

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEK SERBESTLİK DERECELİ MEKANİK
BİR JİROSKOBUN
ÇIKIŞ VOLTAJİ VE ÇIKIŞ HASSASİYETİNİN
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE BELİRLENMESİ

MUSTAFA AKGÜL

HAZİRAN 2005

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün onayı.

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

Danışman

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Şerafettin EREL

Yrd. Doç. Dr. Ediz POLAT

Yrd. Doç. Dr. Fikret YALÇINKAYA

ÖZET

TEK SERBESTLİK DERECELİ MEKANİK BİR JİROSKOBUN ÇIKIŞ VOLTAJI VE ÇIKIŞ HASSASİYETİNİN YAPAY SINIR AĞLARI İLE BELİRLENMESİ

AKGÜL, Mustafa

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Doç. Dr. Şerafettin EREL

Haziran 2005, 103 sayfa

Bu tez çalışmasında, tek serbestlik dereceli mekanik jiroskopların (TSDMJ) çıkış voltajı ve çıkış hassasiyeti, çok farklı mühendislik problemlerinin çözümünde yaygın bir şekilde kullanılan yapay sinir ağı (YSA) ile yüksek bir doğrulukla belirlenmiştir. YSA, ivmeölçer ve TSDMJ'lerin kullanıldığı ataletsel seyrüsefer sistemi ile ilgili bilgiler verildikten sonra, jiroskop çeşitleri ve özellikle tez çalışmasında kullanılan TSDMJ'nin yapısı açıklanmıştır. Uygulama kısmında, YSA için kullanılacak eğitim ve test verilerini elde etmek amacıyla, jiroskop test düzeneği ile 601'er adet saat yönünde (clock wise, CW) ve saat yönünün tersinde (counter clock wise, CCW) $0^{\circ}/s$ 'den $60^{\circ}/s$ 'e kadar $0.1^{\circ}/s$ aralıklarla toplam 1202 adet çıkış voltajı ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen çıkış voltajlarına göre CW ve CCW için çıkış

hassasiyeti değerleri hesaplanmıştır. Bu CW ve CCW yönlerindeki her bir 601'er ölçümün 596 adeti YSA'yı eğitmek için kullanılırken kalan 5 adeti eğitilen bu ağın doğruluğunu göstermek amacıyla test için kullanılmıştır. Yapılan uygulamalarda, sırasıyla, TSDMJ'nin giriş bilgisi olarak dönü oranı, çıkış bilgisi olarak ise çıkış voltajı ve çıkış hassasiyeti parametreleri alınmıştır. YSA modeli olarak ileri beslemeli geri yayılımlı (feed forward back propagation) ağ modeli seçilmiştir. TSDMJ ıkış voltajı, çıkış hassasiyeti parametrelerine göre CW ve CCW yönlerinde tek giriş iki çıkışa sahip benzer modeller elde edilmiştir. Uygulamada, eğitilen YSA'ya farklı girişler tekrar uygulanarak, ağdan elde edilen çıkışların gerçek değerler ile karşılaştırıldığında YSA'nın ürettiği çıkışların doğruluk oranının oldukça yüksek olduğu gösterilmiştir. YSA'nın TSDMJ ıkış voltajı ve çıkış hassasiyeti parametrelerinin hesabında kullanılmasının amacı, tanımlanan dönü aralığındaki değerlerin (0-60 °/s'ler arası) Matlab programında eğitilmesi sonucunda elde edilen yüksek doğruluklu ıkışlar sayesinde diğer TSDMJ'lerin test edilmesi esnasında YSA'da bulunan sonuçlar ile karşılaştırılarak TSDMJ'nin arızalı veya faal olduğuna karar verilmesinde büyük kolaylık sağlamasıdır.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağı, Tek Serbestlik Dereceli Mekanik Jiroskop.

ABSTRACT

DETERMINATION OF OUTPUT VOLTAGE AND SENSITIVITY OF SINGLE
DEGREE OF FREEDOM MECHANIC GYROSCOPE WITH THE USE OF
ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

AKGÜL, Mustafa

Kırıkkale University

Graduate School Of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical-Electronics, M. Sc. Thesis

Supervisor : Assoc. Prof.Dr. Şerafettin EREL

June 2005, 103 pages

In this thesis, Single Degree of Freedom (SDOF) mechanic gyroscopes were defined accurately by using the Artificial Neural Networks (ANN) which have been commonly used in solving different engineering problems in recent years. The kinds and structure of SDOF mechanic gyroscope used in this thesis were explained after the information about inertial navigation system, in which ANN, accelerometer and SDOF mechanic gyroscopes were used, was given. In the implementation section, to obtain the train and test data for ANN, total 1202 output voltage, (half of them was Counter Clock Wise(CCW), the other half was Clock Wise(CW)) from 0 °/s to 60 °/s with 0.1 °/s intervals were carried out. The output sensitivity was calculated for CW and CCW depending on the obtained output voltages. Different ANN models were developed for CW and CCW. For each of 601

measurements, 596 of them were used to train ANN s while other 5 measurements were used to test the accuracy of this network. During the implementation, the parameters of setting/rate were used as the input data whereas output voltage and sensitivity parameters were used as the output data. Similar CW and CCW one input and two output models were obtained according to the parameters of mechanic gyroscopes. Feed-forward back-propagation network model was chosen as the ANN model. Different inputs were applied to ANN and it was observed that the accuracy rate of outputs produced by ANN was high when compared to the real values. The aim of using ANN in the calculating the parameters of the output voltage and sensitivity of SDOF mechanic gyroscopes is that high accurate outputs were obtained by training the degrees of defined setting/rate interval (between 0-60⁰/s) in the matlab programme so that the results of SDOF mechanic gyroscopes can be compared to other SDOF mechanic gyroscopes. Thus, it facilitates the differentiation of the broken and active gyroscopes.

Key Words: Artificial Neural Networks, Single Degree of Freedom Mechanic Gyroscopes.

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımını esirgemeyen hocam, sayın Doç. Dr. Őerfettin EREL ve Yrd. Doç. Dr. Fikret YALÇINKAYA'ya, tez çalışmalarım esnasında bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm sayın Ali AKDAĞLI'ya, mesai arkadaşım Fatih YAMAN'a ve büyük fedakarlıklarla bana destek olan eşime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. MATERYAL VE YÖNTEM	5
2.1. Yapay Sinir Ağları	5
2.1.1. Tarihsel Gelişme	5
2.1.2. Biyolojik YSA	7
2.1.3. Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Nedenleri	9
2.1.4. Bir Yapay Sinir Ağı	11
2.1.4.1 Katmanlar	13
2.1.4.2. İletişim ve Bağlantı Çeşitleri	13
2.1.4.3. Katmanlar Arası Bağlantılar	14
2.1.4.4. Sinirler Arası Bağlantı	14
2.1.4.4.1. Merkez Açık/Dış Çevre Kapalı	15
2.1.5. Perceptron	15
2.1.5.1 Turing Makinesi ve Perceptron	16

2.1.6. Delta Kuralı	20
2.2. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme	24
2.2.1. Gözetimli Öğrenme	25
2.2.1.1. Hata Geri Yayma Algoritması	25
2.2.2. Gözetimsiz Öğrenme	30
2.2.2.1. Öz Düzenlemeli Özellik Haritaları	30
2.2.3. Yapay Sinir Ağları İle En İyileme	32
2.2.3.1. Hopfield Ağı	32
2.2.3.2. Boltzmann Makinesi	34
2.2.3.3. Gauss Makinesi	35
2.3. Ataletsel Seyrüsefer Sistemi	36
2.3.1 Ataletsel Sensör Teknolojisinin Gelişimi	39
2.3.2. Kullanım Amacına Göre Seyrüsefer Sistemleri	40
2.3.2.1 İvmeölçerler (accelerometer)	40
2.3.2.2 Jiroskoplar (Gyroscope)	43
2.4. Mekanik Jiroskopların Prensipleri	44
2.4.1. Açısal Momentum	45
2.4.2. Jiroskop Kanunu	46
2.4.3. Parazitik Tork Düzeyi	47
2.4.4. Açısal Momentumun Avantajları	48
2.4.5. Dönen Topaç-Nutation	49
2.4.6. Dönen Cisim Hareketleri İle İlgili Denklemler	51
2.4.7. Coriolis İvmesi	52
2.4.8. Buz Patencisi	55
2.5. Jiroskop Çeşitleri	56

2.5.1. Tek Serbestlik Dereceli Mekanik Jiroskoplar	56
2.5.1.1. Oran Jiroskopu (The Rate Gyroscope)	57
2.5.1.2. Ölçüm Faktörü	58
2.5.1.3. Döndürme Motoru	60
2.5.1.4. Bilyalı (Ball) Rulmanlar	60
2.5.1.5. Sönümlleme	61
2.5.1.6. Oran Jiroskopu Dinamiği	62
2.5.1.7. TSDMJ Test Düzeneği	64
2.5.2. Monolitik Silikon Jiroskop	66
2.5.3. Optik Jiroskoplar	67
2.6. Gelecekteki Sensör Teknolojileri ve Uygulama Alanları	71
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	
3.1. Tek Serbestlik Dereceli Mekanik Bir Jiroskopun Çıkış Voltajı ve Çıkış Hassasiyetinin Yapay Sinir Ağları İle Belirlenmesi	72
3.1 CW Yönünde YSA ile Elde Edilen Test ve Eğitim	
Sonuçları	86
3.2 CCW Yönünde YSA İle Elde Edilen Test ve Eğitim	
Sonuçları	89
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	92
KAYNAKLAR	94
EK-1 YSA Eğitimi için Kullanılan Matlab Programları	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

2.1. Biyolojik Bir Sinir Ağının Basitleştirilmiş Şeması	8
2.2. Çok Katmanlı Bir YSA	12
2.3. Perceptron Örneği	17
2.4. XOR Probleminin Çözüm Ağı	19
2.5. XOR Problemine Çözüm Bulan Bir Yapay Sinir Ağı	20
2.6. Hata Yüzeyinin Yukarıdan Görünüşü (w_1, w_2' ye göre)	22
2.7. Hata Yüzeyinin Enine Kesiti (w_2' ye göre)	22
2.8. Hata Yüzeyinin Yukarıdan Görünüşü (W_2' ye Göre)	23
2.9. Gözetimli Öğrenme Blok Şeması	25
2.10. Üç Katmanlı YSA	26
2.11. Nöron Fonksiyonları	27
2.12. Gradyant Azaltma Yöntemi	28
2.13. (a) İki Boyutlu Kohonen Ağı	31
(b) Zaman İçinde Azalan İki Boyutlu Topolojik Komşuluk İlişkisi ...	31
2.14. Spinglass-Türü Hopfield Ağları	33
2.15. Hopfield Ağının Çalışması	33
2.16. GPS Entegre Ataletsel Seyrüsefer Sistemi Blok Şeması	38
2.17. İvmeölçer Çıktısı	41
2.18. Bir Kutu İçerisine Monte Edilmiş Yay Ve Ona Bağlı Küttleden Oluşan	

Basit Bir İvmeölçer Modeli	41
2.19. İvmeölçer Yerçekimi Etkisi	42
2.20. Jiroskop Çıktısı	43
2.21. Jiroskop Çeşitleri	44
2.22. Jiroskop Prensibi	45
2.23. Dönen Topacın Precession Hareketi	49
2.24. Precession and Nutation	50
2.25. Coriolis İvmesi	53
2.26. Titreşen Yapılı Jiroskop İçin Coriolis İlkesi	55
2.27. Buz Patencisi	56
2.28. Tek Eksenli Oran Jiroskopu	58
2.29. Pickoff ve Çemberli Assy.	59
2.30. Northrop GRG5 Jiroskop	63
2.31. Kapalı Döngü TSDMJ	64
2.32. TSDMJ Test Düzeneği Blok Şeması	65
2.33. Vibrasyon Oranlı Jiroskop Kavramı	67
2.34. Sagnac Etkisi	68
2.35. Fiber Optik Jiroskop	70
3.1. CW ve CCW Yönlerinde Oluşturulmuş TSDMJ YSA Modeli	74
3.2. CW Yönünde Eğitimin Epoch Sayısına Bağlı Değişimi	86
3.3. Çıkış Voltajı Değerleri İçin Deneysel ve YSA İle Elde Edilen Eğitim Sonuçları	87
3.4. Çıkış Voltajı Değerleri İçin Deneysel Ve YSA İle Elde Edilen Test Sonuçları	87
3.5. Çıkış Hassasiyeti Değerleri İçin Deneysel ve YSA İle Elde Edilen Eğitim	

Sonuçları	88
3.6. Çıkış Hassasiyeti Değerleri İçin Deneysel ve YSA İle Elde Edilen Test	
Sonuçları	88
3.7. CCW Yönünde Eğitimin Epoch Sayısına Bağlı Değişimi	89
3.8. Çıkış Voltajı Değerleri İçin Deneysel ve YSA İle Elde Edilen Eğitim	
Sonuçları	89
3.9. Çıkış Voltajı Değerleri İçin Deneysel ve YSA İle Elde Edilen Test	
Sonuçları	90
3.10. Çıkış Hassasiyeti Değerleri İçin Deneysel ve YSA İle Elde Edilen	
Eğitim Sonuçları	90
3.11. Çıkış Hassasiyeti Değerleri İçin Deneysel ve YSA İle Elde Edilen Test	
Sonuçları	91

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

2.1. XOR Doğruluk Tablosu.....	18
2.2. XOR Probleminin Çözüm Belgesi.....	19
3.1. Çıkış Voltajı, Çıkış Hassasiyeti Parametrelerine Ait Deneysel ve YSA Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	75

1. GİRİŞ

Her insan doğuştan belirli bir zekaya sahiptir. Zeka, belirli bir konuda çalışılarak, öğretilerek, eğitilerek edinilen bilgi ve birikimlerle, deneyimlere dayalı becerilerle geliştirilebilir. İlk kez karşılaşılan ya da ani olarak gelişen bir olaya uyum sağlayabilme, anlama, öğrenme, analiz yeteneği, beş duyunun, dikkatin ve düşüncenin yoğunlaştırılması zeka ile gerçekleştirilebilmektedir. Zeka yazılım veya tümeşik yongalarla taklit edilebilmektedir. Bu durumda zeka 'Yapay Zeka' (YZ) olarak adlandırılmaktadır.

YZ insan zekasının yapacağı işlemlerin özellikle bilgisayar ve çeşitli makineler için simüle edilmesidir. Bu işlemler öğrenmek, nedenlendirmek, kendini düzeltmek, duruma göre çözüm üretmek olarak sıralanabilir. Hatta YZ, bilim adamları tarafından bilgisayar bilimi, psikoloji ve felsefenin bir kombinasyonu olarak ta tanımlanmaktadır. YZ'nin kökeni, elektronik çağından çok daha öncesine, YZ mantığının kurulmasında faydalanılan prensipleri ortaya atan Boole gibi felsefeci ve matematikçilere dayanmaktadır. Günümüzde, YZ uygulamaları dama ve satranç oynayan yazılımlardan, hastalık teşhisi yapmak için tasarlanmış sistemlere kadar çeşitlilik göstermektedir.

Bilgisayarlar çok karmaşık sayısal işlemleri anında çözümleyebilmelerine karşın, idrak etme deneyimlerle kazanılmış bilgileri kullanabilme noktasında çok yetersizdirler. İnsan beynini üstün kılan temel özellik, sinirsel algılayıcılar vasıtası ile kazanılmış ve görelî olarak sınıflandırılmış bilgileri kullanabilmesidir. Uzman sistemler (US), bulanık

mantık (BM), genetik algoritma (GA) ve yapay sinir ağıları (YSA) gibi yapay zeka alt dalları özellikle son yıllarda, geniş bir araştırma ve uygulama alanı bulmaktadır.⁽¹⁾

YSA'lar, alışıla gelmiş hesaplama ve işlem metotlarına alternatif olarak ortaya çıkmış bir işlem mimarisidir. 'Connectionist', 'Parelel Distributed Processing Models' ve 'Neurogenic System' gibi çeşitli isimlerle adlandırılırsalar da tüm bu modeller, basit hesaplama elemanlarının birbirleri ile yoğun bağlantı ve ilişkisi ile iyi bir performans yakalamayı amaçlamaktadır. Bu bakımdan YSA'lar biyolojik sinir sistemlerini temel almaktadır.

YSA'da ki hızlı gelişime paralel olarak son yıllarda, YSA'ların paralel çalışabilmesi ve öğrenme yeteneklerinden dolayı pek çok uygulamada olduğu gibi kontrol alanında da yaygın olarak uygulama imkanı bulmuştur. Bugün kontrole duyulan ihtiyaç, belirsiz olan karmaşık sistemlerin çoğalması ile artmış ve bu sebeple klasik kontrol yöntemlerinde yeni gelişmelere ihtiyaç duyulmuştur. Böylece daha genel kontrol kavramı üzerine yoğunlaşmış, yüksek seviyeli karar verme, planlama ve öğrenme önem kazanarak Akıllı Kontrol'e yönelinmiştir. Akıllı kontrol, otomatik kontrol sistemlerinde kullanım alanını genişletmek ve esnekliği arttırmak için günümüzde oldukça sık uygulama alanı bulmuştur.

Her bir işlem elemanınının, kendine has bir transfer fonksiyonu vardır. Bu transfer fonksiyonu, giriş sinyallerine bağlı olarak, YSA'nın birbirine bağlı birçok işlem elemanı içerdiği nöronların çıkışı ve nöronlar arasındaki taşıma yollarının adaptif katsayısını belirler. Bu adaptif katsayılar, 'Ağırlık' olarak

adlandırılır. Bu ağırlıkların adapte edilmesi yoluyla ağın çıkışındaki hatalar minimize edilir ve bunun sonucunda sinir ağı eğitilmiş olur. Ağırlık değerleri nöronlar arasındaki bağlantıların gücünü ifade eder. Bu yüzden eğer ağırlıklar güçlü olursa, girişlere daha duyarlı ve daha çok bilgi transferi yapabilen bir YSA elde edilmiş olur.⁽²⁾

YSA mühendislik alanında; imalat sanayinde, askeri proje uygulamalarında, endüstriyel ürün tasarımında, bilgi yönetiminde, tıp alanında; tıbbi görüntü işlemede, tıbbi tanı koymada, biomedikal uygulamalarda (ses geliştirme uygulamalarında, biomedikal ürün yönetiminde, protez tasarımında), tarımsal alanda; toplam ürün rekoltesinin tahmininde, hayvancılık alanında; hayvan davranış modellerinin oluşturulmasında, askeri alanda; uzay ve havacılık sanayinde, yüzey modellemede kullanılmıştır. YSA'nın, bir çok hesabı ihtiva eden giriş çıkış değerleri bulunabilen elektronik sistemlerine uygulandığını gösteren çok sayıda çalışma literatürde mevcuttur.⁽³⁾

Ataletsel seyrüsefer sistemlerinin (ASS) en önemli elemanı olan seyrüsefer kontrol uygulamalarında kullanılan çeşitli jiroskop tipleri ve ivmeölçerler mevcuttur. Özellikle askeri sistemlerde kullanılan bu jiroskop çeşitlerinden mekanik jiroskopta, kullanıldığı sistemlerde hatalara sebep olmaması için çeşitli dönü değerlerine karşılık çıkış voltajı üretme işleminin önemi göz ardı edilemez. Faal durumdaki başka bir mekanik jiroskop referans alınarak kabul test prosedürüne göre test edilen mekanik jiroskoplarda kabul test işlemlerinde doğruluk ve belirli bir dereceye kadar hassas çözümlerin elde edilmesi esastır. Mekanik jiroskop test işlemlerinde

kabul testlerinin sağlıklı olarak yapılabilmesi ve yüksek doğruluk için çok sayıda dönü değeri uygulanmalı; bu ise gerek insan gücü gerekse işlem bakımından oldukça uzun bir süreci gerektirmektedir. Uygun bir YSA modeliyle diğer tek serbestlik dereceli mekanik jiroskopların (TSDMJ) test edilmesi esnasında gerçek ölçüm değerleri ile YSA'da bulunan yüksek doğruluklu sonuçlar karşılaştırılarak TSDMJ'nin arızalı veya faal olduğuna karar verilmesinde büyük kolaylıklar sağlanabilir. Yukarıda bahsedilen özelliklerden dolayı, sunulan yüksek lisans tez çalışmasında bir TSDMJ'nin çıkış voltajı ve çıkış hassasiyeti parametreleri tanımlanan dönü oranı değerleri arasında YSA kullanılarak yüksek bir doğrulukla belirlenmiştir.

Bölüm 2'de YSA'nın tarihçesi, YSA kullanım nedenleri, YSA katmanları, YSA'da eğitim ve uygulama alanları anlatılmış, ASS, ivmeölçer, jiroskop çeşitleri incelenerek özellikle bu tezde test işlemlerinde kullanılan TSDMJ'den daha kapsamlı bir şekilde bahsedilmiştir.

Bölüm 3'de TSDMJ çıkış voltajı ve çıkış hassasiyeti parametrelerinin YSA ile modellenmesine ait uygulama örnekleri verilmiştir.

Bölüm 4'de tez çalışmasında elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2. 1. Yapay Sinir Ağları

2.1.1. Tarihsel Gelişme

İnsanlar tarih boyunca insan beyninin düşünme ve öğrenme yeteneğini kavrayabilmek için büyük gayret göstermelerine karşın ortaya çıkan zorluklar nedeniyle istenilen sonuçları elde edememişlerdir. Buna rağmen anatomi uzmanları ve nörobiyologlar beynin ve sinir sisteminin fonksiyonunun ve yapısının çıkarılması konusunda önemli gelişmeler kaydetmiştir. Bu gelişmeler sonucunda insan zekasına yakın davranışta yapay zeka elde edilmesi fikri ortaya çıkmış ve bu konuda günümüzde birçok alanda çalışmalar hızla devam etmektedir.

YSA anatomi, psikoloji ve nörobiyoloji alanlarındaki araştırmalarla paralel gelişmektedir. 1943 yılında Mc.Culloh ve Pitts'in yayınladıkları makale YSA konusundaki ilk makale sayılmaktadır. Bu makale sinirlerin giriş faaliyet seviyesi belirli bir eşik değerine eriştiğinde aktif hale geçen açık/kapalı anahtar gibi davrandıklarını ve mantık fonksiyonlarını hesaplamak için çeşitli şekillerde bir araya getirilebileceklerini göstermiştir. 1949'da nöropsikolog Hebb yayınladığı makalede beynin öğrenme yeteneğini bir modelle açıkladı. Daha sonra 1954'de M.Minsky YSA konusunda doktora yaptı. 1960'lı yıllarda YSA'ya ilgi büyük ölçüde artmış ve bir grup araştırmacı YSA üretmek için mevcut teorileri geliştirmeye başlamıştır. Bu yıllarda S.Groddberg, verbal öğrenmede deney sonuçlarıyla ifade edilen ağların diferansiyel denklemlerini

kurmuş; daha sonra gerçek biyolojik sinir ağlarını ifade eden genel denklem setini çıkarmış ve yaptığı araştırmaların sonucunda Adaptif Rezonans Teorisi'ni geliştirmiştir. Aynı yıllarda B.Widrow ve M.Hoff'ta adaptif anahtar devreleri için kullanılmak üzere kendi öğrenme kurallarını gerçekleştirmişlerdir. 1969 yılında M.Minsky ve S.Papert YSA'daki sınırlamaları inceledikleri "perceptrons" adlı kitabı yayınlamışlardır. Bu kitapta tek katmanlı ağların ayrıcalıklı veya işlemini gerçeklemek için basit sorunları çözemeyeceklerini ispatlamışlardır. Çok katmanlı ağlarda bazı problemleri çözmelerine rağmen uygun öğrenme algoritmalarının bulunmadığından ve mevcut yazılım ve donanım imkanlarındaki sınırlamalardan dolayı YSA'lara olan ilgi uzun bir müddet büyük ölçüde azalmıştır. Ayrıca sinirlerin modellenmesi, sinirlerin biyolojik yapılarının iyi bilinmesini gerektirdiğinden önce tıp, biyoloji ve ilgili bilim dallarındaki gelişmelerinde beklenildiği söylenebilir. Bu yıllardaki YSA'lara olan ilginin azalmasına rağmen konuyla ilgilerini kesmeyerek çalışmalarını devam ettirmişlerdir.

YSA'daki büyük gelişmeler 1980'li yıllarda gerçekleşmiştir. 1980'lerin başında J.Hopfield, gelişmeyle birlikte rasgele bulunan etkenlerin probleme karıştığını ve her çözüm yolunda problemin başlangıç halinde bulunduğu işaret etmiş, bu nedenle her hesaplamanın doğru çözüm yolu için sürekli yenilenen bir mekanizmaya ihtiyaç olduğunu belirterek bu iş için değiştirdiği stratejisi YSA'larda kullanmıştır. 1986 yılında D.Rumelhart, G.Hinton ve R.Williams geriye yayılım öğrenme kuralını kullanarak çok tabakalı ağ sistemlerinin bir çok problemin çözümü için eğitilebileceğini göstermiştir. Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki büyük gelişmelerden dolayı, YSA'ların yazılım ve donanım uygulamaları hızla devam etmektedir.

Tüm bu gelişmelere rağmen YSA yapılarında sadece bağlantılar arasındaki ağırlık matrislerinin değiştirilebilmesi YSA'ların yeteneklerini önemli ölçüde sınırlamaktadır. YSA'ların öğrenme özellikleri, matematiksel tanımı ve modellenmesi konusundaki ilerlemeler bu konudaki ümit verici gelişmeler olarak gösterilebilir.

2.1.2. Biyolojik Yapay Sinir Ağları

Cerebral Cortex adı verilen beyin, en karmaşık sinir ağıdır. Beyinde yaklaşık 10^{12} sinir hücresi vardır. Yine hücre üzerine bağlantı sayısı ise 10^4 mertebesindedir. Beyin içinde çalışma frekansının en yüksek değeri 100 Hz'dir.

Beynin temel yapısı sinir hücrelerinden oluşur. İç sinir hücresi ise kendi öz giriş ve çıkış bağlantılarına sahiptir. Bir biyolojik sinir ağını oluşturan temel öğeler şunlardır.

SOMA: Sinir hücresinin gövdesi.

AKSON: Çıkış darbelerinin üretildiği elektriksel olarak aktif bölge.

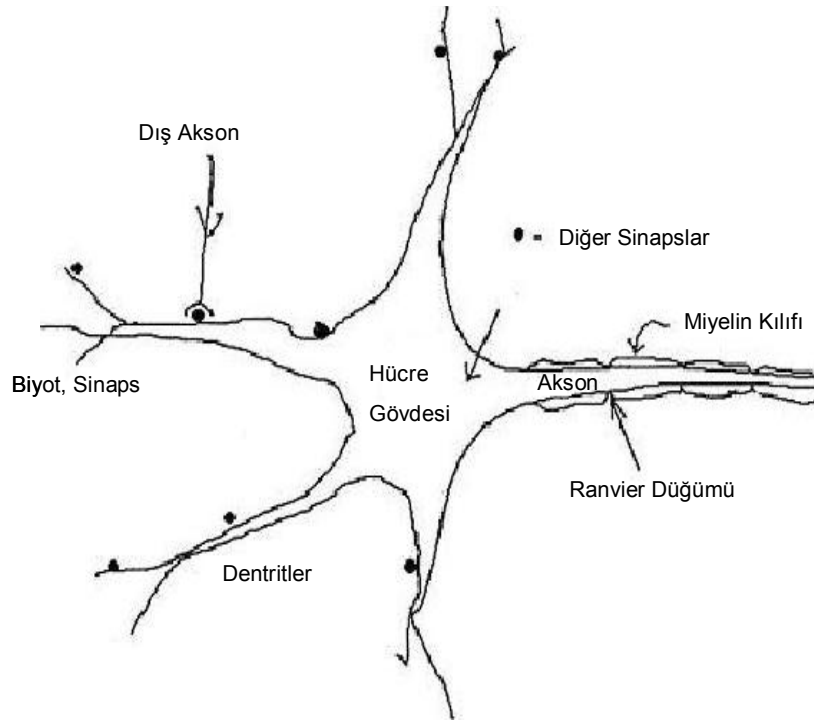
DANDRİT: Diğer hücrelerden gelen işaretleri toplayan ve elektriksel olarak pasif hücre kolları.

MİYELİN TABAKA: Stoplazma ile hücreler arası sıvı kapasitesini düşürerek, işaretlerin yayılma hızını attırmaya yarayan yalıtım maddesi.

RANVIER DÜĞÜMÜ: Miyelin tabaka ile kaplı akson üzerinde her bir mm'de bir yer alan ve işaretleri periyodik olarak üretmeye yarayan boğum.

Dendritler, gelen sinyalleri alarak çekirdeğe iletir. Çekirdek gelen bu sinyallerin toplanıp işlendiği bir işlem elemanı gibidir. Eğer bu toplam belli bir eşik değerini geçer ise sinir hücresi, aksonlar ile bu sinyali diğer nöronlara geçirir.

Bir nöron diğerine 'Synapse' adı verilen birleşme noktalarında bağlanır. Bu noktadaki iletim kimyasaldır ve geçirilen sinyalin şiddeti bu noktanın sinaptik gücüne bağlıdır. Bu sinaptik güç, beyin öğrenirken değişime uğrayan bir elemandır. Bu yüzden beyinin en basit bir hafıza birimi olarak düşünülebilir.



Şekil 2.1 Biyolojik bir sinir ağının basitleştirilmiş şeması

2.1.3. Yapay Sinir Ağlarının Kullanım Nedenleri

Gerçek dünya ile bilgisayar ilişkisinin başlamasına paralel olarak YSA'larda öncelikle örüntü tanıma (Pattern Recognition) tekniğinin gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Bu önem, YSA'nın çok güçlü örüntü tanıma tekniği olarak ortaya çıkmasına ve gelişmesine neden olmuştur. Uygulamada YSA'ların kıymetini anlayabilmek için öncelikle bu konudaki algoritmaları ve geliştirme tekniklerini iyi kavramak ve özümsemek gerekir.

YSA'ların bazı uygulamalardaki kullanımı için yapılan geliştirmeler bunların bu uygulamalar için ne kadar güçlü ya da yetersiz olduklarının bilinmesine bağlıdır.

YSA'lar gerçek dünyaya ait ilişkileri tanıyabilir. Sınıflandırma, tahmin ve fonksiyon uydurma gibi görevleri yerine getirebilir. YSA'ların genel ilişkilerle, ayrık örnekler arasındaki boşluğu birbirlerine bir köprü gibi bağladığını söylemek yanlış olmaz. YSA'ların ani değişen değerlerden örnek olarak, doğrudan doğruya örneklerin birbirleri arasındaki benzer ilişkileri öğrenme yetenekleri vardır. YSA'ları bir konuda veya verilerden hareketle bir önceki bilgileri bilmese bile sonuç çıkarma yetenekleri de vardır. Çünkü YSA'lar klasik programlama ile çalışmazlar. Bir YSA'nın geliştirilmesi bildiğimiz yazılım geliştirmeye benzemez. Zaten aralarındaki en büyük fark, ağların bir işi yapmaları için eğitime ihtiyaç duymalarıdır. Bildiğimiz gibi klasik programlama böyle değildir.

Bu eğitime işlevleri değişken tanımlaması, çevrimlerin oluşturulması ve şartların tespiti ile bir derleyici üzerinde çalıştırma veya kodun 'Debug' edilmesi gibi işlemleri içermezler. İşte bütün bunların yerine eğitime

prosedürleri seçim, analiz ve verilerin bir araya getirilmesi ile başlar. Bunlardan başka istatistik ve işaret işlemeden de bazı teknikler kullanılır. Bir YSA'nın geliştirilmesinde ilk ve en kritik adım budur.

Bir ağ gerekli ilişkileri oluştururken, ağı geliştiren kişi bunun farkına bile varmaz. Ağ bu ilişkileri bulup yapar ve eğer bir örnek sonuç çıkarılacaksa bunu da bulup ortaya çıkarır. Oysa klasik programlamada kodun derlenmesi sırasında kaynak programın adım adım izlenmesi mümkündür, hatta yerine göre gereklidir. Bir YSA verilerle uğraşırken yineleme çevirimi olarak bunların nasıl öğrenileceğinin kontrolünü yapmak için de bir takım parametrelere sahiptir. İşte bu parametreler, seçilen değerlerle iyi eğitilmiş bir ağın ne kadar etkili olacağını belirler. Deneyler yaparak uygun parametre değerinin bulunması, özellikle bazı algoritmaların çok fazla hesaplama zamanı gerektirmesi nedeniyle bu ağların geliştirilmesine engel olmuştur. Hatta öyle ki bir tek öğrenme işlevi, çok güçlü bir iş istasyonunda bile saatlerce, günlerce hatta haftalarca sürebilir.

