlama noktası ($l=0$).	62
Şekil 49 : ANN eğitim sonuçları.	68
Şekil 50 : Baş sancak halatı sonuçlarının karşılaştırılması.....	69
Şekil 51 : Baş iskele halatı sonuçlarının karşılaştırılması.	69
Şekil 52 : K1ç iskele halatı sonuçlarının karşılaştırılması.	69
Şekil 53 : K1ç sancak halatı sonuçlarının karşılaştırılması.	70
Şekil 54 : x-yönündeki yer değiştirme sonuçlarının karşılaştırılması.	70
Şekil 55 : y-yönündeki yer değiştirme sonuçlarının karşılaştırılması.	71
Şekil 56 : ANFIS yapısı (ANFIS structure).	72
Şekil 57 : ANFIS iterasyon sonuçları (ANFIS iteration results).....	72
Şekil 58 : Model 2 için oluşturulan ANN sonuçları.....	73
Şekil 59 : Şamandıra 1 için ANN ve simülasyon karşılaştırması.....	74
Şekil 60 : Şamandıra 2 için ANN ve simülasyon karşılaştırması.....	74
Şekil 61 : Demir 1 için ANN ve simülasyon karşılaştırması.....	75
Şekil 62 : Demir 2 için ANN ve simülasyon karşılaştırması.....	75
Şekil 63 : Şamandıra 1 için ANFIS ve simülasyon karşılaştırması.....	76
Şekil 64 : Şamandıra 2 için ANFIS ve simülasyon karşılaştırması.....	76
Şekil 65 : Demir 1 için ANFIS ve simülasyon karşılaştırması.....	77
Şekil 66 : Demir 2 için ANFIS ve simülasyon karşılaştırması.....	77

TANKER - ŞAMANDIRA BAĞLAMA SİSTEMLERİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI TEKNİĞİYLE MODELLENMESİ

ÖZET

Çok noktalı bağlama sistemleri, değişen hava koşullarının altında, sabit bir coğrafik konumda ve sabit bir pruva açısında tankerlerin palamar ile bağlanmasını sağlar. Bu sistemler, yükleme-boşaltma işlemleri sırasında yüksek seviyede belirsizlikleri ve riskleri doğurur. Bu nedenle, bu sistemlerde emniyet temel bir gereksinim olmaktadır. Deniz ortamının tahmin edilemeyen doğası nedeniyle yüzer sistemlerin dinamik davranışı emniyet açısından hayati önem taşımaktadır. Ayrıca, yanal yüklerle birleşen hareket bağlama hatları üzerinde tehlikeli dinamik yüklere sebep olabilmektedir. Bağlama hatlarının gerilme miktarlarının ve sistemin doğru modellenenebilmesi, açık deniz yapılarının emniyetine katkı sağlayacaktır.

Açık deniz yapılarının hareketlerinin ve gerilmelerin sayısal tahmini çok pahalı ve oldukça zaman alıcıdır. Yüksek hesaplama maliyetlerini azaltmak için bulanık mantık ve sinir ağları gibi çeşitli yöntemler kullanılabilir. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) bulanık mantık ve sinir ağlarının kombinasyonu olup bu iki yaklaşımın en iyi özelliklerini kullanır. Bu çalışmada, çok noktalı bağlama sistemlerinin modellenmesinde ANN ve ANFIS yöntemleri kullanılmıştır. Çok noktalı bağlama sistemlerinin modellenmesi zamana bağlı olarak Orcaflex programı ile modellenmiş ve daha sonra toplanan veri ANN ve ANFIS modellenmesinde kullanılmıştır. Orcaflex, ANN ve ANFIS sonuçları karşılaştırılmış, model tutarlılıkları tartışılmış, ANN ve ANFIS yöntemleri vurgulanmıştır. ANN ve ANFIS kullanımı fiziksel sonuçlar vermekte olup, bilgiyi hızlıca işleyip yüksek doğrulukta tahminler elde edilebilmektedir.

Anahtar kelimeler: Tanker-Şamandıra Bağlama Sistemleri; Yapay Sinir Ağları; Sinirsel Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi.

MODELLING OF SPREAD MOORING SYSTEMS USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

SUMMARY

Spread mooring systems allow tankers to moor at a fixed geographic location with a stationary heading angle under changing weather conditions. These systems are associated with high level uncertainties and risks during loading-unloading operations. For this reason, system safety is an essential requirement for these systems. Due to the unpredictable nature of sea environment, dynamic motion of floating systems have a crucial importance from a safety point of view. Also, motions combined with lateral loads can cause dangerous dynamic loads on mooring lines. The ability to predict tensions of mooring lines and accurate modelling of the system dynamics will allow improvements in safety point of view on offshore structures.

The prediction of the motion responses and tensions for offshore systems are computationally very expensive and highly time-consuming. In order to eliminate high computational costs, several methods can be used such as fuzzy logic and neural networks. Adaptive Neuro-fuzzy Inference Systems (ANFIS) model, a combination of both the paradigms, is employed to use the best features of each method. In this study, both the Artificial Neural Network (ANN) and ANFIS methods are used for modelling of spread mooring systems. Mathematical modeling of spread mooring systems is established in time-domain using Orcaflex and then, data gathered from the model is employed to create Artificial Neural Network (ANN) and ANFIS models of the systems. Orcaflex, ANN and ANFIS models are compared, model consistencies are discussed, and flexibility of ANN and ANFIS modeling is highlighted. Utilization of the ANN and ANFIS tools can provide physical results and can process information in extremely rapid mode promising high accuracy of prediction.

Keywords: Spread Mooring Systems; Artificial Neural Networks; Adaptive Neuro Fuzzy Inference System.

1. GİRİŞ

Mühendislikte tasarım bir ihtiyacı karşılamak ya da mevcut sistemden daha iyi bir çözüm ortaya koymak için yapılan çalışma olarak adlandırılabilir. Tasarım, bu şartları yerine getirirken belirli kısıtlamalar göz önüne alınarak yapılabilir. Bu şartlarda en iyi çözümü bulmak mühendisliğin temel amaçlarından biridir.

Tanker-şamandıra bağlama sistemleri, açık denizde demirlenmiş/bağlanmış tankerlerin kargo yükleme/boşaltma işlemleri sırasında belirli bir konumda sabit tutulabilmeleri için kullanılan sistemlerdir. Bu sistemler uzun servis ömürleri, değişik su derinliklerinde kullanılabilme avantajları, değişik tonajdaki tankerlere hizmet verebilme ve kısa zamanda yerleştirilebilme özellikleri ile yaygın kullanım alanına sahiptirler (Mentes, 2010).

Çok noktalı veya tek noktalı olabilen bu sistemlerde bağlama hat sayısı, tanker üzerindeki bağlanma yerleri ve bağlama hat açıları vb. parametreler yapının ve bağlama sisteminin çalışmasını etkilemektedir. Bu yüzden bu parametrelerin tayininde en iyi seçimi yapmak önem arz etmektedir. Bu sistemin optimize edilmesi maliyet/fayda oranını da iyileştirecektir.

Optimizasyon belirli kısıtlamalar altında bir durumun iyileştirilmesi olarak adlandırılabilir. Bu iyileştirme işlemi birçok yöntem ile yapılabilmektedir. Geleneksel yöntemlere karşılık bilgisayar teknolojisi kullanılarak da optimizasyon yapılabilmektedir. Optimizasyon, geleneksel yöntemler olan fonksiyon yaklaşımı, doğrusal programlama vb ile yapıldığında çok amaçlı, büyük ölçekli ve yüksek karmaşıklıkta problemlere çözüm üretememektedir. Bu nedenle, optimizasyonun gelişen teknoloji ile beraber kullanılması kaçınılmaz olmuştur. Gelişen bilgisayar teknolojisi ile beraber optimizasyon yeni bir boyut kazanarak geleneksel yöntemlerden uzaklaşmıştır. Genetik algoritmalar gelişen teknoloji ile geleneksel yöntemlere alternatif olarak kullanılan bir optimizasyon türüdür. Genetik algoritmalar ile büyük ölçekli, lineer olmayan ve süreksiz fonksiyon ile tanımlı bir problemin dahi çözümü gerçekleştirilebilmektedir. Fakat genetik algoritmalar ile çözüm yapmak ele alınan problemin karmaşıklığı nedeniyle uzun zaman alabilmektedir.

Yapay sinir ağıları (ANN), bir algoritma oluşturarak hızlı bir şekilde çözüm üretme yeteneğine sahiptir. Basit olarak insan sinir sistemini temel alan bir algoritma olan yapay sinir ağıları genetik algoritmalar gibi büyük ölçekli, lineer olmayan ve süreksiz/eksik problemlerde genetik algoritmalara göre daha hızlı çözüm ürettiği için daha çok kullanılmaktadır.

Literatürde yapay sinir ağıları tekniğini kullanarak bir takım çalışmalar yapılmıştır. Pina ve diğ. (2013) yaptıkları çalışmada bağlama hatlarının ve rayzerlerin analiz ve dizaynını da içeren yapay sinir ağıları tabanlı yeni bir model sunmuşlardır. Çalışmanın amacı sonlu elemanlar tabanlı lineer olmayan dinamik analiz sonuçlarına yakın bir sonuç üretirken zamandan kazanmaktır.

Guarize ve diğ. (2008) etkin bir yapay sinir ağıları- sonlu elemanlar hibrit yöntemi kullanarak bağlama hatları ve rayzerlerin dinamik analizi için lineer olmayan akıntı verilerini işleyerek çıktı elde etmektedir. İlk olarak sonlu elemanlar yöntemi ile zamana bağlı kısa bir simülasyon yapılmış ve daha sonra yapay sinir ağıları kullanılarak kalan simülasyon tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu hibrit yöntem çok uzun süreli çalışmalarda tahmin amaçlı kullanılabilir.

Jacob ve diğ. (2014) dalgacık ağıları (Wavelet Networks-WN) adını verdikleri ileri beslemeli yapay sinir ağı mimarisi ve dalgacık dönüşümleri kombinasyonundan oluşan bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada amaç, açık deniz yapıları bağlama hatları ve rayzerler için sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçları iyi tahmin etmek, işlem ve sürede önemli bir azalma sağlamaktır.

Mahfouz (2006), Capability Polar Plots Program, (CPPP) ve yapay sinir ağılarını kullanarak sondaj gemisi üzerinde bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada CPPP programı ile dinamik pozisyonlama verileri ANN'e tanıtılmış ve optimum dinamik konumu elde etmek için gerekli verilere ulaşılmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmanın başlangıcında çok noktalı tanker şamandıra sistemleri ele alınmış ve 12 farklı bağlama sistemi için hatlara gelen gerilme değerleri ve tanker yer değiştirme miktarları hesaplanmıştır. Gerilme ve yer değiştirme hesabında Orcaflex programı kullanılmış ve gemi tonajı, bağlama şekli, yeri, açısı, bağlama hat sayısı, çevre parametreleri (rüzgar, dalga ve akıntı) ve yönleri vb. parametreler ışığında pek çok simülasyon çalışması yapılmıştır. Daha sonra elde edilen gerilme değerleri ve simülasyon parametreleri ANN ve ANFIS modelleri için giriş verisi olarak

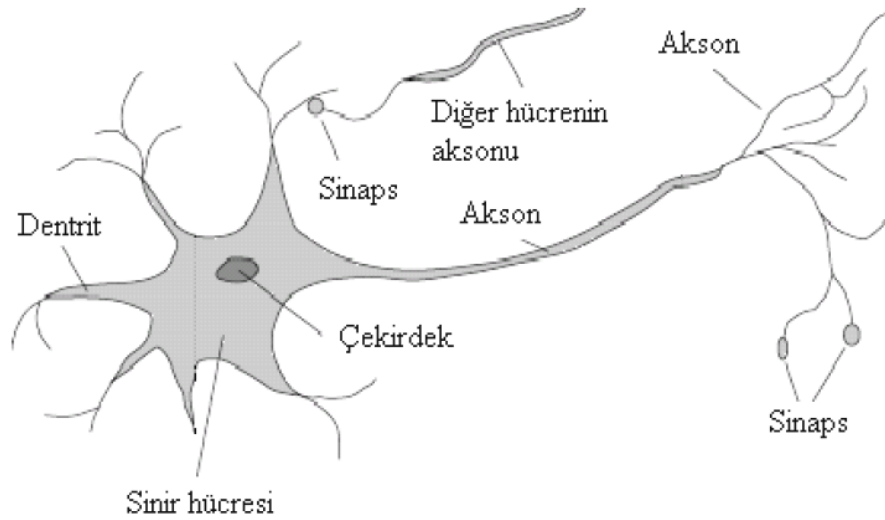
kullanılmıştır. ANN ve ANFIS’de 4 noktadan bağılı iki sistem (4 şamandıra bağlantı sistemi – 2 şamandıra, 2 çapa bağlantı sistemi) için modelleme yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. ANFIS tekniğı, eldeki verinin eksik, hatalı ya da yetersiz olduğı bulanık ortamlarda hesap yapabilme yeteneğı sayesinde dahi iyi sonuçlar vermiştir.

2. MODELLEME TEKNİKLERİ

2.1 Yapay Sinir Ağları

2.1.1 Genel

Düşünme yeteneği ve zekâ beynin ve merkezi sinir sisteminin görevidir. Beyni hasara uğramış birçok kişide öğrenme ve çevreye uyumda bazı sorunlar olduğu gözlemlenmiştir (Topaloğlu, 2007). Sinir sistemi nöron adı verilen sinir hücrelerinden oluşmaktadır. İnsan vücudunda yaklaşık olarak 10^{11} nöron bulunmaktadır (Kohonen, 1988). Beyin nöronların birleşiminden oluşmaktadır. Nöronlar sadece beyinde değil, sinir sistemi üzerinde bütün vücutta bulunmaktadır. Nöronlar grup halinde çalıştıklarından bir ağ olarak adlandırılabilir. Bu ağda bulunan her nöronun giriş kısmı (dendrit), çıkış kısmı (akson), bağlantıları (snaps) ve hücre çekirdeği bulunmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1:Nöronun yapısı.

Bağlantılar hücreler arasındaki iletişimi sağlar. Nöron, diğer nöronlardan gelen sinyalleri bağlantılar üzerinden giriş kısmına alır. Gelen sinyaller bağlantılar tarafından zayıflatılır ya da güçlendirilir. Giriş kısmına gelen sinyaller hücre çekirdeğine iletilir. Hücre çekirdeğine gelen sinyaller birbirleri ile etkileşimleri sonucu belirli bir eşik değerini aşabilirlerse çıkış kısmına sinyal gönderilir ve sinir aktif hale gelir. Eşik değeri aşılamazsa sinyal gönderilemez.

Beynin, nöronlar sayesinde olan bu çalışması günümüzdeki en hızlı işleme sistemlerinin de üzerinde bir performans göstermektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak yapay sinir ağları modelleri geliştirilmiştir.

2.1.2 Yapay Sinir Ağları Tarihçesi

Yapay sinir ağları (ANN) ile ilgili ilk çalışma nörofizikçi McCulloch ve matematikçi Pitts tarafından yapılmıştır (McCulloch ve Pitts, 1943). Bu çalışmada yapay sinir tanımı yapılarak bir hücre modeli geliştirilmiştir.

1949 yılında sinir ağının öğrenmeyi nasıl yapabildiği hakkında fikir veren bir çalışma sayesinde günümüzde kullanılan öğrenme kurallarının çoğunun temeli olan ‘Hebbian Kuralı’ ortaya çıkmıştır (Hebb, 1949). 1954 yılında ilk defa uyarılara tepki veren ve adapte olabilen bir model geliştirilmiştir (Farley ve Clark, 1954).

1958’de Hebbian Kuralı’ndan sonraki en önemli adım olan algılayıcı (perceptron) Rosenblatt tarafından geliştirilmiştir. Bu gelişme günümüzdeki makinelerin öğrenme algoritmalarının da temelini oluşturmaktadır (Şen, 2004).

1960’da ADALINE (Adaptive Linear Combiner) öğrenme kuralı geliştirildi (Widrow ve Hoff, 1960). Widrow-Hoff öğrenme kuralı olarak literatüre geçen bu kuralın en önemli özelliği modelin eğitimi boyunca oluşan hatayı en aza indirmeyi hedeflemesidir.

1969 yılında ‘Perceptrons: an introduction to computational geometry’ adlı kitap yayınlanmış ve tek katmanlı algılayıcıların karmaşık problemleri çözemediğini XOR problemi örneği ile göstermiştir (Minsky ve Papert, 1969). XOR (eXclusive OR) probleminde işlem sonucu girişindeki işaretler birbirinden farklıysa çıkış olarak 1 diğer durumlarda çıkış olarak 0 verir. Bu kitap ile başlayan bir süreçte ANN ile ilgili çalışmalar neredeyse durma noktasına gelmiştir.

1980’li yıllarda bilgisayarların daha etkin kullanılmaya başlanmasından sonra ANN ile ilgili kayda değer çalışmalar ortaya çıkmıştır. 1982 yılında yapılan “Sinir Ağları ve Fiziksel Özellikler” çalışması ile ANN’de modern devrin başladığı söylenebilir. Bu çalışmada doğrusal olmayan ağlar geliştirilmiştir (Hopfield, 1982). Aynı yıllarda Kohonen (1982) ve Anderson (1983) tarafından yapılan çalışmalarda eğitici-siz öğrenen sistemlerin geliştirilmesiyle ANN hakkındaki çalışmalar ivme kazanmıştır. 1986’da çok tabakalı algılayıcılar için geri yayılım algoritması geliştirilmiştir.

Geliştirilen bu algoritma güçlü bir yapıya sahip olduğundan daha önce karşılaşılan sorunların çözülmesini sağlamıştır (Rumelhart ve diğ., 1986). Geri yayılım algoritması günümüzde de en çok kullanılan algoritmalarından biridir. Günümüzde ANN'nin kullanımı bilgisayar sistemlerindeki gelişmelere paralel olarak büyük bir yoğunluk kazanmıştır. Her geçen gün yeni öğrenme algoritmaları geliştirilmekte ve ağ mimarileri hakkında yeni çalışmalar yapılmaktadır.

2.1.3 Kullanım Alanları

Yapay sinir ağları hemen her disiplin ve bilim dalında kullanılabilmektedir. Fen bilimleri, matematik, tıp, işletme, finans gibi birçok alanda ANN ile çözülmüş birçok problem bulunmaktadır. Bu bölümde başlıca kullanım alanlarına değinilecektir.

2.1.3.1 Sınıflandırma

Sınıflandırma, bir nesnenin birden çok sınıf arasından hangisine ait olduğunun belirlenmesi işlemidir. ANN halihazırdaki bir sınıflandırmayı kullanarak gelecek verilerin hangi sınıfa ait olduğunun tesbit edilebilmesini sağlar.

2.1.3.2 Kümeleme

Kümeleme, sınıflandırmadan farklı olarak belirli bir sınıra bağlı olmaksızın yapılır. İşlemden önce veriler hakkında herhangi bir bilgiye gerek yoktur. Benzer verilerin aynı gruba dahil edilmesi ile kümeleme yapılır.

2.1.3.3 Tahmin

Yapay sinir ağlarının en çok kullanıldığı alan tahmindir. Tahmin, geçmişteki verilere dayanarak gelecek veriler hakkında fikir üretmektir. Örnek olarak borsadaki salınımlar, satış miktarları, hava olayları tahminleri verilebilir. ANN özellikle doğrusal bir yapıda değişkenlerin tahmininde kullanılmasında önemli avantaj sağlar. 1990 yılında yapılan bir çalışmada ANN modelleri ile güneş lekelerinin klasik olarak 11 senede bir görülmesinin tahminleri yapılabildiği (Li ve diğ., 1990).

2.1.3.4 Desen tanıma

Bozuk ya da eksik desenlerin ANN'ye tanıtılıp desenlerin karşılaştırılmasıyla bozuk desenin doğrusunun elde edilmesi sağlanır. Bu yöntem benzer olan yüz tanıma ve retina tanıma gibi işlemlerde de kullanılabilir. Bu işlemlerle kimlik doğrulaması yapılması mümkün olmaktadır.

2.1.3.5 Fonksiyon yaklaşımı

Matematik ifadesi bilinmeyen birçok hesaplama modeli vardır. Yani girdileri ve çıktıları belli olmasına rağmen aradaki fonksiyonun bilinmediği durumlar vardır. Fonksiyon yaklaşımı, aynı giriş verilerine karşılık yaklaşık aynı çıkış verilerini üretecek işlevin tanımlanmasıdır. Fonksiyon ile tahmin yaklaşımları birbirine benzeyen modellerdir.

2.1.3.6 Optimizasyon

Optimizasyon, birçok ticari ve bilimsel olayın belirli kısıtlamalar ile hedefin en büyük veya en küçük olması yani en iyileme işlemidir. Mühendislikte optimizasyon özellikle tasarım aşamasında çok fazla kullanılmaktadır. Optimizasyon temel olarak ikiye ayrılabilir. İlki matematiksel verilere dayanarak bir fonksiyon oluşturulup yapılan geleneksel optimizasyondur. İkincisi ise yapay zeka kullanılarak yapılan optimizasyon tekniğidir. Bu yöntem fonksiyon olarak ifade edilemeyecek kadar karmaşık yapıların optimizasyonunda kullanılır. Yapay sinir ağları da bu yöntemi kullanır.

2.1.4 ANN'nin Özellikleri

Yapay sinir ağlarının doğrusal olmayan problemleri modelleyebilmesi, hesaplama ve bilgi işleme gücü, paralel dağılmış yapısı, eksik bilgi ile çalışabilmesi, hata toleransına sahip olması, öğrenebilme ve genelleme özelliklerine sahip olması en önemli özelliklerindendir. ANN'nin bu özellikleri karmaşık problemleri çözebilme konusunda ciddi bir avantaj sağlamaktadır. Literatürde birçok bilimsel çalışmada kullanılan ANN aşağıda ayrıntılı olarak verilen özellikleri sayesinde önemi bir yere sahiptir.

2.1.4.1 Doğrusal olmama

Yapay sinir ağlarının en temel elemanı olan nöronlar doğrusal değildirler. Bu nedenle nöronların oluşturduğu yapay sinir ağı mimarileri de doğrusal değildir. Bu özelliği ANN'nin günümüzde birçok kez karşımıza çıkan doğrusal olmayan problemlerin çözümünde önemli bir yere sahip olduğunu gösterir.

2.1.4.2 Öğrenme

İnsan sinir sistemindeki çalışma şeklini kullanan ANN, sorunu çözmek için eldeki verileri kullanarak işlemdeki saklı ilişkileri ortaya çıkarır. Bu işleme, ağıın fonksiyonu

öğrenmesi işlemi denir. Öğrenme işlemi temel olarak ANN oluşturulurken hücrelerin arasındaki bağlantılarda kullanılan ağırlıkların belirlenmesi işlemidir.

Yapay sinir ağları belirli bir algoritma kullanmadığı için öğrenme özelliği önem teşkil etmektedir. İnsanlardaki öğrenmeye benzeyen ANN öğrenme sistemine örnek olarak, bir çocuğun sıcak bir cisme dokunmaması gerektiğini çeşitli tecrübelerle öğrenmesi gösterilebilir. Sıcak cisme bir kere dokunduktan sonra dokunmaması gerektiğini öğrenen çocuk, o andan sonra daha az sıcak cisimlere dokunması gerektiği bilgisini öğrenmiş olacaktır (Civalek ve Çatal, 2004).

2.1.4.3 Genelleme

Yapay sinir ağları öğrenme işlevini gerçekleştirirken giriş verilerinden farklı olarak yeni veriler için de anlamlı sonuçlar üretebilir. Bu özellik genelleştirme yeteneği olarak tanımlanır. Genelleme özelliği olmayan bir ANN'nin anlamlı olamayacağı açıktır. Desen tanıma, tahmin yapma ve sinyal gibi konularda genelleme yeteneğinin sonucu olarak başarı elde edilmektedir.

2.1.4.4 Uyarlanabilirlik

Yapay sinir ağları karşılaşılan probleme göre yeniden uyarlanabilir ve yeniden eğitilerek ağırlıklarını değiştirebilir. Bu özelliği ile yapay sinir ağları sistem tanıma, denetim, uyarlamalı örnek tanıma gibi alanlarda etkin olarak kullanılmaktadır.

2.1.4.5 Hata toleransı

Yapay sinir ağları çok sayıda yapay sinir hücresinin çeşitli şekillerde birbirine paralel bağlanması ile oluşan bir yapı olduğundan ağa girilen veriler bütün bağlantılar üzerine dağılmış olarak bulunmaktadır. Zaman zaman ağ eğitimi için kullanılan veri kümesinde bazı hatalar olabilir. Bu hataların etkileri verilerin bütün bağlantılar üzerinde dağılmış olmasından dolayı azaltılmış olur ve bu nedenle tolere edilebilir. Bu özelliğinden dolayı ANN'lerin hata toleransı kullanılan geleneksel sistemlere nazaran daha fazladır.

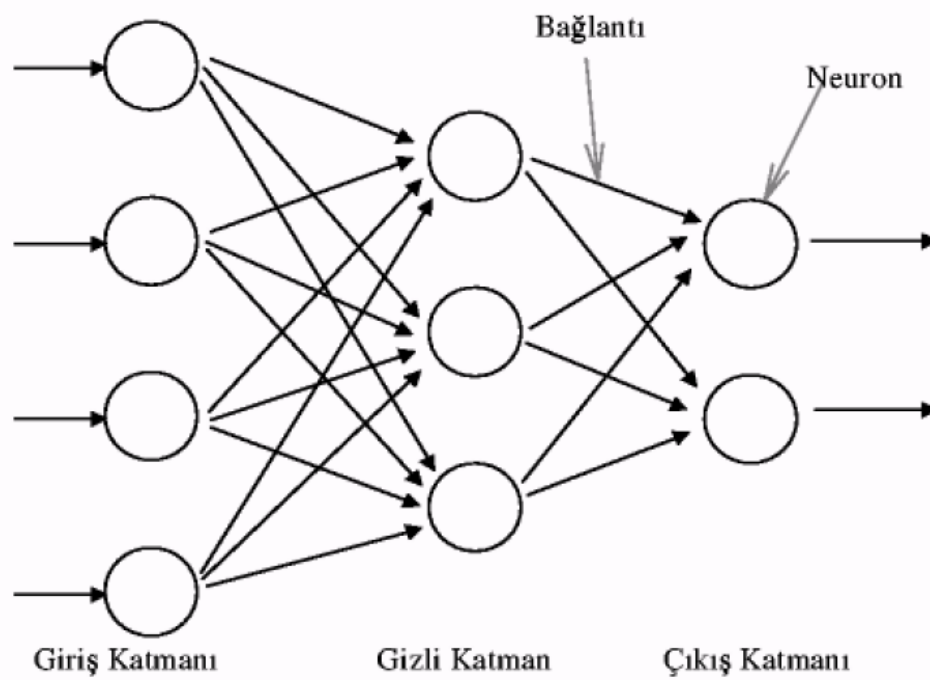
2.1.4.6 Hız ve tasarım kolaylığı

Yapay sinir ağlarının paralel bir sistem olmasından dolayı büyük ölçekli entegre devre teknolojisiyle gerçekleştirilebilir. Bu nedenle ANN hızlı bilgi işleme yeteneğine sahiptir ve gerçek zamanlı uygulamalarda kullanılabilir. ANN mimarisinde kullanılan temel birim olan hücre elemanının yapısı ve modeli bütün ANN yapılarında yaklaşık olarak

aynıdır. Farklı uygulama alanlarındaki aynı ANN mimarileri de aynı hücreleri kullanabilir. ANN'nin bu özelliği sayesinde tasarım ve analiz yaparken kolaylık sağlanmış olur.

2.1.5 ANN'nin Yapısı

Yapay sinir ağları birçok yapay sinir hücresinden meydana gelir. Biyolojik sinir sistemine benzetilmek istenen bu yapı ile işlem elemanlarının aynı doğrultu üzerinde bir araya gelmesi istenmektedir. Bu ağın yapısı temel olarak üç katmandan oluşur. Bunlar girdi katmanı, ara katman ve çıktı katmanıdır (Şekil 2).



Şekil 2: ANN'nin temel yapısı.

2.1.5.1 Girdi katmanı

Girdi katmanı, gelen verilerin alındığı katmandır. Buraya gelen veriler ara katmana aktarılır. Bazı ağ yapılarında veriler aktarılırken herhangi bir işlem yapılmaz (Svozil ve diğ., 1997).

2.1.5.2 Ara katman

Gizli katman olarak da bilinen bu kısım, girdi katmanından gelen verileri işleyerek çıktı katmanına gönderir. Bir ANN'de birden fazla ara katman bulunabilir.

2.1.5.3 Çıktı katmanı

Ara katmandan gelen bilgileri işleyerek, girdi katmanına sunulan veriler için üretmesi gereken çıktıyı üretirler.

2.1.6 ANN’de İşlem Elemanları

Bir önceki bölümde belirtilen katmanlarda yapılan işlevleri gerçekleştiren elemanlardır. Bunlar girdiler, ağırlıklar, birleştirme fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonları ve çıktılarıdır.

2.1.6.1 Girdiler

Dış ortamdan hücreye gelen bilgilerdir. Hücre ile birleşerek girdi katmanını oluştururlar.

2.1.6.2 Ağırlıklar

Girdi katmanında oluşan veriler, bağlantılar üzerindeki ağırlıklar ile işlem elemanına gider. Ağırlıklar, ara katmandaki bir işleme etkiyen girdinin matematiksel katsayısını gösterir. Hesaplama başladığında ağırlıklar rastgele verilir. Yapılan işleme göre hata minimum olana kadar ağırlıklar değiştirilmeye devam edilebilir.

