

DİNAMİK SİSTEMLERİN MODELLENMESİNDE ANFIS TEKNİĞİNİN KULLANIMI

Murat YETKİN¹ Ayhan MENTEŞ¹

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi ve Deniz Teknolojisi Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul, TÜRKİYE
yetkinmu@itu.edu.tr

Özet-Endüstride pek çok karmaşık problemin çözümü, teknoloji ve bilgisayarlardaki hızlı değişim ve gelişim nedenleriyle daha basit hale gelmiştir. Bu yöntemlerden biri de ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) olup sinirsel tabanlı bulanık çıkarım sistemidir. Bu çalışmada, tanker-şamandıra bağlama sistemlerinin değişik çevre şartları altındaki dinamik davranışının modellenmesi problemi ele alınmıştır. Tanker-şamandıra bağlama sistemlerinde, sistemin bulunduğu konumu koruyabilmesi ve bağlama halatlarına gelen yüklerin minimum olması tasarımın temel amaçlarından biridir. Bu amaçlar doğrultusunda, halatların yapıdaki bağlama yerleri, bağlama hat sayısı, bağlama hat açısı ve geminin konumu gibi durumlar tasarım açısından önem kazanmaktadır. Sistemin hareketi sonucunda oluşan yükler ve yer değiştirmeler, modelleme ve dinamik benzetim programı olan OrcaFlex ile belirli bir zaman periyodu için incelenebilir. Bu çalışmada çok noktalı tanker-şamandıra bağlama sistemleri modellenmiştir. Modeller farklı bağlama noktaları ve bağlama açıları ile oluşturulmuştur. Oluşturulan modeller, farklı deniz şartları (rüzgar, dalga, akıntı vb.) için simülasyon çalışmalarında kullanılmıştır. Simülasyonlardan elde edilen halat gerilme ve tanker yer değiştirme değerleri ANFIS eğitiminde kullanılmış ve ANFIS modeli oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler- ANFIS, OrcaFlex, açık deniz petrol platformu, çok noktalı bağlama sistemi.

AN APPLICATION OF ANFIS APPROACH FOR DYNAMIC SYSTEMS MODELLING

Abstract- Solution of many complex problems in the industry becomes more simple and powerful thanks to the rapid change and the development of computer technology. One of the solution methods is Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). ANFIS is an adaptive neuro based fuzzy inference system. In this study, spread mooring systems' modelling problem was handled in different environmental conditions. The main purposes of spread mooring system design are to minimize the mooring lines' tension and maintain the location of the system. The location of mooring lines, mooring number, mooring angles and ship's position are very important factors for spread mooring system design. The tensions and displacements of the system can be analyzed for a specific time period with OrcaFlex. In this study, spread mooring systems were modelled with different mooring locations and mooring angles. These models were used for simulation studies in OrcaFlex with different environmental conditions. The tensions and displacements obtained from simulations were used to train ANFIS model and an ANFIS model was created in the current study.

Key Words- ANFIS, OrcaFlex, offshore platform. spread mooring system.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mühendislikte tasarım belirli 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 amaçlarındandır.

Tanker-şamandıra bağlama sistemleri açık denizde demirlemiş tankerlerin kargo yükleme/boşaltma işlemleri için kullanılan sistemlerdir. Bu sistemler uzun servis ömrü, değişik su derinliklerinde kullanılabilme faydası ve değişik tonajdaki tankerlere hizmet verebilme ve kısa zamanda yerleştirilebilme özellikleri ile yaygın kullanım alanına sahiptirler [1]. Çok noktalı veya tek noktalı olabilen bu sistemlerde bağlama sayısı, tanker üzerindeki bağlama noktalarının yerleri, bağlama açıları vb. parametreler sistemin güvenli bir şekilde hizmet verebilmesini etkilemektedir. Bu yüzden parametrelerin tayininde en iyi seçimi yapmak önem arz etmektedir. Tasarım parametrelerinin doğru tayini sistemin maliyet/fayda oranını da iyileştirecektir [2].

