

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇAMAŞIR MAKİNELERİNDE OLUŞAN DENGESİZ YÜKÜN
AĞIRLIĞININ, YATAY VE AÇISAL KONUMUNUN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ahmet YÖRÜKOĞLU**

Anabilim Dalı : Mekatronik Mühendisliği

Programı : Mekatronik Mühendisliği

OCAK 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇAMAŞIR MAKİNELERİNDE OLUŞAN DENGESİZ YÜKÜN
AĞIRLIĞININ, YATAY VE AÇISAL KONUMUNUN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ahmet YÖRÜKOĞLU
(518071003)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 ARALIK 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 25 OCAK 2010

**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. Erdiñ ALTUĞ (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Levent GÜVENÇ (İTÜ)
Prof. Dr. Hakan TEMELTAŞ (İTÜ)**

OCAK 2010

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi tarafından oluşturulan ve desteklenen bir projedir.

Yüksek lisans tez çalışmama danışmanlık yapan, yapıcı eleştiri, yorumları ve önerileri ile yol gösteren değerli hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. Erdinç ALTUĞ'a teşekkür ederim.

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan ve her zaman destek olan Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi'ne, Sn. Dr. Latif TEZDUYAR ve Sn. Dr. Cemil İNAN' ın, şahsında teşekkür ederim.

Çalışmamın her aşamasında desteğini ve ağabeyliğini esirgemeyen proje liderim Sn. Kerem ERENAY' a, değerli fikir ve çalışmalarından dolayı tüm Arçelik ARGE Güç Elektroniği çalışanlarına ve ayrıca yardımlarından dolayı Dr. Yavuz ERÇİL ve Ömer AKBAŞ'a teşekkür ederim.

Bu noktaya gelmemde en büyük katkısı olan ve tüm çalışmalarım boyunca verdikleri destekten dolayı, babam Orhan YÖRÜKOĞLU'na, annem Aynur YÖRÜKOĞLU'na ve ablam Elçin YÖRÜKOĞLU'na teşekkür ederim.

Aralık 2009

Ahmet YÖRÜKOĞLU

Elektrik Elektronik Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	4
2. BULANIK MANTIK KONTROL SİSTEMLERİ	11
2.1 Genel Tanım.....	11
2.1.1 Matematiksel kavramlar.....	13
2.2 Bulanık Kontrol.....	17
2.2.1 Bulanık mantık kontrol (BMK) denetleyicisi	18
2.2.1.1 Bulanıklaştırma (Fuzzification) ünitesi.....	18
2.2.1.2 Bilgi tabanı	19
2.2.1.3 Çıkarım (Karar Verme Mantığı)	21
2.2.1.4 Bileşim kuralı	23
2.2.1.5 Netleştirme (Bulanıklık Giderme).....	26
3. YAPAY SİNİR AĞLARI	27
3.1 Genel Tanım.....	27
3.1.1 Yapay sinir ağlarının (YSA) kullanım alanları	29
3.1.2 Yapay sinir ağlarının kısa tarihçesi	30
3.2 Yapay sinir ağlarının özellikleri.....	31
3.3 Yapay Nöron Modeli	33
3.3.1 Girdiler	34
3.3.2 Ağırlıklar	34
3.3.3 Birleştirme fonksiyonu.....	34
3.3.4 Aktivasyon fonksiyonu	35
3.3.4.1 Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.....	35
3.3.4.2 Tanjant hiperbolik	36
3.3.4.3 Basamak fonksiyonu	37
3.3.4.4 Rampa eşik fonksiyonu.....	37
3.3.5 Çıktı.....	38
3.4 YSA'ların Yapılarına Göre Sınıflandırılması	38
3.4.1 İleri beslemeli ağlar.....	38
3.4.2 Geri beslemeli ağlar	39
3.5 Çok Katmanlı Ağlar	39
3.5.1 İleri doğru hesaplama.....	42

3.5.2	Geri doğru hesaplama.....	43
4.	ÇAMAŞIR MAKİNESİNİN DİNAMİK MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU	47
4.1	Dinamik Modellenmesi	47
4.2	Matlab Simulink Modeli ve Simülasyon Sonuçları	49
4.2.1	Dinamik sistemin matlab simulink modeli.....	49
4.2.2	Simülasyon Sonuçları.....	51
5.	DENEY SİSTEMİ VE KULLANILAN EKİPMANLAR.....	55
5.1	Deney Sistemi	55
5.1.1	Sensör sistemleri	55
5.1.2	Sinyal koşullandırma devresi	57
5.1.3	Anakart	59
6.	DOĞRUSAL YÖNTEM KULLANILARAK DENGESİZ YÜKÜN AÇISAL KONUMUNUN BULUNMASI.....	61
6.1	Açısal Konumun Hesaplanması	61
7.	BULANIK MANTIK KONTROL YÖNTEMİYLE DENGESİZ YÜKÜN YATAY KONUMUNUN BULUNMASI.....	65
8.	YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK DENGESİZ YÜKÜN AÇISAL KONUMUNUN BULUNMASI.....	73
8.1	Dengesiz Yükün Açısal Konumunun Bulunmasında Çok Katmanlı Ağların Kullanılması	75
8.1.1	İleri doğru hesaplama	76
8.1.2	Geri doğru hesaplama.....	76
9.	ÇAMAŞIR MAKİNESİNDE DENGESİZ YÜKÜN ETKİSİNİN AZALTILMASI	83
10.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	87
	KAYNAKLAR.....	91
	EKLER.....	93
	ÖZGEÇMİŞ.....	103

KISALTMALAR

DY	: Dengesiz Y¼k
BMK	: Bulanık Mantık Kontrol (Fuzzy Logic Kontrol)
YSA	: Yapay Sinir Ağları (Neural Network)
PDH	: Pasif Dengeleme Halkası
d/d	: Devir/Dakika

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Klasik mantık ile çoklu mantık arasındaki farkları.	12
Çizelge 3.1 : Sinir sistemleri ve YSA sistemleri arasındaki bağıntılar.....	27
Çizelge 3.2 : Bilgisayar ve insan beyni arasındaki temel farklar.	29
Çizelge 4.1 : Arçelik 8kg kapasiteli çamaşır makinesinin özellikleri.	51
Çizelge 6.1 : DY ile yapılan açısal konum hesaplama veri seti.....	63
Çizelge 7.1 : DY yatay konumu için örnek veri çizelgesi.	66
Çizelge 7.2 : Yatay konum için kural çizelgesi.	69
Çizelge 8.1 : YSA kullanılan girdilerden oluşan örnek veri seti.	77
Çizelge 8.2 : Örnek veri çizelgesinin çıktıları.	78
Çizelge A.1 : Deneylerden oluşan örnek veri seti.	94

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : EP1113102A1 numaralı Whirpool Patenti.....	4
Şekil 1.2 : CN17175500 numaralı LG patenti.....	5
Şekil 1.3 : US2009266113A1 numaralı Emerson Elektrik firmasının patent .	5
Şekil 1.4 : Yingqin Yuan, Ali Buendia, Ray Martin ve Farhad Ashraf zadeh tarafından Whirpool firmasının araştırma merkezinde hazırlanan makale.	6
Şekil 1.5 : National Technical University of Athens üniversitesinde yazılan “Modeling, Design and Control of a Portable Washing Machine during the Spinning Cycle ” makalesi.....	7
Şekil 1.6: National Technical University of Athens üniversitesinde yazılan “Modeling, Design and Control of a Portable Washing Machine during the Spinning Cycle ” makalesi.....	7
Şekil 1.7 : Hanyang üniversitesinde yazılan “Dynamic analysis of an automatic dynamic balancer for rotating mechanisms” makalesi.....	8
Şekil 1.8 : Sanyo Elektrik firmasından Yasuaki Sonoda, Hiroshi Yamamoto ve Yasuhiko Yokoi tarafından 2003 IEEE/ASME konferansında yayınlanan “Development of the vibration control system “G-Fall Balancer” for a drum type washer/dryer ” makalesi.....	9
Şekil 1.9 : “G-Fall Balancer ” sistemi .	9
Şekil 2.1 : BMK denetleyicisi.....	18
Şekil 2.2 : 7 üyelik fonksiyonuna sahip bir bulanık küme.	19
Şekil 2.3 : Larsen’in bulanık çıkarım kuralına göre, MAX-DOT bulanık uygulaması.	25
Şekil 2.4 : Mamdani’nin bulanık çıkarım kuralına göre, MAX-MIN bulanık uygulaması.	25
Şekil 3.1 : Nöron yapısı ve nöron yapısının üç temel bölümü.	28
Şekil 3.2 : Yapay nöron modeli.	34
Şekil 3.3 : Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.	36
Şekil 3.4 : Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu.	36
Şekil 3.5 : Basamak aktivasyon fonksiyonu.	37
Şekil 3.6 : Rampa eşik fonksiyonu.	37
Şekil 3.7 : 3 katmanlı ileri beslemeli YSA yapısı.....	39
Şekil 3.8 : Tek katmanlı ağlar.....	40
Şekil 3.9 : Çok Katmanlı ağların yapısı.....	41
Şekil 3.10 : Çok katmanlı ağlar ve Ağırlıklandırılmalar.....	43
Şekil 3.11 : Çok katmanlı ağlarda hesaplama.....	45
Şekil 4.1 : Çamaşır makinesinin iki düzlemdeki basit modeli.....	47
Şekil 4.2 : Dinamik sistemin matlab simulink simülasyon modeli.	50
Şekil 4.3 : 500 gr DY’nin 100 d/d hızda, tahrik grubunda oluşturduğu hareket etkisi.	52
Şekil 4.4 : 1000gr. DY ağırlığının 100d/d hızda, tahrik grubunda oluşturduğu hareket etkisi.	53

Şekil 4.5 : 1000gr. DY ağırlığının 200d/d hızda, tahrik grubunda oluşturduğu hareket etkisi	54
Şekil 5.1 : Deney düzeneğinin çalışma prensibi.	55
Şekil 5.2 : İki adet ADXL 335 ivme sensörü ve kazanın üzerinde konumlandırıldığı yerler görülmektedir.	56
Şekil 5.3 : Hall sensörü ve mıknatıs ikilisinden oluşan sensör düzeneği.	57
Şekil 5.4 : Alçak geçirgen filtre.	58
Şekil 5.5 : İki katman güçlendirme devresi ve çıkış noktasında alçak geçirgen filtre.	59
Şekil 5.6 : Mikroişlemci bağlantıları.	60
Şekil 6.1 : Titreşim sinyalinin maksimum ve minimum noktasında göre oluşturulan 0° noktası.	62
Şekil 6.2 : DY açısız konumunun değiştirildiğinde oluşan titreşim sinyali.	62
Şekil 7.1 : X(ön)/X(arka) sinyallerinin oranına göre üyelik dereceleri ve dilsel değişkenleri	67
Şekil 7.2 : Y(ön)/Y(arka) sinyallerinin oranına göre üyelik dereceleri ve dilsel değişkenleri	67
Şekil 7.3 : Mamdani'nin bulanık çıkarım tekniğine göre oluşturulan grafikler.	69
Şekil 7.4 : BMK algoritmasına göre oluşturulan çıktılar ve dilsel değişkenler.	70
Şekil 7.5 : BMK algoritmasına göre oluşabilecek çıktıların 3 boyutlu uzayı.	71
Şekil 7.6 : Yapılan örneğin çıktısının, çıktı uzayındaki noktası.	72
Şekil 8.1 : Deney sisteminin çalışma prensibi.	74
Şekil 8.2 : Açısız değişimde oluşan ivme sensörü ve hall sensörü sinyali.	75
Şekil 8.3 : YSA örneğinde oluşan hata değişimi.	78
Şekil 8.4 : YSA örneğinde DY yükünün ağırlık değişimi.	79
Şekil 8.5 : YSA örneğinde yatay konumun ağırlık değişimi.	79
Şekil 8.6 : YSA örneğinde açısız konumun ağırlık değişimi.	80
Şekil 8.7 : 150 d/d hızda farklı ağırlıklara göre doğrusal yöntemde oluşan saçınıklık.	81
Şekil 8.8 : 150 d/d hızda farklı ağırlıklara göre dengesiz yük ön konumdayken BMK ve YSA sistemine göre oluşan saçınıklık.	81
Şekil 8.9 : 150 d/d hızda farklı ağırlıklara göre dengesiz yük orta konumdayken BMK ve YSA sistemine göre oluşan saçınıklık.	82
Şekil 8.10 : 150 d/d hızda farklı ağırlıklara göre dengesiz yük arka konumdayken BMK ve YSA sistemine göre oluşan saçınıklık.	82
Şekil 9.1 : DY azaltma algoritması.	84
Şekil 9.2 : DY azaltma sistemi kullanılarak elde edilen DY titreşimleri.	85
Şekil A.4.0.1 : ADXL 335 ivme sensörü fonksiyonel blok diagramı.	99
Şekil A.4.0.2 : FAN4274 şematik.	100
Şekil A.4.0.3 : Atmega8 işlemcisi pin yapısı.	101

ÇAMAŞIR MAKİNELERİNDE OLUŞAN DENGESİZ YÜKÜN AĞIRLIĞININ, YATAY VE AÇISAL KONUMUNUN BELİRLENMESİ

ÖZET

Günümüzde en çok kullanılan ürünlerin üretildiği beyaz eşya sektöründe makinelerin işlevselliği, performansı ve teknolojisi önem taşımaktadır. Beyaz eşya sektörünün önemli elemanlarından biri olan ve genelde her evde bulunan çamaşır makinesinde de bu kriterler büyük önem taşımaktadır.

Çamaşır makinesinin dinamik ve hareketli yapısından dolayı, incelenmesi ve geliştirilmesi zor bir yapıya sahiptir. Çamaşır makinesi kazanının dönen bir sisteme sahip olduğundan dolayı, oluşan dengesiz yükler çamaşır makinesinde titreşimler ve hareketler yaratmaktadır. Oluşan bu titreşimler, çamaşır makinesinin hacminde büyük kısıtlamalara sebep olmuştur. Ayrıca oluşan titreşimler yüzünden çamaşır makinesinin mekanik sisteminde zorlanmalar, sıkma sırasında yürümler oluşmaktadır. Bu etkilerin kontrol altına alınabilmesi için farklı yöntemler denenmiştir.

Çamaşır makinesinin motoruyla yapılan dağıtma hareketleri ve çamaşır makinesinin tamburuna denge ağırlığı eklemek en çok kullanılan yöntemlerdir. Motorun yaptığı dağıtma hareketleri ve denge ağırlığı eklemek gibi pasif yöntemlerin dezavantajları ve belli sınırları vardır. Bu yüzden, aktif yöntemlere geçilmesi gerekmektedir. Aktif yöntemlere geçilebilmesi için, bu titreşimlere neden olan dengesiz yük incelenmeli ve çözümlenmelidir.

Yapılan bu çalışmada dengesiz yükün ağırlığı, yatay ve açısall konumu en kolay yöntemle ve en hassas şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için uygun ve çamaşır makinesine uygulanabilecek sensör sistemleri seçilmiştir. Elde edilen bilgiler farklı kontrol sistemleriyle incelenmiş ve hatalar azaltılmaya çalışılmıştır. İlk olarak doğrusal yöntem kullanılarak dengesiz yük incelenmiş ve dengesiz yükün açısall konumu %11,1 hatayla tespit edilmiştir. Daha sonra hatayı azaltmak için, dengesiz yükün yatay konumu bulanık mantık kontrol yöntemiyle %8 hatayla bulunmuş ve yapay sinir ağırları yöntemiyle de açısall konumu %2,8 hata yüzdesiyle belirlenmesi başarı ile gerçekleştirilmiştir.

DETERMINING THE MASS, HORIZONTAL AND ANGULAR POSITION OF THE UNBALANCE LOAD IN WASHING MACHINE

SUMMARY

In the household appliances industry within which most of the widely used products are manufactured, the efficiency, performance, technology of the machines has great importance. For washing machines, one of the most important product of the household appliances industry, those criteria are also very important.

A washing machine has a structure that is hard to analyze and develop as a result of dynamic structure. As a washing machine has a turning drum system, the unbalanced load results in vibrations and movements at the washing machine. Those vibrations results in limits for the volume of the washing machine to a large extent. Moreover, due to those vibrations some strains in the mechanics of the washing machine and some movements during drying process occur. Nowadays, different methods are used to control those affects. Making motor motions to reduce unbalanced load and adding balance load on the drum are the widely used methods. Passive methods such as motor motions and balance load have disadvantages and limits. Therefore, producer needs to use active control systems, for that the unbalanced load causing those vibrations should be solved.

In this work, the weight, angular and horizontal position of the unbalanced load is aimed to be determined with the simplest and the most sensitive method. For this reason, the most suitable sensor systems to be applied to a washing machine are selected. The results found in this work are analyzed with a different and new control system and the errors are tried to be reduces. Firstly, linear method is used to analyze the unbalanced load and the angular position of the unbalanced load is determined with maximum %11,1 error. After that to reduce the error, the horizontal position of the unbalanced load is estimated with maximum %8 error by using fuzzy logic control algorithm and also neural network algorithm can estimate the angular position of the unbalanced load with maximum %2,8 error.

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknolojiler, bütün sektörlerde üretilen sistemlere uygulanarak daha akıllı, ekonomik ve kullanışlı sistemler yapılmaya çalışılmaktadır. Beyaz eşya sektöründe de, gelişen teknolojilerin ürünlere uygulanması kullanıcılar tarafından aranan ve ürün seçiminde rol oynayan önemli bir özellik olarak ön plana çıkmıştır. Beyaz eşya sektöründe en karmaşık ürünlerinden biri olan çamaşır makinesine, yeni gelişen teknolojileri ve sensörleri entegre ederek, kullanıcılara daha akıllı ve konforlu sistemler oluşturulmuştur. Günümüz teknolojisinde bir çamaşır makinesinden en büyük beklenti iyi yıkamasının yanında ekonomik olması, sessiz ve titreşimsiz çalışmasıdır.

Çamaşır makinesinin ekonomik olması için çalışma sırasında kullanılan temizleme malzemelerinin ve harcanan suyun en iyi şekilde kullanılması gerekmektedir. Bunun uygulanabilmesi için yıkanmak istenilen çamaşır miktarının kullanıcı ya da sensörler tarafında çamaşır makinesine geri bildirilmesi gerekir. Fakat kullanıcıya bırakılan geri bildirimlerin unutulması veya yanlış girilmesine karşın sensörlerden gelen bilgi her zaman sistemler için daha güvenilir ve sağlıklıdır. Bu yüzden farklı tip sensör veya sensör gruplarıyla çamaşır makinesine yüklenen çamaşırın miktarı ölçülür. Bu geri bildirim sayesinde, makinede tüketim minimum seviyeye indirilir.

Çamaşır makinelerinde yıkama, durulama ve sıkma olmak üzere üç tane temel program vardır. Bu programların arasındaki temel farklardan biri makinenin tambur hızıdır.

Yıkama ve durulama modlarında makinenin tamburunun dairesel hızı 0-80 d/d arasındadır. Bu hızlarda makinede problemler oluşmaz. Sıkma programında ise makinenin tamburunun dairesel hızı 0-2000 d/d arasında değişmektedir. Bu hızlar da 100-2000 d/d arasında makine riskli titreşimler ve mukavemette zorlanma oluşmaya başlar.

Bu problemlerin sebebi, makinelerde sıkma programına geçildiğinde, 80 d/d hızdan sonra, çamaşırların merkez kaç kuvvetinde doğan etkiyle tamburun iç yüzeyine yapışmasıdır. Yapışan çamaşırlar birbirlerini dengeleyebilecek veya dengeleyemeyecek şekilde makinenin iç yüzeyine dağılırlar. Bazen çamaşırlar birbirini dengeleyemez ve birbirini dengeleyemeyen çamaşırlar, 100 d/d hızdan sonra merkez kaç kuvvetinden dolayı makinenin kazanında titreşimler oluşmasına ve mukavamette zorlanmaya sebep olur. Bu hareketler rezonans devrine kadar (yaklaşık 180 d/d) artarak devam eder. Rezonans noktasına gelindiğinde makinenin hareketleri, sistem için kabul edilemeyecek büyüklüklere ulaşabilir. Sıkma sırasında oluşan dengesiz yük (DY) kuvveti, şiddetli titreşimler ve aşırı stres yaratarak taşıyıcı gövde ve temelleri tehlikeli şekilde zorlayabilir. Bunun sonucunda çamaşır makinesi bulunduğu konumdan hareket edebilir, kazan tambur grubu gövdeye çarpabilir, taşıyıcı sistem hasar görebilir.

Bu çalışmanın amacı çamaşır makinesinin performansında ve gelişmesinde en büyük önleyici etken olan DY'nin tambur içindeki açılma ve yatay konumunun ve miktarının bulunarak bu etkiyi ortadan kaldırmaya ve azaltmaya yeni kontrol algoritmalarının ve sistemlerinin oluşturulmasını sağlamaktır.

Günümüzde dengesiz yük algoritmalarındaki hedef, DY'nin miktarına bakarak, çamaşır makinesinin sıkıp sıkılmama kararının verilmesidir. Bu sistemler sadece makinenin ve kullanıcının güvenliğini sağlamak için yapılmaktadır.

Literatür taraması yapıldığında, yüksek devirde sıkma programlarında oluşan sorunları engellemek için, DY'nin çoklu sensör sistemleri veya yeni mekanik yapılarla algılanması, yeni pasif dengeleme sistemlerinin oluşturulması ve DY'nin dağıtılması gibi yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemlerin çok pahalı ve karmaşık olmalarından dolayı, günümüzde hiç biri çamaşır makinesindeki sorun için kesin çözüm olmamıştır.

Bu çalışmada yapılan sistemde çamaşır makinesine entegre edilen ucuz ve yaygın olarak kullanılan ivme sensörlerinden gelen verilerin günümüzde yeni kullanılan kontrol ve tanımlama algoritmalarıyla işlenerek DY'nin tambur içindeki açılma ve yatay konumunun ve miktarının tanımlanmasını sağlamaktadır. Bu bilgiler çamaşır makinesinde dengesiz yükü azaltmak veya önlemek için kullanılan veya yapılacak

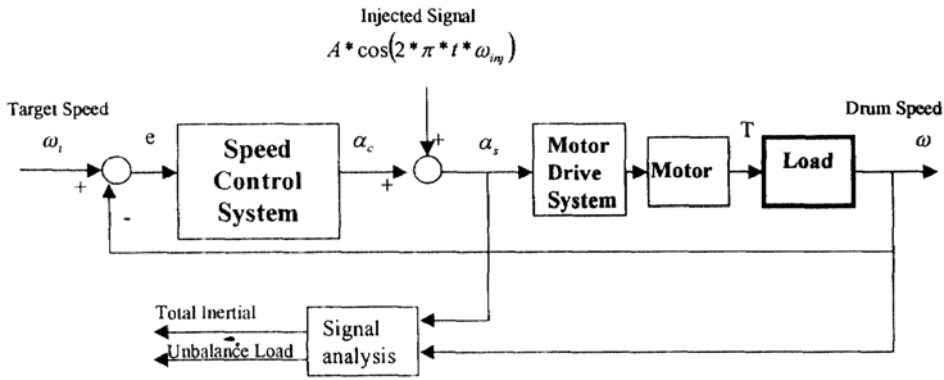
olan sistemler için temel gerekli bilgileri oluşturmaktadır. Bu bilgiler sayesinde dengesiz yükü önlemek için kullanılan pasif dengeleme halkası (PDH) sistemlerinin çok daha akıllı hale gelmesini veya yeni dengeleme sistemlerinin oluşmasını sağlayacaktır.

DY'nin incelenmesi için, ilk olarak MATLAB'de çamaşır makinesinin dinamik modellenmesi ve simülasyonu yapılmış ve DY'nin etkileri incelenmiştir. Bu çıktılarına göre, gerekli verileri toplayabilecek bir deney sistemi geliştirilmiştir. Deney sisteminde, günümüzde kullanımı yaygınlaşan ve kolay olan, ucuz ivme sensörleri seçilmiştir. Toplanan bilgiler ilk olarak, doğrusal yöntem metoduyla DY'nin açısal konumu incelenmiş ve oluşan tahmin hataları belirlenmiştir. Oluşan hataları azaltmak için, DY'nin yatay konumu bulanık mantık kontrol yöntemiyle belirlenmiş ve dengesiz yükün açısal konumunun bulunması için yeni bir girdi oluşturmuştur. Yapay sinir ağları metodundan, yatay konumu bilgisi de kullanılarak, dengesiz yükün açısal konumu, tahmin hataları azaltılarak bulunmuştur.

Tez dokümanında, birinci bölümde, genel bir açıklama yapılmış ve literatür hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde, bulanık mantık kontrol sistemlerinin çalışması hakkında bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde, yapay sinir ağlarının çalışması anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, çamaşır makinesinin dinamik modellenmesi ve simülasyonu ile ilgili bilgiler bulunmaktadır. Beşinci bölümde, deney sistemi ve kullanılan ekipmanlar anlatılmıştır. Altıncı bölümde, doğrusal yöntem kullanılarak yapılan çalışmalar yer almaktadır. Yedinci bölümde, bulanık mantık kontrolü ile dengesiz yükün yatay konumunun bulunması hakkında bilgi verilmiştir. Sekizinci bölümde, dengesiz yükün açısal konumunun yapay sinir ağları kullanılarak bulunması anlatılmıştır. Dokuzuncu bölümde, çamaşır makinesinde dengesiz yükün etkisinin azaltılmasıyla ilgili çalışma bulunmaktadır. Son bölüm olan onuncu bölümde ise sonuç ve öneriler yer almaktadır.

1.1 Literatür Araştırması

2001 yılında Whirpool firmasına Avrupa patent ofisi tarafından verilen EP1113102A1 numaralı patentte, çamaşır makinesinde oluşan DY'nin motor sürüş sinyalleriyle belirlenmesi anlatılmaktadır. Şekil 1.1 de görüldüğü gibi motor sürüş sistemine hedef hızdan farklı, frekansı bilinen bir periyodik sinyal eklenir. Bu koşullarda tamburun çıktığı hız ve periyodik ve frekansı bilinen sinyalden oluşan iki sinyal analiz edilir. Bu oluşan sinyaller sayesinde oluşan toplam atalet ve DY miktarı hesaplanabilmektedir [1].

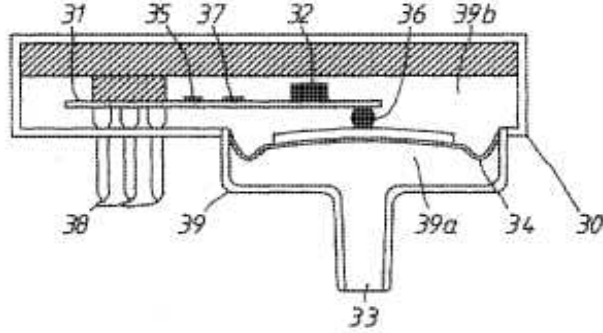


Şekil 1.1 : EP1113102A1 numaralı Whirpool Patenti.

LG Elektronik firmasının, CN17175500A numaralı patentinde, çamaşır makinesinde titreşim sensörü kullanılarak oluşturulan, kontrol sisteminden bahsetmektedir. Sistemde bir kontrol ünitesi ve motor bulunmaktadır. Kontrol ünitesinde, motor kontrol devresi, kontrol uygulaması için işlemci ve dinamik ve statik yükü algılamak için ivme sensörleri bulunmaktadır. Titreşim sensörü, sıkma bölümünde kazanda oluşan çeşitli titreşimleri belirler. Titreşimlerin boyutuna göre, sıkma programında motorun hızına belli devirlerin üzerine çıkmasına izin verilmez [2].

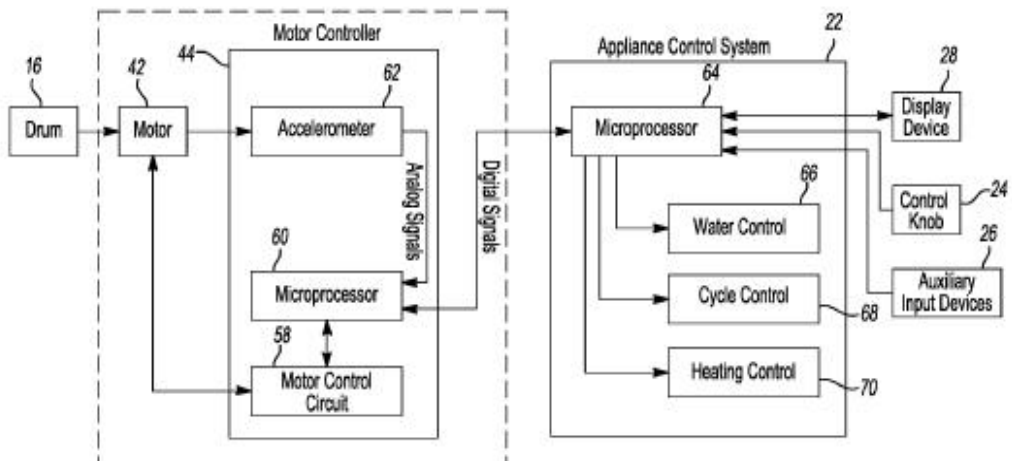
Miele firmasının DE 10110854 numaralı patentinde çamaşır makinesinde DY'nin belirlenmesi için basınç sensörü kullanılarak yapılmış bir mekanizmayı anlatmaktadır. Bu sistem çamaşır makinesinin sıvı tankı birlikte çalışmaktadır. Şekil 1.2 de görülen düzenekte basınç sensörü zarı (34), sabit bir biçimde yerleştirilmiştir. Uzatılmış bir ölçme şeridi (37) üzerine, basınç sensörü zarındaki titreşim ve

bozulmaları ölçmek için titreşen bir cisim (32) yerleştirilmiştir. Bu basınç sensörü ve sıvı tankı ile yapılan düzenekle DY'nin oluşturduğu dinamik sinyaller algılanmakta ve DY belirlenmektedir [3].



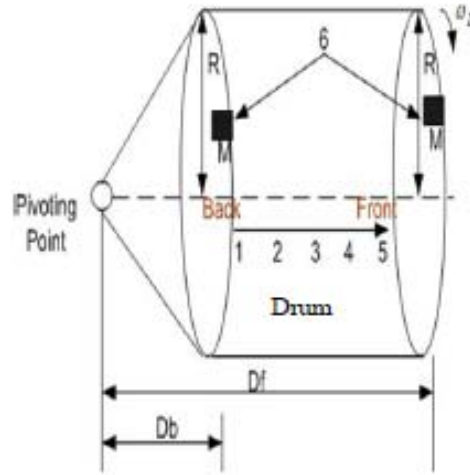
Şekil 1.2 : CN17175500 numaralı LG patenti.

Emerson Elektrik firmasının 2008 yılında US2009266113A1 numaralı aldığı patentte, çamaşır makinesinin motoru üzerine yerleştirilmiş ivme sensörü yardımıyla, çamaşır makinesindeki su, zaman ve enerji kontrolünde iyileştirmeler yapılmıştır. Çamaşır makinesinde oluşan titreşimler, ivme sensörüyle belirlenmiştir. İvme sensörünün oluşturduğu veriler motor kontrol ünitesindeki işlemcide incelenmiş ve ana karttaki kontrol ünitesine girdi oluşturmuştur. Ana karttaki işlemci bu bilgiyi kullanarak su, zaman ve enerji kontrolü oluşturmuştur. Şekil 1.3 bu işlemler bölge bölge gösterilmiştir [4].



Şekil 1.3 : US2009266113A1 numaralı Emerson Elektrik firmasının patent .

