

T.C
BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

HİPOKRAT-I: BAYES AĞI TABANLI
TIBBİ TEŞHİS DESTEK SİSTEMİ

HAZIRLAYAN
S. Can YÜCEBAŞ

DANIŞMAN
Prof. Dr. Hayri SEVER

Ankara 2006

T.C
BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BAYES AĞ TABANLI TIBBİ TEŞHİS DESTEK SİSTEMİ

S. Can YÜCEBAŞ

Bu tez, 30.06.2006 tarihinde aşağıda üye adları yazılı jüri tarafından kabul edilmiştir.

Unvan	Adı Soyadı	İmza
Prof. Dr.	Hayri SEVER	
Prof. Dr.	Hadi Gökçen	
Yrd. Doç. Dr.	Hasan Oğul	

ONAY

/ / 2006

Fen Bilimleri Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Emin AKATA

Tez konumu bulmamda beni yönlendiren, araştırma ve geliştirme sırasında hiçbir yardımını esirgemeyen sadece akademik yönüyle değil insani yönüyle de bizlere örnek olan danışmanım Prof. Dr. Hayri SEVER' e,

Yaşadığım yirmi yedi yıl boyunca her türlü kahrımı üzüntümü çeken, sevinçlerimi benimle paylaşarak bu sevinçlerin daha da coşkulu olmasını sağlayan, her konuda bana sonuna kadar destek olan sevgili babam Tevfik YÜCEBAŞ ve sevgili annem Gül YÜCEBAŞ'a,

Altı yıldır kalbimde bambaşka bir yere sahip olan nişanlım Burcu ÇAM'a,
Şu an aramızda olmasa da gittiği cennet mekanından beni izleyip gurur duyduğunu bildiğim biricik dedem Necati SARANDAL'a,

Çalışmam sırasında bana farklı görüş açısı kazandıran fikirleri için Güven KÖSE'ye

Akademik kariyeri bana sevdiren, bu tür bir kariyer için lisans ve yüksek lisans boyunca gerekli eğitim ve öğretimi veren Başkent Üniversitesi'ndeki tüm hocalarıma,

SONSUZ TEŞEKKÜRLER...

HİPOKRAT –I Bayes Ağı Tabanlı Tıbbi Teşhis Destek Sistemi

ÖZ

Klinik karar destek sistemleri; klinik kararlarda destek sağlayan bilgisayar programlarıdır. Bu sistemler hekimlere, hastalara ait özel klinik bilgileri dikkate alarak karar verebilmeleri için yardım eder. Klinik karar destek sistemleri; sağlık bakım hizmetlerinin kalitesini geliştirme, erken teşhis, hataları önleme, uygun tedavi ve maliyetlerin azaltılması gibi konularda büyük faydalar sağlayabilir. Tıp alanının oldukça geniş olmasından dolayı bu tür sistemler sadece belirli bir alt dalda teşhis desteği verebilmektedir.

Bu tür sistemlerin oluşturulmasına 1970’lerde başlanmış ve 80’lerdeki Yapay Zeka akımı ile en uç noktasına ulaşılmıştır. Daha sonra pek de üzerinde durulmayan bu konu son yıllarda yaşanan teknolojik gelişmelerle (özellikle işlemci güçleri ve saklama alanlarının artması) tekrar gündeme gelmiştir. Tıp alanında teşhis desteği veren sistemler geliştirilirken Yapay Sinir Ağları, Bulanık Mantık, Kural Tabanlı Yaklaşım ve Bayes Ağları gibi yöntemler tercih edilmiştir.

Tez kapsamında yukarıda bahsi geçen teknikler incelenmiş ve Bayes Ağ yapısı ile bir teşhis destek sistemi oluşturulmuştur. Bu sistem tiroit hastalıkları üzerinde geliştirilmiş olup farklı tiroit çeşitlerini teşhis edebilmektedir. Sistemin oluşturulabilmesi için elektronik ve elektronik olmayan hasta kayıtlarından yararlanılmıştır. Ayrıca ilgili hastalığın teşhisine gidilirken uygulanacak testler, hangi konsültasyonların yapılacağı ve ilgi bulguların tanıya yaklaşık hangi oranda katkıda bulunduğu alan uzmanlarının yardımı alınarak belirlenmiştir.

Bu çalışmanın ileriki zamanlarda geliştirilecek olan melez teşhis sisteminin bir bacağına oluşturması planlanmaktadır. Bu melez sistem, kural tabanlı yaklaşım ile Bayes ağlarını birleştirecek bir yapıdır. Her iki alt modülün kendisine ait çıkarsama mekanizması olacak ve elde edilen sonuçlar verilecek ağırlıklara göre doğrusal olarak birleştirilerek ilgili teşhisler kullanıcıya sıralanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Karar verme, Karar destek sistemleri, Klinik karar destek sistemleri, Yapay Zeka, Kural Tabanlı Sistemler, Bayes Ağları

ABSTRACT

Medical Decision Support Systems are the software programs that help clinicians during the diagnostic process. These systems help clinicians to diagnose the patients under the given individual patient data. Medical Decision Support Systems bring a great value to quality of patient care by early diagnosis, preventing errors, appropriate treatment. By this way costs are cut in the field of medicine. Since the field of medicine is very large this kind of systems can handle only a subpart of the medical domain.

Medical Systems are started to be constructed by 1970's. They had a over the top popularity parallel to the Artificial Intelligence trend in 1980's. After that, this topic had lost its popularity. But nowadays with the rapid development of technology (especially development of the powerful high speed processors and huge memory spaces), decision support in the medical field become one of the interesting research area for academicians and software developers. Artificial Neural Networks, Fuzzy Logic, Rule Based Methods and Bayesian Networks can be used to develop medical decision systems.

In this thesis, methods mentioned above are explained and a decision support system is developed by using Bayesian Networks. This system covers the domain of thyroid diseases. It can diagnose different kind of thyroid illness. To construct such a system some electronic patient records and traditionally kept (on the text) patient records are used. Help of a domain expert is taken to determine the tests to be applied, consultations to be made and which of the symptoms and findings effect the diagnosis process much.

By this thesis a sub module of a hybrid diagnostic system is developed. This hybrid system will combine a rule based module and bayesian network module. Both systems will have their own inference mechanisms, results taken from both modules will be combined linearly under given weights then these results will be given to users.

Keywords: Decision, Decision Support Systems, Medical Decision Support, Artificial Intelligence, Rule Based System, Bayesian Network

İçindekiler	Sayfa No
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
İçindekiler	iii
Çizimler Listesi	vi
Tablolar Listesi	vii
Simge ve Kısaltmalar	viii
Bölüm 1- Giriş	1
1.1 Problemin Tanımı	1
1.1.1 Karar Destek Sistemlerinin Genel Yapısı	6
1.2 Tezin Kapsamı Bayes Ağı Tabanlı Tıbbi Teşhis Destek Sistemi	12
1.3 Tez Çalışma Planı	14
1.4 Tez Düzeni	15
Bölüm 2- Tıbbi Karar Destek Sistemleri	17
2.1 Genel Bakış	17
2.1.1 Tıbbi Karar Destek Sistemleri Yaklaşımındaki Değişmeler	22
2.2 Karar Destek sistemlerinde Kullanılan Yöntemler	25
2.2.1 Kural Tabanlı Sistemler	26
2.2.1.1 Tetikleme Mekanizmaları	27
2.2.1.2 Çıkarsama Mekanizmaları	29
2.2.1.3 Hangi Yöntemi Kullanmalıyız	33
2.2.1.4 Çıkarsama Ağları İle Kural Tabanı Oluşturma	34
2.2.1.5 Önemsiz Koşulların Kaldırılması	44
2.2.1.6 Önemsiz Kuralların Kaldırılması	47
2.2.2 Yapay Sinir Ağları	49
2.2.2.1 Kullanılan Tipik Mimariler	54
2.2.2.2 Eğitim Türüne Göre YSA'lar	58
2.2.2.3 Genel Aktivasyon Fonksiyonları	60
2.2.2.4 YSA'nın Tıp Bilişimindeki Kullanım Alanları	62
2.2.3 Bulanık Mantık	65
2.2.3.1 Bulanık Mantıkta Değişim	67

2.2.3.2 Bulanık Mantık İşlemcileri	68
2.2.3.3 Sözel Değişkenler	69
2.2.3.4 Bulanık Kural ve İfade	70
2.2.3.5 Bulanık Kümeler	71
2.2.3.6 Bulanık Teori	73
2.2.3.7 Olabilirlik Dağılımı	74
2.2.3.8 Mantık ve Çıkarsama Kavramları	75
2.2.3.9 Çıkarsama Yöntemleri	87
Bölüm 3- Bayes Ağları	91
3.1 Thomas Bayes	91
3.2 Olasılık ve Belirsizlik	92
3.3 Bayes Kuramı	96
3.4 Bayes Ağları	100
3.4.1 Bileşik Olasılık Dağılımı Temsili	103
3.4.2 Bayes Ağlarının Oluşturulması	104
3.5 Bayes Ağları Çıkarsama Algoritmaları	109
3.5.1 Kesin Çıkarsama Algoritmaları	109
3.5.1.1 Değişken Eleminasyon Algoritması	112
3.5.2 Yaklaşık Çıkarsama Algoritmaları	115
3.5.2.1 Olabilirlik Ağırlıklandırma	117
3.6 Tıp Alanında Bayes Ağı Kullanımı ve Literatür Örnekleri	120
3.6.1 Çabuk Tıbbi Referans Sistemi	122
3.6.1.1 QMR-DT Ağı	123
3.6.1.2 QMR’da Çıkarsama	124
3.6.1.3 QMR Sonuçları	125
3.6.2 Promedas	125
3.6.2.1 Promedas’ın Yazılım Alt Yapısı	127
3.6.3 TraumaScan	128
Bölüm 4 –Yapılan Çalışma ve Alınan Sonuçlar	132
4.1 Teşhis Alanı	132
4.1.2 Tiroit Hormonları Hakkında Genel Bilgiler	132

4.1.3 Tiroit Tümörleri	133
4.1.3.1 İyi Huylu Tümörler	133
4.1.3.2 Kötü Huylu Tümörler	134
4.1.4 Klinik Bilgiler	137
4.1.5 Tiroit Hastalıklarının Belirti ve Bulguları	139
4.1.5.1 Tiroteksikoz Vakaları	139
4.1.5.2 Hipotiroidizm	139
4.1.6 Tiroit Hastalıklarının Tanısında Faydalanılan Testler	140
4.1.6.1 Tiroit Fonksiyon Testleri	142
4.1.6.2 Görüntüleme Testleri	145
4.1.6.3 Tiroit İnce İğne Aspirasyon Biyopsisi	146
4.1.6.4 Oto Antikor Testi	146
4.1.6.5 Diğer Testler	148
4.1.6.6 Tiroit Hastalıkları	151
4.1.7 Tiroit Fonksiyonlarına Göre Tiroit Hastalıkları	156
4.1.7.1 Hipotiroidi	156
4.1.7.2 Hipertiroidi	157
4.2 Hipokrat –I	158
4.2.1 Ağın Oluşturulması ve Sonuçlar	158
4.2.2 Yapılacak Çalışmalar	169
Bölüm 5 – Referanslar	170

Çizimler Listesi

Şekil 1 (1.1) Uzman Sistem Genel Yapısı	10
Şekil 2 (1.2) Uzman Sistem Genel Yapısı	10
Şekil 3 (1.3) Bayes ve Kural Tabanlı sistemlerden oluşan hibrid sistem örneği	13
Şekil 4 (2.1) Kural Tabanı Sistem Yapısı (İleri Zincirleme)	30
Şekil 5 (2.2) Geri Zincirleme Mekanizması	33
Şekli 6 (2.3) Semantik Ağ Yapısı	35
Şekil 7 (2.4) Semantik Ağaç Yapısı	36
Şekil 8 (2.5) Karar Ağaçları	37
Şekil 9 (2.6) Ağacın İlk Adımı	40
Şekil 10 (2.7) İkinci Adım Ağaçlar	41
Şekil 11 (2.8) Sonuç Tanımlama Ağacı	42
Şekil 12 (2.9) Basit Yapay Nöron	50
Şekil 13 (2.10) Basit Yapay Nöron	52
Şekil 14 (2.11) Basit Sinir Ağı	53
Şekil 15 (2.12) Tek Katmanlı Yapay Sinir Ağları	55
Şekil 16 (2.13) Hopfield Mimarisi	55
Şekil 17(2.14) Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları	56
Şekil 18 (2.15) Özdeşlik Fonksiyonu	60
Şekil 19 (2.16) Üçgen Şekilli Çoklu YSA Yapısı	63
Şekil 20 (2.17) Tüm laboratuvar verilerini alan ve teşhis üreten ağ	64
Şekil 21 (3.1) Basit Bayes Ağı	101
Şekil 22 (3.2) Karmaşık Bayes Ağı	106
Şekil 23 (3.3) Hipertiroidi ile test verilerinin ilişkisini gösteren ağ	108
Şekil 24 (3.4) Kesin Çıkarsama Algoritmaları	111
Şekil 25 (3.5) Olasılık Hesaplama Ağacı	113
Şekil 26 (3.6) Hipertiroidinin tetikleyebileceği bulgular	118
Şekil 27 (3.7) QMR için Bayes Ağı	123
Şekil 28 (3.8) Promedas Ara Yüzü	126
Şekil 29 (3.9) Promedas-Bayes Builder	127
Şekil 30 (3.10) Promedas Mimari Şeması	128
Şekil 31 (3.11) TraumaScan için oluşturulan Bayes Ağı	129
Şekil 32 (3.12) TraumaScan için doğru teşhis yüzdeleri	130
Şekil 33 (4.1) Hipotiroidi için Bayes Ağı	159
Şekil 34 (4.2) Hipotiroidi için alternatif Bayes Ağı	160
Şekil 35 (4.3) TSH için Koşullu Olasılık Tablosu	165
Şekil 36 (4.4) T3 için Koşullu Olasılık Tablosu	166
Şekil 37 (4.5) Gebelik için Marjinal Olasılık Tablosu	166

Tablolar Listesi

Tablo 1 (1.1) Karar Destek Sistemleri	7
Tablo 2 (2.1) Eklmeler	31
Tablo 3 (2.2) Kural Tabanı	31
Tablo 4 (2.3) Sistem çalışmasıyla yapılan işlemler	31
Tablo 5 (2.4) Tanımlama ağacı için eğitici veri tablosu	39
Tablo 6 (2.5) Olasılık Dağılım Tablosu	74
Tablo 7 (2.6) Olabilirlik ve Olasılık karşılaştırma tablosu	75
Tablo 8 (2.7) Modus Ponens Tablosu	77
Tablo 9 (2.8) Modus Tollens Tablosu	77
Tablo 10 (3.1) Beyaz kan hücrelerinin olasılıksal dağılımı	94
Tablo 11 (3.2) HIV testi sonuç tablosu	99
Tablo 12 (3.3) Hırsızlık Olasılığı	102
Tablo 13 (3.4) Deprem Olasılığı	102
Tablo 14 (3.5) Uyarı durumunda A arar olasılıkları	102
Tablo 15 (3.6) Uyarı durumunda B arar olasılıkları	102
Tablo 16 (3.7) Hırsız ve deprem durumunda uyarı olasılığı	102
Tablo 17 (3.8) Değişken Eliminasyon Algoritması	115
Tablo 18 (3.9) Bayes ağı düğümlerinin koşullu olasılık tabloları	118
Tablo 19 (3.10) TraumaAid ile TraumaScan teşhislerinin karşılaştırmalı tablosu	131
Tablo 20 (4.1) Bulguların veri kümeleri içerisindeki sayı ve yüzdeleri	162
Tablo 21 (4.2) Veri kümesindeki hipotiroidi hastalıkları	163
Tablo 22 (4.3) T3 için Koşullu Olasılık Tablosu	164
Tablo 23 (4.4) TSH için Koşullu Olasılık Tablosu	165
Tablo 24 (4.5) Hipotiroidi TSH ilişkisi	167
Tablo 25 (4.6) Diğer bulgulara göre hipotiroidi dağılımı	167

Simgeler ve Kısaltmalar

Simge	Açıklama
n_b	Bir b dalındaki örneklerin sayısı
n_t	Tüm dallardaki örneklerin toplam sayısı
n_{b_c}	c sınıfına ait bir b dalındaki toplam örneklerin sayısı
w_{ij}	Sinaptik Ağırlık
σ	Standart Sapma
μ	Ortalama
$\neq$	Eşit Değil

Kısaltma	Açıklama
KDS	Karar Destek Sistemleri
KKDS	Klinik Karar Destek Sistemleri
ETK	Elektronik Tıbbi Kayıt
dz	Düzensizlik Katsayısı
kf	Kesinlik Faktörü
YSA	Yapay sinir Ağları
MLP	Çok Katmanlı Preseptron
EB	En Büyük işlemcisi
EK	En Küçük işlemcisi
BKH	Beyaz Kan Hücreleri

Bölüm 1 – GİRİŞ

1.1 Problemin Tanımı

Karar verme, belirli bir problem karşısında bu problemin çözümü için ortaya çıkan seçeneklerden en uygun olanının seçildiği bir süreçtir. Çözüm için eldeki seçeneklerin en uygununun karar destek mekanizması ile seçilmesi, bazı ölçütlerin dikkate alınması ile olur. Bu ölçütler ilgili problem ve çözümü için ayırt edici olan bazı şartlardır.

Karar verme fonksiyonunun yerine getirilmesinde sağlam ve güvenilir bilgilere gereksinim duyulur. Çünkü doğru karara varabilmek için tüm alternatiflerin bir arada görülebilmesi gerekir. Ayrıca bilginin zamana karşı bir değeri olduğundan, etkili ve hızlı kararlar verebilmek için, sorunlara ait verilerin en kısa zamanda karar verenlere iletilmesi sağlanmalıdır. Bu nedenle günümüzde, yönetim faaliyetlerinde ve uzmanlık gerektiren çeşitli işlerde etkili, hızlı ve doğru karar verebilmek için Karar Destek Sistemlerinden (KDS) faydalanılmaktadır [49].

Karar Destek Sistemleri, yarı yapılandırılmış ve yapılandırılmamış durumlarda veya ne yönde bir karar verilmesinin tam olarak kestirilemediği hallerde, karar vericilere modeller, bilgiler ve veri yönetme araçları sunan etkileşimli bilgi sistemleri olup karar verme yeterliliğini geliştirmekten çok, etkinliğini geliştirmeyi hedeflerler. Bu sistemlerin amaçları yönetsel hükümleri yerleştirmek değil, bu hükümleri desteklemektir [13]. Karar destek sistemleri karar vericilere, problem çözme işlemi sırasında alternatif çözümleri test etme ve verileri yeniden gözden geçirme olanağı sunar. Bu sistemleri kullanan karar vericiler, her sorun için çözüm seçeneklerini formüle ederek sisteme gönderirler. Sistem bu önerileri karşılaştırarak değerlendirir ve karar vericiye yollar.

Karar verici de değerlendirilen öneriler arasında en iyi sonucu veren seçeneği seçer ya da yeni bilgilere göre yeni seçenekler hazırlayarak tekrar sistemin değerlendirmesine sunar [70].

Çağımızda yaşanan teknolojik gelişmelere paralel olarak sağlık sektöründe de büyük gelişmeler olmuştur. Artık, yılda bir milyonun üzerinde makale yayımlanmaktadır. Kanıta dayalı tıp uygulamaları, iyi bir hekim ve iyi bir sağlık kurumu olmanın koşulu olarak algılanmaya başlanmıştır. Sağlık kurumlarının yönetimi, sağlık sigortaları, halk sağlığı uygulamaları, kalite kontrol, sağlık hizmetlerinin denetimi gibi konularda ciddi bilgi birikimleri olmuştur. Hastanelere bilgisayarların girmesi ile hastalara ait bilgilerin yapılandırılmış olarak kaydedilmesi ve bunun sağladığı olanaklar kullanılmaktadır. Öte yandan, sıradan vatandaşın sağlık hizmetine bakış açısı da değişmektedir. Artık hastaların ve hasta yakınlarının da hekimlerden ve sağlık sisteminden beklentileri vardır [27].

Son yıllarda yaşanan tüm bu değişimler, sağlık bakım hizmetlerinde verimlilik ve kalite konularına giderek daha fazla önem verilmesine yol açmaktadır [12]. Sağlık bakım hizmetlerinin sunumunda yeni modeller geliştirilmekte, kurumlar yeniden yapılandırılmakta ve sağlık bakım hizmetlerinin verilme biçimi ile klinik süreçler yeniden biçimlendirilmektedir. Tüm bu gelişmeler, sağlık bakım hizmetlerinin, bilişim teknolojilerinin giderek daha da yoğun olarak kullanıldığı bir alan olmasına yol açmıştır. Günümüzde hastayı odak alan, klinik ve idari verilerin entegre bir biçimde kullanılabildiği elektronik sağlık kaydı sistemleri bütün sağlık bilişim sistemlerinin çekirdeği haline gelmektedir. Bu tür sistemlerin yaygınlaşması sayesinde tıp alanındaki işlemler hızlanmakta, hizmet kalitesini artırmakta, bilimsel verilerin toplanması kolaylaşmakta ve tıbbi hatalar azaltmaktadır [36–44].

Kısaca gelişen bu teknolojilere paralel olarak sağlık sektörü bilgi teknolojilerinden yönetim hizmetleri, rehberlik, sinyal yorumlama, laboratuvar hizmetleri, kayıt takip sistemleri gibi çeşitli alanlarda faydalanmaktadır. Bu amaçla kullanılan sistemlerin başında ise Klinik Karar Destek Sistemleri gelmektedir.

Klinik karar destek sistemleri (KKDS); hekimlere veya diğer sağlık personeline alacağı klinik kararlarda destek sağlayan bilgisayar programlarıdır. Bu sistemler bir bakıma karar desteği sağlamak için klinik veri ya da medikal bilgiyle ilgilenen bilgisayar sistemleridir. Diğer bir değişle bir hekimin doğru tanıya ulaşmak için günlük pratikte hastasını muayene ettiğinde, hastanın şikâyetlerini ve bulgularını (muayene, laboratuvar, radyoloji, vb. klinik veriler) değerlendirerek tanı koyma sürecini destekleyen bir akıllı yazılım sistemidir. Bugün hekimler tıbbi bilginin miktarında meydana gelen artış nedeniyle bu bilginin yönetimiyle başa çıkmak ve uzman yokluğuunda uygun sečecekler arasında karar verebilmek için karar desteğine ihtiyače duymakta ve bu amaçla klinik konularda akıl yürütme özelliğine sahip karmaşık bilgisayar programları olan KKDS'leri kullanmaktadırlar [53].

Bu tür sistemlerin temeli <Eğer – Öyleyse> sorgusuna dayanır ve bu sonuca göre ilgili en iyi olasılık tahmin edilir. Bu tahminden elde edilen ara sonuç eğer alanımızdaki tanımlara, gereksinim ve şartlara uyuyorsa buradan kesin sonuca varılabilir. Sistemin verimli ve yeterli çalışabilmesi, ürettiği ara sonuç ve sonuçların doğruluğu sistem içindeki alan bilgisinin yeterliliğine bağlıdır. İlgili alan bilgisi ne kadar yeterli ve ayırt edici ise üretilen tahminler ve dolayısı ile sonuç o kadar doğruya yakınsar.

Karar Destek Sistemlerinin tıp alanına uygulanması özellikle 1970'lerin sonu ve 1980'li yıllarda Yapay Zekâ uygulamalarının en parlak döneminde başlamıştır. MYCIN [67] 1970'lerde Stanford Üniversitesinde geliştirilmiştir. Belirli kan enfeksiyonlarının teşhisi ve tedavi yöntemlerinin tespiti sistemin geliştirilme amacıdır. Doktorların kabaca yaptıkları fakat çok önemli olan tahminleri yapmak üzere hazırlanmıştır. Bu tahminleri bazen uzmanlaşmamış ya da deneyimi az olan doktorların yapmak zorunda kalabilmesi, bir uzman sistemin, daha etkili bir tedavi yöntemi bulmada yardımcı olabilmesi düşüncesini doğurmuş ve bunun sonucunda MYCIN geliştirilmiştir. Bu sistem yapılacak testler, uygulanacak tedavi yöntemleri ve tedavi planları konularında tavsiyelerde bulunarak kan enfeksiyonlarının teşhisi için klinik çalışanlarına yardımcı olur.

1980'lere gelindiğinde bu alanda dört adet uzman sistem geliştirildi. Bunlar: INFER, PsychINFER, Procedure Necessity ve ANSA idi [23]. Bunlardan INFER 1989'da tanıtılmıştı. Amacı tıbbi ve cerrahi hastane kabullerini gözden geçirmek, eldeki vakalar arasından vaka yönetimi için en uygun adayları belirlemektir.

PsychINFER ise temel olarak INFER'in aynısıydı. Burada da amaç eldeki vakalar arasından vaka yönetimi için en uygun adayları belirlemektir. Tek fark PsychINFER'in akıl hastalıkları üzerine çalışmasıydı.

Her iki sistem de kurallarını bir karar ağacından geri zincirleme yöntemi ile çıkaran kural tabanlı uzman sisteme dayanmaktadır.

ANSA 'da tıpkı INFER versiyonlarıyla aynı mimari yapı ve uzman sistem yöntemini kullanmaktaydı. Yalnız bu sistem tıbbi alan uzmanıyla etkileşim içinde olup onlara birtakım sorular sorardı. Bu sayede belli şikâyetleri olan hastalara acil olarak hastane tedavisi verilip verilmeyeceğine karar verilirdi.

Belirli teşhis ve cerrahi prosedürler tıbbi gerekliliğinden çok bir rutin olarak fazla sıklıkta yapılmaktaydı. Bu problem kısaca bir yanlış faydalanma problemi idi. Bu sorunu ortadan kaldırmak için Procedure Necessity geliştirildi. Bu sistem uzmanlara talep edilen cerrahi veya teşhissel prosedürün gerekliliği konusunda yardımcı olurdu. Genellikle klinik çalışanları aldıkları eğitim nedeniyle bazı prosedürleri belirli hastalıklarla ilgisi olsun ya da olmasın uygularlar. Bu durum hastalıkların teşhisine giderken ekstra bir yük getirebilir. Sonuçta belirli bir hastalığın teşhisi ve tedavisi için uygulanacak prosedürler bellidir. Ancak klinik çalışanlarının ilgili hastalıkla alakası bulunmayan prosedürleri uygulaması, başka hastalıklarında o kişide olabileceği varsayımını dikkate aldıklarını gösterir. Procedure Necessity'i INFER ve benzer sistemlerden ayıran en önemli özellik, INFER ve benzerlerinin daha çok öznel ve deneyim temelli olmasıdır. Buna karşılık Procedure Necessity'de cerrahi prosedürler uygulamadan önce belirli uygun basamaklardan geçmelidir [31].

Ülkemizde ise bunlara benzer bir uygulama 1985 yılında Yüksek İhtisas Hastanesi’de yapılmıştır. Türkiye Yüksek İhtisas Hastanesi Kalp Ve Damar Cerrahisi (KVC) kliniğinde öncü çalışmaları 1985 Mayıs ayında başlatılan Hasta Veri Tabanı uygulaması [3] için geliştirilen yazılım çok sayıda veri giriş formu ile yoğun ve ayrıntılı veriyi işleyebilme, girilmiş veriler üzerinden kullanıcı tarafından tanımlanan sorgulama, raporlama ve istatistik değerlendirme olanakları veren özelliklere sahiptir.

Ülkemizde bu konudaki diğer bir çalışma ise oldukça güncel olan RIDE projesidir. ODTU tarafından üstlenilen bu projenin amacı Avrupa çapında kullanılan elektronik ortamdaki sağlık sistemlerinin birleştirilmesidir. Her ne kadar dünya üzerinde elektronik sağlık hizmetlerinin kullandığı çok farklı standartlar olsa da RIDE bir takım semantik yaklaşımlar ile bu değişik e-sağlık hizmetlerinin birbirleri ile uyum içerisinde çalışmasını amaçlamaktadır. Bu uyumu sağlayabilmek için atılacak ilk adım da elektronik tıbbi kayıtların(ETK) tüm bu değişik e-sağlık hizmetlerince anlaşılır şekilde oluşturulmasını sağlamaktır. Kullanılan sistemler farklı da olsa tek bir standart ETK ile bu değişik sistemler birbirleriyle uyumlu hale getirilecektir. RIDE projesi gerçekleştirilecek tez çalışması ile doğrudan ilgili olmasa da bu tez kapsamında tutulacak, yararlanılacak ETK ’ların RIDE projesinde ön görülen ETK’ lar ile benzer özellikleri olması tez kapsamının güncel değerini ve geçerliliğini ortaya koymaktadır.

Bu tez kapsamında ele alınacak problem bir tıbbi teşhis problemidir. Çok çeşitli karar destek mekanizmalarında kullanılan Bayes Ağı yaklaşımı kullanılarak oluşturulacak sistem, tiroid hastalıkları alanında teşhis desteği verecektir. Alan uzmanlarından alınan yardımla ilgili hastalıkların teşhisine giderken kullanılacak, bulgular, testler, muayene verileri gibi veriler Bayes Ağına yerleştirilecektir. Bu verilerin birbirleriyle olan bağımlılık ilişkilerinden yararlanılarak koşullu olasılık değerleri çıkarılacaktır. Bunlardan yararlanılarak varılacak teşhisin olabilirliği de kullanıcıya verilecektir. Bu sistem ileriki tarihlerde oluşturulması planlanan hibrid teşhis sisteminin bir alt bacağına oluşturacak şekilde tasarlanacaktır. Söz konusu

bu hibrid sistem, her biri kendi çıkarsama mekanizmasına sahip olan Kural Tabanlı sistem ve Bayes Ağı'ndan oluşacaktır.

1.1.1 Karar Destek Sistemlerinin Genel Yapısı

Artan sayıdaki bilgisayar uygulamaları, ağırlıklı olarak çok boyutlu veriler üzerindeki işlemlere dayanmaktadır. Günümüzde birçok alanda kullanılan bilgi sistemleri hem günlük kullanıcılara hem de üst düzey uzmanlara oldukça faydalı hale gelmiştir. Bilgiye ulaşmadaki kolaylığın yanında kesin çözümü olmayan konularda karar verebilmemize yardımcı olan karar destek sistemlerinin kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Yönetimsel yapıya karar aşamasında sofistike analitik araçlar kullanarak verileri bir araya getirerek yardım eden araçlara Karar Destek Sistemleri(KDS) denir. Bu yapı yerine eskiden Bilgi Sistemleri, IS(information systems), kullanılırdı. İki sistem arasındaki temel fark, Bilgi Sistemlerinin genel akışlardan elde edilen verileri raporlaması buna karşılık KDS' lerin değişiklik esneklik ve çabuk tepki olanakları sunmasıdır. İlk KDS sistemleri küçük veri yığınları üzerinde çalışırlardı ve model bağımlıydılar. Bilgisayar ve veritabanı teknolojilerindeki hızlı değişim sayesinde artık KDS' ler çok fazla veri yığını üzerinde çalışarak karar verme sürecini destekler hale gelmiştir.

Günümüzde Karar Destek Sistemleri iki temel grupta incelenebilir.

- 1-) Veri GÜdümlü
- 2-) Model GÜdümlü

Model güdümlü sistemler “Stand Alone” olarak tabir edilen sistemdir. Bu tür yapılar kullanıldığı organizasyonun diğer sistemlerinden izole olmuştur. Bu sistemlerin analiz kapasiteleri güçlü bir teori veya modelin iyi bir kullanıcı ara yüzü ile birleşmesiyle sağlanır.

Veri güdümlü sistemler ise organizasyon içindeki çok geniş veri havuzlarını inceler. Bu sistemler genellikle veri ambarı vb veri biriktiren sistemlerle beraber çalışırlar. Çevrimiçi Analitik İşleme(online analitik processing) ve veri madenciliği yöntemleri ile karar sürecinde yer alırlar. Bu tür sistemler çok geniş bilgi kümeleri üzerinde çalışırlar. Bu kümeler içerisindeki ilişkiler elektronik olarak incelenir ve ileriye dönük veri ilişkileri için tahminler yürütülebilir. Veri güdümlü sistemler, sistem tarafından üretilen verinin sistemin karakteristiklerini açıklamak için kullanıldığı “Aşağıdan Yukarıya” mantığını uygulayan sistemlerdir [75]. Bu iki yapıyı tablo 1(1.1) yardımıyla özetleyecek olursak:

Model Güdümlü	Veri Güdümlü
Tekli Yapı	Modüler
Eldeki bilgiden yararlanır	Kendi kendine öğrenir
Tüm çözümler önceden programlanır	Yeni ve beklenmedik gözlemlere ve sonuçlara ulaşabilir
Eldeki bilgi geliştikçe(arttıkça) önemli bakıma gereksinim duyar	Kendi kendini yenileyebilir

Tablo 1 (1.1) : Karar Destek Sistemleri. Veri ve model güdümlü yapıların karşılaştırılması

Bakış açısını endüstriyel yaklaşımdan tıp alanına doğru kaydırduğumuzda ise karar destek sistemlerini iki ana grupta inceleyebiliriz. Bunlardan ilki doktorlara kararları anında yardım eden klasik destek sistemleri diğeri ise çeşitli sorgula cevap verebilen, teşhis veya tedavi aşamasındaki hastalar için veri ve tavsiye verebilen Uzman Sistemler’dir. Biraz daha detaya girecek olursak kliniksel karar destek sistemlerini üç başlık altında toplayabiliriz. Bunlar:

Bilgi Yönetim Araçları:

Sağlık kuruluşlarında bilgi yönetimi çoğunlukla iş istasyonları ve büyük veri tabanları ile gerçekleştirilir. Bu bileşenler bilgi depolanması için gereklidir. Sözü geçen araçlar karar alma mekanizmasında yer almamakla birlikte doktor ve sağlık personelinin ihtiyaç duyabileceği bilgileri saklarlar. Bu yapının KDS olarak değerlendirilmesinin nedeni KDS nin ihtiyaç duyabileceği bilgileri depolaması ve gerektiğinde bu bilgileri sunmasıdır. Kısaca bilgi yönetim araçları ilgili uygulama alanı ile alakalı bilgilerin saklandığı ve gerektiğinde kullanıcılara sunulduğu araçlardır.

Uyarıcı Sistemler:

Kullanıcılara teşhis yöntemleri, problemler, tedavi prosedürleri vb bazı bilgileri hatırlatmak için kullanılan sistemlerdir. Bu sistemler çok karmaşık olmayıp belirli standartlara dayanan basit mantıksal işlemlere dayanır. Örneğin bazı testler için belirlenmiş eşik değerleri aşıldığında sistem bununla ilgi uyarılar verir. Bu tür sistemlerden olan eczacılık karar destek sistemi ilaç etkileşimleri(bazı tür veya markadan ilaçlar aynı anda kullanıldığında zehirlenme vs gibi yan etkilere neden olur) ile ilgili uyarılar verir.

Bu tür uyarıcı sistemler özellikle tıbbi tepkinin zamanla kritik olduğu yani tepki vermedeki gecikmelerin ciddi sonuçlar doğurabileceği durumlarda doktor ve sağlık personeline ciddi yararlar sağlamaktadır. Ayrıca zaman sorunun olmadığı daha uzun vadede tedavi sırasında hastaya alerji ve bunun gibi nedenlerle uygulanamayacak ilaçlar, yöntemler durumunda hekime uyarı verir.

Uygulaması kolay ve kullanım alanı oldukça etkili olan bu tür sistemler günümüzde klinik karar destek sistemlerinin önemli bir yüzdesini oluşturmaktadır. Hastalarda ilaçların yan etkilerinin araştırılması, ilaç etkinliğinin artırılması için en uygun doz kullanımının belirlenmesi gibi çalışmalar bu kapsamda yapılmaktadır. Bu

alanda yaygın olarak kullanılan klinik karar destek sistemleri arasında ilaç doz hesaplama makineleri yer almaktadır. Bu sistemler hastanın ağırlığı, boyu, cinsiyeti, ilaç endikasyonu vb. bilgiler girildikten sonra hasta için uygun ilaç kullanım dozajını hesaplamaktadır. İlaç seçim şansının az olduğu durumlarda en etkin ilaç uygulamasının belirlenmesinde fayda sağlamaktadır[69] .

Uzman Sistemler:

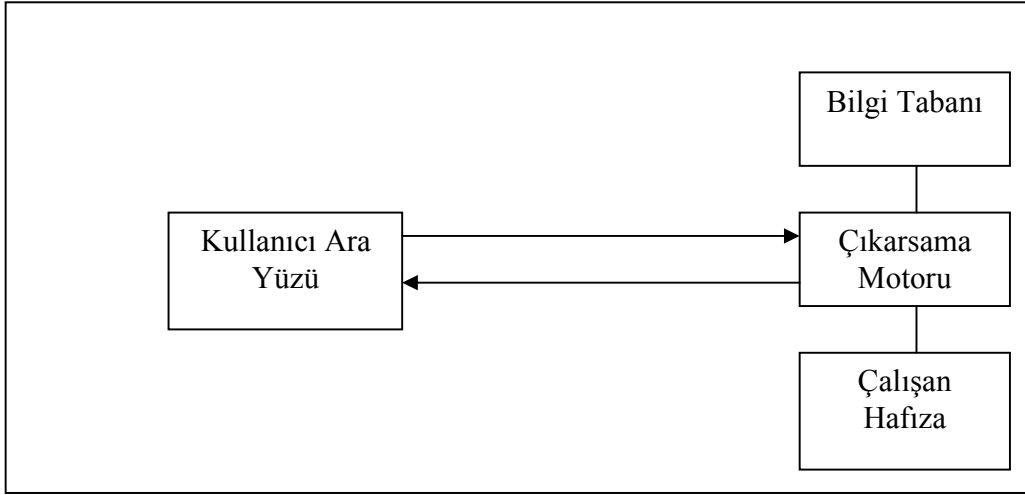
Uzman sistemleri bu alanda çalışan iki tecrübeli kişinin sözleri ile şu şekilde tanımlayabiliriz.

“Belirli bir alandaki problemlerin çözümü sırasında belirli derecede uzmanlık gösteren ve bu uzmanlık derecesi aynı alandaki insan uzmanlarla karşılaştırılabilen bir model ve prosedürler bileşkesidir.” Ignizio

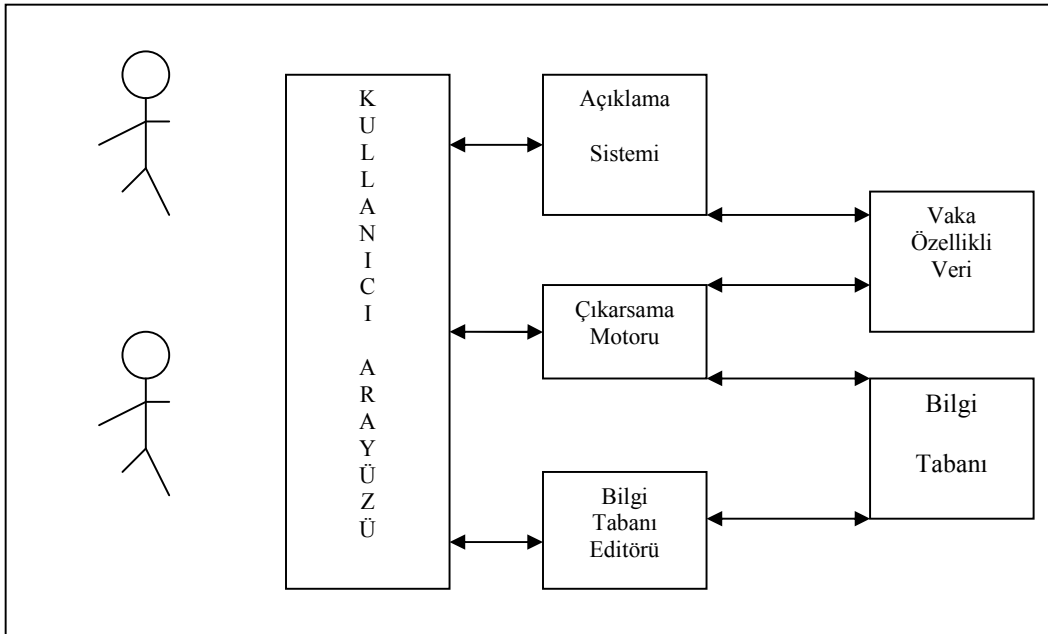
“İnsanın karar verme yeteneğini taklit etmeye çalışan bir bilgisayar sistemidir.” Giarratono

Uzman sistemler insanın karar verme sürecini taklit ederken belirli bir alandaki bilgiye ihtiyaç duyarlar. Bu bilgi tabii ki o alanda uzman olmuş kişilerce sisteme sağlanır. Sistemin yaptığı, uzmanların sağlamış olduğu alan bilgilerini değerlendirerek sonuca ulaşmaktır. Bu bilgilerin değerlendirilmesi, ara sonuç ve sonuçların üretilmesi sistemin çıkarsama mekanizması adı verilen bölümü tarafından yapılır.

Bu tanımlara dayanarak bir uzman sistemi şematik olarak kısaca şekil 1(1.1) ve şekil 2(1.2) ‘deki gibi gösterebiliriz.



Şekil 1 (1.1): Uzman Sistem Genel Yapısı



Şekil 2 (1.2): Uzman Sistem Genel Yapısı

Bilgi Tabanı:

İlgi alandaki uzmanlarca hazırlanır. Bu tür sistemler genellikle uzmanların hazırladığı bilgiler ve bu bilgilerin birbirleriyle ilişkilendirilmesi için gereken kurallardan oluşur. Bilgilerin birbirlerine bağlanması ve buna dayalı yeni bilgiler ve kararlar

retilmesi için uzmanların tanımladığı kurallar kullanıldığından bu sistemler çoğunlukla Kural Tabanlı olarak kurulurlar.

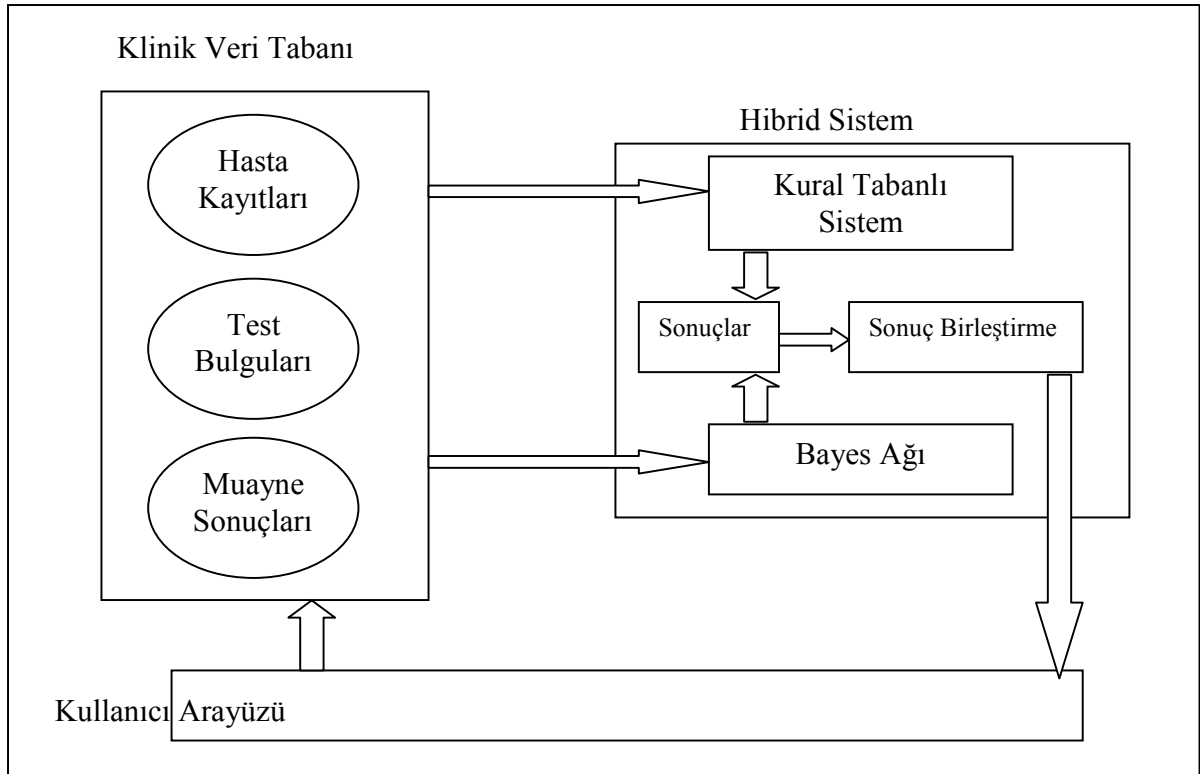
ıkarsama Motoru:

Bilgi tabanındaki verileri kullanarak üzerinde çalıştığı yönteme göre sonuçlar üreten yapıdır. ıkarsama motoru; Kural Tabanlı algoritmalar, Bulanık Mantık yaklaşımları, Yapay Sinir ağları ve Bayes ağ yapısı gibi yöntemler kullanılarak gerçekleştirilir.

Uzman sistemleri tıp alanına uyguladığımızda birinci bileşen olarak karşımıza bilgi tabanı gelir. Bu taban tıptaki alan uzmanları ile hazırlanmalıdır. Diğer bir bileşen ise çıkarsama mekanizmasıdır ki bu mekanizmanın oluşturulmasında da mutlaka alan uzmanlarından yararlanılmalıdır. Ancak bu sayede hekimlerin belirtilerden teşhise ve teşhisten tedaviye giderken izledikleri yol sistem tarafından canlandırılabilir. Hekimin tanı koyma süreci sistemin çıkarsama mekanizması tarafından üstlenilir, bu yapılırken bilgi tabanındaki veriler kullanılır. Bu veriler çıkarsama için kullanılan yöntemlerin biri veya daha fazlası ile harmanlanarak istenilen sonuçlar elde edilir. Aslında sağlık alanında teşhis koyabilen bir uzman sistem geliştirmenin esas zorluğu uzman sistemin bu iki bileşenini alan uzmanları ile birlikte oluştururken ortaya çıkar. Aynı belirtileri gösteren hastaların farklı hekimler tarafından farklı değerlendirildiği dolayısıyla da farklı tedaviler uygulandığı bilinmektedir. Buna göre belirli sayıda alan uzmanları ile oluşturulan bilgi tabanı ve bu taban üzerinde kurulmuş olan çıkarsama mekanizmasının üreteceği sonuçlar bir grup hekim tarafından yeterli bulunurken başka bir grup tarafından yetersiz, hatta kullanışsız ve yanlış bulunabilir. Bu durum sistemin yanlışlığu veya yetersizliğu olarak görülse de bu olumsuzluğu altında yatan ana etken aslında hekimlerin aynı konu üzerindeki farklı yorumlarından kaynaklanmaktadır. İnsan düşünme mekanizmasının bireyden bireye farklılık göstermesi dolayısıyla hekimlerin benzer durumlardaki farklı tepkileri bu sistemlerin geliştirilmesinin ve daha da önemlisi kabul edilip yaygın olarak kullanılmasının önündeki en büyük engeldir.

1.2 Tezin Kapsamı Bayes Ağı Tabanlı Tıbbi Teşhis Destek Sistemi

Yapılan araştırmalara göre klinik karar destek sistemleri için Bulanık Mantık, Yapay Sinir Ağları, Kural Tabanlı Metodlar ve Bayes Ağları kullanılmıştır. Bunlardan başka Genetik Algoritmalar, Vaka Temelli Nedenleme ve Örüntü Tarama Yöntemleri kullanılsa da en çok tercih edilen yöntemler Kural Tabanlı Yöntemler ve Bayes Ağları olmuştur. Bu iki yöntemle birlikte birçok sistem geliştirilmiştir. Ancak her iki yöntemi de kullanan hibrid bir sistem başarılı bir şekilde gerçekleştirilememiştir. Geliştirilecek bu tür bir hibrid sistem şüphesiz ki klasik teşhis destek sistemlerinin bir üst zincirini oluşturacaktır. Şekil 3(1.3) 'de görüldüğü üzere klinik verisi verilen hastaların olurlu tanılarını iki veya daha fazla alt modülden alarak çalışacak olan bu hibrid sistemde her alt modülün bulgulardan teşhise giderken olurlu gördüğü tanımlar belirli bir güven derecesinde birleştirilecektir. Bu birleştirmeden sonra tanı kararları belirli sırada ve açıklamaları ile birlikte kullanıcının dikkatine sunulur. Kendi içinde bir bütün olan ve bulgulardan teşhise gidebilme yeteneğine ya da çıkarsama makinesine sahip olan her bir alt modül farklı yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Bir modül çıkarsama için Bayes Ağlarını kullanırken bir diğer modül Kural Tabanlı bir yaklaşım kullanabilir.



Şekil 3(1.3) : Bayes ve Kural Tabanlı Sistemlerden oluşan hibrid sistem örneği.

Bu tür hibrid bir sistemin alt bacağına oluşturacak Bayes Ağları ile tıbbi teşhise destek verebilecek sistem bu tez kapsamında gerçekleştirilmiştir. Teşhis yapılacak tıp alanı olarak tiroid hastalıkları seçilmiştir. Alan uzmanlarının deneyimlerinden faydalanarak tiroid hastalıkları incelenmiş, bu hastalığın farklı çeşitleri ortaya konulmuş, hastalığın bulguları ve teşhise giderken yararlanılan test ve yöntemler öğrenilmiştir.

Tiroid hastalıklarının teşhisinde fonksiyon testleri, görüntü testleri, oto-antikor testleri, İnce İğne Aspirasyon Biyopsisi gibi testlerden yararlanılmaktadır. TT3-TT4-FT3-FT4-TSH gibi fonksiyon testleri Hipertiroidi, Ötiroid ve Hipotiroid gibi hastalıkları teşhis etmede kullanılmaktadır. Bu testlerin yanı sıra muayene bulguları, yaş ve cinsiyet gibi faktörler de teşhise giderken kullanılan diğer faktörlerdir. Tüm bu edinilen tıbbi bilgiler (ayrıntıları ile bölüm-4’de verilmiştir) ışığı altında bir Bayes Ağ yapısı oluşturulmuştur. Bu ağ yapısı içerisinde teşhise giderken kullanılan faktörler düğümler, bu faktörlerin

birbirleriyle olan ilişkileri de bağlar ile ifade edilmiştir. İlgili faktörlerin başlangıç olasılıkları, hastalığı teşhis etmede yüzde olarak ne kadar etkili oldukları, alan uzmanlarına danışılarak verilmiştir. Daha sonra bu değerler kullanılarak diğer faktörlerin koşullu olasılık değerleri hesaplanmış ve bu değerlere bakılarak ilgili hastalığın teşhisine gidilmiştir.