2.1.6.3 Birleştirme fonksiyonu

Ağırlıklar ile birleşen giriş verileri birleştirme fonksiyonu ile toplanır. Birleştirme fonksiyonu, ağ yapısına göre maksimum ya da minimum olabildiği gibi çarpım fonksiyonu şeklinde de olabilir.

2.1.6.4 Aktivasyon fonksiyonu

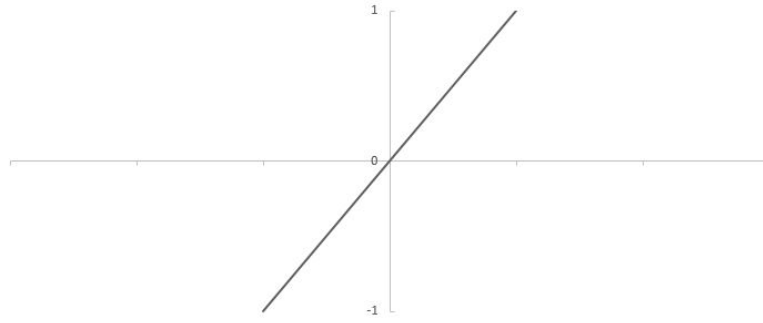
Aktivasyon fonksiyonu transfer fonksiyonu olarak da bilinir. Birleştirme fonksiyonundan elde edilen net girdiyi bir işlemden geçirerek çıktıyı belirler. Birkaç tip aktivasyon fonksiyonu vardır. En uygun aktivasyon fonksiyonu tasarımcının denemeleri sonucunda belli olur. Girdi katmanında oluşan veriler bağlantılar üzerindeki ağırlıklar ile işlem elemanına gider. Ağırlıklar ara katmandaki bir işleme etkiyen girdinin matematiksel katsayısını gösterir. Aktivasyon fonksiyonları içinde en çok kullanılan sigmoid ve tanjant hiperbolik fonksiyonlarıdır. ANN mimarilerinde kullanılan aktivasyon fonksiyonları şunlardır:

- Doğrusal Aktivasyon Fonksiyonu
- Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu

- Tanjant Hiperbolik Aktivasyon Fonksiyonu

Doğrusal aktivasyon fonksiyonu:

Doğrusal aktivasyon fonksiyonu, doğrusal ANN'lerde ya da çok katmanlı ANN'lerin çıkış katmanlarında kullanılmaktadırlar (Şekil 3). Doğrusal fonksiyon belirli bir aralıkta sınırlanırsa rampa fonksiyonu olur. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu $y = ax$ şeklinde tanımlanabilir. Bu fonksiyonda a sabit bir sayıdır.

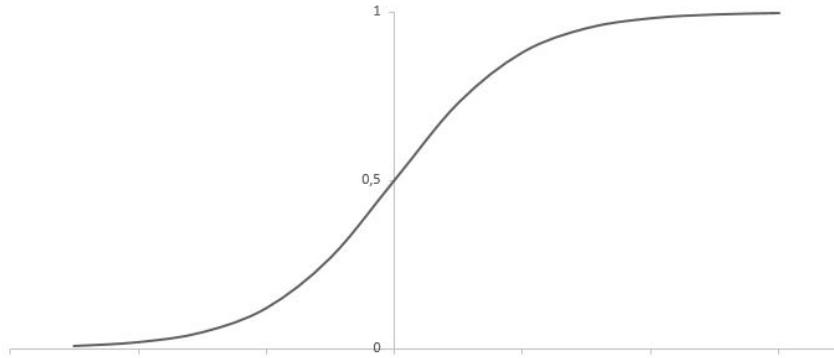


Şekil 3: Doğrusal aktivasyon fonksiyonu.

Sigmoid aktivasyon fonksiyonu:

Sigmoid aktivasyon fonksiyonu türevi alınabilir ve hem kendisinin hem de türevinin sürekli olmasından dolayı en çok kullanılan fonksiyonlardandır (Şekil 4). Sigmoid aktivasyon fonksiyonu sadece pozitif değerler üretir ve şu formül ile ifade edilir:

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (2.1)$$



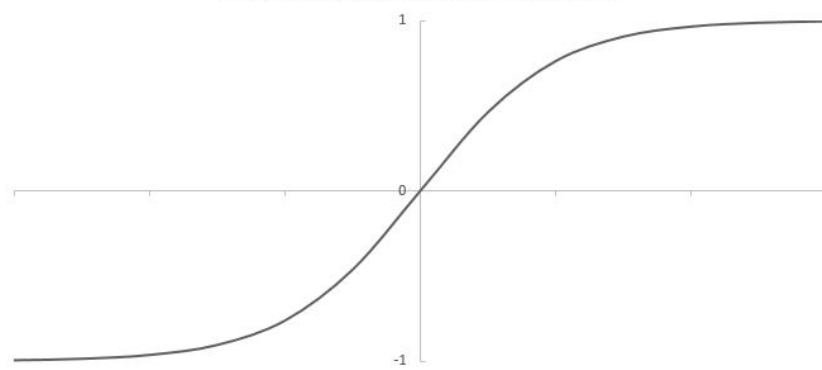
Şekil 4: Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.

Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu:

Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu sigmoid aktivasyon fonksiyonuna benzer fakat çıkış uzayı biraz daha geniş bir fonksiyondur (Şekil 5). Sigmoid aktivasyon fonksiyonu $[0,1]$ aralığında sonuç verirken tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu

$[-1,1]$ aralığında sonuç verir (Ozkan ve Erbek, 2003). Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonunun formülü şu şekildedir:

$$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} \quad (2.2)$$



Şekil 5: Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu.

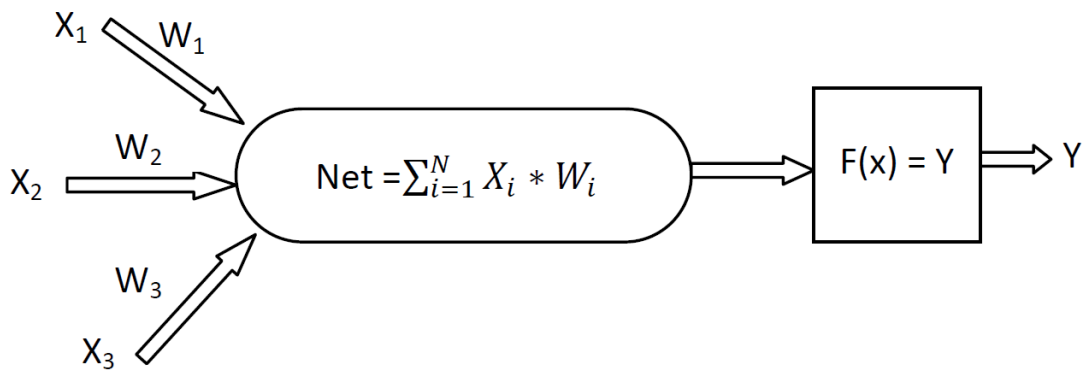
Diğer aktivasyon fonksiyonları:

Basamak fonksiyonu, kutuplamalı basamak fonksiyonu ve parçalı doğrusal fonksiyon diğer aktivasyon fonksiyonlarıdır.

2.1.7 Çıktı

İşlemler gerçekleştikten sonra (aktivasyon fonksiyonundan sonra) ortaya çıkan değer çıktı değeri.

ANN işlem elemanlarının basit gösterimi Şekil 6'da gösterilmiştir. Burada X girdi, W ağırlıklar net toplama fonksiyonu, $F(x)$ aktivasyon fonksiyonu ve Y çıktı değeri.



Şekil 6: ANN mimarisi.

2.1.8 ANN Öğrenme Türleri ve Öğrenme Kuralları

Yapay sinir ağlarında sık olarak kullanılan öğrenme türleri ve belli başlı geliştirilmiş öğrenme kuralları vardır. Bunların bazıları bu bölümde incelenecektir.

2.1.8.1 Öğrenme türleri

Yapay sinir ağlarında temel olarak üç tip öğrenme şekli vardır. Bunlar eğitilmiş öğrenme, eğitimsiz öğrenme ve yarı eğitilmiş öğrenmedir.

Eğitilmiş öğrenme:

En sık kullanılan öğrenme türlerindendir. Denetimli öğrenme olarak da adlandırılabilir. Eldeki çıktılarla ağdan elde edilen çıktı değerleri karşılaştırılır. Hata toleransına göre minimum seviyeye ulaşınca kadar iterasyon devam eder. İstenilen çıktı değerlerine yakınsayan değerler elde edilince öğrenme biter. Öğrenme bittikten sonra ağırlıklar değişmez.

Eğitilmiş öğrenmede, test sürecinde eğitim sürecinde kullanılmamış datalar ağa girdi olarak verilir. Çıkan sonuçlar eldeki verilerle karşılaştırılarak ağın test süreci de tamamlanmış olur. Test aşamasında çıkan sonuçların istenilen seviyede olmaması durumunda ağıdaki iterasyon sayısı, ara katmanlar, ara katmanlardaki nöron sayısı ya da ağırlıklar değiştirilir. Yani öğrenme sürecine geri dönmüş olur.

Eğitimsiz öğrenme:

Eğitimsiz öğrenme denetimsiz ya da eğitimsiz öğrenme olarak da bilinmektedir. Ağ'a eğitilmiş öğrenmeden farklı olarak sonuçlar verilmez. Sadece giriş değerleri verilerek ağın eğitimi sağlanır. Sistem girdi değerlerine göre ağırlıkları kendi belirler. Sınıflandırma problemlerinde yoğun olarak kullanılan bir öğrenme türüdür.

Yarı eğitilmiş öğrenme:

Yarı eğitilmiş öğrenmede sisteme sadece girdi değerleri verilir. Fakat çıkan sonuçların eldeki çıktı değerlerine göre bir karşılaştırması yapılır ve bir doğruluk derecesi verilerek ağın kendini eğitmesi sağlanır.

2.1.8.2 Öğrenme kuralları

Yapay sinir ağlarında en çok kullanılan öğrenme kuralları Hebb kuralı, Hopfield kuralı, Kohonen kuralı, delta kuralı ve geri yayılım algoritmasıdır.

Hebb kuralı:

Üretilen ilk öğrenme kuralıdır. 1949 yılında Kanada’lı psikolog Donald Hebb tarafından biyolojik temele dayalı olarak geliştirilmiştir. Hebb kuralında eğer iki nöron birbirlerinden bilgi alıyorsa ve ikisi de aktifse o iki nöron arasındaki bağın kuvvetlenmesi gerekir. Yani aktif olan nöron bağlantılı olduğu nöronu da aktif hale getirmeye çalışacaktır. Hebb kuralı eğitimsiz bir öğrenme kuralıdır.

Hopfield kuralı:

Hebb kuralı ile benzerlik göstermektedir. Eger beklenen girdi ve çıktıların her ikisi de aktif ya da pasifse hücreler arası bağlantı, öğrenme katsayısı kadar kuvvetlendirilir ya da zayıflatılır. Öğrenme katsayısının belirli bir değeri yoktur, kullanıcı tarafından atanır.

Kohonen kuralı:

Teuvo Kohonen tarafından geliştirilen bir algoritmadır. Bu algoritmada en büyük ağırlığa sahip hücre çevresindeki hücreleri sınırlama yetkisine sahiptir. Sadece en büyük ağırlığa sahip hücre ve komşu hücreleri ağırlıkları düzenler.

Delta kuralı:

Hebb kuralının geliştirilmiş halidir. En çok kullanılan öğrenme kurallarından biridir. Widrow-Hoff kuralı olarak da adlandırılır. Kuralın temeli, beklenen değerler ile ağırlık ürettiği değerleri arasındaki farkı, ağırlıkları değiştirerek en aza indirmeyi amaçlamaktadır. En küçük kareler yöntemine benzerlik göstermektedir. Delta kuralının amacı, çıkan değerler ile gerçek değerler arasındaki farkın karelerinin ortalamasını en aza indirmektir.

Levenberg-Marquart algoritması:

Levenberg-Marquart (LM) algoritması Newton metoduna bir yaklaşımdır. LM algoritması minimumu araştırma metodudur. Her bir iterasyon adımında hata yüzeyine parabolik olarak yaklaşılır ve parabolün o adım için çözümü oluşturulur. LM öğrenme kuralı 2.3 denklemindeki Hessian matrisini kullanır.

$$H = J^T J \quad (2.3)$$

Burada J, Jacobian matrisini sembolize eder. Jacobian matrisi, denklem 2.4’te belirtildiği gibi ağ hatalarının ağırlıklara göre birinci türevidir.

$$J(n) = \frac{\delta e(n)}{\delta w(n-1)} \quad (2.4)$$

Burada;

n: iterasyon sayısı

δ : türev sembolü

e: ağ hataları vektörü

w: bağlantı ağırlıkları

olarak alınmıştır.

Bu durumda gradyent, denklem (2.5) ile bulunur.

$$g = J^T e \quad (2.5)$$

ve nöronlar arasındaki bağlantı ağırlığı da denklem (2.6) ile elde edilir.

$$w_{k+1} = w_k [J^T J + \mu I]^{-1} J^T e \quad (2.6)$$

Burada;

w_k : k. İterasyondaki ağırlık

I : birim matris

μ : Marquardt parametresi

olarak alınmıştır.

Marquardt parametresi skaler bir değerdir. Marquardt parametresi sıfır olduğunda LM yöntemi Newton algoritması adını alır. Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması, diğer algoritmalarla kıyasla oldukça hızlı sonuç üretir (Rojas, 1996).

Geri yayılım algoritması:

Geri yayılım algoritması veya diğer adıyla genelleştirilmiş delta kuralı en çok kullanılan öğrenme kuralıdır. Rumelhart ve diğ. (1986) tarafından üretilen algoritma yapay sinir ağlarına önemli bir ivme kazandırmıştır. Geriye yayılım algoritmasında hata geriye doğru yayılır. Gerçek çıkışlar ile hesaplanan çıkışlar arasındaki hataların geriye doğru yayılarak ağırlıkları değiştirilir. Öğrenme algoritmalarının tümünde olduğu gibi amaç giriş ve çıkış verileri arasındaki en iyi uyumu sağlayacak şekilde ağırlıkları belirlemektir.

Geri yayılım algoritması delta algoritmasının momentum terimi eklenmiş halidir. Momentum terimi, hatanın en küçük olduğu noktayı bulmada ve doğrultunun ayarlanmasında yardımcı olur (Caudill, 1988).

2.1.9 Ağ Yapılarına göre ANN

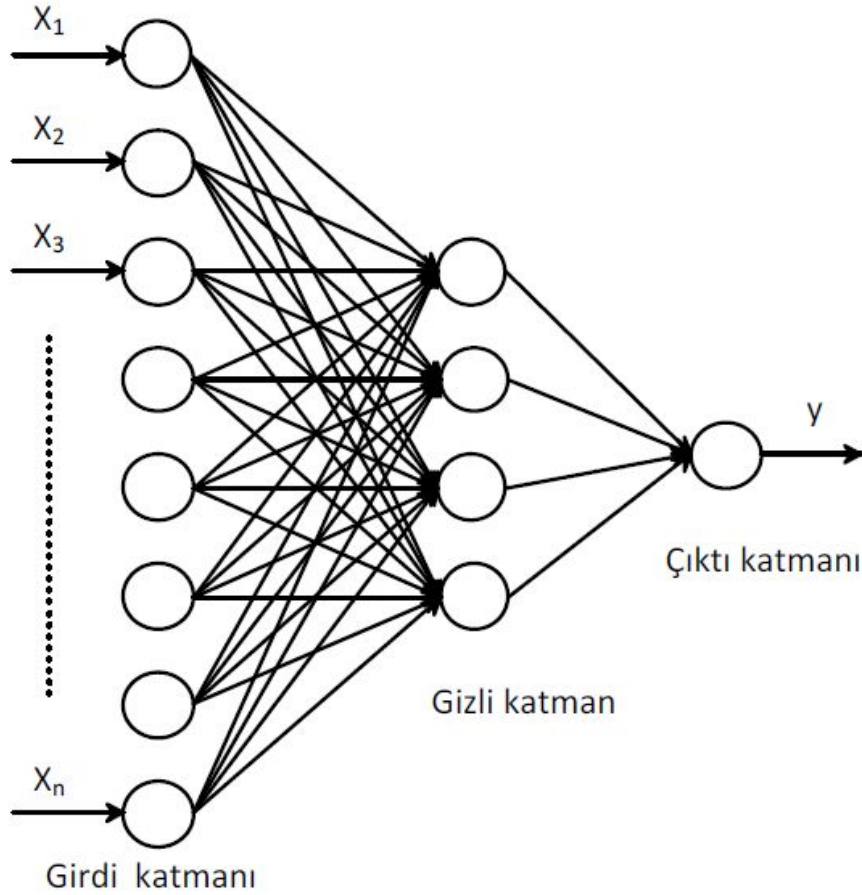
Yapay sinir ağlarında bulunan hücreler ve bağlantılar çok değişik şekillerde bir araya gelebilmektedir. Yapılarına göre ANN'ler nöronlar arasındaki bağlantıların yönlerine ve ağ içindeki akış yönüne göre birbirlerinden ayrılmaktadır. Yapay sinir ağları, yapılarına göre ileri beslemeli yapay sinir ağları ve geri beslemeli yapay sinir ağları diye ikiye ayrılır.

2.1.9.1 İleri beslemeli yapay sinir ağları

İleri beslemeli yapay sinir ağlarında işlemler giriş katmanından çıkış katmanına doğru iletilir (Şekil 7). Giriş katmanı dışarıdan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan ara(gizli) katmandaki hücrelere verir. Veriler bu katmanlarda işlenir ve çıktı katmanına gönderilir. Ara katmanlardaki her bir çıkış değeri bir sonraki katman için giriş değeri olarak kullanılır.

2.1.9.2 Geri beslemeli yapay sinir ağları

Geri beslemeli yapay sinir ağlarında en az bir hücrenin çıkışı kendisine ya da başka bir nörona giriş olarak verilir. Geri beslemeli ağda bilgi alışverişi bir katmandaki hücreler arasında olabileceği gibi katmanlar arasındaki hücreler arasında da olabilir. Geri beslemeli ağ bu yapısı ile dinamik bir davranış özelliği göstererek doğrusal olmayan problemleri çözmede etkin olarak kullanılabilir.



Şekil 7: İleri beslemeli yapay sinir ağı.

Geri beslemeli ANN'ler sayısal filtre tasarımlarında sıkça kullanılırlar. Geri beslemeli ANN'ler ileri beslemeli ANN'lere göre daha yavaş çalışırlar. En çok bilinen geri beslemeli ağ tipleri; Hopfield ağı, hücresel yapay sinir ağı (HYSA), Grossberg ağı, Adaptive Resonance Theory-1 (ART1) ve ART2 ağlarıdır (Uçan ve diğ., 2003).

2.1.10 Katmanlarına Göre ANN

Yapay sinir ağları katmanlarına göre tek katmanlı ve çok katmanlı olmak üzere ikiye ayrılır.

2.1.10.1 Tek katmanlı algılayıcılar

1943 yılında ilk geliştirilen yapay sinir ağları, girdilerin ağırlıklı toplamının eşik değeri ile karşılaştırılması sonucu çıktı üreten bir yapıdaydı. Eşik değerine eşit ya da büyükse 1, aksi durumda 0 sonucuna ulaşılmıyordu. 1950'li yıllardan sonra algılayıcı adı verilen yapay sinir ağları geliştirildi.

Basit algılayıcı (Perceptron):

Basit algılayıcı ya da diğer adıyla tekli doğrusal algılayıcı, gelen verileri ağırlıklar ile çarparak çıkan sonuçları bir sabit değer ile toplayıp çıkışa gönderir. Bu da ağın eğitimini tamamlaması anlamına gelmektedir.

Yinelemeli algılayıcı (ADALINE):

Adaptive Linear Element ya da kısa adı ile ADALINE olarak bilinen bu algılayıcıda delta kuralına benzer bir şekilde karelerin ortalamasının en aza indirilmesi hedeflenir. Basit algılayıcı ile arasındaki en önemli fark ise öğrenme kuralıdır.

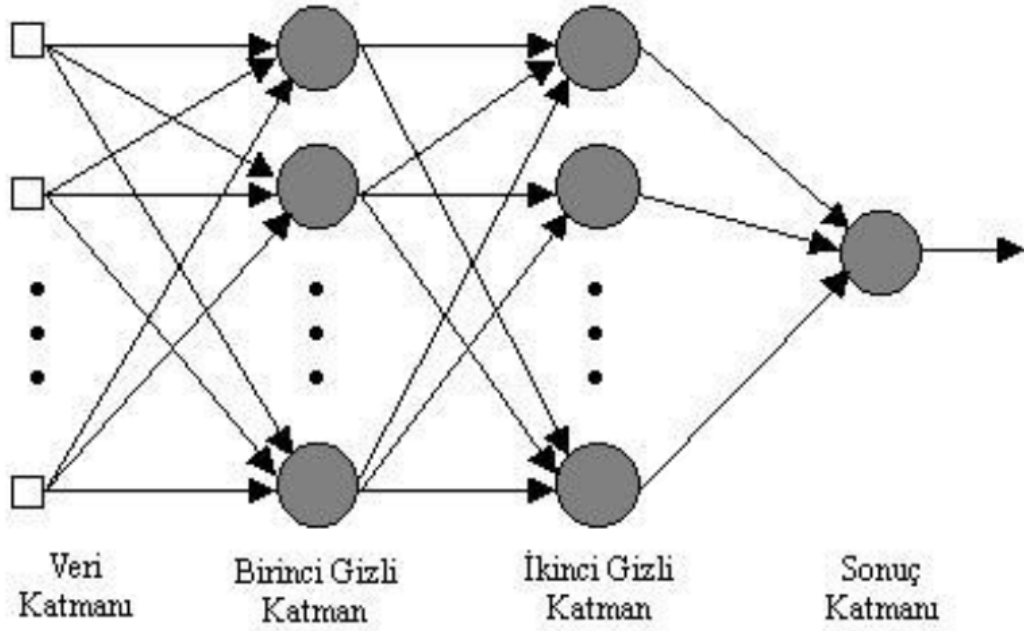
Çoklu yinelemeli algılayıcı (MADALINE):

Çoklu yinelemeli algılayıcı ya da kısa adı ile MADALINE olarak bilinen bu algılayıcının yinelemeli algılayıcıdan farkı değişken sayısının daha fazla olabilmesidir.

2.1.10.2 Çok katmanlı algılayıcılar

Çok katmanlı algılayıcı, birçok sinir hücresinin bir araya gelmesiyle ortaya çıkan çok tabakalı ve çok hücreli bir mimari yapıya sahiptir. Çok katmanlı algılayıcı, tek katmanlı algılayıcıların geliştirilmiş halidir (Şekil 8).

Çok katmanlı algılayıcılarda, ağdaki her bir nöron doğrusal olmama özelliği içerir. Bu doğrusal olmama biçimi genellikle sigmoid fonksiyonu ile sağlanır. Çok katmanlı algılayıcılar gizli nöronlardan oluşan gizli katmanlara sahiptir. Ağ, bağlantılar sayesinde çok yüksek derecede bilgi işleme yeteneğine sahiptir. Ağı bilgi işleminde değişiklik olabilmesi için bağlantı sayısında ya da ağırlıklarda değişiklik olması gerekir.



Şekil 8: Çok katmanlı ANN.

Çok katmanlı algılayıcılarda bilgiler giriş katmanında kabul edilir. Daha sonra gizli katmanlardaki işlemlerde elde edilen sonuçlar çıkış katmanına verilir. İstenen hata toleransı içinde değerler elde edilinceye kadar ağırlıklar ya da gizli katman sayısı, gizli katmanlardaki nöron sayısı değiştirilerek işleme devam edilir.

2.1.11 Yapay Sinir Ağlarının Avantajları ve Dezavantajları

2.1.11.1 ANN'lerin avantajları

ANN öğrenme işlemini gerçekleştirebilmekte ve öğrenme işlemi gerçekleştirildikten sonra belirsizlikler altında öğrendikleri olaylar ile ilgili ilişkiler kurarak karar verebilmektedirler (Öztemel, 2003).

- ANN'lerdeki paralel yapı bilginin kolay anlaşılmasını ve işlenmesini sağlar.
- ANN eksik bilgiler ile de çalışabilmektedir. Ağ hücrelerin bir bölümü bozulsa bile çalışmaya devam edebilir. Bozulan hücrelerin durumuna göre ağın performansı düşebilir fakat hangi hücrenin önemli olduğuna ağ kendi karar verebilmektedir.
- ANN yeni örneklerle çabuk uyum sağlayabilir. Ağ yeni verilerle tekrar tekrar eğitilip kullanılabilir. Bu sayede sisteme uygun yeni çözümler üretilebilir.
- ANN matematiksel modele ihtiyaç duymaz. Probleme çözüm üretmeden önce belirli bir varsayımda bulunmaz.

2.1.11.2 ANN'lerin dezavantajları

- ANN sistemi içinde ne olduğu bilinemez. Bu nedenle bazı durumlarda ağların verdiği sonuçları değerlendirmek zor olabilir.
- Eğitilmek için zamana ihtiyaç duyarlar. Bundan dolayı zaman ve para maliyeti vardır. Ağın çalışmasında iterasyon sayısı arttıkça çözüm süresi de artar. Bu da zamandan kayıptır.
- ANN içerisindeki ağ parametrelerinin belirlenmesinde belirli bir kural bulunmamaktadır. Parametrelerin belirlenmesi kullanıcının tecrübesine bağlıdır. ANN her sistem için ayrı değerlendirme yapar.
- ANN yalnızca nümerik bilgilerle çalışır. Bu nedenle problemlerin nümerik olarak tanımlamak zorunludur.
- Ağın eğitiminini bitirmek için belirli bir zaman yoktur. Bu tamamen kullanıcının belirlediği hata toleransına bağlıdır. Kullanıcının belirlediği tolerans en iyi öğrenmeyi sağlamayabilir.

2.1.12 ANN Yazılımları

ANN'ler için geliştirilmiş birçok yazılım bulunmaktadır. Tablo 1'de bu yazılımlardan bazıları belirtilmiştir.

Bu yazılımlardan MatLab, Neural Network Toolbox ve NeuroSolutions bu bölümde incelenecektir.

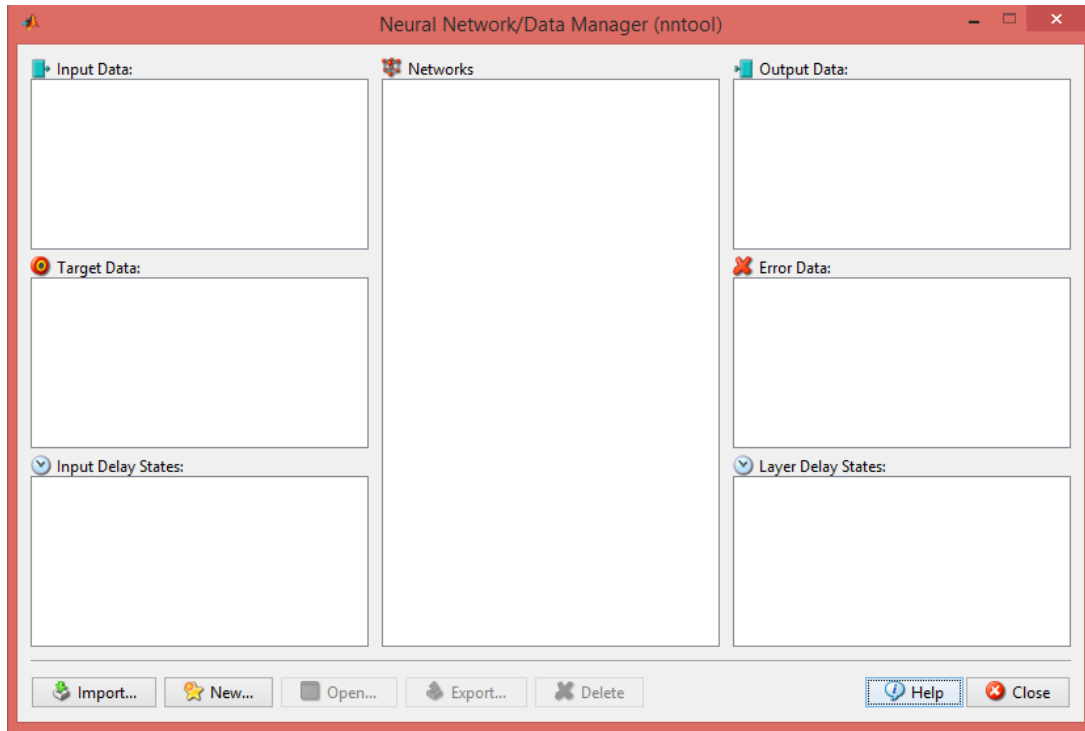
Tablo 1:Bazı ANN yazılımları.