Yingqin Yuan, Ali Buendia, Ray Martin ve Farhad Ashraf zadeh tarafından Whirpool firmasının araştırma merkezinde hazırlanan ve 2007 yılında IEEE sensör konferansında yayımlanan “Unbalanced Load Estimation Algorithm Using Multiple Mechanical Measurements for Horizontal Washing Machines” başlıklı bildiri, çamaşır makinesindeki DY'nin miktarının ve şekil 1.4 de görüldüğü gibi bölümlenmiş şekilde yatay konumun yapay sinir ağları (YSA) yöntemiyle bulunması anlatılmıştır. Yapılan çalışmada önden yüklemeli bir çamaşır makinesine, iki adet lazer mesafe, iki adet üç eksenli ivme sensörü ve dört adet yük sensörü olmak üzere sekiz adet sensör eklenmiştir. Bu sensörlerden gelen bilgiler, bir analiz sisteminde toplanır ve yapay sinir ağları algoritmaları kullanılan, DY hakkındaki bilgiler elde edilir [5].

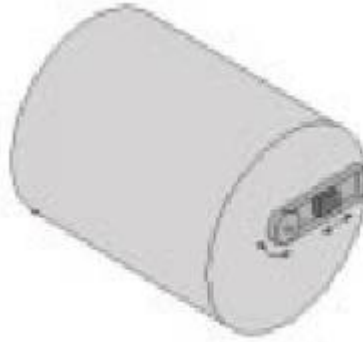


Şekil 1.4 : Yingqin Yuan, Ali Buendia, Ray Martin ve Farhad Ashraf zadeh tarafından Whirpool firmasının araştırma merkezinde hazırlanan makale.

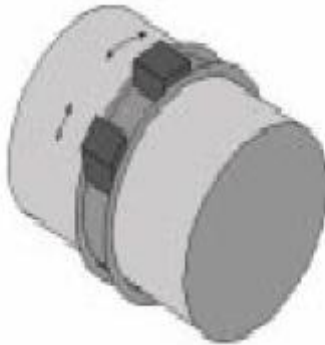
Makalenin sonucu olarak, DY'nin miktarı +/-0,3 kg hatayla ve DY'nin yatay konumu +/-1 pozisyon hatasıyla bulunmuştur.

Evangelos Papadopoulos ve Iakovos Papadimitriou tarafından National Technical University of Athens üniversitesinde yazılan “Modeling, Design and Control of a Portable Washing Machine during the Spinning Cycle” makalede portatif çamaşır makinesi için aktif dinamik dengeleyiciler tasarlanmıştır. Makalede portatif çamaşır makinesinde DY tarafından oluşan kuvvetler ve sistemin basit dinamik

modeli çıkarılmıştır. Düşünülen iki aktif dengeleme sistemi şekil 1.5 ve şekil 1.6 gösterilmiştir. Şekil 1.5 de gösterilen sisteminde motor yardımıyla arkaya bağlanan tek kütle hareket ettirilmektedir. Şekil 1.6 da gösterilen sistemde ise iki farklı kütle hareket ettirilerek. Bileşke bir kütle oluşturulmaktadır. Düşünülen sistemlerde aktif dengeleme sisteminin, DY'nin karşısına doğru hareketiyle oluşan kuvvet vektörleri azalacaktır. Teorik olarak tam karşılayıcı bir kuvvet oluşturulduğunda sistemdeki kuvvet sıfırlanacaktır, buna bağlı olarak hareketlerde sıfırlanacaktır [6].



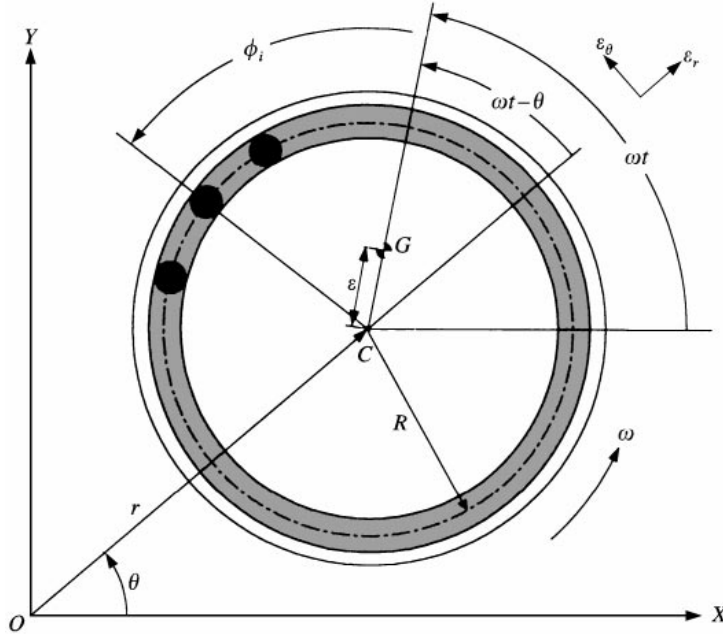
Şekil 1.5 : National Technical University of Athens üniversitesinde yazılan “Modeling, Design and Control of a Portable Washing Machine during the Spinning Cycle ” makalesi.



Şekil 1.6: National Technical University of Athens üniversitesinde yazılan “Modeling, Design and Control of a Portable Washing Machine during the Spinning Cycle ” makalesi.

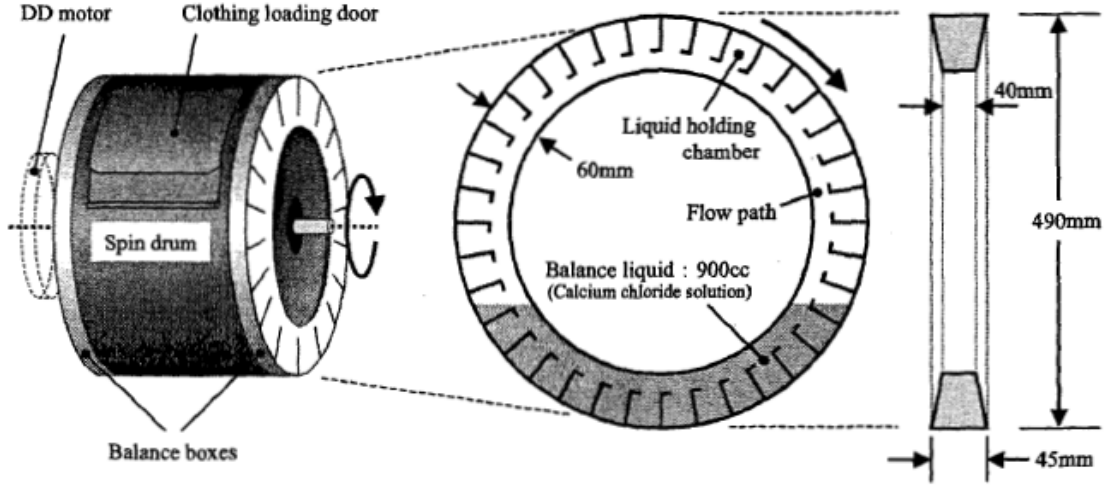
J. CHUNG tarafından Hanyang üniversitesinde yazılan “Dynamic analysis of an automatic dynamic balancer for rotating mechanisms” makalede, çamaşır makinesi için tasarlanmış dinamik dengeleyici tasarımını anlatmaktadır. Bu makalede tasarlanan sistem hiçbir harici tetikleyiciye veya ekipmana gerek duymamaktadır.

Otomatik dinamik dengeleyici sisteminde, bir halkanın içine konulmuş üç adet bilye ve halkanın içini kaplayan bir sıvı bulunmaktadır. (Şekil 1.7) Otomatik dinamik dengeleyicinin içindeki bilyeler, DY'nin oluşturduğu kuvvetin etkisiyle belli dönme hızının üstündeki hızlarda otomatik olarak dengesizlik yaratan kuvvetin karşına geçerek dengeleyici kuvveti oluştururlar. Halkanın içindeki üç bilye dengeleyici kuvveti bileşke oluşturarak kurarlar [7].



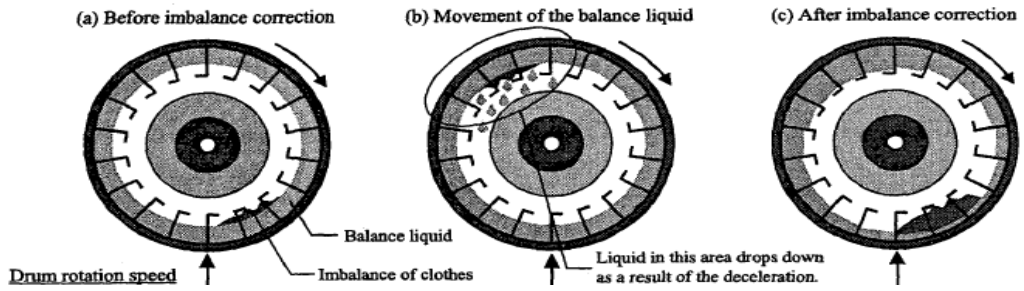
Şekil 1.7 : Hanyang üniversitesinde yazılan “Dynamic analysis of an automatic dynamic balancer for rotating mechanisms” makalesi.

Sanyo Elektrik firmasından Yasuaki Sonoda, Hiroshi Yamamoto ve Yasuhiko Yokoi tarafından 2003 IEEE/ASME konferansında yayınlanan “Development of the vibration control system “G-Fall Balancer” for a drum type washer/dryer” makalesinde bir titreşim kontrol düzeneği tasarımı anlatılmıştır. Bu titreşim kontrol sistemine “G-Fall Balancer” adı verilmiştir. Halka şeklinde olan bu sistem, çamaşır makinesinin tamburunun ön ve arkasına olmak üzere iki adet takılmaktadır. Bu halkanın içinde şekil 1.8 deki gibi bölmeler ve belli miktarda sıvı bulunmaktadır. Belli bir hızın üstünde bu sıvılar ve bölmeler, titreşim kontrol altına almaya ve azaltmaya yarar. Şekil 1.8 de, tasarlanan “G-Fall Balancer ” sisteminin özellikleri ve tasarım kriterleri görülmektedir.



Şekil 1.8 : Sanyo Elektrik firmasından Yasuaki Sonoda, Hiroshi Yamamoto ve Yasuhiko Yokoi tarafından 2003 IEEE/ASME konferansında yayınlanan “Development of the vibration control system “G-Fall Balancer” for a drum type washer/dryer ” makalesi.

Şekil 1.9 da “G-Fall Balancer” sisteminin çalışma prensibi üç bölmede anlatılmıştır. Birinci bölmede dengesizlik kontrolü yapılmaktadır. İkinci bölmede motor hareketleri yapılarak “G-Fall Balancer” içindeki sıvı, bölmeler yardımıyla şekillendirilmiştir Son bölmede ise dengesizliğin, dengelenmiş hali gözükmemektedir [8].



Şekil 1.9 : “G-Fall Balancer” sistemi .

Ahmet Yörükoğlu ve Erdiñç Altuğ tarafından 2009 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, konferansında yayınlanan makalede, çamaşır makinesinde dengesiz yükün açısai konumu ve miktarı, piezo elektrik sensörler kullanılarak bulunmuştur [9].

2. BULANIK MANTIK KONTROL SİSTEMLERİ

2.1 Genel Tanım

Dünyadaki her olay için kesin tanımlamalarda bulunmak ve net sonuçlarla birbirinden ayırmak mümkün değildir. Aristoteles'in "Sadece doğrular ve yanlışlar vardır" ve "Var ya da Yok" mantığı gerçek yaşamda her zaman geçerli olmaz. Klasik bilim ve klasik mantık yaklaşımı sonucunda verilen kararlar, iyi-kötü, doğru-yanlış, evet-hayır, siyah-beyaz veya 0-1 gibi iki net karardan oluşmaktadır. Fakat gerçek yaşamın bu iki net karardan oluşmadığı ve bu iki kavramın arasında bir veya birden fazla karar bulunduğu görülmüştür. 1900'lerin başında "olası" kavramı ortaya atılmıştır. Bu kavramla beraber Bulanık mantık kontrol (BMK) ortaya çıkmaya başlamıştır.

BMK ilk defa 1965 yılında "The Theory of Fuzzy Logic and Fuzzy Sets [Bulanık Mantık ve Bulanık Kümeler Kuramı]" adıyla Azeri asıllı Amerikalı sibernetikçi Lotfi A. Zadeh tarafından yayınlandı [10]. BMK kuramı, klasik mantık kuramına alternatif olmuş, klasik mantık sisteminden farklı olarak insan düşüncesine ve dil ruhuna daha yakındır. BMK, sistemlere, günlük hayatta kullandığımız değişkenlere üyelik derecesi atayarak, çoklu mantık sistemini kazandırır.

Aşağıdaki çizelge 2.1 de klasik mantık ile çoklu mantık arasındaki farkları göstermektedir.

Çizelge 2.1 : Klasik mantık ile çoklu mantık arasındaki farkları.

Klasik Mantık	Bulanık Mantık
A <u>veya</u> A Değil	A <u>ve</u> A Değil
Kesin	Kısmi
Hepsi veya Hiçbiri	Belirli Derecelerde
0 veya 1	0 ve 1 Arasında Süreklilik
İkili Birimler	Bulanık Birimler
Dijital Ortam (0-1)	Nöral Ağ (Beyin)

Örneğin, klasik mantıkta büyüklük-küçüklük, uzaklık-yakınlık gibi kavramların kesin sınırları vardır. Mesela uzaklık kavramının alt sınırı 10 km olsun. Klasik mantığa göre eğer mesafe 10,1 km ise uzak, 9,9 km ise yakındır. Hâlbuki BMK, klasik mantık gibi uzağa 1, yakına 0 gibi kesin değer vermez. BMK 0,1 , 0,2 , 0,3 , . . . gibi daha hassas ve esnek değerler verir. Böylece 9,9 km mesafedeki bir yere yakın denmez, 0,1 gibi bir uzaklıktadır denir. Bu esneklik sayesinde BMK her alanda çok daha hassas sonuçlar ve çözümler verir.

BMK insanın düşünme sistemine benzetildiği için, kullanıldığı sistemleri daha zeki hale getirmiştir. Bulanık mantığın sibernetikte ve yapay zekâ çalışmalarında, dolayısıyla bilgisayar alanında ve buradan da hareketle sanal gerçekliğin yapay zekâ çalışmalarındaki etkileri önemsenecek gibi değildir. Yapay zekâ çalışmalarının fizik, sibernetik, mantık ve biyolojiden beslenen açıklama tarzıyla zihinsellik ve zihinsel durumların içeriği hakkında ayakları yere basan yaklaşımları zihin felsefesi için önemlidir [11]. BMK birçok ürünün ve üretim sürecinin zeki hale getirmiştir. Bu makineler arasında çamaşır makineleri, bulaşık makineleri, buzdolabı, klima, fotoğraf makineleri, kameralar, televizyonlar, elektrikli süpürgeler, otomatik şanzımanlar, motor kontrolü, metro denetim mekanizmaları, otomasyon sistemleri, asansörler ve mikro devreler sıralanabilir.

BMK ilk kez 1973 yılında, Londra'daki Queen Mary College'de profesör olan H. Mamdani tarafından bir buhar makinesinde uygulandı. Ticari olarak ise ilk defa, 1980 yılında, Danimarka'daki bir çimento fabrikasının fırınına kontrol etmede

kullanıldı. Günümüze kadar birçok sistemde kullanıldı ve kullanılmaya da devam edilmektedir [12].

BMK kontrol sistemi üç ana bölümden oluşur. Bunlar bulanıklaştırma (fuzzification), çıkarım (fuzzy rule base) ve netleştirme (defuzzification) bölümleridir. İlk bölümde, giriş değişkenlerinin sayısal değerlerine karşılık gelen bulanık kümeye dönüştürme işlemi yapılır. Bulanıklaştırma işleminde, öncelikle giriş değişkenlerinin değerleri ölçülür, daha sonra giriş değişkenlerinin değerleri bulanık kümenin örnek uzayına transfer edilir. Burada bulanık girdi değerleri üretmek için üyelik fonksiyonları depolanır; tanımlamada, kişisel kümeler ve çok özel bağıntılar kurulur. Bilgiler, bulanık küme olarak adlandırılan şeye dönüştürülür [13]. İkinci bölümde, bilgi tabanındaki bulanık kuralları kullanarak, bulanıklaştırma sisteminden gelen dilsel değişkenler işlenir ve kural tabanındaki kurallar dilsel değişkenlere uygulanır ve seçilen çıkarım kontrol işlemini sağlar. İkinci bölümün çıktısı, son bölüm olan netleştirme bölümüne girdi olarak verilir “Defuzzification, bir bulanık küme veya bulanık sayıyı tam sayıya dönüştüren süreçtir” [14]. Son bölümde, bulanık çıkış değerlerini ölçekler ve gerçek sayılara dönüştürür.

BMK teoremi insan düşünme sistemine ve dilsel değişkenlere göre tasarlanmış olsa bile, BMK kavramının arkasında uzaylar ve kümeler arasında geçişler için matematiksel özellikler ve teoremler kullanılmıştır.

Aşağıdaki özetle BMK sistemindeki bulanık kümelerin matematiksel gösterimleri verilmiştir.

2.1.1 Matematiksel kavramlar

- Evrensel Küme:

U , evrensel kümeyi, u ise bu evrensel küme içerisindeki bir elemanı temsil eder. U , evrensel kümesi, ayrık veya sürekli olan $\{u\}$ elemanlarından oluşmuştur.

- Bulanık Küme:

U evrensel kümesinde, A bulanık kümesi üyelik fonksiyonu ile tanımlanır.

$$\mu_A : U \rightarrow (0,1) \quad (2.1)$$

U kümesindeki her eleman, $\mu_A(y)$, 0 ile 1 arasında bir sayısı $\mu_A : U \rightarrow (0,1)$ değere sahiptir. Bu değer kümedeki elemanın derecesini belirler.

- Destek:

A bulanık kümesinin desteği U'nun içindeki bir tek noktadır, bu noktada $\mu_A(y) = 1.0$

- Geçiş Noktası:

U, evrensel kümesinin, bir elemanı olan A bulanık kümesinin kesişim noktası, A kümesinde 0.5 derecesine sahip olan elemandır.

- Bulanık Teklik:

U sürekli ise, A bulanık kümesi şöyle ifade edilebilir:

$$A = \int_U \frac{\mu_A(y)}{y} \quad (2.2)$$

Denklem 2.2 de $\mu_A(y)$ üyelik fonksiyonu integral fonksiyonu ile ilişkilendirilir ve kümedeki bütün noktaların toplamını gösterir.

U ayrık ise, A bulanık kümesi şöyle ifade edilebilir:

$$A = \sum \frac{\mu_i}{y_i} \quad (2.3)$$

Denklem 2.3 de $\mu_A(y)$ üyelik fonksiyonu toplama işareti ile ilişkilendirilir ve kümedeki bütün noktaların toplamını gösterir.

- Tümleme:

A bulanık kümesinin tümlenmesi - A şöyle ifade edilir:

$$A = \int_U \frac{(1 - \mu_A(y))}{y} \quad (2.4)$$

- Birleşim:

A ve B bulanık kümelerinin birleşimi $A + B$ şeklinde gösterilir ve şöyle ifade edilir:

$$A + B = \int_U \frac{\max(\mu_A(y), \mu_B(y))}{y} \quad (2.5)$$

- Kesişim:

A ve B bulanık kümelerinin kesişimi $A \cap B$ şeklinde gösterilir ve şöyle ifade edilir:

$$A \cap B = \int_U \frac{\min(\mu_A(y), \mu_B(y))}{y} \quad (2.6)$$

- Çarpım:

A ve B bulanık kümelerinin çarpımı AB şeklinde gösterilir ve şöyle ifade edilir:

$$AB = \int_U \frac{\mu_A(y) \cdot \mu_B(y)}{y} \quad (2.7)$$

- Kuvvet:

A bulanık kümesinin α ile kuvvetlendirilmesi A^α şeklinde gösterilir ve şöyle ifade edilir:

$$A^\alpha = \int_U \frac{(\mu_A(y))^\alpha}{y} \quad (2.8)$$

- Derişme:

A bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu daha yüksek üyelik dereceli elemanlarının üyeliğine göre değiştirilirse yoğunlaşır ve şöyle ifade edilir:

$$\mu_{CON(A)}(y) = (\mu_A(y))^2 \quad (2.9)$$

- Genişleme:

A bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu daha düşük üyelik dereceli elemanlarının üyeliğine göre değiştirilirse genişler ve şöyle ifade edilir:

$$\mu_{DIL(A)}(y) = (\mu_A(y))^{0.5} \quad (2.10)$$

- Yoğunlaşma:

Yoğunlaşma, normalize edilmiş bulanık kümesini keskin kümeye yakınlaştırmak için yapılır. Bu işlem, üyelik değeri 0,5 den yüksek olan değerleri artırarak ve 0,5 den düşük olan değerleri azaltarak yapılır.

- Bulanık İlişki

İki veya daha fazla bulanık kümenin arasındaki ilişkinin varlığının ve yokluğunun derecesi bulanık ilişkiyi temsil etmektedir. X bulanık kümesinden, Y bulanık kümesine oluşan R bulanık ilişkisi $X \times Y$ kartezyen çarpım kümesidir. R bulanık ilişkisi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$R = \int_{X \times Y} \frac{\mu_R(x, y)}{(x, y)} \quad (2.11)$$

- Sup-Star Kompozisyonu:

Eğer R ve S , $U \times V$ ve $V \times W$ ' deki bulanık ilişkiler ise R ve S 'nin kompozisyonu $R \circ S$ ile tanımlanan ve

$$R \circ S = \left\{ ((u, w), \sup_v (\min(\mu_R(u, v), \mu_S(v, w)))) \mid u \in U, v \in V, w \in W \right\} \quad (2.12)$$

bağıntısı ile ifade edilen bir bulanık ilişkidir.

Burada * , üçgen normların sınıfındaki herhangi bir operatör olabilir; minimum, cebirsel çarpım, sınırlı çarpım veya kesin çarpımdır [15].

- Dilsel Değişkenler:

Bulanık mantığın temel özelliklerinden biri de dilsel değişkenlerin kullanılmasıdır. Bulanık kümedeki bir değişken hem değeri bulanık bir sayı olan bir değişken hem de değerleri dilsel terimlerle tanımlanan bir değişken olarak kabul edilir. Örneğin, insanın boyu bir dilsel değişken kabul edilirse, T(boy) terim kümesini şöyle oluşturabiliriz;

$T(\text{boy}) = \{\text{çok kısa, kısa, orta, uzun, çok uzun}\}$

Burada T(boy)'deki her dilsel terime, bulanık kümedeki bir sayısal değer karşılık gelmektedir. Örnek uzay $U = [1,20, 2,00]$ arasında kabul edilirse, “çok kısa” 1,40m'nin altında bir uzunluk, “orta” 1,60m. civarında bir boy ve “uzun” ise 1,80m.'den büyük olan değerler olarak tanımlanabilir.

Bu örnekten de anlaşıldığı gibi, örnek uzayın içindeki değerler, istenildiği kadar alt kümelere bölünebilir. Tanımlar ve sayısal değerler insanların söylemlerine göre değişebilir. Tanımları dilsel terimler, muhtemel değerleri de dilsel değişken ifade eder.

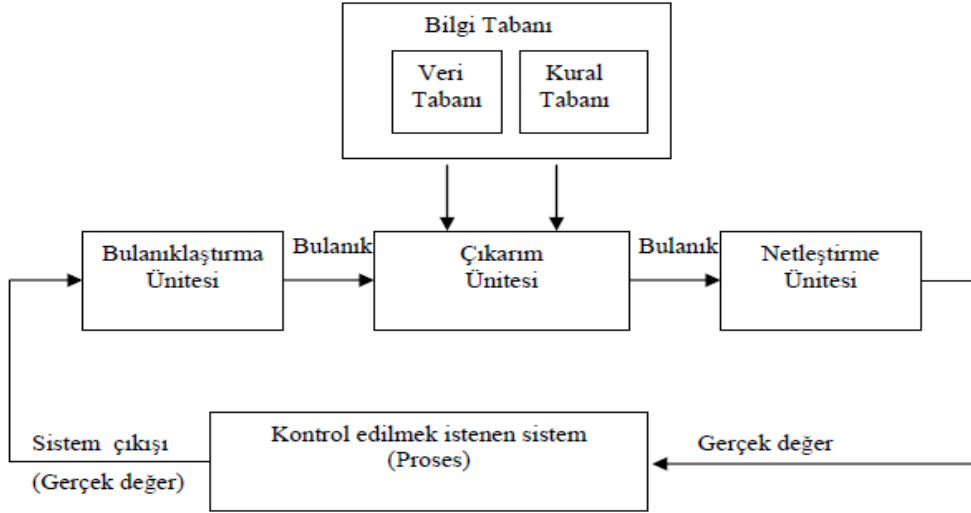
2.2 Bulanık Kontrol

Bir sistemi veya süreci modellemek için bulanık sistemler kullanırsa, bu sistemde kullanılan kontrolcü, bulanık kontrolördür.

Bulanık kontroller “Eğer – ise ” kurallar yapısında dayanır ve kontrolcü bu kurallara göre tasarlanır.

2.2.1 Bulanık mantık kontrol (BMK) denetleyicisi

Şekil 2.1 de görüldüğü gibi bir BMK denetleyicisinde dört temel kısım bulunmaktadır. Bunlar; bulanıklaştırma ünitesi, bilgi tabanı, çıkarım (karar verme) ünitesi ve netleştirme (bulanıklığı giderme) ünitesidir.



Şekil 2.1 : BMK denetleyicisi.

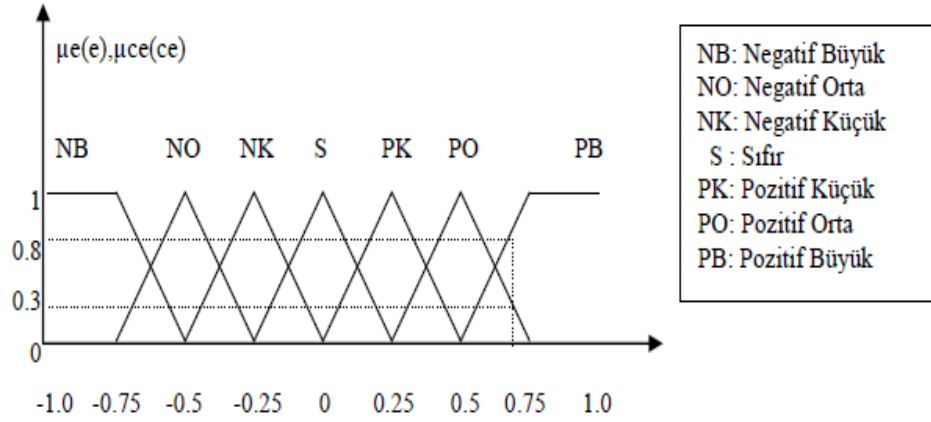
2.2.1.1 Bulanıklaştırma (Fuzzification) ünitesi

Bulanıklaştırma, giriş değişkenlerinin sayısal değerlerine karşılık gelen bulanık kümeye dönüştürme işlemidir. Yani giriş değişkenlerine birer dilsel terim verilir ve bulanık kümeler tarafından tanımlanır.

Bulanıklaştırma işleminde, üyelik fonksiyonu olarak adlandırılan, birden fazla bulanık referans kümesi şekli vardır. Üyelik fonksiyonları 0 ile 1 arasında bir üyelik derecesine sahiptir. Üyelik derecesi bir elemanın bulanık küme içerisinde yer almasının kesinliğini veya güvenilirliğinin bir göstergesidir [16].

Bulanık kümeler kullanıcının tanımlayacağı üyelik fonksiyon sayısına göre oluşturulur. Örneğin, Şekil 2.2 de 7 üyelik fonksiyonuna sahip bir bulanık forma dönüştürme gösterilmiştir. Burada girişten 0.65'lik bir değer geldiğinde, bu değer

bulanık formdaki yeni ismi “Pozitif Büyük (PB) bölgesinde üyelik derecesi 0,8” ve “Pozitif Orta (PO) bölgesinde üyelik derecesi 0,3” şeklinde olacaktır.



Şekil 2.2 : 7 üyelik fonksiyonuna sahip bir bulanık küme.

Bulanıklaştırma sistemini özetleyecek olursak şu 3 basamak takip edilir:

1. Giriş değişkenlerinin değerleri ölçülür.
2. Giriş değişkenlerinin değerler aralığı ilgili örnek uzaya transfer edilir.
3. Giriş seviyelerine uygun dilbilimsel değerlere dönüştürülerek, bulanıklaştırma fonksiyonu oluşturulur.

2.2.1.2 Bilgi tabanı

Bilgi tabanı, veri tabanı ve kural tabanı olmak üzere iki temel kısımdan oluşmaktadır. Veri tabanı, her bir değişkenin üyelik fonksiyonunu ve bulanık kümesini, bulanık parametrelere göre sağlar. Dilbilimsel denetim kurallarını ve BMK bulanık veri kullanmayı tanımlamada kullanılan gerekli tanımları içerir.

Kural tabanı, bulanık şart koşullarının tamamını içerir. Denetim amaçlarına uygun dilsel şart cümleleri burada bulunur ve çıkarım ünitesine buradan aktarılır [17]. Sistem çıkışını etkileyebilecek giriş değerleri belirlenerek, kural tabanı geliştirilir. Kural tabanında oluşan kurallar, sistemin giriş ve çıkışları arasındaki mantıksal ilişkileri açıklar. Kurallar, “eğer” ve “ise” komut sistemiyle oluşturulur.

Bulanık kontrol kuralı genellikle “Eğer-İse” formundadır. İki girişli ve tek çıkışlı (MISO) sistem için bulanık kontrol kural tabanı şöyle oluşur:

Kural 1: Eğer $x = A_1$ ve $y = B_1$ ise $z=C_1$,

Kural 2: Eğer $x = A_2$ ve $y = B_2$ ise $z=C_2$,

.....

.....

Kural n: Eğer $x = A_n$ ve $y = B_n$ ise $z=C_n$,

Burada x ve y sistem giriş değişkenleridir ve z sistem çıkış değişkenine karşılık gelmektedir. A_n B_n ve C_n x , y ve z için birer bulanık kümedir.

Kontrol kural sayısı ve bulanık kontrol kurallarının oluşturulması

Kontrol kural sayısının oluşturulmasında bütünlük kavramı göz önünde bulundurulur. Bir bulanık kontrol algoritmasında bir giriş için uygun bir kontrol çıkışı olmasına, bütünlük adı verilir. Bir sistemde her bir giriş değişkeni için m tane bulanık küme ve n tane de sistem giriş değişkeni varsa, bütünlük kavramına göre m^n tane farklı kural gerekmektedir. Fakat bulanık kümelerin belli oranlarda kesiştirilmesi kural sayısında önemli ölçüde azalmaya sebep olur, böylece m^n tane farklı kurala gerek kalmaz. Bununla birlikte optimal kural sayısını belirleyen kesin bir prosedür yoktur.

Bir bulanık denetleyicinin tasarlanmasında, o sistemi çalıştıracak operatörün sistemin çalışması ve davranışları konusundaki bilgileri ve tecrübesi kullanılır. Sistemden bulanık kuralların çıkarılması için dört değişik metot vardır:

1. Uzman ve/veya kontrol mühendisliği tecrübesi ve bilgisi.
2. Operatörün kontrol hareketlerinin modellenmesi
3. Sürecin bulanık modeli çıkarılması.
4. Öğrenen algoritmalar.

Elde edilen bulanık kontrol kuralları bazı kriterleri sağlamalıdır. Bunlar:

1. Tutarlılık: Koşullar kısmı aynı ise aynı kararlar çıkması gerekir.

2. Tamamlılık: Eksik kural bırakılmamalıdır.
3. Etkileşim: Kontrol kurallarının etkileşiminden dolayı sonuç bir alt ya da üst küme çıkabilir.
4. Nicelik: Bulanık kontrol kurallarının sayısıdır. Kuralların sayısı kontrolün hassasiyetine, bulanık küme tanımına ve giriş kombinasyonlarına bağlıdır. Bu yüzden, sayının tam olarak ne olması gerektiği söylenemez.

