T. C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ KULLANARAK ERKEK KISIR HASTALARDA GENETİK BOZUKLUK VARLIĞININ TESPİTİ

Tezi Hazırlayan
Bülent HAZNEDAR

Tezi Yöneten
Doç. Dr. Adem KALINLI

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Eylül 2010
KAYSERİ

T. C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ KULLANARAK ERKEK KISIR HASTALARDA GENETİK BOZUKLUK VARLIĞININ TESPİTİ

Tezi Hazırlayan
Bülent HAZNEDAR

Tezi Yöneten
Doç. Dr. Adem KALINLI

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FBY-09-837 kodlu proje ile desteklenmiştir

Eylül 2010
KAYSERİ

KABUL VE ONAY

Doç. Dr. Adem KALINLI danışmanlığında **Bülent HAZNEDAR** tarafından hazırlanan **"Yapay Zeka Teknikleri Kullanarak Erkek Kısır Hastalarda Genetik Bozukluk Varlığının Tespiti"** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Bilgisayar Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

26.08.2010

JÜRİ:

Başkan : Doç. Dr. Veysel ASLANTAŞ

Üye : Doç. Dr. Adem KALINLI

Üye : Yrd. Doç. Dr. Alper BAŞTÜRK

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun ……...… tarih ve …… sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... /…… / …….

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Necmettin MARAŞLI

TEŞEKKÜR

"Yapay Zeka Teknikleri Kullanarak Erkek Kısır Hastalarda Genetik Bozukluk Varlığının Tespiti" konulu tez çalışmasının seçiminde, yürütülmesinde, sonuçlandırılmasında ve sonuçların değerlendirilmesinde tecrübeleri ve bilgileri ile bana yol gösteren değerli hocam Sayın Doç. Dr. Adem KALINLI'ya teşekkür ederim.

Tez çalışmamda her türlü yardımı yapan, zaman harcayan, emek veren, tecrübesini paylaşan Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi Androloji Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Oğuz EKMEKÇİOĞLU'na, Biyoistatistik ve Tıbbi Bilişim Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Sayın Öğr. Gör. Ahmet ÖZTÜRK'e ve maddi manevi destekleri ile her zaman yanımda olan, sevgi, saygı ve minnet sözcüklerinin yetersiz kaldığı sevgili aileme ve tüm dostlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

YAPAY ZEKA TEKNİKLERİ KULLANARAK ERKEK KISIR HASTALARDA GENETİK BOZUKLUK VARLIĞININ TESPİTİ

Bülent HAZNEDAR

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Eylül 2010
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Adem KALINLI

ÖZET

Çiftlerin bir yıllık süre içerisinde çocuk istemeleri ve korunma yöntemi kullanmamalarına rağmen gebeliğin olmamasına kısırlık (infertilite) denir. Türkiye'de ve dünyadaki çiftlerde yaklaşık %15 oranında infertilite sorunu vardır. Kısır çiftlerin %40-45'inde kısırlık nedeni erkeğe aittir. Erkek kısırlığı birçok sebebe bağlıdır. Sperm üretim bozuklukları, sperm kanallarındaki tıkanıklıklar, sperme karşı antikor varlığı, testis travması, hormonal bozukluklar, anatomik problemler, varikosel, geçirilmiş hastalıklar, infeksiyonlar ve bazı ilaçlar kısırlığa yol açabilmektedir.

Tanıda ilk yapılması gereken fizik muayenedir. Ürolog, üreme organlarını muayene eder. Testislerin yerinde olup olmadığı, testislerin durumu, sperm kanalları, skrotum içinde genişlemiş damarların olup olmadığı (varikosel) araştırılır. Ayrıca, prostat muayenesi ile birlikte vücut yağ ve kıllarının dağılımına bakılır. Farklı yöntemlerle ölçülebilen testis hacimleri de muayenede önemlidir. 20 mililitre altı ölçülen volümler normal olmayabilir. Daha sonra yapılacak en önemli tetkik sperm miktarını belirlemeye yönelik semen analizi (spermiogram)'dir. Azoospermik (spermi olmayan) erkeklerde kromozomal anomali bulunma ihtimali %12-15'dir. Kromozomal anomali bulunan erkek hastalarda, tüp bebek tedavisi uygulanıp, başarı sağlanması durumunda doğacak çocuk eğer erkek olursa babadaki bu genetik sorun aynen çocukta da görülecektir. Bu yüzden tedavi öncesinde çiftlere genetik araştırma yapılması ve kromozomal anomali tespiti çok önemlidir. Kromozomal anomali tespit edilen hastalarda "embriyoda genetik tanı" (Preimplantasyon Genetik Tanı) yöntemi ile genetik olarak hatalı embriyolar ayıklanabilir, sağlam embriyo transferi yapılarak bu genetik hastalık ortadan kaldırılabilir. Böylelikle normal bebek doğumu sağlanır. Ayrıca bu yöntemle gebelik başarı şansıda artırılmış olur.

Belirtilen bu hususlar azoospermik (spermi olmayan) hastalarda, tüp bebek tedavisi öncesinde çiftlere genetik araştırma yapılmasının çok önemli olduğunu göstermektedir. Uzman hekim sayısının azlığı, genetik tetkiklerin yüksek maliyetli ve ancak belirli merkezlerde yapılıyor olması gibi zorluklar, vakaların kolaylıkla elde edilebilir verilerini kullanarak kısa sürelerde kromozomal bozukluk olup olmadığı yönünde kestirimde bulunacak sistemlere olan ihtiyacı artırmaktadır.

Bu tez çalışmasında, erkek kısır hastalarda genetik bozukluk olup olmadığının kestirimi amacıyla hekimler tarafından kullanılabilecek bir karar destek sisteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında yapılan geniş literatür taramasında bu konuda yapılmış bir çalışmaya ise henüz rastlanmamıştır. Çalışmada Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi Üroloji Anabilim Dalı Androloji Polikliniğine başvuran 425 vakaya ait veriler kullanılmıştır. Erkek kısır vakalardan elde edilen sayısal veriler, adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS) ve yapay sinir ağları (YSA) yöntemleri kullanılarak sınıflandırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan her iki yönteminde bu amaçla başarıyla kullanılabileceği görülmüştür. Sonrasında, her iki yöntemi de içerecek şekilde hekimler tarafından kullanılabilecek bir karar destek yazılım sistemi oluşturulmuştur.

Çalışma kapsamında geliştirilen yazılım sistemi ile erkek kısır hastalarda genetik bozukluk olup olmadığının erken aşamalarda kestirimi ve uzman hekim bulunmayan yerlerdeki pratisyen hekimlerin ön tanı koyması ve hastayı doğru merkezlere yönlendirmesinin sağlanması yönünde önemli bir adım atılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS), erkek kısırlığı, yapay zeka, yapay sinir ağları (YSA), kromozomal anomali, tıbbi karar destek sistemi.

DETERMINE THE PRESENCE OF GENETIC ANOMALY IN MALE INFERTILE PATIENTS BY USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES

Bülent HAZNEDAR

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
M. Sc. Thesis, September 2010
Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Adem KALINLI

ABSTRACT

To want children of couples at one year period and despite not using contraception, the lack of pregnancy is called as infertility. At Turkey and worldwide, approximately 15 percent of couples have infertility problems. Infertility belongs to male infertile in 45 percent of infertile couples. Male infertility depend on many causes. Impaired sperm production, sperm duct obstructions, anatomic problems, varicocele, previous illnesses, infections and some medicines may cause infertility.

Firstly, the physical examination should be done. Urologist will check their reproductive organs. Whether testicles are in place or not, situation of testicles, sperm ducts, whether there are dilated veins in scrotum or not (varicocele) investigate. Prostate examination should be performed. Furthermore, the distribution of body fat and hair are investigated. Testicular volume, which can be measured in different ways, is important at examination. Under twenty milliliter volumes can not be normal. Afterwards, the most important survey is semen analysis (spermiogram). The possibility of chromosomal disorders in azoospermic men (without sperm) is 12-15 percent. In male patients, who have chromosome abnormality, if IVF treatment is applied and if succes is obtained and if the child is born male, this problem will be seen in male child. So, before being in vitro fertilization (IVF) doing genetic investigation and detection of chromosomal abnormality is very important. Defective embryos should be picked by the method of genetic diagnosis of embryos in male patients. If sound embryo is transfered, this genetic disease can be eliminated. So normal baby can arise. Also, thanks to this method the succes rate of pregnancy is increased.

Those matters specified has shown to be so important of making genetic research in male infertile (without sperm) patients, prior to IVF treatment to couples. Lack of specialist doctors, high cost of genetic tests and being performed in only certain centers increased the need for system that is provides whether chromosomal abnormality by using the data of cases can be handled easily.

In this thesis, genetic abnormalities in male infertility patients, whether the purpose of the estimation can be used by physicians aimed to develop a decision support system. A study in this subject has not been come across in an extensive literature scanning. In the study, data of 425 patients who applied to Erciyes University Medical Faculty, Department of Urology Andrology Clinic were used. Numerical data obtained from infertile male patients were classified with the adaptive network based inference system (ANFIS) and neural networks (ANN) methods. It has seen from the obtained results that the two methods can be used for this purpose successfully. Afterwards; a decision support software system, used by doctors including both methods, was developed.

Estimation of whether genetic disorders in male patients in the early stages and set of general practitioners in the diagnosis non-specialists in where and to orientation patients to the correct centers in order to maintain an important step was taken with software system developed in this study.

Keywords: Adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS), male infertility, artificial intelligence, artificial neural networks (ANN), genetic anomaly, medical desicion support system.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY ..... İ
TEŞEKKÜR ..... İİ
ÖZET ..... İİİ
ABSTRACT V
TABLOLAR LİSTESİ ..... İX
ŞEKİLLER LİSTESİ X

1. BÖLÜM 1
GİRİŞ 1

2. BÖLÜM 6
YAPAY ZEKA VE TIP UYGULAMALARI 6
2.1. Giriş 6
2.2. Zor Problemler ve Yapay Zeka Kavramı 7
2.2.1. Uzman Sistemler (Expert Systems) 12
2.2.2. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) 13
2.2.3. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks) 14
2.2.4. Sezgisel Algoritmalar 14
2.3. Tıp Bilişimi 20
2.3.1. Tıp Bilişimi Uygulama Alanları 23
2.3.2. Tıbbi Karar Destek Sistemleri 24
2.4. Tıpta Yapay Zeka 26

3. BÖLÜM 29
ADAPTİF AĞ TABANLI BULANIK MANTIK ÇIKARIM SİSTEMİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI 29
3.1. Bulanık Mantık ve Bulanık Model 29
3.1.1. Mamdani Bulanık Modeli 33
3.1.2. Takagi-Sugeno Bulanık Modeli 35
3.2. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS) 37
3.3. ANFIS Ağında Kullanılan Hibrid Öğrenme Algoritması 41

3.4 Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks, ANN) 43

4. BÖLÜM 52
ANFIS VE YSA KULLANARAK ERKEK KISIR HASTALARDA KROMOZOMAL ANOMALİ TESPİTİ 52
4.1. Giriş 52
4.2. ANFIS Metodu Kullanarak Azoospermik Vakalarda Kromozomal Anomali Tespiti 52
4.3. İstatistiksel Lojistik Regresyon Analizi ile Parametrelerin Kromozomal Anomali Varlığı ile İlişkisinin Araştırılması 54
4.4. ANFIS Metodu Kullanarak Etki Düzeyi Yüksek Parametreler ile Azoospermik Vakalarda Kromozomal Anomali Tespiti 57
4.5. YSA Kullanarak Azoospermik Vakalarda Kromozomal Anomali Tespiti 63
4.6. ANFIS ve YSA Kullanılarak Oluşturulan Kestirim Modellerinin Eksik Parametre ile Çalışması 66
4.7. Paket Yazılımın Oluşturulması 69
4.8. Kromozomal Anomali Tespiti İçin ANFIS Modelinin Paralel Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması İle Eğitilmesi 73

5. BÖLÜM 80
SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR 80
5.1. Sonuçlar 80
5.2. Öneriler ve Gelecek Çalışmalar 82

KAYNAKLAR 83
ÖZGEÇMİŞ 91

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 4.1. 10 girişli ve sabit (constant) çıkış fonksiyonlu ANFIS modeli ile 50 epok için bulunan sonuçlar 53
Tablo 4.2. 10 girişli ve sabit (constant) çıkış fonksiyonlu ANFIS modeli ile 100 epok için bulunan sonuçlar 54
Tablo 4.3. 10 girişli ve sabit (constant) çıkış fonksiyonlu ANFIS modeli ile 200 epok için bulunan sonuçlar 54
Tablo 4.4. Lojistik regresyon analizi ile bulunan sonuçlar 57
Tablo 4.5. Etki düzeyi yüksek parametrelerin, gaussian üyelik fonksiyonu alt küme aralık değerleri 58
Tablo 4.6. Eğitimden sonra, giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonu alt küme aralıkları 59
Tablo 4.7. 6 girişli ve sabit (constant) çıkış fonksiyonlu ANFIS modeli ile 100 epok için bulunan sonuçlar 61
Tablo 4.8. 6 girişli ve sabit (constant) çıkış fonksiyonlu ANFIS modeli ile 200 epok için bulunan sonuçlar 62
Tablo 4.9. 6 girişli ve lineer çıkış fonksiyonlu ANFIS modeli ile 100 epok için bulunan sonuçlar 62
Tablo 4.10. 6 girişli ve lineer çıkış fonksiyonlu ANFIS modeli ile 200 epok için bulunan sonuçlar 63
Tablo 4.11. YSA yöntemi ile kromozomal anomali tespitinde kullanılan vaka sayıları 66
Tablo 4.12. YSA modelinin test edilmesi ile bulunan hata sayısı 66
Tablo 4.13. Temel Giriş Parametreleri 67
Tablo 4.14. Giriş parametrelerinin alt blokları 67
Tablo 4.15. ANFİS ile YSA'nın performans yönünden karşılaştırılması 69
Tablo 4.16. Giriş parametrelerinin limit değerleri 70

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Gezgin satıcı problemi 8
Şekil 2.2. Satranç problemi 9
Şekil 2.3. Bulanık mantık modelinin şematik yapısı..... 13
Şekil 2.4. Türkiye'de sağlık bilgi sistemlerinin evrimi..... 22
Şekil 2.5. Günümüz karar destek sistemlerinin ilişkili olduğu bilim dalları..... 25
Şekil 2.6. Pubmed'de yıllara göre gerçekleştirilen yapay zeka ile ilgili yayın sayısı. 26
Şekil 3.1. Yaygın olarak kullanılan üyelik fonksiyonları a) Üçgen b) Yamuk..... 30
c) Gaussian d) Çan Şekilli..... 30
Şekil 3.2. Bulanıklaştırma – durulaştırma birimli bulanık model sistemi..... 31
Şekil 3.3. Mamdani bulanık mantık modeli 34
Şekil 3.4. Sugeno bulanık mantık modeli 36
Şekil 3.5. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi [76] 38
Şekil 3.6. Sinir hücrelerinin bağlantılarının basitleştirilmiş şematik yapısı..... 45
Şekil 3.7. Basit Bir İşlemci Eleman 45
Şekil 3.8. Çok katmanlı yapay sinir ağı mimarisi 47
Şekil 3.9. Yapay nöron modeli..... 48
Şekil 3.10. Yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları a) Keskin-Limitli 49
b) Doğrusal c) Sigmoid d) Tanjant Hiperbolik 49
Şekil 4.1. Üyelik fonksiyonu parametrelerinin alt küme aralıklarını gösteren ara yüz... 60
Şekil 4.2. Giriş değerleri, 2 üyelik fonksiyonundan oluşan 6 girişli ANFIS yapısı..... 60
Şekil 4.3. Basit bir işlemci elemanı (yapay nöron) 64
Şekil 4.4. Kromozomal anomali tespitinde kullanılan çok katmanlı sinir ağı modeli 65
Şekil 4.5. Yazılımın alt blok kontrol şeması 68
Şekil 4.6. Paket yazılım giriş ekranı..... 69
Şekil 4.7. Parametrelerin limit değerleri aşılınca yazılımın verdiği uyarı mesajı 70
Şekil 4.8. Yapay zeka teknikleri ile kromozomal anomali tespiti..... 71
Şekil 4.9. YSA yönteminde sonucun sayısallaştırılması..... 71
Şekil 4.10. Eksik parametre girilerek alınan optimum sonuç ekranı 72
Şekil 4.11. Farklı test verileri ile alınan sonuç ekranları..... 73
Şekil 4.12. Paralel KKO algoritması. 76
Şekil 4.13. Paralel KKO algoritmasının temel adımları. 77

Şekil 4.14. Bir karıncanın hareketi..... 77
Şekil 4.15. Paralel karınca kolonisi algoritması ile ANFIS modelinin eğitimi..... 79

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Geleneksel yöntemler genellikle küçük boyutlu problemlerin çözümünde iyi sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, tasarım, üretim, kontrol, haberleşme ve taşıma gibi pratik alanlardaki problemlerin büyük zorluğu, araştırmacıların ilgisini yapay zeka ve tabii bilimler üzerine yoğunlaştırmıştır. Genel olarak, kabul edilebilir bir zaman dilimi içerisinde en iyi çözümün bulunmasının garanti edilemediği problemler zor problemler olarak tanımlanır. Gerçekte de bilim ve endüstri ile ilgili birçok problem temel olarak zordur. Geleneksel yöntemlerle bu tür problemlerin çözümü ya çok uzun süreler gerektirebilmekte ya da mümkün olamamaktadır. Çoğunlukla insanda ve doğada var olan mekanizmaları ve sistematikleri taklit ederek geliştirilen yapay zeka yöntemleri zor problemlerin çözümünde etkili olarak kullanılabilen araçlardır. Bu tür yöntemler zor problemler için her zaman en iyi çözümü bulmayı garanti etmese de kabul edilebilir sürelerde kabul edilebilir çözümler sağlamayı garanti edebilirler.

Hastalıkların çok çeşitliliği, çoklu hastalık durumları, algıda seçicilik, tıbbi verilerin çokluğu ve uzun değerlendirme süreleri gibi birçok nedenden dolayı tanıda insan hatası ile karşılaşılması normaldir. Dünya çapında laboratuar ve klinik verilerin gittikçe artan karmaşık yığınlar oluşturması donanımlı ve yetenekli çok sayıda uzman hekimlere olan ihtiyacı artırmaktadır. Oysa dünyada ve ülkemizde uzman hekimlerin sayısı oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, hasta verilerini doğru ve hızlı bir şekilde değerlendirecek zeki sınıflandırma sistemlerinin geliştirilmesi önemli bir zorunluluktur. Teşhis, tanı, uygun tedavinin planlanması, hastalıkların seyrinin kestirimi, görüntü ve sinyal işleme gibi birçok tıbbi uygulamadaki problemlerin büyük zorluğu araştırmacıları yeni algoritmalar ve yöntemler kullanmaya sevk etmiştir. Bu amaçla yapay zeka yöntemleri tıbbi uygulamalarda ve tıbbi problemlerin çözümünde gittikçe artan bir oranda kullanılmaya başlamıştır. Sahip oldukları birçok avantajlar nedeniyle bu yöntemler, tıbbi hataların ve

maliyetlerin azaltılması, hastalıkların önceden kestirimi, tıp eğitiminin kalitesinin azaltılması gibi hususlarda önemli katkılar sağlamıştır.

Kısırlık, birçok insanın hem maddi hem manevi büyük zorluklar yaşamasına neden olan, tedavisi çoğu zaman zor ve tedavi sürecinde birçok problemle karşılaşılan bir hastalıktır. Çiftlerin bir yıllık süre içerisinde çocuk istemeleri ve korunma yöntemi kullanmamalarına rağmen gebeliğin olmamasına infertilite (kısırlık) denir. Türkiye'de ve dünyadaki çiftlerde yaklaşık %15 oranında infertilite sorunu vardır. İnfertil çiftlerin %40-45'inde infertilite nedeni erkeğe aittir. Erkek infertilitesi birçok sebebe bağlıdır. Sperm üretim bozuklukları, sperm kanallarındaki tıkanıklıklar, sperme karşı antikor varlığı, testis travması, hormonal bozukluklar, anatomik problemler, varikosel, geçirilmiş hastalıklar, infeksiyonlar ve bazı ilaçlar infertiliteye yol açabilmektedir.

Tanıda ilk yapılması gereken fizik muayenedir. Bu aşamada ürolog tarafından, üreme organları muayene edilerek testislerin yerinde olup olmadığı, testislerin durumu, sperm kanalları, skrotum içinde genişlemiş damarların olup olmadığı (varikosel) araştırılır. Ayrıca Prostat muayenesi ile birlikte vücut yağ ve kıllarının dağılımına da bakılır. Farklı yöntemlerle ölçülebilen testis hacimleri de muayenede önemlidir. 20 mililitre altı ölçülen volümler normal olmayabilir. Daha sonra yapılacak en önemli tetkik sperm miktarını belirlemeye yönelik olan semen analizi (spermiogram)'dir.

Kısırlık için tetkik yapılan çiftlerin yaklaşık %10'unda ise gebelik oluşmaması için belirgin bir neden bulunamaz. Bu çiftlerde, kadında bir patoloji bulunmamasına ve erkekte spermiyogram normal olmasına karşın gebelik oluşmamaktadır. Bu durumda "açıklanamayan" infertilite tanısı konur. Açıklanamayan infertilite kategorisine giren çiftlerin oranı giderek azalmaktadır. Çünkü teknoloji geliştikçe, yeni bilimsel ilerlemeler kaydedildikçe "açıklanamayan" (idiyopatik) olgularının bir kısmı aydınlanmaktadır.

Erkek kısırlıklarında en önemli nedenlerin arasında kromozom anomalileri yer alır. Genel olarak erkek kromozom anomalileri %6,2 oranında gözükür. Eğer sperm sayısı 10 milyonun altındaysa kromozom anomali oranı %11, eğer erkekte hiç sperm yoksa kromozom anomali oranı %21`dir. Bu nedenle, sperm sayılarının çok düşük olduğu kişilerde mutlaka kromozom çalışmaları yapılması gerekir. Ayrıca, kromozom

bozukluğu olan erkeklerde, bu bozukluğun babadan oğla yani bir sonraki jenerasyona geçme ihtimalinin bulunması da kromozomal anomali varlığının araştırılmasını önemli kılmaktadır.

Y-Kromozomu insanda erkek olmayı belirleyen, bir başka deyişle fetüs'ün erkek olarak gelişmesini sağlayan kromozomdur. Bu nedenle de üzerinde erkek olmayı belirleyen özellikleri sağlayan genleri barındırır. Sperm üretimini sağlayan genlerde bu gruptan olan genlerdir. Bu nedenle, şiddetli erkek infertilitesi olarak tanımlanan 5 milyon/ml. altında sperm sayısı olan azoospermik hastalarda Y-Kromozomunun araştırılması gerekir. Bir kromozomun bir parçasının kopup, kaybolmasıyla meydana gelen genetik bozukluğa delesyon denir. Potansiyel olarak genlerin kopması ve fonksiyon kaybına yol açan, mikroskopla görülebilecek boyutlardan küçük bir delesyona ise mikrodelesyon denir. Y-Kromozomu mikrodelesyonu oligospermik (spermi az olan) hastalarda %4, nedeni tanımlanamayan şiddetli oligospermik hastalarda %14, azoospermik hastalarda ise %11 oranında görülür. Bu genler tam olarak düzenli çalıştıkları takdirde spermotogenez yani sperm oluşumunda önemli rol oynarlar. Farklı bir bakış açısıyla bu genlerdeki eksiklikler sperm oluşumunda çeşitli olumsuzluklara neden olurlar. Bunun sonucunda hastalar ya şiddetli oligospermik yada azoospermik yani infertil (kısır) olurlar.

Azoospermik hastalarda, mikroskop ile testislerde sperm içeren bölgelerin tanımlanmasını, sperm kanallarının belirlenmesini ve bu bölgelerden direkt olarak sperm çıkarılmasını sağlayan yönteme Mikro-Tese işlemi denir. Y-Kromozomundaki gen eksikliklerinde azoospermi söz konusu ve Mikro-Tese ile de sperm bulunamamış ise bu hasta için yapabilecek çok fazla bir şey bugünün bilgileri içinde yoktur. Ancak Mikro-Tese ile sperm bulunabilmiş ise bu kişinin tüp bebek yolu ile çocuğu olabilir. Eğer çocuk erkek olacaksa babadaki bu genetik sorun aynen çocukta da görülecektir. Bu nedenle bu Y-kromozomu Mikrodelesyonu tespit edilen hastalarda "embriyoda genetik tanı" (Preimplantasyon Genetik Tanı) yöntemi ile genetik olarak hatalı embriyolar ayıklanabilir, sağlam embriyo transferi yapılarak bu genetik hastalık ortadan kaldırılabilir. Böylelikle normal bebek doğumu sağlanır ve gebelik başarı şansıda artırılmış olur.

Tüm bu belirtilen hususlar azoospermik vakalarda tüp bebek tedavisi öncesinde kromozomal bozukluk olup olmadığının tespit edilmesini son derece önemli kılmaktadır. Ancak, uzman hekim sayısının azlığı, genetik tetkiklerin yüksek maliyetli ve ancak belirli merkezlerde yapılıyor olması gibi zorluklar, vakaların kolaylıkla elde edilebilir verilerini kullanarak kısa sürelerde kromozomal bozukluk olup olmadığı yönünde kestirimde bulunacak sistemlere olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu amaçla oluşturulacak bir sistem, genetik bozukluk olup olmadığının erken aşamalarda kestirimi ve uzman hekim bulunmayan yerlerdeki pratisyen hekimlerin ön tanı koyması ve hastayı doğru merkezlere yönlendirmesinin sağlanması yönünde önemli katkılar sağlayacaktır. Yapılan geniş literatür taramasında ise bu konuda yapılmış bir çalışmaya henüz rastlanmamıştır.

Bu tez çalışmasında, erkek kısır hastalarda genetik bozukluk olup olmadığının kestirimi amacıyla hekimler tarafından kullanılabilecek bir karar destek sisteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi Üroloji Anabilim Dalı Androloji Polikliniğine başvuran vakalara ait verilerin yapay zeka yöntemlerinden olan adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS) ve yapay sinir ağları (YSA) yöntemleri kullanılarak sınıflandırılması planlanmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca, vakalara ait parametrelerin kromozomal bozukluk varlığı ile ilişkilerinin araştırılması ve neticede hekimler tarafından kullanılabilecek bir paket yazılımın hazırlanması da amaçlanmıştır.

Bu amaçlar doğrultusunda yapılan tez çalışması aşağıdaki şekilde bölümlendirilmiştir:

Bölüm-2'de önce zeka ve yapay zeka kavramları hakkında bilgi verilerek kısaca yapay zeka yöntemleri sınıflandırılmış, daha sonra yapay zeka yöntemlerinin tıbbi uygulamaları hakkında bilgi verilmiştir.

Bölüm-3'de genel olarak, ANFIS ve YSA'lar tanıtılarak ilgili kavramlar izah edilmiştir.

Bölüm-4'de Erkek kısır hastalarda kromozomal bozukluk olup olmadığının kestirimi amacıyla ANFIS ve YSA yöntemlerinin kullanımı izah edilerek, elde edilen sonuçlar verilmiştir. Yine bu bölümde, istatistiksel lojistik regresyon analizi ile vakalara ait parametrelerin vakalarda kromozomal anomali olup olmaması ile ilişkisi de

incelenmiştir. Ayrıca, hekimler tarafından kullanılabilmesi amacıyla hazırlanan karar destek sistemi tanıtılmıştır.

Bölüm-5'de tez çalışmasının değerlendirilmesi yapılarak elde edilen sonuçlar yorumlanmış ve gelecekte hedeflenen çalışmalar izah edilmiştir.

2. BÖLÜM

YAPAY ZEKA VE TIP UYGULAMALARI

2.1. Giriş

Geleneksel yöntemler genellikle küçük boyutlu problemlerin çözümünde iyi sonuçlar vermektedir. Bu nedenle, tasarım, üretim, kontrol, haberleşme ve taşıma gibi pratik alanlardaki problemlerin büyük zorluğu, araştırmacıların ilgisini yapay zeka ve tabii bilimler üzerine yoğunlaştırmıştır. Genel olarak, kabul edilebilir bir zaman dilimi içerisinde en iyi çözümün bulunmasının garanti edilemediği problemler zor problemler olarak tanımlanır. Gerçekte de bilim ve endüstri ile ilgili birçok problem temek olarak zordur. Geleneksel yöntemlerle bu tür problemlerin çözümü ya çok uzun süreler gerektirebilmekte ya da mümkün olamamaktadır. Çoğunlukla insanda ve doğada var olan mekanizmaları ve sistematikleri taklit ederek geliştirilen yapay zeka yöntemleri zor problemlerin çözümünde etkili olarak kullanılabilen araçlardır. Bu tür yöntemler zor problemler için her zaman en iyi çözümü bulmayı garanti etmese de kabul edilebilir sürelerde kabul edilebilir çözümler sağlamayı garanti edebilirler.

20. yüzyılın ikinci yarısında temelleri atılan ve günümüzde büyük bir kitlenin üzerinde çalıştığı yapay zeka teknikleri, pek çok problemin çözümünde başarı ile kullanılmış ve klasik programlamaya alternatif olmuştur. Başlangıçta, tıp alanında hastalık teşhisi, uydu fotoğraflarının okunması, askeri strateji belirleme, kontrol problemleri ve endüstriyel uygulamalar gibi çok farklı amaçlar için geliştirilen bu teknikler günümüzde hemen her disiplinde kullanılır olmuştur. Yapay zeka olarak bilinen ve yapay sinir ağları, bulanık küme teorisi, genetik algoritmalar, uzman sistemler gibi çeşitli dalları olan mantıksal programlama tekniği, geçen zaman içinde yapay sinir ağları ve diğer mantıksal programlama tekniklerinin ispatlanmış teorilerinin ortaya çıkartılması nedeniyle konu pek çok teorisyenin ilgisini çekmiştir [1].

Farklı hastalık çeşitleri, tıbbi verilerin çokluğu, algıda seçicilik ve uzun değerlendirme süreleri gibi birçok nedenden dolayı tanıda insan hatası ile karşılaşılması normaldir. Dünya çapında laboratuar ve klinik verilerinin gittikçe artan karmaşık yığınlar oluşturması donanımlı ve yetenekli çok sayıda uzman hekimlere olan ihtiyacı artırmaktadır. Oysa dünyada ve ülkemizde uzman hekimlerin sayısı oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, hasta verilerini doğru ve hızlı bir şekilde değerlendirecek zeki sınıflandırma sistemlerinin geliştirilmesi önemli bir zorunluluktur. Teşhis, tanı, uygun tedavinin planlanması, hastalıkların seyrinin kestirimi, görüntü ve sinyal işleme gibi birçok tıbbi uygulamadaki problemlerin büyük zorluğu araştırmacıları yeni algoritmalar ve yöntemler kullanmaya sevk etmiştir. Bu amaçla yapay zeka yöntemleri tıbbi uygulamalarda ve tıbbi problemlerin çözümünde gittikçe artan bir oranda kullanılmaya başlamıştır. Sahip oldukları birçok avantajlar nedeniyle bu yöntemler, tıbbi hataların ve maliyetlerin azaltılması, hastalıkların önceden kestirimi, tıp eğitiminin kalitesinin azaltılması gibi hususlarda önemli katkılar sağlamıştır.