YSA'lar yeni ortaya çıkmış bir disiplin olmasına rağmen, uygulama alanları bir çok konuda hızla artmaktadır. Bazı problemlerin çözümünde, oturup bir program yazmaktan daha hızlı ve etkili olabilmektedirler. Ancak bütün bunların yanı sıra YSA'ların uygun olmadığı durumlarda söz konusudur. Bunların en büyük sebebi, eğitime işleminin zor olması ve uzun zaman almasıdır.

Bunlara rağmen YSA'ların kullanılma sebepleri şöyle sıralanabilir:

- YSA'lar verilerden hareketle, bilinmeyen ilişkileri akıllıca hemen ortaya çıkarabiliyorlar.

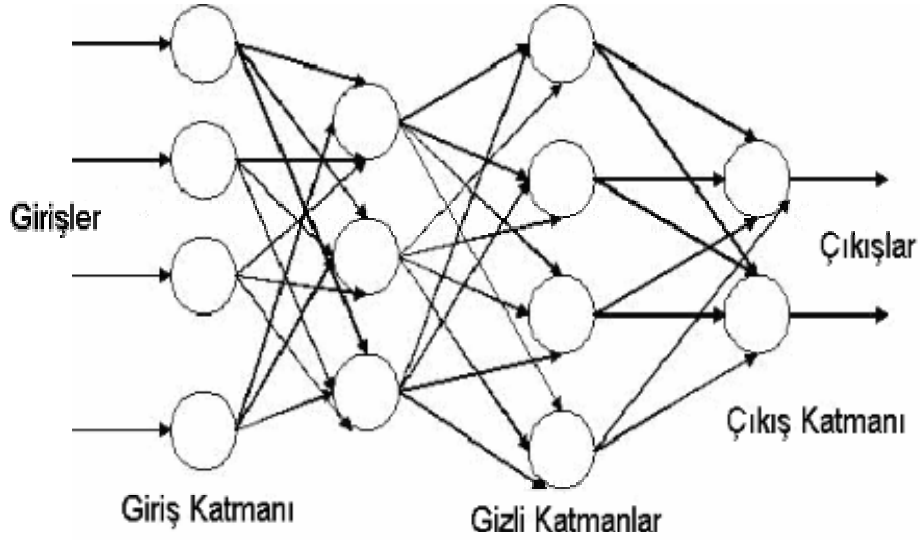
- Ağlar genelleştirilebilir. Bir örnekten hareketle diğer örneklerdeki benzerlikleri doğru olarak anlayabilirler. Genelleştirme yapabilmeleri çok önemli bir özelliğidir, çünkü gerçek dünya verilerinde sürekli olarak gürültü ve bozucu etkiler mevcuttur.

- YSA'lar lineer değildir. Bu özellikleri nedeniyle daha karmaşık problemleri lineer tekniklere göre daha doğru çözerler.

- YSA'lar son derece paralelliğe sahiptir. Bağımsız işlemleri aynı zamanda çok hızlı yürütebilirler. Paralel donanımlar, yapıları gereği YSA'lara uygun olduğundan alternatiflerine göre daha elverişlidir.

2.1.4. Bir Yapay Sinir Ağı

Ara (gizli) katmanları olmayan, sadece giriş ve çıkış katmanı olan ağlar, karmaşık işlevleri hesaplama yeteneğinden yoksundur. Bu nedenle karmaşık hesaplamalar için oluşturulan ağlarda en az bir ara katman olmalıdır. Burada her bir sinir doğrusal olmayan bir etkinlik işlevini hesaplayabilmektedir. Şekil 2.2.'de iki gizli katmana sahip dört katmanlı bir YSA görülmektedir.



Şekil 2.2 Çok katmanlı bir YSA

Bu tür ağlar giriş katmanı, bir veya birden çok gizli katman ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Bir katmandaki her sinir bir sonraki katmanın bütün sinirleri ile bağlantılıdır. Aynı katmandaki sinirler arasında veya geri-besleme şeklinde bağlantıları yoktur.

Giriş katmanından alınan girişler giriş katmanı ve gizli katman arasında bulunan bağlantı ağırlıkları ile çarpılıp gizli katmana iletilmektedir. Gizli katmandaki sinirlere gelen girişler toplanarak aynı şekilde gizli katman ile çıkış katmanı arasındaki bağlantı ağırlıkları ile çarpılarak çıkış katmanına iletilir. Çıkış katmanındaki sinirler de kendisine gelen bu girişleri toplayarak buna uygun bir çıkış üretirler. Burada giriş katmanından çıkış katmanına doğru gizli katmanlar üzerinden tek yönlü bir iletişim mevcuttur.

2.1.4.1. Katmanlar

Temel olarak tüm yapay sinir ağlarının basit topolojik yapıları vardır. Sinirlerin bir kısım gerçek giriş parametre değerlerini sağlarken diğer sinirler ise ağı çıkışlarında yüksek doğruluklu gerçeğe yakın değerler oluşturur. Kalan sinirlerin tümü gerçek anlamda görünmediğinden gizli katman olarak adlandırılırlar.

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi sinirler katmanlarda öbeklenmiştir. Giriş katmanı dış çevreden giriş alan sinirleri içerir. Çıkış katmanı, sistemin çıkışını kullanıcı veya dış çevreye ileten sinirleri içerir. Genelde bu iki katman arasında birkaç gizli katman vardır.

Giriş katmanına bir giriş geldiğinde, sinirler diğer katmanlara giriş olacak şekilde çıkış üretir. Bu işlem koşulları yerine getiren kesin durum oluşuncaya kadar çıkışı dış çevreye aktarır. Gizli sinirlerin (düğümlerin) sayısı ağı en iyi çalışabileceği bir sayıda seçilmelidir. Eğer gizli sinir sayısı çok arttırılırsa, istenen sonuç değerinin üzerinde çıkmış olur. Bu durumda ağda genelleşme sorunu ortaya çıkacaktır.

2.1.4.2. İletişim ve Bağlantı Çeşitleri

Bir sinirin çıkışı diğer bir sinire giriş olarak yollarla bağlanır. Bu yollar normalde yönlü değildir. Bu nedenle iki sınır arasında iki yönlü bağlantı vardır. Sinir birçok sinirden giriş alır fakat diğer sinirlere aktarılan bir tek çıkış üretir. Bir katmandaki sinirler kendi aralarında bağlantı kurabilir veya hiçbir bağlantı olmayabilir.

2.1.4.3. Katmanlar Arası Bağlantılar

Katmanlar arasında kullanılan değişik türde bağlantılar vardır. Katmanlar arasında bu bağlantılar katmanlar arası bağlantı olarak adlandırılırlar. Bu bağlantı çeşitleri aşağıda kısaca anlatılmıştır.

Tam Bağlantılı: İlk katmandaki her sinir ikinci katmandaki her sinire bağlıdır.

Kısmi Bağlantılı: İki katmanın bir siniri ikinci katmandaki her sinire bağlantılı olmamalıdır.

İleri Besleme: İlk katmandaki sinirler çıkışlarını ikinci katman sinirlerine gönderir fakat ikinci katman sinirlerinden geri bir giriş almazlar.

Çift Yönlü: İkinci katman sinirlerinin çıkışlarını birinci katman sinirlerine taşıyan bir başka bağlantı kümesi vardır.

İleri besleme veya çift yönlü bağlantılar tam veya kısmi bağlantı olabilir.

Hiyerarşik: Eğer sinir ağı hiyerarşik yapıya sahipse düşük katmanların sinirleri bir sonraki seviyedeki katmanın sinirlerine iletebilir.

Rezonans: Çift yönlü bağlantılı katmanlar ve kesin durum oluşuncaya kadar defalarca mesajı bağlantı üzerinden göndermeye devam edebilir.

2.1.4.4. Sinirler Arası Bağlantı

Daha karışık yapılarda sinirler katman içinde kendi aralarında haberleşirler.

Tekrarlamalı: Bir katman içindeki sınırlar tam veya kısmi olarak biri diğerine bağlı olabilir. Bu sınırlar başka bir katmandan giriş aldıklarında çıkışlar başka bir katmana göndermeden önce birinin çıkışı diğerininkine defalarca aktarılır. Genelde çıkışlarını diğer katmana iletmeden önce bazı durumlarda katmanın sınırları arasında bağlantılar meydana gelir.

2.1.4.4.1. Merkez Açık/Dış Çevre Kapalı (On-Center/Off Surround)

Bir katmandaki nöronların kendi kendilerini ve yakın komşularını uyarabilip, diğer nöronları engelleyebilmesine olanak tanıyan bağlantıdır. Bu bağlantı şeklinin bulunduğu ağın katmanlarında, birbirleriyle yarış halinde olan nöron grupları vardır. Her bir nöron kendi kendini ve grup üyelerini uyarırken, diğer gruptaki nöronları engeller. Belli bir sinyal değişim süreci sonucunda, en aktif değere sahip nöronlar yarış kazanır. Bu nöronlar kendilerinin ve grup elemanlarının ağırlıklarını yineleme hakkını kazanırlar. (İki nöron arasında iki tür bağlantı olabilir: Uyarıcı ve Engelleyici Bağlantı. Uyarıcı Bağlantı'da bir nöronun çıkışı, bağlandığı diğer nöronun aktiflik potansiyelini artırır. İki nöron arasında Engelleyici Bağlantı olduğu zaman alıcı nöronun aktiflik potansiyelini düşüren etki kendisini gösterir.)⁽⁴⁻⁹⁾

2.1.5. Perceptron

F.Rosenblatt tarafından 1960'larda sinir ağları olarak önerilmiştir. Perceptronlar son derece sınırlı olmalarına karşın en eski sinir ağlarından

biridir. Bununla birlikte mevcut algoritmalarla (geriye yayılma gibi) yakın ilişki içinde olduklarından çok ilgi çekicidirler.

Rosenblatt, Perceptronları sıradan makinelerin çözemediği problemleri çözebilen “yeni tür bir bilgisayar” olarak ifade etmekteydi. Rosenblatt bir makalesinde “Görülebiliyor ki, Perceptronlar kesinlikle mantıklı ve günümüz otomasyonlarıyla ulaşılabilenin de ötesinde bir düzeyde insan algılama işlevlerinin iyi bir örneğini temsil edebilen insan-dışı sistemler ilkesi üzerinde kurgulanmışlardır.” demekteydi. Perceptronlar ilgi çekici makineler olsalar da bu düşünce doğrulanamamıştır.

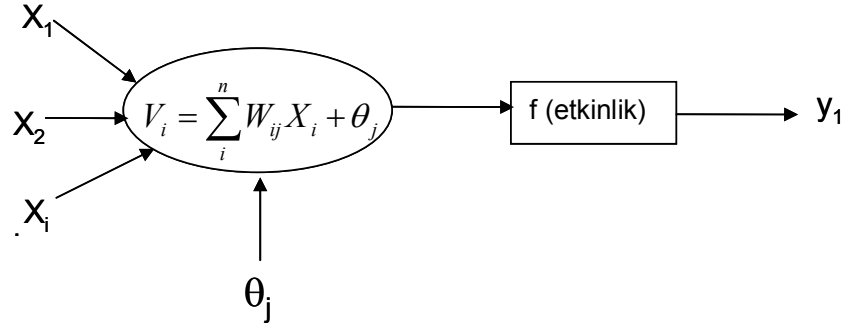
2.1.5.1. Turing Makinesi ve Perceptron

İngiliz matematikçisi Alan, Turing Makinesi (TM) fikrini ortaya çıkarmıştır. TM girdi çıktı haritasını hesaplayan bir makinedir. UTM ise diğer TM'leri taklit edebilen bir çeşit özel TM'dir. Bütün sayısal bilgisayarlar UTM'dir. Bu duruma göre beyin taklit etmesi için bir UTM'nin programlanması mümkündür.

Perceptron bir TM'dir. Fakat bazı mantıksal işlevleri gerçekleştiremediği için bir UTM'nin gücüne sahip değildir. Bundan dolayı Perceptron'un beyini taklit edebilme becerisine sahip olması zor gözükmektedir.

En basit YSA örneği tek katmanlı ve tek sınırlı Perceptrondur. Bu yapay sinir ağlarının birden çok girişi ve tek bir çıkışı vardır. Çıkış değeri +1 veya -1 olmaktadır. Perceptronlar genellikle nesnelere iki ayrı sınıfa ayırmak

için kullanılmıştır. Bu ağın mimari Frank Rosenblatt doğrusal olarak ayrılabilen sınıflar verildiğinde, Perceptronların deneme yanılma yoluyla bu sınıfları ayıran bir ölçü vektörü oluşturacağını göstermiştir. Şekil2.3’de Perceptron örneği gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Perceptron örneği

Perceptron girişlerin ağırlıklı toplamını eşik değeri olan θ ile karşılaştırır, ağırlıklı toplam eşik değerinden büyükse sonuç +1, aksi durumda sonuç -1 olmakta ve çıkışta A ve B diye adlandırabileceğimiz iki karar bölgesi meydana getirmektedir. Karar durumu eğer çıkış +1 ise A sınıfına, -1 ise B sınıfına karşılık gelmektedir.

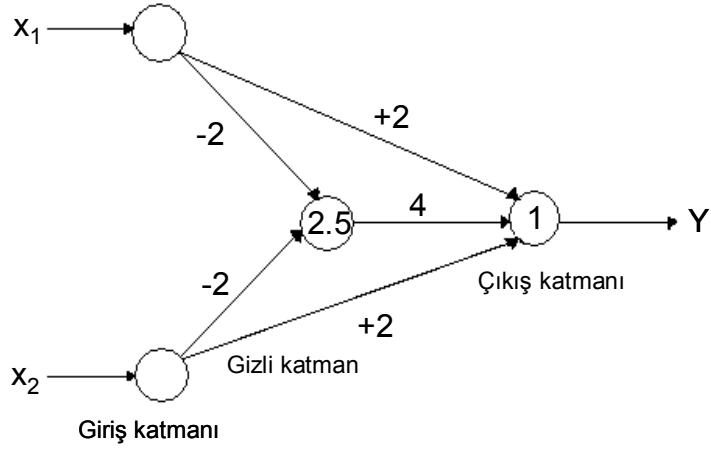
Perceptron hakkındaki en etkileyici şeylerden biriside Perceptronun sunulan herhangi bir girdi-çıkı ilişkisini öğrenebilme yeteneğinin olduğuna dair varolan kanıttır. Bu durumda önemli olan "hangisi için bir çözümün olduğu"dur. Çözümün varolduğu durumda problem, girdi-çıkı haritasının bir katlı algılamanın ölçümlerinde sunabileceği durumdaki problemdir. Örneğin

XOR problemine bir çözüm bir katlı algılama ile yapılamaz. XOR işlevi Çizelge 2.1’de gösterilen doğruluk tablosundaki gibi mantıksal bir işlemdir ve hiç tek katlı sinir ağı bu işlevi yerine getirememektedir.

Çizelge 2.1 XOR doğruluk tablosu

A	B	A XOR B
1	1	0
0	1	1
1	0	1
0	0	0

Yapılan araştırmalar, tek katmanlı sinir ağlarının çözemediği problemleri çok katmanlı sinir ağlarının çözebildiğini ortaya çıkarmıştır. Giriş bölümünde de belirtildiği gibi tek katmanlı Perceptronların XOR problemini çözemediği ve yapay sinir ağı alanında yapılan çalışmaların durakladığı anlatılmıştı. Çok katmanlı ağların kullanılmasıyla birlikte bu sorun da ortadan kalkmıştır. Bunun için giriş katmanının doğrudan çıkış katmanına bağlanmasıyla çözülemeyen XOR problemine, bu katmanlara ilave olarak bir gizli katmanın kullanılması bir çözüm getirmiştir. Şekil 2.4’de bu durum görülmektedir.



Şekil 2.4 XOR probleminin çözüm ağı

Şekil 2.4'de gizli katmanın sinirini $U_3=2.5$, çıkış katmanının sinirini ise $U_4=1$, eşik değerlerini ise $T_H=2.5$ ve $T_0=1$ diye adlandırırsak sonuç Çizelge 2.2'deki gibi olacaktır. Çizelge 2.2'de x_1 ve x_2 girişlerine gizli katmandaki U_3 ve çıkış katmanındaki U_4 sinirlerinin verdiği cevaplar görülmektedir.

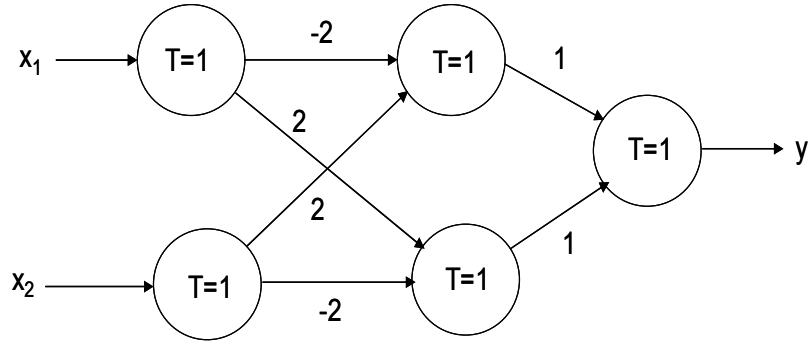
Çizelge 2.2 XOR Probleminin çözüm belgesi

X_1	X_2	U_3	$U_3 > T_h$	U_4	$U_4 > T_0$	Y
0	0	0	Hayır	0	Hayır	0
0	1	+2	Hayır	+2	Evet	1
1	0	+2	Hayır	+2	Evet	1
1	1	+4	Evet	0	Hayır	0

Örneğin girişler sırasıyla $x_1=0$ ve $x_2=0$ olacak şekilde ağa uygulandığında U_3 sinirinin birleştirilmiş değeri "0" olur. Bu değer T_H diye

adlandırılan eşik değerine aşmaz ve U_3 sinirinin çıkış değeri de "0" olur, dolayısıyla U_3 siniri harekete geçmez. Aynı şekilde çıkış katmanındaki U_4 sinirinin de birleştirilmiş değeri aldığı üç girişin ağırlıklı çarpımları ($0*2+0*2+0*(-4)$) neticesinde "0" olur. Bu değer de U_4 sinirinin eşik değerini ($T_0=1$) aşmaz ve çıkış yani $y=0$ olur. Bütün girişler aynı şekilde uygulandığında sonuç Çizelge 2.2'deki gibi olur.

XOR problemi Şekil 2.5'deki gibi iki gizli sinire sahip bir ağ ile de çözülebilmektedir.



Şekil 2.5 XOR problemine çözüm bulan bir yapay sinir ağı

2.1.6. Delta Kuralı

Hebb tarafından 1949'da ortaya atılan öğrenme kuralı diğer öğrenim kurallarına yol göstermiştir. Örneğin, iki sinir birbirine bağlanır ve aynı anda harekete geçerse bu iki sinir arasındaki bağlantı daha da güçlenir.

Hebb kavram ve düşüncelerin saklanan hafıza olmadığını, sinirler arasındaki hareketlilik örnekleri olduğunu söyler. Güçlü bağ noktalarının ayarlanması ile ilgili önemli başka bir nokta da şudur; ayarlamalar için gerekli

olan bilgi yerel olarak bağlantılarda bulunmaktadır. Yani programcının ayrıca kurallar oluşturmasına gerek yoktur. Hebb kuralının sınırlı bir tarafı da şudur; öğrenilecek bilgiler tamamıyla birbirinden farklı olmalıdır. Öğrenme ancak o zaman gerçekteşebilir.

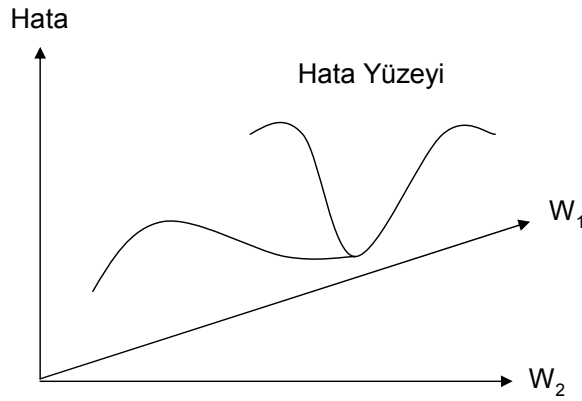
Hebb'in ortaya koyduğu basit kurallar 1962'de Bernard Widrow tarafından daha karmaşık bir şekilde ifade edildi. Bu karmaşık kural "Widrow Hoff" ,"Delta", "Delta-Delta", veya "en küçük kareler ortalaması" olarak isimlendirilir. Bu kural kullanılarak öğrenme oldukça basit bir süreç haline getirilebilmektedir.

Bir YSA'daki ağırlıklara önceden karar verilmez. Fakat hata düzeltme sistemi gerçekte sonuç elde edilinceye kadar ağıdaki gerekli ayarlamaları uygun şekilde yapmak için kullanılabilir. Delta kuralında; çıktıının gerçekte sonucu istenilen sonuç ile karşılaştırılır, girdiyi harekete geçiren ağırlıklar yapılan hata miktarıyla orantılı olarak azaltılır yada arttırılır. Burada ağırlıklarda değişiklikler yapılarak çıktıdaki sonuç gerçekte sonuca daha da yaklaştırılır. Buna gerçekte noktaya daha da yaklaşma adı verilir. Böylece hatanın en aza indirilmesi veya tamamen yok edilmesi sağlanır.

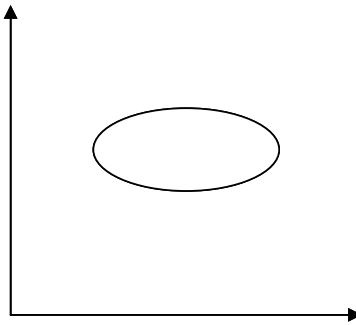
Bu matematiksel süreçte önce istenilen çıktı ve gerçekte çıktılar arasındaki farklılıklara bakılır ve daha sonra yapılan hata "eğimli iniş" adı verilen bir süreç kullanılarak en aza indirgenmeye çalışılır.

Görsel açıdan tüm ağ ile ilgili bir hata her bir ağırlık değerini karşılayan bir ekseni olan çok boyutlu alan olarak düşünülebilir. Daha sonra hata miktarını gösteren başka bir eksen de eklenebilir.

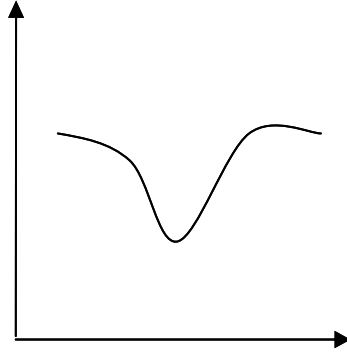
Her farklı ağırlık değeri için hata değeri değişir. Bütün bu hata değerleri bir hata yüzeyi oluşturur. İki ağırlık değerinden her biri için ayrı ayrı hata dereceleri olur ve bunlarda grafikte gösterilirse Şekil 2.6'deki gibi bir sonuç ortaya çıkar. Şekil 2.6'daki bir örnek için (hiçbir gizli düğüm ve doğrusal çıktı düğümü yok) hata yüzeyi daima kare biçimli olacaktır ve yukarıdan bakıldığında elips şeklinde görülecektir. Eğer dikey olarak kesilirse bir parabol şeklinde veya U şeklinde görülecektir. Dikkat edilmesi gereken nokta şudur; hata yüzeyinde hemen hemen tüm yüzeyi kaplayacak şekilde sadece bir kez düşme olmuştur.



Şekil 2.6 Hata yüzeyinin yukarıdan görünüşü (w_1, w_2 ' ye göre)



Şekil 2.7 Hata yüzeyinin enine kesiti (w_2 ' ye göre)



Şekil 2.8 Hata yüzeyinin yukarıdan görünüşü (w_2 'ye göre)

Ağırlık ayarlamaları iki şekilde yapılır. Birincisi; bütün girdi ve çıktılar ağırlık uygulanır, değişiklikler daha sonra yapılır ve ağırlıklara son şekli verilir. İkincisi, çevrim içi olarak adlandırılan ve delta kuralında kullanılan yoldur. Her bir girdi ve çıktı geçişinden sonra ağırlıklara son şekiller verilir. YSA'ların çıkışları genellikle birden fazla çıktı düğümünden oluşmaktadır. Bu durumda toplam ağırlık hata değerinin hesaplanması biraz farklı olacaktır. Bu tür ağlarda, ağırlık doğrudan çıktı düğümüne bağlı bir girdi düğümü olacaktır. Böylece bir düğümün etkinlik düzeyi, diğer düğümlerden alınan girdiye göre hesaplanır, ölçülür ve bir eşik değeri ile karşılaştırılır. Alınan girdiler eşik değerini aşarsa düğüm harekete geçer.

Hata miktarı, verilen bir girdi örneğinin çıktısına bakarak uygulanır ve daha sonra gerçek değer, bir hata değeri bulmak için istenilen değerle karşılaştırılır. Delta kuralı buna biraz daha katkıda bulunur ve hataya eklenen " ϵ " ve " d " nin değerleri için kurallar değişmez değildir. İstenilen çözüme hızlı bir şekilde ulaşmak amacıyla gerekli düzeltmeleri sağlayan değerleri bulmak için deneme yanılma yöntemi kullanılmalıdır.

Eğer bir çıktı düğümü için gerçek çıktı değeri istenilen çıktı değerine eşit değilse ağırlıkların ayarlanması delta kuralına göre işlem sırası şu şekildedir:

1. Çıkış düğümündeki hata (gerçek değerle istenilen değer arasındaki farkı) bulunur.

2. Düzeltme faktörünü bulunur.

$$(E + \varepsilon)d \quad (2.1)$$

3. Aşağıdaki kurala göre etkinliklere başlayan düğümler için ağırlıkları yeniden düzenlenir.

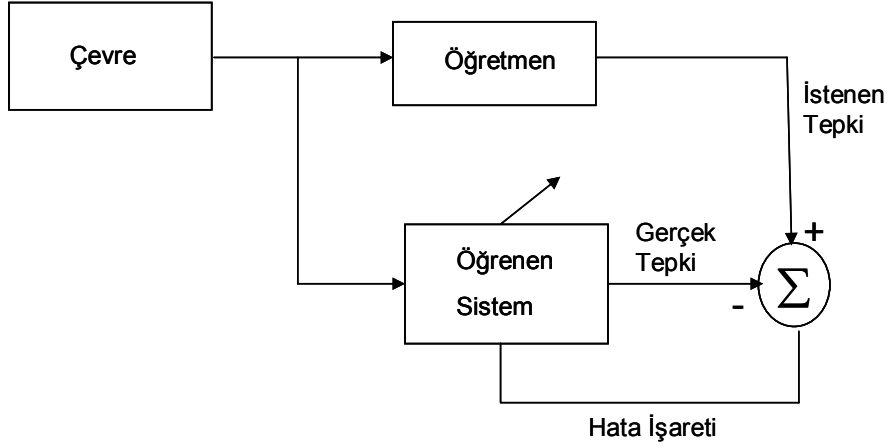
a. Eğer çıktı düğümü 0 ise ve istenilen değer 1 ise ağırlıklar artırılır.

b. Eğer çıktı düğümü 1 ise ve istenilen değer 0 ise ağırlıklar azaltılır.

2.2. Yapay Sinir Ağlarında Öğrenme

YSA'larda bilgi ağıdaki bağlantıların ağırlıklarında depolanır. Öğrenme sistemin bir bütün olarak istenen bir işlevi yerine getirecek şekilde ağırlıklarının ayarlanma sürecidir. Öğrenme gözetimli ve gözetimsiz öğrenme olmak üzere başlıca iki grupta incelenebilir. Gözetimli öğrenmede, sistem belli giriş çıkış ilişkilerini öğrenecek şekilde eğitilir. Sisteme belli bir giriş uygulandığında, o girişe karşılık üretilmesi arzu edilen çıkış da beraberinde verilir ve sistemin çıkış değerlerindeki hatayı en aza indirecek şekilde bağlantı ve ağırlıklarının düzeltilmesi sağlanır. (Şekil 2.9) Gözetimsiz

öğrenmede, sisteme sadece giriş değerleri uygulanır, arzu edilen çıkış değerleri verilmez. Sistem giriş uzayının dağılımına uygun biçimde kendi kendini düzenler.



Şekil 2.9 Gözetimli öğrenme blok şeması

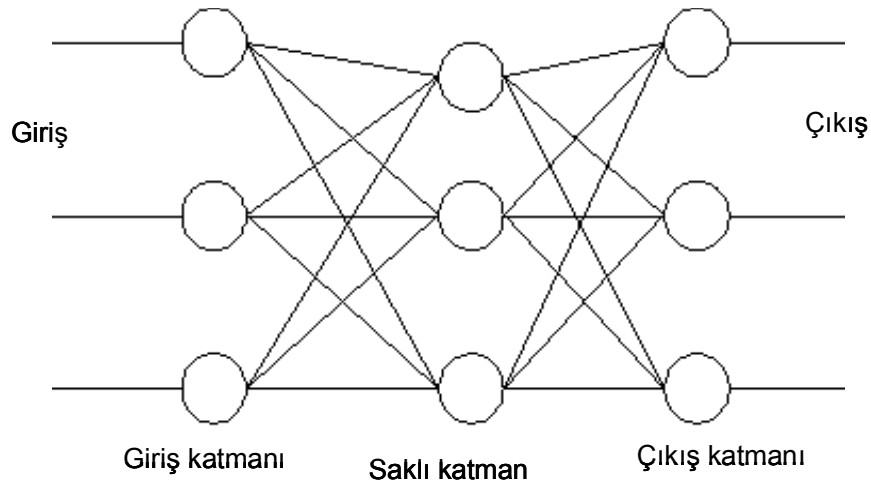
2.2.1. Gözetimli Öğrenme

2.2.1.1. Hata Geri Yayma Algoritması

Çok katmanlı ileri beslemeli yapay sinir ağlarında gözetimli öğrenme için sıkça kullanılan algoritmalarından biri hata geri yayma algoritmasıdır. (HG YA) Dik yokuş iniş yöntemine dayanan bu algoritma, ağdaki etkinleştirme fonksiyonlarının türevlenebilir olması koşuluyla, istenen çıkış değerleri ile çıkış katmanındaki nöronların çıkışları arasındaki farkı en aza indirecek şekilde ağırlıkların yerel hesaplamalarla verimli bir şekilde uyarlanmasını sağlar.

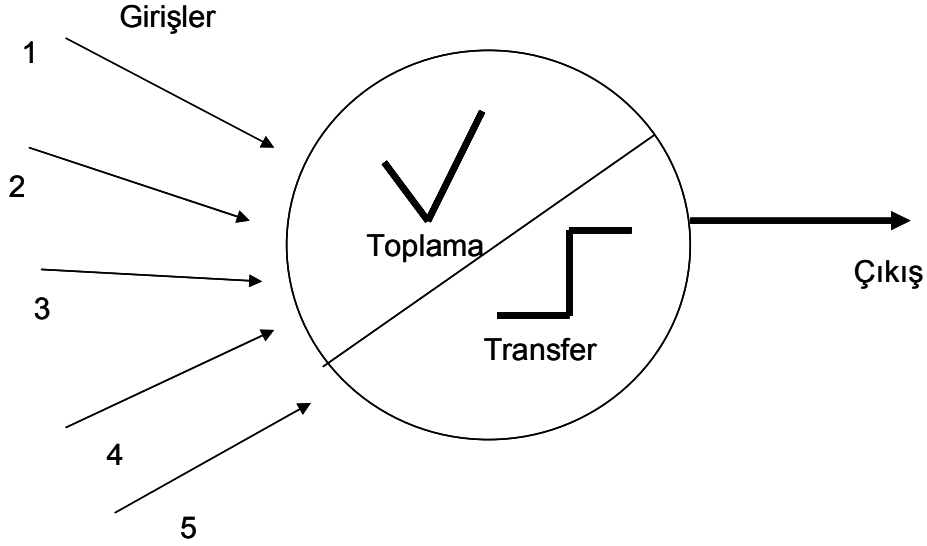
HGYA'yı açıklamak üzere Şekil 2.10'daki üç katmanlı YSA'yı göz önüne alalım.

Ağdaki her bir nöron tek bir işlem elemanıdır. Veri girişleri giriş nöronlarından yapılır. Giriş nöronları pasiftir ve hesaplanabilir değildir. Giriş ile çıkış arasında kalan saklı nöronlara ağırlıklı veri değerleri bu katmanlardan iletilir.