Ücretsiz Yazılımlar	Ücretli Yazılımlar
NeuraShell	STATISTICA: Neural Network
PDP++Software	NeuroForeCaster/GENETICA
Fann Tool	NeuroSolutions
MUME	BrainMaker
NNSYSID	Braincel
SNNS	NeuroLab
DartNet	MatLab: Neural Network Toolbox

2.1.12.1 MatLab: Neural network toolbox

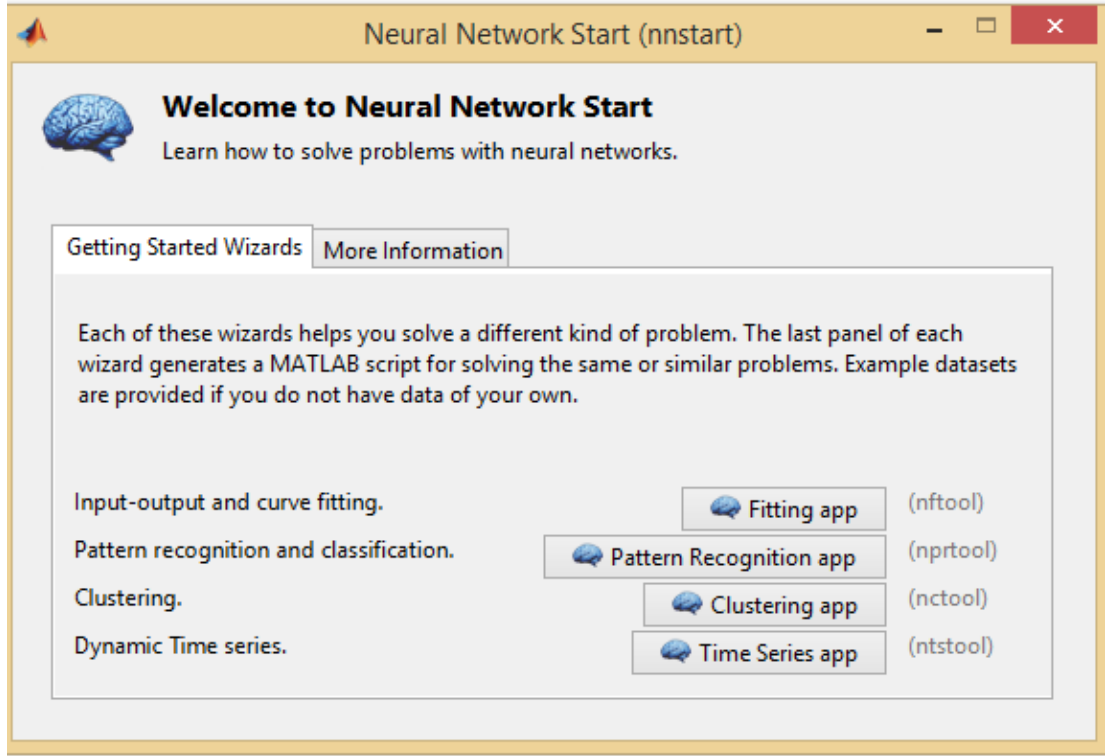
Neural Network Toolbox (NNT), MatLab platformunda ANN kurulumu, eğitimi, uygulaması ve simülasyonunu sağlayan bir uygulamadır. Uygulama, kod yazmadan ANN kullanmak için tasarlanmıştır.

NNT kullanmak için iki farklı yol vardır. İlkinde MatLab komut penceresine “nntool” yazılıp enter’a basıldığında “Neural Network/Data Manager” arayüzü ekrana gelir (Şekil 9).



Şekil 9: Neural network toolbox arayüzü.

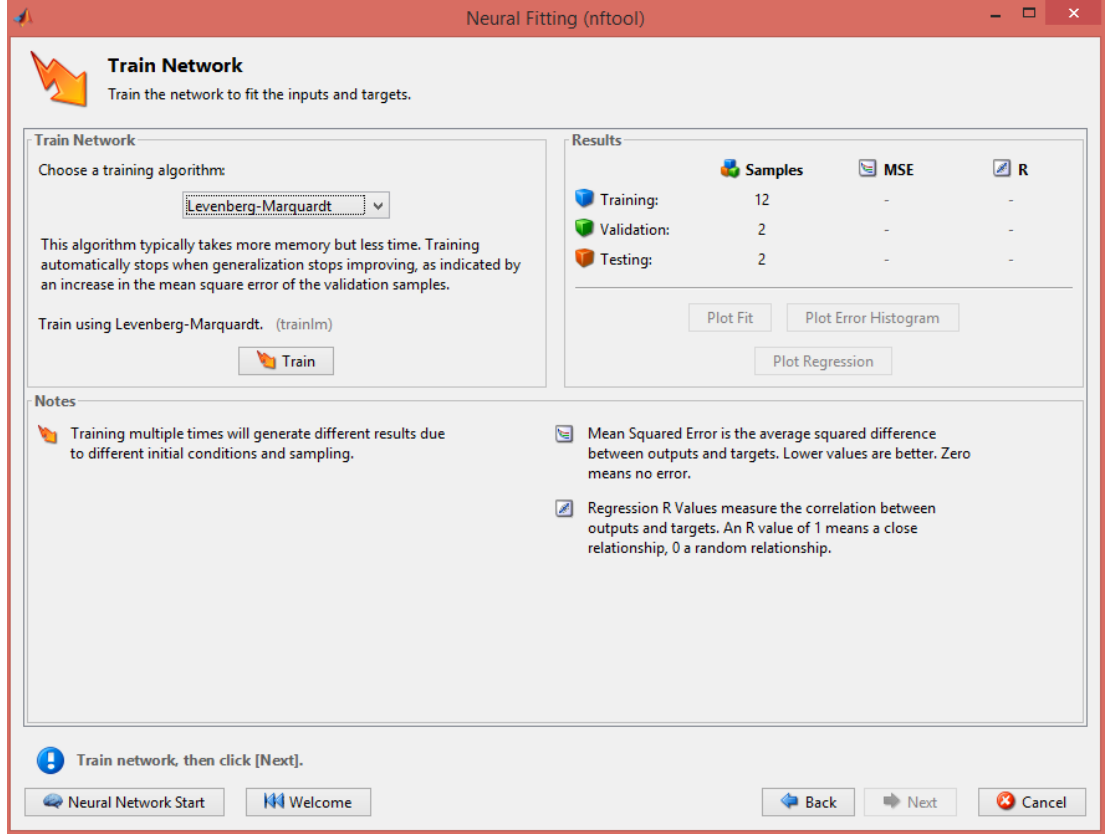
Açılan pencerede “new” butonuna tıklanarak “Create Network or Data” penceresi açılır. Bu pencereden hem ağ oluşturulur hem de giriş (inputs) ve çıkış (targets) değerleri matris olarak sisteme girilir. Daha sonra network sekmesinden ağ oluşturulur. Ağ oluşturulurken ağ tipi, giriş ve çıkış verileri, eğitim algoritması, öğrenme fonksiyonu, performans fonksiyonu, katman sayısı, katmanlardaki nöron sayıları ve aktivasyon fonksiyonları seçilir. “Create” butonu ile ağ oluşturulur. Daha sonra Neural Network/Data Manager penceresinden oluşturulan ağ açılır. Açılan pencerede “Train” sekmesi tıklanır. Giriş ve çıkış verileri tanıtıldıktan sonra ağ eğitilir. MatLab NNT kullanımı için ayrı bir arayüz daha tasarlamıştır (Şekil 10). Bu arayüzde kullanım daha kolay olup işlemler daha çabuk gerçekleştirilebilmektedir.



Şekil 10: Neural network toolbox arayüzü.

Bu arayüz açıldığında ekrana 4 seçenek çıkmaktadır. Bu seçeneklerden kullanılmak istenen seçenek işaretlenir ve açılan pencerede ANN hakkında bilgilendirme bulunmaktadır. “Next” butonu ile bir sonraki aşamaya geçilir. Bu aşamada giriş ve çıkış verileri sisteme tanıtılır. Bu arayüzde sisteme tanıtılan veriler, MatLab dosya uzantısı olan “.m” uzantısı olarak kaydedilmiş olur. “Next” butonu ile geçilen bir sonraki aşamada verilerin sınıflandırılması yapılır. Kullanılan verilerin yüzde kaçının eğitim verisi, yüzde kaçının test verisi ve yüzde kaçının doğrulama verisi olarak kullanılacağı belirlenir. “Next” butonu ile bir sonraki aşamaya geçilir. Bu aşamada ağ mimarisi oluşturulur. Gizli nöron sayıları belirlenir. Bir sonraki aşama ise eğitim aşamasıdır (Şekil 11). Burada eğitim algoritması seçilir ve “Train” butonu ile eğitim gerçekleştirilir.

Eğitim tamamlandıktan sonra yine aynı pencerede eğitim, test ve doğrulama hakkında çıkan istatistikî sonuçlar bulunur. Ayrıca eğitim bittikten sonra açılan yeni pencerede yapılan iterasyon sayısı, performans, eğitim zamanı gibi parametreler hakkında bilgiler bulunur. Bu pencereden çeşitli grafiksel sonuçlara da ulaşılabilir.



Şekil 11: Neural network toolbox eğitim bölümü.

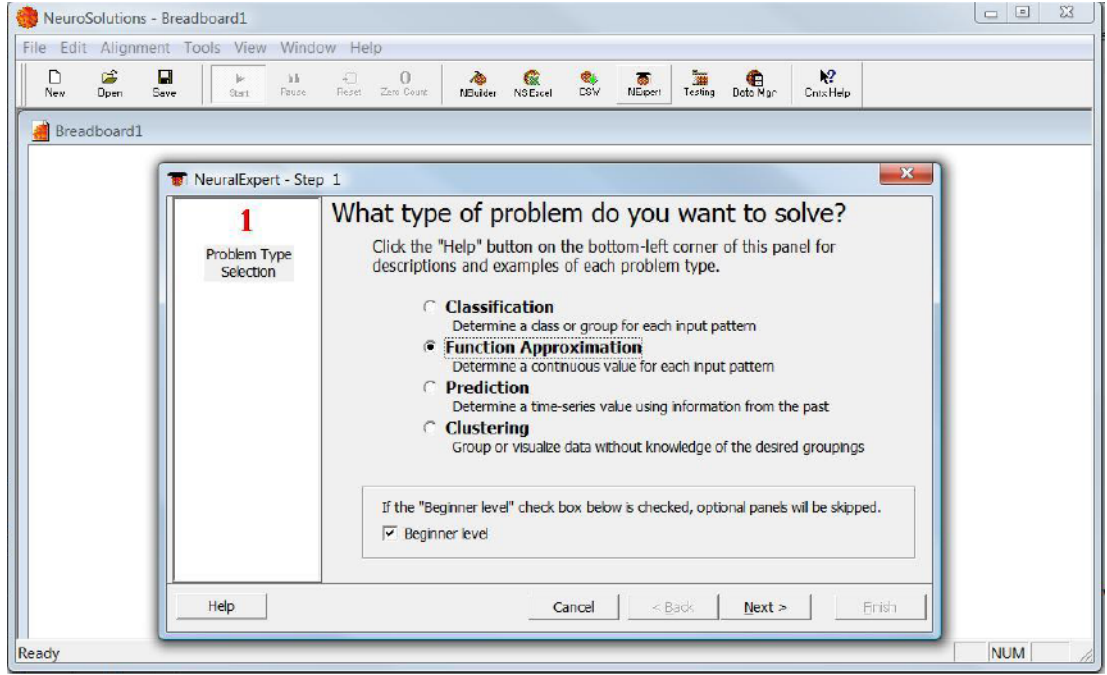
2.1.12.2 NeuroSolutions yazılımı

NeuroDimension firması tarafından geliştirilen NeuroSolutions yazılımı tahmin, sınıflandırma vb. amaçlar için kullanılabilecek farklı ağ yapılarını içeren güçlü bir yazılımdır. NeuroSolutions, NeuroSolutions for Excel ve NeuroSolutions for MatLab olmak üzere farklı kullanım seçenekleri sunar (Hamzaçebi, 2011).

ANN oluşturulurken, hangi tip problem ile çalışılacağı göz önüne alınarak nasıl bir yaklaşım yapılacağına karar verilir. İlk adımda hangi tip problemin çözüleceği sisteme girilir (Şekil 12).

Program, problem tipine en uygun ANN ağını seçmektedir. Eğer istenirse “Neuro Builder” bölümünden ANN yapısı değiştirilebilir. Excel üzerinden giriş ve çıkış değerleri programa tanıtıldıktan sonra problem karmaşıklık seviyesi belirtilir. Eldeki verilere göre düşük, orta ve yüksek seviyelerinden biri seçilerek ANN mimarisi oluşturulmuş olur.

ANN mimarisi oluşturulduktan sonra eğitimi yapılır. Eldeki veriler sisteme sırasıyla eğitim, doğrulama ve test etme biçiminde tanıtılmalıdır.



Şekil 12: NeuroSolutions programı.

2.2 Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS)

Bulanık mantık ilk olarak Zadeh (1965) tarafından tanımlanmış ve birçok araştırmacı bulanık mantığı değişik mühendislik problemlerinde kullanmışlardır. Bu sözel sistemde, problemler alt kümelerle ayrılır. En çok kullanılan bulanık mantık yöntemlerinden biri olan Mamdani (1974) uzman görüşlerini kullanarak bulanık sayıları oluşturur. Takagi ve Sugeno'nun (1985) geliştirdiği yöntemde ise sonuçlar şartlı kurallarla oluşturulan formüllerden elde edilir. ANFIS de Takagi-Sugeno yöntemini kullanır. Çünkü bu yöntem durulaştırmaya gerek kalmadan direkt formüllerle sonuçları elde etmemizi sağlar. Bir bulanık çıkarım sisteminin iki giriş değeri (m_1 ve m_2) ve bir çıkış değeri(k) olduğunu varsayalım. Takagi-Sugeno modelinde 2 adet kural oluşturulur:

Kural 1: If m_1 is X_1 and m_2 is Y_1 ; then $f_1 = x_1m_1 + y_1m_2 + z_1$

Kural 2: If m_1 is X_2 and m_2 is Y_2 ; then $f_2 = x_2m_1 + y_2m_2 + z_2$

Burada X_1 , Y_1 , X_2 ve Y_2 bulanık kümeler ve x_i , y_i ve z_i ($i=1,2$) birinci dereceden lineer bir polinomdur.

ANFIS 6 katmandan oluşmaktadır (Jang, 1997). İlk katman giriş katmanıdır. Bu katmana gelen giriş bilgilerinin üyelik dereceleri üretilmektedir. Üyelik derecelerini

oluşturmak için 8 fonksiyon bulunmaktadır. Üçgensel modelin (trimpf) üyelik derecesi fonksiyonu denklem (2.7)'de verildiği gibi genel bir yapıya sahiptir.

$$y=\text{trimf}(x [a \ b \ c]) \quad (2.7)$$

Burada x; bir vektörün üç sayısal parametresine bağlıdır. Parametrelere bağlı parçalı fonksiyon denklem (2.8)'de verilmiştir.

$$f(x;a,b,c)=\begin{cases} 0, x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, b \leq x \leq c \\ 0, c \leq x \end{cases} \quad (2.8)$$

a ve c parametreleri üçgenin taban uçlarını b ise tepe noktasını ifade etmektedir.

İkizkenar yamuk üyelik derecesi fonksiyonu (trapmf) denklem (2.9)'da verildiği gibi genel bir yapıya sahiptir.

$$y=\text{trapmf}(x [a \ b \ c \ d]) \quad (2.9)$$

Burada x; bir vektörün dört sayısal parametresine bağlıdır. Parametrelere bağlı parçalı fonksiyon denklem (2.10)'da verilmiştir.

$$f(x;a,b,c)=\begin{cases} 0, x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, a \leq x \leq b \\ 1, b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, c \leq x \leq d \\ 0, d \leq x \end{cases} \quad (2.10)$$

a ve d parametreleri ikizkenar yamuğun tabanını, b ve c parametreleri ise üst kısmını oluşturur.

Gauss eğrisi üyelik derecesi fonksiyonu (gaussmf) denklem (2.11)'de verildiği gibi genel bir yapıya sahiptir. Denklem (2.12)'de Gauss fonksiyonunun dayandığı iki parametre ve c verilmiştir.

$$y=\text{gaussmf}(x [\text{sig } c]) \quad (2.11)$$

$$f(x; \sigma, c) = \left\{ e^{\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}} \right\} \quad (2.12)$$

Gauss kombinasyon üyelik derecesi fonksiyonu (gauss2mf) denklem (2.13)'de verildiği gibi genel bir yapıya sahiptir. Gauss eğrisi fonksiyonu gibi denklem (2.12)'de verilen fonksiyonu kullanmaktadır.

$$y=\text{gaussmf}(x [\text{sig1 } c1 \text{ sig2 } c2]) \quad (2.13)$$

gauss2mf fonksiyonu bu iki parametrenin (sig ve c) kombinasyonudur. Birinci fonksiyondaki sig1 ve c1 eğrinin en soldaki şeklini tanımlar. İkinci fonksiyondaki sig2 ve c2 ise eğrinin en sağdaki şeklini tanımlar. $c1 < c2$ olduğunda birincinin gauss2mf değeri maksimuma ulaşır. Diğer bir deyişle maksimum değer birinciden küçüktür. Parametreler sırasıyla [sig1, c1, sig2, c2]'dir. Bu çalışmada Gauss kombinasyon üyelik derecesi fonksiyonu kullanılmıştır. 7 giriş verisinin her birine 2 adet üyelik derecesi verilmiştir.

Katman 2 bulanıklaştırma katmanıdır. Giriş değerleri bulanık kümelerle ayrılmaktadır. Burada her bir düğümün çıktısı giriş değerlerine ve kullanılan üyelik fonksiyonuna bağlı olan üyelik derecelerinden oluşmaktadır.

Katman 3 kural katmanıdır. Burada her bir düğüm oluşturulan kuralları ve kural sayısını ifade eder. Burada “ve” ve “veya” kuralları atanabilmektedir.

Katman 4 normalizasyon katmanıdır. Bu katmandaki her bir düğüm kural katmanından gelen tüm düğümleri giriş değeri olarak kabul etmekte ve her bir kuralın normalleştirilmiş ateşleme seviyesini hesaplamaktadır. Bu katmanın çıktıları normalleştirilmiş ateşleme gücü olarak adlandırılır.

Katman 5 arındırma katmanıdır. Bu katmanda bir sinir olup toplam çıkışı vermektedir. Toplam çıkış kuralın ağırlığı oranınca katkılarının toplamından oluşmaktadır.

Katman 6 toplama katmanıdır. Bu katmanda da sadece bir düğüm vardır ve çıkışı verir.

ANFIS öğrenme 2 türlü gerçekleştirilebilmektedir. Birincisi geriye yayılma yöntemidir. Burada tüm parametreler gradient descent adı verilen geriye yayılma

öğrenme algoritması ile güncelleştirilir. İkincisi ise geriye yayılma ve en küçük kareler yönteminin beraber kullanıldığı türdür. Burada sonuç parametresinin ilk değerini alması için en küçük kareler yöntemi başlangıçta bir kere uygulanır ve daha sonra geriye yayılma yöntemi ile parametreler güncelleştirilir (Ejderha, 2009).

3. TANKER-ŞAMANDIRA BAĞLAMA SİSTEMLERİ

Açık denizde yükleme/boşaltma işlemleri yapacak bir tankerin bulunduğu konumda sabit tutulabilmesi hayati bir önem taşır. Tankerlerin bulunduğu mevkiyi koruması ve yükleme/boşaltma işlemleri yapması için kullanılan bu tip sistemler, genellikle iki ana grupta incelenirler (Ansari, 1999; Paik ve Thayamballi, 2007): Tek noktadan bağlı (SPM) ve çok noktadan bağlı (MPM veya SM) sistem (Şekil 13 ve Şekil 14).



Şekil 13: Tek noktadan bağlı tanker-şamandıra sistemi.



Şekil 14: Çok noktadan bağlı tanker-şamandıra sistemi.

Tekne SPM’de bir tek hat ile, MPM’de ise çok sayıda hat ile bağlama sistemine bağlanır. Tekne SPM’de rüzgar, akıntı ve dalga koşulları ile aynı konuma gelene kadar bağlama sistemi etrafında döner. Bu durum bağlama sistemi üzerindeki yükleri azaltmaya yardımcı olur. Bir MPM tekneyi sabit bir konumda tutar ve tekne maruz kaldığı çevre koşulları karşısında hareket etmez. Bu nedenle tekne zaman zaman

rüzgar, dalga ve akıntı yüklerinin belirli bir konumda etkidiği durumlarda yüksek çevresel yüklere maruz kalabilir. SPM daha az donanım gerektirir ve yükün taşındığı hat daima su üstünde olup ana şamandıra ile birlikte çevresel yüklere maruz kalmaktadır. Ancak SPM, MPM'lere göre dairesel hareket yapabilecekleri için daha fazla işletilme alanına ihtiyaç duyarlar. Oysaki, yükleme/boşaltma işlemleri yapılan çoğu LPG/LNG istasyonlarında manevra alanı önemli bir problemidir ve ciddi sınırlamalar söz konusudur.

Genellikle teknenin baş kısmında konumlandırılan çoğu aynı zamanda geçici depo görevinde gören pek çok SPM sistemi mevcuttur (Barltrop, 1998).

- Sabit kule
- Katıneri çapa ayaklı bağlama şamandırası (CALM)
- Tek çapa ayaklı bağlama şamandırası (SALM)
- Mafsallı kule tipi yükleme platformu (ALP)
- Tek nokta ve rezervuar (SPAR)
- Tek çapa yükleme (SAL)
- Kule bağlama

Açık denizde bağlanacak tanker için uygun bağlama sisteminin seçilmesi oldukça zor ve karmaşık bir işlemdir. Tankerin bulunduğu konumu koruması tanker üzerinde etkili olan çevresel koşullar, yükleme/boşaltma işlemleri yapacak tankerin boyutları ve açık denizde çatışma riski bu bağlamda oldukça önemli parametrelerdir. Bağlama sistemi seçim ve tasarım aşamalarında dikkat edilmesi gereken pek çok faktör vardır (d'Hautefeuille, 1991):

- Çevresel koşullar
- Su derinliği
- Yükleme/boşaltma işlemlerinin devamı/iptalini gerektiren hava eşikleri
- Bağlama sistemi kurulumunun karmaşıklığı
- İşletme ve bakım
- Emniyet ve güvenilirlik
- Tasarım ve imalat listeleri

- İlk yatırım maliyetleri
- İşletme maliyetleri
- Yükleme/boşaltma işleminin yapılmadığı zaman dilimi
- Periyodik ve / veya acil durum tamirleri
- Bağlama araçları

olarak sıralanabilir. Ayrıca bağlama sistemlerinin tasarımı sırasında göz önünde tutulması gerekli olan bazı kritik konularda vardır (Huang, 2000):

- Rayzerler veya yükleme / boşaltma hortumları için son derece önemli olan teknenin maksimum hareket miktarları,
- Dalgalar tarafından oluşturulan 6 serbestlik dereceli gemi hareketleri nedeniyle bağlama hattı dinamiği,
- Boyuna öteleme, enine öteleme ve savrulma hareketleri nedeniyle düşük sıklıklı tekne hareketleri,
- Tekne ve bağlama sistemi üzerinde rüzgar, akıntı ve dalganın aynı doğrultuda olmayan etkileri,

Çok uzun rayzer ve bağlama halatlarının kullanımında akıntı yükleri ve vizkoz kuvvetlerin daha güçlü etkileri nedeniyle, akım tesirli titreşim olayının artması söz konusudur.

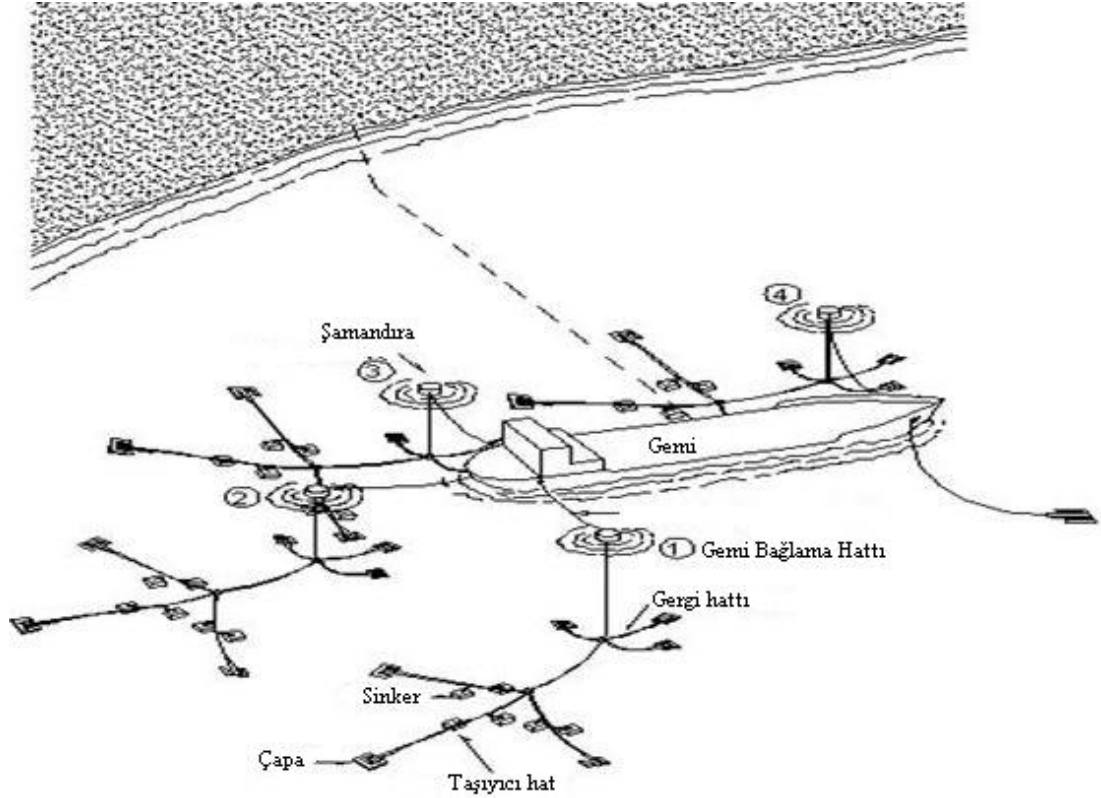
Çoklu ve karmaşık tasarım parametreleri nedeniyle bağlama sistemlerinin tasarımı uzun ve oldukça zor bir süreçtir. Bu nedenle sistem tasarımı yapan uzman kişilerin sistem tasarımı ve modellenmesi aşamalarında dikkatli olmaları son derece önemlidir.

3.1 Bağlama Sistemi Malzeme Seçimi

Tanker-şamandıra bağlama sistemi gemi bağlama hattı (halatlar, çapalar, çapa zincirleri), şamandıralar ve şamandıra bağlama sistem bileşenleri (zincirler ve aranjmanları, sinkerler, çapalar ve özel ekipmanlar)'dan oluşmaktadır. Bileşenlerin seçimi çevre koşulları ve işlem şartlarına bağlıdır. Örneğin, deniz canlılarının yapışma olasılığının yüksek olduğu bir çevrede, fiber malzemeden yapılmış bir halatın kullanımı mümkün değildir. Ayrıca sistem bileşenlerinin tasarımında bağlanacak

teknenin boyutu, çevresel yükler, işlem sınırlamaları, mevcut hat donanımı, maliyet durumları vb. gibi öz niteliklerde etkili olmaktadır (Ansari, 1999).

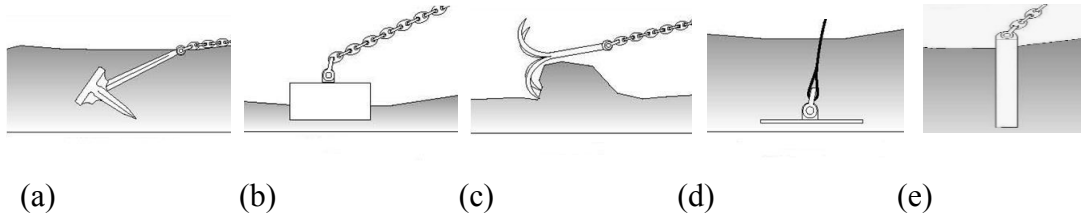
Tanker-şamandıra sistemi ekipmanlarının seçiminde DNV (Det Norske Veritas, 2004) klaslama kuruluşunun standartları dikkate alınmıştır. Şekil 15’de tipik bir çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi görülmektedir (US. Navy, 1985).



Şekil 15: Tanker-şamandıra bağlama sistemi bileşenleri.

Şamandıra sisteminin deniz tabanıyla bağlantısını sağlayan alt kısım; bağlama hattı zincirler ve aranjmanları, sinkerler ve çapalardan oluşur. Zincir aranjmanları bağlantı elemanları firdöndüler ve kelepçelerden oluşur. Firdöndüler zincirlerin yerleştirilmesi sırasında burulmasını engellemek için kullanılırlar. Sinkerler deniz dibine yerleştirilen ve bir çeşit ağırlık tipi çapa olarak kullanılan beton veya dökme metal malzemelerinden üretilen ağır bloklardır (Şekil 16) (Türk Loydu, 2009). Sinker blokları bağlama sisteminin statik ve dinamik hareketlerinin dengelenmesi ve deniz dibine serilen zincir hattının düşey kararlılığının sağlanması amacıyla kullanılırlar.

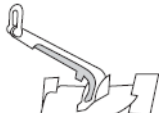
(c), gömülü çapa (d) ve saplamalı (kazık) çapa (e) kullanılabilir (Türk Loydu, 2009). Kullanılacak çapanın seçiminde, deniz dibi yapısı, deniz dibi geometrisi, yükleme yönü ve yanal yük ölçeği ölçütleri kaynak olarak alınır.



Şekil 18: Çok noktalı bağlama sistemi çapa çeşitleri.