2.2.1.3 Çıkarım (Karar Verme Mantığı)

Çıkarım ünitesi, BMK de beyin görevi görür ve insani karar vermeyi simule eder. Çıkarım ünitesi kontrol algoritmasının çalıştığı ve karar verme işleminin gerçekleştiği merkezdir. Şekil 2.1 de görüldüğü gibi bulanıklaştırma bloğunun çıkışları, çıkarım ünitesinin girişleridir. Bilgi tabanındaki bulanık kuralları kullanarak, bulanıklaştırma sisteminden gelen dilsel değişkenleri işler. Daha sonra, kural tabanındaki kurallar dilsel değişkenlere uygulanır ve seçilen çıkarım kontrol işlemini sağlar.

BMK sisteminde, iki türlü çıkarım kuralı vardır:

İleri Zincirleme Kuralı (Generalized Modus Ponens, GMP)

Doğrudan düşünce ve geçmiş bilgiden yararlanma vardır.

Geri Zincirleme Kuralı (Generalized Modus Tollens, GMT)

Doğrudan düşünce ve mukayese vardır.

Geri zincirleme kuralı

Geri zincir kuralında doğrudan düşünce ve mukayese vardır. Bütün olabilecek sonuçlar değerlendirilir ve sistemdeki bilgiye ulaşır.

Aşağıdaki örnekte, A ve B bulanık kümeler, x ve y ise sözel değişkenlerdir.

Bilgi 1: $y = B'$ dir.

Bilgi 2: Eğer $x = A$ ise $y = B'$ dir.

Sonuç: $x = A'$ dir.

İleri zincirleme kuralı

İlerleme zincir kuralında doğrudan düşünce ve geçmiş bilgiden yararlanma vardır. İşlem verilerden sonuca doğru gider.

Aşağıdaki örnekte, A ve B bulanık kümeler, x ve y ise sözel değişkenlerdir.

Bilgi 1: $x = A'$ dir.

Bilgi 2: Eğer $x = A$ ise $y = B$ dir.

Sonuç: $y = B'$ dir.

Eğer x büyükse, y küçüktür, ifadesinde iki değişkenin arasındaki ilişki anlatılmıştır. Bu koşullu önerme bulanık ilişkiyi gösterir. İki bulanık küme ve bulanık ilişki kartezyen çarpımla birleştirilerek problem çözülebilir. İki bulanık kümenin kartezyen çarpımı şöyle ifade edilir:

$$A \times B = \int_{U \times V} \frac{\min(\mu_A(u), \mu_B(v))}{(u, v)} \quad (2.13)$$

A ve B bulanık kümeleri, aynı evrensel küme U 'nun veya farklı evrensel küme V 'nin alt kümeleri olabilirler. $A \times B$ bulanık kümesi, U evrensel kümesinden, V evrensel kümesine oluşan bir bulanık ilişkidir. Örneğin U , V , A ve B şöyle tanımlansın;

Eğer

$$U = 1 + 2 \quad (2.14)$$

$$V = 1 + 2 + 3 \quad (2.15)$$

$$A = 0.3/1 + 0.5/2 \quad (2.16)$$

$$B = 0.4/1 + 0.2/2 + 0.6/3 \quad (2.17)$$

İse

$$A \times B = 0.3/(1,1) + 0.2/(1,2) + 0.3/(1,3) + 0.4/(2,1) + 0.2/(2,2) + 0.5/(2,3) \quad (2.18)$$

Yukarıda oluşan denkleme göre bağlantı matrisi şöyle tanımlanır:

$$A \times B = \begin{bmatrix} 0.3 & 0.2 & 0.3 \\ 0.4 & 0.2 & 0.5 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

2.2.1.4 Bileşim kuralı

U evrensel kümesinden V evrensel kümesine R ile tanımlana bir bulanık ilişki vardır. X, U'nun alt kümesi olarak ve x tarafından kapsanan y V'nin alt kümesi olarak tanımlansın. Örneğin aşağıdaki gibi iki önerme tanımlayalım.

1. X çok küçüktür.
2. Eğer x küçük ise y büyüktür, değilse y büyük değildir.

Bu iki önermede y çıktısı, x' in birleşim operatörü ile bulanık ilişki R'dan oluşur.

$$y = x \circ R$$

X ile R bağıntı matrisleri olsunlar. Buna göre y, x ve R'nin max-min işlemi sonucu ortaya çıkar.

$$[0.2 \ 1 \ 0.3] \circ \begin{bmatrix} 0.8 & 0.9 & 0.2 \\ 0.6 & 1 & 0.4 \\ 0.5 & 0.8 & 1 \end{bmatrix} = [0.6 \ 1 \ 0.4] \quad (2.20)$$

$$x \circ R = y \quad (2.21)$$

Yukarıdaki örnekte de görüldüğü gibi X ve Y bulanık ilişkisi bir matris şeklinde elde edilir. Eğer birçok kural varsa, çok boyutlu matrise ihtiyaç duyulur ve bu çok boyutlu matrisi oluşturmak ve üzerinde işlem yapmak için, birçok “bulanık ilişki yöntemleri” geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları minimum ilişki, çarpım, aritmetik kural, max-min kural yöntemleridir.

Çıkarım Teknikleri:

Bulanıklaştırma işleminden sonar ya MAX-DOT ya da MAX-MIN bulanık çıkarım metodu kullanılmaktadır. Örneğin, iki tane bulanık kurala sahip bir bulanık kontrol tabanı olsun:

R1: Eğer $x = A_1$ ve $y = B_1$ O halde $z = C_1$.

R2: Eğer $x = A_2$ ve $y = B_1$ O halde $z = C_2$.

x_0 ve y_0 girişleri için kural tabanındaki kuralların α_1 and α_2 kullanılma ağırlığı şu şekilde olmaktadır:

$$\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0) \quad (2.22)$$

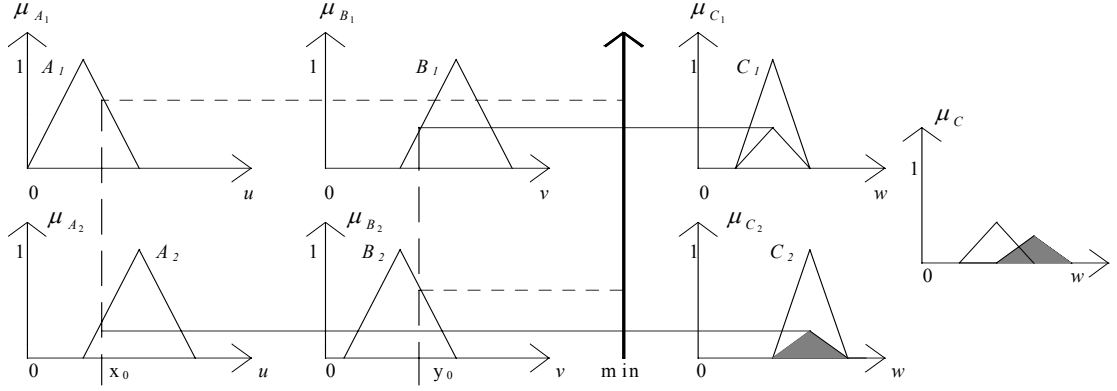
$$\alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0) \quad (2.23)$$

MAX-DOT bulanık muhakemede, Larsen'in çarpım operasyonu kural Rp bulanık çıkarım fonksiyonu olarak kullanılmaktadır. Larsenin'nin uygulama kuralına göre oluşturulan kontrol kuralı denklem 2.26 da gösterilmiştir. Çıkarım sonucu C'nin üyeliği şu şekilde açıklanır:

$$\mu_{C_i'}(w) = \alpha_i \cdot \mu_{C_i}(w) \quad (2.24)$$

$$\mu_C(w) = \mu_{C_1'} \vee \mu_{C_2'} \quad (2.25)$$

$$= [\alpha_1 \cdot \mu_{C_1}(w)] \vee [\alpha_2 \cdot \mu_{C_2}(w)] \quad (2.26)$$



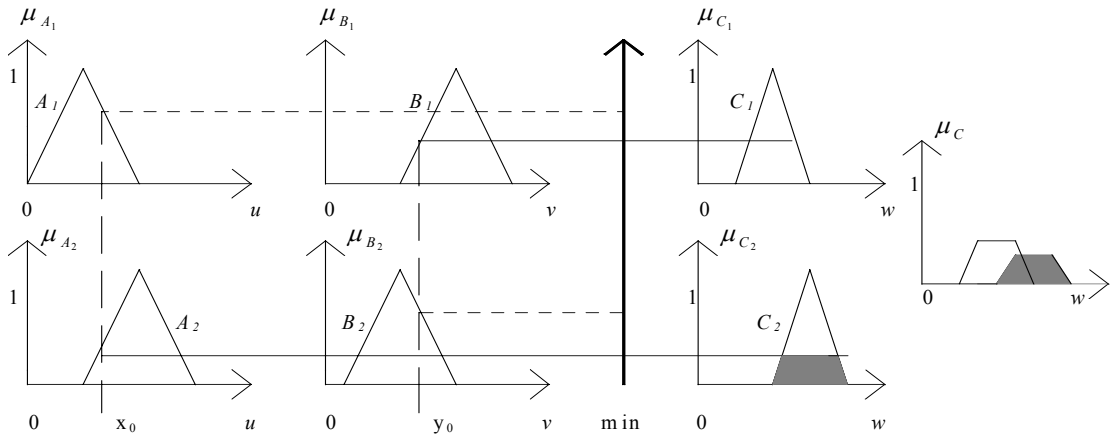
Şekil 2.3 : Larsen'in bulanık çıkarım kuralına göre, MAX-DOT bulanık uygulaması.

MAX – MIN bulanık muhakemede, bulanık çıkarım için Mamdani'nin minimum ilişki operasyonu kural R_c kullanılmaktadır. Mamdani'nin minimum uygulama kuralına göre oluşturulan kontrol kuralı 2.29 da gösterilmiştir. Çıkarım sonucu C 'nin üyeliği şu şekilde açıklanır:

$$\mu_{C_i'}(w) = \alpha_i \wedge \mu_{C_i}(w) \quad (2.27)$$

$$\mu_C(w) = \mu_{C_1'} \vee \mu_{C_2'} \quad (2.28)$$

$$= [\alpha_1 \wedge \mu_{C_1}(w)] \vee [\alpha_2 \wedge \mu_{C_2}(w)] \quad (2.29)$$



Şekil 2.4 : Mamdani'nin bulanık çıkarım kuralına göre, MAX-MIN bulanık uygulaması.

2.2.1.5 Netleştirme (Bulanıklık Giderme)

Netleştirme ünitesi, çıkarım ünitesinden gelen bulanık çıkış değerlerini ölçekler ve gerçek sayılara dönüştürür. Netleştirme ünitesinin iki fonksiyonu vardır. Birincisi, çıkış değişken değerler aralığını örnek uzaylara dönüştüren bir ölçek ve haritalama yapmasıdır. İkincisi ise, çıkarsama yapılmış kontrol işlemini kullanarak, bulanık olmayan kontrol işlemini sonuçlandıran bulanıksızlaştırmayı yapmasıdır [18]. Netleştirme metotlarından birisi kullanıldığında tek çıkış değeri elde edilir ve netleştirme işlemi tamamlanmış olur.

Netleştirme işleminde en çok kullanılan 2 metotlar şunlardır:

1. Maksimum Ortalamasını Alma
2. Alan Merkezi Metodu

Maksimum ortalamasını alma

Bulanık kümede en büyük değere sahip olan eleman veya elemanların değeri alınır. Maksimum değerlerin ortalaması “kesin değer” olarak alınır. Maksimum ortalamasını alma metodunun matematiksel ifadesi şöyledir:

$$z_0 = \sum_{i=1}^n \frac{w_i}{n} \quad (2.30)$$

Alan merkezi metodu

Alan merkezi metodu, ağırlık merkezi hesaplanarak uygulanmaktadır ve en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Metodunun matematiksel ifadesi şöyledir:

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_z(w_i) \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n \mu_z(w_i)} \quad (2.31)$$

3. YAPAY SİNİR AĞLARI

3.1 Genel Tanım

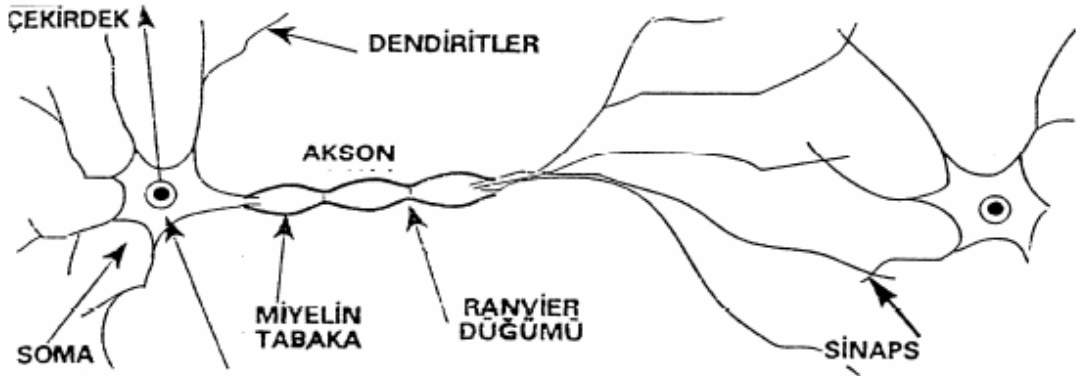
İnsanoğlunu oluşturduğu modellerde ve sistemlerde en çok kullandığı yöntemlerden biri doğayı araştırma ve taklit etmedir. Yapay sinir ağı sistemleri de, insan beynin ve sinir sisteminin taklit edilerek öğrenme, hatırlama, genelleme yapma yolu ile yeni bilgiler türetebilme gibi temel işlevlerini gerçekleştirmek üzere geliştirilen bir teknolojidir. Bir insanın, öğrenme, hatırlama ve genelleme yeteneklerini gerektiren problemlere yönelik çözümler üretebilmesinin temel sebebi insan beyninin ve dolayısıyla insanın sahip olduğu yaşayarak veya deneyerek öğrenme yeteneğidir. Diğer bir ifadeyle, YSA sistemleri, normalde bir insanın düşünme ve gözlemlemeye yönelik doğal yeteneklerini gerektiren problemlere çözüm üretmektedir [19]. Çizelge 3.1 de sinir sistemleri ve YSA sistemleri arasındaki bağıntılar gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Sinir sistemleri ve YSA sistemleri arasındaki bağıntılar.

SİNİR SİSTEMLERİ	YSA SİSTEMLERİ
Nöron	İşlem elemanı
Dendirit	Toplama fonksiyonu
Hücre gövdesi	Transfer fonksiyonu
Aksonlar	Eleman çıkışı
Sinapslar	Ağırlıklar

Beynin çalışması temel olarak 3 kısımdan oluşur. Bunlar; bilgi girişi, sentezleme ve karşılaştırma, bilgi çıkışı ve eylemden oluşur. Bu işlemleri oluşturan temel yapı

nöronlar yani sinir hücreleridir. Sinir hücreleri birbirleri ile bağlıdır ve bu şekilde bilgi akışını sağlarlar. Şekil 3.1 de basit bir nöron yapısı ve nöron yapısının 3 temel bölümü görülmektedir. Bunlar, hücre gövde kısmında bulunan çekirdek, dendirit ve aksonlar ve sinapslardır.



Şekil 3.1 : Nöron yapısı ve nöron yapısının üç temel bölümü.

Kısacası, nöronlar kendi aralarında bağlantılar kurarak, elektrik devrelerine benzer yollarla iletişim sağlayıp, beyin işlevlerinin ortaya çıkmasını sağlayan ana elemanlardır. Bu sistem bir bütün olarak, bir sinir bilimcinin bile hayal edebileceğinin çok ötesinde bir karmaşıklığa sahiptir [20].

Biyolojik sistemlerde öğrenme, nöronlar arasındaki sinaptik bağlantılar ile olur. İnsan beyni doğumdan itibaren sürekli bir öğrenme süreci içindedir. Beyin sürekli bir gelişme gösterir. Bu gelişim sadece yeni beyin hücrelerinin oluşumuyla değil, özellikle nöronlar arasındaki bağlantı ya da diğer bir ifadeyle sinaps sayısının artmasıyla meydana gelir [21].

Bilgisayarlar gün geçtikçe gelişmeye devam etse de insanın beyinsel yeteneğine göre çok daha zayıf sistemlerdir. Bilgisayarlar insanın beyinsel yeteneğinin en zayıf olduğu çarpma, bölme gibi matematiksel ve algoritmik hesaplama işlemlerinde çok daha başarılı olmalarına rağmen insan beyninin öğrenme ve tanıma gibi işlevlerini hala yeteri kadar gerçekleştirememektedir. Çizelge 3.2 de bilgisayar ve insan beyni arasındaki temel farklar gösterilmektedir.

Çizelge 3.2 : Bilgisayar ve insan beyni arasındaki temel farklar.

BİLGİSAYAR	İNSAN BEYİNİ
Sayısal	Analog
Seri	Paralel
Komut kümeli	Bilgiye adapte olma
Yanlışlar sonucu etkiler	Birimlerin ana işlemlere etkisi azdır.
Hatalı veriler sonucu etkiler.	Giriş verilerindeki hatalar her zaman sonucu etkilemez.

Günümüzde YSA, her ne kadar gerçek insan beyninin işlevselliğinden, öğrenme başarısından çok uzak olsalar da birçok alanda uygulamada kullanılmaktadır. YSA günümüzde insan beynini en iyi simule eden sistemdir. Bu yüzden karmaşık ve doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılmakta ve denenmektedir.

3.1.1 Yapay sinir ağlarının (YSA) kullanım alanları

YSA'nın doğrusal olmayan problemleri gözlemleyerek, öğrenerek ve genelleyerek çözebilme yeteneğinden dolayı nerdeyse her alanda kullanılmaya ve denenmeye başlandı. Başlıca kullanıldığı alanlar;

Elektrik-Elektronik mühendisliğinde sinyal işleme, görüntü işleme ve sıkıştırma, filtreleme, güç sistemlerinde harmonik tahmini, optik okuyucular ve haberleşme sistemlerinde kullanılmıştır.

Sistem ve kontrol mühendisliğinde, esnek kollu robot kontrolü, çok değişkenli ve yörüngeli hareket kontrolü, su sıcaklık ve akış kontrolü, endüstriyel robot kontrolü, iklimlendirme sistemlerinin kontrolü ve sistem kimliklendirme gibi alanlarda kullanılmıştır.

İmalat ve Makine Mühendisliğinde metal kesme tezgâhının kontrolü, güç tüketimi ve iş parçası ivmesi, parça gruplarının tasarımı, hareket eden nesnelere için yol planlaması, makine parametrelerinin optimizasyonu ve uçak kanat kutularının tasarımında uygulanmıştır.

Otomasyon ve Kontrol gerektiren sistemlerde, uçaklarda otomatik pilot sistemi otomasyonu, ulaşım araçlarında otomatik yol bulma ve gösterme, doğrusal olmayan sistemlerin modellenmesi ve kontrolü ve elektrikli sürücü sistemlerin kontrolünde kullanılmıştır.

Ayrıca savunma sanayinde silahlarda, hedef belirleme, görüntü tanıma ve alarm sistemlerinde, tıp alanında EEG ve ECG gibi tıbbi sinyal analizinde, kanserli hücre bulunmasında, protez tasarımında ve transplantasyon optimizasyonunda ve finans alanında borsa analizi, yatırım risk analizi ve pazarlama stratejisinde kullanılmıştır.

Arıza analizi ve tespitinde de YSA'lar başarılı sonuçlar verdiği elektrik makinelerinde, uçak motorlarında ve bütünleşmiş devre sistemlerinde kullanılmıştır.

3.1.2 Yapay sinir ağlarının kısa tarihçesi

1942: Walter Pitts ve Warren McCulloch tarafından biyolojik nöronların ilk modeli oluşturuldu.

1949: Hebb nöronların arasındaki bağlantı öğrenimi için adını verdiği Hebbian kuralını ortaya koydu.

1958: Rosenblatt, perseptron modelini ve öğrenme kuralını ortaya çıkardı. Bu YSA için ilk yükselişe geçilen tarih oldu.

1960-1962: Widrow ve Hoff tarafından ADALINE ve LMS kuralı geliştirildi.

1969: Minsky ve Papert, tek katmanlı algılayıcı model ile ilgili ciddi problemlerin olduğunu ortaya çıkardı. Bu algılayıcıların doğrusal olduklarını ve XOR gibi doğrusal olmayan fonksiyonları çözemediklerini ortaya çıkardı.

1974: Werbos geriye yayılım algoritmasını ortaya attı.

1982: Hopfield YSA'nın birçok problemi çözebilecek kabiliyeti olduğunu gösterdi. Optimizasyon gibi teknik problemleri çözmek için doğrusal olmayan Hopfield ağını geliştirdi.

1986: Rumelhart çok katmanlı algılayıcıları geriye yayılım algoritmasını tekrar ortaya çıkardı. Böylelikle algılayıcılar doğrusal olmayan yapıları gerçekleyebilecekleri ortaya çıktı. YSA'larına ilgi yeniden arttı.

3.2 Yapay sinir ağlarının özellikleri

- Doğrusal Olmama

YSA temel elemanlarından olan yapay sinir hücrelerinin (nöron) doğrusal değildir. Dolayısıyla hücrelerin birleşmesinden meydana gelen YSA da doğrusal değildir ve bu özellik bütün ağa yayılmış durumdadır. YSA'nın bu özelliğe sahip olmasından dolayı karmaşık problemlerin çözümünde de sıkça kullanılmaktadır. Özellikle doğrusal olmayan ve tahmin gerektiren hesaplamalarda kullanılmaktadır.

- Öğrenme

YSA'nın özelliği tam tanımlı olamayan problemlere çözüm üretebilmesidir. Diğer yöntemlerin çoğu veri tabanı ve hesaplamalar kullanılarak algoritma oluşturmaya dayanır. Bu yöntemler ile tam tanımlanabilen problemler çözülebilir. YSA problemleri verilen örneklerle çözer. Çözülecek problemler için yapı aynıdır. YSA'nın istenilen biçimde çalışması için hedefe göre ayarlanması gerekir. Bu, hücreler arasında doğru bağlantıların yapılması ve bağlantıların uygun ağırlıklara sahip olması gerektiğini ifade eder. YSA'nın doğrusal olmayan yapısı nedeniyle bağlantılar ve ağırlıklar önceden ayarlı olarak verilemez ya da hesaplanamaz. Bu nedenle YSA, istenen davranışı gösterecek şekilde ilgilendiği problemde aldığı eğitim örneklerini kullanarak problemi öğrenmelidir. Ağlar örneklerle eğitilirler. İki öğrenme stratejisi söz konusudur. Bunlar danışmalı ve danışmasız öğrenmedir.

- Uyarlanabilirlik

YSA, ilgilendiği problemdeki değişikliklere göre ağırlıklarını ayarlar. Yani, problemde oluşan değişikliklere göre YSA kendini tekrar sisteme uygun hale

getirebilmek için eğitilebilir, sürekli değişim olan sistemlerde gerçek zamanlı eğitimlere devam edilebilir. Bu özelliği ile YSA, uyarlamalı örnek tanıma, sinyal işleme, sistem tanılama ve denetim gibi alanlarda değişim gösteren problemlere çözüm getirebilen bir sistem olarak kullanılmaktadır.

- Hata Toleransı

Sayısal sistemlerde, herhangi bir işlem elemanın da veya sırasında oluşabilecek hatalar, çalışan sistemi tamamen etkisiz ve çalışmaz hale getirmektedir. Seri bilgi işlem yapan bir sistemde de herhangi bir birimin hatalı çalışması, bozulmuş olması veya herhangi bir sebepten dolayı etkisiz hale gelmesi de tüm sistemin hatalı çalışmasına veya bozulmasına sebep olacaktır. YSA'nın yapısal özelliğinden dolayı çalışma sistemi bu iki soruna da çözüm sunmaktadır. YSA, çok sayıda hücrenin çeşitli şekillerde bağlanmasından oluştuğundan paralel dağılmış bir yapıya sahiptir. Bu yapısından dolayı ağdaki bilgiler, bütün bağlantılar üzerine dağılmış durumdadır. Paralel bilgi işleme yapısına sahip olan YSA sistemin ayrı ayrı işlem hücrelerinde meydana gelecek olan hatalı çalışma veya hasar, sistemin performansında keskin bir düşüşe yol açmadan, performansın sadece hata birimlerinin bir oranınca düşmesine sebep olur. Bu nedenle, eğitilmiş bir YSA'nın bazı bağlantılarının hatta bazı hücrelerinin etkisiz hale gelmesi, ağın doğru bilgi üretmesini önemli ölçüde etkilemez. Paralel çalışma yapısı ve bilginin bütün hücrelere dağılmış olması sayesinde, geleneksel yöntemlere göre hatayı tolere etme yetenekleri son derece yüksektir.

- Paralellik

Sayısal ve seri bilgi işlem yapan sistemlerin problem çözme algoritmalarının aksine YSA paralel çalışmaya uygun bir yapıya sahiptir. Bu özelliği sayesinde çok daha hızlı ve hata toleranslı problem çözebilme yeteneğine sahip olmuştur.

- Genelleme

YSA üzerinde çalıştığı probleme göre eğitildikten sonra eğitim sırasında karşılaşmadığı durumlar için de yanıt verebilir. Bu özelliği sinyal işleme ve görüntü

tanıma da sıkça kullanılır. Örneğin sisteme tanıttığınız bir cisim, başka bir resmin içinde tanıyabilir.

- Donanım ve Hız

YSA paralel yapısı nedeniyle hızlı bir şekilde çalışıp problem çözme yeteneğine sahiptir. Aynı özelliğinden dolayı donanım üzerinde de kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Bu özellik, YSA'nın hızlı bilgi işleme yeteneğini artırır ve gerçek zamanlı uygulamalarda arzu edilir.

- Analiz ve Tasarım Kolaylığı

YSA'nın temel yapı taşı olan yapay sinir yapısı bütün YSA da aynıdır. Bundan dolayı yapay sinir hücrelerinin tasarımından sonra bu temel eleman ile YSA kolaylıkla oluşturulabilir. YSA'nın temel yapısının da aynı olmasından dolayı bu ağlar her türlü problemin çözümünde kullanılabilir.

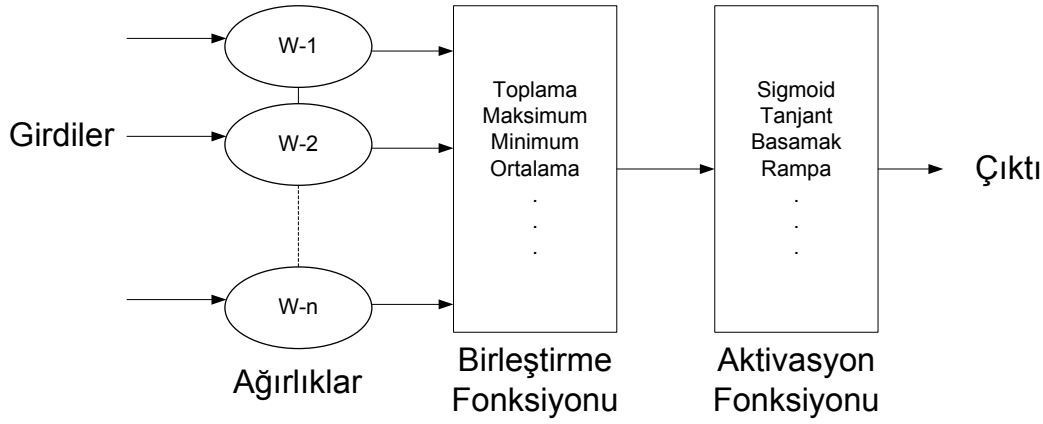
Dezavantajları

- Sinir ağlarının eğitilebilmesi ve test edilebilmesine yetecek kadar veri setinin gerek olması.
- Uygun ağ yapısının belirlenmesi
- Gizli katmandaki nöron sayısının etkisi.
- Diğer birçok tahmin yöntemi gibi bir model oluşturmaz ve parametre tahminlerini vermez.
- Hatalı öğrenme durumu.

3.3 Yapay Nöron Modeli

YSA'nın en küçük ve temel elemanı, nöronlardır. Nöronlar, işlemlere giren elemanlar oldukları için işlem elemanı olarak da bilinirler. YSA'nın içinde bulunan tüm nöronlar bir veya daha fazla girdi alabilirler ve tek bir çıktı oluştururlar. Yapay nöron modeli şekil 3.2 de görüldüğü gibi 5 bölümden oluşurlar.

Bunlar; girdiler, ağırlıklar, birleştirme fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktıdır.



Şekil 3.2 : Yapay nöron modeli.

3.3.1 Girdiler

Dış ortamdan ya da nöronlardan hücreye aktarılan bilgiye girdi denir.

3.3.2 Ağırlıklar

Girdiler, nörona girişler yoluyla hücreye ulaşır. İşlemde ilk adım, bu girdi değerlerin her birinin ilgili ağırlıklarla eşleştirilmesidir. Bir nöron bir veya birden çok sayıda girdi alabilir. Her girdinin kendine özgü ağırlığı vardır. Bu bağlantı ağırlıkları, çeşitli eğitime setlerine göre değiştirilebilirler. Ağırlıklandırmadan sonra, bu değiştirilmiş girdiler birleştirme fonksiyonuna gönderilirler.

3.3.3 Birleştirme fonksiyonu

Birleştirme fonksiyonu, bir hücreye gelen net girdiyi hesaplayan bir fonksiyondur. Birleştirme fonksiyonunda, adından da anlaşılacağı gibi, genelde toplama işlemi yapılmaktadır fakat birçok farklı işlem çeşidi toplama fonksiyonu için kullanılabilir. Toplama fonksiyonu, bu basit çarpımlar toplamına ek olarak, minimum, maksimum, mod, çarpım veya kendi oluşturacağınız işlemlerden birisi olabilir. Girdileri birleştirecek olan algoritma genellikle oluşturulan veya seçilen ağ yapısına bağlıdır.

Bu işlem aktivasyon fonksiyonuna girdi oluşturur. Genellikle net girdi, girişlerin ilgili ağırlıklı çarpımlarının toplamıdır. Aşağıda sistem denkleme edilmiştir:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (3.1)$$

$$v = \sum x_i A_i + \theta \quad (3.2)$$

$$y = F(v) \quad (3.3)$$

Burada A_i , nöronun ağırlık matrisi, x nöronun giriş vektörü, v nöronun net girişi ve y çıkışı temsil eder.

3.3.4 Aktivasyon fonksiyonu

Aktivasyon fonksiyonunun sonucu genellikle işlem elemanının çıktısıdır. YSA modellerinde sistemin çalışmasına ve gerçekleştireceği işleme göre farklı aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Aktivasyon fonksiyonunun seçimi çoğunlukla uygulamaya ve ağırlık öğrenileceği yapıya bağlıdır. En uygun aktivasyon fonksiyonu tasarımcının denemeleri sonucunda belli olur.