Şekil 2.10 Üç katmanlı YSA

Bütün gizli (saklı) nöronlar tüm giriş verilerini alır. Fakat her biri farklı bir ağırlık kümesine sahip olduğu için, değerler kümesi de farklıdır. Her bir gizli nöron kendisine değerleri işleyerek sonucu çıkış nöronlarına aktarırlar. Çıkışlar da farklı ağırlık kümesine sahiptir. Saklı nöronlar ve çıkış nöronları kendilerine gelen girişleri iki aşamada işlerler. (Şekil 2.11)



Şekil 2.11 Nöron fonksiyonları

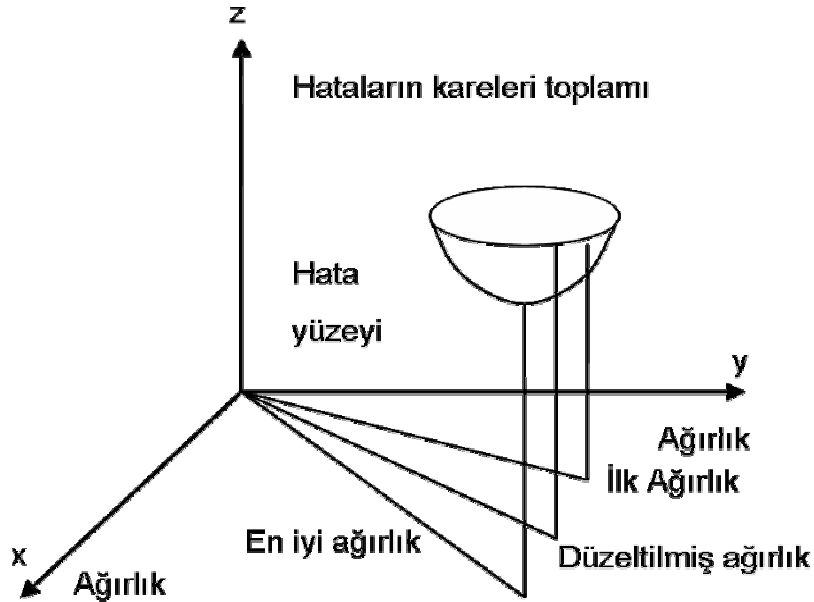
Her giriş kendisinin ağırlığı ile çarpılır, çarpımları toplanır ve sonra bu toplam bir fonksiyon üzerinden çıkış elde edilmek üzere başka bir katmana geçirilir. Bu transfer fonksiyonuna sigmoid fonksiyonu denir. Sigmoid fonksiyonu bir doğrusal olmama durumu oluşturur. Bu doğrusal olmama durumu, ağın yeteneğine daha fazla güvenilmesini sağlar. Hataları hesaplamak için girişi etkilenmiş örneklerden oluşan veri dizisinin hedeflenen çıkış örneklerini de içermesi zorunluluğu vardır.

HGYA'nın eğitilmesi sırasında ağ her giriş örneğini, çıkış nöronlarında sonuç üretmek üzere saklı katmanlardaki nöronlara geçirir. Sonrada çıkış katmanındaki hataları bulabilmek için amaçlanan sonuçtan gerçek sonucu çıkarır ve karesini alır. Bundan sonra ağ çıkış hatalarının türevini çıkış katmanından geriye doğru saklı katmanlara geçirirler. Bunu yaparken de

orijinal ağırlık bağlantılarını kullanırlar. HGYA'na ismini veren de işte bu geriye doğru yayılma özelliği olmuştur.

Ağırlıkların mümkün olan tüm değerleri, hataların kareleri toplamına karşı gelecek şekilde x y z koordinat sisteminde çizilir. Bu çizim sonunda hata yüzeyi küresel bir topa benzer. (Şekil 2.12). Şeklin en alt kısmı, hataların kareleri toplamının en küçüklerine karşılık gelmektedir. Eğitim sırasında amaç, ağırlıklar kümesini en iyi bulmak olan, en alt kısmını bulmaktır. Daha sonra da ağırlıkları, elips şeklindeki eğrinin alt kısmına doğru basamak basamak değiştirir. İşte bu, eğrinin üst kısmından alt kısmına doğru ilerleme işlemine 'Gradient Descent' denir.

HGYA hataların kareleri toplamını minimize eden ağırlıkları bulmak için oldukça etkilidir. Bu yüzden YSA'da sıkça kullanılır.



Şekil 2.12 Gradyant azaltma yöntemi

O çıkış nöronların kümesi, d_i uygulanan girdilere karşılık i nöronunun üretilmesi istenen doğru çıkış değeri, y_i ise i nöronunun gerçek değeri olmak üzere sisteme uygulanan bir giriş vektörü için,

$$E = 1/2 \sum_{i=0} (d_i - y_i)^2$$

(2.2)

Şeklinde bir hata tanımlayalım. Öğrenme sırasında, ağıdaki bağlantı ağırlıklarının bu hatayı en aza indirecek, diğer bir deyişle gerçek çıkış değerleri ile istenen değerler arasındaki farkı en aza indirecek şekilde yenilenmesi istenmektedir. Dik yokuş iniş yöntemi kullanılarak, ağırlıklar yokuşun ters yönünde,

$$\Delta W_{ji} = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{ji}} \quad (2.3)$$

olacak şekilde düzeltilir. Burada W_{ji} i nöronunun çıkışını j nöronuna bağlayan bağlantının ağırlığıdır.

$$\delta_i = -\frac{\partial E}{\partial net_i} \quad net_i = \sum_j w_{ij} y_j, \quad y_i = f(net_i) \quad (2.4)$$

olacak şekilde her nöron için bir δ_i hata işareti tanımlanırsa, $\Delta W_{ij} = \eta \delta_j y_i$

bulunur. Burada η öğrenme hızıdır.

Çıkış katmanındaki nöronlar için;

$$\delta_i = (d_i - y_j) f_i'(net_i)$$

(2.5)

Diğer nöronlar için ise;

$$\delta_i = f_j'(net_j) \sum_j \delta_k w_{kj}$$

(2.6)

olduğu çıkarılabilir. Buna göre, çıkış nöronları için hata işareti istenen ve gerçekte üretilen çıkış değerleri arasındaki fark kullanılarak kolayca hesaplanır. Gerideki katmanlarda bulunan bir nöronun hata işareti ise, bir üst katmanda bağlı olduğu nöronların hata işaretlerinin ağırlıklı toplamına eşittir. Bu şekilde çıkış katmanından başlayarak hata işareti geriye doğru yayılmak suretiyle, ağdaki tüm ağırlıkların alacağı yeni değerler yerel hesaplamalarla bulunur. Bir nöronun eşik değeri, nörona bağlı -1 değerinde sabit bir dış girdinin ağırlığı şeklinde modellenerek, aynen diğer ağırlıklarda olduğu gibi uyarlanabilir.

2.2.2. Gözetimsiz Öğrenme

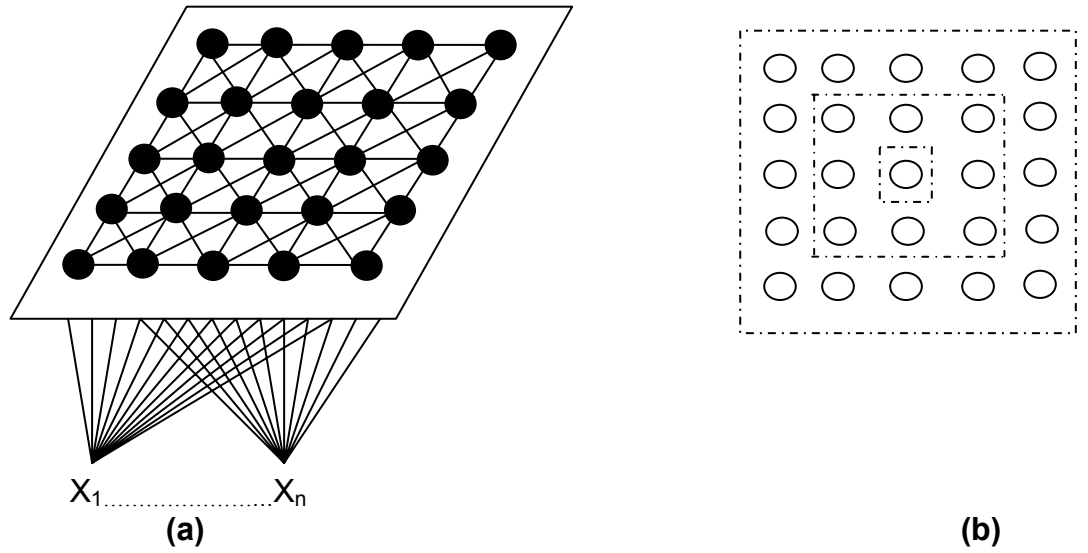
2.2.2.1. Öz Düzenlemeli Özellik Haritaları

Gözetimsiz öğrenme için belli başlı örneklerden birisi Kohonen ağıdır. Kohonen ağında, giriş katmanına ek olarak, birbiriyle topolojik olarak ilişkili nöronlardan oluşan tek bir çıkış katmanı vardır. Her bir giriş, çıkış katmanındaki her bir nörona bağlıdır. (Şekil 2.13.a) Ağ rasgele ağırlıklarla çalışmaya başlar. Herhangi bir giriş uygulandığında, giriş vektörüne "Öklid

Uzaklığı” en az olan nöron seçilir ve bu nörona gelen bağlantı giriş ağırlıkları giriş vektörüne yaklaşacak şekilde yenilenir. Bu kazanan nöron ile birlikte, onun topolojik komşuluğunda bulunan belli sayıda nörona gelen ağırlıklar da benzeri şekilde değiştirilir. i nöronu kazanır ise ağırlıklar:

$$w_j(t+1) = \begin{cases} w_j + \eta(t)[x(t) - w_j(t)] & i \in \Lambda_i(t) \\ w_j(t) & j \notin \Lambda_i(t) \end{cases} \quad (2.7)$$

olacak şekilde yenilenir. Burada x giriş vektörü, w_j j nöronuna gelen giriş ağırlık vektörü η öğrenme hızıdır. $\Lambda_i(t)$ ise merkezi kazanan nöron olan komşuluk fonksiyonudur ve t anında i nöronuna komşu olan nöronlar kümesini tanımlar.



Şekil 2.13 a) İki boyutlu Kohonen ağı, **b)** Zaman içinde azalan iki boyutlu topolojik komşuluk ilişkisi

Kazanan nöronun ne büyüklükte bir komşuluktaki diğer nöronları etkileyeceği zaman içinde değişkenlik gösterir. Şekil 2.16.b'de gösterildiği gibi bu komşuluk başlangıçta büyük tutulup zaman içinde küçültülür. Bu şekilde, giriş vektörlerine tek tek nöronların değil nöron guruplarının tepki vereceği şekilde bir öz düzenleme sağlanmış olur.

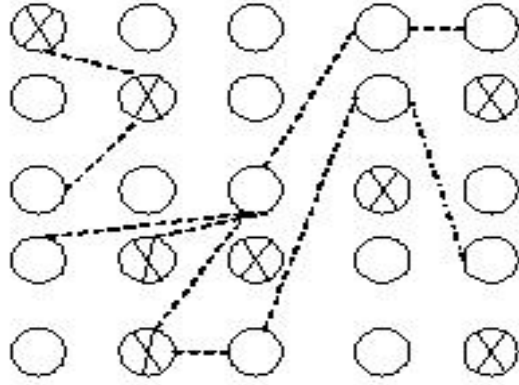
2.2.3. Yapay Sinir Ağları İle En İyileme

Yapay sinir ağları, durum uzayı kesikli olan en küçük veya en büyük değerlere erişme problemlerinin çözümünde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu problemlerde amaç, belli kısıtları sağlayan sonlu sayıda çözümden, eldeki bir değer fonksiyonu en iyi duruma getirecek olanın belirlenmesidir.

Hopfield ağı, Holtzmann ve Gauss makineleri iyileştirici olarak kullanılabilen YSA modelidir. Bu ağlardaki işlem birimleri, sadece yerel bilgileri kullanarak bütün durumun bir fonksiyonunu enleyecek şekilde davranırlar.

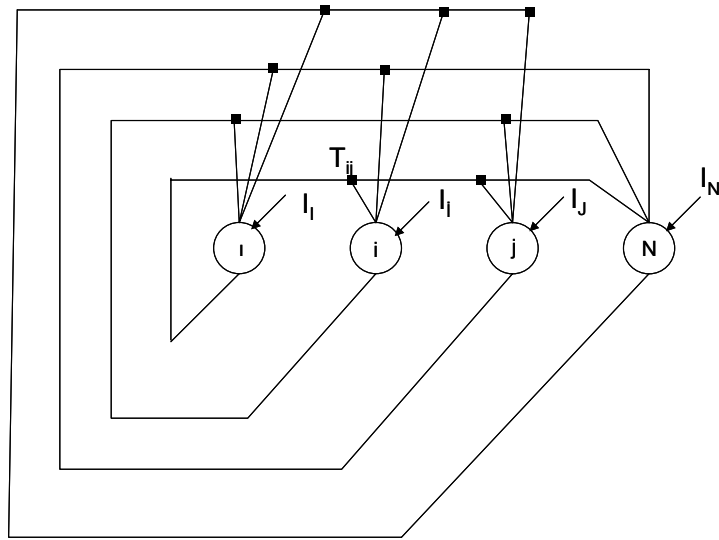
2.2.3.1. Hopfield Ağı

Hopfield ağı hafıza kaydedebilir ve kaydedilmiş örnekleri tanıyabilir. Kaydedilmiş örnekler, dinamik için önemli bir stokastik rol üstlenir. Hopfield ağ çözümleri, birbiriyle etkileşim içersinde olan çift kararlı duruma sahip nöronlarından oluşur. (Şekil 2.17) 1982 yılında ilk kez Hopfield tarafından tasarlanmıştır. Ağın dinamikleri stokastiktir.



Şekil 2.14 Spinglass-türü Hopfield ağları

Hopfield ağı geri beslemeli bir YSA'dır. Her bir nöronun çıkışı diğer her bir nöronun girişine bağlıdır. i nöronunun dış girdisi I_i , çıkışı V_i , j nöronunun çıkışı ile i nöronunun arasındaki bağlantının ağırlığı ise T_{ij} ile gösterilir.



Şekil 2.15 Hopfield Ağının Çalışması

$$\frac{du_i}{dt} = -u_i + \sum_{j=1}^n T_{ij}V_j + I_i \quad (2.8)$$

denklemleri ile tanımlanır. Burada $V_i = g(u_i)$ ve

$$g(x) = \frac{1}{2} \left(\tanh\left(\frac{x}{a_0}\right) + 1 \right) \quad (2.9)$$

ile verilir. a_0 değeri yeterince küçük ise, ağırlıkların simetrik yani tüm i ve j 'ler $T_{ij} = T_{ji}$ olması durumunda Hopfield ağı;

$$E = -\frac{1}{2} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n T_{ij}V_iV_j - \sum_{i=1}^n V_iI_i \quad (2.10)$$

şeklinde bir sistem enerji fonksiyonunu küçültecek şekilde davranır ve bu enerji fonksiyonunun yerel minimumuna karşılık gelen bir kararlı duruma ulaşır.

2.2.3.2. Boltzmann Makinesi

Boltzmann makinesi yapısal olarak Hopfield ağına benzerdir ancak ısı işlem benzetimi kullanılarak çıkış fonksiyonuna bir olasılık bileşeni katılmıştır.

Boltzmann makinesinde nöronların çıkışları 0 veya 1'dir. Bir nöron,

$$P_i(\Delta E) = 1/(1 + e^{-\Delta E/T}) \quad (2.11)$$

olasılıkla çıkışını 1 yapar. Burada $\Delta E = \sum_j T_{ij} V_j + I_i$ olup nöronun net girdisine karşılık gelir. T ise yüksek bir değerden başlayıp zaman içinde sıfıra doğru belli bir soğutma programıyla azaltılan sıcaklık parametresidir. Yüksek sıcaklıklarda bir nöronun durumu net girdisinden neredeyse bağımsızdır. Sıcaklığın sıfır olduğu nokta ise kesikli Hopfield ağına karşılık gelir.

2.2.3.3. Gauss Makinesi

Gauss makinesinde bir nöronun giriş çıkış ilişkisi stokastik olmamakla birlikte, çıkış değeri girişe eklenen rasgele bir gürültüden etkilenir. İ nöronun net girdisi,

$$net_i = \sum_j T_{ij} O_j + I_i + \varepsilon \quad (2.12)$$

Standart sapması σ olan bir Gauss dağılımına uyan gürültü işaretidir. Gauss makinesinde de gürültünün miktarını belirleyen bir sıcaklık parametresi vardır ve gürültünün standart sapması $\sigma = kT$ ile verilir. g etkinleştirme fonksiyonunun tanımında yer alan a_0 ve sıcaklık parametresi T yüksek değerlerinden başlayıp sıfıra doğru azaltılırlar. Boltzmann ve Gauss makineleri de Hopfield ağına tanımlanan enerji fonksiyonunu en küçük değerlere çekecek şekilde davranırlar. Ancak bu makinelerdeki olasılık bileşenleri, ağın yerel minimumlarından kaçarak genel minimumlara ulaşması eğilimini doğurur. Dolayısıyla genel minimuma ulaşmanın arzu edildiği uygulamalarda tercih edilirler.⁽¹⁰⁻¹⁷⁾

2.3. Ataletsel Seyrüsefer Sistemi

Seyrüsefer terimi “bir yerden başka bir yere gitmek için kullanılan yolu bulmak ve katetmek” olarak tanımlanabilir ve bunun birden çok yolu vardır.

Seyrüsefer sistemleri ikiye ayrılmaktadır.

1. Dış ortamlar yardımları ile konum ve yön bulan seyrüsefer sistemleridir. (Uydu tabanlı sistemler, Telsiz tabanlı sistemler)

2. Ataletsel seyrüsefer sistemleri (ASS): Konum ve yön bilgisini tamamen içsel olarak belirleyen sistemlerdir. ASS'ler yönü ölçmek yerine yöndeki değişimi ve ivmeyi ölçer. İvmelerin integralini alarak, tanımlanmış bir koordinat sistemine göre hız ve konum bilgisini belirler. Hız bir cismin dinamik karakteristiğidir Çünkü Newton'un ikinci kanununa göre hız bir kuvvetin uygulanmasını gerektirir. Aslında yer değişimi, hız ve ivme birbirleriyle ilişkilidir. Hız yer değişiminin birinci türevi ve ivme ise ikinci türevidir. Bunların yanında gürültülü ortamlarda kompleks ve akıllı sinyal işleme devreleri kullanıldığında bile türev alınarak hız ve ivmenin hesaplaması çok büyük hatalara neden olabilir. Bundan dolayı hız ve ivme pozisyon veya yaklaşım dedektörleri ile çıkartılmaz bunun yerine özel algılayıcılar ile ölçülür. Bir ana kural olarak 1 Hz civarında düşük frekans uygulamalarında çoğunlukla hız ölçümü tercih edilir. Yüksek frekanslı hareketlerin kabul edilebilir gürültü seviyesinde ölçümünde ise ivme ölçümü tercih edilir.

$$V = V_0 + at \quad (2.13)$$

$$X = X_0 + V_0t + \frac{1}{2}at^2 \quad (2.14)$$

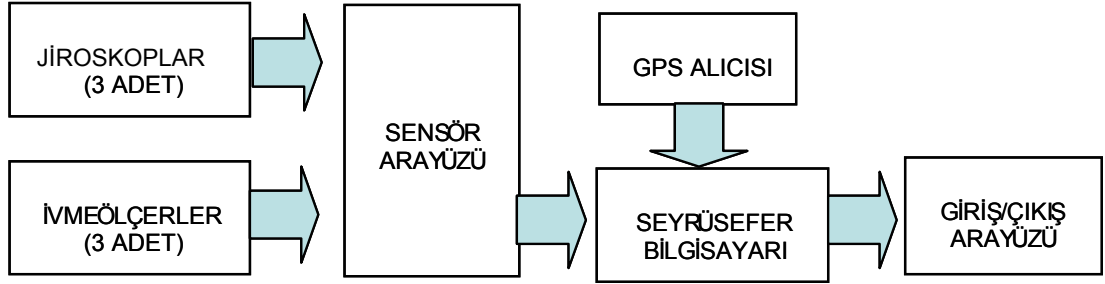
Günümüzde uygulanan seyrüsefer yöntemlerinden birisi ise, anlık pozisyon bilgisinin hız ve yönelim ölçümleri yardımı ile bulunmasını sağlayan ve sık kullanılmamakla birlikte dilimize “Parakete Hesabı” olarak geçen “Dead Reckoning” metodudur. Bu metotta kaydedilen son noktadan sonra geçen süre içerisinde gerçekleşen ortalama hız ve yönelim açısı yardımı ile kat edilen mesafe ölçülerek varılan nokta bulunmaktadır. Bu süreç Newton’un mekanik kanunlarına göre işleyen ve dış dünyadan bir referansa gerek duymayan ivmeölçerler ve jiroskoplarla ya da genel adları ile “Ataletsel Sensörler” ile gerçekleştirilebilmektedir. Bu sensörler kullanılarak tasarlanan seyrüsefer sistemlerine de ataletsel seyrüsefer sistemleri denmektedir. Bu sistemlerde ataletsel ivme ve dönü bilgileri ölçülerek aracın yönelimi ve bu yöndeki ortalama hızı hesaplanabilmektedir.

Ataletsel sistemler dış kaynaklardan bilgi gerektirmedikleri için aldatılması veya karıştırılması mümkün olmayan sistemlerdir. Bu nedenle ataletsel sistemler özellikle askeri araçlarda öncelikli olarak kullanılmaktadırlar. Ancak Parakete Hesabı türü seyrüsefer yönteminde her nokta bir önceki bilginin üzerine hesaplandığından zaman içinde sensör ve hesaplama hataları birikebilmektedir. Bu sebeple ataletsel sistemlerin bir başka algılayıcı (GPS, altimetre, Doppler radar vb.) ile birleşik kullanılması çok yaygın olarak karşılaşılan bir uygulamadır.

Günümüzde en yaygın kullanım, ASS ile küresel konumlama sistemlerinin (GPS) birlikte kullanılmasıdır. GPS hatalarının zaman içinde sınırlı kalması, tüm dünya üzerinde kullanılabilir olması ve ucuzluğu onu ataletsel seyrüsefer

sistemleri ile birleştirilmeye en uygun birim olarak ortaya çıkarmaktadır. Böyle bir GPS entegre ataletsel seyrüsefer sistemi Şekil 2.16'da verilmiştir.

Temel olarak GPS entegre ASS'lerin çalışma mekanizması şu Şekilde zetlenebilir.



Şekil 2.16 GPS Entegre ASS blok Şeması

- Sisteme başlangıç koordinatı GPS üzerinden aktarılır. (istenildiğinde elle yada kullanılan diğer avionik sistemlerden de aktarılabilir ya da sistemin kapatıldığı son noktanın koordinatları ve kuzey doğrultusu da kullanılabilir.)

- Dünya dönüşünün ve yer çekiminin ivmeölçerler ve jiroskoplarda üzerinde yarattığı etki ölçülerek gerçek kuzey doğrultusu hesaplanır.

- Jiroskoplarda ve ivmeölçerlerden birim zaman içinde gelen dönel hız ve doğrusal ivme bilgileri sensör arayüzü üzerinden sayısallaştırılarak seyrüsefer bilgisayarına aktarılır.

- İvmeölçerlerden gelen ivme bilgisi hız ve yol bilgisine çevrilir. Jiroskoplardan alınan dönü bilgilerinin birikimi ile yönelim bilgileri elde edilir. Bu bilgiler ile GPS'te hesaplanan konum (GPS uydularına olan uzaklıklar) bir

kalman filtre üzerinde birleştirilir. Bu yöntemle hem sürekli hem de hataları zamanla artmayan yüksek hassasiyetli konum ve yönelim bilgileri elde edilir.

- Anlık koordinat, gerçek kuzey doğrultusu, hız ve duruş konumu (Pitch, Roll, Heading) gibi seyrüsefer bilgileri ise giriş/çıkış arayüzü üzerinden ilgili aviyonik cihazlara aktarılır.

2.3.1. Ataletsel Sensör Teknolojisinin Gelişimi

Ataletsel sensör teknolojisindeki gelişmeler, 1920'li yıllarda Elektromekanik (EM) sensörlerle başlar ve 1960'lı yıllarda Lazer jiroskopların geliştirilmesi ile devam eder. Güdüm ve seyrüsefer gibi birçok uygulama alanında uzun bir süre kullanılan EM sensörler ile Lazer jiroskoplar yerini 1980'li yıllarda geliştirilen fiber optik jiroskoplara bırakmıştır. Fiber optik jiroskopların ucuz ve daha az bakım gerektirmesi çok kısa sürede çeşitli uygulama alanında yaygın olarak kullanılmasına neden olmuştur.

Sensör teknolojisindeki araştırma ve geliştirme çalışmalarının temel amacı, başlangıçta iyi bir performans ve hassasiyete sahip iken daha sonra benzer performanstaki sensörlerin daha ucuz ve küçük hacimde geliştirilmesi şeklinde değişmiştir.

Bu doğrultuda yapılan çalışmalar sonucunda;

- Düşük maliyetli,
- Küçük hacimli,
- Daha az üretim maliyeti olan,
- Aynı sürede daha fazla miktarda üretebilen

- Daha az bakım gerektiren, sensör teknolojileri geliştirilmiştir.

Özellikle başka bir ölçüm kaynağından destek alarak konum ve yönelim hesabı yapabilecek teknolojilerin geliştirilmiş olması ataletsel sensör teknolojilerindeki araştırmalara yeni bir yön vermiştir. Günümüzde dışardan destek sistemlerinin en önemlisi GPS olarak gösterilebilir. ASS GPS'den gelen konum bilgisi ile optimal bir entegrasyon algoritması dahilinde entegre olarak kendi sensörlerinden kaynaklanan hataları giderebilmektedir. Dolayısı ile bu entegrasyon ASS'nin içersindeki sensörlerin daha az hassas olması durumunda bile seyrüseferin istenen doğrulukta yapılmasını sağlamıştır. GPS ve diğer dış destek ile entegrasyon teknolojisi daha düşük hassasiyetli ataletsel sensörlerin kullanımını mümkün kılmıştır. Bu konudaki araştırmageliştirme çalışmaları, daha hassas sensör geliştirilmesi yerine daha küçük ve ucuz sensör üretilmesi doğrultusunda yapılmıştır. Teknolojideki bu yaklaşımlar sonucu Mikro Elektro Mekanik Sensörler (MEMS) ortaya çıkmıştır.⁽¹⁸⁾

2.3.2. Kullanım Amacına Göre Seyrüsefer Sistemleri

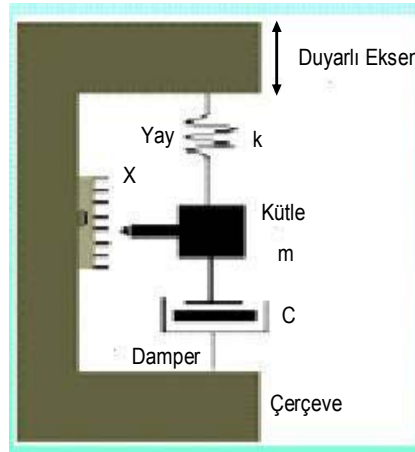
2.3.2.1. İvmeölçerler (accelerometer)

Titreşim bir referans pozisyonu etrafında periyodik osilasyonlu hareket içeren dinamik mekaniksel bir fenomendir. Bazı durumlarda (şok, darbe analizi, doğrusal hızlanma, vb.) osilasyon cephesi olmayabilir fakat ölçme ve

algılayıcının tasarımı aynı kalır. Bir ivme ölçümü bir çeşit sismik kütle, bir yaylı destek sistemi ve sönüm özellikli çerçeve yapısı ile tek serbestlik dereceli bir aygıt olarak tanımlanabilir.



Şekil 2.17. İvmeölçer Çıktısı



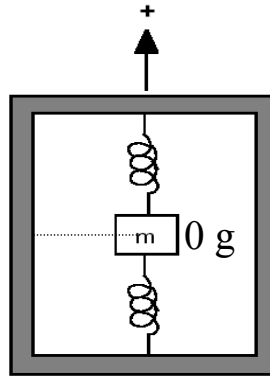
Şekil 2.18. Bir kutu içerisine monte edilmiş yay ve ona bağlı kütleden oluşan basit bir ivmeölçer modeli

- Hareketli kütle
- Askı mekanizması

– Kapasitif, indüktif veya rezistif olarak çalışan okuyucu

İçsel yapısı ne olursa olsun bir ivmeölçeri şu şekilde düşünebiliriz.

- Hareketli bir kütle, gövdeye bağlı bir çift yay sistemi. Burada ok girdi eksenini göstermektedir.
- Bu yönde (+) bir girdi ivme uygulandığında kütle aşağı yönde yer değiştirecektir.
- Aynı şekilde bir bütün olarak cisme yerçekimi ivmesi (g) uygulandığını düşünürsek bu kez de kütle aşağı yönde hareket edecektir.
- Fakat g'nin aşağı yönde olup girdi eksenine ters yönde olduğundan ivmeölçerin asıl ölçtüğü özgül kuvvet (specific force) olarak adlandırılıp $f=a-g$ olarak ifade edilir.



Şekil 2.19. İvmeölçer Yerçekimi Etkisi

- Bu sistem iki durumla analiz edilebilir.

$$f = a - g$$

(2.15)

- İvmeölçer vakum ortamda serbest düşme yaparken sıfır okuyacaktır.

$$a = g \rightarrow f = 0$$

- Laboratuvar ortamında masa üstünde dururken tekrar girdi eksenini yönünde ivme uygulanmış gibi hareketli kütle aşağı yönde ilerleyeceğinden pozitif ivme etkisi yapacaktır. Uygulanan a ivmesi 0 olduğundan,

$$f = -g \text{ olacaktır.}$$

2.3.2.2. Jiroskoplar (Gyroscope)

Manyetik bir pusula ile beraber jiroskoplar çok kullanılan bir yakınlık algılayıcısıdır. Çoğu durumlarda yerin manyetik alanı (örneğin uzayda olmayabilir) bazı parazitler tarafından değişebilir. Bir jiroskop bir aracın pozisyonunun tanımlanmasında vazgeçilmez bir ayardır. Bir jiroskopun çalışması açısal momentin korunumu temel prensibine dayanır. Herhangi bir partikül sisteminde sistem üzerine dış kuvvetlerin etki etmemesi şartıyla boşluktaki sabit noktaya göre sistemin toplam açısal momentini sabit kalır.

Jiroskoplar girdi eksenini etrafındaki dönü bilgisini elektriksel bir büyüklük olarak çıktılar.

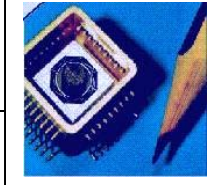


Şekil 2.20 Jiroskop çıktısı

Mekanik Jiroskoplar



Döner Yapılı



Titreşen Yapılı

Işıksal (Optik) Jiroskoplar



Lazer



Fiber Optik

Şekil 2.21 Jiroskop çeşitleri

2.4. Mekanik Jiroskopların Prensipleri

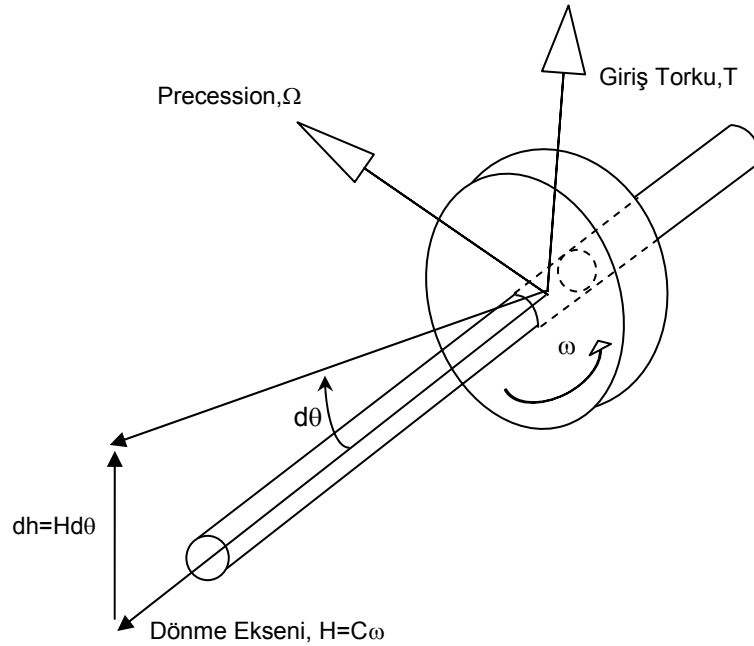
Fransız bilim adamı Leon Foucault dünyanın dönmesini incelemek amacı ile Paris'te Ponthéon'da üretilmiş, büyük bir sarkaç (67m) kullanmıştır. Sarkacın demir sallama bölümü 28 kiloydu ve 15 saniye periyodu ile sallanıyordu.