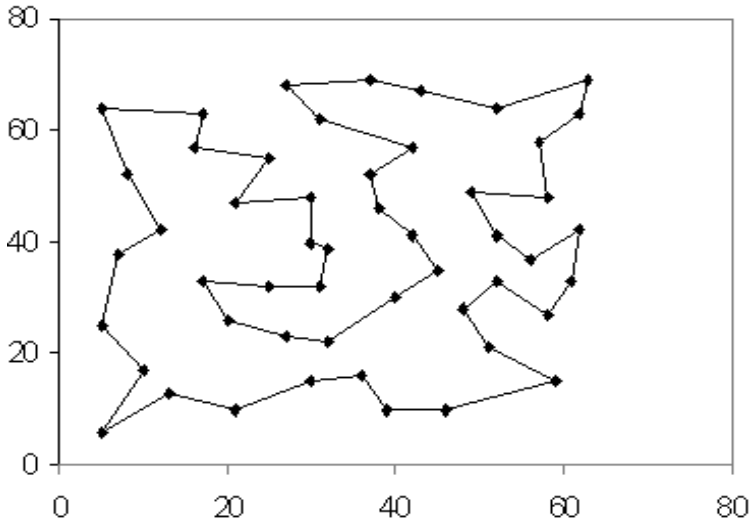
Bu bölümde yapay zeka teknikleri ve yapay zeka tekniklerinin tıp alanındaki uygulamaları hakkında bilgi verilmiştir.

2.2. Zor Problemler ve Yapay Zeka Kavramı

Geleneksel yöntemler genellikle küçük boyutlu problemlerin çözümünde iyi sonuçlar verebilmektedir. Oysa birçok alandaki gerçek dünya problemleri zor problem sınıfındadır. Genel olarak zor problemler, kabul edilebilir bir zaman diliminde en iyi çözümünün bulunması garanti edilemeyen problemler olarak tanımlanır. Geleneksel yöntemler kullanılarak bu tür problemlerden bazılarının çözümü mümkün değildir. Bazılarının çözümü mümkün olsa dahi gerekli süreler kabul edilebilir sınırları çok aşmaktadır ve dolayısıyla pratikte bu yöntemlerin kullanılması mümkün olamamaktadır.

Bazı gerçek dünya problemleri için bir model olma özelliği taşıyan ve araştırmacılar tarafından iyi bilinen Gezgin Satıcı Problemi (GSP) zor problemler için iyi bir örnektir. Bu problem genel olarak, bir satıcının n adet şehri en kısa tur mesafesini kat etmek şartıyla ziyaret etmesini içerir. Şekil 2.1'de örnek bir tur gösterilmiştir. n şehirli bir gezgin satıcı probleminde $(n-1)!$ adet farklı tur kombinasyonu vardır. Buradan hareketle, 10 şehir için $1.8\text{x}10^5$ adet, 20 şehir için ise $6\text{x}10^{16}$ adet farklı tur

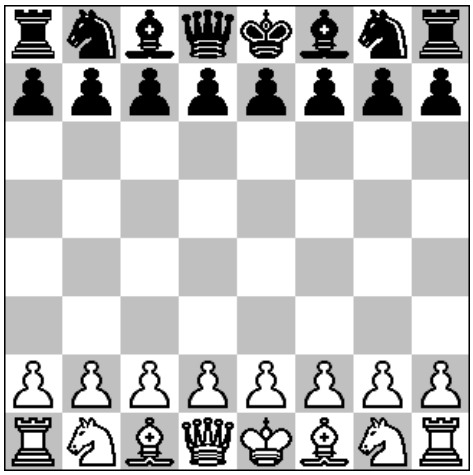
kombinasyonu olacaktır. Buradan da görüldüğü gibi bu problem için üzerinde araştırma yapılan veri kümesi 2 katına çıktığında araştırma uzayı 10^{11} (100 milyar) kat büyümüştür. Örnek olarak, 20 şehir için tüm turları 1 saatte listeleyen bir bilgisayar, 21 şehir için 20 saat, 22 şehir için 17.5 gün ve 25 şehir için 590 yılda tüm turları listeleyebilecektir. 50 şehirli bir gezgin satıcı problemi için $3x10^{62}$ adet farklı tur kombinasyonu olduğu düşünüldüğünde, geleneksel bir yaklaşımla tüm turların listelenerek optimum turun belirlenmesi yönteminin pratikte uygulanabilir olamayacağı açıktır.



Şekil 2.1. Gezgin satıcı problemi

Satranç problemi de zor problem sınıfındadır ve bazı gerçek dünya problemleri için model teşkil etmektedir. Satrançta, oyunun başlangıcında 20 değişik açılış (2 atla 4, 8 piyonla 16 değişik hareket) yapılabilir. Şekil 2.2'de satranç problemini gösteren şema verilmiştir. Bilgisayar yazılımları, ağacın ilk seviye dallarına bu hareketleri ve sonraki seviyeye bunlara karşılık rakibin yapabileceği hareketleri koyarak olası durumlar ağacını oluşturur. Bu ağaç dalları üzerinde olabildiğince derine giderek en elverişli durumu seçmeye çalışır. Oyunda ileriye doğru yalnızca 5 hamlenin dikkate alınması durumunda 10^{15} (katrilyon) farklı durum, 40 hamle ile biten oyun için ise 10^{120} farklı durum ile karşılaşılacaktır. Dolayısıyla, satranç probleminin çözüm uzayı bir gezgin satıcı problemine göre çok daha büyük boyutlu olmaktadır.

Gezgin satıcı problemi, bir baskı devre üzerindeki yolların planlanması, haberleşme trafiğinin planlanması gibi birçok gerçek problem için; satranç problemi ise askeri stratejilerin belirlenmesi, çok sayıda alternatif arasında en uygun olanın seçilmesi gibi gerçek dünya problemleri için birer model teşkil etmektedir. Dolayısıyla bu tür model problemlerin çözümünde başarı ile kullanılabilecek yöntemler gerçek dünya problemlerine de uygulanabilecektir.



Şekil 2.2. Satranç problemi

Gerçek dünya problemlerinin zorluğu araştırmacıları yeni ve güçlü yöntemler geliştirmeye yöneltmiştir. Bu amaçla araştırmacıların ilgisi doğada ve insanda var olan zeki davranışlar ve sistematikler üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalardan hareketle yeni bir bilim dalı olarak yapay zeka ortaya çıkmıştır.

Zekanın açık ve somut bir tanımı yoktur. Bir şeyi anlama ve kavrama yeteneği olarak tanımlanabilen zeka, bireysel bilgi birikimi ve deneyimlerle ilişkilidir. Farklı bilim adamları zeka için çok farklı tanımlar yapmışlardır. Bu tanımlardan bazıları: Akıl yürütme, hüküm verme, kendini iyileştirme kapasitesi, soyut düşünebilme süreci, algılama, sorgulama, yaratıcılık, mantıklı düşünme, yeni durumlara uyabilme yeteneği, çevreye uygun tepkiler gösterebilme, öğrenme, problem çözme, yeni ürünler ortaya çıkarma, iletişim kurabilme kapasitesidir.

Yapay zeka, zeka ve düşünme gerektiren işlemlerin bilgisayarlar tarafından yapılmasını sağlayacak araştırmaların yapılması ve yeni yöntemlerin geliştirilmesi konusuyla ilgili

bilim dalıdır. İnsan zekasının ve doğadaki zeki davranışların makinelerle simülasyonu işlemi olarak tanımlanabilen yapay zeka, düşünme, anlama, kavrama, yorumlama ve öğrenme yapılarının programlamayla taklit edilerek problemlerin çözümüne uygulanması olarak da ifade edilebilir. Ayrıca yapay zeka, bilgisayar biliminin zeki davranışın otomasyonuyla ilişkili bir kolu olarak da tanımlanır. Yapay zekanın amacı insanın zekasını bilgisayar aracılığı ile taklit etmek ve bu anlamda belli bir ölçüde bilgisayarlara öğrenme yeteneği kazandırabilmektir. Bilim adamları yıllardır yaptıkları çalışmalarla hayatımızı daha kolay hale getirmek için programlar geliştirmektedirler. Yapay zeka sistemleri bu programlara iyi bir örnektir [2].

Çoğunlukla insanda ve doğada var olan mekanizmaları ve sistematikleri taklit ederek geliştirilen yapay zeka yöntemleri zor problemlerin çözümünde etkili olarak kullanılabilen araçlardır. Bu tür yöntemler zor problemler için her zaman en iyi çözümü bulmayı garanti etmese de kabul edilebilir sürelerde kabul edilebilir çözümler sağlamayı garanti edebilirler.

Yapay zeka yöntemleri sahip oldukları bir çok avantajlar nedeniyle, günümüzde bir çok alanda kullanılır olmuştur. Bu avantajlardan bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- Öğrenme kabiliyeti
- Genelleme yapabilme
- Adaptasyon kabiliyeti
- Sonuç çıkarma özelliği
- Lineer olmayan kompleks ilişkileri kurabilme
- Gürültüye karşı toleransı
- Tamamlanmamış, eksik bilgi ile başa çıkabilme
- Farklı tekniklerle entegrasyon kabiliyetleri
- Rastgele çözümlerden sonuca ulaşabilmeleri
- Matematiksel olarak ifade edilmesi
- Zor veya imkansız sistemleri modelleyebilmeleri

Yapay zeka yöntemleri neredeyse her alanda bir çok değişik amaç için kullanılmaktadır. Aşağıda bunlardan bazıları verilmiştir:

- Bilimin gelişmesini, doğal + yapay zeka ikilisi ile hızlandırmak,
- Robot teknolojisini geliştirmek,
- Tıp alanında karışık durumlarda karar vermek,
- Optik algılama bazında nesne ve renk tanımlamak,
- Bilgisayarları akıllı hale getirerek, onları iyi bir yardımcı yapmak,
- İnsan beyninin işlevini ve zekayı oluşturan prensipleri anlamak,
- Sinir sistemini oluşturan canlı doku hakkında bilgi edinmek,
- Tercüme ve tehlikeli ortamda insanın yerine geçecek bir yardımcı elde etmek,
- Askeri alanda, değişik durumlar karşısında çabuk karar vermek gibi sayılamayacak kadar çok alanda kullanılabilir ve kullanılmaktadır [3].

Yapay zeka yöntemlerinin bir çok çeşidi bulunmasına rağmen, genel olarak araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılanlar şunlardır:

1-) Bilgi tabanlı uzman sistemler
2-) Bulanık mantık
3-) Yapay sinir ağları
4-) Sezgisel Algoritmalar
    a-) Genetik algoritma
    b-) Tabu araştırma algoritması
    c-) Tavlama Benzetimi algoritması
    d-) Karınca koloni algoritması
    e-) Diferansiyel gelişim algoritması
    f-) Yapay bağışıklık algoritması
    g-) Memetik algoritma
    i-) Yapay arı kolonisi algoritması [4].

2.2.1. Uzman Sistemler (Expert Systems)

Uzman sistemler yapay zekanın önemli uygulama alanlarından biridir. Uzman sistemler insan düşünce sürecini taklit etmeye çalışır, muhakeme edebilir, çıkarımda ve yargıda bulunabilir. Tıp ve biyomedikal alanında yaygın olarak kullanılan uzman sistemler, günümüzde değişik bilim dallarında karar vermeye yardımcı olarak kullanılmaktadır. Örneğin, tıbbi teşhiste, petrol araştırmasında, finansal planlamada, vergi hesaplamada, kimyasal analizde, cerrahide, lokomotif onarımında, hava tahmininde, bilgisayar tamiratında, uydu onarımında, bilgisayar sistemlerinin tasarımında, nükleer santrallerin işletilmesinde, devlet yasalarını yorumlamada ve daha nice alanlarda etkin bir biçimde kullanılmaktadır.

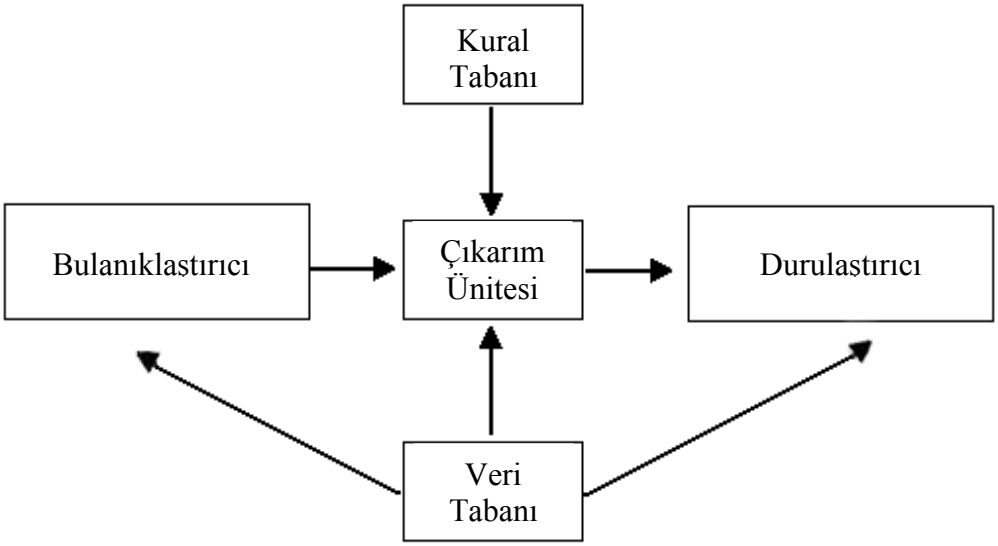
Uzman sistemleri, bilgisayarda düzenlenmiş danışma sistemi olarak düşünebiliriz. Uzman sistemlerin oluşturulmasında, sırasıyla; tanımlama, kavramsallaştırma, formüle etme (yazılım), test etme ve değerlendirme aşamaları uygulanır [5,6]. Uzman sistemlerin sağladığı yararlar aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Uzman sistemler, uzman şahısların bilgisinin yeri gelince kullanmak üzere depolanmasına imkan verir.
- Belli bir uzmanın konusu ile ilgili sahip olduğu bilgileri uzman sistem olarak kullanmak mümkündür. Örneğin bir iş yerinde alanıyla ilgili tercüman olan bir şahsın o işten emekli olması işletme açısından büyük sorun yaratması bekleniyorsa, bu şahsın sahip olduğu bilgileri uzman sistem haline getirmek etkili bir çözüm olabilir.
- Bir tek uzman sistemden birden fazla kullanıcının yararlanması mümkündür.
- Uzman sistemler karar vericilerin performans ve üretkenliğini arttırır.
- Uzman sistemler, belli bir konu ile ilgili karar verme sürecinde insanların aksine istikrarlı ve tutarlıdır. Yani, uzman sistem belli bir karar verme durumunda her zaman aynı bilgiyi verir.
- Uzman sistemler kritik şahıslara olan bağımlılığı azaltır. Kişilerin emekli olması, hastalanması veya işten ayrılması durumlarında aksaklık yaşanmasının önüne geçebilirler.

2.2.2. Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)

Bulanık küme, mantık ve sistem kavramları 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Bu araştırmacı uzun yıllar boyunca kontrol alanında çalışmalar yapmıştır. Zadeh, yaptığı çalışmalarda istediği kontrolü elde etmeye çalışırken, doğrusal olmayan denklemlerin işin içine girmesi, kullanılan yöntemlerin karmaşıklaşması ve çözümün zorlaşması sonucunda bulanık mantığa yönelmiştir [7].

Bulanık mantık programının dayandığı temel nokta; uzman bir sistem operatörünün bilgi, deneyim, sezgi ve kontrol sonuçlarını bilgi tabanı olarak oluşturmaktır. İşlemler bilgi ve deneyime dayanan kurallarla gerçekleştirilir. Bulanık mantıkta deneyimler etkin bir şekilde kullanılır. Bilgisayar tabanlı uygulamalarında kural tabanı, veri tabanı, bulanıklaştırıcı, çıkarım ve durulaştırıcı yazılımlar kullanılarak işlem gerçekleştirilir. Şekil 2.3'de bir bulanık mantık programının şematik yapısı görülmektedir.



Şekil 2.3. Bulanık mantık modelinin şematik yapısı.

Bulanık mantık insan düşüncesinin esnek ve değişken yapısını dikkate alan bir yöntemdir. Bilgiler arasında sebep sonuç ilişkisi kurarak doğru ve mantıksal bir sonuç üretir. Bu işlemin yapılabilmesi için ilk olarak verilerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu veriler belirli sınırlar içerisinde gruplandırılarak bulanık kümeler haline getirilir, tüm

olası durumlar dikkate alınarak kural tabanı oluşturulur. Bu kurallar bir kontrol algoritması ile değerlendirilerek çıkış bilgisi elde edilir [8].

Literatürde, bulanık mantık teorisi ile ilgili olarak kalite kontrol, ürün planlanması, taşıma, ulaşım, network, oyunlar kuramı, bankacılık, finans, ziraat ve tıp gibi birçok bilim dalına ait uygulamalar bulunmaktadır [9].

2.2.3. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)

Yapay sinir ağları örneklerle ilgili bilgiler toplamakta, genellemeler yapmakta ve daha sonra hiç görmediği örnekler ile karışılışınca öğrendiği bilgileri kullanarak o örnekler hakkında karar verebilmektedir. Yapay sinir ağları bu öğrenebilme ve genelleme özellikleri nedeniyle günümüzde birçok bilim alanında geniş uygulama olanağı bulmakta ve karmaşık problemleri başarı ile çözebilme yeteneğini ortaya koymaktadır [10].

Yapay sinir ağları, insan beynindeki nöronlara benzer bir şekilde, yapay nöronların birbirlerine bağlanması sonucu oluşan sistemlerdir. Yapay sinir ağları paralel hesaplama tekniğini kullanan bir metottur. Model oluşturulurken, programlama mantığı yerine, doğrudan mevcut örneklerin eğitilmesi ile model tasarlanır. Yapay sinir ağı mimarisinde nöronlar katmanlar halinde yerleştirilir. Yaygın olarak kullanılan temel bir yapay sinir ağı en az üç katmandan oluşur. Bu katmanlı yapısından dolayı çok katmanlı algılayıcı (multilayer perceptron) olarak da isimlendirilmektedir [11,12].

Yapay sinir ağları, birçok biçim ve öğrenme algoritması ile akademik araştırmalar da, endüstride ve tıbbi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde yapay sinir ağlarının radyolojik bulguların değerlendirilmesi kalp yetmezliğinin teşhisi, miyokard enfarktusu ve bazı hastalıkların tanısında kullanılması gibi birçok tıbbi klinik uygulamaları bulunmaktadır [13-18].

2.2.4. Sezgisel Algoritmalar

Algoritmalar, matematiksel terimlerle veya belirli kurallara göre tanımlanan ve problemleri çözmek için kullanılan yöntemlerdir. Klasik optimizasyon algoritmaları genellikle küçük boyutlu problemlerin çözümünde iyi sonuçlar üretmektedir.

Sezgisel kelimesinin İngilizcesi olan "*heuristic*", Yunanca kökenlidir ve bulmak, keşfetmek anlamına gelmektedir. Ancak bugün sezgisel, herhangi bir şeyin bulunmasını garanti etmeyen bir "arama" (seeking) metodu olarak tanımlanmaktadır. Sezgisel, iyi yani en iyi çözüme yakın çözümleri araştıran bir tekniktir ve bu işlemi en iyi sonucu bulmayı garanti etmeksizin makul bir hesaplama maliyeti ile yapar. Günümüze kadar, ayrık problemlerin çözülmesinde sezgisel metotları kullanan çok fazla sayıda çalışma yapılmıştır. Bu problemlerin çözümünde en iyi çözümün peşine düşmektense sezgisel teknikler kullanılarak en iyi çözüme yakın çözümler bulunabilmesi, modern sezgisel yaklaşımların artarak gelişmesini sağlamış ve bu metotların gücünde ve etkinliğinde önemli bir yükseliş ortaya çıkmıştır.

A. Genetik Algoritmalar

1975 yılında J. Holland tarafından ortaya konmuştur. Popülasyon tabanlı olan algoritma, yönlendirilmiş rastgele araştırma algoritmalarının bir türüdür.

Genetik algoritma (GA) süreci doğal evrime benzetilir. Bu nedenle Üreme (Reproduction), Çaprazlama (Crossover), Mutasyon (Mutation) gibi doğal evrimde kullanılan operatörleri içerir.

Üreme, uygunluk (fitness) değerlerine bakılarak rastlantısal yöntemlerle seçilen bireylerden yeni bir popülasyon oluşturma işlemidir. Bu işlem, ilerleyen jenerasyonlarda daha yüksek uygunluk değerlerine sahip bireylerin oluşmasına neden olur. Bu işlem en uygun olanın hayatta kalması olarak tanımlanır.

Çaprazlama, çoğunlukla rastgele olarak seçilen iki bireyin kromozomları çaprazlanarak gerçeklenir. Bu işlemde, bireylerin kromozomunu oluşturan dizilerin değişik kısımlar yer değiştirerek yeni döl üretimi sağlanır. Bu döl popülasyonunda daha az uygunluk değerine sahip "zayıf" bireylerin yerine konabilir. Çaprazlama, genetik algoritmada en önemli operatördür ve jenerasyonda yeni çözümlerinin üretiminden sorumludur.

Mutasyon, bireyin kromozomunu oluşturan dizideki tek bir elemanın değerinin rastgele olarak değişmesidir. Mutasyon, çözümün alt optimal noktalara takılmasını önleyen ve çok düşük olasılık değeri ile uygulanan operatördür.

Genel olarak bir GA çözüm bilgisinin hiç olmadığı veya çok az olduğu bir durumla aramaya başlar. Çözüm çevreden gelen etkileşime ve genetik operatörlere bağlıdır. GA, aramaya paralel bir şekilde, birbirinden bağımsız noktalardan başlar, bu nedenle alt optimal çözümlere takılma olasılığı azdır. Bu nedenle GA, karmaşık arama problemleri (birden çok alt çözüm kümesi olan) için en iyi optimizasyon tekniklerinden biri olarak bilinir. GA'yı diğer Evrim Algoritması (EA) türlerinden farklı kılan özellikleri;

- Eşeyli üreme yöntemini,
- Mutasyon ve çaprazlama operatörlerini,
- Stokastik veya determistik seçim yöntemlerini,
- Problemin çözümü için problemin kendisi yerine kodlanmış bir dizisini kullanması gösterilir.

Bu şekilde GA diğer EA türlerinden daha esnek bir yapı sağlar. Bir evrim işlemi, potansiyel çözüm uzayında, popülasyonu oluşturan kromozomlar içinde en uygun kromozomu arama işlemidir. Böyle bir arama iki zıt amacı dengelemeyi gerektirir. Bu amaçlar; en iyi çözümlerin aranması ve arama uzayının genişletilmesidir. Genetik algoritma ile geleneksel optimizasyon teknikleri (özellikle nümerik metotlar) arasında da çok önemli farklılık vardır. Bu farklılıklar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- GA, optimize edilecek olan parametrelerin kendileri ile değil kodlamış dizileri üzerinde çalışır. Pek çok durumda ikili (binary) kodlama kullanılır. Fakat genetik algoritmalar için bu bir gereklilik değildir. Gerçel sayı kodlama, ağaç yapılı kodlama (tree coding) gibi farklı kodlama sistemleri de kullanılabilir.
- GA, bir popülasyon içinde arama yapar. Bu popülasyon, problemin bütün olası çözümlerini temsil eden uzayı oluşturur. Başlangıç popülasyonu genellikle rastgele üretilen bireyleri içerir.
- GA, problemin çözümünü belirlenen çözüm uzayında aramak için bir uygunluk fonksiyonu (fitness function) kullanır. Bu uygunluk fonksiyonu klasik optimizasyon tekniklerinde kullanılan amaç fonksiyonuna benzetilebilir.
- GA, sonuca ulaşmak için rastlantısal yöntemler kullanır.

Genetik algoritmaları cazip kılan avantajlarından bazıları şunlardır:

Öğrenme: Genetik algoritma, global arama tekniklerinde yaygınca kullanılır ve en iyisi olarak bilinir. Mevcut performans ölçütlerini kullanarak verilen bir arama uzayında arama uzayını genişletme ve en iyiyi arama özelliklerini kullanma yeteneğine sahiptir. Bu özelliklerini çaprazlama, mutasyon ve üretim gibi genetik operatörlerle kullanarak öğrenme yeteneğine sahiptir.

Genetik kod yapısı: Genetik algoritma doğrudan parametrelerle değil, kodlanmış parametre dizisiyle çalışır. Bu, kullanıcıya problemleri bir değişken optimizasyon problemi gibi çözmesine imkan verir.

Çözümlerin optimalliği: Pek çok gerçek hayat problemlerinin Çok Modellilik (Multimodal) ve doğrusal olmama gibi özellikleri vardır. Geleneksel arama teknikleri böyle arama uzaylarında yetersiz kalır. Genetik algoritma ise böyle karmaşık arama uzaylarında optimale yakın çözümler bulma yeteneğine sahiptir. Genetik algoritma, mühendislik, bilim, ekonomi çok değişik alanlardaki problemler için gürbüz (Robust) bir optimizasyon aracı olarak son yıllarda büyük bir önem kazanmıştır.

Genetik algoritmanın uygulama alanlarından bazıları; haberleşme şebekeleri tasarımı, elektronik devre dizaynı, gaz boruları şebekeleri optmizasyonu, görüntü ve ses tanıma, veri tabanı sorgulama optimizasyonu, uçak tasarımı, fiziksel sistemlerin kontrolü, gezgin satıcı problemlerinin çözümü, ulaşım problemleri, optimal kontrol problemleridir [4].

B. Tabu Araştırma Algoritması

Tabu araştırma algoritması Glover tarafından geliştirilen (1989) ve zeki problem çözme kurallarına dayalı olarak çalışan iteratif bir algoritmadır. Tabu araştırma algoritması bölgesel araştırma metotlarına zeki problem çözme mekanizmaları ile kılavuzluk etmektedir. Tabu araştırma algoritması araştırma süresince karşılaşılan durumların kaydını tutan hafıza özelliğine sahiptir. Bu bilgiler araştırmanın ilerleyişi esnasında daha önceden değerlendirilen çözümlerin yeniden değerlendirilmesini engellemek ve araştırmayı ümit vaat edici yeni bölgelere yönlendirmek için kullanmaktadır. Algoritma araştırma esnasında belirli şartları sağlayan hareketleri tabu olarak sınıflandırarak

yasaklarken, bazı şartları sağlayan hareketleri de yasak olmaktan çıkarmaktadır. Dolayısıyla algoritma yasaklama ve serbest bırakma stratejileri kullanmaktadır. Temel olarak yasaklama ve serbest bırakma stratejileri herhangi bir hareketin hangi sıklıkla gerçekleştirildiği ve bir hareketin en son ne zaman gerçekleştiği bilgileri üzerine dayalıdır. Tabu araştırma algoritması özellikle ayrık optimizasyon problemlerinin çözümü için önerilmiş olmakla beraber, literatürde sürekli problemlerin optimizasyonu için kullanılmasına yönelik çeşitli sayıda çalışma mevcuttur.

C. Tavlama Benzetimi Algoritması (Simulated annealing)

Tavlama Benzetimi (TB) algoritması ilk olarak Kirkpatrick, Gelatt ve Vecchi tarafından önerilmiş, olasılık tabanlı sezgisel bir algoritmadır. TB algoritması katıların fiziksel tavlama işlemi ve kombinatoryal optimizasyon problemlerinin çözümü arasındaki benzerlik üzerine dayalıdır. Tavlama, katının ergime noktasına kadar ısıtılması ve devamında mükemmel kafes yapılı durumda kristalize olana kadar yavaşça soğutulması işlemidir. Malzemelerin atomları yüksek sıcaklıklarda yüksek enerji seviyelerindedir ve düzgün yerleşimler için daha fazla hareket serbestliğine sahiptirler. Düzgün yapılı bir kristal sağlandığında, sistem minimum enerjiye sahiptir. Sıcaklık azaltıldıkça, atomik enerji düşer. Eğer soğutma işlemi çok hızlı gerçekleşirse, kristal yapıda bozukluklar ve düzensizlikler ortaya çıkacaktır. Bu nedenle soğutma işleminin dikkatle yapılması gerekmektedir. Fiziksel tavlama işlemi, Monte Carlo tekniği üzerine dayalı olarak Metropolis ve arkadaşları tarafından modellenmiştir. Verilen bir T sıcaklığında, sistem enerjilerinin olasılık dağılımı aşağıda verilen eşitlik (2.1)'deki termodinamik kanunu ile belirlenir:

$$P(E) = e^{-E/(kT)} \tag{2.1}$$

burada, E sistem enerjisi, k ise Boltzmann sabitidir.

Küçük bir karışıklıkla sistem durumunda değişiklik yaratılması halinde, Metropolis algoritmasına göre sistemin yeni enerjisi hesaplanır. Eğer enerji azalmış ise, sistem bu yeni duruma geçer. Eğer enerji artmış ise yeni durumun kabul edilip edilmemesine, Eşitlik (2.1)'de verilen olasılık formülü kullanılarak karar verilir: Uniform dağılımdan [0,1] aralığında rastgele bir δ sayısı üretilir ve eşitlik (2.2)'de verilen şart sağlanıyorsa

yeni çözüm, mevcut çözüm olarak kabul edilir. Aksi takdirde, mevcut çözüm değiştirilmez.

$$\delta \leq e^{\Delta E / T} \tag{2.2}$$

Burada ΔE, iki durumun enerji seviyeleri arasındaki farktır. Bu kabul kriteri Metropolis Kriteri olarak bilinir. Eşitlik (2.1)'e göre, yüksek sıcaklıklarda tüm enerji durumları için $P(E)$, 1'e yakınsar. Düşük sıcaklıklarda bile sistemin yüksek enerji seviyesine sahip olması küçük bir olasılıkla görülebilir. Bu nedenle enerjilerin istatistiksel dağılımı, sistemin bir yerel enerji minimumundan çıkmasına izin verir. Kombinatoryal optimizasyon problemi ve tavlama işlemi arasındaki benzerlikte, katının durumları optimizasyon probleminin mümkün olan çözümlerini temsil eder ve bu durumların enerjileri çözümler için hesaplanan amaç fonksiyon değerlerine karşılık gelir. Minimum enerji durumu problem için optimal çözümü ifade eder, hızlı soğutma işlemi ise yerel optimum olarak görülebilir.

D. Karınca Koloni Algoritması

Karınca Koloni Algoritması (KKA) Dorigo ve arkadaşları tarafından önerilmiş en yeni sezgisel algoritmalardan biridir. Algoritma gerçek karınca kolonilerinin davranışları üzerine dayalıdır. 1991'den bu yana KKA'nın yeni modelleri ortaya çıkmış ve bu modellerin özellikle ayrık optimizasyon problemlerinin çözümüne uygulanması konusunda çeşitli sayıda çalışmalar yapılmıştır.

Gerçek karıncalar, yuvaları ile yiyecek kaynağı arasındaki en kısa yolu bulma kabiliyetine sahiptirler ve ayrıca çevredeki değişimlere de adapte olabilmektedirler. Örneğin, yuva ile yiyecek arasındaki en kısa yol belirli bir zamanda keşfedilir ve sonra çevre şartları nedeniyle bu en kısa yol artık en kısa yol olmaktan çıkarsa, karıncalar yeni en kısa yolu bulabilmektedirler. Diğer bir ilginç noktada karıncaların çok iyi görme kabiliyetlerinin olmamasıdır. Yani, en kısa yolu keşfetme uğraşında yönleri seçmek için etrafı tam olarak göremezler. Karıncalar üzerine yapılan çalışmalar, en kısa yolu bulma kabiliyetlerinin birbirleri arasındaki kimyasal haberleşmenin bir sonucu olduğunu göstermiştir. Karıncalar birbirleriyle haberleşmede feromon olarak adlandırılan kimyasal bir madde kullanmaktadır.

