

152348

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SAĞLIK HİZMETLERİ YÖNETİMİNDE
BİR YAPAY SİNİR AĞLARI UYGULAMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Endüstri Mühendisi Emel AKTAŞ
507021119

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 26 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 17 Mayıs 2004

TEZ DANIŞMANI : Prof.Dr. Füsun Ülengin

Diğer Jüri Üyeleri : Y.Doç.Dr. Şule Önsel Şahin

Y.Doç.Dr. Gülçin Büyükozkcan (Galatasaray Üni.)

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Matematik doğanın dilidir.

Etrafımızdaki herşey sayılar aracılığıyla temsil edilebilir ve anlaşılabilir.

Bu sayıların grafiği çizilirse modeller ortaya çıkar. Bu nedenle: doğada her yerde modeller vardır. [π]

Özel teşekkürler:

Prof. Dr. Füsün Ülengin, Özlem Yıldırım, Ercan Karaaslan, Şule Önsel Şahin, Burç Ülengin, Çağlayan Saral, Ender Berker, Yusuf İlker Topcu, Özgür Kabak, Sezi Çevik, Cafer Erhan Bozdağ, Ayça Şahin, Ayberk Soyer, Çiğdem Altın Gümüşsoy, Emel Keskinsoy

Mayıs 2004

Emel Aktaş

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ.....	vi
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
SEMBOL LİSTESİ.....	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xii

1 GİRİŞ	1
2 SAĞLIK HİZMETLERİ YÖNETİMİ VE YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI	4
3 ÖNERİLEN MODEL	7
3.1 Veri toplama.....	8
3.2 Sistemin Bayes Ağları ile Modellenmesi.....	10
3.2.1 Bayes Ağları Hakkında Genel Bilgi	10
3.2.2 Bayes Ağlarının Kurulması.....	12
3.2.2.1 Seri Bağlantı.....	15
3.2.2.2 İraksayan Bağlantı	16
3.2.2.3 Yakınsayan Bağlantı	17
3.2.2.4 Açıklama Etkisi.....	19
3.2.2.5 Döngüler	20
3.2.3 Bayes Ağları ve Matematiksel Yapı	22
3.3 Bayes Ağları Kullanımı Hakkında Literatürden Bir Örnek	27
3.4 Bayes Ağlarının Sistem Davranışını Tahminde Kullanılması	32
3.5 BA ile Olası Sistem Davranışlarını Yansıtan Bir Veri Seti Oluşturulması	32
3.6 Değişkenlerin Önem Derecelerinin Saptanması	33
3.6.1 Yapay Sinir Ağları	34
3.6.2 Çok Katmanlı Algılayıcılar.....	42
4 YARARLANILAN YAZILIMLAR	47
4.1 Netica 1.12	47
4.2 MATLAB 6.5.....	52
5 SAĞLIK HİZMETLERİ YÖNETİMİNDE BİR YAPAY SİNİR AĞLARI UYGULAMASI.....	59
5.1 Uygulama Yapılan VKV Amerikan Hastanesi'nin Tanıtımı.....	59
5.2 Tomografi Bölümü Hakkında Veri Toplanması	61
5.3 Tomografi Sisteminin Bayes Ağları ile Modellenmesi	63
5.4 Bayes Ağının Tomografi Sistemi Davranışının Tahmininde Kullanılması.....	65
5.5 Tomografi Sistemi Davranışlarını Yansıtan Veri Setinin Oluşturulması	69
5.6 Etkileyen Değişkenlerin Önem Derecelerinin Saptanması.....	70

5.7	Model Sonuçların Değerlendirilmesi ve Öneriler.....	73
6	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
	KAYNAKLAR	78
	EK – A Değişken Durumları İçin Olasılık Tabloları.....	80
	EK – B Kalite Geliştirme Bölümünden Alınan Veriler	85
	EK – C ÇKA’da Kullanılan Veri Setinin İlk 40 Olayı	89
	EK – D ÇKA’da Kullanılan Kodlanmış Veri Setinin İlk 40 Olayı.....	90
	ÖZGEÇMİŞ.....	91



KISALTMALAR

- BA:** Bayes Ağ(lar)ı
- ÇKA:** Çok Katmanlı Algılayıcı(lar)
- PT:** Primer Tomografi
- SHY** Sağlık Hizmetleri Yönetimi
- YA:** Yöneylem Araştırması
- YSA:** Yapay Sinir Ağ(lar)ı



TABLO LİSTESİ

Tablo 3-1 Hava durumu (<i>HD</i>) değişkeninin durumları ve olasılık tablosu.....	14
Tablo 3-2 Sulama sistemi (<i>SS</i>) için doldurulması gereken olasılık tablosu	14
Tablo 3-3 Çimenler (<i>C</i>) için doldurulması gereken olasılık tablosu.....	15
Tablo 3-4 <i>A</i> ve <i>B</i> değişkenlerinin durumları için $P(A B)$ koşullu olasılık tablosu	24
Tablo 3-5 <i>A</i> ve <i>B</i> değişkenleri için $P(AB)$ bileşik olasılık tablosu	24
Tablo 3-6 <i>B</i> değişkeninin durumlarının olasılıklarının bulunması.....	25
Tablo 3-7 Sık kullanılan istatistik ve sinir ağları terimleri karşılaştırması	35
Tablo 4-1 Örnek olarak yaratılan olaylar	52
Tablo 5-1 Sayılarla Amerikan Hastanesi [21].....	60
Tablo 5-2 Tetkik süresi durumları için etkileyen değişkenlerin olasılıkları	69
Tablo 5-3 Değişkenlerin önem dereceleri	73

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Önerilen modelin adımları.....	7
Şekil 3.2 BA kurulumu için akış şeması.....	13
Şekil 3.3 Basit bir BA.....	14
Şekil 3.4 Seri bağlantı.....	15
Şekil 3.5 Mide bulantısının nedenlerini ve sonucu gösteren basit bir model.....	16
Şekil 3.6 Iraksayan bağlantı.....	16
Şekil 3.7 Saç uzunluğu, cinsiyet ve boy arasındaki nedensel ilişkiler.....	17
Şekil 3.8 Yakınsayan bağlantı.....	17
Şekil 3.9 İkinci el araç satın alma kararını etkileyen değişkenler.....	18
Şekil 3.10 Açıklama etkisi.....	19
Şekil 3.11 Mide bulantısının soğuk algınlığı ve yemekten zehirlenme ile açıklanması.....	19
Şekil 3.12 Değişkenler arasında döngü olan bir çizge.....	20
Şekil 3.13 BA'da izin verilen ve verilmeyen nedensel ilişki gösterimleri.....	21
Şekil 3.14 Yönlü döngüsüz bir çizge.....	21
Şekil 3.15 n değişkenli yönlü döngüsüz bir BA ve çocuğu olmayan A değişkeni	26
Şekil 3.16 Asya isimli BA.....	27
Şekil 3.17 Değişken durumlarının belirlenmiş ve olasılıkların girilmiş olduğu model.....	29
Şekil 3.18 Modelin kullanılacağı kliniğin hasta popülasyonuna göre olasılıkların düzeltilmiş hali.....	30
Şekil 3.19 Geri besleme durumu için bir örnek.....	31
Şekil 3.20 Geri besleme durumunun çözülmesi.....	31
Şekil 3.21 Sinir ağının eğitilmesi [17] s.18.....	34
Şekil 3.22 Bir dizi nokta çiftinin doğrusal olarak birleştirilmesi.....	35
Şekil 3.23 Sırayla eğilimsiz ve eğilimli nöronlar [17] s.36.....	37
Şekil 3.24 Sert-sınır iletim fonksiyonu [17] s.37.....	38
Şekil 3.25 Doğrusal iletim fonksiyonu [17] s.38.....	38
Şekil 3.26 Log-Sigmoid iletim fonksiyonu [17] s.38.....	38
Şekil 3.27 Girdi olarak bir vektöre sahip nöron [17] s.39.....	39
Şekil 3.28 Bir sinir ağı [17] s.42.....	39
Şekil 3.29 Tek katmanlı bir sinir ağı [17] s.44.....	40
Şekil 3.30 Üç katmanlı bir sinir ağı [17] s.45.....	41
Şekil 3.31 Tek katmanlı bir algılayıcı.....	43
Şekil 3.32 Logsigmoid iletim fonksiyonu.....	44
Şekil 4.1 Netica 1.12 menüsünün açıklanması.....	48
Şekil 4.2 Değişkenlerin çizilmesi.....	48
Şekil 4.3 Değişken özellikleri diyalog kutusu.....	49
Şekil 4.4 Bağlantıların çizilmesi.....	50
Şekil 4.5 Olasılık tablolarının doldurulması.....	50
Şekil 4.6 İkinci el araba satın alma modeli.....	51
Şekil 4.7 Satın alma kararı evet ise diğer değişken durumlarının olasılıkları.....	51
Şekil 4.8 MATLAB programı.....	53

Şekil 4.9 MATLAB'in YSA araç kutusu	54
Şekil 4.10 Yeni ağ oluşturmak için kullanılan diyalog kutusu	55
Şekil 5.1 Tomografi bölümündeki akış	61
Şekil 5.2 Tomografi sisteminin Bayes Ağı.....	64
Şekil 5.3 Derlenmiş Bayes Ağı.....	65
Şekil 5.4 Hasta uyumsuz ise tetkik süresi olasılıkları.....	67
Şekil 5.5 Hasta ve ilaç kullanımı değişkenleri bilinirken tetkik süresi.....	68
Şekil 5.6 Tetkik türü ve ilaç kullanımı bilgileri altında tetkik süresi olasılıkları	68
Şekil 5.7 Kullanılan ÇKA yapısı	70
Şekil 5.8 Kullanılan ÇKA'nın eğitimi için hata grafiği.....	71
Şekil 5.9 Test ve eğitim performansı - kesikli çizgi: test, sabit çizgi: eğitim.....	72
Şekil A.1 Deskten tetkike girişe kadar geçen süre için olasılık tablosu.....	80
Şekil A.2 Tetkik türü için olasılık tablosu	80
Şekil A.3 Hasta için olasılık tablosu	81
Şekil A.4 Teknisyen için olasılık tablosu	81
Şekil A.5 İlaç kullanımı için olasılık tablosu	81
Şekil A.6 Tetkik süresi için olasılık tablosu	82
Şekil A.7 Doktorun çekim ve transkripsiyon için harcadığı zaman olasılık tablosu..	83
Şekil A.8 Raporlama için olasılık tablosu	83
Şekil A.9 Tıbbi sekreterin raporlama için harcadığı zamanın olasılık tablosu	84
Şekil A.10 raporun deske dönüşü için olasılık tablosu	84

SEMBOL LİSTESİ

A	A değişkeni
a_i	A değişkeninin a_i durumu
$P(A)$	A değişkeninin olasılığı
$P(A=a_i)$	A değişkeninin a_i durumunda bulunma olasılığı
W	Ağırlık Matrisi
w_{ij}	i . katman ile j . katman arasındaki ağırlık
p	Girdi Vektörü
a	Çıktı Vektörü
b	Eğilim
f	İletim Fonksiyonu
IW	Girdi Ağırlıkları
LW	Katman Ağırlıkları
$NEWFF$	Yeni ileri beslemeli ağ
X	Ağırlık ve eğilimler vektörü
dX	Ağırlık ve/veya eğilimlerde yapılacak değişim miktarı
mc	Momentum sabiti
dX_{prev}	Ağırlık ve/veya eğilimlerde yapılan bir önceki değişiklik
$dperf$	Performans fonksiyonundaki değişim
lr	Öğrenme oranı

ÖZET

Sağlık Hizmetleri Yönetimi yeni yüzyılın en önemli ve üzerinde yapılan araştırma sayısı en hızlı artan konularından biridir. Sağlık Hizmetleri Yönetimi alanında yapılan araştırmalar hem artan sağlık maliyetlerini denetim altında tutmak hem de sağlık hizmetlerine erişim düzeyini yükseltmek gibi amaçlara sahiptir. Sağlık hizmetleri alanı da başka araştırma alanları gibi yüksek düzeyde bir belirsizliğe ve bileşenleri arasında dinamik ilişkilere sahiptir.

Bu tez çalışmasında Sağlık Hizmetleri Yönetiminde kullanılmak üzere Bayes Ağları ve Yapay Sinir Ağları ile desteklenen bir model önerilmiştir. Bayes Ağları incelenen sistemlerdeki nedensel ilişkileri ortaya koyan, uzman bilgisinden ve nitel değerlendirmelerden büyük ölçüde yararlanan araçlardır. Modellenecek sisteme belirsizlik hakimse ve sistem hakkında kayıtlı bilgiler mevcut değilse Bayes Ağları yararlanılabilecek kullanışlı bir tekniktir. Yapay Sinir Ağları ise incelenen sistemdeki doğrusal olmayan ilişkilerin ortaya konmasında kullanılabilecek bir yöntemdir. Önerilen model, Bayes Ağları ve Yapay Sinir Ağlarının birlikte kullanılması ile problemleri bir sistemin modellenmesi, davranışlarının tahmin edilmesi ve sistem değişkenleri arasındaki ilişkilerin derecelerinin saptanmasını amaçlamaktadır. Önerilen model beş adımdan oluşmaktadır.

Birinci adımda modellenecek sistem ve problemleri hakkında veri toplanır. Veri toplama aşamasında uzman bilgisini aramaya yönelik yapılandırılmamış yöntemler ve ortaya çıkan bilgileri doğrulamaya yönelik yapılandırılmış yöntemler kullanılır. Yapılandırılmamış yöntemlerde, uzmanlara sistem hakkında bildikleri, açık uçlu sorular kullanılarak sorulur. Daha sonra bu sorulara verilen yanıtlardan ortaya çıkan kavramlar arasındaki ilişkiler Evet/Hayır tipinde yanıtları olan kapalı uçlu sorular sorularak saptanır.

İkinci adımda, önceki adımda belirlenen kavramlar ve kavramlar arasındaki ilişkiler sistemi temsil eden Bayes Ağı'nın kurulması için kullanılır. Kavramlar sistemi etkileyen değişkenlerdir ve değişkenler Bayes Ağı'nda düğümlerle gösterilirler. Değişkenler arasındaki nedensel ilişkiler ise düğümler arasındaki oklarla gösterilir. Oklar etkileyen (ebeveyn) değişkenden etkilenen (çocuk) değişkene doğru çizilmektedir. Her değişkenin sonlu sayıda bir durum kümesi vardır ve bu durum kümesindeki elemanlar değişkenlerin gösterebileceği olası davranışlardır. Bayes Ağı kurulduktan sonra değişkenlerin durumları ve bu durumları gösterme olasılıkları yine uzman bilgisinden yararlanarak belirlenir.

Üçüncü adımda değişkenlerin bulunduğu farklı durumlar için sistem davranışının tahmin edilmesi yine Bayes Ağları kullanılarak yapılır. Etkileyen değişkenlerin durumlarının farklı kombinasyonları etkilenen değişkenler için farklı durum olasılıkları ile sonuçlanmaktadır.

Dördüncü adımda Bayes Ağı ile modellenen sistemin kritik değişkenini etkileyen değişkenlerin önem derecelerinin saptanmasında kullanılmak üzere olası sistem davranışları simüle edilir. Olası sistem davranışlarından oluşan büyük bir veri seti Yapay Sinir Ağlarına girdi/hedef çiftleri olmak üzere kodlanır.

Beşinci adımda ise modellenen sistemin kontrol edilemez kritik değişkenini etkileyen diğer değişkenlerin önem sırası saptanır. Önem sırasının saptanmasında geri yayılmaya sahip ileri beslemeli Çok Katmanlı Algılayıcılardan yararlanılır. Bir Yapay Sinir Ağı olan Çok Katmanlı Algılayıcıların katman ağırlıkları değişken önemleri hakkında bilgi vermektedir.

Çalışmada, önerilen model özel bir hastanenin radyoloji servisinin tomografi bölümünde uygulanmıştır. Tomografi bölümü önce Bayes Ağları kullanılarak modellenmiş, daha sonra Bayes Ağları sistem davranışlarını tahmin etmede kullanılmış, devamında yine Bayes Ağları ile sistem davranışlarını yansıtan bir veri seti oluşturulmuş, bu veri seti modellenen sistemdeki değişkenlerin önem derecelerinin saptanması amacıyla çok katmanlı algılayıcılarda kullanılmıştır.



SUMMARY

Health Care Management is one of the most important and most popular research areas of the new millennium. The research studies on health care management aim both to control the increasing costs and to increase the accessibility level for health care services. Like other research areas, health care area too has a high level of uncertainty and dynamic relationships between its components.

In this thesis study, a model, which is supported by Bayesian Belief Nets and Artificial Neural Networks, to be used in health care management is proposed. Bayesian Belief Nets represent the causal relationships in the system of interest. It benefits from the domain experts' knowledge and qualitative evaluations. Bayesian Belief Nets are useful tools when there is little knowledge on the area of interest or high uncertainty. Artificial Neural Networks on the other side can be used to represent the nonlinear relationships between the system variables. The proposed model aims to model a problematic system, to estimate the probable behaviors of that system and to determine the degree of relationships among the system variables. The proposed model has five stages.

In the first stage, data about the system to be modeled and its problems are gathered. In data elicitation, both unstructured methods that are based on the exploratory approach and the structured methods that are based on a confirmatory approach are used. In unstructured methods, in-depth qualitative and open-ended questions are posed to the expert to obtain raw data on the system analyzed. After that, the relationships of the concepts that emerge from the open-ended questions are asked using closed questions which are very specific and require the subject to answer as either "Yes" or "No".

In the second stage, the concepts and the relationships between them are used to construct the Bayesian Belief Net of the system analyzed. Concepts are the variables that affect the system and are represented with nodes in the Bayesian Belief Net. The causal relations between the variables are represented with the arcs between the nodes. The arcs are drawn from the affecting (parent) variable to the affected (child) variable. Each variable has a finite set of states and the elements of the states set are the possible behaviors that a variable can have. After the Bayesian Belief Net is constructed, the states of the variables and the possibilities of these states are elicited from the domain experts.

In the third stage, estimation of the system behavior when the variables are in their several states is done by utilizing Bayesian Belief Nets. The combinations of the different states of the affecting variables cause the affected variables to have different possibilities for the same states.

In the fourth stage, possible system behaviors are simulated to be used in the determination of the level of importance of the variables that affect the uncontrollable critical variable of the system. A huge data set is coded into numbers to be used as input/target pairs for the Artificial Neural Networks.

In the fifth stage, the order of importance for the affecting variables is determined. In this stage, multilayer feedforward perceptrons with backpropagation are utilized. The layer weights of these multilayer perceptrons, which are a kind of artificial neural network, tell the analyst about the importance level of the input variables.

In the study, the proposed model is applied in the tomography section of the radiology department of a private hospital. Tomography section is first modeled utilizing Bayesian Belief Nets, then Bayesian Belief Nets are used to estimate the system behaviors, following that a data set representing the system behavior is constructed, and finally this data set is used on multilayer perceptrons to determine the importance level of the system variables.



1 GİRİŞ

Yöneylem Araştırmasının (YA) II. Dünya Savaşı sırasında ortaya çıkmasından bu yana yarım yüzyıllık bir zaman geride kalmıştır. Kısa sürede olgunluk evresine gelen YA'nın geleceği hakkında pek çok şey yazılıp çizilmektedir. Çok geniş bir uygulama alanına yayılmış olmasına rağmen, YA, belirli bir gruba hitap eden, anlaşılması zor bir disiplin olarak değerlendirilmektedir [1].

YA karar verme için bilimsel bir yaklaşım olarak tanımlanabilir. Çok çeşitli uygulama alanlarında karşılaşılan gerçek dünya problemleri, matematik modeller ve bilgisayar desteği ile YA tekniklerinden yararlanılarak çözülmektedir. YA, telekomünikasyon, hava taşımacılığı, üretim, sürdürülebilir kalkınma ve sağlık hizmetleri yönetimi (SHY) gibi çok çeşitli alanlardaki sorunların modellenmesine ve çözülmesine ışık tutmaktadır.

Bilgisayar, bilgi ve iletişim alanlarında yaşanan gelişmeler YA uygulamalarını da ileriye götürmüştür. Günümüzde, analiz, model gerçekleşmesi ve karar verme için çok büyük miktarda veriye erişim olanağı, bu verinin derlenmesi ve veriden sonuçlar elde edilmesi için hızlı işlemciler ve karmaşık yazılımlar bulunmaktadır. Geçmiş yıllarda yaşanan teknik sorunlar ve hesaplama güçlükleri teknolojinin sunduğu imkanlarla büyük ölçüde aşılmıştır.

YA tekniklerinden, bilgisayar teknolojilerinin de gelişmesinin bir sonucu olarak her alanda yararlanılmaktadır. Bu alanlardan biri olan SHY tezin konusu olarak seçilmiştir. Konu olarak SHY'nin seçilmesinin en önemli nedenlerden biri, ülkemizde bu alanda yapılmış YA uygulamalarının kısıtlı sayıda olması, bir diğeri ise SHY'nin insanla etkileşiminin çok fazla olması ve yapılan iyileştirme önerilerinin hizmeti sağlayanlar kadar, hizmeti kullananların da yararına olmasıdır.

SHY konusunda yapılan çalışmaların ana amaçları; sağlık hizmetleri kaynaklarının etkin kullanımının sağlanması, bu kaynaklara erişimin artırılması ve sağlık hizmetleri maliyetlerinin denetim altında tutulması olarak özetlenebilir. Bundan başka hastalıkların teşhis edilmesi, tedavi programlarının önerilmesi, kardiyoloji, iç hastalıkları gibi bölümler ile yoğun bakım ünitelerinde “yatan hasta”ların geçireceği

sürelerin tahmini, belirli bir hastalık sonrası meydana gelebilecek olayların (örneğin kalp ameliyatı sonrası ölüm riskinin) tahmini, bir bölgeye hizmet verecek hastanelerin minimum maliyetle istenen hizmet düzeyinde atanması, bütçe kısıtları altında verilebilecek hizmetin maksimum düzeyinin bulunması, YA tekniklerinin uygulandığı alanlar içinde sayılabilir.

Tez çalışmasında SHY’nde uygulanmak üzere Bayes Ağları (BA) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) ile desteklenen bir model önerilmiştir. Bu model, temsil ettiği sistemi etkileyen değişkenlerin belirli koşullar altında göstereceği davranışları öngörmekte, bunun yanı sıra bu davranışları etkileyen değişkenlerin de önem derecelerini belirlemektedir. Sistemin sahip olduğu belirsizliğin yüksek olması ve sistemi etkileyen değişkenlerler arasındaki ilişkilerin doğrusal olmaması nedeniyle doğrusal YA yaklaşımları tercih edilmemiştir. Bunlara ek olarak, burada sunulan model, küçük değişikliklerle aynı konudaki başka sistemlerin davranışlarının incelenmesi ve tahmin edilmesi için bir çeşit senaryo analizi amacı ile de kullanılabilir. Bu esneklik sistemin BA ile modellenmesinden kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada önerilen model yaklaşımı ayrıntılı olarak incelenmeden önce ikinci bölümde SHY ve YA hakkında bilgi verilmektedir. YA’nın SHY’nde kullanım amaçları, kullanım şekilleri, örnek çalışmalar bu bölümde kısaca incelenmektedir.

Üçüncü bölümde önerilen model ayrıntıları ile açıklanmaktadır. Önerilen modelde ilk olarak veri toplama aşaması, izleyen alt bölümde sistemin BA ile modellenmesi anlatılmaktadır. Bu alt bölüm içinde BA kurulumu, bağlantı türleri, BA’nın matematiksel yapısı ve literatürden bir örnek de verilmektedir. Sistemin BA ile modellenmesinden sonra gelen alt bölümlerde modelin sistem davranışını tahminde kullanılması ve olası sistem davranışını yansıtan bir veri seti oluşturulması açıklanmaktadır. İzleyen alt bölümde ise sistem değişkenlerinin önem derecelerinin saptanması anlatılmaktadır. İlk olarak YSA hakkında genel bir bilgi verilmekte, devamında tez çalışmasında kullanılan çok katmanlı algılayıcılar (ÇKA) ayrıntılı olarak incelenmektedir.

Dördüncü bölümde tez çalışmasında yararlanılan yazılımlar hakkında bilgi verilmektedir. Sistemin BA ile modellenmesi aşamasında Netica 1.12 yazılımı kullanılmıştır. Sistem davranışlarının tahmin edilmesi ve YSA’nda kullanılmak üzere bu davranışları temsil eden veri setinin oluşturulması için de aynı yazılımdan

yararlanılmıştır. İncelenen sistemi etkileyen değişkenlerinin önem derecelerinin belirlenmesi aşamasında YSA'ndan yararlanılmıştır. Sistemi etkileyen değişkenlerin yapısı nedeniyle kullanılan YSA olarak ÇKA seçilmiştir. ÇKA'nın oluşturulması, eğitimi, test edilmesi ve katman ağırlıklarının bulunması için MATLAB yazılımı kullanılmıştır. Veri seti elemanlarının YSA'na girdi olacak şekilde kodlanması ise Microsoft Excel programından yararlanılarak yapılmıştır.