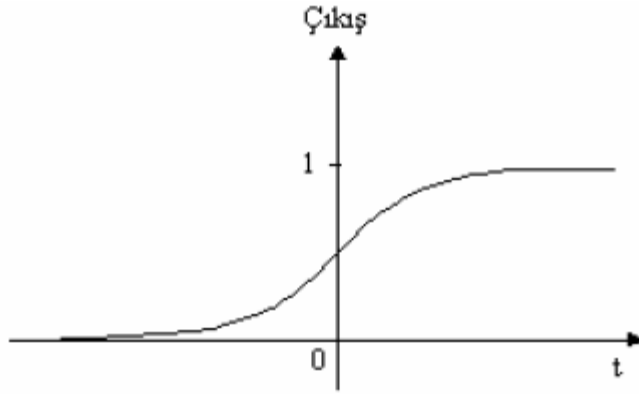
Aktivasyon fonksiyonu YSA'nın yapısından ve kullanım amacından dolayı genellikle doğrusal olmayan bir fonksiyondur. Doğrusal fonksiyonlar genelde tercih edilmez çünkü doğrusal fonksiyonlarda çıktı, girdi ile orantılıdır. Genellikle kullanılan transfer fonksiyonları eşik, sigmoid, hiperbolik tanjant vb. fonksiyonlardır.

Nöron modellerinde yaygın olarak kullanılan çeşitli aktivasyon fonksiyonları aşağıda tanıtılmıştır.

3.3.4.1 Sigmoid aktivasyon fonksiyonu

Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu, sürekli, sınırlı, doğrusal olmayan ve monoton artan bir fonksiyon fonksiyonudur. Bu özellikleriyle doğrusal olmayan problemlerin çözümünde, karmaşık ilişkilerin ayrıştırılmasında başarılı olduğundan dolayı en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından biridir. Bu fonksiyon, her girdi kombinasyonu için sıfır ile bir arasında bir değer üretir. Sigmoid aktivasyon fonksiyonunun denklemi ve grafiği aşağıda gösterilmiştir.

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} \quad (3.4)$$

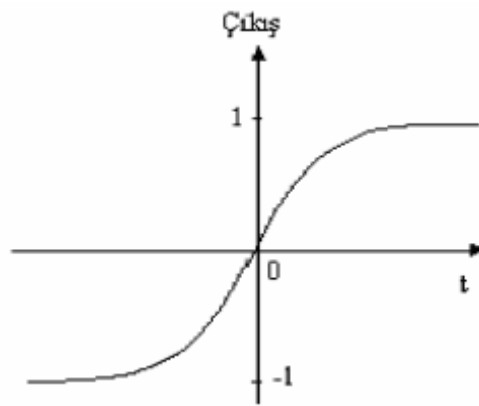


Şekil 3.3 : Sigmoid aktivasyon fonksiyonu.

3.3.4.2 Tanjant hiperbolik

Tanjant hiperbolik fonksiyonu, sigmoid fonksiyonunun çıktı aralığının 0,1 aralığından -1,1 aralığına genişletilmiş halidir. Giriş uzayının genişletilmesinde etkili bir aktivasyon fonksiyonudur. Tanjant hiperbolik fonksiyonun denklemi ve grafiği aşağıda gösterilmiştir.

$$y = \frac{1-e^{-2v}}{1+e^{2v}} \quad (3.5)$$

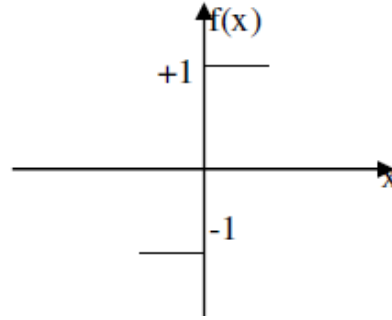


Şekil 3.4 : Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu.

3.3.4.3 Basamak fonksiyonu

Girdilerin sıfırdan büyük olup olmamasına göre -1 veya 1 çıktısı veren fonksiyondur. Sadece iki çeşit çıktı vermektedir. Basamak fonksiyonun denklemleri ve grafiği aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} x > 0 &\rightarrow f(x) = 1 \\ x < 0 &\rightarrow f(x) = -1 \end{aligned} \quad (3.6)$$

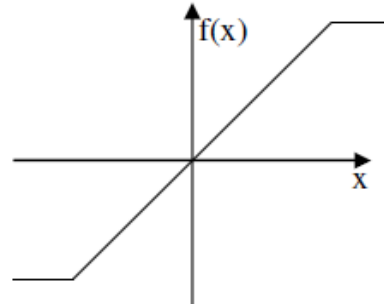


Şekil 3.5 : Basamak aktivasyon fonksiyonu.

3.3.4.4 Rampa eşik fonksiyonu

Doğrusal fonksiyonun $[-\tau, +\tau]$ sınırları arasında kısıtlandığında oluşan fonksiyona rampa eşik fonksiyonu denir. Rampa eşik fonksiyonun denklemleri ve grafiği aşağıda gösterilmiştir.

$$f(x) = \begin{cases} +\tau & \rightarrow x \geq \tau \\ x & \rightarrow |x| < \tau \\ -\tau & \rightarrow x \leq -\tau \end{cases} \quad (3.7)$$



Şekil 3.6 : Rampa eşik fonksiyonu.

3.3.5 Çıktı

Girdi sinyallerinin, ağırlıklandırıldıktan sonra birleştirme fonksiyonu ve aktivasyon fonksiyonundan geçmesiyle ortaya çıkan sonuçtur. Sistemin tek bir çıktı değeri oluşur.

3.4 YSA'ların Yapılarına Göre Sınıflandırılması

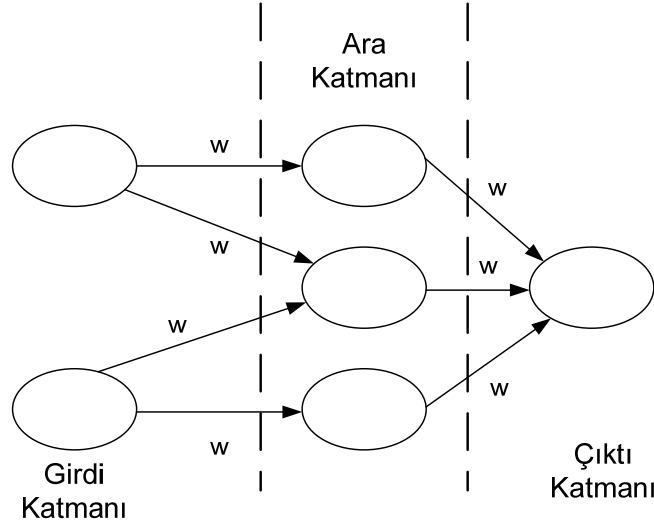
YSA'lar, yapılarına göre, ileri beslemeli ve geri beslemeli ağlar olmak üzere iki şekilde sınıflandırılırlar.

3.4.1 İleri beslemeli ağlar

İleri beslemeli ağlarda nöronlar girişten çıkışa doğru düzenli katmanlar şeklindedir. İleri beslemeli YSA genellikle üç temel katmandan oluşurlar. Bunlar; giriş, ara ve çıkış katmanlarıdır. Bu katmanlar arasında bir katmandan sadece kendinden sonraki katmanlara bağ bulunmaktadır. Herhangi bir katmanda yer alan bir nöron, bulunduğu katmandaki nöronlarla bağlantı kurmaz, girdiği ve çıktığı katmandaki nöronlarla bağlantı kurar.

Giriş katmanındaki her sinir hücresi dış ortamdaki bir değişkenle eşleşir ve dış ortamdan aldığı bilgileri doğrudan orta katmandaki hücelere iletir. Ara katmana ulaşan bilgiler sırasıyla bu katmanda ve çıktı katmanında işlenerek, sinir hücreleriyle dış ortama taşınır.

İleri beslemeli ağlar, doğrusal olmayan bir yapıya sahiptir. Geriye yayılım öğrenme algoritması, ileri beslemeli YSA'ların eğitiminde etkin olarak kullanıldığından, bu ağlara geriye yayılım ağları da denmektedir. İleri beslemeli ağlara, en çok kullanılan çok katmanlı ağlar örnek gösterilir. Şekil 3.7 de giriş, orta ve çıkış katmanı olmak üzere 3 katmanlı ileri beslemeli YSA yapısı verilmiştir.



Şekil 3.7 : 3 katmanlı ileri beslemeli YSA yapısı.

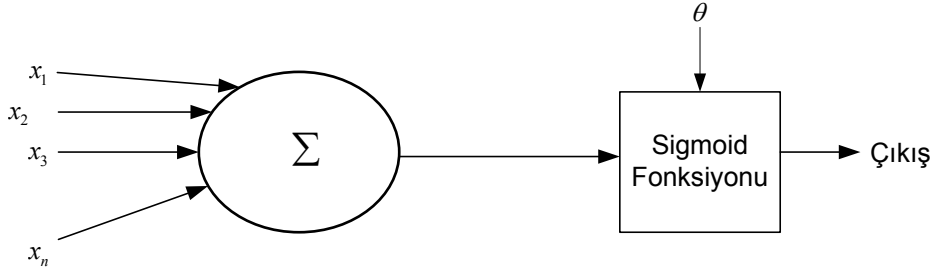
3.4.2 Geri beslemeli ağlar

Bu yapısı ile geri beslemeli YSA doğrusal olmayan dinamik bir davranış göstermektedir. Geri besleme özelliğini kazandıran bağlantıların bağlantı şekline göre geri aynı yapay sinir ağıyla farklı davranışta ve yapıda geri beslemeli YSA elde edilebilir.

Geri beslemeli YSA'da, bir nöronun çıktısı sadece kendinden sonra gelen nöron katmanına girdi olarak verilmez. Kendinden önceki katmanda veya kendi katmanında bulunan herhangi bir nörona girdi olarak bağlanabilir. Bu yapısı ile geri beslemeli YSA doğrusal olmayan dinamik bir davranış göstermektedir. Nöronların kendine ve kendinden önceki katmana bağlanma özelliklerinde dolayı, çıktıda hem o andaki hem de önceki girişleri çıktı olarak verebilirler. Bu ağlara örnek olarak Hopfield, Elman ve Jordan ağları verilebilir.

3.5 Çok Katmanlı Ağlar

Tek katmanlı algılayıcılar ilk olarak 1962 yılında Rosenblat tarafından görsel algıyı modellemede kullanıldı. Tek katmanlı algılayıcılar Şekil 3.8 de görüldüğü gibi sadece girdi ve çıktı katmanlarından oluşur.



Şekil 3.8 : Tek katmanlı ağlar.

Tek katmanlı ağın çıktısı, ağırlıklandırılmış girdi değerlerinin eşik değeri ile toplanması sonucunda oluşur. Bu yapıdan dolayı tek katmanlı algılayıcıların çıktı fonksiyonu doğrusaldır. Tek katmanlı ağın çıktı fonksiyonu denklem 3.8 de gösterilmiştir. Tek katmanlı ağ yapısında oluşturulan doğru ile iki sınıf birbirinden ayrılmaya çalışılır.

$$\text{Çıkış} = f(\sum w_i x_i + \theta) \quad (3.8)$$

Tek katmanlı ağlara örnek olarak en çok and ve or fonksiyonları gösterilir.

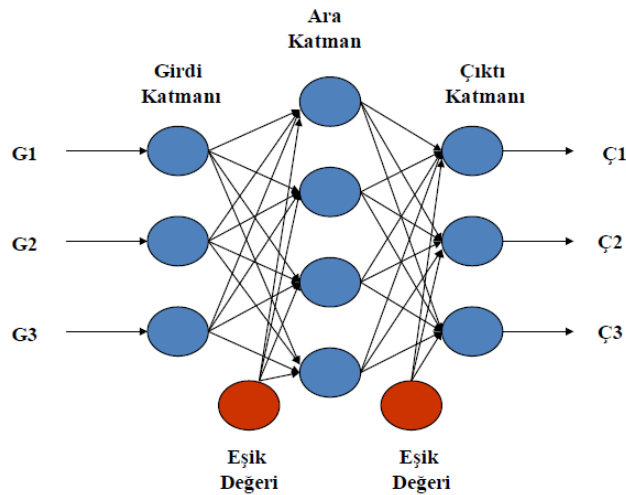
Minsky, tek katmanlı algılayıcı ağlar için algılayıcı model ile ilgili ciddi problemler ortaya çıkmıştır ifadesini ortaya atmıştır [22]. Tek katmanlı algılayıcı modelinin doğrusal olmayan problemlere çözüm getirmediğini göstermiş, örneğin XOR fonksiyonu gibi doğrusal olmayan problemlerin tek katmanlı algılayıcı ağı ile gerçekleştirilemeyeceğini kanıtlamıştır. Bunun sonucunda, YSA'ların doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılamayacağını düşünülmüştür. Bilimsel çalışmalarda ve günlük hayattaki problemlerin çoğunun doğrusal olmamasından dolayı YSA'lar doğrusal olmayan sistemlere uygulanmaya çalışmıştır.

Rumelhart ve arkadaşları tarafından doğrusal olmayan problemleri çözmek için çok katmanlı algılayıcı modelini geliştirmişlerdir. Bu modele hata yayma modeli veya geriye yayılım modeli de denilmektedir. Bu modelin bir adının da hata yayma modeli olmasının sebebi, modelin hatayı ağı yayarak, ağın beklenen çıktısı ile üretilen çıktı arasındaki hatayı en aza indirmeye çalışmasıdır. ÇKA modeli bulunmasıyla beraber YSA kullanımında yeni bir dönem başlamıştır. Bu modelin doğrusal olmayan problemlerin kullanımını hızlı bir şekilde yayılmıştır.

Çok katmanlı algılayıcılar modelinde, adında da anlaşılacağı gibi bir veya birden çok ara katmandan oluşmaktadır. Şekil 3.9 da görüldüğü gibi ÇKA yapısında bir giriş, bir veya daha fazla ara ve bir de çıkış katmanından oluşur. Bir katmandaki işlem elemanları bir üst katmandaki işlem elemanlarına bağlıdır.

Giriş katmanında dış dünyadan gelen bilgiler sisteme alınır ve ara katmana gönderilir. Her bir girdi elemanı için bir çıktı oluşmaktadır. Birçok giriş için genellikle bir nöron yeterli olmayabilir, bu yüzden katman kavramı kullanılarak paralel işlem yapan birden fazla nöron kullanılır. Ara katmanlarda girdi katmanında gelen bilgiler işlenir. Çok katmanlı ağ modelinde birden fazla ara katman olduğundan dolayı, birden fazla işlem yapılır. Son katman olan çıkış katmanına ara katmanlarda işlenmiş bilgiler gelir. Bu bilgiler ağa girdi katmanından verilen girdilere karşılık ağın ürettiği çıktıları belirleyerek sistem çıktısını verir.

ÇKA modeli danışmalı öğrenmeli yöntemiyle eğitilirler. Ağ örnekler ve örneklerden elde edilmesi gereken çıktılar verilir. ÇKA modeli, bu örneklerden verilerden yararlanarak genelleme yapar ve çözüm kümesini oluşturur. Daha sonra girdilere göre bu çözüm kümesini kullanarak çıktılar üretirler. YSA'nın delta öğrenme kuralını kullanan bu ağ modeli, özellikle sınıflandırma, tanıma ve genelleme yapmayı gerektiren problemler için çok önemli bir çözüm aracıdır.



Şekil 3.9 : Çok Katmanlı ağların yapısı.

Geri yayılma ağlarda çok çeşitli öğrenme kuralı, hata fonksiyonları ve transfer fonksiyonları kullanılabilir. Öğrenme kuralı olarak genellikle Delta Öğrenme Kuralı kullanılır. Bu algoritma, hataları geriye doğru çıkıştan girişe azaltmaya çalışmasından dolayı geri yayılım ismini almıştır. Delta kuralı, ağın çıktısı ile istenilen çıktı arasındaki farkın hesaplanması ile başlar. Yani ilk hatanın bulunması delta kuralının başlangıç noktasıdır. Bu hata kullanılarak bağlantı ağırlıkları belirli bir doğruluk derecesi faktörüne göre güncellenir. Ağın öğrenilmesi için örneklerden oluşan eğitim setine ihtiyaç duyulur. Eğitim setine ait girdi verileri ağın girdi katmanına verilir ve istenilen çıktılarla karşılaştırmak için çıktı katmanı kullanılır. Delta kuralı iki ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar;

1. İleri doğru hesaplama (Feed Forward)
2. Geri doğru hesaplama (Back propagation)

3.5.1 İleri doğru hesaplama

İleri doğru hesaplamada sisteme eğitim setine ait verilerin girdi katmanından ağa sokulmasıyla başlar. Girdiler buradan ara katmana ulaşır. Şekil 3.10 da girdi katmanındaki elemanlara karşılık gelen çıkış elemanları gösterilmektedir. Her girdi elemanına ara katmana bağlantı ağırlıklarının oranında gelir. Ara katmandaki işlem elemanlarına gelen net girdi denklem 3.9 kullanılarak hesaplanır.

$$Net_j^a = \sum_{k=1}^n A_{kj} C_k^i \quad (3.9)$$

A_{kj} : k. girdi elemanını j. ara katman elemanına bağlayan bağlantının ağırlık değeri

J. ara katman elemanın çıktısı ise denklem 3.10 hesaplanan sonucun bölüm 3.3.4 de belirttiğimiz aktivasyon fonksiyonundan birinden geçirilmesiyle hesaplanır.

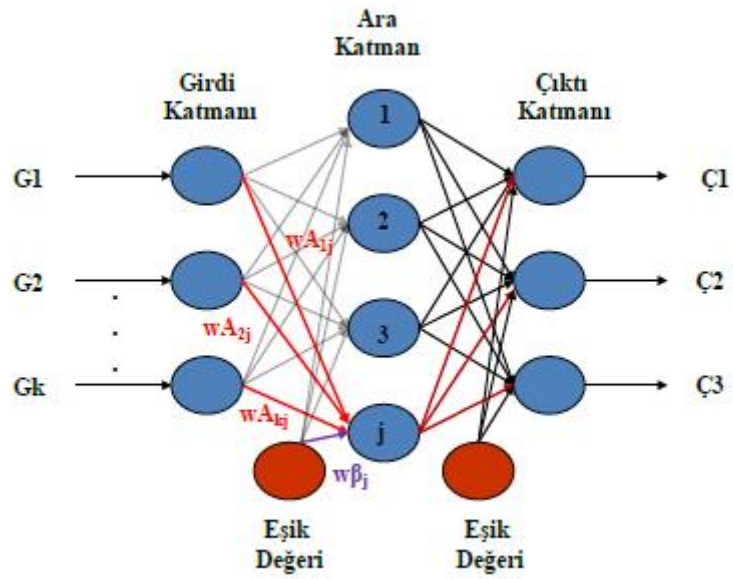
Sigmoid fonksiyonun kullanılması halinde çıktı:

$$C_j^a = \frac{1}{1 + e^{-(Net_j^a + \beta_j^a)}} \quad (3.10)$$

ζ_j^a : Ağın çıktısı

β_j^a : ara katmanda bulunan j. eleman bağlanan eşik değer elemanın ağırlığını göstermektedir.

Eşik değer çıktısı sabit olup 1'e eşittir. Eğitim sırasında ağ bu değeri kendisi belirlemektedir.



Şekil 3.10 : Çok katmanlı ağlar ve Ağırlıklandırmalar.

İleri doğru hesaplama sistemi üç bölümde özetlenecek olursa:

1. Girdi katmanına gelen girdiler ara katmana ağırlıkları oranında aktarılır
2. Ara katmanda net girdi denklemi kullanılarak aktivasyon fonksiyonuna girdi oluşturur.
3. Seçilen aktivasyon denklemi uygulanarak çıktılar oluşturulur.

3.5.2 Geri doğru hesaplama

Geri doğru hesaplamada sistemin eğitim setinde bulunan beklenen çıktılar, ağa verilen girdilere karşılık ağın ürettiği çıktılarla karşılaştırılır. Bunlar arasında oluşan

fark ağın o girdiye karşılık oluşan hatasıdır. Çıktı katmanındaki j.Eleman için oluşan hata denklem 3.11 de gösterilmiştir.

$$E_j = B_j - C_j \quad (3.11)$$

Burada E_j oluşan hatayı, B_j beklenen çıktıyı ve C_j de ağı oluşturduğu çıktıyı gösterir.

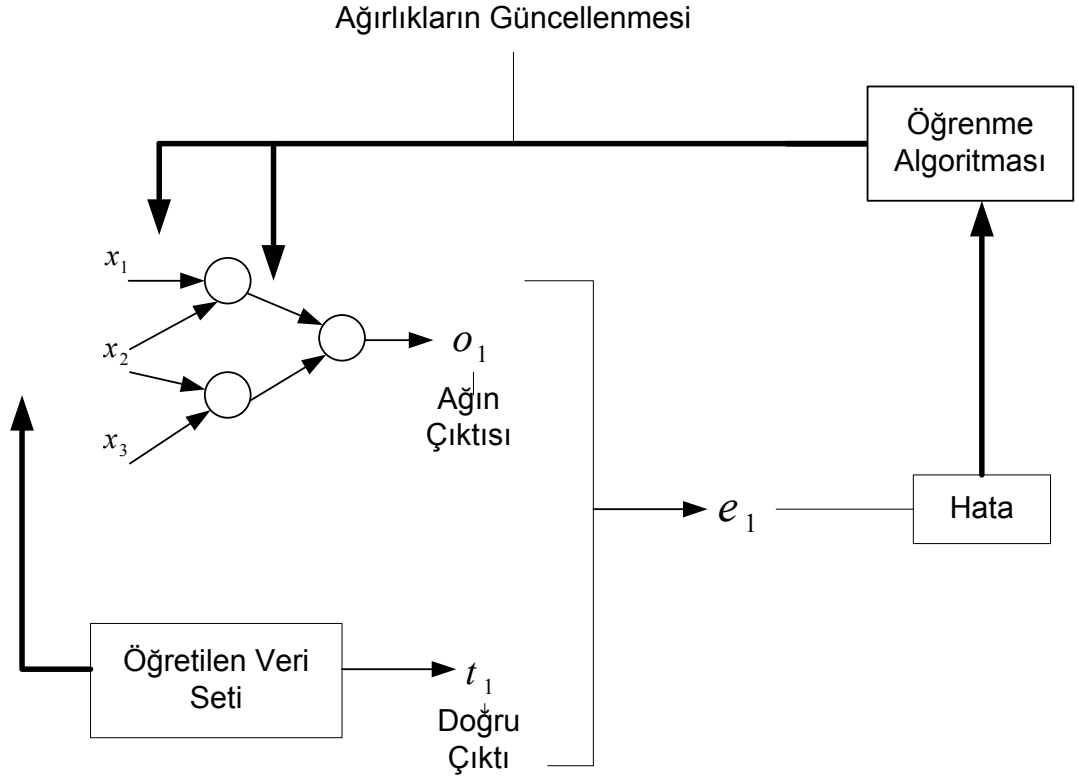
Geriye doğru hesaplama sisteminde hedef hatanın iteratif olarak düşürülmesidir. Bu hata ağı ağırlık değerlerine dağıtılarak bir sonraki iterasyonda hatanın azaltılmasını sağlar. Çıktı katmanında oluşan toplam hatayı bulmak için ağda oluşan bütün hatalar toplanır. Toplam hata denklemi 3.12 de gösterilmiştir.

$$TH = \frac{1}{2} \left(\sum E_m^2 \right) \quad (3.12)$$

Toplam hatayı en aza indirmek için hataya neden olan işlem elemanlarına dağıtılması gerekmektedir. Bu işlemin yapılması için ağı ağırlıklarını değiştirmek gerekmektedir. Bu işlem iteratif olarak ağı hatasının azalmasına göre yapılır. Denklem 3.13 de gösterilen denklem ağı ağırlığının iteratif olarak değiştirilmesini göstermektedir.

$$A(k+1) = A(k) + \alpha(k)\delta(k) \quad (3.13)$$

Burada, $A(k)$ bağlantı ağırlığını ve $\delta(k)$ ise ağırlık değişiminin eğim bileşenini göstermektedir. Burada α sabit bir öğrenme oranıdır. Her bağlantı için değişken öğrenme oranı $\alpha(k)$ atanır ve bağlantı ağırlığının güncellenir. İşlem hata en aza indirilene kadar iteratif olarak devam eder.

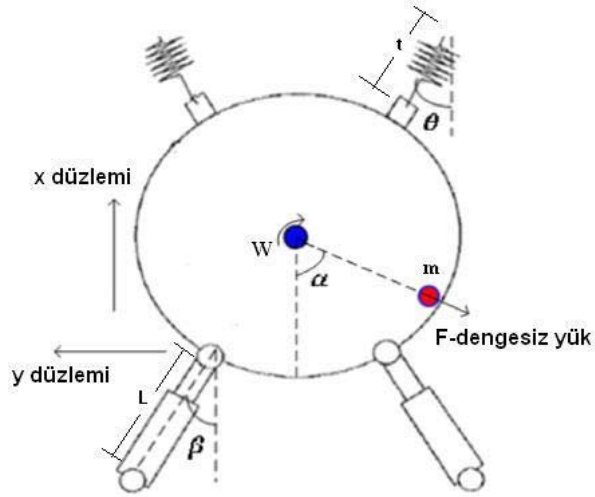


Şekil 3.11 : Çok katmanlı ağlarda hesaplama.

4. ÇAMAŞIR MAKİNESİNİN DİNAMİK MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU

4.1 Dinamik Modellenmesi

Çamaşır makinelerinde DY'nin oluşturduğu salınımları ve titreşimleri önlemek için sönümleyici ve taşıyıcı elemanlar kullanılmaktadır. Yaylar sistemde taşıyıcı ve amortisörlerde sönümleyici elemanlardır. Birden fazla sayıda ve farklı geometrilere sisteme bağlanabilirler. Şekil 4.1 de çamaşır makinesinin iki düzlemdeki basit modeli görülmektedir. Sistemde kazan, üst kısımdan bağlanmış iki adet yay ve alttan bağlanmış iki adet amortisörden oluşmaktadır.



Şekil 4.1 : Çamaşır makinesinin iki düzlemdeki basit modeli.

İki düzlemdeki basit modeli, dinamik modellenmesine Newton'un ikinci kuralı olan kuvvet denklemiyle başlanmıştır. Newton'un ikinci kuralına göre sistemdeki toplam kuvvet, sistemin ivmelenmesi ve toplam kütle ile çarpımına eşittir. Denklem 4.1 de sistemin temel kuvvet denklemdir.

$$F_{toplam-kütle} = (m_{dengesiz-yük} + m_{yük})\ddot{x} \quad (4.1)$$

Sistemin taşıyıcıları olarak bilinen yayların denklemi, yay sabiti ve yayın sıkıştırılmasına bağlı olarak değişmektedir. Şekil 4.1 de sistemde yaylar sisteme θ açısıyla bağlanmıştır. Bağlanma açısına göre oluşan kuvvetler dağılmıştır.

$$F_{yay} = kx \quad (4.2)$$

$$F_{yay-x} = kx \sin \theta \quad (4.3)$$

$$F_{yay-y} = kx \cos \theta \quad (4.4)$$

Sistemin sönümleyicileri olarak bilinen amortisörlerin denklemi, amortisör sabiti ve amortisörün hareketindeki hıza bağlı olarak değişmektedir. Şekil 4.1 de sistemde amortisörler sisteme β açısıyla bağlanmıştır. Bağlanma açısına göre oluşan kuvvetler dağılmıştır.

$$F_{amortisör} = c\dot{x} = \mu SP_n \text{sign}(\dot{x}) \quad (4.5)$$

$$F_{amortisör-x} = \mu SP_n \text{sign}(\dot{x}) \quad (4.6)$$

$$F_{amortisör-y} = \mu SP_n \text{sign}(\dot{y}) \quad (4.7)$$

Sistemde hareket ve titreşimin oluşmasına neden olan kuvvet, oluşan DY'nin merkez kaç etkisinden dolayı oluşturduğu kuvvettir. Dönen sistemlerde oluşan kuvvetin denklemi, aşağıdaki denklem 4.8 den edilmiştir.

$$F_{dengesiz-yük} = m_{dengesiz-yük} r \omega^2 \quad (4.8)$$

Yukarıda ayrı ayrı işlediğimiz kuvvet ve hareket denklemlerini birleştirip genel sistem olarak incelediğimizde iki tane hareket denklemi elde ederiz. Bunlar x ve y yönünde oluşan denklemlerdir. X düzleminde oluşan hareketleri belirten denklem 4.9 da gösterilmiştir. Y düzleminde oluşan hareketleri belirten denklem ise 4.10 da gösterilmiştir.

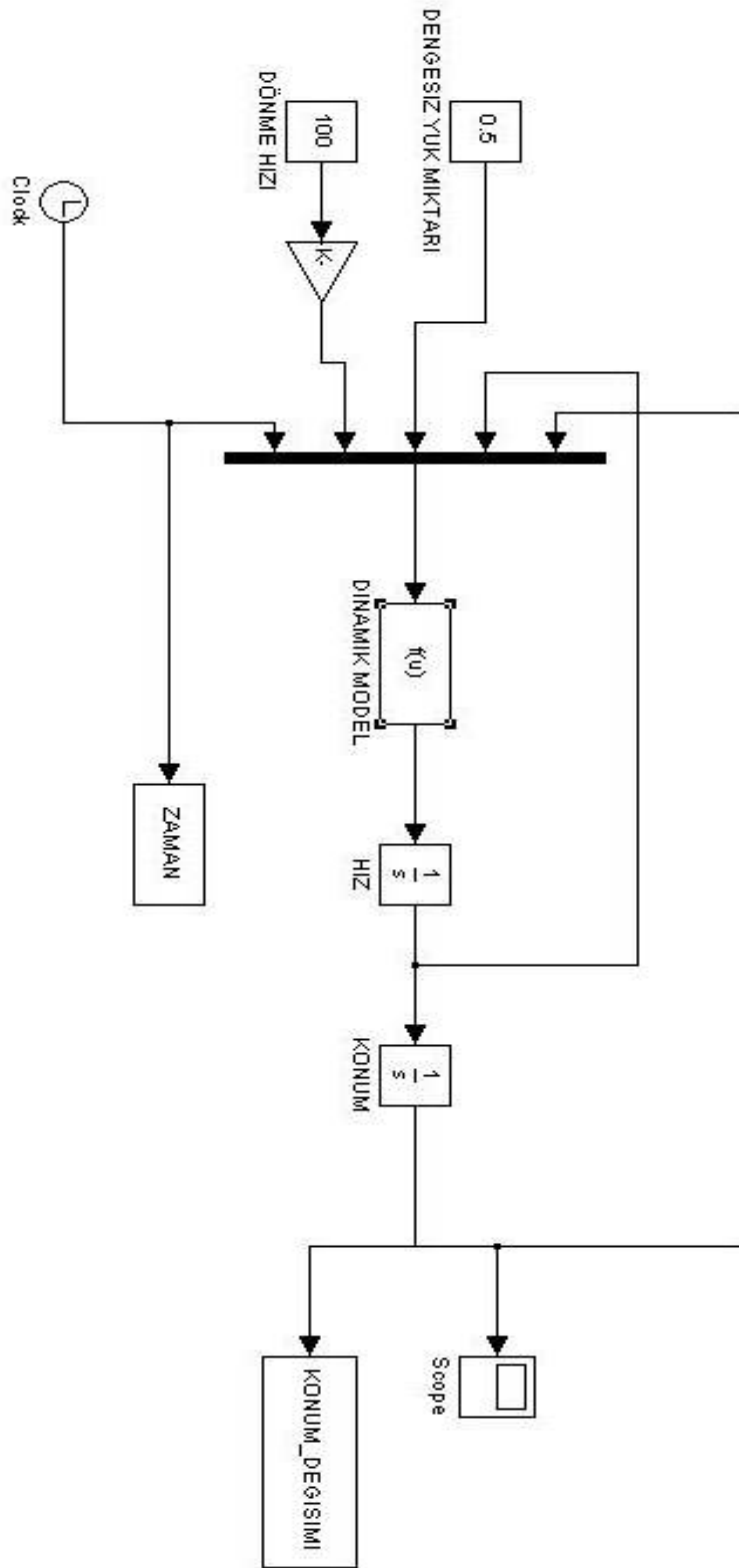
$$(m_{unbalanced-load} + m_{load})\ddot{x} + 2kx \sin \theta + \mu SP_n \text{sign}(\dot{x}) = m_{unbalanced-load} r \omega^2 \sin \alpha \quad (4.9)$$

$$(m_{unbalanced-load} + m_{load})\ddot{y} + 2ky \cos \theta + \mu SP_n \text{sign}(\dot{y}) = m_{unbalanced-load} r \omega^2 \cos \alpha \quad (4.10)$$

4.2 Matlab Simulink Modeli ve Simülasyon Sonuçları

4.2.1 Dinamik sistemin matlab simulink modeli

Bölüm 4.1, iki düzlemde oluşan basit çamaşır makinesi dinamik modeli için elde ettiğimiz denklemleri kullanarak, Matlab Simulink programında simülasyon oluşturulmuştur. Simülasyonda kullanılan değerler Arçelik 8 kg çamaşır makinesinde kullanılan gerçek değerler kullanılmıştır. Simülasyonun beş adet girdisi bulunmaktadır. İki tanesi dışarıdan bağımsız olarak sisteme verilir, bunlar dinamik sistemi tahrik eden kuvveti oluşturan, çamaşır makinesinin dönme hızı ve çamaşır makinesinde oluşan DY miktarıdır. Bu iki girdi merkez kaç kuvvetinin etkisiyle, sistemde oluşan titreşime ve harekete neden olan kuvveti oluşturur. Diğer üç girdi; zaman, geri beslemeyle gelen hız ve konum bilgileridir. Sistemin çıktısı olarak da, kazanın yaptığı hareket elde edilmiştir. Şekil 4.2 de, dinamik sistemin simülasyon modeli görülmektedir.