Gelişen bilgisayar teknolojisi ile modelleme yeni bir boyut kazanarak geleneksel yöntemlerden uzaklaşmıştır. Genetik algoritmalar, gelişen teknoloji ile geleneksel yöntemlere alternatif olarak kullanılan bir modelleme 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.

Günümüzde kullanılan yöntemlerden biri de ANFIS (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) olup adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemidir. ANFIS, yapay sinir ağları ve bulanık mantık tekniklerinin avantajlarından faydalanarak Jang tarafından 1993 yılında oluşturulan bir tekniktir [3]. Bulanık mantık uzman bilgilerinden faydalandığında güçlü bir yapıya sahipken, yapay sinir ağları örneklerden elde edilen verileri kullanarak güçlü bir öğrenme mekanizması sunar. ANFIS, çözülmesi gereken problem için kurallar atayabilme özelliğinin yanında bu kuralların bir uzman tarafından atanmasına da olanak sağlar. ANFIS temel olarak Sugeno tipi bulanık sistemlerin sinirsel öğrenme yapısına sahip bir ağ yapısı olarak temsilinden ibarettir [4].

ANFIS yapay sinir ağlarına benzer bir yapıya sahip olmakla birlikte 6 katmandan oluşmaktadır. Yapay sinir ağlarından farklı olarak 2. ve 3. katmanda bulanık mantık kullanılmaktadır. Bu katmanlarda uzman bilgilerinden faydalanılmaktadır.

2. ADAPTİF AĞ TABANLI BULANIK ÇIKARIM SİSTEMİ (ANFIS)

ANFIS 6 katmandan oluşmaktadır [5]. 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 Eş. 1’de verildiği gibi genel bir yapıya sahiptir.

$$y=\text{trimf}(x [a b c]) \quad (1)$$

Burada x; bir vektörün üç sayısal parametresine bağlıdır. Parametrelere bağlı parçalı fonksiyon Eş. 2’de verilmiştir.

$$f(x; a, b, c) = \left\{ \begin{array}{l} 0, x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, b \leq x \leq c \\ 0, c \leq x \end{array} \right\} \quad (2)$$

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

İkizkenar yamuk üyelik derecesi fonksiyonu (trapmf) Eş. 3'te verildiği gibi genel bir yapıya sahiptir.

$$y = \text{trapmf}(x [a \ b \ c \ d]) \quad (3)$$

Burada x; bir vektörün dört sayısal parametresine bağlıdır. Parametrelere bağlı parçalı fonksiyon Eş. 4'de verilmiştir.

$$f(x; a, b, c) = \left\{ \begin{array}{l} 0, x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, a \leq x \leq b \\ 1, b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, c \leq x \leq d \\ 0, d \leq x \end{array} \right\} \quad (4)$$

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

Gauss eğrisi üyelik derecesi fonksiyonu (gaussmf) Eş. 5'te verildiği gibi genel bir yapıya sahiptir. Eş. 6'da Gauss fonksiyonunun dayandığı iki parametre ve c verilmiştir.

$$y = \text{gaussmf}(x [\text{sig} \ c]) \quad (5)$$

$$f(x; \sigma, c) = \left\{ e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \right\} \quad (6)$$

Gauss kombinasyon üyelik derecesi fonksiyonu (gauss2mf) Eş. 7'de verildiği gibi genel bir yapıya sahiptir. Gauss eğrisi fonksiyonu gibi Eş. 6'da verilen fonksiyonu kullanmaktadır.

$$y = \text{gaussmf}(x [\text{sig1} \ c1 \ \text{sig2} \ c2]) \quad (7)$$

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 kümelere 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. Çıkışı verir.