Beşinci bölümde önerilen modelin uygulaması, üçüncü bölümde verilen önerilen model adımları izlenerek ayrıntılı şekilde anlatılmakta ve elde edilen bulgular açıklanmaktadır.

Son bölümde ise yapılan çalışma genel olarak değerlendirilmiş, konuyla ilgili öneriler sunulmuş ve gelecek çalışma olanakları tartışılmıştır.



2 SAĞLIK HİZMETLERİ YÖNETİMİ VE YÖNEYLEM ARAŞTIRMASI

Sağlık hizmetleri alanı pek çok ülkede son zamanlarda oldukça ilgi çekmekte ve bu alanda pek çok araştırma yapılmaktadır [1]. Bu araştırmaların ana amaçları; sağlık hizmetlerine erişimi arttırmak, aynı zamanda artan sağlık maliyetlerini denetim altında tutmaktır.

YA, mevcut kaynakların etkinliğini artırarak, örneğin, hastane yönetimini geliştirerek, daha az pahalı ve daha kolay erişilebilir sağlık hizmeti sağlamakta kullanılabilir. Kaynak atama modelleri, pahalı teşhis ve ameliyat ekipmanlarının bir hastaneler ağı içine yerleştirilerek daha etkin kullanımının sağlanması amacıyla kurulabilir ve uygulanabilir. Bu tür ekipmanların sağ duyulu bir şekilde atanması sermaye ve işletme maliyetlerini kontrol ederken, hastaların da mevcut en iyi tedavilere erişmelerini sağlayacaktır. De Angelis ve diğ. [2], bir kan bankasını incelemişler ve donörlerin sistemde harcadıkları zamanın hemşire, doktor ve yatak sayısına bağlı olarak nasıl değiştiğini simülasyon ve yapay sinir ağlarını kullanarak ortaya koymuşlardır. Daha sonra iki yönlü analizler yaparak bütçe kısıtları altında hastaların sistemde harcadıkları ortalama zamanın ne olacağını ve istenen bir ortalama sistemde kalış zamanı için gerekli minimum bütçenin ne olabileceğini saptamışlardır.

Doğası gereği, geniş ölçekli ve kombinatorial olan çok çeşitli çizelgeleme problemleri de yine YA teknikleri ve bilgisayarlar yardımıyla etkin bir şekilde çözülebilir. Örnek olarak, hastaneler uygun bir yatak kapasitesi belirlemeli ve bu kapasiteyi kardiyoloji, pediatri vb. gibi farklı bölümler arasında paylaşmalıdır. Dahası, yüksek düzeyde kullanımı sağlamak amacıyla yatakların hastalar için çizelgelenmesi ve hizmetlerin zamanında verilmesi de oldukça zor ve önemli bir problemdir. İşgücü yönetimi (örneğin tedavi vardiyalarının çizelgelenmesi) hastanelerin karşı karşıya kaldığı başka bir önemli problemdir. Acil servisler yoğun olarak kullanılmakta ve bu bölümlerde yüksek stres altında çalışılmaktadır. YA modelleri operasyonların elverişli hale getirilmesine, darboğazların belirlenmesi ve

ölçülmesine ve kısıtlı kaynakların geliştirilmiş tahsislerinin önerilmesine yardımcı olabilmektedir [1].

Hasta bakım çizelgelemesi için bir Bayes optimizasyon algoritması Li ve Aickein tarafından önerilmektedir [3]. Burada incelenen problem hasta bakım personeli için bir dizi olası vardiya örnek çizelgelerinden birini atayarak haftalık çizelgeler oluşturmaktır. Atama yapılırken; çalışma kontratındaki koşulların sağlanması, hasta bakım personelinin farklı kıdem derecelerinden görevlendirmelerle talebi karşılaması, bu arada söz konusu personele adil davranılması, dikkat edilen noktalardır.

Sağlık hizmetlerinde simülasyon uygulamalarına örnek olarak ise kamu politikalarının oluşturulması, hasta tedavi süreçlerinin belirlenmesi, sermaye harcama gereksinimlerinin saptanması ve sağlık hizmeti sağlayıcıların işletme politikalarının ortaya konması gösterilebilir [4].

YA; sağlıkla ilgili diğer çok çeşitli konularda da önemli bir rol oynayabilir. YA yaklaşımları, örneğin, kanser ya da AIDS gibi hastalıklara daha iyi tedaviler arayan araştırma programlarının dünya çapında koordinasyonuna yardım edebilir. Bunun ötesinde, etkin üretim ve lojistik yöntemleri ilaç şirketlerinin ilaç dağıtım maliyetlerini düşürmelerine yardımcı olabilir.

Sağlık hizmetleri dağıtımının yönetilmesinde yardımcı olarak kullanılmasına ek olarak, YA yöntemleri hastalıkların belirlenmesinde ve tedavisinde kullanılmaya başlanmıştır. Yani, YA tıp ve sağlık hizmeti işinin özü ile bütünleşmeye başlamıştır. AIDS salgınının kontrol edilmesi için yapılan planlara dünya çapında bir ilgi gösterilmektedir. İntravenöz (damar içi) ilaç kullananlara yönelik ilaç dağıtım programının yürütülmesini desteklemek için YA yöntemlerinin başarılı bir kullanımı önerilmiştir [5].

Doktorlar YA'nın, yapay zeka metodolojileri ile birleştirilmesi ile oluşturulan yöntemleri ve algoritmaları bilgisayar yardımı ile ciddi hastalıkları olan hastaları teşhis ve tedavi etmekte kullanabilmektedir. Örnek olarak, bir hastanın hastalık geçmişi ve çeşitli laboratuvar test sonuçları verildiğinde, uygun bir model doktora hastanın hastalığının doğasını belirlemekte ve hızlı bir iyileşme sağlaması en olası tedavi programının bulunmasında yardım edebilmektedir. Bu yöntemler ayrıca

doktorlara doğru ve hızlı bir teşhisin sıklıkla hastaların yaşamlarını kurtardığı acil durumlarda hastalarını tedavi etmelerinde yardımcı olabilmektedir [6].

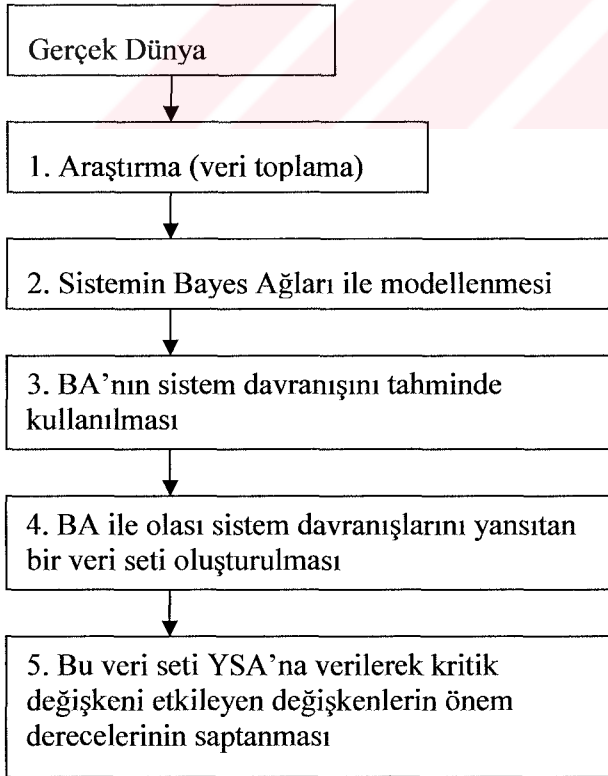
Bu bölümde verilen son örnek, kalp ameliyatı sonrası hastaların taşıdığı risklerin Bayes prensipleri ile çalışan yapay sinir ağları kullanılarak tahmin edilmesidir [7]. Ameliyat sonrası gerçekleşebilecek olaylar kümesi ölüm, bir sene içinde tekrar tedavi görme, bir daha tedavi görmeme olarak belirlenerek hastalardan toplanan veriler doğrultusunda ameliyattan sonra bu olaylardan hangisinin ortaya çıkabileceği tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Kaynak [7] ile gösterilen bu çalışmada Bayes istatistiksel modelinin kullanılmasının nedeni, risk tahmininin oldukça karmaşık ve belirsiz bir yapıya sahip olmasıdır.

SHY ve YA hakkında bilgiler ve örnek uygulamalar verildikten sonra, izleyen bölümde tez çalışmasında önerilen model sunulmaktadır. Önerilen modelin adımları; veri toplama, sistemin BA ile modellenmesi, kurulan BA modelinin sistem davranışını tahminde kullanılması, olası sistem davranışlarını yansıtan bir veri seti oluşturulması ve değişkenlerin önem derecelerinin saptanması şeklindedir.

3 ÖNERİLEN MODEL

İnsanoğlu yaşadığı sürece pek çok problemle karşılaşmaktadır. Önemli olan karşılaşılan problem sayısının çokluğu değil, bu problemlerin çözülebilir olmasıdır. İnsanoğlunun buluşlar yapmasını, bilinmeyeni keşfetmesi sağlayan karşılaştığı çok çeşitli problemlere çözüm arayışıdır.

Bu tez çalışması SHY’nde karşılaşılan problemlerden birine alternatif çözümler sunmaktadır. İlk olarak karşılaşılan problem hakkında veriler toplanmıştır. Daha sonra problemi yaşayan sistem BA ile modellenmiştir. BA ile sistem davranışları tahmin edilebilir düzeye gelindikten sonra modelin kritik değişkenini etkileyen değişkenlerin önemleri YSA kullanılarak bulunmuştur. BA bu aşamada YSA için girdi/hedef çiftleri sağlamada kullanılmıştır. YSA ile modelin kritik değişkeninin etkileyen en önemli değişkenler belirlenmiş, sistem iyileştirme önerilerinde bu değişkenlere öncelik verilmiştir. Önerilen modelin adımları Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1 Önerilen modelin adımları

Bir problemle karşılaşıldığında, bu problemin çözülebilmesi için öncelikle hakkında bilgi edinilmelidir. Bu aşamada yapılması gereken veri toplamadır. Veri toplama ile problemin nedenleri ve sonuçları ortaya konabilir, problemi yaşayan sistem hakkında elde edilecek bilgiler, sistem elemanları arasında önceden de var olan, ancak somut olarak belirtilmemiş nedensel ya da sırasal ilişkileri ortaya çıkarabilir. Sistem hakkındaki veriler toplandıktan sonra yaşanan probleme ve varılmak istenen noktaya göre sistemin modeli kurulur. Sistemdeki sırasal ilişkilerin modellenmesinde simülasyon yaklaşımından, nedensel ilişkilerin modellenmesinde ise bilişsel haritalardan ve BA'ndan yararlanılabilir. Daha sonra, kurulan model, mevcut ve/veya farklı koşullar altında sistem davranışının tahmin edilmesinde kullanılabilir.

Bu tez çalışmasında sistemin modellenmesi ve sistem davranışının tahmin edilmesi aşamalarında sistemdeki ilişkilere nedensel bir bakış açısı ile yaklaşmak amacıyla BA kullanılmıştır çünkü BA, hem nedenselliğe hem de koşullu bağımsızlığa dayalı sağlam olasılık çıkarımları yapabilmektedir. Modellemenin ve sistem davranışlarının tahmin edilmesinin ardından sistemin tahmin edilen davranışlarını etkileyen değişkenlerin önem derecelerinin de bulunması amaçlanmıştır. Böylelikle, bulunan en önemli değişkenlerden başlayarak iyileştirme önerileri yapılmıştır. İzleyen bölümlerde çalışma modelinin adımları ayrı ayrı açıklanmış, kullanılan yöntemler ayrıntıları ile anlatılmıştır.

3.1 Veri toplama

Bir sistem hakkında bilgi edinilmesi için yapılandırılmamış ve yapılandırılmış veri toplama yöntemleri bulunmaktadır. Yapılandırılmış tekniklerde veri toplama doğrulama yaklaşımına dayanmakta, yapılandırılmamış tekniklerde ise veri toplama araştırmacı yaklaşıma dayanmaktadır. Bu iki teknik amaç ve toplanan veri tipi açısından farklılıklar göstermektedir.

Yapılandırılmış tekniklerde uzmanlara önceden tanımlanmış bir kavramlar listesi sunulur. Kavramlar arasındaki ilişkiler, bu ilişkilerin yönleri ve ilişkinin olumlu ya da olumsuz (pozitif ya da negatif) olmak üzere türü sorulur. Yapılandırılmış teknikler açık olarak tanımlanmamış konularda uzman bilgisinin elde edilmesinden, uzman bilgilerinin doğrulanması ve geçerliliğinin belirlenmesi için daha uygundur. Diğer bir yandan, yapılandırılmamış bir yaklaşımın amacı yeni ya da tanıdık olmayan bir konuyu “Karar vermeyle ilgili faktörler nelerdir?” şeklinde sorular sorarak induktif

olarak incelemektir. Yapılandırılmamış yaklaşım, sistemdeki süreçlerin daha derin olarak anlaşılmasını sağlamakta ve değerlendirilen konu üzerindeki genel kanılar hakkında önemli bilgiler elde edilmesine yardımcı olmaktadır.

Yöntemin seçimi, veri toplama aşamasını ve bilişsel harita kurulma aşamasındaki kodlama (kavramları ifade eden sözlerin belirlenmesi) sürecini doğrudan etkilemektedir. Yapılandırılmış yöntemlerde bilişsel haritalardaki kavramlar model kurucular tarafından önceden tanımlanmakta ve bu kavramlar bilginin alındığı uzmanlara empoze edilmektedir. Bu nedenle, yapılandırılmış yöntemlerde araştırmacılar bilişsel haritada bulunan kavram sayısını bilmektedirler. Yapılandırılmış yöntemlerde araştırmacı tarafından uzmanlara sunulan kavramları – anlaşılma olasılığına karşın – açıklama zorunluluğu ortaya çıkabilmektedir. Diğer bir taraftan, yapılandırılmamış yöntemlerde kavramlar veriden ya da uzmanlarla yapılan görüşmelerden ortaya çıkmaktadır. Araştırmacı konu hakkındaki kavram sayısını önceden bilmemekte, ortaya çıkan kavramların kodlanmasında uzmanlarla birlikte çalışabilmektedir. Bu tez çalışmasında verinin indüktif bir yaklaşımla ortaya çıkarılması ve ortaya çıkan bu bilginin geçerliliğinin doğrulanması amacıyla iki yöntem birleştirilmiştir.

Yapılandırılmamış yöntemlerde, ham verinin elde edilmesi için, uzmanlara nitel ve açık uçlu sorular sorulmaktadır. Karşılıklı konuşma halinde geçen bu aşamada elde edilen bilgiler süzülerek araştırılan konu hakkında söz edilen kavramlar belirlenmektedir ve bu kavramlar bilişsel haritanın kurulmasında kullanılmaktadır. Yapılandırılmamış yöntemler araştırıcı ve – kavramlar önceden belirlenmediğinden – daha az zorlayıcı olduklarından, uzman bilgisinin elde edilmesi için daha uygundur. Bunun nedeni, kavramların ve kavramlar arasındaki ilişkilerin, görüşmeler sırasında soruların uzman yanıtlarına dayanarak sıralanması ile ortaya çıkmalarına izin verilmesidir. Bu yöntemler özellikle bilinmeyen ya da sorunlu yapıya sahip konularda uzman bilgilerinin edinilmesinde yararlıdır. Daha iyi bir yaklaşım, yapılandırılmamış yöntemlerle çıkarılan bilgilerin geçerliliğinin yapılandırılmış yöntemler kullanılarak doğrulanabilmesidir. Sıklıkla kullanılan bir nicel görüşme yöntemi, açık uçlu sorular ve kavramlarla ilgili sorular içeren görüşmedir. Bu görüşme yönteminde *açık uçlu sorular*, *kavramlar soran sorular*, ve *kapalı uçlu sorular* olmak üzere üç farklı tipte soru kullanılmaktadır.

Açık uçlu sorulara örnek olarak “Bu sistemi etkileyen faktörler nelerdir?” verilebilir. Uzmanların bu soruya verecekleri yanıt daha sonraki sorularda sorulacak kavramların belirlenmesinde kullanılmaktadır. İzleyen sorularda, uzman tarafından belirlenen noktalar arasındaki doğrudan ve dolaylı ilişkiler sorulmaktadır. Kapalı uçlu sorular uzmanın “evet” ya da “hayır” şeklinde yanıt vermesini gerektirmektedir. Kapalı uçlu sorular sistemin ve ilişkilerin daha açık hale getirilmesi için kullanılmaktadır. Tez çalışmasında belirlenen kavramlar ve kapalı uçlu sorular uygulama aşamasında sunulmaktadır. Sistemi etkileyen kavramlar ortaya çıktıktan sonra bu kavramların birbirleri ile ilişkileri bilişsel haritalar kullanılarak gösterilebilir. Bilişsel haritalar kurulacak BA’nın temelini ortaya koyduklarından bir sonraki bölüm olan ‘3.2 Sistemin Bayes Ağları ile Modellenmesi’nde anlatılmışlardır.

3.2 Sistemin Bayes Ağları ile Modellenmesi

Uzmanlarla yapılan görüşmeler sonunda ortaya çıkan sistemi etkileyen değişkenler ve bunların aralarındaki ilişkiler bilişsel haritalar yardımı ile gösterilebilir. Bilişsel haritanın çizilmesinde izlenen dört adım vardır. İlk olarak uzman ile yapılan görüşmeden nedensel ifadeler belirlenir. Nedensel ifadeler, içinde açık olarak neden-sonuç ilişkilerini barındıran ifadelerdir ve iki farklı kavramı nedensel bir bağ ile birbirine bağlarlar. Bu aşamada nedensel bağlayıcıları tanımak model kurucuya kolaylık sağlar. Nedensel bağlayıcılara örnek olarak “eğer-ise”, “çünkü”, “bu nedenle”, “o yüzden” kalıpları verilebilir. İkinci aşamada nedensel bağlayıcılar ile birbirine bağlanan kavramlar belirlenir ve bu kavramların hangilerinin neden hangilerinin sonuç olduğu ortaya konur. Üçüncü aşamada neden ve sonuç kavramları tanımlayıcı bir ya da iki sözcük ile “kodlanır”. Dördüncü aşamada ise kodlanmış değişkenler arasındaki ilişkileri gösteren harita çizilir. Sistemin BA ile modellenmesi bilişsel harita ortaya çıktıktan sonra oldukça kolaydır. İzleyen alt bölümde BA ile ilgili temel bilgiler ve kurallar verilmektedir.

3.2.1 Bayes Ağları Hakkında Genel Bilgi

Grafik modeller olasılık teorisinin ve çizge teorisinin bir birleşimidir. Grafik modeller uygulamalı matematik ve mühendislik alanlarında yaşanan iki problem – belirsizlik ve karmaşıklık – için kullanılabilecek etkin araçlardan biridir. Bunun

yanısıra makine öğrenme algoritmalarının tasarımı ve analizinde giderek artan bir rol oynamaktadırlar.

Grafik modellemede karmaşık bir sistemin daha basit parçaların birleşmesi ile oluştuğu kabul edilir. Olasılık teorisi, parçaların birleşirken sistemin bir bütün olarak tutarlı kalmasına, çizge teorisi ise yüksek düzeyde etkileşim gösteren değişken kümelerinin ve veri yapılarının modellenmesine yardımcı olur. Bayes Ağları (BA) olasılık teorisinin ve çizge teorisinin bir birleşimidir ve grafik model olarak da nitelenebilirler.

1990’larda BA ve karar çizgeleri hem araştırma enstitülerinde hem de endüstride belirsiz ve karmaşık olarak nitelendirilen sistemlerin tasarlanması için kullanılabilecek bir araç olarak büyük ilgi odağı olmuştur.

Bir BA dünyanın bir parçasının durumlarını yansıtan ve bu durumların olasılıklarla nasıl ilişkilendirildiğini tanımlayan bir modeldir. İnsan vücudunun işleyişi, bir ekosistem, herhangi bir ülkenin toplumu vb. gibi akla gelebilecek herşey BA ile modellenebilir. Modelin mümkün tüm durumları, mevcut olabilecek tüm olası dünyaları, yani parçaların ya da durumların düzenlenebileceği mümkün tüm yolları temsil eder.

Bir BA ilgilenilen değişkenler arasındaki ilişkileri gösteren grafik bir modeldir. Bu modeldeki düğümler değişkenleri, değişkenler arasındaki oklar ise nedensel ilişkileri göstermektedir. İstatistiksel tekniklerle birlikte kullanıldığında bir BA veri analizi için bazı avantajlara sahiptir [8]:

- Verilerin bulunmadığı durumlarla başa çıkmaktadır.
- Nedensel ilişkileri modellemekte kullanılabilir ve böylelikle bir problem alanını anlamak ve yapılacak müdahalelerin sonuçlarını tahmin etmek için kullanılabilir.
- Model, hem nedensel mantığa hem de olasılık mantığına sahip olduğundan, sıklıkla nedensel biçimde elde edilen öncül bilgileri ve mevcut veriyi birleştirmek için ideal bir gösterim şeklidir.

BA özellikle bir alandaki belirsizliğin modellenmesinde yararlıdır. Çeşitli girdi verilerinden problem teşhisi yapılması gereken problemlere özellikle uygulanmaktadır. Birkaç BA uygulaması örneği olarak tıbbi teşhis sistemleri, gerçek

zamanlı silah çizelgeleme uygulamaları ve jeneratör izleme ve sorun çözme uzman sistemi gösterilebilir.

BA'nın kurulma aşamasında iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır: veri tabanlı yaklaşım ve bilgi tabanlı yaklaşım. Veri tabanlı yaklaşımlar veriden model çıkarmak için Bayes ağlarının koşullu bağımsızlık mantığını kullanmaktadırlar [9].

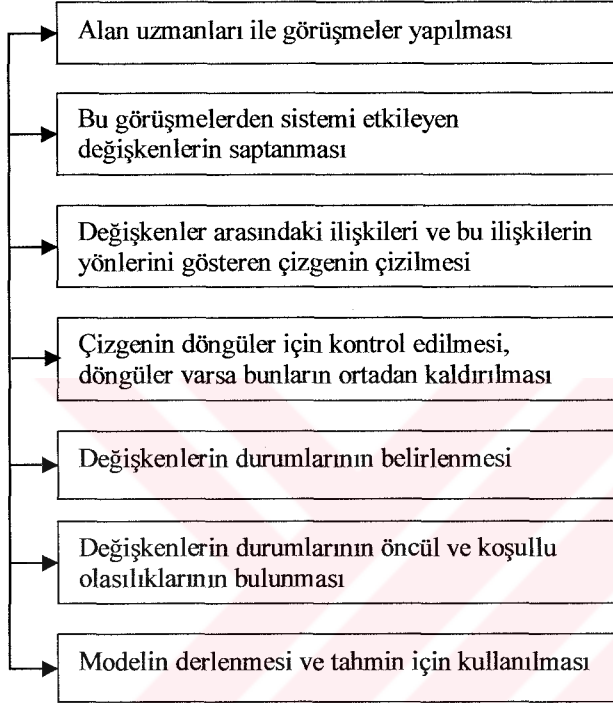
Bilgi tabanlı yaklaşım ise ağın kurulum aşamasında alan uzmanlarının nedensel bilgisini kullanmaktadır [10]. Bilgi tabanlı yaklaşım verinin bulunabilirliğinin düşük ve alan bilgisinin çok önemli olduğu durumlarda özellikle yararlıdır. İnsanlardan nitel bilginin elde edilmesi BA kurma aşamasında kritik önemdedir çünkü insanlar nitel bilgi ile uğraşmayı nicel bilgi ile uğraşmaktan daha kolay bulmaktadırlar. Dahası, bir BA'daki sonuç çıkarma prosedürleri, yapı ile ilgili nicel olasılıklara kıyasla nitel yapıya daha duyarlıdır. Ancak, en etkin BA'nın, uzman bilgisine dayalı nitel yapıyı, somut veriler kullanılarak belirlenen nicel olasılıklarla birleştirenler olduğu sonucuna varılabilir.