Karıncalar yürürken yolları üzerine bir miktar feromon maddesi bırakır ve her bir karınca yuva ya da yiyecek bulmak için bir doğrultuyu seçer. Bir yönün seçilme ihtimali, bu yön üzerindeki feromon maddesi miktarına bağlıdır. Bütün yönlerin feromon miktarı birbirine eşit ise, o zaman bütün yönler karıncalar tarafından aynı seçilme olasılığına sahiptir. Tüm karıncaların hızlarının ve yollara bıraktıkları feromon miktarının aynı olduğu kabul edildiğinde, daha kısa yollar birim zamanda daha çok feromon maddesi alacaktır. Dolayısıyla, karıncaların büyük çoğunluğu hızla en kısa yolları seçecektir. Bu geri besleme işlemi otokatalitik işlem olarak da adlandırılır. Eğer kolonide sadece birkaç karınca var ise, bu otokatalitik işlem genellikle, çok hızlı bir şekilde optimal olana göre daha kötü olan bir alt optimal yol üretecektir. Bir çok karınca optimal yol için eş zamanlı olarak araştırma yaptığından, otokatalitik işlemlerden dolayı araştırmanın çok hızlı bir şekilde optimal yola yakınsamasına neden olur ve sonuçta bir alt optimal yola takılmadan yuva ve yiyecek arasındaki en kısa yol bulunur. Gerçek karınca kolonilerinin en kısa yolu bulmak için gösterdikleri davranış doğal bir optimizasyon işlemini tanımlar.

2.3. Tıp Bilişimi

Tıp Bilişimi (TB), bilgi teknolojilerini kullanarak yapılan tıbbi çalışma, eğitim, iletişim, veri ve bilgi toplama, veri ve bilgi işleme, bilgi yönetme, tıbbi karar verme ve bilimsel çözümleme yöntemlerini içeren bir bilim dalıdır. Tıp Bilişimi, tıp, bilişim teknolojileri ve farklı disiplinlerinin kesiştiği bir yerde bulunmaktadır [19].

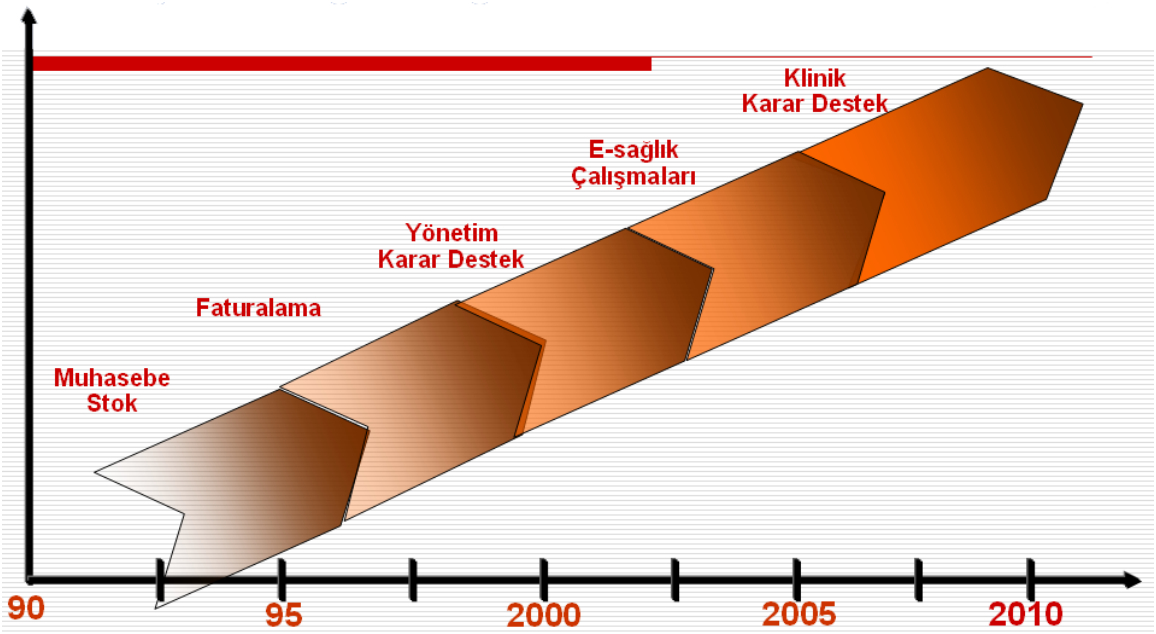
Hemen tamamı gözleme, elde edilen bulguların sınıflandırılıp değerlendirilmesine ve istatistiki çalışmalara dayalı olan tıp biliminde, verilerin toplanabilmesi, süratle işlenip tasnif edilebilmesi, standardizasyonu ve daha sonra kolayca ulaşılabilmesi önem taşımaktadır. Tıbbi bilişim uygulamaları bu açıdan global veri tabanları ve bilgilerin tasnif edilip süratle erişilebilmesinde sağladığı kolaylıklarla modern tıp biliminin vazgeçilemez bir alt bilim dalı olmuştur.

Modern bilgi ve iletişim teknolojileri, sağlık hizmetlerinin niteliğini, etkinliğini ve verimliliğini büyük ölçüde arttırabilmekte, bu hizmetleri standartlaşmış, ölçülebilir ve karşılaştırılabilir biçimde vermeyi sağlayabilmektedirler. Bu durum dünyadaki gelişmiş ülkeleri Sağlık Bilgi Sistemleri konusunda hızla, sağlık bilgi stratejilerini saptamaya,

hedeflerini belirlemeye, politikalarını ve yatırımlarını planlamaya yöneltmiştir [20]. Bu kapsamda gelişmiş ülkelerin çoğunda tıp bilişimi öncelikle desteklenen bir disiplin haline gelmiştir. 1999 yılında kurulan Tıp Bilişimi Derneğinin TÜBİTAK desteği ve birçok uzmanın katılımı ile 2 yıllık bir sürede hazırladığı "İki binli Yıllar Türkiye'sinde Sağlıkta Bilgi Stratejileri" isimli çalışmanın sonuç rapora göre ülkemizdeki durum ise aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:

- TB büyük oranda idari amaçlı, hasta ve kurum bilgilerini bilgisayar ortamına taşımak olarak algılanmaktadır.
- Kurumlar arası, standart yapıda elektronik bilgi değişimi ve paylaşımı yok denecek kadar azdır.
- Bu durum, sınırlı kaynaklarımızın çok verimsiz kullanılmasına, yol açmaktadır.
- Ülkemizin Tıp Bilişimine yönelik hedefleri ve planı yoktur !

Bunlara ilave olarak, TÜBİTAK Vizyon 2023 projesi raporlarında sağlık kurumlarının bilişim teknolojileri alt yapısının zayıflığı ve desteklenmesi gerektiği üzerinde bilhassa durulmuştur [21]. Küresel ölçekte bakıldığında, tıp bilişiminin genel olarak idari süreçlere yönelik bilgi kayıtları ve hastane yönetim sistemleri gibi uygulamalarının yanı sıra, daha çok bilimsel ve akademik faaliyetlere yönelik görüntü işleme ve analizi, sinyal analizi, karar destek sistemleri, tıpta yapay zeka ve tıpta veri madenciliği gibi bir çok uygulamaları vardır. Şekil 2.4'de gösterildiği gibi Türkiye'de tıp bilişimi araçlarının kullanımı 90'lı yıllarda muhasebe/stok uygulamaları ile başlamış, 2000'li yıllarda e-sağlık uygulamaları ile yeni bir boyut kazanmıştır. Dünyadaki gelişmelere bakıldığında ise bundan sonraki süreçte eğilimin klinik karar destek sistemlerine yönlenmesi gerektiği öngörülmektedir. Dolayısıyla ülkemizde de bu alanda yapılacak çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Klinik karar destek sistemleri, önceki süreçlerdeki uygulamalar ile kıyaslandığında, daha zor, akademik ve bilimsel düzeyde uzmanlık gerektiren uygulamalardır. Bu tür uygulamalar, tıp fakültesi ve bilişim mühendisliği alanındaki akademisyenlerin ortaklaşa gerçekleştireceği bilimsel Ar-Ge çalışmalarını zorunlu kılmaktadır. Dünyada klinik karar destek sistemlerine yönelik çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, ülkemizde bu tür akademik çalışmaların sayısı oldukça sınırlıdır.



Şekil 2.4. Türkiye'de sağlık bilgi sistemlerinin evrimi

Uluslararası Tıp Bilişimi Derneğinin (International Medical Informatics Association, IMIA) çalışmalarından bazıları tıp bilişimi ile ilgili tüm çalışanların çağdaş bilgi ve beceri düzeyine ulaşmasını teşvik etmek, Multidisipliner çalışmaları teşvik etmek, Türkiye'de tıp bilişimi alanındaki sorunları saptamak, çözümler önermek, sağlık hizmeti veren ve alan tarafların tıp bilişimi hakkındaki bilgisini geliştirmek amacıyla toplantılar düzenlemek ve yayın yapmaktır. IMIA'nın çalışma ve özel ilgi gruplarından bazıları şunlardır;

- Sağlık ve Tıp Bilişimi Eğitimi
- Biyomedikal İstatistik ve Bilgi İşleme
- Kompüterize Hasta Kayıtları
- Tüketici Sağlık Bilişimi
- Sağlık Bilgi Sistemlerinde Verinin Korunması
- Diş Sağlığı Bilişimi
- Teletıp
- Sağlık Bilgi Sistemleri
- Biyomedikal Pattern Tanıma
- Akıllı Veri Analizi ve Veri Madenciliği

Bu gruplar tıp bilişiminde başarılı çalışmalar yaparak toplumun sağlık sorunlarına kalıcı çözümler getirmektedirler. Ülkemizin Tıp Bilişimine yönelik hedefleri ve planı yoktur. TÜBİTAK Vizyon 2023 projesi raporlarında sağlık kurumlarının bilişim teknolojileri alt yapısının zayıflığı üzerinde bilhassa durulmuştur. Sağlıkla ilgili tüm kurumların, sivil toplum örgütlerinin bir araya gelerek, ülkemizin tıp bilişimi vizyonu, stratejisi, hedefleri ve politikalarını belirlemeleri gerekmektedir [22].

2.3.1. Tıp Bilişimi Uygulama Alanları

Tıp bilişimi, klinik karar destek sistemlerinin tasarımından, gerekli yazılım ve donanım araçlarının geliştirilmesine kadar geniş bir yelpazede çalışma alanı içerir. Tamamı gözleme, elde edilen bulguların sınıflandırılıp değerlendirilmesine ve istatistikti çalışmalara dayalı olan tıp biliminde, verilerin global bazda homojen olarak toplanabilmesi, süratle işlenip tasnif edilebilmesi, standardizasyonu ve daha sonra kolayca ulaşılabilmesi belirgin önem taşımaktadır. Tıbbı bilişim uygulamaları bu açıdan global veri tabanları ve bilgilerin tasnif edilip süratle erişilebilmesinde sağladığı kolaylıklarla modern tıp biliminin vazgeçilmez bir alt bilim dalı olmuştur. Tıp bilişimi içerisinde yer alan uygulama alanlarından bazıları şunlardır:

- Klinik Bilgi Sistemleri
- Sağlık Bilgi Standartları
- Tıbbi Kayıt Sistemleri
- Hastane Yönetim Sistemleri
- Hemşirelik Bilgi ve Karar Destek Sistemleri
- Tıbbi Bilişim Eğitimi
- Bilgisayar Destekli Tıp Eğitimi
- Görüntü İşleme ve Analizi
- Sinyal Analizi
- Tıbbi Bilgi Ağı (Teletıp, Internet)
- Karar Destek Sistemleri
- Tıbbi Uzman Sistemler
- Tıpta Yapay Zeka
- Tıpta Veri Madenciliği

Gelişen bilişim teknolojileri ışığında sağlıkta bilişimin konuları artmakta, bu da tıp bilişimini sürekli olarak uygulama alanları genişleyen bir konuma sokmaktadır [23].

2.3.2. Tıbbi Karar Destek Sistemleri

Tıbbi Karar Destek Sistemi (Medical Decision Support System), sağlık çalışanlarına teşhis ve tedavide yardımcı olmak için geliştirilmiş bilgisayar temelli yazılım sistemleridir. Günümüzde gittikçe yaygınlaşarak kullanılan Karar Destek Sistemleri aşağıdaki alanlarda hekimlere yardımcı olmaktadır:

- Tanı – Tedavi
- Bilginin saklanması – çağırılması
- Uyarı ve anımsatma
- Tedavi planlama, değerlendirme, reçete sunma
- Görüntü tanıma ve yorumlama

Günümüz karar destek sistemleri Şekil 2.5'de gösterildiği gibi yapay zeka, yazılım mühendisliği ve simülasyon gibi farklı disiplinler kullanmaktadır. Tıbbi veri miktarının çok büyük boyutlara ulaşması, uzun değerlendirme sürelerinin gerekmesi, algıda monotonluk, hastalık çeşitlerinin ve tedavi yöntemlerinin çokluğu gibi nedenlerden dolayı insan hataları da sıklıkla ortaya çıkabilmektedir. Çok miktardaki tıbbi verilerin doğru bir şekilde değerlendirilmesi ise çok sayıda nitelikli uzman hekime ihtiyaç duyulmasına neden olmaktadır. Oysa tüm dünyada uzman hekimlerin sayısı sınırlıdır. Bu nedenle, tıbbi verileri zeki yaklaşımlarda içerecek biçimde hızla ve doğru bir şekilde değerlendirebilecek sınıflandırma ve değerlendirme yeteneğine sahip karar destek sistemlerinin geliştirilmesi son derece önemlidir. Uzman hekim değerlendirmesinin yanı sıra zeki bir sınıflandırma ve değerlendirme sisteminin kullanılması gerek teşhis gerekse tedavideki başarıma önemli katkılar sağlayacaktır [24].

Geleneksel istatistiksel yöntemler genellikle lineer ilişkiye sahip değişkenler arasındaki ilişkilerin tespitinde başarılı olabilmekte, büyük boyutlu veriler ve doğrusal olmayan ilişkilerin tespit edilmesinde başarılı olamamaktadır. Ayrıca, veriler üzerinde sınırlı sonuçlara ve yargılara erişilebilmesine imkan verebilmektedir. Hastalıkların sınıflandırılması, görüntülerden bilgi çıkarımı, hastalık seyrinin kestirimi, tedavi

planlama ve hasta verileri arasındaki bilinmeyen ilişkilerin tespit edilmesi gibi tıbbi uygulamaların zorluğu araştırmacıları daha modern ve güçlü yöntemler kullanmaya sevk etmiştir. Bu amaçla, araştırmacıların ilgisi doğada ve insanda var olan mekanizmaları taklit eden Yapay Zeka (YZ) yöntemleri üzerine yoğunlaşmıştır.

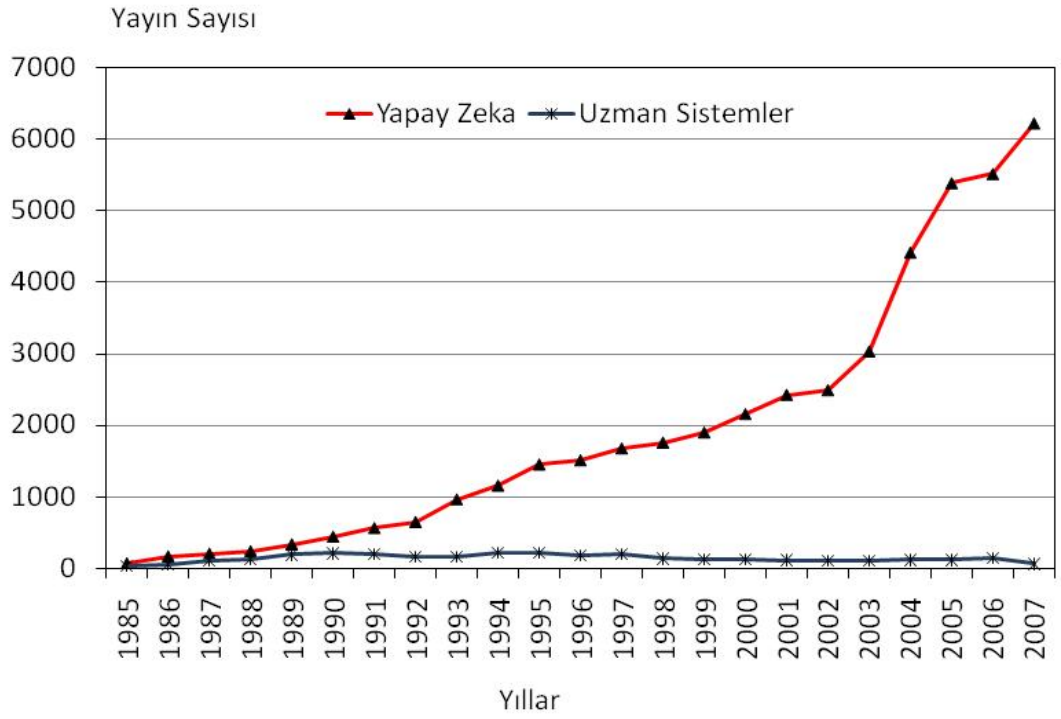


Şekil 2.5. Günümüz karar destek sistemlerinin ilişkili olduğu bilim dalları

Genel olarak, karar destek sistemleri aşağıdaki avantajlara sahiptirler:

- Birbirini etkileyen hastalıkların tespitinde başarılı sonuçlar sağlarlar,
- Kompleks çoklu hastalık durumundaki yanılgıları minimize edebilirler,
- Eğitim ve araştırmada yeni araçlar sağlar,
- Hastalara da yardımcı olabilir,
- Maliyet, zaman ve tıbbi hataların azaltılmasını sağlar,
- Bu sistemler hekimin yerini alamaz, hekimlere yardımcıdır.

Yapay zeka yöntemleri, öğrenme kabiliyeti, genelleme yapabilmesi, adaptasyon kabiliyeti, sonuç çıkarımı, doğrusal olmayan kompleks ilişkileri kurabilmesi, gürültüye karşı tolerans ve farklı tekniklerle entegrasyon kabiliyetleri bulunması gibi sahip oldukları pek çok üstünlükler nedeniyle modern tıp bilişimi uygulamalarının temel bileşenlerinden birisi haline gelmiştir. Literatürde yapay zeka tekniklerinin hastalık teşhisi, karar verme, örüntü tanıma ve sınıflandırma gibi tıbbi problemlere uygulanmasına yönelik çok sayıda çalışmaya rastlanmaktadır [25-44]. Pubmed veri tabanında yıllara göre gerçekleştirilen yayın sayılarına bakıldığında, yapay zeka yöntemlerinin tıp uygulamalarına yönelik yayın sayısının hızla artığı ve yıllık 6000'leri geçtiği görülmektedir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Pubmed'de yıllara göre gerçekleştirilen yapay zeka ile ilgili yayın sayısı.

2.4. Tıpta Yapay Zeka

Hastalıkların çok çeşitliliği, çoklu hastalık durumları, algıda seçicilik, tıbbi verilerin çokluğu ve uzun değerlendirme süreleri gibi birçok nedenden dolayı tanıda insan hatası ile karşılaşılması normaldir. Dünya çapında laboratuar ve klinik verilerin gittikçe artan karmaşık yığınlar oluşturması donanımlı ve yetenekli çok sayıda uzman hekimlere olan ihtiyacı artırmaktadır. Oysa dünyada ve ülkemizde uzman hekimlerin sayısı oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, hasta verilerini doğru ve hızlı bir şekilde değerlendirecek zeki sınıflandırma sistemlerinin geliştirilmesi önemli bir zorunluluktur. Teşhis, tanı, uygun tedavinin planlanması, hastalıkların seyrinin kestirimi, görüntü ve sinyal işleme gibi birçok tıbbi uygulamadaki problemlerin büyük zorluğu araştırmacıları yeni algoritmalar ve yöntemler kullanmaya sevk etmiştir. Bu amaçla yapay zeka yöntemleri tıbbi uygulamalarda ve tıbbi problemlerin çözümünde gittikçe artan bir oranda kullanılmaya başlamıştır. Sahip oldukları birçok avantajlar nedeniyle bu yöntemler, tıbbi hataların ve maliyetlerin azaltılması, hastalıkların önceden kestirimi, tıp eğitiminin kalitesinin azaltılması gibi hususlarda önemli katkılar sağlamıştır.

Bilgisayar programları yada yazılımları, uzman hekimlerin karar vermesine yardım edecek yapay zeka yöntemleri ile geliştirilmiştir. Bu yazılımlar uzman hekimlerin yerini alacak anlamına gelmemelidir. Bu sistemler uzman hekimlerin hastalıkları teşhisine ve hastaların durumunun belirlenmesine yardımcı olmak için geliştirilmiştir [45].

Modern bilgisayar tarihinin ilk zamanlarından bu yana, bilim adamları elektronik beyin yaratmayı hayal ediyorlardı. Tüm modern teknolojik araştırmaların içinde, en büyük, mantığa uygun ve tartışmaya açık olan araştırmalardan biri yapay zekalı bilgisayar sistemleridir. Hem bilim adamları hem de doktorlar böyle bir teknolojinin tıp uygulamalarında kullanılabileceğini düşünerek büyülenmişlerdir. Bilgi depolayabilen ve işleyebilen bu bilgisayarların, yardım eden, teşhis koymada üstünlük sağlayan mükemmel doktorlar olacakları umut ediliyordu. Bu düşünceler ile birlikte, bilgisayar bilimcileri topluluğu ve sağlık profesyonelleri, tıpta yapay zekâ (AIM) olarak adlandırılan yeni bir bilim dalı için, çalışmalarını şekillendirmeye başladılar. Bu araştırmacılar teknoloji sınırlarını genişletmek ve tıp devrimini gerçekleştirmek için AIM yolunda geniş bir vizyona sahiplerdi.

Yapay zeka tekniklerinin tıp uygulamalarına uygulanmasına ilişkin ilk görüşler günümüzden yıllarca önce, 1965 yılında ortaya atılmış, 1969 yılında bulanık küme teorisinin tıp alanında kullanılabilirliği açıklanması ile pek çok çalışmalar yapılmaya başlanmış, 1975 yılında kardiovaskuler sistemlerin klinik uygulamalarda kullanılması önerilmiş, 1980'de kardiak fonksiyonlarının değerlendirilmesinde bulanık küme teorisinin kullanılmasında çalışmışlar yapılmış, 1989'da EKG verilerinin sınıflandırılması ve tanısı konusunda ilk çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalarda elde edilen bilgiler, bulanık küme formuna getirilerek istatistiksel yaklaşımlarla sınıflandırılmıştır [46-49]. 1990'lı yılların ortalarında kalp hastalıklarının bulanık küme ve hibrit sistemlerle tanısı ile ilgili çalışmalar yapılmış, 1994 yılında korner arter hastalığının yapay sinirsel sistemle %89 doğruluk oranında sınıflandırılmış ve sonraki yıllarda da yapay zeka teknikleri ile çeşitli kalp hastalıklarında tanı koymada, büyük başarı kaydedilmiştir. 1996 yılında kalbin tomografik görüntüleri bulanık mantık ile %94 doğruluk oranında sınıflandırılmış, 1998 yılında koroner arter hastalıklarının bulanık mantıkla sınıflaması konusunda genetik bulanık kural tabanı kullanılarak %96 oranında basarı elde edilmiştir [50-56]. 1999 yılında NEFCLASS sinirsel bulanık mantık sistemi ile akciğer kanseri bulgularlarının sınıflandırılmasında %95 oranında

basarı sağlanmıştır [57]. 2002 ve 2004 yıllarında bulanık mantık ve genetik tabanlı bulanık sınıflayıcı ile kardiak Doppler işaretlerinin sınıflandırılması başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir [58,59]. 2005 yılında yapılan bir çalışmada Doppler sonogramlarından elde edilen parametrelerle sinir ağı eğitilmiş ve orta serebral arter darlığının dereceleri tahmin edilmeye çalışılmış, sistemin performansı veri boyutuna ve eğitim için seçilen parametrelere son derece bağımlı olduğu saptanmıştır [60].

Tıpta yapay zeka teknolojisinin kullanılmasını özetlemek gerekirse yapay zeka birçok alanda olduğu gibi tıp alanında da, doktorlara yardımcı olmak amacıyla kullanılmaktadır. Veri kümeleri üzerinde, doktora bağlı olmadan yapılan analizler, çoğu zaman birçok hastalığın teşhisini kolaylaştırmıştır. Bu teknolojide, çok farklı yapay zeka yöntemleri kullanılabilmekte ve bazı hastalıkların teşhisinde, kullanılan bir yöntem diğer yöntemlere göre performansı daha yüksek sonuçlar verebilmektedir [61].

3. BÖLÜM

ADAPTİF AĞ TABANLI BULANIK MANTIK ÇIKARIM SİSTEMİ VE YAPAY SİNİR AĞLARI

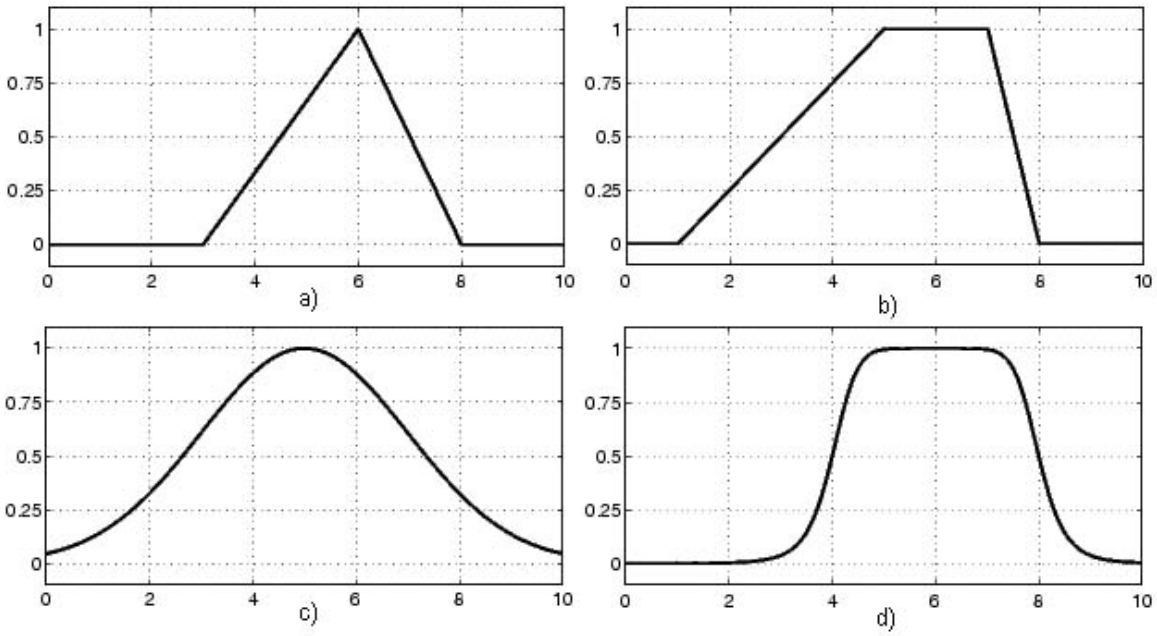
3.1. Bulanık Mantık ve Bulanık Model

Bulanık küme, mantık ve sistem kavramları 1965 yılında Zadeh tarafından ortaya atılmıştır [62]. Uzun yıllar boyunca kontrol alanında çalışmalar yapan araştırmacı, istediği özelliklerde kontrol sistemi tasarlamaya çalışırken, doğrusal olmayan denklemlerin işin içine girmesi, kullanılan yöntemlerin karmaşıklaşması ve çözümün zorlaşması sonucunda bulanık mantığa yönelmiştir [28].

Geleneksel mantıkta bir kümeyi oluşturan elemanlar hakkında tanımlayıcı yargı, keskin özelliklidir. Yani bir eleman bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Bu tür kümelere keskin kümeler (crisp sets) denir. Halbuki bulanık mantık yaklaşımında üye olanlar ve olmayanlar şeklinde kesin bir sınıflandırma yoktur. Bir örnek olarak orta yaş grubu insanları ele alalım. Eğer 40 yaşı orta yaş olarak kabul edersek, geleneksel kümelendirmede 30 yaşın altındaki kişiler genç, 30-50 yaş arası orta yaşlı ve 50 yaş üzeri ise yaşlı grubunda tanımlanmış olsun. Keskin kümelendirmeye göre 29.5 yaşındaki birisi genç, 30.5 yaşındaki diğeri ise orta yaşlı olarak sınıflandırılacaktır. Halbuki bu örneklerden ilki orta yaş, ikincisi ise genç yaş kümelerinde de tanımlanabilir. Benzer düşünceden hareketle, bulanık kümelerde kümenin elemanları, bu elemanlara [0,1] aralığında reel değerler atayan üyelik fonksiyonları ile tanımlanmaktadır. Elemanların sahip oldukları değerler üyelik derecesi olarak adlandırılmakta ve bu değerlere göre bir elemanın herhangi bir bulanık kümenin özelliklerini ne derece taşıdıkları belirlenmektedir. Bulanık küme teorisinde üyelik derecesinin 0 ile 1 arasında değerler alması sözel bilgilerin, problemlerin çözümü sırasında sayısal verilerle birlikte kullanılmasını mümkün kılmaktadır. Sözel ifadelerin

bulanık modellere katılması bulanık mantığın diğer yöntemlerden ayrıldığı en önemli farklılıklarından birisidir [63].

Bulanık modeller oluştururken değişik formlarda üyelik fonksiyonları seçilebilir. Çok sayıda üyelik fonksiyonu bulunmasına rağmen, literatürde yaygın olarak kullanılan üyelik fonksiyonlarından bazıları, üçgen (triangular), yamuk (trapezoidal), normal dağılım (gaussian) ve çan şekilli (bell-shaped) fonksiyonlarıdır. Şekil 3.1'de bu üyelik fonksiyonları gösterilmiştir. Üçgen ve yamuk eğrileri bir vektörün fonksiyonları olup üçgen 3 ve yamuk 4 sayısal parametreye bağlıdır. Simetrik gaussian fonksiyonu 2 ve çan şekilli üyelik fonksiyonu ise 3 parametreye bağlıdır [64].