ANFIS öğrenme 2 türlü gerçekleştirilebilmektedir. Birincisi geriye yayılma yöntemidir. Burada tüm parametreler gradient descent adı verilen geriye yayılma öğrenme algoritmasını 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 [6].

3. TANKER-ŞAMANDIRA BAĞLAMA SİSTEMLERİ (Spread Mooring Systems)

Tanker-şamandıra bağlama sistemleri açık deniz ortamında çalışan sistemler olduğu için deniz ve diğer çevre hareketlerinden etkilenmektedirler. Bu etkileri azaltmak ya da en aza indirmek için bağlama hatları ile desteklenirler [7]. Bağlama sistemleri tek noktadan bağlı ya da çok noktadan bağlı sistemler olmak üzere iki gruba ayrılır. Tek noktadan bağlı sistem, çevre koşullarına uyum sağlayana kadar hareket ederken, çok noktadan bağlı sistemler bağlandığı ilk şekliyle sabit kalır. Tanker-şamandıra bağlama sistemleri dalga, akıntı ve rüzgarın oluşturduğu yüklere maruz kalırlar.

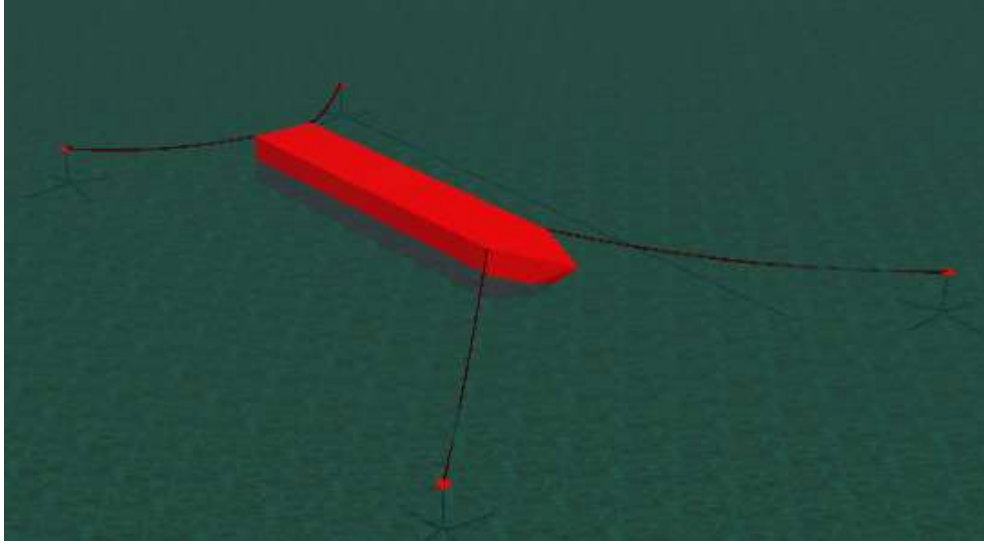
Tanker-şamandıra bağlama sistemlerinde manevra alanı önemlidir. Manevra alanını belirlemek için sistem kullanıma sunulmadan önce belirli testlerden geçer. Manevra testlerinde dönme kabiliyeti, doğrusal rota stabilitesi, rota değiştirme kabiliyeti gibi durumlar test edilir [8]. Etrafında bulunabilecek diğer sistemler nedeniyle sınırlı bir alanda çalışmak gerekebilir. Tek noktadan bağlı sistemler bu açıdan daha az tercih edilir. Tek noktalı bağlamalar denizde değişen çevre şartlarına göre hareket ettiği için diğer sistemler ile teması konusunda problemler ile karşılaşma ihtimali yüksektir [9].