Java Bayes ve Microsoft Bayes Network Tool gibi yazılım araçlarından faydalanılarak bir arayüz oluşturulmuş, hastalıkla ilgili bulgular bir liste ile kullanıcıya sunulmuştur. Kullanıcı bu listeden bazı bulguları var/yok olarak bazılarını da değer aralığı vererek (testlerin eşik değerlerine göre) girmektedir. Girilen değerlere göre Bayes Ağı dolaşmakta, ağ üzerinde ulaşılan her düğümün koşullu olasılıkları hesaplanmakta ve bu sayede sonuç düğümlerinde bulunan teşhislerin olasılık değerleri çıkarılmaktadır. Bu olasılık değerlerinden en yüksek olanı teşhis olarak geri döndürülmektedir.

Tezin amacı yukarıda özet olarak anlatılan Bayes Ağ yapısını gerçekleştirmek olsa da bu çalışmanın yapılmış olmasındaki temel neden bahsi geçen hibrid sistemin bir alt bacağını hazırlamaktır. Tez çalışmasında kullanılacak olan veri kümesi, hibrid modelin diğer bacağı (kural tabanlı sistem) için de (başka bir çalışma tarafından) kullanılacak bu sayede sonuçların karşılaştırılması mümkün olacaktır. Farklı alt sistemlerden oluşacak hibrid sistemin Bayes bölümünü bu tez kapsamında bitirmiş olmak gelecek çalışmalar için umut verici olacaktır.

1.3 Tez Çalışma Planı

Yapılan literatür araştırmalarının ışığında tıbbi teşhis destek sistemlerinin Bayes Ağları, Yapay sinir ağları, Bulanık Mantık, Kural Tabanı gibi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirildiği görülmüştür. Bu yöntemlerin o veya bu şekilde birbirlerine karşı bariz bir üstünlüğü yoktur. Bu nedenle sayılan yöntemleri birleştirerek teşhis koyabilen bir

sistem oluşturulması, yöntemlerin avantajlarından yararlanarak birinin aksadığı kısımda diğerinin devreye girmesini sağlayacaktır. Bu tür bir sistemin alt bacağı olarak düşünülmüş Bayes Ağı tabanlı teşhis destek sistemi bu yüksek lisans tezi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmayı gerçekleştirebilmek için öncelikle karar verme mekanizmaları, karar destek sistemlerinde kullanılan yöntemler incelenmiştir. Literatürdeki tıbbi teşhis destek sistemleri araştırılarak farklı yaklaşım ve sistemler görülmüş, genel olarak karşılaşılan sorunlar ve bunların çözümleri hakkında bilgi edinilmiştir. Buna göre karar veren tüm sistemler için öncelikle yapılması gereken iş ilgili alanın kavranmasıdır. Bu nedenle ilgili alan uzmanlarıyla görüşülmüş, üstünde çalışılan tıp alanı için yardım alınmıştır. Hasatlığın neden ve nasıl oluştuğu, seyrinin nasıl geliştiği, hangi bulguların ortaya çıktığı, hangi test ve muayenelerin yapılması gerektiği, bu test ve muayene sonuçlarının ne anlam ifade ettiği ve bizi ne tür sonuçlara götürdüğü belirlenmiştir.

İkinci adım olarak edinilen bu tıbbi bilgileri yansıtabilecek Bayes Ağı oluşturulmuş. Bunun için Olasılık kavramı, Bayes Kuramı incelenmiş, bu yaklaşımların tıp alanında hangi şekillerde kullanıldığı öğrenilmiştir. Daha sonra ilgili sistem Java Bayes ve MS Bayes Builder gibi araçların yardımı ile oluşturulmuştur.

1.4 Tez Düzeni

Bu yüksek lisans tezi içerisinde ilk olarak tezin konusu ve kapsamı verilmiştir. Konu kısmında üzerinde çalışılan problem ana hatlarıyla ortaya konmuştur.

İkinci bölümde ise tez kapsamındaki konuya genel bir bakıştan sonra, ilgili sistemin gerçekleştirilmesinde kullanılabilecek yöntemler açıklanmıştır.

Üçüncü kısım olan Bayes Ağları kısmında HIPOKRAT-I sisteminin temelini oluşturan kuram ve kavramlar işlenmiştir.

Dördüncü bölümde bu sistemin nasıl geliştirildiği, kullanılan deney kümesi ve metotlar ile elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Son olarak atıfta bulunulan çalışmaların referansları ve ekler verilmiştir.

Bölüm 2 – Tıbbi Karar Destek Sistemleri

Yapılan çalışmanın bu bölümünde tıbbi karar destek sistemleri anlatılacaktır. Bu bölüm iki ana odak halinde tasarlanmış olup ilk bölüm tıbbi karar destek sistemlerinin tarih boyunca gelişimini, bu gelişim süresince geliştirilen önemli sistemleri ve bu sistemlerde kullanılan yöntemleri açıklayacaktır. İkinci bölümde ise genel olarak tıbbi karar destek sistemlerinde kullanılan yöntemler, bu yöntemlerin nasıl ve nerede kullanıldıkları, avantaj ve dezavantajları literatür örnekleri ile bilgilerinize sunulacaktır.

2.1 Genel Bakış

Teşhis koyma kendisini zamanla hasta üzerine gösteren bir süreçtir. Bu tanımın basitliğine rağmen teşhis koyma oldukça karmaşık bir yapıdır. Verimli ve etkili bir teşhis, insanlar, hastalar ve hastalık durumları ile belirtileri hakkında oldukça kapsamlı bir birikim gerektirir. Teşhis evresinde kullanılan sınıflandırmalar, hastalığın bilimsel anlaşılabilirliğini gösterir ve zaman içerisinde hastanın şikayetleri ve hastalığı değişmese de değişiklik gösterebilir. Örneğin belirli bir teşhisi koymak için uygulanacak en önemli standart patolojik biopsi iken zamanlı bu bir kan testi olabilir. Bu durumda aynı hastalığa sahip olan ama eski teşhis yöntemleri nedeniyle bu hastalığın teşhisi konmamış olan hastalar, gelişen(değişen) tanı yöntemleriyle artık teşhis konabilir duruma gelebilirler. Hastalıklara özel teşhislerin konulabilmesi, etkili terapilerin seçimine, kesine yakın tahminlere ve detaylı açıklamalara dayanır.

Newell ve Simon 1972’de yaptıkları araştırmada [45] insanoğlunun karar verme mekanizmasını inceleyerek bizlere sunmuşlardır. Bu çalışmalarında satranç problemlerinin çözümü için uzmanların ve çaylakların çeşitli yaklaşımlarını incelemişlerdir. Buna göre uzman satranç oyuncularının oyunu mantıksal alt bileşenlere (segment) böldüğünü gözlemlemişlerdir; bunun da ötesinde uzmanlar strateji geliştirir ve

bu uzmanlar oyunu bu strateji üzerinde yoğunlaştırarak alt bileşen bağlamında 5–6 hamle ötesini görme yeteneğine sahiptirler. Sonuçta bu yöntemin çaylakların uyguladığı çeşitli oyun tiplerine göre oyun taşlarının tahta üzerindeki yerlerini ezberleme yönteminden çok daha iyi olduğunu ortaya çıkarmışlardır. Oyuncunun yeteneği ki bu yetenek tecrübe ile paraleldir, arttıkça oyunun tahta üzerindeki pozisyonlarını daha çabuk ve etkili değiştirebilir. Benzer olarak genel hastalık durumları klinik çalışanları tarafından tanınabilir. Bu tanıma hekimin tecrübesine bağlıdır. Tecrübe ile tanımlamaya en basit örnek olarak bebekleri verebiliriz. İlk olarak anne ve babasını diğer insanlardan ayırt eden bebek yaşı ilerledikçe yanında bulunan akrabalarını, bakıcılarını vs diğer insanlardan ayırt edecektir.

Tıbbi teşhislerin açıklanmasında tecrübelerin derlenmesi önemli yer tutsa da bazı durumlarda işe yaramadığı da görülür. Bazı vakalardan elde edilen veriler açık şekilde birbiriyle uyuşmayan veriler sunarlar. Bazı beklenmedik ve ender rastlanan durumlarda ise oldukça genel ve bilindik belirtiler görülebilir. Hekimlerin basit çıkarsama mekanizmaları onları yarı yolda bıraktığında veya başarısızlığa uğrattığında kullandıkları farklı yöntemleri mutlaka vardır. İlk prensipten başlayarak bilgi ve tecrübelerini detaylandırır bunları ellerindeki test, muayene vb. klinik bilgilerle birleştirir, bunlara dayanan çeşitli senaryolar üretirek eldeki vakasına en benzer olan hastalığı teşhis olarak koyar.

Günümüzde kullanılan veya geliştirilmekte olan tıbbi karar destek sistemlerinin temel çalışma prensipleri 1976 yılına kadar dayanır. 1979 yılında Shortliffe, Feigenbaum ve Buchanan'ın yaptıkları çalışmalarında [66] tıbbi karar destek sistemlerinin nedenleme (teşhisleme/çıkarsama) stratejileri yedi ana grupta incelenmiştir. Bunlar:

- 1- Kliniksel Algoritmalar
- 2- Kliniksel Veri Bankaları
- 3- Matematiksel Modeller
- 4- Örüntü Tanıma Sistemleri
- 5- Bayesian Olasılık Sistemleri
- 6- Analitik Karar Sistemleri
- 7- Uzman Sistemler

Gerçek hayatta kullanılabilir bir tıbbi karar destek sistemi kurmak için öncelikle karar desteğin verileceği tıp alanı incelenmelidir. Bu alanla ilgili geniş ve kapsamlı bir bilgi tabanı hazırlanmalıdır. Ancak bu bilgilerin çok fazla olması sistemin hesaplama karmaşıklığını artırır. Bilgilerin az ya da eksik olması da bizleri yanlış sonuca götürebilir. Bu nedenle ilgili sistem oluşturulurken kullanılacak modelin hesaplama karmaşıklığı ile bilgi tabanındaki veri yoğunluğu dengelenmelidir. Teorik olarak bir çok hastalık için belirtilerin değişimini, bunlarla ilgili belirsizlik derecelerini, bu hastalıkların işleyiş mekanizmalarını çıkartıp geliştirilecek bir sisteme entegre etmek mümkündür. Ancak bu kadar geniş alanları kapsayan sistemleri oluşturabilmek henüz o kadar kolay ve pratik değildir.

1959'da doktorlar ve klinik çalışanları üzerinde yapılan bir çalışma [38] hekimlerin teşhis problemlerini çözerken kullandıkları bilginin mükemmel olmadığını göstermiştir. Bu çalışmayı yapmış olan Lusted ve Lendley çalışmalarını takip eden yıllarda tıp alanında analitik karar verme mekanizmaları ve Bayes modelleri üzerinde sürdürmüşlerdir. Onların bu çalışmaları takip eden on yıllar boyunca örnek alınmıştır. Bu çalışmalara göre hem mantık (ikili cebir) hem de Bayes kurallarında kullanılan olasılıksal nedenleme tıbbi çıkarsama ve teşhis koyma mekanizmalarının vazgeçilmez parçalarıdır.

Tıbbi sistemler tek bir hastalığın işlendiği durumlarda da başarılı olarak kullanılırlar. Bunun nedeni tek bir hastalığın teşhisine giderken kullanılan prosedürler (muayene, bulgular, yapılan testler vb) daha azdır. Ayrıca bu prosedürlerle elde edilen bilgilerin büyük bir bölümü sadece ilgili hastalığa ait olduğundan diğer hastalıkları göz önünde bulundurmamak gerekli değildir. Teşhisin yapılacağı alan genişledikçe bazı veriler birçok hastalık için geçerli duruma gelecek bu nedenle de belirli bir teşhise varmak zorlaşacaktır. Bu sebepten tıbbi teşhis destek sistemlerinin geniş bir alanı değil, dar alanları kapsamı tercih edilmektedir. Seçilecek alanın diğer alanlarla olan kesişim kümesi ne kadar küçük olursa da sistemin başarısı o kadar artacaktır [3]. Bu sistemler genellikle kullanıcıları ile soru-cevap şeklinde etkileşimde bulunur. Bunun dezavantajı ise ilgili sorulardan birine verilecek yanlış cevabın sistemi ve dolayısıyla da kullanıcıyı yanlış

sonuç ya da sonuçlara götürebilme olasılığıdır. Bu tür bir durumda geri dönüş ancak en baştan başlayarak yapılabilir. Aslında soru cevap yöntemiyle dallanan bu tür mantıksal sistemler tıp için pek elverişli değildir. Bunun nedeni kritik soruların cevaplarının siyah ya da beyaz değil de gri ve tonlarından oluşmasıdır. Örneğin elimizdeki hastanın mide bulantısı ve buna bağlı olarak sık sık çıkarması (kusması) tasaya, ilgili hastalığa veya kullanılan ilaçların yan etkisine bağlı olabilir.

Warner ve arkadaşları Bayes Kuralı'na dayanan ilk tıbbi uygulama sistemlerinden birini gerçekleştirmişlerdir. Bayes kuralının teşhissel problemlere uygulanmasını teorik ilgiden çok bir gereklilik olarak tanımlarlar[71]. En çok kullanılan Bayesian uygulamalarında bulunan teşhis ve bulgular arasındaki bağımsız varsayımları tartışmışlar, ilgisiz bulguların elenmesi ile ilgili çeşitli yöntemler önermişlerdir. Doğuştan kalıtsal olarak aktarılan kalp hastalıklarının teşhisi ile ilgili olasılıkları kendi ellerindeki bin kadar vakaya ve alan uzmanlarının verdiği bilgilere göre çıkarmışlardır. Bu araştırmada yanlış pozitif olarak tabir edilen bilgilerin sistemi ne kadar hassas hale getirdiği vurgulanmış, kullanıcıdan kesin bilgi almanın önemi gösterilmiştir.

Bayesian modelin kullanıldığı bir diğer sistem de Gorry ve Barnett'in 1968 yılında geliştirdiği yapıdır. Bu uygulamaya Sırasal Bayesian Teşhisi (Sequential Bayesian Diagnosis) olarak adlandırılmıştır [25] . Bayesian yöntemine dayanan ve ilk tıbbi karar destek sistemlerinden olan aynı zamanda da ilk kez kullanılan ve sonrasında da kullanımı yaygınlaşan sistem Dombal ve arkadaşlarının geliştirdiği sistemdir [19] . Bu sistemler bilgisayar teknolojisinin emekleme çağında ortaya konulmuş olsa da oldukça başarılı yapılar oldukları kabul edilmelidir.

Bilgisayarların yaygınlaşması, ofislerde kullanılır hale gelmesi ve bu bilgisayarlar üzerinde program ve uygulama çalıştırmanın kolaylaşması ile tıbbi teşhis sistemleri

gelişmesini iki yöntem üzerinde hızlandırdı. Bunlar Dallanmalı Mantık (Branching Logic) ve Olasılıksal sistemlerdi. Bundan yirmi yıl sonra karar verme mekanizmasına daha derin tartışmalar eklendi. Fizikte ışık kavramına bazen bir parçacık bazen de bir dalga olarak bakmak size birtakım avantajlar kazandırabilir. Tıpkı bunun gibi tıpta da belirli nedenlemeleri bazen sınıflandırma yöntemiyle bazen de olasılık yöntemlerinden yararlanarak açıklamak gerekebilir. Bu yaklaşım tarzları günümüzde de kullanılmakta ve birinin diğeri üzerinde belirli veya güçlü bir avantaj sağladığını söylemek oldukça zordur. Daha doğru bir deyişle, sınıflamaya dayalı nedenlemelerde kullanılan ikili ve olasılıksak mantık birbirlerini tamamlayıcı olarak görülebilir.

1968’lerde G.Anthony Gorry, tıbbi karar destek sistemlerinde mantıksal ve olasılıksal yaklaşımların yanı sıra Sezgisel yöntemlerin de kullanılabileceğini belirmişti. Bu tarihte yazmış olduğu *Strategies For Computer Aided Diagnosis* adlı makalesinde [24] uzman sistemlerin tıbbi sistemlerde nasıl kullanılacağını ve gereklerini açıklamıştır. Bu tür sistemler Gorry A.’nın çalışmaları temel alınarak 1970 ve 1980’lerde geliştirilmiştir. Ayrıca hastanın birden fazla hastalığı olduğu durumların da bu tür destek sistemleri için oldukça tehlikeli olduğu gözlenmiştir. Bu tür bir durumun başarıyla idare edilebilmesi için ilgili sistemin benzer durumları öykünümlemesi gerektiğini söylemiştir. Gorry’nin gereklerini belirttiği bu sistem daha sonraki birçok tıbbi karar destek sisteminin temelini oluşturmuştur. Bunlar arasında 1970’li yıllarda Pittsburgh üniversitesinde Harry E. People, Jack D. Myers tarafından geliştirilen ve dahiliye alanında buluşsal yaklaşımla teşhis koyan INTERNIST-1; bir bayes ağ tabanlı olan ve çeşitli çıkarsama mekanizmaları ile kullanılabilen QMR; tanımlama karar destek sistemi olarak nitelendirilen ve verilen bulgunun varlığında bir hastalığın görülme sıklığını sorgulayabilen DxPlain gibi bilindik sistemler yer alır [26–55].

1973–1976 yılları arasında MYCIN’in de geliştirilmesiyle Shortliffe teşhis ve tedavi verebilen kural tabanlı bir tıbbi uzman sistem geliştirmiştir [65]. MYCIN, hastalarda bakterilerin kana karışması veya menenjitte yol açan organizmaları teşhis

edebilmek için kural tabanı üzerinde geri zincirleme yöntemi kullandı¹. Zaman içerisinde kural tabanlı sistemler tıp alanına yaygın olarak uygulanmış fakat bu uygulamalarda sistemler ilgilendikleri alanı (teşhis alanı) daraltmayı tercih etmişlerdir. Bunun başlıca nedeni binlerce kural içeren yapıların olağanüstü karmaşıklığı ve aynı karmaşıklık nedeniyle bu sistemlerin bakımının güçlüğüdür. Bu tür tek bir alana odaklı kural tabanlı tıbbi sistemlere örnek olarak 1980'lerin sonunda geliştirilen TRAUMAID'i verebiliriz. Clarke ve Weber tarafından karın ve göğüs bölgelerindeki rahatsızlıkların teşhis ve tedavisi için geliştirilmiştir [7].

Kural tabanı kullanan daha genel amaçlı bir tıbbi destek sistemi ise SEEK-1 ve ondan sonra geliştirilen SEEK-2'dir. Bu sistem Politakis ve Weiss tarafından Rutgers Üniversitesi'nde geliştirilmiştir [54].

2.1.1 Tıbbi Karar Destek Sistemleri Yaklaşımlarındaki Değişmeler

Görüldüğü gibi tıbbi bilgi sistemleri ile ilgili çalışmalar 1950'li yıllarda başlamış ve 60'ların sonuna dek sürmüştür. Bu yıllarda yapılan çalışmalar, araştırmalar ve ortaya atılan temel düşüncüler 1970'lerde ortaya çıkan çok sayıda tıbbi destek sistemlerinin temelini oluşturmuş ve bu tür sistemler için yeni yöntemler geliştirilmesinde ön ayak olmuştur. 1980-90 yıllarında ise bu yıllara kadar olan örnek çalışmaların yanında donanım platformları ve kullanıcı ara yüzlerindeki hızlı değişim, ayrıca buna ek olarak tıbbi destek sistemlerinin toplum tarafından kabul görmesi bu tür tıbbi karar destek sistemlerinin geliştirilmesi için motivasyon olmuştur.

1980'lerde mikro bilgisayarların icadı ve geliştirilmesi sistem tasarımcılarının tıbbi karar destek sistemlerini daha geniş bir kullanıcı kitlesine maliyet etkin olarak sunmasına yardım etmiştir. Yerel ve uluslararası haberleşme ağlarının kurulması, buna

¹ Geri zincirleme Prolog sisteminde de kullanılan bir çıkarsama yöntemidir. Verilen önermeyi kural tabanındaki kuralların sonuç kısmıyla eşleştirir ve sonuç kısmının doğrulanmasını o kuralın ön önermelerini doğrulayarak sağlar (ref).

dayalı olarak geliştirilen paylaşımlı ve dağıtımlı işleme teknikleri bu tür yeni fikirlerin tıbbi destek sistemlerine de uyarlanmasına yol açmıştır.

80'lere gelene kadar geliştirilen tıbbi karar destek sistemlerin büyük bir çoğunluğu "Greek Oracle"(yunanlı düşünür/filozof) tabiri ile adlandırılabilir. Bunun nedeni bu tür sistemlerin doktoru ya da uzmanı bir kenara itmesi ve ilgili tüm doğru bilgilerin sistem tarafından bilindiğinin kabul edilmesidir². Örneğin 1974 geliştirilen INTERNIST-1'e göre doktor teşhissel bir problemi çözemez. Burada doktorun veya alan uzmanının görevi sistem tarafından üretilen sorulara evet veya hayır diye cevap vermektir. Kısaca uzmanlar pasif gözlemci görevi yürütürler.

Daha sonraki yıllarda bu yaklaşım tarzı benimsenmemiş, doktorun ve alan uzmanlarının sistemle daha iç içe oldukları, ortaklaşa çalıştıkları yöntemler geliştirilmeye çalışılmıştır. 1990'larda, önceden başarıyla gerçekleştirilmiş ve kabul görmüş sistemleri daha formal hale getirmek için bir takım matematiksel yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Bulanık Mantık(Fuzzy Logic) ve Bayesian İnanç Ağları(Bayesian Belief Network) buluşsal ve basit Bayesian modellerin eksikliklerini tamamlayabilmek için ortaya konulmuştur. Sinir ağları ise tıbbi teşhis alanına tamamen yeni bir yaklaşım getirmiştir.

Bulanık mantık, eksiklikleri, hataları, tutarsızlıkları adreslemek ve ilgili durumu çözüme ulaştırmak için geliştirilmiştir[81]. Yukarıda saydığımız belirsiz, tutarsız, karasız ve benzeri karmaşık durumlar tıp alanında karşımıza sıklıkla çıkmaktadır. Bu durumu gören Adlassnig ve diğerleri bulanık mantık yöntemini tıp alanına uygulamaya çalışmışlardır. Bulanık mantığa dayalı tıbbi karar destek sistemleri hastadan elde edilen bulguları temsil şemaları halinde verir. Ayrıca konulan teşhisin güvenilirlik(kesinlik) derecesini bir ila sıfır arasındaki bir değerler kullanıcılarına sunar. Bu kesinlik değerleri hastaya ait parametrelerin alt ve üst sınırlarının takibi ile verilir. Hastaya ait parametreler çeşitli ilişkiler olarak temsil edilebilir. Bunlar:

² Oracle makinesi, bilgisayar bilimlerinde karar problemlerin çözümünde bir mutlak makine olarak kullanılır. Karar problemine çevrilen her bir hesaplamalı sorunun bir doğru cevabı (evet/hayır) vardır.

- 1- belirti-hastalık ilişkisi
- 2- belirti- sendrom ilişkisi
- 3- belirti-belirti ilişkisi
- 4- hastalık-hastalık ilişkisi

Bulanık mantık bu ilişkilere hassaslık(frekans), kanıtın kesinliği vb bulanık ölçüler ile bileşim, kesişim, ayırım, değilleme ve çıkarsama gibi basit işlemlerle yaklaşarak ilgili hastalık için kesinlik faktörlerini ortaya koyabilir.

Bayesian İnanç Ağları veya diğer adlarıyla Olasılıksal Ağlar(Probabilistic Causal Networks) veya kısaca Bayesian Ağları olasılık kuramının aksiyomları ile tutarlı olan matematiksel ifadeler kullanarak destek sistemlerinin çıkarsama yapılarındaki zorlukların üstesinden gelmeye çalışır. İnanç ağları yönlü döngüsüz çizgelerdir. Düğümleri birbirlerine bağlayan kenarlar olasılıksal değerleri içerirler. Bu değerler “Kesinlik Faktörü” olarak adlandırılabilirler. Bir düğümün kesinlik faktörü hesaplanırken o düğümün ailesinin, çocuklarının ve çocuklarının ailelerinin olasılıksal dağılımlarından yararlanılır. Linklere ağırlık değerleri uzmanlar tarafından verilebileceği gibi ilgili literatürden de yararlanılabilir. Bu tür inanç ağları ile oluşturulan çıkarsama mekanizmalarının en büyük sorunu, herhangi iki düğüm arasında birden fazla yol bulunduğu eldeki problemin NP-Tam olmasıdır [30].

Karar destek sistemlerinin çıkarsama mekanizmalarında kullanılabilecek diğer bir yöntem de Sinir Ağları’dır. Bu tür bir yapının seçilmiş belli bir alana uygulanması, girdi sayısının, çıktı sayısının, saklı katmanların, her katmandaki düğüm sayısının, düğümler arasındaki bağlantıların ve geri besleme yollarının kısaca topolojinin seçimine, örneklerin seçimine ve bu örneklemelerin ne kadar ileriye götürüleceğine bağlıdır. Bu tanım zaten içerisinde sinir ağları kullanmanın zorluğunu da vermiştir. Topolojinin seçimi, deneme kümesinin nasıl kullanılacağı, yeterli deneme yapılıp yapılmadığı başta gelen zorluklardandır. Sinir ağının karmaşıklığının artmasına koşut olarak ki bu karmaşıklıktan kasıt girdi ve çıktı düğümleri ile saklı katmanların sayısıdır, ilgili talim kümesinin boyutunun da büyütülmesi gerekir.

Tüm bu bilgiler ışığına görülmektedir ki bilgisayar destekli tıbbi teşhis sistemleri huninin dar kısmında kullanıldığında başarı oranı artmaktadır. Başka bir deyişle, ilgilenilen alan ne kadar dar ya da ne kadar özel olursa başarı o oranda artmaktadır. Bu tür dar uygulama alanlarının avantajı verilerin makul bir kesinlikte bilinmesidir. İlgi alanı biraz daha genişletildiğinde uygulanan formal modeller nedeniyle “Greek Oracle” yapısına geri dönmüş olur. Bu tür bir katılık da esneklik ve çok yönlülük gerektiren tıp alanı için uygun değildir. Oldukça karmaşık olan teşhis problemi için hem geliştirilmiş olan bilgisayar destekli sistem hem de konu hakkında sağduyusu ve bilgi birikimi olan alan uzmanı beraber çalışmalıdır.

2.2 Karar Destek Sistemlerinde Kullanılan Yöntemler

Her ne açıdan bakarsak bakalım, ister karar destek sistemleri ister uzman sistemler olsun işin içinde bir karar verme mekanizması vardır. En klasik deyim ile insanları hayvanlardan ayran özellik de düşünebilmesi, dolayısıyla da karar verebilmesidir. Bu durumda diyebiliriz ki karar verme mekanizmasına sahip olan herhangi bir sistemin esas olarak yapmaya çalıştığı iş insanın bu özelliğini taklit etmektir. Yani işin içinde insan zekâsının benzetilmesi vardır ki bu da bizi mühendislik açısından *Yapay Zeka* kavramıyla baş başa bırakır.

Bu bölümde tıbbi karar destek sistemlerine yapay zeka açısından bakılacak ve kullanılan temel yöntemler kısaca açıklanacaktır.

Tıbbi karar destek sistemlerinde temel olarak kullanılan iki adet yöntem vardır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- 1- Kural Tabanlı Sistemler
- 2- Veri Güdümlü Sistemler
 - a. Sinir Ağları

- b. Genetik Algoritmalar
- c. Bulanık Mantık
- d. Durum Esaslı Nedenleme
- e. Bayesian Ağları

Bu sistemlerden en yaygın olarak kullanılanları, Sinir Ağları-Bulanık Mantık-Kural Tabanlı Sistemler, açıklamaları ile aşağıdaki bölümlerde bilgilerinize sunulmuştur.

2.2.1 Kural Tabanlı Sistemler

Kural tabanlı bir sistem, bir araya geldiklerinde çalışan bir hafızayı oluşturacak önermeler kümesi ve bu küme üzerinde nasıl çalışılacağını belirten kurallardan yararlanılarak oluşturulur. Bu sistemler “*Eğer-ise*” yapısından biraz daha fazlasını içerseler de basit diye nitelendirilebilirler. Bu yapılar uzman sistem diye tabir edilen sistemlerin ana omurgasıdır. Uzman sistem konseptinin yapısı şudur: Bir uzman bildiklerini kurallar halinde sunar. Bu kurallar ile bir küme oluşturulur. Gerekğinde sistemin kullandığı yapay zekâ gerekli bilgileri ilgili kural tabanından çıkarır. Bunu uzmanın hafızasındaki bilgilere ulaşması olarak da düşünebiliriz.

Kural tabanlı sistemler birçok farklı alandaki problemlere adapte edilebilirler. Diğer yapay zekâ yöntemlerinde de olduğu gibi kural tabanlı yapıların da bazı kuvvetli özellikleri ve bunların yanında da birtakım dezavantajları vardır. Bu yüzden bu yöntemin hangi durumlarda kullanılabileceğini bilmek önemlidir. Kural tabanlı sistemlerin istenilen sonuçları verebilmesi için ilgili çalışma alanındaki bilgilerin “*eğer-ise*” yapısıyla ifade edilebilmeleri gerekir. Ayrıca eldeki bu kuralların sayısının makul düzeyde olması gerekir. Tersi bir durumda, elimizde çok fazla kural varsa, sistemin bakımı zorlaşırken performansı düşebilir.

Verilen bir problem için bir kural tabanlı sistem oluşturmak istendiğinde aşağıdaki basamakları gerçekleştirmek gerekir [41].

- 1- Çalışan hafızayı temsil edecek başlangıç gerçekleri. Bu gerçekler sistemin başlangıç durumunu temsil ederler.
- 2- Bir kural kümesi. Bu küme eldeki problemle ilgili herhangi bir durumu veya her durumu kolaylıkla karşılayabilmeli ancak konuyla ilgisiz bilgi ve kurallar içermemelidir. Bu durum özellikle yanlış sonuçların çıkarılmaması ve performans kriterleri için önemlidir.
- 3- Çözümün bulunup bulunamadığını belirten bir durum belirteci. Bu olmazsa kullanılan yapı nedeniyle sonsuz döngüler oluşabilir. Bu sayede sistem kendi kendini sonsuz döngüye girmeden sonlandırabilir.

2.2.1.1 Tetikleme Mekanizmaları

Kural tabanlı sistemi yukarıda bilgiler ışığında kurulduğunda elimizde doğruluğu bilinen gerçekler kümesi ve “*eğer-ise*” yapısındaki kurallar kümesi bulunur. Bu sistem eldeki tüm kuralları inceler ve çalışan hafızadaki durumların sağlanıp sağlanmadığına göre kurallar kümesinden karşıtlar kümesi gibi birtakım alt kümeler üretir. Bu alt kümelerdeki kurallardan birisi tetiklenir. Hangisinin tetikleneceği sorun çözümleme stratejisine bağlıdır. Bir kural tetiklendiği zaman “*ise*” öbeği içindeki durumlar açığa çıkartılır/gerçekleştirilir. Tetiklemenin sonucunda, tabii ki sistemin tasarım yapısına bağlı olarak, çalışan hafıza, kural kümeleri veya diğer bileşenler güncellenebilir. Kural tetiklemesi çok basit durumlarda tek bir kural ve sonucu olarak yapılabileceği gibi daha karmaşık durumlarda kural bir zincirleme reaksiyon gibi birbirlerini de tetikleyebilirler. Bu tetikleme işlemi, kural tabanı içine seçilen yol üzerinde başka tetiklenecek kural kalmayıncaya veya ilgi kuralın belirleyici özellikleri programı sonlandırmayana dek sürer.

Hangi kuralların seçileceğinin sorun çözümü stratejisine bağlı olduğu bir üst paragrafta belirtilmişti. Hangi stratejinin seçileceği ise problemin doğası tarafından veya sistemin kurucuları tarafından belirlenir. Bilinen birçok strateji vardır. En çok kullanılanları şunlardır:

İlk Uygulanabilir Tetikleme Mekanizması:

Eğer eldeki kurallar kural tabanına aktarılırken belirli bir sıra özelliği verilmişse, tetikleme bu sıra doğrultusunda yapılır. Bu en kolay stratejidir ve problem alanının çok geniş olduğu durumlarda tercih edilir [5] .

Bu yöntemin de dezavantajı sonsuz döngülerdir. Sistem çok büyük olduğunda ilk kural herhangi bir ara kural tarafından tetiklenebilir bu durumda her şey en baştan başlayacaktır ki bu durum sonsuz döngüye yol açar. Bu durumu engelleyebilmek için tetiklenmiş bir kuralların bir daha tetiklenmemesi sağlanabilir. Bu durumun sakıncası da tetiklenmiş kuralların ikinci bir kez gerektiğinde tetiklenemeyecek olmasıdır. Bu durumun çözümü de ilgili kural tabanının veya çalışan hafızanın güncellenmesidir. Güncelleme olduğunda tetiklenmiş kuralların bir takım şartları değişebilir ve bu sayede tekrar tetiklenebilir hale gelebilir.

Rassal Tetikleme:

Rasgele seçim adından da anlaşılacağı üzere kuralların tetiklenmesinde belirli bir sıra ve belirlilik gözetmez. İlgili kümeden herhangi bir kural seçilir ve tetiklenir. Bu durum “**İlk Uygulanabilir**” ‘e göre dezavantaj gibi görünse de aslında getirdiği bazı artı yönleri de vardır. Örneğin oyun programlarında kullanıcıya hep aynı kuralları uygulamak aynı hikâye akışına neden olurken bu tip bir stratejinin seçimi farklı hikâyelerin kullanıcıya sunulabilmesine olanak tanıyacaktır.

En Özel Tetikleme:

Bu yöntem ilgili kuralların şartlarına ve bu şartların sayısına bağlıdır. Örneğin tetiklenmesi için en çok koşul gerektiren kural veya en az koşulu olan kural seçilebilir. Seçim tercihinine göre bu yöntem eğer en fazla koşulu varsa bu kural problemle en alakalı olanıdır veya en alakasız olanıdır diye değerlendirilebilir.

En Son Kullanılmış Olanın Tetiklenmesi:

İlgili kurlarla bir zaman etiketi verilebilir. Bu sayede hangi kuralın ne zaman tetiklendiği sistem tarafından tutulmuş olur. Bu sayede en az bir kere kullanılmış olan kuralların sayısı artar. Bu yöntem problemin çözümü için eldeki bütün kuralların uygulanmasının gerektiği durumlarda kullanılır. Eldeki tüm kural kullanıldığından bu yönteme “Mükemmel Strateji”de denir.

En İyi Kuralın Tetiklenmesi:

Kural tabanındaki tüm kurallara bir ağırlık değeri verilir. Bu ağırlık değeri ilgili kuralın alternatifleri ile karşılaştırılabilmesine yarar. Buna göre ağırlık değeri en fazla olan kural tetiklenir.

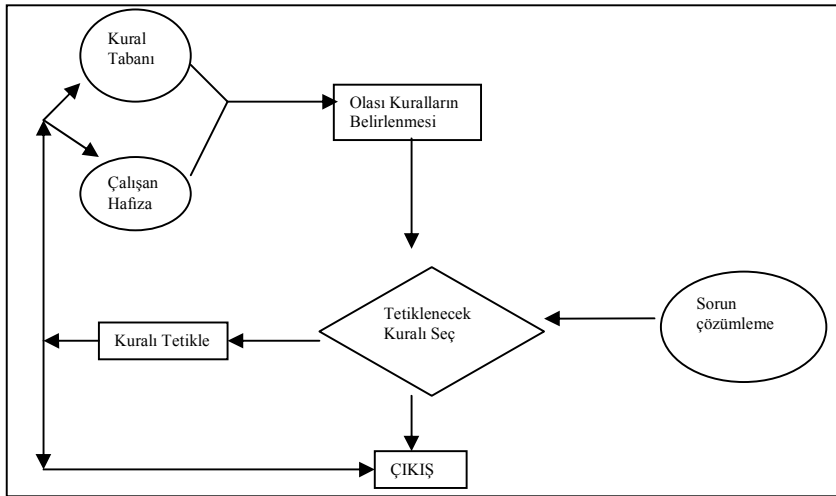
2.2.1.2 Çıkarsama Mekanizması

Yukarıdaki bölümde kuralların hangi yöntemler kullanılarak tetiklenebileceğini gösterilmiştir. Bu bölümde ise bu kurallara nasıl ulaşıldığını gösterilecektir. Kısaca kural tabanlı sistemlerin nasıl çıkarsama yaptığı bu paragrafta açıklanacaktır. Kural tabanlı

sistemler çıkarsama için başlıca iki yöntemden yararlanırlar. Bunlar **Geri-Zincirleme** ve **İleri-Zincirleme** yöntemleridir.

İleri Zincirleme:

Bu bölümün ilk başında da belirtildiği gibi kural tabanlı sistemler çok çeşitli problemlere adapte edilebilirler. Bu problemlerin bazılarında bilgiler kurallar ile temsil edilir ve yapay zekâ bu kuralları izleyerek bir sonuca ulaşmaya çalışır. Bilgi tabanında hali hazırda bulunan kurallar öncü kurallardır. Bunlar kullanılan yapay zekâ yöntemi ile yorumlanır ve yeni kurallar üretilir. Yeni üretilen kurallar birbirlerini tetikleyerek bizi bir sonuca götürür. Bu duruma verilebilecek en iyi örnek tıbbi teşhistir. Elde belirli semptomlar vardır(hafızadaki bilgiler) bunlardan yola çıkılarak bir takım prosedürler izlenir(kural tetikleme), daha sonra ilgili teşhise ulaşılır. Bu tür problemler doğaları gereği ileri zincirleme ile çözülürler. Eldeki verilerin bilinen kurallar ile karşılaştırıldığı bu tür sistemlerin genel adı **Veri-Güdümlü Sistemler**'dir.



Şekil 4(2.1) : Kural Tabanlı Sistem Yapısı (İleri Zincirleme)

Şekil 4(2.1) ileri zincirlemeyi özetlemektedir. Görüldüğü gibi Kural tabanı ve hafızadaki bilgiler kullanılarak yeni kurallar üretilir, ilgili sorun çözümleme yapısına göre hafızadaki verilerle koşullar karşılaştırılır ve bazı kurallar tetiklenir.

Kural tabanlı bir sistemde çalışan hafızasındaki bilgiler ile kuralların karşılaştırılması “*eğer*” yapısı içinde yapılır. Bir örnek verecek olursak:

Eklemeler (Hafıza)

A1: burun akması
A2: ateş= 38
A3: baş ağrısı

Tablo 2(2.1) : Eklemeler

Kural Tabanı içerisindeki kuralar:

K1: *Eğer* (burun tıkanıklığı)(VİREMİA)
İse teşhis (grip)
Çıkış
K2: *Eğer* (burun akması)
İse ekle (burun tıkanıklığı)
K3: *Eğer* (vücut ağrıları)
İse ekle (ağrılar)
K4: *Eğer* (ateş > 37.2)
İse ekle (ateş)
K5: *Eğer* (baş ağrısı)
İse ekle (ağrılar)
K6: *Eğer* (ateş) (ağrılar) (öksürük)
İse ekle (viremia)

Tablo 3(2.2) : Kural Tabanı

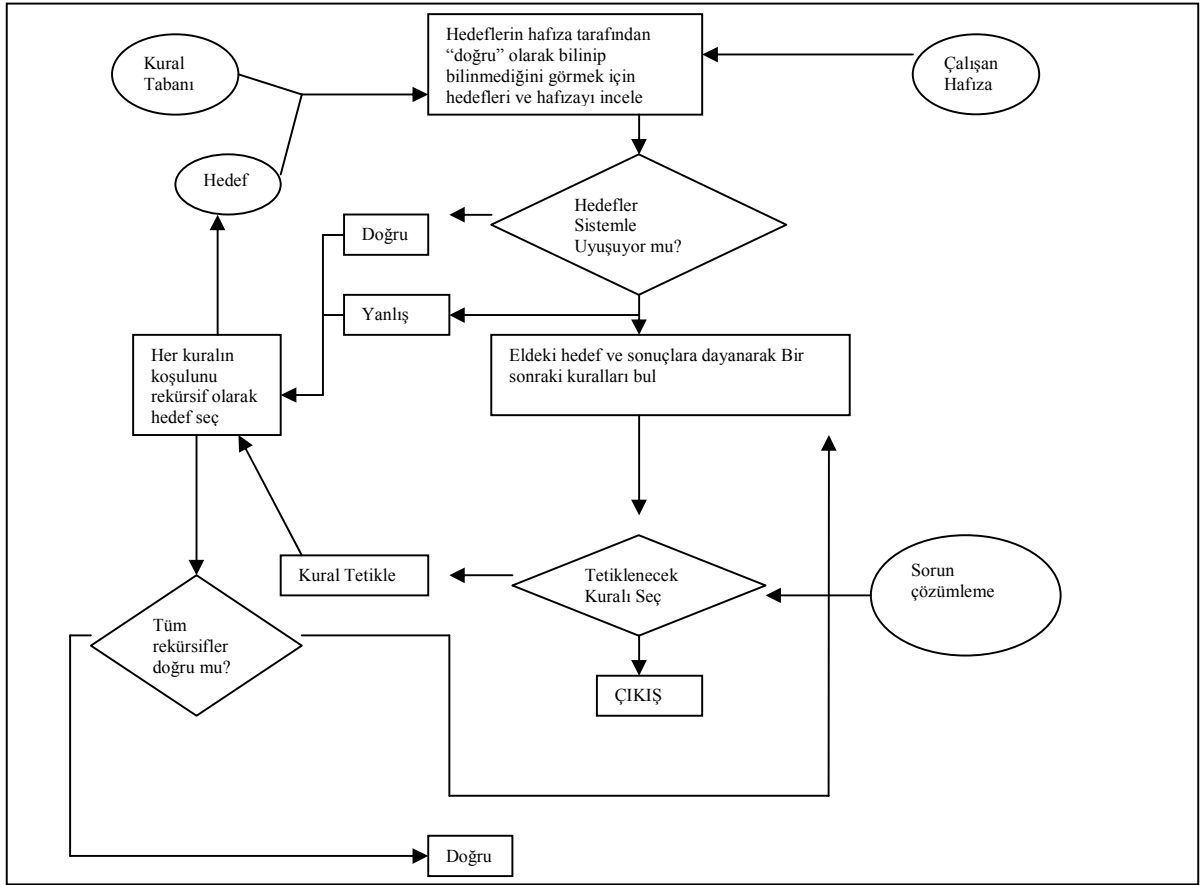
Çalışma Anı:

1. K2 tetiklenir, hafızaya burun tıkanıklığı eklenir
2. K4 tetiklenir, hafızaya ateş eklenir
3. K5 tetiklenir, hafızaya ağrılar eklenir
4. K6 tetiklenir, hafızaya viremia eklenir
5. K1 tetiklenir, ilgili verilere dayanarak grip teşhisi konulur. Sistem kapanır

Tablo 4(2.3) : Sistemin çalışmasıyla birlikte yapılan işlemler

Geri Zincirleme:

Diğer yaklaşımlarda hedef belirlidir ve yapay zekâ bu hedefe ulaşmak için çeşitli yöntemler kullanır. Örneğin belirli bir hastalık salgını varsa bu tür bir yapay zekâ bir bireyin salgın olan hastalığa yakalandığını varsayabilir; bundan sonra eldeki bilgilere dayanarak yaptığı teşhisin doğru olup olmadığını belirlemeye çalışır [4] . İşte geri zincirleme yöntemi kullanan yani bir bakıma “Hedef GÜdümlü” olarak adlandırılabilen sistemler bu mantık çerçevesinde çalışır. Bunu yapabilmek sistem kuralının “*ise*” kısmında bulunan aksiyonun verilen hedefle uyup uyuşmadığına bakar. Başka bir deyişle istenen sonucu üretebilecek sonuçları arar. Bu kural bulunduğunda tetiklenir. Sonrasında bu kuralın tüm koşulları yeni hedefler olarak algılanır ve bu yeni hedefleri üretecek kurallar aranır. Bu işlemler tüm hedefler sağlanana kadar veya koşullara uyan bir kural kalmayana kadar sürdürülür. Geri zincirleme akışı Şekil 5(2.2) ‘de verilmiştir.



Şekil 5(2.2): Geri Zincirleme Mekanizması

2.2.1.3 Hangi Yöntemi Kullanmalıyız

İleri veya geri zincirleme yöntemlerinden hangisinin kullanılması gerektiği elimizdeki probleme bağlı olarak değişir. Kural tabanı içindeki kurallar ve şartların karşılaştırılması hangi zincirleme yönteminin tercih edilmesi gerektiğini bize verebilir. Eğer ortalama bir kuralın sonuçlarından daha çok şartları/koşulları varsa bu durumda tipik bir hipotez veya hedef/amaç bizi daha fazla soruya/koşula götürebilir. Bu tür durumlarda ileri zincirleme yöntemi kullanmak daha iyi olabilir. Tam tersi durumda yani

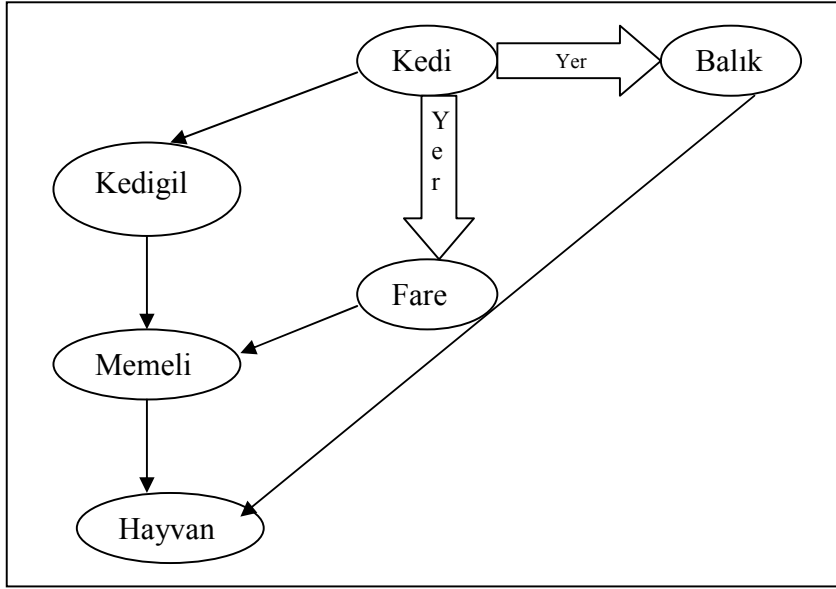
kural tabanındaki ortalama bir kuralın koşullarından daha çok sonuçları varsa, her bilinen bilgi yeni bilgiler doğuruyor ise, geri zincirleme yöntemi ideal yöntem olarak kullanılabilir. Eğer ortalama kuralın sonuçları ve koşulları arasında bir baskınlık yoksa hangi yöntemin kullanılacağı çalışan hafızadaki bilinen gerçeklere bakılarak bulunabilir. Eğer problemle alakalı gerçek bilgiler hali hazırda biliniyorsa ve sistemin amacı bu bilgilere dayanan bir sonuç üretmek ise yöntem olarak ileri zincirleme seçilmelidir. Eğer elimizdeki problemle ilgili bilinen gerçekler az sayıda ise ve sistemin amacı eldeki olabilir sonuçlardan birinin doğru olup olmadığını bulmaksa geri zincirleme yöntemi kullanılmalıdır [4].

2.2.1.4 Çıkarsama Ağaçları İle Kural Tabanlı Sistem Oluşturulması

Kural tabanlı sistemlerde çıkarsama farklı yöntemlerle yapılabilir. Bu yöntemler ağaç ya da ağ yapıları kullanırlar. Aşağıdaki kısımda bu yöntemler incelenmiştir.

Semantik Ağlar

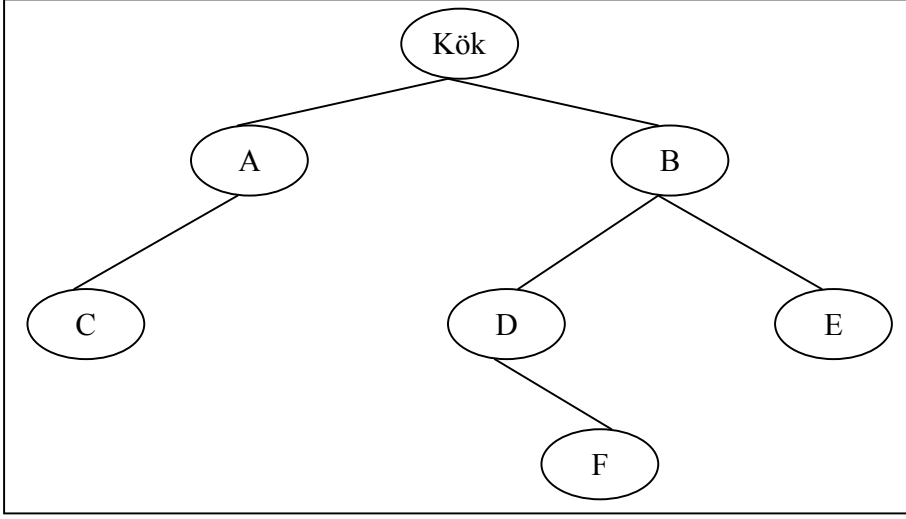
Semantik ağlar, çıkarsama ağaçlarının dayandıkları en basit yapılardır. Bu ağı basitçe açıklamak gerekirse objeleri temsil eden düğümler ve bunlar arasındaki ilişkileri gösteren bağlardan oluşan bir yapıdır. Örneğın şekil 6(2.3) küçük bir besin zinciri ve bu zincirdeki hayvanların tür ilişkileri vermektedir. Verilen semantik ağa bakarak kedi'nin balık ve fare ile beslendiğı ve kedigillerden olduğı çıkarsanır. Benzer şekilde fare de bir memelidir.



Şekil 6(2.3): Semantik Ağ yapısı. İnce oklar ilgili düğüm için aitlik belirtmektedir.