Çok noktalı bağlama sistemlerinde kullanılan sürüklenerek gömülen çapa tipleri için etkinlik katsayısı en yüksek olanlar Tablo 2’de verilmiştir. Sürüklenerek gömülen çapaların seçiminde, dikey ve yatay kuvvetlere karşı göstereceği direnç en önemli parametredir. Dikey kuvvetlere karşı çapa su içindeki ağırlığı ile karşı koymaktadır. Yatay kuvvetlere karşı çapanın göstermiş olduğu direnç kuvveti, tutunma kapasitesi olarak isimlendirilir.

Tablo 2: Sürüklenerek gömülen çapa örnekleri.

Tip	Etkinlik Katsayısı (e)			
1. Tip	33-55			
		TLC – 1		
2. Tip	17-25			
		TLC – 23	TLC – 24	TLC – 22
3. Tip	14-26			
		TLC – 5	TLC – 18	TLC – 20

Sürüklenerek gömülen çapalarda tutunma kapasitesi (Türk Loydu, 2009);

$$H_t = H_r (W_h/4536)a \quad (3.1)$$

formülü ile hesaplanır. Bu formülde,

H_t : Statik tutunma kapasitesi [kN];

H_r : Kaynak çapanının havadaki tutunma kapasitesi [kN];
 W_h : Çapanın havadaki ağırlığı [kg];
 a : Üstel sabiti.

Sürüklenerek gömülen çapalara ait tutunma kapasitesi parametre değerleri Tablo 3’de verilmiştir (Türk Loydu, 2009).

Tablo 3: Tutunma kapasitesi parametreleri.

Çapa Tipi (1)	Yumuşak Zemin (Yumuşak kil ve balçık)		Sert Zemin (Kum ve balçık kil)	
	Hr [kN]	a	Hr [kN]	a
TLC – 1 Düz gövde	841	0.92	934	0.94
TLC – 5	618	0.92	734	0.8
TLC - 18	841	0.92	1290	0.8
TLC – 20	1112	0.92	Bu zemine uygun değil	
TLC – 22	841	0.92	445	0.8
TLC – 23 Dökme	142	0.92	1112	0.8
TLC – 24 İkiz gövde	841	0.92	934	0.94
a: üstel sabit				

Deniz tabanına ait yeterli verinin olmadığı durumlarda çapaların tutunma kapasitesi için,

$$H_t = e.W_h \quad (3.2)$$

formülü kullanılabilir.

Burada, e boyutsuz çapa etkinlik katsayısıdır ve 10 tonluk çapa tiplerine göre katsayı değerleri Tablo 4.1’de verilmiştir (Türk Loydu, 2009). Zemin ile ilgili yeterli verinin olmadığı durumlarda çapa etkinlik katsayı değerlerinin minimumu alınabilir.

Şamandıra üzerinde kullanılabilecek özel ekipmanlar, mekanik ve elektronik ekipmanlar diye ikiye ayrılırlar. Şamandıra güvertesinde bulunabilecek ana ekipmanlar korkuluklar, çabuk çözülür kanca, kaydırmaz lastik kaplama, usturmaça vb. sıralanabilir. Bağlama sistemi bileşenlerinin seçiminde, klaslama kuruluşlarının önermiş olduğu standart ve limitlere kesinlikle uyulmalıdır.

3.2 Tanker-Şamandıra Bağlama Sistemi Seçimi

Bu bölümde rüzgar, akıntı ve dalga gibi çevresel yüklere maruz kalan çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemlerinde, değişik tonajdaki tankerler için bağlama halatları ve zincirlerine, şamandıra sistemindeki çabuk çözünür kanca ve yatak

zincirlerine gelen yük dağılımlarının ve tankerlerin başlangıç konumuna göre baş, orta ve kış kısımlarında meydana gelen hareket miktarlarının hesabı yapılacaktır.

3.2.1 Seçeneklerin Belirlenmesi

Çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi için Türkiye’de LPG/LNG yükleme/boşaltma istasyonlarında kullanılmakta olan ve kullanılması olası bağlama sistemi seçenekleri ele alınmış ve bu çeşit bağlama sistemlerinin tasarımı ve/veya kullanımı konularında uzman kişilerin (karar vericiler) görüş ve düşüncelerinden faydalanılmıştır (Mentes, 2010) (Tablo 4).

3.2.2 Çevre Koşullarının ve Terminal Bölgesinin Belirlenmesi

Türkiye çevresindeki denizler için uzun dönemli istatistik çalışmalar yeterince yapılmamıştır. Mevcut çalışmalar meteorolojik koşulların kullanılmasıyla elde edilen rüzgar ve dalga atlasları olup, Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi’nin yayınladığı Rüzgar–Deniz–Ölü Deniz ve Dalga Atlası’nda (1984) Marmara Denizi tek bir rüzgar gülü ile temsil edilmiştir. Türkiye çevresindeki denizler için en kapsamlı çalışma Özhan ve Abdalla (2002) tarafından yapılmıştır.

Tablo 4: Tanker –şamandıra bağlama sistemi için bağlama seçenekleri.

Seçenekler	Tanker – şamandıra bağlama sistemi seçenekleri
A1	Başta 1 çapa ve kıçta 1 şamandıralı sistem
A2	Başta ve kıçta 1’er şamandıralı sistem
A3	Başta 1 şamandıra ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A4	Başta 1 çapa ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A5	Başta 2 şamandıra ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A6	Başta 1 çapa, 1 şamandıra ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A7	Başta 2 çapa ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A8	Başta 1 çapa, 1 şamandıra ve kıçta 3 şamandıralı sistem
A9	Başta 2 çapa, 1 şamandıra ve kıçta 2 şamandıralı sistem
A10	Başta 2 çapa ve kıçta 3 şamandıralı sistem
A11	Başta 1 çapa, 2 şamandıra ve kıçta 3 şamandıralı sistem
A12	Başta 2 çapa, 1 şamandıra ve kıçta 3 şamandıralı sistem

3.2.3 Terminal bölgesinin seçimi

Tanker-şamandıra bağlama sistemine etkiyen çevre koşullarını belirlemek için Marmara Denizi’nin doğusunda Yarımca dolum tesisleri bölgesi, terminal bölgesi olarak seçilmiştir. Özhan ve Abdalla (2002)’ya göre, bu bölgeye en yakın dalga ve rüzgar verilerinin verildiği istasyon enlem ve boylam koordinatları (40.71° N, 29.29°

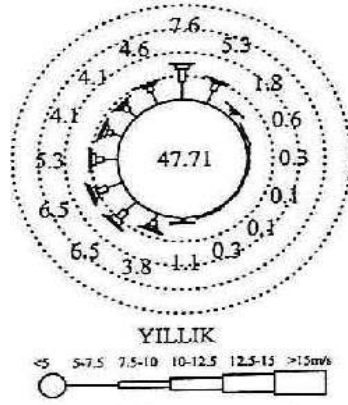
E) noktasıyla (Şekil 19'daki haritada, kırmızı yıldız işareti ile belirtilen) gösterilen yerdir. Yarımca için bu bölge verileri kullanılmıştır.



Şekil 19: Rüzgar iklimi belirleme noktası (40.710 N, 29.290 E).

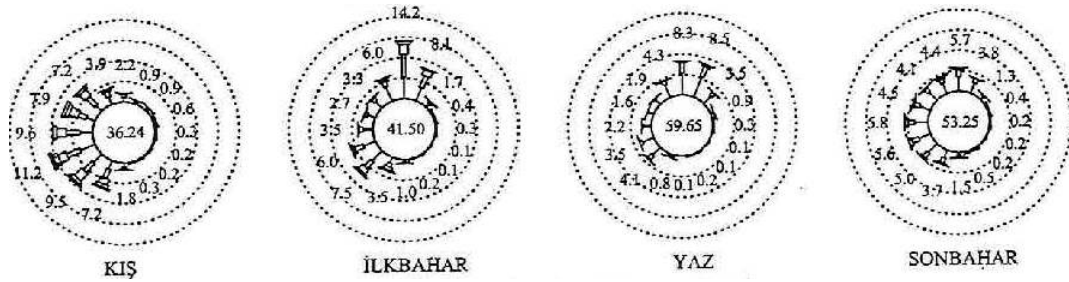
3.2.4 Rüzgar karakteristikleri ve dalga iklimi

Marmara Denizinde seçilen terminal bölgesi için rüzgar ve dalga şartları Şekil 20 - Şekil 28 arasında verilmiştir (Özhan ve Abdalla, 2002). Yıllık rüzgar gülü, yüzeysel rüzgar hızının (su düzeyinden 10 metre yükseklikteki rüzgar hızı, U_{10}) tüm yıl boyunca değişik yönlerden oluşma oranlarını göstermektedir (Şekil 20). Rüzgarın geldiği yönü gösteren yön dilimleri, coğrafik yönlerle aynı yönde seçilmiştir. Bu yönler tepeden başlayarak saat yönünde N (Kuzey), NNW (Kuzey-Kuzeybatı), NW (Kuzeybatı), WNW (Batı-Kuzeybatı), W (Batı) vb. şeklinde verilmiştir. Rüzgar hızı ölçeği gülün altında verilmiştir. Eğer rüzgar hızı 5 m/sn'den küçükse, rüzgar durumu “durgun” olarak kabul edilmekte ve bu durum için herhangi bir rüzgar yönü belirtilmeyip, oluşma oranı gülün ortasındaki çember içerisinde verilmektedir. Ölçekte görüldüğü gibi, rüzgar gülü hızları <5, 5-7.5, 7.5-10, 10-12.5, 12.5-15 ve >15 m/sn olarak belirtilmektedir. Kesik çizgilerle gösterilen her çember % 5 oluşum oranını göstermektedir. Eğer herhangi bir yönden toplam oluşma olasılığı %20'yi geçerse, o kolun uzunluğu yarı yarıya azaltılmıştır. Bu durumda, kesik çizgi çemberlerinin her biri % 10'luk oluşum oranlarını belirtmektedir (Dolayısıyla, yalnızca o yön için değil, en dıştaki kesikli çizgi çemberi % 20 yerine % 40 oluşumu gösterir). Bu rüzgar gülünün elde edilmesinde 4 yıl süreli ve 6 saat aralıklı rüzgar verileri kullanılmıştır (Özhan ve Abdalla, 2002).



Şekil 20: Yıllık rüzgar gülü.

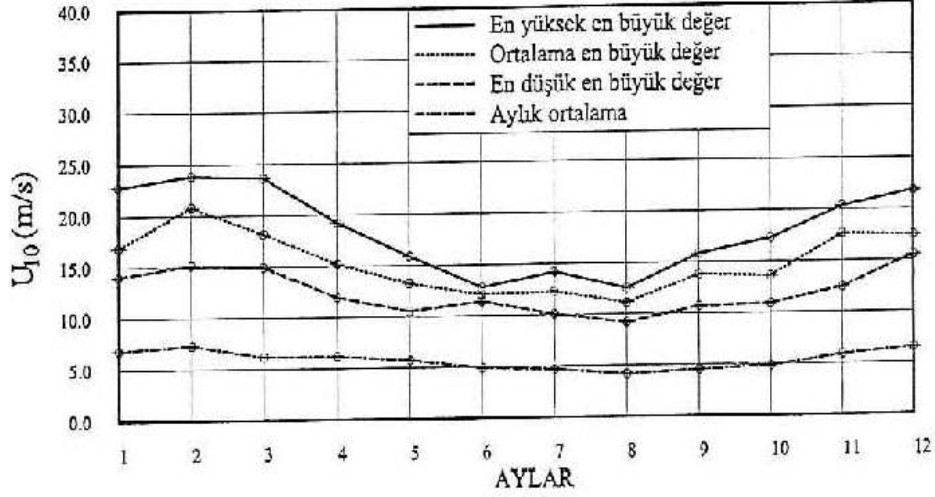
Mevsimsel rüzgar gülleri (Şekil 21), kapsadıkları zaman aralığı dışında yıllık rüzgar gülüyle benzerdirler. Kış rüzgar gülü, yüzeysel rüzgar hızının (su düzeyinden 10 metre yükseklikteki rüzgar hızı, U_{10}) Aralık, Ocak ve Şubat aylarını kapsayan kış mevsiminde değişik yönlerden oluşma oranlarını göstermektedir. İlkbahar gülü Mart, Nisan ve Mayıs, yaz gülü Haziran, Temmuz ve Ağustos, sonbahar gülü de Eylül, Ekim ve Kasım ayları içindir. Yıllık rüzgar gülü için gül ölçeğini de kapsayarak yapılan tüm açıklamalar, mevsimsel güller için de geçerlidir.



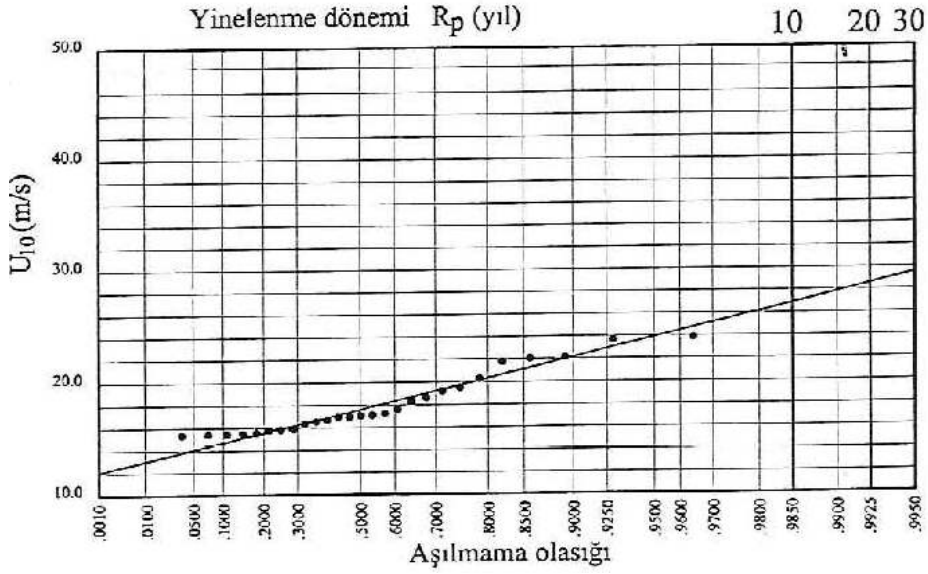
Şekil 21: Mevsimsel rüzgar gülleri.

Marmara Denizi için aylık ortalama yüzeysel rüzgar hızları 1991-1994 yılları için, o ay içerisindeki tüm rüzgar hızlarının aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Aylık en uç değerler olarak, aynı sürelerde o ay içerisinde gözlenen en büyük, en küçük ve ortalama en büyük (herhangi bir ay için, her yılın en büyük değerlerinin ortalaması) değerler verilmiştir (Şekil 22).

Yüzeysel rüzgar hızının (U_{10}) yıllık en büyük değerleri Gumbel olasılık dağılımına uydukları varsayılarak yerleştirilmiştir ve noktalara en iyi uyan doğru çizilmiş ve verilerin kapsadığı süre dışına uzatılmıştır (Şekil 23).



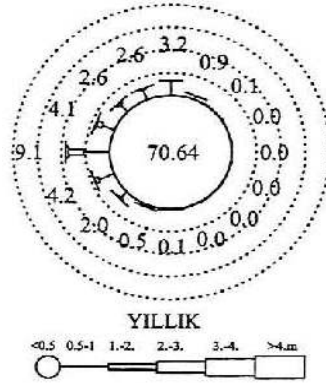
Şekil 22: Aylık ortalama ve en yüksek rüzgar hızları.



Şekil 23: Yıllık en büyük rüzgar hızlarının en büyük değerler istatistiği.

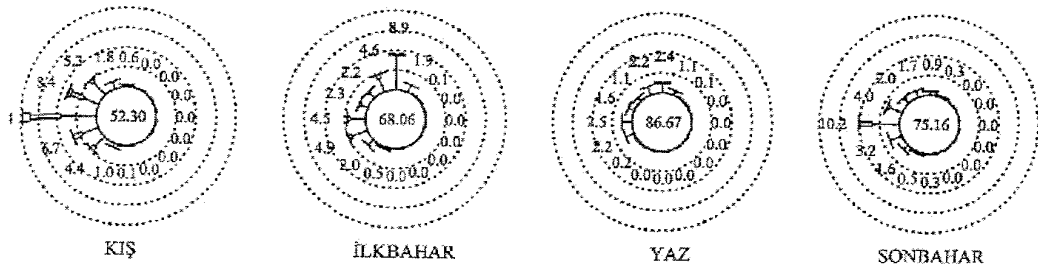
Yıllık dalga gülü, belirgin dalga yüksekliğinin (H_s) tüm yıl boyunca değişik yönlerden oluşma oranlarını göstermektedir (Şekil 24). Dalganın geldiği yönü gösteren yön dilimleri, coğrafik yönlerle aynı yönde seçilmiştir. Bu yönler tepeden başlayarak saat yönünde N (Kuzey), NNW (Kuzey-Kuzeybatı), NW (Kuzeybatı), WNW (Batı-Kuzeybatı), W (Batı) vb. şeklinde verilmiştir. Dalga yüksekliği ölçeği gülün altında verilmiştir. Eğer belirgin dalga yüksekliği 0.5 metreden küçükse denizin durumu “durgun” olarak kabul edilmekte ve bu durum için herhangi bir dalga yönü belirtilmeyip, oluşma oranı gülün ortasındaki çember içerisinde verilmektedir. Ölçekte görüldüğü gibi, dalga yükseklikleri <0.5 , $0.5-1.0$, $1.0-2.0$, $2.0-3.0$, $3.0-4.0$ ve >4.0 metredir. Kesik çizgilerle gösterilen her çember % 5 oluşum oranını göstermektedir. Dalganın her yönden toplam oluşma oranı gülün kolları ucunda

verilmiştir. Eğer herhangi bir yönden toplam oluşma olasılığı %20'yi geçerse, o kolun uzunluğu yarı yarıya azaltılmıştır. Bu durumda, kesik çizgi çemberlerinin her biri % 10'luk oluşum oranlarını belirtmektedir (Dolayısıyla, yalnızca o yön için değil, en dıştaki kesikli çizgi çemberi % 20 yerine % 40 oluşumu gösterir) . Bu dalga gülünün elde edilmesinde 4 yıl süreli ve 3 saat aralıklı dalga tahminleri kullanılmıştır (Özhan ve Abdalla, 2002).



Şekil 24: Yıllık dalga gülü.

Mevsimsel dalga gülleri, kapsadıkları zaman aralığı dışında, yıllık dalga gülüyle benzerdirler (Şekil 25).

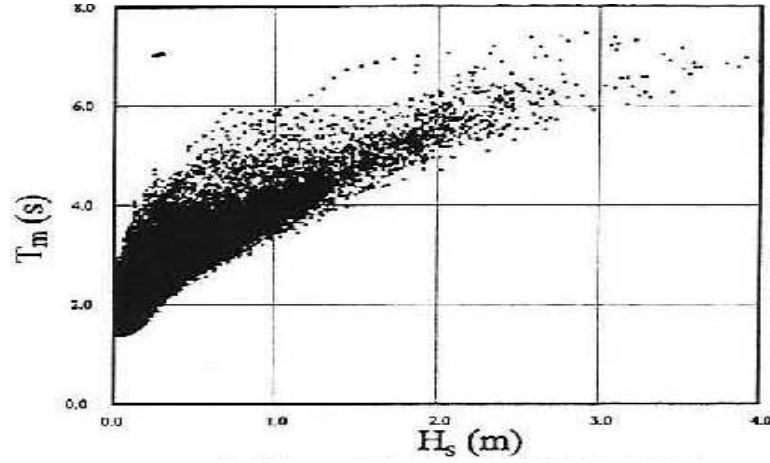


Şekil 25: Mevsimsel dalga gülleri.

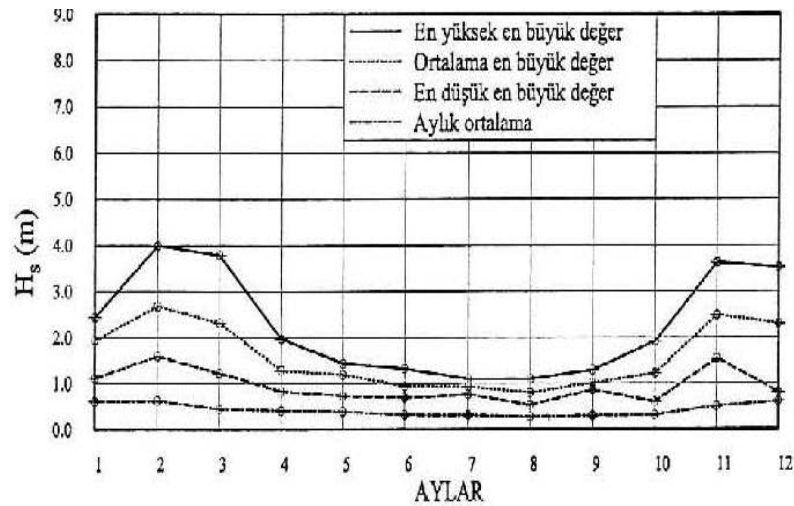
Belirgin dalga yüksekliği (H_s) ile ortalama dalga dönemi (T_m) arasındaki ilişki, serpişme çizimiyle gösterilmiştir (Şekil 26). 1991-1994 yılları için ve sürekli verilerek kullanılarak hazırlanan bu çizim, herhangi bir dalga yüksekliğiyle eşleşebilir dalga dönemlerinin tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Bu çizimde çok sayıda noktanın yoğunlaştığı koyu alan “deniz” durumu, göreceli olarak daha büyük dalga dönemlerinin söz konusu olduğu çizimin üst kesimindeki daha az yoğunluktaki bölge “ölü deniz” durumu içindir.

Aylık ortalama belirgin dalga yükseklikleri, 1991-1994 yılları arasında 4 yıllık süre için o ay içerisindeki tüm dalga yüksekliklerinin aritmetik ortalaması alınarak

hesaplanmıştır. Aylık en uç değerler olarak, aynı sürelerde o ay içerisinde gözlenen en büyük, en küçük ve ortalama en büyük (herhangi bir ay için, her yılın en büyük değerlerinin ortalaması) değerler verilmiştir (Şekil 27).



Şekil 26: Dalga yüksekliği (H_s) ve dalga periyodu (T_m) ilişkisi.



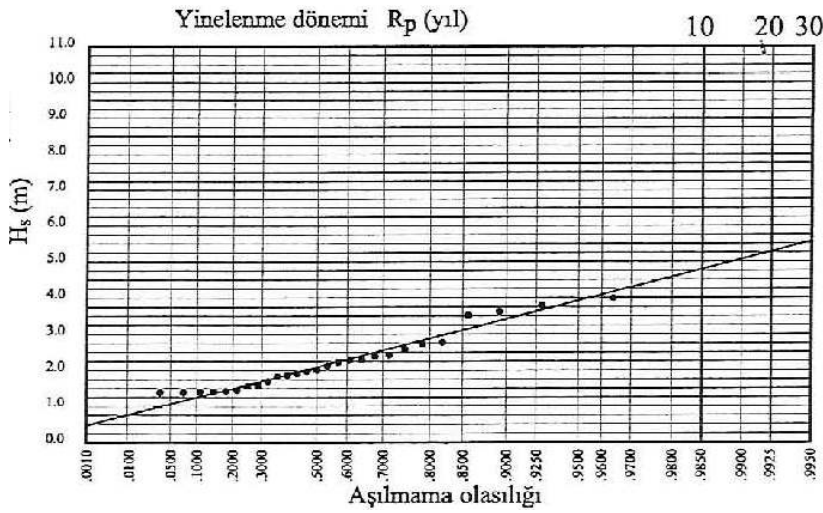
Şekil 27: Aylık ortalama ve en yüksek dalga yükseklikleri.

Belirgin dalga yüksekliğinin (H_s) yıllık en büyük değerleri Gumbel olasılık dağılımına uydukları varsayılarak yerleştirilmiştir ve noktalara en iyi uyan doğru çizilmiş ve verilerin kapsadığı süre dışına uzatılmıştır (Şekil 28).

Bu veriler seçilen terminal bölgesi için göz önüne alınırsa, işlem koşullarında oluşacak dalga yüksekliği $H_s = 3$ m ve dalga yönü Batı-Güneybatı (W-SW) olmaktadır. Rüzgar yönünün değişkenliği göz önünde tutularak hesaplamalarda farklı rüzgar-dalga-akıntı yön kombinasyonları da göz önüne alınmıştır.

Bu verilere göre en yüksek rüzgar hızı 24 m/s (46.6 knot) ve etken yön dilimi Güney Güney Batı-Güneybatı (SSW-SW) olmaktadır. OCIMF (Oil Companies International Marine Forum) (1994)'in raporlarında tanker terminallerinin ekipman seçiminde 60

knot'luk rüzgara dayanıklı bir sistem tasarımı önerilmesi nedeniyle maksimum yük hesabı için 60 knot'luk rüzgar hızı dikkate alınmıştır.



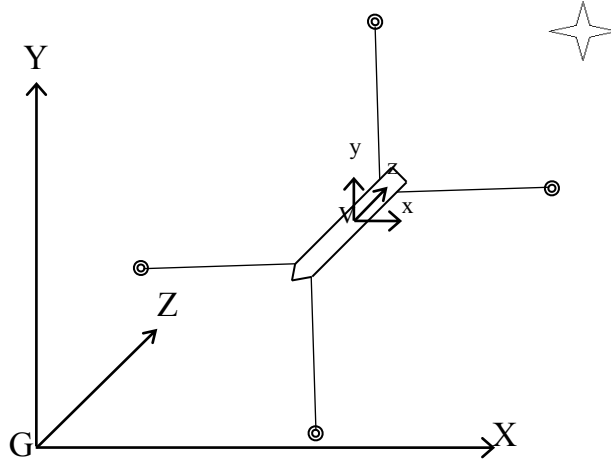
Şekil 28: Yıllık en büyük belirgin dalga yükseklikleri istatistiği.

3.2.5 Akıntı özellikleri

Akıntı yönleri için Seyir Hidrografi ve Oşinografi Daire Başkanlığının (ONHO, 1978) ve Özhan ve Abdalla (2002)'nin haritalarından yararlanılmış, kıyıya paralel ve saat ibrelerinin tersi yönünde 0.5 knot'luk devamlı bir yüzey akıntısının olduğu görülmüştür. Ancak bu akıntının yönü ve şiddeti etken dalga ve rüzgar etkisiyle değişebilmekte ve rüzgar kaynaklı rüzgar yönünde yüzey akıntısı baskın olabilmektedir. Bu nedenle 2.5 knot yüzey akıntısı kabulü ve akıntı yönünün rüzgar yönüne paralel alınması hesaplarda güvenli tarafta kalınmasını sağlayacaktır.

3.2.6 Global ve Gemi Bazlı Koordinat Sistemleri

Şekil 29'da global ve gemi bazlı koordinat sistemleri görülmektedir. Burada, GXYZ global koordinat sistemi, Vxyx'de gemi koordinat sistemini ifade etmektedir. Bir tankerin bağlama bölgelerindeki konumları belirlenirken bir fırtına anında bağlama sisteminden hemen kurtulup deniz yönünde kaçışları esas olduğundan, seçilen terminal bölgesinde tankerler global eksen takımına göre 250 derecelik açı yapacak biçimde konumlandırılmışlardır. Bu bölgedeki su derinliği 28 m. olarak alınmıştır.



Şekil 29: Koordinat sistemi.

3.2.7 Tanker-Şamandıra Sisteminin Genel Karakteristikleri

Tablo 5’de hesaplamalarda kullanılacak olan tankerlerin genel karakteristikleri verilmektedir. Tankerlerde ABS (2009) kurallarına uygun demir, zincir ve bağlama halatı bulunduğu kabul edilmiştir. Bu özellikler Tablo 6’da verilmektedir.

Tablo 5: LPG tankerlerinin genel özellikleri.

		TankerA	TankerB	TankerC
Deplasman	Δ (ton)	27180	64426	125832
Tam boy	LOA (m)	150.0	200.0	250.0
Dikeyler arası boy	LBP (m)	136.9	182.6	228.2
Genişlik	B (m)	23.23	30.97	38.71
Tasarım su çekimi	Tdesign (m)	9.69	12.93	16.17
Boyuna rüzgar kesit alanı	AL (m ²)	1296.5	2304.9	3601.4
Enine rüzgar kesit alanı	AT (m ²)	308.6	548.6	857.2
Blok katsayısı	C _B	0.804	0.804	0.804

Tablo 6: LPG tankerleri için standart malzeme karakteristikleri.

		TankerA	TankerB	TankerC
Malzeme sayısı	EN	1239	2260	3617
Malzeme numarası	EN	U27	U35	U43
Çapa ağırlığı	kg	4050	6900	11100
Zincir çapı	mm	56	73	92
Zincir ağırlığı	kg/m	71	120	190
Kopma dayanımı	kN	786	1356	1471

3.3 Sistemin Matematik Modellemesi

Bağlama sistemini kullanacak bir tanker rüzgar, akıntı ve dalga gibi dış kuvvetlerin tesiri altında hareket eder. Tanker-şamandıra bağlama sisteminde, şamandıralar ile gemi arasındaki bağlama halatı ön gergili olacak şekilde modellenmiştir. Tanker-

şamandıra bağlama sistemi tekne, tekne çapaları (baş sancak ve iskele çapaları), tekne çapa zincirleri, şamandıralar ve şamandıralara ait yükselen zincirler, yatak zincirleri, yatak zincirlerine bağlı çapalar ve sinker beton bloklarından oluşmaktadır.

Çevre yüklerinin etkisi altındaki tanker-şamandıra bağlama sisteminde, bağlama halatlarına gelen maksimum gerilme ve tankerlerin yer değiştirme değerlerini hesaplamak için, Tablo 7’de verilen farklı senaryolar uygulanmıştır.