Tanker şamandıra bağlama sistemleri tasarımında dikkat edilmesi gereken pek çok faktör bulunmaktadır. Deniz derinliği, çevre şartları, tasarım, imalat ve kurulumu, şamandıra donanımı ve emniyet şartları bu faktörlerden bazılarıdır. Tasarımda ayrıca bağlama tipi, bağlantı halatlarının dayanıklılığı, deniz dibinin şekli ve sistemin ne kadar süre bağlı kalacağı göz önüne alınmalıdır. Bağlama halatları çok farklı fiziksel ve mekanik özellikleri olan maddelerden oluşturulabilmektedir. Çoğu mühendislik probleminde olduğu gibi maliyet-fayda boyutu da önemlidir. Seçilen malzemeler, yapıya etkileyecek çevre şartlarının iyi tanımlanması ve diğer seçenekler direkt olarak maliyeti etkileyecektir [10].

3.1. Tanker-Şamandıra Bağlama Sistemi Dizaynı (Tanker-Buoy Mooring System Design)

Dalga, akıntı ve rüzgar gibi çevresel yüklere maruz kalan tanker-şamandıra bağlama sistemleri için bağlama halatlarına gelen yükler ile tankerin yer değiştirmeleri hesaplanacaktır. Bu hesaplar için bağlama halatları geminin baş ve kıç taraflarında 30-75 derece açı aralığında ve her

simülasyonda 1'er derece artırılarak bağlanmıştır. Halatlar geminin hem baş hem de kıç tarafından %20 L (gemi tam boyu) - % 30 L aralığında 1'er metre yer değiştirilerek oluşturulmuştur. Farklı bağlama yerleri, açıları ve değişik çevre koşulları için simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Tanker-şamandıra bağlama sistemi, baştan 2 ve kıçtan 2 olmak üzere toplam 4 noktadan bağlı olarak tasarlanmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Tasarlanan bağlama sistemi (Designed mooring system).

Simülasyon çalışmalarında su derinliği 28 m olarak alınmıştır. Dalga, akıntı ve rüzgâr karakteristiklerine uygun simülasyonlar yapılmıştır. Tankerlerde ABS kurallarına uygun demir, zincir ve bağlama halatı bulunduğu kabul edilmiştir [11].

Sistem daha önce de belirtildiği gibi dalga, akıntı ve rüzgâr gibi dış kuvvetlerin tesiri altında hareket eder. Tanker ile şamandıra arasındaki bağlama halatı ön gergili olarak tasarlanmıştır. Tanker-şamandıra bağlama sistemi tekne, şamandıralar, şamandıralara ait yükselen zincirler, yatak zincirleri, yatak zincirlerine bağlı çapalardan oluşmaktadır. Tanker-şamandıra sisteminde bağlama halatlarına gelen maksimum gerilme ve yer değiştirmeleri hesaplamak için farklı senaryolar dikkate alınarak simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Çizelge 3.1'de rüzgâr, akıntı ve dalga karakteristikleri ve yönleri hakkında bilgi vermektedir. Bağlama açıları ve yerleri de değiştirilerek simülasyonlar tekrarlanmıştır. Sistem modellemesi ve dinamik hesaplamalar için OrcaFlex programı kullanılmıştır.

Tablo 3.1 : Simülasyon çalışmalarında kullanılan değişkenler (Parameters used in simulation studies)

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

3.2.OrcaFlex Programı (OrcaFlex Software)

OrcaFlex, Orcina firması tarafından 1986 yılında üretilen bir benzetim ve hesap programıdır. OrcaFlex rayzer sistemleri, bağlama halatları, montaj ve kule sistemleri, yenilenebilir enerji ve