Semantik Ağaçlar

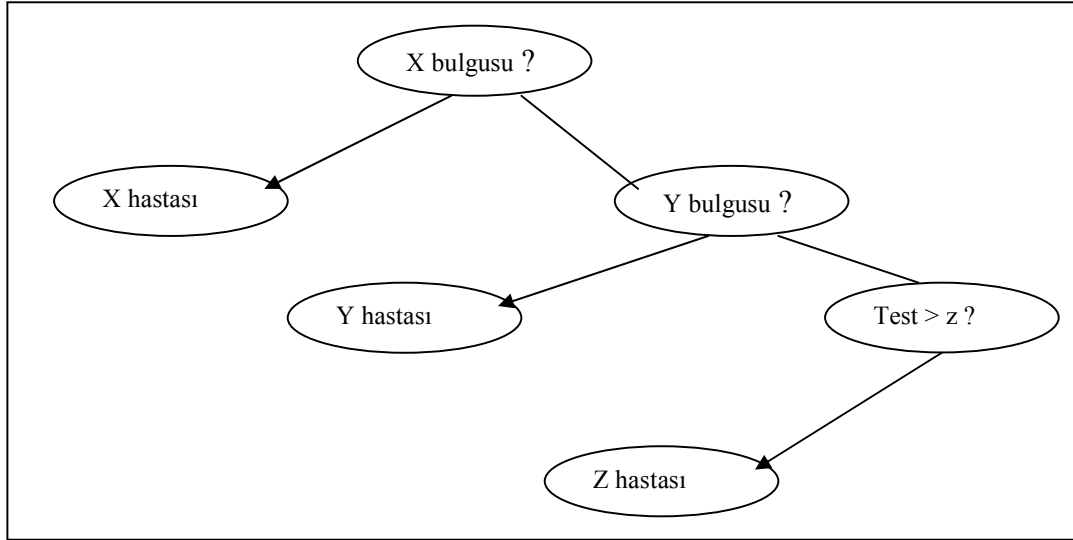
Kural tabanlı bir sistemi kurmak için bir sonraki yapı daha karmaşık olan semantik ağaçlardır. Bu yapıda kök düğüm hariç her düğümün bağlı olduğu bir aile/ata düğümü vardır. Tek bir ata düğümün bir veya daha fazla çocuk düğümü olabilir. Fakat çocuk düğümlerin birden fazla atası olamaz. Çocuğu olmayan düğümlere yaprak düğümler denir. Ağ ile ağaç arasındaki en büyük fark ağlarda döngülerin olabilmesi fakat ağaçlarda olmamasıdır.



Şekil 7(2.4): Semantik Ağaçlar

Karar Ağaçları

Semantik ağaçların bir üst grubu karar ağaçlarıdır. Karar ağacının her düğümü olası çözümler kümesine bağlıdır. Yaprak olmayan her düğüm yani her ata düğüm, olası cevapları test sonuçlarının tüm olasılıklarını temsil eden alt kümlere bölen bir test ile ilişkilendirilmiştir. Bu tür yapılarda koşullar ya da testler ata düğümlerdir. Yaprak düğümlerde ise sonuçlar bulunur.



Şekil 8 (2.5): Karar ağaçları (Oklar sorgunun *evet* olduğu durumları, yönsüz bağlar ise sorgunun *hayır* olduğu durumları göstermektedir.)

Yukarıdaki şekil 8(2.5) x , y ve z hastalıklarını birtakım test sonuçlarına göre teşhis eden bir yapıyı özetlemektedir. X bulgusu pozitif çıkan hasta x hastasıdır. Eğer bu bulgu negatif ise hasta y veya z hastası olabilir. Yapılacak y testi pozitif ise hasta y hastasıdır. Eğer y bulgusu negatif ise ve z testi belirli bir eşik değerinin üzerinde sonuç vermiş ise hastanın z hastası olduğu çıkarımı yapılır.

Kimlik Ağaçları

Kimlik ağaçları kural tabanlı sistemlerde oldukça yaygın olarak kullanıldığından bu bölümde diğer yöntemlere göre daha ayrıntılı şekilde işlenecektir.

Ağaçtaki her olası bölüm eldeki veriler ile ağacın eğitilmesinden oluşturulur. Bu ağaçların amacı örnek bir veri kümesi alıp bu verileri sınıflandırmak ve bir takım testler kullanarak bilinmeyen objeleri benzerlik özelliklerinden de yararlanılarak sınıflandırmaktır.

Kimlik ağaçlarını kullanarak kural tabanlı bir sistem oluşturmak için öncelikle ağaç yapısı kurulmalı sonrasında da bu ağaç eğitilmelidir. Bunu yapabilmek için eldeki veriler birtakım benzerlik özelliklerine göre sınıflandırılmalıdır. Ağacın yapraklarındaki

örnek kümeleri birer sınıf belirtirler. Ağaç **Occam's Razor yöntemi**ne dayanarak kurulur. Bu yöntemde eğitici kümeyle(örneklerle) alakalı en küçük/basit ağaç bulunur En küçük ağacı bulabilmek için eldeki veri kümesinden çıkarılabilecek her olası ağaç bulunur, sonrasında bunlar incelenir ve en küçüğü seçilir. Ancak bu yöntem oldukça pahalı ve müsriftir. En küçük ağacın bulunması/oluşturulması için daha uygun bir yöntem şudur:

- 1- Her düğümde dalların aynı sınıflandırmaya yakın olduğu test seçilir.
- 2- En az düzensizliğin olduğu alt kümelere bölünür.
- 3- Eldeki testlerden hangisinin düzensizliği minimize ettiği bulunur.
- 4- Tüm yapraklardaki kümeler homojen veya homojene yakın olana kadar
 - a- Homojen olmayan bir yaprak düğüm seçilir
 - b- Düzensizliği azaltmak için bu küme iki veya daha fazla homojen alt kümeye bölünür

Tanımlama ağaçlarının amacı homojen alt kümeler oluşturmak olduğundan her testin nasıl homojen olmayan alt kümeler ürettiğini hesaplanır. Düzensizliği en aza indiren test örnekleri(samples) en açık kategorilere bölecek olan testtir. Burada bahsettiğimiz düzensizlik ise şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Ortalama Düzensizlik} = \sum_b (n_b/n_t) * \sum_c (n_{b_c}/n_b) \log_2(n_{b_c}/n_b)$$

n_b : bir **b** dalındaki örneklerin sayısı

n_t : Tüm dallardaki örneklerin toplam sayısı

n_{b_c} : **c** sınıfına ait bir **b** dalındaki toplam örneklerin sayısı

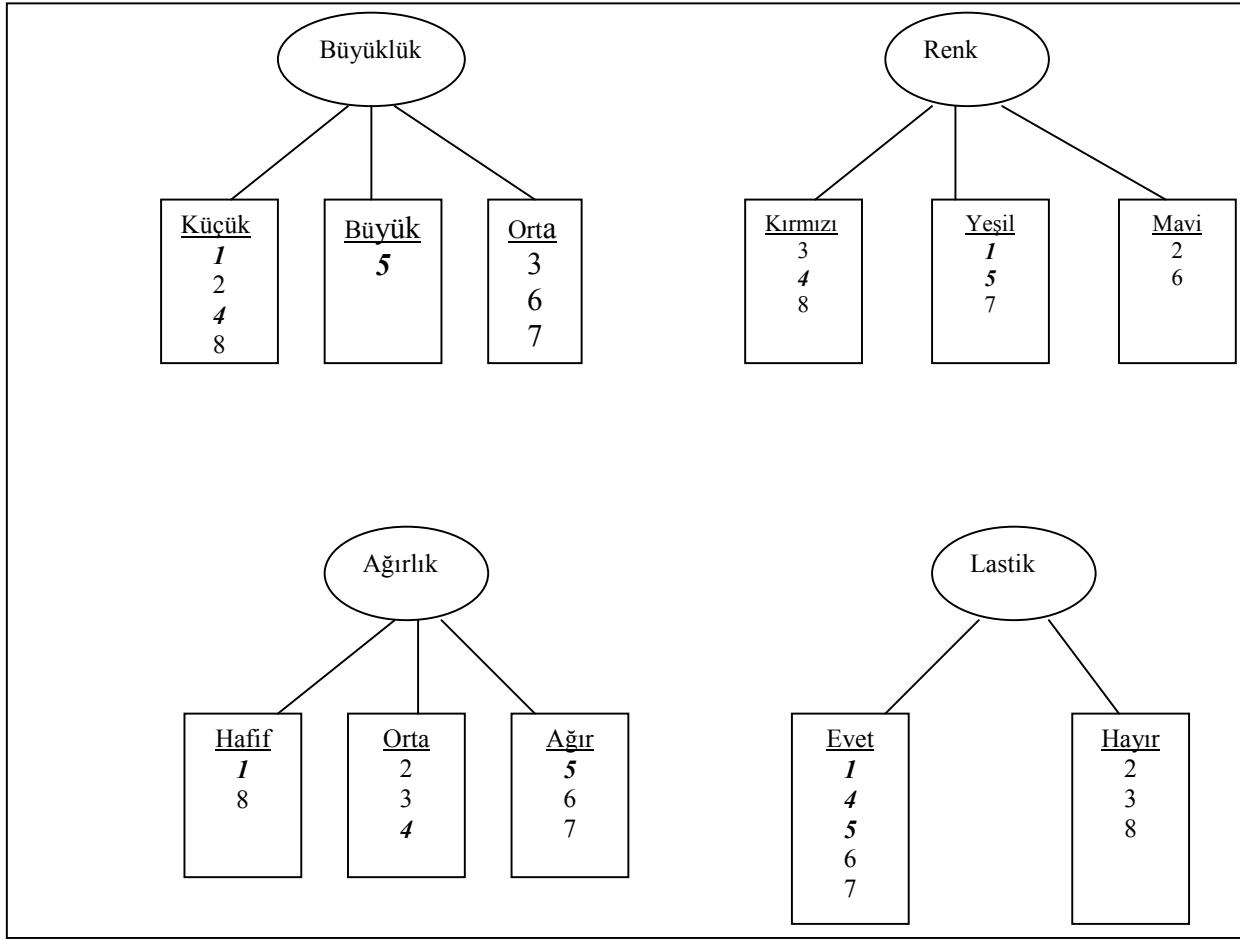
Tüm bu bilgileri daha da açık kılabilmek için bir örnek verecek olursak:

Tanımlama ağacı aşağıdaki tablo 5(2.4) 'e göre eğitilecek olsun

Top	Büyüklik	Renk	Ağırlık	Lastik	Sonuç(zıplama)
1	Küçük	Yeşil	Hafif	Evet	Evet
2	Küçük	Mavi	Orta	Hayır	Hayır
3	Orta	Kırmızı	Orta	Hayır	Hayır
4	Küçük	Kırmızı	Orta	Evet	Evet
5	Büyük	Yeşil	Ağır	Evet	Evet
6	Orta	Mavi	Ağır	Evet	Hayır
7	Orta	Yeşil	Ağır	Eve	Hayır
8	Küçük	Kırmızı	Hafif	Hayır	Hayır

Tablo 5(2.4): Tanımlama ağacı için eğitici veri tablosu. Eldeki topların büyüklük, ağırlık, renk, yapı maddesi ve zıplama koşulları gösterilmiştir.

Bu tablodan küçük bir tanımlama ağacı çıkarmak için, Şekil 9(2.6)'dakine gibi her sütun için ilgili kategorideki grupları temel alan ağaçlar oluşturulur. Bunu yaparken ilk ve son sütun saklanır. Bunun nedeni ilkinin belirtici, sonuncusunun da sonuç olmasıdır.



Şekil 9 (2.6): Ağacın ilk adımı. İtalik rakamlar zıplayan top numaralarını göstermektedir.

Buradan düzensizlik katsayılarını (d_z) hesaplarsak

$$\begin{aligned}
 d_z \text{ Büyüklük} &= \sum_b (n_b / n_t) * \sum_c (n_{bc} / n_b) \log_2 (n_{bc} / n_b) \\
 &= (4/8) * ((- (2/4) \log_2 (2/4)) + (- (2/4) \log_2 (2/4))) + \\
 &\quad ((3/8) * 0) \\
 &= 0.5
 \end{aligned}$$

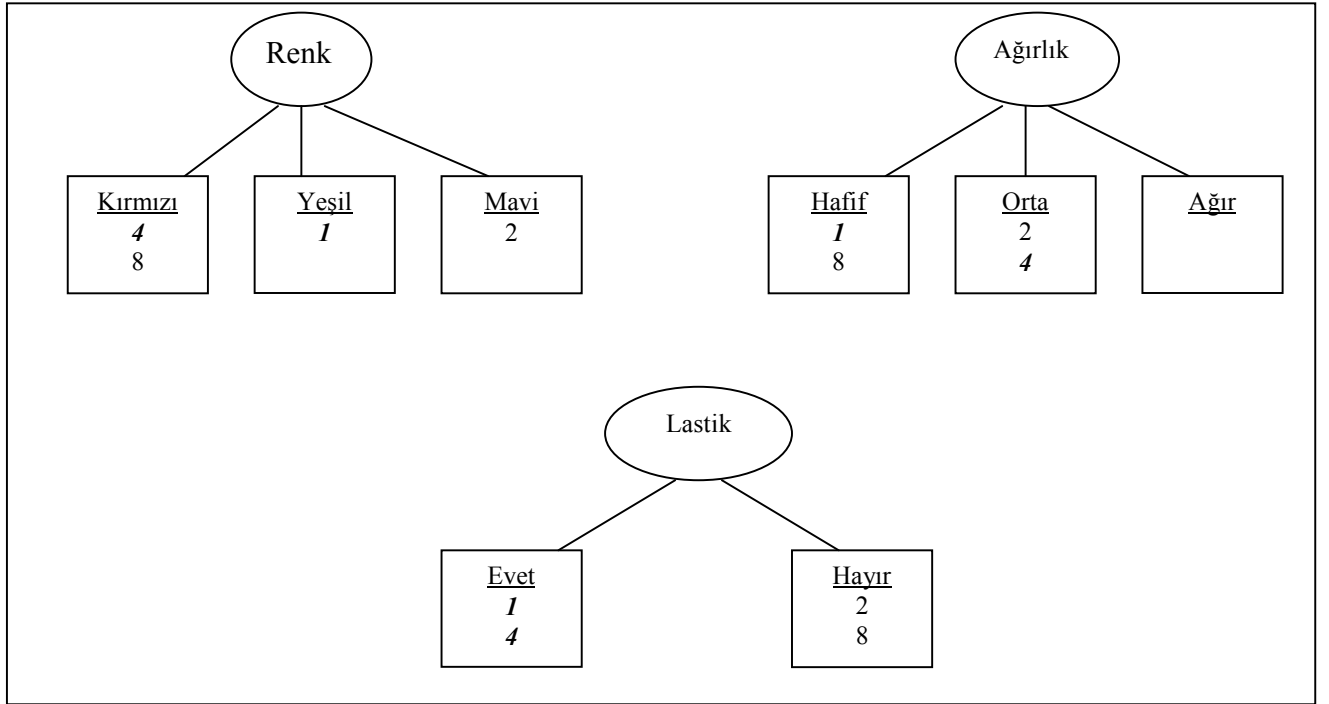
Aynı formül uygulanıp diğer düzensizlik katsayıları hesaplandığında:

$$d_z \text{ Renk} = 0.6$$

$$d_z \text{ Ağrlık} = 0.94$$

$$d_z \text{ Lastik} = 0.61$$

sonuçları elde edilir. Görüldüğü gibi büyüklük özelliğinin düzensizlik katsayısı en az olduğundan bu özellik alınır ve homojen olmayan diğer kümeler en küçük test yöntemine göre ayrıştırılırlar. Bu işlemlerden sonra elimizdeki yapı Şekil 10(2.7) 'deki gibi olur.



Şekil 10 (2.7): İkinci adım ağaçlar.

Bu durumda düzensizlik katsayıları hesaplandığında:

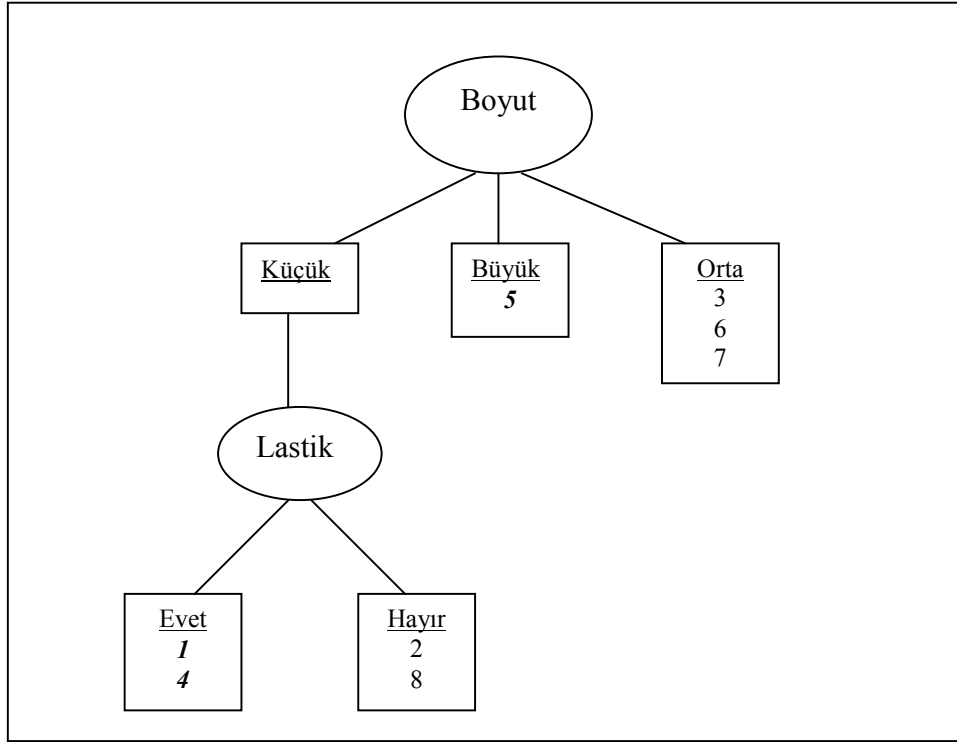
$$dz \text{ Renk} = 0.5$$

$$dz \text{ Ağrlık} = 1.0$$

$$dz \text{ Lastik} = 0.0$$

bulunur.

Lastik özelliğine uygulanan test düzensizlik katsayısını 0 yaptığından mükemmel alt küme olarak nitelendirilir. Buna göre ilgili verileri temsil eden en küçük tanımlama ağacı Şekil 11(2.8) 'deki gibi olur:



Şekil 11(2.8): Sonuç tanımlama ağacı. Eldeki verileri temsil edebilen en küçük ağaç yapısıdır.

Tanımlama ağacı başarılı bir şekilde oluşturulduktan sonra kural kümesi yaratmak için kullanılabilir. Bu kural tabanı tanımlama ağacındaki gerekli sınıflandırmaları gerçekleştirebilmek için kullanılır. Bu, tanımlama ağacında kökten yapraklara olan tüm yollar için bir adet kural tanımlanarak gerçekleştirilir.

Bunu yukarıda elde edilen tanımlama ağacı üzerinde gösterecek olursak:
Kökten yapraklara doğru gidilirken her sonuç test edilir, ziyaret edilmiş olan her düğüm ilgili kural için bir koşul oluşturur. Öncelikle sağ dallanmayı takip edecek olursak;

En sağ dal bizi boyut özelliklerinden **orta**’ya götürür. Bu dalın elemanları 3–6–7 zıplama özelliği olmayan toplardır.(ağağtaki italik yazılı elemanlar zıplama özelliği olan elemanlardır.) Bu bilgilerden

K1: **Eğer** (Boyut = orta)

İse (Top zıplamaz)

kuralı çıkartılır.

İkinci olarak orta dallanmayı inceleyelim. Bu dallanma bize boyut bilgisi olarak **büyük**, sonuç yani zıplama özelliği olarak da zıplayan bir elemanı verir. Bu durumda ortadaki dallanmadan çıkarabileceğimiz sonuç:

K2: **Eğer** (Boyut = büyük)

İse (Top Zıplar)

Son olarak en sol dallanmayı seçecek olursak bu dallanma bizi bir diğer kara düğümüne götürecektir. Bu düğüm bize topun yapıldığı madde ile ilgili bir özellik sunar. Bu durumda da kuralımız iki parçalı olur. Yani topun büyüklük bilgisi küçük olarak verilmiş ise ilgili sonuç (zıplayıp zıplamaması)topun yapıldığı maddeye bağlıdır. Eğer top lastik ise zıplar, lastik değilse zıplamaz sonuçları ilgili tanımlama ağacından çıkarılır. Böylelikle ağacın en sol dallanması bize şu kuralları verir:

K3: **Eğer** (Boyut = küçük)

(Lastik = evet)

İse (Top Zıplar)

K4: **Eğer** (Boyut = küçük)

(Lastik = hayır)

İse (Top Zıplamaz)

2.2.1.5 Önemli Koşulların Kaldırılması

Eldeki kuralın koşullarından biri veya bazıları istediğimiz sonuçla ilgisi olmayan veya bu sonuca etki etmeyecek koşullar ise bunları görmezden gelebiliriz. Bu sayede kurallar basite indirgenirken sistemin etkililiği de arttırılmış olur. Bunu yapabilmek için sonucun ilgili koşuldan bağımsız olduğu ispatlanmalıdır.

A ve B adındaki iki olayın/durumun bağımsız olabilmesi için B olayının olabilirliğinin A olayının olabilirliğine etki etmemesi gerekir. Bayes kuralından yararlanılarak bu durumu şu şekilde açıklanabilir:

$$P(B|A) = P(B)$$

Bu formül bize A durumu oluştuğunda B 'nin olabileceği olasılığının, B 'nin tek başına oluşabileceği olasılığına eşit olduğunu göstermektedir. Eğer bu önerme doğru ise B olayının olup olmamasına A 'nın hiçbir katkısı yoktur. Bu durumda eğer A bir koşul B 'de sonuç olsaydı, A koşulu ilgili kuraldan bu kuralın yapısı ve sonuçları bozulmadan çıkarılabilirdi.

Örnek olarak yukarıda ürettiğimiz kuralları ele alalım.

K3: **Eğer** (Boyut = küçük)

(Lastik = evet)

İse (Top Zıplar)

K4: **Eğer** (Boyut = küçük)

(Lastik = hayır)

İse (Top Zıplamaz)

Bu iki kuralında iki adet koşulu vardır. Bunlardan **K3**'ü ele alacak olursak, ilgili olaylardan birisi, buna **A** olayı diyelim, boyutun küçük olması diğeri, buna da **B** olayı diyelim, sonucumuz olan topun zıplama durumudur. Bayes kuralını kullanarak:

$$\begin{aligned} P(B|A) &= (3 \text{ adet lastik olmayan, zıplamayan top} / 8 \text{ adet toplam top}) \\ &= (3/8) = 0.375 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(B) &= (3 \text{ adet lastik olmayan top} / 8 \text{ adet toplam top}) \\ &= (3/8) = 0.375 \end{aligned}$$

görülyor ki B olayı **A**' dan bağımsızdır. Bu durumda ilgi kuralın ilk koşulunu kuraldan çıkarabiliriz. Bu durumu mantıksal bir yaklaşımla şu şekilde de değerlendirilebilir. Eğer ilk koşul (boyutun küçük olması) kuraldan çıkarılırsa, **K3** kuralı lastikten yapılmamış her top için tetiklenecekti. Tablo(2.2.1.5)dan yararlanarak 2, 3 ve 8 numaralı topların lastikten yapılmış olduğunu biliyoruz. Bu topların üçü de zıplamadığı için boyutun önemli olmadığı ve kuralın koşulundan çıkarılabileceği söylenebilir. Bu durumda

K3: Eğer (Lastik = Hayır)
İse (Top Zıplamaz)

kuralı oluşturulabilir.

Diğeri koşulu inceleyecek olursak (A (Lastik=Hayır) durumu için olasılık, B (zıplama duurma)) :

$$\begin{aligned} P(B|A) &= (2 \text{ adet zıplamayan küçük top} / 8 \text{ adet toplam top}) \\ &= (2/8) = 0.25 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P(B) &= (4 \text{ adet küçük top} / 8 \text{ adet toplam top}) \\ &= (4/8) = 0.5 \end{aligned}$$

$$P(B) \neq P(A|B)$$

bu durumda A ve B olayları birbirlerinden bağımsız değildirler. Diğer bir deyişle topun zıplaması yapıldığı maddenin lastik olup olmadığına bağlıdır. Sonuç olarak kuralın bu koşulu kuraldan çıkarılamaz.

K4: **Eğer** (Boyut = küçük)

(Lastik = hayır)

İse (Top Zıplamaz)

kuralını ele alacak olursak. ilgili olaylardan birisi, buna A olayı diyelim, boyutun küçük olması diğeri, buna da B olayı diyelim, sonucumuz olan topun zıplama durumudur. Bayes kuralını kullanarak:

$$P(B|A) = (2 \text{ adet küçük zıplayan top} / 8 \text{ adet toplam top})$$

$$= (2/8) = 0.25$$

$$P(B) = (4 \text{ adet küçük top} / 8 \text{ adet toplam top})$$

$$= (4/8) = 0.5$$

$$P(B) \neq P(A|B)$$

bu durumda A ve B olayları birbirlerinden bağımsız değildirler.

Diğer durumu inceleyecek olursak (A (Lastik=Evet), B (zıplayan top))

$$P(B|A) = (3 \text{ adet lastik zıplayan top} / 8 \text{ adet toplam top})$$

$$= (3/8) = 0.375$$

$$P(B) = (5 \text{ adet lastik top} / 8 \text{ adet toplam top})$$

$$= (5/8) = 0.625$$

$$P(B) \neq P(A|B)$$

bu durumda A ve B olayları birbirlerinden bağımsız değildirler.

Görüldüğü gibi her iki açıdan da incelendiğinde **K4**'ün kuralları birbirlerine bağımlıdır. Bu durumda **K4**'de koşul sadeleştirilmesi yapılamaz ve bu kural olduğu gibi kural tabanına aktarılır.

2.2.1.6 Önemsiz Kuralların Kaldırılması

Kural tabanı içerisinde bulunan bazı kurallar aynı sonuçları tetikleyebilir. Bu tür bir durumda olay içerisinde eğer başka bir kural tetiklemesi yoksa bu aynı sonucu üreten farklı kurallar yerine tek bir kural tanımlanabilir [57].

Eğer (başka bir kural tetiklemiyor)

İse (ortak bir kuralı işlet)

Eğer bu tür kuralların sayısı bir grup oluşturabilecek kadar çok ise sadece tek bir grup kural tabanından çıkarılır. Hangisinin çıkarılacağına karar verebilmek için iki yaklaşım kullanılır:

- 1- Graplardan en büyüğü değiştirilir. Aynı sonuç kümesinin paylaştan A grubunun altı kuralı, B grubunun beş kuralı var ise A grubu kural tabanından çıkarılabilir. Böylece kural tabanı daha fazla sayıda kuraldan arınarak basite indirgenmiş olur.
- 2- Ortalama koşul sayısı en fazla olan grup çıkarılır. Bu durumda kural sayısı değişmese de koşulların azalması bu kuralları daha basit hale getirecektir.

Örneğin şu kurallar verilmiş olsun:

- Eğer (x) ve (y) ve (z) İse (A)
- Eğer (m) ve (n) ve (o) İse (A)

VS:

- Eğer (p) İse (Z)
- Eğer (q) İse (Z)

İlk kural kümesi

Eğer (başka bir kural tetiklemiyor)

İse (A)

ile değiştirilebilir.

Daha açık bir örnek vermek için tablo 5(2.4)' de özellikleri verilen top örneğine geri dönelim. İlgili tanımlama ağacını kullanarak aşağıdaki basitleştirilmiş kurallar önceden elde edilmişti.

K1: Eğer (Boyut = büyük)

İse (Top Zıplamaz)

K2: Eğer (Boyut = orta)

İse (Top Zıplar)

K3: Eğer (Plastik = evet)

İse (Top Zıplamaz)

K4: Eğer (Boyut = küçük)

(Plastik = evet)

İse (Top Zıplar)

Eldeki bu kurallar içerisinde aynı sonucu üretilen üretilmediklerine bakılarak iki grup elde edilebilir. İlki ***K1*** ve ***K3*** kurallarını içeren grup, ikincisi de ***K2*** ve ***K4*** kurallarını içeren gruptur. Bu kümelerden herhangi birini eleyip yerine

K5: Eğer (başka bir kural tetiklemiyor)

İse (ortak bir kuralı işlet)

Kuralı konulabilir. İkinci kümede daha fazla koşul bulunduğundan bu kümeyi eleyip **K5** ile yer değiştirirsek:

K5: Eğer (başka bir kural tetiklemiyor)

İse (Top Zıplamaz)

kuralı elde edilmiş olur. Bu durumda kural tabanının son hali aşağıdaki şekilde olur.

K1: Eğer (Boyut = büyük)

İse (Top Zıplamaz)

K2: Eğer (Lastik = hayır)

İse (Top Zıplamaz)

K3: Eğer (başka bir kural tetiklemiyor)

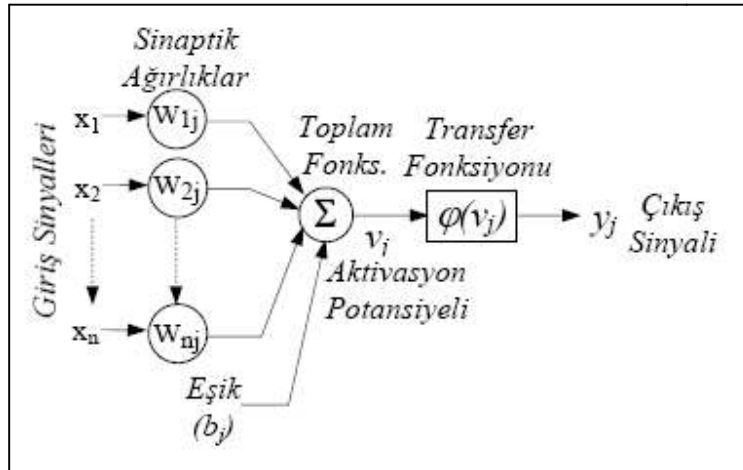
İse (Top Zıplamaz)

2.2.2 Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları (YSA), insan beynindeki nöronların meydana getirdiği ve öğrenme işlemini gerçekleştiren paralel ağ yapısını taklit ederek, bu sisteme benzeyen zeki programlar tasarlamayı hedefleyen bir yöntemdir. Bu yapısıyla hafıza ve hafızadaki veriyi işleme temeline dayanan Von Neumann yapısından farklılaşır. YSA' lar insan beyninin paralel yapısı üzerine kurulmuştur. YSA yöntemi, modelleme, benzetim, öğrenme, tanımlama ve tahmin yapma gibi bir çok uygulama alanında başarı ile kullanılmaktadır.

Bir nöron (sinir hücresi), *dendrit* ve *akson* ismi verilen iki ana kısımdan oluşur. Dendrit, bir nöron ile diğerinin bağlantısını gerçekleştiren kısımdır ve farklı nöronların dendritlerini birbirlerine bağlayan bölgelere *sinaps* denir. Nöronlar arası elektriksel ve kimyasal sinyal iletimi, bu bağlantı bölgelerinden sinyal geçişleri ile gerçekleşir. Aksonlar ise, dal şeklindeki uzun geçiş yapılarıdır. İşleyiş olarak, bir nöronun sinapslar üzerinden aldığı toplam ileti, bir eşik değerinden yüksek ise, nöron, bu toplam iletiyi akson boyunca diğer ucuna iletir ve buradaki diğer sinaps yardımı ile başka bir nörona aktarır. Sinapslar, arttırıcı veya azaltıcı etkili olabilir. Arttırıcı etkili sinapslar, diğer nörondan alınan toplam iletileri büyütür; diğer yandan, azaltıcı etkili sinapslar gelen iletiler toplamını küçültür. Özetle, bir nöron, bir dizi giriş sinyali alır ve bu sinyalleri işleyerek (arttırarak veya azaltarak) çıkış sinyali olarak diğer bir nörona iletir. Beyin içerisinde, birbirine *paralel olarak* bağlı ve yukarıda anlatılan mekanizmaya benzer bir system ile çalışan yaklaşık 100 milyar nöron bulunmaktadır [42].

Sinirsel yapı temel alınarak oluşturulan yapay nöronda, dendrit yerine toplama fonksiyonu, hücre gövdesi yerine transfer fonksiyonu ve sinapslar yerine ağırlıklar bulunur. Kısaca, *yapay bir nöron*, ağırlıklar, toplama fonksiyonu ve transfer fonksiyonundan oluşmaktadır. Aşağıdaki Şekil 12(2.9) yapay bir nöron yapısı verilmektedir



Şekil 12(2.9): Basit Yapay Nöron

Yapay nöron, diğer nöronlardan gelen iletileri (ağırlıklar ile giriş sinyallerinin çarpımı) toplar, bir eşik değeri ile karşılaştırarak aktivasyon potansiyelini hesaplar ve bu potansiyeli transfer fonksiyonundan geçirerek çıkış sinyali üretir. Bunun fonksiyonel ifadesi ise aşağıdaki gibidir:

$$Y_k = F(V_j) = F\left(\sum_{i=1}^n X_i * W_{ij} - B_j\right)$$

Burada, x_i giriş sinyalini, w_{ij} sinaptik ağırlığı, b_j kutuplama değerini (eşik değerinin negatif işaretlisi), v_j aktivasyon potansiyelini, y_k çıkış sinyalini, n önceki katmandaki (giriş sinyali gönderen) nöron sayısını ve k ise işlem yapılan nöronun kaçınıcı nöron olduğunu belirtmektedir. Sinaptik ağırlıkların pozitif olması arttırıcı etkiyi, negatif olması ise azaltıcı etkiyi ifade eder. Eşik değeri ise, toplanan iletilerin bir seviye ile karşılaştırılmasını ve eğer bu seviyeden büyük ise pozitif, küçük ise negatif aktivasyon potansiyeli gönderilmesini sağlamaktadır. Son olarak, transfer (aktivasyon) fonksiyonu, aktivasyon potansiyelini normalize etmekte ve istenilen aralığa ([0,1] veya [-1,1]) göre ölçeklemektedir. Diğer bir deyişle, transfer fonksiyonu, nöronun çıkış genliğini istenilen değerler arasında sınırlar ve nöronların oluşturduğu sinir ağının yakınsamasını sağlar. Yaygın olarak, *doğrusal*, *basamak*, *sigmoid* ve *hiperbolik tanjant* transfer fonksiyonları kullanılmaktadır [1] .

Yapay sinir ağları da yukarıda anlatılan yapıdaki yapay nöronların sayıca çok miktarda bir araya gelerek oluşturdukları ağ yapısıdır.

Öğrenilmesi istenilen hedef değerlerine yakınsamak için, bağlantıların ve kutuplama değerlerinin nasıl bir yöntem ile değiştirileceği, öğrenme algoritması tarafından belirlenir. Diğer yandan, yapay sinir ağları yapıları, genel olarak iki türlüdür: *ileri beslemeli* ve *geri beslemeli*. İleri beslemeli ağlarda, nöronlar ara katmanlara ayrılır ve iletiler, bir katmandaki nöronlardan, bir sonraki katmandaki nöronlara doğru yapılır. Aynı katmandaki nöronlar arası bağlantı bulunmaz. Bu tür ağların en popüler olanı, çok katmanlı perseptronlardır (MLP). Geri beslemeli ağlarda ise, iletiler hem ileri hem de geri

yönlü olabilir ve nöronların çıkış sinyalleri, kendi giriş birimlerini veya önceki katmanları geri-besleyebilirler. Böylece, bir çıkış sinyali, hem o anki girişleri hem de önceki girişleri dinamik bir şekilde yansıtabilmektedir. Bu tür ağlara, Hopfield ağları örnek verilebilir

Yapay sinir ağları basitçe şu temellere dayanır:

- 1-) Bilgi işleme nöron adı verilen birimlerde yapılır.
- 2-) Nöronlar arası iletişim sinyaller ile sağlanır.
- 3-) Nöronlar arası her bağın bir ağırlığı vardır.
- 4-) Her nöron kendisine gelen sinyalleri bir fonksiyona sokarak çıkı sinyalleri üretir.

5-) Bilgi işleme lokal olarak yapılır.

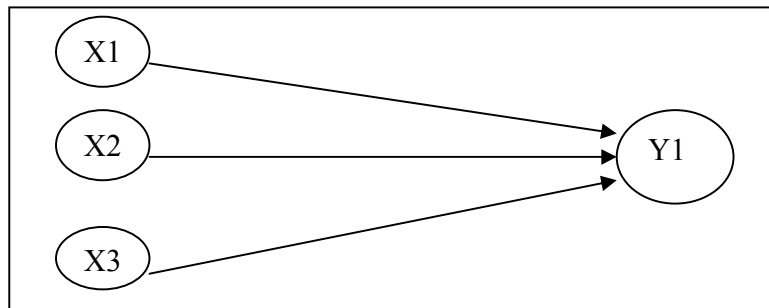
6-) Hafıza dağıtılmıştır.

ı-) Uzun zamanlı hafıza ağırlıklara karşılık gelir

ıı-) Kısa zamanlı hafıza nöronların gönderdiği sinyallere karşılık gelir

Bu durumda ilgili sinir ağı nöronlar arasındaki bağlantı şekline (mimariye), bağların ağırlıklarının hesaplanma yöntemine (öğrenme algoritmasına), ve girdi sinyallerinin hesaplanarak çıktılarının nasıl üretileceğine göre karakterize edilebilir.

Yapay sinir ağlarını oluşturan çok sayıdaki nöron birbirlerine iletişim bağları ile bağlanırlar ve her bağın bir ağırlığı vardır. Bu ağırlık ağın problemi çözmek için kullandığı bilgiyi temsil eder. Bu tür ağlar örüntü tarama, sınıflandırma, optimizasyon gibi zor problemlerin çözümü gibi çeşitli alanlarda kullanılırlar.



Şekil 13(2.10): Basit Yapay Nöron

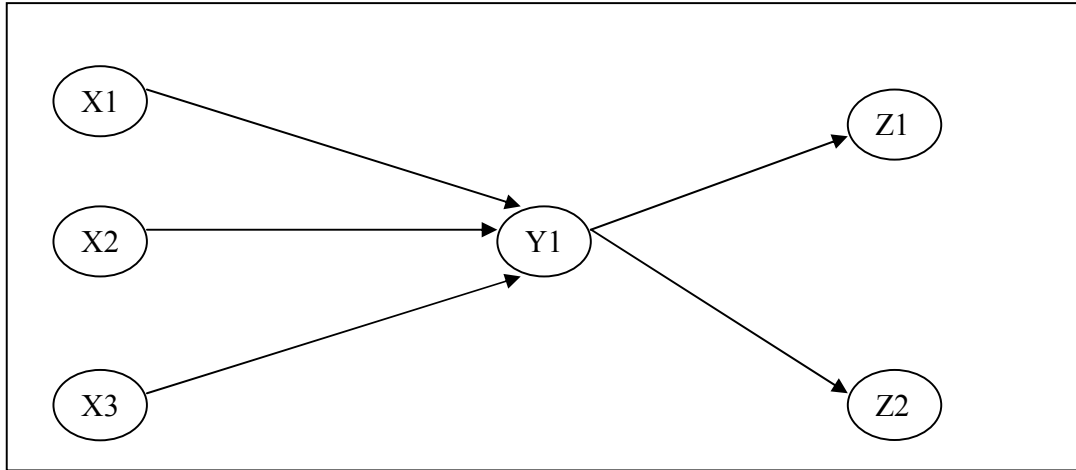
Örneğin Şekil 13(2.10)'daki **Y1** nöronu **X1**, **X2** ve **X3** nöronlarından girdi sinyali alır. Bu sinyallerin ağırlıkları sırasıyla **w1**, **w2**, **w3** ise girdi sinyali şu şekilde ifade edilir:

$$Y_{girdi} = w1X1 + w2X2 + w3X3$$

İlgili nöronun aktivasyonu ise S-şekilli bir eğri olan mantıksal sigmoid fonksiyonu ile şu şekilde ifade edilir:

$$F(x) = 1 / 1 + \exp(-x)$$

Nöron **Y1** 'in daha sonra **Z1** Ve **Z2** adlı nöronlara da bağlandığını düşünelim. Bu durumda ağıımız şekil 14(2.11) 'deki gibi olacaktır.



Şekil 14(2.11): Basit Sinir Ağı(X nöronları Girdi Birimleri, Y nöronu Saklı Birim, Z nöronları Çıktı Birimleri)

Y1 nöronundan **Z1** ve **Z2** adlı nöronlara giden bağların ağırlıkları da **v1** ve **v2** olduğundan **y1** aynı sinyali gönderse dahi **z1** ve **z2** nöronları bu sinyalin farklı değerlerini girdi olarak alacaktır. Kısaca bir nöronun girdisi diğer birçok nöronun aktivasyonuna bağlıdır.

2.2.2.1 Kullanılan Tipik Mimariler

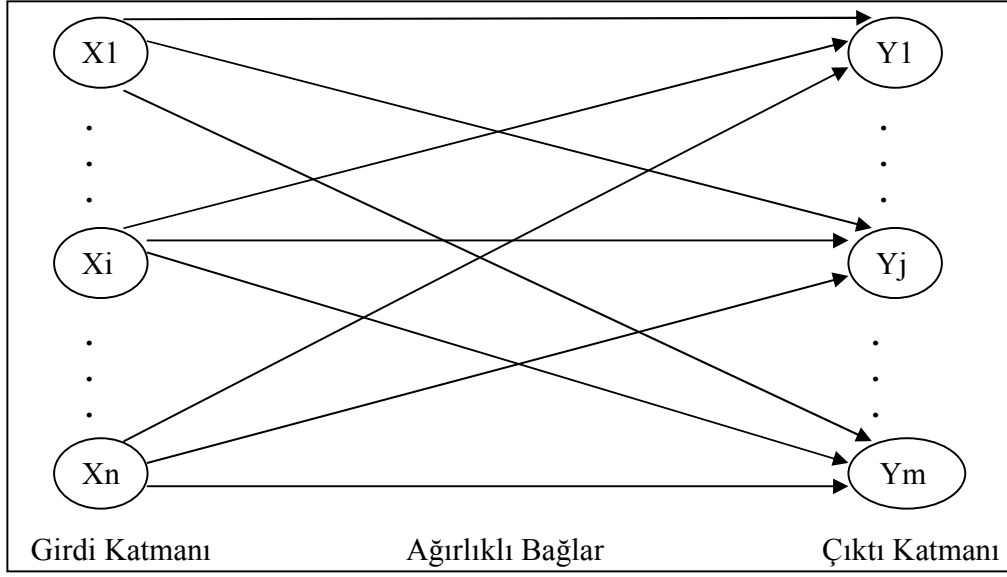
Yapay sinir ağlarını mimarileri bakımından incelerken onları katmanlarına göre değerlendirmek gerekir. Bunun nedeni aynı katmanda bulunan nöronların aktivasyon fonksiyonları ve diğer nöronlara bağlanma şekilleri gibi özelliklerinin benzerlik göstermesidir. Daha spesifik olmak gerekirse çoğu yapay sinir ağında belirli bir katmandaki nöronlardan birisi diğer katmandaki nörona bağlı ise o zaman bu katmanın tüm nöronları diğer katmanın nöronlarına bağlıdır.

Nöronların dizilişi, bu dizilişin katmanları oluşturması ve bunlar arası bağların oluşturulması yapay sinir ağının mimarisini belirler. Çoğu sinir ağı her birimin aktivasyonunun dış girdi sinyaline eşit olduğu bir girdi tabakası içerir. Ağda bunun dışında temel olarak saklı katmanlar ve çıktı katmanları bulunur.

Yapay sinir ağları mimari açıdan tek ve çok katmanlı olarak iki temel grupta incelenirler. Bu ayrım yapılırken girdi katmanı hesaba katılmaz. Bunun nedeni kendi içlerinde hesaplama işlemlerinin olmamasıdır. Ağın çok veya tek katmanlı oluşunu katmanlar arasındaki ağırlıklı bağların sayısı belirler.

Tek Katmanlı Ağ:

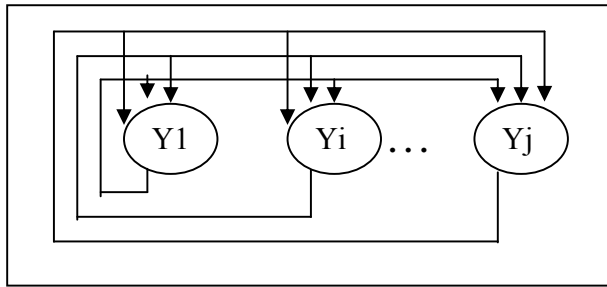
Bu yapıda ağırlıklı bağlar sadece bir katman oluşturur. Bu durumda ağ, dış dünyadan girdi sinyalleri alan girdi birimleri ve bu sinyallere tepki vererek gerekli işlemleri yapan çıktı birimlerinden oluşur.



Şekil 15(2.12): Tek Katmanlı Yapay Sinir Ağı

Şekil 15(2.12) 'deki gibi yapılarda katmanlar, girdi ve çıktı katmanları olarak ikiye ayrılmıştır. Ayrıca bu yapılar, katmanlarındaki tüm birimler birbirlerine bağlı olduğundan tam bağlı olarak adlandırılırlar.

Tek katmanlı yapıların diğer bir mimari şekli Hopfield Mimarisi'dir. Bu mimari türünde girdi ve çıktı katmanı aynı nöronlardan oluşur. Şekil 16(2.13) 'de görüldüğü gibi katmanların tümü hem girdi hem de çıktı görevi üstlenirler.

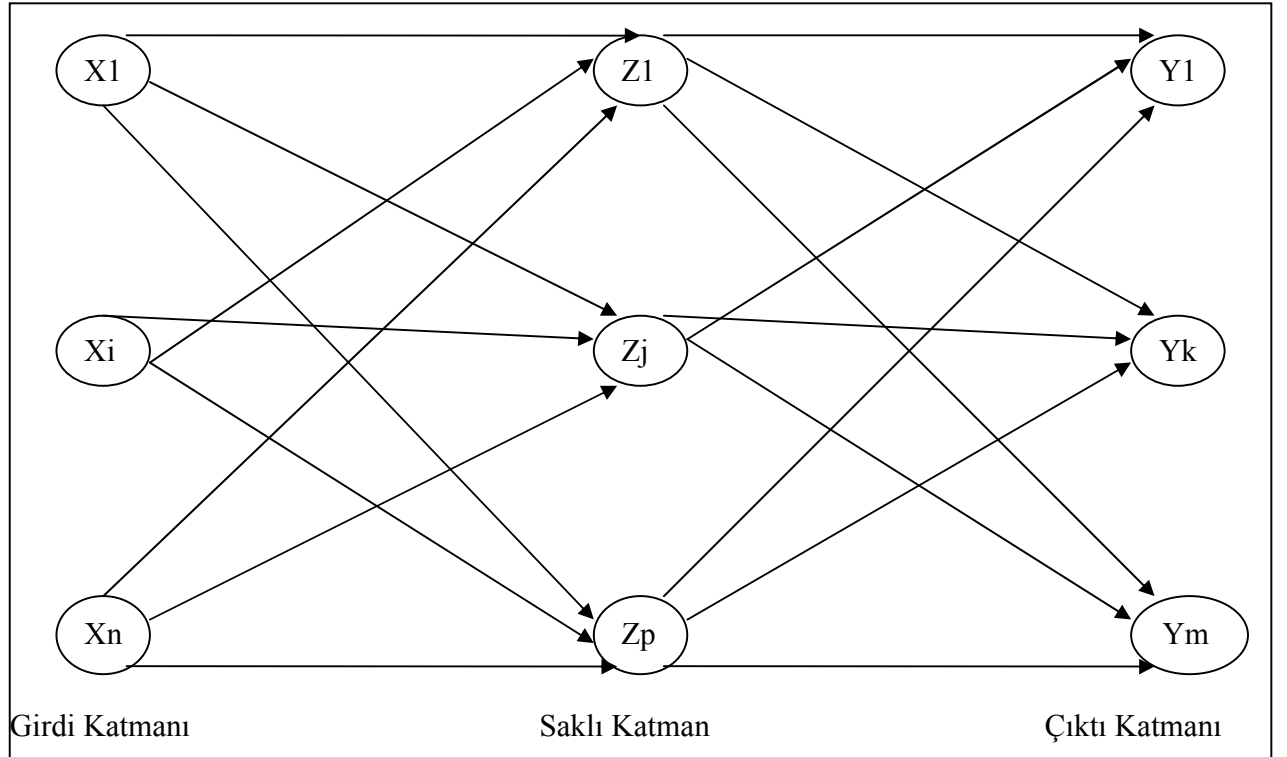


Şekil 16(2.13): Hopfield Mimarisi

Tek katman mimarisinin en önemli özelliği bir çıktı biriminin bağ ağırlığının diğerlerini etkilememesidir. Bu yapıyı örüntü sınıflandırmada kullanırsak her çıktı birimi özel bir kategoriye denk gelir. Burada girdi vektörünün aynı kategoride olup olmadığı önemli değildir. Aynı yapı örüntü eşleştirme için kullanıldığında çıktı sinyallerinin tümünün örüntüsü yanıt olan örüntüyü verir ki bu yanıt girdi sinyallerine de bağlıdır.

Çok Katmanlı Ağ:

Girdi ve çıktı birimleri arasında birden fazla birimin olduğu mimari yapıdır. Girdi ve çıktı katmanları arasında kalan diğer katmanlara *saklı katmanlar* denir. Bu mimarinin amacı, tek katmanlı mimari ile çözülemeyen daha karmaşık problemleri çözebilmektir.



Şekil 17(2.14): Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı

Yukarıdaki Şekil 17(2.14) ‘de çok katmanlı bir ağ mimarisi gösterilmiştir. Burada x ile belirtilen düğümler girdi katmanını, z ve y ile belirtilen düğümler de sırasıyla saklı katmanı ve çıktı katmanlarını temsil etmektedir.

Çok katmanlı ağların bir üyesi olan perseptronlar (MLP), yapay sinir ağlarının en çok kullanılan türüdür ve giriş katmanı, ara katman(lar) ve çıkış katmanından oluşur. Her katmanda, bir veya daha fazla nöron vardır ve her katmandaki nöronlar, diğer katmandaki nöronlara paralel bağlıdır.

MLP’ deki sinyal (bilgi) akışı ileri yönlüdür ve ilk olarak, çıkış katmanına gelen değerler ile hedeflenen değerler arasındaki farklılık (hata miktarı) hesaplanır. Bunu takiben, bulunan hata miktarı geri doğru yayılarak (ağırlıklar ve kutuplanma değerleri değiştirilerek) giriş katmanına ulaşılır. Daha sonra, MLP, yeni ağırlıklar ile tekrar ileri beslemeli olarak sinyalleri iletir ve yeni hata miktarını hesaplar. Bu ileri besleme ve geri yayılma işlemi, çıkış katmanındaki hata miktarı belirli bir limit değerinin altında kalana kadar devam eder. Geri yayılma sırasında serbest değişkenlerin değişimi, öğrenme algoritmasına bağlıdır.