Dünya sallanan sarkacın altında döndükçe, sallanma düzlemi saat yönünde (çünkü, kendisi kuzey kutbundaydı) dünyanın dönme oranında döndüğü görülmüştür. Bunun sebebi sarkacın momentumunun hareketsiz uzayda sabitlenmesidir. Sarkacın hareketi hava akımları yüzünden düzensizleşmektedir. Bu yüzden hareketsiz referans olarak kesinliğini kaybetmektedir. Bu sebeple Bohnerberger ve Johnson deneyleri üzerine Foucault 1852'de daha kompakt ve daha hatasız bir araç tasarlamıştır. Bu

tekerlek açısai momentumu sayesinde laboratuar dünyayla dönmesine rağmen uzayda sabit kalmaktadır. Dış gözlemciler jiroskopu hareketli görüyorlardı. Çünkü onlar dünyayla birlikte hareket halindedilerdi. Foucault iki Yunanca kelimeyi “görmek” ve “dönmek” gyros ve stopein kelimelerini birleştirip asılı kola tekerleğine gyroscope ismini vermiştir.⁽¹⁹⁻²²⁾

2.4.1. Açısai Momentum

Açısai momentum stabilize eder. En iyi bilinen silah namlusunun içindeki spiral yivlerin, mermiyi döndürmesi ve bu şekilde stabilize etmesidir. Newton'un 2 nci hareket kanununa göre bir kütlenin açısai momentumu eğer üzerine tork uygulanmaz ise sabit kalır ve açısai momentumun değişme oranı üzerine uygulanan tork (T)'ye eşittir.



Şekil 2.22 Jiroskop prensibi

$$T = \frac{dH}{dt} \quad (2.16)$$

H=Açısal momentum= lw

Eğer tork dönme eksenine açısal etki ediyorsa torkun bu etkisi açısal hızı artırır.

$$T = C \frac{d\omega}{dt} = C\alpha \quad (2.17)$$

C=Spin (dönme) eksenindeki atalet momenti

α =Açısal ivme

Atalet momenti (parça içersindeki kütle dağılımı), bir topacın buz üstünde kayması gibi sabit kalmayabilir.

2.4.2. Jiroskop Kanunu

Eğer tork parçanın dönme eksenine dikey ise, açısal hız vektörü sayısal değerini değiştirmez, ancak Şekil 2.22'de görüldüğü gibi yönünü değiştirebilir. Açısal momentum H dönme eksenini üzerindedir ve tork T yukarı doğru etki ederse, bunun tekerleğe vereceği döndürme yönü ayrı yöndeki torkun sağ el vidasını döndürme yönüyle aynı olacaktır. Açısal momentum değişimi dH T ile aynı yönde ve değerdedir.

$$dH = Hd\theta \quad (2.18)$$

$d\theta$ =Döndürülen açı

Bunu 2.16 denklemi ile birleştirirsek, Jiroskop Kanunu'nu elde etmiş oluruz.

$$T = \frac{dH}{dt} = H \frac{d\theta}{dt} = H\Omega \quad (2.19)$$

Ω =Precession oranı; tekerleğin dönme ve giriş tork düzlemine normal eksenindeki açısal hızı.

Eğer tekerlek precession ekseninde dönerse dikey ekseninde tork oluşur. Jiroskop tekerleğinin hangi yönde döndüğünü hatırlamak için, jiroskop tekerleğini çevirdiğinizde jiroskop dönme eksenini, verdiğiniz giriş torku ile aynı doğrultuya gelmeye çalışır.

2.4.3. Parazitik Tork Düzeyi

Çoğunlukla jiroskopun parazitik tork nedeni ile oluşan hava sürtünmesini azaltmak önem arz etmektedir. 1m/h hava sürtünmesini azaltmak için bir jiroskop $H=10^6$ dyn.cm.s (gm.cm²/s)'ye sahip olabilir ve rasgele hava sürtünmesinin 0.01 deg/h'dan az olması gerekir. Buna göre;

$$\Omega=0.001/h=4.8 \times 10^{-8} \text{ rad/s}$$

$$T=4.8 \times 10^{-2} \text{ dyn.cm}$$

Bir dyne yaklaşık olarak 1 mg ağırlığındadır. 0,05mg, 1 mm² alüminyum folya ağırlığındadır. Böyle bir ağırlık, 1 cm yarıçapında bu düzeyde bir drift (hava sürtünmesi)'ne sebep olacaktır.

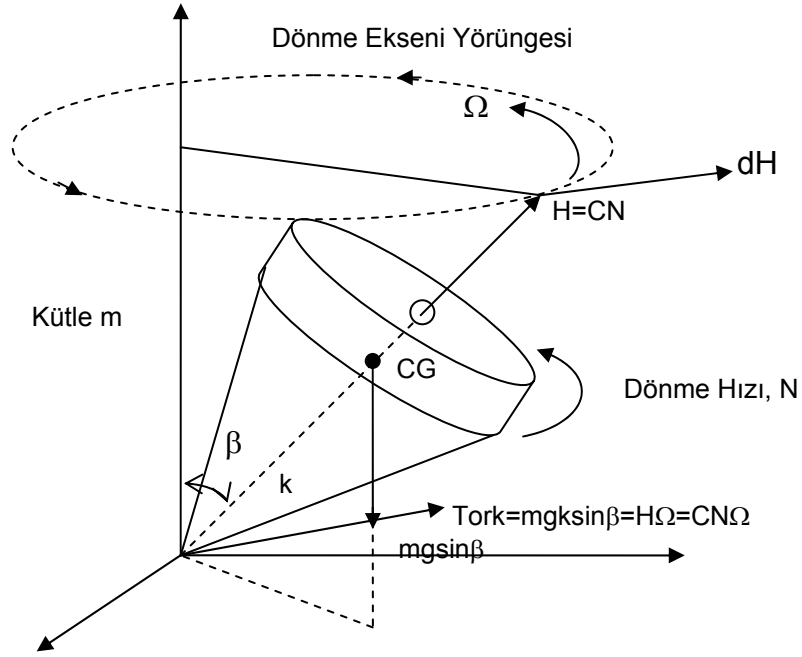
2.4.4. Açısal Momentumun Avantajları

Sabit tekerleğin ataletini, dönen bir cismi dönme eksenine bağlayarak ve dönme eksenini ile tekerlek arasındaki açıyı ölçmek için kullanabiliriz. Jiroskopu daha ekonomik yapmak için sürme motorunu ve güç ünitesini çıkararak, bir enkoder'la shaft ve rotor arasındaki açıyı ölçebiliriz. Şimdi dönen bir jiroskop tekerleğinin faydalarını belirtelim.

Rulmanlardaki sürtünmenin, tork T'yi tekerleğe aktardığını kabul edelim. t zamanında, tekerleğin ivmesi α , açısal hız Ω 'i sağlasın.

$$\alpha = T/C \Rightarrow \Omega_1 = (T/C)t \quad (2.20)$$

Aynı tork W açısal hızıyla dönen tekerleğe normal düzlemde uygulandığında oluşan açısal hız Ω_2 ,



Şekil 2.23 Dönen topacın precession hareketi

$$\Omega_2 = T/CW \Rightarrow \Omega_1 / \Omega_2 = Wt \quad (2.21)$$

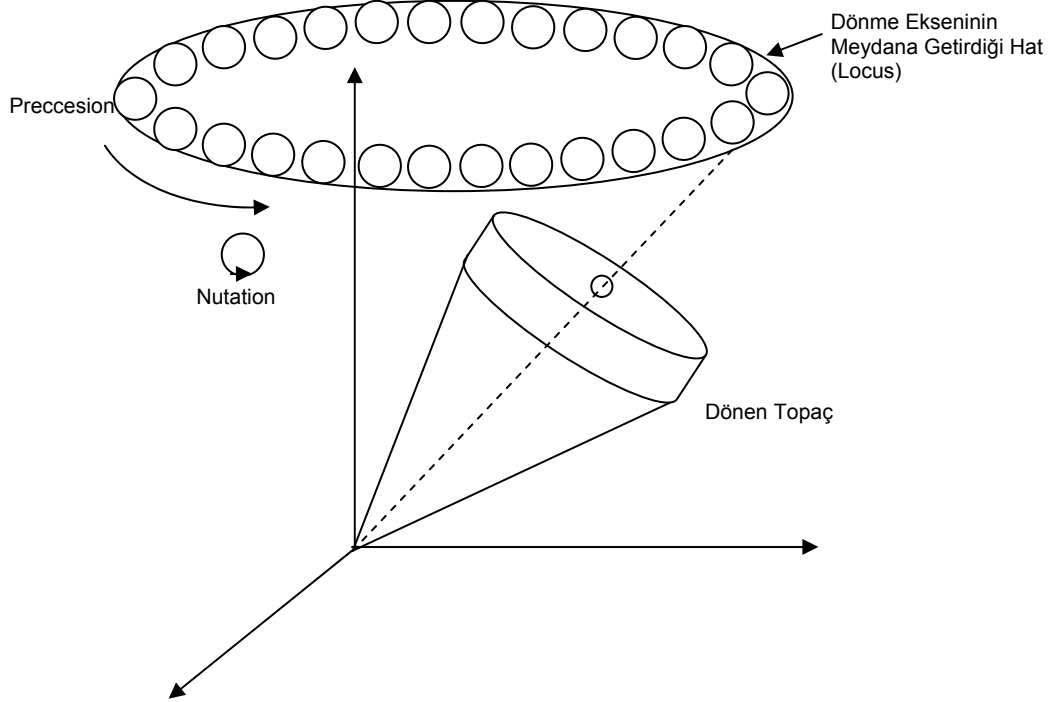
w açısal hızında dönen bir tekere normal uygulanan aynı tork Ω_2 precession açısal hızını verir.

Eğer T, istenmeyen parazitik torku temsil ederse dönmeyen tekerleğe göre etkisi wt kat büyüktür ve W 2500 rad/s olabilir; açısal momentum sabit atalete göre çok daha iyi stabilize eder.

2.4.5. Dönen Topaç-Nutation

Topaç dönme eksenini dikey olarak uzayda yavaş koni hareketi yapar. Topacı devirmek için ağırlık yatay bir tork oluşturur. Dönme eksenini kendini

tork ile hizalamak için hareket eder. Böylece topaç dH yönünde (torka paralel) hareket edecektir. (Şekil 2.24) Ancak topaç hareket ettikçe tork yönünde hareket eder. Böylece dönme yolu yönü değişir, topaç eksenini bir daire içerisinde orbitlenir (kümelenir). Topaç yavaşladıkça H azalır ve dH/dt ağırlıktan oluşan torku dengeleyemediği zaman topaç devrilir. Yüksek dönme hızlarında precession hızı atalet torkuna kıyasla ağırlık torkuna bağlıdır. Ancak dönen bir topaçla parmağımızla yavaşça dokunursak dönme eksenini, hızlı dögüsel hareketler yaratacaktır. Buna nutation denir.



Şekil 2.24 Precession and nutation

Nutation ağırlık torkundan daha az etkilenir ve dönen parça üzerindeki atalet kuvvetleri ile belirlenir.

2.4.6. Dönen Cisim Hareketleri İle İlgili Denklemler

Bu iddiaları kanıtlamak için çapraz (transverse) ataletleri eşitlemek amacıyla dönme eksenine göre simetrik dönen bir cisim varsayalım. Sabit bir x,y,z düzleminde, eğer bir cisim z ekseninde dönüyorsa, $H=C\Omega_2$ olacak şekilde açısal momentuma sahip olacaktır. X ve Y eksenlerindeki torkları, atalet torku ve jiroskopik torklarının sayısal toplamını,

$$T_x = A\left(\frac{d\Omega_x}{dt}\right) + H\Omega_y \quad (2.22)$$

$$T_y = A\left(\frac{d\Omega_y}{dt}\right) - H\Omega_x \quad (2.23)$$

A =Çapraz atalet momenti olacak şekilde yazabiliriz.

Bu diferansiyel denklem çifti sabit precession ve salınım çözümlerine sahiptir.

$$\Omega_x = \frac{-T_y}{H} \quad (2.24)$$

$$\Omega_y = \frac{-T_x}{H} \quad (2.25)$$

$$\Omega_x = K_1 \sin W_n t + K_2 \cos W_n t \quad (2.26)$$

$$\Omega_y = -K_1 \cos W_n t + K_2 \sin W_n t \quad (2.27)$$

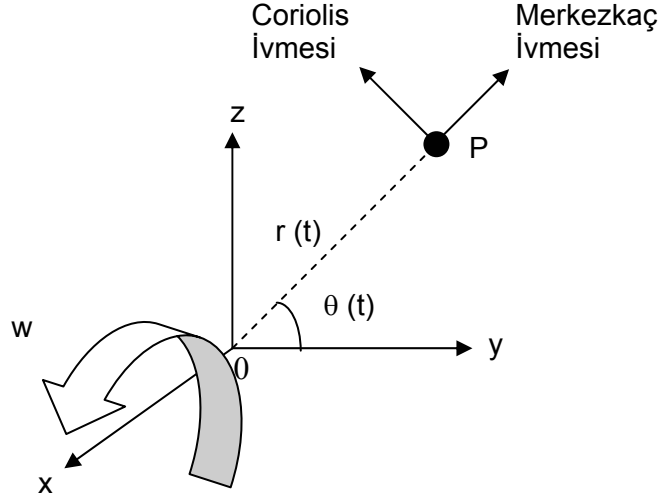
$$w_n = \frac{H}{A} = \left(\frac{C}{A}\right)W_z = \text{Doğal frekans} \quad (2.28)$$

K_1 ve K_2 ilk durumlarda bulunan sabitlerdir.

Küre için $A=C$ ve W_n =Dönme hızıdır. İnce disk için $C=2A$, nutation dönme hızının iki katıdır. Genel olarak, atalet oranı C/A kullanılan jiroskop rotorları için iki uç değer arasındadır ve nutation dönme hızının 1.5 katı olur. Nutation 'un genliği sönümlenmeye bağlıdır. Pratikte kullanılan iki eksenli jiroskoplar mekanik sönümlenmeye sahiptirler ve nutation sönümlenmesi elektroniğine ihtiyaçları vardır.

2.4.7. Coriolis İvmesi

Fransız mühendis ve matematikçi Gaspard de Coriolis balistik izdüşüm hesaplarında dünyanın dönüşüne göre düzeltilmiş bir ivme olduğunu 1835 yılında ileri sürdü. Coriolis ivmesi bir nokta etrafında sabit bir hızda dönen ve radyal hareket eden bir cisim üzerine etki eder. Dünya üzerinde uzun süre çalışacak seyrüsefer sistemlerinde coriolis ivmesi dikkate alınmalı ve konum hesabı yapılırken bu etki giderilmelidir.



Şekil 2.25 Coriolis ivmesi

Şekil 2.25'de P noktasındaki bir kütle yz düzleminde hareket eden böylece x eksenine göre W açısal hızına sahip ve değişken yarıçap (r) görülmektedir.

Kütle hız bileşkeleri,

$$\frac{dz}{dt} = -r \sin \theta \left(\frac{d\theta}{dt} \right) + \cos \theta \left(\frac{dr}{dt} \right) \quad (2.29)$$

$$\frac{dy}{dt} = -r \cos \theta \left(\frac{d\theta}{dt} \right) + \sin \theta \left(\frac{dr}{dt} \right) \quad (2.30)$$

Her iki denklemin zamana göre türevi alınır ve tekrar düzenlenirse P'nin OP ve OP'ye normal yönlerde ivme denklemlerini elde ederiz. Açısal ve doğrusal hızları sabit kabul edersek;

$$\frac{dr}{dt} = v \text{ ve } \frac{d^2r}{dt^2} = 0 \quad (2.31)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = w \text{ ve } \frac{d^2\theta}{dt^2} = 0 \quad (2.32)$$

Radyal: $-rw^2$ Merkezkaç ivmesi

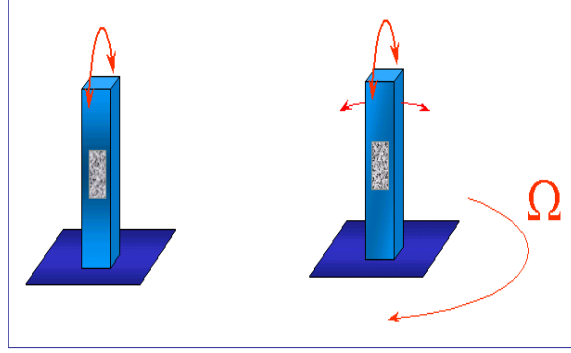
Normal: $2vw$ Coriolis ivmesi

Merkezkaç ivmesi (Şekil 2.25), cismin üzerine döndüğü yolun merkezine doğru uyguladığı kuvvet sayesinde cisim kapalı dairesel yolda hareket ettirir. Viraj dönen araba içersinde hissettiğimiz merkezkaç kuvveti, Newton'un Birinci Kanuna göre düz çizgide ilerleme isteğindeki histir. Dönmeyi sağlayan merkezsiz kuvvet, lastiklerdeki sürtünme araba koltuğuna oradan da vücudumuza aktarılır. Merkezkaç ve merkezsiz kuvvetleri birbirinden ayırırken, gözlemcinin hangi referans düzleminde bulunduğunu göz önünde bulundurmalıyız. Arabada bunu yanımızda taşırız. Bir ip ucundaki taşı döndürürken ve ipteki dışa doğru kuvveti eşit ve ters kuvveti hissederiz.

Titreşen yapılı jiroskoplar açısal hızı algılamak için titreşen bir kütleyi kullanırlar. "Coriolis" etkisi sayesinde, ölçerin boylamsal eksenini etrafındaki dönüsel bir hareket bu dönüyle orantılı bir DC gerilim yaratır.

Şekil 2.26'da ilk kısımda görülen çubuk biçimindeki yapı, bir titreşimci (osilatör) tarafından şekilde görülen yönlerde titreştirilir. Boylamsal eksen etrafında verilen bir dönü, titreştirilen çubuğun üzerinde "Coriolis" adını verdiğimiz bir kuvvet oluşmasına neden olur. Oluşan bu kuvvet şeklin ikinci

kısımında gösterilen yönlerde olur. Bu hareketin yarattığı sinyal bir toplayıcı yükseltici tarafından alınır. Yükseltimden sonra bu sinyaller demodüle edilerek dönü ile orantılı DC bir sinyale çevrilir.



Şekil 2.26 Titreşen Yapılı Jiroskop İçin Coriolis İlkesi

$$F = 2m\Omega_i V_r \quad (2.33)$$

$$a_c = 2\Omega_i V_r \quad (2.34)$$

a_c : Coriolis ivmesi

F_c : Coriolis kuvveti

m : Kütle

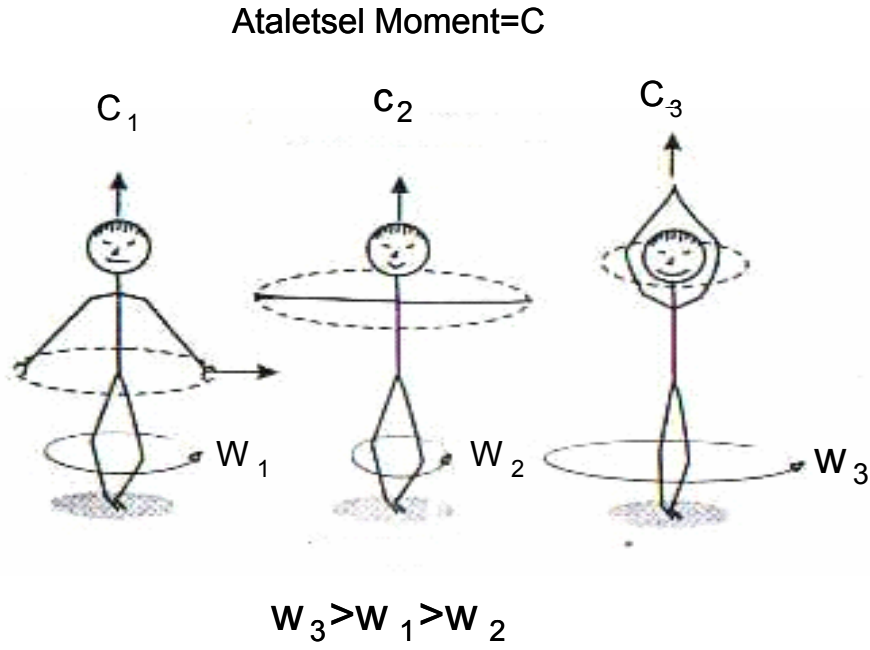
Ω_i : Dönü girdisi

V_r : Anlık açısal hız

2.4.8. Buz Patencisi

Şekil 2.27'de görüldüğü gibi eksenini etrafında dönen buz patencisi, kollarını yataydan (yüksek atalet momenti) dikeye (düşük atalet momenti

hareket ettirdikçe) dönüş hızı artar. Patencinin üzerine pratikte tork uygulamadığı ve Newton açısal momentumun korunumu kanununa göre patencinin atalet momenti azaldıkça dönme hızı artar. Coriolis etkisi temelde atalet momentinin sabit olmadığı durumlardaki ivmeyi tanımlar ve bu etki patencinin hız değişiminin sebebidir.⁽²³⁾



Şekil 2.27 Buz Patencisi

2.5. Jiroskop Çeşitleri

2.5.1. Tek Serbestlik Dereceli Mekanik Jiroskoplar

TSDMJ'lerin göz önüne alınan iki tipi vardır; açık döngü sensörü (the rate gyroscope) ve kapalı döngü sensörü (the rate-integrating gyroscope). Kapalı döngü jiroskopu daha yüksek kesinliğe sahiptir. Açık döngü jiroskopu

ise daha maliyetlidir. En çok kullanılan TSDMJ'lar sönümlleme ve yüzdürme için sıvı ile doldurulmuştur.

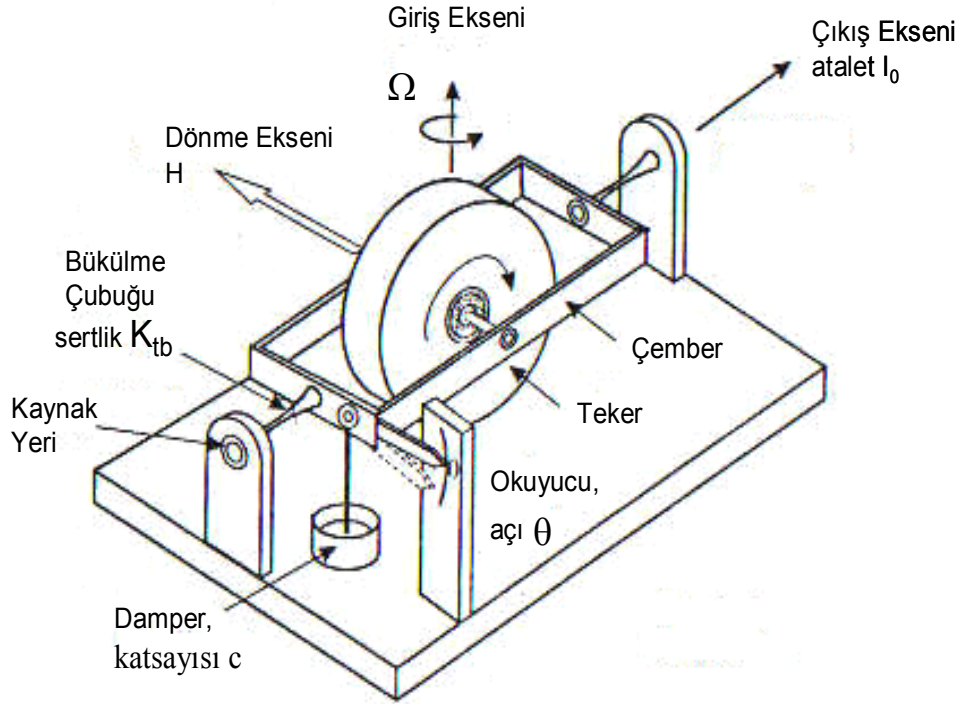
TSDMJ'ler en çok kullanılan jiroskoplardır. Bir milyondan fazlası kullanıma sunulmuştur. Optik teknolojisi onları eski moda yapmış olsa bile yıllarca kullanımda kalacağı tahmin edilmektedir.

Bir ivmeölçer iki şekilde tek eksenli jiroskopdan yapılabilir. Onlardan bir tanesi Sarkaç Entegrasyonlu Jiroskop İvmeölçer (PIGA: Pendulous Integrating Gyro Accelerometer)'dir ve şu anda en duyarlı ivmeölçerdir.

2.5.1.1. Oran Jiroskopu (The Rate Gyroscope)

Oran jiroskopu, rotasyon oranı (açısal hız) ile orantılı bir sinyal üretir. TSDMJ'lerin kalbi, düşük gürültülü rulmanlar üzerinde yüksek hızda dönen tekerlektir. Bu tekerlek genelde elektrik motoru tarafından sürülür. Yönlendirmeli silahlarda kullanılan modelleri mevcuttur ve bunlarda tekerlek gaz jeti ile döndürülür. Ancak gaz sağlayışının sınırlı olmasından dolayı söz konusu jiroskoplar kısa görevlerde kullanışlıdır. Ölçüm faktörü açısal momentuma bağlı olduğu için tekerlek hızıyla orantılıdır ve gaz tarafında sürülen araçlar kesinliğin çok fazla ihtiyaç olmadığı durumlarda kullanılır. Tekerlek bir veya iki bükme barıyla alete bağlanarak çerçeve yada gimbal'a yerleştirilmiştir. Şekil 2.28 bu yapıyı göstermektedir. Bükme barı ve rulmanlar aletin çıkış eksenini üzerindedir. Tekerlek ve motor montajı helyum tipi bir gazla doldurulmuş yuvaya oturtulur. Bu gaz, jiroskopun sönümlleme akışları ile doldurulmasını sağlar. Pickoff (okuyucu) gimbal açısını ölçer ve elektrik çıktısı sağlar. (genelde AC) Bu çıkış gimbal açısıyla orantılıdır. Şekil 2.28'de

okuyucu ile birlikte bir gimbal'in şekli görülmektedir. Frederick F.Ling, 1998'e göre okuyucu K_{po} V/rad. bir duyarlılığa sahiptir.



Şekil 2.28 Tek Eksenli Oran Jiroskopu

2.5.1.2. Ölçüm Faktörü

Katı bükme çubuğu Ω sabit oranı yüzünden jiroskop torkuna karşı denklem 2.19 kullanılarak jiroskop ölçüm faktörü için bir tanım inşa edebiliriz.

$$K_{tb} : Nm / rad \quad (2.35)$$

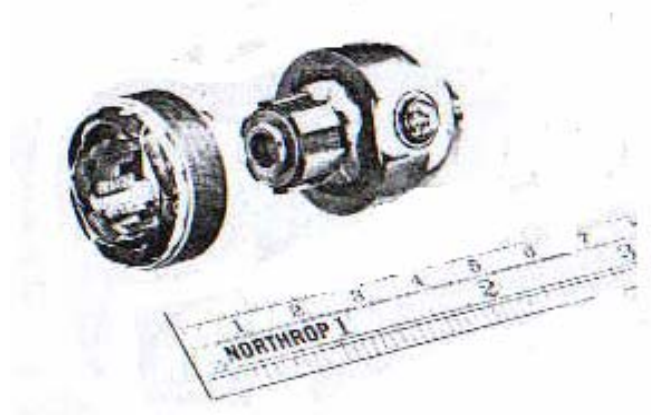
$$T = H\Omega = \theta K_{tb} \quad (2.36)$$

Burada θ gimbal sapmasıdır. Pickoff çıkış sinyalini sağlayan S,

$S = \theta K_{po}$ olarak verilir.

Buna göre jiroskop ölçüm faktörü,

$$K = S / \Omega = (K_{po} / K_{tb}) H \quad (2.37)$$



Şekil 2.29 Pickoff ve çemberli Assy.

Açısal momentum rotorun polar ataleti ile hızının çarpımına eşittir ve kütle kenarda yoğunsa atalet momentumu o kütle için en yüksek değerdedir. Tekerlek rulmanlarda, bükme barında ve çıkış eksen rulmanlarında titreşim ve şok kaynaklı yükleri en aza indirmek için rotor kütlelerinin mümkün olduğu kadar en aza indirilmesi gereklidir. Bu yüzden rotorun yoğun bir malzemeden üretilmesi gerekmektedir ve kütlelerinin en büyük yarıçapta olması için döndürme motorunu çevreleyecek şekilde ayarlanmalıdır.

Mikrosin okuyucunun rotoru çembere bağlı iken statoru jiroskopun gövdesine bağlıdır. Şekil 2.29'da solda okuyucunun statoru, sağda ise çemberli yapıya bağlı rotoru görülmektedir.

2.5.1.3. Döndürme Motoru

Mekanik jiroskoplarda genellikle histerizis motor türü kullanılır. Bu motor türü senkronize çalışabildiği için elektrik saatlerinde de kullanılır. Hızı akımın frekansına kilitlidir. Bu motorlar 2 veya 3 fazlıdır. Böylece daha önceden belirlenen yöne dönerler ve yüksek verimliliğe sahiptir. Oran jiroskoplarda bu motor 0.5 inç. (12mm) çapında ve stator 0.2 inç (5mm) uzunluğunda sarıma sahiptir. Tipik bir motor tekerleğini 24000 rpm'de döndürmek için yeterli torku üretirler. Sabit tork T için ihmal edilebilir drag (sürüklenme) torkları;

$$T = C\alpha = H / t \quad (2.38)$$

C = Rotor polar ataleti

α = Açısal ivme

t = Çalışma zamanı, senkronize bir hıza ulaşmak için gereken zaman

H = 10^4 dyn.cm.s ve t=1s için T= 10^4 dyn.cm'dir.

Rulmanlardaki kayıplar bu değeri arttırır.⁽²⁴⁾

2.5.1.4. Bilyalı (Ball) Rulmanlar

Rotor bilyalı rulmanlar üzerinde döner. Bu rulmanlar rotorun rezonans frekansını 1.5khz'den yüksek tutmak için gerekli stiffness (dayanıklılık)'a göre

tasarlanırlar. Bu değer zararlı titreşim aralığının dışındadır. Rulmanlar az miktarda yağla yağlanırlar. Bu yağ düşük sıcaklıklarda katılaşmamalıdır ve askeri malzemelerde -55°C'den daha düşük sıcaklarda tekerlek dönmeye başlamayacaktır. Yüksek sıcaklıklarda (80°-100°C) bu yağ koyuluk (viscosity) değerini korumalıdır. Bundan dolayı bilyalar düzgün bir şekilde yağlanır. Böylece metalden metale kontakta kaynaklanan zararlar önlenir.⁽²⁵⁾

Rulmanların durumu tekerleğin çalışma ve durma zamanlarıyla belirlenebilir. Belirli bir motor voltajında ve belirli sıcaklıkta çalışma zamanı tekerlek üzerindeki drag'a (sürüklenme) bağlıdır. Buna göre eğer yağ kalınlaştıysa yada rulman yağsız kaldıysa tekerleğin senkronize hızına ulaşması daha uzun süre alacaktır. Güç kesildiğinde tekerleğin durma zamanı rulmanlardaki torku gösterir. (Eğer çalışma zamanı fazla ama durma zamanı normal yada uzun ise bu sefer döndürme motorundan şüphelenmeliyiz. Döndürme motorunun elektroniği incelenmelidir.)

2.5.1.5. Sönümlenme

Oran jiroskopları doğru dinamik tepkiler için sönümlenme yaparlar ve bu durum doldurulan akışkanlarla sağlanır. Ayrıca sönümlenme akışkanı gimbal'i şoklardan ve titreşimden korur. Sönümlenme gimbal ve yatak parçaları arasındaki koparma kuvvetiyle oluşur ve bu kuvvetin büyüklüğü akışkanın viskozitesi ile boşluğa bağlıdır. Ancak akışkan viskozitesi sıcaklıkla değiştirdiğinden dolayı, jiroskop sıcaklığını kontrol etmektense birçok jiroskop için mekanik sönümlenme amacıyla kullanılır. Parçaları farklı genleşme

katsayılı seçerek boşluk viskozitesini sıcaklıkla düştükçe kapanacak şekilde ayarlanabiliriz. Boşluk, alet soğudukça ve viskozite açılarak oluşur.