Şekil 3.1. Yaygın olarak kullanılan üyelik fonksiyonları a) Üçgen b) Yamuk c) Gaussian d) Çan Şekilli

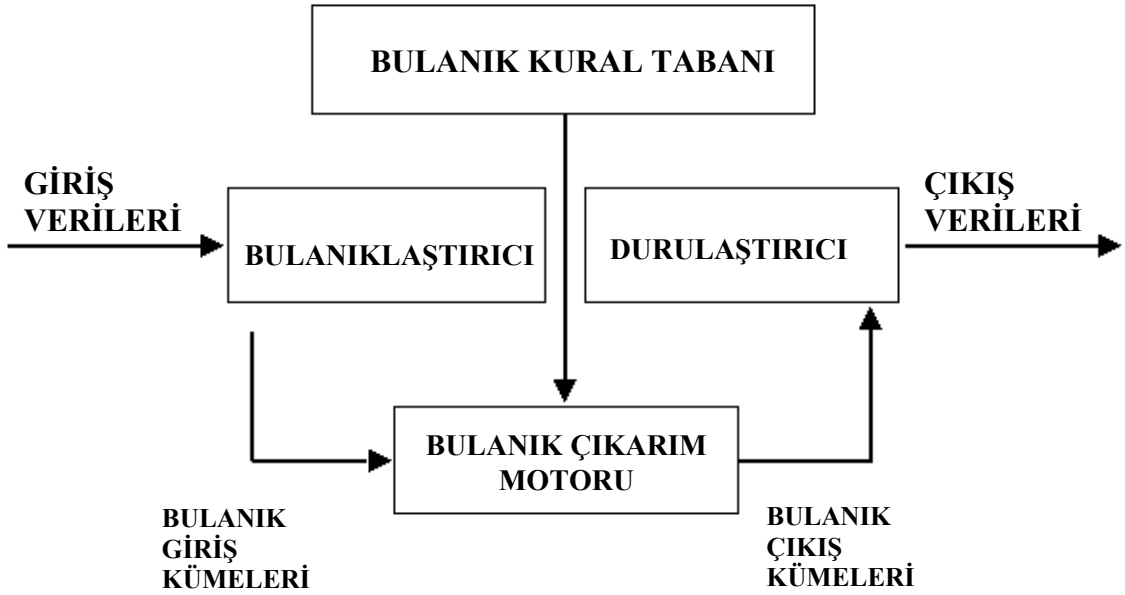
Bulanık sistemler genel olarak, mevcut verilerden seçilen girdi değişkenlerinden çıktı değişkenlerinin elde edilmesini sağlamak amacıyla bulanık küme ilkelerini kullanan sistemlerdir. Bulanık sistemlerin en büyük avantajı insan deneyimlerinin ve sözel verilerin bulanık modele katılması ile çözüme ulaşılmasıdır. Bu amaçla modelin değişkenleri bulanık alt kümeler ile ifade edilirler ve söz konusu çıkarım için klasik küme işlemlerinin genelleştirilmesiyle elde edilen bulanık küme işlemleri kullanılır [65].

Bulanık model (bulanık çıkarım sistemi), bulanık **Eğer İse** kuralları adı verilen bulanık kurallara dayanan sistemlerdir. Bu nedenle bulanık çıkarım sistemleri, bulanık kural tabanlı sistemler olarak da adlandırılır. Bazı kaynaklarda bulanık çıkarım sistemleri yerine bulanık model, bulanık çağrışımlı bellek, bulanık mantık kontrolör terimleri de kullanılmaktadır [66]. Bulanık modelin temeli, bulanık **Eğer İse** kurallarından anlaşılacağı üzere öncül ve soncul kısımlardan oluşmaktadır. Öncül kısımda sonuca sebep olan giriş değişkenleri ve bunlar arasındaki mantıksal ilişkiler, soncul kısımda ise bu giriş değişkenlerine bağlı olarak ortaya çıkan sonuç değişkenleri yer alır. Genel olarak bulanık kurallar aşağıdaki formdadır:

Kural 1: **Eğer** $x = A_1$ ve $y = B_1$ **İse** $z = N_1$

Kural 2: **Eğer** $x = A_2$ ve $y = B_2$ **İse** $z = N_2$

Burada x ve y öncül kısımdaki girdi değişkenlerince tanımlanan koşulları, z ise soncul kısımdaki çıktı değişkenlerince tanımlanan sonuçları ifade eder. Şekil 3.2'de genel bir bulanık model sisteminin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Bulanıklaştırma – durulaştırma birimli bulanık model sistemi

Şekilde verilen sistemin genel olarak bileşenleri aşağıda kısaca tanımlanmıştır:

1) Genel Bilgi Tabanı Birimi: İncelenecek olayın etkilendiği girdi değişkenlerini ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Genel veri tabanı denmesinin sebebi buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.

2) Bulanıklaştırıcı: Sayısal girdi değerlerini sözel olarak nitelendirilmiş bulanık kümelerdeki üyelik derecelerine atayan bir işlemcidir.

3) Bulanık Kural Tabanı Birimi: Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal EĞER – İSE türünde yazılabilen kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ile çıktılar arasında olabilecek tüm ara (bulanık küme) bağlantılar düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamların tümü kural tabanını oluşturur.

4) Bulanık Çıkarım Motoru Birimi: Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan parça ilişkilerin hepsini bir arada toplayarak sistemin bir çıkışlı davranmasını temin eden işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.

5) Durulaştırıcı: Bulanık işlemler sonucu elde edilen bulanık çıkarım sonuçlarını keskin sayısal çıkış değerlerine dönüştürür.

6) Çıktı Birimi: Bilgi ve bulanık kural tabanlarının bulanık çıkarım motoru vasıtası ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değerlerinin topluluğunu belirtir.

Buradaki modelde ilk önce, bulanıklaştırıcı katmanında, mevcut verilerden seçilen giriş değişkenlerinin üyelik dereceleri belirlenir. Bulanık kural tabanında, giriş ve çıkış değişkenlerini mantıksal olarak birbirine bağlayan kurallar oluşturulduktan sonra, bulanık çıkarım motorunda bu kuralların hepsi bir araya toplanarak, girişlerin üyelik derecelerine göre bir çıkışı üretilir. Son olarak durulaştırıcı katmanda, bulanık çıkarım sonuçları sayısal keskin çıkış değerlerine dönüştürülür.

Bulanık mantık ile modellemenin tercih edilmesinin nedenleri özetlenecek olursa;

- Bulanık mantığın anlaşılması kolaydır.
- Bulanık mantığın dayandığı matematiksel teori basittir.
- Bulanık mantığı çekici kılan şey yaklaşımının doğallığı ve kompleks yada karmaşıklıktan uzak olmasıdır.
- Bulanık mantık esnektir.
- Eksik ya da yetersiz verilerle işlemler yapılabilmektedir.
- Bulanık mantık karmaşık lineer olmayan fonksiyonları modelleyebilir. ANFIS gibi uyarlanabilir teknikler yardımı ile herhangi bir girdi ve çıktı veri kümelerini eşleştirerek bulanık modeller oluşturulabilir.
- Bulanık mantık ile uzman kişilerin görüş ve tecrübelerinden yararlanılır.
- Bulanık mantık sıradan insanların günlük işlerinde kullandığı dili kullanır. Bu da bulanık mantığın en büyük avantajıdır.

Literatürde yaygın olarak kullanılan bulanık mantık çıkarım sistemlerinden ikisi, Mamdani ve Takagi–Sugeno bulanık mantık çıkarım sistemleridir. Aşağıda bu modeller ile ilgili bilgi verilmiştir.

3.1.1. Mamdani Bulanık Modeli

Mamdani tipi bulanık model çok kolay oluşturulur ve insan davranışlarına çok uygundur. Bu nedenle çok yaygın bir kullanıma sahiptir ve diğer bulanık mantık modellerin temelini oluşturur. İlk defa bir buhar motorunun kontrolü amacıyla, insan tecrübelerinden elde edilen sözel kontrol kuralları yardımıyla kullanılmıştır [67]. Bu modelde hem girdi değişkenleri hem de çıktı değişkeni üyelik fonksiyonları ile ifade edilir [68]. Mamdani tipi bir bulanık model aşağıdaki gibi 5 adımda oluşturulur;

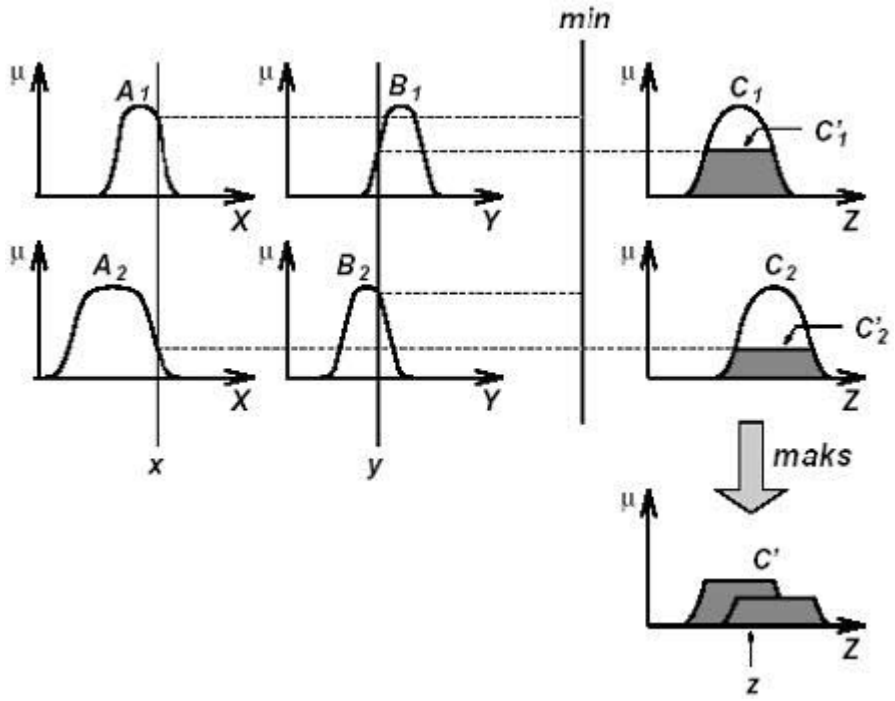
- Bulanıklaştırma: Öncül kısımdaki bütün bulanık ifadeleri kullanarak girdi değişkenlerine ait, [0 1] aralığında değişen üyelik derecelerinin belirlenmesi,
- Bulanık mantık işlemlerini kullanarak kural ağırlıklarının belirlenmesi,
- Bulanık küme mantıksal işlemcilerin (ve, veya) uygulanması,
- Sonuçların toplanması: Her bir kuralın çıktısını temsil eden bulanık kümelerin birleştirilmesi.
- Durulaştırma: Tek bir sayıya dönüştürülmüş toplam bulanık küme sonuçlarının durulaştırılması.

Şekil 3.3'de verilen x ve y gibi sayısal iki değişkeni içeren iki kurallı bir Mamdani tipi bulanık modelde, z çıkış değerinin C_i bulanık küme fonksiyonlarından nasıl hesaplandığı gösterilmiştir. Aşağıda bu bulanık modelin hesaplanmasında kullanılan iki kural verilmiştir.

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

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

Bulanıklaştırılan giriş bilgileri önceden belirlenmiş kurallara tabi tutulur. Kurallar uygulanırken, şartlar arasındaki "ve" durumunda giriş üyelik değerlerinden en küçük olanı, "veya" durumunda ise en büyük olanı alınarak çıkış üyelik fonksiyonunda bu sayının altında kalan alan bulunur. Her bir kurala ait çıkış üyelik fonksiyon bölgeleri bulunduktan sonra bu alanlar çeşitli berraklaştırma yöntemleri yardımıyla kesin çıkış bilgisinin elde edilmesinde kullanılır [69].



Şekil 3.3. Mamdani bulanık mantık modeli

Mamdani tipi bulanık modelin avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Modelin oluşturulması basittir.
- Diğer bulanık mantık modellemenin temelini oluşturur.
- İnsan davranış ve duyularına uygundur [62].

3.1.2. Takagi-Sugeno Bulanık Modeli

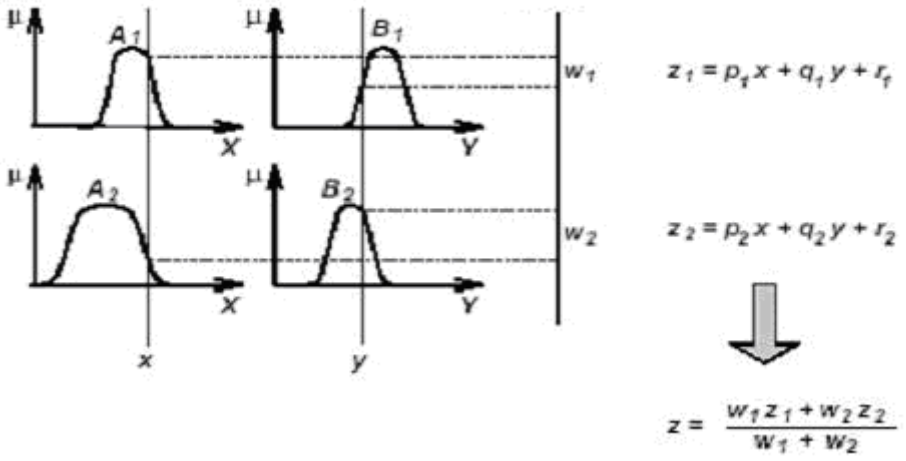
Sugeno bulanık modeli (TSK bulanık modeli olarak da bilinir.), Takagi, Sugeno ve Kang tarafından önerilip, ilk kez 1985 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Mamdani bulanık mantık yönteminin bir uyarlamasıdır. Sugeno tipi bulanık modellemede çıktı üyelik fonksiyonları lineer yada sabittir. Bu model, çıktı üyelik fonksiyonları sabit olduğu zaman sıfırıncı derece, 1. derece doğru denklemi şeklinde olduğu zaman ise birinci derece Sugeno bulanık model olarak adlandırılır. Bir Sugeno bulanık modelindeki tipik bulanık kural aşağıdaki forma sahiptir,

Eğer $x = A$ ve $y = B$, ise $z = f(x, y) = px + qy + r(c)$

Burada A ve B, $z = f(x, y)$ 'ye bağlı keskin çıkış veren bir fonksiyon olmasına rağmen, giriş değişkenlerinin bulanık kümeleridirler. z çıkış değeri ise genellikle $f(x, y)$, x ve y değişkenlerine bağlı bir polinomdur. Ancak z çıkış değeri bulanık kuralın girişi tarafından belirtilmiş bölge dahilinde, bir sistemin çıkışını tanımlayabildiği sürece herhangi bir fonksiyon da olabilir.

Şekil 3.4'de Birinci dereceden Sugeno modelinin bulanık çıkarım mekanizması gösterilmektedir. Bu yöntemde hem girişim katsayılarının hem de kural ağırlıklarının uzman kişi tarafından elde edilmesi zor olacağından, bu sayıların bir optimizasyon algoritması yardımıyla bulunması gerekir. Her bir kural keskin çıkışa sahip olduğundan, sonuç keskin çıkış değeri **ağırlıklı ortalama** ile elde edilir. Bu yaklaşım Mamdani modelindeki durulandırma işleminin hesapsal yükünü ve zaman kaybını gideren basit ve fonksiyonel bir yaklaşım olup, sistem modelleme ve kontrolör tasarımına çok uygun bir çıkarım mekanizmasıdır. Pratikte bazen ağırlıklı ortalama operatörü yerine, $z = \left((w_1 z_1 + w_2 z_2)/(w_1 + w_2)\right)$ operatörü kullanılır. Bu basitleştirme işlemi, kuralların

ateşleme derecelerinin toplamı "1" e yakınsamadıkça $(\sum_i w_i = 1)$, üyelik fonksiyonlarının dilsel anlamının kaybolmasına neden olabilir.



Şekil 3.4. Sugeno bulanık mantık modeli

Sıfırıncı-dereceden Sugeno model komşu üyelik fonksiyonlarının şartları ile yeterince örtüşebildiği sürece kendi giriş değişkenlerine bağlı olarak düzgün bir fonksiyon olur. Mamdani modelde ise, üyelik fonksiyonlarındaki örtüşmeler, ara değerlendirmenin düzgünlüğü üzerinde belirleyici etkiye sahip değildir.

Sugeno tipi bulanık modelin avantajları aşağıda sıralanmıştır;

- Hesaplama için çok uygundur.
- Lineer olmayan sistemlerin kontrol edilmesi için lineer teknikler kullanılabilir.
- Optimizasyon ve uyarlanabilir (adaptive) tekniklerle birlikte iyi çalışır ve çıktı parametrelerini optimize ederek sonuçları iyileştirir.
- Çıktı uzayında sürekliliği garantiler.
- Matematiksel analiz için uygundur.

Sugeno tipi bulanık modelin dezavantajları ise şunlardır;

- Yüksek derecedeki Sugeno bulanık modelleme kullanıldığında oldukça kompleks bir yapıya sahip olur.
- Girdi ve alt küme sayılarının artması verilerin eğitilmesini zorlaştırır, sonuçların elde edilmesi için belirlenmesi gereken soncul parametrelerin sayısı artar.
- İnsan sezgilerine çok uygun değildir [62].

Sugeno ve Mamdani bulanık modelleri, giriş değişkenlerinin bulanıklaştırılması ve bulanık mantık işlemleri bakımından tamamen aynıdır. Sugeno bulanık model, parametrelerinin optimize edilebilmesi kolaylığı bakımından Mamdani bulanık modelden daha avantajlıdır. İki sistemi birbirinden ayıran en önemli özellik Mamdani modelde çıkış değişkenlerinin tanımlanmasıdır. Sugeno tipi bulanık modellemede çıkış değerleri lineer ya da sabit fonksiyonken, Mamdani modelde çıkış değerleri üyelik fonksiyonları ile ifade edilir. Bu yüzden, Sugeno model Mamdani modelden daha karmaşık ve gösterim açısından daha elverişli olup Sugeno tipi bulanık model uyarlanabilir tekniklerle birlikte kullanılabilir.

3.2. Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System, ANFIS)

Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi (ANFIS), Sugeno tipi bulanık sisteminin, sinirsel öğrenme kabiliyetine sahip bir ağ yapısı olarak temsilinden ibarettir [70]. Yapısında hem yapay sinir ağları hem de bulanık mantık kullanılır [71]. Sinir ağı ile bulanık sistemin kombinasyonu bulanık_sinir ağı olarak adlandırılır. ANFIS, oğrenme ve adaptasyon işlemlerini kolaylaştırmak için, adaptif sistemlerden yararlanan bulanık Sugeno modelidir. Böyle bir yaklaşım bulanık mantığı daha sistematik ve tecrübeye daha az bağlı hale getirmektedir [72]. ANFIS'in temel amacı, eşdeğer bulanık mantık sisteminin parametrelerini, giriş-çıkış veri kümelerini kullanıp bir öğrenme algoritması vasıtasıyla optimize etmektir. Parametre optimizasyonu, gerçek çıkış ile hedef çıkış arasındaki hata değeri minimum olacak şekilde yapılmaktadır [73].

ANFIS, bulanık çıkarım sistemindeki eğer-ise kuralları ve giriş çıkış bilgi çiftlerinden oluşur. Ancak sistem eğitiminde ve denetiminde YSA öğrenme algoritmaları kullanılır [74,75]. x ve y giriş, z ise çıkış olarak alınırsa temel kural yapısı şu şekilde yazılabilir:

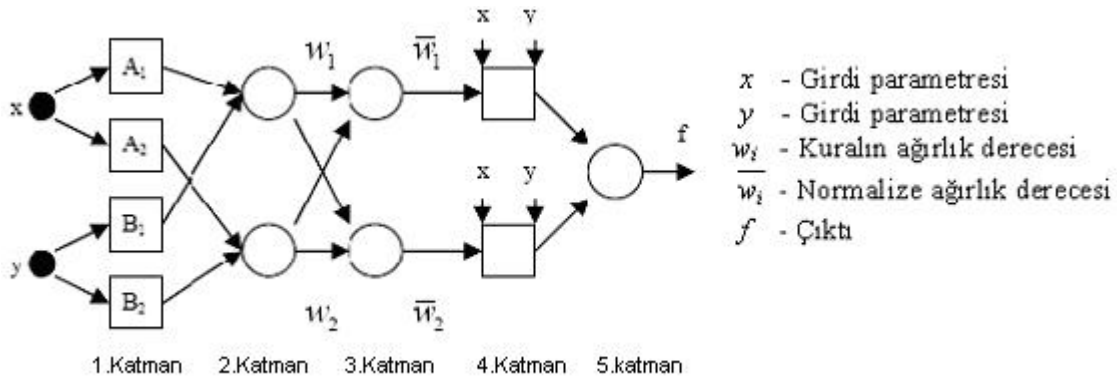
Eğer $x \in A_i$ ve $y \in B_i$ ise $z_i = p_i x + q_i y + r_i$

Burada A_i ve B_i sırasıyla öncül kısımdaki x ve y değişken uzayını bulanık alt uzaylara ayıran kümelerin etiketidir. p_i, q_i ve r_i eğitme işlemi boyunca belirlenen

tasarım parametreleridir. z_i ise o kurala ait çıkış değeri olup giriş değişkenlerinin bir fonksiyonudur. Herhangi bir x, y girdi çifti için sonuç çıkış değeri ise tüm kuralların çıkış değeri olan z_i'lerin ağırlıklı ortalamasıdır [72]. z çıkış değerinin hesaplanması eşitlik (3.1)'de verilmiştir.

$$Z = \sum_{m=1}^{k} w_m Z_m \Big/ \sum_{m=1}^{k} w_m \tag{3.1}$$

Aşağıda verilen iki bulanık kurala bağlı olarak, birinci derece bulanık Sugeno modeli için olası ANFIS mimarisi Şekil 3.5'de verilmiştir. ANFIS modelinin katmanlarını genel olarak özetlersek, 1. katmanda giriş verilerine üyelik fonksiyonları uygulanarak bulanıklaştırma işlemi yapılır. 2. katmanda bulanık mantık çıkarım sistemine göre kurallar oluşturulur. 3. katmanda kural katmanından gelen her bir düğüme, ağırlıklı ortalama ile normalizasyon işlemi uygulanır. 4. katmanda ise bulanık sonuçlar sayısal değerlere dönüştürülür ve son olarak 5. katmanda tüm düğümlerin çıkış değerleri toplanarak sistemin tek çıkış değeri üretilir.



Şekil 3.5. Adaptif ağ tabanlı bulanık mantık çıkarım sistemi [76]

Kural 1: Eğer $x = A_1$ ve $y = B_1$ ise $f_1 = (p_1 x + q_1 y + r_1)$

Kural 2: Eğer $x = A_2$ ve $y = B_2$ ise $f_2 = (p_2 x + q_2 y + r_2)$

Bu kurallarda p_i, q_i ve r_i her bir kural için, denklem sabitleridir [73].

Şekilden görüleceği gibi ANFIS, 5 katmanlı ileri beslemeli bir yapay sinir ağı mimarisine sahiptir. Bu mimari için öğrenme algoritmasının temel görevi, ANFIS çıktısı ile öğrenme verilerini benzetmek için tüm uyarlanabilir parametreleri ayarlamaktır. Eğitim veri seti, sinir ağına tanıtılır ve herhangi bir eğitme algoritması yardımıyla ağ eğitilir. Model çıktısı ile öğrenme verileri arasındaki hata fonksiyonun minimum olduğu şartların belirlenmesi hedeflenir [77].

ANFIS yapısındaki her katmana ait düğüm işlevleri ve katmanların isleyişi sırasıyla şöyledir.

1.Katman

Bulanıklaştırma katmanı olarak adlandırılır. Giriş değerlerini bulanık kümelere ayırmada ANFIS modeli kullanılmıştır. Bu katmandaki hücreler, adaptif (uyarlanabilir) hücrelerdir ve hücre sayısı girdi değişkeni sayısına eşittir. Burada, her bir düğümün çıkışı, giriş değerlerine ve kullanılan üyelik fonksiyonuna bağlı olan üyelik derecelerinden oluşmaktadır. Bu tabakadaki hücrelerin çıktıları (O_{1i}) için eşitlik 3.2 ve 3.3 verilmektedir [78].

$$O_{1i} = \mu A_i(x) \qquad i = 1,2 \tag{3.2}$$

$$O_{1i} = \mu B_{i-2}(x) \qquad i = 3,4 \tag{3.3}$$

Burada, A_i ve B_i herhangi bir bulanık küme parametresi, μA_i ve μB_i bu küme parametreleri için üyelik dereceleridir. Çan eğrisi şeklinde üyelik fonksiyonu kullanıldığında, μA_i için aşağıdaki eşitlik verilebilir.

$$\mu A_i = \frac{1}{1 + \left[\left(\frac{x - c_i}{a_i} \right)^2 \right]^{b_i}} \qquad i = 1,2 \tag{3.4}$$

Burada, a_i, b_i ve c_i sırasıyla, çan eğrisi şekilli üyelik fonksiyonun sigması, eğimi ve merkezidir.

2.Katman

Kural katmanıdır. Bu katmandaki her bir düğüm, Sugeno bulanık mantık çıkarım sistemine göre oluşturulan kuralları ve sayısını ifade etmektedir. Bu katmandaki hücreler sabittir ve hücre sayısı kural sayısına eşittir. Hücre girdileri, kuralların öncül kısmındaki değişkenlerinin üyelik fonksiyonu değerleridir ve hücre çıktıları (O_{2i}) kuralların ağırlık derecelerini (w_i) vermektedir. Her bir kural düğümünün çıkısı μ_i 1. katmandan gelen üyelik derecelerinin çarpımı olmaktadır.

$$O_{2i} = w_i = \mu A_i(x).\mu B_i(y) \qquad i = 1,2 \qquad (3.5)$$

3.Katman

Normalizasyon katmanıdır. Bu katmandaki her bir düğüm, kural katmanından gelen tüm düğümleri giriş değeri olarak kabul etmekte ve her bir kuralın normalleştirilmiş ateşleme seviyesini hesaplamaktadır. Bu katmandaki hücreler de sabit hücrelerdir, girdileri önceki tabakadan aldıkları ağırlık dereceleridir. Bu tabakada ağırlık dereceleri normalize edilir.

$$O_{3i} = \overline{w_i} = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \qquad i = 1,2 \qquad (3.6)$$

4.Katman

Arındırma katmanıdır. Arındırma katmanındaki her bir düğümde verilen bir kuralın ağırlıklandırılmış sonuç değerleri hesaplanmaktadır. Bu katmandaki hücreler adaptif hücrelerdir ve bu hücrelerin çıktısı eşitlik 3.7'deki şekilde hesaplanır.

$$O_{4i} = \overline{w_i}.f_i = \overline{w_i}.(p_i x + q_i y + r_i) \qquad i = 1,2 \qquad (3.7)$$

5.Katman

Toplam katmanıdır. Bu katmanda sadece bir düğüm vardır ve $\sum$ ile etiketlenmiştir. Burada, 4. katmandaki her bir düğümün çıkış değeri toplanarak sonuçta ANFIS sisteminin gerçek değeri elde edilir. Sistemin çıkış değeri ise,

$$O_{5i} = f = \sum \overline{w_i} . f_i = \frac{\sum w_i . f_i}{\sum w_i} \qquad i = 1,2 \tag{3.8}$$

formülüne göre hesaplanmaktadır [79-84].

ANFIS parametrelerinin optimizasyonunda, geriye yayma, en küçük kareler kestirimi, Kalman filtresi yada birden fazla matematiksel optimizasyon yönteminin birleşmesinden oluşan hibrid öğrenme algoritmaları gibi değişik yöntemler kullanılabilir [85].

Bu çalışmada model parametrelerinin belirlenmesinde "eğim düşümü" yöntemi ve "en küçük kareler" yöntemlerinin birleşiminden oluşan "hibrid" öğrenme algoritması kullanılmıştır. Eğim düşümü yöntemi, lineer olmayan giriş parametrelerinin düzenlenmesinde, en küçük kareler yöntemi ise lineer çıkış parametrelerinin düzenlenmesinde kullanılmaktadır [86,87].

Eğim düşümü yöntemi, modellemede ağ hatasını en küçük yapacak şekilde ağırlık katsayılarının değiştirilmesi ve güncelleştirilmesi için kullanılmaktadır. Hibrid öğrenme algoritması yardımıyla, giriş üyelik fonksiyonu parametreleri ve çıkış üyelik fonksiyon parametreleri güncellenmekte ve en uygun değerler elde edilmektedir [84].

3.3. ANFIS Ağında Kullanılan Hibrid Öğrenme Algoritması

ANFIS ağına ait parametrelerin güncellenmesinde, iki aşamalı bir öğrenme algoritması olan hibrid öğrenme algoritması kullanılmıştır. Hibrid öğrenme algoritmasında, ANFIS ağ yapısına ait parametreler, giriş ve çıkış parametreleri olarak iki kısımda ele alınır. Toplam parametre kümesi; $S = S_1 + S_2$ şeklinde ifade edilecek olursa, S_1 giriş parametrelerine, S_2 de çıkış parametrelerine karşılık gelir. Hibrid algoritmanın ilk aşaması yada ileri yön geçişi ile ANFIS ağına ait giriş parametreleri, ikinci aşamada yada geri yön geçişinde ise ağın sonuç parametreleri güncellenir. Hibrid öğrenme algoritmasının ileri yön geçişini oluşturan ve en küçük kareler tahmini (LSE) yöntemi kullanılmak suretiyle gerçekleştirilen kısmında, ağın girişindeki üyelik fonksiyonlarına ait parametreler ya da kısaca S_1 ile belirtilen giriş parametreleri sabit tutulur. Böylece ağın çıkışı, S_2 parametre kümesi içinde bulunan çıkış parametrelerinin, lineer bir

kombinasyonu haline gelir. Modellenecek sisteme ait P tane giriş-çıkış verisi yada eğitim datası ile S_1 giriş parametrelerinin verilen değerleri kullanılarak, ağın çıkışı, matrisel formda, eşitlik (3.9)'daki gibi ifade edilebilir.

$$A\theta = B \tag{3.9}$$

Matrisel eşitlikte yer alan θ vektörü, S_2 çıkış parametrelerinin elemanlarından oluşan, bilinmeyen vektördür. Bu denklem, standart lineer en küçük-kareler (least-squares) problemini gösterir ve θ için en iyi çözüm, $\| A\theta - B \|^2$ 'nın minimum değeri olan, en küçük kareler tahmini (LSE), θ^* dır.

$$\theta^* = (A^T A)^{-1} A^T B \tag{3.10}$$

Burada A^T, A matrisinin transpozu ise ve eğer $A^T A$ singuler değilse, $(A^T A)^{-1} A^T$, A 'nın sahte inversidir. Bunun yerine, yinelemeli olarak (LSE) formülü de kullanılabilir. Özel olarak denklem (3.9)'daki A matrisinin *i.* satırı a_i^T ile *B* matrisinin *i.* elemanı b_i^T ile gösterilsin. Bu taktirde θ vektörü, iteratif olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\theta_{i+1} = \theta_i + S_{i+1} a_{i+1} (b_{i+1}^T - a_{i+1}^T \theta_i) \tag{3.11}$$

$$S_{i+1} = S_i - \frac{S_i a_{i+1} a_{i+1}^T S_i}{1 + a_{i+1}^T S_i a_{i+1}} \qquad , \qquad i = 0,1,...,P-1$$

Burada en küçük kareler tahmini θ^*, θ_P 'ye eşittir. (3.11) numaralı denklemde ihtiyaç duyulan başlangıç şartları şunlardır; $\theta_0 = 0$ ve $S_0 = \gamma I$. Burada γ, pozitif büyük bir sayı, I ise MxM boyutunda birim matrisdir.

Hibrid öğrenme algoritmasının geri yön geçişinde, S_2 çıkış parametreleri sabit tutulur ve ağın çıkışındaki hata sinyali geriye doğru yayılarak, eğim düşümü (gradient descent) yöntemiyle giriş parametreleri güncellenir. Geri yön geçişinde giriş parametreleri için güncelleme formülü aşağıdaki gibidir;

$$\Delta\alpha = -\eta \frac{\partial E}{\partial \alpha} \tag{3.12}$$

Burada α herhangi bir giriş parametresini, η öğrenme oranını, E ise ağın çıkışındaki hata değerini göstermektedir [70].