Tablo 7: LPG tankerleri için benzetim senaryoları.

Yön	Rüzgar hızı (knot)	Akıntı hızı (knot)	Karakteristik dalga yüksekliği (Hs) (m)
S (Güney)	15, 30, 45, 60	1.0, 2.0, 2.5	1.0, 2.0, 3.0
SW (Güneybatı)	15, 30, 45, 60	1.0, 2.0, 2.5	1.0, 2.0, 3.0
N (Kuzey)	15, 30, 45, 60	1.0, 2.0, 2.5	1.0, 2.0, 3.0
NE (Kuzeydoğu)	15, 30, 45, 60	1.0, 2.0, 2.5	1.0, 2.0, 3.0

3.3.1 Dinamik Hesaplamalar

Değişik bağlama konfigürasyonuna sahip 12 farklı tanker-şamandıra bağlama sisteminin dinamik analizi için OrcaFlexTM programı kullanılmıştır. Bu dinamik benzetim programının genel özellikleri aşağıda verilmiştir.

3.3.2 OrcaFlex programı genel özellikleri

OrcaFlexTM programı tüm deniz rayzer çeşitlerini (katı ve esnek) , global analizi, bağlama sistemlerini, montaj ve kule sistemlerini içerecek şekilde çok çeşitli sayıda açık deniz yapısının statik ve dinamik analizi için Orcina firması tarafından geliştirilmiş dinamik bir benzetim ve hesap programıdır (Orcina, 1987-2009).

OrcaFlexTM programı dalga, akıntı ve dış tesirli hareketlerin etkisindeki esnek razyerler ve göbek bağlı (umbilical) kablolar gibi katıneri sistemlerinin hızlı ve doğru analizini yapmaya olanak sağlar. Elde edilen sonuçların anlaşılması için geniş bir grafik arayüzü vardır.

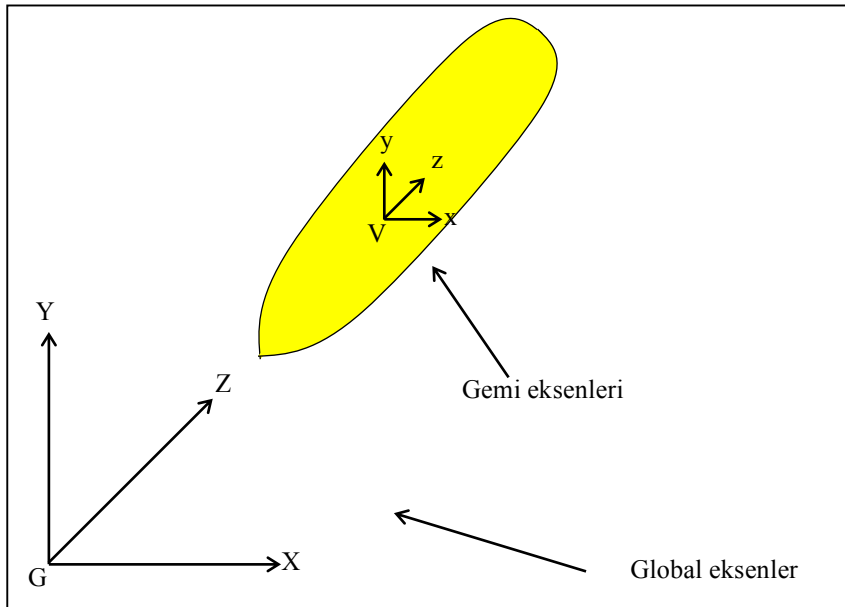
Bu program, 3 boyutlu doğrusal olmayan sistemlerin zaman bölgesinde çözümünü yapan bir sonlu elemanlar programıdır. Matematik formülasyonu oldukça basitleştiren bir lumped-mass elemanı kullanılır ve programın çabuk ve etkili geliştirilmesi için yeni mühendislik gereksinimlerine uygun olup, sistem üzerine ilave kuvvet terimleri ve zorlamaların eklenmesine izin verir.

OrcaFlexTM ayrıca savunma, oşinografi ve yenilenebilir enerji sektörleri uygulamalarında da kullanılabilir. OrcaFlexTM ile yapılan modelleme bütünüyle üç boyutlu (3D) olup, çok kablolu sistemlerde, yüzen kablolarda, serbest bırakılan kablo

dinamiğinde vb. kullanılabilir. Veriler gemi hareketlerini, düzenli ve karışık dalgaları, rüzgar, akıntı vb. parametreleri içerir. Sonuç çıktıları grafik olarak ve sayısal veriler şeklinde elde edilir.

Eksen takımı:

OrcaFlex™ programı GXYZ şeklinde bir global koordinat sistemi kullanır. Bu koordinat sisteminde G global orijini, GX, GY ve GZ ise global eksen yönlerini gösterir. Ayrıca, modeldeki her nesnenin konumunu gösteren çok sayıda yerel koordinat sistemleri vardır (Lxyz). Tüm koordinat sistemleri sağ yönlüdür (Şekil 30). Bu şekilde global eksen takımı GXYZ ve teknenin yerel eksenleri Vxyz şeklinde görülmektedir. Dönme eksen yönü pozitif saat eksen yönüdür.



Şekil 30: OrcaFlex programı eksen takımı.

Statik analiz:

Statik analizin iki amacı vardır:

- Ağırlık, yüzme, hidrodinamik direnç vb. altında sistem konfigürasyonunun dengesini belirlemek,
- Dinamik benzetim için bir başlangıç konfigürasyonu oluşturmak.

Dinamik analiz:

Dinamik analiz statik analiz tarafından türetilen bir konumdan başlayarak belirli bir zaman periyodunda modelin hareketlerinin bir zaman benzetimidir. OrcaFlex™ programında zaman birimi saniyedir.

Program dinamik hesapları yapabilmek için iki tip integral yöntemi kullanır: Açık integral ve kapalı integral.

OrcaFlexTM programı benzetim sırasında aşağıdaki hareket denklemini çözer:

$$M(p,a) + C(p,v) + K(p) = F(p,v,t) \quad (3.3)$$

Bu denklemde;

$M(p,a)$: Sistem atalet yükü;

$C(p,v)$: Sistem sönüm yükü;

$K(p)$: Sistem katılık yükü;

$F(p,v,t)$: Dış yük;

p,v,a : Sırasıyla konum, hız ve ivme vektörleri;

t : Zaman

olarak alınmıştır. Her iki integral yönteminde de sistem geometrisi her zaman adımı için yeniden hesaplanır ve bu nedenle benzetim tüm geometrik doğrusal olmayan durumları (dalga yükleri ve temas yüklerinin konum değişimini) dikkate alır.

Açık Integral Yöntemi:

Açık integral yöntemi sabit zaman adımlı ileri Euler'dir. Benzetim zamanının başlangıcında, tüm düğümler ve hatları içerecek şekilde modelde yer alan tüm nesnelerin başlangıç konumları ve yönleri statik analizden bilinir. Sonra, her serbest cisim ve düğümü etkileyen kuvvetler ve momentler hesaplanır. Kuvvetlerin ve momentlerin aşağıdaki değerleri içerdiği düşünülür:

- Ağırlık,
- Yüzme,
- Hidrodinamik ve aerodinamik direnç,
- Kullanıcı tanımlı katsayılarla bilinen uzatılmış Morison denklemi kullanılarak hesaplanan hidrodinamik ek su kütlesi etkileri,
- Gerilme ve kesme,
- Eğilme ve dönme momenti,

- Deniz zemini tepkisi ve sürtünme,
- Diğer nesneler ile olan temas kuvvetleri,
- Bağlantılara ve vinçlere uygulanan kuvvetler.

Daha sonra hareket denklemi (Newton kanunu) her serbest cisim ve hat düğümü için oluşturulur.

$$M(p, a) = F(p, v, t) - C(p, v) - K(p) \quad (3.4)$$

Bu denklem sistem geneli için hareket denklemi değil her serbest cisim ve her hat düğümü için yerel hareket denklemdir. Bu durum hareket denklemlerini çözmenin ancak 3x3 veya 6x6 kütle matrislerinin tersini almayı gerektirdiğini ifade eder.

Bu denklem her serbest cisim ve her hat düğümü için zaman başlangıç adımında hız vektörü için çözülür, ondan sonra ileri Euler integrallemesi yapılarak tamamlanır. t zaman adımında sırasıyla konum, hız ve ivme vektörleri, p_t , v_t , a_t olarak gösterilirse, $t+1$ zaman adımında bu değerler,

$$v_{t+1} = v_t + dt \cdot a_t \quad (3.5)$$

$$p_{t+1} = p_t + dt \cdot v_{t+1} \quad (3.6)$$

olacaktır. Bu denklemlerde dt zaman adımıdır. Her zaman adımının sonunda, tüm cisimler ve tüm düğümler için konumlar ve yön belirlemeler tekrar belirlenir ve işlem tekrarlanır.

Kapalı Integralleme Durumu:

OrcaFlexTM programı kapalı integralleme işlemi için Chung ve Hulbert (1992) tarafından tanımlanan, genelleştirilmiş α integralleme düzenini kullanır. Kuvvetler, momentler, sönüm, kütle vb. açık integralleme düzeninde olduğu gibi aynı yöntemle hesaplanır. Ondan sonra sistemin hareket denklemi zaman adımı sonunda çözümlenir. p, v, a zaman adımı sonunda bilindiği için, tekrarlamalı bir çözüm yöntemi gereklidir. Bu nedenle her kapalı integral zaman adımı, açık integral zaman adımına göre önemli derecede zaman alır. Ancak, kapalı integral düzeni, açık integral düzenine göre daha uzun zaman adımları için genellikle dengelidir ve bu durum çoğu kez kapalı integral düzenin daha hızlı olduğu anlamına gelir.

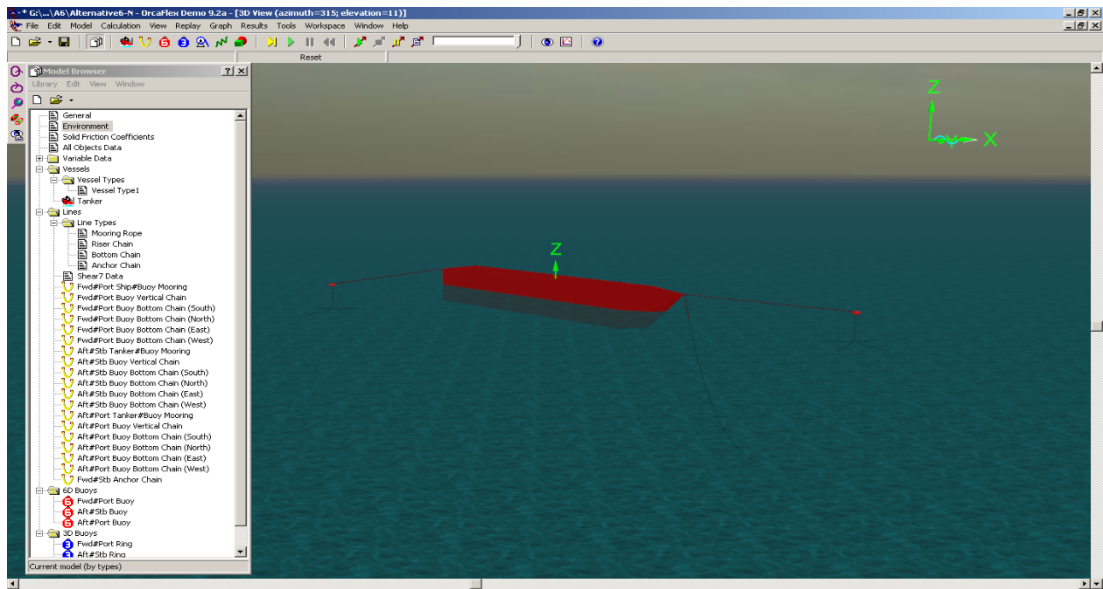
OrcaFlexTM programı hesap kabulleri:

OrcaFlexTM programı, aşağıda ifade edilen yöntemleri hesaplamalarında kullanır.

- Halatlara ve şamandıralara gelen hidrodinamik yüklerin hesabı: Genişletilmiş Morison denklemi (Morison ve diğ, 1950)
- Ek su kütlesi ve sönüm hesabı: Cummins (1962) ve Wichers (1979)
- Dalga sürüklenme kuvvetleri: Newman (1974)
- Sabit rüzgar ve akıntı kuvvetlerinin hesabı: OCIMF (1994)

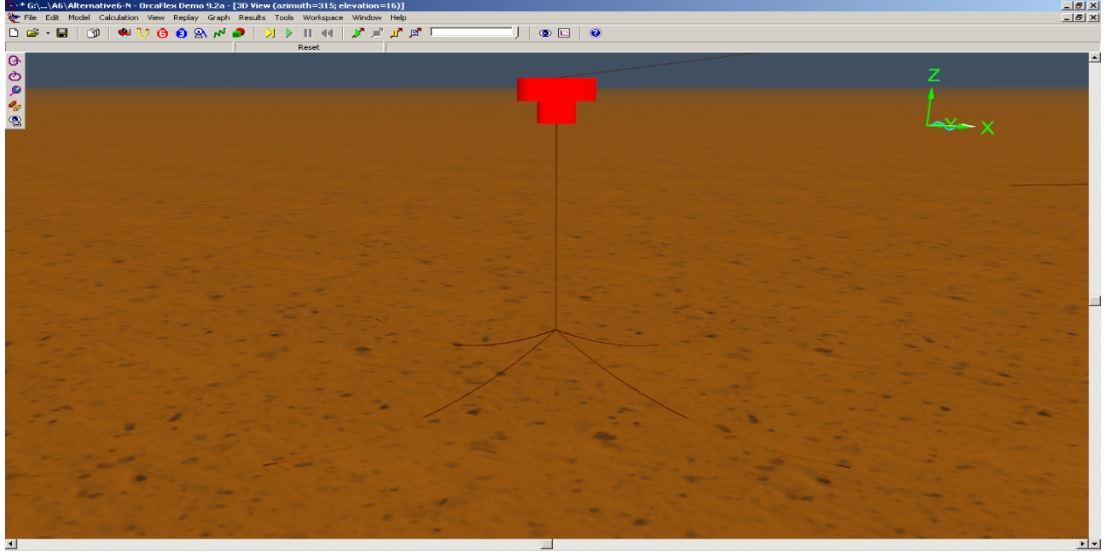
3.3.3 OrcaFlex programında bağlama sisteminin oluşturulması

Tablo 3.2’de verilen farklı tonajlara sahip 3 tankerin, Tablo 3.1’de verilen 12 farklı bağlama şekli için OrcaFlexTM programında ayrı ayrı modellemesi yapılmıştır. Şekil 31’de OrcaFlexTM programının genel görünümü verilmektedir.



Şekil 31: OrcaFlex programı görünümü.

Kullanılan şamandıra sistemi şamandıra, çabuk çözünür kanca, yükselen zincir, ring, 4 yatak zinciri (global eksen takımına göre N (kuzey), S (güney), E (doğu), W (batı) yönlerinde konumlandırılmış), yatak zinciri çapaları (4 adet) ve sinker betonlardan (4 adet) oluşmaktadır (Şekil 32). Tablo 8’de şamandıra sistemi bileşenlerinin uzunluk ve ağırlık değerleri verilmiştir. Şamandıralar tankere 45^0 açıyla ve 90 m. uzunluğundaki halatlarla bağlanmıştır.



Şekil 32: Şamandıra sistemi.

Tablo 8: Şamandıra için uzunluk ve ağırlık tablosu.

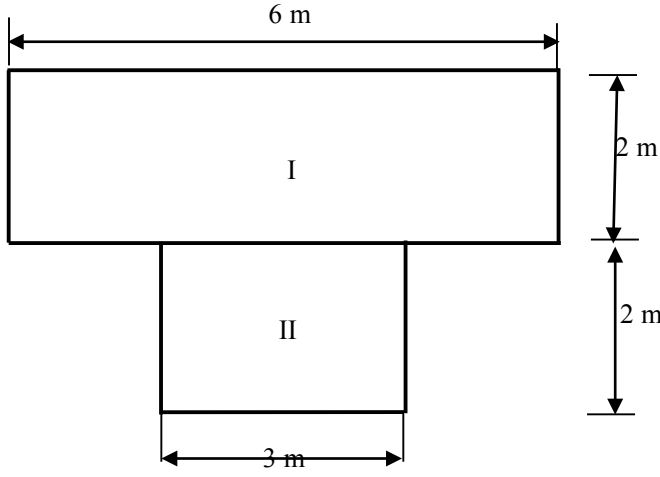
Açıklama	Adet	Birim ağırlık (kg)	Toplam ağırlık (kg)
Çabuk çözülür kanca (100 tonluk)	1	600	600
Şamandıra (ϕ 6000 mm çapında)	1	12000	12000
Yükselen zincir (ϕ 76 mm ve 20 m.)	1	3800	3800
Yatak zinciri (ϕ 60 mm ve 27.5 m)	4	5225	20900
Ring (ϕ 90x400)	1	200	200
Beton blok	4	3000	-
Çapa	4	3000	12000

Şamandıra İçin sephiye kontrolü:

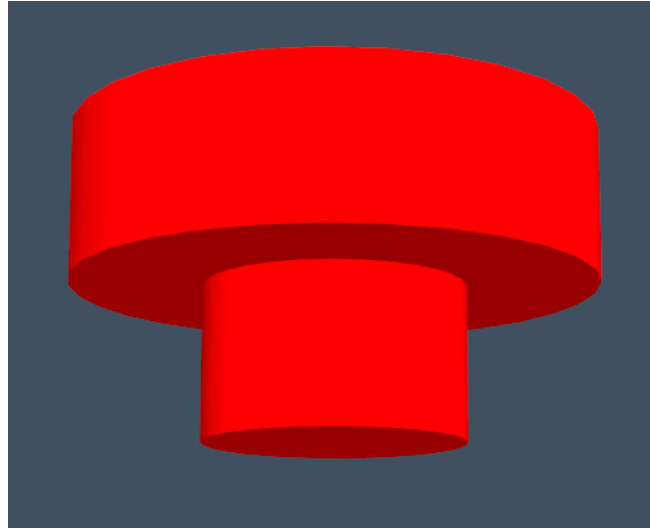
Şamandıra sisteminin belirtilen su derinliğinde (28 m) yüzme şartını sağlayıp sağlamadığını kontrol etmek için sephiye analizi yapılmıştır. Ağırlık bileşenleri şamandıra (Şekil 33, Şekil 34), yükselen zincir ve çabuk çözülür kancadan oluşmaktadır.

Ring, yatak zincirleri ve yatak zincirleri çapaları ve sinkerler zeminde kabul edildiği için hesaba katılmamıştır.

Şamandıra hacim hesabı:



Şekil 33: Şamandıra geometrisi.



Şekil 34: 3 Boyutlu şamandıra görünümü.

$$V_I = \pi.R^2.h = \pi.2^2.2 = 25.12 \text{ m}^3$$

$$V_{II} = \pi.R^2.h = \pi.1.5^2.2 = 14.14 \text{ m}^3$$

$$V_T = V_I + V_{II} = 25.12 + 14.14 = 39.26 \text{ m}^3$$

$$\text{Toplam Sephiye} = V_T \cdot \rho = 39.26 \times 1.025 = 40.24 \text{ ton}$$

Toplam sephiye miktarı, Tablo 9’da verilen şamandıraya bağlı elemanların toplam ağırlığından çıkartılırsa fazla sephiye elde edilir.

$$\text{Fazla sephiye} = 40.24 - (12 + 3.8 + 0.6) = 23.84 \text{ ton}$$

Şamandıra üst kısım 1 cm batma tonajı $= \pi \times 2^2 \times 0.01 \times 1.025 = 0.1288 \text{ ton/cm}$

$$\text{Fribord} = \frac{23.84}{0.1288} = 185 \text{ cm olarak bulunur.}$$

Tablo 9: Ağırlık hesabı.

Eleman	Ağırlık (ton)
Şamandıra	12
Yükselen Zincir	3.8
Çabuk Çözülür Kanca	0.6

Yukarıdaki verilerden elde edilen sephiye ve şamandıra ağırlık hesapları dikkate alındığı zaman şamandıranın 185 cm fribord ile yüzmesi gerektiği hesaplanmıştır.

OrcaFlexTM programında gemi formu oluşturulurken programın kendi varsayılan gemi formu kaynak alınmıştır. Oluşturulan her gemi programda tanımlı varsayılan gemi formu için tanımlanan parametreleri (RAO katsayıları, ek su kütlesi, sönüm, hidrodinamik direnç, rüzgar direnci, dalga sürüklenme kuvveti vb. katsayıları) Froud ölçeğini kullanarak yeni gemi formu için oluşturmaktadır. OrcaFlexTM programında kullanılan ve hidrodinamik hesaplamalarda modellenen geminin genel özellikleri Tablo 10'da verilmektedir.

Tablo 10: OrcaFlex Programı ana tekne modeli genel özellikleri.

OrcaFlex model ana boyutları	
Tam boy (m)	103
Genişlik (m)	15.95
Su çekimi (m)	6.66
Enine GM (m)	1.84
Boyuna GM (m)	114
Blok katsayısı	0.804

Programda yapılan kabuller ise;

Su derinliği: 28 m.

Deniz zemini: düz

Dalga tipi: Jonswap; Tepe dalga periyodu (T_p): 7 saniye; Tepe sivriligi değeri (γ): 3.7.

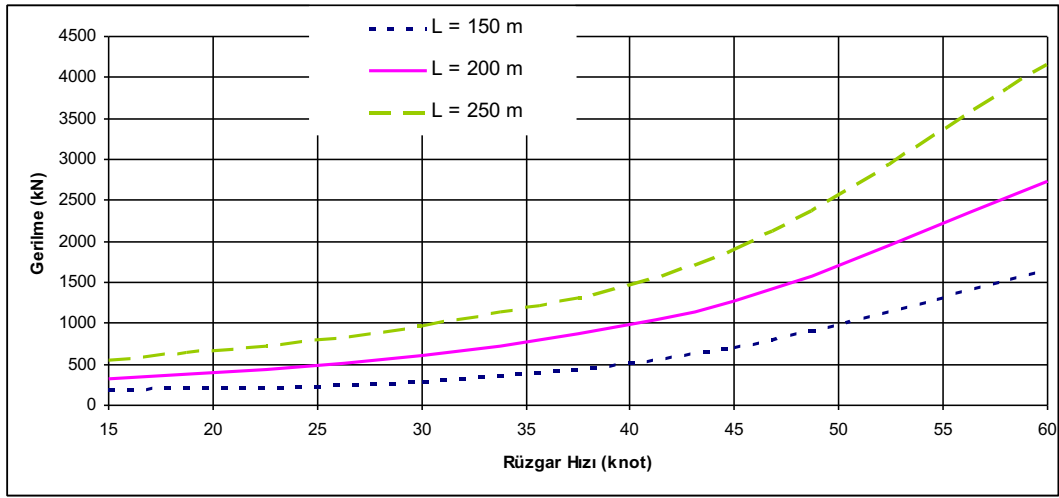
Akıntı hesaplama yöntemi: Power law

Dip akıntısı yok, yüzey akıntısı var

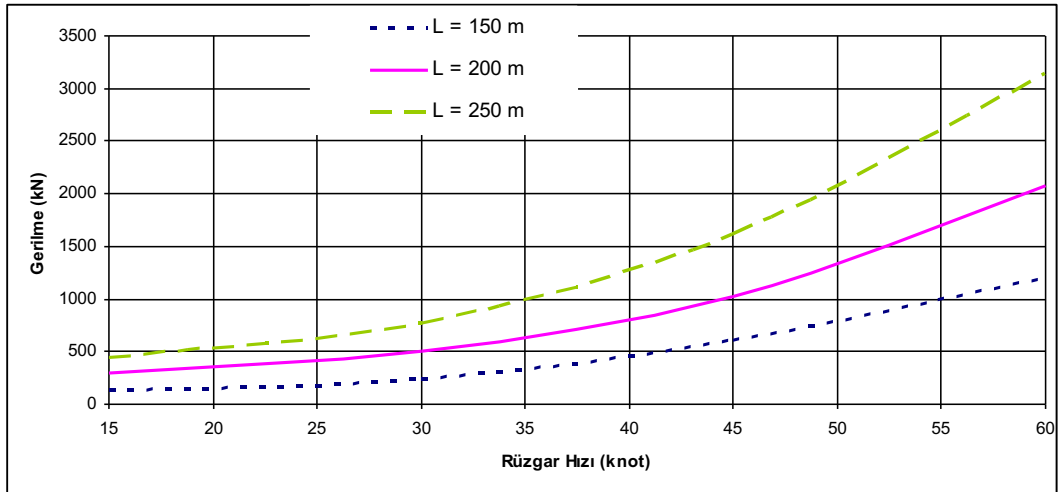
Rüzgar tipi: Sabit esen rüzgar

Rüzgar, akıntı ve dalga aynı yönde

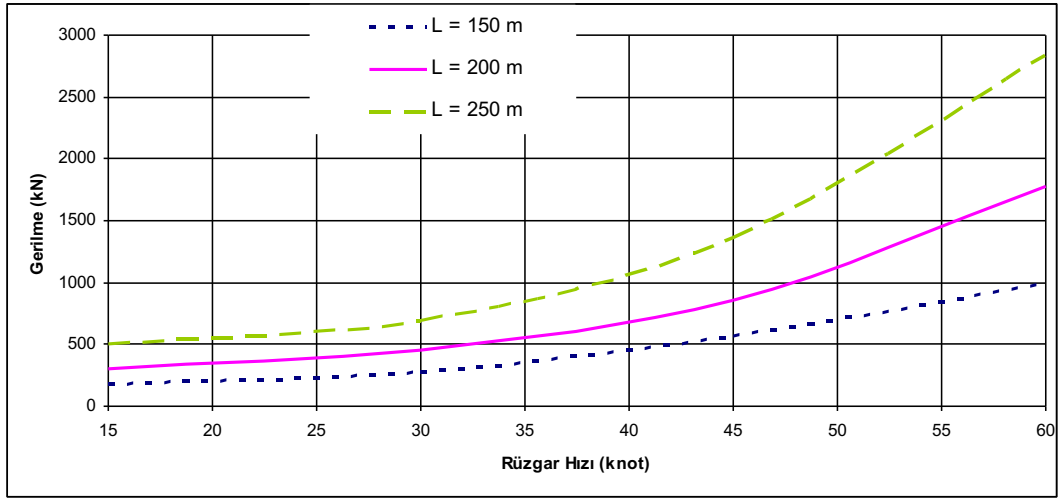
OrcaFlexTM programının doğrusallığını kontrol etmek için, Tablo 5’de verilen Tanker A, Tanker B ve Tanker C’nin ana boyutları 4 noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi seçeneği (A5) için, Tablo 7’de verilen tüm olası senaryolar kullanılarak benzetime tabi tutulmuştur. A5 (4 noktadan bağlı sistem) bağlama sistemi için elde edilen hesaplamalardan halatlarda en fazla gerilme kuvvetinin NE (kuzeydoğu)’dan etkiyen dalga, akıntı ve rüzgar kuvvetleri nedeniyle oluştuğu görülmüş ve halatlara gelen bu gerilme değerleri Tanker A, Tanker B ve Tanker C için Şekil 35-38’de verilmiştir. En büyük tonajlı tanker (Tanker C) için de tankerin baş, orta ve kış kısmındaki hareket miktarları N, NE, S ve SW yönleri için Şekil 39-41’de verilmiştir.



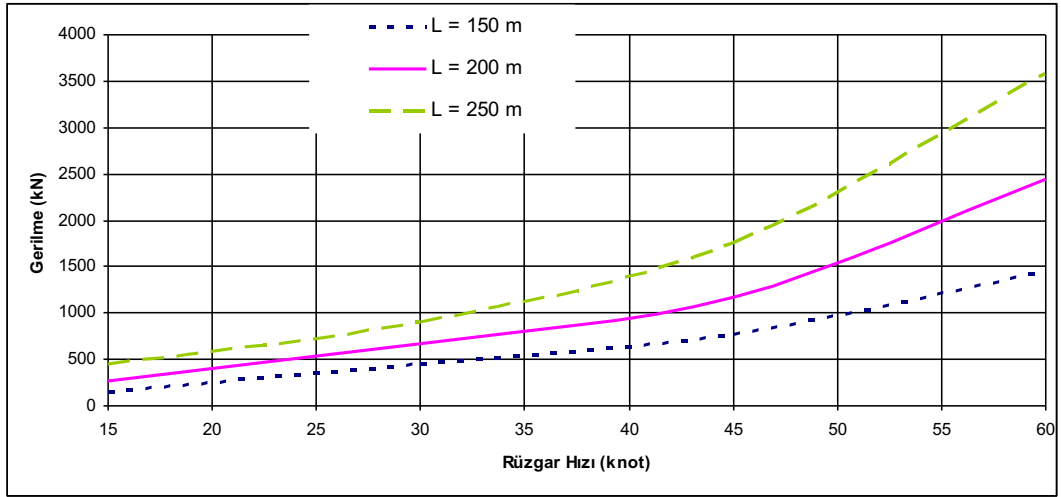
Şekil 35: Kış iskele şamandıra halatına gelen maksimum yük.