2.5.1.6. Oran Jiroskopu Dinamiği

Yay – kütle dinamik sisteminin hareketi ikinci bir diferansiyel eşitlik dizesi ile ifade edilmiştir. Oran jiroskopu ikinci dereceden diferansiyel bir sistemdir. Oran jiroskopunun çıkış eksenine bağlı olan tork balansı eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$I_0 \left(\frac{d^2 \theta}{dt^2} \right) + c \left(\frac{d\theta}{dt} \right) + K_{tb} \theta = H\Omega \quad (2.39)$$

θ = Gimbal açısı

J_0 = Gimbalin çıkış eksenine (OA) bağlı atalet momenti

C = Çıkış eksenine bağlı olan sönümlenme sabiti

K_{tb} = Bükme çubuğu katsayısı

H = Diskin açısal momenti

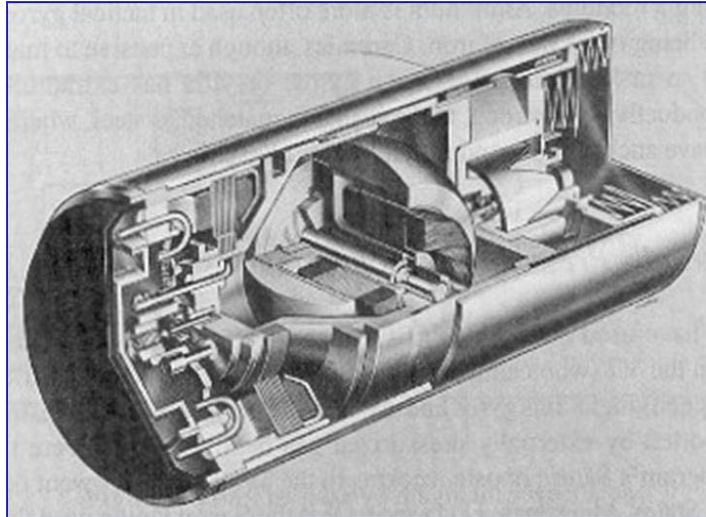
Ω = Giriş oranı

Denklem 2.39'da görüldüğü gibi J_0 atalet torku ile çıkış eksenine bağlı olan açısal hızlanmanın çarpımı, bir birim açısal hıza bağlı olan sönümlenme torku'nun (C) çıkış eksenine bağlı olan precession (yalpalama) oranı ile çarpımı ve bükme çubuğu torku'nun $K\theta$ toplamları jiroskopik tork $H\Omega$ 'ya karşılık gelir. Sönümlenme oranı ζ ve ses frekansı W_n eşitliği;

$$\zeta = \frac{c}{2(I_0 K_{ib})^{1/2}} \quad (2.40)$$

$$W_n = \left(\frac{K_{ib}}{I_o} \right)^{1/2} \quad (2.41)$$

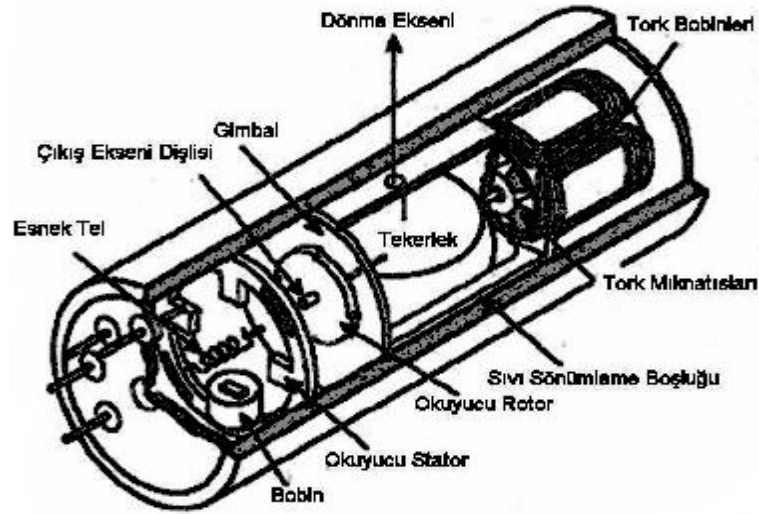
Enstrümanın dalga boyu enstrümanın ses frekansı ile limitlenerek, genişlik haritası üzerinde bulunan üç boyutlu B. noktası veya $\Pi/2$ bazındaki gecikme değeri ile tanımlanır. IEEE STD, 1969 Tek Serbestlik Dereceli (SDF: Single Degree of Freedom Gyroscope) Oran Jiroskopu ve onun hata modelini tam özellikleri ile sağlar. Edwards, C.S., diğer hata kaynaklarını tanımlar ve Simons, W.R., hata kaynaklarının dizaynı hakkında daha fazla bilgi sağlar.⁽²⁶⁻⁴⁰⁾



Şekil 2.30 Northrop GRG5 Jiroskop

Tipik bir kütle üreten oran jiroskopu, Northrop GRG5, Şekil 2.30'da gösterilmiştir. (Northrop dizayn enstrümanları şu anda Allied Signal tarafından üretilmektedir) Bu jiroskop 1 inç çapında olup sıvı ile doldurulmuştur. Gimbal içerisinde, dönen elektrik motoru görülebilir. Sönümlenme cihazı geride, bükme çubuğu öndedir.

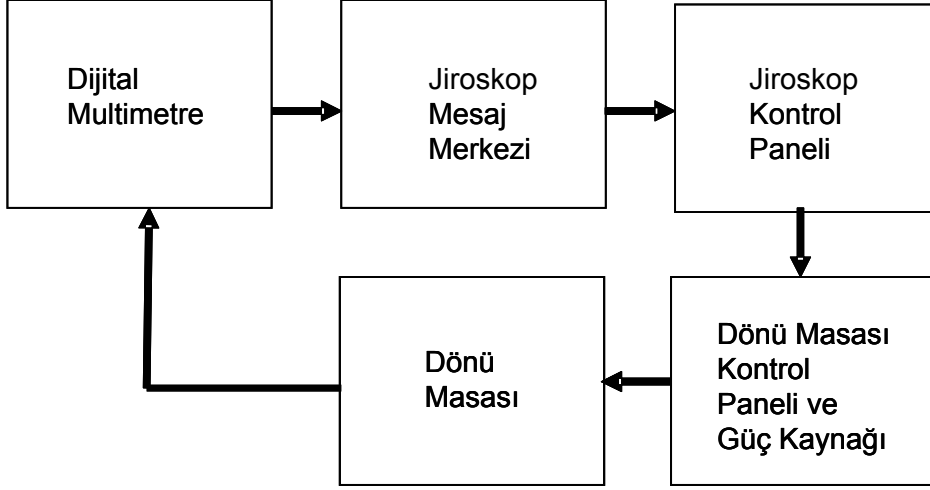
Şekil 2.31'de görüldüğü gibi Kapalı Döngü TSDMJ'de çemberli yapının yer aldığı hacmi bir akışkanla doldurursak, yatak bağlantıları sürtünmesinden kaynaklanan gürültüleri ve bozucu etkileri azaltmış oluruz.



Şekil 2.31 Kapalı Döngü TSDMJ

2.5.1.7. TSDMJ Test Düzenegi

TSDMJ'lerin test prosedürüne göre arıza durumunu tespit etmek amacıyla Şekil 2.32'de blok şeması verilen test düzenegi kullanılmaktadır.



Şekil 2.32 TSDMJ test düzeneği blok şeması

Yukarıda sunulan TSDMJ test düzeneğine ait blok şemada jiroskop mesaj merkezinde jiroskop test prosedürüne göre uygulanması gereken bazı test adresleri belirtilmekte, jiroskop kontrol panelinde jiroskopa uygulanacak dönü oranları ve yönü (CW veya CCW yönünde) ayarlanmakta, dönü masası kontrol paneli ve güç kaynağında dönü masası ile ilgili bazı ayarlar yapılmaktadır. Jiroskop dönü masasına sabitlenerek jiroskop kontrol panelinden verilen dönü oranlarına göre dönü masası hareket etmektedir. Bu dönülere göre dijital multimetreden çıkış voltajı değerleri okunmaktadır. Jiroskop test prosedürüne göre bir TSDMJ'nin test edilmesi esnasında çok fazla dönü uygulanmakta ve bu durumda çok fazla zaman harcamaktadır.

TSDMJ'nin test edilmesi esnasında uygun çıkış voltajı değerlerinin okunması önem arz etmektedir. Eğer test sırasında uygun çıkış voltajı değerleri okunamazsa TSDMJ arızalıdır. Bir kontrol sistemi içerisindeki

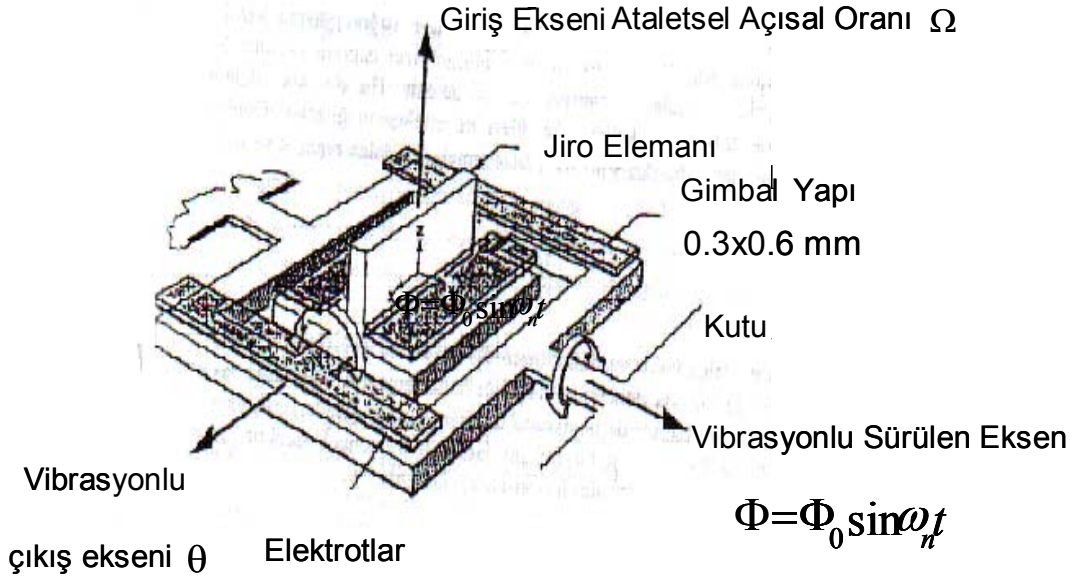
arızalı TSDMJ, sistem içerisindeki elektronik üniteye yanlış bilgiler aktarılmasına ve pozisyon tanımlanmasında hatalara sebep olmaktadır.

2.5.2. Monolitik Silikon Jiroskop

Aygıt esnek gerdiriciler ile tutturulmuş iki gimbal yapıda olup alt kısım ve aktif alanda serbestçe hareket edebilmektedir. (Şekil 2.33) Çalışırken dış kısım veya motor çok yakınına yerleştirilmiş elektrotlar ile elektrostatik olarak sabit genlikli bir moment ile sürülür. Osilasyonlu bu hareket atalet elemanı ile osilasyonlu moment meydana getirerek içerideki gerdiricilerin katı eksenine boyunca iç gimbal yapıya iletilir. Aygıtın düzlemine normal bir açısal dönüş oranının varlığında Coriolis kuvveti sürme frekansına eşit bir frekansla ve momentel giriş oranına orantılı bir genlikle içerdeki gimbal'in zayıf etkisi etrafında osilasyona neden olur. Maksimum çözünürlük dış gimbal'in iç gimbal'in rezonans frekansında sürüldüğü durumda elde edilir. Çıkış hareketinin okunması iç gimbal ve çift elektrot arasındaki kapasitansın fark değişimi ile sağlanır. Açık döngüde çalışırken içerdeki gimbal'in çıkış eksenindeki açısal yer değişimi giriş oranı ile orantılıdır. Yani çıkış açısı, θ bir atalet oranı terimi, ϕ_o , mekanik Q ve giriş oranı, Ω ile orantılı ve sürme frekansı ile ters orantılıdır.

$$\theta = \left[\frac{I_x + I_y - I_z}{I_x} \right] \frac{\phi_o \Omega Q}{\omega_n} \quad (2.42)$$

Pratik uygulamalarda aygıt kapalı döngüde çalışır ve iç gimbal sıfır faz ve çeyrek (quadrature) durumuna dengelenir.



Şekil 2.33 Vibrasyon Oranlı Jiroskop Kavramı

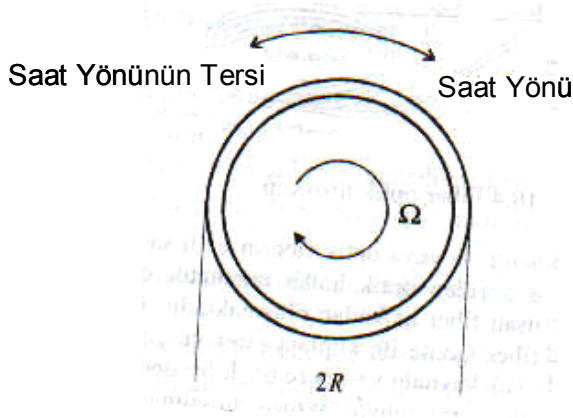
2.5.3. Optik Jiroskoplar

Rehberlik ve kontrol uygulamaları için algılayıcıların modern gelişimi Sagnac etkisinin kullanılması prensibine dayanır. Bir lazerden üretilen iki ışık hüzmesi R yarıçapında n kırılma indisinde bir optik halka içinde zıt yönlere yayılır. Işık huzmesinin biri CW yönünde giderken diğeri CCW yönünde gider. Işığın halkayı dolaştığı zaman miktarı $\Delta t = 2\pi R / nc$ 'dir. Formülde c ışık hızıdır. Şimdi halkanın saat yönünde Ω açısal hızında döndüğünü varsayalım. Bu durumda ışık iki yönde farklı yollar alacaktır. CW huzmesi

$I_{cw} = 2\pi R + \Omega R \Delta t$ kadar CCW ise $I_{ccw} = 2\pi R - \Omega R \Delta t$ kadar yol alacaktır.

Buradan her iki yol arasındaki fark;

$$\Delta l = \frac{4\pi\Omega R^2}{nc} \quad (2.43)$$



Şekil 2.34 Sagnac Etkisi

Bu yüzden Ω 'nın doğru bir şekilde ölçülmesinde Δl 'nin belirlenmesi için bir tekniğin geliştirilmesi gerekir. Alınan yolun dedeksiyonu için bilinen üç metot vardır:

- Optik Rezonatörler
- Açık-Döngü Interferometreleri
- Kapalı-Döngü Interferometreleri

Halka lazer jiroskop için Δl 'nin ölçümleri optik kavitenin lazer ışığını yayma karakteristiğinin avantajları kullanılarak yapılır. Kapalı bir optik

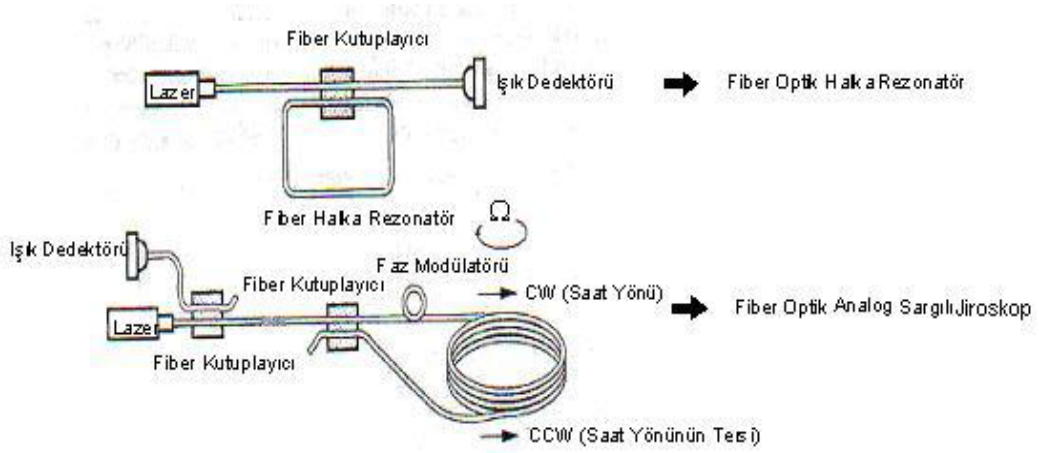
kavitede oluşan lazer ışığının yayılma özelliği için halkanın tamamında tam sayıda dalga boylarının olması gerekir. Bu durumu sağlamayan ışık huzmeleri optik yol içinde ardışık hareketlerle kendileri ile etkileşime girerler. Dönüşten dolayı çevrede meydana gelen bir değişimi kompanze etmek için dalga boyu, λ ve ışık frekansı, ν değişmelidir.

$$-\frac{d\nu}{\nu} = \frac{d\lambda}{\lambda} = \frac{dl}{l} \quad (2.44)$$

Yukarıdaki formül frekans, dalga boyu ve halka lazerdeki çevre değişimi ile ilişkili bir temel eşitliktir. Eğer halka lazer Ω hızında dönerse Δl eşitliği halka boyunca tam dalga sayısı kriterini karşılamak için ışık dalgalarının bir yönde boylarının uzadığı ve diğer yönde boylarının kısaldığını gösterir. Bu iki ışık huzmesi arasında net bir frekans farklılığı ile sonuçlanacaktır. Şayet iki ışık huzmesi beraber karıştırılırsa sonuçtaki sinyalin frekansı aşağıdaki gibi olur.

$$F = \frac{4A\Omega}{\lambda nl} \quad (2.45)$$

Burada A halkanın kapladığı alandır.



Şekil 2.35 Fiber Optik Jiroskop

Pratikte optik jiroskoplar fiber halka rezonatör ile veya optik fiberin belli sargı sayısında fiber sargılı halkadan tasarlanırlar. Şekil 2.35'de görülen optik halka rezonatör çok düşük çapraz kublaj oranına sahip bir fiber ışık bölücünden oluşan fiber halkadan oluşmaktadır. Gelen ışık fiber halkanın rezonans frekansında olduğu zaman ışık fiber kavite ile kublaja girer ve çıkıştaki ışık şiddeti düşer. Şekil 2.35'deki fiber optik analog sargılı jiroskop bir ışık kaynağı ve fibere bağlı bir dedektörden oluşur. Hem zıt ve hem de yayılan hüzmelerin fiber optik sargı içinde aynı yolu almalarını sağlamak için ışık polarizatörü dedektör ile ikinci kublaj elemanı arasına yerleştirilmiştir. İki ışık huzmesi karışır ve dedektör üzerine vurur, dedektör hüzmeler arasındaki rotasyonel olarak indüklenen faz değişimlerinin neden olduğu kosinüsoidal ışık şiddeti değişimlerini gözler. Bu tip optik jiroskopun maliyeti oldukça düşük ve 10.000'e kadar dinamik aralık ile küçük boyutlu rotasyon duyarlı algılayıcı içerir. Uygulamaları rota ve yalpalama ölçümü, duruş kararlılığı ve jiroskop-

pusula gibi yerlerdir. Optik jiroskopların ana avantajı mekanik jiroskoplar için uygun olmayan zararlı ortamlarda çalışma kabiliyetleridir.⁽⁴¹⁾

2.6 Gelecekteki Sensör Teknolojileri ve Uygulama Alanları

Araştırmacılar, 2020'li yıllarda MEMS ve Mikro-optik Elektro Mekanik Sensör (MEMS) teknolojisinin, özellikle düşük ve orta hassasiyetteki sensörlerde çok yaygın olarak kullanılacağını öngörmektedir. Bu varsayımın temelinde iki gerekçe yatmaktadır. Bunlardan ilki, MEMS teknolojisinin başlangıcından günümüze kadar olan performans gelişmesinin aynı hızda devam edeceği yaklaşımdır. Diğeri ise çalışmaları daha şimdiden başlamış olan üçer adet jiroskop ve ivmeölçerlerden oluşan sensör paketini bir yonga içerisinde üretme çalışmalarının başarı ile sürdürülmesidir. Ayrıca, MEMS sensörlerinin kapasitif okumadan dolayı karşılaşılan hassasiyet sorunu MEMS teknolojisinin getirdiği optik ölçüm tekniği ile giderilmeye çalışılmaktadır.

Sonuç olarak ataletsel sensörlerdeki teknolojik gelişmeler tahmin edilenden daha hızlı ilerlemektedir. Özellikle son otuz yıl içerisinde sensör teknolojisinde gelişmelerin yönü düşük maliyet ve küçük hacim konusunda yoğunlaşmıştır. Son on yıl içerisinde bu konularda çok büyük mesafeler katedilmiştir. Bu kapsamda MEMS teknolojisi ön plana çıkmıştır. Prototip çalışmaları tamamlanan bu sensörler artık birçok uygulamada kullanılabilir duruma gelmiştir. Maliyet düşürme ve hacim küçültme çalışmaları belirli bir aşamaya geldikten sonra çalışmaların yönü performansın iyileştirilmesine çevrilecektir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Tek Serbestlik Dereceli Mekanik Bir Jiroskopun Çıkış Voltajı ve Çıkış Hassasiyetinin Yapay Sinir Ağları İle Belirlenmesi

YSA'nın TSDMJ çıkış voltajı ve çıkış hassasiyeti parametreleri hesabında başarısını göstermek için CW ve CCW yönünde 2 benzer model oluşturulmuştur. Yapılan örneklerin tümünde dönü oranı giriş olarak kabul edilmiştir. İki örnekte de dönü oranı girişine karşılık yukarıda verilen iki parametreye (çıkış voltajı, çıkış hassasiyeti) ait tek giriş iki çıkışlı 2 benzer model elde edilmiştir.

YSA'da giriş ve çıkış değeri olarak kullanılan eğitim verilerini elde etmek amacıyla çıkış voltajı ve çıkış hassasiyeti değerleri için jiroskop test düzeneği ile CW ve CCW yönünde 0 °/s'den 60 °/s'ye kadar 0.1 °/s aralıklarla 601'er adet olmak üzere toplam 1202 adet ölçüm yapılmıştır. YSA eğitimi için kullanılan çıkış voltajı verilen farklı dönü oranlarına göre jiroskop test düzeneğinde ölçüm yapılarak elde edilirken, diğer eğitim verisi olarak kullanılacak çıkış hassasiyeti ise aşağıda verilen matematiksel işlem ile her dönü değeri için hesaplanmıştır. Bu CW ve CCW yönlerindeki her bir 601'er ölçümün 596 adeti YSA'yı eğitmek için kullanılırken kalan 5 adeti eğitilen bu ağın doğruluğunu göstermek amacıyla test için kullanılmıştır.

a= Dönü Oranı (°/s)

b= Çıkış Voltajı (V)

A= Toplam Dönü Oranı

B=Toplam Çıkış Voltajı

S= Çıkış Hassasiyeti

$$C = a^2 \quad (3.1)$$

$$D = a.b \quad (3.2)$$

$$E = \frac{A.B.}{1202} \quad (3.3)$$

$$F = A.B + 1202 \quad (3.4)$$

$$G = \frac{A^2}{1202} \quad (3.5)$$

$$H = D - E \quad (3.6)$$

$$I = C - G \quad (3.7)$$

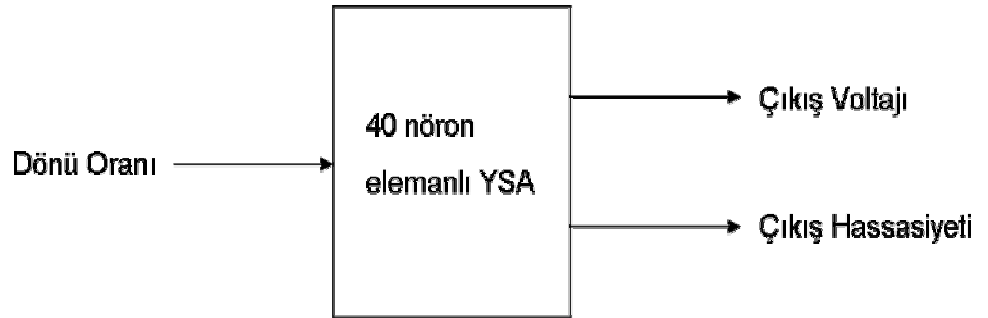
$$S = \frac{H}{I} \quad (3.8)$$

Jiroskop kabul test prosedürüne göre jiroskop çıkış hassasiyetinin 0,097-0,103 aralığında olması gerekmektedir. Çok küçük dönülerde TSDMJ çok uygun çıkış hassasiyeti vermemektedir. (0-1 °/s'ler arası) Test için YSA'nın eğitiminde kullanılan dönü oranı, çıkış voltajı, çıkış hassasiyeti değerleri Çizelge 3.1'de listelenmiştir.

YSA modeli olarak bir düzeneğe ilişkin tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanan giriş verileri ile düzeneğin yine tek veya çoklu parametrelere bağlı olarak tanımlanan çıkışları arasında ilişki kurabilme yeteneği ispatlanmış olan YSA tipi ileri beslemeli geri yayımlı (feed-forward back propagation) ağ modeli seçilmiştir. Eğitim algoritması olarak ise bir çok uygulama denendikten sonra en kısa zamanda en doğru çözümleri üreten, ileri beslemeli ağlardaki en hızlı öğrenme metodu olan Levenberg-Marquardt metodu kullanılmıştır. Ağın çıkış fonksiyonu, gizli katman sayısı, nöron sayısı, uygun ağırlık değerlerinin tespiti önemlidir. Uygun yapının bulunması için bu

kriterleri doğru olarak bulunması gerekir. Bunun için çeşitli denemeler gerçekleştirilmiştir. Çıkış fonksiyonu denemesi için bir çok ağ yapısı denenerek tek ve çok gizli katmanlı yapılarda varılan sonuç hata oranı en düşük olan on üzeri eksi altı değeri ile purelin fonksiyonu olmuştur. Nöron sayısı denemelerinde, 20, 30, 40 vb. çeşitli hücre yapıları denenmiştir Fakat 40 nöron ve üstü yapılar işlem zamanı artmakta ve sistemi yavaşlatmaktadır. Bunun için 40 nöronlu yapı bu uygulama için en uygun yapı olarak alınmıştır.

Gizli katmanı 40 nöron olarak belirlenmiş, çıkış fonksiyonu purelin, trainlm öğrenme algoritması ile eğitimi yapılmış CW ve CCW yönlerinde TSDMJ YSA modeli Şekil 3.1'de sunulmuştur.



Şekil 3.1 CW ve CCW yönlerinde oluşturulmuş TSDMJ YSA modeli

Yapılan uygulamalara göre, farklı düğüm sayılarına sahip 1 yada 2 gizli katmanlı ağ yapısı kullanılmıştır. Hücrelerin geçiş (aktivasyon) işlevleri, tansig, logsig, purelin olarak alınmıştır. Ağ modellerinin eğitiminde 2000 epoch ile yeterli sonuçların elde edildiği tespit edilerek bu epoch sayılarına ulaşmak için gerekli sürenin 3-30 dk. arasında olduğu görülmüştür.

Uygulamada kullanılan ağ yapılarına ile ilgili parametre değerlerini içeren matlab ortamında oluşturulmuş CW ve CCW yönlerindeki TSDMJ YSA modellerine ait program dosyaları EK-1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çıkış voltajı, çıkış hassasiyeti parametrelerine ait deneysel ve YSA sonuçlarının karşılaştırılması

DÖNÜ ORANI	CW YÖNÜNDEKİ DENEYSEL SONUÇLAR		CW YÖNÜNDEKİ YSA SONUÇLARI		CCW YÖNÜNDEKİ DENEYSEL SONUÇLAR		CCW YÖNÜNDEKİ YSA SONUÇLARI	
	ÇIKIŞ VOLTAJI DC	ÇIKIŞ HASSASİYETİ	ÇIKIŞ VOLTAJI DC	ÇIKIŞ HASSASİYETİ	ÇIKIŞ VOLTAJI DC	ÇIKIŞ HASSASİYETİ	ÇIKIŞ VOLTAJI DC	ÇIKIŞ HASSASİYETİ
60.0	-5.8090	0.096897	5.7910	0.096910	5.7825	0.096455	5.7808	0.096407
59.9	-5.7857	0.096670	5.7830	0.096913	5.7749	0.096489	5.7716	0.096423
59.8	-5.7728	0.096616	5.7749	0.096917	5.7608	0.096415	5.7625	0.096433
59.7	-5.7746	0.096808	5.7667	0.096920	5.7530	0.096445	5.7533	0.096447
59.6	-5.7608	0.096738	5.7586	0.096923	5.7463	0.096495	5.7441	0.096460
59.5	-5.7590	0.096871	5.7503	0.096927	5.7327	0.096428	5.7349	0.096470
59.4	-5.7478	0.096845	5.7421	0.096930	5.7249	0.096459	5.7257	0.096480
59.3	-5.7360	0.096809	5.7337	0.096933	5.7143	0.096443	5.7165	0.096487
59.2	-5.7235	0.096761	5.7254	0.096937	5.7087	0.096511	5.7073	0.096497
59.1	-5.7187	0.096844	5.7170	0.096940	5.6957	0.096454	5.6980	0.096503
59.0	-5.7093	0.096848	5.7085	0.096943	5.6824	0.096392	5.6888	0.096510
58.9	-5.6985	0.096829	5.7001	0.096947	5.6761	0.096449	5.6795	0.096517
58.8	-5.6858	0.096778	5.6915	0.096950	5.6700	0.096509	5.6702	0.096520
58.7	-5.6775	0.096801	5.6830	0.096953	5.6671	0.096624	5.6609	0.096527
58.6	-5.6682	0.096808	5.6744	0.096957	5.6548	0.096579	5.6516	0.096530
58.5	-5.6630	0.096973	5.6657	0.096960	5.6419	0.096523	5.6422	0.096537
58.4	-5.6583	0.096969	5.6570	0.096963	5.6304	0.096491	5.6329	0.096540
58.3	-5.6422	0.096859	5.6483	0.096967	5.6217	0.096507	5.6235	0.096543
58.2	-5.6351	0.096904	5.6395	0.096970	5.6150	0.096558	5.6141	0.096547
58.1	-5.6278	0.096945	5.6307	0.096973	5.6066	0.096580	5.6047	0.096550
58.0	-5.6170	0.096926	5.6219	0.096977	5.5969	0.096579	5.5953	0.096553
57.9	-5.6046	0.096879	5.6130	0.096980	5.5880	0.096592	5.5859	0.096557
57.8	-5.5990	0.096949	5.6041	0.096983	5.5780	0.096586	5.5765	0.096557
57.7	-5.5844	0.096864	5.5951	0.096987	5.5656	0.096538	5.5671	0.096560
57.6	-5.5830	0.097008	5.5861	0.096993	5.5595	0.096600	5.5576	0.096563
57.5	-5.5754	0.097044	5.5771	0.096997	5.5508	0.096616	5.5482	0.096567
57.4	-5.5645	0.097023	5.5681	0.097000	5.5443	0.096671	5.5388	0.096570
57.3	-5.5575	0.097070	5.5590	0.097003	5.5325	0.096634	5.5293	0.096573
57.2	-5.5492	0.097095	5.5498	0.097007	5.5207	0.096596	5.5199	0.096577
57.1	-5.5355	0.097025	5.5407	0.097010	5.5084	0.096550	5.5105	0.096580
57.0	-5.5305	0.097107	5.5315	0.097017	5.4955	0.096493	5.5011	0.096583
56.9	-5.5229	0.097144	5.5223	0.097020	5.4920	0.096601	5.4917	0.096587