MLP öğrenme algoritmaları içinde en popüler olanı, geri-yayılım algoritmasıdır [11]. Bu algoritma, *Widrow-Hoff (delta) öğrenme kuralını* kullanır ve azalan hata eğimi optimizasyon tekniğini uygular. Geri-yayılım algoritmasında, hata enerjisi, *en küçük kareler* yöntemi ile hesaplanır ve çıkış katmanındaki nöronların hepsine ait genel bir hata değerini ifade eder. Genel olarak, bu işlem bir minimizasyon problemidir ve ağırlıklardaki $[\Delta w_{ji}(n)]$ iteratif düzeltmeler, hata enerjisinin miktarı ile orantılıdır. Geri-yayılım algoritmasında, ağırlık değişimi (düzeltmesi) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır:

$$\Delta w_{ji}(n) = \eta \delta(n) y_i(n)$$

burada, Δw_{ji} ağırlık düzeltmesini, η öğrenme katsayısını, δ_j bir nörona ait yerel hata eğimini (gradyanı), y_j çıkış sinyalinin ve n işlem yapılan nöronu ifade etmektedir. Bu formüldeki yerel gradyan (δ_j), çıkış katmanı için:

$$\delta_j(n) = [t_j(n) - y_j(n)] \phi'_j[v_j(n)]$$

formülü ile hesaplanır. Burada, t_j hedef vektörünü tanımlamaktadır. Diğer yandan, ara katmanlar için yerel gradyan:

$$\delta_j(n) = \phi'_j[v_j(n)] \sum_k \delta_k(n) w_{kj}(n)$$

bağıntısı ile bulunur. Burada, k bir ilerdeki katmanın numarasını ifade etmektedir. Bu algorithmada, ağırlık uzayındaki gradyan azalımının yönü çok önemlidir ve ağırlıklar, düzeltmelerin yapıldığı *en hızlı azalma yönü* ile orantılıdır. Temelde, hata enerjisini, ağırlık değerlerini değiştirerek minimize edecek bir yön (azalan gradyan) belirlenmesi esasına dayanır. Bu algorithmada, öğrenme katsayısının (η) seçimi de oldukça önemlidir ve değeri $[0,1]$ aralığında değişir. Eğer, η çok küçük ise, ağırlık düzeltmelerinin yapıldığı yakınsama doğrultusu eğriseldir ve karmaşık bir davranışın modellenmesine daha uygundur. Bunu tersine, η büyük ise, yakınsama doğrultusu çok salınım yapar. Bu sebeple, basit problemler için daha yüksek η katsayıları tercih edilir. Azalan gradyan öğrenme yöntemi, bazı problemlerde yerel minimum noktalara yakınsayabilir.

2.2.2.2 Eğitim Türüne Göre YSA'lar

Yapay sinir ağları, mimariye ek olarak bağlara ağırlıkların verilme şekline göre de sınıflandırılabilir. Bağlara ağırlık verme işlemine ilgili YSA'nın *eğitimi* denir. Bu eğitim güdümlü, güdümsüz ve sabit olarak yapılabilir.

Güdümlü Eğitim:

Çoğu YSA'da eğitim, eğitim vektörleri veya sınıfları/örünüleri ile yapılır. Bunların sonuç kümeleri yani üretecekleri sonuç çıktıları önceden bellidir. Bağların ağırlıkları öğrenme algoritmasına göre verilir. Bu yapıya da *Güdümlü Eğitim* adı verilir.

Bu yapıdaki YSA'lara en genel örnek olarak örüntü tarama ağlarını verebiliriz. Bu sistemler girdi vektörünün verilmiş bir kategoriye ait olup olmadığını değerlendirirler. Çıktı kümesi de vektör o kategoriye ait ise bir o kategoriye ait değil ise eksi birdir.

Güdümsüz Eğitim:

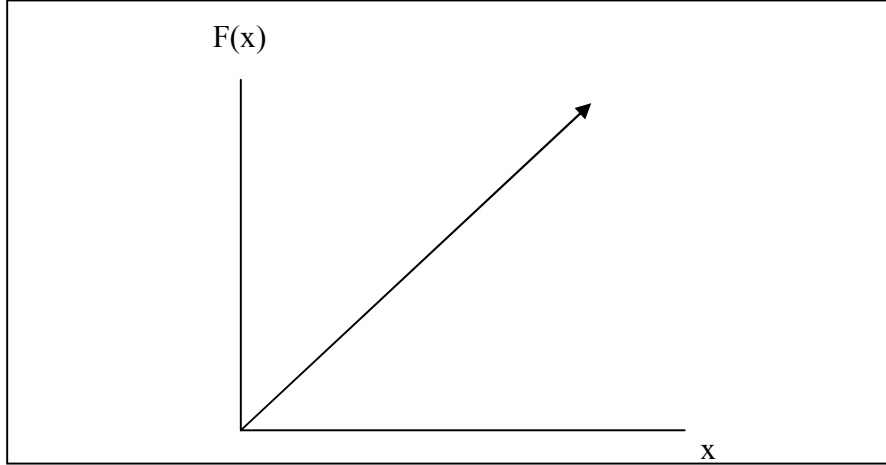
Güdümlü olarak nitelendirilen yapay sinir ağları değil yerindeyse istenen çıktının nasıl olması gerektiğini sisteme bildiren bir öğretmene ihtiyaç duyarlar. Güdümsüz YSA'larda ise ağ yapısı, ilgili girdilere verdiği tepkiler ile öğrenme işlemini gerçekleştirir. Bu nedenle onlara *kendiliğinden örgütlenen* yapay sinir ağları da denir.

Sabit Eğitim:

Yukarıda basitçe açıklanan iki yöntem de YSA problemlerini ele almakta oldukça başarılı olsa da uyumsuzluk kısıtları söz konusu olunca sabit eğitim kullanmak daha uygun yol olur. Elimizdeki problemin kısıtları olabilir, ancak bu kısıtların tümüne aynı anda saptamak yani bu kısıtların tümüne aynı anda uymak genellikle mümkün olmaz. Bu durumda en uygun çözüm yerine buna en yakın çözümü üretmek gerekir. Bu şekilde tasarlanan YSA'larında ağırlıklar ilgili kısıtlara göre verilir.

2.2.2.3 Genel Aktivasyon Fonksiyonları

Bir nöronun görevi basitçe; gelen girdi sinyallerinin ağırlıklarını toplayarak bir çıktı sinyali üretmektir. Bu işleme *aktivasyon* adı verilir. Girdi birimleri için bu fonksiyon şekil 18(2.15) ‘de verilen doğru orantılı özdeşlik fonksiyonudur.



Şekil 18(2.15) : Özdeşlik Fonksiyonu – $F(x) = x$

Bir yapay sinir ağının belirli bir katmanındaki nöronların tümü genellikle aynı aktivasyon fonksiyonunu kullanırlar. Ancak bu bir koşul değildir.

Karmaşık problemlerle ilgilenen özellikle çok katmanlı YSA' larında doğrusal olmayan aktivasyon fonksiyonları kullanılır. Aslında bu durum çok katmanlı yapılarda bir sinyalin birden fazla katmandan geçerek çıktığı sinyale dönüşmesinin doğal bir sonucudur.

Tek katmanlı mimariler sürekli değerli bir değişken olan girdiyi ikili değerli(1,0) veya iki kutuplu (1,-1) olan çıktıya dönüştürmek için adım fonksiyonunu kullanırlar.

$$F(x) = 1, x \geq 0$$

$$F(x) = 0, x < 0$$

Bu fonksiyon Eşik Değeri Fonksiyonu veya Heaviside Fonksiyonu olarak da bilinir.

Bunların dışında aktivasyon için Sigmoid Fonksiyonu (S şekilli fonksiyonlar), Lojistik Fonksiyonlar ve Hiperbolik Tanjant Fonksiyonları kullanılır. Bu fonksiyonlar özellikle geri yayılım algoritması ile eğitilen YSA' larında kullanılır.

İkili Sigmoid Fonsiyonu:

$$F(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\sigma x)}$$

$$F'(x) = \sigma F(x) [1 - F(x)]^3$$

İki Kutuplu Sigmoid Fonksiyonu:

$$G(x) = 2F(x) - 1 = 2 \frac{1}{1 + \exp(-\sigma x)} - 1$$

$$G'(x) = \sigma / 2 [1 + G(x)] [1 - G(x)]$$

Hiperbolik Tanjant Fonksiyonu:

$$H(x) = \frac{\exp(x) - \exp(-x)}{\exp(x) + \exp(-x)} \quad H'(x)$$

$$H'(x) = [1 + H(x)] [1 - H(x)]$$

³ F', G', H' ilgili fonksiyonların türevlerini belirtmektedir.

2.2.2.4 YSA 'nın Tıp Bilişimindeki Kullanım Alanları

Buraya kadar olan bölümde YSA' nın temelleri, kullanılan mimari yapılar ve uygulanan algoritmalar verilmiştir. Anlatılan bu yapılara dayanan YSA' lar endüstri(kalite kontrolü, çeşitli üretim bantları, otoyol bakım programları vb), askeriye ve güvenlik(suçlu tanımlama, hedef belirleme vb), finans(kredi kartı dolandırıcılığı tespiti vb) gibi çok çeşitli alanlarda kullanılabilmektedir.

Tezin kapsamı olan tıp alanında YSA çok çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır.

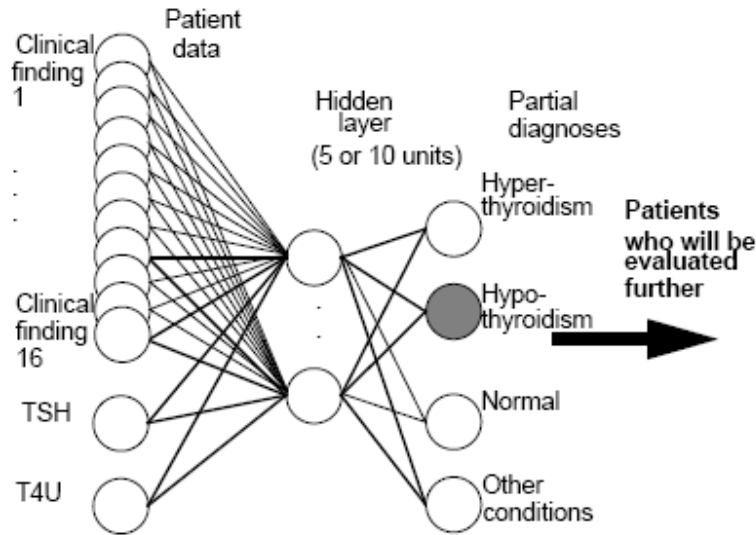
- Protein Sıralama
- Tümör ve Doku Teşhisi
- Kalp Krizi Teşhisi
- Yeni İlaçların Etkililiği

Almanya'da Katharinen hastanesi ile Tübingen Üniversitesi'nin YSA kullanarak ortaklaşa geliştirdiği bir proje tümörlerin geçmişini değerlendirerek onları sınıflamaktadır. Bu çalışma kapsamında 786 adet farklı tümör sistem tarafından değerlendirilmiştir. Geliştirilen sistemin eğitim kümesindeki başarıları %98, test koşullarındaki başarı ise %95 olarak verilmiştir.

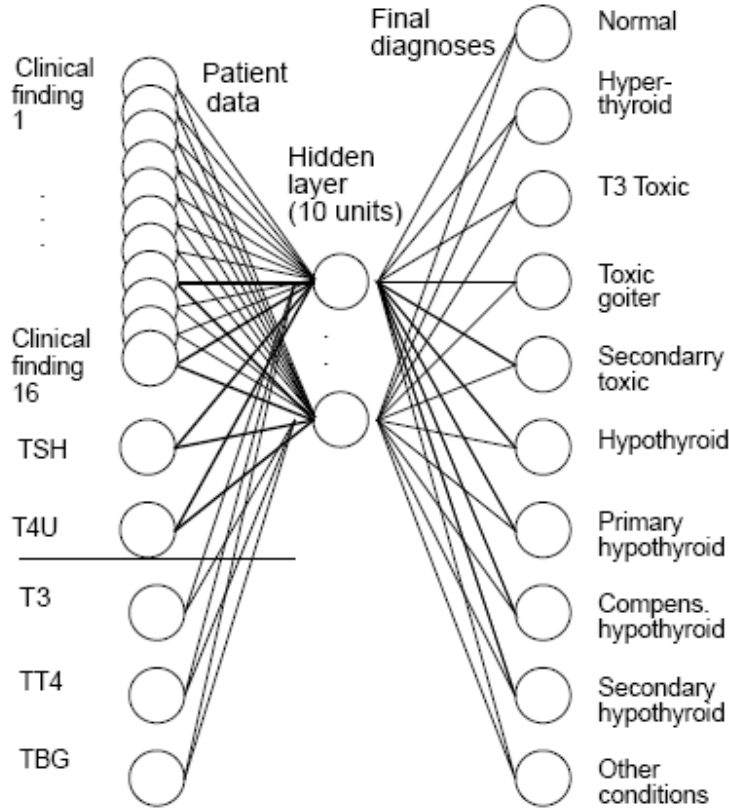
Diğer bir önemli çalışma da kadınlarda meme kanserinin teşhisi üzerine Kıyan ve Yıldırım tarafından 2003'de yapılmıştır [35]. İlgili çalışmada Radyal Taban Fonksiyonu, Genel Bağlanımlı Yapay Sinir Ağları ve Olasılıksal YSA kullanılmıştır.

Kalp krizi olasılığının değerlendirilmesi de Tıbbi YSA' nın kullanıldığı diğer bir alandır. Bu tür hastalıkların özellikle çoklu sistemlere bağlı olması yani hastalığı oluşturacak durumun birden fazla farklı etkene bağlı olması ilgili yapıyı karmaşık hale

getirmektedir. Kısaca risk altındaki hastaları belirlemek için tek bir kriter yoktur. YSA yapısı itibarı ile kendi kendine öğrenebilir ve çok yönlü ilişkileri ayırt edebilir olduğundan bu tür alanlarda sıklıkla kullanılır [9]. Lucila Ohno-Machado ve Mark A. Musen, MLP ve çeşitli YSA modelleri kullanarak tiroid teşhisi yaptıkları çalışmalarını **“Hierarchical Neural Networks for Partial Diagnosis in Medicine”** adlı makalelerinde yayınlamışlardır. Bu çalışmalarında çok katmanlı ügen mimariler kullanmışlardır. Bu yapılarda aşağıdaki şekillerde de (şekil 19(2.16) ve şekil 20(2.17)) görüldüğü gibi on altı klinik bulgu ile TSH ve T4U testleri girdi olarak alınmış, girdi sonuçları beş ile on arası saklı katmandan geçirildikten sonra Hipotiroidi, Hipertiroid gibi kısmi teşhislere gidilmiştir.



Şekil 19(2.16): Üçgen şekilli çoklu YSA yapısı. Girdiler kliniksel ve laboratuvar verileri, çıktılar kısmi teşhisler.



Şekil 20(2.17): Tüm laboratuvar verilerini alan ve sonuç teşhisini üreten ağ.

Yapılan bu çalışmanın sonucu olarak marka olmayan (generic) tipli ağların tüm durumlarda en az doğruluk payına sahip model olduğunu gözlemlenmiştir. Üç yüz doksan dört hastadan iki yüz kırk sekizine doğru teşhis konulsa da hastalığın diğer türleri bu yapı içerisinde ayırt edilememiştir. Bunun yanında kullanılan diğer model olan üçgen yapılı çoklu ağ %96.16 kesinlik faktörü, ve %80 oranındaki duyarlılık faktörü (diğer tür hipotiroidi hastalıklarının teşhis edilebilmesi) ile en verimli yöntem olmuştur [47].

2.2.3-) Bulanık Mantık

Aslında bulanık mantığı veri güdümlü analitik yaklaşımlar içinde değerlendirmek doğru değildir. Bunun yerine içinde belirsizlik bulunan verilerle başa çıkma yöntemi olarak tanımlanabilir. Tıp dünyasındaki en büyük ironi, belirsiz, birden fazla değer üretebilen verilerle çalışıp bu tür belirsizliklerden objektif ve kesin sonuçlar çıkarabilme gerekliliğidir. İşin içine bu tür belirsizlik kavramları girdiğinde bulanık mantık bu tür yapıla en uygun seçenekmiş gibi görülebilir. Gerçekten de tamamen doğru ile tamamen yanlış arasındaki doğruluk değerleri üzerinde çalışan bulanık mantık yaklaşımı gerçek sistemler için oldukça kritik olan belirsizliği temsil etmeleri için kullanılır. Her ne kadar adında bulanık kelimesi geçse de bu tür sistemlerin kurulumu, ayarlanması ve bakımı oldukça kolaydır. Sinir ağlarının tersine kullanılan mantıksal yapı taşlarını açıklamak oldukça kolaydır.

Bulanık mantık dar anlamda klasik ikili mantığın geliştirilmiş halidir. Geniş anlamda düşünüldüğünde ise bulanık kümeleri kullanan bütün teorileri ve teknolojileri ifade eder [2].

Sembolik mantık kuralları kullanılarak hem somut hem de soyut düşüncelere dayalı önermeler yapılabilir. Bu önermelerden genel çıkarımlar elde edilebilir. Ancak bunu uygulayabilmek için ilk iş olarak kavram ve terimlerdeki belirsizlikler açık hale getirilmelidir. Buna dayanarak diyebiliriz ki sembolik mantığın ideal sonuçlar verebilmesi için ilgili kavram ve terimlerin de ideal olması, belirsiz olmaması gerekir. Oysa gerçek dünya belirsizlik ve bulanıkla örülmüş bir ağ gibidir

Bulanık mantık bir önermenin doğruluğunu, kesin doğru ve kesin yanlış arasındaki sonsuz sayıdaki doğruluk değerlerini içeren kümeler veya sıfır ile bir arasındaki gerçel sayı değerleri veren fonksiyonlar ile belirler.

Bulanık mantığı diğer sistemlerden ayıran en önemli özelliklerden birisi; **“Üçüncünün Olmazlığı”** ya da **“Çelişmezlik İlkesi”** olarak adlandırılan özelliklerin bulanık mantık için geçerli olmamasıdır. Bahsi geçen özellik diğer mantık sistemleri için oldukça önemlidir. Kısaca bulanık mantıkta bir önerme aynı anda hem doğru hem de yanlış olamaz denilemez (Bunun nedeni doğruluk kesin kavramının çok değerli olmasıdır.). Yani önermeler aynı anda hem doğru, hem de yanlış olabilirler. İşte bu durumda bulanıklık devreye girer. Bulanıklık kavramı önerme ile o önermenin değili arasındaki belirsizlikten kaynaklanır.

Bulanık mantığın temeli insan düşüncesidir diyebiliriz. Çünkü bulanık mantığın geçerli olduğu durumlar problem alanının oldukça karmaşık olduğu ve bu nedenle yeterli bilginin bulunamayıp insanları görüş ve değer yargılarına yer verilen hallerdir.

Bulanık mantığı temel olarak altı madde ile özetlemek mümkündür.

- 1- Kesin değerler yoktur, yaklaşık değerler kullanılır.
- 2- Her kavram $[0,1]$ aralığındaki dereceler ile gösterilir.
- 3- Bilgi; büyük-küçük-az gibi sözsel olarak ifade edilebilir.
- 4- Çıkarsama işleme sözsel ifadeler ve bunlar arasında tanımlanan kurallar ile yapılır.
- 5- Her mantık sistemi bulanık mantıkla ifade edilebilir.
- 6- Matematiksel modelin elde edilmesinin zor olduğu durumlarda kullanılır.

2.2.3.1 Bulanık Mantıkta Deyim

Bu tür deyimlerde ilgili önerme $[0,1]$ aralığında doğruluk değerlerine sahip olabilir. Bu deyim fonksiyonu da

$$F:[0,1] \rightarrow [0,1]$$

olarak gösterilir. Tanım kümesi n boyuta genişletildiğinde fonksiyon

$$F:[0,1]^n \rightarrow [0,1]$$

şeklinde ifade edilir. Bu fonksiyondan yararlanarak bulanık deyimleri şu şekilde tanımlayabiliriz: n bulanık kümeden $[0,1]$ görüntü kümesine n 'li dizi bağlantısıdır. Bulanık mantıkta klasik mantıkta da kullanılan değilleme, tümel evetleme, tikel evetleme gibi işlemler kullanılabilir.

Değilleme: $\sim$ veya $\neg$

Tümel Evetleme: $\vee$, Λ

Tikel Evetleme: veya, $\vee$

Bu işlemcilerin özellikleri ise:

- 1- Tek Kuvvet: $a \vee a = a$, $a \wedge a = a$
- 2- Değişme Özelliği: $a \vee b = b \vee a$, $a \wedge b = b \wedge a$
- 3- Bileşme Özelliği: $a \vee (b \vee c) = (a \vee b) \vee c$, $a \wedge (b \wedge c) = (a \wedge b) \wedge c$
- 4- Dağılma Özelliği: $a \vee (b \wedge c) = (a \vee b) \wedge (a \vee c)$, $a \wedge (b \vee c) = (a \wedge b) \vee (a \wedge c)$
- 5- Tümlen: $a = \neg \neg a$
- 6- Yutma: $a \vee (a \wedge b) = a$, $a \wedge (a \vee b) = a$
- 7- 0 ve 1 ile Yutma: $a \vee 1 = 1$, $a \wedge 0 = 0$
- 8- Etkisiz Eleman.: $a \vee 0 = a$, $a \wedge 1 = a$
- 9- De Morgan: $\neg (a \wedge b) = (\neg a \vee \neg b)$, $\neg (a \vee b) = (\neg a \wedge \neg b)$

Bulanık değimlerin üç önemli özelliği vardır. Bunlar:

- 1- Doğruluk değerleri 0 ve 1 arasındadır
- 2- f bir bulanık değim ise $\neg f$ de bulanık değimdir
- 3- f ve g bulanık değimler ise $f \wedge g$ ve $f \vee g$ de bulanık değimdir

2.2.3.2 Bulanık Mantık İşlemcileri

Klasik mantık (Aristoteles Mantiğı), tümevarım mantığı, çok değerli mantık (doğruluk değerlerinin kümelerde tutulduğu modeller) gibi mantık sistemleri bulanık mantıktan oldukça farklıdır. En basit örnek olarak bulanık mantıkta kullanılan doğruluk tabloları ya da çıkarsama kuralları belirsizlik içerir. Doğruluk değerleri klasik mantıkta da bulunan *doğru* ve *yanlış* kavramlarının yanı sıra bu kavramları nicelendiren terimlerden oluşur.

Bulanık mantık, adı her ne kadar akılda bir zorluk canlandırırsa da, aslında oldukça anlaşılır, teorileri basit ve oldukça esnek bir kavramdır. Kesin olamayan verileri, belirsizlik ve olasılık durumlarını, karmaşık ve doğrusal olmayan fonksiyonları alan uzmanlarının görüşüne dayanarak modelleyebilir. Bu sayede uzman sistemlerin yeteneğini de arttırmış olurlar. Gerçek dünya belirsizliklere dayandığından bulanık mantık kullanılarak modelleme yapılırken konuşma dili kullanılabilir. şunu belirtmekte fayda vardır ki daha basit çözüm yolları olduğunda bu yollar tercih edilmelidir. Diğer bir önemli husus da bulanık mantık ve buna dayalı modelleme kullanılacağında mutlaka girdilerin çıktı ürettiği süreçler kullanılmalıdır.

Bulanık mantıkta kullanılan basit işlemler şu şekilde tanımlanır:

Değilleme: $\neg a = 1-a$

Tümel Evetleme: $a \wedge b = EK(a,b)$

Tikel Evetleme: $a \vee b = EB(a,b)$

İçerme: $a \rightarrow b = EK(1,1+b-a)^4$

Bu işlemlerin kullanımına dair basit bir örnek vermek gerekirse:

$a=1, b=0$ olsun:

$$\neg a = 1-1 = 0$$

$$a \wedge b = EK(a,b) = EK(1,0) = 0$$

$$a \vee b = EB(a,b) = EB(1,0) = 0$$

$$a \rightarrow b = EK(1,1+b-a) = EK(1,1+0-1) = 0$$

2.2.3.3-) Sözel Değişkenler

Değişkenler genellikle sayısal olarak ifade edilirler ancak bulanık mantıkta değişkenlere sözel terimler daha doğrusu niceleyiciler atanabilir. Bu durumda değişkenler de “*Sözel Değişken*” olarak adlandırılır. x değişken adı, $T(x)$ sözel değer kümesi, E evrensel küme, G gramer, M de semantik kurallar olmak üzere bir sözel değişken:

$$SD = (x, T(x), E, G, M)$$

olarak tanımlanabilir.

Bu değişkenler “*Bulanık Sıfat*” ve “*Bulanık Yüklem*” olarak iki şekilde incelenirler. Sıfatlar tıpkı dilbilgisinde olduğu gibi yüklemeleri niteleyen yapılardır. Bunun için çok, olası, imkânsız vb gibi kelimeler kullanırlar.

⁴ En büyük (EB) ve en küçük (EK) işlemcilerinin uygunluğu 1973’de Bellman ve Giertz tarafından gösterilmiştir. Bu işlemciler matematiksel olarak da doğrulanmıştır.

Örneğin adı “yaş” olan X sözel değişkenini ele alalım.

$X=(Yaş, T(Yaş), E,G,M)$ olarak tanımlanır.

Yaş: x değişkeninin adı

$T(Yaş): \{genç, yaşlı, çok genç \dots\}$ gibi elemanları olan terimler kümesi

$E:[0,100]$: evrensel küme

$G(Yaş): T^i+j = \{genç\} \cup \{çok T^i\}$

$M(genç) = \{(e, \mu_{genç}(e)) \mid e \in [0,100]\}$

2.2.3.4-) Bulanık Kural Ve İfade

Çıkarama; eldeki bilgileri kullanarak yeni bilgiler veya sonuçlar üretme olarak tanımlanabilir. Çıkarsama da eldeki verilerin gösterilme şekli önemlidir. Gösterim şekilleri arasındaki en sık kullanılan yapı “*eğer-ise*” ifadeleridir. Bu yapıya genel olarak “*Koşullu Önerme*” denir. Bu tür bir önerme *eğer* kısmında ifade edilen koşul ve *ise* kısmında ifade edilen sonuç/hipotez den oluşur.

Bulanık yüklem bulanık küme olarak kabul edilebilir. “ x *P’dir*” şeklindeki bir önermede $P(x)$ bulanık küme $\mu_P(x)$ ise üyelik fonksiyonudur.

Bulanık kuralımız “eğer x A ise, o halde y B ’dir” olsun. Bu durumda bulanık kural:

Eğer x $A(x)$ ise o halde y $B(y)$ dir.

şeklinde yazılabilir. Bu kuralı $R(x,y)$ bağıntısıyla gösterirsek:

$R(x,y):$ Eğer $A(x)$, ise $B(y)$

Veya

$R(x,y): A(x) \rightarrow B(y)$

Bulanık kümeleri içeren bir kural olduğunda “**Genelleştirilmiş Modus Ponens (GMP)**” ve “**Genelleştirilmiş Modus Tollens (GMT)**” olarak iki şekilde akıl yürütülebilir.

GMP

OLGU: $x A'dır : R(x)$

KURAL: *Eğer $x A$ ise, $y B'dir : R(x,y)$*

SONUÇ: $y B'dir : R(y) = R(x) * R(x,y)$

GMT

OLGU: $y B'dir : R(y)$

KURAL: *Eğer $x A$ ise, $y B'dir : R(x,y)$*

SONUÇ: $x A'dır : R(x) = R(y) * R(x,y)$

Yukarıdaki akıl yürütmede olguların kurallardaki koşullarla aynı olmadığı, sonuçların değişik olabileceği görülmektedir. Bu yüzden bu tür çıkarsamalara “**Bulanık Çıkarsama**” denir.

2.2.3.5-) Bulanık Kümeler

Bilindiği üzere geleneksel küme kavramı sınırlı bir kavramdır. Ayrıca mantık yapısı olarak ikili mantığa da benzetilebilir (bir eleman ya o kümenin elemanıdır ya da değildir). Bulanık mantığın kurucusu olan Zadeh⁵ [58], özelliklerin ikili üyelik fonksiyonları ile temsil edildiği klasik kümeler yerine dereceli üyelik fonksiyonları ile ifade edildikleri bulanık kümelerin tanımlanmasını önermiştir.

⁵ 4 şubat 1921 Bakü doğumludur.1965’de bulanık kümelerle ilgili yayınladığı makale bulanık mantığın başlangıcı olarak kabul edilir.

Bulanık küme yaklaşımı çok değerli kümelerden oluşur. Bu kümeler kullanılarak belirsizliğin bir yerde formülleştirildiği söylenebilir.

Bulanık küme kapsadığı elemanlarının değişik üyelik dereceleri olduğu bir kümedir. Klasik küme yaklaşımdaki gibi *sıfır* değeri elemanın kümenin üyesi olmadığını, *bir* değeri elemanın o kümenin üyesi olduğunu gösterir. Bunun yanında sıfır ve bir değerleri arasındaki dereceler ise kısmi üyelik belirtirler. Örneğin bir arabalar kümesi düşünelim. Bu kümenin elemanlarından x aracının bir lastiğinin koptuğunu varsayalım. X aracı üç tekerli olması nedeniyle bu kümenin elemanı olamaz gibi görünse de diğer özellikleri bakımından da tam bir arabadır. Bu tür belirsizlikler işin içine girdiğinde üyelik dereceleri ve dolayısı ile bulanık kümeler en iyi çözüm olmaktadır.

Bulanık Kümelerin Gösterimi:

Tıpkı klasik kümeler gibi iki yöntemle gösterilirler. İlk yöntem küme elemanlarını üyelik derecelerine göre sıralarken diğeri üyelik fonksiyonunu matematiksel olarak tanımlar.

Yukarıdaki bölümlerde bulanık küme üyelerinin bu kümeye kısmi olarak ait olabileceği açıklanmıştı. Buna göre bulanık küme fonksiyonu

$$\mu : A \rightarrow [0,1]$$

şeklinde gösterilir. Üyelik fonksiyonu küme elemanlarının değerleri ile değişiklik gösteren bir eğri olarak da tanımlanabilir. Buna “*Önem Eğrisi*” de denir. Bu eğride x eksenini küme elemanlarını, y eksenini de bunların üyelik derecelerini gösterir. A bulanık kümesi; $\mu : A \rightarrow [0,1]$ üyelik fonksiyonu ve $\mu(x) \in [0,1] \forall x \in A$ ’nin üyelik derecesi olmak üzere

$A = \{ \mu(x), x \}$ olarak yazılabilir.

Bu durumda evrensel kümede olan A kümesi

$$A = \{ \mu_A(x), x \} = \{ \mu_A(x)/x \}^6$$
$$A = \{ \mu_A(x_1)/x_1 + \mu_A(x_2)/x_2 + \dots + \mu_A(x_n)/x_n \}$$
$$A = \{ \sum \mu_A(x_i)/x_i \}$$

olarak gösterilebilir. Eğer küme sürekli ise

$$A = \{ \int \mu_A(x_i)/x_i \}$$

şeklinde gösterilir.

2.2.3.6 Bulanık Teori

Matematiksel olarak bulanıklık çok değerlilik demektir. Bulanık mantığın temeli olan bulanık teori ise belirsiz kavramların matematiksel olarak gösterilmesidir. Bu teori ortaya çıkıncaya kadar belirsizlik kavramı olasılık teorileri ile modellenmeye çalışılmıştır. Aslında olasılık teorisinde tam bir belirsizlik yoktur. Sadece ilgili olay belirli bir dağılıma bağlı olarak gerçekleşebilir. Bulanık mantıkta bahsedilen belirsizlik ise kümenin sınırlarının tam olarak belirlenememesidir.

⁶ Buradaki bölme işareti matematiksel olan bölme işlemi için değil küme ögesine üstteki üyelik derecesinin karşılık geldiğini göstermektedir.

2.2.3.7 Olabilirlik Dağılımı

Bu kavram bulanıklıkla ilgilidir. Evrensel küme içinde tanımlanan bir A bulanık kümesinin üyelik derecesi $[0,1]$ aralığında ise

$$x \in A \text{ için } \mu_a > 0 \\ \text{diğer durumlarda } 0$$

Bu formülde üyelik fonksiyonu olan μ_a , A kümesi için olabilirlik dağılımı olarak da tanımlanabilir [77].

Olasılık kurallarını hatırlayacak olursak; P olasılık dağılımının S örnek uzayındaki toplam olasılıklarının ***bir***'e eşit olması gerektiğini biliyoruz. Bu yüzden olabilirlik dağılımı evrensel küme üzerinde tanımlanır ancak toplam için bir sınır yoktur. Bu kavramların daha iyi anlaşılabilmesi için bir örnek vermek gerekirse:

Ayşe'nin x kız kardeşi vardır. $x \in N=\{1,2, \dots, 10\}$. Hem olabilirlik hem de olasılık dağılımı N 'deki x değişkenin tanımlamada kullanılabilir. P olasılık dağılımı kullanıldığında x kız kardeşe sahip olma olasılığı $P(x)$ olarak tanımlanır. μ olabilirlik dağılımı ile x kız kardeş olabilirliği $\mu_a(x)$ olarak tanımlanır. N kümesi olasılık dağılımında örnek uzay olarak ve olabilirlik dağılımında evrensel küme olarak kabul edilir.

X	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P(x)	0.4	0.3	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0
M(x)	0.9	1.0	1.0	0.7	0.5	0.2	0.1	0	0	0

Tablo 6(2.5): Olasılık dağılım tablosu

Olasılıkların toplamının ***bir***'e eşit olduğu fakat olabilirliklerin toplamının da ***bir***'den büyük olduğunu görüyoruz. Tablo yüksek olabilirliğin her zaman yüksek olasılık

olmadığını göstermektedir. Fakat düşük olabilirlik düşük olasılıktır. Bundan dolayı olabilirliğin olasılığın üst sınırı olduğunu söylenebilir.

Olasılık ve olabilirliğin hem ortak hem de ayrıldıkları nokta belirsizlik kavramıdır. Olabilirlik olasılık değerinin üst sınırı olarak belirlenebilir. Yani A olayının $\mu(A)$ olabilirliği ve $P(A)$ olasılığı arasındaki bağıntı;

$$\mu(A) \geq P(A)$$

şeklindedir. Bu iki kavram arasındaki fark ve benzerlikleri bir tabloda verecek olursak:

	Olabilirlik	Olasılık
Tanım Kümesi	Evrensel E kümesi	Örnek S uzayı
Görüntü Kümesi	[0,1]	[0,1]
Kısıtlar	Yok	$\sum P(A_i)=1$
Birleşim	$\mu(UA_i)=E\mu(A_i)$	$P(UA_i)=\sum P(A_i)$
Kesişim	$\mu(\cap A_i)=E\mu(A_i)$	$P(\cap A_i)=P(A_1)P(A_2)\dots P(A_n)$

Tablo 7(2.6): Olabilirlik ve olasılık karşılaştırma tablosu.

Yukarıdaki bölümde bulanıklık kavramı açıklanmış, bu kavramın klasik mantık ve olasılık kavramları ile olan benzerlik ve farklılıklarına değinilmiştir. Böylelikle bulanık yapılarla çıkarsama mekanizmasının işleyişi anlatılmadan önce bulanıklık kavramı fazla detaya girilmeden açıklığa çıkarılmıştır. Takip eden bölümde çıkarsama kavramları, bulanık mantıkta bilgi sunumunun nasıl yapılacağı ve kullanılan belli başlı çıkarsama yöntemlerine değinilmiştir.

2.2.3.8 Mantık Ve Çıkarsama Kavramları

Mantık kısaca doğru koşullar verildiğinde bunlardan doğru sonuçların çıkartılmasıdır. Akıl yürütme ve çıkarsama mekanizmaları mantığın içinde yer alan konulardır. Çıkarsama kavramı var olan bilgileri kullanarak bunlardan yeni bilgiler elde etmek olarak tanımlanabilir. Mantık açısından incelendiğinde ise eldeki önermelerden yenilerinin üretilmesi olarak açıklanabilir. İkili mantık olarak bilinen klasik yöntem kullanılıyorsa çıkarsama; Özdeşlik, Çelişmezlik, Üçüncünün Olmazlığı yöntemleri ile yapılır.

Çoğu zaman çıkarsama ile akıl yürütme birbirlerine karıştırılsa da aslında aralarındaki fark oldukça basittir. Çıkarsama objektif olarak değerlendirilebilir. Akıl yürütmeler tümdengelim prensibini kullanırlar. Tümdengelim çıkarsama için kullanılması bizi totoloji kavramına götürür. Totoloji, tüm yorumları doğru olan önerme demektir. Totoloji kavramını kullanan üç önemli çıkarsama yöntemi vardır. Bunlar:

Modus ponens: $(p \wedge (p \rightarrow q)) \rightarrow q$

Modus Tollens: $(\neg q \wedge (p \rightarrow q)) \rightarrow \neg p$

Hipotetik Sillojizm: $((p \rightarrow q) \wedge (q \rightarrow r)) \rightarrow (p \rightarrow r)$

Bu yöntemlerden Modus Ponens ileri çıkarsama yaparken, Modus Tollens ise geri çıkarsama yaparken kullanılır.

Modus Ponens

OLGU(p): x a'dır				
Kural($p \rightarrow q$): Eğer x a ise y b'dir				
Sonuç(q): y b'dir				
P	q	$p \rightarrow q$	$p \wedge (p \rightarrow q)$	$(p \wedge (p \rightarrow q)) \rightarrow q$
1	1	1	1	1
1	0	0	0	1
0	1	1	0	1
0	0	1	0	1

Tablo 8(2.7): Modus Ponens Tablosu

Modus Tollens

OLGU($\neg q$): y $\neg b$ 'dir				
Kural($p \rightarrow q$): Eğer x a ise y b'dir				
Sonuç(q): x $\neg a$ 'dır				
$\neg P$	$\neg q$	$p \rightarrow q$	$\neg q \wedge (p \rightarrow q)$	$(\neg q \wedge (p \rightarrow q)) \rightarrow \neg p$
1	1	1	1	1
1	0	0	0	1
0	1	1	0	1
0	0	1	0	1

Tablo 9(2.8): Modus Tollens Tablosu

Bilgi sistemimiz bulanık bilgilere dayanıyorsa, yani bilgi tabanımızı oluşturan bilgiler bulanık ise çıkarsama üyelik fonksiyonları yardımı ile yapılır. Bunun için de yukarıdaki bölümlerde gösterilmiş olan sözel değişkenlerden yararlanılır. Bulanık bilgi tabanlı sistemlerde çıkarsama birkaç adımda gerçekleştirilir. Öncelikle girdi değişkenlerinin üyelik fonksiyonları belirlenir. Bu adıma bulandırma denir. Çıkarsama sırasında kuralların koşul kısmı için doğru değerler hesaplanarak kuralın sonuç kısmına uygulanır. Sonuçlar birer bulanık alt kümedir. Bunlar her sonuçtaki her çıkış değerine atanır. Daha sonra bu alt kümeler birleştirilir. Elde edilen küme istenirse kesin sayısal değerlere dönüştürülebilir. Bu son aşamaya da durulama adı verilir.

Sistemin bilgi tabanında saklı bilgileri genelde kurallara haline tutulur. Bu kuralla daha önce de gösterilen “*eğer-is*”e yapısındaki kurallardır. Kural tabanı n sayıda girdi ve m sayıda çıktı şeklinde oluşturulur. Buna göre kurallar kümesi

$$R = \{R^1, R^2, \dots, R^n\}$$

şeklinde tanımlanır. R^i kuralının öncülü $E \times F$ çarpım uzayında $A_i x \dots x B_i$ bulanık kümesini oluşturur. Sonuç q adet denetleme etkinliğinin $(z_1 + z_2 + \dots + z_q)$ bileşkesidir. Böylece i 'nci kural R^i bulanık içermeye olarak tanımlanabilir.

$$R^i(A_i x \dots x B_i) \rightarrow (z_1 + \dots + z_q)$$

Bu formüllerden R kural tabanının bileşkeleri olarak temsil edilebileceği anlaşılmaktadır. Bu kural tabanı çok girdi tek çıktı alt kural tabanları kümesinin bir bileşkesi olarak da ifade edilebilir. Çok girdi çok çıktı kural tabanları çok girdili tek çıktılı yapıların toplamı olarak gösterilebilir.

$$R = \bigcup_{i=1}^n R^i$$

$$R = \bigcup_{i=1}^n [(A_i x \dots x B_i) \rightarrow (z_1 + \dots + z_q)]$$

$$R=\{\bigcup_{j=1}^n [(A_i X \dots X B_i) \rightarrow z1], U [(A_i X \dots X B_i) \rightarrow z2], \dots, U [(A_i X \dots X B_i) \rightarrow zq] \}$$

$$R=\{\bigcup_{k=1}^q \bigcup_{i=1}^n (A_i X \dots X B_i) \rightarrow zk\}$$

$$RB^k = \{\bigcup_{i=1}^n (A_i X \dots X B_i) \rightarrow zi\} \text{ olduğunda}$$

$$R=\{\bigcup_{k=1}^q RB^k\} \text{ olarak elde edilir.}^7$$

Bileşkesel Çıkarsama Kuralı:

Tek bir kural tabanı ve bu taban üzerinde bir çıkarsama ele alındığını düşünelim:

Kural: *R1: eğer f a ise g C'dir*

Girdi: *f A'dır.*

Sonuç: *C' (A)*

Bulanık kural ir içermeye olarak yorumlanır *A'* girdisi, çıkarsama sistemine veriline çıktı *C''* birleşim işlemcisi olarak gösterilen çıkarsama işlemi elde edilir.

$$C'A''*R1$$

Bu işlem **“Bileşkesel Çıkarsama”** olarak tanımlanır. Böylelikle çıkarsama; içermeye ve bileşkesel işlemleri ile yapılır diyebiliriz.

⁷ Burada R kümesi çoklu girdi çoklu çıktı kural tabanını, B kümesi de çoklu girdi tek çıktı kural tabanını temsil etmektedir.

Çıkarsama Mekanizmaları:

Basit bir bulanık kural verildiğinde nasıl çıkarsama yapılabileceği aşağıdaki örnekle açıklanmıştır.

Önerme 1: Girdi bir tekillik iken, αI eşleşme derecesi ile C den C' sonucu elde edilmesi Bulanık kural R1 ve $e0$ tekil girdisine göre:

R1: Eğer e A ise g C' dir

$$R1: A \rightarrow C$$

C' çıkarsama sonucu $\mu C(g)$ üyelik fonksiyonu ile tanımlanır. $\alpha I = \mu A(e0)$ olduğunda;

Rc için (Mamdani içermesi⁸); $\mu C(g) = \alpha I \wedge \mu C(g)$

Rp için (Larsen içermesi⁹); $\mu C(g) = \alpha I \cdot \mu C(g)$ olacaktır.

Kanıt:

$\mu R1(e, g) = \mu A(e) \rightarrow \mu C(g)$ Bileşkesel çıkarsama kuralı ile;

$$C' = A' * (A \rightarrow C) = A' * R1$$

Bu olguda, $A' = e0$

$$\mu C(g) = \mu 0(\mu A(e) \rightarrow \mu C(g))$$

$$\mu C(g) = \mu A(e0) \rightarrow \mu C(g))$$

birinci içirme için EK işlemcisi uygulandığında:

$$\mu C'(g) = EK[\mu A(e0), \mu C(g)]$$

$\alpha I = \mu A(e0)$ olduğunda:

$$\mu C'(g) = \alpha I \wedge \mu C(g)$$

⁸ Çıkarsama Yöntemleri bölümünde açıklanacaktır.

⁹ Çıkarsama Yöntemleri bölümünde açıklanacaktır.

İkinci içirme için Larsen çarpım işlemcisini kullanırsak

$$\mu C'(g) = c \rightarrow \mu C(g)$$

$$\mu C(g) = \mu C(g) * \mu C(g)$$

$$\alpha I = eA(e0) \mu C(g) = \alpha I * \mu C(g)$$

αI 'e eşleşme derecesi, doyum derecesi veya ateşleme gücü denir.

Önerme 2: Bir bulanık girdi için, C ve αI eşleşme derecesinden C' sonucu elde edilmesi.

Bulanık kural **R1**: $A \rightarrow C$ ve A girdisi verildiğinde, çıkarsama sonucu C' μC fonksiyonu ile tanımlanır.

$\alpha I = EB[\mu A, (e) \wedge \mu A(e)]$ olduğunda;

Rc için $\mu C'(g) = \alpha I \wedge \mu C(g)$

Rp için $\mu C'(g) = \alpha I * \mu C(g)$ olur.

Kanıt: Rc için içermeye **EK** işlemi, bileşkelerde **EB-EK** işlemcileri kullanılır.

$$C' = A' * (A \rightarrow C)$$

$$C' = A' * (AXC)$$

$$C' = A' * R1$$

$$\mu R1(e, g) = EK[\mu A(e), \mu C(g)] = [\mu A(e) \wedge \mu C(g)]$$

$$\mu C'(e) = \{ \mu A'(e) * (\mu A(e) \rightarrow \mu C(g)) \} = \{ \mu A'(e) * (\mu R1(e, g)) \}$$

$$\mu C'(e) = EB[\mu A', (e) \wedge \mu R1(e, g)]$$

$$\mu C'(e) = EB_e [\mu A, (e) \wedge [\mu A'(e) \wedge \mu C(g)]]$$

Bu sonuç üzerinde **EB** ve **EK** işlemcilerinin birleşme özelliği uygulandığında

$$\mu C'(g) = EB_e \{ [\mu A', (e) \wedge \mu A(e)] \wedge \mu C(g) \}$$

$$\alpha I = EB_e [\mu A'(e) \wedge \mu A(e)] \text{ olduğunda;}$$

$$\mu C'(g) = \alpha I \wedge \mu C(g)$$

Kural Tabanı İle Bulanık Çıkarsama:

Yukarıda açıklanan bileşke çıkarsama kuralı bu başlıkta biraz daha genişletilecektir.

$R_i : A_i \rightarrow C_i$ olmak üzere bir R kuralı R_i kurallarının bileşiminden oluşur.

$$R: \bigcup_{i=1}^n R_i$$

Önerme 3: C' toplam sonucu bireysel C_i sonuçlarının toplamıdır.

Önerme 3'de verilen durum şu şekilde ifade edilebilir:

$$C' = A' * \bigcup_{i=1}^n R_i = \bigcup_{i=1}^n A' * R_i = \bigcup_{i=1}^n C'_i$$

Kanıt: $i=1,2,\dots,n$, $\forall i, n$ $R_i = A_i \rightarrow C_i$ veya $R_i = A_i \times C_i$ için:

$$C' = A' * \bigcup_{i=1}^n R_i = A' * \bigcup_{i=1}^n A_i \rightarrow C_i$$

C' bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu olan $\mu C'$ tüm $g \in G$ için;

$$\mu C'(g) = \mu A'(e) * EB_{e,g} [\mu R_1(e,g), \mu R_2(e,g), \dots, \mu R_n(e,g)]$$

bu formülde * işlemcisi yerine **EB-EK** işlemcilerini kullanırsak

$$\mu C'(g) = EB_e EK_e \{ \mu A'(e), EB_{e,g} [\mu R_1(e,g), \mu R_2(e,g), \dots, \mu R_n(e,g)] \}$$

$$\mu C'(g) = EB_e EB_{e,g} \{ EK_e [\mu A'(e), \mu R_1(e,g)], EK_e [\mu A'(e), \mu R_2(e,g)], \dots, EK_e [\mu A'(e), \mu R_n(e,g)] \}$$

$\mu A(e) * \mu R_i(e, g) = \bigvee_e \bigvee_g [\mu A'(e), \mu R_i(e, g)]$ olduğu için

$\mu C'(g) = \bigvee_{e, g} \{ [\mu A'(e) * \mu R_1(e, g)], [\mu A'(e) * \mu R_2(e, g)], \dots, [\mu A'(e) * \mu R_n(e, g)] \}$

$\mu C' = [\mu A'(e) * \mu R_1(e, g)]$ ve $C'_i = A * R_i$ olduğundan dolayı;

$C' = [A * R_1] \cup [A * R_2] \cup \dots \cup [A * R_n]$

$C' = \bigcup_{i=1}^n A * R_i = \bigcup_{i=1}^n A * (A_i \rightarrow C_i) = \bigcup_{i=1}^n C'_i$

Tüm bu kurallardan C sonucunun bireysel C'_i sonuçlarının bir toplamı olduğu görülmektedir. Bu durumda:

$\mu C'(e) = \bigvee_{i=1}^n \mu C'_i$

Önerme 4: $R_i: (A_i X B_i \rightarrow C_i)$; $R_i \wedge 1: (A_i \rightarrow C_i)$ ve $R_i \wedge 2: (B_i \rightarrow C_i)$ kurallarından oluşur. A_i ve B_i , R_i kuralının iki adet değişken girdileri ise $R_i \wedge 1: (A_i \rightarrow C_i)$ ve $R_i \wedge 2: (B_i \rightarrow C_i)$ kurallarının bireysel çıkarsamalarından C'_i çıkarsaması elde edilebilir.

Rc için $\mu A_i X B_i = \mu A_i \wedge \mu B_i$ ise

$C'_i = (A', B') * (A_i \vee B_i \rightarrow C_i) = [A' * (A_i \rightarrow C_i)] \cap [B' * (B_i \rightarrow C_i)]$

$R_{i_1} = A_i \rightarrow C_i$ ve $R_{i_2} = B_i \rightarrow C_i$ olduğunda

$C_i = [A' * (R_{i_1})] \cap [B' * R_{i_2}]$

$C_{i_1} = A' * R_{i_1}$ ve $C_{i_2} = A' * R_{i_2}$ olduğunda

$C'_i = C_{i_1} \cap C_{i_2}$ ve $C'_i = (A', B') * (A_i \vee B_i \rightarrow C_i)$

Rp için $\mu A_i X B_i = \mu A_i * \mu B_i$ ise

$$C'_i = (A', B') * (A_i \text{ ve } B_i \rightarrow C_i) = [A' * (A \rightarrow C_i)] * [B' * (B_i \rightarrow C_i)]$$

Kanıt: Rc ile ispatlayacak olursak;

$$C'_i = (A', B') * (A_i \text{ ve } B_i \rightarrow C_i)$$

$$\mu C'_i = (\mu A', \mu B') * (\mu A_i \times B_i \rightarrow \mu C_i)$$

$$\mu C'_i = (\mu A', \mu B') * (EK(\mu A_i, \mu B_i) \rightarrow \mu C_i)$$

$$\mu C'_i = (\mu A', \mu B') * (EK(\mu A_i \rightarrow \mu C_i), (\mu B_i \rightarrow \mu C_i))$$

EB-EK işlemcileri yerine * işlemcisi kullanılırsa:

$$\mu C'_i = EB_{e,f,g} \{ [(\mu A'(e), \mu B'(f)) * (\mu R_1(e, f, g))], [(\mu A'(e), \mu B'(f)) * (\mu R_2(e, f, g))], \dots, [(\mu A'(e), \mu B'(f)) * (\mu R_n(e, f, g))] \}$$

$$\mu C'_i = EB_{e,f} \{ EK[\mu A', (\mu A_i \rightarrow \mu C_i)], EK[\mu B', (\mu B_i \rightarrow \mu C_i)] \}$$

sonuç olarak:

$$C'_i = [(A' * (A_i \rightarrow C_i))] \cap [B' * (B_i \rightarrow C_i)]$$

$$C'_i = [(A' * R_{i_1})] \cap [(B' * R_{i_2})]$$

$$C'_i = C_{1_i} \cap C_{2_i}$$

Bu formüllerden anlaşılmaktadır ki C'_i çıkarsama sonucu bireysel çıkarsamaların kesişimi ile elde edilmektedir.