Şekil 4.2 : Dinamik sistemin matlab simulink simülasyon modeli.

Girdiler, sistemin dinamik denkleminin çözüldüğü fonksiyon bloğuna gider. Fonksiyon bloğunda bölüm 4.1 de elde edilen kuvvet-ivme denklemleri bulunmaktadır. Fonksiyonun birinci çıktısı ivme, integral fonksiyonuyla hıza dönüştürülür ve geri beslemeyle sisteme girdi olarak geri beslenir. İntegral fonksiyonu tekrar kullanılarak hız bilgisi, konum bilgisine dönüştürülür. Bu bilgi hem sistemin çıktısı olarak kullanılır, hem de sisteme girdi olarak geri beslenir.

4.2.2 Simülasyon Sonuçları

Simülasyonda Arçelik 8kg kapasiteli çamaşır makinesinde kullanılan yay, amortisör ve tahrik grubu ağırlığının değerleri kullanılmıştır. Bu değerler çizelge 4.1 de görülmektedir.

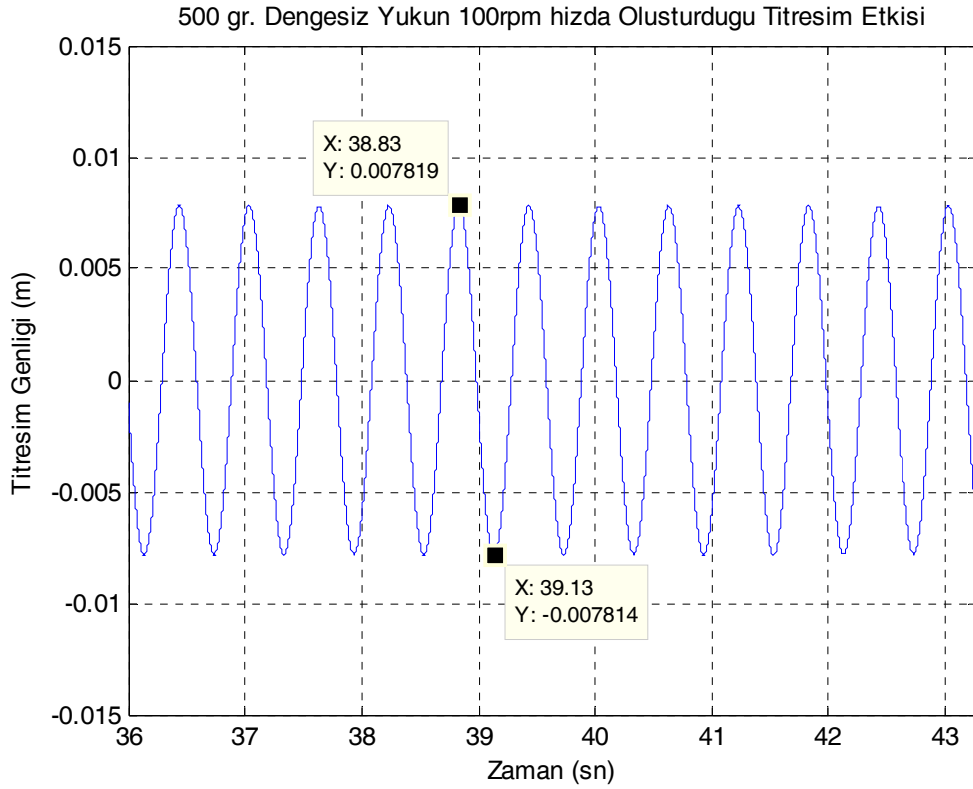
Çizelge 4.1 : Arçelik 8kg kapasiteli çamaşır makinesinin özellikleri.

Tahrik Grubu Ağırlığı	43.3 kg
Tambur Yarı Çapı	240 mm
Yay sabiti	8.6 N/mm
Yay Açısı	11°
Amortisör Kuvveti	110 N
Amortisör Açısı	16°

Simülasyonda kullanılan değerlerden çizelge 4.1 de görülen değerler, sabit ve sistemin davranışına göre değişmeyen değerlerdir. DY'nin miktarı ve tamburun dönme hızı sistemdeki değişken değerlerdir. Tamburun dönme hızı minimum 80 d/d olması gerekmektedir. 80d/d hızın altındaki değerlerde, merkez kaç kuvvetinin yetersiz olmasından dolayı çamaşır tamburun iç yüzeyine yapışmamaktadır ve bu yüzden DY oluşmamaktadır. Simülasyonda kullanılan dönme hızının, simülasyonun gerçeğe yakın olması için 80 d/d'den büyük olması gerekmektedir. Yapılan simülasyon çalışmasında, iki farklı DY ağırlığı ve iki farklı dönme hızı

kullanılmıştır. Bu farklılıkların sistemin çıktısına olan etkisi ve değişimler incelenmiştir.

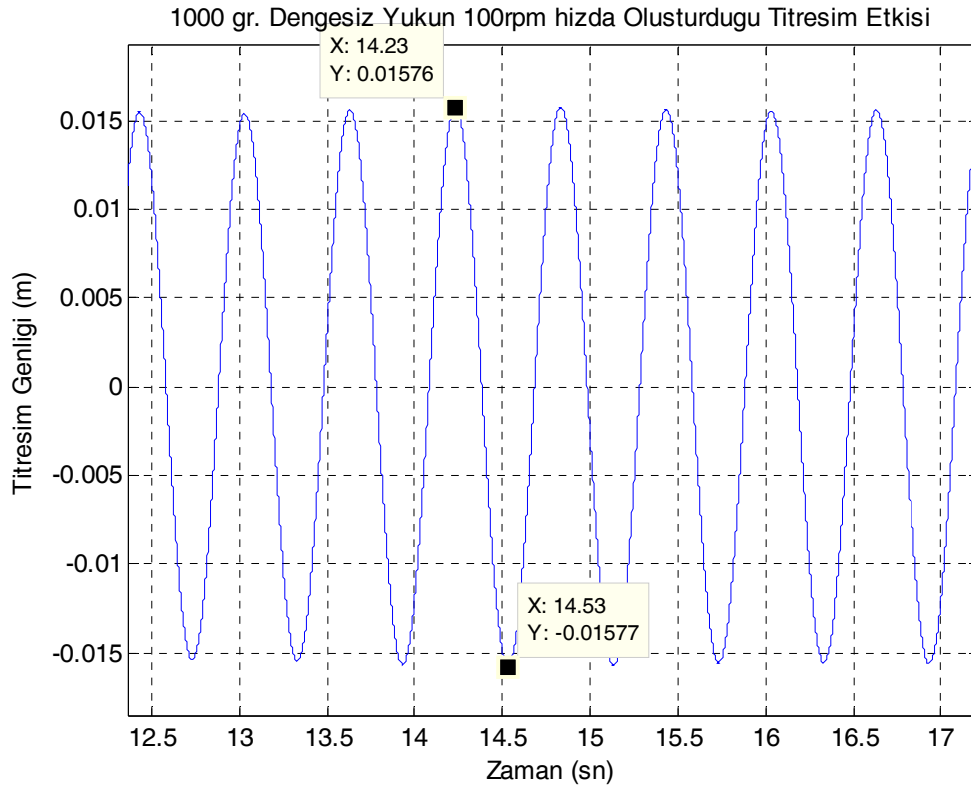
Şekil 4.3 de görülen grafikte, 500 gr DY'nin 100 d/d hızda, tahrik grubunda oluşturduğu hareket etkisi görülmektedir. Tahrik grubunu yaklaşık olarak +/- 7,8mm, yani toplamda 1,56cm hareket etmesine neden olmuştur.



Şekil 4.3 : 500 gr DY'nin 100 d/d hızda, tahrik grubunda oluşturduğu hareket etkisi.

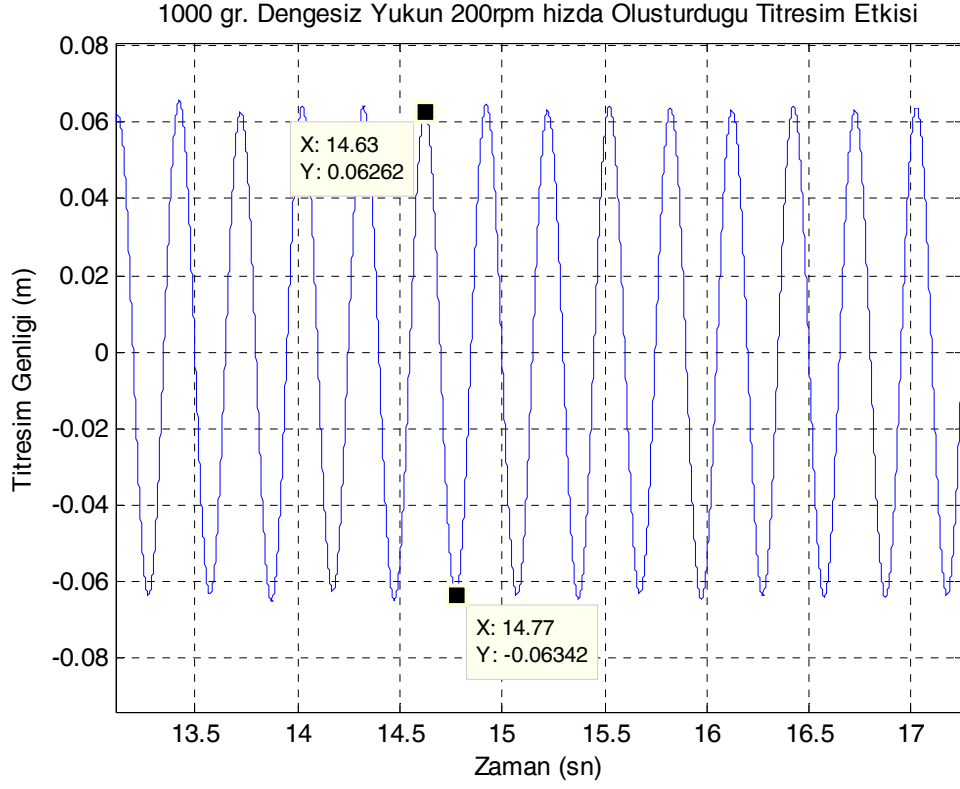
İkinci simülasyonda, hem yeni DY ağırlığı için çıktılar elde edildi, hem de birinci simülasyonla karşılaştırılacak sonuçlar elde ettik. İkinci simülasyonda 1000gr. DY ağırlığının 100d/d hızda, tahrik grubunda oluşturduğu hareket etkisi görülmektedir. Merkez kaç etkisinden oluşan kuvvetin denklemine bakıldığında (denklem 4.9), değişen DY miktarının oluşan kuvveti doğrusal olarak etkilemektedir. Yani, ikinci simülasyonda elde edilen hareket değerlerinin, birinci simülasyona göre iki kat büyük olması beklenmektedir. Şekil 4.4 incelendiğinde elde edilen hareket değerlerinin +/- 1,57cm ve toplamda 3,14cm olduğu görülmektedir. Bu çıktıların da, birinci simülasyonda elde edilen çıktılarının tam iki katı olduğu görülmüştür. Birinci

ve ikinci simülasyon çıktıları karşılaştırıldığında DY miktarının sisteme etkisi gözlemlenmektedir.



Şekil 4.4 : 1000gr. DY ağırlığının 100d/d hızda, tahrik grubunda oluşturduğu hareket etkisi.

Üçüncü simülasyonda 1000gr. DY ağırlığının 200 d/d hızda, tahrik grubunda oluşturduğu hareket etkisi görülmektedir. Merkez kaç etkisinden oluşan kuvvetin denklemine bakıldığında (denklem 4.8), değişen dönme hızının oluşan kuvveti değişimin karesiyle doğru orantılı olarak etkilemektedir. Yani, üçüncü simülasyonda elde edilen hareket değerlerinin, ikinci simülasyona göre dört kat büyük olması beklenmektedir. Şekil 4.5 incelendiğinde elde edilen hareket değerlerinin +/- 6,2cm ve toplamda 12,4cm olduğu görülmektedir. Bu çıktıların da, ikinci simülasyonda elde edilen çıktıların tam dört katı olduğu görülmüştür. İkinci ve üçüncü simülasyon çıktıları karşılaştırıldığında dönme hızının sisteme etkisi gözlemlenmektedir.

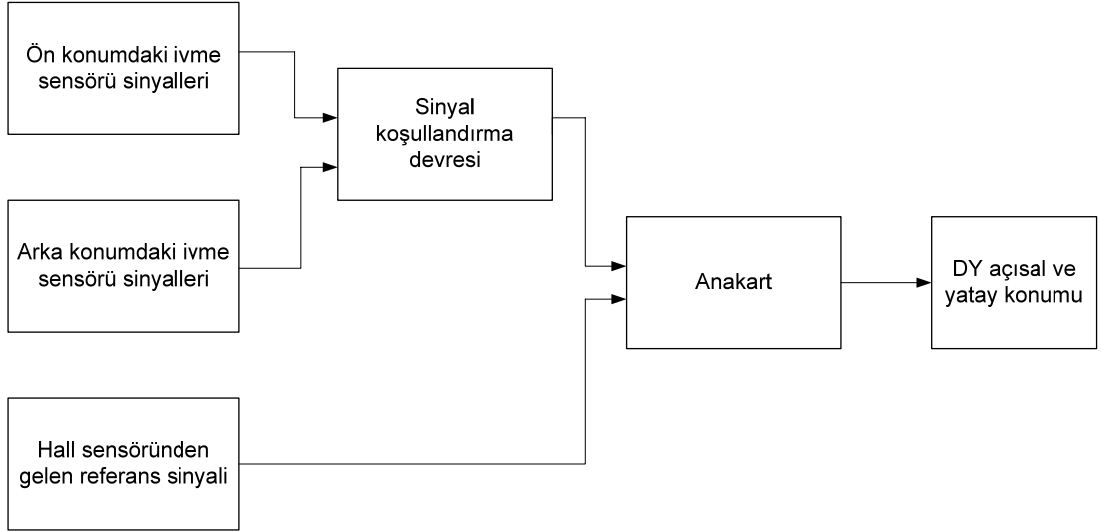


Şekil 4.5 : 1000gr. DY ağırlığının 200d/d hızda, tahrik grubunda oluşturduğu hareket etkisi

5. DENEY SİSTEMİ VE KULLANILAN EKİPMANLAR

5.1 DeneY Sistemi

DeneY düzeneğimize temel olarak üç bölüme ayrılmıştır, bunlar sensör sistemleri, sinyal işleme devresi ve anakarttır. DeneY düzeneğinin çalışma sistemi Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Çamaşır makinesinde 80 d/d hızdan sonra oluşan hareketler, kullanılan sensörler yardımıyla ölçülür. Bu ölçülen sinyaller sinyal güçlendirme ve güçlendirme devresine gönderilir. Burada uygulanan güçlendirme ve filtreleme işlemlerinden sonra oluşan sinyaller, mikroişlemciye yönlendirilir. Mikroişlemcide uygulanan algoritmalarından sonra DY hakkındaki bilgiler elde edilir.



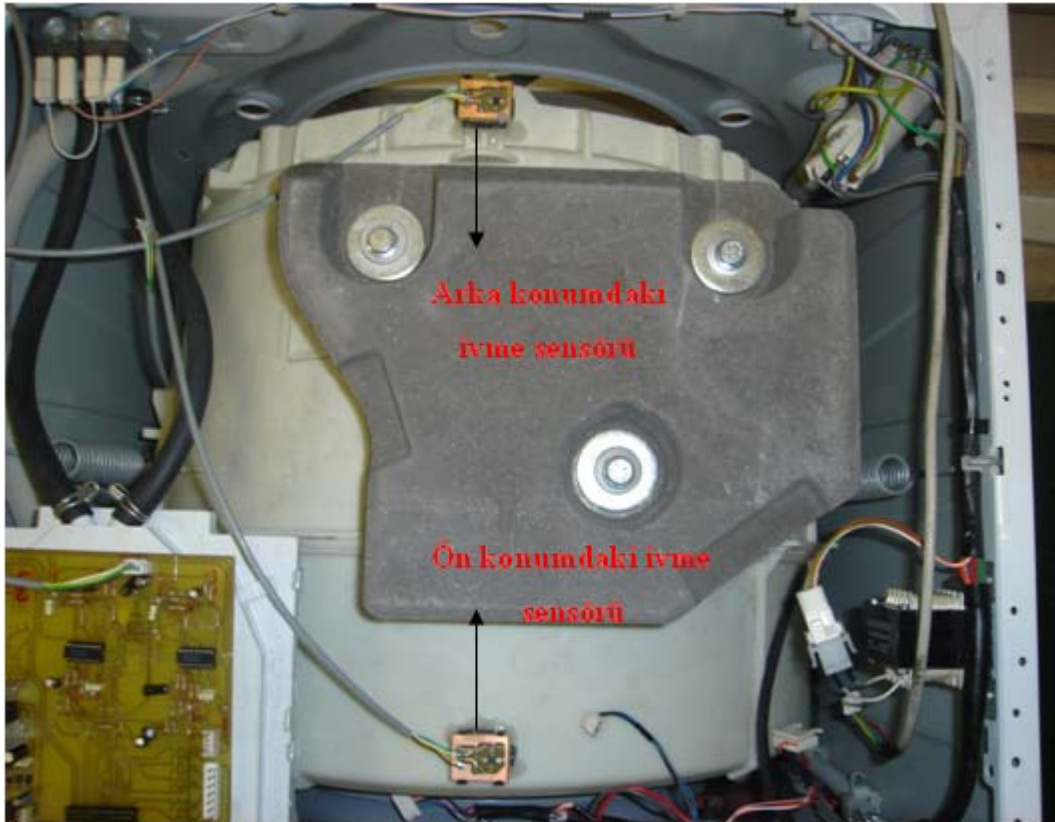
Şekil 5.1 : DeneY düzeneğinin çalışma prensibi.

5.1.1 Sensör sistemleri

DY'nin oluşturduğu etkileri elde etmek için, çamaşır makinesine kazanın üst bölgesinde öne ve arkaya olmak üzere iki adet ivme sensörü konulmuştur. Ayrıca

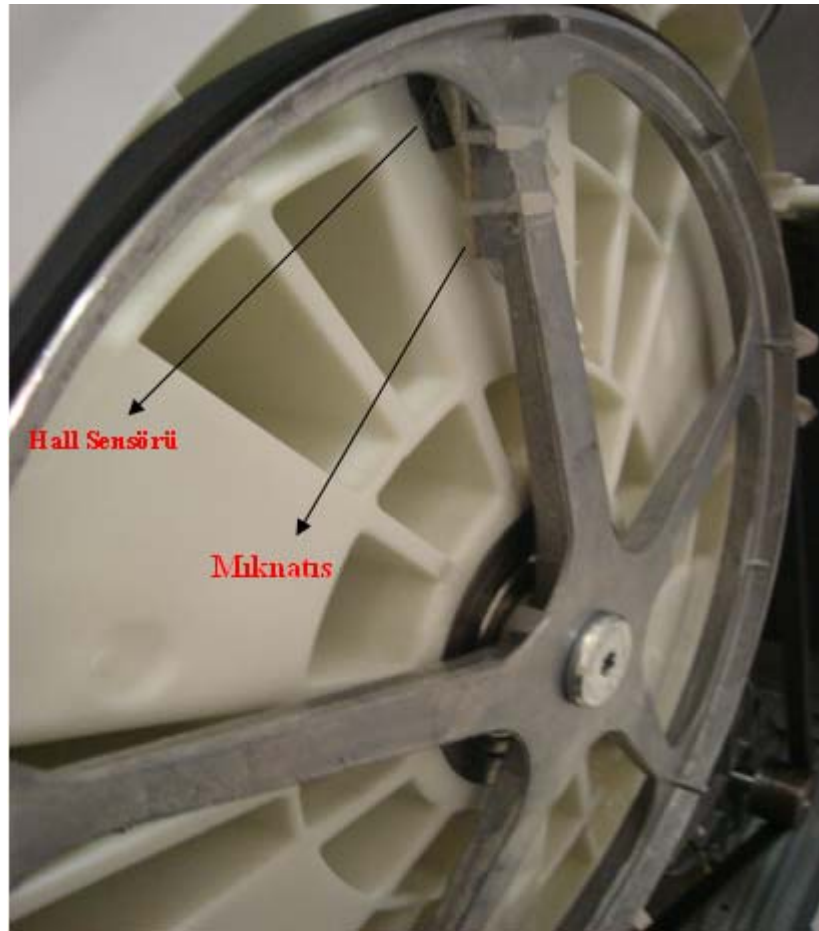
makinenin kasnağına bir adet mıknatıs ve hall sensör ikilisinden oluşan ve her turda bir tetik veren sistem kurulmuştur.

Şekil 5.2 de iki adet ivme sensörü ve konumlandırıldığı yerler görülmektedir. İvme sensörleri kazanın önünde ve arkasında iki yönde oluşan ivmeleri ölçmektedir. DY'nin yatay konumunun bulunması için, kazanın ön ve arka noktasında oluşan titreşimlerin incelenmesi gerekmektedir. Yatay konumu belirlenen yükün, yatay konumuna göre açısal konumu belirlenmektedir. DY hakkında tam bilgiye ulaşmak için, kazanın uç noktalarındaki hareket bilgileri gerekmektedir. Sistemde kullanılan sensörler analog devices firmasının ADXL335 modeli sensörlerdir. Bu sensörler üç eksenli olup çıkış sinyali değerleri 330mv/g dir. İvme sensörü çıktıları, sinyal koşullandırma devresine gider. İvme sensörü hakkında detaylı bilgiyi ekler A.4 bölümünde bulabilirsiniz.



Şekil 5.2 : İki adet ADXL 335 ivme sensörü ve kazanın üzerinde konumlandırıldığı yerler görülmektedir.

Şekil 5.3 de mıknatıs ve hall sensörü ikilisinden oluşmuş düzeni görebilirsiniz. Burada makinenin her turunda sisteme bir tetik veren bir düzenek oluşturulmuştur. Bu düzenek en basitinden sisteme hız bilgisi sağlamaktadır. Ama asıl görevi bu değildir. Bu düzeneğin asıl amacı, sistemde açısal konumun bulunmasında referans noktasını, yani açısal olarak belirlenmiş sıfır noktası belirtmektedir. Referans noktasında oluşan DY, sistemde açısal olarak sıfır derecede konumlanmış demektir. Düzenekte mıknatısla hall sensörü karşı karşıya gelince, 5V değerini 0V değerine çekmektedir. Hall sensörü hakkında detaylı bilgiyi ekler A.4 bölümünde bulabilirsiniz.



Şekil 5.3 : Hall sensörü ve mıknatıs ikilisinden oluşan sensör düzeneği.

5.1.2 Sinyal koşullandırma devresi

Sinyal koşullandırma devresinde üç temel işlem yapılmaktadır. Bunlar filtreleme, güçlendirme ve sinyali işlemciye uygun hale getirmek. Filtreleme işleminde, ivme

sensörlerinde gelen sinyallerin üzerine binen gürültü sinyali temizlenmektedir. Çamaşır makinesinin motorun oluşturduğu yayılımdan dolayı ivme sensörünün ürettiği sinyallere 50 Hz gürültü binmektedir. İvme sensörümüz sinyali 4 Hz altında olduğundan, sinyaldeki gürültüyü temizlemek için alçak geçiren filtreler kullanılması gerekmektedir. Alçak geçiren filtreyi oluşturmak için bir kapasitör ve direnç kullanıldı. Aşağıda görülen hesaplamalarla kapasitörün ve direncin değeri hesaplanmıştır.

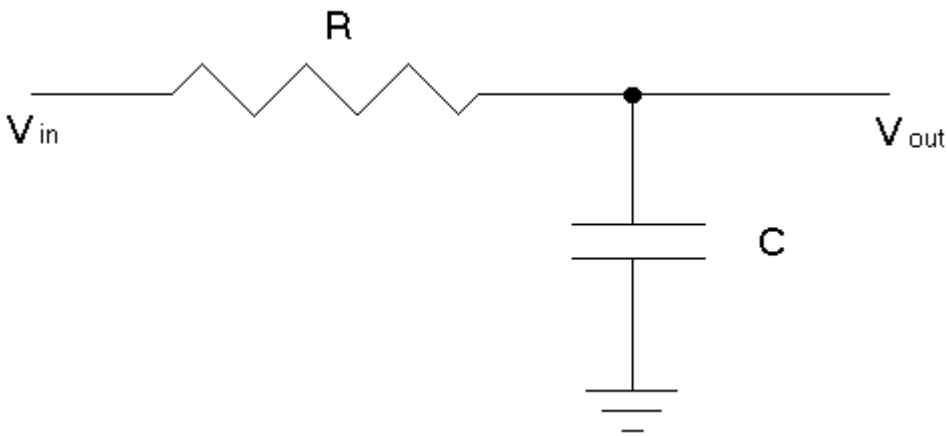
$$f_{cut-off} = \frac{1}{2\pi RC} \quad (5.1)$$

$$R = 100K\Omega \quad (5.2)$$

$$f_{cut-off} = 4hz \quad (5.3)$$

$$C = \frac{1}{2\pi * 100000 * 4} = 397 * 10^{-9} \quad (5.4)$$

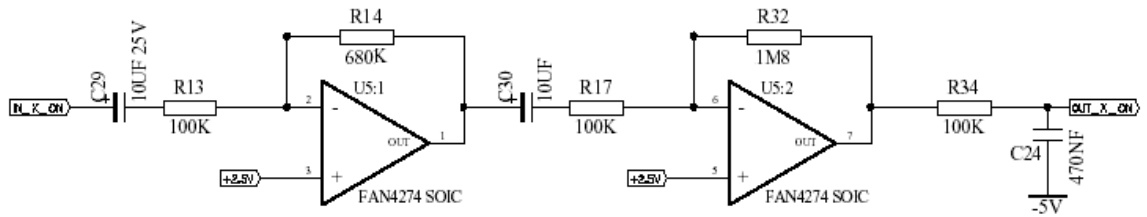
Yukarıda yapılan hesaplar sonucunda kullanılacak direncin değeri 100K olarak seçilir ve kapasitörün değeri buradan hesaplanır ve en yakın gerçek değer olan 470nF seçilir. Şekil 5.4 de gösterilen filtreler, sinyal koşullandırma devresinde kullanılan alçak geçiren filtrelerdir. Şekil 5.5 de ikinci opampın çıkış noktasında, filtre uygulaması görülmektedir.



Şekil 5.4 : Alçak geçiren filtre.

Güçlendirme devresinde filtreden çıkan sinyaller opamp yardımıyla güçlendirilir. Fairchild firmasının Farfan 4274 modeli kullanılmıştır. Bu opampın temel özelliği rail-to-rail bir opamp olmasıdır. Bu özelliği sayesinde giriş ve çıkış arasındaki sinyalde kayıp olmayacaktır ve besleme voltajı büyüklüğünde sinyal elde edilebilecektir. Opampın detaylı özellikleri ekler A.4 bölümünde verilmiştir. Bu opamp entegresinin içinde iki adet opamp bulunmaktadır ve sinyali güçlendirmek için iki katman güçlendirme uygulanmıştır. Birinci katmanda 6.8 kat ikinci katmanda ise 18 kat güçlendirme yapılmıştır. Kullanılan kutuplu kapasitörler, sinyalin üzerine bindiği D.C. sinyalleri temizlemektedir. Eğer, bu kapasitörler kullanılmazsa güçlendirme çıkışında D.C. sinyallerde güçlendirilerek çıktığı için, ivme sensörü sinyalini bozmaktadır. Şekil 5.5 da belirtilen kısımlarda opamp'lar kullanılarak güçlendirme yapılmıştır.

Sinyallerin, mikroişlemciye uygun hale getirebilmesi için, oluşan sinüs sinyalinin 0-5 volt arasında salınması gerekmektedir. Bunu sağlamak için sinyali 0-5 voltun orta noktası olan 2,5 volta bindirilmesi gerekmektedir. Opamp katmanları kullanılarak, güçlendirme yapılırken, opampın eksi (-) ucuna 2,5 volt uygulanır. Bu sayede çıkan sinyal 2,5 voltun üzerine binmiş olarak çıkmaktadır.



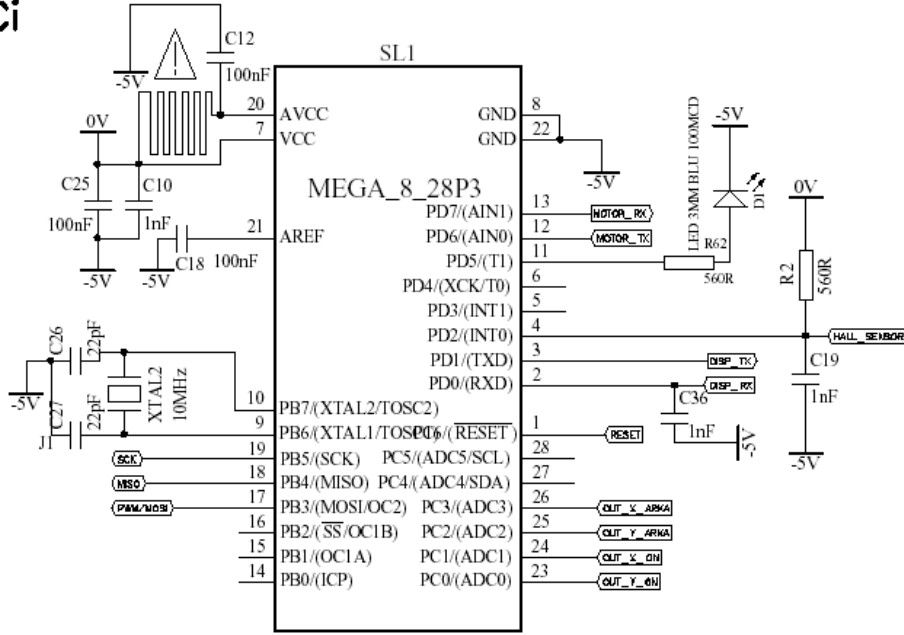
Şekil 5.5 : İki katman güçlendirme devresi ve çıkış noktasında alçak geçiren filtre.