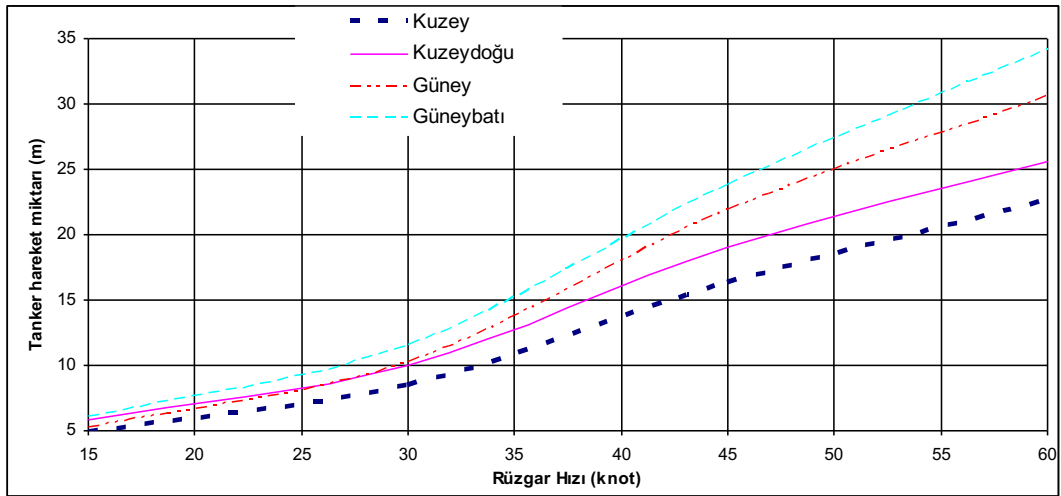
Şekil 36: Kış sancak şamandıra halatına gelen maksimum yük.



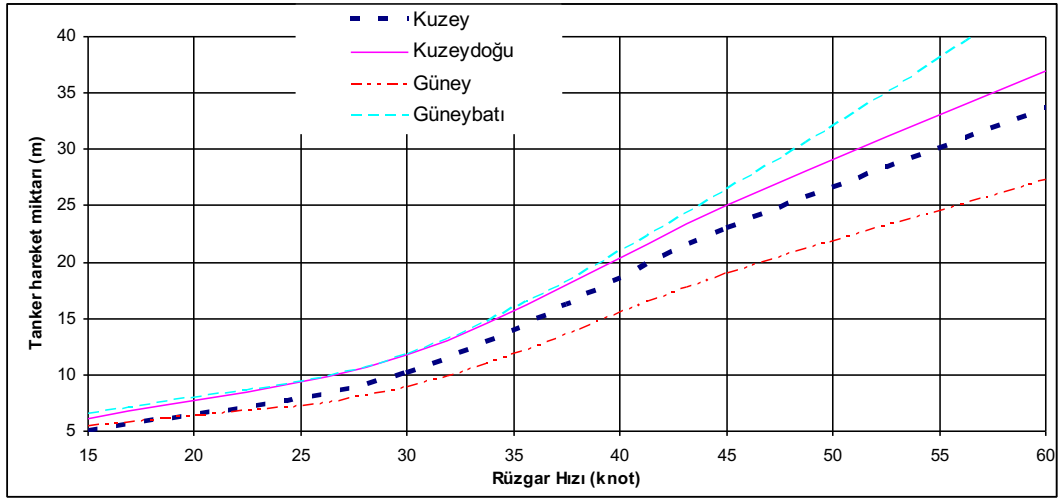
Şekil 37: Baş iskele şamandıra halatına gelen maksimum yük.



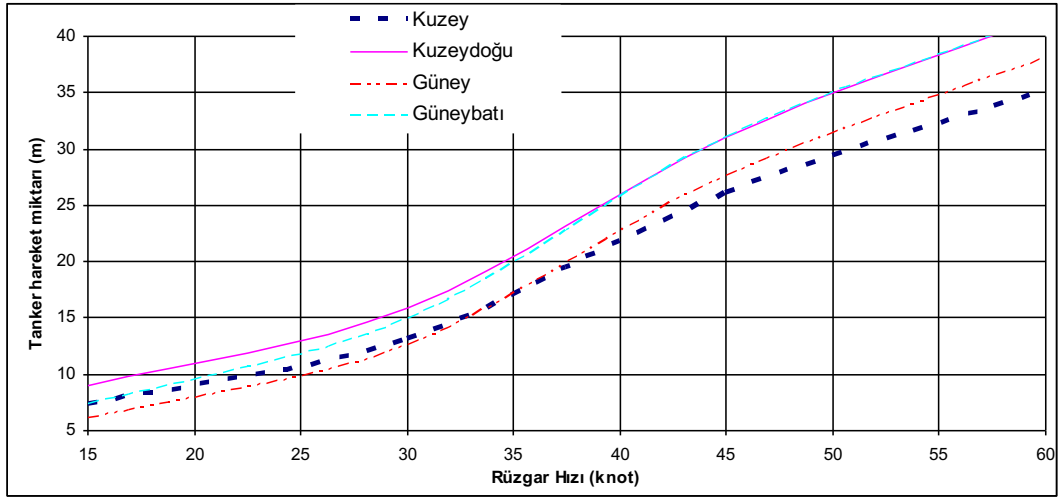
Şekil 38: Baş sancak şamandıra halatına gelen maksimum yük.



Şekil 39: Gemi ortasındaki maksimum hareket miktarı.



Şekil 40: Gemi başındaki maksimum hareket miktarı.

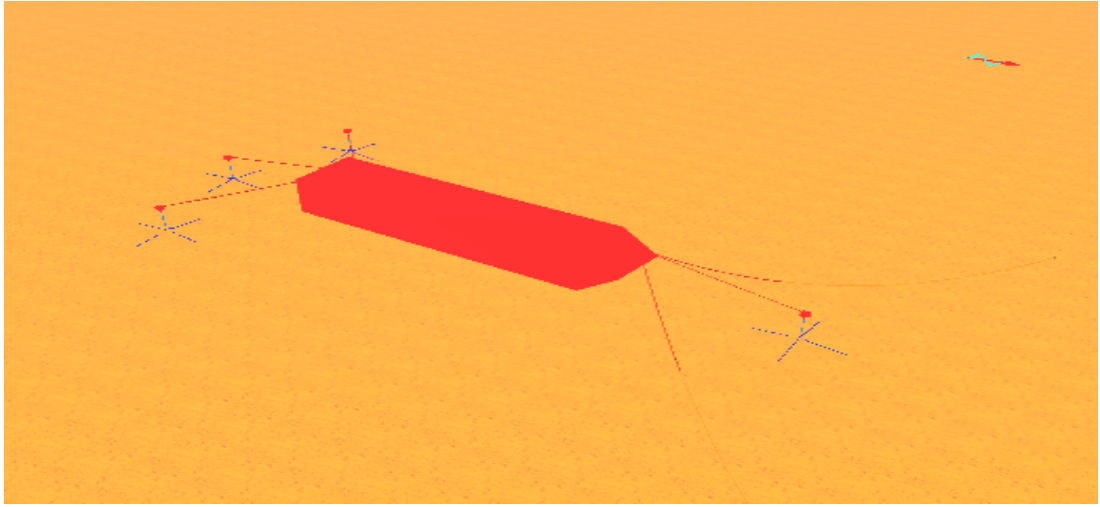


Şekil 41: Gemi kıçındaki maksimum hareket miktarı.

Programın doğrusallığı test edildikten sonra, Tanker C (maksimum tonajlı tanker) için maksimum hava koşulları (60 knot rüzgar hızı, 3 m. karakteristik dalga yüksekliği ve 2.5 knot akıntı hızı) ve etkin rüzgar yönlerinde (N, NE, S, SW) bir grup benzetim çalışmalarına tabi tutulmuştur. OrcaFlex™ programı kullanılarak 240 adet benzetim yapılmıştır. Bu benzetimlere bir örnek olarak 6 noktadan bağlı sistem (A12) Şekil 42’de görülmektedir.

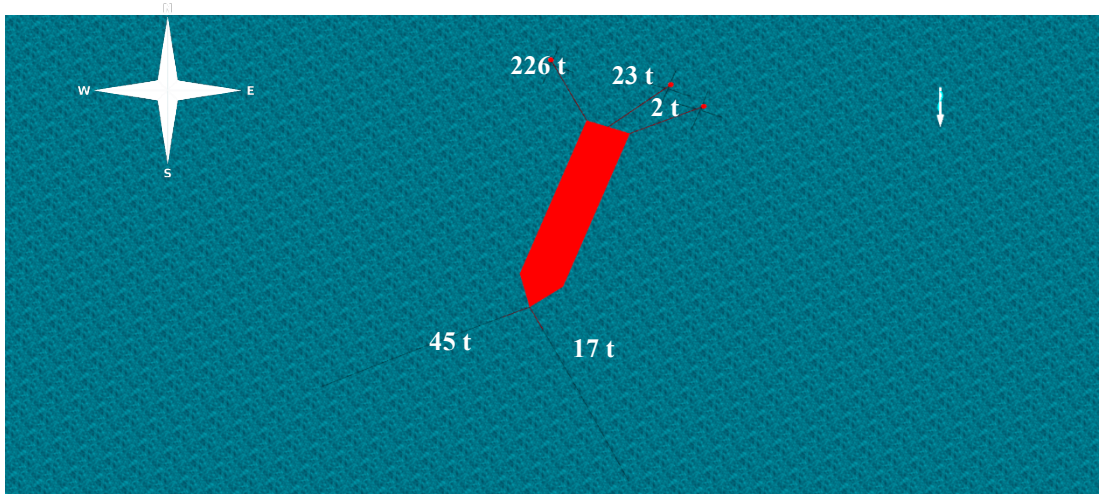
12 farklı tanker-şamandıra bağlama seçeneği için halat ve çapalara gelen maksimum gerilme miktarları ve tankerlerin baş, orta ve kıç kısmındaki maksimum hareket miktarları hesaplanmıştır. Tablo 11’de Tanker C için tüm bağlama seçeneklerinde OrcaFlex™ programı kullanılarak elde edilen maksimum gerilme değerinin oluştuğu yöndeki maksimum halat gerilme değerleri verilmiştir. Yine aynı şekilde Tanker C

için tüm bağlama sistemi seçeneklerinde gemi başında, ortasında ve kış kısmındaki maksimum hareket miktarları ise Tablo 12’ de verilmiştir.

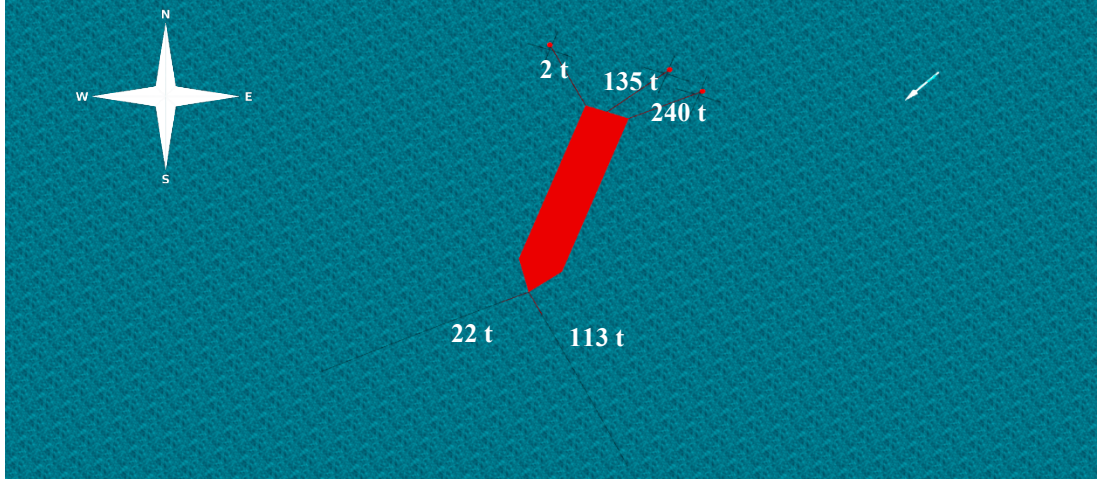


Şekil 42: 6 Noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi (A12).

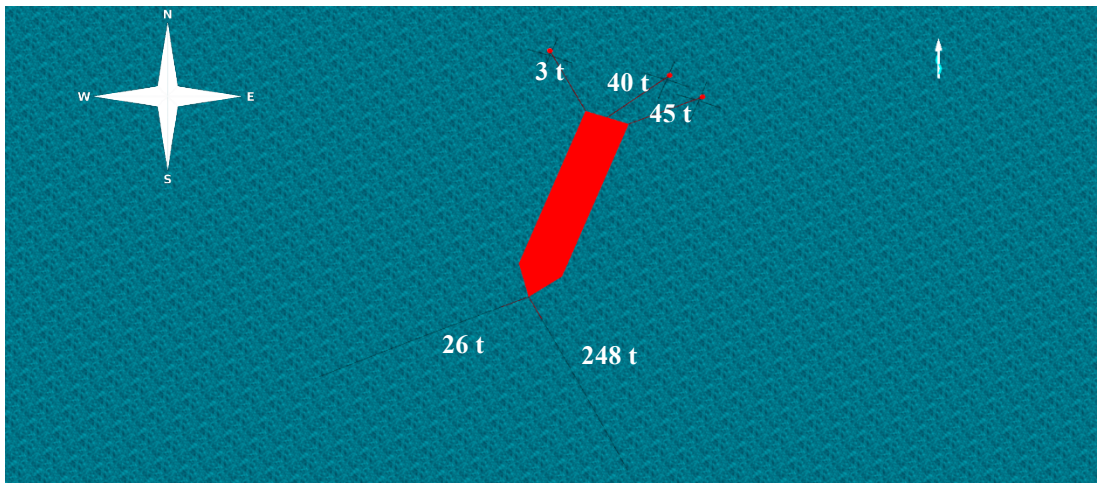
A10 için, tüm bağlama halat ve çapa zincirlerindeki maksimum gerilme değerleri Şekil 43-46’da verilmektedir.



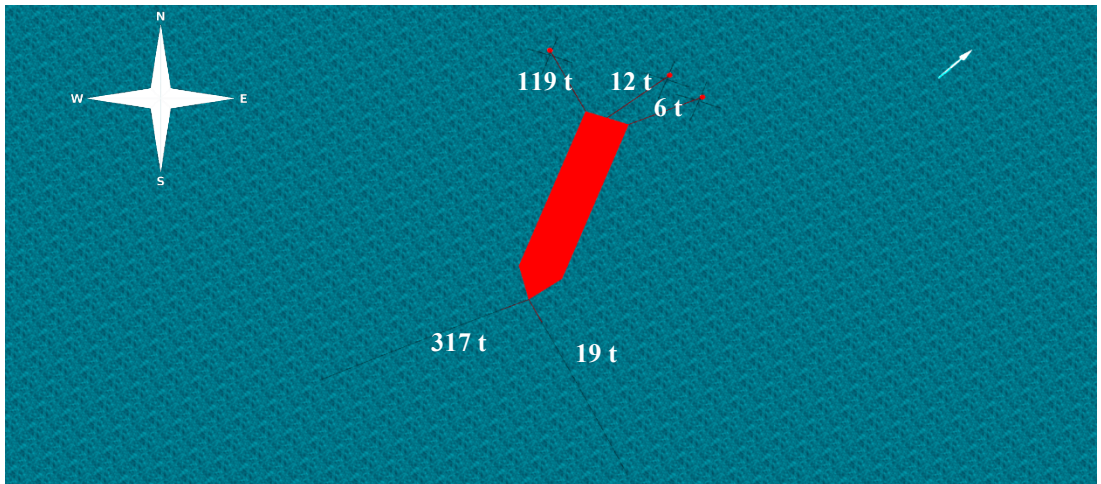
Şekil 43: A₁₀ hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey).



Şekil 44: A_{10} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü kuzey doğu).



Şekil 45: A_{10} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney).



Şekil 46: A_{10} hat gerilme değerleri (Etkin rüzgar yönü güney batı).

Tablo 11: Tanker C için maksimum gerilme değerleri.

	Gerilme (ton)	Rüzgar yönü	Bağlama hattı
A1	714	Güneybatı	K1ç merkez
A2	725	Güneybatı	Baş merkez
A3	706	Güneybatı	K1ç sancak
A4	690	Güneybatı	K1ç sancak
A5	424	Kuzeydoğu	K1ç iskele
A6	417	Kuzeydoğu	K1ç iskele
A7	398	Kuzeydoğu	K1ç iskele
A8	313	Güney	Baş iskele
A9	387	Kuzeydoğu	K1ç iskele
A10	240	Kuzeydoğu	K1ç iskele
A11	252	Kuzeydoğu	K1ç iskele
A12	225	Kuzeydoğu	K1ç iskele

Tablo 12: Tanker C için maksimum yer değiştirme miktarları.

Seçenekler	Tanker maksimum yer değiştirme miktarı (m)		
	Gemi ortasında	Gemi Başında	Gemi K1çında
A1	74	95	58
A2	81	106	72
A3	45	79	30
A4	45	82	16
A5	34	44	42
A6	32	33	38
A7	26	31	33
A8	28	29	37
A9	25	25	35
A10	21	24	32
A11	19	20	28
A12	22	20	20

4. ANN VE ANFIS İLE TANKER-ŞAMANDIRA BAĞLAMA SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ

Bu bölümde, dört noktadan bağlı tanker-şamandıra bağlama sisteminin ANN ve ANFIS yöntemleri ile modellenmesi uygulamasına yer verilmiştir.

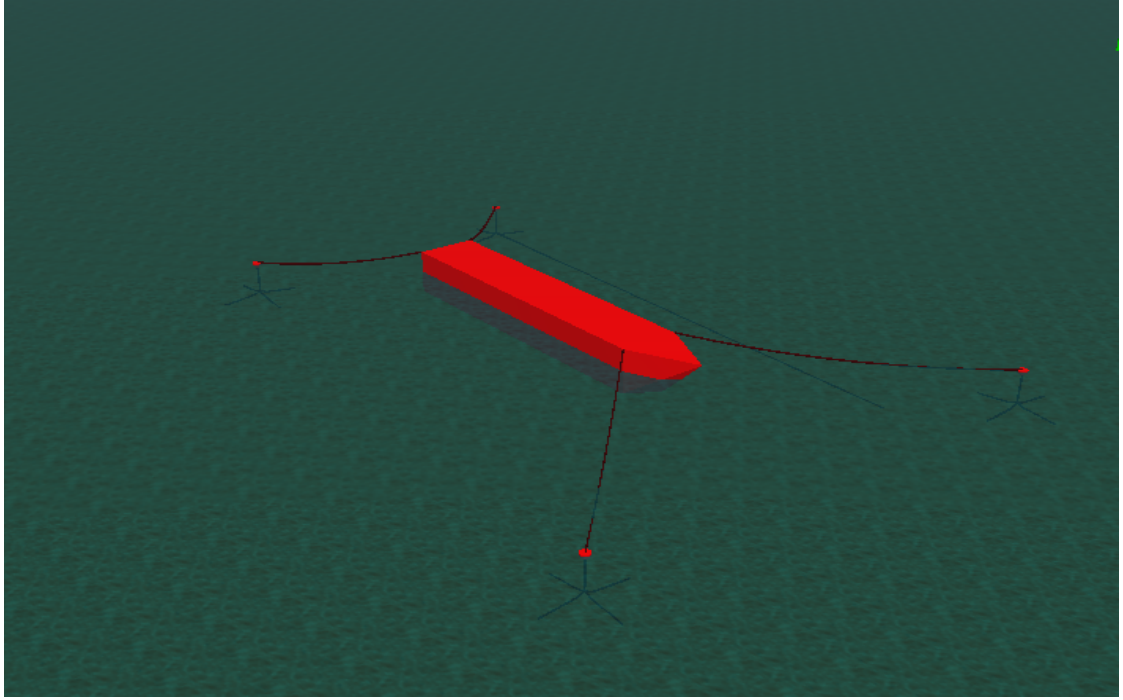
4.1 Model 1

Dalga, akıntı ve rüzgar gibi çevresel yüklere maruz kalan dört noktadan bağlı tanker-şamandıra sistemi için bağlama halatlarına gelen yükler ile tankerin yer değiştirmeleri hesaplanacaktır. Tanker, 2 baş ve 2 kış şamandıra sistemine bağlanmıştır (Şekil 42). Bu hesaplarda, geminin baş ve kış taraflarında bağlama halatlarının gemi merkez hattına göre 30 ile 75 derece arasında 1'er derece değişen açılarla bağlandığı kabul edilmiştir. Ayrıca halatlar geminin baş ve kış kısmından başlayarak gemi ortasına kadar 1'er metre artımlarla yer değiştirecek şekilde bağlanarak modellenmiş ve her değişim durumu için OrcaFlex programı ile simülasyon çalışmalarına tabi tutulmuştur. Bağlama sistemi global eksen takımına göre 180 derecelik açı yapacak şekilde konumlandırılmıştır.

4.1.1 Tanker-Şamandıra bağlama sistemi genel karakteristikleri

Tanker-şamandıra sisteminde bağlama halatlarına gelen maksimum gerilme ve yer değiştirme miktarlarını hesaplamak için farklı çevre şartlarını, bağlama konum ve yerlerini içeren senaryolar için simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Tablo 11, simülasyonda kullanılan rüzgar, akıntı ve dalga karakteristikleri ve yönleri hakkında bilgi vermektedir.

OrcaFlex ile yapılan modellerden Tablo 12'de kullanılan tankerlerin özellikleri ve Tablo 13 simülasyon da kullanılan değişkenlerin özellikleri verilmiştir.



Şekil 47: Tanker-şamandıra bağlama sistemi.

Tablo 13: Tanker için simülasyon senaryo aralıkları.

Yön	Rüzgâr hızı (m/s)	Akıntı hızı (m/s)	Dalga yüksekliği (m)	Dalga periyodu (s)
Güney	0-30	0-2	0-5	3,5-7,5
Güneybatı	0-30	0-2	0-5	3,5-7,5
Kuzey	0-30	0-2	0-5	3,5-7,5
Kuzeydoğu	0-30	0-2	0-5	3,5-7,5

Tablo 14: Tankerin genel özellikleri.

		TankerA	TankerB	TankerC
Deplasman	Δ (ton)	27180	64426	125832
Tam boy	LOA (m)	150.0	200.0	250.0
Dikeyler arası boy	LBP (m)	136.9	182.6	228.2
Genişlik	B (m)	23.23	30.97	38.71
Tasarım su çekimi	Tdesign (m)	9.69	12.93	16.17
Boyuna rüzgar kesit alanı	AL (m ²)	1296.5	2304.9	3601.4
Enine rüzgar kesit alanı	AT (m ²)	308.6	548.6	857.2
Blok katsayısı	C _B	0.804	0.804	0.804

Tablo 15: Orcaflex simülasyon model özellikleri.

Değişkenler	Değerler
en_a	180
h	3,00
w	2-50
c	3,00
t	5,00
a	60,00
l	0,00

Burada;

- en_a : Akıntı, dalga ve rüzgarın yönü (açısı) (derece),
h : Dalga yüksekliği (m),
w : Rüzgar hızı (m/s),
c : Akıntı hızı (m/s),
t : Dalga periyodu (s),
a : Halatın gemiye bağlanma açısı (derece),
l : Bağlama noktasının kabul edilen ilk noktaya uzaklığı (m),

olarak kabul edilmiştir.

Hesaplamalarda bağlantı şamandıralarının yüzme şartını sağlayıp sağlamadığının kontrolü yapılmıştır. Şamandıralara bağlı yükselen zincir ve yatak zincirleri de hesaplama dahil edilmiştir.

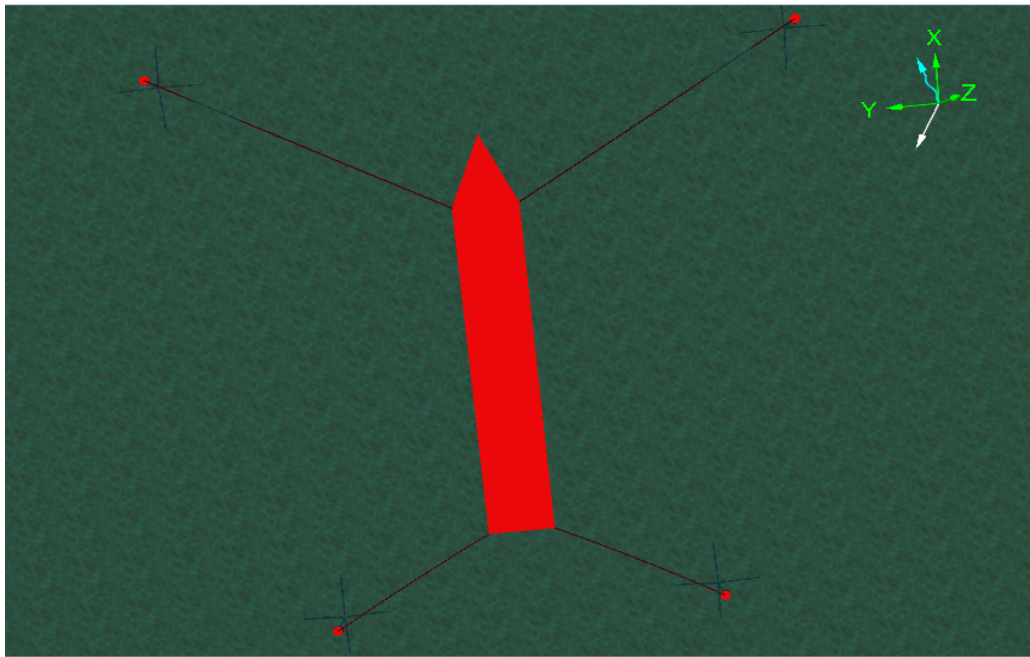
OrcaFlex programında gemi formu oluşturulurken, programın kendi içinde bulunan gemi formu esas alınmış ve daha sonra boyut değişiklikleri uygulanmıştır. Boyut değişiklikleri uygulanırken Froud ölçeği kullanılarak RAO katsayıları, ek su kütlesi, sönüm, hidrodinamik direnç, rüzgar direnci, dalga sürüklenme kuvveti gibi katsayılar düzenlenmiştir. OrcaFlex programında kullanılan gemi formunun özellikleri Tablo 14’de verilmiştir (Mentes, 2010).

Tablo 16: OrcaFlex modeli ana boyutları.

OrcaFlex model ana boyutları	
Tam boy (m)	103
Genişlik (m)	15,95
Su çekimi (m)	6,66
Enine GM (m)	1,84
Boyuna GM (m)	114
Blok katsayısı	0,804

Programda su derinliğinin 28 m, deniz dibinin düz, kullanılan dalga tipinin JONSWAP, dalga periyodu 3,5-7,5 saniye, akıntı hesaplama yönteminin power law, dip akıntısı olmadığı, yüzey akıntısının olduğu, rüzgar tipinin sabit esen rüzgar olduğu ve rüzgar, dalga ve akıntının aynı yönden geldiği kabulleri yapılmıştır.

Simülasyon çalışmalarında bağlama açıları, bağlama noktaları, dalga özellikleri, akıntı ve rüzgar hızları ile rüzgar, akıntı ve dalganın yönü değiştirilerek simülasyonlar tekrarlanmıştır. Tablo 13’de yapılan simülasyonlarda elde edilen sonuçlardan bir kısmı verilmiştir. Bağlama konumu olarak verilen nokta Şekil 43’de gösterilen noktalardan gemi ortasına doğru değişimi göstermektedir.



Şekil 48: İlk bağlama noktası ($l=0$).

Burada;

T1 : Baş sancak halatı (kN)

T2 : Baş iskele halatı (kN)

T3 : Kıç iskele halatı (kN)

T4 : Kıç sancak halatı (kN)

x : x yönündeki yer değiştirme miktarı (m)

y : y yönündeki yer değiştirme miktarı (m)

olarak kabul edilmiştir.

4.1.2 Yapay Sinir Ağları

OrcaFlex programı ile elde edilen veriler ANN'dE eğitim için kullanılmıştır. Fakat veri aralıkları birbirlerinden çok farklı olduğu için 0-1 aralığına normalize edilmiştir. Normalizasyon sonucu Tablo 15'deki değerler Tablo 17'e, Tablo 16'daki değerler ise Tablo 18'deki değerlere dönüşmüştür.

MatLab Neural Network Toolbox (NNT) ANN uygulaması için kullanılmıştır. Kullanılan ANN mimarisi ileri beslemeli mimaridir. Eğitimli öğrenme metodlarından Levenberg-Marquardt ağ eğitiminde kullanılmıştır. Hata düzeltmesi ise en küçük kareler yöntemi ile yapılmıştır.

Gizli katmanda 14 nöronlu bir yapı kullanılmış olup aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant hiperbolik fonksiyonu seçilmiştir. Şekil 44'te gösterildiği gibi ağ eğitimi sonunda yaklaşık %90 gibi bir başarı yakalanmıştır. Daha sonra bu sonuçlar denormalize edilmiş ve simülasyondan elde edilen değerler ile karşılaştırma amaçlı Şekil 45-48'deki grafikler oluşturulmuştur. Grafiklerde de görüldüğü gibi sonuçların birbirine çok yakın değerler aldığı görülmüştür. Bu da yapay sinir ağlarının başarısını göz önüne koymaktadır.

Tablo 17: OrcaFlex simülasyonları için çevre şartları ve bağlama konumları.