3.4 Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks, ANN)

İnsan beyninde çok sayıda sinir hücreleri yani nöronlar vardır. Bu sinir hücreleri birbirleri ile ilişki halindedirler. Bu sıkı ilişki, sinirsel işlevin temelini oluşturan bilgi akışını sağlar. Her bir nöron, doku ve kimyasal bir birleşime sahiptir. İnsan beyninin yapısının bir kısmı doğuştan var olmasına rağmen, diğer bazı kısımlar ise sonradan gelişmektedir.

Bilim adamları insan beyninin nasıl çalıştığını anlamaya çalışmışlardır. Genel olarak, biyolojik nöral fonksiyonlarının tümünün hafıza içerdiği ve bilginin aralarındaki bağlantılarda ve nöronlarda depolandığı anlaşılmıştır. Öğrenme, nöronlar arasında yeni bağlantıların kurulması ya da var olan bağlantıların ayarlanması olarak görülmüştür. Araştırmacılar, biyolojik nöronların bazı davranışlarını benzeterek son derece basitleştirilmiş bir yapı olan yapay nöron modelini ortaya koymuşlardır. Yapay nöron modeli insan beyninin gücünün bir parçasına dahi sahip değildir; ancak bunlar bazı faydalı fonksiyonları icra etmek için eğitilebilmektedirler.

Sinir ağları alanındaki ilk çalışmalardan bazıları 19. yy'ın sonları ve 20.yy'ın başlarında ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu çalışmalar fizik, psikoloji, nöropsikoloji gibi disiplinler arasındadır. Bu ilk çalışmalar öğrenme, görüş, kondisyon gibi genel teori üzerine olmuştur ve nöron çalışmasının özel matematiksel modellerini içermemektedir. Yapay sinir ağları ile ilgili ilk çalışma 1940'lı yıllarda McCulloch ve Pitts tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmacılar çalışmalarının, matematiksel veya mantıksal fonksiyonlar icra ettiğini göstererek, ilk matematiksel modeli önermişlerdir. Bu çalışma YSA alanının ilk çalışması olarak kabul edilmektedir. Yapılan bu çalışma herhangi bir fonksiyonun, sinir hücrelerinden oluşan ağlarda hesaplanabileceğini ve bu ağlarla mantıksal işlemlerin gerçekleştirilebileceğini göstermiştir. YSA'nın ilk pratik uygulaması 1950'lerin sonunda Rosenblatt'ın öğrenme algoritması ve algılayıcı ağının kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

İlerleyen yılarda çeşitli araştırmacılar YSA'lara yönelik çeşitli çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. 1980'lerde kişisel bilgisayarların ve iş istasyonlarının ortaya çıkmasıyla sinir ağları ile ilgili çalışmalarda çok büyük bir artış yaşanmıştır.

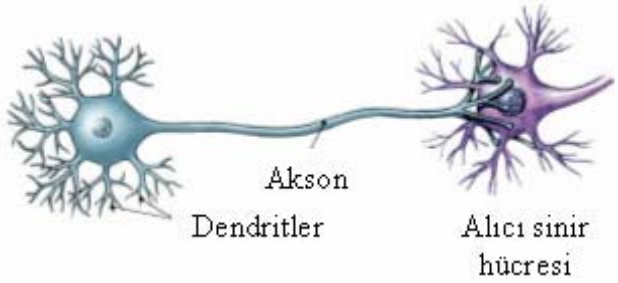
YSA'lara olan ilginin artışında iki önemli kavram büyük rol oynamıştır. Bunlardan birincisi, geribeslemeli ağların belirli bir sınıfının çalışmasını açıklamak için, istatistiksel mekanizmaların kullanılmasıdır. Bu ağlarda, geribesleme bağlantıları birleşik hafıza olarak kullanılmıştır. İkincisi ise, 1980'lerde geri yayılım (Backpropagation, BP) algoritmasının geliştirilmesidir. Bu konuyla ilgili bir çok bilim adamı çalışma yapmış olmasına rağmen, BP konusunda en önemli çalışmalar McClelland ve Rumelhart tarafından yapılmıştır. YSA konusunda ilk uluslararası konferans ise 1987'de gerçekleştirilmiş ve gelişen bilgisayar teknolojisi ile YSA'lar bir çok araştırmanın konusu olmuştur. YSA'lar üzerine yapılan çalışmalar neticesinde varılan noktada, birçok alanda bu sistem uygulanmış ve halen çalışmalarda elde edilen başarı sürekli artmaktadır.

YSA'lar ile ilgili yapısal ve öğrenme algoritmaları üzerine dayalı yeni kavramlar üzerine çalışmalar halen devam etmektedir. Güçlü bilgisayarların gelişmesi ve yaygınlaşması yeni kavramların test edilmesi ve bu alanda yeni gelişmelerin ortaya çıkmasında önemli rol oynamaktadır. YSA'ların önemli bir mühendislik aracı olduğu ve ilerleyen yıllarda da kullanımının gittikçe artacağı açıktır. YSA'lar her problemin çözümü olarak değil, fakat uygun durumlarda kullanılacak bir araç olarak varlığını koruyacağı düşünülmektedir.

Unutulmaması gerek hususlardan birisi, beynin çalışması hakkında günümüzde bile hala çok az bilgiye sahip olunduğudur. Beynin çalışmasının daha iyi anlaşılmasıyla, ilerde YSA'lar ile ilgili büyük gelişmelerin olacağı da açıktır.

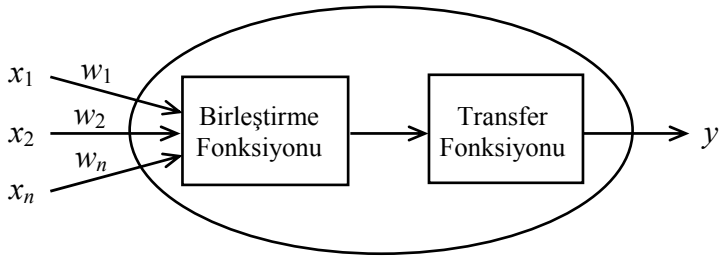
YSA beynin nöron modelini benzeterek, beynin bazı işlevlerini yerine getirmeye çalışan bir sistemdir. Sinir sisteminin en küçük birimi olan nöron'un biyolojik modeli Şekil.3.6'da verilmiştir. Biyolojik bir nöron; temel olarak dendrit, akson ve sinapslardan oluşur. Dendrit olarak adlandırılan yapı kendisine gelen uyarıları alarak ait oldukları hücre gövdesine taşıyan nöron girişleridir. Aksonlar ise hücre gövdesinde üretilen sinyalleri diğer hücrelere taşıyan elemanlardır. Yani aksonlar nöron çıkışlarıdır. Akson

ile dendrit arasındaki bağlantı ise sinapslar vasıtasıyla gerçekleştirilir [88]. Beyin bütün bu işlemleri elektrokimyasal süreçlerle gerçekleştirir. İnsan beyninde yaklaşık 10^{11} nöron ve her bir nöronda yaklaşık 10^4 dendrit vardır [25].



Şekil 3.6. Sinir hücrelerinin bağlantılarının basitleştirilmiş şematik yapısı

Yapay sinir ağlarının işleyişi de buna benzer olarak gerçekleşmektedir. Şekil 3.7'de temel bir işlemci eleman (yapay nöron) modeli verilmiştir. Bu işlemci elemanı, biyolojik nöronda olduğu gibi gelen verileri birleştirme fonksiyonları ile alır ve transfer fonksiyonları ile çıkışa yönlendirir.



Şekil 3.7. Basit Bir İşlemci Eleman

Yapısal olarak YSA, bilginin akış yönüne ve nöronlar arasındaki bağlantıların yapısına göre, ileribeslemeli ağ (Feedforward Network) ve geribeslemeli ağ (Recurrent Network) olmak üzere iki ana guruba ayrılmaktadır.

Genel olarak geribeslemeli sinir ağları, ağın girişinden çıkışına doğru ve ara katman yada çıkış katmanından önceki katmanlara doğru çift yönlü sinyal akışına izin veren yapılardır. Bu ağlarda giriş verileri hem ileri yönde hem de geri yönde yayılım gösteren

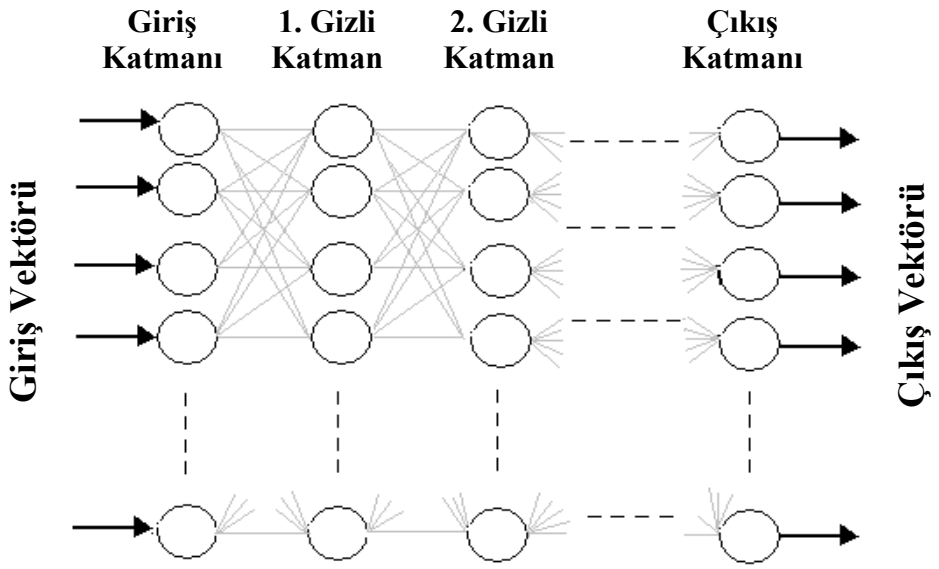
etkilere sahiptir. Bu çeşit ağlarının temel özelliklerinden birisi dinamik hafızaya sahip olmalarıdır. Çünkü herhangi bir andaki çıkış, hem o andaki girişlere hemde daha önceki girişlere bağlı olarak gerçekleşmektedir. Bu özelliğinden dolayı geribeslemeli ağlar dinamik sistemlerin kimliklendirilmesi, önceden kestirim, doğal dil işleme, filtreleme, yörünge belirleme, ve sinyal işleme gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu ağlara örnek olarak Hopfield, Elman ve Jordan ağları verilebilir.

İleribeslemeli bir ağda ise işlemci elemanlar genellikle katmanlara ayrılmışlardır. Bilgi akışı, giriş katmanından çıkış katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilir. Yani nöronlar arka arkaya beslenirler. İşlemci elemanlar, bir katmandan diğer bir katmana bağlantı kurarlarken, aynı katman içerisinde bağlantıları bulunmaz. Bu ağlar, giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere 3 ana katmandan oluşurlar. İleri beslemeli ağlara örnek olarak çok katmanlı algılayıcı (Multilayer Perceptrons, MLP) ve öğrenme vektör nicelendirmesi (Learning Vector Quantization Network, LVQ) ağları verilebilir [83].

Çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) modeli, yaygın olarak kullanılan ileribeslemeli ağlardan biridir. ÇKA modeli bir giriş, bir veya daha fazla ara ve bir de çıkış katmanından oluşur. Bir katmandaki işlem elemanları bir üst katmandaki işlem elemanlarına bağlıdır. Birçok öğretme algoritmasının bu ağı eğitmede kullanılabilir olması bu modelin yaygın kullanılmasının nedenidir. Şekil 3.8'de çok katmanlı bir yapay sinir ağı mimarisi verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi çok katmanlı algılayıcı ağlarında örnekler "giriş katmanına" uygulanır, "ara katmanlar" da işlenir ve "çıkış katmanından" da çıkışlar elde edilir. Kullanılan eğitme algoritmasına göre ağın çıkışı ile arzu edilen çıkış arasındaki "hata" minimuma düşünceye kadar ağın ağırlıkları değiştirilir [89].

YSA'daki her bir sinir kendisine bir önceki sinir(ler)den gelen bilgiyi veri olarak alıp bir aktivasyon (transfer) fonksiyonu ile işleme tabi tutar ve varsa bias değeri ile toplayıp oluşan çıktısını kendinden sonra bağlı olduğu sinirlere ilgili sinaptik ağırlıklar ile çarparak iletir. Genellikle bu çıktı değeri bundan sonraki sinirlere bir iletim olup olmayacağını belirleyecek bir eşik değeri ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma aktivasyon fonksiyonu tarafından belirlenir. Bu ardışık işlemler süreci ta ki en son çıktı katmanında çıkış değerlerinin elde edilmesine kadar sürdürülür [90]. Şekil 3.9'da yapay nöron modeli genel detayı verilmiştir. Yapay nöron modelinde, bir nöron N tane x_i girişinin

ağırlıklı w_{ij} toplamını alıp bu toplamı doğrusal olmayan bir $f(.)$ fonksiyondan geçirerek bir y_j çıktısı üretmektedir. Yapay sinir ağları, kullanılan nöron modeli, bu nöronların ağ yapısında bir arada bağlanma şekli, ağırlıkların ayarlanması için öğrenme kuralının belirlenmesi ve hatırlama ile karakterize edilir.



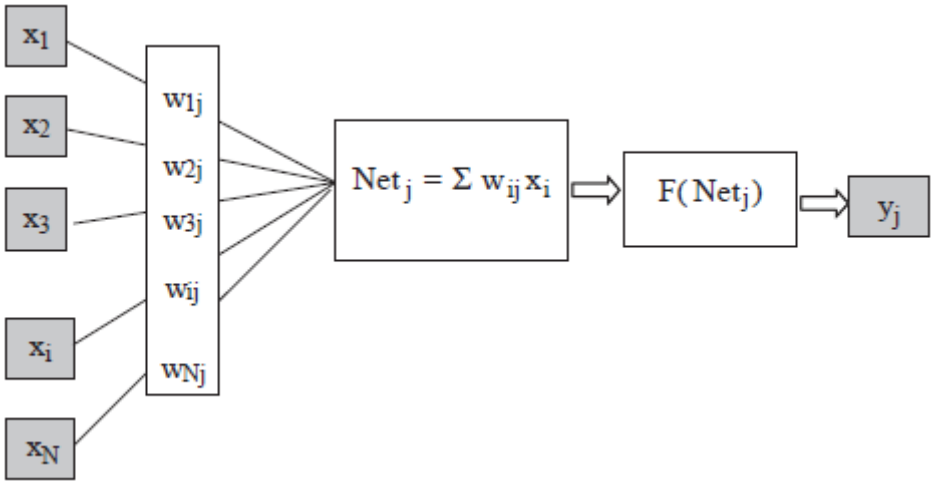
Şekil 3.8. Çok katmanlı yapay sinir ağı mimarisi

Verilen çok katmanlı bir ağ için, herhangi bir birimin giriş değeri kendisine diğer katmanlardan gelen (bir saklı katman veya bir giriş katmanından) değerlerin bir ağırlıklı toplamı olarak eşitlik (3.13)'deki şekilde ifade edilir.

$$Net_j = \upsilon_j = \sum_i^N x_i w_{ij} \tag{3.13}$$

Birimin çıkışı ise bu ağırlıklı toplamın, doğrusal olmayan bir fonksiyondan geçirilmesi İle eşitlik (3.14) şeklinde hesaplanır.

$$y_j = f(\upsilon_j) \tag{3.14}$$



Şekil 3.9. Yapay nöron modeli

Aktivasyon fonksiyonunun uygulanmasıyla birimin çıkışı eşitlik (3.15)'deki gibi hesaplanır.

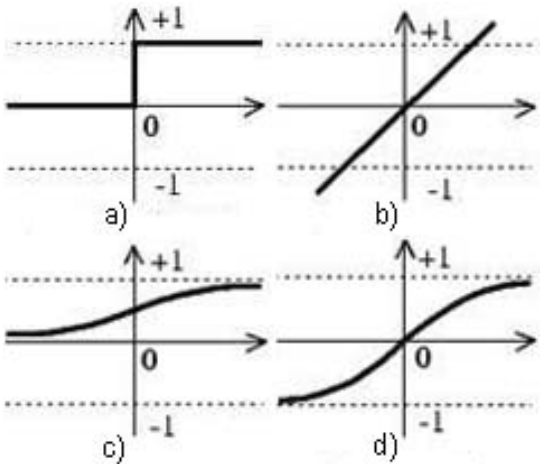
$$y_j = \frac{1}{1+e^{-Net_j}} \tag{3.15}$$

Söz konusu aktivasyon fonksiyonunun, sigmoid fonksiyonu olduğunu varsayarsak. Sigmoid fonksiyonu $0 \le \theta \le 1$ aralığında olmak üzere eşitlik (3.16)'daki gibi ifade edilir.

$$f(\chi) = \frac{1}{1+e^{-\theta\chi}} \tag{3.16}$$

Geri yayılma ağlarında θ değişkeni genellikle 1 alınmaktadır [91].

Aktivasyon Fonksiyonu: Aktivasyon fonksiyonu nörona gelen net girdiyi işleyerek nöronun bu girdiye karşılık vereceği tepkiyi belirler. Literatürde yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonlarından bazıları, Keskin-Limitli (Hard Limit), Doğrusal (Lineer), Sigmoid ve Tanjant Hiperbolik fonksiyonlarıdır. Şekil 3.10'da bu aktivasyon fonksiyonları gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonları a) Keskin-Limitli b) Doğrusal c) Sigmoid d) Tanjant Hiperbolik

Keskin limitli aktivasyon fonksiyonunda, giriş değeri 0 (sıfır)'dan büyükse çıkış değeri 1 (bir), giriş değeri 0 (sıfır)'dan küçükse çıkış değeri 0 (sıfır) olmaktadır. Genelde sınıflandırma uygulamalarında kullanılmaktadır. Doğrusal aktivasyon fonksiyonu matematiksel olarak $F(n) = An$ formülüyle genellenebilir. Bu formülde A sabit bir katsayıdır. Doğrusal süzgeç problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Sigmoid aktivasyon fonksiyonu, sürekli ve türevi alınabilir bir fonksiyondur. Doğrusal olmayışı dolayısıyla yapay sinir ağı uygulamalarında en sık kullanılan fonksiyondur. Bu fonksiyon girdi değerlerinin her biri için 0 ile 1 arasında bir değer üretir. Tanjant hiperbolik aktivasyon fonksiyonu ise, sigmoid fonksiyonuna benzer bir fonksiyondur. Sigmoid fonksiyonunda çıkış değerleri 0 ile 1 arasında değişirken hiperbolik tanjant fonksiyonunun çıkış değerleri -1 ile 1 arasında değişmektedir.

YSA'nın hesaplama ve bilgi işleme gücünü, paralel dağılmış yapısından, öğrenebilme ve genelleme yeteneğinden aldığı söylenebilir. Genelleme, eğitim ya da öğrenme sürecinde, karşılaşılmayan girişler için de YSA'nın uygun tepkileri üretmesi olarak tanımlanır. Bu üstün özellikleri, YSA'nın karmaşık problemleri çözebilme yeteneğini gösterir. Günümüzde birçok bilim alanında YSA aşağıdaki avantajları nedeniyle etkin olmuş ve uygulama yeri bulmuştur.

YSA'ların genel olarak sahip olduğu özellikler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Paralel İşlem (hesaplama zamanını kısaltır)
- Adaptasyon (değişen sistem yada şartlara göre yeniden eğitilebilir)
- Öğrenme (diğer yaklaşımlardan ayıran en önemli özelliktir)
- Genelleme Kabiliyeti (eğitmede yer almayan veriler içinde mantıklı sonuçlar üretmesi)
- Dağıtılmış Hafıza (bilgi ağırlıklar üzerine dağıldığından gürültüye karşı koyma özelliği vardır)
- Hata Toleransı (Giriş verilerinden bazıları verilmese yada bozulsa da kabul edilebilir sonuç verebilmesi)
- Donanım (YSA'lar VLSI teknolojisi ile gerçekleştirilebilir, bu özellik gerçek zamanlı uygulamalar için önemlidir)

Yapay sinir ağlarının tasarımında dikkat edilmesi gereken birçok kural bulunmaktadır. Bu kurallardan bazıları aşağıda verilmiştir.

- Probleme uygun YSA mimarisinin seçimi
- Probleme uygun olarak YSA giriş ve çıkış işlemci elemanı sayılarının belirlenmesi
- Ara katman sayısının belirlenmesi
- Ara katman nöron sayılarının belirlenmesi
- Uygun eğitme algoritmasının seçimi
- Eğitme algoritması için uygun parametre değerlerinin belirlenmesi
- Veri kodlama yapısına karar verilmesi
- Gerekli durumlarda veri normalizasyonun uygun olarak gerçekleştirilmesi
- Transfer fonksiyonunun seçimi
- Uygun performans fonksiyonunun seçimi
- Uygun iterasyon sayısının belirlenmesi
- Uygun veri tipi ve sayısının belirlenmesi

Giriş ve çıkış katmanlarının probleme özgü olarak belirlenmesine rağmen, saklı katman sayısı, saklı katmanlardaki işlemci eleman sayısı, kullanılan aktivasyon fonksiyonunun

türü, kullanılan eğitme algoritması yada kontrol parametrelerinin belirlenmesine yönelik kesin kurallar bulunmamaktadır.

Yapay sinir ağı uygulamaları temel olarak tahmin, sınıflandırma, veri ilişkilendirme, veri yorumlama ve veri filtreleme olarak sınıflandırılır. Literatürde YSA'ların tasarımı konusunda çok sayıda çalışma bulunmaktadır. YSA'lar elektrik ve elektronik mühendisliği, sistem kontrol mühendisliği, bilgisayar mühendisliği, kimya mühendisliği, inşaat ve yapı mühendisliği, imalat ve makine mühendisliği, harita mühendisliği ve uygulamalarında problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadırlar [92-94].

4. BÖLÜM

ANFIS VE YSA KULLANARAK ERKEK KISIR HASTALARDA KROMOZOMAL ANOMALİ TESPİTİ

4.1. Giriş

Yapılacak olan çalışmada erkek kısır hastalardan elde edilen sayısal verilerin, ANFIS ve YSA ile sınıflandırılarak, elde edilen sonuçlara göre hastalarda kromozomal anomali olup olmadığının tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Yapılan geniş literatür taramasında bu konuda yapılmış bir çalışmaya henüz rastlanmamıştır. Bu çalışmada başarı elde edilmesi durumunda, hastalara ön tanı konmasında ve tedavilerinde önemli bir adım atılmış olacaktır. Ayrıca, fiziksel ve endokrin bulgularından hareketle genetik bozukluk olup olmadığının tespit edilebilmesi, genetik tetkiklere olan ihtiyacı azaltacak ve dolayısıyla ileri tetkik yöntemlerinin gerektirdiği yüksek maliyetlerden de tasarruf sağlanabilecektir. Ayrıca, bu tür otomasyon sistemlerinin geliştirilmesi, uzman hekim bulunmayan yerlerdeki pratisyen doktorların doğru karar verme ve yönlendirme faaliyetlerine de katkı sağlayacaktır.

Çalışmada Erciyes Üniversitesi Tıp Fakültesi Üroloji Anabilim Dalı Androloji Polikliniğine başvuran azoospermik (spermi olmayan) vakalardan, tetkikleri eksik olmayan 425 kişinin fizik muayeneleri, spermiyogramları, hormon tetkikleri ve genetik analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler ANFIS ve YSA kullanarak erkek kısır vakalarda kromozomal anomali olup olmadığının tespiti amacıyla kullanılmıştır.

4.2. ANFIS Metodu Kullanarak Azoospermik Vakalarda Kromozomal Anomali Tespiti

Çalışma kapsamında 339 vakaya ait veriler tamamlandıktan sonra, ANFIS metodu kullanılarak vakalarda kromozomal anomali olup olmadığının tespit edilmesine yönelik

çalışmalara başlanmıştır. Çalışmada, ilgili anabilim dalı öğretim üyelerinin yönlendirmesiyle vakalara ait 10 parametre kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır. Bu kapsamda vakalara ait boy, kilo, vücut kitle indeksi (vki), testis hacmi, ejakülat hacmi, FSH, LH, total testesteron, prolaktin, östradiol parametreleri dikkate alınmıştır. Tamamlanan mevcut veriler ANFIS modelini oluşturmak ve oluşturulan modelin doğruluğunu test etmek için eğitim ve test verileri olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Genelde test verilerinin sayısı eğitim verilerinin sayısının %10-15'inden daha az olmaması önerilmektedir. Burada 248 veri ANFIS modelinin oluşturulmasında, 91 veri ise modelin test edilmesinde kullanılmıştır.

Bu çalışmada, üyelik fonksiyonu sayısı her bir giriş değişkeni için 2 olup kural sayısı ise 1024 (2^{10})'dur. ANFIS modeli, çan şekilli üyelik fonksiyonu için, giriş sayısı 10, node (düğüm) sayısı 2101, lineer parametre sayısı 1024, non-lineer parametre sayısı 60, toplam parametre sayısı ise 1084 olacak şekilde oluşturulmuştur. Modelin eğitilmesinde hibrid (hybrid) algoritma kullanılmıştır. Sonuçların birbirine yakın ve doğruluğunun yüksek olması için giriş verileri [0,1] aralığına, çıkış verileri ise [1,2] aralığına normalize edilmiştir. Çıkış eşik değeri olarak 1.5 seçilmiş, eşik değerinin altındaki değerler *kromozomal anomali var* olarak, eşik değerinin üzerindeki değerler ise *kromozomal anomali yok* olarak sınıflandırılmıştır. Model, 100 ve 200 epok süresince üçgen, yamuk, gaussian ve çan şekilli üyelik fonksiyonları ile ayrı ayrı eğitilerek bulunan sonuçlar değerlendirilmiştir. Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3'de, 50, 100 ve 200 epok ile bulunan sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4.1. 10 girişli ve sabit (constant) çıkış fonksiyonlu ANFIS modeli ile 50 epok için bulunan sonuçlar

Üyelik Fonksiyonu Tipi	**Hata (RMSE)**		**Başarım (%)**	
	Eğitim	**Test**	**Eğitim**	**Test**
üçgen	0.0036248	0.60 (23 Hata)	100	80.21
yamuk	0.0019865	1.38 (27 Hata)	100	74.72
çan şekilli	0.0001712	0.36 (9 Hata)	100	90.10
gaussian	0.0001240	0.36 (11 Hata)	100	89.01

Tablo 4.2. 10 girişli ve sabit (constant) çıkış fonksiyonlu ANFIS modeli ile 100 epok için bulunan sonuçlar

Üyelik Fonksiyonu Tipi	Hata (RMSE)		Başarım (%)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
üçgen	0.0002311	0.49 (18 Hata)	100	80.21
yamuk	0.0009918	1.21 (23 Hata)	100	74.72
çan şekilli	0.0000612	0.40 (10 Hata)	100	89.01
gaussian	0.0000440	0.35 (10 Hata)	100	89.01

Tablo 4.3. 10 girişli ve sabit (constant) çıkış fonksiyonlu ANFIS modeli ile 200 epok için bulunan sonuçlar

Üyelik Fonksiyonu Tipi	Hata (RMSE)		Başarım (%)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
üçgen	0.0001690	0.43 (13 Hata)	100	85.71
yamuk	0.0006317	1.10 (21 Hata)	100	76.92
çan şekilli	0.0000492	0.36 (8 Hata)	100	91.20
gaussian	0.0000402	0.35 (10 Hata)	100	89.01

Tablo 4.1, 4.2 ve 4.3'den görüldüğü gibi yapılan çalışmalarda, 10 girişli ve sabit (constant) çıkış fonksiyonlu ANFIS modeli ile bulunan en iyi sonuç, çan şekilli (bell-shaped) üyelik fonksiyonundan elde edilmiştir. 200 epok için bulunan hata sayısı 8'dir, yani sistem 91 vakadan sadece 8 vakada yanılmıştır. Buda performansın %91,20 olduğu anlamına gelmektedir.

4.3. İstatistiksel Lojistik Regresyon Analizi ile Parametrelerin Kromozomal Anomali Varlığı ile İlişkisinin Araştırılması

Çalışmanın yapıldığı ilgili anabilim dalı öğretim üyelerince, vakalara ait parametrelerin kromozomal anomali olup olmaması üzerindeki etkilerinin anlamlılık düzeylerinin incelenmesi önerilmiştir. Bu amaçla, lojistik regresyon analizi yöntemi kullanılarak her bir parametrenin kromozomal anomali varlığı ile ilişkisi araştırılmıştır.

Lojistik regresyon analizi, bağımlı değişkenin tahminini olasılık olarak hesaplayarak çok değişkenli istatistiksel verilen sınıflandırılmasında kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem normal dağılım varsayımı veya süreklilik varsayımı gibi ön koşul gerektiren yöntemlere bir alternatif olarak geliştirilmiştir [95].

Lojistik regresyon modelinde, bağımlı (sonuç) değişken ikili (binary) kesikli bir değişken olup; risk belirten durum 1, diğer durum 0 ile gösterilir. Regresyon problemlerinde anahtar değer, verilen bir bağımsız değişken değerine bağlı olarak, bağımlı değişkenin ortalama değerini bulmaktır. Bu değer koşullu ortalama olarak adlandırılır ve $E(Y/x)$ ile gösterilir. Burada, Y bağımlı değişkeni, x ise bağımsız değişkeni göstermektedir. Lineer regresyon analizinde, koşullu ortalamanın x'in lineer bir denklemi olduğu varsayılır ve eşitlik (4.1) ile ifade edilir.

$$E(Y/x) = \beta_0 + \beta_1 x \tag{4.1}$$

bu ifade, x'in $-\infty$ ve $+\infty$ aralığında değişmesinden dolayı $E(Y/x)$'in mümkün olan her değeri alabileceğini göstermektedir. Lojistik regresyon analizinde ise koşullu ortalama; 0'dan büyük, 1'den küçük ya da 1'e eşit olmak zorundadır.

$$0 < E(Y/x) \leq 1 \tag{4.2}$$

Lojistik regresyon analizinde, eşitlik (4.1)'in sol tarafı [0-1] arasında sınırlı olasılık değerleri aldığından ve bu değerler sonsuz değerler alabilen açıklayıcı değişkenlerle ilişkilendirildiğinden, söz konusu eşitlik her zaman sağlanamamaktadır. Böylesi bir durumla karşılaşılmaması için en iyi çözüm, sonuç değeri olarak ifade edilen olasılık değerinin çeşitli dönüşümlerle $-\infty$ ile $+\infty$ arasında tanımlı hale getirilmesidir

İki düzey içeren bir sonuç değişkenin analizinde kullanılmak üzere önerilen birçok dağılım fonksiyonu vardır. En yaygın kullanılan iki tanesi lojit ve probit dönüşümleridir. Bunlardan lojistik dağılımı seçmek için de iki tane önemli neden vardır, ilk neden, lojistik regresyon analizinde varsayım kısıtlaması olmamasından dolayı kullanım rahatlığının yanı sıra, analiz sonucu elde edilen modelin matematiksel olarak çok esnek olması, ikinci neden ise biyolojik olarak kolay yorumlanabilir olmasıdır.

Gösterimi kolaylaştırmak için, lojistik dağılım kullanıldığında, x bilindiğinde Y'nin koşullu ortalamasını göstermek için $\pi(x) = E(Y/x)$ değerini kullanabiliriz. Lojistik regresyon modelinin spesifik formu aşağıdaki eşitlik (4.3)'de verilmiştir.

$$\pi(x) = \frac{e^{\beta_0+\beta_1 x}}{1+e^{\beta_0+\beta_1 x}} \tag{4.3}$$

Lojistik regresyon çalışmamıza merkez olacak $\pi(x)$'in bir transformasyonu yukarıda bahsedildiği gibi lojit transformasyondur. Bu transformasyonu $\pi(x)$ cinsinden eşitlik (4.4)'deki gibi tanımlarız;

$$g(x) = \left[\frac{\pi(x)}{1-\pi(x)}\right] \tag{4.4}$$

Bu transformasyonun önemi, $g(x)$'in lineer regresyon modelinin istenen tüm özelliklerini taşımasıdır. Lojit $g(x)$, parametreleri bakımından lineer, sürekli ve x'in aldığı değerlere bağlı olarak ve arasında değişebilmektedir [96].