Önerme 5: Tekillik girdisi C'_i , A_i ve B_i 'nin en küçük eşleşme derecesi ile belirlenir. Girdiler bulanık tekillilikler şeklindeyse, $A' = e_0$ ve $B' = f_0$, eşleşme derecesi $\mu A_i(e_0)$ ve $\mu B_i(f_0)$ arasındaki en küçük değerdir. Çıkarsama sonucu Önerme 1'den Mamdani'nin en küçük işlemci kuralı Rc ve içirme için Larsen'in çarpım kuralı Rp kullanılarak türetilir.

$$\alpha_i = \mu A'_i(e_0) \wedge \mu B'_i(f_0) = EK[\mu A'_i(e_0), \mu B'_i(f_0)] \text{ olduğunda}$$

$$Rc \text{ için } \mu C'_i(g) = \alpha \wedge \mu C_i(g)$$

Rp için $\mu C'_i(g) = \alpha_i * \mu C_i(g)$

Kanıt (Önerme 4'den):

$$C'_i = [A'*(A_i \rightarrow C_i)] \cap [B'*(B_i \rightarrow C_i)]$$

$$\mu C'_i(g) = EK\{[e_0 * (\mu A_i(e) \rightarrow \mu C_i(g))], [f_0 * (\mu B_i(f) \rightarrow \mu C_i(g))]\}$$

$$\mu C'_i = EK\{[(\mu A_i(e_0) \rightarrow \mu C_i(g)), [\mu B_i(f_0)] \rightarrow \mu C_i(g)]\}$$

Birinci içirme Mamdani'nin **EK** işlemcisini kullanırsak;

$$\mu C'_i = EK\{EK[\mu A_i(e_0), \mu C_i(g)], EK[\mu B_i(f_0), \mu C_i(g)]\}$$

$$\mu C'_i = EK\{EK[\mu A_i(e_0), \mu B_i(f_0), \mu C_i(g)]\}$$

$\alpha_i = EK[\mu A_i(e_0), \mu B_i(f_0)]$ olduğundan dolayı $\mu C'_i = EK\{\alpha_i, \mu C_i(g)\}$ ve $\mu C_i = \alpha_i \wedge \mu C_i(g)$ olur.

İkinci içirme için Larsen'in çarpım işlemcisi kullanılırsa;

$$\mu C'_i = EK\{[\mu A_i(e_0) * \mu C_i(g)], [\mu B_i(f_0) * \mu C_i(g)]\}$$

$$\mu C'_i = EK\{[\mu A_i(e_0) * \mu B_i(f_0)] * \mu C_i(g)\}$$

$$\mu C'_i = \alpha_i * \mu C_i(g)$$

Önerme 6: Bulanık girdi için, C'_i, A' ve A_i ile B' ve B_i 'nin en küçük eşleşme derecesi ile belirlenir. A' ve B' bulanık kümeler girdi kümeleri iken eşleşme derecesi α_i, A' ve A_i ile B' ve B_i arasındaki en küçük aracılığı ile belirlenir. Önerme 2'de elde edilen sonuçlar Rc için **EK** işlemcisi ve Rp için çarpım işlemcisi kullanılarak oluşturulabilir.

$$\alpha_i = EK_e [EB(\mu A, (e) \wedge \mu A_i(e)), EB(\mu B, (f) \wedge \mu B_i(f))] \text{ olduğunda,}$$

Rc için $\mu C'_i = \alpha_i \wedge \mu C_i(g)$

Rp için $\mu C'_i = \alpha_i * \mu C_i(g)$

Kanıt (Önerme 5'den):

$$C'_i = [A'^*(A_i \rightarrow C_i)] \cap [B'^*(B_i \rightarrow C_i)]$$

$$\mu C'_i = EK\{\mu A'^*(\mu A'_i \rightarrow C_i), [\mu B'^*(\mu B'_i \rightarrow C_i)]\}$$

$$R_{AC_R} = A_i X C_i, R_{BC} = B_i X C_i \text{ olduğunda } \mu C'_i = EK\{(\mu A_i * \mu Rac), (\mu Bi * \mu Rbc)\} \text{ olur.}$$

İkinci önermeden; içerme için (R_{AC_R} ve R_{BC} için kartezyen çarpım) **EK** ve bileşke için **EB-EK** uygulandığında;

$$\mu_i = EK_e [EK_e (\mu A'(e) \wedge \mu A_i(e)), EB(\mu B'(f) \wedge \mu B_i(f))] \text{ olduğunda,}$$

$$\mu C'_i = EK_e \{EB_f \mu A'_i \wedge \mu Rac, EB \mu B'_i \wedge \mu Rbc\}$$

$$\mu C'_i = EK_e \{EB_f \mu A'_i \wedge (\mu A_i \wedge \mu C_i), EB \mu B'_i \wedge (\mu B_i \wedge \mu C_i)\}$$

$$\alpha A = EB_e (\mu A'_i \wedge \mu A_i), \alpha B = EB_f (\mu B'_i \wedge \mu B_i) \text{ olduğunda;}$$

$$C'_i = EK\{\alpha A \wedge \mu C_i, \alpha B \wedge \mu C_i\}$$

$$\alpha_i = EK[\alpha A, \alpha B] = EK_e [EB_f (\mu A'_i \wedge \mu A_i), EB(\mu B'_i \wedge \mu B_i)] \text{ olduğunda;}$$

$$\mu C'_i = EK[\alpha A, \alpha B] \wedge \mu C_i = \alpha_i \wedge \mu C_i$$

2.2.3.9 Çıkarsama Yöntemleri

Bilgi tabanındaki girdiler alıcılarla ölçülür ve bunlar genellikle kesin değerler sahiptir. Bazı durumlarda bu bilgiler bulanık kümelere çevrilebilir. Bu kesin değerler bulanık tekillilik şeklinde temsil edilebilir.

Elimizdeki iki kural şu şekilde iken

R1: Eğer e A1 ve f B1 ise g C1'dir

R2: Eğer e A2 ve f B2 ise g C2'dir

Bu durumda girdi tekillik değeri olarak verilirse birince ve ikinci kuralın (α_1 ve α_2) eşleme dereceleri olan $\mu_{a_1}(e_0)$ ve $\mu_{b_1}(f_0)$ kullanıcının girdiği veri (e_0 ve f_0) ile kural tabanındaki veri (A_i ve B_i) arasındaki kısmi eşleşme dereceleri olmak üzere

$$\alpha_1 = \mu_{a_1}(e_0) \wedge \mu_{b_1}(f_0) \quad \text{ve} \quad \alpha_2 = \mu_{a_2}(e_0) \wedge \mu_{b_2}(f_0)$$

olarak açıklanabilir.

Girdi yukarıdaki gibi değil de A2 ve B2 bulanık kümeleri olarak verilirse kuralların eşleme dereceleri

$$A_i = EK[EB_e(\mu_{a_i}(e) \wedge \mu_{a_i}(e)), EB_f(\mu_{b_i}(f) \wedge \mu_{b_i}(f))]$$

şeklinde olur.

Yukarıda verilen bu denklikler takip eden kısımda açıklanacak çıkarsama yöntemlerinde kullanılmaktadır.

Mamdani Yöntemi:

Bu yöntemde **EK** işlemcisi **Rc**'yi bulanık içirme olarak, **EB-EK** işlemcisi de bileşke olarak kullanılır.

$i=1,2,\dots,n$ ($e \in E, f \in F$ ve $g \in G$ için;

$R_i = \text{Eğer } e \text{ A ve B ise g C'dir}$

şeklinde bir kural tabanı verildiğinde **$R_i = (A_i \text{ ve } B_i) \rightarrow C_i$** ,

$$\mu R_i = \mu(A_i \text{ ve } B_i) \rightarrow (e, f, g)_{C_i}$$

ile tanımlanır.

Girdi Veri Tekil İse ($e=e_0, f=f_0$)

$$\mu C_i(g) = [\mu A_i(e_0) \text{ ve } \mu B_i(f_0)] \rightarrow \mu C_i(g)$$

Mamdani yönteminde koşul önermesi için ki buna bulanık içirme de denilebilir ($\rightarrow$), **EK** işlemcisi kullanılır. Önerme 5'den; $\alpha_i = \mu A_i(e_0) \wedge \mu B_i(f_0)$ olduğunda **$\mu C'_i(g) = \alpha_i \wedge \mu C_i(g)$** olur.

Önerme 3'den; çıkarılan sonuç **C**'nin **μC** üyelik fonksiyonunun bireysel denetim kurallarından türetilen toplu sonuç olarak verildiğini böylece **R1** ve **R2** adlı iki kural varken

$$\mu C'(g) = \mu C'1 \vee \mu C'2$$

$$\mu C'(g) = [\alpha_1 \wedge \mu C1(g)] \vee [\alpha_2 \wedge \mu C2(g)]$$

olduğunu biliyoruz.

Girdiler tekillik olarak verildiğinde çıkarsama süreci için şu kurallar verilebilir.

$$\mu C'(g) = \bigvee_{i=1}^n [\alpha_i \wedge \mu C'_i(g)] = \bigvee_{i=1}^n \mu C'_i(g)$$

$$C' = \bigcup_{i=1}^n C'_i$$

Girdi Veri Bulanık Kümeler İse

Girdi veri A' ve B' adında iki adet bulanık küme ise, Önerme 6'dan

$$\alpha_i = EK_e [EB(\mu A_i(e) \wedge \mu A_i(f)), EB(\mu B_i(f) \wedge \mu B_i(g))] \text{ olduğunda; } \mu C'_i = \alpha_i \wedge \mu C_i(g)$$

eşitliği sağlanır. Önerme 3'den elde edilen sonuçlara göre:

$$\mu C'(g) = \bigvee_{i=1}^n [\alpha_i \wedge \mu C'_i(g)] = \bigvee_{i=1}^n C'_i(g)$$

$$C' = \bigcup_{i=1}^n C'_i$$

ÖRNEK:

Elimizdeki bulanık tabanında R: Eğer e A ise, f B'dir. Şeklinde bir kuralımız olsun. A=(0,2,4) ve B=(3,4,5) üçgen bulanık kümeleridir. $e_0=3$ tekil değeri girdi olarak verilirse Mamdani yöntemi kullanılarak B' çıkarsaması şu şekilde yapılır:

A ile u_0 arasındaki eşleşme derecesinin $\alpha=0.5$ olduğunu örebiliriz. Burada B' çıktısı B ile $\alpha=0.5$ arasındaki kesişim ile elde edilir.

Larsen Yöntemi:

Bu yöntem bulanık içermeye için **Rp** çarpım işlemcisini, bileşke için de **EB** işlemcisini kullanır.

Ri: Eğer e A_i ve f B_i ise g C_i dir kural tabanı

$R_i = (A_i \wedge B_i) \rightarrow C_i$; $\mu R_i(A_i \wedge B_i) \rightarrow C_i(e,f,g)$ şeklinde tanımlanır.

Girdi Veri Tekil İse (e=e0, f=f0)

$$\mu C'_i(g) = [\mu A_i(e_0) \text{ ve } \mu B_i(f_0)] \rightarrow \mu C_i(g)$$

$$\mu C'_i(g) = [\mu A_i(e_0) \wedge \mu B_i(f_0)] * \mu C_i(g)$$

$\alpha_i = \mu A_i(e_0) \wedge \mu B_i(f_0)$ olduğunda

$$\mu C'_i(g) = \alpha_i * \mu C_i(g)$$

Bu verilere dayanarak:

$$C' = \bigcup_{i=1}^n C'_i \text{ ele edilir.}$$

Girdi Veri Bulanık Kümeler İse

$$\alpha_i = EK_e [EB(\mu A, (e) \wedge \mu_{A_i}(e)), EB(\mu B, (f) \wedge \mu_{B_i}(f))]$$

$\mu C'_i = \alpha_i \wedge \mu C_i(g)$. Önerme 3'den elde edilen sonuçlara göre:

$$\mu C'(g) = \bigvee_{i=1}^n [\alpha_i \wedge \mu C'_i(g)] = \bigvee_{i=1}^n C'_i(g)$$

$$C' = \bigcup_{i=1}^n C'_i$$

Yukarıda verilen yöntemlere ek olarak hem tekil girdi hem de bulanık küme girdileri üzerinde çıkarsama yapabilen Tsukamoto Yöntemi, bu yöntemde bulanık kümeler monotonik üyelik fonksiyonları ile temsil edilirler. Yani $\mu C_i(g)$ bir monotonik fonksiyondur, ve Takagi-Sugeno-Kang(TSK) Yöntemi gibi farklı yöntemler de vardır.

Bölüm 3 – Bayes Ağları¹⁰

Bu bölüm tez çalışmasının ana unsurunu oluşturmaktadır. Tez kapsamında geliştirilecek olan tıbbi karar destek sistemi, verilen adıyla Hipokrat-I Teşhis Destek Sistemi, Bayes ağ yapısını kullanarak tiroid hastalıkları üzerinde çıkarsama yapacaktır.

Ancak Hipokrat-I Destek Sistemi'nden önce bu sistemin üzerinde geliştirildiği Bayes Ağları ile genel bilgiler bu bölümde sunulacaktır. Bayes kanununu bulan Thomas Bayes ve ilgili kuramın kısa bir tarihçesi verildikten sonra, kavramın daha iyi anlaşılabilmesi için olasılık ve bayes kurallarına değinilecektir. Bunları takip eden kısımlarda ise Bayes Ağları, bu ağların karar destek sistemlerinde ve tıbbi teşhis destek sistemlerinde nasıl kullanıldığı açıklanacaktır.

3.1 Thomas Bayes

1719'da Edinburgh Üniversitesi'nde mantık ve din eğitimi görmüştür. Ayrıca matematik eğitimi de almıştır. İlgili eğitimlerinden sonra Londra' nın güneydoğusunda bir yer olan Tunbridge' de orta elçilik görevini üstlenmiş, bu vazifesini 1752 yılına dek sürdürmüştür.

Bayes, kendisine ait olasılık kuramını “*Essay towards solving a problem in the doctrine of chances*” (*Bir Problemi Şanslar Öğretisi İse Çözmek*) adlı makalesinde yayınlamıştır. Bu makale dönemim itibarlı yayınlarından olan “*Philosophical Transactions of the Royal Society of London*” ‘da yer bulmuştur. Bu makale döneminin

¹⁰ Bayes ağları aynı zamanda inanç ağaçları olarak da bilinir. Nedeni ise yerel olasılık (koşullu veya marjinal) tabloları eldeki veriden çıkarılacağı gibi bir alan uzmanı vasıtasıyla onun ön rassal önermelerin (veya rassal özelliklerin) sonuca ilişkin stokastik inancı ile de belirlenebilir. Bundan dolayı, inanç ağları, yukardan aşağı olan bir düzenlemenin söz konusu olduğunu göstermek için kullanılır.

saygın matematikçiler tarafından ilgiyle karşılanırsa da büyük çapta bir yankı uyandırmamış ve bu konuda geniş araştırmalar yapılamamıştır. Bayes'in yargıları 1781'de Laplace tarafından kabul görmüştür. Aslında Bayes kuramını genelleştirerek daha geniş bir kullanım kazandıran, genelleştirdiği bu kuramı mekanik, tıbbi istatistik gibi alanlarda kullanan Laplace'dır.

3.2 Olasılık Ve Belirsizlik

Olasılık kavramı belirsizlik altında çıkarsama yaparken yararlanabileceğimiz bir kavramdır. İnsanlar ve dolayısıyla geliştirilen karar destek sistemleri iki tip belirsizlikle karşı karşıyadırlar. İlk tip belirsizlik hastalıktan belirtilere giderken görünendir. Örneğin, zaatüre olan bir hastanın her zaman ateşi olmayabilir, öksürük şikâyeti olabilir veya olmayabilir, hatta beyaz kan hücreleri normal seviyesinde olabilir. İkinci tip belirsizlik ise, belirtilerden teşhise giderken görülür. Örneğin, yüksek ateş çoğu hastalıkta büyük oranda görülür ve bu nedenle ayırt ediciliği azdır. Tıpkı ilk durumda olduğu gibi bazı belirtiler kesin olarak tek bir hastalığa ait olmayabilir.

Belirsizliğin en temel nedenlerinden birisi belirsizliğin alakalı olduğu alanın tüm değişkenlerini gözlemenin zorluğudur. Bunun yanında gözlemlenebilen bileşenler, ait oldukları dünya deterministik olsa da, rasgele davranırlar. Bu nedenlerle ilgili dünyanın tüm bileşenlerini belirlemek, aralarındaki ilişkileri modellemek zaman ve maliyet açısından çoğu zaman pratik olarak imkânsızdır. Ancak tüm bu zorluklara rağmen insanoğlu belirsizlik altında karar alabildiğini fark etmiş ve kendisinin bu becerisini kendi programladığı sistemlere aktarmak istemiştir. Bu beceriyi sistemlere aktarırken karşımıza çıkan en önemli sorunlardan ilki bu belirsizliğin daha doğrusu belirsizlik içerisindeki ilişkilerin nasıl temsil edileceğidir.

Bu temsil için düşünülen yöntemlerden birisi önermeler mantığı ile yüklem mantığına yapılan eklerdir. Bu yaklaşım özellikle 1970 ve 80'lerde tercih edilmiş hatta

önemli tıbbi sistemlerden MYCIN bu temele dayanarak geliştirilmiştir. Burada gerçeklere, önermelere, onların gerçekliğini yansıtan değerler atanır. Bu değere “kesinlik faktörü” denir. Bu durumda bilgi tabanı şu şekilde temsil edilebilir.

Eğer 1-Hasta öksürüyorsa

2-Hastanın kan sayımındaki beyaz hücreler normalden fazlaysa

3-Hasta ateşliyse

O halde (0,7’lik bir kesinlikle) Hasta zaatüredir.

Bu yaklaşımın temel sorunu çıkarsama kurallarının zincirlemesinden yani belirsizliğin yayılmasından kaynaklanır. Bu durumda çözüm olarak bir birleştirme işlemi uygulanabilir.

$$(A[0,5..1] \wedge B[0,7..1]) \rightarrow C, C \text{ için kesinlik faktörü}(kf)=0,8$$

Bir diğer problem aynı sonuca ulaşan kuralların birleştirilmesidir.

$$(A[0,51]) \wedge (B[0,71]) \rightarrow C, kf^{11} = 0,8$$

$(E[0,81]) \wedge (B[0,91]) \rightarrow C, kf = 0,9$. Bu (A, B ve E ön önermelerinin sağlandığı) durumda C için kf nedir?

Bu problemin çözümü için üç farklı yol izlenebilir. En büyük değer seçilebilir, tüm değerlerin çarpımı seçilebilir veya bir ortalama değer hesaplanabilir. Ancak bu seferde hangi seçeneğin seçileceği bir problem oluşur.

Belirsizlik kavramındaki durumların ve ilişkilerin temsili için olasılık kuramı kullanmak diğer bir yaklaşımdır. Aslında bu yaklaşım kesinlik faktörü ile yer değiştirecek doğal bir seçenektir. Bu yöntemde gerçekler bir veya daha fazla değeri olan rassal değişkenlerle temsil edilirler. Örneğin zaatüre bir rassal değişkendir, doğru ve yanlış

¹¹ Kesinlik faktörü

olmak üzere iki değeri vardır. Bu iki değere de belirli olasılıklar atanabilir. Örneğin, hastalığın doğru olma olasılığı binde bir olabilir. Bu durum şu şekilde temsil edilir.

$$P(\text{hastalık}=\text{doğru}) = 0,001$$

Olasılık kuramının en önemli belitleri şunlardır: A ve B önermeleri için;

- a- $0 \leq P(A) \leq 1$ ve $0 \leq P(A) \leq 1$
- b- $P(\text{doğru}) = 1$ ve $P(\text{Yanlış}) = 0$
- c- $P(A \vee B) = P(A) + P(B) - P(A \wedge B)$

Olasılık kuramı ile birlikte önermeli mantık genişletilebilir. Bu durumda rassal değişkenler ikili değerler(hastalık doğru veya yanlış), çoklu değerler(acı yok-orta-çok) veya sürekli değerler(kalp atış hızı 0-250 arası) olabilirler. Makine öğrenme disiplinde sürekli değerlere sahip özellikler genelde kesikli değerli özelliklere çevrilip işleme konulurlar.

Eğer olasılıklar koşullu değilse tüm olabilir değişkenlere öncül değerler atanır. Bu değerler karşılıklı dışlayan değerlerdir.¹² Örneğin:

$$P(\text{hastalık}=\text{doğru}) = 0,001 \text{ ise } P(\text{hastalık}=\text{yanlış}) = 0,999 \text{ olur.}$$

Olasılık değerlerinin bu şekilde değişkenler arasında paylaştırılmasına olasılıksal dağılımı denir. Bu dağılım için dikkat edilmesi gereken en önemli nokta tüm dağılım değerlerinin toplamının önceden belirtildiği üzere bir'e eşit olması gerekliliğidir.

Olasılık kuramında karşımıza çıkan bir başka tanım ise “Birleşik Olasılık” dır. Hastalığa ait rassal değişkenlerin bir arada olabilme olasılıklarını birleşik olasılık dağılımı verir ki böyle bir dağılım aşağıda tablo 10(3.1) ile verilmiştir.

¹² Karşılıklı Çatışan: Mutually Exclusive. Matematikte iki şık verildiğinde birinin olması diğerinin gerçekleşmesini imkansızlaştıran olaylar.

P(Zaatüre, BKH¹³) bir matris yapısı ile temsil edilebilir.

	Yüksek	Normal	Düşük
Doğru	0,0008	0,0001	0,0001
Yanlış	0,0042	0,9929	0,0019

Tablo 10(3.1): Beyaz kan hücrelerinin olasılıksal dağılımı

Görüldüğü gibi satırların toplamı yine bir'i vermektedir.

Eğer belirli bir durumda bir olayın olması diğer olayların olup olmamasına bağlı ise bu duruma “Koşullu Olasılık” denir. Bu durum şu şekilde formüle dökülür.

$$P(A|B) = P(A, B) / P(B)$$

$$P(A|B) = P(A,B) / P(B) \text{ ve } P(B) \neq 0$$

Örneğin zaatüre hastalığında beyaz kan hücrelerinin sayımı yüksek çıkacaktır. Bu durumda beyaz kan hücreleri sayısı arttığında kişinin zaatüre olma olasılığı:

$$P(\text{Zaatüre=doğru} \mid BKH=\text{yüksek}) = P(\text{Zaatüre=doğru}, BKH=\text{yüksek}) / P(BKH=\text{yüksek})$$

Koşullu olasılık ve birleşik olasılık birbirleri cinsinden ifade edilebilirler:

$$P(A|B) = P(A, B) / P(B)$$

$$P(A,B) = P(A|B) P(B)$$

¹³ BKH: Beyaz Kan Hücreleri

Böylelikle her birleşik olasılık değeri koşullu olasılıklar şeklinde ifade edilir ve bir “Zincir Kuralı” oluşur.

$$\begin{aligned} P(X_1, X_2, \dots, X_n) &= P(X_n | X_1, \dots, X_{n-1}) P(X_1, \dots, X_{n-1}) \\ &= P(X_n | X_1, \dots, X_{n-1}) P(X_{n-1} | X_1, \dots, X_{n-2}) P(X_1, \dots, X_{n-2}) \\ &= \prod_{i=1}^n P(X_i | X_1, \dots, X_{i-1})^{14} \end{aligned}$$

3.2 Bayes Kuramı

Bayes kuramı koşullu olasılıkları hesaplayan basit bir matematiksel formüldür. Makul bilginin olasılık kuralları tarafından yönlendirildiğini savunan öznel düşünürler, koymuş oldukları kuramlarda koşullu olasılıklara dayanırlar. Aslında Bayes Kuramı öznel düşünce için bir köşe taşıdır.

Bayes kuramı, yeni bir kanıtın ışığı altında o ana kadar ki inançlarımızı nasıl değiştirmemiz gerektiğini açıklayan matematiksel bir kuraldır. Diğer bir deyişle yeni bilgiler ile hali hazırda bulunan verilerin ve bilgilerin birleştirilmesini sağlar. Yeni deliller var olan sonuçların kredisini veya ona olan inancımızı etkiler. Örneğin, gelişmekte olan bir çocuk gözlemci, ilk defa güneş batışını gözlemler ve buna dayanarak güneşin bir daha doğup doğmayacağını merak eder. Bu tür bir durumda gözlemci her iki çıktıya da eşit olasılığı vererek bu olasılıkları temsil eden bir siyah ve bir de beyaz bilyeyi bir torbaya koyar. Ertesi gün güneş doğduğunda torbaya bir beyaz bilye daha koyar. Bu durumda torbadan çekilecek bilyenin beyaz olma olasılığı, çocuğun gelecek günlerde de güneşin doğacağına olan inancı, yarımdan üçte ikiye yükselir. Ertesi gün torbaya gün doğuşunu temsil eden bir tane daha beyaz bilye konulduğunda torbadan beyaz çekme

¹⁴ Zincir kuralı Bayes ağlarının oluşturulmasında kullanılan bir formüldür. Bu formülden yola çıkılarak ağın kurulması tezin 3.3.2 başlıklı bölümünde açıklanmıştır.

olasılığı dörtte üçe çıkar. Böylece yeni bilgiler eklendikçe güneşin doğma olasılığı ikide bir iken gittikçe artar. Matematiksel bir tanımla:

$$\text{sonraki olasılık} = \frac{\text{Koşullu olasılık} * \text{önceki olasılık}}{\text{marjinal olasılık}}$$

$$P(R=r | e) = \frac{P(e | R=r) P(R=r)}{P(e)}$$

Burada $P(R=r | e)$ ifadesi, e kanıtı verildiğinde R değişkeninin olasılığını bizlere verir. Yukarıdaki eşitliğin payda kısmı normalleştirme faktörüdür. Bu faktör, R 'nin her değeri için kesrin payının toplamına eşittir.

$$P(e) = P(R=0, e) + P(R=1, e) + \dots = \sum P(e | R=r) P(R=r)$$

Hesaplanan bu değere marjinal olasılık denir.

Örneğin, Bir hastanın belirli bir x hastalığını taşıyıp taşımadığına dair bir test yapılıyor. Testin sonucu pozitif çıkıyor. Peki gerçekten de hasta x hastalığını taşıyor mu? Bu durum testin hassasiyetine ve hastalığın önceki olasılıklarına göre değişir. Bu örnek için aşağıdaki tanımlar verilmiş olsun:

$$P(\text{Test=pozitif} | \text{hastalık=doğru}) = 0,95$$

$$P(\text{Test=negatif} | \text{hastalık=doğru}) = 0,05$$

$$P(\text{Test=pozitif} | \text{hastalık=yanlış}) = 0,05$$

$$P(\text{Hastalık=doğru}) = 0,01$$

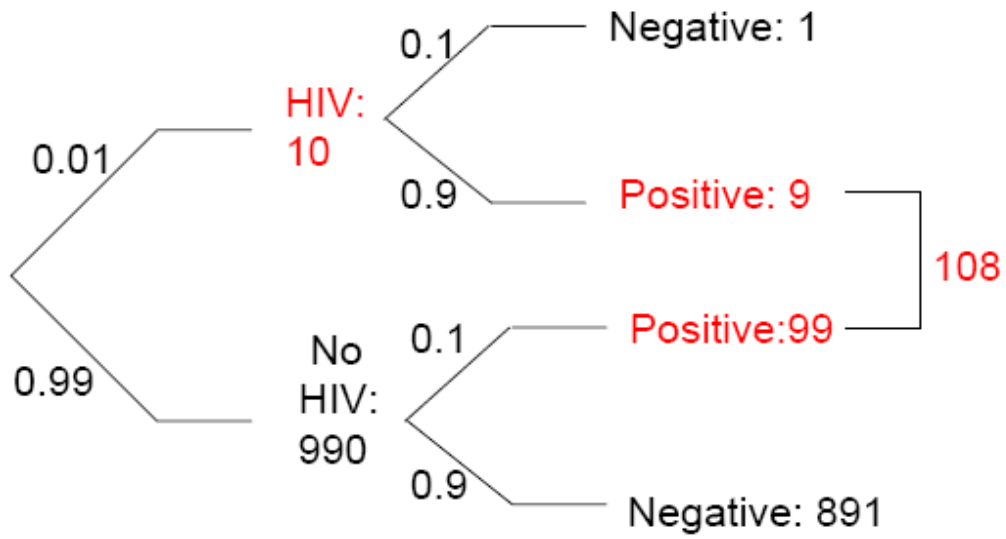
$$P(\text{Test}=p \mid \text{hastalık}=d) * P(\text{Hastalık}=d)$$

$$P(\text{Hastalık}=d \mid \text{Test}=p) = \frac{P(\text{Test}=p \mid \text{hastalık}=d) * P(\text{Hastalık}=d)}{P(\text{Test}=p \mid \text{hastalık}=d) * P(\text{Hastalık}=d) + P(\text{Test}=p \mid \text{hastalık}=y) * P(\text{Hastalık}=y)}$$

$$= 0,95 * 0,01 / 0,95 * 0,01 + 0,05 * 0,99 = 0,161$$

Bu hesaplama gösteriyor ki test doğru çıksa da hastanın x hastası olma olasılığı yüzde on altı. Bu örnek, sonuçlarının düşük çıkmasıyla bizleri kendisine inandırmakta zorlanır. Ancak gerçek şudur ki test yaptıran yüz kişiden sadece beşi pozitif çıkar, bu beş kişiden de hasta olan yalnızca bir kişidir [80].

Örn: Bir ülkedeki insanların %1'i HIV virüsü taşıyor olsun. Bu hastalık için yapılan bir testin kesinliği ise %90 olarak verilsin. Yani bir insan HIV taşıyorsa test bunu %90 olasılıkla doğru bilecek, aynı zamanda bu kişi HIV taşımıyorsa test yine kişinin HIV taşımadığını %90'lık oranla bilecek. Bu bilgiler ışığında test sonucu pozitif çıkan birinin gerçekten bu virüsü taşıma olasılığı nedir?



$$P(H | +) = 9 / (99+9) = 0,083$$

Aynı durumu şu şekilde değerlendirebiliriz:

	Test +	Test -
HIV Taşıyor	%90 (İsabet)	%10 (Karavana)
HIV Taşımıyor	%10 (karavana)	%90 (isabet)

Tablo 11(3.2): HIV testi sonuç tablosu

$$\begin{array}{c}
 \text{İsabet Oranı} \quad \text{Temel Oran} \\
 \swarrow \quad \searrow \\
 p(+ | H) * p(H) \\
 P(H | +) = \frac{p(+ | H) * p(H)}{p(+ | H) * p(H) + p(+ | -H) * p(H)} \\
 \uparrow \\
 \text{Yanlış Alarm Oranı}
 \end{array}$$

böylelikle;

$$P(H | +) = (0,9)(0,1) / (0,9)(0,1) + (0,1)(0,99) = 0,083$$

3.4 Bayes Ağları

Bayes ağları, karar verme durumundaki belirsizlikleri ve istatistiksel çıkarsamaları modellemede kullanılan ve son yıllardaki popülaritesiyle oldukça göze çarpan bir yöntemdir [33]. Birçok algoritma Bayes ağları kullanarak ilgilendikleri alanda üzerinde çalıştıkları değişkenlerin bir sonraki değerlerini başarılı bir şekilde hesaplayabilir.

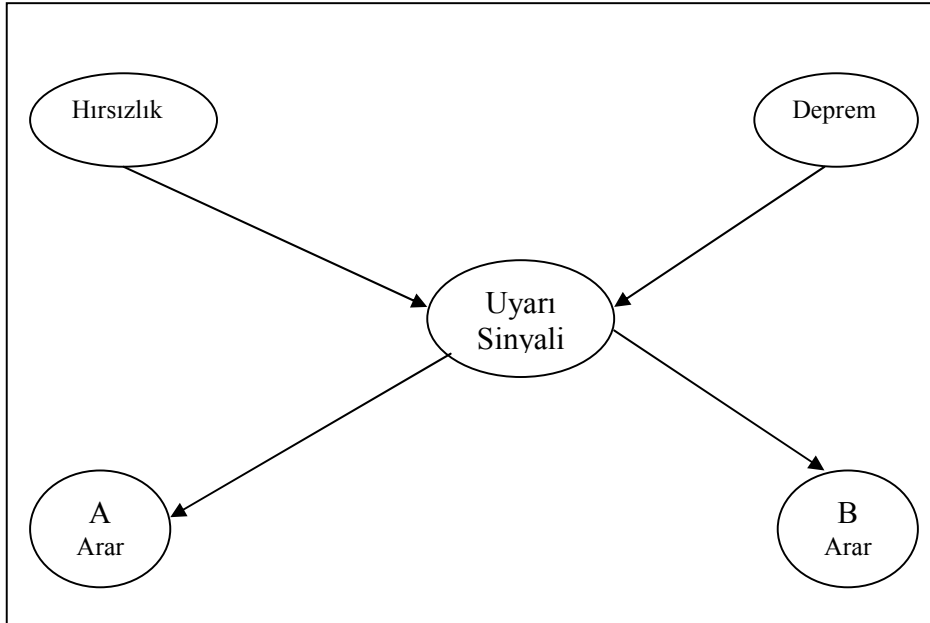
Bu olasılıksal model, yönlü döngüsüz çizge yapısına dayanır. Kanıtların aşağıdan yukarı veya yukarıdan aşağıya birleştirilebilmesi, çift yönlü çıkarım yapılabilmesi ve bu yapıya eklenen olasılık dağılımları sayesinde Bayes ağları, belirsizlik sırasında çıkarsama yapmak için tercih edilen önemli bir yöntem olmuştur.

Bu ağ yapısındaki düğümler önermedeki rassal değişkenleri temsil etmektedir. Bu değişkenler ayrık veya sürekli değerler alabilirler. Düğümler birbirlerine yönlü bağlar ile bağlanırlar. Eğer bir X düğümünden Y düğümüne yönlü bir bağ varsa bu durumda X 'e Y 'nin atası denir. Bu bağlar düğümler arasındaki koşullu bağımlılıkları, daha anlaşılır bir tabir ile düğümler arasındaki ilişkileri temsil etmektedir. Bu bağımlılıklar koşullu olasılık değerleri ile ifade edilir. Yani bir X düğümünden Y düğümüne çizilen bağ X 'in Y üzerinde etkisini olduğunu göstermektedir. Her X_i düğümü için $P(X_i|Pa(i))$ olasılık dağılımı, ata düğümün ($Pa(i)$) X_i düğümü üzerindeki etkisini göstermektedir. Bu sayede bir kanıt değişkenini temsil eden düğümün olasılığı biliniyorsa, bu düğüme bağlı diğer alt düğümlerin koşullu olasılıkları kanıta bağlı olarak hesaplanabilir.

Aslında Bayes Ağı'nın en önemli özelliği neden sonuç ilişkisini değil de modellediği dünyayı direkt olarak temsil etmesidir. Ağ üzerinde çizilen oklar gerçek ilişkisel nedenler olup, çıkarsama yapılırken izlenen yollar değildirler. Bu yönüyle de Kural Tabanlı veya Sinir ağları ile oluşturulan yapılardan farklıdırlar.

Bayes ağıları üzerinde çıkarsama yapılırken bilgi akışı herhangi bir yönde yapılabilir. Örneğin şekle göre, ağrı olduğunda büyük bir ihtimalle hasta kendisini halsiz hissedecektir. Bununla beraber kişinin hasta olması da onun halsizlik hissettiğine dair bir kanıt oluşturabilir. Ek olarak kişinin ağrı hissetmesi ateşi olması olasılığını düşürebilir, ki bu nedenlemeyi yapmak Kural Tabanlı veya Sinir Ağı yapısına dayalı sistemler için güçtür.

Bayes ağ yapısını literatürde kullanılan çok klasik bir örnekle [51] açıklayacak olursak: Evimize yeni bir uyarı sistemi taktırdığımızı düşünelim. Bu sistem herhangi bir hırsızlık olduğunda uyarı sinyali veriyor olsun. Ancak yapısından dolayı ufak depremlerde de uyarı sinyali verilsin. A ve B isimli iki komşumuz bizi uyarı sinyalini duyduklarında arıyorlar. Bunlardan A, bazı durumlarda telefon zili ile uyarı sinyalini karıştırmaktadır. B ise evde yüksek sesle müzik dinlemeyi sevdiğinden bazen uyarı sinyalini duymamaktadır. Bizi kimin arayıp aramadığı bilgisine göre hırsızlık olasılığını tahmin etmek istiyoruz. Bu durumda oluşturulacak Bayes Ağ yapısı Şekil 21(3.1) 'deki gibi olur.



Şekil 21(3.1): Basit bir Bayes Ağı.

Şekil 21(3.1) ‘deki durumların olasılıkları ise aşağıdaki tablolarla verilmiş olsun.

P(Hırsızlık)

0,001

Tablo 12(3.3) : Hırsızlık olasılığı

P(Deprem)

0,002

Tablo 13(3.4) : Deprem Olasılığı

Uyarı P(A arar)

Doğru 0,9

Yanlış 0,5

Tablo 14(3.5): Uyarı durumunda A arar olasılıkları

Uyarı P(B arar)

Doğru 0,7

Yanlış 0,1

Tablo 15(3.6): Uyarı durumunda B arar olasılıkları

Hırsızlık Deprem P(Uyarı)

Doğru Doğru 0,95

Doğru Yanlış 0,94

Yanlış Doğru 0,29

Yanlış Yanlış 0,001

Tablo16(3.7): Hırsızlık ve deprem durumunda uyarı olasılığı

(Takip eden bölümler için Uyarı sinyali=u, Deprem=d, Hırsızlık=h, A arar=a, B arar=b ile temsil edilecektir.)

Ağın topolojisinde görüldüğü gibi deprem ve hırsızlık durumu uyarı sinyalini direkt olarak etkilemektedir. **A** veya **B** kişilerinin hangisinin arayacağı ise bu uyarı sinyaline bağlıdır. Bu yapıya göre **A** ve **B** hırsızlığı direkt olarak görmemektedir, aynı zamanda ufak depremleri hissedememektedirler.

Örnekte olduğu gibi tüm Bayes ağlarında yukarıdaki tablolara benzer olasılık dağılım tabloları çıkartılır. Bu tablolara “Koşullu Olasılık Tablosu” (KOT) denir. Bu tablonun satırları koşul durumlarında ata düğümlerin alabileceği değerleri gösterir. Buna göre **k** adet atası olan bir değişkenin 2^k adet olasılığı vardır. Atası olmayan düğümlerin ise sadece tek değerli olasılığı bulunur.

Bir Bayes ağı birleşik olasılık dağılımlarının gösterildiği bir yapı veya koşullu bağımsızlık durumlarının kodlanması olarak yorumlanabilir. İlk tanım, bileşik olasılık dağılımları, bize ağı nasıl oluşturulacağını anlatırken ikinci tanım, koşullu bağımsızlıkların kodlanması, ise çıkarsama prosedürlerinin tasarımının nasıl yapılacağını anlatmaktadır.

3.4.1 Birleşik Olasılık Dağılımının Temsili

Birleşik olasılık dağılımındaki her değişken ağ yapısındaki bilgidен yararlanılarak hesaplanabilir. Dağılımdaki bir değişken, diğer değişkenlere verilen değerlerin birleşiminin olasılığı olarak temsil edilebilir.

$P(X_1 = x_1 \wedge \dots \wedge X_n = x_n)$ bu notasyon yerine $P(x_1, \dots, x_n)$ notasyonunu kullanabiliriz.

$$P(x_1, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | Pa(X_i))$$

Böylelikle birleşik olasılık dağılımındaki her değişken Bayes ağ yapısında bulunan KOT' larındaki değerlerin çarpımı ile temsil edilebilir.

Şekil 21(3.1) ve buna ait tablolardaki (Tablo 12(3.3)-13(3.4)-14(3.5)-15(3.6)-16(3.7)) 'daki değerleri kullanarak, deprem ya da hırsızlık olmadığı halde uyarı sinyalinin verildiği, A ve B 'nin aradığı durumun olasılığı şu şekilde hesaplanır:

$$\begin{aligned} P(A \wedge B \wedge u \wedge \neg h \wedge \neg d) &= P(A | u) P(B | u) P(u | \neg h \wedge \neg d) P(\neg h) P(\neg d) \\ &= 0,9 * 0,7 * 0,001 * 0,999 * 0,998 \\ &= 0,00062 \end{aligned}$$

Birleşik olasılık dağılımlarına dayanan bu hesaplama sayesinde Bayes ağındaki değişkenlere ait tüm sorgular cevaplanabilir.

3.4.2 Bayes Ağlarının Oluşturulması

Birleşik olasılık dağılımının hesaplandığı Zincir Kuralı, $\prod_{i=1}^n P(X_i | Pa(X_i))$,

Bayes ağının oluşturulmasında, topolojinin belirlenmesinde kullanılır. Bunu yapabilmek için öncelikle birleşik olasılık dağılımı koşullu olasılık cinsinden açılır:

$$P(x_1, \dots, x_n) = P(x_n | x_1, \dots, x_{n-1}) P(x_1, \dots, x_{n-1})$$

Bu işlem formüldeki her birleşik olasılık, koşullu olasılıkla temsil edilene kadar devam ettirilir, ve sonunda Zincir Kuralı elde edilir.

$$\begin{aligned} P(x_1, \dots, x_n) &= P(x_n | x_1, \dots, x_{n-1}) P(x_{n-1} | x_1, \dots, x_{n-2}) \dots P(x_2 | x_1) P(x_1) \\ &= \prod_{i=1}^n P(X_i | x_1, \dots, x_{i-1}) \end{aligned}$$

Bu formül bize her düğüm ile ataları arasında koşullu bağımsızlığı dolayısıyla da ağın ata-ebeveyn-çocuk ilişkileriyle nasıl oluşturulacağını göstermektedir. Doğru bir ağ oluşturabilmek için seçeceğimiz her düğüm ile ataları yukarıdaki eşitliğe uymalıdır. Kısaca X_i düğümünün ebeveynleri X_i üzerinde etkisi olan $X_1 \dots X_{n-1}$ aralığındaki tüm düğümleri içermelidir.

Örnek şeklimize (Şekil 21(3.1)) geri dönecek olursak; **B arar** düğümünün ebeveynleri dışındaki ağı oluşturduğumuzu farz edelim. **B arar** düğümü **deprem** ve **hırsızlıktan** etkilenmektedir. Ancak bu etkilenme direkt değildir. Çünkü **B arar** düğümü ancak **deprem** ve **hırsızlık** düğümlerinden **uyarı sinyali** sayesinde etkilenmektedir. Ayrıca **A arar** düğümünün **B arar** düğümü üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Bu bilgilere göre:

$$P(b \mid a, u, d, h) = P(b \mid u)$$

Bayes ağları birleşik olasılıklardan yararlanarak bunları koşullu olasılığa çevirir ve ağ bu şekilde oluşturulur. Bu sayede ağ genellikle doğrusal karmaşıklıkta büyür. Eğer ağda n adet değişken ve bunların etkilendiği k adet düğüm varsa, düğümlere ait koşullu olasılık tablolarında 2^k adet veri tutulur. Tüm ağ $n2^k$ ile ifade edilebilir. Ancak ele alınan alanda tüm değişkenler birbirlerinden etkilenebilir bu durumda ağ tam bağlı bir yapı oluşturur ve karmaşıklık üssel olarak artar.

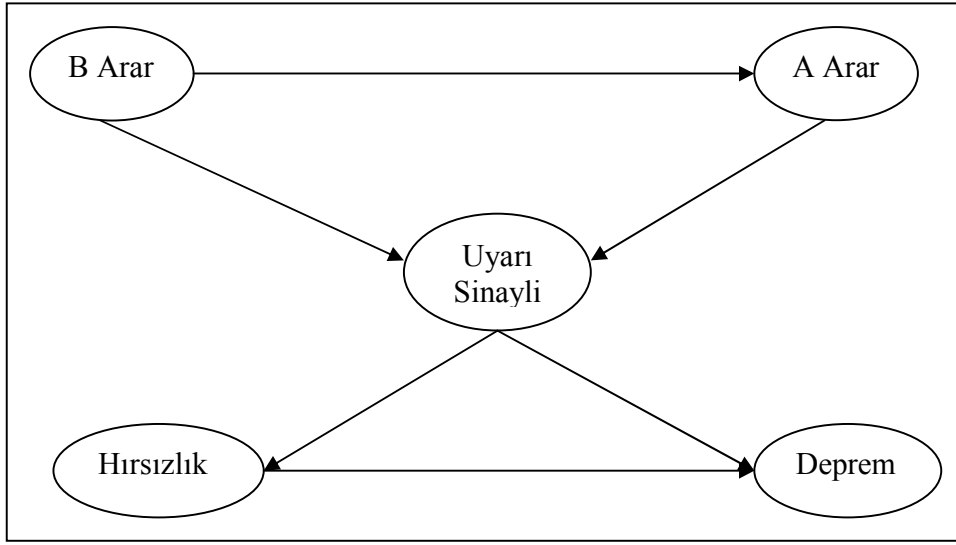
Bayes ağ yapısı oluşturulurken değişkenleri temsil eden düğümler geliş güzel ağa yerleştirilmemelidir. Gelişigüzel yapılan bir yerleşim ağ içerisindeki bağ sayısını dolayısıyla da koşullu olasılık tablosunda tutulması gereken değerleri arttıracaktır. Ayrıca bağlar hesaplanması zor olasılıkları da doğurabilir. Bu tür kötü bir yapıyı Şekil 22(3.2) 'deki ağ ile örnekleyelim.

- Öncelikle ailesi olmayan **b** düğümünü ekleyelim.
- Ardından **a** düğümünü ekleyelim. Bu durumda eğer **B** arama yaparsa uyarı sinyali çalışmış ve **A** 'nın da arama ihtimali artmış demektir. Bu nedenle **a** düğümü **b** den etkileneceğinden **b** **a** 'nın ebeveynidir.
- Uyarı sinyali için düğüm eklerken hem **a** hem de **b** düğümü dikkate alınmalıdır. Eğer her ikisi de arama yapmışsa sinyalin çalma olasılığı daha yüksektir. Bu nedenle sinyal düğümünün ebeveynleri **a** ve **b** düğümleridir.
- Hırsızlık için düğüm eklerken: Eğer uyarı sinyalinin çalıp çalmadığını biliyorsak, **a** veya **b** 'nin araması bize telefonun çalması (**a** 'nın telefonu uyarı ile karıştırması) ve yüksek sesli müzik (**b** müzik dinlediğinde uyarıyı

duyamıyor) hakkında bilgi verir. Bu durumda hırsızlık düğümü için sadece uyarı sinyali yeterlidir.

- Son olarak deprem koşulunun uyarı sinyalini çalıştırdığını biliyoruz. Eğer bir hırsızlık olduğunu biliyorsak bu uyarı sinyalinin nedenini açıklayacaktır. Bu durumda uyarı ve hırsızlık ebeveyn düğümlerdir.

Bu bilgilere göre ağı verilen sırada oluşturduğumuzda Şekil 22(3.2) 'yi elde ederiz



Şekil 22(3.2): Düşümler gelişigüzel eklendiğinde oluşan daha karmaşık Bayes ağı

Görüldüğü gibi düğümlerin kötü bir sırayla eklenmesi ağı daha karmaşık hale getirirken (hesaplanacak olasılıklar artıyor) hesaplaması güç ve aslında pek de alakalı olmayan ilişkileri de (Hırsızlık olduğunda ve alarm çaldığında deprem olma olasılığı vb) ortaya çıkarmaktadır.

Bu tür kötü bir yapıdan kaçınmak için ağın oluşturulacağı alan iyice incelenmeli, neden-sonuç-etki ilişkileri çıkarılmalıdır. Bundan sonra ekleme; kök-ata-ebeveyn-çocuk-yaprak sırsında yapılmalıdır.

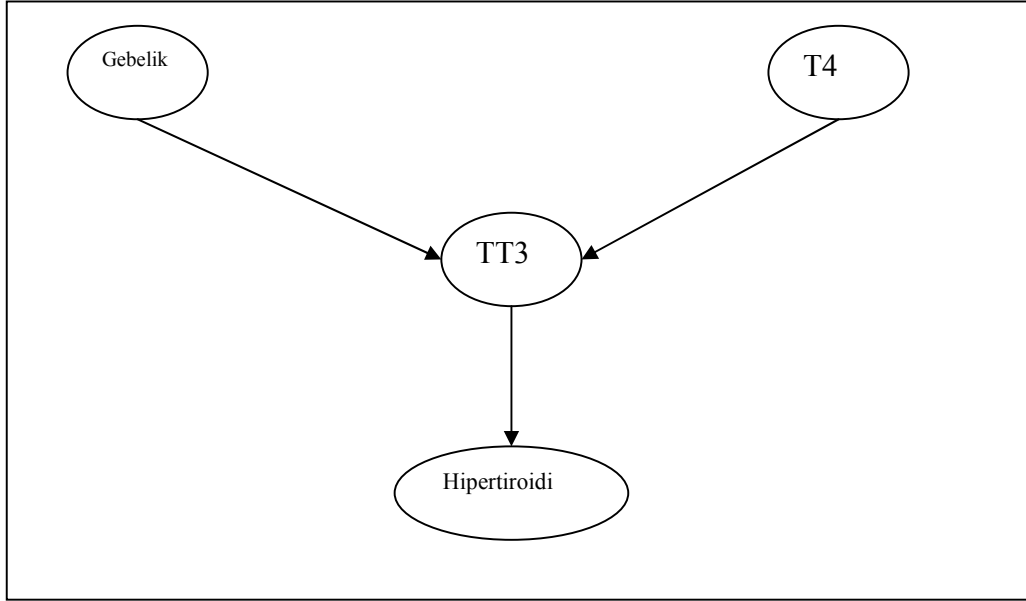
Buraya kadar anlatılan yapılarda Bayes ağlarını oluşturan düğümlerin ikili değerler aldığını ve olasılıkların bu değerlere göre hesaplandığı verilen örneklerce gösterilmişti. Peki ya düğümlerin temsil ettiği değişkenlerin değerleri var ya da yok, yanlış veya doğru gibi ikili değerler değilse? Bayes ağı çok geniş alanları temsil etmekte kullanılabileceğinden düğümlerinin temsil edeceği değerler de ayrık ya da sürekli olabilir.