56.8	-5.5106	0.097098	5.5130	0.097023	5.4803	0.096565	5.4823	0.096593
56.7	-5.5072	0.097210	5.5037	0.097027	5.4741	0.096625	5.4729	0.096597
56.6	-5.4950	0.097166	5.4944	0.097030	5.4628	0.096596	5.4635	0.096603
56.5	-5.4818	0.097104	5.4851	0.097037	5.4519	0.096574	5.4541	0.096610
56.4	-5.4790	0.097226	5.4757	0.097040	5.4408	0.096548	5.4448	0.096617
56.3	-5.4652	0.097154	5.4663	0.097043	5.4361	0.096636	5.4355	0.096623
56.2	-5.4513	0.097079	5.4569	0.097050	5.4290	0.096682	5.4262	0.096630
56.1	-5.4455	0.097149	5.4475	0.097053	5.4151	0.096606	5.4169	0.096637
56.0	-5.4407	0.097236	5.4380	0.097057	5.3955	0.096429	5.4077	0.096643
55.9	-5.4304	0.097226	5.4285	0.097060	5.3947	0.096587	5.3984	0.096653
55.8	-5.4229	0.097266	5.4190	0.097067	5.3884	0.096647	5.3892	0.096660
55.7	-5.4105	0.097217	5.4095	0.097070	5.3813	0.096693	5.3800	0.096670
55.6	-5.4025	0.097248	5.3999	0.097077	5.3743	0.096741	5.3708	0.096680
55.5	-5.3920	0.097234	5.3903	0.097080	5.3691	0.096821	5.3617	0.096690
55.4	-5.3830	0.097247	5.3807	0.097083	5.3567	0.096772	5.3525	0.096697
55.3	-5.3791	0.097352	5.3711	0.097090	5.3472	0.096775	5.3434	0.096707
55.2	-5.3651	0.097275	5.3615	0.097093	5.3334	0.096700	5.3342	0.096717
55.1	-5.3554	0.097275	5.3518	0.097100	5.3274	0.096767	5.3251	0.096727
55.0	-5.3445	0.097254	5.3422	0.097103	5.3124	0.096670	5.3159	0.096737
54.9	-5.3309	0.097183	5.3325	0.097107	5.3058	0.096725	5.3068	0.096747
54.8	-5.3207	0.097174	5.3228	0.097113	5.2973	0.096747	5.2977	0.096757
54.7	-5.3160	0.097266	5.3131	0.097117	5.2927	0.096839	5.2885	0.096767
54.6	-5.3057	0.097255	5.3034	0.097123	5.2814	0.096791	5.2793	0.096773
54.5	-5.2923	0.097187	5.2937	0.097127	5.2720	0.096815	5.2701	0.096783
54.4	-5.2802	0.097143	5.2839	0.097133	5.2614	0.096798	5.2609	0.096790
54.3	-5.2708	0.097149	5.2742	0.097137	5.2521	0.096804	5.2517	0.096800
54.2	-5.2622	0.097169	5.2644	0.097143	5.2440	0.096833	5.2424	0.096807
54.1	-5.2542	0.097201	5.2547	0.097150	5.2297	0.096748	5.2332	0.096813
54.0	-5.2472	0.097251	5.2449	0.097153	5.2188	0.096725	5.2238	0.096820
53.9	-5.2397	0.097293	5.2352	0.097160	5.2094	0.096730	5.2145	0.096823
53.8	-5.2309	0.097310	5.2254	0.097163	5.2014	0.096761	5.2051	0.096830
53.7*	-5.2224	0.097332	-5.2156	0.09717	5.1971	0.096861	5.1957	0.096834
53.6	-5.2136	0.097350	5.2059	0.097177	5.1840	0.096797	5.1863	0.096837
53.5	-5.2015	0.097305	5.1961	0.097180	5.1765	0.096838	5.1768	0.096843
53.4	-5.1937	0.097341	5.1863	0.097187	5.1687	0.096873	5.1674	0.096847
53.3	-5.1864	0.097387	5.1766	0.097193	5.1616	0.096921	5.1579	0.096850
53.2	-5.1768	0.097389	5.1668	0.097197	5.1516	0.096915	5.1484	0.096853
53.1	-5.1550	0.097162	5.1570	0.097203	5.1402	0.096883	5.1389	0.096857
53.0	-5.1469	0.097192	5.1473	0.097210	5.1254	0.096786	5.1295	0.096860
52.9	-5.1397	0.097240	5.1375	0.097217	5.1203	0.096873	5.1200	0.096867
52.8	-5.1303	0.097246	5.1278	0.097220	5.1124	0.096906	5.1106	0.096870
52.7	-5.1221	0.097275	5.1181	0.097227	5.1072	0.096992	5.1012	0.096877
52.6	-5.1168	0.097359	5.1083	0.097233	5.0906	0.096860	5.0918	0.096883
52.5	-5.1050	0.097319	5.0986	0.097240	5.0878	0.096991	5.0825	0.096890
52.4	-5.0834	0.097092	5.0889	0.097243	5.0718	0.096871	5.0732	0.096900
52.3	-5.0717	0.097054	5.0792	0.097250	5.0627	0.096882	5.0640	0.096907
52.2	-5.0684	0.097177	5.0695	0.097257	5.0529	0.096880	5.0548	0.096917
52.1	-5.0582	0.097167	5.0599	0.097263	5.0439	0.096893	5.0457	0.096930
52.0	-5.0446	0.097092	5.0502	0.097270	5.0387	0.096979	5.0366	0.096940
51.9	-5.0390	0.097171	5.0406	0.097277	5.0252	0.096905	5.0276	0.096953
51.8	-5.0273	0.097133	5.0310	0.097280	5.0194	0.096980	5.0186	0.096967
51.7	-5.0161	0.097104	5.0214	0.097287	5.0126	0.097036	5.0096	0.096980
51.6	-5.0105	0.097184	5.0118	0.097293	5.0003	0.096986	5.0006	0.096993
51.5	-5.0009	0.097186	5.0022	0.097300	4.9920	0.097013	4.9916	0.097007
51.4	-4.9951	0.097262	4.9927	0.097307	4.9802	0.096972	4.9825	0.097017
51.3	-4.9857	0.097268	4.9831	0.097313	4.9720	0.097001	4.9734	0.097030
51.2	-4.9771	0.097290	4.9736	0.097320	4.9620	0.096995	4.9643	0.097040

51.1	-4.9621	0.097187	4.9641	0.097327	4.9531	0.097010	4.9550	0.097047
51.0	-4.9559	0.097255	4.9547	0.097333	4.9379	0.096902	4.9456	0.097050
50.9	-4.9440	0.097213	4.9452	0.097340	4.9315	0.096967	4.9361	0.097053
50.8	-4.9350	0.097227	4.9358	0.097347	4.9264	0.097057	4.9264	0.097053
50.7	-4.9289	0.097298	4.9264	0.097353	4.9175	0.097073	4.9166	0.097053
50.6	-4.9163	0.097241	4.9170	0.097360	4.9106	0.097128	4.9067	0.097047
50.5	-4.9071	0.097251	4.9076	0.097367	4.9023	0.097156	4.8966	0.097040
50.4	-4.8924	0.097152	4.8983	0.097373	4.8885	0.097075	4.8863	0.097027
50.3	-4.8864	0.097226	4.8890	0.097380	4.8794	0.097087	4.8759	0.097013
50.2	-4.8739	0.097171	4.8797	0.097387	4.8744	0.097181	4.8654	0.097000
50.1	-4.8693	0.097273	4.8704	0.097393	4.8640	0.097167	4.8549	0.096983
50.0	-4.8560	0.097201	4.8611	0.097400	4.8473	0.097027	4.8443	0.096963
49.9	-4.8497	0.097269	4.8519	0.097407	4.8298	0.096870	4.8336	0.096947
49.8	-4.8363	0.097195	4.8427	0.097413	4.8143	0.096753	4.8230	0.096930
49.7	-4.8248	0.097159	4.8335	0.097420	4.8098	0.096857	4.8125	0.096913
49.6	-4.8187	0.097237	4.8243	0.097427	4.7998	0.096851	4.8020	0.096900
49.5	-4.8109	0.097271	4.8151	0.097433	4.7882	0.096812	4.7917	0.096887
49.4	-4.8049	0.097346	4.8059	0.097440	4.7740	0.096720	4.7816	0.096880
49.3	-4.7929	0.097300	4.7968	0.097447	4.7667	0.096768	4.7716	0.096873
49.2	-4.7880	0.097398	4.7877	0.097453	4.7585	0.096798	4.7619	0.096873
49.1	-4.7826	0.097486	4.7785	0.097460	4.7518	0.096859	4.7523	0.096877
49.0	-4.7769	0.097569	4.7694	0.097467	4.7484	0.096987	4.7430	0.096883
48.9	-4.7637	0.097498	4.7603	0.097473	4.7377	0.096966	4.7339	0.096893
48.8	-4.7522	0.097462	4.7512	0.097480	4.7260	0.096925	4.7250	0.096907
48.7	-4.7428	0.097469	4.7421	0.097487	4.7185	0.096970	4.7163	0.096927
48.6	-4.7315	0.097437	4.7330	0.097493	4.7104	0.097003	4.7077	0.096947
48.5	-4.7281	0.097568	4.7240	0.097500	4.7042	0.097075	4.6992	0.096970
48.4	-4.7198	0.097598	4.7149	0.097507	4.6909	0.097000	4.6907	0.096993
48.3	-4.7056	0.097506	4.7058	0.097513	4.6848	0.097075	4.6823	0.097020
48.2	-4.6945	0.097477	4.6967	0.097520	4.6780	0.097135	4.6739	0.097043
48.1	-4.6897	0.097580	4.6875	0.097527	4.6650	0.097066	4.6654	0.097070
48.0	-4.6823	0.097629	4.6784	0.097533	4.6533	0.097025	4.6569	0.097093
47.9	-4.6722	0.097622	4.6693	0.097540	4.6430	0.097012	4.6482	0.097113
47.8	-4.6625	0.097623	4.6601	0.097543	4.6350	0.097047	4.6394	0.097133
47.7	-4.6505	0.097576	4.6509	0.097550	4.6319	0.097186	4.6304	0.097147
47.6	-4.6431	0.097625	4.6417	0.097557	4.6207	0.097154	4.6212	0.097160
47.5	-4.6346	0.097652	4.6325	0.097563	4.6160	0.097260	4.6119	0.097170
47.4	-4.6249	0.097653	4.6233	0.097567	4.6004	0.097136	4.6024	0.097177
47.3	-4.6123	0.097593	4.6140	0.097573	4.5916	0.097155	4.5928	0.097180
47.2	-4.6096	0.097742	4.6047	0.097580	4.5822	0.097161	4.5830	0.097180
47.1	-4.5938	0.097614	4.5953	0.097583	4.5708	0.097125	4.5732	0.097180
47.0	-4.5882	0.097703	4.5859	0.097590	4.5601	0.097104	4.5632	0.097177
46.9	-4.5796	0.097727	4.5765	0.097593	4.5552	0.097207	4.5532	0.097170
46.8	-4.5623	0.097566	4.5670	0.097600	4.5408	0.097106	4.5431	0.097163
46.7	-4.5548	0.097614	4.5575	0.097603	4.5354	0.097199	4.5331	0.097157
46.6	-4.5443	0.097598	4.5480	0.097607	4.5241	0.097165	4.5230	0.097150
46.5	-4.5374	0.097660	4.5384	0.097613	4.5190	0.097264	4.5130	0.097143
46.4	-4.5247	0.097596	4.5288	0.097617	4.5013	0.097092	4.5031	0.097140
46.3	-4.5148	0.097593	4.5191	0.097620	4.4947	0.097159	4.4933	0.097137
46.2	-4.5090	0.097679	4.5094	0.097627	4.4872	0.097206	4.4835	0.097133
46.1	-4.4995	0.097684	4.4996	0.097630	4.4766	0.097187	4.4739	0.097133
46.0	-4.4915	0.097723	4.4899	0.097633	4.4627	0.097096	4.4644	0.097137
45.9	-4.4826	0.097742	4.4800	0.097637	4.4526	0.097087	4.4549	0.097140
45.8	-4.4705	0.097691	4.4702	0.097640	4.4449	0.097131	4.4456	0.097147
45.7	-4.4647	0.097777	4.4603	0.097643	4.4378	0.097188	4.4364	0.097153
45.6	-4.4526	0.097726	4.4504	0.097647	4.4241	0.097101	4.4273	0.097163
45.5	-4.4490	0.097862	4.4405	0.097650	4.4167	0.097151	4.4183	0.097177

45.4	-4.4336	0.097738	4.4306	0.097653	4.4095	0.097206	4.4093	0.097190
45.3	-4.4237	0.097735	4.4206	0.097657	4.3992	0.097194	4.4003	0.097207
45.2*	-4.4187	0.097840	-4.4107	0.097661	4.3902	0.097209	4.3915	0.097225
45.1	-4.4048	0.097749	4.4007	0.097663	4.3854	0.097318	4.3826	0.097243
45.0	-4.3965	0.097781	4.3908	0.097667	4.3710	0.097214	4.3737	0.097263
44.9	-4.3851	0.097745	4.3809	0.097670	4.3665	0.097330	4.3648	0.097283
44.8	-4.3737	0.097709	4.3710	0.097673	4.3528	0.097242	4.3559	0.097303
44.7	-4.3624	0.097674	4.3611	0.097677	4.3424	0.097226	4.3470	0.097323
44.6	-4.3480	0.097570	4.3512	0.097680	4.3350	0.097278	4.3381	0.097343
44.5	-4.3380	0.097564	4.3414	0.097683	4.3305	0.097396	4.3291	0.097360
44.4	-4.3250	0.097491	4.3316	0.097687	4.3246	0.097482	4.3200	0.097380
44.3	-4.3126	0.097431	4.3219	0.097693	4.3158	0.097503	4.3110	0.097397
44.2	-4.3076	0.097538	4.3122	0.097697	4.3056	0.097493	4.3018	0.097413
44.1	-4.2978	0.097537	4.3025	0.097700	4.2926	0.097419	4.2927	0.097430
44.0	-4.2832	0.097427	4.2929	0.097703	4.2824	0.097408	4.2835	0.097443
43.9	-4.2774	0.097516	4.2833	0.097707	4.2799	0.097573	4.2743	0.097457
43.8	-4.2697	0.097563	4.2738	0.097713	4.2632	0.097414	4.2650	0.097470
43.7	-4.2619	0.097608	4.2643	0.097717	4.2557	0.097466	4.2557	0.097480
43.6	-4.2538	0.097646	4.2548	0.097720	4.2462	0.097471	4.2464	0.097490
43.5	-4.2466	0.097704	4.2454	0.097727	4.2340	0.097414	4.2371	0.097497
43.4	-4.2368	0.097703	4.2361	0.097730	4.2271	0.097480	4.2277	0.097503
43.3	-4.2224	0.097596	4.2267	0.097733	4.2164	0.097458	4.2183	0.097510
43.2	-4.2184	0.097730	4.2174	0.097740	4.2043	0.097403	4.2089	0.097513
43.1	-4.2092	0.097743	4.2081	0.097743	4.1979	0.097480	4.1995	0.097520
43.0	-4.2007	0.097772	4.1989	0.097750	4.1892	0.097504	4.1901	0.097523
42.9	-4.1961	0.097893	4.1896	0.097757	4.1808	0.097536	4.1806	0.097527
42.8	-4.1848	0.097857	4.1803	0.097760	4.1712	0.097539	4.1711	0.097527
42.7	-4.1796	0.097964	4.1711	0.097767	4.1651	0.097625	4.1615	0.097530
42.6	-4.1645	0.097840	4.1618	0.097770	4.1518	0.097541	4.1520	0.097530
42.5	-4.1531	0.097801	4.1525	0.097777	4.1443	0.097594	4.1424	0.097533
42.4	-4.1454	0.097850	4.1432	0.097783	4.1384	0.097685	4.1327	0.097537
42.3	-4.1398	0.097949	4.1339	0.097787	4.1215	0.097516	4.1231	0.097537
42.2	-4.1288	0.097920	4.1245	0.097793	4.1114	0.097508	4.1134	0.097540
42.1	-4.1166	0.097863	4.1151	0.097797	4.1020	0.097516	4.1037	0.097543
42.0	-4.1011	0.097727	4.1057	0.097803	4.0927	0.097526	4.0939	0.097547
41.9	-4.0955	0.097826	4.0962	0.097810	4.0873	0.097630	4.0842	0.097553
41.8	-4.0884	0.097890	4.0867	0.097813	4.0734	0.097531	4.0744	0.097557
41.7	-4.0796	0.097914	4.0772	0.097820	4.0665	0.097599	4.0647	0.097563
41.6	-4.0692	0.097899	4.0676	0.097823	4.0550	0.097557	4.0550	0.097567
41.5	-4.0573	0.097848	4.0580	0.097830	4.0463	0.097582	4.0454	0.097573
41.4	-4.0496	0.097898	4.0483	0.097837	4.0356	0.097559	4.0358	0.097580
41.3	-4.0386	0.097868	4.0386	0.097840	4.0257	0.097556	4.0263	0.097590
41.2	-4.0311	0.097924	4.0288	0.097847	4.0181	0.097608	4.0168	0.097597
41.1	-4.0226	0.097955	4.0191	0.097850	4.0054	0.097536	4.0075	0.097603
41.0	-4.0149	0.098006	4.0093	0.097857	3.9935	0.097484	3.9981	0.097613
40.9	-3.9959	0.097781	3.9995	0.097863	3.9860	0.097538	3.9889	0.097620
40.8	-3.9844	0.097738	3.9897	0.097867	3.9800	0.097630	3.9796	0.097627
40.7	-3.9788	0.097841	3.9798	0.097873	3.9758	0.097767	3.9704	0.097637
40.6	-3.9664	0.097776	3.9700	0.097877	3.9602	0.097623	3.9612	0.097643
40.5	-3.9584	0.097820	3.9602	0.097883	3.9502	0.097617	3.9520	0.097650
40.4	-3.9439	0.097703	3.9504	0.097890	3.9448	0.097725	3.9428	0.097657
40.3	-3.9340	0.097699	3.9406	0.097893	3.9355	0.097736	3.9334	0.097663
40.2	-3.9296	0.097833	3.9309	0.097900	3.9269	0.097765	3.9240	0.097670
40.1	-3.9191	0.097815	3.9211	0.097907	3.9160	0.097737	3.9145	0.097673
40.0	-3.9097	0.097824	3.9115	0.097910	3.9030	0.097656	3.9048	0.097680
39.9	-3.9015	0.097863	3.9018	0.097917	3.8902	0.097580	3.8951	0.097683
39.8	-3.8916	0.097860	3.8922	0.097923	3.8845	0.097682	3.8853	0.097683

39.7	-3.8848	0.097935	3.8826	0.097930	3.8799	0.097812	3.8753	0.097687
39.6	-3.8708	0.097829	3.8731	0.097933	3.8694	0.097794	3.8652	0.097683
39.5	-3.8609	0.097826	3.8636	0.097940	3.8537	0.097643	3.8551	0.097683
39.4	-3.8566	0.097965	3.8542	0.097947	3.8420	0.097594	3.8450	0.097680
39.3	-3.8424	0.097852	3.8448	0.097953	3.8314	0.097572	3.8347	0.097677
39.2	-3.8352	0.097918	3.8354	0.097960	3.8255	0.097671	3.8245	0.097670
39.1	-3.8279	0.097982	3.8261	0.097967	3.8148	0.097647	3.8143	0.097663
39.0	-3.8197	0.098023	3.8168	0.097970	3.8004	0.097527	3.8041	0.097653
38.9	-3.8081	0.097976	3.8075	0.097977	3.7942	0.097619	3.7940	0.097643
38.8	-3.8017	0.098064	3.7982	0.097983	3.7849	0.097630	3.7839	0.097633
38.7	-3.7977	0.098214	3.7890	0.097990	3.7718	0.097544	3.7738	0.097623
38.6	-3.7811	0.098038	3.7797	0.097997	3.7624	0.097553	3.7638	0.097613
38.5	-3.7766	0.098175	3.7705	0.098003	3.7571	0.097668	3.7538	0.097600
38.4	-3.7609	0.098022	3.7612	0.098010	3.7488	0.097706	3.7440	0.097590
38.3	-3.7501	0.097995	3.7519	0.098017	3.7359	0.097624	3.7341	0.097580
38.2	-3.7445	0.098105	3.7426	0.098023	3.7255	0.097607	3.7243	0.097570
38.1	-3.7352	0.098118	3.7333	0.098027	3.7171	0.097643	3.7145	0.097560
38.0	-3.7266	0.098150	3.7240	0.098033	3.7016	0.097492	3.7048	0.097553
37.9	-3.7178	0.098177	3.7146	0.098040	3.6928	0.097517	3.6950	0.097547
37.8	-3.7090	0.098203	3.7051	0.098047	3.6818	0.097483	3.6853	0.097543
37.7	-3.6920	0.098013	3.6957	0.098053	3.6766	0.097604	3.6756	0.097540
37.6	-3.6829	0.098031	3.6861	0.098057	3.6659	0.097579	3.6658	0.097540
37.5	-3.6726	0.098018	3.6766	0.098063	3.6560	0.097575	3.6561	0.097540
37.4	-3.6693	0.098191	3.6669	0.098070	3.6484	0.097632	3.6463	0.097543
37.3	-3.6514	0.097974	3.6573	0.098077	3.6336	0.097497	3.6365	0.097547
37.2	-3.6463	0.098100	3.6476	0.098080	3.6257	0.097546	3.6267	0.097553
37.1	-3.6399	0.098192	3.6378	0.098087	3.6136	0.097483	3.6168	0.097560
37.0	-3.6295	0.098176	3.6280	0.098093	3.6091	0.097625	3.6070	0.097563
36.9*	-3.6185	0.098144	-3.6182	0.098098	3.5990	0.097615	3.5972	0.097572
36.8	-3.6054	0.098054	3.6083	0.098103	3.5893	0.097617	3.5874	0.097580
36.7	-3.5910	0.097929	3.5984	0.098110	3.5794	0.097613	3.5776	0.097583
36.6	-3.5853	0.098041	3.5884	0.098117	3.5682	0.097573	3.5678	0.097590
36.5	-3.5792	0.098142	3.5785	0.098123	3.5597	0.097607	3.5580	0.097597
36.4	-3.5686	0.098120	3.5685	0.098130	3.5467	0.097518	3.5483	0.097600
36.3	-3.5551	0.098018	3.5586	0.098133	3.5380	0.097547	3.5385	0.097600
36.2	-3.5490	0.098120	3.5486	0.098140	3.5297	0.097587	3.5289	0.097603
36.1	-3.5394	0.098126	3.5387	0.098147	3.5182	0.097538	3.5192	0.097603
36.0	-3.5270	0.098054	3.5288	0.098153	3.5117	0.097629	3.5096	0.097600
35.9	-3.5197	0.098123	3.5189	0.098163	3.4994	0.097558	3.5001	0.097600
35.8	-3.5077	0.098062	3.5090	0.098170	3.4892	0.097545	3.4905	0.097597
35.7	-3.5007	0.098141	3.4992	0.098177	3.4801	0.097563	3.4810	0.097597
35.6	-3.4920	0.098172	3.4895	0.098187	3.4700	0.097553	3.4715	0.097593
35.5	-3.4783	0.098062	3.4798	0.098193	3.4612	0.097580	3.4620	0.097593
35.4	-3.4691	0.098079	3.4701	0.098203	3.4570	0.097737	3.4525	0.097590
35.3	-3.4620	0.098155	3.4606	0.098210	3.4492	0.097792	3.4430	0.097590
35.2	-3.4578	0.098315	3.4510	0.098220	3.4331	0.097613	3.4335	0.097593
35.1	-3.4472	0.098293	3.4416	0.098230	3.4250	0.097660	3.4240	0.097597
35.0	-3.4363	0.098263	3.4322	0.098240	3.4111	0.097541	3.4144	0.097600
34.9	-3.4236	0.098179	3.4229	0.098250	3.4033	0.097597	3.4049	0.097607
34.8	-3.4190	0.098329	3.4136	0.098260	3.3945	0.097624	3.3953	0.097617
34.7	-3.4015	0.098108	3.4044	0.098270	3.3895	0.097762	3.3857	0.097623
34.6	-3.3981	0.098293	3.3953	0.098280	3.3741	0.097599	3.3761	0.097633
34.5	-3.3833	0.098148	3.3862	0.098290	3.3606	0.097490	3.3664	0.097647
34.4	-3.3799	0.098335	3.3771	0.098300	3.3548	0.097605	3.3568	0.097657
34.3	-3.3656	0.098204	3.3681	0.098310	3.3491	0.097723	3.3471	0.097667
34.2	-3.3599	0.098325	3.3591	0.098320	3.3383	0.097692	3.3374	0.097677
34.1	-3.3475	0.098249	3.3501	0.098327	3.3287	0.097697	3.3277	0.097683

34.0	-3.3397	0.098308	3.3410	0.098337	3.3130	0.097522	3.3180	0.097690
33.9	-3.3303	0.098321	3.3320	0.098347	3.3080	0.097662	3.3083	0.097697
33.8	-3.3200	0.098307	3.3229	0.098353	3.2982	0.097661	3.2987	0.097700
33.7	-3.3149	0.098447	3.3137	0.098360	3.2867	0.097609	3.2890	0.097700
33.6	-3.3044	0.098427	3.3045	0.098367	3.2803	0.097709	3.2793	0.097700
33.5	-3.2966	0.098488	3.2952	0.098373	3.2705	0.097708	3.2696	0.097700
33.4	-3.2861	0.098468	3.2859	0.098380	3.2608	0.097710	3.2600	0.097700
33.3	-3.2782	0.098526	3.2764	0.098383	3.2506	0.097697	3.2503	0.097700
33.2	-3.2692	0.098552	3.2668	0.098387	3.2416	0.097720	3.2407	0.097697
33.1	-3.2504	0.098281	3.2571	0.098387	3.2326	0.097743	3.2311	0.097697
33.0	-3.2445	0.098400	3.2473	0.098390	3.2290	0.097930	3.2215	0.097697
32.9	-3.2364	0.098453	3.2374	0.098390	3.2140	0.097771	3.2120	0.097700
32.8	-3.2291	0.098530	3.2273	0.098387	3.2033	0.097743	3.2025	0.097707
32.7	-3.2165	0.098446	3.2172	0.098387	3.1930	0.097727	3.1930	0.097713
32.6	-3.2074	0.098468	3.2069	0.098383	3.1809	0.097655	3.1836	0.097727
32.5	-3.1983	0.098491	3.1966	0.098380	3.1760	0.097805	3.1743	0.097740
32.4	-3.1847	0.098375	3.1862	0.098377	3.1638	0.097730	3.1650	0.097757
32.3	-3.1729	0.098314	3.1758	0.098370	3.1560	0.097790	3.1558	0.097773
32.2	-3.1653	0.098383	3.1653	0.098367	3.1417	0.097650	3.1466	0.097793
32.1	-3.1526	0.098294	3.1548	0.098360	3.1339	0.097711	3.1374	0.097817
32.0	-3.1408	0.098232	3.1443	0.098353	3.1270	0.097800	3.1283	0.097837
31.9	-3.1342	0.098333	3.1339	0.098347	3.1187	0.097846	3.1191	0.097857
31.8	-3.1279	0.098444	3.1235	0.098340	3.1076	0.097805	3.1098	0.097877
31.7	-3.1199	0.098502	3.1132	0.098333	3.0999	0.097870	3.1003	0.097887
31.6	-3.1051	0.098345	3.1029	0.098330	3.0926	0.097949	3.0907	0.097893
31.5	-3.0938	0.098298	3.0927	0.098323	3.0852	0.098024	3.0809	0.097893
31.4	-3.0844	0.098311	3.0826	0.098317	3.0739	0.097976	3.0709	0.097887
31.3	-3.0711	0.098200	3.0725	0.098310	3.0602	0.097851	3.0606	0.097870
31.2	-3.0648	0.098313	3.0625	0.098303	3.0521	0.097905	3.0500	0.097843
31.1	-3.0557	0.098336	3.0526	0.098297	3.0415	0.097879	3.0393	0.097813
31.0	-3.0420	0.098211	3.0428	0.098290	3.0279	0.097756	3.0285	0.097780
30.9	-3.0303	0.098150	3.0329	0.098283	3.0154	0.097667	3.0177	0.097747
30.8	-3.0210	0.098166	3.0231	0.098273	3.0037	0.097604	3.0070	0.097713
30.7	-3.0097	0.098118	3.0133	0.098267	2.9949	0.097635	2.9964	0.097690
30.6	-3.0006	0.098141	3.0035	0.098260	2.9856	0.097650	2.9861	0.097670
30.5	-2.9919	0.098177	2.9936	0.098250	2.9778	0.097714	2.9761	0.097663
30.4	-2.9827	0.098197	2.9838	0.098240	2.9653	0.097624	2.9663	0.097663
30.3	-2.9733	0.098210	2.9739	0.098230	2.9560	0.097639	2.9569	0.097670
30.2	-2.9657	0.098284	2.9640	0.098223	2.9483	0.097707	2.9476	0.097687
30.1	-2.9579	0.098351	2.9540	0.098213	2.9396	0.097743	2.9386	0.097707
30.0	-2.9425	0.098165	2.9441	0.098207	2.9307	0.097771	2.9296	0.097730
29.9	-2.9361	0.098279	2.9341	0.098200	2.9244	0.097888	2.9207	0.097753
29.8	-2.9272	0.098310	2.9242	0.098193	2.9130	0.097833	2.9118	0.097777
29.7	-2.9150	0.098230	2.9143	0.098193	2.9001	0.097728	2.9028	0.097793
29.6	-2.9087	0.098349	2.9044	0.098193	2.8947	0.097875	2.8936	0.097810
29.5	-2.8903	0.098058	2.8947	0.098193	2.8834	0.097824	2.8843	0.097823
29.4	-2.8845	0.098194	2.8850	0.098200	2.8716	0.097755	2.8749	0.097830
29.3	-2.8782	0.098314	2.8754	0.098210	2.8681	0.097669	2.8653	0.097833
29.2	-2.8670	0.098267	2.8659	0.098223	2.8546	0.097842	2.8555	0.097833
29.1	-2.8562	0.098233	2.8565	0.098240	2.8419	0.097741	2.8455	0.097830
29.0	-2.8431	0.098120	2.8472	0.098260	2.8370	0.097909	2.8354	0.097820
28.9	-2.8353	0.098189	2.8380	0.098283	2.8252	0.097839	2.8252	0.097810
28.8	-2.8296	0.098332	2.8288	0.098307	2.8144	0.097804	2.8149	0.097800
28.7	-2.8202	0.098347	2.8196	0.098333	2.8033	0.097757	2.8045	0.097787
28.6	-2.8094	0.098313	2.8105	0.098360	2.7928	0.097732	2.7941	0.097770
28.5	-2.7999	0.098324	2.8013	0.098383	2.7859	0.097832	2.7837	0.097757
28.4	-2.7901	0.098325	2.7920	0.098403	2.7771	0.097867	2.7734	0.097740