Bu çalışmada, kromozomal anomali olma durumunu açıklayan / etkileyen faktörleri ortaya çıkarmak için ikili tek değişkenli lojistik regresyon yöntemi kullanılmıştır. Lojistik regresyon yöntemi ile hesaplanan odds ratio (OR) değeri, anlamlı olan parametrenin çıkış değerine olan etkisini ifade etmektedir. Örneğin boy parametresi için $P < 0.05$ olduğundan boy, model için anlamlıdır ve boy parametresinin bir birim artışının, kromozomal anomali olma riskini 1.057 kat oranında artırdığı anlamına gelmektedir. Tablo 4.4'de lojistik regresyon analizi sonucu parametrelerin β, P ve OR değerleri verilmiştir. P (olasılık) değerinin 0.05 ten küçük olması istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir.

Lojistik regresyon analizi sonucunda Yaş, Kilo, Prolaktin ve Estradiol parametrelerinin P (olasılık) değerleri 0.05 ten büyük olduğu için tasarlanan sistem / model için anlamlı olmadığı anlaşılmış, bu parametrelerin sistemden çıkarılmasına ve sadece 6 parametre (Boy, Ejakülat Hacmi, FSH, LH, Total Testesteron, Total Testis Hacmi) ile çalışmaların yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

Tablo 4.4. Lojistik regresyon analizi ile bulunan sonuçlar

Sıra No	Parametre	β	P	OR
1	Boy	0.056	0.002	1.057
2	Yaş	-0.017	0.478	0.983
3	Kilo	0.003	0.741	1.003
4	Ejakülat Hacmi	-0.563	0.001	0.569
5	FSH	0.122	0.001	1.130
6	LH	0.279	0.001	1.322
7	Total Testesteron	0.005	0.001	0.995
8	Total Testis Hacmi	-0.312	0.001	0.732
9	Prolaktin	-0.003	0.928	0.997
10	Estradiol	-0.005	0.455	0.995

4.4. ANFIS Metodu Kullanarak Etki Düzeyi Yüksek Parametreler ile Azoospermik Vakalarda Kromozomal Anomali Tespiti

Çalışma kapsamında verileri toplanan azoospermik vakaların sayısı 425'e yükseldikten sonra, ANFIS metodu kullanılarak kromozomal anomali olup olmadığının tespit edilmesine yönelik çalışmalara devam edilmiştir. İstatistiksel lojistik regresyon analizi çalışması sonucunda vakaların anlamlılık düzeyi yüksek olan boy, testis hacmi, ejakülat hacmi, FSH, LH ve total testesteron olmak üzere 6 parametresi dikkate alınmıştır. Burada 310 vakaya ait veriler ANFIS modelinin oluşturulmasında, 115 vakaya ait veriler ise modelin test edilmesinde kullanılmıştır.

Eğitimden önce, ANFIS modelinin giriş değişkenlerinin, kullanılan üyelik fonksiyonlarından normal dağılım (gaussian) üyelik fonksiyonu öncül parametre aralıkları yazılım tarafından rastgele olarak Tablo 4.5'deki gibi seçilmiştir. Sistem bu öncül parametreleri eğiterek optimum sınıflandırmayı yapmaktadır.

Tablo 4.5. Etki düzeyi yüksek parametrelerin, gaussian üyelik fonksiyonu alt küme aralık değerleri

BOY (A)			**TESTIS HACMİ (B)**			**EJAKÜLAT HACMİ (C)**		
Alt Küme	**Aralık**		**Alt Küme**	**Aralık**		**Alt Küme**	**Aralık**	
A1	0.3747	0.1176	B1	0.4247	0	C1	0.4247	0
A2	0.3747	1	B2	0.4247	1	C2	0.4247	1
FSH (D)			**LH (E)**			**T.TESTESTERON (F)**		
Alt Küme	**Aralık**		**Alt Küme**	**Aralık**		**Alt Küme**	**Aralık**	
D1	0.4247	0	E1	0.3519	0	F1	0.4247	0
D2	0.4247	1	E2	0.3519	0.8286	F2	0.4247	1

Giriş değerleri 2'şer üyelik fonksiyonu kullandıkları için toplam 6 adet giriş için 2^6 yani 64 kural elde edilir. 64 kuraldan bazıları sözel olarak şöyledir:

- 1. Eğer (BOY A1) ve (TESTIS HACMI B1) ve (EJAKÜLAT HACMI C1) ve (FSH D1) ve (LH E1) ve (T.TESTESTERON F1) ise (ÇIKIŞ OUT1)
- 10. Eğer (BOY A1) ve (TESTIS HACMI B1) ve (EJAKÜLAT HACMI C2) ve (FSH D1) ve (LH E1) ve (T.TESTESTERON F2) ise (ÇIKIŞ OUT10)
- 33. Eğer (BOY A2) ve (TESTIS HACMI B1) ve (EJAKÜLAT HACMI C1) ve (FSH D1) ve (LH E1) ve (T.TESTESTERON F1) ise (ÇIKIŞ OUT33)
- 42. Eğer (BOY A2) ve (TESTIS HACMI B1) ve (EJAKÜLAT HACMI C2) ve (FSH D1) ve (LH E1) ve (T.TESTESTERON F2) ise (ÇIKIŞ OUT42)

Yazılan her bir kurala karşı sonuç elde etmek için de bir sabit fonksiyon yazılır. Örneğin yukarıdaki 33 numaralı kural için,

$$f_{33} = p_{33}A + q_{33}B + r_{33}C + s_{33}D + k_{33}E + m_{33}F + n_{33}$$

denklemi yazılır. Toplam 64 kuralın her biri için p, q, r, s, k, m, n bilinmeyenleri çözülür. Model ile belirlenen çıkış değeri ile gerçek çıkış değeri arasındaki fark hata değerini verir. Bulunan bu hata ANFIS modelindeki bir algoritma ile eğitilerek alt küme aralıkları (öncül parametreler) değiştirilir ve bu işlem önceden belirlenen epok sayısı kadar tekrarlanır. Sonuçta alt küme aralıkları başlangıçtakine göre bir miktar değişmekte ve her bir kural için (o kuralın geçerli olduğu bölgede yeterli sayıda veri

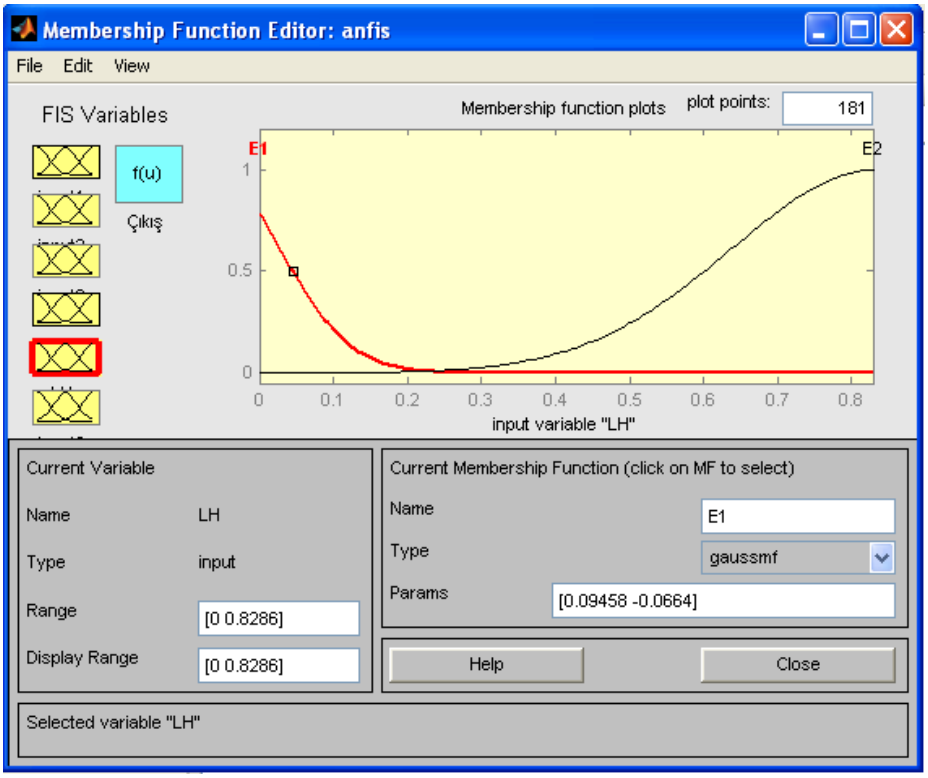
varsa) sabit denklem katsayıları elde edilir. 310 veri ile giriş değerlerinin 2'şer alt kümeye ayrıldığı durumda veriler eğitildikten sonraki, giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonu parametre alt küme aralıkları Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6. Eğitimden sonra, giriş değişkenlerinin üyelik fonksiyonu alt küme aralıkları

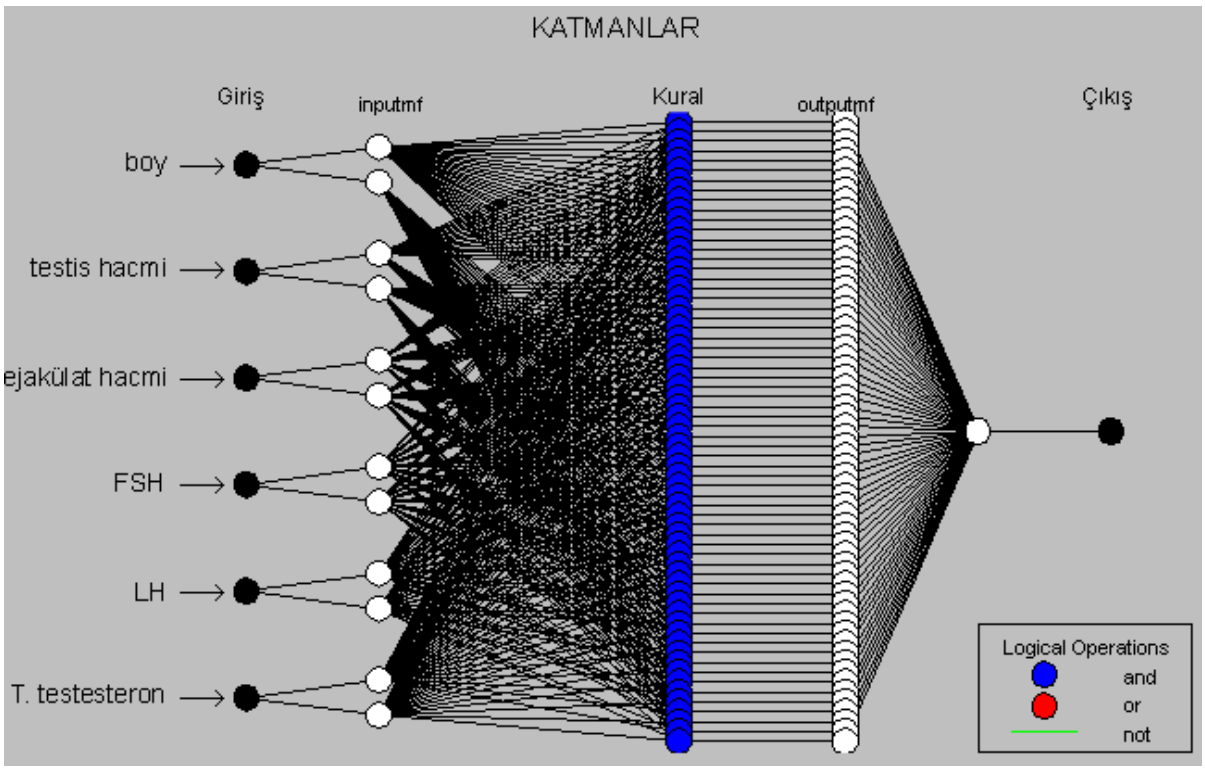
BOY (A)			**TESTIS HACMİ (B)**			**EJAKÜLAT HACMİ (C)**		
Alt Küme	**Aralık**		**Alt Küme**	**Aralık**		**Alt Küme**	**Aralık**	
A1	0.2429	0.04475	B1	0.5209	-0.1552	C1	0.3904	-0.0464
A2	0.3668	0.9809	B2	0.5031	0.7804	C2	0.4577	0.9575
FSH (D)			**LH (E)**			**T.TESTESTERON (F)**		
Alt Küme	**Aralık**		**Alt Küme**	**Aralık**		**Alt Küme**	**Aralık**	
D1	0.3845	-0.0311	E1	0.0945	-0.0664	F1	0.3946	-0.0225
D2	0.4443	0.9774	E2	0.2004	0.8369	F2	0.4211	0.9916

Tablo 4.6'da verilen bu parametre aralıkları sistemin hatası ile hedeflenen hata arasındaki farkın en az olduğu optimal modelin gaussian üyelik fonksiyonu için parametre alt küme aralıklarını ifade etmektedir. Şekil 4.1.'de bu parametre alt küme aralıklarını gösteren Matlab Fuzzy Logic Toolbox ara yüzü verilmiştir. Oluşturulan ANFIS modeli eğitilirken, her bir giriş değişkeninin üyelik fonksiyonu parametre alt küme değeri, sisteme olan etkisine göre diğer girişlerin parametrelerinden bağımsız olarak güncellenmektedir.

Bu çalışmada ANFIS modeli, gaussian üyelik fonksiyonu için, giriş sayısı 6, node (düğüm) sayısı 161, lineer parametre sayısı 64, non-lineer parametre sayısı 24, toplam parametre sayısı 88 olacak şekilde oluşturulmuştur. Sonuçların birbirine yakın ve doğruluğunun yüksek olması için giriş verileri [0,1] aralığına, çıkış verileri ise [1,2] aralığına normalize edilmiştir. Çıkış eşik değeri olarak 1.5 seçilmiş, eşik değerinin altındaki değerler *kromozomal anomali var* olarak, eşik değerinin üzerindeki değerler ise *kromozomal anomali yok* olarak sınıflandırılmıştır. Şekil 4.2.'de azoospermik vakalarda kromozomal anomali tespiti için oluşturulan ANFIS modelinin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Üyelik fonksiyonu parametrelerinin alt küme aralıklarını gösteren ara yüz.



Şekil 4.2. Giriş değerleri, 2 üyelik fonksiyonundan oluşan 6 girişli ANFIS yapısı

ANFIS algoritması, ANN yaklaşımının öğrenme gücü ile bulanık mantık yaklaşımını kural tabanlı sonuç çıkarma mekanizmalarının avantajlarını içermektedir. ANFIS algoritmasında ilk olarak daha önceden belirlenen girdi ve çıktı değişkenlerine ait veriler sınıflandırılmakta ya da bölünmektedir.

ANFIS modellerinin performansları ölçülen ve tahmin edilen değerler arasındaki ilişkilerin tanımlanması ile tespit edilmiştir. Bu amaçla ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE) yani etkin hata kriteri temel alınmıştır. RMSE hata değeri ise eşitlik (4.5) yardımıyla hesaplanmıştır:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{N}(x_i - y_i)^2}{N}} \tag{4.5}$$

Yukarıdaki denklemde x_i ve y_i sırasıyla ölçülen ve tahmin edilen verileri, N ise gözlenen veri sayısını ifade etmektedir.

Modelin eğitilmesinde hibrid algoritması kullanılmıştır. Model, 100 ve 200 epok için farkı üyelik fonksiyonları (üçgen, yamuk, gaussian, çan şekilli) ile ayrı ayrı eğitilerek bulunan sonuçlar değerlendirilmiştir. Tablo 4.7 ve 4.8'de 100 ve 200 epok ile bulunan sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4.7. 6 girişli ve sabit (constant) çıkış fonksiyonlu ANFIS modeli ile 100 epok için bulunan sonuçlar

Üyelik Fonksiyonu Tipi	**Hata (RMSE)**		**Başarım (%)**	
	Eğitim	**Test**	**Eğitim**	**Test**
üçgen	0,1766250	0,30 (9 Hata)	100	92.17
yamuk	0,1733700	1,24 (9 Hata)	100	92.17
çan şekilli	0,1528800	0,37 (13 Hata)	100	88.69
gaussian	0,1837900	0,27 (6 Hata)	100	94.78

Tablo 4.8. 6 girişli ve sabit (constant) çıkış fonksiyonlu ANFIS modeli ile 200 epok için bulunan sonuçlar

Üyelik Fonksiyonu Tipi	Hata (RMSE)		Başarım (%)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
üçgen	0,1553100	0,33 (11 Hata)	100	90.43
yamuk	0,1707100	1,08 (10 Hata)	100	91.30
çan şekilli	0,1500800	0,38 (11 Hata)	100	90.43
gaussian	0,1812200	0,30 (7 Hata)	100	93.91

Tablo 4.7 ve 4.8'den görüldüğü gibi yapılan çalışmalarda, 6 girişli ve sabit (constant) çıkış fonksiyonlu model ile bulunan en iyi sonuç 6 hata ile gaussian üyelik fonksiyonundan elde edilmiştir. Yani sistem 100 epok için 115 adet vakadan sadece 6 vakada yanılmıştır. Buda performansın %94,78 olduğu anlamına gelmektedir.

Sugeno bulanık mantık yönteminde çıktıların $f = px + qy + r$ şeklinde bir birinci dereceli polinom (lineer) ya da $f = r$ gibi sabit (constant) fonksiyon ile ifade edildiği, daha önceki bölümlerde bahsedilmişti. Oluşturulan ANFIS modeline, bir birinci dereceli fonksiyon (lineer) uygulanarak da sistemin performansı test edilmiştir. Bu çalışmada da, 310 veri ANFIS modelinin oluşturulmasında, 115 veri ise modelin test edilmesinde olmak üzere toplam 425 vaka verisi kullanılmıştır. Yukarıda bahsedilen yöntemlerdeki yol izlenerek, model 100 ve 200 epok için farkı üyelik fonksiyonları (üçgen, yamuk, gaussian, çan şekilli) ile ayrı ayrı eğitilerek bulunan sonuçlar değerlendirilmiştir. Tablo 4.9 ve 4.10'da 100 ve 200 epok ile bulunan sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4.9. 6 girişli ve lineer çıkış fonksiyonlu ANFIS modeli ile 100 epok için bulunan sonuçlar

Üyelik Fonksiyonu Tipi	Hata (RMSE)		Başarım (%)	
	Eğitim	Test	Eğitim	Test
üçgen	0,0440280	1,18 (9 Hata)	100	92.17
yamuk	0,0205350	1,12 (13 Hata)	100	88.69
çan şekilli	0,0080800	0,87 (17 Hata)	100	85.21
gaussian	0,0058900	0,95 (19 Hata)	100	83.47

Tablo 4.10. 6 girişli ve lineer çıkış fonksiyonlu ANFIS modeli ile 200 epok için bulunan sonuçlar

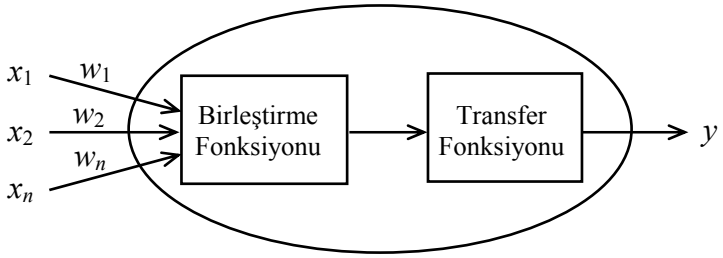
	Hata (RMSE)		Başarım (%)	
Üyelik Fonksiyonu Tipi	**Eğitim**	**Test**	**Eğitim**	**Test**
üçgen	0,0399000	1,17 (9 Hata)	100	92.17
yamuk	0,0188500	1,11 (13 Hata)	100	88.69
çan şekilli	0,0070300	0,89 (18 Hata)	100	84.34
gaussian	0,0041460	1,02 (17 Hata)	100	85.21

Tablo 4.9 ve 4.10'dan görüldüğü gibi, yapılan çalışmalarda, 6 girişli ve lineer çıkış fonksiyonlu model ile bulunan en iyi sonuç 9 hata ile üçgen üyelik fonksiyonundan elde edilmiştir. Yani sistem 200 epok için, 115 vakadan sadece 9 vakada yanılmıştır. Buda performansın %92,17 olduğu anlamına gelmektedir. Bu çalışma, lineer çıkış fonksiyonu ile alınan sonuçların sabit (constant) çıkış fonksiyonu ile alınan sonuçlardan performans olarak düşük olduğunu göstermektedir. Bu sonuca dayanarak oluşturulan paket yazılımda sabit çıkış fonksiyonlu ANFIS modeli kullanılmıştır.

4.5. YSA Kullanarak Azoospermik Vakalarda Kromozomal Anomali Tespiti

Yapay Sinir Ağları (YSA), biyolojik sinir sisteminin karmaşık fonksiyonları ve davranışından esinlenerek geliştirilen bilgisayar sistemleridir. Biyolojik sinir ağları birbirleriyle yoğun bir şekilde bağlı, büyük miktarlardaki sinir hücrelerinden oluşur. Nöron olarak da adlandırılan sinir hücreleri ise temel olarak hücre gövdesi, akson, dendritler ve sinaps olmak üzere dört bölgeye ayrılır. Dendritler ve akson hücre etkinliklerinin tümünü yöneten hücre gövdesinin uzantılarıdır. Hücre gövdesinden ağaç dalları şeklinde dışarı uzanan dendritler, diğer hücrelerden gelen sinyalleri hücre gövdesine taşırlar. Aksonlar ise, gövdedeki bilgiyi diğer nöronların dendritlerine ileten bileşenlerdir. Akson sonları ile dendritler arasında sinaps adı verilen boşluklar bulunur. Nöronlar arasındaki sinaptik bağlantılar mesajların taşındığı yerdir. Aksonlardan gelen sinyaller uyarıcı etkilerinin seviyesine göre sinapslarda etkileşime neden olarak, hücreye itki olarak etki etmektedir. Hücreye gelen itkinin seviyesine göre ortaya çıkan hücre tepkisi ise akson boyunca birçok terminale iletilmektedir.

Sinir ağları gibi, yapay sinir ağları da birbiriyle bağlantılı ve paralel çalışan işlemci elemanı (nöron) katmanlarından oluşur. Basit bir işlemci elemanı modeli Şekil 4.3'de gösterildiği gibi temel olarak girişler (x_i), bağlantı ağırlıkları (w_i), birleştirme fonksiyonu, transfer fonksiyonu ve çıkıştan (y) oluşmaktadır. Modelde dendrit birleştirme fonksiyonuna, hücre gövdesi transfer fonksiyonuna, sinapslar ağırlıklara ve aksonlar ise yapay nöron çıkışına karşılık gelmektedir. Yapay nöronlardan meydana gelen çok katmanlı bir sinir ağı modeli ise Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi ağ, giriş katmanı, saklı katmanlar ve çıkış katmanından oluşmaktadır. Çok katmanlı algılayıcı (ÇKA) olarak da adlandırılan bu sinir ağı modeli birbirleriyle bağlantılı nöron katmanlarından oluşmaktadır. Ağa gelen giriş sinyali giriş katmanından çıkış katmanına doğru ilerlemektedir. Ağın giriş ve çıkış katmanı işlemci elemanı sayısı, problemde dikkate alınan giriş ve çıkış parametre sayısına bağlı olarak belirlenmektedir. Saklı katman sayısı ve her bir saklı katmandaki işlemci elemanı sayıları ile ilgili kesin bir kural bulunmayıp, daha çok deneysel veya tecrübeye dayalı olarak belirlenmektedir. Saklı katman işlemci elemanı sayıları ve işlemci elemanlarında kullanılan transfer fonksiyonları ağın genelleştirebilme kabiliyeti üzerinde oldukça etkilidir.

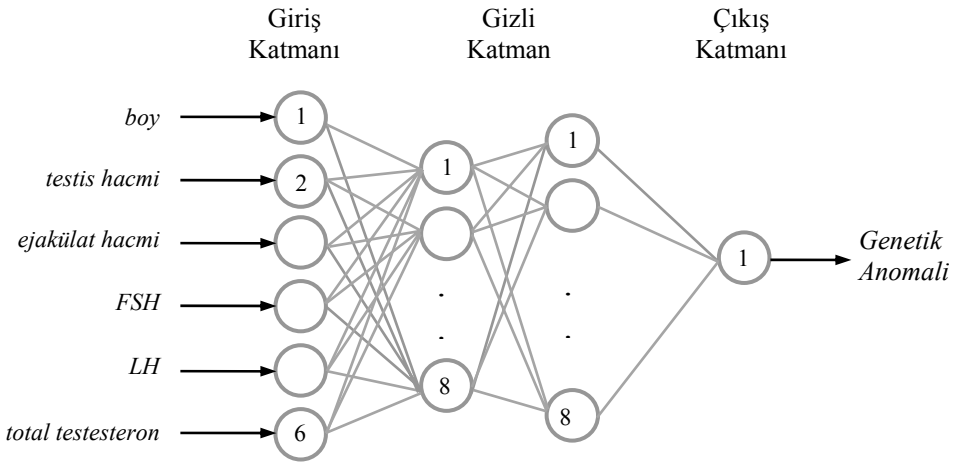


Şekil 4.3. Basit bir işlemci elemanı (yapay nöron)

Yapay sinir ağlarının farklı karakteristiklerinden birisi, deneyim ve örneklerden öğrenme ve genelleştirebilme kabiliyetidir. Bir yapay sinir ağının performansı ise temel olarak nöronlar arasındaki bağlantıların ağırlıklarına bağlıdır. Tipik olarak yapay sinir ağlarında iki temel adım vardır: *öğrenme* ve *anımsama*. Bir ağın eğitilmesi işlemi, ağın gerçek çıkışı ve olması beklenen hedef çıkışı arasındaki hatayı minimize edecek şekilde bağlantı ağırlıklarının değerlerinin bulunmasını içerir. Bilgi, nöronlar arasındaki bağlantıların ağırlıklarıyla temsil edilmekte ve depolanmaktadır. Bir yapay sinir ağı, kabul edilebilir düzeyde eğitilmesi ve test edilmesinden sonra, kuralları

genelleştirebilmekte ve daha önce görülmemiş giriş verisine karşı gerekli çıkışı kestirim yeteneği kazanmaktadır. Yapay sinir ağlarının eğitilmesi genellikle büyük bir eğitme veri seti gerektirebilir, ancak sistem eğitimden sonra karmaşık sistem dinamiklerini temsil etmek için doğrudan kullanılabilmektedir. Bazı problemler için ağın eğitilmesi için gerekli süre uzayabilmesine rağmen, eğitilen bir sistemin herhangi bir girişe karşılık cevabı milisaniyelerle ölçülebilecek sürelerde gerçekleşmektedir.

YSA kullanarak azoospermik olgularda kromozomal anomali tespitinde kullanılan model Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Ağ yapısı 1 giriş katmanı, 2 gizli katman ve 1 çıkış katmanından oluşturulmuştur. Giriş katmanında 6 adet giriş değeri olduğu için 6 adet nöron kullanılmıştır. Bu giriş değerleri Boy, Testis Hacmi, Ejakülat Hacmi, FSH, LH ve Testesteron'dur. Her bir gizli katmanda bir çok denemeden sonra bulunan 8'er adet nöron kullanılmış ve çıkış katmanında genetik anomali olma olasılığını veren tek bir nöron kullanılmıştır. Birinci ve ikinci gizli katmanların nöronlarında sırasıyla tanjant hiperbolik ve sigmoid nonlinear aktivasyon fonksiyonları kullanılmıştır. Çıkış nöronunda ise lineer aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Eğitimden önce giriş verileri -2.0 ile +2.0 aralığına, çıkış verileri ise 0.0 ile 1.0 arasına ölçeklendirilmiştir. Çıkış verisinin değerlendirilmesi için 0.5 eşik değeri olarak seçilmiştir. Buna göre eşik değerden küçük çıkışlar *kromozomal anomali yok*, eşik değerden büyük çıkışlar ise *kromozomal anomali var* olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.4. Kromozomal anomali tespitinde kullanılan çok katmanlı sinir ağı modeli

Oluşturulmuş YSA modelinin eğitiminde ve testinde kullanılan veri sayıları ile kromozomal anomali (KA) olduğu ve olmadığı bilinen vaka sayıları Tablo 4.11'de verilmiştir.

Tablo 4.11. YSA yöntemi ile kromozomal anomali tespitinde kullanılan vaka sayıları

	Vaka Sayısı	**KA Yok (0)**	**KA Var (1)**
Eğitim	310	232	78
Test	115	87	28
Toplam	425	319	106

Bu çalışmada, toplamda 425 adet veri seti kullanılmıştır. 310 veri YSA modelinin eğitiminde ve kalan 115 veri modelin test edilmesinde kullanılmıştır. Ağın eğitiminde ise Gauss-Newton ve gradyan temelli metotların birleşiminden oluşan Levenberg-Marquardt (LM) algoritması kullanılmıştır. Yapılan denemelerden sonra, LM algoritması için öğrenme katsayısı 0.01 ve momentum katsayısı 0.001 olarak seçilmiştir. Ağın eğitimi tamamlandıktan sonra, sistemin test edilmesi ile hedeflenen çıkış değerine göre hatalı bulunan ve doğru bulunan sonuçların sayısı Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.12. YSA modelinin test edilmesi ile bulunan hata sayısı

Hedef	**Bulunan**	
	0	1
0	86	1
1	0	28

Yapılan çalışmalarda eğitim döngü sayısı 1000 epok alınmış ve modelin en uygun eğitimden sonra ağ 115 adet veri seti ile test edilmiştir. Sistem 115 vakadan sadece 1 tanesinde yanlış sonuç bulmuştur. Bu da performansın, eğitim için %100, test için %99.1304 olduğu anlamına gelmektedir.

4.6. ANFIS ve YSA Kullanılarak Oluşturulan Kestirim Modellerinin Eksik Parametre ile Çalışması

Çalışmada, kestirim sistemini kullanacak hekimlerin vakalara ait 6 verinin tamamına sahip olmamaları durumunda da kestirim sisteminden faydalanmalarına yönelik bir

tasarım yapılabilirliği de araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, bu konuda uzman hekimlerin de bilgilerinden faydalanarak Boy, Testis Hacmi ve Ejakülat Hacmi değerlerinin mutlaka sisteme girilmesi gerektiği, sadece FSH, LH ve Total Testesteron değerlerinden bir ya da birkaçının sisteme eksik girilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu tespit doğrultusunda 6 giriş parametresi fiziksel (A) ve endokrin (B) değerleri olmak üzere iki ana gruba ayrılmıştır. A gurubundaki parametreler sisteme zorunlu girilmesi gereken, B grubundaki parametreler de sisteme eksik girilebilecek olan parametrelerdir. Gruplara ayrılmış temel giriş parametreleri Tablo 4.13'de verilmiştir.