Örneğin tıp alanında geliştirilen bir ağın düğümleri test değişkenlerini temsil edebilir ki bunlar sürekli değerler alırlar. Bu tür sürekli değişkenler uygun olan durumlarda ikili değerlere çevrilebilirler. Örneğin tiroid hastalıklarının teşhisi kullanılan TSH testinin değer aralığı için normal değer 0.35 – 5.5 $\mu\text{U/L}$ aralığındadır. Bu test için oluşturulacak düğüm, testin bir sürekli değer olan asıl sonucunu da verebilir ya da belirlenen bir eşik değeri ile ($5.5 < \text{tsh}$ ise *yüksek değilse düşük* gibi) ikili değer tutacak hale çevrilebilir. Bu durumda düğüm TSH'nın asıl değeri yerine *yüksek* veya *düşük* gibi ikili bir değişken tutulmuş olur.

Eğer sürekli değerlerin mutlaka korunması gerekiyorsa olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılarak bu değerlerin parametreleri ile sınıflar oluşturulur. Bu tür bir yapı için Gauss Dağılımı kullanılabilir.

Hem sürekli hem de ayrık değerler içeren bir Bayes ağı, “Hibrid Bayes Ağı” olarak adlandırılır. Bu durumda elimizdeki olasılık dağılımları farklı ilişkiler ile temsil edilir. Sürekli değer taşıyan ebeveynleri olan ikili veya sürekli değerli düğümlerin koşullu olasılık dağılımları ve ikili değer taşıyan ebeveynleri olan ikili veya sürekli değerli düğümlerin koşullu olasılık dağılımları ağ tarafından temsil edilmek zorundadır.

Şekil 23(3.3) ‘de verilen ağda TT3 düğümü değişken bir değer alıyor olsun. TT3’ün ebeveynlerinden T4’ de değişken değer alan bir test sonucudur. Diğer ebeveyn olan gebelik durumu ise gebelik var ya da yok olarak ikili değer alır.



Şekil 23(3.3): Hipertiroidi ile test verilerinin ilişkisini gösteren ağ. Hipertiroidi teşhisini etkileyen TT3 testidir. Bu testin değerini ise T4 testi ve hastanın gebelik durumu etkilemektedir.

TT3 değişkeni için $P(TT3 | T4, Gebelik)$ olasılığı bulunmalıdır. Ayırık değerli ebeveyn için hesaplama $P(TT3 | T4, Gebelik)$ ve $P(TT3 | T4, \neg Gebelik)$ değerli bulunarak yapılır. T4 için TT3 üzerindeki dağılımın T4 'e bağlı olarak nasıl değiştiğini göstermek gerekir. Diğer bir değişle TT3 dağılımını T4'ün bir fonksiyonu olarak temsil etmek gerekir. Bunu yapabilmek için Gauss Dağılımı kullanılır. Bu dağılımda ortalama μ ebeveynin değerine bağlı olarak doğusal bir şekilde değişir, bu sırada standart sapma σ aynı kalır. Bu durumda *gebelik* ve $\neg$ *gebelik* için farklı parametreler kullanan iki dağılım bulunmalıdır.

$$P(TT3 | T4, Gebelik) = N(a_i, T4 + b_i, \sigma_i^2) (TT3) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-1/2 \left(\frac{c - (a_i T4 + b_i)}{\sigma_i} \right)^2}$$

$$P(TT3 \mid T4, \neg Gebelik) = N(a_f T4 + b_f, \sigma_f^2) (TT3) = \frac{1}{\sigma_f \sqrt{2\pi}} e^{-1/2 \left(\frac{(c - (a_f h + b_f))^2}{\sigma_f^2} \right)}$$

3.5 Bayes Ağları Çıkarsama Algoritmaları

Bayes ağlarında çıkarsama yapan algoritmalar iki genel başlık altında incelenebilir.

3.5.1 Kesin Çıkarsama Algoritmaları

1980'lerin başında, Pearl çoklu ağaçlar için mesaj iletim çıkarsama algoritmasını yayınladı. Bu algoritma kesin çıkarsama yapan, polinomsal karmaşıklıkta bir algoritmaydı ancak sadece çoklu ağaçlarla kullanılabiliyordu. Pearl çoklu bağlı ağaçlar için de “Döngü Kesi Kümesi Koşullaması” adlı başka bir kesin çıkarsama yapan algoritma geliştirmiştir [50]. Bu algoritma ilgili ağ yapısını değiştirerek tek bağlı hale getiriyordu. Bu tek bağlı ağ yapısı çoklu ağaç algoritması ile çözülüyor ve her örneğin değeri önceki olasılıkları ile birleştirilerek bir ağırlık elde ediliyordu. Bu yöntem hesaplanacak örnek sayısına bağlı olduğundan hesaplama karmaşıklığı üssel olarak artıyordu.

Bayes ağları üzerinde kesin çıkarsama yapan en popüler yöntem Lauritzen ve Spiegelhalter in “Klik-Ağaç Yayılım” algoritmasıdır [37]. Bu yaklaşım kısaca bir gruplama algoritmasıdır. Çoklu bağlı ağ öncelikle bir klik ağacına çevrilir, daha sonra bu ağaç üzerinde mesaj yayılması uygulanırdı. Ağaç yapısının elde edilebilmesi için de gruplama yöntemleri kullanılmaktaydı. Bu algoritma seyrek üyeli ağlar için oldukça başarılı sonuçlar vermiştir.

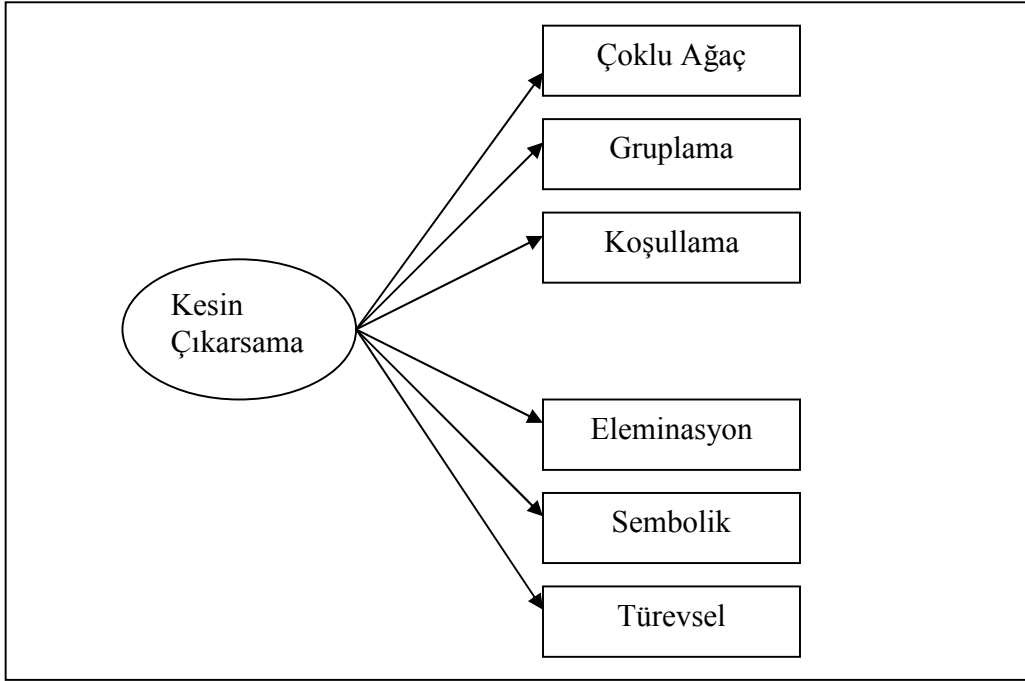
Shacter [61–62] tarafından geliştirilen “düğüm indirgeme” yöntemi çıkarsama için ilk defa geliştirilmiş algoritmalarındandır.(diğerleri gruptama, koşullama gibi yöntemlerdir.) Bu yöntemde Bayes Kanunu uygulanarak ağı içerisindeki bağlantılar ters çevrilir. Bu ters çevirme işlemi ağda sadece sorguda adı geçen düğümler ve onların ataları kalana dek devam eder.

“Değişken Eliminasyonu” çıkarsama için uygulanan bir başka algoritmadır. Bu yöntem değişkenlerin birer birer elenerek toplanmasına dayanır. Algoritmanın karmaşıklığı yapılan çarpma ve toplama işlemlerine bağlıdır. Bu algoritma üzerinde çeşitli sıralama yöntemleri çalıştırılarak karmaşıklığı azaltacak en uygun sıra bulunmaya çalışılır. Ancak en uygun sırayı bulmak NP ve hatta NP zordur.

“Sembolik Olasılıksal Çıkarsama” yöntemi olasılıksal çıkarmayı en uygun çarpımlama problemi olarak görür [39-60]. Bu yöntem sembolik ve sorgu güdümlü bir sistemdir.

“Türevsel Yaklaşım” ise Bayes Ağı üzerinde polinomsal bir fonksiyon işletir. Bunun sonucunda her değişken için kısmi türev değerleri hesaplar. Bu hesaplamadan sonra olasılıksal sorguların çoğuna yanıt verilebilir.

Bu şekilde kısaca anlatılan kesin çıkarsama yöntemlerini aşağıdaki şekil 24(3.4) ile özetleyebiliriz:



Şekil 24(3.4): Kesin Çıkarsama Algortimaları

Şekilde görülen tüm bu Bayes Çıkarsama algoritmalarının bir çok türevi vardır. Hibrid olanları, ayrıştırılmış olanları, genelleştirilenleri ve buluşsal olanları temellerinde yukarıda verilen algoritmaları kullanırlar. Bunlara örnek verecek olursak “Yerel Koşullama” [18], “Global Koşullama”(sas94), “Dinamik Koşullama” [15], “Özyineli Koşullama” [14] gibi algoritmaların temeli koşullama yöntemleridir. Bunun dışında gruplama yöntemlerini kullanan “Shnoey-Shafer” [64], Hugin[34] “Tembel Yayılm” [40] algoritmaları en bilindik olanlardır. “Bucket Elimination” ve “Genel Eliminasyon” yöntemleri ise eleme yoluyla çıkarsama yapan algoritmalarlardır [10-17]. Takip eden bölümde kesin çıkarsama algoritmaları içerisinde oldukça yaygın olarak kullanılan Değişken Eliminasyon algoritması açıklanacaktır.

3.5.1.1 Değişken Eliminasyon Algoritması

Bayes ağlarının oluşturulmasında koşullu olasılıkların bileşik olasılıkların toplamı şeklinde yazılabileceği gösterilmişti. Buradan bir Bayes ağının herhangi bir sorguyu koşullu olasılıkların çarpımlarının toplamı şeklinde cevaplayabileceğini söylenilebilir [46].

$P(X|e) = \alpha P(X,e) = \alpha \sum_y P(X,e,y)$ (burada e=kanıt, y=kanıt olmayan, x=sorgu değişkenlerini göstermektedir.)

Buna göre $P(X,e,y)$ olasılığı koşullu olasılıklar cinsinden yazılabilir.

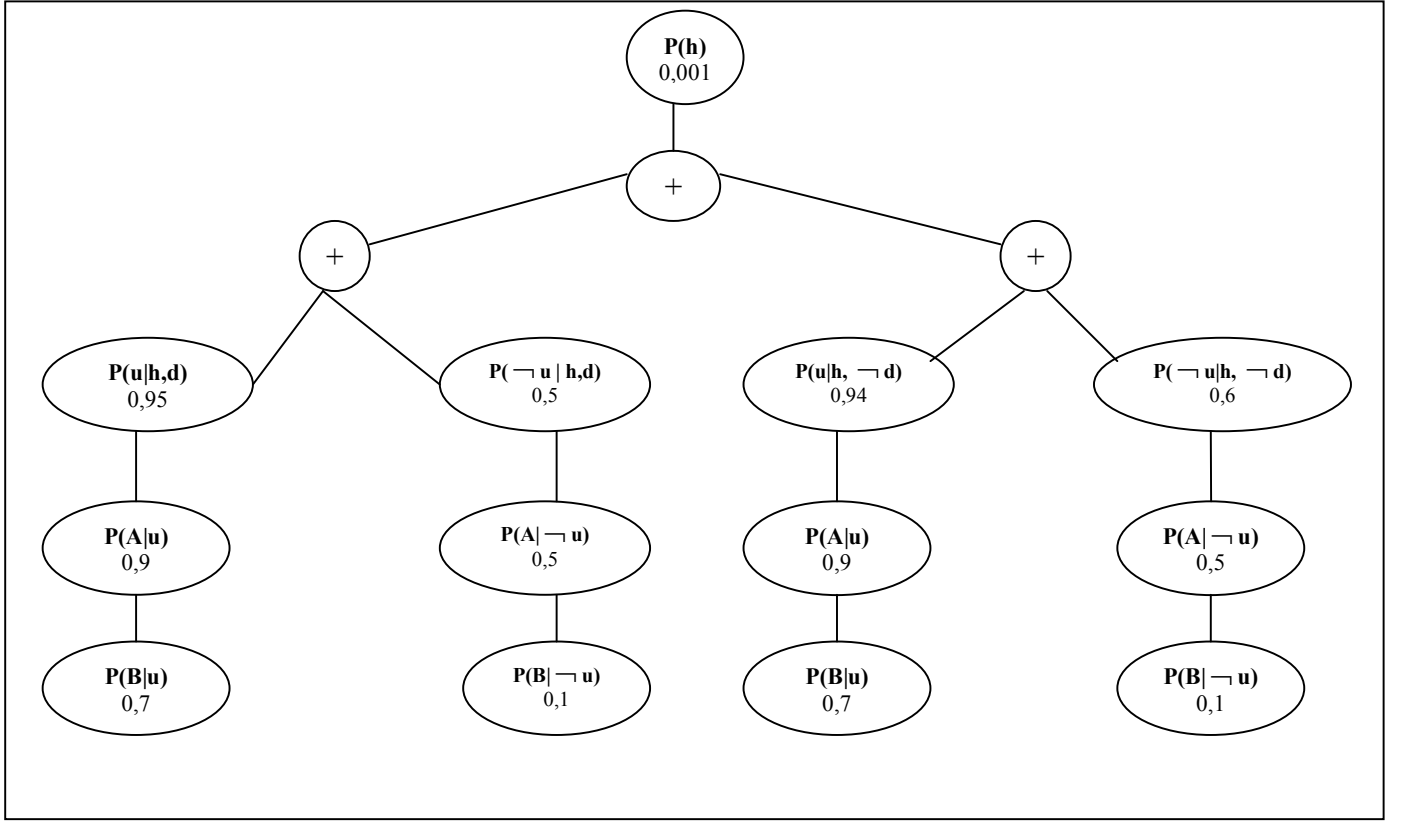
Şekil 21(3.1) 'deki örneğe geri dönersek; bize $P(h | A=doğru, B=doğru)$ sorgusu verilsin. Bu durumda d ve u düğümleri gizli değişkenler olarak değerlendirilebilir. Böylelikle:

$$P(h | A,B) = \alpha P(h, A, B) = \alpha \sum_d \sum_u P(h,d,u,A,B)$$

Örnek ağımızda her düğüm için koşullu olasılık tabloları tablo 12-13-13-15-16(3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7) 'de verilmişti. Bu tablolara bakarak hırsızlık=doğru durumu için:

$$P(h | A,B) = \alpha \sum_d \sum_u P(h) P(d) P(u | h,d) P(A | u) P(B | u)$$

Bu değer Şekil 25(2.5) 'deki ağaç yapısı kullanılarak hesaplanabilir.



Şekil 25(3.5): Olasılık hesaplama ağacı. $P(h | A, B) = \alpha \sum_d \sum_u P(h) P(d) P(u | h, d) P(A | u) P(B | u)$ olasılığını

hesaplayan ağaç yapısı

Bu yapıdaki bir çıkarsamaya “Sıralı Çıkarsama” denir. Buradaki esas mantık hesaplamaların tümünü yapıp gelecekte lazım olabilir düşüncesi ile sonuçları saklamaktır.

Değişken Eliminasyon algoritması da bu yöntemle benzer çalışmaktadır. $P(h | A, B) = \alpha P(h, A, B) = \alpha \sum_d \sum_u P(h, d, u, A, B)$ olasılığı sağdan sola olarak yapılır. Şekil

25(3.5) üzerinde düşünülürse ilgili hesaplama aşağıdan yukarıya doğru yürütülür.

$$P(h | A, B) = \alpha \sum_d \sum_u P(h) P(d) P(u | h, d) P(A | u) P(B | u)$$

formülünde

- $\alpha P(h) = H$
- $P(d) = D$
- $P(u|h,d) = U$
- $P(A|u) = A$
- $P(B|u) = B$

ile temsil edilsin. Bu temsillerden her biri ilgili algoritmada “Çarpanlar/Faktörler” olarak adlandırılır. Değişken eliminasyonu şu sırada yapılır:

- B çarpanı kendi üzerinden bir toplama işlemi gerektirmez çünkü değeri sabittir. Bu durumda olasılık değeri saklanır. Bu saklama iki değer alan bir vektör ile yapılır.
 - $f_B(U) = P(B|u)$, $P(B|\neg u)$ burada f_B ; B’ nin ilgili çarpanı hesaplamak için kullanıldığını anlatmaktadır.
- A çarpanı da benzer şekilde iki değerli bir vektörle saklanır. $f_A(u)$
- U çarpanı $P(u|h,d)$ ile verildiğinden 2*2*2’lik bir matrisle temsil edilir. $f_u(u, h, d)$
- Bu üç değere göre U toplamını elde edilebilir. Bu sayede aralık değerleri H ve D ile değişen 2*2’lik bir matris bulunur.

$$\circ f_{UAB}(H, D) = \sum_a f_u(u, H, D) * f_A(u) *^{15} f_B(u)$$

¹⁵ Bu çarpma işlemi “Pointwise” çarpımı olarak tanımlanmıştır. Bilindik çarpma işlemi veya matris çarpımı işlemi değildir. Bu işlemin sonucu yeni bir çarpan/faktör verir. Bu faktör işleme giren çarpanların birleşimidir.

Bu uygulama adımları izlendiğinde Değişken Eliminasyon algoritması için aşağıdaki sözde kod verilebilir.

Fonksiyon Eliminasyon (X,e,bn)

Girdi: X(sorgu değişkeni), e(kanıt), bn(Bayes ağ yapısı)

çarpanlar[], değişkenler = REV(VAR(bn))

for each değ **in** değişkenler **do**

 çarpanlar = [FACT (değ,e)|çarpanlar]

if değ saklı değişken **then** çarpanlar = Topla (değ,çarpanlar)

return NORM(PWP(çarpanlar))

Tablo 17(3.8): Değişken eliminasyon algoritması. İlgili sözde kod “*Artificial Intelligence A Modern Approach 2nd Ed. S. RUSSEL, P.NORVING*” kitabından alınmıştır.

3.5.2 Yaklaşık Çıkarsama Algoritmaları

Yaklaşık çıkarsama yapan en önemli algoritmalar; “Stokastik Benzetim”, “Model Basitleştirme”, “Araştırma Temelli yöntemler” ve “Döngülü İnanç Yayılımı” gibi algoritmalarlardır.

Stokastik benzetim ya da diğer adıyla “Monte Carlo” algoritması en bilenen Bayes çıkarsama algoritmasıdır. Burada amaç rast gele seçilmiş örnekler üretmektir. Daha sonra sorgu değişkenlerinin yaklaşık olasılıkları ile bu değişkenlerin seçilen örnek içerisindeki frekansları hesaplanır. Sistemin başarısı seçilen örnek uzayına bağlıdır. Stokastik benzetim yapan algoritmalar çok geniş bir aile oluştururlar.

Bu nedenle bu tür algoritmalar “Önemli Örnekleme Yöntemleri” ve “Markov Zinciri Monte Carlo Yöntemi” olarak iki ana grupta incelenir.

“Olasılıksal Mantık Örnekleme” [29] geliştirilmiş en basit örnekleme algoritmasıdır. Bu yöntemde Bayes ağı tarafından verilen dünya tekrarlı olarak benzetilir. Bu işlem sırasında kanıt değerleri ile uyumsuz olan örneklemeler atılır, sorgu düğümlerinin olasılıkları ve frekansları hesaplanır. Bu sırada eğer benzer olmayan bir kanıt varsa üretilmiş olan çoğu örnek bu kanıta uymayacağından harcanır. Bu durumda diyebiliriz ki eldeki kanıt sayısı arttıkça ortaya çıkan örneklemeler azalır. Bir çok kanıt düğümü olan geniş bir ağ için bu kanıtların önceki olasılıkları çok düşük çıkacağından bu yöntem çok kanıtlı geniş ağlar için uygun değildir.

“Olabilirlik Ağırlıklandırma” veya “Kanıt Ağırlıklandırma” yöntemi mantıksal örneklemin zaaflarını ortadan kaldırmak üzere tasarlanmıştır. Bu yöntemde her kanıta ulaşıldığında yeni bir örnekleme yapıp alakasız örneklemeler atılmaz. Bunun yerine kanıt değişkeninin gözlemlenmiş değeri alınır ve kanıtın o örnek üzerindeki olabilirlik durumuna bakılarak kanıta bir ağırlık değeri atanır. Bu sayede mantıksal örnekleme göre hem daha hızlı işlemler yapılır hem de büyük ağlar idare edilebilir. Bu yöntemin dezavantajı ise muhtemel olmayan olaylara yakınmasının uzun zaman almasıdır.

Hem mantıksal hem de ağırlıklandırılmış örneklemeler “ileri örnekleme” yöntemleridir. “Geri örnekleme” ’de ise kanıt düğümlerinden oluşturulan örneklemeler ağdaki düğümlerin topolojik sırsının tam tersi yönünde olabilir [21].

Her iki örnekleme yöntemi de “önemlilik” dağılımı ile geliştirilebilir. Bu önemlilik dağılımı birçok yöntemle gerçekleştirilebilir. Shachter ve Peot un geliştirdiği “Kendiliğinden Önemlilik Örnekleme” ve “Buluşsal Önemlilik Örnekleme” gibi yöntemler en bilinenleridir [63].

Şu ana kadar geliştirilen en iyi stokastik benzetim algoritması Jian Cheng ve Marek Druzdzel in ortaya koyduğu “Uyarlanmış Önemlilik Örnekleme” dir [6].

Bu yöntemler aslında birer ara adım görevi görürler. Kullanılmalarındaki asıl amaç eldeki modeli basitleştirerek yukarıda anlatılan yöntemlere uygun hale getirmektir.

Model karmaşıklığını düşüren bu algoritmalar küçük olasılıklı durumları sistem çıkararak veya bazı kesim kümelerini görmezden gelerek çalışırlar. Düğüm arasındaki bağların bazılarını ortadan kaldıran ve bu sayede modeli küçülten yöntemler de kullanılmaktadır. Bunlar arasında en çok kullanılan algoritma olan “Sarkar” algoritması eldeki model ağa en yakın ağaç yapısını çıkararak çalışmaktadır [16-59-72].

Bu algoritmalar da yapı içerisindeki en yüksek olasılıkları arayarak bunlara dayalı yaklaşımlar yapar. “En yüksek-N”, “Deterministik Yaklaşım”, “Örnekle Ve Topla” gibi algoritmalar bu sınıfta yer almaktadır [8-28-52].

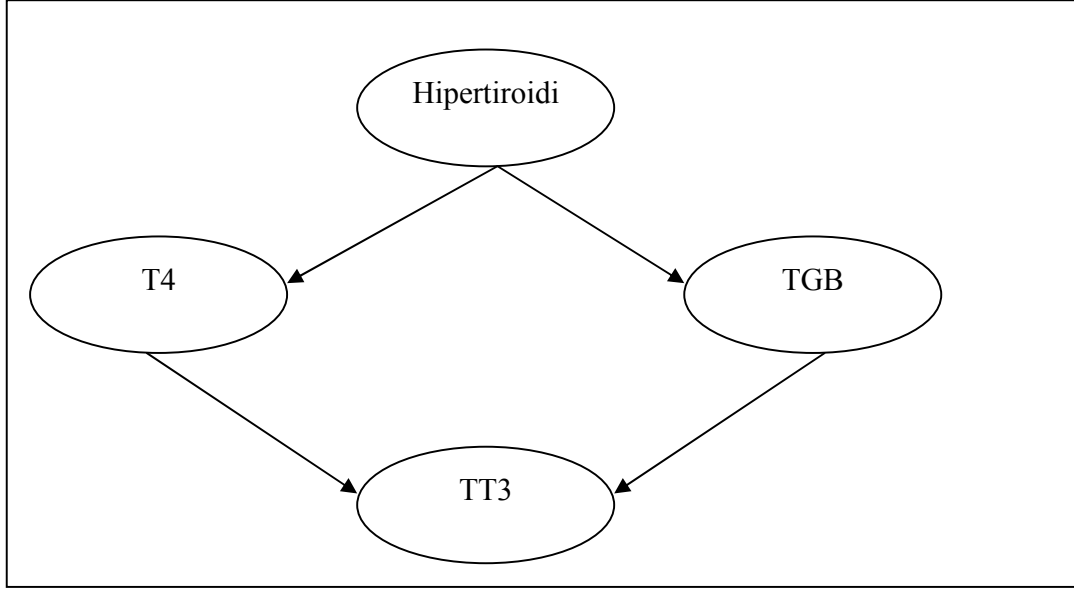
Geçmiş yıllarda bu yaklaşım oldukça üzerinde durulan bir konu olmuştur. Özellikle yanlış düzelten kodlar ve bilgisayarlı görüntüleme için tercih edilmiştir. Ancak çizge kullanan diğer yaklaşımlarda kötü sonuçlar verebileceği gözlemlenmiştir. Bu yüzden inanç yayılım algoritmaları tez kapsamındaki konuda fazla kullanılmamış genellikle fizik alanındaki bazı sistemler için tercih edilmiştir [78-79] .

Takip eden bölümde yaklaşık çıkarsama algoritmaları içerisinde oldukça yaygın olarak kullanılan Olabilirlik Ağırlıklandırma algoritması açıklanacaktır.

3.5.2.1 Olabilirlik Ağırlıklandırma Algoritması

Bu algoritma kanıt değişkenleri (E) için olan değerleri sabitleyerek geri kalan değişkenler için (X,Y) örnekleme yapar. Bu sayede oluşturulan her olayın kanıtlı tutarlılığı sağlanır. Ancak temsil edilen alandaki her olayın birbiriyle aynı olmadığı açıktır. Bunu temsil edebilmek için de her olaya kanıtlara göre bir ağırlık değeri verilir. Verilen kanıt altında oluşması zor olan olaylara düşük ağırlıklar verilir.

Olabilirlik ağırlıklandırma algoritmasını adımları Şekil 26(3.6) deki Bayes ağından yararlanılarak özetlenebilir.



Şekil 26(3.6): Hipertiroidi'nin tetikleyebileceği bulgular. Hipertiroidi hastalığı T4 ve TGB değerlerinin yükselmesine neden olabilir. Bu değerler de TT3 değerini tetikleyerek yükseltir.

P(Hipertiroidi) =0,5				
Hipertiroidi	P(T4)		Hipertiroidi	P(TGB)
Doğru	0,1		Doğru	0,8
Yanlış	0,5		Yanlış	0,2
	TT4	TGB	P(TT3)	
	Doğru	Doğru	0,99	
	Doğru	Yanlış	0,9	
	Yanlış	Doğru	0,9	
	Yanlış	Yanlış	0	

Tablo 18(3.9) : Şekil de oluşturulan Bayes ağındaki düğümlerin koşullu olasılık tabloları

Bu ağ üzerinde bize $P(TGB \mid T4 = \text{Doğru}, TT3 = \text{Doğru})$ sorgusu verildiğinde algoritma şu şekilde işler:

- $P(\text{Hipertiroidi}) = (0,5 - 0,5)$ örneklemesinin doğru olduğunu kabul et.
- $T4$ değeri *doğru* olan bir kanıt değişkenidir. Bu yüzden:
 - $w = w * P(T4=\text{Doğru} \mid \text{Hipertiroidi}=\text{Doğru}) = 0,1$
- $P(TGb \mid \text{Hipertiroidi}=\text{Doğru}) = (0,8 - 0,2)$ örneklemesini doğru kabul et.
- $TT3$ değeri *doğru* olan bir kanıt değişkenidir. Bu yüzden:
 - $w = w * P(TT3=\text{Doğru} \mid T4=\text{Doğru}, TGB=\text{Doğru}) = 0,099$
- Bu durumda ağırlıklandırma $0,099$ ağırlığı ile $[\text{doğru}, \text{doğru}, \text{doğru}, \text{doğru}]$ sonucunu döndürür. Bu değer $TGB=\text{doğru}$ koşuluna göre hesaplanmıştır.
- Bu sonuca göre **Hipertiroidi** durumunda $T4$ testinin yüksek çıkma ihtimalinin düşük olduğu anlaşılmaktadır.

Bu algoritma işleyişi sırasında örnekleme dağılımı, S_{ws} , kullanır. Bu yaklaşımda yukarıda da belirttiği gibi kanıt değişkenlerinin, E , değerleri sabitlenir. Diğer değişkenler de notasyon olarak Z ($Z=\{X\} \cup Y$) ile adlandırılır. Böylelikle algoritma ebeveynleri verilen Z değişkenleri için örnekleme yapar ()

$$S_{ws}(z,e) = \prod_{i=1}^l P(z_i \mid pa(Z_i))$$

3.6 Tıp Alanında Bayes Ağı Kullanımı ve Literatür Örnekleri

Son yirmi yıl içerisinde tıp alanındaki bilgisayar temelli sistemler hem geliştirme hem de kullanım açısından oldukça yaygınlaşmıştır. Bu gelişmeler tıp dünyasında; elektronik veri saklamaktan (hasta kayıt bilgileri, film, tomografi vb görüntülü veriler) hasta gözlemlemeye, tedavi planlamasından teşhis desteğe kadar çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Tüm bu çeşitli uygulamaların içerisinde hiç şüphesiz en önemli ve kritik olanı teşhis koyabilen destek sistemleridir.

Sağlık hizmetleri, kliniksel karar destek sistemlerinin elektronik hasta kayıtları ve çevrimiçi bilgisayar iletişim sistemleriyle bir araya gelmesiyle derinden değişmiştir; ancak yine de bu tür sistemler çeşitli nedenlerden dolayı günümüzde çok sık olarak kullanılamamaktadır [56]. Bu nedenlerin en başında hastanelerde kullanılan bireysel ve sisteme ait bilgisayarların anlatılan yapı için uygun olmamaları gelmektedir. Terminolojideki standart farklılıkları, eski karar destek sistemlerinin pek de başarılı olamaması diğer nedenlerdir. Bu tür sistemler geçmişte başarısız olsa da ya da daha doğru bir söylemle geçmişteki başarılı örneklerinin sayısı az olsa da geleceğimiz için gereklidir. Yapılan bir araştırmaya göre hepatoloji alanındaki tecrübesiz uzmanların sarılık hastaları içerisinde yaptıkları teşhislerin %45 den daha az oranda doğru olduğu görülmüştür [68]. Bu tür yanlış teşhisler uygun olmayan tedavilere, bu tür tedaviler de kaynakların, zamanın ve en önemlisi insan hayatının boşa harcanmasına neden olur. Muayene, değerlendirme ve teşhis sırasında kullanılan bazı prosedürlerin yazılımlar ve sistemler tarafından otomatikleştirilmesi klinik çalışanlarının dikkatlerini daha önemli noktalara vermelerini sağlamaktadır. Bu sayede yapılan insan hataları azalır ve tıp alanında daha yüksek hizmet kalitesine ulaşılması mümkün olur.

Tıbbi teşhis problemi; belirli bulgular kümesi, test ve muayene sonuçları verildiğinde bu bilgilerden belirli hastalıkları teşhis edebilmek şeklinde açıklanabilir [20-22]. Bu tanıma dayanarak diyebiliriz ki tıp alanında kullanılacak karar destek sistemleri belirsiz veriler üzerinde çıkarsama yapmalıdır. Bu belirsizliği şu öğeler doğurur:

- Hasta bilgisindeki eksikler
- Tıbbi testlerdeki belirsizlikler
- Tıbbi gözlemlerdeki belirsizlikler
- Fizyolojik süreçteki belirsizlik.

Bu belirsizliklerle başa çıkarak başarılı tıbbi teşhis koyabilen sistemler genel olarak ikiye ayrılır. İlk grupta daha geniş alanları kapsayan ancak bu durumun dezavantajlarını da beraberinde taşıyan Kural Tabanlı sistemler bulunur. Bu sistemler genellikle hastalıktan belirtilere ya da belirtiden hastalığa şeklinde çalışırlar. Yani çift yönlü bir çıkarsamayı çoğunlukla desteklemezler. İkinci grupta ise daha ufak boyutlu, sadece bir alanda, teşhis desteği veren sistemler bulunur ki bunlar içinde de en yaygın yöntem olarak Bayes ağları kullanılır. Bu yöntemin matematiksel tutarlılık ve doğruluk gibi avantajları vardır. Tıbbi istatistikler ve olasılıksal yaklaşımlar arasındaki görünmez bağa ve bayes yaklaşımının oldukça güçlü biçimselliğine rağmen olasılıksal modeli tıp alanına uyarlamak oldukça güçtür. Sistemin doğru çalışması eldeki hasta verilerinin uygunluğuna ve doğruluğuna yüksek oranda bağlıdır. Bu yüzden alan uzmanlarının yardımı gerekmektedir [74]. MUNIN, Painulim, Pathfinder ; Bayes ağları ile oluşturulmuş tıbbi sistemlerden sadece bazılarıdır.

Takip eden bölümde Bayes Yaklaşımıyla geliştirilmiş önemli sistemlere göz atılacaktır.

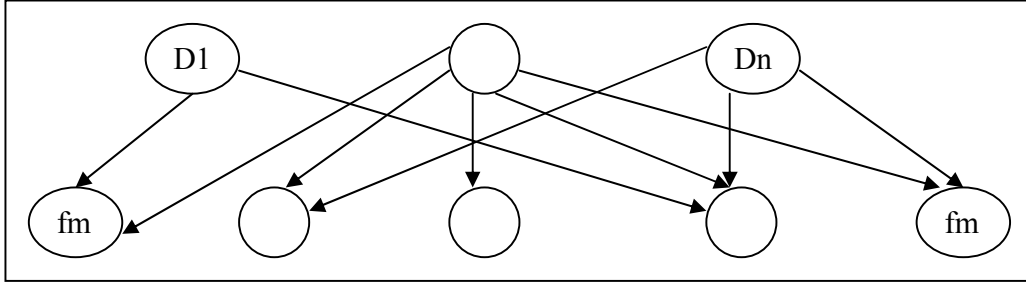
3.6.1 abuk Tıbbi Referans Sistemi

Önceki bölümlerde çizge kuramı ve olasılıksal yaklaşımlar kullanılırken karşılaşılan çıkarsama problemi için kesin ve yaklaşık sonuç üreten algoritmalar kullanıldığı belirtilmişti. Kesin algoritmaların kullanıldığı yöntemlerde, örnek ve kanıt sayısının artmasının işlem karmaşıklığını arttıracığı, bu nedenle büyük sistemler için kullanılmasının zor olacağına değinilmişti.

Bu zorluklara rağmen tıpta geniş sayılabilecek alanları içeren ve olasılıksal grafik modeli kullanarak kesin çıkarsama yapabilen bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem “abuk Tıbbi Referans” (Quick Medical Referance-QMR) olarak adlandırılmıştır. Bu yapı uzman ve istatistik bilgisine dayanan altı yüzün üzerinde hastalık ve yaklaşık dört bin bulgu içermektedir. QMR sistemi iki kısımlı bir çizgeden oluşur ve teşhis problemini verilen bulgular ışığında hastalıkların olasılık dağılımlarını bulmak olarak tanımlar. Birçok belirtinin birden fazla hastalıkta görülebileceğı göz önüne alınırsa QMR sisteminde oluşturan çizgenin oldukça yoğun olacağı açıktır. Bu yoğunluktan doğacak işlem karmaşıklığı Heckerman ’nın (1989) geliştirdiğı “Hızlı skor” algoritması ile azaltılmaya çalışılmıştır. Ancak yine de çalışma zamanı, pozitif bulguların sayısı oranında üssel olarak artmaktadır.

3.6.1.1 QMR-DT Ağı:

QMR ağı [43] iki seviyeli, iki kısımlı grafiksel bir modeldir. Modelin üst seviyeleri hastalıkları temsil ederken alt seviyelerinde ise bulgular bulunur. Örnek bir ağ Şekil 27(3.7) ‘de verilmiştir.



Şekil 27(3.7): QMR için Bayes Ağı. **D** ile gösterilen düğümler hastalıkları, **f** ile gösterilenler bulguları temsil etmektedir.

İki kısımlı grafik yapısında bazı koşullu bağımsızlık durumları temsil edilir. Genellikle hastalıkların marjinal bağımsız oldukları varsayılır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken şey hastalıkların karşılıklı dışlayan olaylar olmadıklarıdır (bir hastanın birden fazla hastalığı olabilir.). Bunun yanında hastalık düğümlerinin durumları verildiğinde bulguların da koşullu bağımsız oldukları varsayılır.

QMR tarafından ortaya konulan olasılıksal modelin tam olarak açıklanması gerekirse aşağıdaki birleşik olasılık formülünün verilmesi yeterli olacaktır.

$$P(f,d) = P(f|d)P(d) = \prod_i P(f_i|d) / \prod_j p(d_j)$$

Burada **f** bulguları, **h** hastalıkları temsil eden ikili değerlerdir. QMR yapısında $P(f_i|d)$ koşullu olasılığı “Gürültülü Veya” modeli ile temsil edilir.

$$\begin{aligned} P(f_i=0|d) &= P(f_i=0|L) \prod_{j \in \pi} P(f_i=0|d_j) \\ &= (1-q_{i_0}) \prod_{j \in \pi} (1-q_{ij})^{d_j} \end{aligned}$$

Burada π_i, f_i bulgusunun ata düğümlerini temsil etmektedir. $q_{ij} = P(f_i = 1 | d_j = 1)$ olasılığı hastalık j 'nin tek başına bir bulguyu pozitif olarak üretebilme olasılığıdır.

$q_{i_0 i_0} = P(f_i = 1 | L)$ olasılığı ise “Sızıntı Olasılığı” olarak tanımlanmaktadır.

3.6.1.2 QMR’da Çıkarsama:

Gözlemlenen pozitif ve negatif bulgu sonuçları verildiğinde hastalıkların bir sonraki marjinal olasılıklarının hesaplanması tıbbi çıkarsama anlamına gelmektedir. Kısaca sistem şu olasılıkları hesaplamak durumundadır:

$$P(d_j | f^+, f^-)$$

$$P(d_j | f^-) = P(f^- | d_j) P(d_j) \text{ ve } P(d_j | f^+) = P(f^+ | d_j) P(d_j)$$

$$P(f^+ | d_j) P(d_j) = \prod_i P(f_i^+ | d_j) / \prod_j P(d_j)$$

3.6.1.3 QMR Sonuçları

Gerçekleştirilen QMR sistemi yirmi ve daha az pozitif bulgusu olan bir deney kümesi üzerinde çalıştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada, QMR yapısı çıkarsama için çeşitli algoritmalar(log-likelihood, weighted likelihood, variational algorithm) deneyip bunları karşılaştırmıştır.

Değişimsel yöntem düğümlerin bireysel koşullu olasılıkları üzerinde parametrize edilmiş üst ve alt sınırlar ortaya koymuştur [32]. Bu sınırlar üssel doğrusal fonksiyonlardır. Bu şekilde yapılan çıkarsamalardan tatmin edici sonuçlar(yirmi pozitif bulgudan on altısı başarıyla elde edilmiştir.) elde edilmiştir.

Kullanılan diğer yöntemde, olabilirlik ağırlıklandırma, elde edilen sonuçlar istenilen seviyede olmamıştır(20 bulgudan 12 si).

Bu sonuçlara dayanarak QMR [43] yapısının tam bir çıkarsama yapısı olmadığı, sadece tıbbi sistemler için bir çizge yapısı sunduğu, bu yapının iki kısımlı bir çizge olduğu, düğümler için koşullu olasılıkların hesaplanmasında “gürültülü veya” yaklaşımının kullanıldığı söylenebilir. QMR, çıkarsama için farklı algoritmaların adapte edilebileceği bir yapıdır. Bu yapının hesaplama karmaşıklığı genel olarak pozitif bulguların artmasıyla üssel olarak artmaktadır. Bu nedenle pozitif bulgu sayısı yirmi ve üzeri olan durumlarda hangi çıkarsama algoritması kullanılırsa kullanılsın performans düşmektedir. Yirmi ve daha az pozitif bulgu olan durumlarda ise çıkarsama için Değişimsel algoritmaların kullanılması en iyi sonucu vermektedir.

3.6.2 PROMEDAS

Promedas (Olasılıksal Tıbbi Teşhis Tavsiye Sistemi¹⁶) hastaya özel teşhissel bir karar destek sistemidir [73]. Bu sistem hasta bulgularını kullanarak ayrımsal teşhis koyabilir. Bu teşhisin daha da kesin olabilmesi için yapılması gereken testleri kullanıcıya önerebilmektedir.

Promedas’ı diğer sistemlerden ayıran yönleri şeffaflığı ve kesine yakın sonuç üretebilmesidir. Bu kesinliğin en büyük nedeni sistem oluşturulurken çok sayıda tıbbi uzmanlardan yararlanılmasıdır. Sadece bununla yetinilmemiş tıbbi literatür de detaylı bir biçimde taranmıştır. Kullanılabilirliği arttırmak için tıp çevrelerince bilinen ICD-10 gibi standartlar sağlanmıştır.

Bu sistemin amacı çok geniş bir alanı kapsayan, buna rağmen kesine yakın sonuçlar üretebilen tıbbi teşhis destek sistemini gerçekleştirmektir. Ancak Promedas şu an sadece anemi hastalıkları üzerinde istenen başarıda çalışmaktadır.

Promedas’ın Şekil 28(3.8)’de görüldüğü gibi; giriş, form, danışman, ağ ve vaka’lar olmak üzere beş ara yüzü vardır.

¹⁶ Probabilistic Medical Diagnosis Advisory System

Clear data

Instructions

The patient record is displayed on the right.

*) Select a category of findings by clicking on the corresponding tab. Shaded tabs represent still empty categories.

*) Enter patient data by clicking on the box to the right of the test and selecting a value.

*) Click on the icon on the left of a test for additional information concerning the contents of a "LIST", general background information and references.

*) Go to "Consultant" to view the advice of Promedas.

Haematology

- Hb: DECREASED
- MCV: INCREASED
- Reticulocytes (percentage per Ery): DECREASED
- Peripheral smear (red blood cells): MACRO_OVALOCYTIC_MEGALOBlastic
- White Blood Count: NORMAL
- Hypersegmentation of neutrophils (smear): YES
- Platelets: NORMAL

Chemistry

- Bilirubin, total: INCREASED
- Bilirubin, indirect (unconjugated): NORMAL
- LDH: INCREASED
- Haptoglobin:
- Serum vitamin B12: DECREASED
- Serum folate: NORMAL
- Red cell Folate:

Şekil 28(3.8): Promedas ara yüzü.

Bu ara yüzler:

Giriş: Promedas hakkında genel bilgileri verir.

Form: Hastaların bilgilerini görebilmek veya yeni hasta bilgileri girebilmek için tasarlanmıştır. Hasta kayıtları ilgili hastalıklara göre gruplanarak tutulmaktadır.

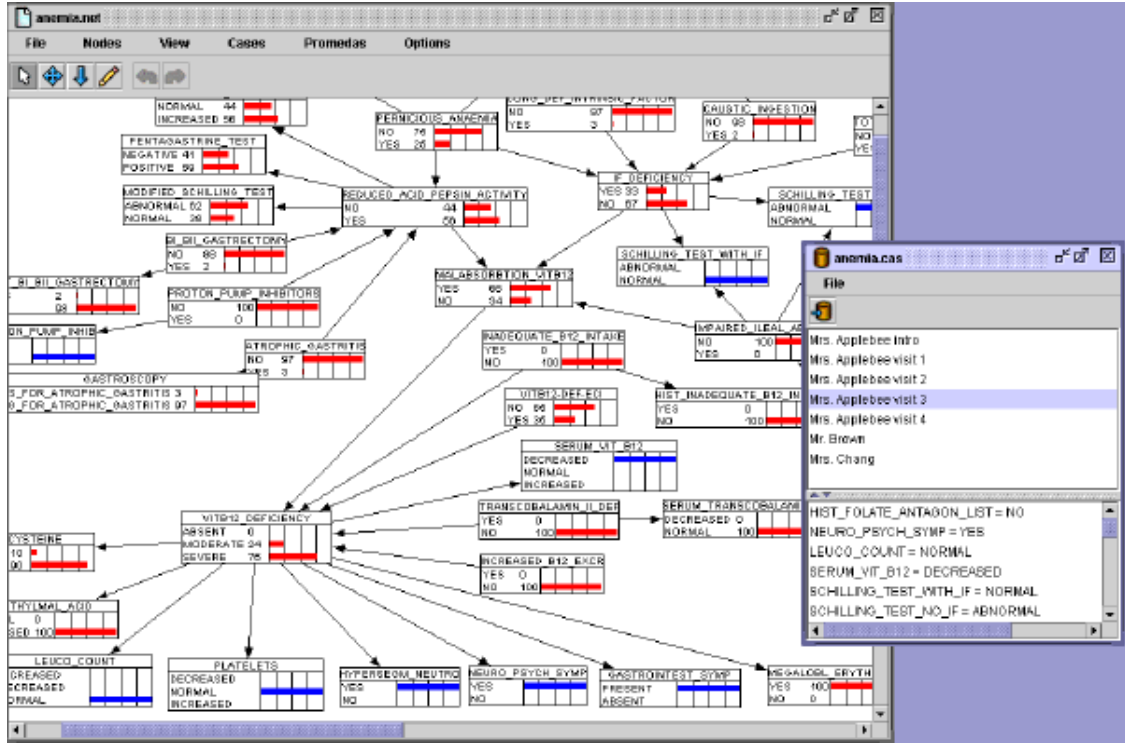
Danışman: Bu ara yüz ise farklı işlemlerin yapılabildiği üç alt çerçeveden oluşur.

- Teşhis Katmanı: İlgili teşhisler olabirlik yüzdeleri ile kullanıcıya sıralanır.
- Mekanizmalar: Verilen bilgilere göre altta yatan mekanizmaların olasılıklarını veririr.
- Test Tavsiyeleri: Seçilen teşhis veya mekanizma için gerekebilecek testleri önerir. Bunu yapabilmek için aşağıdaki olasılık hesabını kullanır.

$$I(D,T) = \sum_{D,T} P(D,T) \ln \frac{P(D,T)}{P(D)P(T)}, \text{ burada } D=\text{teşhis } T=\text{test için}$$

kullanılmıştır.

Ağ: Sistemin altında bulunan Bayes ağının Şekil 29(3.9) 'daki gibi görülebilmesini sağlar.

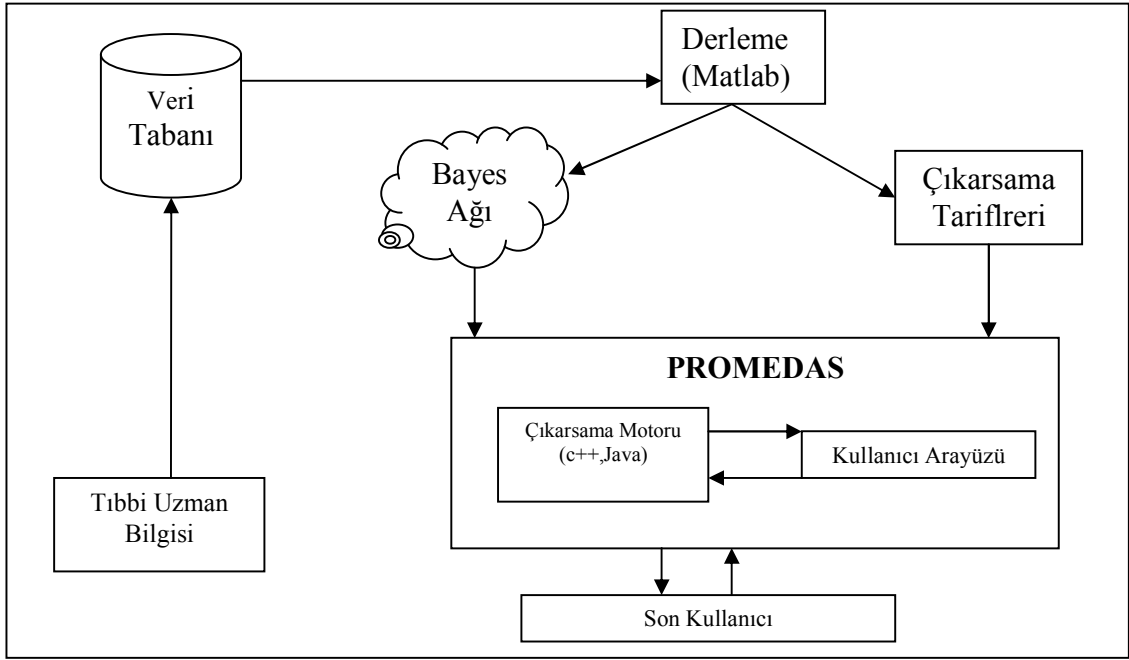


Şekil 29(3.9): Promedas, Bayes Builder adlı yazılımla geliştirilmiştir. Bu sayede ilgili ağ grafiksel olarak görüntülenebilir.

Vaka: Seçilebilir vakaları, bunlar için bulgulardan teşhise nasıl gidildiğini gösterir.

3.6.2.1 Promedas'ın Yazılım Alt Yapısı

Promedas; veri tabanı, Matlab, çıkarsama motoru ve uygulama bileşenlerinden oluşan bir yazılımdır. Bu mimari yapı şekil 30(3.10) 'deki gibi tasarlanmıştır.