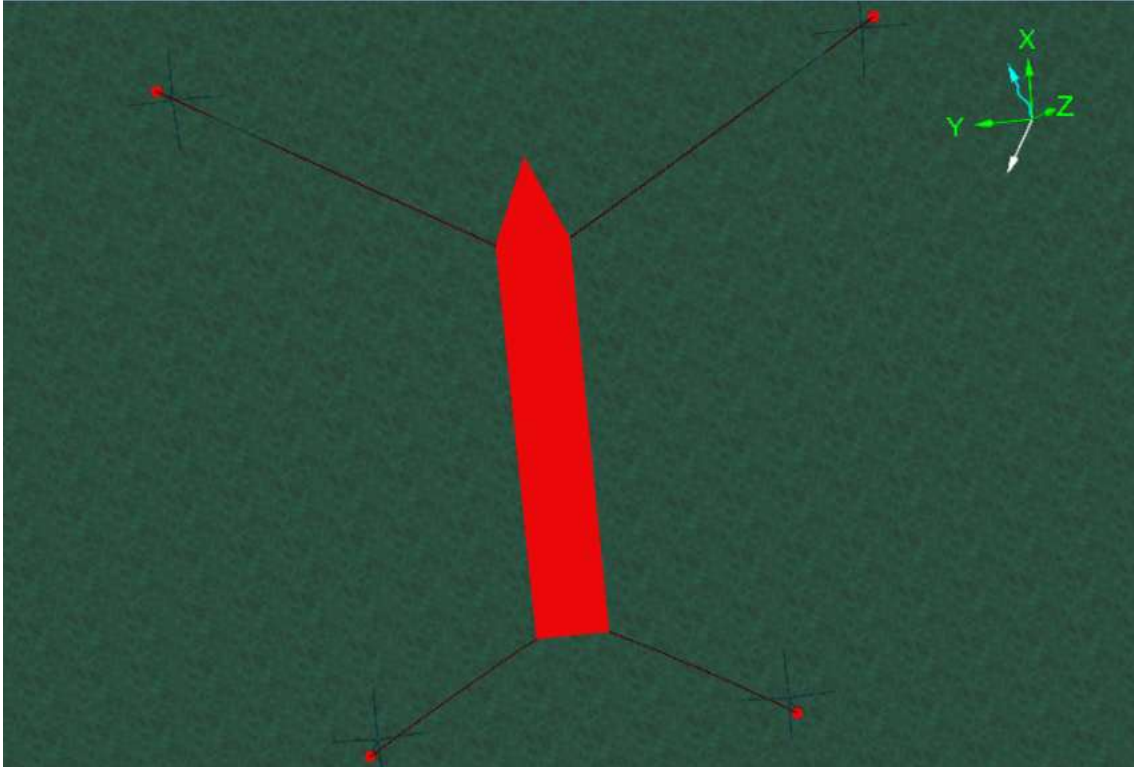
savunma çalışmaları konularında kullanılabilir [12]. OrcaFlex programı deniz ortamında dalga, akıntı ve diğer dış tesirli hareketlerin etkisindeki açık deniz yapılarının hızlı ve doğru bir şekilde dinamik analizini yapmaya olanak sağlar. OrcaFlex, benzetim sonunda elde edilen sonuçların sunumu için geniş bir grafik arayüzüne sahiptir [13].

OrcaFlex sonlu elemanlar yöntemini kullanarak 3 boyutlu tasarımların çözümünü yapabilmektedir. Program ilave çevre şartlarının eklenmesine izin vererek mühendislik gereksinimlerine uygun hızlı ve etkili bir tasarım ortaya çıkarılmasına olanak tanır.

4. UYGULAMA (Case Study)

Bu çalışmada, başlangıçta OrcaFlex programı kullanılarak tanker-şamandıra bağlama sistemi modellenmesi yapılmıştır. Tanker-şamandıra sistemi baş sancak, baş iskele, kış sancak ve kış iskele olmak üzere toplam 4 noktadan bağlanmıştır. Bağlantıda kullanılan şamandıralar için sephiye kontrolü yapılmıştır. Şamandıraya bağlı yükselen zincir ve yatak zincirleri de hesaplamaya dahil edilmiştir.