Tablo 4.13. Temel Giriş Parametreleri

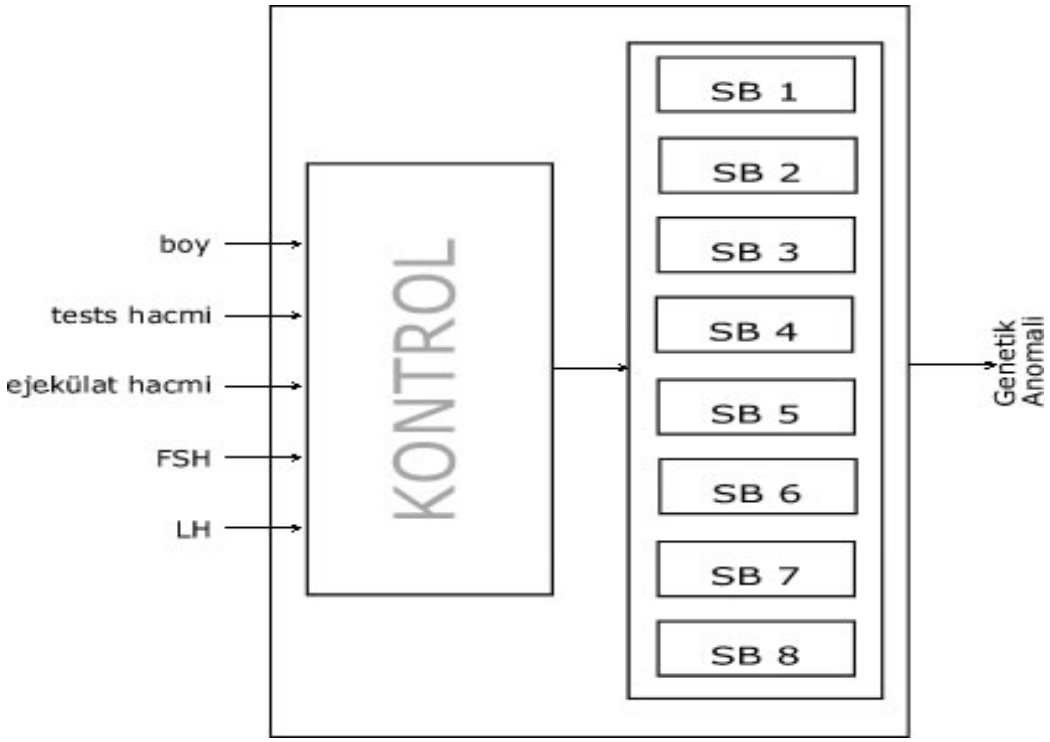
A	1	Boy
	2	Testis_hacmi
	3	Ejakülat hacmi
B	4	FSH
	5	LH
	6	Total_testesteron

Oluşturulan paket yazılımda kullanıcının, parametreleri girip sonuç alabileceği ara yüzde eksik veri girerek de doğru sonucu alabilmesi için A ve B grubundaki giriş parametreleri SB_i formunda alt bloklara ayrılmıştır. Bu alt bloklar Tablo 4.14'de gösterilmiştir. Oluşturulan alt bloklar ANFIS ve YSA ile ayrı ayrı eğitilerek en iyi performans ile çalışan modeller kaydedilmiştir.

Tablo 4.14. Giriş parametrelerinin alt blokları

SB_1	A+B (Tüm Veriler)
SB_2	A
SB_3	A+4
SB_4	A+5
SB_5	A+6
SB_6	A+4+5
SB_7	A+4+6
SB_8	A+5+6

Şekil 4.5'de kullanıcı FSH, LH ve Testesteron değerlerinden herhangi birini yada bir kaçını eksik girmesi durumunda yazılımın hangi alt bloğu çalıştıracağını kontrol eden algoritma şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Yazılımın alt blok kontrol şeması

Eğitilen her bir alt blok'a ait verileri içeren sistem, girişe veri uygulanması durumunda öncelikle hangi verilerin eksik olduğunu tespit eden kontrol birimi devreye girmektedir. Kullanıcının hangi veri/verileri eksik girdiğine göre sistem girişleri ilgili alt blok'a iletmekte ve bu blok'ta yapılan değerlendirmeye göre çıkış üretilmektedir. ANFIS ve YSA yöntemleri ile %100 başarı ile eğitilen alt blokların performans ve hata sayısı bakımından karşılaştırılması ile elde edilen sonuçlar Tablo 4.15'de verilmiştir. Tablodaki değerler 115 vakaya ait test verileri kullanılarak bulunmuştur.

Verilen sonuçlardan da anlaşılacağı üzere yapılan çalışmalarda YSA yöntemi ile oluşturulmuş modellerin performans bakımından daha iyi, bu modelde bulunan sonuçların daha optimum ve tutarlı olduğu görülmüştür.

Tablo 4.15. ANFİS ile YSA'nın performans yönünden karşılaştırılması

	ANFİS		YSA	
ALT BLOKLAR	**Hata Sayısı**	**Performans**	**Hata Sayısı**	**Performans**
SB_1 (A+B)	6	94.7%	1	99.1%
SB_2 (A)	10	91.3%	9	92.1%
SB_3 (A+4)	10	91.3%	7	93.9%
SB_4 (A+5)	7	93.9%	4	96.5%
SB_5 (A+6)	11	90.4%	7	93.9%
SB_6 (A+4+5)	8	93.0%	3	97.3%
SB_7 (A+4+6)	9	92.1%	5	95.6%
SB_8 (A+5+6)	7	93.9%	3	97.3%

4.7. Paket Yazılımın Oluşturulması

Tasarlanan sistemin klinik olarak hekimlerce kullanılabilmesi amacıyla bir paket yazılım hazırlanmıştır. Paket yazılımın hazırlanmasında C# ve Matlab programlama dilleri kullanılmıştır. Yazılımın çalışması iki farklı platformda hazırlanan yani C# ile oluşturulan program ile Matlab ile hazırlanmış fonksiyonların haberleşmesi mantığına dayanır. C# kullanılarak oluşturulan yazılımın giriş ekranı Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Paket yazılım giriş ekranı

Yapılan çalışmalarda, oluşturulan sistemde giriş parametrelerine, değer aralıklarının dışında bir değer verildiğinde sistemin kestirim başarımının düştüğü görülmüştür. Bu problem göz önüne alınarak uzman hekimlerin de bilgilerinden faydalanarak, parametrelerin limit değerleri belirlenmiştir. Tablo 4.16'da bu değerler verilmiştir.

Tablo 4.16. Giriş parametrelerinin limit değerleri

Sıra No	Parametre	Min Değeri	Max Değeri	Birimi
1	Boy	140	210	cm
2	Ejakülat Hacmi	0	10	ml
3	FSH	0	120	miu
4	LH	0	60	miu
5	Total Testesteron	0	1300	ng/dl
6	Total Testis Hacmi	1	80	ml

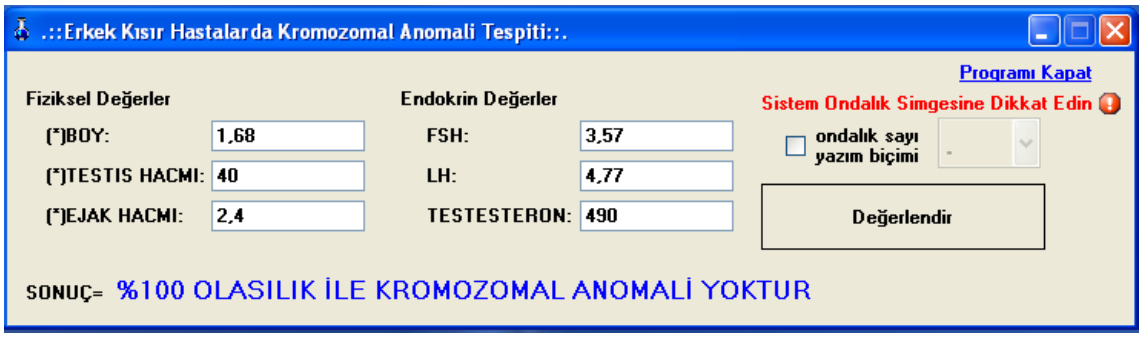
Oluşturulan yazılımda kullanıcı, Tablo 4.16'da verilen ilgili parametrelerin limit değerleri dışında bir değer girerse, yazılım uyarı mesajı vermektedir. Yazılım verdiği bu uyarı mesajı Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Örneğin, Boy için, 140-210 cm aralığı dışında bir değer girilirse, "Belirtilen aralığın dışındaki değerlendirmelerde kestirim başarımı düşmektedir." şeklinde bir uyarı vermektedir.



Şekil 4.7. Parametrelerin limit değerleri aşılınca yazılımın verdiği uyarı mesajı

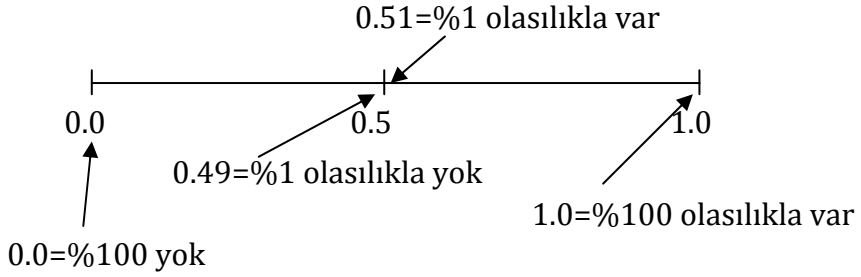
Matlab ve .NET'in iç içe birlikte çalışması için, Matlab'in *deploytool* komutuyla, daha önceden oluşturulmuş olan M-Function dosyaları, .NET'in derleyebileceği dll uzantılı komponentler haline dönüştürülmüştür. Böylece matlab ile oluşturulmuş fonksiyonlar .NET içerisinde kullanılabilmektedir. Oluşturulan yazılımda kullanıcı hasta bilgilerini yazılımın ara yüz ekranından girdikten sonra, matlab tarafında oluşturulmuş .NET'in derleyebildiği dll dosyaları çalışmakta ve bilgiler sistemde yorumlandıktan sonra tasarlanan modelin oluşturduğu sonuç kullanıcının anlayabileceği formatta tekrar ara yüz ekranına sunulmaktadır. Bu sayede, yazılım tarafından, kullanıcının girmiş olduğu bilgilere göre kromozomal anomali olup olmadığı sonucu verilmektedir. Kromozomal anomali tespitinde yazılım hem ANFIS hem de YSA yöntemlerini çalıştırmakta ancak,

kullanıcının kafasını karıştırmamak için, doğru sonucu hangi yöntem en yüksek ihtimal ile veriyorsa, o yöntemin sonucu kullanıcıya verilmektedir. Şekil 4.8'de yazılım ara yüzü ve alınan sonuç çıktısı görülmektedir.



Şekil 4.8. Yapay zeka teknikleri ile kromozomal anomali tespiti

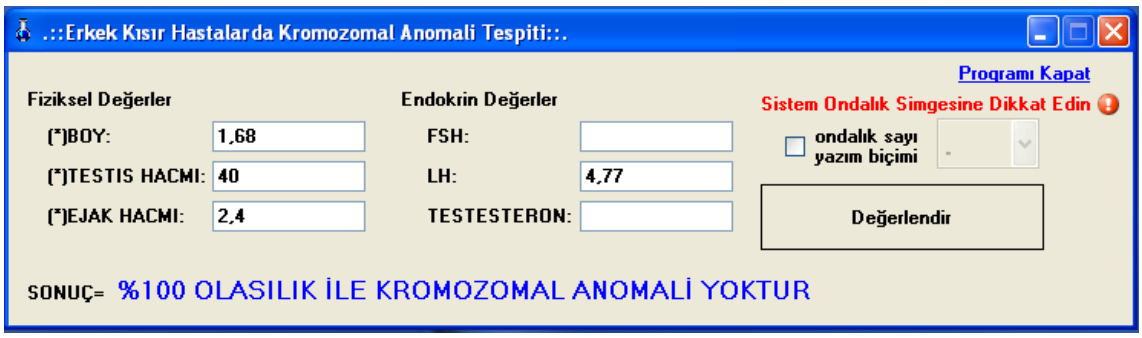
Sonucun sayısallaştırılmasında, ANFIS yöntemi için 1 ile 1.5 aralığındaki değerler kromozomal anomali yok, 1.5 ile 2 aralığındaki değerler ise kromozomal anomali var olarak değerlendirilmiştir. Buradaki mantık, her iki aralık da 100 dereceye bölündükten sonra alınan sonuç, 1 ile 1.5 aralığında, 1'e yaklaştıkça %100 anomali yok, 1.5'e yaklaştıkça %1 anomali yok yargısına yaklaşmaktadır. Benzer şekilde alınan sonuç, 1.5 ile 2 aralığında 1.5'e yaklaştıkça %1 anomali var, 2'ye yaklaştıkça %100 anomali var yargısına yaklaşmaktadır. Aynı mantık, YSA yönteminde de uygulanmıştır. 0 ile 0.5 aralığında 0'a yaklaştıkça %100 anomali yok, 0.5'e yaklaştıkça %1 anomali yok; sonuç, 0.5 ile 1 aralığında ise 0.5'e yaklaştıkça %1 anomali var, 1'ye yaklaştıkça %100 anomali var yargısına yaklaşmaktadır. Şekil 4.9'da YSA yönteminde bu sayısallaştırmayı anlatan şematik gösterim verilmiştir.



Şekil 4.9. YSA yönteminde sonucun sayısallaştırılması

Eğer alınan sonuç, YSA yönteminde tam 0.5 yada ANFIS yönteminde tam 1.5 çıkarsa, yazılım, "Kromozomal anomali olma ve olmama olasılığı eşit olarak değerlendirilmiştir." şeklinde ara yüz ekranında kullanıcıya bilgi vermektedir.

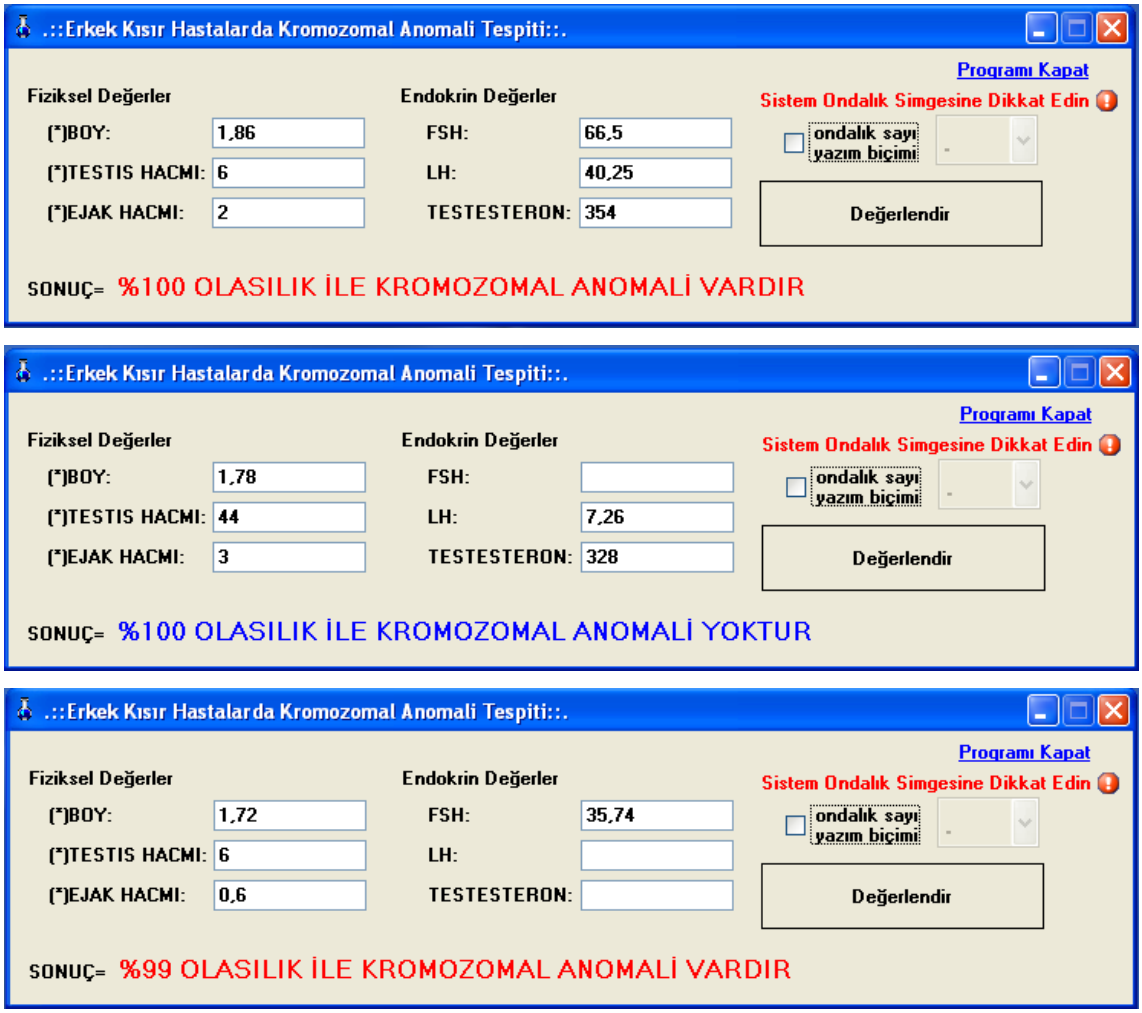
Şekil 4.10'da, kullanıcı 6 temel girişten FSH, LH ve Testesteron değerlerinin herhangi birini ya da birkaçını eksik girmesi durumunda da, yazılımın doğru sonuç verebildiğini gösteren ara yüz ekranı gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Eksik parametre girilerek alınan optimum sonuç ekranı

Oluşturulan bu paket yazılım ile, kromozomal anomali olup olmadığının ön tanısının konmasının kolaylaştırılması, hastaların doğru merkezlere yönlendirilmesinin sağlanması ve genetik tetkiklere olan ihtiyacının azaltılması gibi faydalar sağlaması beklenmektedir. Ayrıca, oluşturulan bu sistem, uzman hekim bulunmayan yerlerdeki pratisyenler içinde olumlu katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Oluşturulan paket yazılım, bazı vakalara ait veriler ile test edilerek, yazılımın tüm testlerde doğru sonuç verdiği görülmüştür. Bazı testlere ait sonuçların alındığı yazılım ekran görüntüleri Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. Farklı test verileri ile alınan sonuç ekranları

4.8. Kromozomal Anomali Tespiti İçin ANFIS Modelinin Paralel Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması İle Eğitilmesi

Gerçek karıncalar, yuvaları ile yiyecek kaynağı arasındaki en kısa yolu bulma kabiliyetine sahiptirler ve ayrıca çevredeki değişimlere de adapte olabilmektedirler. Örneğin, yuva ile yiyecek arasındaki en kısa yol belirli bir zamanda keşfedilir ve sonra çevre şartları nedeniyle bu en kısa yol artık en kısa yol olmaktan çıkarsa, karıncalar yeni en kısa yolu bulabilmektedirler. Diğer bir ilginç noktada karıncaların çok iyi görme kabiliyetlerinin olmamasıdır. Yani, en kısa yolu keşfetme uğraşında yönleri seçmek için etrafı tam olarak göremezler. Karıncalar üzerine yapılan çalışmalar, en kısa yolu bulma kabiliyetlerinin birbirleri arasındaki kimyasal haberleşmenin bir sonucu olduğunu

göstermiştir. Karıncalar birbirleriyle haberleşmede feromon olarak adlandırılan kimyasal bir madde kullanmaktadır.

Karıncalar yürürken yolları üzerine bir miktar feromon maddesi bırakır ve her bir karınca yuva yada yiyecek bulmak için bir doğrultuyu seçer. Bir yönün seçilme ihtimali, bu yön üzerindeki feromon maddesi miktarına bağlıdır. Bütün yönlerin feromon miktarı birbirine eşit ise, o zaman bütün yönler karıncalar tarafından aynı seçilme olasılığına sahiptir. Tüm karıncaların hızlarının ve yollara bıraktıkları feromon miktarının aynı olduğu kabul edildiğinde, daha kısa yollar birim zamanda daha çok feromon maddesi alacaktır. Dolayısıyla, karıncaların büyük çoğunluğu hızla en kısa yolları seçecektir. Bu geri besleme işlemi otokatalitik işlem olarak da adlandırılır. Eğer kolonide sadece birkaç karınca var ise, bu otokatalitik işlem genellikle, çok hızlı bir şekilde optimal olana göre daha kötü olan bir alt optimal yol üretecektir. Bir çok karınca optimal yol için eş zamanlı olarak araştırma yaptığından, otokatalitik işlemlerden dolayı araştırmanın çok hızlı bir şekilde optimal yola yakınsamasına neden olur ve sonuçta bir alt optimal yola takılmadan yuva ve yiyecek arasındaki en kısa yol bulunur. Gerçek karınca kolonilerinin en kısa yolu bulmak için gösterdikleri davranış, doğal bir optimizasyon işlemini tanımlar. Karınca koloni optimizasyon (KKO) algoritması, yukarıda tanımlanan gerçek karınca kolonilerinin yapmış olduğu doğal optimizasyon işleminin yapay bir versiyonudur [97].

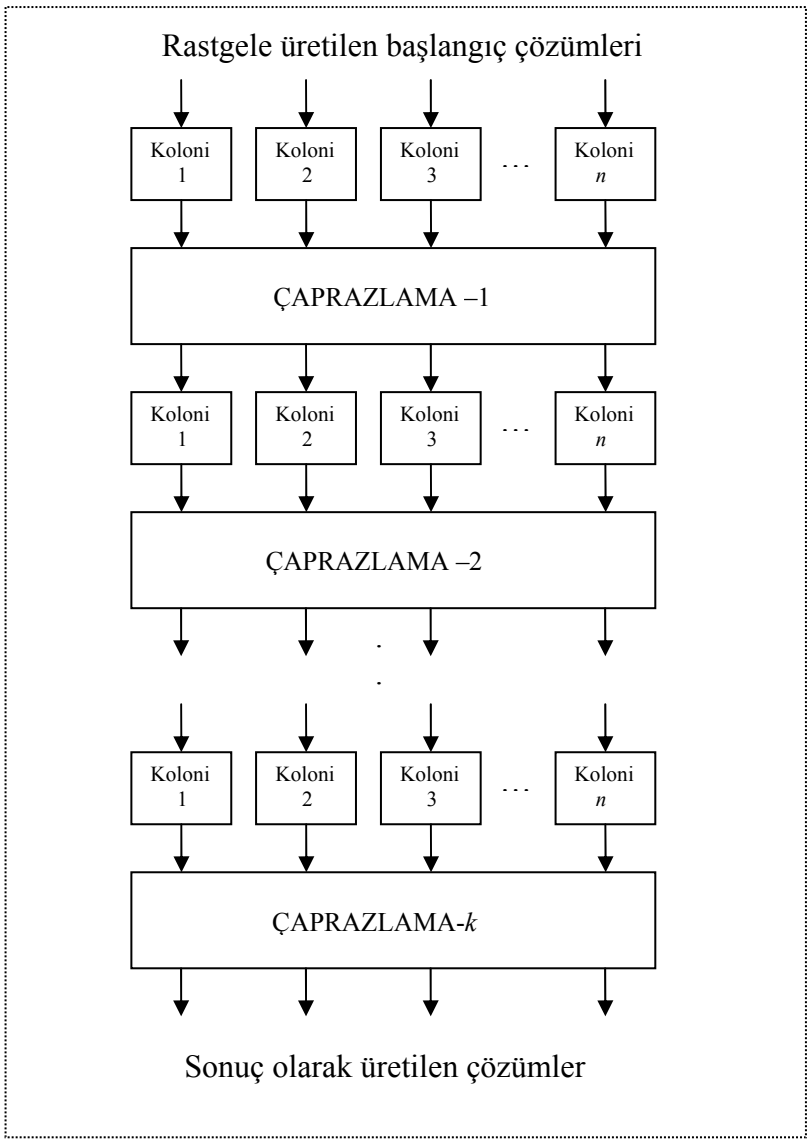
Genel olarak KKO algoritmalarının temel dezavantajı erken yakınsama problemiyle karşılaşmaları ve çözüm uzayını yeterince tarayabilmek için çoğunlukla kolonide aşırı sayıda karınca bulundurulmasının gerekmesidir. Bu dezavantajların önüne geçerek kısa sürelerde daha başarılı sonuçlar elde edilmesi amacıyla literatürde sıklıkla karşılaşılan yaklaşım algoritmaların paralelleştirilmesidir. Karınca algoritmalarının popülasyon tabanlı doğası bu algoritmayı paralel uygulamalara müsait kılmaktadır. Bu algoritmada özellikle üç tip paralel yapı kullanılmaktadır; (i) karınca düzeyinde paralellik, (ii) veri yapısı düzeyinde paralellik ve (iii) fonksiyonel paralellik.

Paralel karınca algoritmalarına yönelik literatürde az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunlardan birisi Kalınlı ve Sarıkoç tarafından önerilen ve PACO (Parallel Ant Colony Optimization) olarak adlandırılan algoritmadır [97].

PACO algoritmasının temel fikri birbirinden bağımsız olan karınca kolonilerinin araştırma uzayında arama yaptıktan sonra aralarında bilgi paylaşımının gerçekleştirilmesidir. Koloniler arasındaki etkileşim ve bilgi paylaşımı belirli zaman dilimlerinde genetik algoritmanın çift noktalı çaprazlama operatörü ile gerçekleştirilmiştir.

Bu algoritmada çözüm parametreleri ve araştırma uzayı ikili (binary) dizi yapısında temsil edilmiştir. Çaprazlama işlemi öncesinde kolonilerin ürettiği bölgesel en iyi çözümler rastgele eşleştirilmekte ve bunlar arasında çaprazlama işlemi uygulanmaktadır. Bu sayede kolonilerin ürettiği bölgesel en iyi çözüm etrafında daha iyi yeni çözümler aranmaktadır. Çaprazlama sonrasında elde edilen yeni çözümler değerlendirilmekte ve mevcut küresel en iyi çözümden daha iyi bir çözüm bulunmuşsa bu çözüm yeni küresel en iyi çözüm olarak muhafaza edilmektedir. Çaprazlama işlemi esnasında bulunmuş olan küresel en iyi çözüm çaprazlama işlemine girerek eşi olan diğer çözüm dizisini değiştirmekte fakat kendisi çaprazlamaya maruz kalmamaktadır. Böylece küresel en iyi çözümün sürekli olarak korunması sağlanmaktadır. PACO algoritmasının blok diyagramı Şekil 4.12'de algoritmanın temel adımları ise Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Modelde rastgele sayı üreteci kullanılarak üretilen başlangıç çözümleri, birbirinden bağımsız olarak çalışan n adet karınca kolonisi tarafından geliştirilmeye çalışılmaktadır. Her bir kolonideki m adet karınca çözümü temsil eden ikili diziler üzerinde araştırma yapmaktadır. Her bir koloni önceden belirlenen bir iterasyon süresince (*itermax*) çözümleri geliştirmeye çalışmakta ve her koloninin bulduğu en iyi çözümler çaprazlama işleminde kullanılmak üzere muhafaza edilmektedir. Her bir koloni *itermax* süresince araştırma yaptıktan sonra çözümler rastgele eşleştirilerek çaprazlama işlemine tabi tutulmaktadır. Çaprazlama işlemi sayesinde koloniler arasında bölgesel en iyi çözümler üzerinden bilgi paylaşımı sağlanmaktadır. Algoritmada önceden belirlenen kademe sayısınca (k) çaprazlama işlemi yapılmaktadır.

Bir kolonideki karıncalar ikili dizi üzerinde araştırma yaparken feromon maddesi yollara değil noktalara bırakılmaktadır. Bu nedenle karınca hareketi yollar üzerinde değil çözüm parametrelerini temsil eden ikili bit dizilerinin noktaları üzerinde sağlanır. Bir karınca hareketi Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Paralel KKO algoritması.

Bir kolonideki tüm karıncalar (*m* adet) çözümü temsil eden ikili dizi üzerinde birer tur tamamladığında, koloni için bir iterasyon tamamlanmış olmaktadır. Bir iterasyon tamamladıktan sonra en iyi çözüm saklanmakta ve sonraki iterasyona başlanmaktadır.

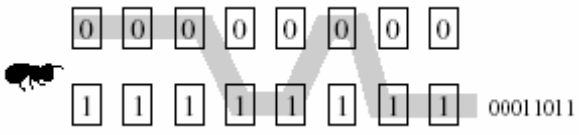
Çaprazlama sonrası oluşan yeni çözümler daha kaliteli olsun yada olmasın muhafaza edilerek *n* numaralı kolonin ürettiği çözümün kalite değeri olan μ_n eşitlik (4.6) ile hesaplanmaktadır. Burada f_n, *n* numaralı kolonin ürettiği çözüme ait amaç fonksiyon

değeridir. Hesaplanan μ_n kalite değerine göre tüm yolların koku değerleri eşitlik (4.7) kullanılarak güncellenmektedir.

$$\mu_n = \frac{1}{1/(0.001 + f_n)} \tag{4.6}$$

Adım 1-)	Paralel TKKO veri yapısını oluştur. Noktalara feromon ilk değer ataması yap. Rastgele bir başlangıç çözümü üret.
Adım 2-)	Bölgesel güncelleme yaparak karıncaları birer tur tamamlayıncaya kadar hareket ettir.
Adım 3-)	Karıncaların ürettiği çözümleri değerlendir. Her bir ikili dizi için üretilen en iyi çözümü sakla.
Adım 4-)	Bütün karıncaların tabu listesini boşalt.
Adım 5-)	(Çaprazlama şart sağlanıyorsa) İkili dizleri rastgele eşleştir. Eşlenmiş çiftleri çaprazla Üretilen yeni çözümleri değerlendir. Çapraz güncelleme yap.
Adım 6-)	(Sonlandırma şart sağlanıyorsa) Bulunan en iyi çözümü yaz ve çık. (Sonlandırma şart sağlanmıyorsa) Adım 2'ye git.

Şekil 4.13. Paralel KKO algoritmasının temel adımları.



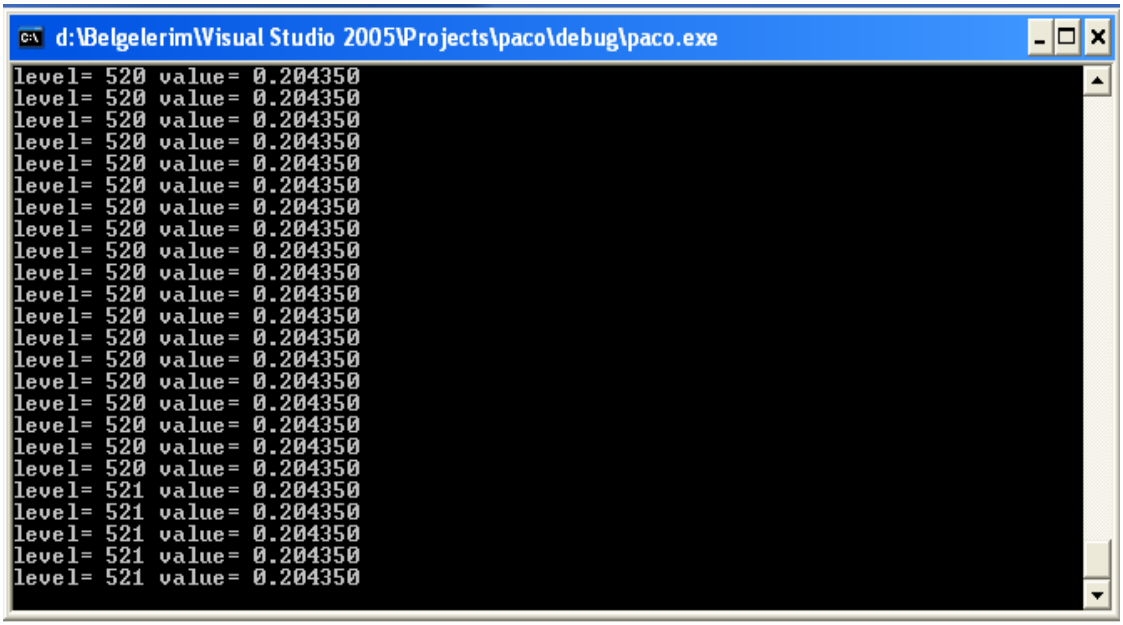
Şekil 4.14. Bir karıncanın hareketi.

$$\tau_{bj} = (1-\alpha).\tau_{bj_{eski}} + \mu_n \tag{4.7}$$

Önerilen model standart karınca davranışına aykırı olarak çaprazlama neticesi elde edilen çözümlere göre feromon güncellemesi yapmaktadır. Fakat bu aykırılık araştırma uzayının birden çok noktadan başlanarak daha iyi taranmasını ve kullanılan veri yapısından kaynaklanabilecek erken yakınsama noktalarının aşılmasını mümkün kılmaktadır [97].