Şekil 30(3.10) : Promedas Mimari Şeması

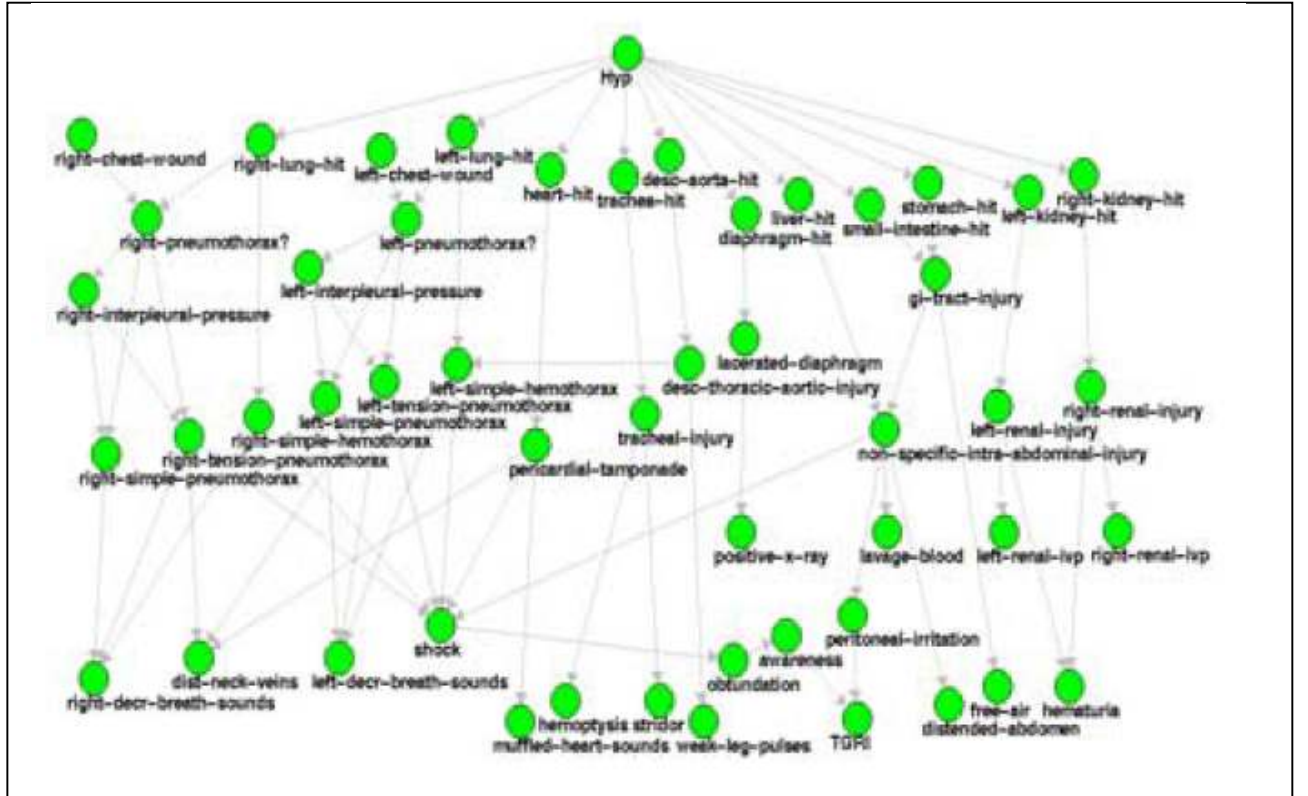
Şekil 30(3.10) 'daki yapının veri tabanı bileşeni için MS Access, derleyicisi için Matlab, çıkarsama motoru yazılımı için C++ ve Java programlama dilleri kullanılmıştır. Bayes ağı ise Bayes Builder programı kullanılarak oluşturulmuştur.

3.6.3 Trauma Scan

Bu sistem de Bayes ağları kullanılarak oluşturulmuş, göğüs ve karın bölgesindeki travma vakalarının teşhisini gerçekleştiren bir teşhis destek sistemidir. Bu sistemin çıkarsama motoru, hastanın anatomik yapısına gelen zararı olasılıksal olarak geometrik bir nedenleyici kullanarak. Yalnız bunu yapabilmek için öncelikle hastanın dış yarası ve içerideki yara yeri bulunmalıdır. Bu bilgilere dayanarak sistemdeki Bayes ağı, yaralanmanın izlediği yol ile oluşabilecek anatomik rahatsızlıklar arasındaki nedensel ilişkileri çıkarır [48].

Bayes ağlarının en büyük zorluğu koşullu olasılıkları veren deneysel verinin farklı nedensel ilişkileri yansıtamamasıdır. Kullanılan verilerin ve deney setlerinin çoğu sadece belirli ilişkileri içermektedir, bunun dışında akla gelebilen ve teşhis problemi için önemli olabilecek bazı ilişkiler deneysel olarak gözlemlenmemiş olabilir. Bu durumda deneysel verileri bulunmayan bu ilişkilerin Bayes ağına temsil edilebilmesi oldukça güçtür.

Yukarıda anlatılan zorluğun üstesinden gelebilmek için TraumaScan, deneysel olarak gözlemlenememiş ilişkiler için karın bölgesi travmalar konusunda uzman olan Dr. John Clarke 'ın yardımını almıştır. Bu durumda eldeki veriler ve uzman görüşüne dayanarak Şekil 31(3.11) 'deki ağ yapısı çıkarılmıştır.



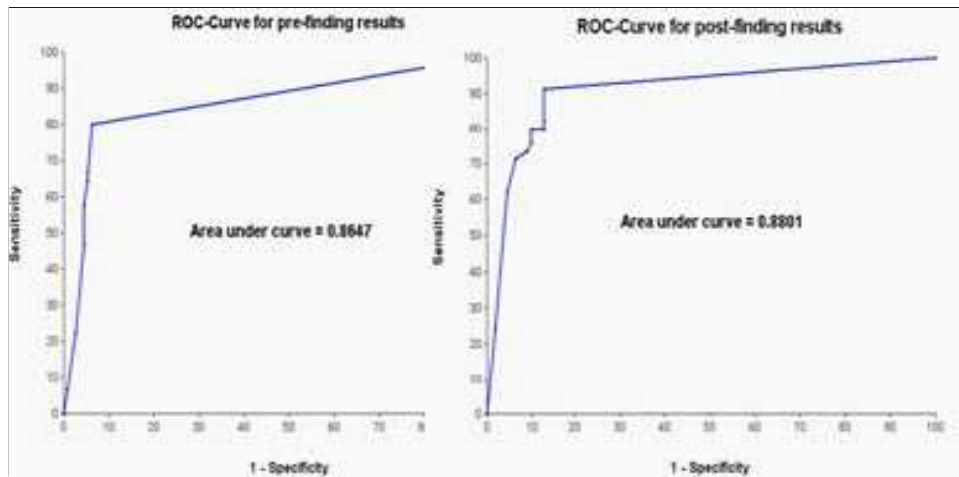
Şekil 31(3.11): TraumaScan için oluşturulan Bayes ağ yapısı.

TraumaScan'de kullanılan Bayes ağ yapısı bir vakadan diğerine değişiklik gösterir. Şekil 31(3.11) 'deki mimari oluşum yanı kalsa da yaralanma hipotezlerinin ve koşullu olasılıkların sayısı üzerinde durulan yaralanmaya göre değişmektedir.

Her Bayes ağının farklı yaralanma açıklamalarına göre değer alan bir kök düğümü bulunur. Bu düğüm **Hyp** şeklinde temsil edilmektedir. **Hyp** için ilgili değerler geometrik nedenleyici/akıl yürütücü ile belirlenir. Nedenleyici tarafında hesaplanamayan değerlere %1 olasılık verilir. Böylece hesaplanamayan durumların etkisi azaltılır. **Hyp** dışında **LCW**(sol göğüs yarası) ve **RCW**(sağ göğüs yarası) adlı iki tane daha kök düğümü vardır. Bunlar alınan yaralar nedeniyle olası akciğer yırtılmalarını temsil etmek için kullanılırlar. Ağın geri kalan düğümlerinin yapısı ve neleri temsil ettiği [48] detaylı olarak verilmiştir.

TraumaScan'ın kullandığı Şekil 31(3.11) 'de verilen Bayes ağ yapısı, JavaBayes ile gerçekleştirilmiştir. Bu yazılım sayesinde marjinal olasılıklar, beklentiler ve düğümler için bir sonraki olasılık değerleri hesaplanabilmektedir.

Geliştirilen bu sistem MCP-Hahnnemann Üniversitesi'nden alınan yirmi altı silahla yaralanma vakası üzerinde çalıştırılmıştır. Sonuçları önceden bilinen bu deney kümesi üzerinde çalıştırılan TraumaScan yüzeysel ve içsel yaraların yeri verilip hasata bulguları verilmediğinde **0,8647'lik** bir doğruluk oranı yakalanmıştır. Yaralanma yerlerine ek olarak hasataların buluları da sisteme verildiğinde bu doğruluk oranı **0,8801'** e çıkmıştır. Bu dağılımlar Şekil 32(3.12) 'deki grafiklerde özetlenmiştir.



Şekil 32(3.12): TraumaScan için doğru teşhis yüzdeleri. İlk grafik hasta bulguları sisteme girilmeden elde edilen sonucu, ikincisi bulgular sisteme girildikten sonra elde edilen sonucu göstermektedir.

Göğüs ve karın yaralanmaları alanında Kural Tabanlı bir teşhis sistemi olan TraumaAid’ de yukarıda verilen deney kümesi üzerinde çalıştırılmış ve yapılan karşılaştırmada Bayes tabanlı yaklaşım olan TraumaScan’ın daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. İlgili karşılaştırma Tablo 18(3.10)’da özetlenmiştir.

Hastalık/Hastalık sınıfı	TraumaAid		Trauma Scan (Bulgu Var)		Trauma Scan (Bulgu Yok)	
	TPR%	TNR%	TPR%	TNR%	TPR%	TNR%
Karın Bölgesi	84,62	69,23	100	92,31	92,31	92,31
Sol Göğüs	54,55	93,33	81,82	93,33	63,64	86,67
Sağ Göğüs	28,57	100	100	89,47	85,71	100
Yaralı Diyafram	71,43	89,47	85,71	89,47	85,71	89,47
Kalp Zarı Yarası	50	95	83,33	90	66,67	90
Aort Yaralanması	100	76	100	76	100	100
Toplam Sonuçlar	62	87,39	91,11	87,39	80	93,69

Tablo 19(3.10): TraumaAid ile TraumaScan teşhislerinin karşılaştırmalı tablosu

Bölüm 4- Yapılan Çalışma ve Alınan Sonuçlar

Tez kapsamında Bayes ağlarına dayanarak geliştirilen Hipokrat-I adlı tıbbi teşhis destek sisteminin teşhis sahası olarak tiroid hastalıklarını seçilmiştir. Farklı tiroid hastalıklarının teşhis edilebilmesi için geliştirilen yapıyı daha açık anlatabilmek için takip eden ilk bölümde, ilgilenilen tıp alanı hakkında bilgiler sunulmuştur.

4.1 Teşhis Alanı

Tiroit bezi, boyun bölgesinde adam elması denen kıkırdağın hemen altında ve soluk borusu önünde bulunur. Kelebek şeklindedir. Şeklinden dolayı kalkan bezi olarak da bilinir. Sağ ve sol olmak üzere iki bölümü vardır. Bunlara tiroit lobu denir. Bu iki lob isthmus denen ince bir doku bandı ile birbirine bağlanır.

Tiroit bezi bir kas kadar serttir. Bu nedenle, doktor tarafından kolaylıkla elle muayene edilebilmektedir. Bazı durumlarda büyür ve normal ağırlığını aşar. Bu duruma guatr denir. Tiroit bezi mikroskop altında incelendiğinde follikül denilen oluşumlardan meydana geldiği görülür. Folliküller, yuvarlak olup kenarları follikül hücrelerinden ortaları ise jelâtin tabiatında kolloid denen bir maddeden oluşur. Sentez edilen hormonlar kolloid içerisinde biriktirildiğinden bu madde tiroit hormonlarının deposunu oluşturur. Tiroidin esas fonksiyonu vücudun ihtiyacına göre T_3 ve T_4 denilen tiroit hormonlarını üretmektir.

4.1.2 Tiroit Hormonları Hakkında Genel Bilgiler

Tiroit hormonları “negatif geribildirim mekanizması” ile çalışır. Bu mekanizmaya göre beyinde hipotalamus denilen bölgede TRH hormonu salgılanır. Bu hormon hipofiz bezine etki ederek TSH salgılanmasını sağlar. TSH ise tiroit bezine etki ederek T_4 ve çok az miktarda T_3 yapımını ve salgılanmasını sağlar. T_4 ve T_3 ’ün büyük bir kısmı kanda

bulunan proteinlere bağlanır, çok az bir kısmı ise serbest olarak kanda dolaşır. Bu hormonlar belirli bir düzeye geldikten sonra hipotalamus ve hipofiz üzerine baskı yapar ve TRH ve TSH' nin salgılanmasını durdurur. Kullanım sonucu hormonlar azalınca baskı ortadan kalkar TRH ve TSH tekrar salgılanır ve aynı şekilde tiroit hormonları yeniden vücut ihtiyacına göre üretilir.

Tiroit hormonları, vücudumuzdaki her hücre ve dokunun fonksiyonlarını düzenler. Sağlıklı olmak için tiroit hormonlarının devamlı ve yeterli miktarda salgılanması gerekir. Az miktarda salgılanması vücut fonksiyonlarının yavaşlamasına, fazla miktarda salgılanması ise vücut fonksiyonlarının hızlanmasına neden olur. Tiroit hormonlarının az miktarda salgılanması durumuna hipotiroidi, fazla miktarda salgılanması durumuna ise hipertiroidi denir. Tiroit hormonlarının normal olarak salgılanması durumunda hastanın ötiroid (normal) olduğu söylenir. İki çeşit tiroit hormonu mevcuttur:

- Tiroksin veya T_4 . Her molekülünde 4 iyot atomu mevcuttur.
- Triyodotironin veya T_3 . Her molekülünde 3 iyot atomu bulunmaktadır.

T_4 tiroitten salgılandıktan sonra dokularda etkili olabilmesi için T_3 'e dönüşmektedir.

Tiroit hormonları vücutta bağlı ve serbest olmak üzere iki şekilde bulunur. Tiroit de üretilen hormonlar kana geçtikten sonra %99'u taşıyıcı proteinlere bağlanarak dolaşırlar. Bu proteinlere tiroksin bağlayan globülinler (TBG) denir. Ancak bu hormonların dokularda etkilerini gösterebilmeleri için serbest hale geçmeleri gerekir. Serbest hormonlar vücuttaki toplam hormonların %1'ini oluştururlar. Kanda tiroit hormonu ölçümlerinde genelde bağlı ve serbest hormonlar birlikte (total T_4 ve T_3) veya sadece serbest olarak (serbest T_4 ve T_3) ölçülür.

4.1.3 Tiroit Tümörleri

Tiroit tümörleri bez içerisinde meydana gelen tümör yapısındaki nodüler oluşumlardır. Tiroit tümörleri diğer tümörlerde de olduğu gibi iyi ve kötü huylu olarak iki grupta incelenir.

4.1.3.1 İyi Huylu Tümörler

Adenomlar ve teratomlardır. Teratomalar oldukça nadirdir. Adenomlarda neoplazma dokusu kapsülü işgal ettiğinden kapsüllü adenomlar olarak bilinirler. Tiroit hormonu verildiğinde adenomların küçülmesi nedeniyle TSH'nın adenom oluşmasında ve büyümesinde etkili olduğu tahmin edilmektedir.

Adenomların %70'i soğuk nodül, %20'si de ılık nodül olarak değerlendirilir. Bunun nedeni sintigrafi testlerinde radyoaktif iyodu tutup tutmamalarıdır. Soğuk nodüllü adenomlar sintigrafi testinde radyoaktif iyodu tutmazlar. Ilık veya normoaktif olarak bilinen adenomlar ise radyoaktif iyodu diğer tiroit dokuları kadar tutarlar. Her iki tip adenom da ö tiroit olarak adlandırılır. T₃, T₄, TSH değerleri normal sınırlar içindedir. Bazı adenomlar ki geriye kalan yüzde onluk ufak kısımdır, radyoaktif iyodu diğer doku kısımlarından daha fazla toplar. Bunlara sıcak nodül denir. Sıcak nodüller hipertiroidiye nedeni olabilirler. Bunların çapı genellikle 3 cm ve üzeridir.

4.1.3.2 Kötü Huylu Tümörler

Birincil veya ikincil olabilirler. Birincil tümörler kendi içlerinde epiteliyal ve nonepiteliyal olarak iki grupta incelenirler. Nonepiteliyal olan kötü huylu tümörler nadir olarak görülürler.

Hayvanlarla yapılan çeşitli deneyler göstermiştir ki iyot yetmezliği, uzun süre guatrojenik ilaç kullanımı ve tiroidin dışsal radyasyonu gibi TSH salgısının arttığı durumlarda tiroit kanseri oluşmuştur[T3]¹⁷. Bu sonuçlar TSH'nın tümör oluşumunda rol oynadığını düşündürmektedir. İnsanlarda çeşitli hastalıklar nedeniyle dışsal radyasyona tabi tutulduğunda, özellikle de çocuklarda, bu çeşit kanserler daha fazla görülmektedir. Hayvanlarla yapılan deneylerin aksine iyot yetmezliği, diyetle iyodun fazla alındığı ve çevrede iyodun fazla bulunduğu bölgelerde papiller kansere daha sık rastlanmaktadır.

Papiller Kanserler

Tüm tiroid kanserlerinin 2/3'ü Papiller tiptedir. Özellikle küçük yaşlarda görülen tiroid kanserlerinin 3/4'ü papillerdir. Tiroid bezi içerisinde birden fazla noktadan başlayabilir. Papiller tiroit kanserleri genellikle katı nodül şeklinde olmakla beraber, bazen kistik yapıda da olabilirler. Vakaların %90'ı kapsülsüz olup, kolayca çevreye invazyon yaparlar. Papiller kanserde mortalite %5 - %10 civarındadır. Özellikle tanı aldıklarında invaziv, lokal metastazlı yahut uzak metastaz bulunan vakalarda mortalite oranı yüksektir[T2]. Kadınlarda erkeklere oranla üç kat daha fazla görülür. Çevre lenf

¹⁷ Tıp literatür taramalarının referansları [T] şeklinde verilmiştir.

nodlarına, akciğerlere ve kemiklere sıkla yayılım yapabildiği gibi vücudun herhangi bir yerine de yayılabilir.

Foliküler Kanserler

Tiroit kanserinin %11 - %35 aralığını oluştururlar[T1]. Bunların çoğu kapsüllüdür, adenom izlenimi verirler. Genellikle ileri yaştaki, bu gruptaki hastalar çoğunlukla 40-50 yaşları arasındaki hastalarda görülür. Ayrıca kadın hastalarda erkeklere göre iki hatta üç misli fazladır.

Akciğer ve kemikler metastazların en sık görüldüğü yerlerdir. Metastaz, kanser hücrelerinin vücudun bir kısmından başka bir kısmına geçmesidir.

Anaplastik Kanserler

Kanserlerin yaklaşık olarak yüzde onunu oluşturur. Bu gruptaki hastalar elli yaşın üstündedir. Foliküler kanserlerden farklı olarak kadın ve erkek hastalardaki görülme oranı eşittir. İyot eksikliği olan bölgelerde sıklıkla görülür. Genelde uzak metastazları vardır. Belirtileri bir kütlenin süratle belirmesi ve etrafını istila etmesine dayalı bulgulardır. Bunlara bağlı olarak hastanın kendinde hissedebileceği belirtiler yutma zorluğu, ağrı, ses kısıklığı olabilir. Tümör dokusu oldukça serttir.

Medüller Karsinomlar

Tiroit kanserlerindeki oranı yüzde iki ile on arasında değişebilir. Ayrıca bu hastalar arasında ailesinde de bu hastalığı taşıyanların oranı %15 ile %30 arasında değişmektedir ki bu da bize bu hastalığın ailesel kalıtsallığının olabildiğini

göstermektedir. Tıpkı anaplastik kanserlerde olduğu gibi elli yaş üstü kişilerde görülür ve kadınla erkek hastaların dağılım oranı eşittir. Belirtiler olarak hipertansiyon, hiperkalsemi görülebilir. Hasta kalsitonin, ACTH, serotonin, PG, histamin, somatostatin gibi maddeler salgılar.

Metastatik Tümörler

Tiroide en çok akciğer, meme ve böbrek kanserleri metastaz yapar.

Tiroit'in Nonepiteliyal Kötü Huylu Tümörleri

Bunlar sarkoma ve lenfomalar olup nadirdirler. Lenfomalar Hashimoto hastalığı ile birlikte bulunabilirler. Hashimotolu hastalar tiroksin almakta iken tiroide büyüme olursa lenfomadan şüphe edilebilir[T5].

4.1.4 Klinik Bilgiler

Tiroit nodülleri nadiren bir şikâyeteye sebep olurlar. Diğer bir deyişle hastalar tarafından anlaşılabilecek belirtileri çok azdır. Çoğunlukla fiziksel muayene sırasında ortaya çıkarlar. Hastanın şikâyetleri genelde nefes darlığı, sinirlilik hali veya yutma zorluğudur. Fiziksel muayeneye rağmen eğer nodül çapı 1 cm den küçükse fark edilemeyebilir. Ayrıca bazı durumlarda nodül tek olmayabilir. Bu durum Multinodüler olarak adlandırılır. Nodül bulunduktan sonra bu nodülün iyi huylu mu yoksa kötü huylu mu olduğunu teşhis etmek gerekir ki bu aslında oldukça zor bir teşhistir. Buna rağmen vaka kayıtlarından çıkarılan genel istatistiklere dayanarak ailelerinde medüller tiroit kanseri olanlar, çocuklukta baş ve boyun radyasyon uygulaması anamnezi olanlar, 20 yaş

altı veya 50 yaş üstü olanlar, nodül çapı 4 cm den büyük olanlar, çok sert nodülü olanlar, nodülü çok hızlı büyüyenler, kas veya trakeaya fiksasyon gibi belirtileri olanlar için kötü huylu teşhisi yapılabilir

İyi huylu bir nodülde, genelde, nodül içerisindeki kanamanın belirtileri olan ağrı ve hassasiyet gibi şikayetler vardır. Ancak iyi huylu nodülde bu şikâyetler birkaç hafta içinde ortadan kalkar. Tüm bunların yanında Tiroit nodülü diğer organlardaki kansere ait bir metastaz da olabilir[T4].

1977 'de Dr. Miller normal ve kanserli düğümlerini ayrımı için şu şartları ön görmüştür: “Yumuşak ve 3 cm'den küçük veya difüz büyüme ile birlikte veya multinodüllü veya çok sert olmayan veya büyümeyen nodüllerin kanser olması ihtimal dahilinde değildir.”[T6]. Ancak incelenen vaka sayısı arttıkça ve bu alandaki teşhis ve tedavi yöntemleri geliştikçe Miller'ın öne sürmüş olduğu şartlar da geçerliliğini kaybetmiştir. Örnekle açıklayacak olursak nodül sertliği göz önüne alındığında Kendall'ın 11 kötü huylu nodüle sahip hastasından 2'si, Gharib'in 56 kanserli hastasından 5'inde bulunan nodüller yumuşaktır[T10] Bu örneklerdeki sert nodüllerin yarısı da iyi huyludur. Nodülün büyüme durumuna bakacak olursak; Hamburger'in kanserli hastalarının %70'inde nodül büyüklüğü değişmemiş, %10'unda ise 6–24 ay süresince uygulanan tedaviler ile küçülmüştür.

Ses kısıklığı ve trakeal deviasyon Hashimoto hastalığı ve multinodüler guatrlerde da görünebilir. Bu tür nodüllerde de kanser riski bulunmaktadır.

Tüm hastalıklarda olduğu gibi tiroit hastalıklarının teşhisi de oldukça zordur. Bu zorluğun ana nedenleri herkes tarafından bilinen belirli belirtilerin olmaması, bazı durumlarda fiziksel muayene de bile belirlenmesinin güç olması ve belirlendiği takdirde hasta nodülün hangi sınıfa girdiğinin söylenmesinin zorluğudur. Yukarıda kısaca verilen bilgilerden de anlaşılacağı üzere tiroit bezine ait birçok hastalık bulunmakta ve bunlar birbirlerinden çok zor ayrılmaktadır. Diğer tüm hastalıklarda olduğu gibi tiroit hastalıklarında da teşhisler arası çizgiler mühendislikteki gibi bir ve sıfırlardan değil

birçok ara değerden oluşmaktadır. Kısaca kesin siyah ve kesin beyaz alanlar yerine çoğunlukla gri ve tonlarının kullanıldığı bir alandır. Yine de ilgili teşhis ve ayrımları yapmak için belirli yöntemler geliştirilmiştir.

4.1.5 Tiroit Hastalıklarında Belirti ve Bulgular

4.1.5.1 Tirotoksikoz vakaları

Belirtiler: Huzursuzluk, ruhi dengesizlik, uykusuzluk, halsizlik, kas güçsüzlüğü ve kramplar, iştah artımı, çarpıntı, ısıyı tolere edememe, aşırı terleme, bağırsak hareketlerinde artma, kilo kaybı, hipokalemi ile birlikte periyodik paralizi, oligomenore veya diğer bir mens düzensizliği, eforla nefes darlığı, anjina pectoris.

Bulgular: Gözlerde kapak çekilmesi ve canlı bakış, istirahatte taşikardi, atrial fibrilasyon, sistolik kan basıncında veya nabız basıncında artma, birinci kalp sesinde şiddetlenme, nadiren kalp yetmezliği, el parmaklarında ince tremor, hiperkinezi, proksimal kas güçsüzlüğü, derin tendon reflekslerinde şiddetlenme, onikoliz, yumuşak, ılık ve nemli deri, avuç içlerinde palmar eritem, saçlarda incelme.

Graves hastalığında görülen bulgular: Boyunda ekseri üfürümle birlikte diffüz guatr, egzoftalmus ve otoimmün kökenli diğer göz bulguları, pretibial miksödem.

4.1.5.2 Hipotiroidizm vakaları

Belirtiler: Uyku hali, halsizlik ve güçsüzlük, baş ağrısı, kilo artımı, soğuğu tolere edememe, mens düzensizliği, galaktore, deride kuruluk, saç dökülmesi, kabızlık, ses kısıklığı, terlemede azalma, pareteziler, kas ve eklem ağrıları, işitmede azalma, hafıza bozukluğu, alaca karanlıkta iyi görememe, psikiyatrik bozukluk.

Bulgular: Sıklıkla palpe edilebilen edilebilen guatr, apatik görünüm, göz kapaklarında pitoz, bradikardi, kalp seslerinin derinden gelmesi, erişkinlerde hipertansyon, bradikinezi, ataksi, tendon reflekslerinde yavaşlama, kas hipertrofisi, derinin kuru, soğuk, soluk ve ödemli olması, karoten birikimi sebebi ile derinin sarımtırak bir renk alması, özellikle göz kapakları civarında olan yüz ödemi, hipotermi, tırnaklarda kırılma, konuşma bozukluğu, çok nadiren miksödem koması, radyolojik incelemede plevral veya perikardiyal efüzyon.

Neonatal dönem: Uzun süren fizyolojik sarılık, somnolans, beslenme problemleri, kabızlık, şiş karın, göbek fıtığı, kısık sesle ağlama.

Tedavi edilmemiş neonatal dönem (kretenizm): Mental gerilik, sağırılık ve konuşamama, dişlerin çıkmasında gecikme, inkoordinasyon, fontanellerin kapanmasında gecikme, büyük baş, epifizial disgenezis.

Çocuklar: Boy uzamasında yavaşlama ve kemik yaşında gecikme, pubsertede gecikme.

4.1.6 Tiroit Hastalıklarının Tanısında Faydalanılan Testler

Bilinen veya şüphelenilen tiroit hastalığı olan bir kişiyi ele alırken doktor, iki tip tanıya varabilmeleedir;

Fonksiyonel tanı: Kişinin metabolik durumunun belirlenmesi. Tiroid bezinin hormon salgısı hakkında bilgi vererek hastanın fizyolojik ve metabolik durumunun tiroit hormon sekresyonundan ekilenip etkilenmediğini gösterir.

Etiyolojik ve anatomik tanı: Rahatsızlığın altta yatan sebebini, bezdeki patolojik değişikliği içerir.

Tiroit hastalıklarının tanısında faydalanan testler çok sayıda olup, bu durum karışıklığa neden olabilir. Test sayısının bu kadar fazla olması her testin sınırları olduğunu gösterir. Örneğin, metabolik durumun belirlenmesinde faydalanan hiçbir test tek başına güvenilir değildir. Tiroit hastalıklarının tanısında faydalanan testlerin sınıflandırması aşağıda verilmiştir;

A. Metabolik durumun tayini

1. Serum TSH ve tiroit hormon düzeyleri ve hormonların bazı maddelere bağlanmaları ile ilgili testler.
 - a. Serum TSH ve tiroit hormonu düzeylerinin ölçümleri: Serum TSH, total T₄, total T₃, serbest T₄, serbest T₃
 - b. Hormon bağlanmasının ölçümleri: Serbest T₄ ve serbest T₃ indeksi, resin T₃ “uptake”, tiroit hormonlarını bağlayan globulin (tironin bağlayan globulin).
2. İyot metabolizması ve radyoaktif iyot “uptake” (RAIU)’nin incelenmesi.
3. Tiroit hormonlarının dokulardaki etkilerini inceleyen testler: Bazal metabolik hız, serum kolesterol, özellikli serum enzimleri (SGOT, LDH, CPK), dönüştürücü enzim, aşıllı refleksi zamanı, kardiyak zaman aralıkları
4. Hipotalamus-hipofiz-tiroit ekseninin testleri: Serum TSH düzeyi, TRH uyarı testi, tiroit supresyon testi

B. Etiyolojik ve anatomik tanı ile ilgili testler

Tiroit ultrasonografisi, Tiroidin ve çevre dokuların manyetik rezonans ve bilgisayarlı tomografi ile görüntülenmesi, tiroit sintigrafisi, tiroit ince iğne aspirasyon biyopsisi, tiroit otoantikorları, serum triglobulin, serum kalsitonin, klasik radyolojik incelemeler, I¹³¹ ile tüm vücut taraması, Tec^{99m} – pirofosfat ile kemik taraması

4.1.6.1 Tiroit Fonksiyon Testleri

TSH en iyi genel test.

ST₄ ikinci en iyi genel test.

ST₃ ek testtir; T₃ toksikoz ve hipertirodizmin nadir şekillerinin tanısı.

TT₃ serbest T₃ yerine kullanılabilir.

TT₄ genel test olarak yetersizdir.

Testler normal değer aralıklarının verilmesinden kaçınılmıştır. Bunun nedeni testlerin yapıldığı laboratuvar göre aralıkların farklılık göstermesidir. Kabul edilen aralıklara ilişkin bilgi bir sonraki bölümde ifade edilecektir. Bu testler ile ilgili detaylı bilgi incelenecek olursa;

TT3

Bu değerın yükselmesi hipertiroidi, akut tiroidit, tiroglübülin artışı, günlük T₄ dozajının 300 mikrogramın üzerine çıkması veya bunlardan ayrı olarak gebelik, östrojen hormonundaki artış ve bazı ilaçların yan etkileri gibi tiroitten başka nedenlerden de kaynaklanabilir. Kısaca testlerden elde edilen normal değerin (0,6 – 1,81 ng/ml) üzerindeki bir TT₃ değeri bize bu yukarıda verilen teşhislere gidebilme yolunda yardım eder. Bu belirtiler içerisinde hipertiroidi tiroit bezinin aşırı hormon üretmesidir ki bunun nedeni Graves hastalığı, toksik adenom, toksik multinodüler guatr veya hashitoksikozis gibi hastalıklar olabilir.

TT₃ değerinin düşmesi ise hipotiroidi, hipotiroidi de Hashimoto hastalığı, Riedel Tiroiditi, total tiroidektomi ameliyatı sonrası veya iyot noksanlığından kaynaklanabilir. Ancak TT₃'ün normal değerin altına düşmesinde de tiroit dışı etkenler rol oynayabilir. Bunların başında bazı ilaçlar (steroid olmayan antinflamatuarlar, salisilatlar, lityumlu

ilaçlar vs), kronik böbrek hastalıkları, kronik karaciğer hastalıkları ve hatta hastanın test yaptırdığı sırada aç olması gelebilir.

ST3

ST₃ değerinin 2,3 – 4,2 pg/ml olan normal değerinin üzerine çıkması bize tirotoksikoz (hipertiroidili veya hipertiroidisiz), T₃ toksikosisini veya periferik rezistans sendromu durumlarını gösterir.

Bu değer düşmesi ise hipotiroidi veya hastanın gebeliğin üçüncü evresinde olduğunu gösterir.

TT4

Hipertiroidi, TBG artışı, Tirotoksikoz Factitia veya akut tiroid gibi durumlarda TT₄ değeri yükselir. Bu değer normal seviyesinin (4,5 – 1,02 µg/dl) altına düşmesi ise hipotiroidi, TBG azalması ve tedavisi T₃ kullanımı gerektiren durumlarda olur.

ST4

ST₄ hipertiroidili ve hipertiroidisiz tirotoksikozların tümünde yüksektir. Ayrıca tiroit hormonu ile tedavi edilen diğer hipotiroidi hastalarında da bu değer yükselmesi mümkündür.

ST₄ alan uzmanlarınca hipertiroidi ve hipotiroidi'nin asıl göstergesi olarak savunulmaktadır. Bu durumda ST₄ değerinin yüksekliği durumunda hipertiroidi,

düşüklüğü durumunda ise hipotiroidi teşhisleri diğer testlere göre daha yüksek bir yüzdeyle konulabilir.

ST₄'ün 0,84 – 1,76 ng/dl eşik değerlerinin altına düşmesi ise basit olarak hipotiroididen kaynaklanır.

TSH

TSH düzeyinin yükselmesi, primer hipotiroidi, TSH salgılayan hipofiz adenomları, TSH antikorları, Hipofizer Rezistans ve kullanılan birtakım ilaçlar tetikleyebilir. TSH'nın normal sınırın altına düşmesi ise tirotoksikoz (hipertiroidili veya hipertiroidisiz) kaynaklıdır. Ancak burada da bir takım dış faktörler söz konusu olabilir. Örneğin akut hastalıklar, hiponatremi, dopamine gibi bazı ilaçların kullanımı bu değerlerin düşük çıkmasına sebep olabilir.

Dikkat edilecek olursa TSH dışında yukarıda sözü geçen test değerlerinin eşik değerleri üzerine yükselmeleri bizi o veya bu şekilde tirotoksikozla götürürken, TSH'da bu durum (TSH değerinin yüksekliği) bizi primer Hipotiroidi'ye götürür. Benzer olarak TSH dışındaki test sonuçlarının (TT₃, ST₃, TT₄, ST₄) istenilen değerleri altında kalmaları bizi Hipotiroidi'ye götürürken TSH'nın düşmesi bizi Hipertiroidi'ye götürmektedir.

4.1.6.2 Görüntüleme Testleri

Sintigrafi

Tiroit sintigrafisi, bazı radyoaktif maddelerin tiroit dokusu tarafından muhtelif hastalıklarda ve bu arada nodüler guatrli hastalarda farklı şekillerde tutulmasının değerlendirilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Tiroit sintigrafisi, tiroidin büyüklüğünü, şeklini ve bölgesel fonksiyonlarını gösteren tiroit glandının bir imajıdır. Sintigrafi, hastaya tiroit dokusunda birikim gösteren bazı radyoaktif maddelerin verilmesinden sonra uygulanır. Bu amaçla kullanılan radyoaktif maddeler I^{131} ve Tec^{99} 'dur. Bu radyoaktif maddelerin tiroit dokusu tarafından tutulup tutulmamasına göre nodüller soğuk, sıcak ve normoaktif (ılık) olarak değerlendirilirler. Eğer radyoaktif madde tutulmuyorsa soğuk, normal değerlerde tutuluyorsa normoaktif, çok fazla tutuluyorsa sıcak nodül teşhisleri konulabilir. Sadece tiroit sintigrafisine bakarak tiroit kanseri tanısı koymak mümkün değildir. Tiroit kanserleri tiroit sintigrafisinde genellikle, hipoaktif (soğuk) nodül olarak görülür.

Ultrasonografi

Ultrasonografi organların anatomik yapısının araştırılmasında kullanılan invaziv olmayan bir görüntüleme yöntemidir. Tiroit nodüllerinin incelenmesinde oldukça faydalı bir yöntemdir. Zararsız olması bu yöntemin gebeler ve çocuklar gibi hassasiyet gerektiren bünyeler üzerinde de kullanılabilmesini sağlar. Bu yöntemin en büyük getirisi çapı çok küçük olan (1-3mm) nodülleri dahi yakalayabilmesidir.

Ultrasonografi ile nodülün kistik, katı veya yarı katı olduğu, ekojenitesi, nodülün etrafında ince, berrak bir halka olarak tanımlanan bazılarınca iyi huyluluk belirtisi sayılan halo işaretinin var olup olmadığı, kalsifikasyon olup olmadığı nodül sayısı, boyutları ile ilgili bilgiler elde edilir. Ancak bu değerli bilgilere rağmen sadece ultrasonografi kullanarak nodülün iyi huylu mu yoksa kötü huylu mu olduğu anlaşılamaz.

4.1.6.3 Tiroit İnce İğne Aspirasyon Biyopsisi

Tiroit nodüllerinin ayırıcı tanısında en önemli yöntemdir. Uzun yıllardan beri bilinmesine rağmen son yıllarda kullanımı artmaya başlamıştır. Bu yaygınlaşmanın en önemli nedeni de iyi ve kötü huylu nodüllerin ayırıcı tanısında çok büyük kesinliklerde teşhis koyabilmesidir.

Bu yöntemle elde edilen patoloji sonuçları iyi huylu, kötü huylu ve şüpheli olarak üç sınıfta toplanırlar. Şüpheli sınıf, kötü huylu olup olmadığına kesin olarak karar verilemeyen sınıftır.

4.1.6.4 Oto-Antikor Testleri

Çeşitli tiroit hastalıklarının tespiti için yapılan dört ana oto-antikor testi vardır. Bunlar: Anti-M, Anti-TG, Anti-TPO ve TR-Ab testleridir. Bu testlerin normal eşik değerleri ve testlerden elde edilen verilerden ne gibi sonuçlar çıkarılabileceği aşağıda belirtilmiştir.

Anti-M

Açılımı Anti Mikrosomal Antikoru'dur. Normalin üst sınırı 50 IU/ml dir. Test sonucunda bu değerin üstündeki veri bizi dört sonuca götürebilir.

1. İnsanların %5-10 aralığında bu değer doğal olarak yüksektir.
2. İlgili vaka Hashimoto hastası olabilir. Bu hastalığa sahip vakaların %80-95'inde bu test sonucu yüksek çıkar.
3. İlgili vaka Graves hastası olabilir.
4. Tiroit kanseri, hipotiroid ve Pernisyöz anemi olduğu durumlarda da Anti-M değeri yükselebilir.

Anti-TG

Anti Thyroglobulin Antibody olarak açılan bu test bazı tıp literatürlerinde Anti-Tg veya Anti-Ab olarak da geçer. Normalin üst sınırı 60 IU/ml ve bunun altındaki değerlerdir. Bu test sonucunda da dört farklı tanıya gidilebilir.

1. Bazı insanlarda, %10'luk bir kısım, bu değerin yüksek olması normaldir.
2. Hashimoto hastalığında bu değer %70-90'lık bir yüzdeyle yüksektir.
3. %50-60'lık bir oranla ilgili vaka Graves hastası olabilir.
4. Tiroid kanseri, İdyopatik Mixtödem, Pernisyöz anemi, Sistemik Lupus Eritamatozis(SLE) ve De Quervain hastalığı da olarak bilinen Subakut Tiroiditis hastalıklarında da bu değer yüksek çıkar.

Anti-TPO

Normalin üst sınırı 60 IU/ml olan bu testin açılımı Tiroit Peroksidaz Antikoru'dur. Ati-TPO'nun yüksek çıkması üç anlama gelebilir. Bunlar:

1. Normal insanlarda %10'luk bir kısımda bu değer yüksek olabilir.
2. Bu değer yüksek çıkması Hashimoto hastalığının göstergesi olabilir.
3. İlgili değer yüksek çıktığı hastalara %75-90 arası oranlarda Graves teşhisi konulmuştur.
4. İdyopatik Mixtödem, Addison hastalığı, Pernisyöz anemi, Diabetes Mellitus hastalıklarında da bu değer yüksek çıkabilir.

TR-Ab veya TSH-R Ab

TSH reseptör antikorlarını ölçen bir testtir. Bu test Graves hastalığının diğer hipertiroidlerden ayırt edilmesinde kullanılır. Graves teşhisi konulan hastaların %95'inde bu değer yüksek çıkmıştır[[49](#),[50](#)].

4.1.6.5 Diğer Testler

Tiroit hastalıklarının teşhisi için yukarıdaki testlere ek olarak bazı testler daha yapılabilir. Eritosit Sedimentasyon testi, Tg testi, Calcitonin testi ve TGB bu testlerden bazılarıdır.

Eritrosit Sedimentasyon Testi

Bu test vakadaki eritrosit sedimentasyon hızını ölçmek için kullanılır. Bu testin eşik değeri 20 mm/st 'dir. Bu eşik değerinin aşılması bizi dört farklı sonuca götürebilir.

1. Subakut Tiroit
2. Akut Tiroit
3. Riedel Tiroidi

bu üç hastalıkta da eritsit hızı 80mm/st veya üzeri bir değerdedir.

4. Kanserler. Kanserler ile ilgili değer, eritrosit sedimentasyon, 40–80 mm/st değer aralığında ölçülür.

Tg Testi

Tiroglobibulin düzeyini ölçer. Genellikle normalin üst sınırı 40 ng/ml'den düşüktür. Eğer ölçülen değer bundan fazlaysa:

1. Papiller ve/veya foliküler tiroit kanserleri
2. Graves hastalığı, toksik multinodüler guatr
3. Subakut tiroidit
4. Kronik tiroidit
5. Diferansiye tiroit kanser metastazları
6. Endemik guatr

sonuçlarına ulaşabiliriz.

Kalsitonin Testi

Eşik değeri 19 pg/ml'dir. Bu eşik değerinin aşılması sonucunda aşağıdaki olgulara ulaşılabilir. Bunlar:

1. Medüller Tiroid Kanseri
2. C hücre hiperplazisi
3. Pernisiyöz Anemi
4. Tiroiditler
5. Gebelik
6. Kronik böbrek yetmezliği
7. Hiperkalsemi
8. Akciğer, pankreas, meme, kalın bağırsak kanserleri

TBG Testi

Açılımı Tiroksin Bağlayan Globulin'dir. Normal değeri 17–36 µg/ml değer aralığındadır. Bu değer aşılmış ise:

1. Doğuştan TBG yüksekliği
2. Gebelik
3. Hipertiroidi
4. Östrojen tedavisi
5. Kronik karaciğer hastalıkları

hastalıkları düşünülebilir.

Bu değer eşik değerleri altına düşmesi ise üç farklı nedenden olabilir. Bunlar:

1. Doğuştan TBG eksikliği
2. Önemli sistemik hastalıklar (protein malnutrisyonu, nefrotik sendrom, siroz, hipertiroidi)
3. İlaçlar (androjenik steroidler, glukokortikoidler, salisilatlar, fenitoin, fenil butazon, diazepam)

Buraya kadar olan bölümde genel olarak Guatr hastalıklar anlatılmıştır. Bu hastalıkların tek isim altında toplanmalarına rağmen birbirlerinden oldukça farklı oldukları gösterilmeye çalışılmıştır. Bu bilgilere ek olarak tiroit hastalıklarının teşhisi için gerekli yöntemler açıklanmaya çalışılmış, bu yöntem ve alt yöntemlerin neler için kullanıldığı, ne tür değerlere sahip oldukları, bu değerlerin aşılması sonuçlarında bizi ne tür tanılara ve teşhislere götürebilecekleri açıklanmıştır.

Takip eden bölümde ise tiroit hastalıkları gruplara ayrılarak gösterilecektir. Bu bölümde hastalıkların açıklamaları yerine bir önceki bölümde açıklanmış olan test sonuçlarının hangi hastalıkta nasıl sonuçlar verdiği bilgilerinize sunulacaktır.

4.1.6.6 Tiroit Hastalıkları

Guatr genel adıyla bilinen hastalıkları on alt grupta toplayabiliriz.

Basit Difüz Guatr

Fonksiyon Testleri: TT₃-TT₄-ST₃-ST₄-TSH düzeyleri normaldir.

Görüntüleme Testleri: Ultrasonografi; homojen ekoda, büyümüş tiroit bezi gözlemlenir. Sintigrafi; homojen aktivite dağılımında büyümüş tiroit bezi gözlemlenir

Oto-Antikor Testleri: Anti-TG ve Anti-TPO normal değerlerindedir.

Basit difüz Guatr düşünülen hastalarda genellikle oto antikorlar istenmez

Multinodüler Ötiroid Guatr

Fonksiyon Testleri: TT₃-TT₄-ST₃-ST₄-TSH düzeyleri normaldir.

Görüntüleme Testleri: Ultrasonografi; birden fazla hipo, izo veya hiperekoik nodüller görülür. Tiroit bezi boyutları büyümüştür. Nodül dışı alanların eko yapısı homojendir. Sintigrafide; hipoaktif veya normoaktif birden fazla nodül vardır. Tiroit dokusunun diğer yerlerindeki aktivite tutulumu genellikle homojendir.

T.İ.İ.A.B (Tiroit İnce İğne Aspirasyon Biyopsisi): Dominant nodüle ve-veya çapı 1–1,5 cm'den büyük nodüllere uygulanır. Sonucu büyük oranda iyi huylu çıkar.

Ancak sonucun kötü huylu çıktığı durumlarda tiroit kanseri ön tanısıyla tedavi planı yapılır.

Oto-Antikor Testleri: Genellikle yapılmasına gerek yoktur, çünkü bu olgularda oto-antikor testleri normal değerlerini korurlar.

Toksik Multinodüler Guatr

Bu gruptaki hastaların durumuna genel olarak Plummer Hastalığı denilir.

Fonksiyon Testleri: TT₃-TT₄-ST₃-ST₄ testleri eşik değerinden yüksek, TSH testi ise normal değerinden düşük sonuç verir.

Görüntüleme Testleri: Ultrasonografide; birden fazla hipo, izo ve-veya hiperkoik nodüller görülür. Tiroit bezi boyutları büyümüştür. Nodüller dışında genellikle homojen eko yapısındaki tiroit dokusu gözlemlenir. Sintigrafi; birden fazla sıcak nodül vardır. Bu sebeple aktivite tutulumu oldukça fazladır. Tiroidin diğer kısımlarındaki aktivite tutulumu izlenmez.

T.İ.İ.A.B(Tiroit İnce İğne Aspirasyon Biyopsisi): Yapılmasına gerek yoktur.

Oto-Antikor Testleri: Yapılmasına gerek yoktur.

Toksik Tek Nodül (Toksik Adenom)

Fonksiyon Testleri: TT₃-TT₄-ST₃-ST₄ değerleri yüksek, TSH değeri düşüktür.

Görüntüleme Testleri: Ultrasonografi; tiroidin boyutları normal veya büyümüştür. Tiroidin içerisinde hippo, izo veya hiperekoik tek nodül bulunur. Diğer tiroit dokusu homojen ekoda görülür. Sintigrafi; Tiroit içerisinde bir adet hiperaktif(sıcak) nodül görülür. Tiroidin diğer kısımlarında aktivite tutulumu izlenmez.

T.İ.İ.A.B(Tiroit İnce İğne Aspirasyon Biopsisi): Genellikle uygulanmaz.

Oto-Antikor Testleri: Yapılmasına gerek yoktur. Sonuçlar normal sınırlar içindedir.

Ötiroid Nodüler Guatr

Fonksiyon Testleri: TT₃-TT₄-ST₃-ST₄-TSH düzeyleri normaldir.

Görüntüleme Testleri: Ultrasonografi; tiroidin boyutları normal veya büyümüştür. Tiroidin içerisinde hipo, izo veya hiperekoik tek nodül bulunur. Diğer tiroit dokusu homojen ekoda görülür. Sintigrafi; tiroit içinde normoaktif(ılık) veya hipoaktif(soğuk) nodül bulunur. Tiroidin diğer kısımlarında homojen aktivite tutulumu gözlenir.

T.İ.İ.A.B(Tiroit İnce İğne Aspirasyon Biyopsisi): Nodül 1 ve/veya 1,5 cm ve üzerinde ise veya tiroit kanseri yönünden risk oluşturan bir durum varsa daha küçük nodüle de yapılır. Sonuç iyi huylu veya kötü huylu çıkabilir. Eğer kötü huylu ise tiroit kanseri grubuna girer.

Oto-Antikor Testleri: Yapılmasına gerek yoktur.

Graves Hastalığı

Fonksiyon Testleri: TT₃-TT₄-ST₃-ST₄ değerleri yüksek, TSH değeri düşüktür

Görüntüleme Testleri: Ultrasonografi; tiroit bezi normalden büyük, tiroit dokusu heterojen ekoda ve granüler yapıdadır. Sintigrafi; Tiroit bezi normalden büyüktür. Aktivite tutulumu homojen olarak artış göstermiştir. Bu durumda piramidal lob izlenir. Bu tür hastaların %2.7'sinde soğuk nodül gözlenebilir.

T.İ.İ.A.B(Tiroit İnce İğne Aspirasyon Biyopsisi): Sadece Graves hastalığı varsa gerek yoktur.

Oto-Antikor Testleri: Anti-TPO, Anti-TG ve TR-Ab normalden yüksek değerlerde gözlemlenir.

Hashimoto Hastalığı

Fonksiyon Testleri: ST₃, ST₄, TSH normal veya ST₃N, ST₄N, TSH yüksek, ST₃ ve ST₄ düşük, TSH yüksektir. Nadiren ortaya çıkabilen Hashitoksikoz durumunda ise TT₃-TT₄-ST₃-ST₄ yüksek, TSH düşüktür.

Görüntüleme Testleri: Ultrasonografi; tiroidin boyutu azalmıştır veya normaldir. Büyüme görülme olasılığı oldukça düşüktür. Konturları düzensizdir. Heterojen ekoda yamalı tarzda gözlemlenir. Nodül olabilir. Sintigrafi; tiroit dokusunun tamamında aktivite tutulumu azalmıştır. Nadiren ortaya çıkabilen Hashitoksikoz durumunda da aynı durum söz konusudur. Hashimoto tiroititli vakaların uzun süreli takibinde tiroit lenfoması görülebilir.

T.İ.İ.A.B(Tiroit İnce İğne Aspirasyon Biyopsisi): Lenfosit tiroiditi gösterir.

Oto-Antikor Testleri: Anti-M, Anti-T, Anti TPO normal değerlerinden yüksektir. TR-Ab genellikle normaldir. Nadiren yüksek bulunabilir (infiltratif oftalmopati saptanan olgularda).

Subakut Tiroidit (De Quervain)

Fonksiyon Testleri: Hastalığın başlangıç safhasında TT₃-TT₄-ST₃-ST₄ değerleri az da olsa yüksek, TSH değeri az da olsa düşük çıkabilir. Bu durum folikül hücresinin

hesaplanmasına bağlıdır. Ancak hastalık yerleştikten sonra TT_3 - TT_4 - ST_3 - ST_4 -TSH değerleri normal değerlerini korurlar. Sonrasında hipotiroidi görülebilir.