Programda su derinliğinin 28 m, deniz dibinin düz, kullanılan dalga tipinin JONSWAP, dalga periyodu 3,5-7,5 saniye aralığında, 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. Daha sonra oluşturulan 4 noktalı bağlama sistemleri ile simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Bağlama açıları, bağlama noktaları, dalga özellikleri, akıntı ve rüzgâr hızları ile rüzgâr, akıntı ve dalganın yönü değiştirilerek simülasyonlar tekrarlanmıştır. Tablo 4.1'de bazı simülasyonlardan elde edilen sonuçlar verilmiştir. Şekil 4.1 çok noktalı bağlama sisteminin başlangıç konumunu göstermektedir.



Şekil 4.1: İlk bağlama noktası ($l=0$) (First mooring point)

Tablo 4.1: Simülasyon sonuçları (simulation results)

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

Tablo 4.1’de;

T1 : Baş sancak halatı (kN)

T2 : Baş iskele halatı (kN)

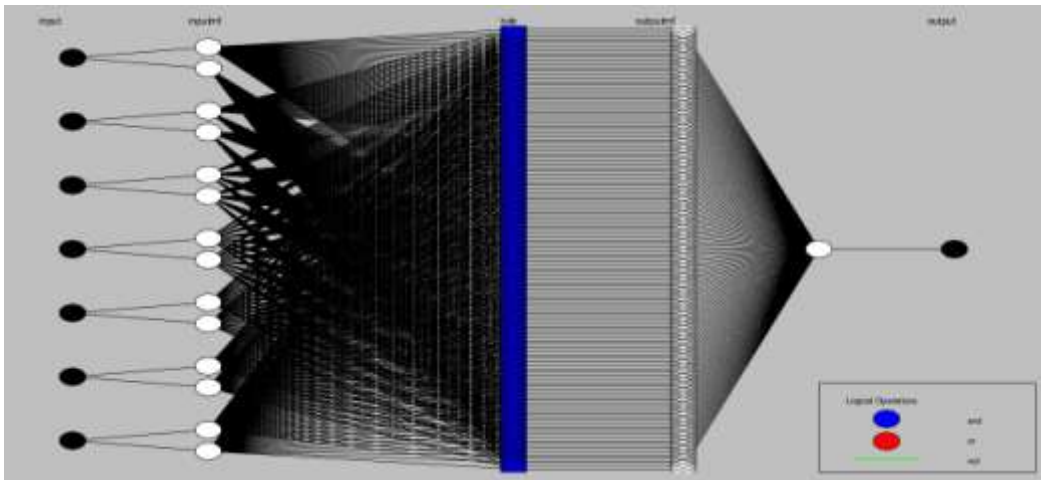
T3 : Kıç iskele halatı (kN)

T4 : Kıç sancak halatı (kN)

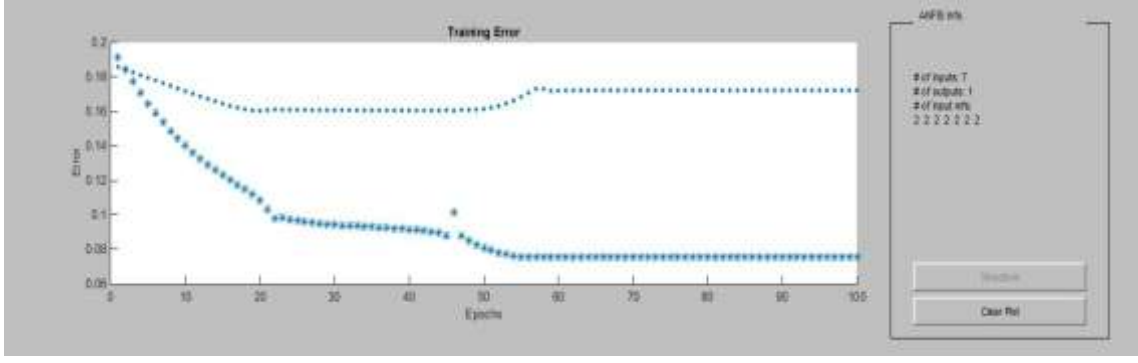
x : x yönündeki yer değiştirme miktarı (m)

y : y yönündeki yer değiştirme miktarı (m) olarak kabul edilmiştir.