Sim. No	en_a	h	w	c	t	a	l
1	180	3	1	3	6	75	40
2	175	2	1	3,5	4	60	5
3	180	3	1	3	6	75	30
4	180	3	1,5	3	6	75	30
5	180	3	1	3	6	75	35
6	170	3	3	2	5,5	45	50
7	180	3	1	3	6	60	20
8	180	3	1	3	6	60	25
9	150	2	1	2	4	60	0
10	20	3	31	1,3	5,5	75	40
11	180	3	1	3	6	30	15
12	15	3	4	1,5	5,5	60	20
13	180	3	1	3	6	60	0
14	20	3	31	1,3	5,5	75	0
15	20	3	31	1,3	5,5	75	35
16	180	3	1	3	6	30	10
17	20	3	20	1,3	5,5	75	5
18	180	3	1	3	6	75	10
19	20	3	31	1,3	5,5	75	30
20	20	3	31	1,3	5,5	75	25
21	180	3	1	3	6	30	0
22	180	3	1	3	6	60	25
23	180	3	1	3	6	75	25
24	30	3	5	2	5,5	60	35
25	20	3	31	1,3	5,5	75	20
26	20	3	31	1,3	5,5	75	5
27	180	3	1	3	6	60	25
28	20	3,5	1,5	3,5	4,5	30	15
29	20	3	31	1,3	5,5	75	10
30	20	3	31	1,3	5,5	75	15
31	50	3	17	2	5,5	60	40
32	20	3	31	1,3	5,5	75	50
33	20	3	31	1,3	5,5	30	0
34	185	3	1	3	6	75	20
35	20	3	31	1,3	5,5	30	30
36	20	3	31	1,3	5,5	30	35
37	20	3	31	1,3	5,5	60	0
38	180	3	1	3	6	75	5
39	20	3	31	1,3	5,5	60	5

Tablo 18: Simülasyon sonuçları.

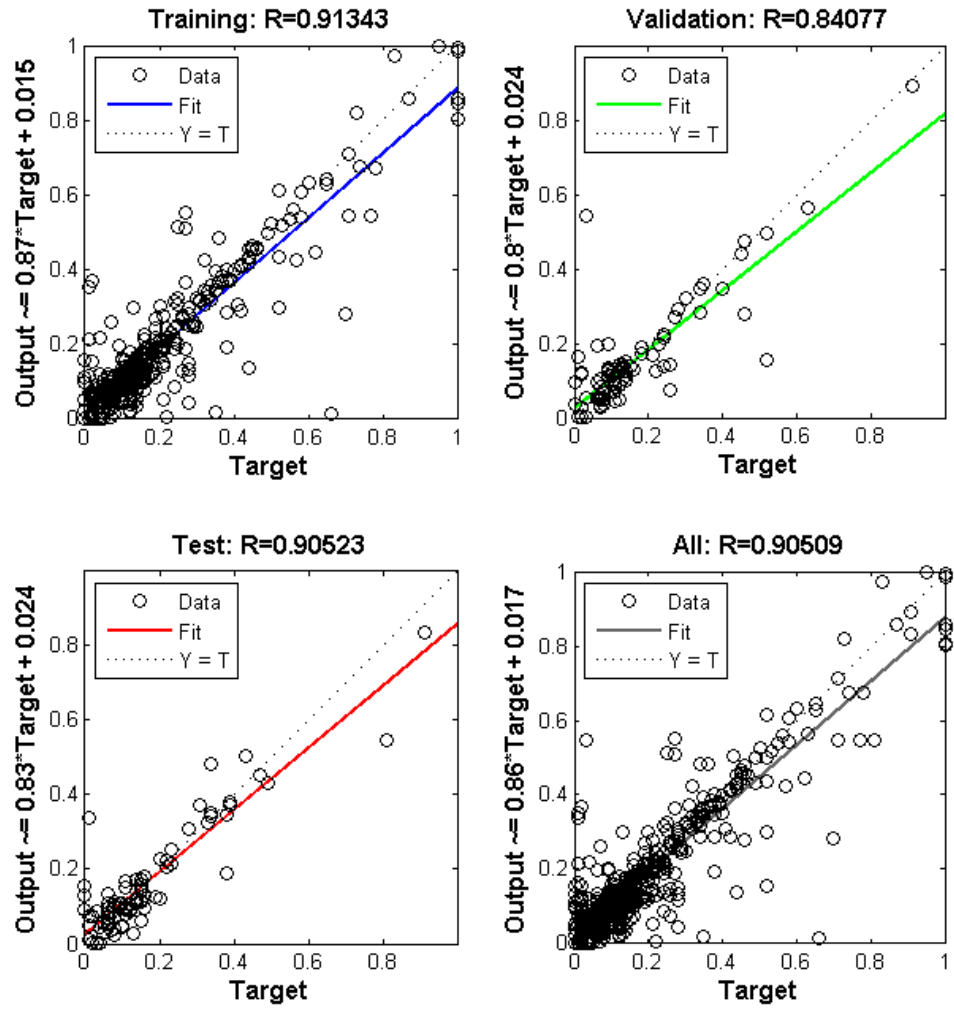
Sim. No	T1	T2	T3	T4	x	y
1	222,0	6432,8	381,1	2758,5	5,3	0,0
2	1686,8	1686,7	280,5	676,2	7,5	2,1
3	4678,8	185,0	540,8	32,8	5,8	3,0
4	4680,0	185,3	515,7	32,8	5,8	3,0
5	214,3	5459,1	404,8	2087,7	3,6	3,5
6	5545,9	323,2	742,5	1057,0	4,7	3,7
7	143,5	4396,4	129,3	1694,3	6,2	3,9
8	134,7	5063,1	114,8	2076,3	5,8	4,5
9	4111,8	451,6	867,3	1057,9	1,6	4,8
10	747,3	374,6	216,6	3487,6	5,8	4,8
11	5643,1	288,1	297,9	1813,7	3,6	4,8
12	633,7	297,2	310,0	1048,8	5,8	4,8
13	1001,7	1995,9	147,1	603,2	9,0	4,9
14	1073,3	304,3	587,8	2540,3	3,4	4,9
15	782,8	362,0	166,2	3187,8	4,9	5,0
16	5014,2	283,0	388,1	1560,6	3,7	5,0
17	791,0	308,5	163,8	1299,4	2,7	5,1
18	1490,4	1944,3	627,3	764,2	11,3	5,1
19	809,7	359,0	126,4	2942,8	4,6	5,1
20	812,8	348,9	108,6	2683,9	4,6	5,1
21	3824,8	232,3	346,8	942,5	3,4	5,1
22	6431,4	372,4	1073,4	269,7	8,8	5,2
23	291,2	3758,4	510,0	1415,8	4,8	5,2
24	2025,1	228,8	564,4	4251,2	5,8	5,2
25	862,8	348,9	172,2	2495,2	4,5	5,2
26	1016,2	324,9	543,9	2419,3	3,1	5,2
27	130,7	5723,0	68,5	2123,7	5,4	5,2
28	5738,3	756,3	417,5	7995,8	4,7	5,3
29	946,3	326,7	322,8	2425,2	3,2	5,4
30	909,6	340,9	262,9	2371,4	3,9	5,5
31	5126,5	304,2	560,8	5926,4	5,5	5,5
32	784,7	412,1	205,9	4352,8	6,2	5,5
33	1149,8	191,9	333,6	2660,9	3,4	5,6
34	158,6	5013,7	523,7	1791,7	3,5	5,6
35	1684,7	256,3	115,4	3821,8	4,9	5,7
36	1829,5	247,5	113,8	4037,5	4,9	5,7
37	1040,6	343,5	298,9	2518,3	3,5	5,7
38	1651,8	1487,5	656,6	698,2	11,1	5,7
39	1022,7	393,0	145,0	2632,1	4,4	5,8

Tablo 19: Çevre şartları ve bağlama konumlarının normalizasyon sonuçları.

Sim. No	en_a	h	w	c	t	a	l
1	0,895	0,333	0,000	0,800	0,500	1,000	0,571
2	0,868	0,000	0,000	1,000	0,000	0,667	0,071
3	0,895	0,333	0,000	0,800	0,500	1,000	0,429
4	0,895	0,333	0,017	0,800	0,500	1,000	0,429
5	0,895	0,333	0,000	0,800	0,500	1,000	0,500
6	0,842	0,333	0,067	0,400	0,375	0,333	0,714
7	0,895	0,333	0,000	0,800	0,500	0,667	0,286
8	0,895	0,333	0,000	0,800	0,500	0,667	0,357
9	0,737	0,000	0,000	0,400	0,000	0,667	0,000
10	0,053	0,333	1,000	0,114	0,375	1,000	0,571
11	0,895	0,333	0,000	0,800	0,500	0,000	0,214
12	0,026	0,333	0,100	0,200	0,375	0,667	0,286
13	0,895	0,333	0,000	0,800	0,500	0,667	0,000
14	0,053	0,333	1,000	0,114	0,375	1,000	0,000
15	0,053	0,333	1,000	0,114	0,375	1,000	0,500
16	0,895	0,333	0,000	0,800	0,500	0,000	0,143
17	0,053	0,333	0,636	0,114	0,375	1,000	0,071
18	0,895	0,333	0,000	0,800	0,500	1,000	0,143
19	0,053	0,333	1,000	0,114	0,375	1,000	0,429
20	0,053	0,333	1,000	0,114	0,375	1,000	0,357
21	0,895	0,333	0,000	0,800	0,500	0,000	0,000
22	0,895	0,333	0,000	0,800	0,500	0,667	0,357
23	0,895	0,333	0,000	0,800	0,500	1,000	0,357
24	0,105	0,333	0,134	0,400	0,375	0,667	0,500
25	0,053	0,333	1,000	0,114	0,375	1,000	0,286
26	0,053	0,333	1,000	0,114	0,375	1,000	0,071
27	0,895	0,333	0,000	0,800	0,500	0,667	0,357
28	0,053	0,500	0,017	1,000	0,125	0,000	0,214
29	0,053	0,333	1,000	0,114	0,375	1,000	0,143
30	0,053	0,333	1,000	0,114	0,375	1,000	0,214
31	0,211	0,333	0,536	0,400	0,375	0,667	0,571
32	0,053	0,333	1,000	0,114	0,375	1,000	0,714
33	0,053	0,333	1,000	0,114	0,375	0,000	0,000
34	0,921	0,333	0,000	0,800	0,500	1,000	0,286
35	0,053	0,333	1,000	0,114	0,375	0,000	0,429
36	0,053	0,333	1,000	0,114	0,375	0,000	0,500
37	0,053	0,333	1,000	0,114	0,375	0,667	0,000
38	0,895	0,333	0,000	0,800	0,500	1,000	0,071
39	0,053	0,333	1,000	0,114	0,375	0,667	0,071

Tablo 20: Simülasyon sonuçlarının normalize edilmiş değerleri.

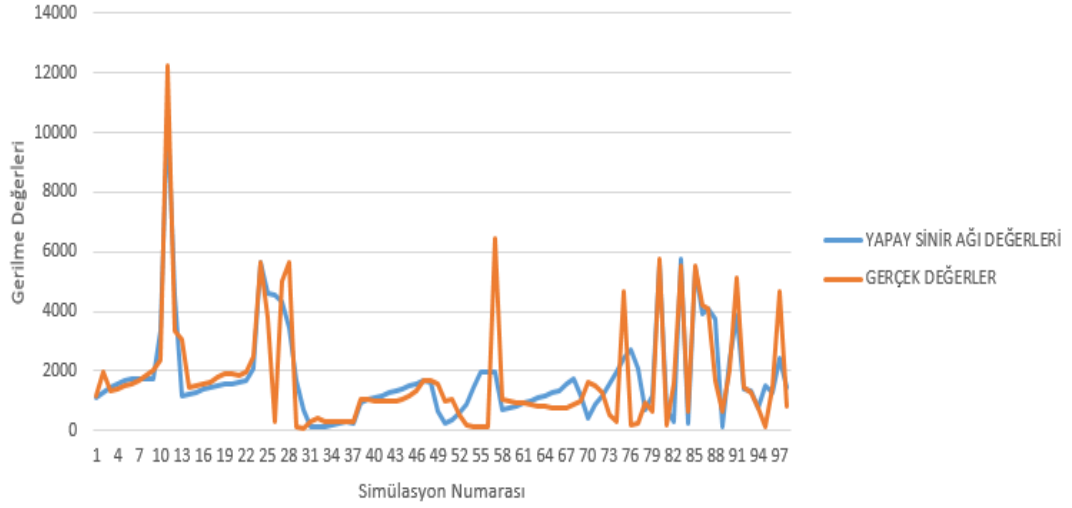
Sim. No	T1	T2	T3	T4	x	y
1	0,011	0,909	0,085	0,244	0,135	0,000
2	0,131	0,224	0,060	0,058	0,214	0,044
3	0,377	0,007	0,125	0,000	0,152	0,064
4	0,377	0,007	0,119	0,000	0,152	0,064
5	0,010	0,769	0,091	0,184	0,073	0,074
6	0,448	0,027	0,175	0,092	0,113	0,080
7	0,005	0,615	0,022	0,149	0,165	0,083
8	0,004	0,712	0,018	0,183	0,152	0,096
9	0,330	0,046	0,207	0,092	0,000	0,102
10	0,054	0,034	0,044	0,309	0,150	0,102
11	0,456	0,022	0,064	0,159	0,071	0,103
12	0,045	0,023	0,067	0,091	0,151	0,103
13	0,075	0,269	0,027	0,051	0,266	0,105
14	0,081	0,024	0,137	0,224	0,065	0,105
15	0,057	0,033	0,031	0,282	0,120	0,107
16	0,405	0,021	0,087	0,137	0,077	0,108
17	0,058	0,025	0,031	0,113	0,040	0,109
18	0,115	0,261	0,147	0,065	0,348	0,109
19	0,059	0,032	0,021	0,261	0,108	0,109
20	0,060	0,031	0,017	0,237	0,110	0,109
21	0,307	0,014	0,076	0,081	0,065	0,110
22	0,521	0,034	0,258	0,021	0,260	0,110
23	0,017	0,523	0,117	0,124	0,115	0,110
24	0,159	0,013	0,131	0,378	0,151	0,111
25	0,064	0,031	0,033	0,220	0,103	0,111
26	0,076	0,027	0,126	0,214	0,054	0,111
27	0,004	0,807	0,007	0,187	0,136	0,111
28	0,464	0,090	0,094	0,713	0,111	0,113
29	0,071	0,028	0,070	0,214	0,056	0,116
30	0,067	0,030	0,056	0,209	0,084	0,117
31	0,414	0,024	0,130	0,528	0,140	0,117
32	0,057	0,040	0,041	0,387	0,168	0,118
33	0,087	0,008	0,073	0,235	0,063	0,119
34	0,006	0,704	0,121	0,157	0,069	0,119
35	0,131	0,017	0,019	0,339	0,118	0,121
36	0,143	0,016	0,018	0,359	0,119	0,121
37	0,078	0,030	0,065	0,223	0,068	0,122
38	0,128	0,195	0,154	0,060	0,344	0,122
39	0,077	0,037	0,026	0,233	0,100	0,123



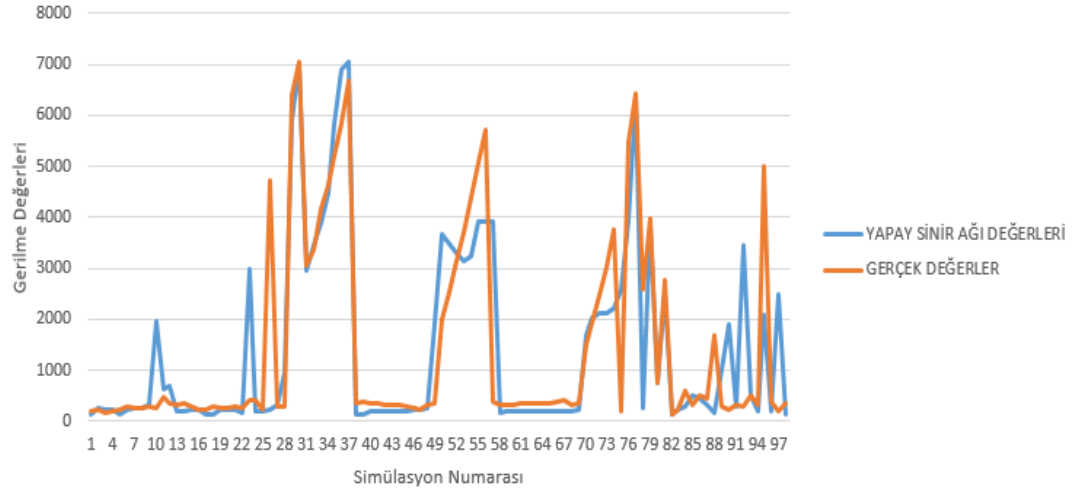
Şekil 49: ANN eğitim sonuçları.

ANN eğitim sonuçlarında eğitim verileri % 91, doğrulama verileri %84 ve test verileri %91 başarı ile sonuçlanmıştır. Verilerin %70'i test verisi olduğu için toplam sonuç test verisine yakın sonuç olan %91 olarak alınmıştır.

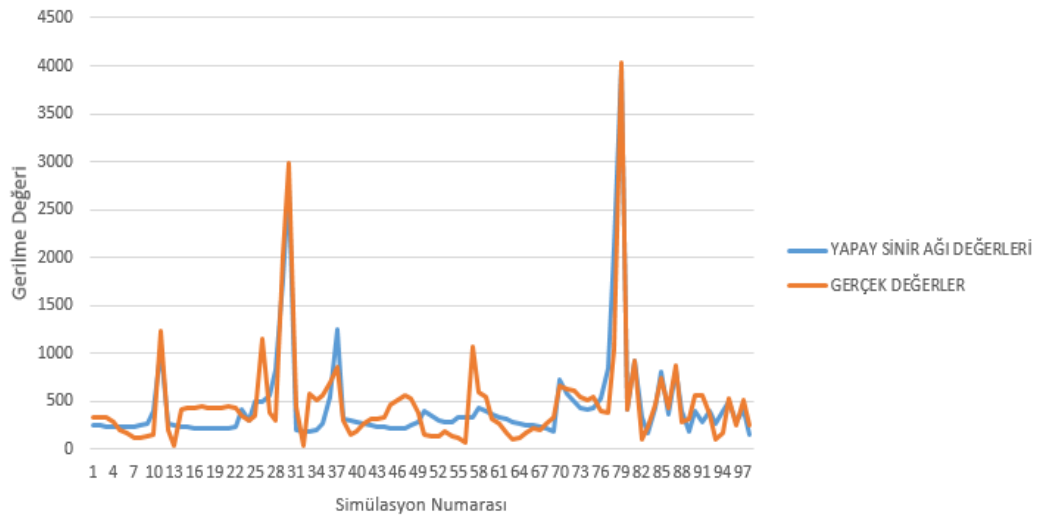
Şekil 44'te baş sancak halatı, Şekil 45'te baş iskele halatı, Şekil 46'da kık iskele halatı ve Şekil 47'de kık sancak halatı için simülasyonlardan elde edilen gerilme değerleri ile ANN'den elde edilen değerlerin karşılaştırılması görülmektedir.



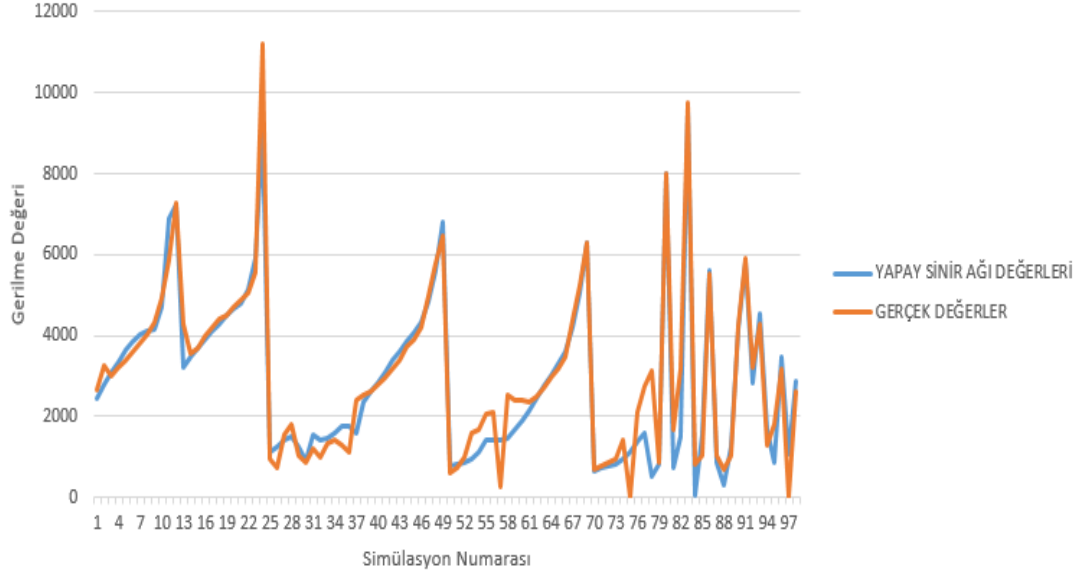
Şekil 50: Baş sancak halatı sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 51: Baş iskele halatı sonuçlarının karşılaştırılması.



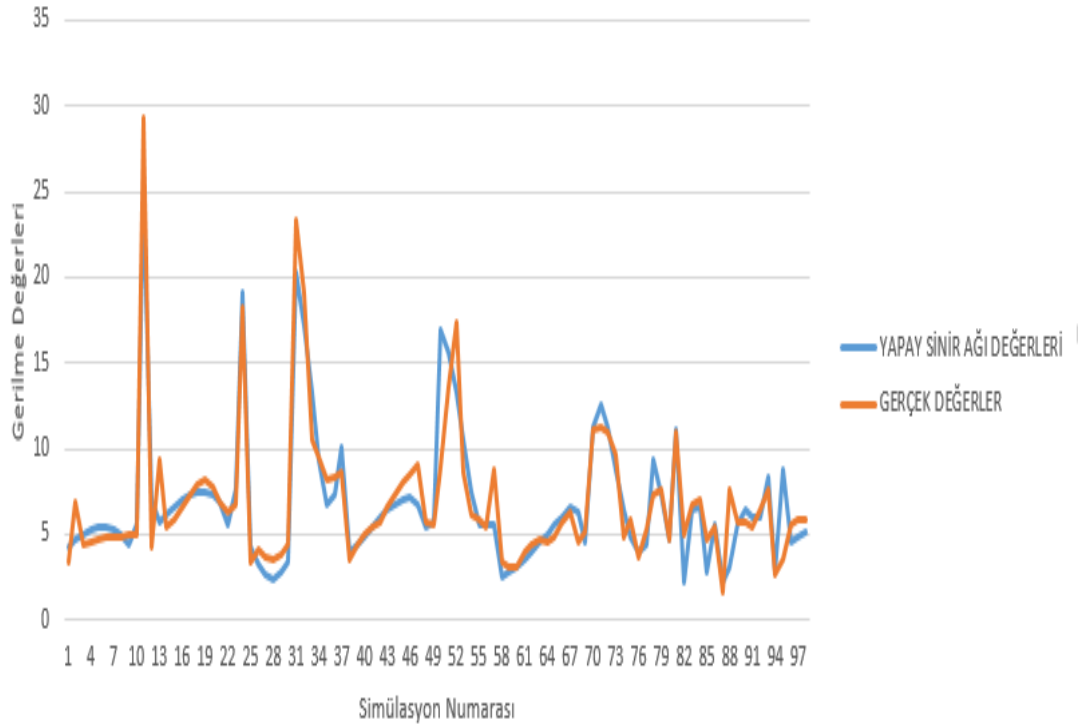
Şekil 52: Kıç iskele halatı sonuçlarının karşılaştırılması.



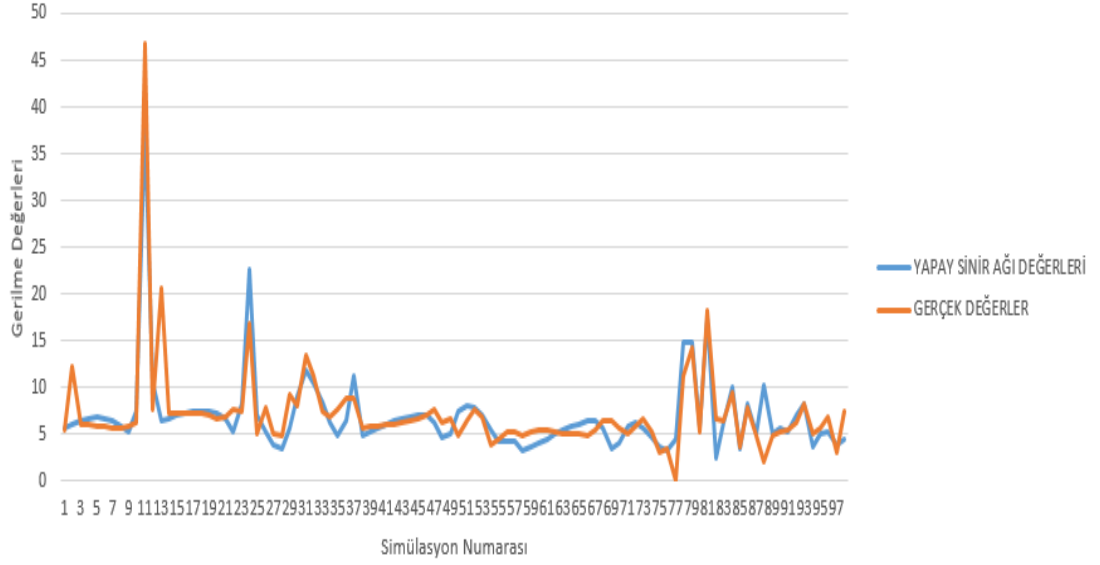
Şekil 53: K1ç sancak halatı sonuçlarının karşılaştırılması.

Tankerin x ve y yönlerindeki yer değiştirmeleri de ANN algoritmasında hesaplanmıştır. x-yönündeki yer değiştirmeler ile ANN'den elde edilen yer değiştirme sonuçları Şekil 49'de, y-yönündeki sonuçların karşılaştırması ise Şekil 50'de gösterilmiştir.

Grafiklerde de %90,5 doğruluk oranında sonuçların örtüştüğü görülmektedir.



Şekil 54: x-yönündeki yer değiştirme sonuçlarının karşılaştırılması.



Şekil 55: y-yönündeki yer değiştirme sonuçlarının karşılaştırılması.

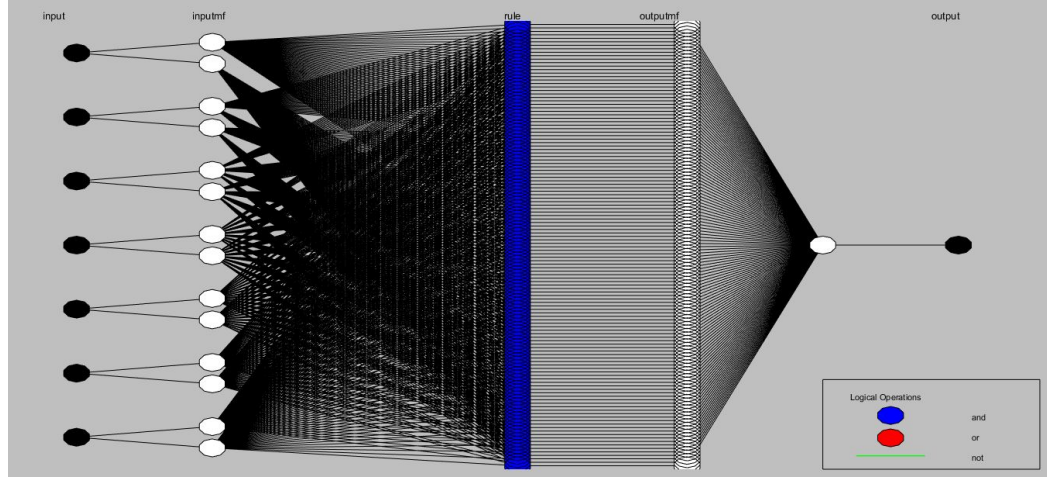
Ayrıca MatLab yazılımı kullanılarak 1000 farklı çevre durumu için oluşturulan ANN simüle edilmiş ve Tablo 19’da verilen değerler ile toplam gerilmenin minimum olduğu durum saptanmıştır.

Tablo 21: Optimum gerilmenin bulunduğu şartlar.

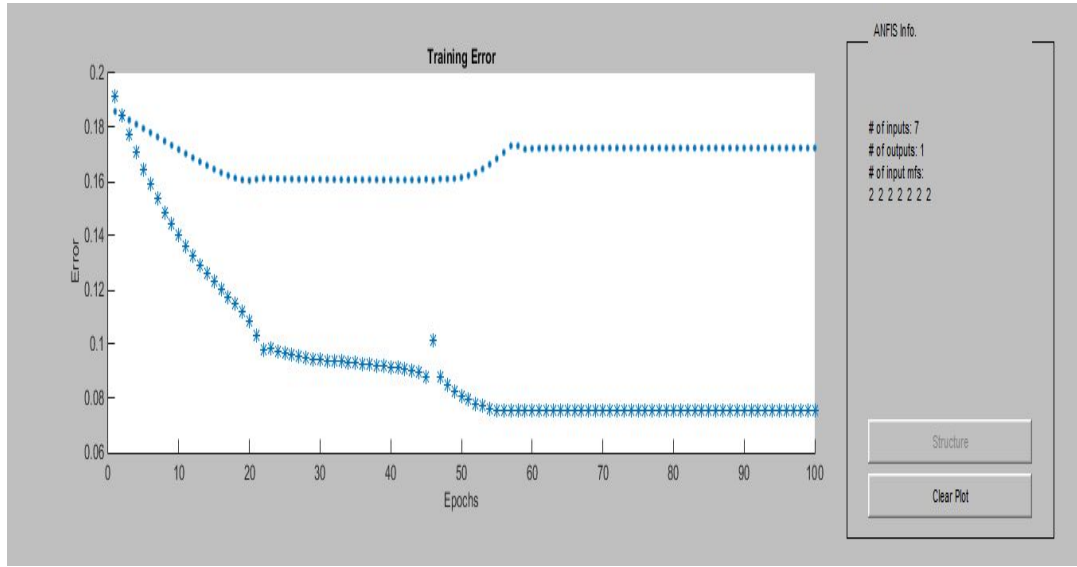
Değişkenler	Değerler
en_a	180
h	3,8
w	10
c	1,2
t	8
a	47
l	0

4.1.3 ANFIS

Simülasyonlardan elde edilen veriler ANFIS algoritması oluşturmak için kullanılmıştır. ANFIS’e veriler girilmeden önce tüm değerler [0,1] aralığına normalize edilmiştir. Oluşturulan ANFIS modelinin yapısı Şekil 51’de verilmiştir.