Yakın geçmişte karar vericilerin alan bilgisini temsil eden bilişsel haritalara duyulan ilgi artmıştır. Bu haritalar özel bir alandaki konuların nedensel bilgisini göstermektedirler. Bayes Ağları da bilişsel harita oluşturma yöntemleri ile oluşturulabilir. Başka bir deyişle, bilişsel haritası oluşturulmuş bir konu hakkında BA kullanılarak bir inceleme yapılması gerekiyorsa, oluşturulmuş bilişsel harita, BA'na dönüştürülebilir. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken nokta döngülerin varlığıdır. Bilişsel haritada döngüler varsa, Bayes Ağına dönüştürürken bu döngüler döngüdeki değişkenler dikkatlice incelenerek ortadan kaldırılmalıdır.

3.2.2 Bayes Ağlarının Kurulması

BA kurulurken öncelikle alan uzmanları ile görüşmeler yapılır. Bu görüşmeler soru yanıt şeklindedir ve sistemi anlamaya yönelik açık uçlu sorular sorulmaktadır. Daha sonra bu görüşmelerde ortaya çıkan kalıplar sistemi etkileyen değişkenler olarak kurulan modele yansıyacaktır. Değişkenlerin belirlenmesinden sonra, aralarındaki ilişkiler ve bu ilişkilerin yönleri yine uzmanlara sorularak bulunur. İlişkiler de belirlendikten sonra incelenen sistemi yansıtan model çizilebilir. Model çizildikten sonra yine uzmanlarla görüşülür ve eksik olan ya da yanlış anlaşılmış noktalar varsa bunlar giderilir. Sonrasında değişkenlerin içinde bulunabilecekleri durumlar belirlenir. Değişkenler meydana gelebilecek olayların çıktı kümesini temsil etmekte,

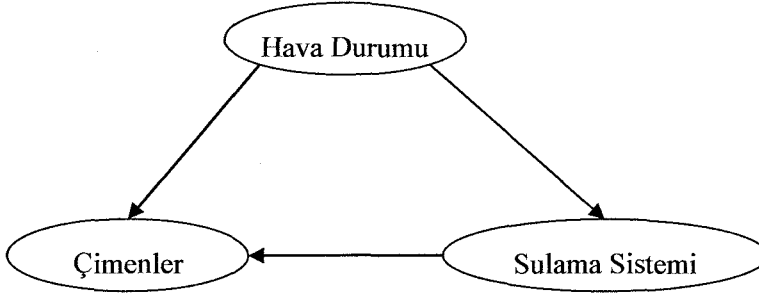
çıktı kümesinin her bir elemanına da *durum* denmektedir ve her durum birbirinden ayrıktır, başka bir deyişle bir olayın iki farklı sonucu olamaz ya da bir değişken aynı anda iki farklı durumda bulunamaz. Değişken durumlarının belirlenmesinden sonra değişkenlerin öncül ve koşullu olasılıkları hesaplanır. Tüm değişkenlerin tüm durumlarının olasılıkları modele girildikten sonra model derlenir ve tahmin için kullanılmaya hazır hale gelir. Şekil 3.2 BA kurulurken izlenen adımları göstermektedir.



Şekil 3.2 BA kurulumu için akış şeması

BA'nın özelliği değişkenler arasındaki ilişkilerin nedensel olmasıdır. Nedensel ilişkileri gösteren BA'nın değişkenlerden ve değişkenler arasındaki yönlü bağlantılardan oluştuğu daha önce belirtilmişti. Matematiksel olarak BA'nın yapısı yönlü çizge olarak adlandırılabilir. Bir yönlü çizgedeki ilişkilerden söz ederken herhangi bir A değişkeninden bir B değişkenine bir bağlantı varsa, B , A 'nın çocuğudur ve A , B 'nin babasıdır denir. Daha önce de belirtildiği gibi değişkenler olayları temsil etmektedir ve bir değişkenin herhangi bir sayıda *durumu* olabilir. Bir değişken, örneğin, arabanın rengi (durumlar: mavi, yeşil, kırmızı), bir ailedeki çocuk sayısı (0, 1, 2, 3, 4, >4), bir hastalık (bronşit, tüberküloz, akciğer kanseri) ya da bir insanın yaşı olabilir. BA, bir değişkendeki belirliliğin değişmesinin başka bir değişkenin belirliliğini değiştirmesini izlemek için kullanılmaktadır. Tipik olarak,

bazı durumlar, başka durumların varlığında daha sık oluşma eğilimindedir. Şekil 3.3’de basit bir BA verilmektedir.



Şekil 3.3 Basit bir BA

Şekil 3.3’de verilen basit BA’da hava durumu değişkeninin üç durumu (güneşli, bulutlu, yağmurlu) vardır. Çimenler ıslak ya da kuru, sulama sistemi açık ya da kapalı olabilir. İncelenen bu küçük sistemdeki nedensel bağlar şu şekilde özetlenebilir: Hava yağmurlu ise çimenleri doğrudan ıslatacaktır. Ama uzun bir süredir hava güneşli ise bu da çimenleri dolaylı yoldan, sulama sisteminin açılmasına neden olarak ıslatacaktır. Havanın, bahçenin ve sulama sistemi kullanımı davranışının gerçekliğini yansıtan bu ağa gerçek olasılıklar girildiğinde bu ağ, “Çimenler ıslaksa bunun yağmur ya da sulama sistemi tarafından gerçekleştirilmiş olması olasılığı nedir?” ya da “Yağmur yağma olasılığı artarsa, bu bahçe sulamak için ayrılması gereken zamanı nasıl etkiler?” gibi yararlı bazı sorulara yanıt bulmada kullanılabilir. Tablo 3-1, Tablo 3-2 ve Tablo 3-3 $P(A)$, A değişkeninin olasılığını göstermek üzere, bu BA’da bulunan değişkenler için doldurulması gereken olasılık tablolarıdır. Tablolar örnek olması için doldurulmuştur.

Tablo 3-1 Hava durumu (HD) değişkeninin durumları ve olasılık tablosu

$P(HD)$	Güneşli	Bulutlu	Yağmurlu
	0,50	0,35	0,15

Tablo 3-2 Sulama sistemi (SS) için doldurulması gereken olasılık tablosu

$P(SS HD)$	Açık	Kapalı
Güneşli	0,95	0,5
Bulutlu	0,60	0,40
Yağmurlu	0,01	0,99

Tablo 3-3 Çimenler (C) için doldurulması gereken olasılık tablosu

$P(C HD, SS)$	Islak	Kuru
Güneşli, Açık	0,95	0,05
Güneşli, Kapalı	0,01	0,99
Bulutlu, Açık	0,98	0,02
Bulutlu, Kapalı	0,1	0,9
Yağmurlu, Açık	0,99	0,01
Yağmurlu, Kapalı	0,99	0,01

BA kurulurken farklı bağlantı türleri kullanılabilir. Bu bağlantı türleri seri, iraksayan ve yakınsayan şeklinde gruplanmıştır. İlerleyen satırlarda bağlantı türleri ayrıntılı olarak açıklanmakta ve değişkenler hakkındaki yorumlara yön veren “açıklama etkisi”nden bahsedilmektedir.

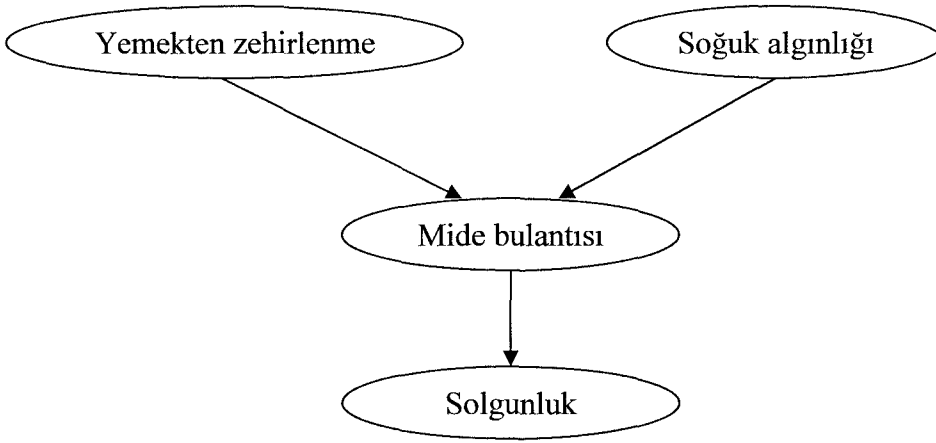
3.2.2.1 Seri Bağlantı

Bir A değişkeninin B değişkeni üzerinde ve B değişkeninin de bir C değişkeni üzerinde nedensel bir etkisi varsa, bu ilişkileri gösteren bağlantı seri bağlantı olarak adlandırılır ve $A \rightarrow B \rightarrow C$ şeklinde yazılır. Şekil 3.4’de seri bağlantı gösterilmektedir.



Şekil 3.4 Seri bağlantı

Şekil 3.4 ile verilen seri bağlantı gösteriminde anlatılmak istenen A ’nın B üzerinde ve B ’nin de C üzerinde nedensel bir etkisi bulunduğuudur. A değişkeni hakkında elde edilecek bilgiler B ’nin kesinliğini etkileyecek, bu da sonuç olarak C ’nin kesinliğini etkileyecektir. Benzer şekilde, C hakkında edinilecek bilgi A ’nın kesinliğini B üzerinden etkileyecektir. Ancak, B ’nin durumu bilinirse uç değişkenler (B ’nin babası olan A ve B ’nin çocuğu olan C) arasındaki iletişim ortadan kalkacak, A ve C değişkenleri birbirinden bağımsız hale gelecektir. Sonuç olarak değişkenler hakkında elde edilen bilgiler, aradaki değişkenin durumu bilinmediği sürece seri bir bağlantı ile taşınabilir. Şekil 3.5 ile seri bağlantı örnek üzerinde anlatılmaktadır.

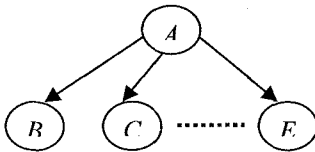


Şekil 3.5 Mide bulantısının nedenlerini ve sonucu gösteren basit bir model

Şekil 3.5 ile verilen ağda Yemekten zehirlenme→Mide bulantısı→Solgunluk değişkenleri arasında seri bağlantı bulunmaktadır. İncelenen bu modelde yemekten zehirlenme mide bulantısına, mide bulantısı da solgunluğa neden olmaktadır. Mide bulantısı değişkeninin durumu biliniyorsa yemekten zehirlenme değişkeninin durumu hakkında elde edilecek bir bilgi solgunluk değişkeninin kesinliğini etkilemeyecektir. Ayrıntılı açıklamak gerekirse, mide bulantısının durumları *var*, *yok*; yemekten zehirlenmenin durumları *evet*, *hayır* ve solgunluk değişkeninin durumları da *var*, *yok* olsun. Mide bulantısı değişkeninin durumu bilinmezken yemekten zehirlenme değişkeninin durumu *evet* ise bu mide bulantısı değişkeni üzerinden solgunluk değişkeninin durumunun *var* olma olasılığını arttıracaktır. Ancak mide bulantısı değişkeninin durumu *var* olarak kesinleşirse yemekten zehirlenme değişkeninin alacağı *evet* ya da *hayır* durumları solgunluk değişkeninin durumlarının kesinliği üzerinde bir değişikliğe neden olmayacaktır. Özetle, seri bağlantılarda aradaki değişkenin durumunun bilinmesi kendisini etkileyen ve kendisinden etkilenen değişkenler arasındaki etkileşimi koparır, bu değişkenler birbirinden bağımsız olur.

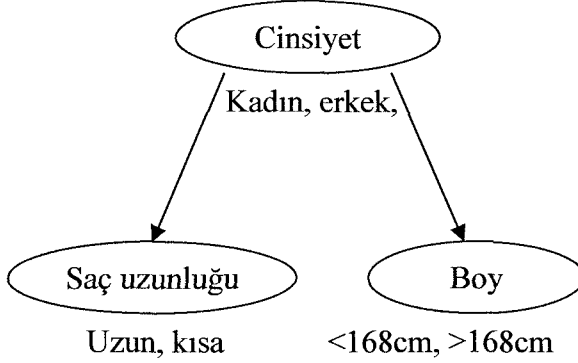
3.2.2.2 İraksayan Bağlantı

Bir A değişkeni B ve C değişkenlerini etkiliyorsa aradaki bağlantı ıraksayan bağlantı olarak adlandırılır ve $B \leftarrow A \rightarrow C$ şeklinde yazılır. Şekil 3.6 ile ıraksayan bağlantı çizimi verilmektedir.



Şekil 3.6 İraksayan bağlantı

Iraksayan bağlantılarda ebeveyn değişkenin durumu (burada A) bilinmediği sürece çocukları arasında ($B, C, \dots, E$) etkileşim sağlanır. A değişkeninin durumu hakkında bilgi elde edildiğinde çocukları birbirinden bağımsız hale gelir, çocuklar arasındaki iletişim engellenir. Bu durum için bir örnek Şekil 3.7 ile verilmektedir.

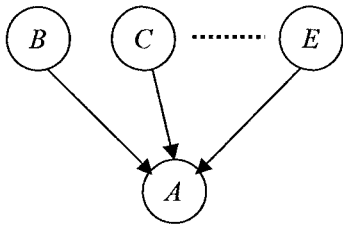


Şekil 3.7 Saç uzunluğu, cinsiyet ve boy arasındaki nedensel ilişkiler

Şekil 3.7’de saç uzunluğu, cinsiyet ve boy arasındaki nedensel ilişkileri temsil eden basit bir model görülmektedir. Saç uzunluğu değişkeninin durumları *uzun, kısa*; cinsiyet değişkeninin durumları *kadın, erkek* ve boy değişkeninin durumları *168 cm’den kısa ve 168 cm’den uzun* olarak verilmiştir. Bir insanın cinsiyeti bilinmiyorsa, saçının uzunluğu hakkında elde edilebilecek bir bilgi, o insanın cinsiyeti hakkında daha fazla bilgi verecek, bu da dikkatleri o kişinin boyuna yöneltecektir. Ancak bir insanın, örneğin, erkek olduğu biliniyorsa, saçının uzunluğu boyu hakkında herhangi bir ipucu vermez, saçının uzun ya da kısa oluşu bu insanın boyu hakkındaki düşünceleri etkilemez. Boyunun *168 cm’den uzun* olması olasılığını arttıran o insanın erkek olmasıdır.

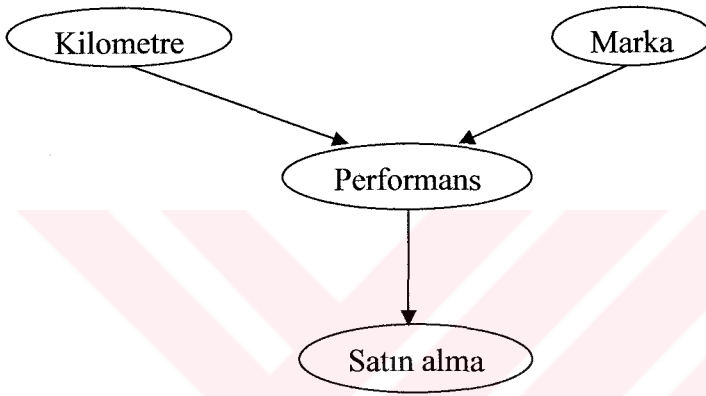
3.2.2.3 Yakınsayan Bağlantı

Bir A değişkeni B ve C değişkenlerinden etkileniyorsa aradaki bağlantı yakınsayan bağlantı olarak adlandırılır ve $B \rightarrow A \leftarrow C$ şeklinde yazılır. Şekil 3.8’de yakınsayan bağlantı çizimi verilmektedir.



Şekil 3.8 Yakınsayan bağlantı

Yakınsayan bağlantıda çocukların (A) durumu bilinirse ebeveynler ($B, C, \dots, E$) arasında iletişim sağlanır; ebeveynlerden birinin kesinliğinin değişmesi diğer ebeveynlerin kesinliklerini de değiştirecektir. Çocuklar hakkında ebeveynlerinden çıkarılabilecek bilgi dışında hiç bir şey bilinmiyorsa, ebeveynler birbirinden bağımsızdır. Diğer bir deyişle A bilinmiyorsa B, C ve E birbirinden bağımsızdır, yani herhangi biri hakkındaki bilgi diğerinin kesinliği (belirliliği) üzerinde herhangi bir etkiye sahip değildir ya da herhangi bir etkiye sahip olmaz. Ancak, sonuçlar hakkında herhangi bir bilgi edinilmişse, olası bir neden hakkında elde edilecek bir bilgi diğer olası nedenler hakkında karar vericiye birşeyler anlatabilir. Şekil 3.9’de verilen model yakınsayan bağlantıyı örnek üzerinde açıklamaya yardımcı olmaktadır.

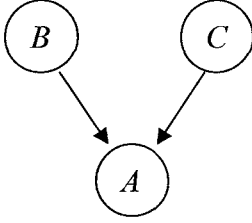


Şekil 3.9 İkinci el araç satın alma kararını etkileyen değişkenler

Şekil 3.9’da ikinci el bir araba satın alma kararını etkileyen değişkenler doğrudan performans ve dolaylı yoldan aracın yapmış olduğu kilometre ile markası olarak verilmiştir. Bu modelde performans, kilometre ve marka değişkenleri arasında yakınsayan bağlantı ($\text{Kilometre} \rightarrow \text{Performans} \leftarrow \text{Marka}$) bulunmaktadır. Satın alınacak arabanın performansı hakkında bir bilgi yoksa kilometre değişkeni hakkında elde edilecek bir bilgi marka değişkeninin etkilemeyecektir, yani performans bilinmiyorken kilometre ve marka birbirinden bağımsızdır. Ancak bir arabanın performansı biliniyorsa kilometre ve marka değişkenleri arasında iletişim sağlanır; bu değişkenlerden herhangi biri hakkında elde edilecek bir bilgi diğerinin kesinliğini etkileyecektir. Ayrıntılı açıklamak gerekirse; satın alınması düşünülen aracın performansının kötü olduğu biliniyorsa ve markasının da iyi bir marka olduğu bilgisi edinilmişse, kilometre değişkeninin yüksek olması olasılığı artacaktır.

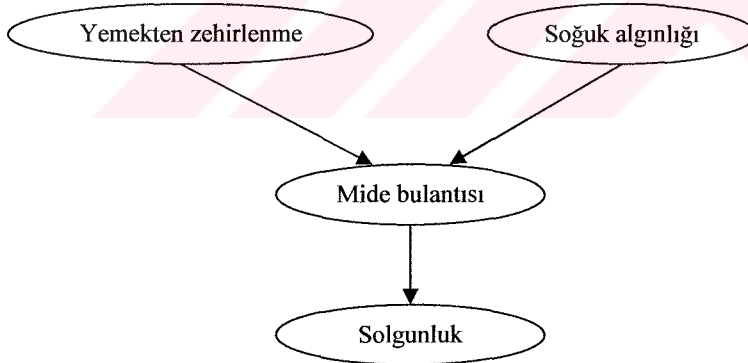
3.2.2.4 Açıklama Etkisi

Açıklama etkisi yakınsayan bağlantılar için söz konusudur. A 'ya neden olan iki değişken B ve C olmak üzere $(B \rightarrow A \leftarrow C)$, A olayı meydana gelmişken bunun nedeninin B olayı olmadığı öğrenilirse, A olayının nedeni C olayının meydana gelmesi ile açıklanacaktır. Bu durumu gösteren çizim Şekil 3.10'da verilmektedir.



Şekil 3.10 Açıklama etkisi

Şekil 3.11'de verilen basit modelde mide bulantısının nedenleri yemekten zehirlenme ve soğuk algınlığı olarak gösterilmektedir. Bir insanın mide bulantısı olduğu biliniyorsa ve bu insan soğuk algınlığı geçirmiyorsa bu durumda mide bulantısı yemekten zehirlenme ile açıklanacaktır, başka bir deyişle bu insanın yemekten zehirlenmiş olma olasılığı artacaktır. Benzer şekilde, mide bulantısı hakkında bir şey bilinmiyor ancak bu insanın solgun gözüktüğü biliniyorsa, yemekten zehirlenmiş olmaması o insanın soğuk algınlığı olduğu hakkındaki düşünceleri güçlendirecektir.

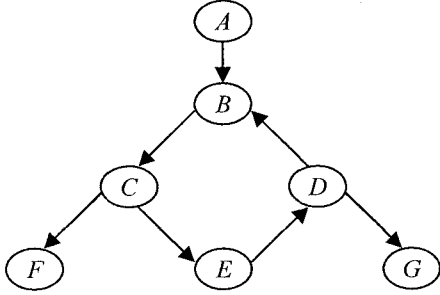


Şekil 3.11 Mide bulantısının soğuk algınlığı ve yemekten zehirlenme ile açıklanması

Yine Şekil 3.11'de verilen modelde mide bulantısı ya da solgunluk hakkında hiçbirşey bilinmiyorsa yemekten zehirlenme değişkeninin *evet* durumuna sahip olduğu bilgisinin edinilmesi soğuk algınlığı değişkeninin belirliliğini etkilemez. Sonuç olarak, yakınsayan bir bağlantıda elde edilen bilgiler, ancak bağlantı noktasında bulunan ya da bağlantıyı izleyen çocuk değişkenlerden birinin durumu biliniyorsa aktarılabilir.

3.2.2.5 Döngüler

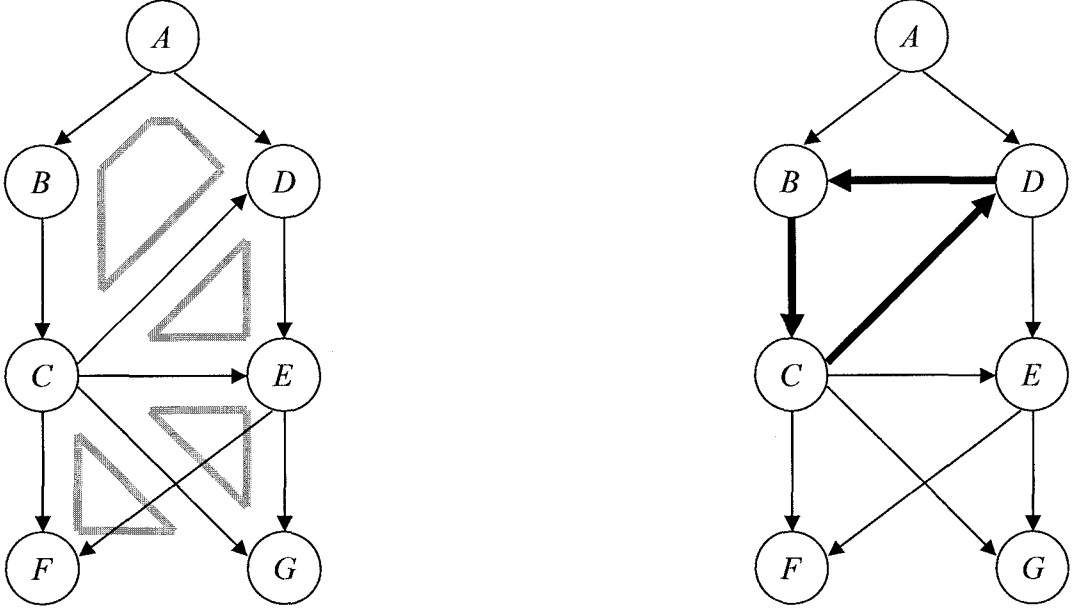
Bilişsel haritalarda değişkenler arasında döngülere izin verilebilir, bir değişken etkilediği bir değişkenin etkilediği başka bir değişkenden etkilenebilir. Bu durum Şekil 3.12’de gösterilmektedir.



Şekil 3.12 Değişkenler arasında döngü olan bir çizge

Şekil 3.12’de $B \rightarrow C \rightarrow E \rightarrow D \rightarrow B$ değişkenleri arasındaki gibi döngülere BA’nda izin verilmez. Modellenecek sistem döngülerine sahip olabilir, ancak bu döngülerin sayısal olarak modellenmesi zordur. Nedensel ağlar için, döngüler ile başa çıkabilen bir hesaplama yöntemi henüz geliştirilmemiştir [11]. Bu nedenle, ağın döngü içermemesi gerekmektedir. Bağlantıyı gösteren okların yönü “nedenselliğe” işaret etmektedir. Bu da daha yukarıdaki düğümlerin daha aşağıdaki düğümleri etkileme eğiliminde olduğunu göstermektedir.