28.3	-2.7842	0.098464	2.7826	0.098420	2.7654	0.097799	2.7631	0.097727
28.2	-2.7755	0.098504	2.7731	0.098430	2.7513	0.097645	2.7529	0.097713
28.1	-2.7689	0.098619	2.7634	0.098437	2.7412	0.097633	2.7427	0.097700
28.0	-2.7568	0.098539	2.7535	0.098433	2.7322	0.097660	2.7327	0.097690
27.9	-2.7438	0.098426	2.7434	0.098420	2.7241	0.097719	2.7228	0.097683
27.8	-2.7317	0.098344	2.7331	0.098403	2.7135	0.097689	2.7129	0.097680
27.7	-2.7148	0.098089	2.7227	0.098380	2.7010	0.097590	2.7032	0.097680
27.6	-2.7083	0.098209	2.7121	0.098350	2.6930	0.097654	2.6935	0.097683
27.5	-2.7026	0.098358	2.7015	0.098317	2.6840	0.097681	2.6840	0.097687
27.4	-2.6939	0.098399	2.6909	0.098283	2.6754	0.097724	2.6745	0.097693
27.3	-2.6820	0.098324	2.6803	0.098253	2.6666	0.097759	2.6650	0.097703
27.2	-2.6707	0.098269	2.6698	0.098230	2.6549	0.097688	2.6556	0.097710
27.1	-2.6593	0.098211	2.6595	0.098210	2.6441	0.097650	2.6462	0.097720
27.0	-2.6488	0.098185	2.6493	0.098200	2.6343	0.097648	2.6368	0.097730
26.9	-2.6390	0.098186	2.6394	0.098200	2.6289	0.097810	2.6274	0.097740
26.8	-2.6306	0.098239	2.6297	0.098210	2.6211	0.097884	2.6180	0.097750
26.7	-2.6220	0.098284	2.6203	0.098230	2.6108	0.097864	2.6086	0.097760
26.6	-2.6134	0.098330	2.6111	0.098260	2.6003	0.097837	2.5992	0.097770
26.5	-2.6002	0.098203	2.6022	0.098293	2.5889	0.097776	2.5899	0.097783
26.4	-2.5967	0.098442	2.5934	0.098337	2.5771	0.097699	2.5805	0.097800
26.3	-2.5835	0.098314	2.5847	0.098380	2.5695	0.097781	2.5711	0.097817
26.2	-2.5743	0.098338	2.5761	0.098427	2.5585	0.097734	2.5618	0.097837
26.1	-2.5621	0.098247	2.5676	0.098473	2.5507	0.097809	2.5524	0.097860
26.0	-2.5570	0.098428	2.5590	0.098517	2.5457	0.097993	2.5431	0.097887
25.9	-2.5508	0.098569	2.5504	0.098560	2.5340	0.097919	2.5338	0.097917
25.8	-2.5422	0.098617	2.5417	0.098597	2.5248	0.097942	2.5245	0.097947
25.7	-2.5348	0.098713	2.5328	0.098630	2.5152	0.097949	2.5151	0.097977
25.6	-2.5277	0.098821	2.5238	0.098657	2.5097	0.098117	2.5057	0.098003
25.5	-2.5154	0.098725	2.5146	0.098677	2.4949	0.097921	2.4962	0.098027
25.4*	-2.5090	0.098862	-2.5052	0.098690	2.4870	0.097995	2.4867	0.098042
25.3	-2.4944	0.098675	2.4956	0.098697	2.4776	0.098010	2.4770	0.098050
25.2	-2.4853	0.098705	2.4857	0.098700	2.4698	0.098090	2.4672	0.098050
25.1	-2.4772	0.098775	2.4757	0.098697	2.4612	0.098137	2.4573	0.098043
25.0	-2.4661	0.098726	2.4655	0.098687	2.4495	0.098062	2.4472	0.098027
24.9	-2.4580	0.098797	2.4551	0.098677	2.4362	0.097921	2.4371	0.098003
24.8	-2.4448	0.098663	2.4447	0.098660	2.4214	0.097718	2.4269	0.097973
24.7	-2.4362	0.098714	2.4342	0.098643	2.4163	0.097907	2.4166	0.097940
24.6	-2.4185	0.098395	2.4237	0.098623	2.4099	0.098045	2.4063	0.097903
24.5	-2.4083	0.098380	2.4132	0.098603	2.3970	0.097918	2.3960	0.097867
24.4	-2.4001	0.098447	2.4027	0.098587	2.3882	0.097959	2.3858	0.097833
24.3	-2.3924	0.098535	2.3923	0.098570	2.3703	0.097624	2.3757	0.097807
24.2	-2.3844	0.098611	2.3820	0.098553	2.3693	0.097987	2.3656	0.097787
24.1	-2.3740	0.098588	2.3718	0.098540	2.3551	0.097803	2.3558	0.097773
24.0	-2.3682	0.098757	2.3617	0.098530	2.3444	0.097765	2.3460	0.097773
23.9	-2.3490	0.098366	2.3517	0.098523	2.3304	0.097588	2.3364	0.097783
23.8	-2.3420	0.098485	2.3418	0.098517	2.3240	0.097728	2.3270	0.097800
23.7	-2.3336	0.098546	2.3320	0.098510	2.3166	0.097828	2.3177	0.097827
23.6	-2.3201	0.098391	2.3223	0.098510	2.3087	0.097908	2.3084	0.097860
23.5	-2.3132	0.098516	2.3126	0.098507	2.3020	0.098039	2.2992	0.097893
23.4	-2.3040	0.098544	2.3029	0.098507	2.2904	0.097962	2.2900	0.097930
23.3	-2.2948	0.098571	2.2933	0.098507	2.2810	0.097979	2.2807	0.097960
23.2	-2.2822	0.098453	2.2837	0.098510	2.2745	0.098120	2.2713	0.097987
23.1	-2.2757	0.098597	2.2740	0.098510	2.2608	0.097952	2.2619	0.098007
23.0	-2.2662	0.098613	2.2643	0.098513	2.2504	0.097925	2.2523	0.098020
22.9	-2.2521	0.098427	2.2547	0.098513	2.2433	0.098042	2.2426	0.098027
22.8	-2.2438	0.098494	2.2449	0.098517	2.2328	0.098011	2.2328	0.098030
22.7	-2.2347	0.098527	2.2352	0.098517	2.2240	0.098055	2.2230	0.098027

22.6	-2.2255	0.098556	2.2254	0.098520	2.2126	0.097984	2.2132	0.098023
22.5	-2.2142	0.098491	2.2156	0.098523	2.2020	0.097948	2.2034	0.098023
22.4	-2.2079	0.098649	2.2058	0.098527	2.1916	0.097921	2.1936	0.098023
22.3	-2.1948	0.098504	2.1960	0.098530	2.1860	0.098109	2.1838	0.098023
22.2	-2.1844	0.098478	2.1862	0.098533	2.1738	0.098001	2.1741	0.098030
22.1	-2.1764	0.098562	2.1764	0.098540	2.1635	0.097978	2.1644	0.098033
22.0	-2.1688	0.098664	2.1666	0.098547	2.1570	0.098127	2.1548	0.098043
21.9	-2.1549	0.098479	2.1568	0.098553	2.1482	0.098173	2.1451	0.098047
21.8	-2.1478	0.098605	2.1470	0.098563	2.1380	0.098155	2.1353	0.098050
21.7	-2.1377	0.098594	2.1373	0.098573	2.1279	0.098142	2.1255	0.098050
21.6	-2.1247	0.098448	2.1276	0.098583	2.1118	0.097850	2.1156	0.098043
21.5	-2.1167	0.098533	2.1180	0.098597	2.1076	0.098110	2.1055	0.098030
21.4	-2.1083	0.098601	2.1083	0.098610	2.0907	0.097778	2.0954	0.098010
21.3	-2.0998	0.098664	2.0987	0.098623	2.0857	0.098002	2.0851	0.097983
21.2	-2.0903	0.098681	2.0891	0.098637	2.0705	0.097746	2.0747	0.097953
21.1	-2.0796	0.098641	2.0795	0.098650	2.0651	0.097954	2.0644	0.097920
21.0	-2.0700	0.098654	2.0699	0.098663	2.0555	0.097963	2.0540	0.097887
20.9	-2.0626	0.098771	2.0603	0.098673	2.0447	0.097914	2.0436	0.097853
20.8	-2.0508	0.098678	2.0506	0.098683	2.0302	0.097687	2.0333	0.097827
20.7	-2.0417	0.098715	2.0409	0.098690	2.0236	0.097840	2.0231	0.097800
20.6	-2.0313	0.098689	2.0311	0.098697	2.0161	0.097950	2.0130	0.097783
20.5	-2.0240	0.098814	2.0213	0.098697	2.0018	0.097730	2.0031	0.097773
20.4	-2.0090	0.098562	2.0114	0.098693	1.9955	0.097900	1.9933	0.097773
20.3	-1.9973	0.098471	2.0014	0.098687	1.9846	0.097845	1.9837	0.097780
20.2	-1.9907	0.098632	1.9913	0.098677	1.9752	0.097864	1.9742	0.097793
20.1	-1.9833	0.098754	1.9811	0.098660	1.9629	0.097738	1.9648	0.097813
20.0	-1.9702	0.098592	1.9708	0.098640	1.9565	0.097907	1.9554	0.097837
19.9	-1.9629	0.098720	1.9605	0.098617	1.9457	0.097855	1.9461	0.097860
19.8	-1.9499	0.098562	1.9500	0.098587	1.9359	0.097854	1.9367	0.097883
19.7	-1.9393	0.098524	1.9395	0.098557	1.9262	0.097858	1.9273	0.097903
19.6	-1.9297	0.098536	1.9289	0.098523	1.9143	0.097750	1.9177	0.097913
19.5	-1.9167	0.098374	1.9184	0.098487	1.9073	0.097892	1.9080	0.097920
19.4	-1.9092	0.098494	1.9078	0.098450	1.8938	0.097700	1.8981	0.097913
19.3	-1.8997	0.098512	1.8972	0.098410	1.8888	0.097947	1.8880	0.097903
19.2	-1.8902	0.098530	1.8866	0.098373	1.8827	0.098139	1.8778	0.097880
19.1	-1.8730	0.098145	1.8761	0.098330	1.8712	0.098050	1.8674	0.097853
19.0	-1.8676	0.098377	1.8657	0.098290	1.8580	0.097871	1.8570	0.097820
18.9	-1.8527	0.098108	1.8552	0.098247	1.8411	0.097494	1.8465	0.097787
18.8	-1.8451	0.098225	1.8448	0.098203	1.8360	0.097741	1.8360	0.097750
18.7	-1.8309	0.097991	1.8345	0.098163	1.8254	0.097696	1.8256	0.097720
18.6	-1.8252	0.098211	1.8242	0.098123	1.8168	0.097759	1.8153	0.097693
18.5	-1.8137	0.098120	1.8140	0.098087	1.8063	0.097719	1.8052	0.097677
18.4	-1.8081	0.098348	1.8038	0.098060	1.7993	0.097870	1.7953	0.097670
18.3	-1.7915	0.097978	1.7938	0.098050	1.7825	0.097486	1.7856	0.097673
18.2	-1.7817	0.097977	1.7838	0.098060	1.7780	0.097774	1.7761	0.097690
18.1	-1.7742	0.098104	1.7739	0.098093	1.7644	0.097562	1.7669	0.097717
18.0	-1.7648	0.098126	1.7641	0.098153	1.7588	0.097793	1.7578	0.097750
17.9	-1.7570	0.098238	1.7544	0.098230	1.7448	0.097556	1.7488	0.097787
17.8	-1.7441	0.098065	1.7447	0.098310	1.7422	0.097958	1.7398	0.097827
17.7	-1.7350	0.098104	1.7349	0.098377	1.7337	0.098031	1.7308	0.097863
17.6	-1.7223	0.098940	1.7250	0.098413	1.7203	0.097826	1.7216	0.097890
17.5	-1.7121	0.098916	1.7150	0.098413	1.7130	0.097967	1.7123	0.097913
17.4	-1.7049	0.098064	1.7048	0.098383	1.7001	0.097788	1.7028	0.097927
17.3	-1.6990	0.098290	1.6946	0.098327	1.6932	0.097954	1.6931	0.097930
17.2	-1.6820	0.097872	1.6844	0.098253	1.6830	0.097930	1.6833	0.097930
17.1	-1.6766	0.098128	1.6742	0.098183	1.6772	0.098164	1.6734	0.097923
17.0	-1.6641	0.097970	1.6642	0.098117	1.6606	0.097764	1.6635	0.097913

16.9	-1.6548	0.098550	1.6542	0.098063	1.6544	0.097975	1.6535	0.097903
16.8	-1.6453	0.098016	1.6444	0.098023	1.6405	0.097730	1.6436	0.097893
16.7	-1.6349	0.097980	1.6346	0.097997	1.6369	0.098100	1.6337	0.097883
16.6	-1.6233	0.097871	1.6250	0.097983	1.6204	0.097696	1.6238	0.097877
16.5	-1.6162	0.098033	1.6153	0.097977	1.6163	0.097675	1.6140	0.097867
16.4	-1.6049	0.097941	1.6056	0.097980	1.6042	0.097899	1.6041	0.097857
16.3	-1.5954	0.097959	1.5960	0.097987	1.5944	0.097897	1.5941	0.097843
16.2	-1.5870	0.098045	1.5863	0.097997	1.5833	0.097816	1.5841	0.097823
16.1	-1.5766	0.098007	1.5767	0.098010	1.5798	0.098206	1.5739	0.097800
16.0	-1.5668	0.098007	1.5672	0.098033	1.5619	0.097700	1.5637	0.097773
15.9	-1.5582	0.098082	1.5579	0.098073	1.5503	0.097584	1.5534	0.097747
15.8	-1.5498	0.098170	1.5489	0.098130	1.5415	0.097645	1.5431	0.097727
15.7	-1.5400	0.098171	1.5402	0.098200	1.5313	0.097616	1.5329	0.097710
15.6	-1.5315	0.098255	1.5313	0.098250	1.5250	0.097838	1.5228	0.097710
15.5	-1.5193	0.098101	1.5209	0.098203	1.5141	0.097765	1.5130	0.097730
15.4	-1.5099	0.098127	1.5075	0.097957	1.5038	0.097731	1.5035	0.097770
15.3	-1.4890	0.097401	1.4913	0.097530	1.4942	0.097742	1.4943	0.097833
15.2	-1.4790	0.097384	1.4773	0.097250	1.4856	0.097818	1.4854	0.097913
15.1	-1.4698	0.097419	1.4726	0.097607	1.4762	0.098495	1.4766	0.098003
15.0	-1.4790	0.098682	1.4752	0.098443	1.4677	0.097928	1.4679	0.098093
14.9	-1.4698	0.098726	1.4727	0.098940	1.4600	0.098068	1.4592	0.098170
14.8	-1.4610	0.098798	1.4606	0.098797	1.4503	0.098075	1.4503	0.098223
14.7	-1.4520	0.098858	1.4461	0.098487	1.4405	0.098075	1.4411	0.098253
14.6	-1.4270	0.097821	1.4350	0.098387	1.4303	0.098747	1.4316	0.098257
14.5	-1.4299	0.098696	1.4270	0.098493	1.4200	0.098013	1.4218	0.098237
14.4	-1.4205	0.098728	1.4199	0.098660	1.4135	0.098242	1.4118	0.098200
14.3	-1.4136	0.098936	1.4121	0.098790	1.4036	0.098236	1.4016	0.098153
14.2	-1.4007	0.098723	1.4033	0.098860	1.3908	0.098025	1.3912	0.098100
14.1	-1.3972	0.099175	1.3937	0.098883	1.3827	0.098146	1.3808	0.098047
14.0	-1.3803	0.098675	1.3837	0.098873	1.3703	0.097960	1.3704	0.098000
13.9	-1.3704	0.098672	1.3733	0.098853	1.3590	0.097851	1.3602	0.097957
13.8	-1.3621	0.098785	1.3630	0.098833	1.3489	0.097828	1.3500	0.097927
13.7	-1.3520	0.098768	1.3527	0.098817	1.3411	0.097972	1.3401	0.097907
13.6	-1.3432	0.098847	1.3425	0.098807	1.3288	0.097787	1.3302	0.097897
13.5	-1.3302	0.098615	1.3324	0.098800	1.3222	0.098022	1.3205	0.097897
13.4	-1.3254	0.098993	1.3224	0.098800	1.3117	0.097970	1.3110	0.097900
13.3	-1.3167	0.099083	1.3124	0.098803	1.3006	0.097871	1.3014	0.097910
13.2	-1.3027	0.098772	1.3026	0.098807	1.2920	0.097960	1.2919	0.097920
13.1	-1.2920	0.098708	1.2927	0.098810	1.2827	0.097998	1.2823	0.097930
13.0	-1.2865	0.099044	1.2829	0.098817	1.2705	0.097812	1.2727	0.097937
12.9	-1.2720	0.098687	1.2732	0.098820	1.2643	0.098089	1.2629	0.097937
12.8	-1.2640	0.098832	1.2634	0.098823	1.2547	0.098105	1.2530	0.097930
12.7	-1.2527	0.098720	1.2536	0.098827	1.2421	0.097885	1.2430	0.097917
12.6	-1.2445	0.098852	1.2439	0.098830	1.2290	0.097621	1.2329	0.097900
12.5	-1.2345	0.098842	1.2341	0.098833	1.2204	0.097713	1.2227	0.097877
12.4	-1.2236	0.098760	1.2243	0.098837	1.2116	0.097791	1.2124	0.097850
12.3	-1.2135	0.098741	1.2145	0.098840	1.2051	0.098057	1.2021	0.097823
12.2	-1.2036	0.098738	1.2048	0.098843	1.1917	0.097762	1.1919	0.097800
12.1	-1.1976	0.099058	1.1950	0.098850	1.1809	0.097676	1.1817	0.097777
12.0	-1.1853	0.098857	1.1852	0.098853	1.1742	0.097932	1.1716	0.097760
11.9	-1.1730	0.098654	1.1754	0.098860	1.1621	0.097737	1.1616	0.097750
11.8	-1.1654	0.098845	1.1657	0.098867	1.1546	0.097929	1.1518	0.097747
11.7	-1.1574	0.099006	1.1559	0.098873	1.1421	0.097697	1.1421	0.097753
11.6	-1.1471	0.098970	1.1461	0.098883	1.1323	0.097693	1.1325	0.097763
11.5	-1.1373	0.098978	1.1363	0.098890	1.1225	0.097690	1.1230	0.097780
11.4	-1.1249	0.098758	1.1265	0.098900	1.1146	0.097853	1.1137	0.097800
11.3	-1.1165	0.098888	1.1167	0.098907	1.1054	0.097905	1.1043	0.097820

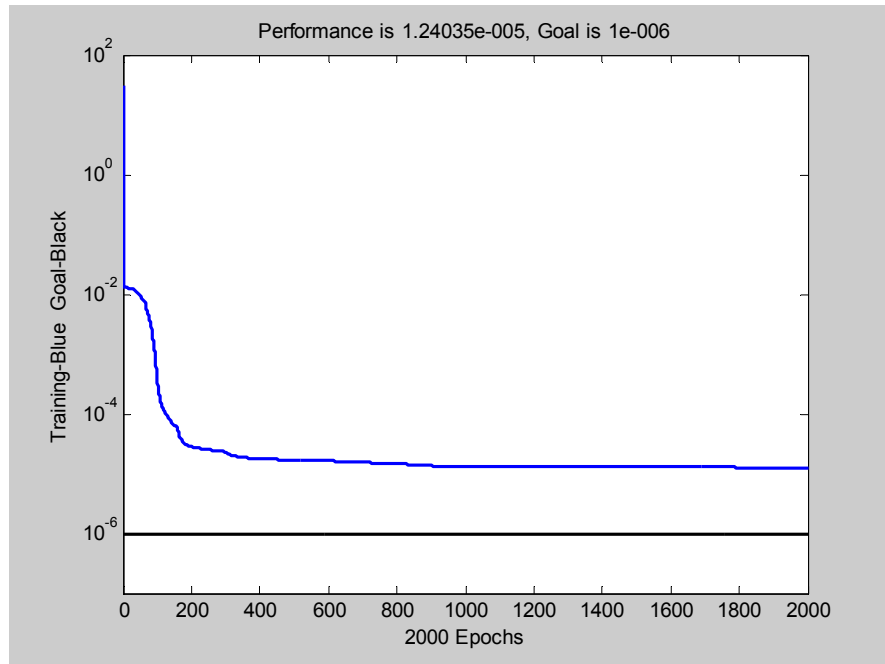
11.2	-1.1090	0.099100	1.1069	0.098913	1.0920	0.097581	1.0950	0.097840
11.1	-1.0990	0.099092	1.0971	0.098920	1.0857	0.097892	1.0855	0.097857
11.0	-1.0879	0.098982	1.0873	0.098930	1.0757	0.097872	1.0760	0.097867
10.9	-1.0760	0.098798	1.0775	0.098937	1.0675	0.098017	1.0664	0.097870
10.8	-1.0693	0.099092	1.0677	0.098940	1.0557	0.097831	1.0566	0.097867
10.7	-1.0543	0.098708	1.0578	0.098947	1.0489	0.098110	1.0467	0.097853
10.6	-1.0476	0.098913	1.0480	0.098950	1.0350	0.097723	1.0367	0.097833
10.5	-1.0372	0.098863	1.0382	0.098957	1.0249	0.097691	1.0265	0.097807
10.4	-1.0284	0.098967	1.0284	0.098960	1.0139	0.097572	1.0163	0.097777
10.3	-1.0184	0.098956	1.0185	0.098963	1.0062	0.097771	1.0060	0.097743
10.2	-1.0088	0.098984	1.0087	0.098967	0.9955	0.097679	0.9958	0.097713
10.1	-1.0009	0.099182	0.9989	0.098970	0.9853	0.097636	0.9856	0.097683
10.0	-0.9912	0.099203	0.9890	0.098973	0.9770	0.097781	0.9754	0.097660
9.9	-0.9755	0.098617	0.9792	0.098977	0.9667	0.097728	0.9654	0.097647
9.8	-0.9670	0.098756	0.9693	0.098980	0.9575	0.097786	0.9556	0.097640
9.7	-0.9587	0.098917	0.9595	0.098983	0.9465	0.097659	0.9459	0.097640
9.6	-0.9470	0.098728	0.9496	0.098990	0.9374	0.097727	0.9363	0.097650
9.5	-0.9393	0.098956	0.9398	0.098993	0.9263	0.097587	0.9268	0.097667
9.4	-0.9305	0.099072	0.9300	0.098997	0.9173	0.097666	0.9174	0.097687
9.3	-0.9229	0.099319	0.9201	0.099003	0.9062	0.097522	0.9080	0.097703
9.2*	-0.9108	0.099083	0.91027	0.099009	0.8981	0.097701	0.8985	0.097719
9.1	-0.9013	0.099126	0.9004	0.099017	0.8897	0.097851	0.8889	0.097727
9.0	-0.8902	0.098994	0.8906	0.099023	0.8790	0.097748	0.8792	0.097723
8.9	-0.8818	0.099161	0.8808	0.099030	0.8668	0.097474	0.8694	0.097707
8.8	-0.8704	0.098992	0.8709	0.099040	0.8596	0.097763	0.8593	0.097683
8.7	-0.8621	0.099175	0.8611	0.099050	0.8490	0.097668	0.8492	0.097650
8.6	-0.8511	0.099048	0.8513	0.099060	0.8372	0.097430	0.8389	0.097610
8.5	-0.8404	0.098953	0.8414	0.099070	0.8300	0.097728	0.8287	0.097567
8.4	-0.8308	0.098987	0.8316	0.099083	0.8193	0.097617	0.8184	0.097523
8.3	-0.8228	0.099215	0.8218	0.099097	0.8088	0.097527	0.8082	0.097487
8.2	-0.8133	0.099266	0.8120	0.099110	0.7994	0.097569	0.7981	0.097457
8.1	-0.8010	0.098971	0.8022	0.099123	0.7896	0.097563	0.7882	0.097437
8.0	-0.7936	0.099283	0.7923	0.099140	0.7764	0.097131	0.7784	0.097430
7.9	-0.7824	0.099121	0.7825	0.099157	0.7681	0.097309	0.7688	0.097430
7.8	0.7726	0.099134	0.7727	0.099170	0.7592	0.097414	0.7592	0.097437
7.7	0.7602	0.098810	0.7629	0.099187	0.7490	0.097354	0.7497	0.097443
7.6	-0.7537	0.099254	0.7531	0.099203	0.7422	0.097739	0.7401	0.097443
7.5	-0.7444	0.099336	0.7433	0.099217	0.7300	0.097414	0.7304	0.097437
7.4	-0.7354	0.099461	0.7334	0.099233	0.7207	0.097473	0.7206	0.097423
7.3	-0.7242	0.099288	0.7236	0.099247	0.7104	0.097396	0.7107	0.097403
7.2	-0.7150	0.099388	0.7138	0.099260	0.7002	0.097331	0.7007	0.097383
7.1	-0.7020	0.098956	0.7040	0.099270	0.6904	0.097320	0.6907	0.097367
7.0	-0.6928	0.099054	0.6941	0.099280	0.6810	0.097367	0.6808	0.097360
6.9	-0.6839	0.099199	0.6843	0.099290	0.6720	0.097472	0.6711	0.097370
6.8	-0.6750	0.099347	0.6744	0.099293	0.6613	0.097331	0.6616	0.097397
6.7	-0.6670	0.099635	0.6646	0.099300	0.6504	0.097156	0.6522	0.097433
6.6	-0.6534	0.099083	0.6547	0.099300	0.6435	0.097581	0.6428	0.097480
6.5	-0.6459	0.099452	0.6448	0.099303	0.6353	0.097820	0.6335	0.097523
6.4	-0.6352	0.099333	0.6349	0.099303	0.6233	0.097472	0.6240	0.097553
6.3	-0.6249	0.099273	0.6251	0.099303	0.6148	0.097669	0.6144	0.097563
6.2	-0.6156	0.099373	0.6152	0.099303	0.6040	0.097501	0.6046	0.097550
6.1	-0.6054	0.099329	0.6053	0.099303	0.5937	0.097409	0.5945	0.097517
6.0	-0.5951	0.099266	0.5955	0.099307	0.5835	0.097331	0.5843	0.097460
5.9	-0.5842	0.099099	0.5856	0.099317	0.5740	0.097369	0.5741	0.097393
5.8	-0.5757	0.099341	0.5758	0.099330	0.5643	0.097374	0.5637	0.097320
5.7	-0.5668	0.099521	0.5660	0.099350	0.5531	0.097116	0.5535	0.097247
5.6	-0.5564	0.099440	0.5562	0.099377	0.5452	0.097438	0.5433	0.097177

5.5	-0.5455	0.099264	0.5465	0.099413	0.5326	0.096917	0.5332	0.097120
5.4	-0.5367	0.099472	0.5367	0.099450	0.5242	0.097155	0.5233	0.097070
5.3	-0.5259	0.099309	0.5270	0.099487	0.5158	0.097402	0.5136	0.097033
5.2	-0.5180	0.099698	0.5172	0.099523	0.5041	0.097023	0.5040	0.097007
5.1	-0.5084	0.099769	0.5074	0.099547	0.4942	0.096983	0.4944	0.096977
5.0	-0.4977	0.099623	0.4974	0.099553	0.4824	0.096560	0.4848	0.096940
4.9	-0.4857	0.099205	0.4874	0.099543	0.4727	0.096550	0.4751	0.096893
4.8	-0.4772	0.099500	0.4773	0.099513	0.4642	0.096789	0.4653	0.096833
4.7	-0.4664	0.099317	0.4671	0.099480	0.4536	0.096591	0.4554	0.096753
4.6	-0.4588	0.099822	0.4570	0.099463	0.4455	0.096929	0.4453	0.096660
4.5	-0.4471	0.099438	0.4471	0.099493	0.4346	0.096658	0.4351	0.096557
4.4	-0.4382	0.099674	0.4376	0.099603	0.4266	0.097035	0.4249	0.096440
4.3	-0.4285	0.099734	0.4285	0.099790	0.4162	0.096871	0.4146	0.096317
4.2	-0.4188	0.099797	0.4195	0.099980	0.4069	0.096962	0.4043	0.096190
4.1	-0.4097	0.100010	0.4097	0.099967	0.3954	0.096519	0.3940	0.096060
4.0	-0.3993	0.099908	0.3981	0.099567	0.3803	0.095154	0.3837	0.095927
3.9	-0.3840	0.098544	0.3857	0.098953	0.3707	0.095130	0.3734	0.095793
3.8	-0.3749	0.098740	0.3744	0.098610	0.3646	0.096027	0.3632	0.095657
3.7	-0.3650	0.098731	0.3647	0.098650	0.3519	0.095187	0.3530	0.095523
3.6	-0.3555	0.098832	0.3554	0.098803	0.3425	0.095218	0.3428	0.095387
3.5	-0.3454	0.098768	0.3457	0.098880	0.3320	0.094936	0.3327	0.095250
3.4	-0.3358	0.098847	0.3357	0.098877	0.3222	0.094844	0.3226	0.095113
3.3	-0.3262	0.098931	0.3257	0.098870	0.3124	0.094746	0.3125	0.094980
3.2	-0.3164	0.098957	0.3160	0.098903	0.3020	0.094454	0.3025	0.094843
3.1	-0.3065	0.098953	0.3065	0.098977	0.2928	0.094530	0.2925	0.094710
3.0	-0.2967	0.098982	0.2970	0.099073	0.2833	0.094512	0.2826	0.094577
2.9	-0.2880	0.099393	0.2875	0.099177	0.2742	0.094631	0.2727	0.094440
2.8	-0.2768	0.098940	0.2780	0.099287	0.2628	0.093935	0.2629	0.094307
2.7	-0.2689	0.099676	0.2683	0.099400	0.2543	0.094264	0.2531	0.094173
2.6	-0.2585	0.099506	0.2586	0.099513	0.2446	0.094155	0.2433	0.094040
2.5	-0.2487	0.099563	0.2490	0.099620	0.2345	0.093878	0.2336	0.093907
2.4	-0.2389	0.099625	0.2393	0.099717	0.2254	0.093995	0.2239	0.093770
2.3	-0.2297	0.099953	0.2296	0.099813	0.2157	0.093861	0.2143	0.093637
2.2	-0.2196	0.099901	0.2199	0.099920	0.2059	0.093669	0.2047	0.093497
2.1	-0.2095	0.099845	0.2102	0.100047	0.1966	0.093697	0.1952	0.093357
2.0	-0.2006	0.100384	0.2005	0.100213	0.1861	0.093128	0.1857	0.093210
1.9	-0.1908	0.100505	0.1907	0.100427	0.1768	0.093130	0.1762	0.093057
1.8	-0.1812	0.100751	0.1809	0.100693	0.1673	0.093022	0.1668	0.092890
1.7	-0.1710	0.100672	0.1710	0.101010	0.1578	0.092901	0.1574	0.092710
1.6	-0.1622	0.101459	0.1613	0.101370	0.1480	0.092577	0.1480	0.092507
1.5	-0.1528	0.101952	0.1517	0.101757	0.1382	0.092210	0.1386	0.092273
1.4	-0.1430	0.102228	0.1423	0.102177	0.1285	0.091862	0.1293	0.091997
1.3	-0.1330	0.102393	0.1331	0.102627	0.1187	0.091384	0.1199	0.091657
1.2	-0.1238	0.103253	0.1239	0.103117	0.1092	0.091076	0.1105	0.091240
1.1	-0.1139	0.103632	0.1147	0.103657	0.0997	0.090712	0.1010	0.090717
1.0	-0.1040	0.104087	0.1052	0.104253	0.0901	0.090175	0.0914	0.090067
0.9	-0.0946	0.105199	0.0951	0.104950	0.0803	0.089297	0.0817	0.089270
0.8	-0.0846	0.105838	0.0846	0.105943	0.0706	0.088324	0.0717	0.088320
0.7	-0.0752	0.107518	0.0745	0.107527	0.0610	0.087215	0.0616	0.087207
0.6	-0.0657	0.109591	0.0653	0.109587	0.0518	0.086405	0.0513	0.085830
0.5	-0.0558	0.111693	0.0563	0.111667	0.0413	0.082669	0.0409	0.083767
0.4	-0.0461	0.115346	0.0462	0.115380	0.0323	0.080817	0.0308	0.079980
0.3	-0.0365	0.121768	0.0363	0.121757	0.0219	0.073061	0.0215	0.073410
0.2	-0.0268	0.134112	0.0269	0.134140	0.0124	0.062052	0.0135	0.061960
0.1	-0.0171	0.172243	0.0171	0.172280	0.0026	0.026022	0.0023	0.026038
0.0	-0.0075	0.000000	0.0075	0.000038	-0.0070	0.000000	-0.0070	-0.000002

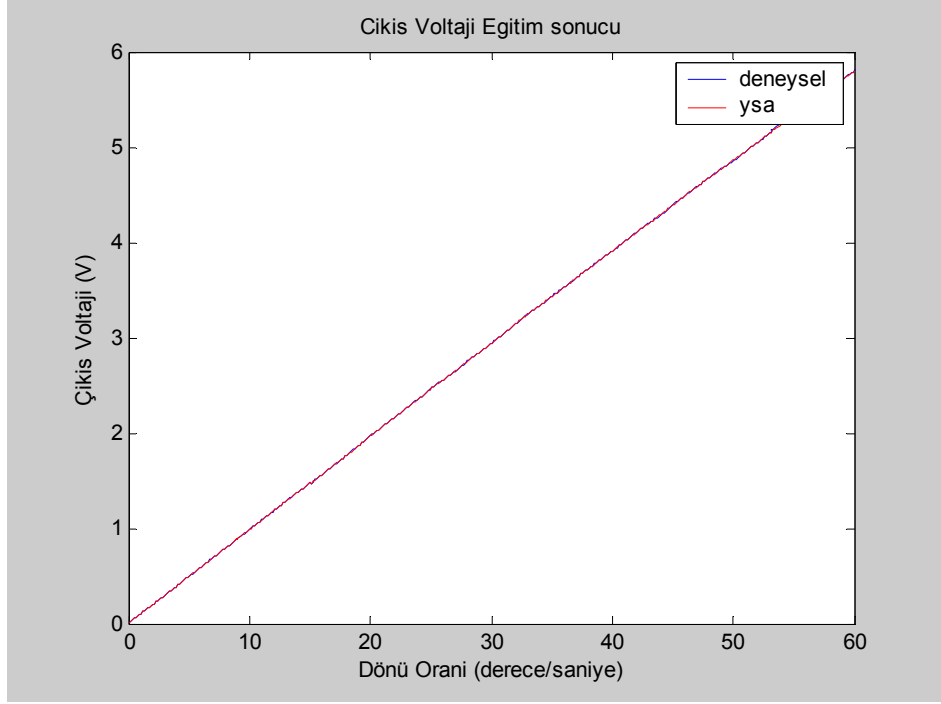
NOT: * YSA'ya öğretilmeyen 5 değer

Yapılan 2 uygulamada, CW ve CCW yönlerinde ayrı ayrı olarak çıkış voltajı ve çıkış hassasiyeti değerlerine ait YSA ile elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