Şekil 56: ANFIS yapısı (ANFIS structure).



Şekil 57: ANFIS iterasyon sonuçları (ANFIS iteration results).

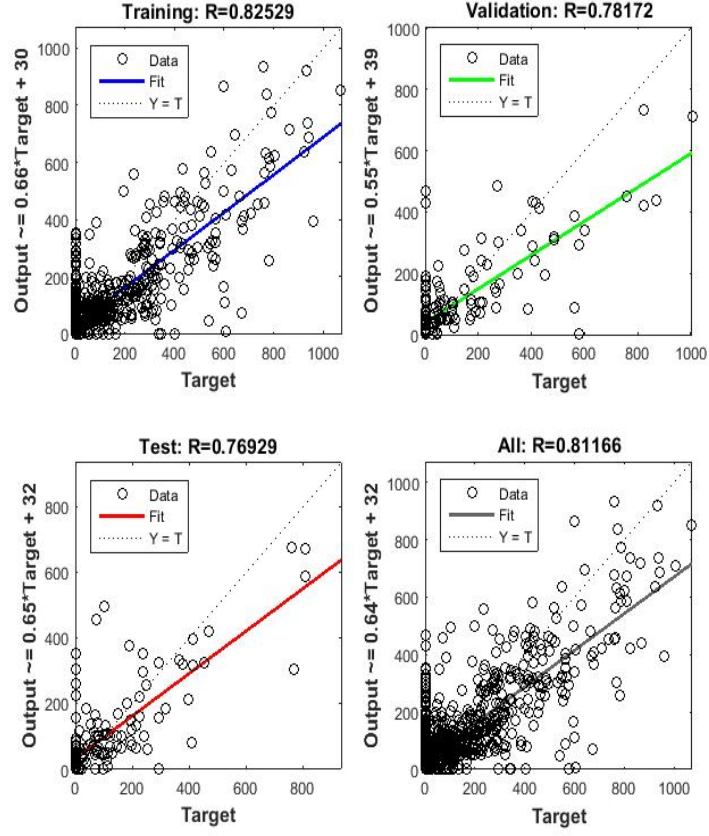
Geriye yayılma yöntemiyle 100 iterasyon yapılmış ve hata miktarı 0.07544 olarak bulunmuştur (Şekil 52).

4.2 Model 2

İkinci modelde kıçta iki noktadan şamandıraya bağlı başta iki noktası da gemi çapası ile demirlenip sabitlenen tanker-şamandıra bağlama sistemi kullanılmıştır (Tablo 3.1). Bu sistemde çapalar gemi başında ve halatlar gemi kıçında 45'er derecelik açılarla ve sabit tutulmuş, çevre şartları (rüzgar, dalga ve akıntı) değişimi dikkate alınmıştır. İlk modele göre daha az sayıda veri ANN ve ANFIS tekniklerinde kullanılmıştır.

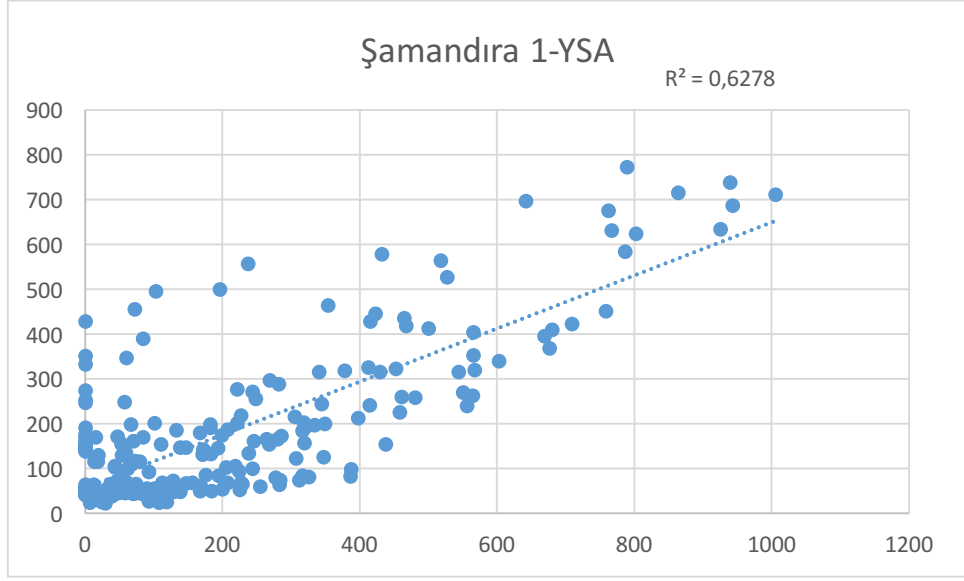
4.2.1 Yapay Sinir Ağları (Model 2)

Yapay sinir ağları tekniği kullanılarak Tanker A, B ve C için oluşturulan simülasyon senaryolarının sonuçları modellenmiştir. Model %81 oranında sonuçlarla örtüşmüştür (Şekil 53).

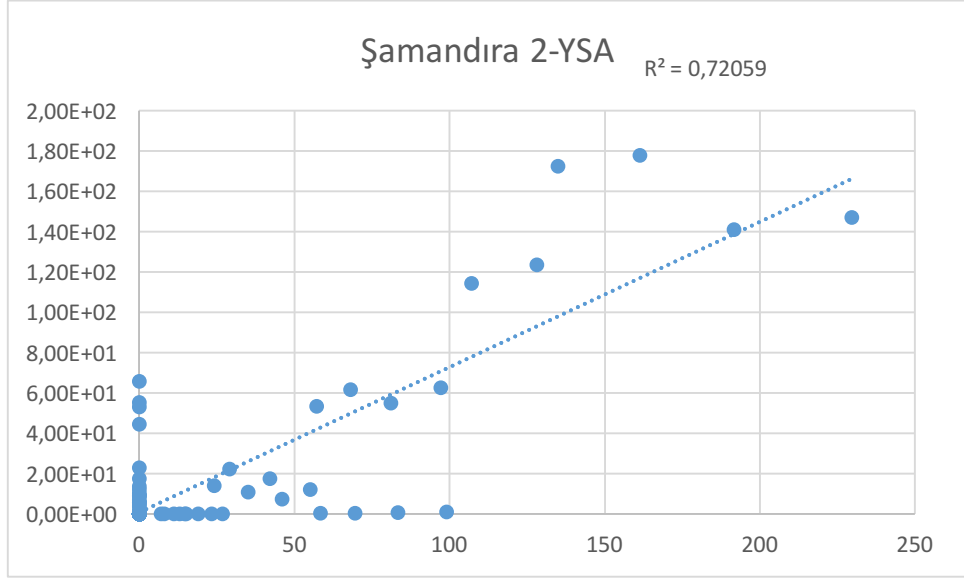


Şekil 58: Model 2 için oluşturulan ANN sonuçları.

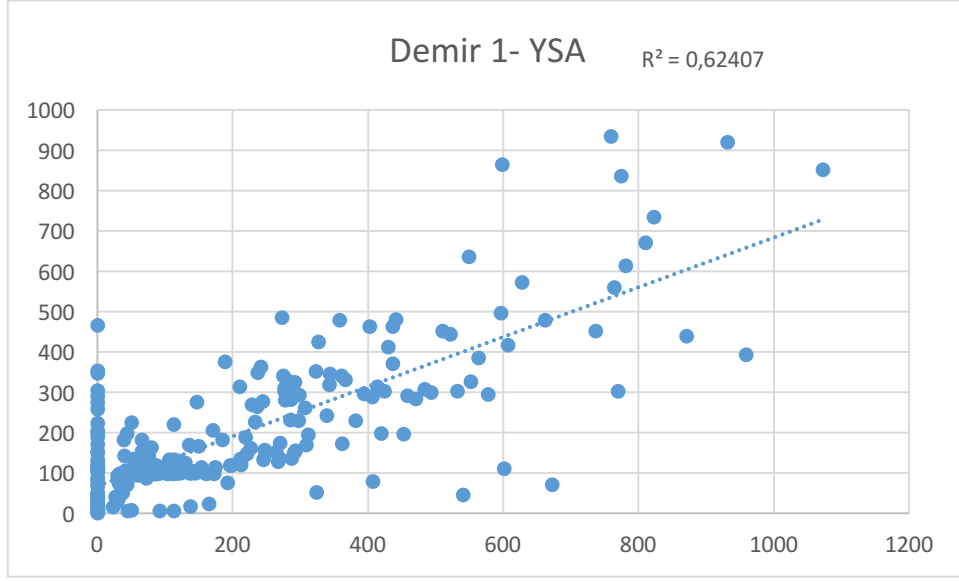
Şekil 54, 55, 56 ve 57 sırasıyla şamandıra 1, şamandıra 2, demir 1 ve demir 2 için ANN sonuçları ile simülasyon sonuçlarını vermektedir.



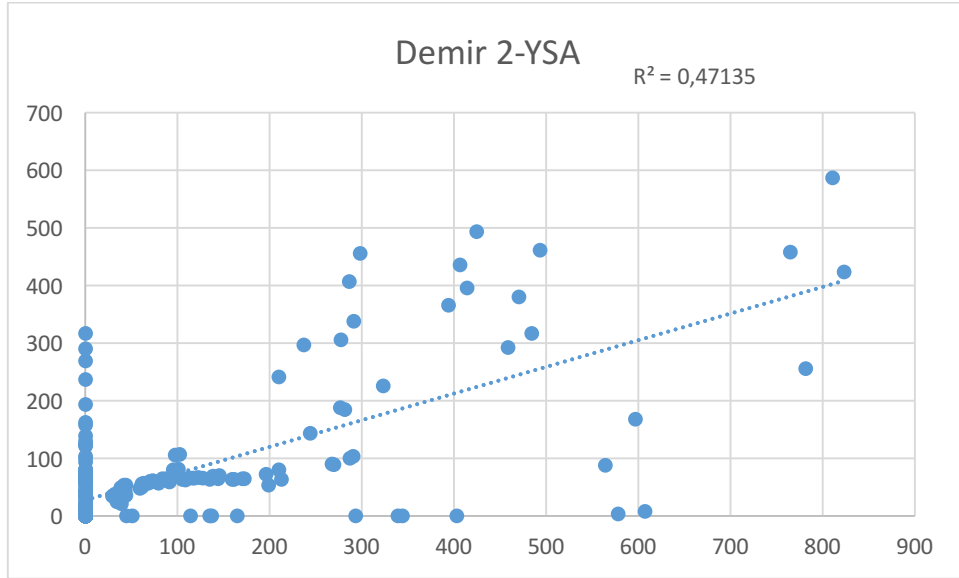
Şekil 59: Şamandıra 1 için ANN ve simülasyon karşılaştırması.



Şekil 60: Şamandıra 2 için ANN ve simülasyon karşılaştırması.



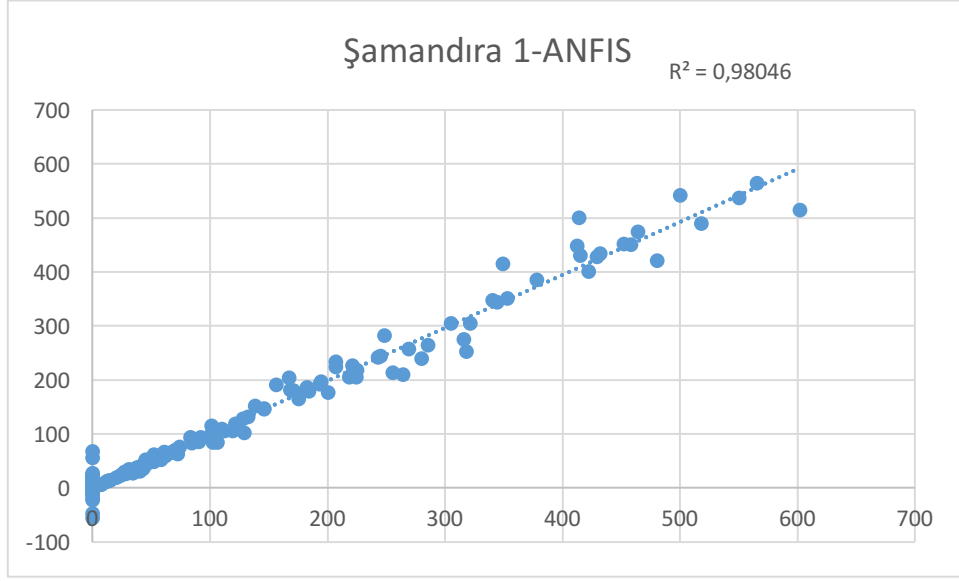
Şekil 61: Demir 1 için ANN ve simülasyon karşılaştırması.



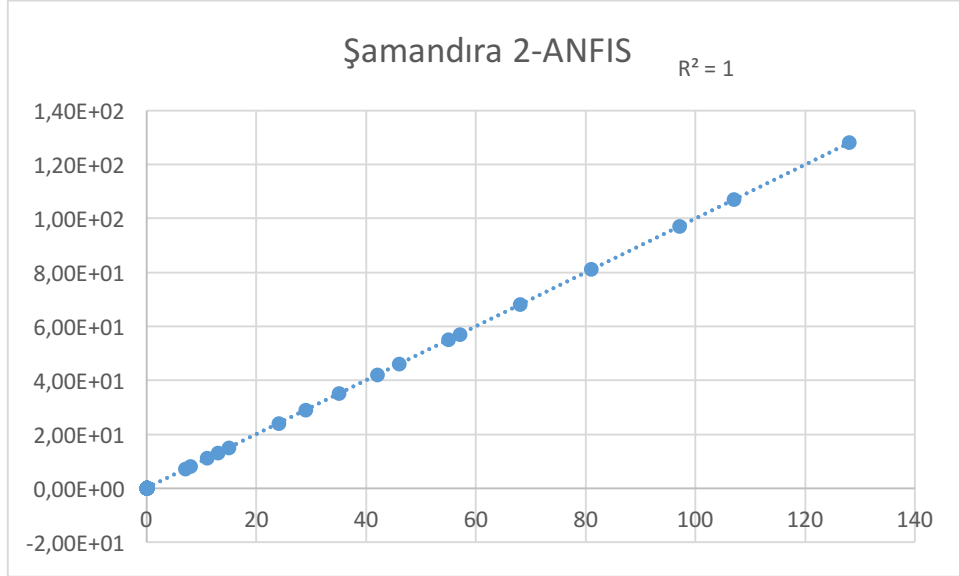
Şekil 62: Demir 2 için ANN ve simülasyon karşılaştırması.

4.2.2 ANFIS (Model 2)

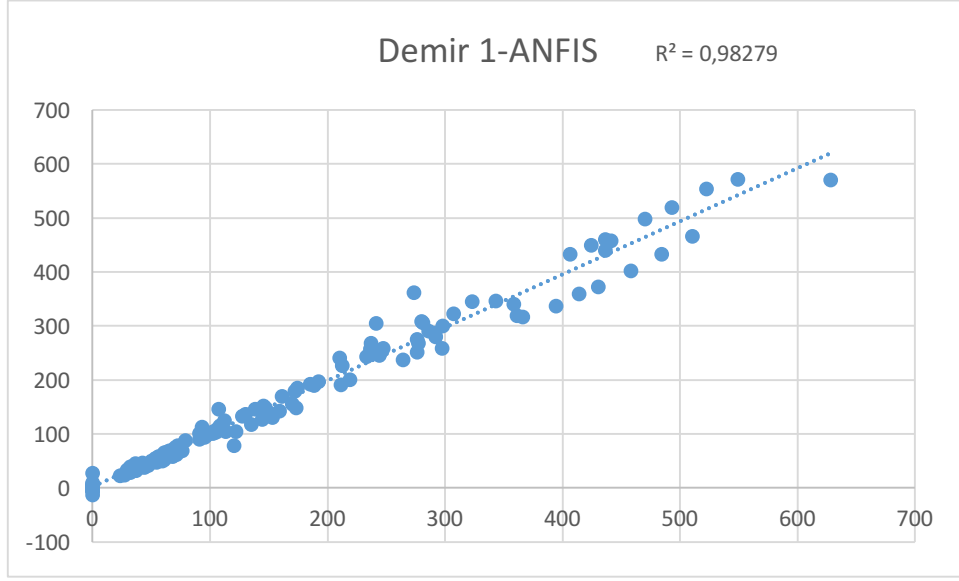
Tanker A, B ve C için aynı simülasyon senaryoları ile her bir şamandıra ve demir için ayrı ayrı ANFIS modelleri oluşturulmuştur. Şekil 58, 59, 60 ve 61 elde edilen ANFIS sonuçları ile simülasyon sonuçlarını her bir şamandıra ve demir için göstermektedir. Görüldüğü üzere ANFIS, ANN'e göre daha yaklaşık sonuçlar vermektedir. Bu durum veri sayısının düşük olması durumunda ANFIS'in ANN'deki hata aralığını azaltıp daha hassas sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir.



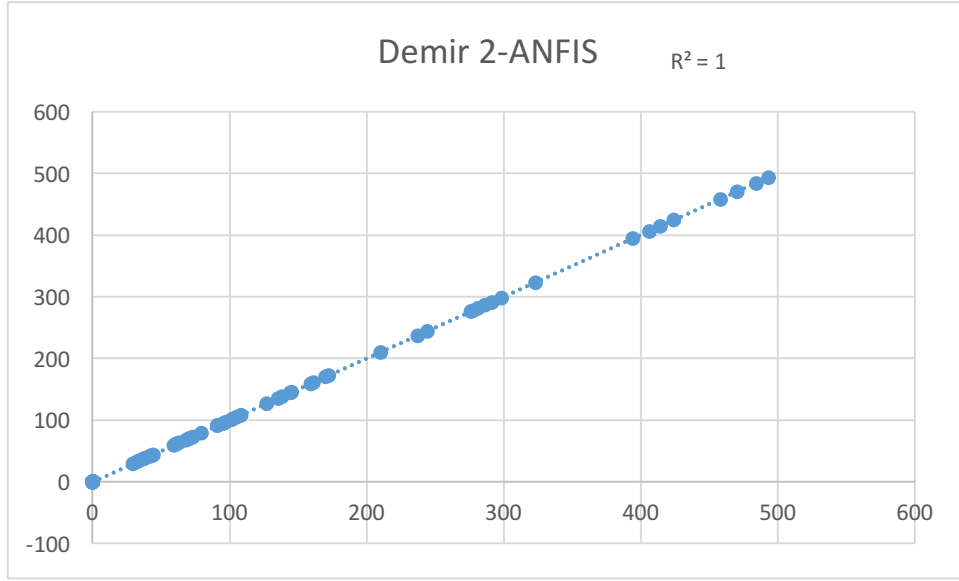
Şekil 63: Şamandıra 1 için ANFIS ve simülasyon karşılaştırması.



Şekil 64: Şamandıra 2 için ANFIS ve simülasyon karşılaştırması.



Şekil 65: Demir 1 için ANFIS ve simülasyon karşılaştırması.



Şekil 66: Demir 2 için ANFIS ve simülasyon karşılaştırması.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 12 farklı çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemi için bağlama halatlarına / zincirlere gelen yükler değişik tonajdaki tankerler için hesaplanmış ve tankerlerin yer değiştirme miktarları elde edilmiştir. Bu değerlerin hesaplanmasında Orcaflex programı kullanılmış ve 2 farklı 4 noktalı bağlama sistemi (4 şamandıralı ve 2 şamandıra ve 2 çapalı sistem) için elde edilen sonuçlar ANN ve ANFIS teknikleri için giriş verisi olmuştur.

İlk modelde (4 şamandıra ile bağlı sistem) çevre şartları, gemi boy, tonaj vb. dışında halat yerleri ve açıları da model için birer değişken olarak kullanılmış ve yapılan hesaplamalarda 4 noktalı bağlama sistemleri için sonuçlar ANN ve ANFIS teknikleri için %90,5 doğruluk seviyesinde elde edilmiştir. İkinci modelde (2 şamandıra – 2 çapa ile bağlı sistem) halat açıları ve yerleri sabit kabul edilmiş ve daha az sayıda simülasyon gerçekleştirilmiştir. Mevcut veri ile ANN’de % 81 doğruluk seviyesinde sonuçlar elde edilirken, ANFIS’de % 98 - % 100 doğruluk seviyesinde sonuçlar elde edilebilmiştir. Bu durum eldeki verinin eksik, hatalı veya yetersiz olduğu durumlarda ANFIS tekniğinin daha etkin bir şekilde kullanılabileceğini ve daha hassas sonuçlar elde edilebileceğini göstermiştir.

ANFIS ile modelleme sayesinde OrcaFlex vb. simülasyon programlarına ilk kullanımdan sonra ihtiyaç duyulmadan, çok noktalı bağlama sistemlerinde halat gerilmelerini ya da tanker yer değiştirme miktarlarını hassas bir şekilde hesaplamak mümkün olabilmektedir. Tanker-şamandıra bağlama sistemlerinde en uygun bağlama hattının ve yerinin seçimi, halat gerilmelerinin ve tanker yer değiştirmelerinin hesabı petrol yükleme-boşaltma tesislerinde olası riskleri azaltarak can, mal, deniz kirliliği vb. kritik faktörleri önleyerek emniyeti arttıracak için büyük önem arz etmektedir. İleriki çalışmalarda TLP, SPAR, yarıbatık gibi açık deniz yapıları için Yapay Sinir Ağları ve Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi teknikleri kullanılarak modellemeler yapılacaktır.

KAYNAKLAR

- ABS** (2009), Rules for Building and Classing Steel Vessels, Part 3, *Hull Construction and Equipment*.
- Anderson, J.A.** (1983), Cognitive and psychological computation with neural models, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, **SMC-13**, 799-814.
- Ansari, K. H.**, 1999. Mooring Dynamics of Offshore Vessels. Development in Offshore Engineering Wave Phenomena and Offshore Topics, Chapter 5, pp. 195-255, Gulf Publishing Company, Houston, Texas.
- Barltrop, N.D.P.** (1998), Floating structures: a guide for design and analysis, 1 & 2, OPL, Ledbury, England
- Chung, J. Ve Hulbert G.M.** (1993), A time integration algorithm for structural dynamics with improved numerical dissipation: The generalized- α method. *ASME Journal of Applied Mechanics*, **60**, 371-375.
- Caudill, M.** (1988), Neural Networks Primer Part III, *AI Expert*, 53-59.
- Civalek, Ö. ve Çatal, H.H.** (2004), Geriye yayılma yapay sinir ağları kullanılarak elastik kirişlerin statik ve dinamik analizi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, **1**, 1-16.
- Cummins, W.E.** (1962), The Impulse Response Function and Ship Motions, *Schiffstechnik*, **9**, 101-109.
- d’Hautefeuille, B. B.**, 1991. Floating Production Storage and Offloading: Disconnectable or not? SPE Asia-Pacific Conference, Society of Petroleum Engineers, SPE 22987, Perth, Australia.
- DNV, 2004.** Position Mooring. Offshore Standards, DNV-OS-E301.
- Ejderha, H.**, (2009). EMG işaretlerinin kullanılarak yorgunluk seviyelerinin neuro-fuzzy ve YSA ile sınıflandırılması, Yüksek lisans tezi, Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- Farley, B.G. and Clark, W.A.** (1954), Simulation of self-organizing systems by digital computer.
- Guarize, R., Matos, N.A.F., Sagrilo, L.V.S., Lima, E.C.P.** (2007). Neural networks in the dynamic response analysis of slender marine structures, *Applied Ocean Research*, **29**, 191-198.
- Hamzaçebi, C.** (2011), Yapay Sinir Ağları: Tahmin amaçlı kullanımı, MatLab ve Neurosolutions uygulamalı, 107-115.
- Hebb, D.O.** (1949). The organization of behaviour, The first stage of perception: growth of the assembly, MIT Press., **4**, 44-56.
- Hopfield, J.J.** (1982), Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, **79**, 2554-2558.
- Jacob, B.P., Pina, A.C., Albrecht, C.H., Lima, B.S.L.P.**, (2014). Wavelet network meta-models for the analysis of slender offshore structures, *Engineering Structures*, **68**, 71-84.

- Jang, J. S. R., Sun, C.T., Mizutani, E.,** (1997). Neuro fuzzy and soft computing, Prentice Hall.
- Kohonen, T.** (1982), Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, **43**, 59-69.
- Kohonen, T.,** (1988), “An Introduction to Neural Computing” Neural Networks., **1** 4.
- Li, M., Mehrotra, K., Mohan, C. K., Ranka, S.** (1990), Forecasting sunspot numbers using neural networks, Electrical Engineering and Computer Science Technical Reports, **67**.
- Mahfouz, A.B.,** (2007). Predicting the capability-polar-plots for dynamic positioning systems for offshore platforms using artificial neural networks, *Ocean Engineering*, **34**, 1151-1163
- McCulloch, W.S. and Pitts, W.** (1943), A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *Bulletin of Mathematical Biophysics*, **5**, 1-19.
- Mentes, A.** (2010). Açık Deniz Yapıları Bağlama Sistemlerinin Dizaynında Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Uygulanması, (doktora tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İSTANBUL.
- Minsky, M., & Papert, S.** (1969). Perceptrons.
- Morrison, J.R., O'Brien, M.D., Johnson, J.W., Schaaf, S.A.** (1950), The force exerted by surface waves on piles, *Petrol Trans.*, AIME, **189**.
- Newman, J.N.** (1974), Second order, slowly varying forces on vessels in irregular waves, *International Symposium in the Dynamics of Marine Vehicles in Waves*, University College, London.
- OCIMF** (1994), Prediction of wind and current loads on VLCCs, *Second Edition*, London.
- OrcaFlex User Manual**, 1987-2013, *Version 9.8a*, Copyright Orcina Ltd.
- Ozkan, C. Ve Sunar Erbek, F.** (2003), The Comparison of Activation Functions for Multispectral Landsat TM Image Classification, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **69**, 1225-1234.
- Özhan, E. ve Abdalla, A.** (2002), Türkiye Kıyıları Rüzgar ve Derin Deniz Dalga Atlası, 151-152.
- Öztemel, E.** (2003), Yapay Sinir Ağları, Birinci Baskı, İstanbul, 31-36.
- Paik, J. K., & Thayamballi, A. K.** (2007). Ship-shaped offshore installations: design, building, and operation. Cambridge University Press.
- Pina, A.C., Pina, A.A., Albrecht, C.H., Lima, B.S.L.P., Jacob, B.P.** (2013). ANN-based surrogate for the analysis of mooring lines and risers, *Applied Ocean Research*., **41**, 76-86.
- Rojas, R.** (1996), Neural Networks: A Systematic Introduction, *Springer-Verlag*, Berlin, 156-162.
- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E., Williams, R.J.** (1986), Learning representations by back propagation error, *Nature*, **32**, 533-536.

- SHOD**, 1978. Wind, Sea and Wave Map for Marmara and Black Sea, Cubuklu: Turkish Navy Publ. (in Turkish).
- Svozil, D., Kvasnicka, V., Pospichal, J.** (1997), Introduction to multi-layer feed-forward neural networks, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, **39**, 43-62.
- Şen, Z.** (2004), Yapay Sinir Ağları İlkeleri, 1, 12-13.
- Takagi, T. and Sugeno, M.**, (1985). Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics, (1), 16-132.
- Topaloğlu, V.**, (2007). *Yapay Sinir Ağları İle Dalga Yüksekliği Tahmini*, (doktora tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İSTANBUL.
- Türk Loydu, 2009.** Türk Loydu Çok Noktalı Bağlama Sistemleri ile İlgili Kurallar. Cilt D, Kısım 70 – Çok Noktalı Bağlama Sistemleri ile İlgili Kurallar.
- Uçan, O.N., Danacı, E. Bayrak, M.**, (2003), İşaret ve Görüntü İşlemede Yeni Yaklaşımlar:Yapay Sinir Ağları, *İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayınları*, ISBN: 975-404- 686-7, 45-68.
- US. Navy, 1985.** Fleet Moorings: Basic Criteria and Planning Guide Lines DM-26.5, Naval Facilities Engineering Command, Alexandria, Virginia.
- Wichers, J.E.W.** (1976), On the slow motions of tankers moored to single point mooring systems, *Offshore Technology Conference*, **OTC-2548**, 283-303.
- Widrow, B. and Hoff, M.E.** (1960). Adaptive switching circuits, 2-7.
- Zadeh, L.A.**, (1965). Fuzzy sets. Information and Control. 8(3), 338-353.

This image shows a full page of blank handwriting practice paper. It features numerous horizontal blue lines spaced evenly across the page, providing a guide for letter height and placement. The lines are consistent in color and thickness throughout the document.

Handwriting practice lines consisting of 30 horizontal dashed lines.