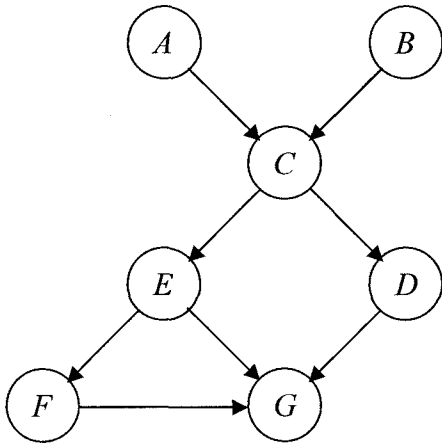
BA’da bağlantılar halkalar oluşturabilir, ancak döngüler oluşturamaz. Halka ile döngü arasındaki fark Şekil 3.13’de gösterilmektedir. Döngüsüz olma zorunluluğu tanımlayıcı bir sınırlama değildir, ağların modelleme gücünü sınırlamamaktadır. Bu zorunluluk, yalnızca, ağları kurarken daha dikkatli olunması gerektiği anlamına gelmektedir. Şekil 3.13’de soldaki çizgede halkalar görünmektedir ve bunlar kabul edilebilir yapılardır. Sağdaki çizgede ise D düğümünden B düğümüne yapılan bir bağlantı $B - C - D$ arasında bir döngü oluşturmaktadır ve bu tip oluşumlara Bayes ağlarında izin verilmemektedir.



Şekil 3.13 BA'da izin verilen ve verilmeyen nedensel ilişki gösterimleri

Döngülere izin vermemenin temel avantajı algoritmaların güncellenmesinin çok hızlı yapılabilmesidir.

Bir BA'da bulunan değişkenler A, B, C, D, E, F ve G olmak üzere bu değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri gösteren çizge Şekil 3.14 ile verilmektedir. Bu BA için bilinmesi gereken olasılıklar $P(A), P(B), P(C | A, B), P(E | C), P(D | C), P(F | E)$ ve $P(G | D, E, F)$ 'dir. A 'nın herhangi bir ebeveyni olmadığı için olasılık tablosu yalnız koşulsuz olasılık $P(A=a_i)$ 'dan oluşacaktır. Aynı durum B değişkeni için de geçerlidir.



Şekil 3.14 Yönlü döngüsüz bir çizge

BA çizimi ile ilgili bilgilerden sonra izleyen bölümde BA'nın dayandığı matematiksel temelden bahsedilmektedir.

3.2.3 Bayes Ağları ve Matematiksel Yapı

S örnek uzayında tanımlanmış reel değerli bir P fonksiyonu aşağıdaki aksiyomları gerçeklemesi halinde olasılık fonksiyonu olarak adlandırılır [12].

- Her A olayı için $0 \leq P(A) \leq 1$ dir.
- $P(S)=1$ dir.
- A ve B ayrık olaylar ise $P(A \cup B)=P(A)+P(B)$
- A ve B ayrık olmayan olaylar ise $P(A \cup B)=P(A)+P(B) - P(A \cap B)$
- $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ olayları ikişer ikişer ayrık olaylar ise $P(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup \dots \cup A_n) = P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) + \dots + P(A_n)$
- A ve B herhangi iki olay ve $P(B)>0$ olmak üzere, B olayının gerçekleştiği bilinirken A olayının gerçekleşmesinin koşullu olasılığı $P(A|B)$ ile ifade edilir ve $P(A|B) = P(AB)/P(B)$ dir.
- A ve B ayrık olaylar ise $P(AB)=P(A)P(B)$ ve $P(A|B)=P(A)$, $P(B|A)=P(B)$ dir.

A olayı kesinlikle oluşacaksa $P(A)=1$ dir. İzleyen satırlarda Bayes ağlarının temel aldığı Bayes teoremi ve ispatı verilmektedir.

Bayes Teoremi

$A_1, A_2, \dots, A_n$ ile S örnek uzayının bir bölünüşü verilsin. Başka bir deyişle her $i \neq j$ için $A_i \cap A_j = \emptyset$ ve $A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n = S$ olsun. B ise $A_1, A_2, \dots, A_n$ olaylarından farklı bir olay olsun.

$$\begin{aligned} P(A_i | B) &= \frac{P(A_i)P(B | A_i)}{P(A_1)P(B | A_1) + \dots + P(A_n)P(B | A_n)} \\ &= \frac{P(A_i)P(B | A_i)}{\sum_{i=1}^n P(A_i)P(B | A_i)} \end{aligned} \quad (1)$$

İspat

$$\begin{aligned} P(A_i B) &= P(B)P(A_i | B) = P(A_i)P(B | A_i) \Rightarrow \\ P(A_i | B) &= \frac{P(A_i)P(B | A_i)}{P(B)} \end{aligned} \quad (2)$$

yazılabilir. Öte yandan

$$B = S \cap B = (A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) \cap B \\ = (A_1 \cap B) \cup (A_2 \cap B) \cup \dots \cup (A_n \cap B) \text{ dir.}$$

$A_1 \cap B, A_2 \cap B, \dots, A_n \cap B$ olayları ikişer ikişer ayrık olup

$$(A_i \cap B) \cap (A_j \cap B) = \emptyset, \quad i \neq j \Rightarrow \\ P(B) = P(A_1 \cap B) + P(A_2 \cap B) + \dots + P(A_n \cap B) \\ = P(A_1)P(B|A_1) + P(A_2)P(B|A_2) + \dots + P(A_n)P(B|A_n)$$

$P(B)$ değeri (2)'de yerine konarak (1) bulunur.

Bayes formülünün gerçekleşmesi sıklıkların sayılması ile de yapılabilir. Örnek 3.1 bu gerçeklemeyi açıklamaktadır.

Örnek 3.1:

m tane kedi (c), bunların n tanesi kahverengi (b) ve kahverengi kedilerin i tanesi Habeş kedisi (a) olsun. Kediler arasında b bilindiğinde a 'nın frekansı $f(a|b,c)=i/n$, b 'nin frekansı $f(b|c)=n/m$ ve kahverengi Habeş kedilerinin frekansı $f(a,b|c)=i/m$ dir. Buradan

$$f(a|b,c)f(b|c) = f(a,b|c)$$

Olasılıkların yalnız sıklıklara dayanarak bulunma zorunluluğu yoktur. Olasılıklar bir olayın kesinliği hakkında tamamen öznel tahminler de olabilir. Öznel bir olasılık, örneğin, bahar yarıyılı sonuna kadar 1'den fazla makalenin kabul alma şansı olabilir. Bu olasılığı belirlemenin bir yolu aşağıda verilmektedir.

- Bahar yarıyılı sonuna kadar 1'den fazla makalesi kabul alırsa, yazara 100 Milyon TL verilecektir.
- Bahar yarıyılı sonunda yazardan, içinde n tane kırmızı, $100-n$ tane beyaz top olan bir keseden bir top seçmesi istenecektir. Top kırmızı ise yazara yine 100 Milyon TL verilecektir.

Yazardan bu iki durumdan birini seçmesi beklenmektedir. Kesedeki tüm toplar kırmızı ise yazar 2'yi, tüm toplar beyaz ise 1'i seçecektir. İki durumun da eşit derecede çekici olduğu bir n sayısı vardır ve bu n için, $n/100$, yazarın bahar yarıyılı sonuna kadar 1'den fazla makale yazma olasılığının öznel tahminidir.

Daha önce de belirtildiği gibi nedensel bir ağdaki düğümler, *sonlu sayıda ayrık durumlara* sahip *değişkenler*dir.

$A, a_1, \dots, a_n$ durumlarına sahip bir değişken ise, $P(A)$, bu durumlar üzerinde olasılık dağılımını göstermektedir.

$$P(A) = (x_1, \dots, x_n); \quad x_i \geq 0; \quad \sum_{i=1}^n x_i = 1,$$

$x_i = A$ değişkeninin a_i durumunda bulunma olasılığı

A değişkeninin a_i durumunda bulunma olasılığı $P(A=a_i)$ olarak gösterilmektedir. A 'nın ne olduğunun anlaşılabildiği durumlarda $P(a_i)$ gösterimi kullanılabilir.

$A, a_1, \dots, a_n$ durumlarına sahip bir değişken ve B de $b_1, \dots, b_m$ durumlarına sahip bir değişken ise; $P(A|B), P(a_i|b_j)$ sayılarından oluşan $n \times m$ boyutlu bir tabloda gösterilir. Tablo 3-4 bu durum için bir örnek olarak verilmiştir.

Tablo 3-4 A ve B değişkenlerinin durumları için $P(A|B)$ koşullu olasılık tablosu

	b_1	b_2	b_3
a_1	0,4	0,3	0,6
a_2	0,6	0,7	0,4

Tablo 3-4'ün her sütunu için sütun toplamı 1'e eşittir çünkü A değişkeninin iki ayrı durumu (a_1 ve a_2) vardır ve B değişkeninin bulunabileceği her durum (b_1, b_2 ve b_3) için A değişkeni bu iki durumdan birinde bulunacaktır. Tablo 3-4, A değişkeninin B değişkeninin hangi durumda olduğu bilinirken, a_1 ya da a_2 durumlarında bulunma olasılıklarını vermektedir.

A ve B değişkenlerinin bileşik (ikisinin de gerçekleşmesi) olasılığı olan $P(A,B)$ yine $n.m$ boyutlu bir tablo ile gösterilir. Bu tablo, A değişkeninin teker teker tüm durumları ile B değişkeninin teker teker tüm durumlarının kesişimi için olasılıkları, yani her (a_i, b_j) olasılıklarını içermektedir. Tablo 3-5 böyle bir örneği göstermektedir.

Tablo 3-5 A ve B değişkenleri için $P(AB)$ bileşik olasılık tablosu

	b_1	b_2	b_3
a_1	0,16	0,12	0,12
a_2	0,24	0,28	0,08

Tablo 3-5 bir matris olarak düşünülürse bu matrisin tüm elemanlarının toplamı 1'i vermektedir çünkü tablo A ve B değişkenlerinin durumlarının kesişimleri için olası tüm kombinasyonları göstermektedir.

Tablo 3-4 ve Tablo 3-5'ten yararlanarak A ve B değişkenlerinin durumlarının olasılıkları bulunabilir. Tablo 3-4 $P(A|B)$, Tablo 3-5 $P(AB)$ olasılıklarının tablosudur. $P(AB)=P(B)P(A|B)$ eşitliğinden yararlanarak $P(B)$ değişkeninin durumlarının olasılıklarının bulunması Tablo 3-6 ile açıklanmaktadır.

Tablo 3-6 B değişkeninin durumlarının olasılıklarının bulunması

$P(AB)$	$= P(B) P(A B)$	B değişkeninin durumlarının olasılıkları
0,16 [$P(a_1, b_1)$]	$= P(b_1) 0,4 P(a_1 b_1)$	$P(b_1)=0,16/0,4=0,4$ $P(b_1)=0,4$
0,24 [$P(a_2, b_1)$]	$= P(b_1) 0,6 P(a_2 b_1)$	$P(b_1)=0,24/0,6=0,4$
0,12 [$P(a_1, b_2)$]	$= P(b_2) 0,3 P(a_1 b_2)$	$P(b_2)=0,12/0,3=0,4$ $P(b_2)=0,4$
0,28 [$P(a_2, b_2)$]	$= P(b_2) 0,7 P(a_2 b_2)$	$P(b_2)=0,28/0,7=0,4$
0,12 [$P(a_1, b_3)$]	$= P(b_3) 0,6 P(a_1 b_3)$	$P(b_3)=0,12/0,6=0,2$ $P(b_3)=0,2$
0,08 [$P(a_2, b_3)$]	$= P(b_3) 0,4 P(a_2 b_3)$	$P(b_3)=0,08/0,4=0,2$

İncelenen değişkenlerden A 'nın bulunabileceği iki, B 'nin ise üç farklı durum vardır. Tablo 3-6 B değişkeninin durumlarının bulunmasını göstermektedir. Benzer şekilde Tablo 3-5'ten yararlanarak da A değişkeninin bulunabileceği a_1 ve a_2 durumlarının olasılıkları da hesaplanabilir. A değişkeninin a_1 durumunda bulunabildiği üç farklı olay vardır ve bunlar (a_1, b_1) , (a_1, b_2) ve (a_1, b_3) 'tür. Bu durumda A değişkeninin a_1 durumunda olma olasılığı $P(A=a_1) = P(a_1, b_1) + P(a_1, b_2) + P(a_1, b_3)=0,4$ 'tür. Benzer şekilde A değişkeninin a_2 durumunda olma olasılığı $P(A=a_2)= P(a_2, b_1) + P(a_2, b_2) + P(a_2, b_3)=0,6$ 'dır.

Bayes ağları için zincir kuralı

$U=\{A_1, \dots, A_n\}$ değişkenler evreni olmak üzere $P(U) = P(A_1, \dots, A_n)$ bileşik olasılık tablosu mevcut ise, $P(A_i)$ ve $P(A_i | e)$ (e , A hakkında elde bulunan bilgi) olasılıkları da hesaplanabilir. Ancak $P(U)$ değişken sayısının artması ile eksponansiyel olarak büyümektedir ve U kümesinin sahip olduğu değişken sayısı (n) çok artmadan dahi olasılıklar tablosu izlenemez ölçüde büyüyecektir. Bu nedenle $P(U)$ 'nun daha küçük

$$P(U) = P(A \mid U \setminus \{A\}) P(U \setminus \{A\}) = P(A \mid pa(A)) P(U \setminus \{A\}).$$

Bu eşitlik değişkenlerin birbirinden bağımsız olabilmesi özelliğine dayanarak elde edilmiştir. $P(A \mid U \setminus \{A\})$, A , ebeveynleri dışındaki diğer değişkenlerden bağımsız olduğundan $P(A \mid pa(A))$ 'ya eşittir. Formülün sağ tarafı tanımlı tüm olasılıkların çarpımıdır.

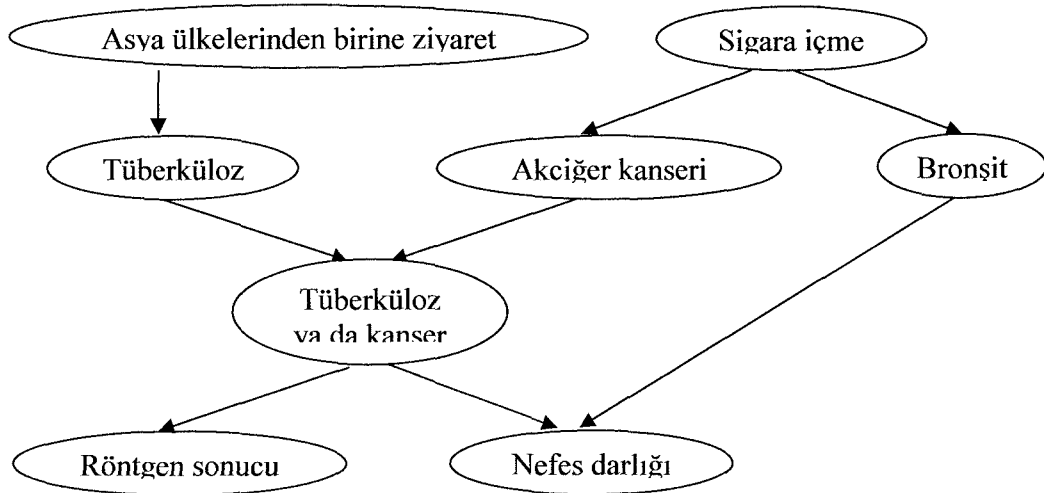
BA değişkenlerin birbirinden bağımsız hale gelmesini (seri bağlantılar için aradaki değişkenin bilinmesi, iraksayan bağlantılar için ebeveyn değişkenin bilinmesi ve yakınsayan bağlantılar için çocuk değişkenin bilinmesi) kabul etmektedir. BA için zincir kuralının kanıtında bu özellikten yararlanılmıştır. Değişkenlerin bağımsız hale geldiğinin kabul edilmesi insan muhakemesinin özelliğine dayanmaktadır ve zincir kuralı da bu özelliğin bir sonucudur. Evrenin bileşik olasılığı, koşullu olasılıkların çarpımıdır. Başka bir deyişle, V kümesi verildiğinde C , A 'dan *bağımsız* ise, $P(C \mid A, V) = P(C \mid V)$ geçerlidir.

İzleyen bölümde BA kullanımı için literatürden bir örnek verilmektedir.

3.3 Bayes Ağları Kullanımı Hakkında Literatürden Bir Örnek

Bir model genellikle modellenen dünyayı anlamaya ve onun nasıl davranacağına dair kullanışlı tahminler yapmaya yardımcı oluyorsa yararlıdır. Gerçek yaşam ile kıyaslandığında model üzerinde deneyler yapmak çoğu kez daha kolaydır.

Şekil 3.16'te "Asya" adında popüler bir BA örneği görülmektedir [13]. Bu model yalnız örnek gösterme amacıyla kullanılmaktadır ve gerçek karar vermede kullanılmamalıdır.



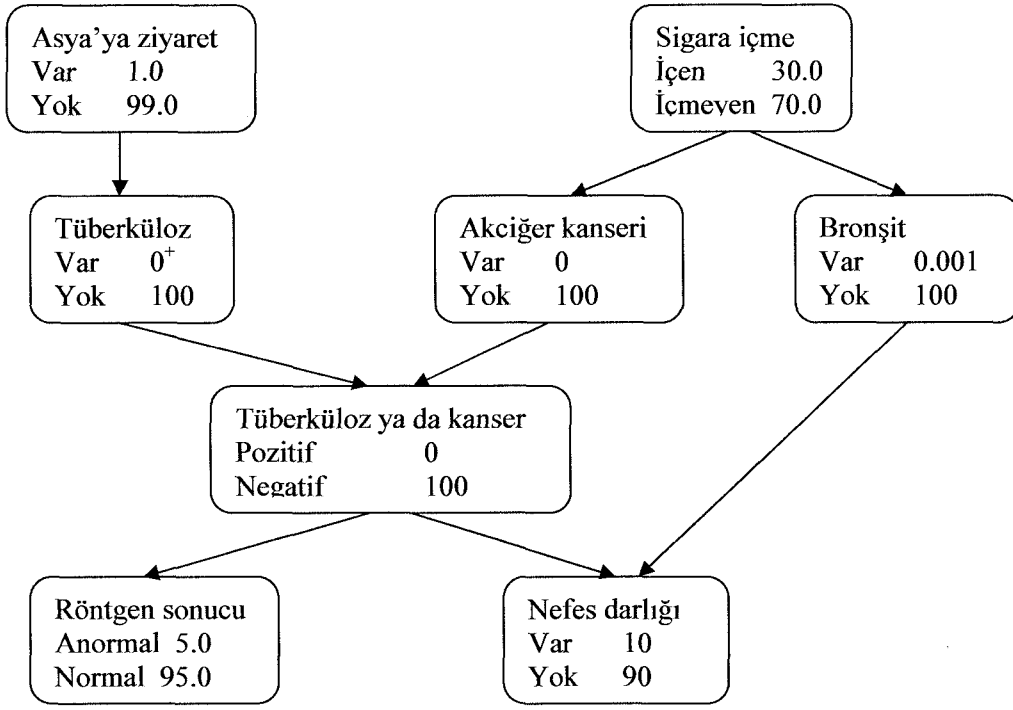
Şekil 3.16 Asya isimli BA

Şekil 3.16’te verilen BA, bir kliniğe gelen hastaları teşhis etmek için kullanılabilecek bir ağı basit bir versiyonudur. Ağdaki her düğüm hasta hakkında bilgi elde edilebilecek değişkenlerden birini göstermektedir; örneğin, “Asya ülkelerinden birine ziyaret” hastanın yakın geçmişte Asya kıtasında bulunan ülkelere birine gidip gitmediğini göstermektedir. İki düğüm arasındaki bağlantılar ise değişkenler arasında var olduğu bilinen nedensel ilişkileri göstermektedir: Sigara içmek akciğer kanseri ya da bronşit olma olasılığını arttırmaktadır. Hem akciğer kanseri hem de bronşit nefes darlığına yakalanma riskini arttırmaktadır. Hem akciğer kanseri hem de tüberküloz anormal röntgen sonuçlarına neden olabilir, ancak bronşit anormal röntgen sonuçlarına neden olmamaktadır.

Bir hastaya teşhis koyabilmek için hakkında bilgi edinilen bazı düğümlere değerler girilebilir. Bu diğer tüm düğümler için olasılıkların yeniden hesaplanmasına izin verecektir. Yani, bir röntgen filmi çekildiğinde bu film anormal ise, hastanın hem tüberküloz hem de akciğer kanseri olma olasılıkları yükselecektir. Daha sonra hastanın yakınlarda Asya ülkelerinden birine yolculuk yapmış olduğu öğrenildiğinde tüberküloz olasılığı artarken akciğer kanseri olasılığı – anormal röntgen filmi tüberkülozun varlığı ile daha iyi açıklandığından – düşecektir.

Şekil 3.17’de değişken durumları belirlenmiş olarak gösterilmekte ve bu BA’nın temsil ettiği sistem hakkında aşağıdaki bilgilerin mevcut olduğu varsayıldığında hesaplanan olasılıklar belirtilmektedir. BA’nın temsil ettiği sistem hakkında elde edilen bilgiler şöyledir:

- Nüfusun %30’u sigara içmektedir.
- Akciğer kanserinin görülme sıklığı 70/100000’dir.
- Tüberkülozun görülme sıklığı 10/100000’dir.
- Bronşitin görülme sıklığı 800/100000’dir.
- Nefes darlığı nüfusun %10’unda görülmektedir, ancak bunun asıl nedeni astım ve tüberküloz, akciğer kanseri ya da bronşit dışındaki nedenlerdir.



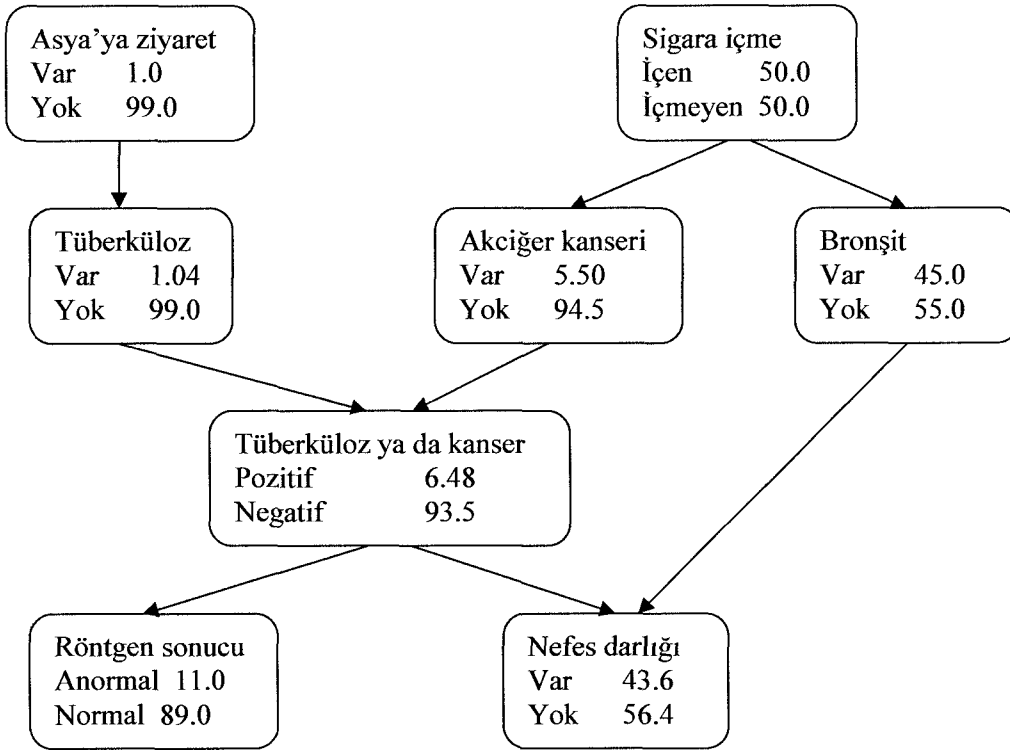
Şekil 3.17 Değişken durumlarının belirlenmiş ve olasılıkların girilmiş olduğu model

Ne yazık ki, Şekil 3.17'daki veriler, ağır kullanılması düşünülen kliniğe gelen hasta popülasyonunu yansıtmadığından çok kullanışlı değildir. Hastaların bir çoğuna öncelikle aile doktorları bakmaktadır ve sonra kliniğe sevk etmektedir. Bu nedenle de, kliniğe gelen hasta popülasyonunda akciğer kanseri oranı çok daha yüksek olacaktır. Şekil 3.17'daki BA, bu haliyle teşhis için kullanılmamalıdır, daha fazla veriye ihtiyaç vardır. Daha fazla veri kliniğe gelen hastaların incelenmesi ile elde edilebilir.