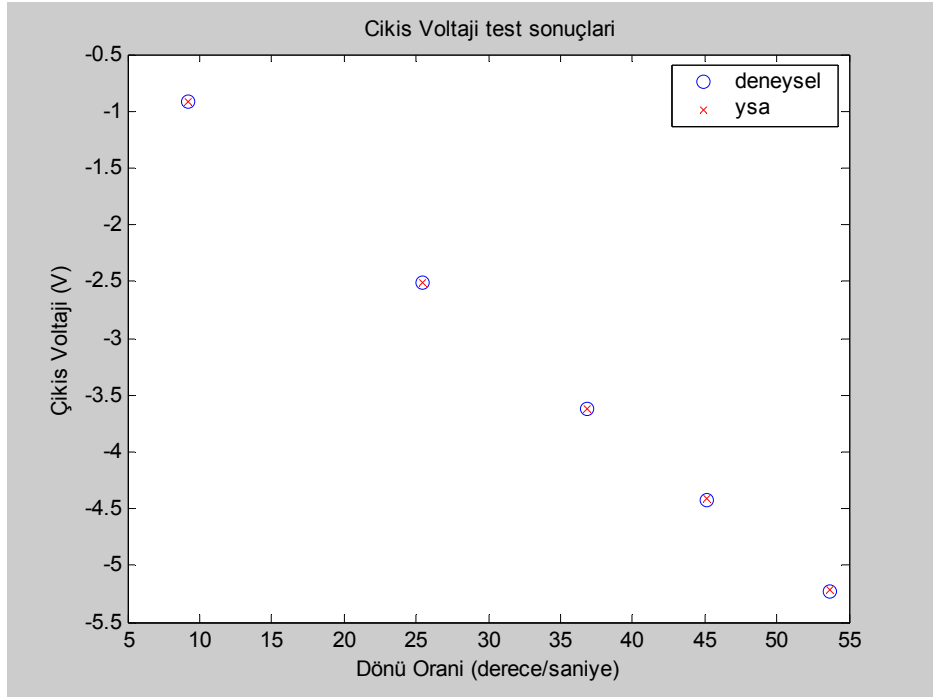
3.1.1. CW Yönünde YSA İle Elde Edilen Test ve Eğitim Sonuçları



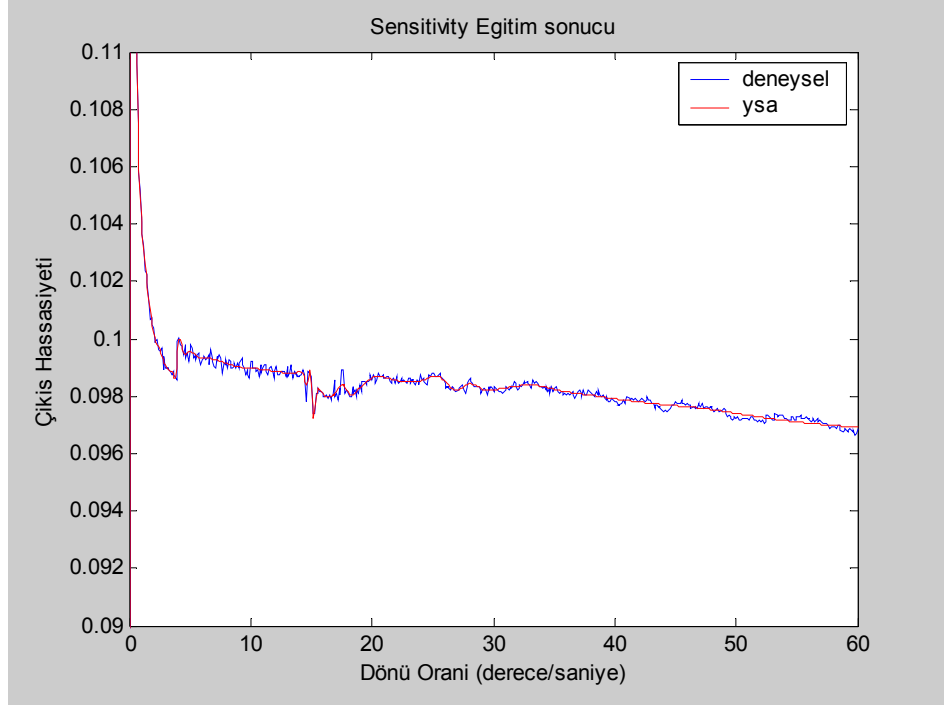
Şekil 3.2 CW yönünde eğitimin epoch sayısına bağlı değişimi



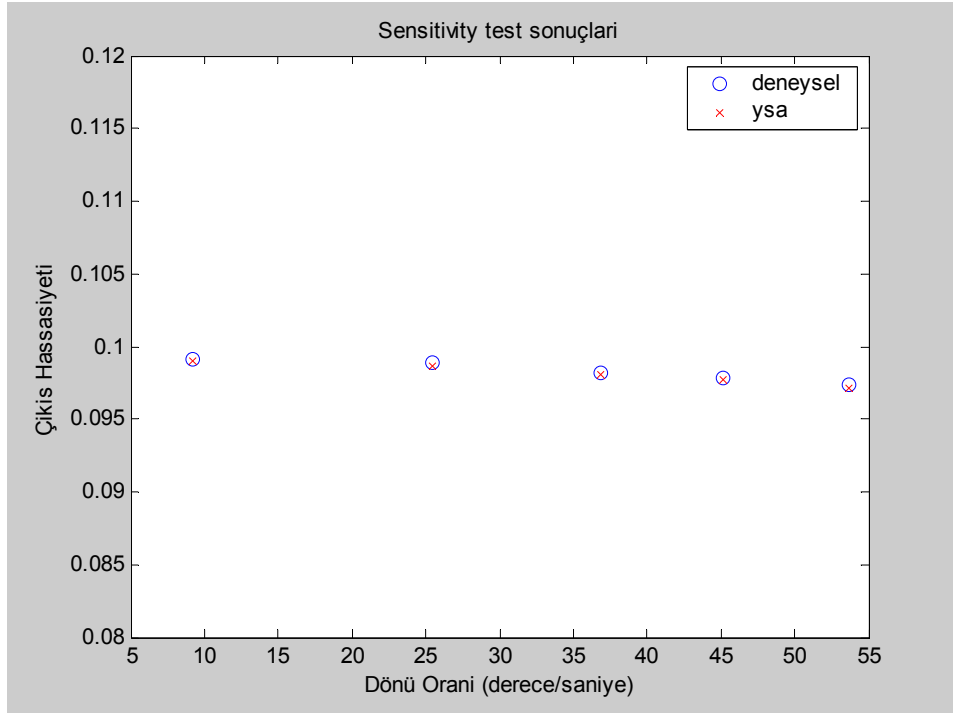
Şekil 3.3 Çıkış voltajı değerleri için deneysel ve YSA ile elde edilen eğitim sonuçları



Şekil 3.4 Çıkış voltajı değerleri için deneysel ve YSA ile elde edilen test sonuçları

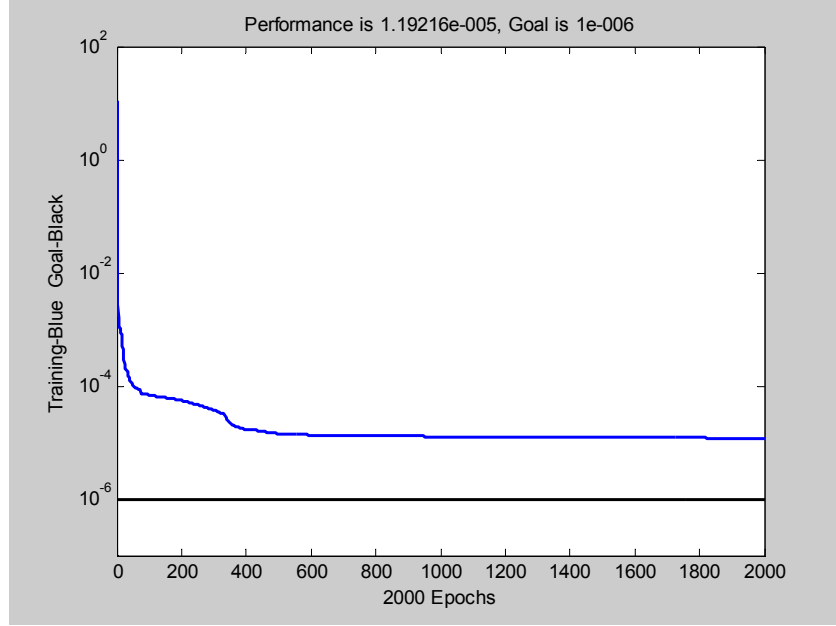


Şekil 3.5 Çıkış hassasiyeti değerleri için deneysel ve YSA ile elde edilen eğitim sonuçları

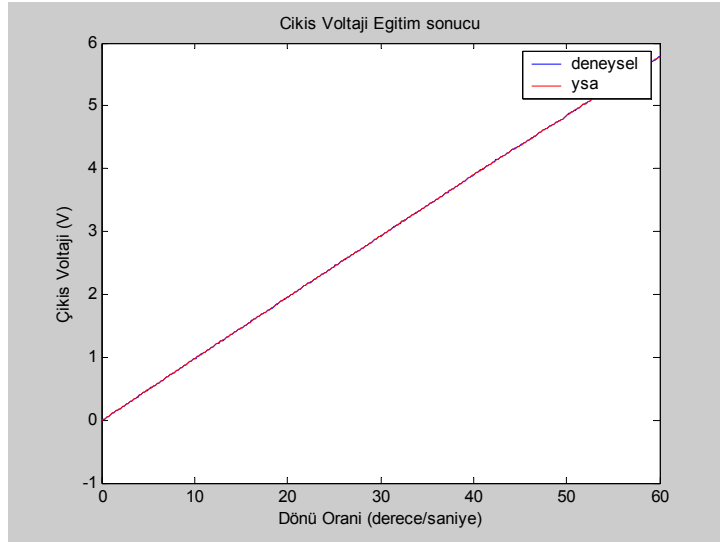


Şekil 3.6 Çıkış hassasiyeti değerleri için deneysel ve YSA ile elde edilen test sonuçları

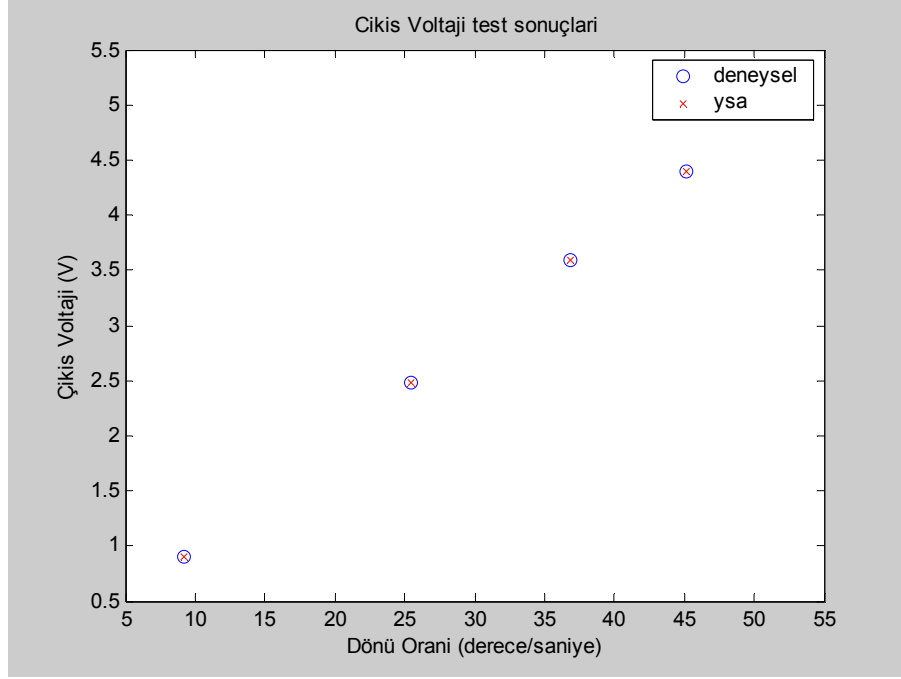
3.1.2. CCW Yönünde YSA İle Elde Edilen Test ve Eğitim Sonuçları.



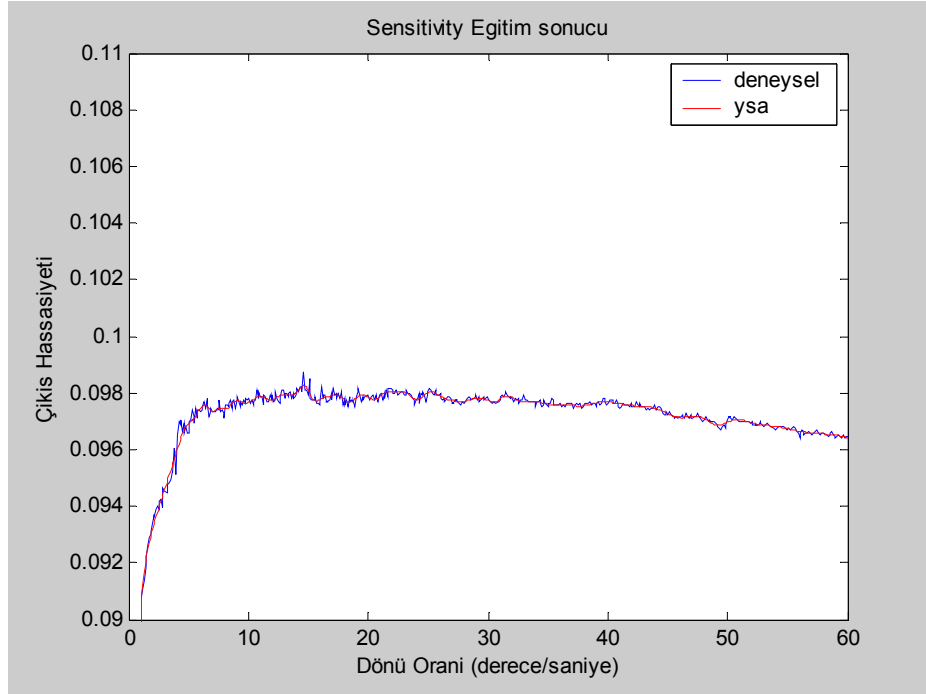
Şekil 3.7 CCW yönünde eğitimin epoch sayısına bağlı değişimi



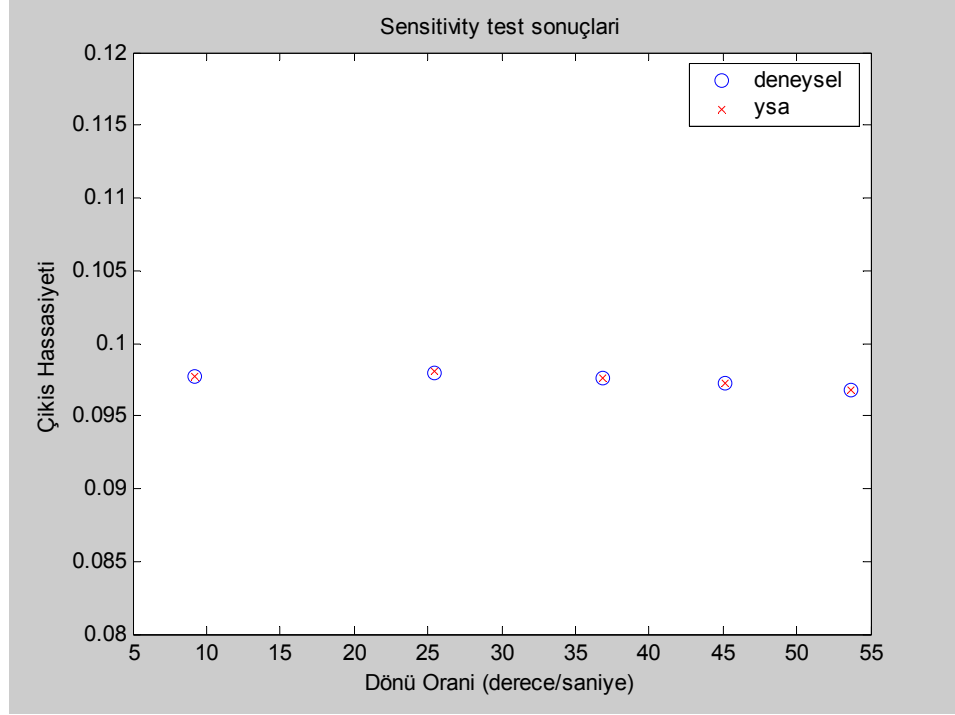
Şekil 3.8 Çıkış voltajı değerleri için deneysel ve YSA ile elde edilen eğitim sonuçları



Şekil 3.9 Çıkış voltajı değerleri için deneysel ve YSA ile elde edilen test sonuçları



Şekil 3.10 Çıkış hassasiyeti değerleri için deneysel ve YSA ile elde edilen eğitim sonuçları



Şekil 3.11 Çıkış hassasiyeti değerleri için deneysel ve YSA ile elde edilen test sonuçları

CW ve CCW 'ye ait modellerden hem eğitim hem de test için elde edilen sonuçlar Çizelge 3.1'de verilmiştir. Yukarıda sunulan şekillerden ve Çizelge 3.1'den net bir biçimde görüldüğü gibi YSA ile elde edilen sonuçlar eğitim ve test için kullanılan sonuçlarla çok iyi bir uyum içerisindedirler. Bunun sonucu olarak seçtiğimiz nöral modellerinin yüksek bir doğruluğa sahip olduğunu söyleyebiliriz. Ağ yapıları bir kere eğitildikten sonra, kullanıcı sadece tanımlanan dönü aralığı arasında (0-60 ⁰/s'ler arası) dönü oranı parametresini giriş olarak kullanarak CW ve CCW yönlerinden birini seçerek çıkış voltajı ve çıkış hassasiyeti değerlerini bir kaç milisaniyede sonuç alabilmektedir. Giriş değerleri ne kadar çok arttırılırsa çok daha iyi sonuç alınabilir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında, TSDMJ'nin çıkış voltajı ve çıkış hassasiyeti parametreleri CW ve CCW yönlerinde ayrı ayrı olarak insan beyninin çalışma prensibini örnek alınarak geliştirilmeye çalışılmış ve aralarında yapısal olarak bazı benzerlikler olan, YSA ile yüksek bir doğrulukla belirlenmiştir.

YSA'da kullanılan eğitim ve test verilerini elde etmek maksadıyla, jiroskop test düzeneği kullanılmıştır. YSA modeli için bu düzeneğe ile 601'er adet CW ve CCW yönlerinde 0 °/s'den 60 °/s'e kadar 0.1 °/s dönü aralıklarında toplam 1202 adet çıkış voltajı ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen çıkış voltajlarına göre CW ve CCW için çıkış hassasiyeti değerleri hesaplanmıştır. CW ve CCW için YSA'da iki adet benzer model geliştirilmiştir. YSA modeli olarak, bu tip problemlerin çözümü için literatürde en çok tercih edilen YSA tipi ileri beslemeli geri yayımlı ağ modeli seçilmiştir.

YSA ile elde edilen sonuçların hem eğitim hem de test için kullanılan deneysel sonuçlarla çok iyi bir uyum içerisinde olduğu ve böylece sunulan çalışmada önerilen nöral modellerin yüksek bir doğruluğa sahip oldukları gösterilmiştir. Daha çok giriş verisi ile daha iyi sonuçlar alınabilmektedir. Elde edilen sonuçlar YSA'nın bir çok basit işlemci elemandan oluştuğunu, bu elemanları farklı formda ifade edebilen nümerik verileri taşıyan "bağlantılar" veya "ağırlıklar" ile birbirlerine bağlantılı olduğunu ve nöral modellerin hesaplama verimliliğini göstermektedir. Ağ yapıları bir defa eğitildikten sonra kullanıcı, CW ve CCW yönlerinden birini seçerek sadece dönü oranı parametresini giriş olarak kullanarak çıkış voltajı ve çıkış hassasiyeti

parametreleri için bir kaç milisaniyede sonuç alınabilmektedir. Ayrıca, tez çalışmasında, tek bir TSDMJ üzerinde uygulamalar ile başarısı gösterilmiş olsa da farklı bir TSDMJ'nin kullanılması durumunda da benzer sonuçlar elde edilecektir. Bu tez çalışmasında yapılan modeller TSDMJ'nin kullanıldığı bir kontrol sistemini de içerecek şekilde geliştirilebilir. YSA'nın TSDMJ çıkış voltajı ve çıkış hassasiyeti parametrelerinin hesabında kullanılmasının amacı, istenen dönü değeri girilerek elde edilen yüksek doğruluklu çıkışlar sayesinde diğer TSDMJ'lerin test edilmesi esnasında YSA'da bulunan sonuçlar ile karşılaştırılarak TSDMJ'nin arızalı veya faal olduğuna karar verilmesinde büyük kolaylık sağlamasıdır.

Genel olarak, adaptasyon, veri işleme, hata, gürültüye karşılık duyarlılık ve tolerans, öğrenme kabiliyeti, sistem girişleri-sistem çıkışları arasındaki ilişkiyi veya giriş verileri arasındaki ilişkilendirmeyi tanımlayan ağırlık verilerinin elde edilmesi sürecini kolaylıkla gerçekleştirebilmeleri YSA'yı diğer metotlara göre üstün yapan avantajlardır. Dezavantajları ise bazı uygulamalarda düşük performans göstermeleri, karışık sistemlerin modellenmesinde test sonuçlarının doğruluğunu arttırmak için çok sayıda veriye ihtiyaç duymalarıdır.

KAYNAKLAR

1. Çetin, E. Yapay Sinir Ağları, Ankara, 2003.
2. Perrot, M.H. ve Cohen, R.J. An Efficient Approach to ARMA Modelling of Biological Systems with Multiple Inputs and Delays. IEEE Transactions on Biomedical Engineering. **43**, 1., 1996.
3. Ş.Sağiroğlu, E.Beşdok, M.Erler. Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-1, Kayseri, 2003.
4. Adorf, H.M., "Connectionism and Neural Networks", Knowledge Based Systems in Astronomy, der. Springer-Verlag, Berlin., 1989.
5. Eberhart, R.C. and Dobbins, R.W., Early neural networks development history: The age of Camelot. IEEE Engineering in Medicine and Biology **9**, 15., 1990.
6. Freeman, J.A. and Skapura, D.M., Neural Networks Algorithms, Applications and Programming Techniques. Reading, Mass. Addison-Wesley., 1991.
7. Anderson, J.A., "A Simple Neural Network Generating an Associative Memory", Mathematical Biophysics, vol. **14**, 197., 1972.
8. Hopfield, J.J. and Tank D.W., 1985, "Neural Computation of Decisions in Optimization Problems," Biological Cybernetics, vol. **52**, 141.
9. Kohonen, T., "Self-organization and Associative Memory", 2nd ed.Springer Verlag, New York., 1988.

10. Carpenter, G.A. and Grossberg S., "A Massively Paralel Architecture for a Self-Organizing Neural Patter Recognition Machine, "Computer Vision, Graphics, and Image Processing, vol. **37**, 54, 1987.
11. Carpenter, G.A., and Grossberg, S., "ART 2: Self-Organization of Stable Category Recognition Codes for Analog input Patterns", Applied Optics.vol. **26**, no.23, 4919, October, 1987.
12. Gluck, M.A., Parker, D.B. and Reifsinder, E., "Some Biological Implications of a Differential Hebbian Learning Rule", Psychobyology, vol. **16**, no. 3, 298, 1988.
13. Grossberg, S. And Mingolla, E., " Neural Dynamics of Form Perception: Boundary Completion, Illusary Figures and Neon Color Spreading", Psychological Review. Vol. **92**, 173, 1985.
14. Grossberg, S., 1988, "Nonlinear Neural Networks: Principles. Mechanisms, and Architectures."Neural Networks, vol. **1**, no.1.17.
15. Narendra, K.S. ve Parthasaraty, K. Gradient Methods for the Optimization of Dynamical Systems Containing Neural Networks. IEEE Transactions on Neural Networks. **2**, 252 (1991).
16. R.A.; Felix, E.N. Sanchez and G. Chen, Reproducing chaos by variable structure recurrent neural networks, IEEE Trans. Neural Networks **15**, 1450 (2005).
17. S.; Ferrari and R.F. Stengel, Smooth function approximation using neural Networks, **15**, 24 (2004).
18. ASELSAN Dergisi, Sayı:64, Ocak 2002, 18.
19. Sorg, H.W., "From Serson to Draper-Two centuries of gyroscopic development, "Navigation, J.Inst.Nav, **23**, 4, pp. 313, Winter 1976-77.

20. Scarborough, J.B., The Gyroscope—Theory and Applications, Interscience Inc., New York, 1958.
21. Foucault, L., "Sur une nouvelle demonstration experimentale mouvement de la tere fondee sur la fixite du plan de rotation."C.R.Acad. Sci, **35**, p.421, 1852.
22. Foucault, L., "Sur les phenomenes d' orientation des corps tournants entraines par un axe fixe a la surface de la tere, "C.R.Acad.Sci., **35**, p.424, 1852.
23. Perry, J., Spinning Tops and Gyroscopic Motion, Dover, New York, 1957. Library of Congress Cat. 57-3845. Reprint of lectures first published about 1900.
24. Savet, P.H.(Ed.), Gyroscopes: Theory and Design, Mc Graw-Hill, New York, Chapter 11, 1961.
25. Holmes, J., "Rotor ball bearing for precision gyroscopes," Symposium on Gyros, Proc. Inst. Mech. Eng. (London), **179**, 3E., 1964, 65.
26. IEEE STD 292. Specification Format for Single-Degree-of-Freedom Spring Restrained Rate Gyros., 1969.
27. Edwards, C.S., "The dynamic response of a rate gyro with imperfect rotor bearings and a viscoelastic damping fluid," in Willems, P.Y. (Ed.), Gyrodynamics, Springer-Verlag, New York, 1974.
28. Simons, W.R., "Miniature rate gyroscopes, "in Symposium on Gyros, Proc. Inst. Mech. Eng. (London), 1964.

Britting, K.R., Inertial Navigation Systems Analysis, Wiley&Sons, New York, 1971.

29. Shmuel Merhav, Aerospace Sensor Systems and Applications, Springer 1996.
30. Salychev, O., Inertial Systems in Navigation and Geophysics, Bauman MSTU Press, Moscow, 1998.
31. Titterton, D.H., Weston, J.L., Strapdown Inertial Navigation Technology, Lavenham Press, London, 1997.
32. Brown, R.G., Hwang, P.Y.C., Introduction To Random Signals and Applied Kalman Filtering Wiley&Sons, New York, 1992.
33. Grewal, M.S., Weil, L.R., Andrews, A.P., Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration, John Wiley&Sons, Inc., 2001.
34. Anthony Lawrence, Modern Inertial Technology, Springer, 1992.
35. IEEE Std 1293 IEEE standard specification format guide and test procedure for linear, single-axis, nongyroscopic accelerometer, 1998.
36. IEEE Std 528, IEEE Standard for inertial sensor terminology, 1994.
37. IEEE Std 528 Inertial Sensor Terminology, 2001.
38. IEEE Std 952 Test Procedure for Single axis Interferometric Fiber Optic Gyros, 1997.
39. Lee E.Crystal, Michael Bernstein 'Vibration Rectification in Silicon Micromachined Sensor', Nova Sensor.
40. Anthony Lawrence, Modern Inertial Technology, Springer, 1992.
41. Osman, G. Algılayıcılar ve Dönüştürücüler, Ankara, 2000, 275.

EK-1 YSA EĞİTİMİ İÇİN KULLANILAN MATLAB PROGRAMI

CW yönündeki TSDMJ YSA modeli için oluşturulan Matlab programı

```
clear all;clc;

tt=rand(1)*1000;

rand('seed',139);

giris=load('giris_cw.txt');

cikis=load('cikis_cw.txt');

fnc1='tansig'; fnc2='logsig'; fnc3='purelin';

net=newff([minmax(giris)],[1,40,2],{fnc1,fnc1,fnc3},'trainlm');

%net parametreleri

    net.trainParam.show =100;

    net.trainParam.lr = 0.60;

    net.trainParam.lr_inc = 1.02;

    net.trainParam.epochs =2000;

    net.trainParam.goal = 1e-6;

net=train(net,giris,cikis');

d1=[-5.2224  097332];

d2=[-4.4187  097840];

d3=[-3.6185  098144];

d4=[-2.5090  098862];

d5=[-0.9108  099083];

t_donu=[53.7 45.2 36.9 25.4 9.2];
```



```
t_ysa=sim(net,t_donu);
disp('ysa ile elde edilen sonuçlar');
t_ysa(:,1)=t_ysa(:,1)*(-1);
t_ysa(:,2)=t_ysa(:,2)/30;
disp(t_ysa);
disp('deneysel sonuclar');
t_dny=[d1;d2;d3;d4;d5];
disp(t_dny);
dny_cik=cikis;
ysa_cik=sim(net,giris);
ysa_cik(:,2)=ysa_cik(:,2)/30;
figure
plot(giris,dny_cik(:,1),'b',giris,ysa_cik(:,1),'r');,
title('Cikis Voltaji Egitim sonucu');
legend('deneysel','ysa');
figure
plot(giris,dny_cik(:,2)/30,'b',giris,ysa_cik(:,2),'r');,
title('Sensitivity Egitim sonucu');
ylim([0.09 0.11]);
legend('deneysel','ysa');
figure
plot(t_donu,t_dny(:,1),'bo',t_donu,t_ysa(:,1),'rx');
title('Cikis Voltaji test sonuçlari');
legend('deneysel','ysa');
figure
```

```
plot(t_donu,t_dny(:,2),'bo',t_donu,t_ysa(:,2),'rx');  
title('Sensitivity test sonuçları');  
ylim([0.08 0.12]);  
legend('deneysel','ysa');  
warning off;
```

CCW yönündeki TSDMJ YSA modeli için oluşturulan Matlab programı

```
clear all;clc;

tt=rand(1)*1000;

rand('seed',659);

giris=load('giris_ccw.txt');

cikis=load('cikis_ccw.txt');

fnc1='tansig'; fnc2='logsig'; fnc3='purelin';

net=newff([minmax(giris)],[1,40,2],{fnc1,fnc1,fnc3},'trainlm');

%net parametreleri

    net.trainParam.show =100;

    net.trainParam.lr = 0.60;

    net.trainParam.lr_inc = 1.02;

    net.trainParam.epochs =2000;

    net.trainParam.goal = 1e-6;

net=train(net,giris,cikis);

d1=[5.1971  096810];

d2=[4.3902  097209];

d3=[3.5990  097615];

d4=[2.4870  097995];

d5=[0.8981  097701];

t_donu=[53.7  45.2  36.9  25.4  9.2];

t_ysa=sim(net,t_donu);

disp('ysa ile elde edilen sonuçlar');

t_ysa(:,1)=t_ysa(:,1);
```

```

t_ysa(:,2)=t_ysa(:,2)/30;
disp(t_ysa);
disp('deneysel sonuclar');
t_dny=[d1;d2;d3;d4;d5];
disp(t_dny);
dny_cik=cikis;
ysa_cik=sim(net,giris);
figure
plot(giris,dny_cik(:,1),'b',giris,ysa_cik(:,1),'r');,
title('Cikis Voltaji Egitim sonucu');
legend('deneysel','ysa');
figure
plot(giris,dny_cik(:,2)/30,'b',giris,ysa_cik(:,2)/30,'r');,
title('Sensitivity Egitim sonucu');
ylim([0.09 0.11]);
legend('deneysel','ysa');
figure
plot(t_donu,t_dny(:,1),'bo',t_donu,t_ysa(:,1),'rx');
title('Cikis Voltaji test sonuclari');
legend('deneysel','ysa');
figure
plot(t_donu,t_dny(:,2),'bo',t_donu,t_ysa(:,2),'rx');
title('Sensitivity test sonuclari');
ylim([0.08 0.12]);
legend('deneysel','ysa');

```

warning off;