5.1.3 Anakart

Mikroişlemci olarak Atmega8 kullanılmıştır. Mikroişlemciye dört adet ivme sensörü sinyali ve bir adet hall sensörü sinyali gelmektedir. Dört adet ivme sensörü sinyali, mikroişlemcinin C portunun ilk 4 pinine yani, ADC uçlarına gitmiştir ve

algoritmalarla kullanılması için işlemcide dijital verilere dönüştürülmüştür. Hall sensörü sinyali de, mikroişlemcinin interrupt ucuna, yani D portunun 2 nolu pinine bağlanmıştır ve hall sinyalinden her gelen tetiklemeyi algoritmada kullanmak için mikroişlemciye almıştır. Şekil 5.6 da mikroişlemcinin kullanılan uçları ve bağlantılar gösterilmiştir. Atmega8 mikroişlemcisi hakkında detaylı bilgiler ekler A.4 bölümünde verilmiştir.

İSLEMCİ



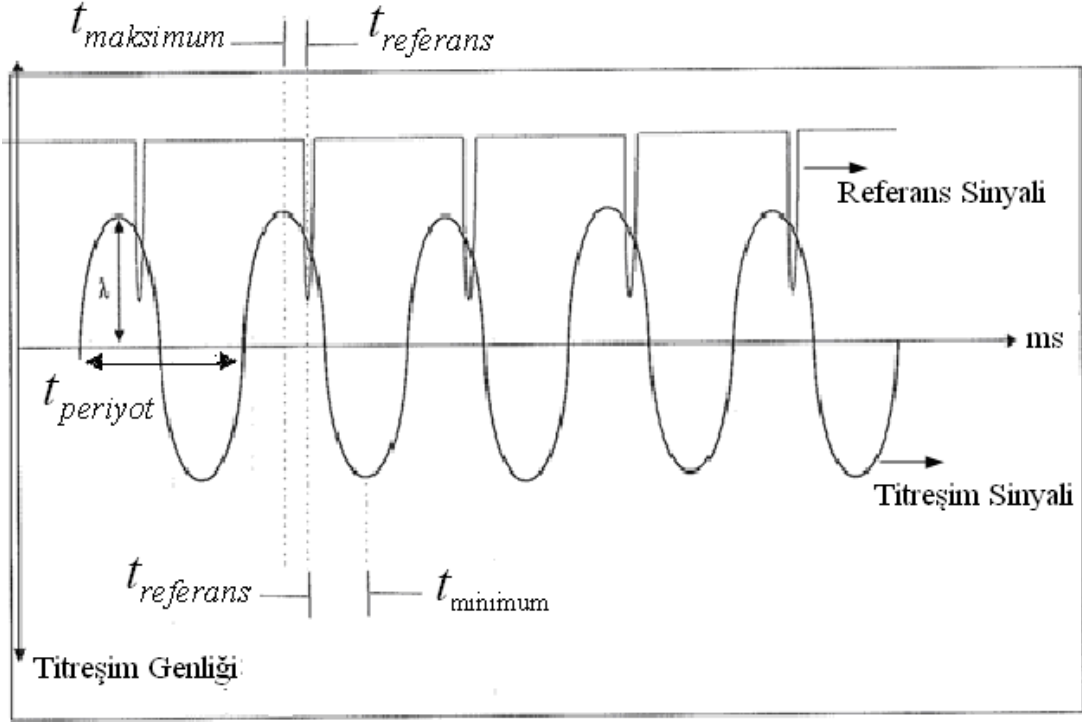
Şekil 5.6 : Mikroişlemci bağlantıları.

6. DOĞRUSAL YÖNTEM KULLANILARAK DENGESİZ YÜKÜN AÇISAL KONUMUNUN BULUNMASI

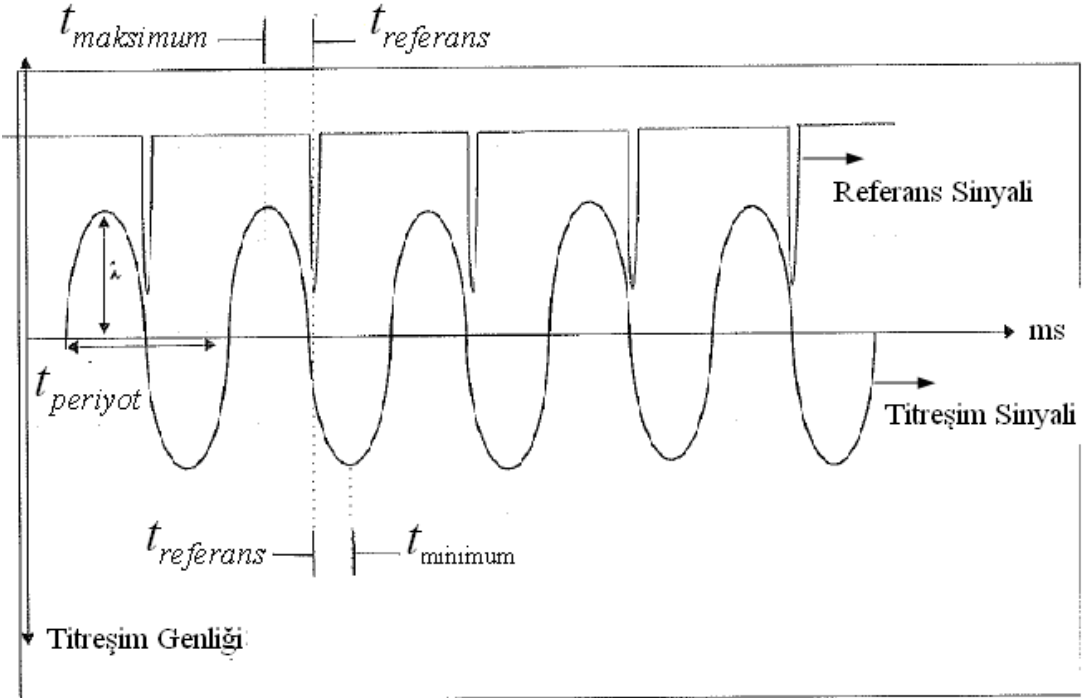
Çamaşır makinesinde, oluşan DY açısai konumun bulunması için ivme sensörünün oluşturduğu titreşim sinyali ve hall sensörünün oluşturduğu referans sinyali kullanılmıştır. İvme sensöründen gelen sinyal bölüm 5.1.2 de anlatılan sinyal koşullandırma devresiyle, mikroişlemcinin anlayabileceği büyüklüklere ve seviyelere taşınmıştır. Hall sensöründen gelen sinyal hem DY için açısai olarak 0° noktası oluşturmuştur hem de sinüzoidal titreşim sinyalinin maksimum veya minimum noktasına göre faz kaymasını takip etmek için kullanılmıştır.

6.1 Açısai Konumun Hesaplanması

Açısai konumun hesaplanmasında titreşim sinyalinin maksimum veya minimum noktasıyla, hall sensörünün oluşturduğu sinyalin arasındaki faz kaymaları takip edilmiştir. Şekil 6.1 de görülen şekilde belirli bir DY 0° noktasına koyularak oluşturulan referans ölçümler görülmektedir. $t_{maksimum}$, titreşim sinyalinin maksimum noktasında gelen sinyal zamanıdır. $t_{referans}$, diye tanımlanan sinyal, hall sensörünün oluşturduğu sinyalin zamanıdır. $t_{minimum}$, ise titreşim sinyalinin minimum noktasında gelen sinyal zamanıdır. Bu üç sinyal kullanılarak, denklem 6.1 ve 6.2 elde edilmiştir.



Şekil 6.1 : Titreşim sinyalinin maksimum ve minimum noktasında göre oluşturulan 0° noktası.



Şekil 6.2 : DY açısız konumunun değiştirildiğinde oluşan titreşim sinyali.

Şekil 6.2 de gösterilen grafik ve şekil 6.1 deki şekil karşılaştırıldığında, hall sensörü ve titreşim sinyalinin bir birlerine göre konumlarındaki değişim görülmektedir. Bu faz kaymalarına göre DY açısal konumdaki değişikliği hesaplanmaktadır.

Denklem 6.1 kullanılarak hesaplanan α_1 açısı, maksimum noktaya göre oluşan açığı hesaplamaktadır. İlk önce, DY sıfır noktasındaki açısı hesaplanır. Daha sonra bu açığa göre oluşan kaymalar, DY 0° noktası göre kaç derece yer değiştirdiğini hesaplanmaktadır.

$$\alpha_1 = \frac{t_{\text{maksimum}} - t_{\text{referans}}}{t_{\text{periyot}}} 360^\circ \quad (6.1)$$

Denklem 6.2 kullanılarak hesaplanan α_2 açısı, minimum noktaya göre oluşan açığı hesaplamaktadır. İlk önce, DY sıfır noktasındaki açısı hesaplanır. Daha sonra bu açığa göre oluşan kaymalar, DY 0° noktası göre kaç derece yer değiştirdiğini hesaplanmaktadır.

$$\alpha_2 = \frac{t_{\text{minimum}} - t_{\text{referans}}}{t_{\text{period}}} 360^\circ \quad (6.2)$$

Çizelge 6.1 : DY ile yapılan açısal konum hesaplama veri seti.

Açısal Konum	Faz Değişimi	Periyot	Hesaplanan Konum	Hata
0° (Referans Noktası)	38ms	240ms	0°	0°
60 °	89ms	242ms	72°	18°
120°	124ms	240ms	124°	8°
180°	164ms	242ms	180°	10°
270°	205ms	240ms	268°	12°

Çizelge 6.1 de oluşturulan örnek veri setinde 800 gr., 1000 gr ve 1200gr. DY ağırlıkları kullanılarak ve kazanın orta noktasından toplanan bilgilerin ortalaması

alınarak hazırlanmıştır. Burada oluşan hatanın iki sebebi bulunmaktadır. Bunlar DY ağırlığının ve yatay konumdaki yer değişiminin, faz değişimine etkisidir. Bu etkilerden oluşan hataları azaltmak için bölüm 7 ve bölüm 8 deki yöntemler kullanılmıştır.

7. BULANIK MANTIK KONTROL YÖNTEMİYLE DENGESİZ YÜKÜN YATAY KONUMUNUN BULUNMASI

DY'nin, çamaşır makinesi tamburu içinde iki konumu bulunmaktadır, bunlar açısız ve yatay konulardır. Yatay konumu bulmak için, kazanın önünde ve arkasında bulunan ivme sensörlerinden gelen bilgiler, BMK yöntemi kullanılarak incelenmiştir.

BMK yöntemi, üçüncü bölümde detaylı anlatıldığı gibi, çıkan sonuçları kesin olarak 0 ve 1 gibi iki nokta olarak ayırmaz. 0 ve 1 arasında kullanıcının istediği kadar bölgeler oluşturarak, belli oranlarda ayırır. Oluşturduğu tanımlama bölgesiyle, değişebilen sistemlerde tanımlanabilir ve karmaşık sistemleri daha iyi analiz eder. Sonuçları, kesin çizgilerle ayırmadığı için hataları azaltır. Deneysel verilere ve tecrübeye göre tanımlanabilmesi ve algoritmasının oluşturulabilmesi, deney sisteminin tanımlanmasına kolaylık sağlar. Deney verilerini oluşturabilmek için sensör sistemlerinin ve deney düzeneğinin oluşturulması gerekmektedir, bu olay BMK için dezavantaj olarak görülür.

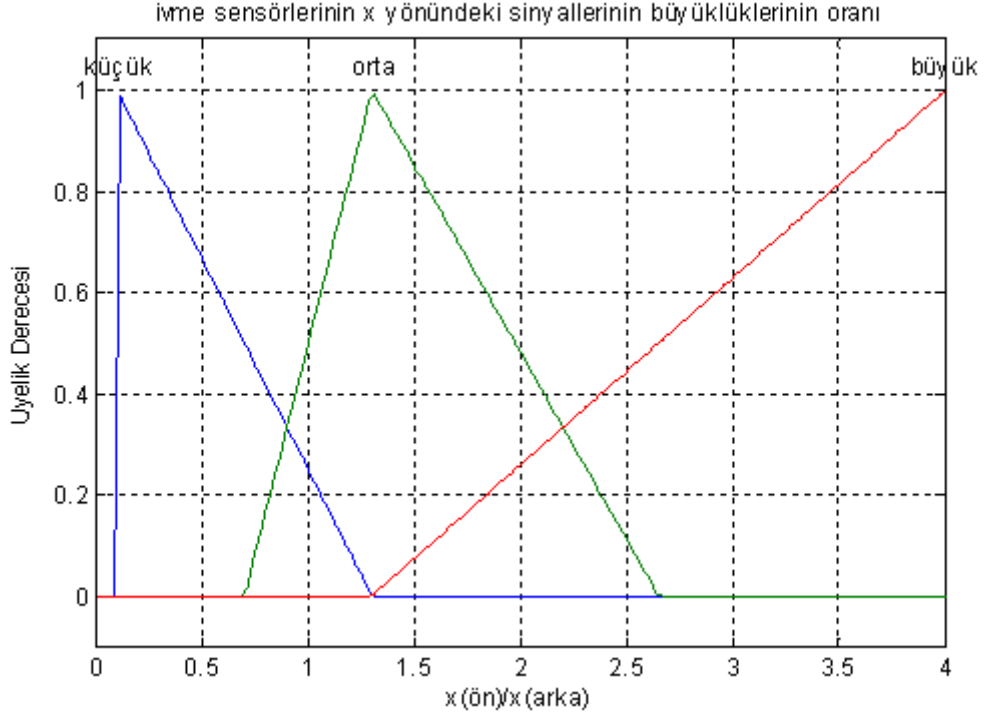
BMK yöntemini kullanmak için matlab programının fuzzy logic toolbox bölümü kullanılmıştır. Hazırlanan deney düzeneğinden toplanan dört adet ivme sinyali ve bunların birbirlerine göre durumları BMK uygulanarak, DY'nin yatay konumu bulunur. Örnek veri seti çizelge 7.1 de verilmiştir. İvme sensörlerinden gelen x ve y yönündeki sinyallerin büyüklüklerinin oranları incelenerek, DY'nin yatay konumu belirlenmeye çalışılmıştır. DY'nin yatay konumuna kazanın yaptığı titreşim yönleri ve büyüklükleri değişmektedir, bunun için aynı eksenlerdeki titreşimler oranları kullanılmıştır.

Çizelge 7.1 : DY yatay konumu için örnek veri çizelgesi.

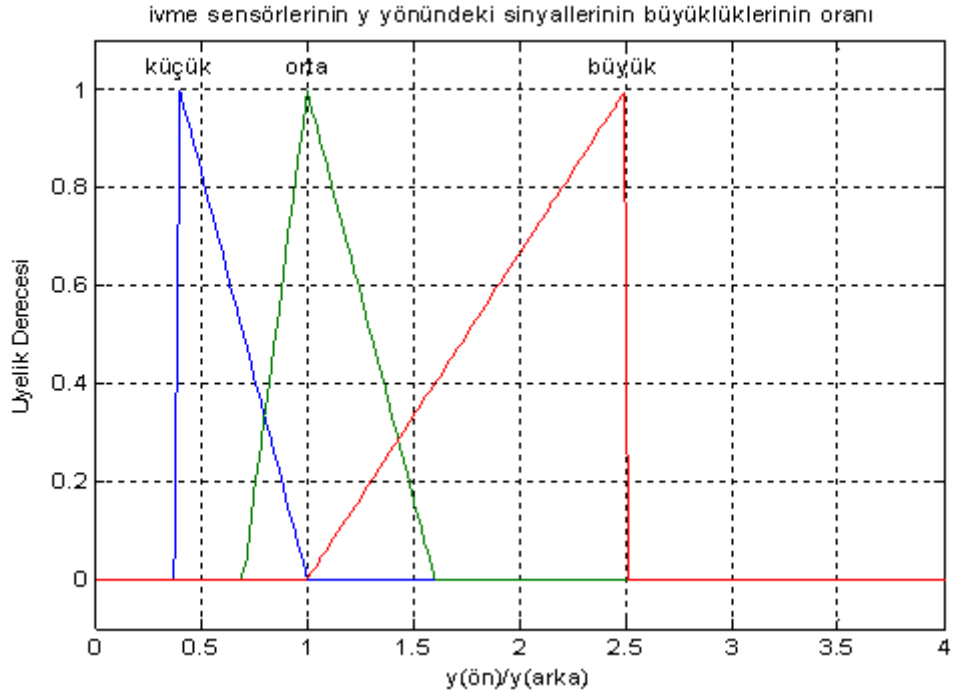
Dengesiz Yükün Yatay Konumu	x-ön	x-arka	y-ön	y-arka	X(ön)/X(arka)	Y(ön)/Y(arka)
Ön	70	17	50	20	4	2,5
Orta	39	30	27	27	1,3	1
Arka	12	60	14	47	0,2	0,3

Yukarıdaki çizelgede da görüldüğü gibi DY yatay konumuna göre, ivme sensörlerindeki titreşimlerin büyüklüğü değişmektedir. DY yatay konumdaki pozisyonuna yakın olan sensördeki titreşimler daha büyüktür, yani DY bulunduğu bölgeyi daha fazla hareket ettirmektedir. Bu kural kullanılarak DY yatay konumdaki pozisyonu belirlenmektedir.

İvme sensörlerinden gelen sinyaller BMK yöntemi kullanılarak incelenir. BMK da ilk adım, bulanıklaştırma yapmaktır. Bulanıklaştırma işlemince giriş değerlerine dilsel değişkenler verilmektedir. Kullanılan sistemde üç adet dilsel değişken bulunmaktadır. Bunlar küçük, orta ve büyüktür. Şekil 7.1 de ve şekil 7.2 de oluşturulan dilsel değişkenlerin çizelge 7.2 de göre çıkarılmış grafikleri görülmektedir.



Şekil 7.1 : X(ön)/X(arka) sinyallerinin oranına göre üyelik dereceleri ve dilsel değişkenleri



Şekil 7.2 : Y(ön)/Y(arka) sinyallerinin oranına göre üyelik dereceleri ve dilsel değişkenleri

İkinci adım olarak, bilgi tabanı için kurallar oluşturulmaktadır. İki giriş değişkeninin üç farklı durumu için olabilecek sonuçlar bilgi tabanında belirlenir. Uzayda oluşabilecek bütün durumları kapsamak için, iki girişteki, üç farklı değişkenin en az dokuz adet kuralı olması gerekmektedir. Oluşturulan kurallar şöyledir;

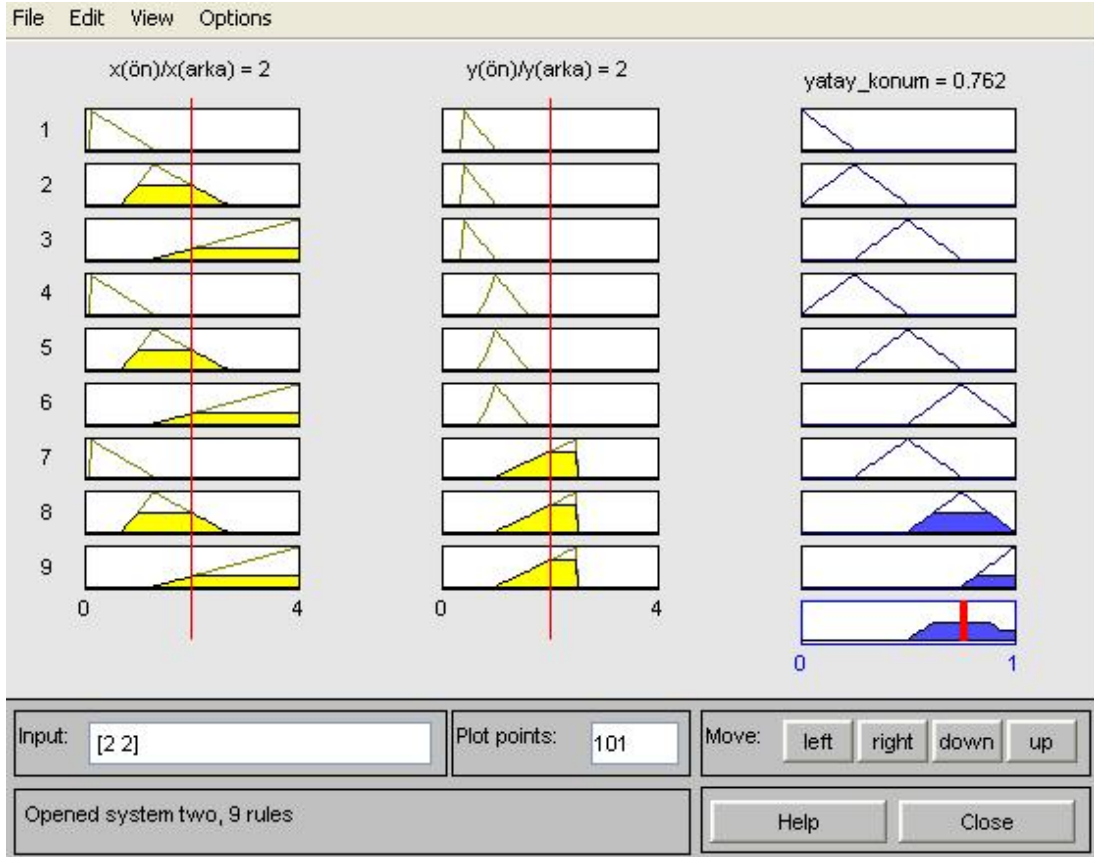
1. Eğer $(x(\text{ön})/x(\text{arka})$ küçükse) ve $(y(\text{ön})/y(\text{arka})$ küçükse), (yatay_konum arkadadır.)
2. Eğer $(x(\text{ön})/x(\text{arka})$ ortaysa) ve $(y(\text{ön})/y(\text{arka})$ küçükse), (yatay_konum orta-arka konumdadır.)
3. Eğer $(x(\text{ön})/x(\text{arka})$ büyükse) ve $(y(\text{ön})/y(\text{arka})$ küçükse), (yatay_konum ortadadır.)
4. Eğer $(x(\text{ön})/x(\text{arka})$ küçükse) ve $(y(\text{ön})/y(\text{arka})$ ortaysa), (yatay_konum orta-arka konumdadır.)
5. Eğer $(x(\text{ön})/x(\text{arka})$ ortaysa) ve $(y(\text{ön})/y(\text{arka})$ ortaysa), (yatay_konum ortadadır.)
6. Eğer $(x(\text{ön})/x(\text{arka})$ büyükse) ve $(y(\text{ön})/y(\text{arka})$ ortaysa), (yatay_konum ön-orta konumdadır.)
7. Eğer $(x(\text{ön})/x(\text{arka})$ küçükse) ve $(y(\text{ön})/y(\text{arka})$ büyükse), (yatay_konum ortadadır.)
8. Eğer $(x(\text{ön})/x(\text{arka})$ ortaysa) ve $(y(\text{ön})/y(\text{arka})$ büyükse), (yatay_konum ön-orta konumdadır.)
9. Eğer $(x(\text{ön})/x(\text{arka})$ büyükse) ve $(y(\text{ön})/y(\text{arka})$ büyükse), (yatay_konum öndedir.)

Aşağıdaki çizelgede, girişlere göre oluşturulan kural çizelgesi görülmektedir. Oluşturulan kuralların, bütün uzayı kapsadığı buradan görülmektedir.

Çizelge 7.2 : Yatay konum için kural çizelgesi.

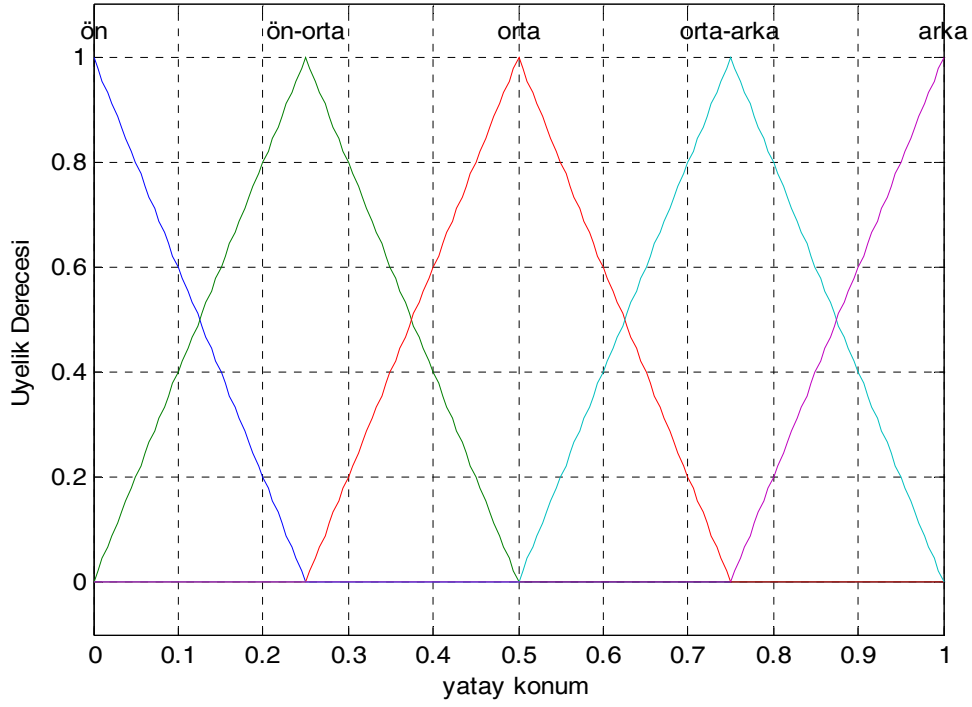
X(ön)/X(arka)	Küçük	Orta	Büyük
Y(ön)/Y(arka)			
Küçük	A	OA	O
Orta	OA	O	ÖO
Büyük	O	ÖO	Ö

Üçüncü adımda, elde edilen girişlere göre bir çıkarım uygulanmaktadır. Bu sistemde bulanık çıkarım için Mamdani'nin MAX-MIN bulanık çıkarım tekniği ve ifadeler arasında "AND" ifadesi kullanılmıştır. "AND" ifadesi kullanıldığı için iki giriş durumu değerlendirilirken minimum kuralı temel alınmaktadır. Şekil 7.3 de Mamdani'nin bulanık çıkarım tekniğine göre oluşturulan grafikler görülmektedir.

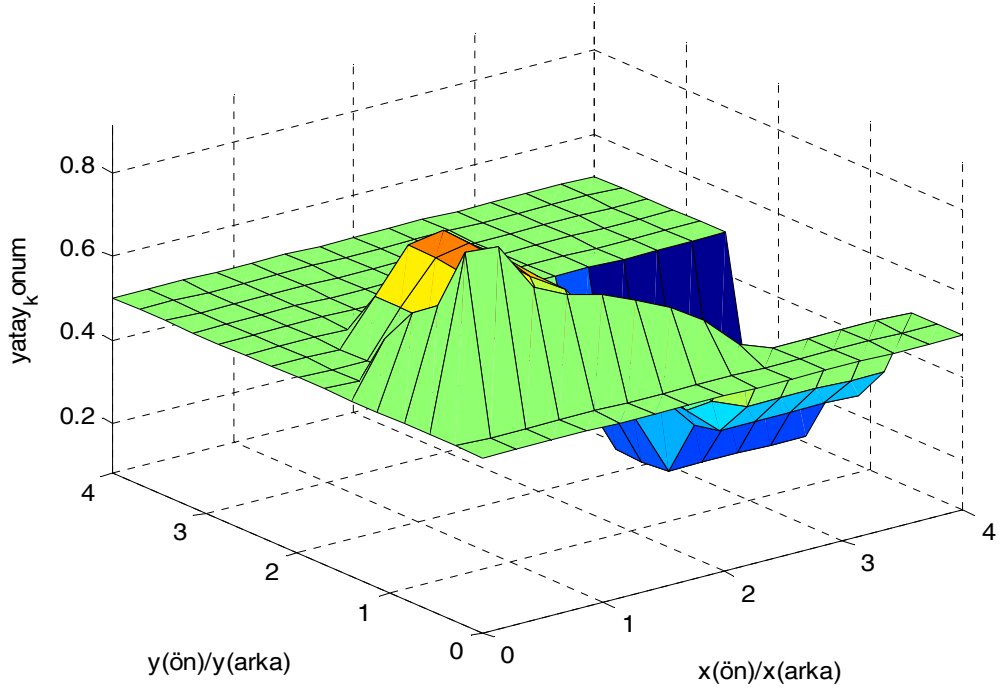


Şekil 7.3 : Mamdani'nin bulanık çıkarım tekniğine göre oluşturulan grafikler.

Son olarak da, çıkarım bölümünden gelen değerler alan merkez metodu kullanılarak son sayısal değer elde edilir. Bu elde edilen sayısal değer, şekil 7.4 deki gibi belirlenen bir dilsel terimlerle eşleştirilir. Bu dilsel terimler, Şekil 7.4 de görüldüğü gibi BMK algoritmasında kullanılması için beş eşit parçaya bölünmüştür. Bu parçalar; ön, ön-orta, orta, orta-arka ve arka bölümleridir. DY'nin yatay konumu, bu beş bölüme göre ve üyelik derecelerine göre değerlendirilerek bulunur.



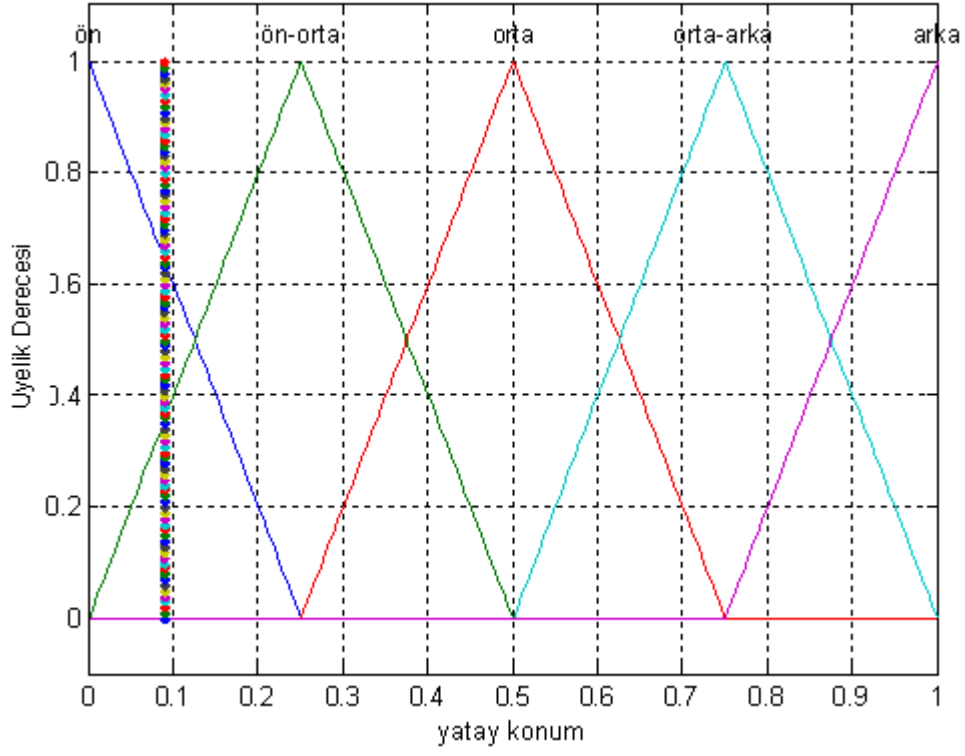
Şekil 7.4 : BMK algoritmasına göre oluşturulan çıktılar ve dilsel değişkenler.



Şekil 7.5 : BMK algoritmasına göre oluşabilecek çıktıların 3 boyutlu uzayı.