Görüntüleme Testleri: Ultrasonografi; tiroidin boyutlarında büyüme gözlenir. Nodül saptanır. Heterojen ekoda ve granüler yapıdadır. Sintigrafi; boyut artışı sintigrafide de görünür. Radyoaktivite tutulumu çok az veya hiç yoktur.

T.İ.İ.A.B(Tiroit İnce İğne Aspirasyon Biyopsisi): Granülomatoz tiroidit lehinedir.

Oto-Antikor Testleri: Anti-TG hafif yüksek, Anti TPO ve TR-Ab normal değerlerindedir.

Eritrosit Sedimentasyon Testi: Hastalığın başlangıç döneminde, 70mm/st'nin üzerindedir.

Riedel Tiroiditi

Çok nadiren görülen bir tiroidittir.

Fonksiyon Testleri: TT_3 - TT_4 - ST_3 - ST_4 değerleri azalmış, TSH değeri artmıştır.

Görüntüleme Testleri: Ultrasonografi; tiroidin boyutu küçülmüş, konturları düzensizleşmiştir. Heterojen eko yapısındadır. İnce ekojen düzensiz fibrotik bant formasyonları görülür. Çevre dokulara infiltridir. Nodül olabilir. Sintigrafi; tiroidin boyu küçülmüştür. Aktivite tutulumu heterojen ve azalmış haldedir.

T.İ.İ.A.B(Tiroit İnce İğne Aspirasyon Biopsisi): Riedel tiroiditi lehinedir.

Oto-Antikor Testleri: Değerler normal düzeyde çıkar.

Eritrosit Sedimentasyon Testi: 40–50 mm/st'den yüksek çıkar.

Tiroit Kanserleri

Fonksiyon Testleri: TT_3 - TT_4 - ST_3 - ST_4 -TSH genellikle normal değerlerini korur.

Görüntüleme Testleri: Ultrasonografi; katı nodül. Bu testin sonucu olarak nodül bulunur. Sintigrafi; soğuk(hipoaktif) nodüllerin kötü huylu(kanser) olma ihtimali %20'dir.

T.İ.İ.A.B(Tiroit İnce İğne Aspirasyon Biyopsisi): TTİAB tiroidin kötü huylu lezyonlarını %98,9 isabetle saptadığı görülmüştür[T7].

Oto-Antikor Testleri: Anti-TG yüksek olabilir. (normal değeri 60 IU/ml).

Tg Testi: Tiroglobibulin miktarını ölçer. Eşik değeri 85ng/ml'dir. Papiller ve foliküler kanserde bu değer yüksek çıkar.

Calcitonin Testi: Eşik değeri 19 pg/ml'dir. Bu değer medüller tiroit kanserinde yükselir.

Eritrosit Testi: Orta derecede yüksek olabilir.

4.1.7 Tiroit Fonksiyonlarına Göre Tiroit Hastalıkları

Tiroit hastalıklarını tiroidin fonksiyonlarına göre de sınıflandırmak mümkündür. Bu sınıflandırma sonucu iki önemli grup incelenebilir.

4.1.7.1 Hipotiroidi

Hipotiroidi, çeşitli nedenlerden dolayı oluşabilecek tiroit hormonlarının noksanlığı durumudur. Bebeklerde ve çocuklarda hipotiroidi gelişme yavaşlamaya neden olabilir. Erişkinlerde ise organizmalardaki olayların yavaşlamasına neden olabilir[T8]. Hipotiroidi olarak adlandırılan hastalıklar şunlardır:

- Hashimoto Tiroiditi
- Riedel Hastalığı
- Total Tiroidektomi

4.1.7.2 Hipertiroidi

Hipertiroidi, tiroit bezinin kandaki hormon düzeyinden bağımsız hareket ederek fazla tiroit hormonu üretmesidir. Hipertiroidi nedeniyle kilo kaybı, çarpıntı ve ellerde titreme gibi belirtiler olabilir[T9]. Hipertiroidi olarak adlandırılan hastalıklar şunlardır:

- Graves Hastalığı (hipertiroidi hastalarının %75-80'i Graves'dir)
- Toksik Adenom (hipertiroidi hastalarının %3-30'u toksik adenomdur)
- Toksik Multinodüler Guatr (hipertiroidi hastalarının %5-15 ini oluşturlar)
- Hashitoksikozis
- Subakut Tiroidi

4.2 Hipokrat –I

İlk bölümde edinilen bilgilerin ışığı altında, tasarlanan sistemin; hipotiroidi, hipertiroidi, ötiroid, akut tiroidi ve basit düfüz guatr gibi farklı tiroid hastalıklarını teşhis etmesi ön görülmüştür. Ancak başlangıç olarak sistemin tiroid bezinin fonksiyonel rahatsızlıkları olan hipotiroidi ve hipertiroidi teşhislerini gerçekleştirmesine öncelik verilmiştir.

4.2.1 Ağın Oluşturulması ve Sonuçlar

İlk adım olarak seçilen teşhis alanları, hipertiroidi ve hipotiroidi, dar gibi görünse de aslında üzerinde çalışılan alan oldukça geniştir. Bu hastalıkların ayrımı için hemen hemen aynı testler kullanılmakta, bu da kullanılan yöntemlerin ayırdediciliğininin tespitini güçleştirmektedir. Örneğin her iki hastalık için de TT3, TT4, FT3, FT4 ve TSH gibi fonksiyon testleri uygulanmaktadır. Bu nedenlerle tez kapsamında geliştirilen Hipokrat –I Bayes Ağı Tabanlı Tıbbi Teşhis Destek Sistemi ‘nin ilgilendiği alandaki hastalıkların teşhisine, bir bütün olarak değil alt sınıflar olarak gitmesi planlanmıştır. Belirlenen tiroid hastalıklarının her biri için farklı bir ağ yapısı oluşturulmuştur.

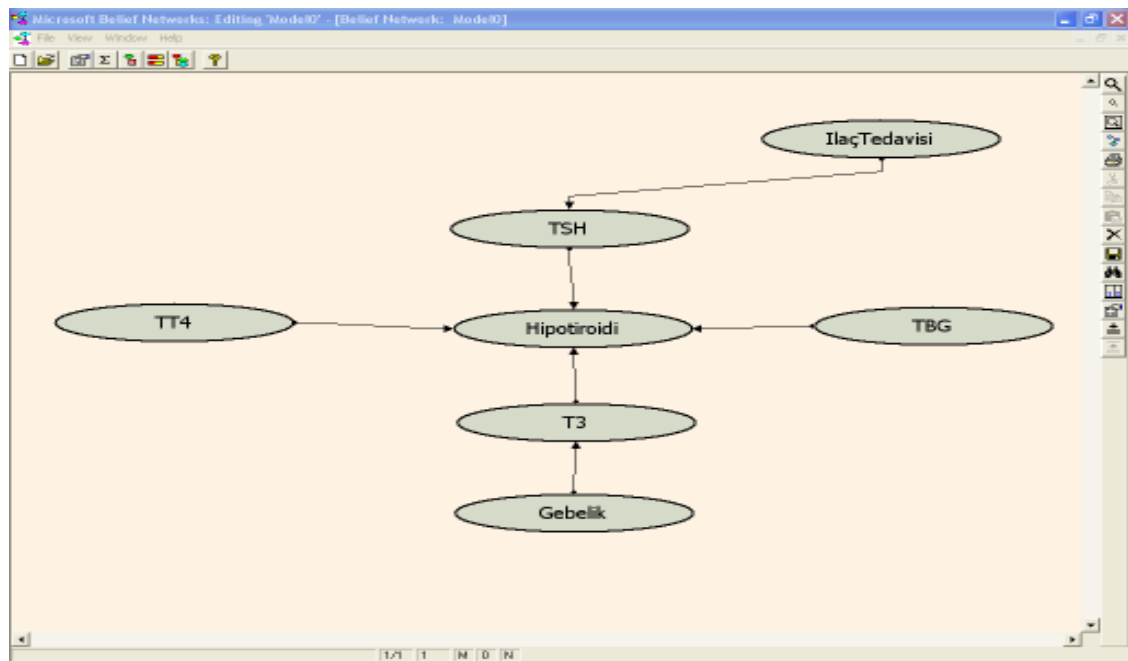
Ağ yapısının oluşturulmasında uzman görüşlerinden tıp literatür araştırmalarından ve elde edilen yaklaşık üç bin hastalık bir deney setinden¹⁸ faydalanılmıştır.

¹⁸ Deney seti internet üzerinden bulunmuştur. Bu setin yaratıcıları olarak görülen isimlerle mail yoluyla irtibata geçilmeye çalışılmış ancak sonuç alınamamıştır. Bu yüzden ilgili sete referans verilmemiştir.

Hipotiroidi İçin Oluşturulan Ağ

Hipotiroidi aslında; Hashimoto Tiroidi, Riedel Hastalığı, Total Tiroidektomi olarak bilinen hastalıkların genel adıdır. Bu durum iyot noksanlığı, I3 tedavisi ve Antiroid ilaçların alındığı durumlarda görülebilir. Hipotiroidi durumunda yapılan fonksiyon testleri; FT4, FT3,ve TT3'ün düştüğünü, TSH'nin ise yükseldiğini gösterir.

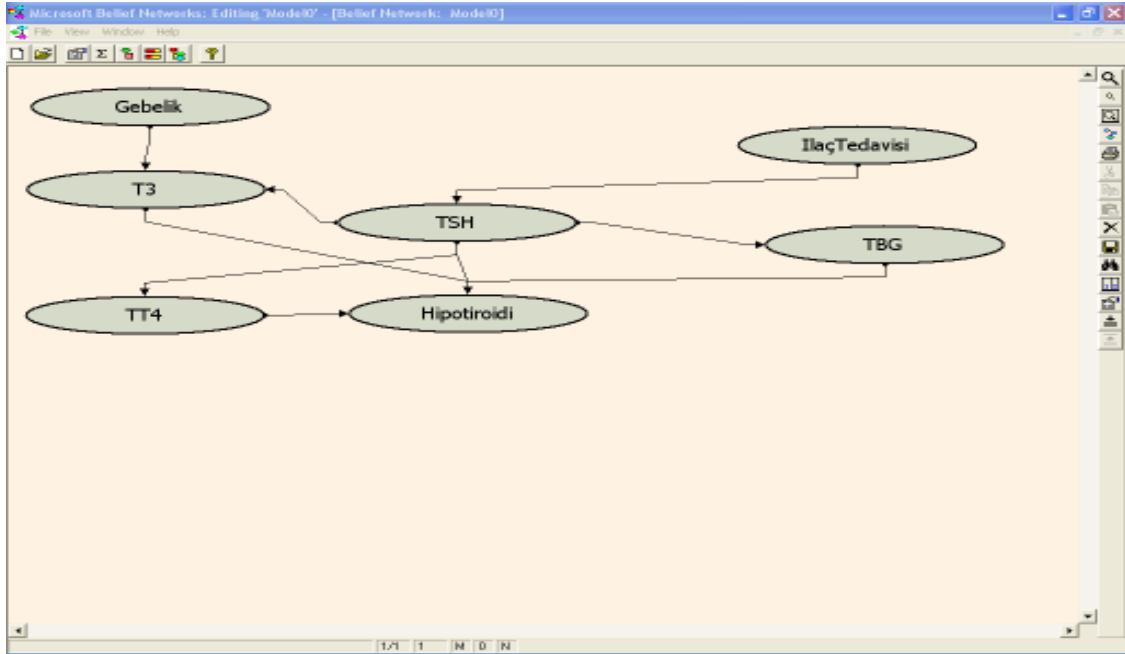
Bu bilgilere göre hipotiroidi için oluşturulabilecek bir Bayes ağı Şekil 33 (4.1) 'deki gibi olacaktır.



Şekil 33 (4.1) : Hipotiroidi için kurulan Bayes ağı yapısı

Şekil 33 (4.1) 'de görüldüğü üzere bulgular birbirlerini etkilememektedir. Ancak bu konuda uzman görüşleri ikiye ayrılmaktadır. İlk görüştekiler; TSH, T3 ve benzeri salgıların birbirlerini direkt olarak etkilemediklerini savunurlar. Bu gruptaki uzmanlara göre ilgili salgılar hipotiriodi, hipertiriodi gibi hastalıklar olduğunda normal değerlerinin altına düşmekte veya üzerine çıkmaktadır. Örneğin bir kişi hipotiroidi hastası ise buna bağlı olarak vücudundaki TSH salgısı normal düzeyinin üzerine çıkacaktır. Böyle bir durumda hipofiz bezinin salgılarını azaltmak için TT3 ve benzeri diğer salgılar eşik

değerlerinin altına düşecektir. Kısacası hastalık olması bir salgıyı arttırırken diğerlerini azaltmaktadır. Diğer görüşteki uzmanlar ise bu salgıların direkt olarak birbirlerini etkilediğini savunurlar. Bu düşünceye göre hastalık olsun ya da olmasın bir salgının artması diğerlerini artış yada azalış yönünde tetikleyecektir. Örneğin insan vücuduna dışarıdan enjekte edilecek TSH salgısı, hipotiroidi hastalığı olmadığı halde TT3 salgısının azalmasına neden olacaktır. Ancak insan vücuduna durup dururken bir hormon enjekte edilmeyeceği ve bu nedenle de normal koşullarda salgıların asıl değerlerini koruyacağı, bu değerlerin ancak hastalık durumunda değişeceği de aşikârdır. İlgili salgıların birbirlerini hastalık üzerinden değil de direkt olarak etkileyebileceğini varsayarsak oluşacak ağ Şekil 34 (4.2)' deki hale gelir.



Şekil 34 (4.2) Hipotiroidi için alternatif Bayes ağ yapısı

Yukarıdaki şekillerde (Şekil 32(4.1) ve Şekil 34(4.2)) görülen ağ yapısı sadece belirli testlerin hastalık düğümlerine bağlanmasından oluşturulmuş gelişigüzel bir yapı değildir. Bu ağın oluşturulabilmesi için sözü edilen deney seti ve uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Ancak ilgili veri kümesi incelendiğinde bu verilerin Kural Tabanlı sistemler için tasarlandığı görülmüştür. Örneğin kural tabanlı bir sistemin tetikleme

mekanizmaları için gerekebilecek, bulgu sonuçlarının ölçülebilip ölçülemediği, veri kümesi içerisine katılmıştır. İlgili kümede bu ölçülebilirlik, teşhis sonucuna etki eden faktörler içerisinde gösterilmiştir. Oysa Bayes ağ yapısı bu tür ölçümlerin yapılıp yapılamadığı ile ilgilenmez. Ayrıca bu veri kümesi içerisinde bulunan bazı testlerin teşhis edilecek hastalık üzerindeki etkisini çok az olduğu uzman görüşleri ve literatürce belirlenmiştir. Bu durumda ilgili Bayes ağ yapısını oluşturabilmek için öncelikle yapılması gereken işlem veri kümesini bu tür kullanışsız bilgilerden ayıklamaktır.

Eldeki veri kümesi hipotiroidi hastalığının teşhisi için yirmi beş farklı bulguyu göz önüne almaktadır. Bu bulgular şu şekildedir:

- Yaş
- Cinsiyet
- Tiroksin 1
- Tiroksin 2
- Tiroksin Sorgusu
- Anti Tiroid Tedavisi
- Tiroid Ameliyatı
- TSH Ölçümü Yapılabilirliği
- Ve diğer test ölçümlerinin yapılabilirlikleri
- Test sonuçları

Bu yapı “Eğer-ise” şeklindeki formlarla daha kolay işlenebilir. Ancak Bayes ağlarında verilerin marjinal, bileşik ve koşullu olasılıkları işlenmekte; çocuk düğümlerin her biri için, atalarına bağlı olarak koşullu olasılık tabloları tutulmaktadır. Buna göre veri kümesinin tüm bulgularının ikili değerler olduğunu varsayarsak tam bağlı bir ağ için yaklaşık 2^{25} adet durum hesaplamamız gerekir. Bunun yanında ağ yapısı tam bağlı olmasa bile, teşhise giderken kullanılan bulguların bazılarının ikili değil de sürekli değerler alması, hesaplanacak olasılıkları dolayısıyla sistemin tutacağı koşullu tablolarının sayısını arttırmaktadır.

Bahsedilen olumsuzlukları aşmak için öncelikle C programlama dili kullanılarak veri kümesi üzerinde ayrıştırma yapabilen bir alt yordam yazılmıştır. Bu yordam eldeki veri kümesinden test sonuçlarının ölçülebilirliğini açıklamaktadır. Bir sonraki adım olarak eldeki veri kümesinin bir bölümü, %45’lik kısım, örnek küme olarak seçilmiş ve ayrıştırıcının ayıkladığı kısmın dışında kalan verilerin marjinal olasılıkları bulunmuştur. Marjinal olasılıkları bulunan verilerin hipotiroidi sonucunun, pozitif ve negatif çıktığı durumlardaki etkileri incelenmiş ve buna göre ikinci bir ayıklama işlemi gerçekleştirilmiştir. İkinci ayıklamada marjinal olasılıkları hipotiroidi hastalığına etkisi en az olan bulgular elenmiştir. Burada göze çarpabilecek önemli bir eleme “*Cinsiyet*” için yapılmıştır. Dikkat edilirse oluşturulan ağda gebelik durumunun olup olmaması bir yerde cinsiyet bilgisini de yapı içerisine katmıştır. “*Cinsiyet*” değişkeninin ağ içine katılması, hastaların bu özelliğe bağlı olarak bir istatistiksel dağılımının çıkarılacağı durumlar için kritik olabilir. Yapılan elemelerden sonra hastalığın teşhisi için önemli sayılan bulguların marjinal olasılıkları tüm veri kümesi üzerinde tekrar çıkarılmış ve Tablo 20 (4.1) ‘deki sonuçlar elde edilmiştir.

		Var	Yok			Var	Yok
Gebelik		474	2526	Gebelik		0,158	0,84
İlaç Kullanımı		257	2314	İlaç Kullanımı		0,022	0,99
	Yüksek	Normal	Düşük		Yüksek	Normal	Düşük
TSH	789	1973	236	TSH	0,26	0,65	0,078
T3	625	2041	333	T3	0,2	0,68	0,11
TT4	394	1973	631	TT4	0,132	0,658	0,21
TBG	0	2998	0	TBG	0	1	0

Tablo 20 (4.1): Bulguların veri kümesi içerisindeki sayı ve yüzdeleri

Aynı veri kümesi kullanılarak hipotiroidi hastalarının ve hasta olmayan kişilerin bilgileri Tablo 21(4.2) 'de verilmiştir.

	Hipotiroidi		Hipotiroidi
Pozitif	868	Pozitif	0,28
Negatif	2131	Negatif	0,71

Tablo 21 (4.2): Veri kümesindeki hipotiroidi hastaları

Bu bilgilerden yola çıkılarak Bayes ağı Şekil 33 (4.1) 'deki gibi oluşturulmuştur. Bu ağ kurulduktan sonra ağdaki her düğüm için koşullu olasılık tabloları çıkarılmıştır. Bunu yapabilmek ayrıştırıcıdan elde edilen yeni veri kümesi kullanılmıştır. Bu yeni küme, C dilinde yazılan başka bir yordam ile işlenmiş, bu sayede her bulgu için ayrı bir veri dosyası oluşturulmuştur (örneğin sadece TSH testinin sonuçlarını tutan bir dosya vb). Bu dosyaların oluşturulmasından sonra veriler arasındaki ilişkiler incelenerek koşullu olasılık tabloları oluşturulmuştur.

Ağ yapısında TT4 ve TBG testleri ile “ilaç tedavisi” ve “gebelik durumu” kök düğümlerdir, ataları yoktur. Bu nedenle bu düğümler için koşullu olasılık tabloları sadece taşıyacakları değeri alıp almadıklarına göre belirlenir. İlgili değerler Tablo 20(4.1) 'de verilmiştir. Buna ek olarak TSH ve T3 testlerinin değerlerini etkileyen başka bulgular vardır. THS için ilaç kullanımı, T3 için gebelik durumu önemli faktörlerdir. Bu yüzden TSH ve T3 düğümleri için koşullu olasılık tabloları oluşturup sisteme eklemek gerekir. Bunu yapabilmek için öncelikle ilgili olasılık değerleri eldeki veri kümesinden çıkarılmalıdır. Bu değerlerin bulunması için yukarıda sözü edilen veri dosyaları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmanın zorluğu düğümlerin aldığı değerlerin ikili değil de sürekli olmasıdır. Örneğin T3 ikili bir değer değildir. Eldeki veri kümesi, hastaların T3 testinde çıkan sonuçları aynen vermektedir. Tüm bu değerler birbirinden çok farklıdır. Bu farklı değerler olasılık dağılımının hesaplanmasını zorlaştırır. Bu zorluğun üstesinden

gelebilmek için veri kümesindeki değerler için bir sınıflandırma yapılmıştır. Alan uzmanlarından alınan ve bölüm 4.1 'de anlatılan bilgilere göre test sonuçlarının eşik değerleri belirlenmiştir. Veri kümesindeki test sonuç değerleri verdiğimiz eşik değerleri ile karşılaştırılmış ve buna göre yüksek, normal, düşük olarak sınıflandırılmıştır. Örneğin TSH için eşik değeri 0.35 – 5.5 mu/l 'dir. Bu değer aralığındaki veriler normal, 5.5 mu/l' den büyük değerler yüksek, 0.35 mu/l altındaki değerler ise düşük olarak sınıflandırılmıştır.

Bu sınıflandırma yapıldıktan sonra koşullu olasılık tabloları elde edilebilir. Örneğin T3 düğümünün koşullu olasılık tablosu için gebelik halinin olduğu ve olmadığı durumlarda T3 'ün yüksek, normal ve düşük olduğu değerler gözlemlenir. Bunu yapabilmek için bu verilerin ayrı ayrı saklandığı dosyalar karşılaştırılmış ve sonuçlar Tablo 22 (4.3) 'deki gibi elde edilmiştir.

Gebelik	T3(Normal)	Gebelik	T3(Yüksek)
Yok	0,579	Yok	0,132
Var	0,132	Var	0,026
	Gebelik	T3(Düşük)	
	Yok	0,132	
	Var	0	

Tablo 22(4.3): T3 için Koşullu Olasılık Tablosu

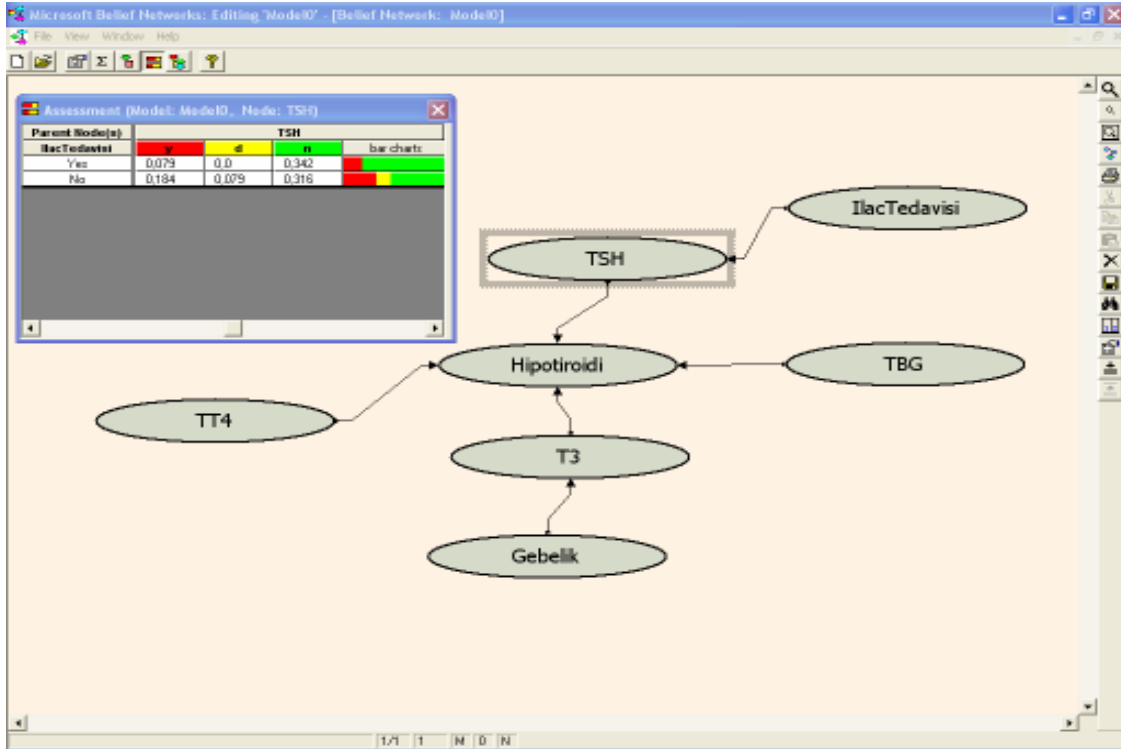
Aynı prosedür ağıdaki diğer düğümler için de uygulanmış ve oluşturulan koşullu olasılık tabloları Tablo 23 (4.4) 'de sunulmuştur.

İlaç Tedavisi	TSH (Normal)	İlaç Tedavisi	TSH (Yüksek)
Yok	0,316	Yok	0,184
Var	0,342	Var	0,079

İlaç Tedavisi	TSH (Düşük)
Yok	0,079
Var	0

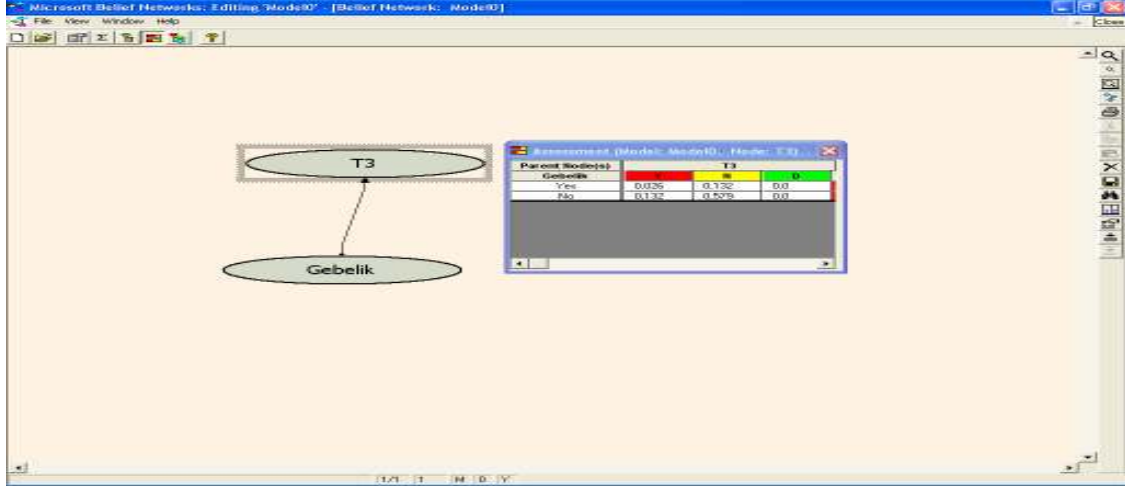
Tablo 23 (4.4) : TSH için Koşullu Olasılık Tablosu

Bu tablolar elde edildikten sonra ilgili değerler sisteme girilir. Böylelikle oluşturulan ağ Şekil 35 (4.3) 'deki gibi olur.

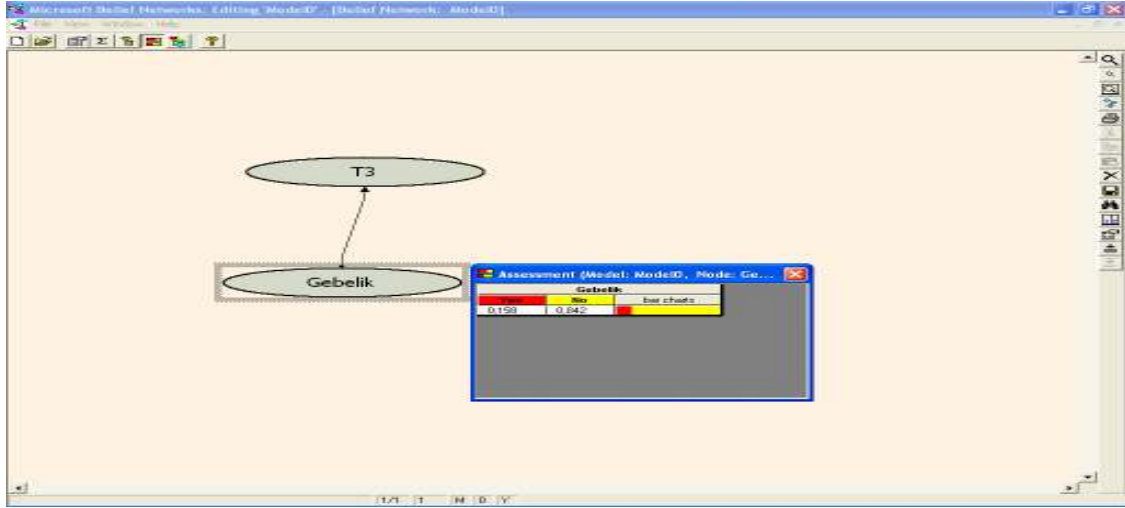


Şekil 35 (4.3): TSH için sistemde oluşturulan koşullu olasılık tablosu. Yordamdan elde edilen değerler açılan bir pencere ile sisteme girilir.

Benzer şekilde Gebelik, T3 TBG ve TT4' ünde koşullu olasılık değerleri sistem tarafından oluşturulan tablolara girilmiştir. T3 ve gebelik için sistem girişi Şekil 36(4.4) ve Şekil 37 (4.5) verilmiştir.



Şekil 36 (4.4): T3 için sistemde oluşturulan koşullu olasılık tablosu. Yordamdan elde edilen değerler açılan bir pencere ile sisteme girilir.



Şekil 37 (4.5): Gebelik için sistemde oluşturulan *marjinal* olasılık tablosu. Yordamdan elde edilen değerler açılan bir pencere ile sisteme girilir.

Hipotiroidi teşhisini etkileyecek ata ve ebeveyn düğümlerin marjinal değerleri elde edilmiş, bunlara bağlı koşullu ve marjinal olasılık tabloları çıkarılmış ve bu tablolar kurulan ağa eklenmiştir. Bundan sonra Hipotiroidi hastalığı için, verilen bulgulara göre oluşan koşullu olasılıkları hesaplanmıştır. Ağ yapısında (Şekil 33(4.1)) hipotiroidi teşhisini etkileyen dört faktör (TT4-TSH-TBG-T3) vardır. Öncelikle bu dört farklı bulgunun her biri için ayrı tablolar oluşturulmuştur. Örneğin Hipotiroidi ile TT4 ilişkisi bir tabloda, hipotiroidi ile TBG ilişkisi diğer bir tablo da tutulmuştur. Bu tablolar hazırlanırken eldeki veri kümesine dayanarak ilgili testlerin hastalığın pozitif veya negatif çıkma durumu üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Örneğin TSH ile hipotiroidi ilişkisini veren tablo oluşturulurken, hipotiroidi pozitif olan hastalar içerisinde TSH sonuçları yüksek, normal ve düşük çıkan verilerin dağılımı bulunmuştur. Benzer şekilde hipotiroidi negatif olan hastalar içerisindeki TSH sonuçları yüksek, normal ve düşük çıkan veriler saptanmıştır. Buna göre Tablo 24 (4.5) 'deki sonuçlar elde edilmiştir. Bu tablodaki sonuçlar, TSH düşüken hipotiroidinin pozitif olma olasılığının sıfır bulunması nedeniyle oldukça önemlidir. Ek olarak hipertiroidi olmayan hastalarda TSH yüksekliği; düşük ve normal değerlerin dağılımına göre oldukça küçük (0,026) çıkmıştır. Alan uzmanları hipotiroidi teşhisinde en etkin bulguyu TSH testi, hipertiroidi hastalığı TSH salgısını artırır, olarak değerlendirmektedir. Buna göre elde ettiğimiz sonuçlar alan uzmanlarını görüşlerine uymaktadır.

Diğer bulgular ile oluşturulan hipotiroidi olasılık dağılımları ise Tablo 25 (4.6) 'da verilmiştir.

TSH	Hipotiroidi (Pozitif)	TSH	Hipotiroidi (Negatif)
Yüksek	0,237	Yüksek	0,026
Normal	0,053	Normal	0,605
Düşük	0	Düşük	0,079

Tablo 24 (4.5) Hipotiroidi-TSH ilişkisi.

TT4	Hipotiroidi (Pozitif)	TT4	Hipotiroidi (Negatif)
Yüksek	0	Yüksek	0,132
Normal	0,132	Normal	0,526
Düşük	0,158	Düşük	0,053
TBG	Hipotiroidi (Pozitif)	TBG	Hipotiroidi (Negatif)
Yüksek	0	Yüksek	0
Normal	0,289	Normal	0,711
Düşük	0	Düşük	0
T3	Hipotiroidi (Pozitif)	T3	Hipotiroidi (Negatif)
Yüksek	0,026	Yüksek	0,132
Normal	0,184	Normal	0,526
Düşük	0,079	Düşük	0,053

Tablo 25 (4.6) Diğer bulgulara göre Hipotiroidi dağılımı.

4.2.2 Yapılacak Çalışmalar

Gerçekleştirilen sistem verilen bulgulardan hipotiroidi teşhisine gidebilmektedir. Ancak elde edilen veri seti, yukarıdaki bölümde de belirtildiği üzere, gerçekleştirilmek istenen çalışma için uygun değildir. Bu nedenle teşhis sonuçları çalışmaya dâhil edilmemiştir. Sonuçlar, veri kümesi düzgün hale getirilip sayı olarak da çoğaltıldığında daha tatmin edici olacaktır.

Sağlıklı veri kümesi ile sistemin iyileştirilmesinden sonra hipotiroidi hastalığına ek olarak, hipertiroidi ve ötiroid gibi hastalıklar için de teşhis ağı oluşturulacaktır. Bu hastalıklar için oluşturulacak ağlar bir bütün şeklinde değil de her hastalık için ayrı bir ağ şeklinde tasarlanacaktır. İlgili hastalıkların teşhisine gidilirken kullanılan bulgu ve testlerin büyük bir bölümü aynı olduğundan herhangi bir ağa girilen bilgiler istenildiğinde diğer hastalığın ağına aktarılabilecek ve aynı anda farklı hastalıkların teşhis edilebilirliği sağlanacaktır.

Bölüm 5- Referanslar

- [1] - Andrews, R., Diederich, J., Tickle, A.B.: Survey and Critique of techniques for Extracting Rules from Trained Artificial Neural Networks. *Knowledge-Based Systems*, vol. 8, no. 6 (1995), 373{389.
- [2]- N. Baykal, T.Beyan. Bulanık Mantık İlke Ve Temelleri. ISBN 975-8695-08-8
- [3]- Bleich HL., J ClinInvest. Computer evaluation of acid-base disorders. 1969;48:1689-96.
- [4]- Bonczek, R.H., Holsapple, C. and Whinston, A.. Foundations of Decision Support Systems, *Academic Press*, 1981
- [5]- Bullers, W.I., Burd, S.D. and Kassicieh, S.K. Implementation Issues for Intelligent Decision Support- Systems. *IEEE Workshop on Languages for Automation*, Novemeber, 1984, pp.134-141.
- [6]- J. Cheng and M. J. Druzdzel. AIS-BN: An adaptive importance sampling algorithm for evidential reasoning in large Bayesian networks. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 13:155--188, 2000.
- [7]- Clarke JR, Cebula DP, Webber BL. Artificial intelligence: *a computerized decision aid for trauma*. *J Trauma*. 1988;28:1250-4.
- [8]- G. F. Cooper. NESTOR: A computer-based medical diagnostic aid that integrates causal and probabilistic knowledge. *Ph.D. Dissertation, Medical Informatics Sciences, Stanford University, Stanford, CA*, 1985.
- [9]- Cowburn, P.J., Cleland, J.G.F., Coats, A.J.S., and Komajda, M. Risk stratification in chronic heart failure. *Eur Heart J* ;19:696-710) (1996)

- [10]- F. G. Cozman. Generalizing variable elimination in Bayesian networks, *Proceedings of the BERAMIA/SBIA Workshops, 2000.*
- [11]- Curry, B., and Rumelhart, D. MSnet: A Neural Network That Classifies Mass Spectra. *Tetrahedron Computer Methodology*, 3, 213-37, 1990
- [12]- ÇAKMAKÇI M. Sağlıkta değişen kalite kavramları ve teknolojik gereksinimler. *Bilişim – 2002*
- [13]- İ. ÇİL. Bilgi Tabanlı İmalat Karar Destek Sistemleri ve Bir Uygulama. *Endüstri Mühendisliği – 2002*
- [14]- A. Darwiche, Recursive conditioning. In *Artificial Intelligence Journal. Vol 125, No1-2, pages 5-41, 2001*
- [15]- A. Darwiche. Conditioning methods for exact and approximate inference in causal networks. In *Proceedings of the Eleventh Annual Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, Montreal, Morgan Kauffman, August 1995.*
- [16]- R. Dechter. Mini-buckets: A general scheme for generating approximations in automated reasoning in probabilistic inference. In *Proceedings of the Fifteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, pages 1297--1302, Nagoya, 1997.*
- [17]- R. Dechter. Bucket elimination: A unifying framework for probabilistic inference. In E. Horvits and F. Jensen, editor, *Proc. Twelfthth Conf. on Uncertainty in Artificial Intelligence, pages 211-219, Portland, Oregon, 1996.*
- [18]- F. J. Diez. Local conditioning in Bayesian networks. *Technical Report R-181, Cognitive Systems Lab., Dept. of Computer Science, UCLA, July 1992.*

- [19]-de Dombal FT, Hartley JR, Sleeman DH: A computer-assisted system for learning clinical diagnosis. *Lancet*. 1969;1:145- 8
- [20]- R. Duda, P. E. Hart, Pattern classification and scene analysis, *John Wiley sons*, 1973
- [21]- R. Fung and B. D. Favero. Backward simulation in Bayesian networks. In R. Lopez de Mantaras and D. Poole, editor, *Proc. Tenth Conf. on Uncertainty in Artificial Intelligence*.
- [22]- J. Giarratano, G. Riley, Expert Systems: Principles and Programming. *PWS publishing, Boston 1994*
- [23]- Glenn J. Fala, Kathryn T, Clayton, and Diane M..APPLYING EXPERT SYSTEMS TO HEALTH CARE MANAGEMENT. *Masciantonio Intracorp, Berwyn, PA*. 1994;27:291–324.
- [24]- Gorry A. Strategies For Computer Aided Diagnosis.*Math Biosci*.1968;2:293-318
- [25]- Gorry GA, Barnett GO. Experience with a model of sequential diagnosis. *Comput Biomed Res*. 1968;1:490-507.
- [26]- Gorry GA, Kassirer JP, Schwartz WB. Towards the simulation of clinical cognition. *Taking a present illness by computer*. *Am J Med*. 1976;60:981-96.
- [27]- K. Hakan GÜLSEKEN Kanser Kaydı Ve Onkoloji Hastalarının Bakımına Yönelik Yazılım – 2003

- [28]- M. Henrion. Search-based methods to bound diagnostic probabilities in very large belief nets. *In Proceedings of Seventh Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, 1991.*
- [29]- M. Henrion. Propagating uncertainty in Bayesian networks by probabilistic logic sampling. *In Uncertainty in Artificial Intelligence 2, eds. J. Lemmer and L. Kanal, 149-163. New York: Elsevier Science, 1988.*
- [30]- Herskovits EH, Copper GF. Algorithms for Bayesian beliefnetwork precomputation. *Meth Inf Med. 1991;30:81-9*
- [31]- Hripcsak G, Ludemann P, Pryor TA, Wigertz O, Clayton PD. Rationale for the Arden Syntax. *Comput Biomed Res. 1994;27:291–324.*
- [32]- Jaakkola, T. *Variational* methods for inference and learning in graphical models. *PhD thesis, Department of Brain and Cognitive Sciences, Massachusetts Institute of Technology 1997*
- [33]- F. V. Jensen. An Introduction to Bayes Networks. *Springer Verlag, New York, 1996*
- [34]- F. V. Jensen, S. Lauritzen and K. Olesen. Bayesian updating in causal probabilistic networks by local computation. *Computational Statistics Quarterly 4:269-282, 1990*
- [35]- Kiyani, T., and Yildirim, T. Breast Cancer Diagnosis Using Statistical Neural Networks. *International XII. Turkish Symposium on Artificial Intelligence and Neural Networks. University Besiktas, Istanbul, Turkey; 2003*
- [36]- JA Knottnerus Role of the Electronic Patient Record in the Development of General Practice in the Netherlands – *Method Inform Med 1999;*

- [37]- S. L. Lauritzen and D. J. Spiegelhalter. Local computations with probabilities on graphical structures and their applications to expert systems. *Proceedings of the Royal Statistical Society, Series B.*, 50, 154-227, 1988.
- [38]- Ledley RS, Lusted LB. Reasoning foundations of medical diagnosis. *Science*. 1959;130:9-21.
- [39]- Z. Li and B. D'Ambrosio. Efficient Inference in Bayes Networks as a Combinatorial Optimization Problem. *International Journal of Approximate Reasoning*, 11, 55--81.
- [40]- A. L. Madsen and F. V. Jensen. Lazy propagation in junction trees. In Gregory F. Cooper and Serafin Moral, editors, *Proceedings of the Fourteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, pages 362--369. Morgan Kaufmann Publishers, 1998
- [41]- Man-kuen S. Chen, Chui-fat C. , Chau and Waldo, C. Kabat. Decision Support Systems: A rule based approach .*Department of Electrical Engineering and Computer Science Northwestern University Evanston, Illinois 60201 (312) 491-7382*
- [42]- Mason DG, Ross JJ, Edwards ND, et al: Selflearning fuzzy control with temporal knowledge for atracurium-induced neuromuscular block during surgery. *Comput Biomed Res* 1999; 32:187–197
- [43]- Middleton, B., Shwe, M., Heckerman, D., Henrion, M., Horvitz, E., Lehmann, H., & Cooper, G. Probabilistic diagnosis using a reformulation of the INTERNIST-1/QMR knowledge base II. Evaluation of diagnostic performance. *Section on Medical Informatics Technical report SMI-90-0329*, 1990, Stanford University
- [44]- J.MILDON, T. COHEN. Drivers in the electronic medical records market. *Health Management Technology – 2001*

[45]- Newell A. Simon HA. Human Problem Solving. *Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1972.*

[46]- Daniel Nikovski .Constructing bayesian networks for medical diagnosis from incomplete and partially correct statistics. *IEEE transactions on knowledge and data engineering Vol12 ;No 4 aug 2000*

[47]- Lucila Ohno-Machado and Mark A. Musen. Hierarchical Neural Networks for Partial Diagnosis in Medicine. *Section on Medical Informatics, Stanford School of Medicine Medical School Office Building X-215, Stanford University, Stanford, CA 94305*

[48]- Omolola Ogunyemi, John R. Clarke, Bonnie Webber. Using Bayesian Networks for Diagnostic Reasoning in Penetrating Injury Assessment. *Decision Systems Group, Brigham and Women's Hospital, Boston Department of Surgery, MCP-Hahnemann University, Philadelphia Division of Informatics, University of Edinburgh, Scotland, UK. 0-7695-0484-1/00 \$10.00 _ 2000 IEEE*

[49]- M. ÖZATA, Dr. Ş. ASLAN. Klinik Karar Destek Sistemleri Ve Örnek Uygulamalar – 18/01/2004

[50]- J. Pearl. Fusion, propagation and structuring in belief networks. *UCLA Computer Science Department Technical Report 850022 (R-42); Artificial Intelligence, Vol. 29, No. 3, 241-288, September 1986.*

[51]-Pearl J. Reversed Bayes on inference engines:*A ditributed approach.AAAI-82, pp 133-136, 1982*

[52]-Y. Peng and J. Reggia. A probabilistic causal model for diagnostic problem solving - *Part 2: Diagnostic strategy. IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics: Special Issue for Diagnosis*, 17, 395-406, 1987.

[53]- A. PERSIDIS Medical Expert Systems: *An Overview. Journal of Management in Medicine– 1991*

[54]- Politakis P, Weiss SM. Using Empirical analysis to refine expert system knowledge bases. *Artif Intell.* 1984, 22:23-48

[55]- Pople HE, Myers JD, Miller RA. DIALOG: a model of diagnostic logic for internal medicine. In: *Proceedings of the Fourth International Joint Conference on Artificial Intelligence. Cambridge, MA. MIT Artificial Intelligence Laboratory Publications, 1975:848-55. [Note: this is the first paper describing the INTERNIST-I system, which was initially called "DIALOG."]*

[56]- Y. Reisman. Computer Based Clinical Decision aids. *A review of methods and assessment of systems. Med. Inform.,21(3):179-197, 1996*

[57]- . D. Rossille, J. F. Laurent, A. Burgun.. Modelling a decision support system for oncology using rule based and case based reasoning methodologies. *Internal Journal of medical informatics(2005) 74, 229-306*

[58]- Sadegh-Zadeh K. Goodbye to the Aristotelian weltanschauung. *AI in medicine, 21(2001), 1-25*

[59]- S. Sarkar. Using tree-decomposable structures to approximate belief networks. *Proceedings of the Ninth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence , Washington, DC, Morgan Kaufmann, 1993.*

[60]- R. Shachter, B. D'Ambrosio, and B. D. Del Favero. Symbolic probabilistic inference in belief networks, *Proc. 8th National Conference on Artificial Intelligence*, MIT Press, Boston, pp. 126—131, 1990.

[61]-R. Shachter. Intelligent probabilistic inference. In J. F. Lemmer and L. N. Kanal, editors, *Uncertainty in Artificial Intelligence*, pages 371--382. North Holland, Amsterdam, 1986.

[62]- R. Shachter. Evidence Absorption and Propagation through Evidence Reversals. In M. Henrion, R. D. Shachter, J. F. Lemmer, & L. N. Kanal (Eds.), *Uncertainty in Artificial Intelligence 5* (pp. 173-190), 1990

[63]- R. D. Shachter and M. A. Peot. Simulation approaches to general probabilistic inference on belief networks. In *Proc. of the Conf. on Uncertainty in AI*, volume 5, 1990.

[64]- P. Shenoy and G. Shafer. Axioms for Probability and Belief-Function Propagation. In Shachter, R. et al., eds., *Uncertainty in AI*, volume 4, 169-198, 1990
65- Shortliffe EH. *Computer Based Medical Consultations: MYCIN Artificial Intelligence Series*. New York: Elsevier Computer Science Library. 1976

[66]- Shortliffe EH, Buchanan BG, Feigenbaum EA. Knowledge engineering for medical decision-making: a review of computer-based clinical decision aids. *Proc IEEE*. 1979;67:1207- 24.

[67]- Shortliffe EH, Davis R, Axline SG, et al: Computer-based consultations in clinical therapeutics: *Explanation and rule acquisition capabilities of the MYCIN system*. *Comput Biomed Res* 1975; 8:303–320

[68]- Theodosi, A., Spiegelhalter, D.J. and Portman B.:The value of clinical, biochemical, ultrasound and liver biopsy data assesing patients with liver diases. *Liver*, 1983: 3: 315-326.

[69]-Trovbridge R and Weingarten S. Clinical Decision Support systems. *Internet; University Of California, San Fransisco School Of Medicine* www.apchr.gov/clinic/ptsafety/chap53.htm).

[70]- H. ÜLGEN, İşletme Yönetiminde Bilgisayarlar. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fak.Yayınları*, 1980;

[71]-Warner HR, Toronto AF, Veasey LG, Stephenson RA. Mathematical approach to medical diagnosis. *JAMA*. 1961;177:75-81.

[72]- M. P. Wellman and C. L. Liu. State-space abstraction for anytime evaluation of probabilistic networks. *In UAI '94, pp. 567 -- 574, 1994.*

[73]- W. Wiegernick, MJ Nijman, WJPP ter Burg, EWMT ter Braak, JP Neijti HJ Kappen. Inference and advisory sysstem for medical diagnosis. *Second report STW-NGN55.3614. April 15, 1999*

[74]- W.Wiegernick, W. Ter Burg, E. Ter Braak, P. Van Dam, Y.O, Neijt J., and H. Kappen. Inference, and advisory system for medical diagnosis. *Technical repor, SNN, 1997*

[75]-C.William Hanson, Bryan E. Marshall.Artifical intelligence applications in the intensive care unit.*Crit Care Med 2001 vol 29 no 2. 2001*

[76]- HS. Worley WE. Computer-assisted adult medical diagnosis: *subject review and evaluation of a new microcomputer-based system. Medicine. 1990;69:125-36.*

[77]-Yager R. H. Measuring Informatio in Probabilistic logic. *International journal of intelligent systems*, vol 14,475-500

[78]- J. S. Yedidia. An idiosyncratic journey beyond mean field theory. *In Advanced Mean Field Methods, Theory and Practice*, eds. Manfred Oppel and David Saad, MIT Press, June 2001.

[79]- J. S. Yedidia, W. T. Freeman and Y. Weiss. Bethe free energies, Kikuchi approximations, and belief propagation algorithms. *TR 2001-16*, 2001.

[80]- Eliezer Yudkowsky. An Intuitive Explanation of Bayes Reasoning.

[81]- Zadeh A. Fuzzy Sets. *Inform Control*. 1965;8:338-53

Tip Referansları

[T1] –Brooks JR, Stanner HF, Brooks DC. Surgical therapy to thyroid carcinoma. *A reviw of 1249 solitary throid nodules. Surgery* 940-6, 1988

[T2]- Erdoğan G. Tiroid Neoplazileri. *Klinik Endokrinoloji. Ankara Tıp Fakültesi, Anktıp AŞ, 2003*

[T3]- De Groot LJ: Thyroid neoplasia, Endocrilogy. *Voll third ed. Grune Strattion, 1995*

[T4]- Hamburger JI. Clinical exercises in internal medicine thyroid disase. *Voll W.B Saunders Comp. 1978*

[T5]- Hamburger JI, Miller JM, Kimi JR. Lymphoma of throid annals of internal medicine,1983

[T6]- Miller MJ. An approach to thyroid nodule. *Endocrinology and diabets. ED Kryton Stratton. 111-120, 1975*

[T7]- N.Kamel. Tiroid bezi, hormonları ve hastalıkları hakkında genel bilgiler. *Klinik endokrinoloji Ankara Tıp Fakültesi, Anktıp AŞ, 2003*

[T8]- N.Kamel.Hipotiroidizm. *Klinik endokrinoloji Ankara Tıp Fakültesi, Anktıp AŞ, 2003*

[T9]- A. Rıza Uysal. Tirotoksikoz ve hipertiroidizm. *Klinik endokrinoloji Ankara Tıp Fakültesi, Anktıp AŞ, 2003*