Kliniğe gelen hastaların verileri incelendiğinde aşağıdaki bulgulara rastlanmıştır:

- Kliniğe gelen hastaların %50'si sigara içmektedir.
- %1'i tüberkülozdur.
- %5.5'i akciğer kanseridir.
- %45'i hafif ya da kronik bronşit geçirmektedir.

Bu yeni veriler ağa girildiğinde, kliniğe gelen hastaların durumunu gerçekten tanımlayan BA, Şekil 3.18'de verilmektedir.



Şekil 3.18 Modelin kullanılacağı kliniğin hasta popülasyonuna göre olasılıkların düzeltilmiş hali

Şekil 3.18'deki ağ, hedef kitleden olduğunun dışında hakkında hiç birşey bilinmeyen yeni bir hastayı tanımlamaktadır. Her bir hastaya özgü bilgiler toplandıkça, ağdaki olasılıklar bu bilgiler doğrultusunda değişecektir. Bayes ağlarının gücü her aşamada bulunan olasılıkların matematiksel ve bilimsel olarak sağlam olmasından kaynaklanmaktadır.

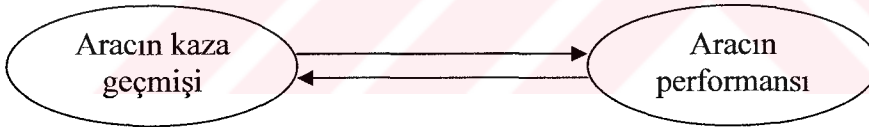
BA'nın çok kullanışlı olmasının başka bir nedeni pek çok konuya uyarlanabilir olmalarıdır. Küçük, sınırlı bir bilgi ile başlanabilir ve sonra yeni bilgiler edinildikçe model genişletilebilir. Bundan başka, BA, uygulanacağı dünyanın örneği hakkında bütün bir bilgiye ihtiyaç duyulmamaktadır. Mevcut bilgiyi kullanarak BA, o sistem hakkında varılabilecek sonuçları gösterecektir.

Geçmişte, bilimadamları, mühendisler ve ekonomistler, bir olay meydana geldiğinde başka hangi olayların olmak üzere olduğunu tahmin etme girişiminde bulunmak için sistemlerin olasılık modellerini kurmak istediklerinde tipik olarak "bileşik (joint) olasılık" denen yöntemi kullanmışlardır. Bu, o dünya modelindeki değişkenlerin durumlarının olası tüm kombinasyonlarının tüm olasılıklarının bir tablosunu oluşturmak ve kullanmak anlamına gelmektedir. Böyle bir tablo, durumların her kombinasyonu için bir olasılık değeri saklamayı gerektirdiğinden çok büyüyebilir:

Bu her düğüm için tüm durum sayılarının çarpımıdır. Yukarıda bahsedilen Asya modelinde $2^8=256$ olasılık dikkate alınmalıdır. Anlamlı karmaşıklık düzeyine sahip herhangi bir modelde bileşik olasılık milyonlar ya da trilyonlarca olasılık saklamayı gerektirebilir. Bundan daha iyi bir yola ihtiyaç duyulduğu açıktır.

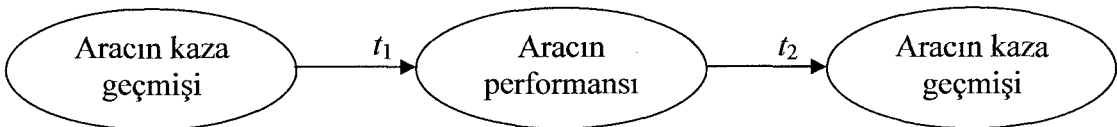
BA ise bu daha iyi yollardan biridir. Bayes ağları, yalnızca herhangi bir nedensel bağımlılıkla birbiriyle olasılık açısından ilişkili olan düğümleri bağladığından, hesaplama zamanında büyük bir tasarruf sağlanmaktadır. Değişken durumlarının olası tüm kombinasyonlarını saklamaya gerek yoktur. Saklanması ve üzerinde çalışılması gereken, ilişkili baba ve çocuk düğümleri kümeleri arasındaki olası tüm durum kombinasyonlarıdır. Elbette ki bazı modeller günümüzdeki BA yardımıyla çözülebilmek için hala çok büyüktür. Ancak yeni algoritmalar geliştirilmektedir ve ilerlemeler umut vericidir. Bu, modern bilgisayar bilimi için popüler bir araştırma konusudur.

Daha önce de belirtildiği gibi, bir bilişsel haritayı BA'na dönüştürürken dikkat edilmesi gereken nokta haritadaki döngüler ve geri beslemelerdir. Üçüncü bölümde döngülerden ve döngülere izin verilmemesinin nedenlerinden ayrıntılı olarak bahsedilmiştir. Burada ise geri besleme durumu ve bu durumun çözülmesi Şekil 3.19 ve Şekil 3.20 ile açıklanmaktadır.



Şekil 3.19 Geri besleme durumu için bir örnek

Şekil 3.19'de bir geri besleme durumu görülmektedir. Bir aracın kaza geçmişi performansını etkilemekte, performans ise kaza geçmişini etkilemektedir. Geçmişte pek çok kaza yapmış bir araç düşük performans gösterecek, düşük performansın sonucunda ise araç yine kaza yapacaktır. Bu geri besleme sorunu Şekil 3.20'te gösterildiği gibi, değişkenlerin birbiri üzerindeki etkileri zamana yayılarak çözülebilir.



Şekil 3.20 Geri besleme durumunun çözülmesi

Geri beslemelere ve döngülere sahip olmayan bir bilişsel harita Bayes ağı olarak kullanılabilir. Bilişsel haritadaki kavramlar Bayes ağının değişkenleri olacağından bu değişkenlerin durum kümeleri de belirlenmelidir. Değişkenlerin durum kümeleri belirlendikten sonra BA sistem davranışını tahmin etmek için kullanılabilir. Bu aşamaya izleyen bölümde değinilmektedir.

3.4 Bayes Ağlarının Sistem Davranışını Tahminde Kullanılması

Bir BA incelediği sistemin göstereceği davranışları tahmin etmekte kullanılabilir. Sistem davranışını tahmin edebilmesi için değişkenleri ve değişkenlerinin durumları belirlenmiş olan bir BA'nın derlenmiş olması gereklidir. Bir BA'nın derlenebilmesi ise değişken durumlarının olasılıklarının hesaplanmış olmasına bağlıdır. BA kurma aşaması değişkenlerin ve bunların durumlarının belirlenmesinden sonra bitmektedir. Olasılıklar ise geçmiş verilerden ya da uzmanlardan elde edilebilir.

Değişken durumlarının olasılıkları sıklıkla uzmanlardan elde edilmektedir, çünkü modellenen sistemde ortaya çıkan nedensel ilişkiler ve değişkenlerin durumları hakkında çoğunlukla geçmiş veri bulma zorluğu yaşanmaktadır. BA'nın derlenebilmesi için öncül ve koşullu olasılıklar hesaplanmalı ve modele girilmelidir. Ebeveyn değişkenler için yalnızca bu değişkenlerin gösterdikleri durumları gösterme sıklıkları yani bu durumları gösterme olasılıkları sorulur. Çocuk değişkenler için ise ebeveyn değişkenlerin durumlarının her bir kombinasyonu için çocuk değişkenin sahip olduğu tüm durumların ayrı ayrı her birinde bulunma olasılıkları sorulmaktadır. Tüm değişkenler için olasılık tabloları doldurulduktan sonra model derlenebilir. Modelin derlenmesinden sonra ise değişkenlerin hiç biri hakkında bilgi yokken sistem elemanlarının göstereceği davranışların olasılıkları ortaya konmuş olur. Bundan sonra, hakkında bilgi edinilen (hangi durumda olduğu bilinen) herhangi bir değişkenin sistemdeki diğer değişkenlerin göstereceği davranışların olasılıkları ağ tarafından hesaplanabilmektedir. Sistemin, değişkenlerinin farklı durumları için göstereceği olası tüm davranışların BA yardımı ile ortaya konması bir sonraki bölümde anlatılmaktadır.

3.5 BA ile Olası Sistem Davranışlarını Yansıtan Bir Veri Seti Oluşturulması

İncelenen bir sistemin kritik değişkenlerini etkileyen diğer değişkenlerin önem dereceleri bir araştırmacının bulmak isteyeceği ve bulmaya çalışacağı bir şeydir.

Böyle bir isteğin ve çabanın yararı, kritik değişken kontrol edilemez bir değişken ise onu etkileyen değişkenler kontrol edilerek dolaylı yoldan bu değişken üzerinde denetim sağlanabilmesidir.

Bu tez çalışmasında da incelenen sistem BA ile modellenip, sistem davranışı tahmin edilebilir düzeye gelindikten sonra, sistemdeki denetlenemez kritik değişkeni etkileyen değişkenlerin önem dereceleri belirlenerek yapılacak önerilerde bu bilgiden yararlanmak amaçlanmıştır. Bunun yapılabilmesi için BA modellemede kullanılan yazılımın olay oluşturma fonksiyonunun yararlanılmış ve kritik değişken ile onu etkileyen değişkenlerin farklı durumlarının kombinasyonlarını içeren oluşan olaylar kümesi oluşturulmuştur. Bu olaylar kümesi MS Excel yardımı ile YSA'ya verilecek girdi/hedef çiftleri halinde kodlanmıştır. İlgilenilen değişkenler nominal olduğu için kullanılan YSA türü geri yayılmaya sahip ileri beslemeli çok katmanlı algılayıcı olarak seçilmiştir [14].

İncelenen değişkenler nominal değişkenlerdir, bu nedenle durumları 0-1 olarak kodlanmıştır. Kodlama aşamasından sonra ise girdi/çıktı çiftlerini içeren veri seti ÇKA eğitmek ve test etmek amacıyla 5/6 ve 1/6 oranlarında ikiye bölünmüştür [15].

ÇKA'nın hata oranı 0.02 olarak belirlenmiş [16] ve istenen performans sergilendiğinde ÇKA'nın eğitiminin tamamlanmış olduğu sonucuna varılmıştır. ÇKA eğitim setinden farklı bir test seti kullanılarak test edilmiş ve bu veriler için de istenen sonuçları üretebilmiştir. Bundan sonra değişken önemlerinin saptanması aşamasına geçilmiştir. Bu aşamanın ayrıntıları izleyen bölümde verilmektedir.

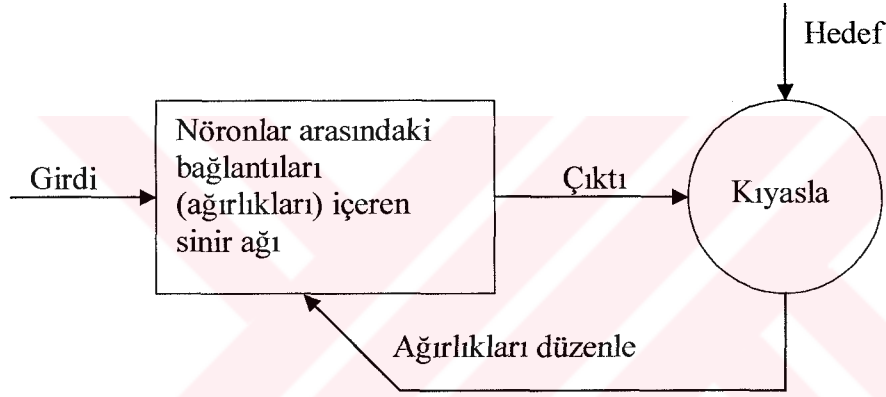
3.6 Değişkenlerin Önem Derecelerinin Saptanması

Sistemi etkileyen değişkenlerin önem derecelerinin saptanması için YSA'ndan yararlanılmıştır. YSA, uyarlanabilir, doğrusal olmayan, modelden bağımsız tahmin edicilerdir ve parazitli (noisy) veri ve aşırı değerlerle karşılaşılması durumlarında güvenilirlerdir. YSA'nın veri kümelerinden model (pattern) öğrenebilme özellikleri ve örneklenmemiş durumlarda veri modelini yeniden üretebilme yetenekleri dikkate değerdir. İzleyen bölümlerde YSA genel olarak açıklandıktan sonra ÇKA hakkında ayrıntılı bilgiler verilecektir.

3.6.1 Yapay Sinir Ağları

Sinir ağları paralel çalışan basit elemanlardan oluşmaktadır. Bu elemanlar ve onların işleyişi biyolojik sinir sistemlerine benzemektedir. Doğada olduğu gibi, ağ fonksiyonu, büyük oranda elemanlar arasındaki bağlantılar tarafından belirlenmektedir. Bir sinir ağı, özel bir fonksiyonu yerine getirmek üzere bağlantıların değerleri (ağırlıkları) düzenlenerek eğitilebilir.

Belirli bir girdinin özel bir hedef çıktısını vermesi amacıyla sinir ağları çoğunlukla düzenlenir (adjust) ya da eğitilir (train). Böyle bir işleyiş Şekil 3.21’de gösterilmektedir. Burada ağ, çıktı hedefle örtüşünceye kadar çıktı ile hedefin karşılaştırılması esas alınarak düzenlenmektedir. Bu *denetimli öğrenme*de bir ağı eğitmek için tipik olarak çok sayıda girdi/hedef çiftleri kullanılmaktadır.



Şekil 3.21 Sinir ağının eğitilmesi [17] s.18

Bir ağın kitlesel eğitimi, ağırlık ve eğilim değişikliklerinin tüm girdi vektörleri kümesi esas alınarak yapılması ile olmaktadır. Artımlı eğitim, bir ağı ağırlık ve eğilimlerini her girdi vektörünün tanıtımından sonra gerekirse değiştirmektedir. Artımlı eğitime *uyarlamalı* eğitim de denmektedir.

Sinir ağları örnek tanıma, belirleme, sınıflandırma, konuşma, görme ve kontrol sistemlerini de içeren çeşitli uygulama alanlarında karmaşık fonksiyonları yerine getirmek için eğitilmektedir.

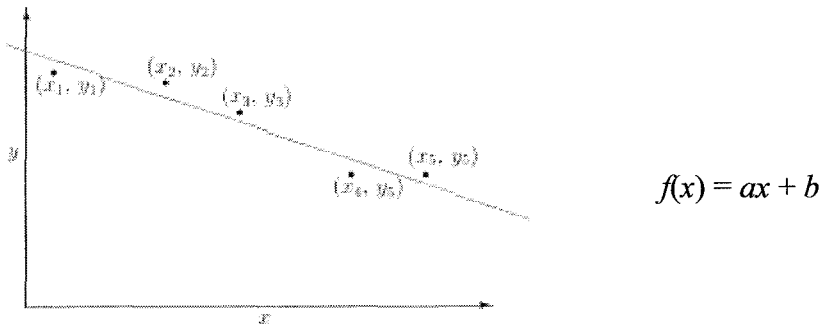
Bugün sinir ağları geleneksel bilgisayarlar ya da insanlar için zor problemleri çözmek için eğitilmektedir ve mühendislik, finans ve diğer pratik uygulama alanlarında sıklıkla kullanılmaktadır.

Sinir ağırları ve istatistik arasında kullanılan kavramlar ve işlemler arasında büyük bir benzerlik vardır. Tablo 3-7’de istatistik ve sinir ağırları terimlerinin bir karşılaştırması verilmektedir.

Tablo 3-7 Sık kullanılan istatistik ve sinir ağırları terimleri karşılaştırması

İstatistik	Sinir ağırları
Model	Ağ
Tahmin	Öğrenme
Regresyon	Denetimli öğrenme
İnterpolasyon	Genelleştirme
Gözlemler	Eğitim kümesi
Parametreler	Ağırlıklar
Bağımsız değişkenler	Girdiler
Bağımlı değişkenler	Çıktılar

İstatistikte regresyon problemleri parametrik ve parametrik olmayan şeklinde iki alt başlıkta incelenebilir. Parametrik regresyonda bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki fonksiyonel ilişkinin biçimi bilinmekte ve bu ilişkiyi tanımlayan fonksiyon, değerleri bilinmeyen ancak eğitim kümesinden tahmin edilebilecek parametreler içermektedir. Örnek olarak bir dizi noktalar çiftini doğrusal olarak birleştirmek parametrik regresyondur çünkü y ’nin x ’e bağımlılığının fonksiyonel biçimi $-a$ ve b değerleri bilinmese de $-$ verilmiştir. Bu durum Şekil 3.22 ile örneklenmektedir.



Şekil 3.22 Bir dizi nokta çiftinin doğrusal olarak birleştirilmesi

Parametrik olmayan regresyonu parametrik regresyondan ayıran özellik ise tahmin edilen fonksiyonun biçimi hakkında önceden bilgiye sahip olunmamasıdır.

Fonksiyon serbest (bilinmeyen) parametrelere sahip bir denklem ile modellenmektedir ancak bu modelin temsil ettiği fonksiyonlar (denklemler) sınıfı oldukça geniştir.

Pek çok alandaki istatistiksel uygulamalarda sık yaşanan bir sorun, bazı girdi – çıktı çiftlerinden, bir fonksiyonu, biçimi hakkında çok az bilgi ile veya hiç bilgi olmadan tahmin etmektir. Sinir ağları terminolojisinde bu tür problemlere denetimli öğrenme denir. Fonksiyon, sinir ağı tarafından, bir *öğreticinin* sağladığı örneklerden *öğrenilir*. Örnekler kümesi ya da *eğitim kümesi* bağımsız (girdi) değişken ve bağımlı (çıkı) değişken çiftlerinden oluşan elemanlara sahiptir. (4.1) ile verilen eşitlikte x (vektör) bağımsız değişken ve y (skaler) bağımlı değişkendir. y değişkeninin değeri f fonksiyonu ile x vektörel değişkenin değerine bağlanmıştır.

$$y = f(x) \quad (4.1)$$

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}$$

Eğitim kümesi (4.2)'deki gibi gösterilir. p eğitim kümesindeki çiftlerin sayısıdır.

$$\tau = \{(x_i, \hat{y}_i)\}_{i=1}^p \quad (4.2)$$

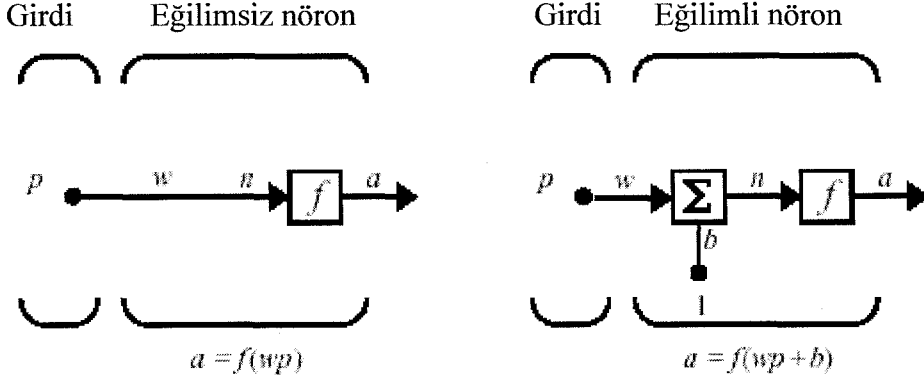
y 'nin üzerinde şapka bulunmasının nedeni eğitim kümesindeki çıktı değerlerinin parazit (noise) nedeni ile bozulmuş olduğu varsayımdır. Başka bir deyişle x_i ile çift oluşturacak doğru y_i değeri bilinmemektedir. $\hat{y}_i$ değeri, y_i ile küçük bir miktar parazitin toplamına eşittir.

YSA'nın eğitiminde sıklıkla denetimli yöntemler kullanılır, ancak denetimsiz eğitim ya da doğrudan tasarım yöntemleri kullanılarak da ağlar elde edilebilmektedir. Denetimsiz ağlar, örneğin, veri gruplarını belirlemek için kullanılabilir. Doğrusal ağların belirli türleri ve Hopfield ağları doğrudan tasarlanmaktadır. Kullanıcının seçim yapabileceği pek çok öğrenme ve tasarım teknikleri bulunmaktadır.

Sinir ağlarının 50 yıllık bir geçmişi vardır, ancak son 15 yıldır somut uygulamalar yapılmaktadır ve bu alan hızla gelişmektedir. Bu nedenle sinir ağları kontrol sistemleri ya da optimizasyon gibi terminoloji, temel matematik ve tasarım

prosedürlerinin sağlam olarak oturtulduğu ve yıllardır uygulandığı alanlardan açıkça farklıdır.

Şekil 3.23’de sırayla skaler girdili, eğilimsiz bir nöron ve yine skaler girdili eğilimli bir nöron gösterilmektedir.

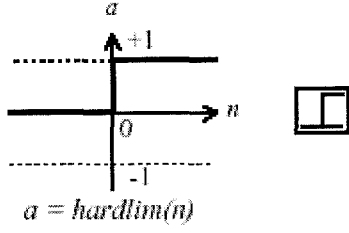


Şekil 3.23 Sırayla eğilimsiz ve eğilimli nöronlar [17] s.36

Şekil 3.23’te görülen nöronlar için, p skaler girdisi (yine bir skaler olan wp çarpımını oluşturmak için) gücünü w kat arttıran bir bağlantı üzerinden taşınmaktadır. Burada wp ağırlıklandırılmış girdi, a skaler çıktısını üreten f iletim fonksiyonunun tek argümanıdır. Şekil 3.23’te sağdaki nöron skaler bir eğilime (b) sahiptir. Eğilim basit şekilde wp çarpımına eklenmekte, başka bir deyişle, f fonksiyonunu b büyüklüğü kadar sola ötelemektedir. Eğilim ağırlığa benzemektedir, ancak 1 sabit girdisine sahiptir. Ağırlık eğitimi sırasında w ağırlıkları gibi b eğilimi de hedefe ulaşılan kadar farklı değerler alabilmektedir.

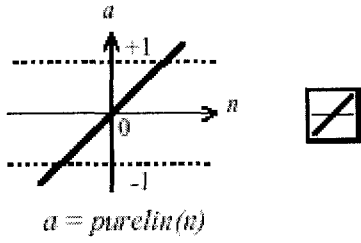
İletim fonksiyonunun net girdisi yine bir skaler olan n , wp ağırlıklı girdisi ve b eğiliminin toplamına eşittir. Bu toplam f iletim fonksiyonunun argümanıdır. Burada f genellikle step fonksiyon ya da sigmoid fonksiyon olan ve n argümanını alarak a çıktısını üreten bir iletim fonksiyonudur. Dikkat edilmesi gereken nokta, w ve b değerlerinin nöronun *düzenlenebilir* skaler parametreleri olmasıdır. Sinir ağlarının temel fikri, bu tür parametrelerin ağ istenen ya da ilginç bir davranış gösterecek şekilde düzenlenebilmesidir. Bu da ağın özel bir işi yapmak için ağırlık ve eğilim parametreleri düzenlenerek eğitilebilmesi anlamına gelmektedir.

Şekil 3.24’te gösterilen sert-sınır iletim fonksiyonu nöronun çıktısını, n net girdi argümanı 0’dan küçük ise 0 ile, n 0’a eşit ya da 0’dan büyükse 1 ile sınırlamaktadır. Bu fonksiyon sınıflandırma kararları veren nöronlar yaratmak için kullanılmaktadır.



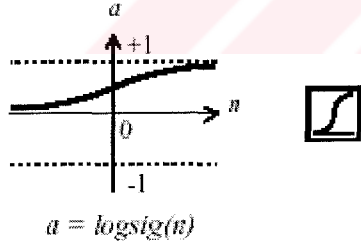
Şekil 3.24 Sert-sınır iletim fonksiyonu [17] s.37

Doğrusal fonksiyon tahmin ediciler olarak kullanılan nöronlarda Şekil 3.25'te görülen doğrusal iletim fonksiyonu kullanılmaktadır.



Şekil 3.25 Doğrusal iletim fonksiyonu [17] s.38

Sigmoid iletim fonksiyonu (Şekil 3.26) artı sonsuz ile eksi sonsuz arasında her hangi bir değere sahip olan girdiyi alır ve çıktıyı $[0,1]$ aralığına sıkıştırır. Bu iletim fonksiyonu diferansiyellenebilir olduğu için sıklıkla geri beslemeli ağlarda kullanılmaktadır.

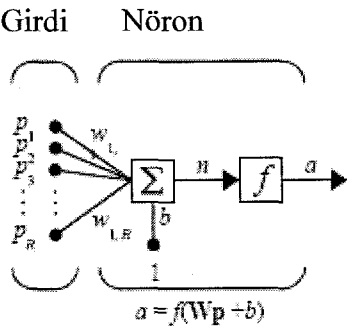


Şekil 3.26 Log-Sigmoid iletim fonksiyonu [17] s.38

Grafiklerin yanında bulunan kare ve bunun içindeki sembol, ilgili iletim fonksiyonunu göstermektedir. Bu semboller ağ gösterimlerinde kullanılan f fonksiyonunun türünü belirtmektedir.