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 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2: ANFIS yapısı (ANFIS structure).



Şekil 4.3: ANFIS iterasyon sonuçları (ANFIS iteration results)

Geriye yayılma yöntemiyle 100 iterasyon yapılmış ve hata miktarı 0.07544 olarak bulunmuştur (Şekil 4.3).

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER (Results and recommendations)

Bu çalışmada, tanker-şamandıra bağlama sistemlerinde bağlama halatlarına gelen yükler ve tanker yer değiştirmeleri simülasyon yoluyla elde edilmiş ve sonuçlar ANFIS tekniği için giriş verisi olarak kullanılmıştır. ANFIS tekniği ile bir model oluşturulmuş ve bu modelde yapılan hesaplamalarda 4 noktalı bağlama sistemleri için sonuçlar %93 doğruluk seviyesinde elde edilmiştir. ANFIS modeli sayesinde OrcaFlex vb. simülasyon programı kullanmadan çok noktalı bağlama sistemleri için en uygun model oluşturulabilmektedir. Tanker-şamandıra bağlama yerinin tespiti, petrol yükleme-boşaltma tesislerinde olası riskleri azaltarak can, mal, deniz kirliliği vb. kritik faktörleri önleyeceği için önem arz etmektedir. İleriki çalışmalarda TLP, SPAR, yarıbatık vb. açık deniz yapıları için model oluşturma hedefler arasındadır.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Mentés, A., (2010). Açık Deniz Yapıları Bağlama Sistemlerinin Dizaynında Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Uygulanması, (doktora tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [2]. Mentés, A. ve Helvacıoğlu, İ.H. (2012). Fuzzy decision support system for spread mooring system selection, *Expert Systems with Applications*, 39, 3283-3297.
- [3]. Jang, J. S. R., (1993). ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system, *IEEE transactions on systems, man and cybernetics*, 23(3), 665-685.
- [4]. Tsoukalas, L.H., Uhrig, R.E., (1996). *Fuzzy and neural approaches in engineering*, New York, NY: John Wiley & Sons.
- [5]. Jang, J. S. R., Sun, C.T., Mizutani, E., (1997). *Neuro fuzzy and soft computing*, Prentice Hall.
- [6]. Ejderha, H., (2009). EMG işaretlerinin kullanılarak yorgunluk seviyelerinin neuro-fuzzy ve ysa ile sınıflandırılması, Yüksek lisans tezi, Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- [7]. Mentés, A. ve Helvacıoğlu, İ.H., (2011). An application of fuzzy fault tree analysis for spread mooring systems, *Ocean Engineering*, 38, 285-294.
- [8]. Yetkin, M., (2012). Yarı ampirik yöntemlerle dönme çapının hesaplanması, İTÜ Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Lisans Tezi.
- [9]. Barltrop, N.D.P., (1998). *Floating structures: a guide for design and analysis*, 1 & 2, OPL.
- [10]. Carbono, A.J.J., Menezes, I.F.M., Martha, L.F., (2005). Mooring pattern optimization using genetic algorithms, 6th World Congresses of Structural and Multidisciplinary Optimization, Rio de Janeiro, Brazil.

- [11]. ABS, (2009). Rules for building and classing steel vessels, Part 3, Hull construction and equipment.
- [12]. OrcaFlex User Manual, (1987-2013). Version 9.8a, Copyright Orcina Ltd.
- [13]. Yetkin, M., Menten, A., Yalçın, İ., Helvacıoğlu, İ.H., Türkođlu, N., Akyıldız, H., (2013). Açık deniz petrol platformu modellemesine yapay sinir ağları yaklaşımı, 5. Denizcilik Kongresi, İSTANBUL.