Örneğin; çizelge 7.1 değerleri temel alırsak, $x(\text{ön})/x(\text{arka})$ değerinin 3 ve $y(\text{ön})/y(\text{arka})$ değerinin 2 olduğunu düşünelim. Şekil 7.1 de grafiğe bakılırsa $x(\text{ön})/x(\text{arka})$ dilsel değişkeni büyüktür. Şekil 7.2 de grafiğe bakılırsa $y(\text{ön})/y(\text{arka})$ dilsel değişkeni büyüktür. İki girişin özellikleri düşünüldüğünde, bilgi tabından kural dokuza uymaktadır. Yani, “Eğer $(x(\text{ön})/x(\text{arka})$ büyükse) ve $(y(\text{ön})/y(\text{arka})$ büyükse), (yatay_konum öndedir.)” Matlab fuzzy logic toolbox kullanılarak oluşturulan algoritma kullanıldığında da çıkan sonuç aşağıdaki gibidir. Kodla ilgili detaylı bilgiler A.2 bölümünde verilmiştir. Matlab çıktıları şu şekilde oluşmuştur;

1. Yatay konumdaki konumu yüzde 8,8979 arkada
2. Yatay konumdaki konumu yüzde 91,1021 önde

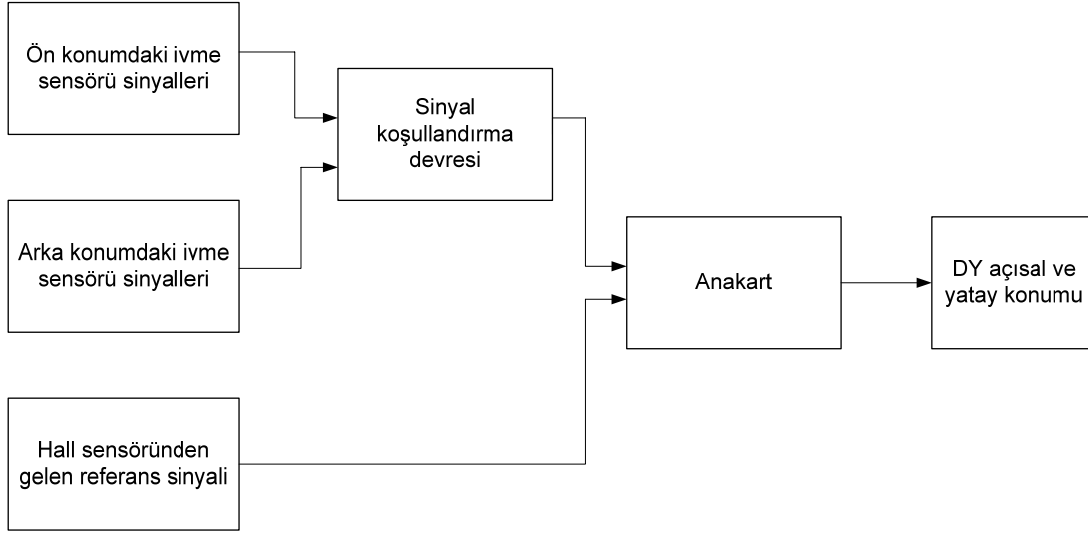


Şekil 7.6 : Yapılan örneğin çıktısının, çıktı uzayındaki noktası.

8. YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANILARAK DENGESİZ YÜKÜN AÇISAL KONUMUNUN BULUNMASI

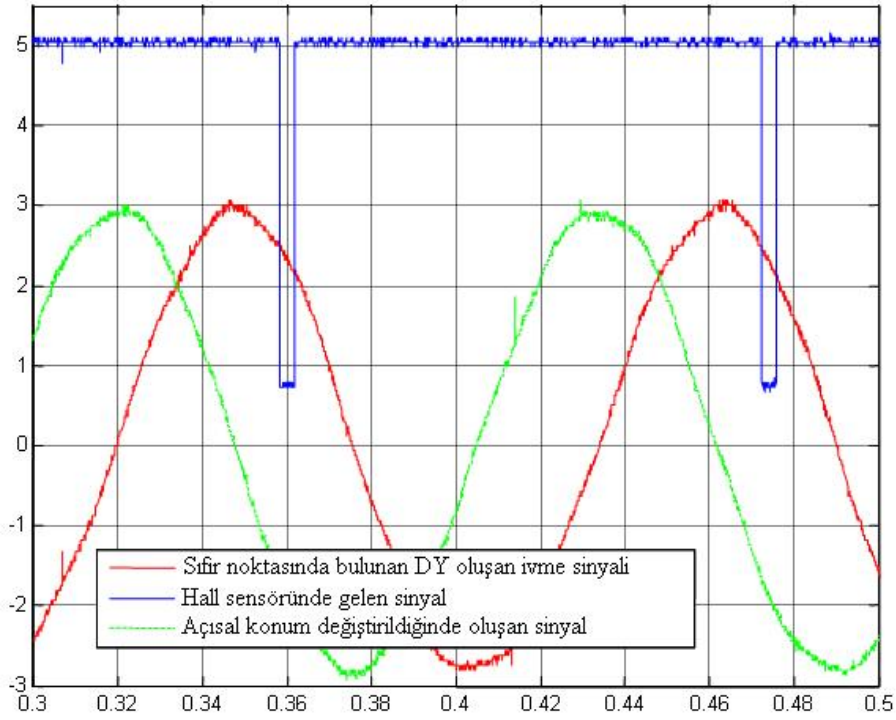
DY'nin açısai konumunun bulunmasında doğrusal yöntem metodunda (bölüm 6) oluşan tahmin hatalarını azaltmak için YSA yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen veriler incelendiğinde, çalışan sistemin doğrusal olmadığı gözlenmiştir. YSA yönteminin en büyük özelliklerinden biri doğrusal olmayan yöntemlere uygulanabilmesidir. YSA sistemlerine olaylar öğretilir, bu bilgilere göre sistem benzer olaylar karşısında aynı tepkileri verirler. Sistemin öğrenme yeteneği olmasında dolayı, doğrusal olmayan sistemlerde iyi sonuçlar verebilirler. YSA'larında, kullanıcının belirlediği girdiler, belli ağırlıklarda sisteme katılarak, sonuca ulaşılır. Bu sistem sayesinde, YSA algoritmaları eksik bilgi ile çalışabilmektedirler ve dereceli olarak bozulmaktadır. Fakat, YSA sisteminin girdilerinin ve ağırlıklarının oluşturulabilmesi için, yeteri veri setlerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu da maliyetli ve zaman gerektiren bir iştir. Avantajları incelendiğinde YSA sisteminin DY'nin açısai konumunun bulunmasında kullanılabilecek, uygun bir sistem olduğu görülmektedir.

DY'nin açısai konumu bulmak için, kazanın önünde ve arkasında bulunan ivme sensörlerinden gelen bilgiler ve hall sensöründen gelen sinyal kullanılmaktadır. Gelen bu bilgiler anakartta toplanır ve oluşturulan algoritma ile işlenir. Anakart çıktı olarak sisteme DY'nin yatay konumunu ve açısai konumunu vermektedir. Aşağıdaki şematikte sistemin çalışması sistematik olarak anlatılmaktadır.



Şekil 8.1 : Denev sisteminin çalışma prensibi.

Hall sensöründen gelen sinyal, sistemde referans noktayı oluşturmaktadır. Açısai konumda sıfır noktasının belirlenmesi için kullanılmıştır. Oluşturulan sıfır noktasına göre, ivme sensörlerinden gelen sinyallerdeki zaman alanında oluşan kaymalar, açısai olarak kayma anlamına gelmektedir. Şekil 8.2 de açısai değişimde oluşan sinyaller gösterilmektedir. Mavi renkteki sinyal hall sensöründen gelen ve her turda oluşan tetikler sıfır noktası geçişini göstermektedir. Sıfır noktasına konulan DY oluşturduğu ivme sensörü sinyali kırmızı ile gösterilen sinüs sinyalidir. DY konumu açısai olarak kaydırıldığında oluşan yeni ivme sensörü sinyali yeşil renkteki sinüs sinyalidir. Sinüs sinyalleri arasındaki kayma DY açısai konumunun değişmesinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 8.2 : Açısal değişimde oluşan ivme sensörü ve hall sensörü sinyali.

Açısal konumun bulunması için, dört ivme sensörü sinyalinin maksimum noktalarının, hall sensörünün tetik sinyali ile arasındaki zaman farkı ve zaman farkındaki kaymalar kullanılmaktadır. Açısal konumda kullanılan, zaman kaymaları doğrusal değildir. Zaman kaymaları, DY'nin yatay konumuna ve miktarına göre çeşitlilik göstermektedir. Bu yüzden açısal konumun bulunması doğrusal olmayan bir problemdir. Doğrusal olmayan problemlerin çözülmesinde başarıyla kullanılan YSA, bu problemin çözülmesinde de kullanılmıştır.

8.1 Dengesiz Yükün Açısal Konumunun Bulunmasında Çok Katmanlı Ağların Kullanılması

DY açısal konumunun bulunması için YSA yapılarından ÇKA seçilmiştir. ÇKA seçilmesinin sebebi, ÇKA sistemlerinin danışmalı öğrenmeli yöntemiyle eğitilmeleridir. Ağa örnekler ve örneklerden elde edilmesi gereken çıktılar verilir. ÇKA modeli, bu örneklerde verilen bilgilerden yararlanarak genelleme yapar ve çözüm kümesini oluşturur. Daha sonra girdilere göre bu çözüm kümesini kullanarak çıktılar üretirler. ÇKA genelleme yapabilmektedir.

8.1.1 İleri doğru hesaplama

İleri doğru hesaplama ÇKA yapısının ilk bölümüdür. Bu bölümde deneylerle oluşturulan veri seti kullanılmaktadır. Bu veri setine göre girdiler belirlenmektedir. Her girdi elemanına ara katmana bağlantı ağırlıklarının oranında gelir. DY açısai konumunu hesaplamada, üç girdi belirlenmiştir. Bunlar; DY yatay konumu, ağırlığı ve referans noktasına göre faz kayma oranıdır. Bütün girdiler denklem 3.9 da verilen net girdi denklemiyle hesaplanır. Denklem 8.1 de, bu ÇKA kullanılan üç girdi için ağırlıklandırma denklemi vardır.

$$Net = A_1(DY \text{ Ağırlığı}) + A_2(DY \text{ Yatay Konumu}) + A_3(Faz \text{ Kayması}) \quad (8.1)$$

Burada üç girdi değeri için ağırlıklandırmalar belirlenmiştir. Bu ağırlıklar ilk girişte, [0 1] arasında ortalama bir değeri belirlenir ve ilk ağırlık olarak verilir. Ağırlıklandırılmış girdiler, aktivasyon fonksiyonlarından biri kullanılarak katman eleman çıktısı hesaplanmaktadır. Bu sistemde doğrusal olmayan problemlerde en yaygın olan fonksiyonlardan biri olan sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Denklem 3.4 deki sigmoid fonksiyonu, buradaki sisteme uygulanmıştır ve aşağıdaki denklem 7.2 elde edilmiştir.

$$\zeta = \frac{1}{1 + e^{-Net}} \quad (8.2)$$

Bu yapılan işlemler sonunda girdi değerlerine ve ilk belirlenen ağırlıklara göre bir çıktı değeri oluşmaktadır. Fakat bu çıktı değeri eğitilmemiş olduğundan ve rastgele seçilen ağırlıklara göre değerlendirildiğinden, oluşan çıktının hatası büyük olabilir. Bu sorunu çözmek içinde şekil 3.11 de gösterilen geri doğru hesaplama algoritması kullanılmıştır.

8.1.2 Geri doğru hesaplama

Geri doğru hesaplama bölümünde, ileri doğru hesaplamada kullanılan ağırlık parametreleri sistemin hatasına göre tekrar tekrar düzenlenir. Yani geri doğru hesaplama işleminde sistemdeki hata takibi yapılır ve sistem istenilen hataya gelene kadar veya istenilen tekrar yapılarına kadar tekrarlanır. Bu sayede çıkan ağırlıklar,

sistem girdilerinin ağırlıklarının optimize ederek belirler. Yani kullanıcı tarafından belirlenen hata elde edilene kadar sistem çalışır. Denklem 8.3 kullanılarak elde edilen çıktıya kadar sistem güncellenir.

$$E = B - \zeta \quad (8.3)$$

Toplam hatanın bulunabilmesi için algoritmada denklem 3.12 kullanılır. Burada hatanın türev alınabilir olması gerekmektedir. Çünkü hatanın minimum noktasının bulunabilmesi için toplam hatanın oluşturduğu çıktının türevi kullanılır.

Ağırlıklarının sürekli yenilenmesi için öğrenme değeri kullanılır. Bu öğrenme değeri de ağırlıkla beraber sürekli yenilenmektedir.

Aşağıdaki çizelge 8.1 de üç değişken için veri seti oluşturulmuştur. Burada oluşturulan üçlü veri seti denklem 8.1 gibi ağırlıklandırılır.

Çizelge 8.1 : YSA kullanılan girdilerden oluşan örnek veri seti.

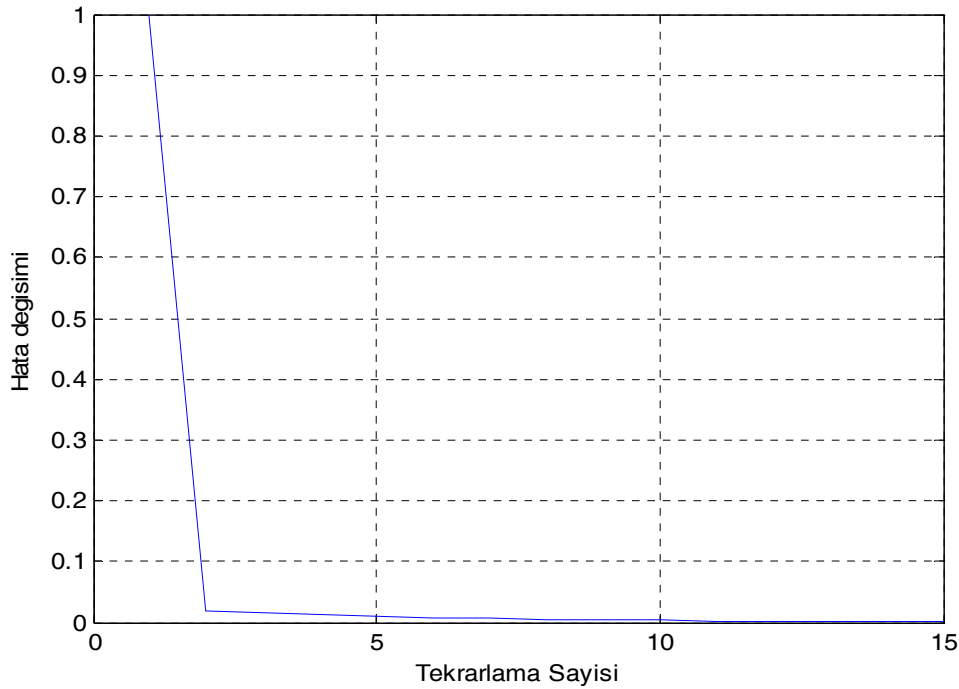
DY miktarı	Yatay Konum	Faz Kayması	Periyot (150 d/d)	Açısal Konum
800 gr	0,25 önde 0,75 arkada	88	150	120°
1000 gr	ortada	92	150	120°
1200 gr	0,75 önde 0,25 arkada	83	150	120°

Çizelge 8.1 deki veriler ve denklem 8.1 birleştirilip, sistemin başlangıç denklemi oluşturulur. Çizelge 8.1 deki değerler kullanıldığında ve şekil 3.11 deki sisteme göre oluşturulan algoritma kullanıldığında elde edilen sonuç aşağıdaki çizelge 8.2 gibi olmuştur.

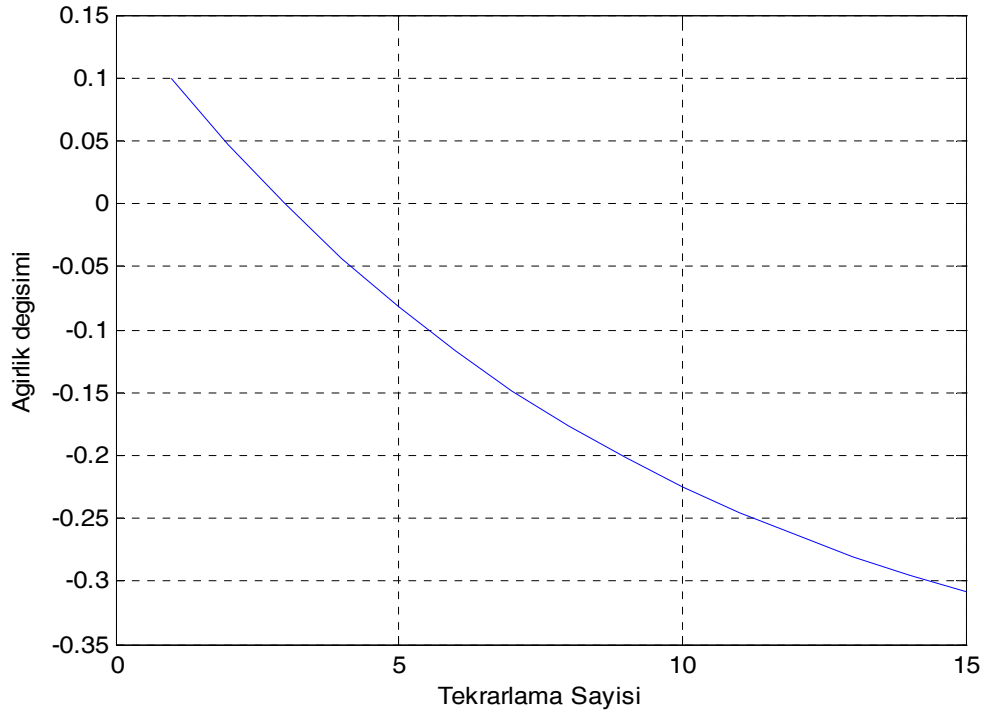
Çizelge 8.2 : Örnek veri çizelgesinin çıktıları.

Beklenen hata	Oluşan hata (°)	Döngü Sayısı	A(1) (Dengesiz Yükün Ağırlığı)	A(2) (Yatay Konumun Ağırlığı)	A(3) (Faz Kayması Ağırlığı)
<0,001	0,0009812°	15	-0,3210	-0,2669	-0,2042
<0,0001	0,00007919°	26	-0,4001	-0,3361	-0,2611

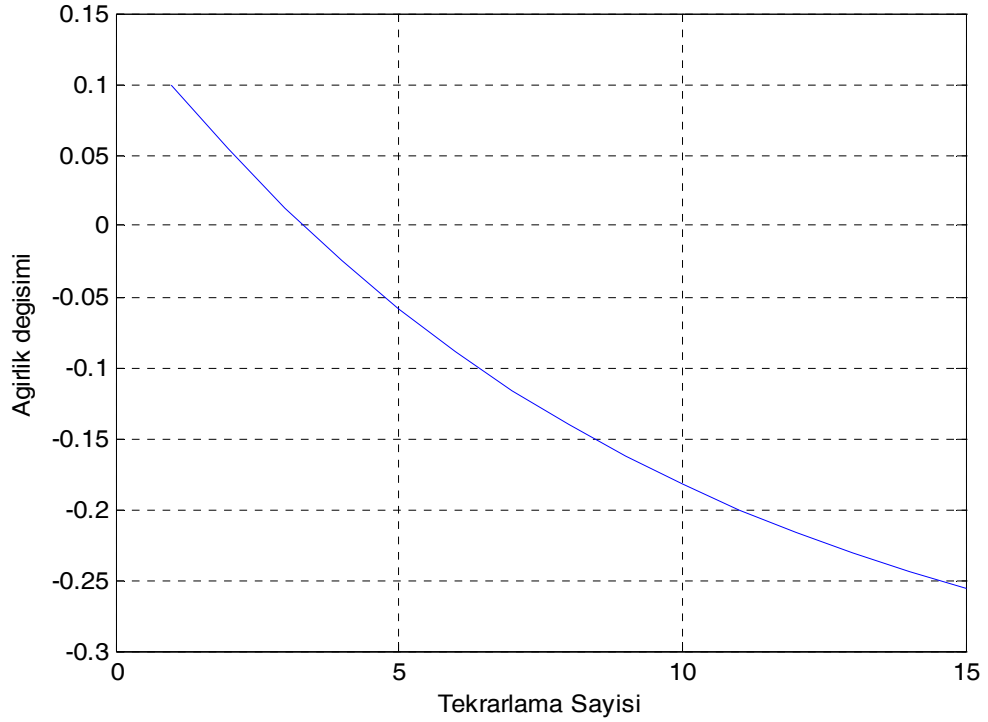
Çizelge 8.2 sonuçlardan da görüldüğü gibi ileri doğru hesaplama ve geri doğru hesaplama algoritmaları düzgün çalışmaktadır. Şekil 8.3 de oluşan grafiğe göre birinci tekrarlama hata birden büyükken on beşinci tekrarlama hata 0,001 altına düşmüştür ve istenilen hata seviyesine ulaşmıştır. Şekil 8.4, 8.5 ve 8.6 da verilen grafiklerde, istenilen hataya gelene kadar ağırlıklara uygulanan güncellemeler görülmektedir.



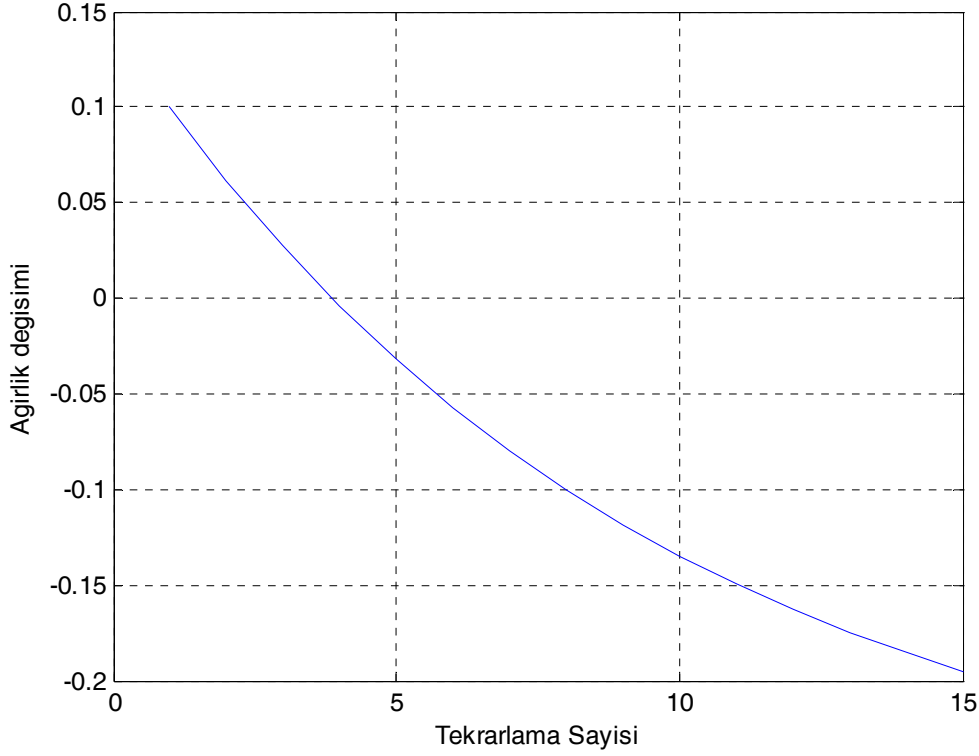
Şekil 8.3 : YSA örneğinde oluşan hata değişimi.



Şekil 8.4 : YSA örneğinde DY yükünün ağırlık değişimi.



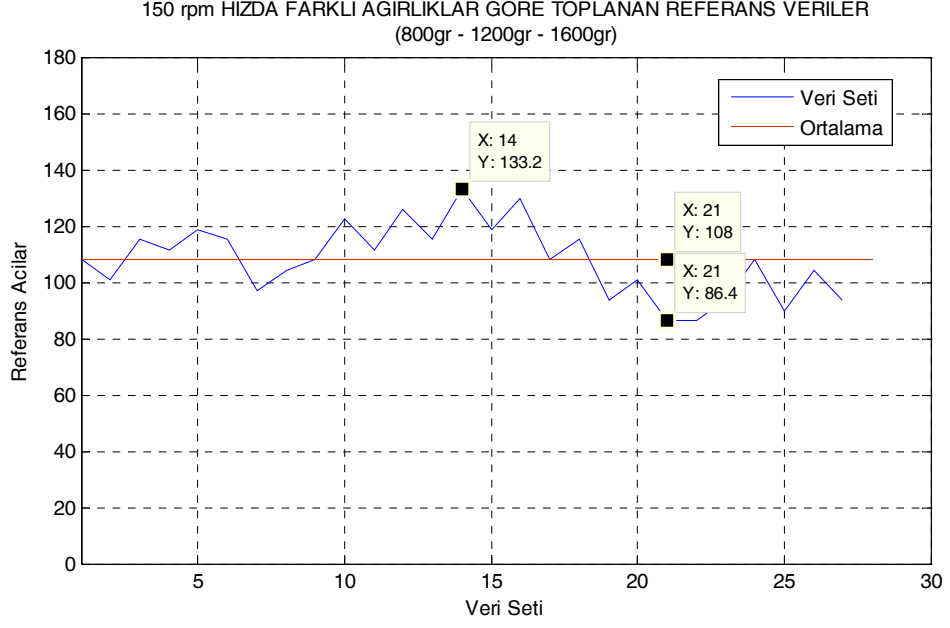
Şekil 8.5 : YSA örneğinde yatay konumun ağırlık değişimi.



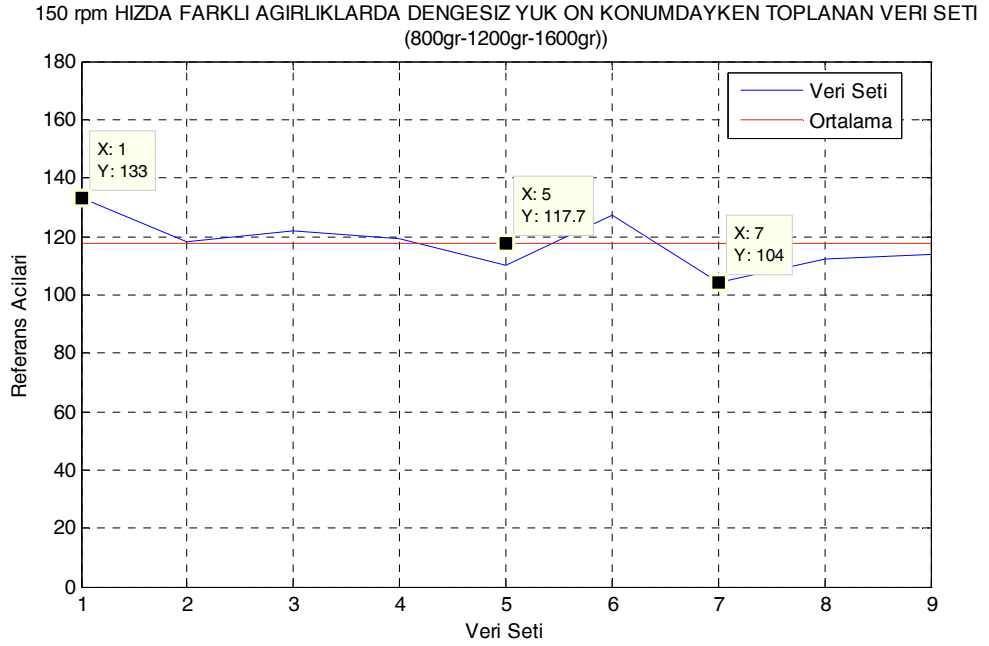
Şekil 8.6 : YSA örneğinde açılmal konumun ağırlık değışimi.

Veri setleri hakkında detaylı bilgi için ekler A.1 bölümünden verilmiştir. Matlab programında oluşturulan YSA kodu için de ekler A.3 bölümünden verilmiştir.

Yapılan çalışmalar, sonucunda dengesiz yükün yatay konumunun kullanılarak oluşturulan YSA algoritmasının, doğrusal yöntemle göre hatayı azalttığı görülmüştür. Şekil 8.7 de doğrusal yöntem kullanılarak oluşan saçınıklıklar ve şekil 8.8, şekil 8.9 ve şekil 8.10 da BMK ve YSA algoritmaları kullanılarak oluşan saçınıklıklar görülmektedir.

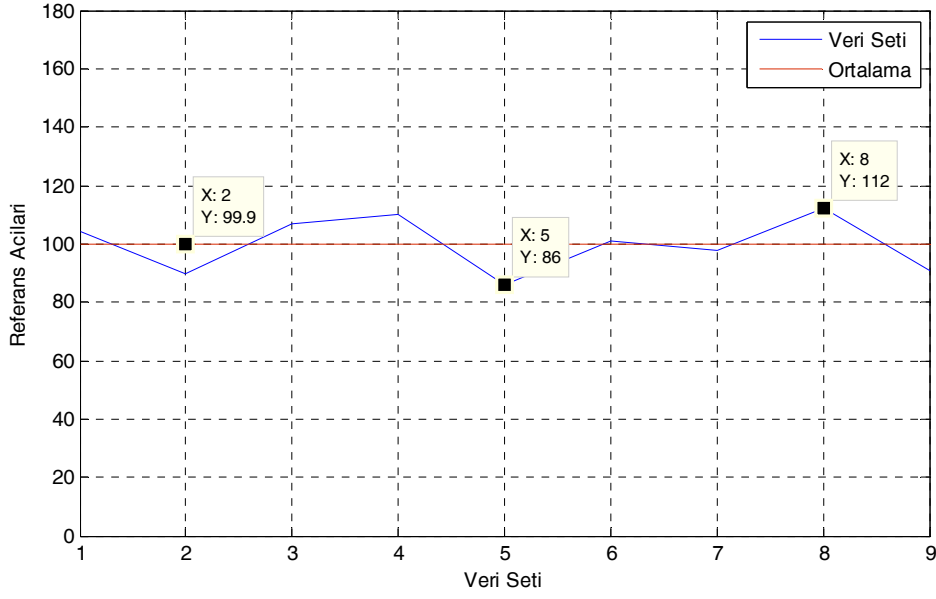


Şekil 8.7 : 150 d/d hızda farklı ağırlıklara göre doğrusal yöntemde oluşan saçınıklık.



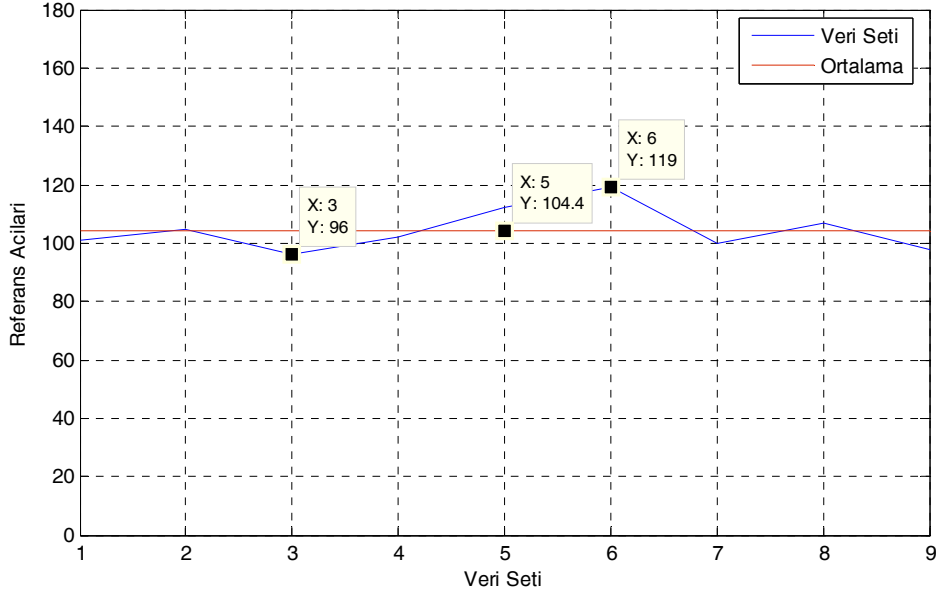
Şekil 8.8 : 150 d/d hızda farklı ağırlıklara göre dengesiz yük ön konumdayken BMK ve YSA sistemine göre oluşan saçınıklık.