Şekil 3.27'de R elemanlı tek girdi vektörü olan bir nöron gösterilmektedir. Vektörün elemanları $p_1, p_2, \dots, p_R$; $w_{1,1}, w_{1,2}, \dots, w_{1,R}$ ağırlıkları ile çarpılmakta ve ağırlıklandırılmış değerler toplama noktasına beslenmektedir. Toplamları $\mathbf{W}$ matrisi ile $\mathbf{p}$ vektörünün nokta-çarpımı olan $\mathbf{Wp}$ 'dir. Nöronun b eğilimi bulunmaktadır ve bu

sayı n net girdi değerini oluşturmak üzere ağırlıklı girdilerle toplanmaktadır. n toplamı ise f iletim fonksiyonunun argümanıdır.

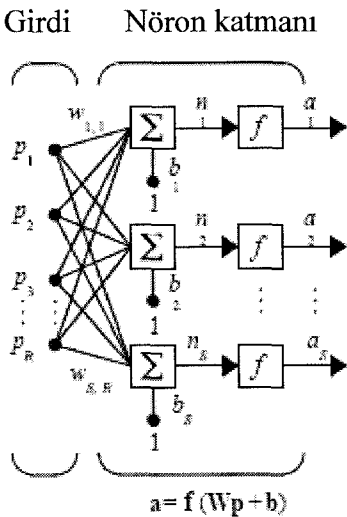


Şekil 3.27 Girdi olarak bir vektöre sahip nöron [17] s.39

Sinir ağları sonlu sayıda nöron içeren pek çok *katmandan* oluşabilir. Bir katman, ağırlıklar, çarpma ve toplama işlemleri, b eğilimi ve f iletim fonksiyonu ile tanımlanır. Girdiler dizisi olan $\mathbf{p}$ vektörü bir katmanda bulunmaz ya da katman olarak adlandırılmaz.

Daha önce gösterilen nöronların iki ya da daha fazlası bir katmanda birleştirilebilir ve belirli bir ağ, bu tür katmanlardan bir ya da daha fazlasını içerebilir.

R adet girdi elemanı ve S adet nörondan oluşan bir katmanlı bir sinir ağı Şekil 3.28’de gösterilmektedir. Bu ağda, $\mathbf{p}$ girdi vektörünün her elemanı her nöron girdisine $\mathbf{W}$ ağırlık matrisi ile bağlanmaktadır. i . nöron kendi $n(i)$ skaler çıktısını oluşturmak için ağırlıklı girdilerini ve eğilimlerini toplayan bir toplayıcıya (Σ) sahiptir. Birlikte alınan farklı $n(i)$ değerleri S elemanlı net girdi vektörü $\mathbf{n}$ ’yi oluşturur. Son olarak, nöron katmanı çıktıları $\mathbf{a}$ sütun vektörünü oluşturur.



Şekil 3.28 Bir sinir ağı [17] s.42

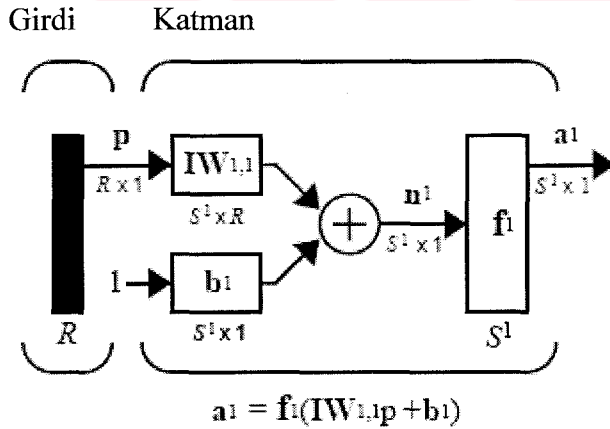
Bir katmanın girdi sayısının nöron sayısından farklı olması sıkça karşılaşılan bir durumdur. Bir katmanın girdi sayısının o katmanın nöron sayısına eşit olma zorunluluğu yoktur.

Girdi vektörü elemanları ağırlıklar matrisi $\mathbf{W}$ 'den geçerek girerler.

$\mathbf{W}$ matrisinin elemanlarının satır indisleri ağırlığın varış nöronunu, sütun indisleri ise ağırlık için hangi kaynağın girdi olduğunu göstermektedir. $w_{1,2}$ 'deki indisler 2. girdi elemanından 1. girdi elemanına sinyal gücünün $w_{1,2}$ olduğunu göstermektedir.

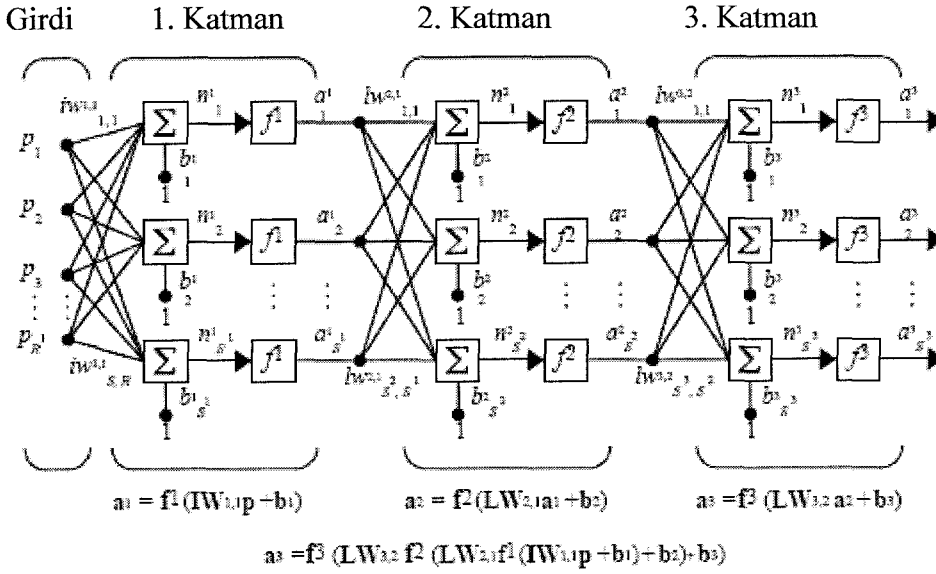
Birden çok katmanlı ağlarda ağırlık matrisleri için kaynak ve hedeflerin belirlenmesi gereklidir. Girdilere bağlı ağırlık matrislerine *girdi ağırlıkları*, katman çıktılarına bağlı ağırlık matrislerine *katman ağırlıkları* denir. Matrislerdeki üst simgelerden ilki hedefi, ikincisi kaynağı göstermektedir.

Birden çok katmanlı ağlarda ağırlık matrisleri için kaynak ve hedeflerin belirlenmesi gereklidir. Girdilere bağlı ağırlık matrislerine *girdi ağırlıkları*, katman çıktılarına bağlı ağırlık matrislerine *katman ağırlıkları* denir. Matrislerdeki üst simgelerden ilki hedefi, ikincisi kaynağı göstermektedir. Şekil 3.29'da görülen $\mathbf{p}$ girdi vektörüne bağlı girdi ağırlık matrisi ($\mathbf{IW}^{1,1}$) 1 kaynağına (2. indis) ve 1 hedefine (varış noktasına, 1. indis) sahiptir. Birinci katmanın elemanları (eğilim, net girdi ve çıktı) birinci katmanla ilgili olduklarının anlaşılması için "1" üst indisine sahiptir. Girdi ağırlık matrislerinden ($\mathbf{IW}$) başka, katman ağırlık matrisleri ($\mathbf{LW}$) de vardır.



Şekil 3.29 Tek katmanlı bir sinir ağı [17] s.44

Bir ağın birkaç katmanı olabilir. Her katmanın bir $\mathbf{W}$ ağırlık matrisi, bir $\mathbf{b}$ eğilim vektörü ve bir $\mathbf{a}$ çıktı vektörü vardır. Her katmanın sayısı katmanlardaki değişkenlere üst indis olarak verilmektedir. Şekil 3.30 üç katmanlı bir ağın notasyonunun ve denklemlerini göstermektedir.



Şekil 3.30 Üç katmanlı bir sinir ağı [17] s.45

Şekil 3.30'da gösterilen ağı, ilk katmanında R^1 girdi, S^1 nöron, ikinci katmanında S^2 nöron vardır. Farklı katmanların farklı sayıda nöronları olması normaldir. Her nöronun eğilimi için sabit 1 girdisi ağı beslenmektedir.

Her ara katmanın çıktısı izleyen katman için girdidir. Yalnız ikinci katman dikkate alınırsa, bu katmanın S^1 girdisi S^2 nöronu ve $S^1 \times S^2$ boyutlu W^2 ağırlık matrisi vardır. a^1 ikinci katman için girdidir, a^2 de çıktıdır. İkinci katmanın tüm vektörleri ve matrisleri tanımlandıktan sonra bu katman tek katmanlı bir nöron gibi düşünülebilir. Bir ağdaki herhangi bir katman vektörleri ve matrisleri belirlenerek tek katmanlı bir nöron olarak düşünülebilir.

Çok katmanlı bir ağı katmanlarının farklı işlevleri vardır. Ağ çıktısını oluşturan katmana *çıktı katmanı* denir. Diğer tüm katmanlar *gizli katmanlardır*. Çok katmanlı ağlar oldukça güçlüdür. Örneğin birinci katmanın sigmoid, ikinci katmanın doğrusal olduğu iki katmanlı bir ağ, herhangi bir fonksiyonu oldukça iyi tahmin etmek üzere eğitilebilir. Bu tür iki katmanlı ağlar geri beslemeli ağlarda oldukça geniş kullanım bulmaktadır. Burada bahsedilen üç katmanlı ağ için üçüncü katmanın çıktısı olan a^3 , ilgilenilen ağı bütünü için çıktıdır ve y olarak adlandırılmıştır.

Girdi verilerinin biçimi ağların simülasyonunu etkilemektedir. Girdi vektörlerinin iki temel tipi vardır: eş zamanlı (aynı anda) oluşanlar ve amanda sırasal olarak oluşanlar. Eş zamanlı vektörler için dıra önemli değildir, ancak tahmin edilebileceği gibi sırasal vektörler için vektörlerin kullanılma sırası önemlidir.

Bir ağın benzetimi için en kolay durum ağı statik (geri beslemesi ya da gecikmesi olmayan) olmasıdır. Bu durumda girdi vektörlerinin belirli bir zaman sırasında oluşması ya da oluşmaması bir değişiklik yaratmaz. Ağı yalnız bir girdi vektörüne sahip olduğu varsayımı problemi daha da basitleştirecektir.

Bir ağda gecikmeler varsa, bu ağ dinamik olarak adlandırılır ve ağ girdisi belli bir zaman sırasına göre oluşan girdi vektörleri dizisi olacaktır. Vektörlerin ağa girdi olarak verilmiş sırası önemlidir, sıra değiştiğinde elde edilen sonuç farklı olacaktır.

Yapay sinir ağlarının eğitilmesinde iki farklı stil söz konusudur: artımlı eğitim ve kitle eğitimi. Artımlı eğitim uygulanıyorsa ağı ağırlıkları ve eğilimleri her girdi verilmişinde güncellenir. Kitle eğitimi uygulandığında ise ağırlıklar ve eğilimler tüm girdiler ağa verildikten sonra güncellenir.

Artımlı eğitim hem statik hem de dinamik ağlara uygulanabilir ancak sıklıkla dinamik ağlara uygulanır. Statik ağların artımlı eğitiminde ağırlıklar ve eğilimler her girdiden sonra güncellenir, girdiler ve hedefler ağa dizi halinde art arda verilir. Ağırlıkların ve eğilimlerin ancak tüm girdiler ağa verildikten sonra güncellendiği kitle eğitimi, hem statik hem de dinamik ağlara uygulanabilir.

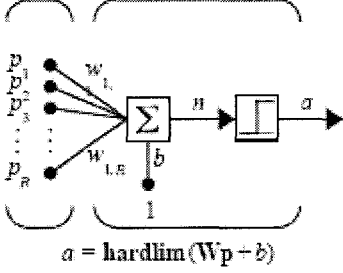
Bu tez çalışmasında değişken önemlerini belirlemek için çok katmanlı algılayıcılar (ÇKA) kullanılmıştır. YSA türlerinden ÇKA'nın seçilmesinin nedeni girdi ve çıktı değişkenlerin kategorik değişkenler olmasıdır. İzleyen bölümde ÇKA ayrıntılı şekilde açıklanmaktadır.

3.6.2 Çok Katmanlı Algılayıcılar

Çok katmanlı algılayıcılar (ÇKA) denetimli öğrenme problemlerine (regresyon, sınıflandırma, zaman serisi tahmini vb.) uygulanan yapay sinir ağlarından biridir. Bu bölümde öğrenme kuralları (ağda yapılacak değişikliklerin nasıl yapılacağına ilişkin yöntemler) ve eğitim (ağı yapması gereken belli bir işin prosedürü) konularından bahsedilmekte, ancak algılayıcı oluşturma, başlangıç değerlerini atama ve benzetim kodlarına 5. bölümde yer verilmektedir.

Algılayıcı ismi 1958'de Rosenblatt tarafından sunulmuş ve algılayıcıların pek çok varyasyonu yaratılmıştır [18]. Bu algılayıcıların en basitlerinden biri, ilgili girdi vektörü verildiğinde doğru hedef vektörünü üretmek için ağırlıkları ve eğilimleri eğitilebilen tek katmanlı bir ağıdır. Eğitim tekniğine *algılayıcı öğrenme kuralı*

denmektedir. Algılayıcılar ilk kez ortaya çıktıklarında eğitim vektörlerinden geliştirilebilir özellikleri nedeniyle büyük ilgi toplamışlardır. Şekil 3.31’de iletim fonksiyonu olarak sert sınır fonksiyonunu kullanan bir algılayıcı nöron görülmektedir.



Şekil 3.31 Tek katmanlı bir algılayıcı

Çalışmada kullanılan ÇKA hata geriye yayma yöntemi ile eğitilen ileri beslemeli sinir ağlarıdır. Hata geriye yayılımı Widrow-Hoff öğrenme kuralının çok katmanlı ağlara ve doğrusal olmayan diferansiyellenebilir iletim fonksiyonlarına geliştirilmesi ile ortaya çıkmıştır. Girdi ve hedef vektörleri, ağ, bir fonksiyon tahmin edinceye, girdi vektörlerini belirli çıktı vektörleri ile ilişkilendirinceye ya da girdi vektörlerini kullanıcı tarafından tanımlanana uygun bir şekilde sınıflandırıcaya kadar ağın eğitiminde kullanılır.

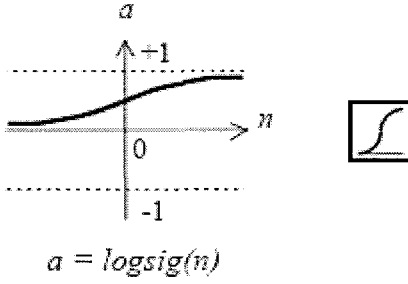
Standart geri yayılma eğim düşümü algoritmasını kullanır, ağırlıklar performans fonksiyonunun negatifi boyunca hareket ettirilir. Performans fonksiyonu ağın yaptığı hata oranını gösterir ve değeri enküçülenmeye çalışılır. En sık kullanılan performans fonksiyonlarından biri hataların karelerinin ortalamasıdır. Geri yayılma terimi doğrusal olmayan çok katmanlı ağlar için eğimin hesaplanma biçiminden gelmektedir. Temel algoritmanın eş eğim ya da Newton yöntemleri gibi varyasyonları bulunmaktadır.

Uygun bir şekilde eğitilen geri yayılmalı ağlar daha önce görmedikleri girdiler için anlamlı yanıtlar üretebilmektedirler. Yeni bir girdi, ağın eğitiminde kullanılmış girdilerden kendisine benzeyen bir girdinin ürettiği çıktıya benzer bir çıktı üretecektir. Bu geliştirme özelliği ağı olası tüm girdi/çıktı çiftleri yerine bunları temsil eden bir alt küme kullanılarak eğitime olanağı tanımaktadır. Eğitim sürecinde izlenen dört ana adım;

- eğitim verisinin toplanması

- ağın oluşturulması
- ağın eğitilmesi
- ağın yeni girdilere yanıt vermek üzere benzetimi

şeklinde. Çok katmanlı ileri beslemeli ağlar sıklıkla geri yayılma algoritması ile kullanılmaktadır. Bu ağlar genellikle Şekil 3.32’de görülen *logsigmoid* iletim fonksiyonunu kullanmaktadır.



Şekil 3.32 Logsigmoid iletim fonksiyonu

Logsigmoid iletim fonksiyonunun kullanan ağlar değerleri artı sonsuz ile eksi sonsuz arasında değişen girdileri alarak, değerleri $[0,1]$ aralığında değişen çıktılar üretirler. Geri yayılmalı ağlarda önemli olan kullanılan iletim fonksiyonlarının türevlenebilir olmasıdır.

İleri beslemeli ağlar sıklıkla sigmoid nöronlardan oluşan bir ya da daha fazla gizli katmana sahiptir. Bu gizli katmanlar doğrusal iletim fonksiyonuna sahip çıktı katmanı ile izlenebilir. Doğrusal çıktı katmanı $[-1, 1]$ aralığının dışında çıktılar üretebilmektedir. Gizli katmanı sigmoid, çıktı katmanı doğrusal olan iki katmanlı bir YSA doğrusal olmayan herhangi bir fonksiyonu tahmin etmede oldukça iyi performans sergileyebilir. Diğer bir yandan, çıktı değerleri $[0, 1]$ aralığı ile sınırlanmak isteniyorsa çıktı katmanının iletim fonksiyonu logsigmoid olarak seçilmelidir.

Geri yayılma algoritması ağ ağırlıklarını ve eğilimlerini performans fonksiyonunun değerinin en hızlı düşeceği yönde güncellemektedir. Bu algoritmanın bir adımı

$$x_{k+1} = x_k - \alpha_k g_k$$

ile verilebilir. Bu eşitlikte x_k geçerli ağırlıkların ve eğilimlerin vektörüdür, g_k geçerli eğimdir ve α_k öğrenme oranıdır. Eğim düşümü algoritması kitlesel ya da artımlı

şekilde kullanılabilir. Kitlesele kullanıldığında tüm girdiler ağı verildikten sonra yeni eğim hesaplanır, artımlı kullanıldığında ise ağı her girdi verilisinde yeni eğim hesaplanır.

ÇKA tasarımında önemli noktalardan biri gizli katmandaki nöron sayısının seçilmesidir. Nöron sayısı YSA performansını etkileyen önemli parametrelerden biridir. Gizli katmanda nöron sayısının gerekenden az kullanılması YSA'nın yetersiz öğrenmesine, gerekenden çok kullanılması ise veri setinin ağı tarafından ezberlenmesine neden olur [19]. Nöron sayısının belirlenmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri girdi nöron sayısı ile çıktı nöron sayısının karekökünü gizli nöron sayısı olarak seçmeyi önermektedir. Ancak bu yaklaşık bir değerdir ve bazı iyi bir sonuç vermeyebilir. Bundan başka nöron sayısı deneme yanılma yöntemi ile belirlenebilir. Bu yöntem zaman alıcı olsa da ilk yönteme göre daha iyi sonuçlar vermektedir. [16].

Bu çalışmada girdi değişkenlerin çıktı değişkeni etkileme derecesi bulunurken iki katmanlı bir ÇKA kullanılmıştır. Gizli katman olan ilk katman için iletim fonksiyonu olarak tansigmoid, çıktı katmanı olan ikinci katman için logsigmoid, eğitim fonksiyonu olarak ölçekli eğim düşümü, uyarılma öğrenme kuralı olarak momentli eğim düşümü ve performans fonksiyonu olarak da hataların karelerinin ortalaması kullanılmıştır. Ölçekli eğim düşümü eğitim fonksiyonu diğerlerine kıyasla daha hızlı çalışmakta ve performans fonksiyonu 0.02'den düşük değerler vermektedir. Başka bir deyişle bu fonksiyonun hata yüzdesi diğer eğitim fonksiyonlarına kıyasla oldukça düşüktür.

Eğitilmiş ve test edilmiş, doğru çalışan bir YSA'nın ağırlıkları girdi değişkenlerin çıktı değişken(ler) üzerinde sahip olduğu etkinin/önemin belirlenmesinde kullanılabilir [16]. Girdi hücrelerini gizli hücelere bağlayan ağırlıklardan değeri sıfıra yakın olan ağırlıklara sahip olan girdi sinir hüceleri çıktı üzerinde daha az öneme sahip iken mutlak değerce büyük ağırlıklara sahip girdi sinir hüceleri çıktı üzerinde büyük öneme sahiptir.

Eğitim ve test aşamaları tamamlanmış bir YSA'nın katman ağırlıkları kullanıcıya girdi değişkenler hakkında bir bilgi sağlayabilir. Bu bilgi girdi değişkenlerin çıktı değişken üzerinde sahip olduğu etki/önem derecesi ile ilgilidir. Girdi hüceleri gizli hücelere bağlayan ağırlıklar bu girdilerin çıktı üzerindeki önemlerine işaret

etmektedir. Ağırlıkları sıfıra yakın olan girdi değişkenlerin çıktı değişken üzerindeki etkisi düşük, ancak ağırlıkları büyük olan girdi değişkenlerin etkileri büyük olacaktır. Bu noktada ağırlıkların negatif olması dikkate alınmaz, mutlak değerce büyük ağırlığa sahip girdi değişkenler diğerlerinden daha önemlidir [16].

Oluşturulan ÇKA istenen performansı eğitim ve test verileri için gösterdikten sonra bu ÇKA'nın katman ağırlıkları girdi değişkenlerin önemlerinin saptanmasında kullanılmıştır. Girdi hücreleri gizli hücrelere bağlayan ağırlıklardan değeri sıfıra yakın olanların çıktı değişkeni diğerlerine göre daha az etkilediği ancak ağırlıkları mutlak değerce büyük olanların çıktı değişken üzerinde daha büyük etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Kullanılan ÇKA'da tüm girdi nöronlar tüm gizli nöronlarla ve tüm gizli nöronlar da tüm çıktı nöronlarla bağlantılı olduğundan böyle bir yaklaşım tercih edilmiştir.

Bu noktaya kadar önerilen modelin aşamaları ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Bir sonraki bölümde önerilen modelde kullanılan yazılımlar açıklanmaktadır.

4 YARARLANILAN YAZILIMLAR

Son 15 yıl içinde BA üzerine yapılan araştırmaların hızla artması bu alanda da çok çeşitli yazılımların üretilmesine neden olmuştur. Bunlardan bazıları Analytica, BayesiaLab, Bayesware Discoverer, Hugin ve Netica olarak sayılabilir. Kevin Murphy tarafından hazırlanan, BA yazılımları ile ilgili bilgiler ve bu yazılımların karşılaştırması için kaynak [20]'ye başvurulabilir. YSA konusunda geliştirilmiş yazılımlar ise daha geniş bir yelpazeye yayılmaktadır. Netlab, Neurodimension, NeuroXL, Matlab'ın YSA araçkütüsü (toolbox) bunlar arasında ilk akla gelenlerdir.

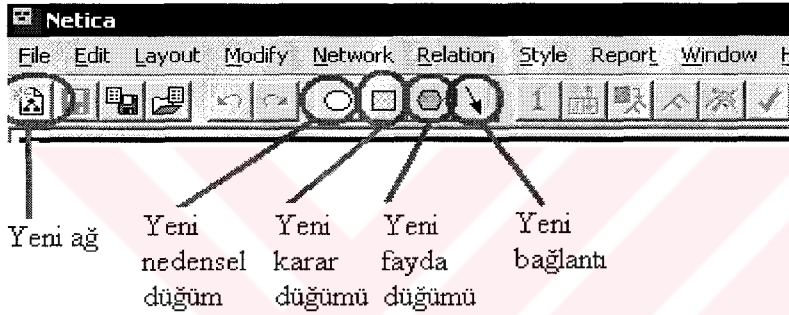
Tez çalışmasında BA kurulması, derlenmesi ve YSA'na girdi kümesi oluşturulması aşamalarında Netica 1.12, BA'ndaki değişken durumlarının koşullu olasılıklar tablolarının oluşturulması, girdi kümesinin kodlanması ve saklanması için MS Excel, YSA oluşturulması, eğitimi, test edilmesi ve ağırlıkların değerlendirilmesi için MATLAB yazılımları kullanılmıştır. MS Excel bir veri tabanı olarak kullanıldığından ve girdi ve çıktı değişkenlerin kodlanmasında bu programdan yararlanıldığından tez kapsamında ayrıntılı açıklanmaya gerek görülmemiştir. İlerleyen bölümde önce Netica 1.12, sonra MATLAB 6.5 yazılımları anlatılacaktır.