PACO algoritması Kalınlı ve Sarıkoç tarafından sürekli test fonksiyonlarının çözümü ve geribeslemeli bir YSA'nın eğitilmesi amacıyla kullanılmış ve oldukça başarılı sonuçlar sağladığı görülmüştür [97]. Bu çalışmada da, PACO algoritmasının kısır hastalarda kromozomal anomali tespitine yönelik olarak ANFIS'in eğitilmesi amacıyla kullanılması da araştırılmıştır.

Yapılan çalışma kapsamında, C++ programlama dili ile paralel karınca optimizasyon algoritması yazılımsal hale getirildikten sonra Matlab programlama dili ile ANFIS modeli oluşturulup kaydedilmiştir. Oluşturulan ANFIS modelinin başlangıç parametreleri yazılım tarafından rastgele olarak seçilmiştir. Bununla birlikte optimizasyon algoritması ile eğitilen parametreleri kaydedilen ANFIS modelinin parametrelerine atamak için Matlab programla dili ile bir fonksiyon oluşturulmuştur. Bu fonksiyon PACO algoritması ile oluşan parametreleri kaydedilen ANFIS modeline yansıtmakta, modelin yeni parametrelerini kaydetmekte ve yeni parametrelere göre oluşan modelin hatasını tekrar PACO algoritmasına göndererek, bu hataya göre PACO algoritmasının oluşturacağı yeni parametreleri beklemektedir. Bu işlem PACO algoritmasının çalıştığı yazılımda belirlenen iterasyon sayısı kadar devam etmektedir. Burada C++ ile Matlab programla dillerinin haberleşmesini sağlayacak C# programla dili ile ara bir yazılım oluşturulmuştur. Bu yazılım C++ programla dili ile oluşturulan PACO algoritmasının oluşturduğu parametreleri Matlab programlama dili ile oluşturulan ve kaydedilen ANFIS modeline aktarmakta ve ANFIS modelinde oluşan hata değerini tekrar PACO algoritmasına göndermektedir. Algoritmanın çalışması sırasında erişilen hata değerlerine ait ekran görüntüsü Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



Şekil 4.15. Paralel karınca kolonisi algoritması ile ANFIS modelinin eğitimi

Bu çalışmada normal dağılım (Gaussian) üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Giriş değerleri 2'şer üyelik fonksiyonu kullanmakta, gaussian üyelik fonksiyonu 2 parametreye bağlı ve toplam 6 adet giriş olduğu için 2x2x6=24 adet değeri belirlenecek giriş parametresi vardır. Giriş değerleri 2'şer üyelik fonksiyonu kullandığından 6 adet giriş için 2^6 yani 64 kural elde edilir. Çıkış katmanında da constant (sabit) çıkış fonksiyonu kullanıldığından değeri belirlenmesi gereken toplam 64 adet çıkış parametresi vardır. Buradan hareketle PACO tarafından belirlenmesi gereken parametre sayısı 88'dir. PACO algoritmasında, paralel çalışan koloni sayısı 4, her bir kolonideki karınca sayısı 5 olarak seçilmiştir. Her bir koloni bir kademede 20 iterasyon süresince araştırma yapmış, toplan 1000 kademe sonunda algoritma durdurulmuştur. Algoritmada her bir parametre 8 bit ile temsil edilmiştir. Dolayısıyla PACO tarafından değeri belirlenmesi gereken ikili dizinin toplam boyutu 704bit'tir.

Mevcut bilgisayar donanımı ile yapılan simülasyon çalışmalarından her birisinin yaklaşık 1.5 hafta sürdüğü ve tamamlanan bir simülasyonda yaklaşık %80 başarım sağlandığı görülmüştür. Ancak, tez süresinin azalması nedeniyle yeter sayıda deneme yapılamadığından simülasyonlar tamamlanamamıştır. Bu nedenle, algoritmada hesaplama süresini kısaltacak stratejilerin azaltılması veya yüksek performanslı bilgisayarlar ile simülasyonların tamamlanmasına yönelik çalışmalar gelecek çalışmalar olarak bırakılmıştır.

5. BÖLÜM

SONUÇLAR VE GELECEK ÇALIŞMALAR

5.1. Sonuçlar

Büyük boyutlu problemlerin zorluğu araştırmacıların yapay zeka ve ilgili konulara olan ilgisini her geçen gün daha da artırmaktadır. Zeki yaklaşımlar içeren bu tür yöntemlerin birçok başarılı uygulamaları olmasına rağmen, araştırmacıların yüksek başarımlı yeni yöntemlerin geliştirilmesi, mevcut yöntemlerin başarımlarının artırılması ve yeni alanlardaki uygulamalarının gerçekleştirilmesi konusundaki çalışmaları devam etmektedir.

Bu tez çalışmasında, erkek kısır hastalarda genetik tetkik yapmadan, vakaların bazı fiziksel ve endokrin tetkik sonuçlarından hareketle kromozomal anomali olup olmadığının kestirimi amacıyla yapay zeka tekniklerine dayalı iki yaklaşım önerilmiştir.

Tez çalışmasının uygulama aşamasında, 339 vakaya ait 10 parametre (Boy, Kilo, Vücut Kitle İndeksi, Testis Hacmi, Ejakülat Hacmi, FSH, LH, Total Testesteron, Prolaktin ve Östradiol) dikkate alınmış ve ANFIS metodu kullanılarak azoospermik vakalarda kromozomal anomali olup olmadığının kestirimi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla vakalardan 248'ine ait veriler eğitim, geri kalan 91 vakaya ait veriler ise sistemi test etmek amacıyla kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlardan en yüksek performansın 83 vakaya ait sonucu doğru kestiren (%91.2 başarımlı) çan şekilli üyelik fonksiyonu kullanılan ANFIS sisteminden elde edildiği görülmüştür.

Çalışmanın yapıldığı ilgili anabilim dalı öğretim üyelerinin, vakalara ait parametrelerin kromozomal anomali olup olmaması üzerindeki etkilerinin anlamlılık düzeylerinin incelenmesini önermeleri neticesinde, istatistiksel lojistik regresyon analizi yöntemi kullanılarak her bir parametrenin kromozomal anomali varlığı ile ilişkisi araştırılmıştır.

Yapılan bu analiz çalışması sonucunda dört parametrenin (Vücut Kitle İndeksi, Kilo, Prolaktin ve Östradiol) kromozomal anomali tespitinde etkili olmadığı görülmüş ve çalışmalara diğer 6 parametre (Boy, Testis Hacmi, Ejakülat Hacmi, FSH, LH, Testesteron) kullanılarak devam edilmiştir.

Araştırma çalışmalarına paralel olarak dikkate alınan vaka sayısı yeni eklentilerle 425'e çıkarılmış, bunlardan 310 vakaya ait veriler sistemleri eğitmek, geri kalan 115 vakaya ait veriler ise test etmek amacıyla kullanılmıştır. ANFIS metodu kullanılarak yapılan kestirim çalışmalarında sistemin eğitme aşamasında %100 sınıflandırma yapabildiği, test aşamasında ise 115 vakadan 109'una ait sonuçları doğru olarak kestirdiği görülmüştür. Sistemin test aşamasında %94.78 başarım ile sınıflandırma yapabilmesinden de anlaşılacağı üzere, seçilen parametrelerin kullanılmasının sistemin başarımını artırdığı görülmüştür.

Çalışmada, aynı vaka gurupları dikkate alınarak yapay sinir ağlarının (YSA) azoospermik hastalarda kromozomal anomali olup olmadığının kestirimindeki performansı da incelenmiştir. Bir ileribeslemeli ağ yapısında olan ve yaygın olarak kullanılan Çok Katmanlı Algılayıcı (ÇKA) ile yapılan çalışmalarda, ağın eğitme başarımının %100 ve test başarımının ise %99.13 olduğu görülmüştür. Bu uygulamada dikkate alınan yapay sinir ağı 115 vakadan 114'üne ait sonucu doğru olarak tespit edebilmiştir.

Yapılan çalışmalar neticesinde dikkate alınan uygulamada yapay sinir ağının ANFIS metoduna göre daha yüksek performans gösterdiği görülmüştür. Ancak, ANFIS metodu kullanılarak elde edilen sonuçlarından tıbbi açıdan anlamlı olduğu ilgili anabilim dalı öğretim üyelerince ifade edilmiştir.

Hekimlerin değerlendireceği vakalara ait verilerin her zaman mevcut olamayacağı ve bu durumda da sistemin karar desteği sağlayabilmesi amacıyla, ilgili anabilim dalı öğretim üyelerinin görüşleri doğrultusunda farklı YSA ve ANFIS modelleri eğitilmiştir. Eğitilen bu modellerin eksik parametrelerle dahi kabul edilebilir performanslar gösterdiği görülmüştür. Bunun sonucunda, eğitilen alt sistemlerin entegre bir şekilde çalışması sağlanarak, vakalara ait bazı parametreler girilmese dahi kestirimde bulunabilen bir sistem yapısı oluşturulmuştur.

Hekimlerin sistemi kolaylıkla kullanabilmeleri amacıyla eğitilmiş YSA ve ANFIS modellerini içeren karar destek sistemi paket yazılımı hazırlanmıştır. Bu yazılımın hazırlanmasında Matlab ve C#.NET programlama dilleri kullanılmıştır. Yazılımda kullanıcılar vakalara ait parametreleri C# kullanarak hazırlanan bir ara yüz yardımıyla sisteme girmekte, alınan veriler ise Matlab yazılımı ile oluşturulan fonksiyonlar tarafından değerlendirilerek kullanıcı ara yüzüne yansıtılmaktadır. Sistem, geri planda girilen verileri YSA ve ANFIS metotları ile eğitilen bloklarda değerlendirmekte ve sonuç olarak kullanıcıya yüksek olasılıklı sonucu üreten yönteme ait değerlendirmeyi sunmaktadır.

Bu tez çalışmasında, erkek kısır vakaların fiziksel değerlerini ve endokrin tetkikleri sonucunda elde edilen bazı değerlerini dikkate alarak kromozomal anomali olup olmadığının kestirimi amacıyla bir karar destek sistemi başarıyla oluşturulmuştur. Oluşturulan sistemin, kromozomal anomali olup olmadığının ön tanısının konmasının kolaylaştırılması, hastaların doğru merkezlere yönlendirilmesinin sağlanması ve genetik tetkiklere olan ihtiyacının azaltılması gibi faydalar sağlaması beklenmektedir. Ayrıca, oluşturulan bu sistem, uzman hekim bulunmayan yerlerdeki pratisyenler içinde olumlu katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

5.2. Öneriler ve Gelecek Çalışmalar

Kromozomal anomali bulunan vakalarda, kromozomal anomalinin alt türlerinin tespit edilmesi, erkek kısır hastalarla ilgili olarak tıbbi açıdan önemli diğer bazı hususlarında kestiriminin sisteme eklenmesi ve hekimlere yönelik açıklayıcı bilgiler içerecek şekilde karar destek sisteminin geliştirilerek klinik olarak kullanılabilir entegre bir sistem hazırlanmasına yönelik çalışmalar gelecekte yapılmak üzere planlanmaktadır.

Ayrıca, tez çalışması kapsamında ANFIS modelinin paralel karınca kolonisi algoritması ile eğitilmesine yönelik olarak gerçekleştirilen ancak simülasyonların uzun süreler gerektirmesi nedeniyle tamamlanamayan araştırmanında gelecekte tamamlanması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Civalek, Ö., Ülker, M., Dikdörtgen Plakların Doğrusal Olmayan Analizinde Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı, İMO Teknik Dergi, 213:3171-3190, 2004.
2. Moe, MC., et al, Development of neuronal networks from single stem cells harvested from the adult human brain, Neurosurgery, 56(6):1182-90, 2005.
3. Tuzcuoğlu, H., Yapay Zeka Teknikleri, Depremde Kullanılması ve Küme Kavramları, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 5(1):73-88, Ocak 2003.
4. Tektaş, M., Akbaş, A., Topuz, V., Yapay Zeka Tekniklerinin Trafik Kontrolünde Kullanılması, Uluslararası Trafik ve Yol Güvenliği Kongresi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2002.
5. Leung, SC., Fulcher, J., Classification of user expertise level by neural Networks, Int J Neural Syst, 8(2):155-71, 1997.
6. Heiss, JE., et al, Classification of sleep stages in infants: a neuro fuzzy approach. Eng Med Biol Mag, 21(5):147-51, 2002.
7. Şen, Z., Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Yayıncılık, İstanbul, 2001.
8. Atacak, İ., Genel Amaçlı Bir Bulanık Mantık Denetleyicinin Tasarımı, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 1998.
9. Nauck, D., Klawonn, F., Kruse, R., Foundations of neuro-fuzzy systems, Wiley Chichester, 187-221, 1997.
10. Ergezer, H., Dikmen, M., Özdemir, E., Yapay sinir ağları ve tanıma sistemleri, PIVOLKA, 2(6):14-17, 2003.
11. Williams, R., Neural Network Learning and Application, Addison-Wesley, 1-212, 1989.
12. Ergün, U., Hardalaç, F., Güler, İ., Geri yayılım sinir ağlarını kullanarak transcranial Doppler isaretlerinin sınıflandırılması, Biyomedikal Muhendisliği Ulusal Toplantısı Biyomut, 111-114, 2002.
13. Basheer, IA., Hajmeer, M., Artificial neural networks: Fundamentals, computing, design, and application, Journal of Microbiological Methods, 43:3-31, 2000.

14. Baxt, WG., Use of an artificial neural network for data analysis in clinical decision making: The diagnosis of acute coronary occlusion, Neural Computation, 2:480-489, 1990.
15. Baxt, WG., Use of an artificial neural network for the diagnosis of myocardial infarction, Ann Intern Med, 1;115(11):843-8, 1991.
16. Baxt, WG., A neural network trained to identify the presence of myocardial infarction bases some decisions on clinical associations that differ from accepted clinical teaching, Med Decis Making, 14(3):217-22, 1994.
17. Baxt, WG., et al, A neural computational aid to the diagnosis of acute myocardial infarction, Ann Emerg Me, 39(4):366-73, 2002.
18. Hollander, JE., Effects of neural network feedback to physicians on admit/discharge decision for emergency department patients with chest pain, Ann Emerg Med, 44(3):199-205, 2004.
19. Arıöz, U., Tıbbi Bilişim, Hacettepe Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıp Bilişimi A.D., http://www.medinfo.hacettepe.edu.tr/ders/TR/D1/3/5221_files/frame.htm.
20. Musaoğlu, E., İki Binli Yıllar Türkiye'sinde Sağlıkta Bilgi Stratejileri, Tıp Bilişim Derneği, Ankara, 2001.
21. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu, Ankara, http://www.tubitak.gov.tr/tubitak_content_files/vizyon2023/eik/EIK_Sonuc_Raporu_ve_Strat_Belg.pdf, Ocak 2005.
22. Saka, O., Akdeniz Üniversitesi Tıp Bilişimi Güz Okulu, Antalya, http://www.turkmia.org/eski/file/111tipbilisiminegiris_saka.ppt, 2003.
23. Saka, O., Tıp Bilişimi, Gazi Üniversitesi, Ankara, http://www.ttb.org.tr/udek/images/stories/file/bilisim_calistay/osaka.ppt, 2010.
24. Saka, O., Tıp Bilişimi Nedir, Tıp Bilişim Derneği, İzmir, http://www.turkmia.org/files/48.ppt.
25. Ramesh, AN., Kambhampati C., Monson, JRT, Drew PJ, Artificial Intelligent in Medicine, The Royal Colllege of Surgeons of England, 86:334-338, 2004.
26. Muselli, M., Costacurta, M., Ruffino, F., Evaluating Switching Neural Networks Through Artificial and Real Gene Expression Data, Elsevier, Artificial Intelligence in Medicine, 45:163-171, 2009.
27. Razzouk, D., Mari, J.J., Shirakawa, I., Wainer, J., Sigulem, D., Decision Support System Fort he Diagnosis of Schizodhrenia Disorders, 39:119-128, 2006.

28. Melek, W.W., Sadeghian, A., A Theoretic Framework for Intelligent Expert Systems in Medical Encounter Evaluation, Exoert Systems, 26(1):82-99, 2009.
29. Aydın, Y. S., Yapay Zeka ve Uzman Sistemler, Sistem Yayıncılık, İstanbul, 2000.
30. Matyja, D., Applications of Data Mining Algorithms to Analysis of Medical Data, Yüksek Lisans Tezi, Blekinge Tekniska Högskola, 2007.
31. Aftarczuk, K., Evaluation of Selected Data Mining Algorithms Implemented in Medical Decision Support Systems, Yüksek Lisans Tezi, Blekinge Tekniska Högskola, 2007.
32. Buisson J.C., Nutri-Educ, A Nutrition Software Application for Balancing Meals, Using Fuzzy Arithmetic and Heuristic Search Algorithms, Elsevier, Artificial Intelligence in Medicine, 42:213-227, 2008.
33. Vassilakis, K.M., Micheloyannis, S., Marakakis, M., Decision Support Systems as Tools to Diagnose Epilepsies in Children, 1st European Workshop on the Assessment of Diagnostic Performance, Milan, 2004.
34. Chiu, S., Chen C., Lin, T., Using Supprt Vecto Regression to Model the Correlation Between the Clinicl Metastases Time and Gene Expression Profile for Breast Cancer, Elsevier, artificial Intelligence in Medicine, 44:221-231, 2008.
35. Ellenus, J., Groth, T., Dynamic Decision Support Graph-Visualization of ANN-generated Diagnostic Indications of Pathological Conditions Developing Over Time, Elsevier, Artificial Intelligence in Medicine, 42:189-198, 2008.
36. Chen, Z., Li, J., Wei, L., A Multible Kertel Support Vector Machine Scheme for Feature Selection and Rule Extraction from Gene Expression Data of Cancer Tissue, Elsevier, Artificial Intelligence in Medicine, 41:161-175, 2007.
37. Türker, N., Tokan, F., Yıldırım, T., Kalp Hastalığı Teşhisinde Yapay Sinir Ağlarının Performansının ROC Analizi ile Belirlenmesi, National Symposium on Biomedical Engineering, İstanbul, 2005.
38. Anagnostou, T., Remzi, M., Lykourinas, M., Djavan, B., Artificial Neural Networks for Decision-Making in Urologic Oncology, European Urology, 43:596-603, 2003.

39. Asl, B.M., Setarehdan, S.K., Mohebbi, M., Support Vector Machine-Based Arrhythmia Classification Using Reduced Features of Heart Rate Variability Signal, elsevier, Artificial Intelligence in Medicine, 44:51-64, 2008.
40. Ceylan, M., Ceylan, R., Özbay, Y., Kara, S., Application of Complex Discrete Wavelet Transform in Classification of Doppler Signals Using Complex-Valued Artificial Neural Network, Elsevier, Artificial Intelligence in Medicine, 44:65-76, 2008.
41. Remzi, M., Djavan, B., Artificial Neural Networks in Urology, European Urology Supplements, 3:33-38, 2004.
42. Polak, S., Mendyk, A., Artificial Neural Networks Based Internet Hypertension Prediction Tool Development and Validation, Elsevier, Applied Soft Computing, 8:734-739, 2008.
43. Remzi, M., Waldert, M., Djavan, B., Preoperative Nomograms and Artificial Neural Networks (ANNs) for Identification of Surgical Candidates, EAU Update Series, 3:63-71, 2005.
44. Lisboa, P.J., Taktak, A.F.G, The Use of Artificial Neural Networks in Decision Support in Cancer: A Systematic Review, Elsevier, Neural Networks, 19:408-415, 2006.
45. Ishak, W., Siraj, F., Artificial Intelligence In Medical Application, School Of Information Technology, University Utara Malaysia, Kedah, Malaysia.
46. Zadeh, LA., Biological application of the theory of fuzzy sets and systems on Biocybernetics of the Central Nervous System, Proc Int Sym, 199-212, 1969.
47. Mobley, BA., et al, Neural network predictions of significant coronary artery stenosis in men, Artif Intell Med, 34(2):151-61, 2005.
48. Rafiee, A., Moradi, MH., Farzaneh, MR., Novel genetic-neurofuzzy filter for speckle reduction from sonography images, J Digit Imaging, 17(4):292-300, 2004.
49. Kalmanson, D., Stegall, HF., Cardiovasculer investigations and fuzzy set theory, American Journal of Cardiology, 35:80-84, 1975.
50. Guo, Z., et al, Cardiac Doppler blood flow signal analysis. Part II:The timefrequency distribution by using autoregressive modeling, Med Biol Eng Comput, 31:242-248, 1993.

51. Degani, R., Bortolan, G., Fuzzy decision-makingin electrocardiography, Artificial Intelligence in Medicine, 1898; 87-91.
52. Kere, EE., Outline of an expert system for ECG diagnosis using fuzzy sets, Artificial Intelligence in Medicine, 3:139-144, 1989.
53. Hudson, DL., Cohen, ME., Deedwania, PC., A hybrid system for diagnosis and treatment of heart disease, Medicine Biology Societ, 1368-1369, 1994.
54. Akay, YM., et al, Noninvasive detection of coronary artery disease, Eng in Medicine and Biology Mag, 9(5):761-764, 1994.
55. Cios, KJ., et al, novel algorithm for classification of SPECT images of a human heart. Proc. 9th IEEE Symp. on computer-based medical systems, IEEE Comput. Soc. Press, Los Alamitos, 1-5, 1996.
56. Jain, R., Mazumdar, J., Moran, W., Application of fuzzy classifier system to coronary artery disease and breast cancer, Australasian Physical Engineering Sciences in Medicine, 21(3):141-147, 1998.
57. Nauck, D., Kruse, R., Obtaining interpretable fuzzy classification rules from medical data, Artificial Intelligence in Medicine, 16:149-169, 1999.
58. Guler, İ., Hardalac, F., Barıscı, N., Application of FFT analyzed Cardiac Doppler Signals To Fuzzy Algorithm, Computers in Biology and Medicine, 32:435-444, 2002.
59. Guler, İ., Hardalac, F., Ergun, U., Barıscı, N., Classification of Aorta Doppler signals using variable coded-hierarchical genetic fuzzy system, Expert Systems with Applications, 26:321-333, 2004.
60. Ucman, E., Transcranial Doppler İsaretlerinin Yapay Zeka Ortamında Sınıflandırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi 2005.
61. Shortliffe EH. The adolescence of AI in medicine: will the field come of age in the '90s?, Artif Intell Med, 5(2):93-106, 1993.
62. Yılmaz, M., Arslan, E., Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 512-522, 2005.
63. Türkbey, O., Çok Amaçlı Makine Sıralama Problemi İçin Bir Bulanık Güçlü Metod, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 5(3):81-98, Ekim 2003.
64. Sarı, N., Arslan, E., Geoit Yüksekliğinin ANFIS ile Adım Adım Hesaplanması, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 96:31-38, 2007.

65. Zadeh, L. A., “Fuzzy Sets” Information and Control, 8:338-352, 1965.
66. Jang, J.S.R., Sun, C.T., Mizutani, E., Neuro-Fuzzy and Soft Computing, PrenticeHall, ISBN 0-13-261066-3, 607p, 1997.
67. Mamdani, E.H., Assilian, S., An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller, Int. Journal of Man-Machine Studies, 7(1):1-13, 1975.
68. Akyılmaz, O., Esnek Hesaplama Yöntemlerinin Jeodezide Uygulamaları, Doktora tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005.
69. Palancıoğlu, H. M., Beşdok, E., Hareketli Objelerin Ulaşım Ağındaki Hareketlerinin Bulanık Mantık Metotları İle Modellenmesi, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, İTÜ- İstanbul, 23-25 Kasım 2005.
70. Özçalık, H., Uygur, A., Dinamik Sistemlerin Uyumlu Sinirsel – Bulanık Ağ Yapısına Dayalı Etkin Modellenmesi, KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, Kahramanmaraş, 6(1):36-46, 2003.
71. Avcı, E., Akpolat, Z. H., Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi İle Doğru Akım Motorlarının Hız Denetimi, ELECO’2002 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, 193-196, Bursa, Aralık 2002.
72. Özgan, E., Kap, T., Beycioğlu, A., Emiroğlu, M., Asfalt Betonunda Marshall Stabilitesinin Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Mantık Yaklaşımı İle Tahmini, Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 2009.
73. Güney, K., Sarıkaya, N., Dairesel Mikroşerit Antenlerin Yama Yarıçapının Çeşitli Algoritmalarla Optimize Edilen Bulanık Mantık Sistemine Dayalı Uyarlanır Ağlar İle Hesaplanması, ELECO’2008 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, Bursa, 26-30 Kasım 2008.
74. Jang, J. S. R., ANFIS: Adaptive network-based fuzzy inference systems, IEEE Trans. Syst., Man. and Cybern, 23:665-685, 1993.
75. Franklin, G. F., Powell, J. D. and Workman, M. L., Digital Control of Dynamic Systems, Addison Wesley, 130-132, 1990.
76. Uzundurukan, S., Zeminlerin Şişme Özelliklerine Etkiyen Temel Parametrelerin Belirlenmesi ve Modellenmesi, Doktora Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 2006.
77. Hímer, Z., Kovács, J., Benyó, I., Kortela, U., Neuro- fuzzy modelıng and genetic algoritms optimization for flue gas oxygen contol, 2nd IFAC Workshop on Advanced Fuzzy/Neural Control, University of Oulu, 2004.

78. Jang, J. S. R., Sun, C. T., Neuro-Fuzzy Modeling and Control, proceedings of the IEEE, 83:3, 1995.
79. Başkan, Ö., İzole Sinyalize Kavşaklardaki Ortalama Taşıt Gecikmelerinin Yapay Bulanık Sinir Ağları ile Modellenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tez çalışması, 108s., Denizli, 2004.
80. Hocaoğlu, F., Kurban, M., Adaptif Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Çıkarım Sistemi İle Eskişehir Bölgesi İçin Güneşlenme Süreleri Tahmini, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi ve Fuarı, İstanbul, 22-25 Eylül 2005.
81. Fırat, M., Yurdusev, M., Mermer, M., Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Yaklaşımı İle Aylık Su Tüketiminin Tahmini, Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23(2):449-457, 2008.
82. Günay, E., Alçı, M., Parmaksızoğlu, S., Çoklu Kaotik Çeker Üreten DK-HSA Devresinde Parçalı – Doğrusal Fonksiyon Karakteristiğinin Bulanık Sinir Ağı Kontrolü İle Elde Edilmesi, URSI-Türkiye 2006 Bilimsel Kongresi ve Ulusal Genel Kurul Toplantısı, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 6-8 Eylül 2006.
83. Civelekoğlu, G., Arıma Proseslerinin Yapay Zeka ve Çoklu İstatiksel Yöntemler İle Modellenmesi, Doktora Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 2006.
84. Özgan, E., $NAPO_3$ Miktarının Zemin Tanelerine Etkisi ve Tane Büyüklüklerinin ANFIS Yöntemiyle Tahmini, Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, 2009.
85. Akyılmaz, O., Ayan, T., Özlüdemir, M. T., Geoid surface approximation by using Adaptive Network based Fuzzy Inference Systems. *AVN*, 8-9, 22-27, Wichmann, Hüthig, Almanya, 2003.
86. Nayak, P.C., et al, A Neuro Fuzzy computing technique for modeling hydrological time series, Journal of Hydr., 29:52–66, 2004.
87. Firat, M., Güngör, M., River Flow Estimation using Adaptive Neuro-Fuzzy inference System, Mathematics and Computers in Simulation, 75(3-4):87-96, 2007.
88. Yazıcı, A.C., et al, Yapay Sinir Ağlarına Genel Bakış, Türkiye Klinikleri J Med Sci, 27:65-71, 2007.

89. Serhatlıoğlu, S., Hardalaç, F., Yapay Zeka Teknikleri ve Radyolojide Uygulanması, Fırat Üniversitesi Tıp Dergisi, 14(1):1-6, 2009.
90. Gökalp, E., Boz, Y., Uyuşumsuz Ölçülerin Belirlenmesinde Bulanık Mantık ve Geleneksel Yaklaşımların İrdelenmesi, TUJK 2004 Yılı Bilimsel Toplantısı Mühendislik Ölçmelerinde Jeodezik Ağlar Çalıştayı, Zonguldak, 14-16 Ekim 2004.
91. Ülker, M., Civalek, Ö., Yapay Sinir Ağları İle Eksenel Yüklü Kolonların Burkulma Analizi, Turkish J. Eng. Env. Sci. 26s.117-125.
92. Elmas, Ç., Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama), Seçkin Yayıncılık, İstanbul, 2003.
93. Öztemel, E., Yapay Sinir Ağları, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2003.
94. Sağıroğlu, S., Beşdok, E., Erler, M., Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları-I, Yapay Sinir Ağları, Ufuk Yayıncılık, Kayseri, 423 s, 2003.
95. Güneri, N., Apaydın, A., Öğrenci Başarılarının Sınıflandırılmasında Lojistik Regresyon Analizi ve Sinir Ağları Yaklaşımı, Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi, (1):170-188, 2004.
96. Atakurt, Y., Lojistik Regresyon Analizi ve Tıp Alanında Kullanımı, Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi Mecmuası, 52(4):191-199,1999.
97. Kalınlı, A., Sarıkoç, F., A Parallel Ant Colony Optimization Algorithm Based On Crossover Operation, in: Advances in Metaheuristics for Hard Optimization, Z. Michalewicz and P. Siarry, Springer Verlag, 87-110, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Bülent Haznedar 1984 yılında Gaziantep'te doğdu. İlköğrenimini Gaziantep'te tamamladıktan sonra 1996 yılında Gaziantep Fitnat Nuri Tekerekoğlu Anadolu Lisesini kazandı. Ortaöğrenim ve lise eğitimini bu okulda tamamladı. 2003 yılında kazandığı Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü'nden 2007 yılında bölüm ikincisi olarak mezun oldu. Aynı yıl Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı. 2008 yılında Gaziantep Büyükşehir Belediyesi GASKİ Genel Müdürlüğünde Bilgisayar Mühendisi olarak göreve başladı. Halen GASKİ Genel Müdürlüğünde görevine devam etmektedir.

Adres : Gaziantep Büyükşehir Belediyesi GASKİ Genel Müdürlüğü
Bilgi İşlem Daire Başkanlığı.
İncilipınar Mah. 4 Nolu Cad.
27090 Şehitkamil / GAZİANTEP
Tel : 0 532 507 18 63
E-posta : bulenthaznedar@gmail.com