150 rpm HIZDA FARKLI AĞIRLIKLARDA DENGESİZ YÜK ORTA KONUMDAYKEN TOPLANAN VERİ SETİ
(800gr-1200gr-1600gr)



Şekil 8.9 : 150 d/d hızda farklı ağırlıklara göre dengesiz yük orta konumdayken BMK ve YSA sistemine göre oluşan saçınıklık.

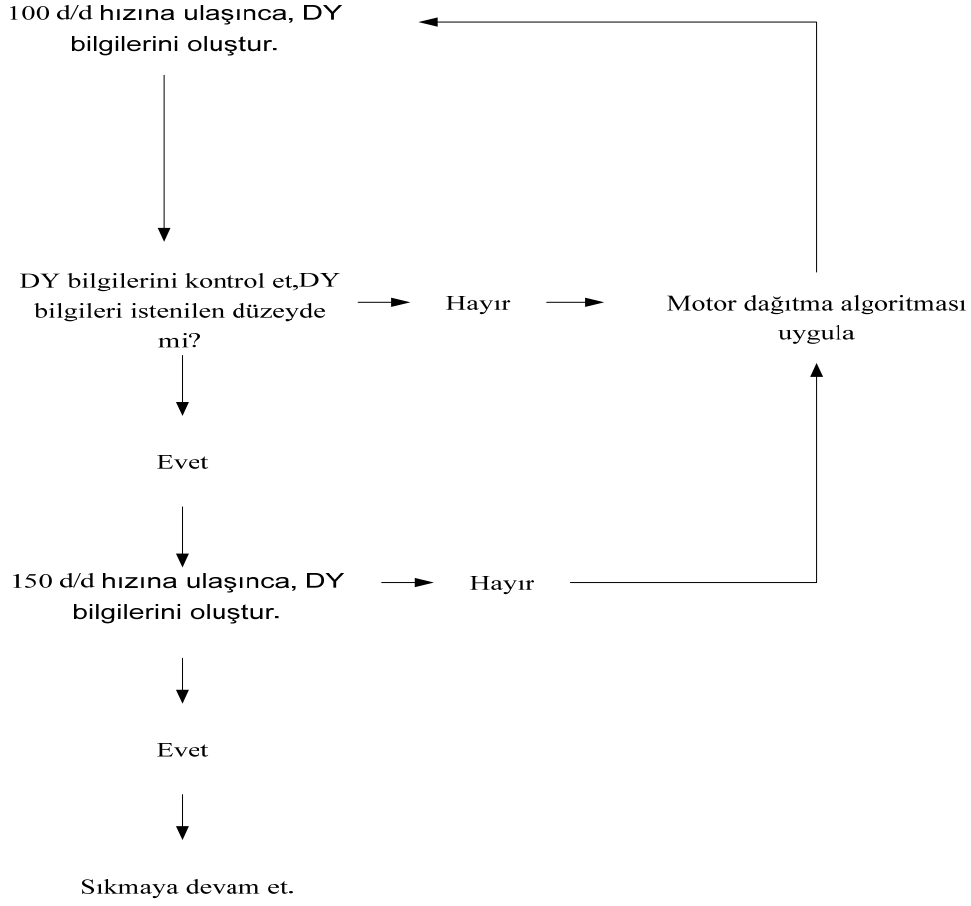
150 rpm HIZDA FARKLI AĞIRLIKLARDA DENGESİZ YÜK ARKA KONUMDAYKEN TOPLANAN VERİ SETİ
(800gr-1200gr-1600gr)



Şekil 8.10 : 150 d/d hızda farklı ağırlıklara göre dengesiz yük arka konumdayken BMK ve YSA sistemine göre oluşan saçınıklık

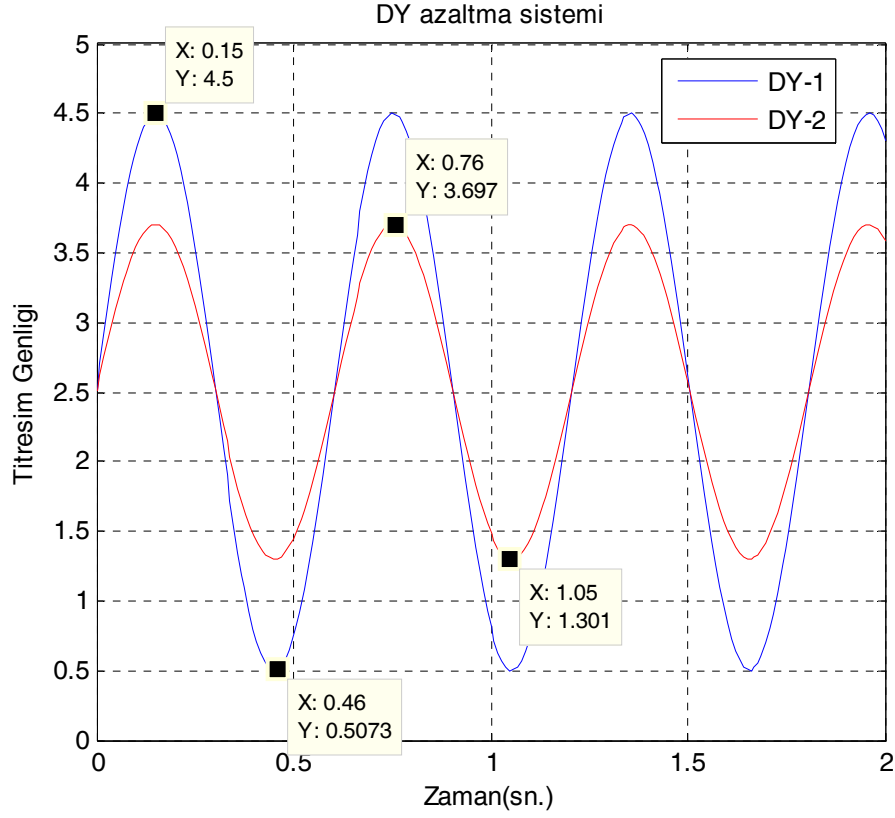
9. ÇAMAŞIR MAKİNESİNDE DENGESİZ YÜKÜN ETKİSİNİN AZALTILMASI

Çamaşır makinesinde oluşan DY yatay konumunun ve açısal konumunun bulunmasını 6. , 7. ve 8. bölümde detaylı bir şekilde inceledik. Şu anda günlük hayatımızda kullanılan çamaşır makinelerinde, DY bu detayda incelenmemektedir ve bir dengeleme sistemi bulunmamaktadır. DY azaltmanın veya yok etmenin tek yolu DY tam karşısında, DY miktarı kadar bir kütle oluşturmaktır. Fakat şu anda dengeleme sistemi olmadığı için, bulduğumuz bilgileri çamaşır makinesinin motorunun kullanarak, DY miktarını gerekli düzeye indirilmiştir. Oluşturulan sistem şekil 9.1 de gösterilmiştir.



Şekil 9.1 : DY azaltma algoritması.

Şekil 9.1 incelendiğinde, motor kazanı 100 d/d hızlandırır ve ilk ölçüm yapılır. Gelen DY sinyalleri incelenir ve en büyüğüne bakılır. Eğer en büyük sinyal istenilen seviyeden büyükse, motor hızı sıfırlanır ve dağıtma algoritması uygulanır. Bu dağıtma algoritmasında, motor 40 d/d, 60 d/d ve 80 d/d hızlara basamak basamak hızlanarak oluşan DY dağıtmaya çalışılmıştır.



Şekil 9.2 : DY azaltma sistemi kullanılarak elde edilen DY titreşimleri.

Şekil 9.2 görülen grafikte, oluşan DY 100 d/d hıza geldiğinde oluşan ilk sinyal DY-1 ile gösterilen mavi sinyaldir. Bu sinyalde oluşan titreşimin genliği 4V büyüklüğündedir. 1600 gr. DY, çamaşır makinesi için 100 d/d üst sınır olarak belirlenmiştir ve oluşturduğu en büyük titreşim genliği 3.9V olarak gözlemlenmiştir. Bu yüzden 4V ve üzerinde titreşim sinyali olduğu zaman sistem hızlanmaya izin vermemektedir. Eğer bu titreşim genliği görülürse, şekil 9.1 deki algorithmadan da görüldüğü gibi motor DY dağıtma hareketleri yapar ve tekrar sıkmaya başlar. Dağıtma işleminden sonra elde edilen titreşim genliği DY-2 ile belirtilen kırmızı sinyaldir. Görüldüğü gibi genlikler 2,4V küçülmüştür ve motor hızlanma kararı almıştır. Yani DY yük algılanıp, güvenli bölgeye indirilip sıkma işlemi yapılmıştır. Eğer DY yük algılanma işlemi yapılmıyorsa, çamaşır makinesi güvensiz ve hasarlı bir şekilde sıkma işlemini gerçekleştirecekti.

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Teknoloji gösterdiği gelişim ve kolaylıklar sayesinde günümüzde her alanda yer almaya ve yenilikler getirmeye başlamıştır. Beyaz eşya sektöründe de, gelişmelerin ve yeniliklerin oluşması için, gelişen teknolojilerin sistemlere adapte edilmesi gerektiği görüldü. Bu yüzden yeni çıkan kontrol sistemleri ve ölçüm sistemleri kullanılarak akıllı makineler oluşturulmaya başlandı.

Beyaz eşya sektöründe oluşan ürünlerden en eskilerinden biri çamaşır makinesidir. Çamaşır makinesine oluşumundan, şu ana kadar teknolojiye göre birçok değişikliğe uğramış ve günümüzdeki halini almıştır. Kullanıcının, çamaşır makinesinden en büyük beklentilerinden biri çamaşırını en iyi şekilde yıkması ve sıkmasıdır. Çamaşır makinesinde en büyük sorunların ve sıkıntıların yaşandığı bölüm sıkma programıdır. Sıkma programında, çamaşır makinesinin, çamaşırın üzerindeki suyun büyük miktarını atması gerekmektedir. Bunun için de, çamaşır makinesinin sıkma devri 2000 d/d kadar yükseltilmiştir. Fakat sıkma devri yükseldikçe, DY oluşturduğu etkiler, titreşimler ve sesler artmıştır. Bu yüzden, yüksek devir sıkma yapan sistemlerde yeni önlemler olarak, hacimler de azaltma veya sıkmayı önleme gibi yeni teknikler kullanılmıştır.

Literatür taraması yapıldığında, yüksek devirde sıkma programlarında oluşan sorunları engellemek için, DY dolaylı yollardan algılanması, pasif dengeleme sistemleri, DY dağıtılması gibi yöntemler kullanılmıştır. Bunlardan hiç biri çamaşır makinesindeki sorun için kesin çözüm olmamıştır.

Bu tezde, DY ağırlığının, açısal ve yatay konumunun sensör sistemleri ve yeni kontrol algoritmaları kullanılarak en ucuz ve iyi şekilde algılanmasına çalışılmıştır.

Kazandaki titreşimin algılanması için, kazanın önüne ve arkasına yapıştırılan iki adet ivme sensörü kullanıldığı için, DY etkileri direk algılanmıştır.

Yapılan ilk çalışmada, çamaşır makinesinin dinamiği ve çalışma prensibi ortaya konmuş ve DY etkileri gözlemlenmiştir. Kazan iki yay ve iki amortisörden oluşan bir süspansiyon sistemine sahiptir. DY ve devire bağlı olarak süspansiyon sisteminin yaptığı hareketlerin farklılaştığı gözlemlenmiştir. Süspansiyon sistemi, tasarıma bağlı olarak belli miktarda DY'nin oluşturduğu hareketleri sönümleyebilmektedir. Eğer daha büyük DY oluşursa, ya çamaşır makinesi sıkılaşma kararı verir ya da güvensiz bir şekilde sıkma programını gerçekleştirir.

İlk oluşturulan ölçüm sisteminde (Bölüm 6), DY algılanması için ivme sensöründen gelen bilgiler ve hall sensörünün oluşturduğu referans sinyali kullanılmıştır. İvme sensörünün titreşim sinyalinin, hall sensörüne göre kayması takip edilerek DY açısız konumu belirlenmiştir. Yapılan testler sonucunda DY konumu maksimum $\pm 20^\circ$ hatayla yani toplamda 40° , %11 hatayla bulunmuştur. Hataların oluşma sebepleri araştırıldığında, DY açısız konumu tahmin etmede faz kaymasının en büyük etken olsa da, sadece buna bağlı olmadığı gözlemlenmiştir. Faz kaymasındaki değişimlerin DY miktarına ve tamburdaki yatay konumuna göre doğrusal olmayan bir saçınıklık oluşturduğu görülmüştür. Bu yüzden bölüm 7 ve bölüm 8 deki yeni yöntemlere başvurulmuştur.

İkinci yapılan iyileştirme çalışmasında, ilk olarak DY açısız konumunu bulmada kullanılan faz kaymasını saçınıklığının etkilerinden biri olan yatay konum bulunmasına çalışılmıştır. Yatay konumun bulunmasında, BMK algoritması kullanılmıştır. BMK kullanılmasının sebebi, yatay konumun beş kısmi bölgeye ayrılıp, bir kural tabanına göre yatay konumun kısmi bir şekilde bulunmak istenmesidir. Yani, sistem çıktı olarak yatay konumdaki dengesiz yükün ne kadar önde, ne kadar arkada olduğunu belirtir, sınırları kesin bir şekilde ayırmaz. Oluşturulan kural tabanına göre yapılan çalışmalar da, yatay konumdaki hesaplamaların %8 hatayla tespit edildiği gözlemlenmiştir. Elde edilen bu çıktılar, DY açısız konumun bulunması için kullanılan YSA algoritmasının girdilerinden birini oluşturmuştur.

DY açısız konumunun bulunması için YSA algoritması seçilmiştir. YSA seçilmesinin en büyük sebebi doğrusal olmayan sistemlerin çözülmesindeki başarısıdır. DY açısız konumunun bulunmasında, girdilerin değerleri doğrusal

olmayan değişiklikler göstermektedir. Ayrıca YSA sistemleri öğrenme yeteneğinden dolayı sistemdeki hatayı minimize edebilmektedir. Ağırlık, yatay konum ve faz kaymasından oluşan üç girdi, YSA algoritmasında öğrenme algoritması kullanılarak ağırlıklandırılmıştır. Bu ağırlıklandırmalar kullanılarak yapılan testlerde, oluşan maksimum açısal hatanın $\pm 5^\circ$ olduğu, yani toplamda 10° , %2,8 olduğu görülmüştür.

Algoritmaları karşılaştıracak olursak,

Yapılan çalışmalarla ilgili sonuçları kısaca şöyle ifade edebilir;

1. DY açısal konumu ilk çalışmada % 11,1 hatayla bulunmuştur.
2. DY yatay konumu BMK algoritması kullanılarak % 8 hatayla tespit edilmiştir ve DY açısal konumunun bulunması için YSA algoritmasına girdi oluşturmuştur.
3. DY açısal konumunun daha hassas bulunabilmesi için YSA algoritması kullanılmış ve %2,8 hatayla DY açısal konumu tespit edilmiştir.
4. Yapılan çalışmalar DY sıkma sınırı için çamaşır makinesinde kullanılmış ve DY maksimum değerinde sorunsuz ve güvenli bir şekilde sıkma kabiliyeti oluşturulmuştur.

Şu anda yaptığımız çalışmalar, esasında çamaşır makinesinin yapısında oluşacak gelişim için öncü bilgileri oluşturmaktadır. Pasif dengeleme halkası gibi, pasif dengeleme sistemlerinin çok daha verimli ve aktif kullanılabilmesi için DY bilgilerinin detaylı şekilde bulunması gerekmektedir. Çamaşır makinesinde aktif dengeleme yapılabilmesi için DY açısal ve yatay konumunun en hassas şekilde tespit edilip karşısında bir yük oluşturulması gerekmektedir. Aktif dengeleme sistemleri şu anda büyük sanayi modeli çamaşır makinelerinde kullanılmaktadır. Burada kullanılan sistemlere fiyatları ivme sensörlerinin yaklaşık 50 katı olan sensörler eklenmiştir ve dengeleme sisteminin yapılması için önde ve arka oluşturulan dengeleme halkalarına DY karşısına gelecek şekilde suyu çok hızlı şekilde atabilecek nozullar kullanılmıştır.

Bu sistemler yüksek fiyatları nedeniyle, günlük makinelere uygulanamamaktadır. Yapılan çalışmada DY açısai ve yatay konumu, çamaşır makinelerine kullanılabilir fiyatlarıdaki sistemlerle ve gerekli hassasiyette bulunmuştur. İleriki çalışmalarda uygun fiyat ve performans gösterebilen dengeleme sistemleri oluşturulabilirse, çamaşır makinelerindeki titreşimler ve sesler en az seviyelere indirilebilirler. Bu sayede çok yüksek kapasiteli ve performanslı çamaşır makinelerinin tasarımı mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Bedetti, Nicola.** 2001. Method for determining total inertia and unbalanced load in a laundry drum of washing machine, *European Patent*, No: 1113102A1, alındığı tarih 04.07.2001.
- [2] **Sun Quan Cui.** 2006. Washing machine with sensor and its control method, *China Patent*, No: 171500A, alındığı tarih 04.01.2006.
- [3] **Avenwedde Josef, Bicker Rainer, Herden Rudolf.** 2001. Imbalance detection device for washing machine drum uses pressure sensor mechanically coupled to washing liquid container enclosing rotating washing drum, *Germany Patent*, No: 10110854, alındığı tarih 18.10.2001
- [4] **Thomas A. Musser, Gregory A. Peterson.** 2009. Appliance having a vibration detecting device, *United Kingdom Patent*, No: 0266113A1 alındığı tarih 29.10.2009.
- [5] **Y. Yuan, A. Buendia, R. Martin and F. Ashrafzadeh,** 2007: Unbalanced load estimation algorithm using multiple mechanical measurements for horizontal washing machines, *IEEE Sensors Conference*, pp 1033-1306.
- [6] **E. Papadopoulos, I. Papadimitriou,** 2001: Modeling, design and control of a portable washing machine during the spinning cycle, *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Vol.2, p.899-904.
- [7] **J. Chung,** 1999: Dynamic analysis of an automatic dynamic balancer for rotating mechanisms, *Journal of Sound and Vibration*, Vol.228, Iss.5;p.1035-1056.
- [8] **Y. Sonoda, H. Yamamoto, Y. Yokoi,** 2003: Development of the vibration control system “G-Fall Balancer” for a drum type washer/dryer, *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, (0-7803-7759-1), Vol.2;p.1140.

- [9] **A. Yörükoğlu, E. Altuğ**, 2009: Determining the Mass and Angular Position of the Unbalanced Load in Horizontal Washing Machines, *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*
- [10] **L.A. Zadeh**, 1965: "Fuzzy sets", Information and Control
- [11,13] **Şevki Işıklı**, -. Bulanık Mantık ve Bulanık Teknolojiler
- [14] **Bülent Çobanoğlu**, 2000: MYO/GOP Üniversitesi
- [15] **Klir, George J., Yuan, Bo**, 1995: Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications, Prentice Hall
- [16,18] **L.A. ZADEH**, 1977: To Appear in Fuzzy Sets and System.
- [17] **L.A. ZADEH**, 1971: On Fuzzy Algorithms, Electron. Res. Lab., Univ. California, Berkeley
- [19] http://tr.wikipedia.org/wiki/Yapay_sinir_a%C4%9Flar%C4%B1 alındığı tarih 14.08.2009
- [20] **Baylar A, Emiroglu ME, Arslan A.**, 1999: Geriye Yayılma Yapay Sinir Ağı Kullanarak Yanal Su Alma Yapısına Yönelecek Olan Sürüntü Maddesi Oranının Bulunması
- [21] **Durmus HK**, 2005: Yapay sinir ağlarının (YSA) kullanımı. Mühendis ve Makine, Meriç C. Makine mühendisliği
- [22] **Marvin Minsky**, Minsky's book, 1969.

EKLER

EK A.1: Deneylerden oluşturulan veri seti

EK A.2: BMK Matlab kodları

EK A.3: YSA Matlab kodları

EK A.4: Elektronik malzemelerin ayrıntılı bilgisi

EK A.1

Çizelge A.1 : Deneylelerden oluşın örnek veri seti.

Ağırlık(gr)	Xön	Yön	Xarka	Yarka	Xön-f	Xar-f	Ö-O-A	açı	periyot	X/X	Y/Y
800	82	53	27	24	30	19	Ö 120	100	3,037037	2,208333	
800	84	51	26	26	28	17	Ö 120	100	3,230769	1,961538	
800	79	56	23	29	32	21	Ö 120	100	3,434783	1,931034	
800	58	39	52	31	31	22	O 240	100	1,115385	1,258065	
800	56	41	57	35	33	18	O 240	100	0,982456	1,171429	
800	59	42	49	31	32	23	O 240	100	1,204082	1,354839	
800	16	12	52	40	27	19	A 360	100	0,307692	0,3	
800	17	16	57	44	29	19	A 360	100	0,298246	0,363636	
800	21	14	56	48	30	21	A 360	100	0,375	0,291667	
1200	119	81	34	36	57	51	Ö 120	100	3,5	2,25	
1200	127	77	39	40	58	47	Ö 120	100	3,25641	1,925	
1200	121	84	35	39	64	50	Ö 120	100	3,457143	2,153846	
1200	81	56	61	49	59	52	O 240	100	1,327869	1,142857	
1200	87	62	63	57	62	48	O 240	100	1,380952	1,087719	
1200	85	63	67	54	62	51	O 240	100	1,268657	1,166667	
1200	32	13	73	61	58	48	A 360	100	0,438356	0,213115	
1200	36	14	88	66	59	50	A 360	100	0,409091	0,212121	
1200	37	16	84	68	62	52	A 360	100	0,440476	0,235294	
1600	194	106	47	47	94	84	Ö 120	100	4,12766	2,255319	
1600	182	102	48	53	93	80	Ö 120	100	3,791667	1,924528	

1600	184	112	51	58	98	83	Ö 120	100	3,607843	1,931034
1600	142	77	126	81	91	85	O 240	100	1,126984	0,950617
1600	149	83	121	88	93	81	O 240	100	1,231405	0,943182
1600	137	82	113	83	95	84	O 240	100	1,212389	0,987952
1600	31	25	103	78	89	81	A 360	100	0,300971	0,320513
1600	32	32	113	82	91	83	A 360	100	0,283186	0,390244
1600	35	29	108	89	96	85	A 360	100	0,324074	0,325843

EK A.2

```
clear all,
clc,
fs=readfis('two');
showrule(fs)
figure,
plotmf(fs,'input',1)
grid on
figure,
plotmf(fs,'input',2)
grid on
figure,
plotmf(fs,'output',1)
grid on
figure,
gensurf(fs)
figure,
plotmf(fs,'output',1)
grid on
out=evalfis([3 2], fs)
disp(['Yatay konumdaki konumu yüzde ', num2str(out*100), ' arkada']);
disp(['Yatay konumdaki konumu yüzde ', num2str(100-(out*100)), '
önünde']);
hold on
x=0:0.01:1;
plot(out,x, '.')
```

EK A.3

```
%p=[agirlik yatay_konum aci]
p1=[0.8 0.25 88/105];
p2=[1 0.5 92/105];
p3=[1.2 0.75 83/105];
x=[p1' p2' p3'];

%bulmasi gereken aci
y=[120/360 120/360 120/360]';

%Agirliklar
A=[0.1 0.1 0.1];
AA=[0.4 0.5 0.2
     0.2 0.1 0.2];

%degiskenler
h=0;
h1=1;
k=1;
l=1;
t=0;
O=[0; 0; 0; 0];
OO=[ 0.5; 0.5; 0.5];
nu=0.5;
tekrar=0;
hata=zeros(1,35);
A1=zeros(1,35);
A2=zeros(1,35);
A3=zeros(1,35);

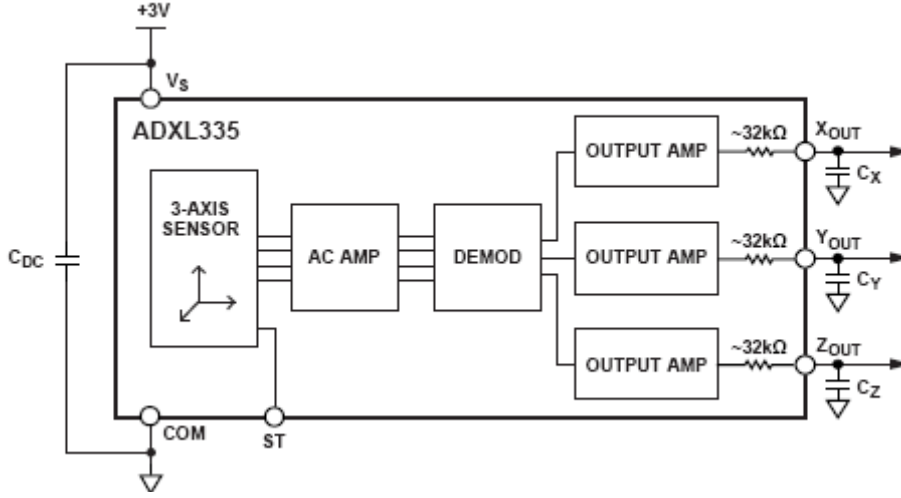
while(h1>0.0001)
    tekrar=tekrar+1;
    hata(tekrar)=h1;
    A1(tekrar)=A(1,1);
    A2(tekrar)=A(1,2);
    A3(tekrar)=A(1,3);
    k=1;
    while(k<4)
        %PATTERN BÜYÜKLÜĞÜ = K-1
        l=1;
        while(l<3)
            %SAKLI ALAN
            OO(l)=1/(1+exp(-(AA(l,:) * x(:,k))));
            l=l+1;
        end
        O(k)=1/(1+exp(-(A*OO)));
        A=A+nu*(y(k)-O(k))*O(k)*(1-O(k))*OO';
        l=1;
        while(l<3)
            AA(l,:)=AA(l,:)+nu*(y(k)-O(k))*O(k)*(1-O(k))*A(l)*OO(l)*(1-
OO(l))*x(:,k)';
            l=l+1;
        end
    end
end
```

```
        h=1/2*(y(k)-O(k))^2;
        h1=h
        k=k+1;
    end

    if (tekrar>10000)
        h1=0;
    end
    t=t+1;
end
```

EK A.4

ADXL 335 ivme sensörü, analog devices firmasının üç eksende oluşan ivme

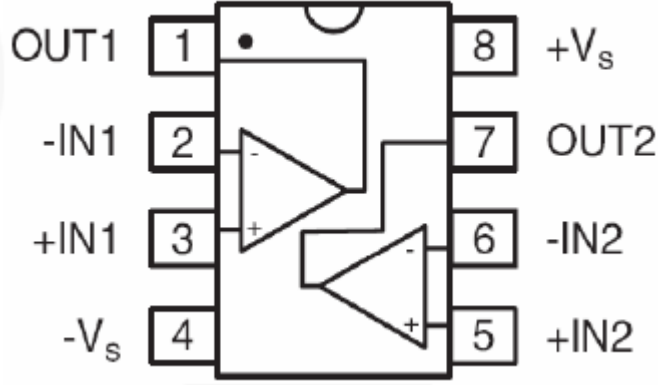


Şekil A.4.0.1 : ADXL 335 ivme sensörü fonksiyonel blok diagramı.

Adxl 335 ivme sensörü ;

- Küçük, ince ve düşük güçlü, 3 eksen için oluşan ivmeleri voltaja dönüştürür.
- $\pm 3g$ aralığındaki ivmeleri ölçebilmektedir.
- Statik ivmelemeleri ve titreşim, hareket ve şoktan oluşabilecek dinamik ivmelenmeleri de ölçebilmektedir.
- çalışma aralığını ayarlamak için C_x , C_y ve C_z kapasitörlerini kullanır.
- X ve Y eksenleri için 0.5 Hz den 1600 Hz kadar, Z eksenini için de 0.5 Hz den 550 Hz kadar kullanabilir.

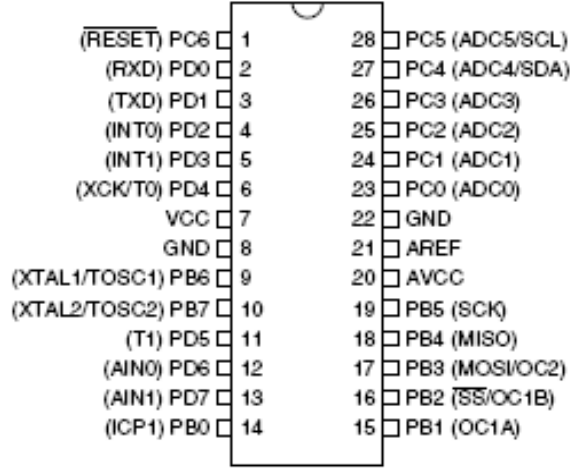
FAN4274 fairchild firmasının çift kuvvetlendiricili, rail to rail giriş çıkışa sahip olan opamp modelidir.



Şekil A.4.0.2 : FAN4274 şematik.

FAN4274 kuvvetlendirici;

- 200 μ a besleme akımı her güçlendirici gerekmketedir.
- 3.7MHz çalışma banda sahiptir.
- 3V/ μ s selw rate vardır.
- 25nV/Hz giriş voltaj gürültüsü vardır.
- +2.7V tan +5V kadar çalışma gerilimine sahiptir.

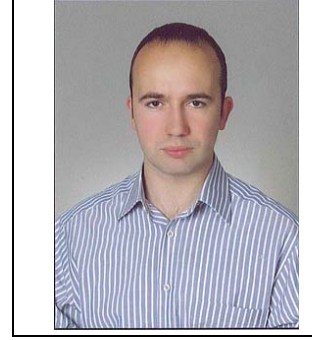


Şekil A.4.0.3 : Atmega8 işlemcisi pin yapısı.

Atmel firmasının atmega8 işlemcisi;

- 8 bit işlemci yapısındadır.
- 512 byte eeprom sahiptir.
- 1K byte dahili sram vardır.
- 2 adet 8 bit, 1 adet 16 bit zamanlayıcı ve sayıcı vardır.
- 3 PWM kanalı vardır.
- 8 kanal 10 bit ADC sahiptir.
- Programlanabilir seri usart vardır.
- Wacthdog zamanlayıcı vardır.
- Analog karşılaştırıcı vardır.
- 4.5V-5.5V çalışma aralığı vardır.
- 0-16 MHz çalışma bandı vardır.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ahmet YÖRÜKOĞLU

Doğum Yeri ve Tarihi: BALIKESİR / 28.11.1984

Adres: Mektep sok. Güllü apt. No: 3 Daire:11 Suadiye Kadıköy/İstanbul

Lisans Üniversitesi: Bilkent Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, 2002-2007, Mezuniyet derecesi: 3.01/4,00

Yayın Listesi:

Ahmet Yörükoğlu, Erdinç Altuğ, 2009: Determining the Mass and Angular Position of the Unbalanced Load in Horizontal Washing Machines, *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, Suntec Convention and Exhibition Center, Singapore, pp. 118-123, Temmuz 14-17, 2009.