4.1 Netica 1.12

Netica yazılımı Norsys Corp. Şirketine ait bir üründür [21]. Bu yazılım ücretli olup sınırlı versiyonu ücretsiz olarak kullanılabilir. Tez çalışmasında da bu sınırlı versiyon kullanılmıştır. Bu versiyondaki sınırlandırma, kullanılabilen değişken sayısının en fazla 15 olmasıdır. 15'ten fazla değişken içeren ağlar da kurulabilmekte ve çalıştırılabilmekte ancak kaydedilememektedir. Bu yazılım BA oluşturulması, oluşturulan modeldeki değişken durumlarının diğer değişkenlerle ilişkili olarak olasılık tablolarının hazırlanması, bu tablolara değişken olasılıklarının girilmesi ve modelin derlenerek tahmin için hazır hale getirilmesi aşamalarında kullanılmıştır. Bu programın grafik arayüzü kullanıcı dostu olarak nitelenebilir.

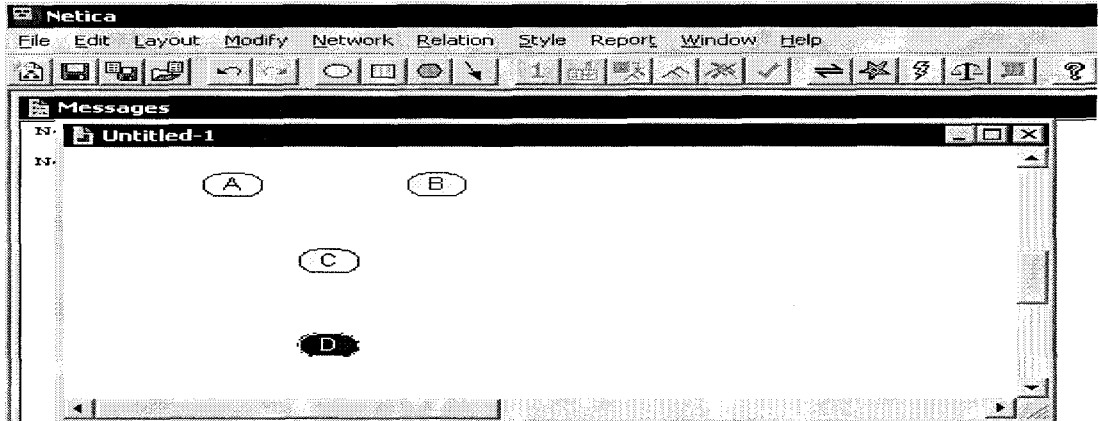
Program açılışı ile "Messages" isimli mesajlar penceresi de açılır. Bu pencerede programda yapılan her hareket, her değişiklik tutulur, program hata verdiğinde

hatanın nedeni de yine bu pencereden kolaylıkla görülebilir. Yeni bir ağ kurmak için “New network” tuşuna basılır ve isimsiz boş bir pencere açılır. Bu pencere boş bir sayfa gibi düşünülebilir ve kurulacak ağın değişkenleri burada istenen yerlere yerleştirilir. Değişken ilk çizildiğinde A harfi ile adlandırılmakta, ismi değiştirilmezse sonraki değişkenler de izleyen harflerle (B, C,...vb.) adlandırılmaktadır. Değişken çizildikten sonra üzerinde iki kez tıklandığında bu değişkenin özelliklerini belirten bir pencere açılır Değişkenler arasındaki nedensel ilişkileri belirtmek için “Add link” isimli bağlantı ekleme tuşuna basıldıktan sonra, farenin sol tuşu ile ebeveyn değişkene bir kez tıklanır, çocuk değişkene kadar sürüklenir ve bırakılır. Buraya kadar anlatılan işlemleri gösteren tuşlar Şekil 4.1 ile verilmektedir.



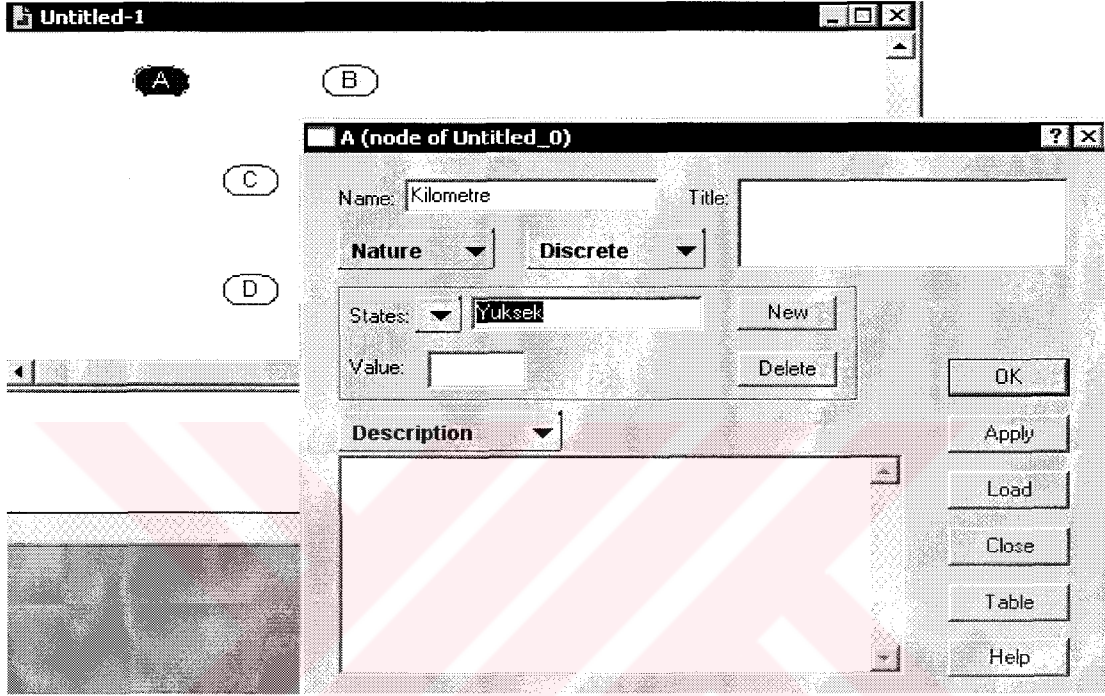
Şekil 4.1 Netica 1.12 menüsünün açıklanması

Önerilen modelin açıklandığı üçüncü bölümde “ikinci el araba satın alma kararı” için BA kurulması baştan sonra izleyen satırlarda anlatılacaktır. İlk olarak yeni bir ağ açılır ve yeni nedensel düğüme tıklanarak değişkenler Untitled-1 (İsimsiz-1) isimli ağ sayfasında yerleştirilir. Şekil 4.2’de ikinci el satın alma problemi için dört değişken yerleştirilmiş bir ağ görülmektedir.



Şekil 4.2 Değişkenlerin çizilmesi

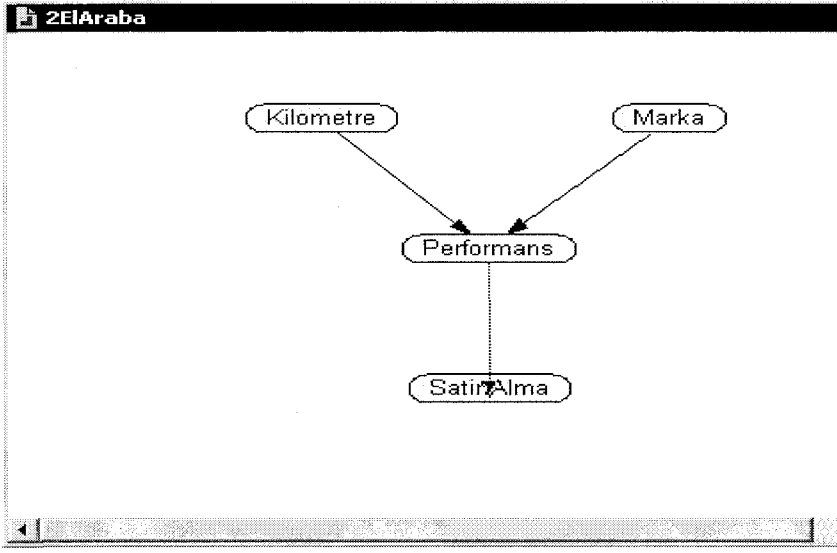
Bundan sonra değişkenlerin isimleri değiştirilmelidir. Değişkenler üzerine iki kez tıklandığında değişken özelliklerini gösteren bir diyalog kutusu açılır. Bu diyalog kutusunda değişken adı, nedensel, karar ya da fayda düğümü olup olmadığı, kesikli ya da sürekli değişken olup olmadığı, sahip olduğu durumlar ve tanımı gibi bilgiler görülebilir ve bu bilgilerde istenen değişiklikler yapılabilir. Bu diyalog kutusu Şekil 4.3 ile verilmektedir.



Şekil 4.3 Değişken özellikleri diyalog kutusu

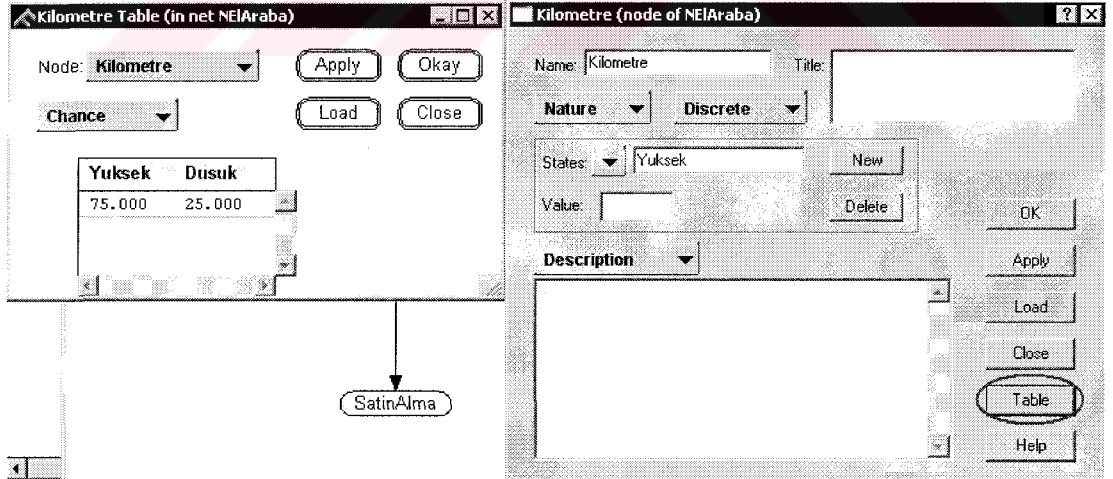
Şekil 4.3 ile verilen diyalog kutusunda değişkenin adı “Name” ile verilen kutucuğa yazılır. Durumlarının isimleri ise “States” ile verilen, aşağı açılır menünün yanındaki kutucuğa (Şekil 4.3’te içinde “Yuksek” yazan kutucuğa”) yazılarak değiştirilebilir. Kullanıcı tarafından değiştirilmediği sürece yeni oluşturulan her değişkenin *doğru* (True) ve *yanlış* (False) olmak üzere iki durumu program tarafından yaratılmaktadır. Program değişken isimlerinde boşluk ya da Türkçe karakter kullanılmasına izin vermemektedir. Ancak “Title” ile belirtilen alanda değişken isminin BA’da gözükmesi istenen şekilde boşluklar kullanarak yazılması mümkündür. Buna karşın kullanılan Türkçe karakterler program tarafından tanınmadığından ağda da gözükmemektedir. Değişken isimleri girildikten sonra değişkenler arasındaki nedensel ilişkiler “Add link” (bağlantı ekle) tuşuna basılarak ebeveyn değişkenden çocuk değişkene doğru olacak şekilde bağlantılar çizilir. İkinci el araba satın alma

kararını modelleyen bu ağıdaki değişken isimleri girildikten sonra bağlantıların kurulması Şekil 4.4 ile gösterilmektedir.



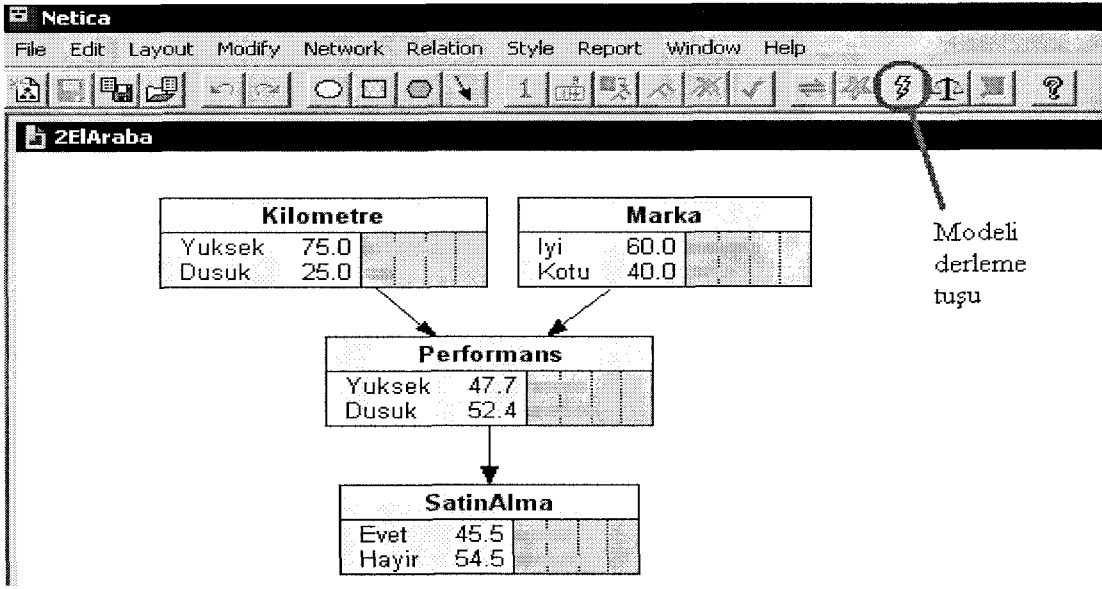
Şekil 4.4 Bağlantıların çizilmesi

Bağlantılar çizildikten sonra değişkenlerin durumları için olasılık tabloları doldurulmalıdır. Olasılık tablolarına değişken üzerinde çift tıkladıktan sonra açılan değişken özellikleri diyalog kutusunun sağında bulunan altı düğmeden yukarıdan beşincisi “Table” (tablo) isimli düğmeye basılır. Bu düğmeye basıldıktan sonra açılan tablo (Şekil 4.5) 0-100 arasında değerler kullanılarak doldurulmalıdır.



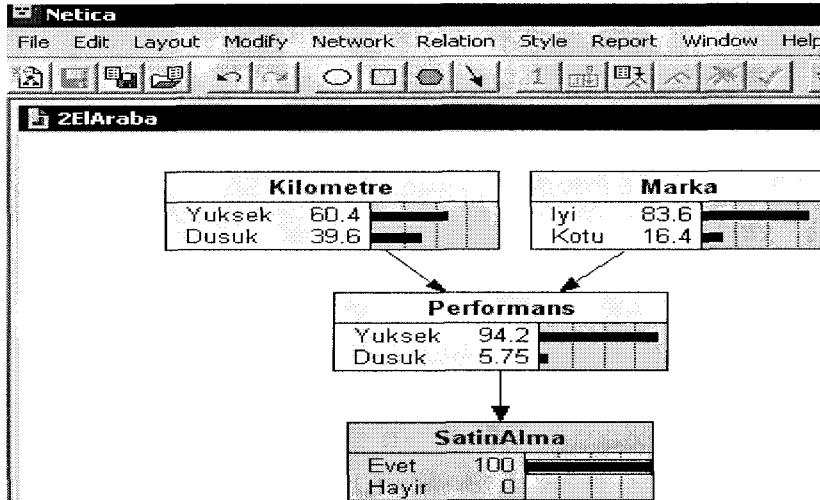
Şekil 4.5 Olasılık tablolarının doldurulması

Modeldeki tüm değişkenler için olasılık tabloları doldurulduktan sonra model derlenir. Modeli derlemek için “Network” menüsünün altından “Compile” seçeneğine tıklanır ya da Şekil 4.6’de kırmızı çember ile gösterilen yıldırım resimli tuşa basılır. Derlenmiş model Şekil 4.6’te verilmektedir.



Şekil 4.6 İkinci el araba satın alma modeli

Şekil 4.6’te verilen model daha önceden derlenmiştir. Ancak model kapatılıp tekrar açıldığında tahmin yapabilmek için yeniden derlenmelidir. Bu modele farklı açılardan yaklaşılabılır. Örneğin satın alınacak arabanın kilometresi düşük olursa satın alma olasılığı ne olur, arabanın kilometresi yüksek ancak markası da iyi olursa satın alma olasılığı ne olur, ya da tersten de düşünülerek satın alma kararının evet olması için marka ve kilometre değişkenlerinin durumlarının olasılıkları ne olmalıdır, gibi sorulara bu model ile yanıt bulunabilir. Son soru ile ilgili yanıtlar Şekil 4.7’te verilmektedir.



Şekil 4.7 Satın alma kararı evet ise diğer değişken durumlarının olasılıkları

Bu bölümde son olarak bahsedilen konu BA’dan veri kümesi oluşturulmasıdır. Netica 1.12’nin “Simulate cases” komutu kullanılarak istenen değişkenler için

simülasyon ile istenen sayıda olay kümesi yaratılabilmektedir. “Simulate cases” komutu “Network” menüsünün altında yer almaktadır. Öncelikle değişkenler seçilir; değişken seçiminde fare ile seçilecek değişkene bir kez tıklanır, birden fazla değişken seçmek için fare ile tıklarken klavyede “Shift” tuşu basılı tutulmalıdır, daha sonra Netica 1.12’de “Network” menüsünün altında bulunan “Simulate cases” tıklanarak simülasyonun kaç olay içereceği belirtilir. Bundan sonra oluşturulan olayların saklanacağı dosyanın adı verilir. Bu dosya .cas uzantılı bir dosyadır ve Notepad (Not defteri) ile açılabilir. Netica 1.12, istenirse kayıp veriye sahip bir olaylar kümesi oluşturabilmektedir. Bu durumda kümede bulunacak kayıp veri yüzdesi verilmelidir.

Örnek olarak yaratılan 10 adet olay Tablo 4-1’de verilmektedir.

Tablo 4-1 Örnek olarak yaratılan olaylar

IDnum	Performans	Marka	Kilometre	SatinAlma
1	Dusuk	Kotu	Yuksek	Hayir
2	Yuksek	Kotu	Dusuk	Evet
3	Dusuk	Kotu	Yuksek	Hayir
4	Yuksek	Iyi	Dusuk	Evet
5	Dusuk	Kotu	Yuksek	Hayir
6	Yuksek	Iyi	Dusuk	Evet
7	Dusuk	Kotu	Yuksek	Hayir
8	Dusuk	Iyi	Yuksek	Hayir
9	Dusuk	Kotu	Yuksek	Hayir
10	Dusuk	Iyi	Yuksek	Hayir

Tablo 4-1 ile verilen olaylar değişkenlerin olasılıklarına göre oluşturulmaktadır. Yüksek olay sayıları için (örneğin 1000) oluşturulan olaylar değişken durumlarının olasılıklarına yaklaşmaktadır.

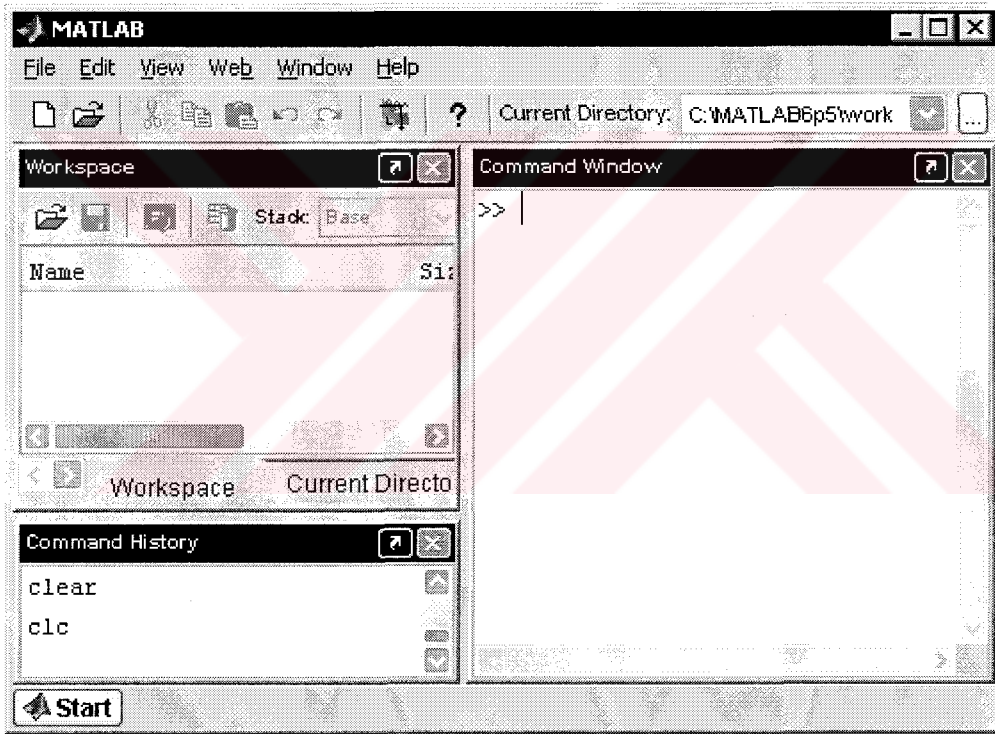
Netica 1.12 ile derlenen BA’da üretilen veriler YSA için girdi/hedef çiftlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. YSA oluşturulması, eğitimi ve test edilmesi için MATLAB yazılımı kullanılmıştır. İzleyen bölümde bu yazılım hakkında verilen bilgiler programın tezde kullanıldığı kadarıyla sınırlı tutulmuştur.

4.2 MATLAB 6.5

MATLAB ismi “Matrix Laboratory”den gelmektedir [22]. MATLAB oldukça gelişmiş bir mühendislik programı olarak nitelendirilebilir. Bu programda kullanılan tüm değişkenler matrisler olarak kabul edilmektedir. $X=5$ ile programa tanıtılacak bir değişken için, bu değişkenin değeri 1×1 boyutunda bir matriste saklanmaktadır. Bu

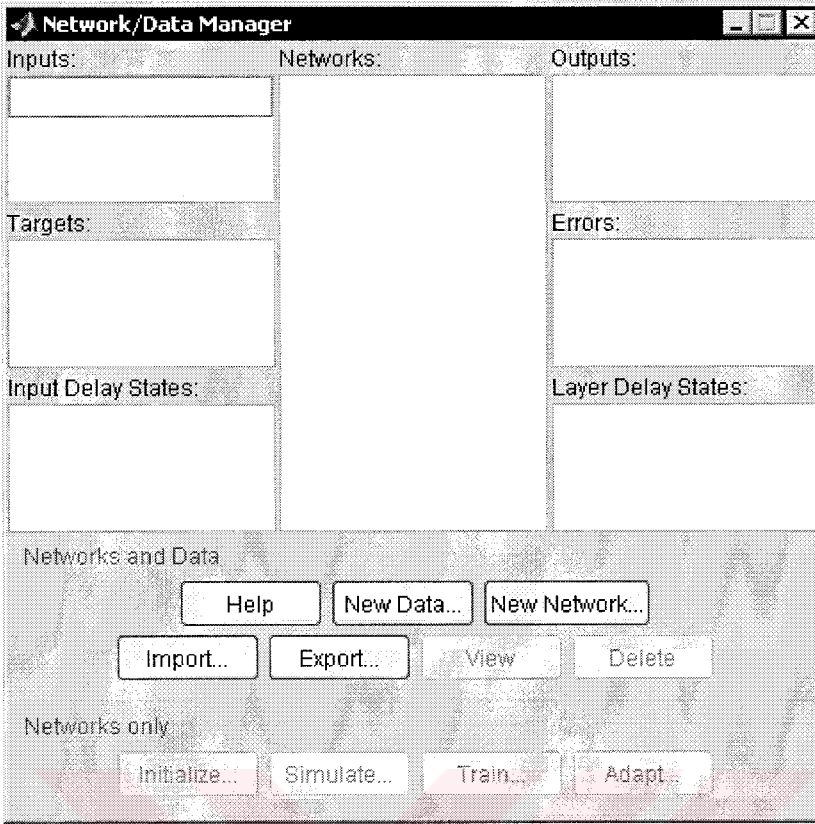
programın farklı amaçlar için tasarlanmış 17 adet araç kutusu vardır ve tez kapsamında bunlardan biri olan “Neural Network Toolbox” isimli sinir ağı araç kutusundan yararlanılmıştır.

MATLAB üç alanın birleştiği bir pencere ile açılır. Sol üstte olan pencere çalışma alanını (Workspace) göstermektedir. MATLAB çalıştığı süre boyunca yaratılan değişkenler bu alanda saklanır. Sol alt pencere ise komut geçmişini (Command History) saklamaktadır. Daha önce yazılan komutların tekrar kullanılması gerektiğinde bu komutlara komut geçmişi penceresinden erişilebilir. Sağ tarafta ise MATLAB’ın komut penceresi (Command Window) bulunmaktadır. Komutlar ve sonuçlar bu pencerede gösterilmektedir. Şekil 4.8 MATLAB programının görüntüsünü vermektedir.



Şekil 4.8 MATLAB programı

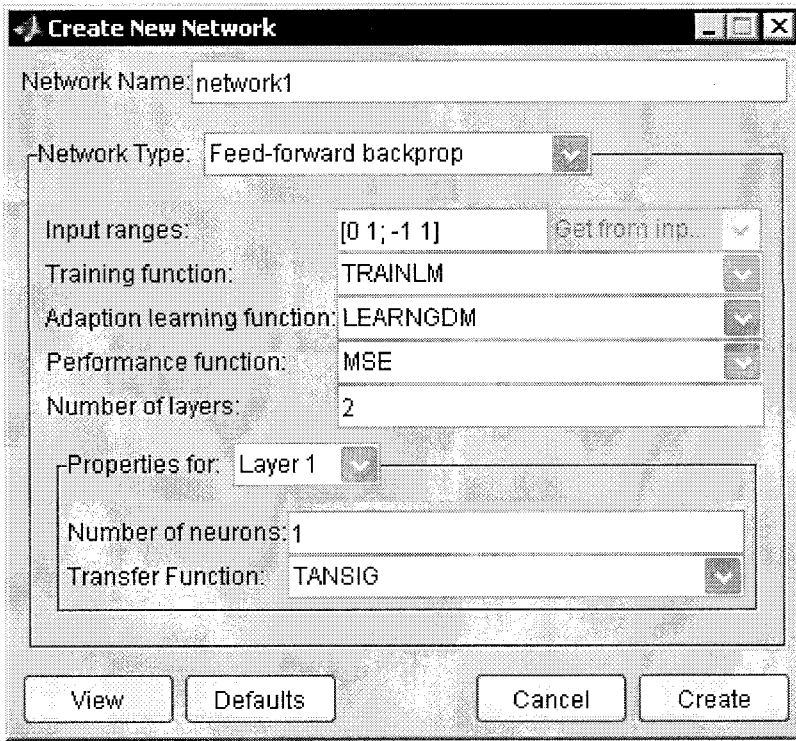
YSA araç kutusu komut satırına (komut penceresi içinde “>>”ile başlayan satır) `nnntool` yazılarak açılır. Bu araç kutusu Ağ/Veri Yöneticisi (Network/Data Manager) ismini taşımaktadır ve Şekil 4.9’de gösterilmektedir.



Şekil 4.9 MATLAB'ın YSA araç kutusu

Girdi ve hedef değişkenler MATLAB çalışma alanına koyulduktan sonra bu çalışma alanındaki değişkenler YSA araç kutusuna ithal edilerek (Import...) YSA oluşturmada kullanılabilir. Benzer şekilde YSA araç kutusu kullanılarak oluşturulmuş sinir ağı nesneleri ve bunların çıktı, hata değerleri de MATLAB'ın çalışma alanına ihraç edilerek (Export...) kaydedilebilir.

Araç kutusunda yeni sinir ağı oluşturmak için basit şekilde “New Network” (Yeni Ağ) tuşuna basılır. Bundan sonra kullanıcı için yeni bir diyalog kutusu açılarak kullanıcıdan oluşturulacak ağın adını, türünü, girdi değerlerinin aralıklarını, eğitim fonksiyonunu, uyarlama öğrenme fonksiyonunu, performans fonksiyonunu ve katman sayısını belirtmesini ister. Katman sayısı belirtildikten sonra katmanlar için özellikler bölümünde geçerli katman için oluşturulacak nöron sayısı ve kullanılacak iletim fonksiyonu türü de belirtilmelidir. Bu diyalog kutusu Şekil 4.10'de verilmektedir.



Şekil 4.10 Yeni ağ oluşturmak için kullanılan diyalog kutusu

Şekil 4.10'da gösterilen diyalog kutusundan oluşturulacak yeni yapay sinir ağı hakkında şu bilgiler elde edilmektedir: Oluşturulacak yeni ağın adı network1'dir. network1'in tipi geri yayılmaya sahip ileri beslemeli ÇKA'dır. Girdi aralıkları [0 1; -1 1]'dir. Eğitim fonksiyonu TRAINLM'dir. Uyarlama öğrenme fonksiyonu LEARNGDM'dir. Performans fonksiyonu MSE (hataların karelerinin ortalaması)'dir. Oluşturulacak bu ağ iki katmana sahiptir ve birinci katman için kullanılan iletim fonksiyonu TANSIG, nöron sayısı ise 1'dir.

Araç kutusundan başka MATLAB'in komut satırı da sinir ağı oluşturmak için kullanılabilir. İleri beslemeli bir ÇKA oluşturmak için aşağıdaki komut yazılabilir:

```
NET = NEWFF(PR,[S1 S2...SN],{TF1 TF2...TF1N}),BTF,BLF,PF)
```

NET, ağa verilecek isimdir. NEWFF, yeni oluşturulacak ağın ileri beslemeli bir ağ olduğunu belirtmektedir ve bu ağ PR,[S1 S2...SN],{TF1 TF2...TF1N},BTF,BLF,PF parametrelerini almaktadır. Bu parametrelerden PR $R \times 2$ boyutlu bir matristir ve R adet girdi elemanı için en küçük ve en büyük değerleri göstermektedir. Si, - Ni tane katman için i. katmanın boyutunu belirtmektedir. TFi, i. katmanın iletim fonksiyonudur ve belirtilmediğinde 'tansig' değerini alır. BTF, geri yayımlı ağ iletim fonksiyonudur ve belirtilmediğinde 'trainlm' değerini alır. BLF, - geri yayımlı ağ apırlık/eğilim öğrenme fonksiyonudur ve belirtilmediğinde 'learnngdm' değerini alır.

PF, performans fonksiyonudur ve belirtilmediğinde 'mse' değerini alır. Bu komut NET isminde N katmanlı geri yayılmaya sahip ileri beslemeli bir ağ nesnesi oluşturur. İzleyen satırlarda Matlab kullanılarak bir ÇKA oluşturulması adım adım anlatılmaktadır.

Çok katmanlı ağlar sıklıkla logsigmoid iletim fonksiyonu 'logsig' i ya da tansigmoid iletim fonksiyonu 'tansig' i, ya da doğrusal iletim fonksiyonu 'purelin' i kullanılmaktadırlar. Çok katmanlı bir ağın son katmanı sigmoidal bir iletim fonksiyonuna sahipse, ağ çıktıları küçük bir aralık ile sınırlanacaktır. Ancak son katmanda doğrusal iletim fonksiyonları kullanılırsa çıktılar herhangi bir değer alabilir. Geri yayılmaya sahip ÇKA'da, kullanılan iletim fonksiyonunun türevlenebilir olması önemlidir. Yukarıda bahsedilen üç iletim fonksiyonunun da sırasıyla olmak üzere 'dlogsig', 'dtansig' ve 'dpurelin' isimli türev fonksiyonları bulunmaktadır.

İleri beslemeli ağlarda ise gizli katmanlarda sıklıkla sigmoidal iletim fonksiyonları, çıktı katmanında ise doğrusal iletim fonksiyonu kullanılmaktadır. Doğrusal olmayan iletim fonksiyonlarına sahip çok sayıda nöron katmanı ağın girdi ve çıktı arasındaki doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkileri öğrenmesine izin vermektedir. Yeni bir ileri beslemeli ağ oluşturmak için öncelikle bir ağ nesnesi oluşturulmalıdır. newff fonksiyonu yeni bir ağ nesnesi oluşturmakta kullanılabilir. Bu fonksiyonun ağ nesnesi oluşturabilmek için dört girdiye ihtiyacı vardır. Bu girdilerden ilki R elemanlı girdi vektörünün her elemanı için en büyük ve en küçük değerleri gösteren $R \times 2$ boyutlu bir matristir. İkinci girdi oluşturulacak her katmanın boyutlarını içeren bir dizidir. Üçüncü girdi her katmanda kullanılacak iletim fonksiyonlarının isimlerini içeren bir dizidir. Son olarak dördüncü girdi ise kullanılacak eğitim fonksiyonunun ismidir. Aşağıda ileri beslemeli bir ağ oluşturmak için kullanılan MATLAB kodu verilmiştir.

```
net=newff([-1 2; 0 5],[3,1],{'tansig','purelin'},'traingd');
```

Bu komut ile "net" isimli bir ağ oluşturulur. Bu komuttan girdi vektörünün ilk elemanı için değerlerin [-1, 2]; ikinci elemanı için ise [0, 5] aralığında değiştiği anlaşılmaktadır. İlk katmanda (gizli katmanda) üç nöron ve çıktı katmanı olan ikinci katmanda bir nöron bulunmaktadır. İlk katmanın iletim fonksiyonu tansigmoidal, ikinci katmanın iletim fonksiyonu ise doğrusaldır. Eğitim fonksiyonu ise daha sonra açıklanacak olan traingd'dir.

Yukarıda verilen komut bir ağ nesnesi oluşturur ve bu ağın ağırlıkları ve eğilimleri için başlangıç değerlerini atar. Böyle ağ, eğitime hazır hale gelmiş olur. Bazı durumlarda bu ağırlık ve eğilimler için yeni başlangıç değerleri atanması gerekebilir. Bunun için 'init' fonksiyonu kullanılmaktadır. Fonksiyonun kullanımı

```
net=init(net);
```

şeklinde dir. Bir sinir ağının simüle edilmesi için ise 'sim' fonksiyonu kullanılmaktadır. sim fonksiyonu p girdisini ve net ağ nesnesini alarak a çıktısını üretir.

```
p = [1;2];  
a = sim(net,p)  
a = 1.2684
```

a değişkeninin değeri ağın ağırlık ve eğilimlerinin başlangıç değerlerine göre farklılık gösterebilir. sim fonksiyonu ile aynı anda ağa verilen çok sayıda girdi vektörü ile ağ simüle edilebilir.

```
p = [1 3 2;2 4 1];  
a = sim(net,p)  
a = 1.2684 1.2196 1.4568
```

Ağın ağırlıkları ve eğilimleri için başlangıç değerleri atandıktan sonra ağ eğitime hazırdır. Ağ fonksiyon tahmini (doğrusal olmayan regresyon), örnek ilişkilendirme ya da örnek sınıflandırma için kullanılabilir. Eğitim sürecinde uygun ağ davranışını yansıtan girdi/hedef çifti örneklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Eğitim sırasında ağırlıklar ve eğilimler net.performFcn ile gösterilen ağ performans fonksiyonunun enküçüklenmesi için tekrar tekrar düzenlenir. İleri beslemeli ağlar için performans fonksiyonu başka bir değer atanmadığı sürece mse (hedef çıktılar ile ağ çıktılarının arasındaki hata karelerinin ortalaması) 'dır. Burada tanımlanacak tüm eğitim fonksiyonları performansı enküçüklemek için ağırlık ve eğilimleri düzenlerken performans fonksiyonunun eğimini kullanmaktadır. Eğitim geri yayılma denen, ağdaki hesaplamaların geriye doğru yapıldığı bir teknikle belirlenmektedir.

train: kitle eğitimi için kullanılmaktadır. Başka bir deyişle ağırlıklar ve eğilimler, tüm girdiler ağa verildikten sonra güncellenmektedir. Her eğitim örneğinde hesaplanan eğimler ağırlık ve eğilimlerde yapılacak değişikliğin hesaplanması için toplanırlar.

train: bu fonksiyon ağırlıkları ve eğilimleri eğitim düşümü yöntemine göre hesaplamaktadır. X ağırlık ve eğilim vektörü olmak üzere, kullandığı formül: $dX = lr * dperf / dX$. Bu fonksiyonun sahip olduğu bazı parametreler, parametrelerin

anlamları ve kullanıcı tarafından değiştirilmediğinde atanan değerleri izleyen satılarda verilmektedir. Her eğitim fonksiyonun bunlara benzer parametreleri bulunmaktadır, ancak hepsi için bu parametrelerin ayrı ayrı verilmesine gerek görülmemiştir.

net.trainParam.epochs=10 eğitim yapılacak en büyük devir sayısı

net.trainParam.goal=0 Performans fonksiyonunun hedefi

net.trainParam.lr=0.01 Öğrenme oranı

net.trainParam.min_grad=e-10 En küçük performans eğimi

net.trainParam.show=25 Performans fonksiyonu değerinin kaç devirde gösterileceği

net.trainParam.time=inf saniye cinsinde eğitim için geçebilecek en fazla süre

traingdm: momentum ile eğim düşümü. mc momentum sabiti olmak üzere, kullandığı formül: $dX = mc \cdot dX_{prev} + lr \cdot (1 - mc) \cdot dperf/dX$.

traingda: ağırlıkları ve eğilimleri uyarlanabilir öğrenme oranına göre günceller. Kullandığı formül: $dX = lr \cdot dperf/dX$.

traingdx: ağırlıkların ve eğilimlerinin düzenlenmesinde hem momentum hem de uyarlanabilir öğrenme oranı kullanır. Kullandığı formül: $dX = mc \cdot dX_{prev} + lr \cdot mc \cdot dperf/dX$

trainlm: ağırlıkları ve eğilimleri Levenberg-Marquardt optimizasyonuna göre düzenler. Bu eğitim fonksiyonu programı çalıştıran bilgisayarın bellek kaynaklarını tüketebilir. Kullandığı formül: $jj = jX \cdot jX$; $je = jX \cdot E$; $dX = -(jj + I \cdot \mu) \setminus je$.

jX performans fonksiyonunun Jacobien'idir. E tüm hatalardır ve I birim matristir. mu ise uyarlanabilir bir değerdir.

trainscg: ölçekli eş eğim düşümü yöntemini kullanan bir eğitim fonksiyonudur. Diğer fonksiyonlarla karşılaştırıldığında oldukça hızlıdır çünkü bu fonksiyon her ilerleme (iterasyon) için bir doğru araması yapmamaktadır.

Tez çalışmasında kullanılan yazılımlar ana hatlarıyla açıklandıktan sonra 5. bölümde önerilen modelin uygulanması sunulmaktadır.

5 SAĞLIK HİZMETLERİ YÖNETİMİNDE BİR YAPAY SİNİR AĞLARI UYGULAMASI

Sağlık Hizmetleri Yönetiminde Bir Yapay Sinir Ağları Uygulaması isimli bu tez çalışmasında Vehbi Koç Vakfı Amerikan Hastanesi radyoloji servisinin tomografi bölümü incelenmiştir. Bu bölümde karşılaşılan problemler önerilen modelin uygulanması ile analiz edilmiş ve çözüm önerileri geliştirilmiştir. Bu şekilde incelenen sistemin daha etkin ve verimli çalışması sağlanmıştır.

Önerilen modelin uygulaması için bir sistem seçerken uygulama yapılabilecek potansiyel hastaneler düşünülmüş, bunlardan uygulama yapılmasına izin veren ve veri toplama aşamasında yardımcı olan özel bir hastanede (VKV Amerikan Hastanesi) karar kılınmıştır.

Seçilen bu sağlık kuruluşunda hangi servislerin böyle bir çalışmaya gereksinimi olduğu Kalite Geliştirme Bölümü Şefi Yüksek Endüstri Mühendisi Özlem Yıldırım ile görüşülerek belirlenmiştir. Belirlenen servisler Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon ile Radyoloji servisleridir. Bu servislerin şefleri ile ayrı ayrı görüşülmüştür. Fizik tedavi ve rehabilitasyon servisi şefi yapılacak bir çalışmanın anlamlı olmadığını çünkü bunu uygulamaya koymak istemediğini belirtmiştir. Ancak radyoloji servisi şefi ile yapılan görüşme sonucu böyle bir çalışmaya sıcak bakıldığı, sonuçların merakla beklendiği anlaşılmıştır. Bunun üzerine önerilen model uygulamasının Amerikan Hastanesi'nin radyoloji bölümünde yapılmasına karar verilmiştir. Bu çerçevede izleyen alt bölümde Amerikan Hastanesi'nin kısa bir tanıtımının yapılması yararlı bulunmuştur [23].

5.1 Uygulama Yapılan VKV Amerikan Hastanesi'nin Tanıtımı

Amerikan Hastanesi, 1920 yılında Amiral L. Bristol tarafından kurulmuş, 1995 yılında Vehbi Koç Vakfı bünyesine geçmiştir [21]. Klinik araştırma, tanı, ayakta ve yatılı tedavi olmak üzere, 42 uzmanlık dalında, 279 uzman doktor ve 1.038 sağlık ve destek personeli ile hizmet vermektedir. The University Of Texas M. D. Anderson Cancer Center, Methodist Health Care System, New York Presbyterian - The University Hospitals Of Columbia and Cornell kurumları ile işbirliği içindedir. Nişantaşı'nda, 7000 m² alan üzerine kurulu, toplam 43.500 m² kapalı alana sahip bir

sağlık kompleksidir. ISO 9001 Kalite Belgesine sahiptir. Amerikan Hastanesi; hasta katları, yoğun bakımlar, ameliyathaneler, sterilizasyon, acil servis, tıbbi görüntüleme, laboratuvarlar, poliklinikler, bilgi işlem merkezleri, yemekhane, çamaşırhane ve idari bölümlerden oluşmaktadır. Amerikan Hastanesi'nin sahip olduğu kapasitenin anlaşılmasına yardımcı olacak sayısal büyüklükler Tablo 5-1 ile verilmektedir.

Tablo 5-1 Sayılarla Amerikan Hastanesi [21]

Yıllık Poliklinik Hasta Sayısı	162.423
Yıllık Ameliyat Sayısı	7300
Yıllık Laboratuvar Testi Sayısı	360.000
Yıllık Radyolojik Tetkik Sayısı	36.000
Toplam Doktor Sayısı	273
Toplam Personel Sayısı	763
Toplam Kapalı Alan	43.500 m ²
Ameliyathane Sayısı	12
Amerikan Hastanesi Toplam Yatak Sayısı	210

Gerçek dünyada karşılaşılan sorunların çözülebilmesi için öncelikle bu sorunların tanımlanması ve nedenlerinin ortaya konulması gereklidir. Çünkü sorunları çözebilmek için nedenlerinin incelenmesi gerekir. Bu aşamada veri toplama yapılmalıdır. Veri toplanırken sorunlar hakkında geçmiş bilgiler derlenir ve sorunları doğrudan yaşayan insanlarla görüşmeler yapılabilir.

Bu tez çalışmasının uygulaması yukarıda da belirtildiği gibi radyoloji servisinin tomografi bölümünde yapılmıştır. Radyoloji servisi içinde tomografi bölümünün seçilmesinin nedeni radyoloji servisinin bütününde verilen hizmetlerin sayıca çok olması ve tomografi bölümünde verilen hizmette yaşanan sıkıntıdır. Bu sıkıntı tetkik süresinin beklenenden daha uzun sürmesidir. Uygulama tetkik süresinin belirlenen değer aralıklarından hangisine düşeceğini tahmin etmekte ve tetkik süresinin azaltılmasına yönelik öneriler sunmaktadır.

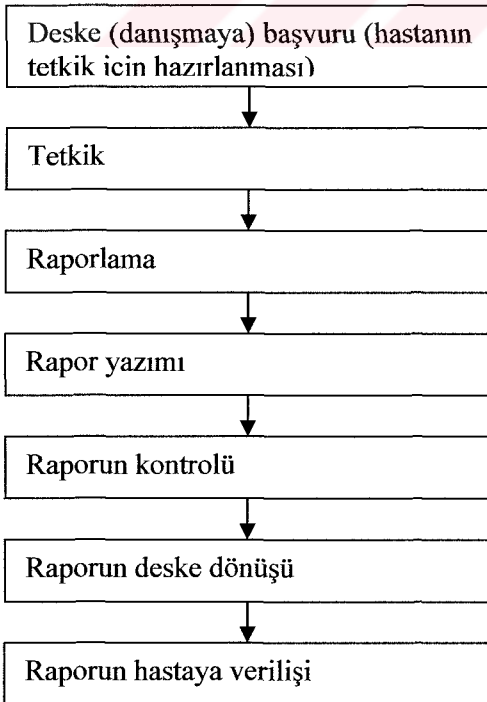
Tomografi servisi BA kullanılarak modellenmiştir. Amaç, öncelikle tetkik süresinin uzun sürmesinin nedenlerinin ortaya çıkarılması, daha sonra bu süreyi azaltan çözümlerin bulunmasıdır. Modelleme aşamasında BA'nın seçilme nedeni problemin

sistemdeki sırasal ilişkilerden ziyade nedensel ilişkilerden kaynaklanması ve bu şekilde sistemdeki elemanlar arasındaki nedensel ilişkilerin belirlenebilmesidir. Bayes Modelinin kurulması, çalıştırılması ve sonuçlar alınmasında 4.1’de anlatılan Netica adlı yazılımdan yararlanılmıştır. Bayes modelinin kurulabilmesi için sistem hakkında veri toplanması ve elde edilen bilgiler izleyen bölümde açıklanmaktadır.

5.2 Tomografi Bölümü Hakkında Veri Toplanması

Tomografi bölümü hakkındaki verilerin toplanması aşamasında hem yapılandırılmamış hem de yapılandırılmış yöntemler kullanılmıştır. Öncelikle incelen sistem hakkında sınırlı bilgiye sahip olduğundan alan uzmanları ile karşılıklı görüşmeler yapılmıştır. Görüşmelere Kalite Geliştirme bölümünden, daha önce de aynı serviste iyileştirme çalışmaları yapmış üç uzman ve tomografi konusunda uzman bir doktor katılmıştır. Bunun yanında kalite geliştirme bölümü tarafından yapılmış önceki çalışmaların veri setinden de yararlanılmıştır.

Radyoloji servisinde 3’ü tomografide çalışan 6 doktor, 6’sı tomografide çalışan 20 tetkik teknisyeni, 11 farklı tetkik için donanımlı tetkik laboratuvarı, hastaların başvuruda karşılanması için danışmada görevli iki personel ve tetkik raporlarının yazımı ile görevli 2 tıbbi sekreter bulunmaktadır. İncelenen tomografi bölümünde sistemin işleyişi Şekil 5.1’de verilmektedir.



Şekil 5.1 Tomografi bölümündeki akış

Karşılıklı görüşmelerde uzmanlara öncelikle açık uçlu sorular sorulmuş, daha sonra verilen yanıtlara dayanarak sistemi etkileyen kavramlar belirlenmiştir. Sorulan sorulara bazı örnekler bir sonraki paragrafta verilmekte, daha sonra ise yapılan görüşmelerden sistemin işleyişi hakkında ortaya çıkan sonuçlardan bahsedilmektedir.

Uzmanlara “Tomografi servisinde sıkıntı yaşanan konu nedir?” sorusu sorulduğunda “Bu bölüm için en önemli konu tetkik süresidir. Tetkik süresinin beklenenden daha uzun sürmesi sıkıntı yaratmaktadır.” yanıtı alınmıştır. “Tetkik süresi üzerinde etkiye sahip faktörler nelerdir?” sorusu üzerine verilen yanıt şöyledir: “Tetkik süresi pek çok farklı şeyden etkilenmektedir. Bunlar yapılan tetkikin türü olabilir, bazı tetkikler süreyi uzatmaktadır, tetkik yapılan hastanın davranışları olabilir, hastalar zaman zaman teknisyenin yönlendirmelerini izleyememekte, dolayısıyla süre yine uzayabilmektedir. Bundan başka bölümümüzde çalışan 20 teknisyenin 6 tanesi primer tomografi teknisyenidir (birinci derecede tomografi çeken), dolayısıyla bazı durumlarda çekimlere diğer teknisyenler de girebilmektedir, bu da tetkik süresini etkileyen başka bir faktördür. Tetkikten önce hastanın ilaç almasının gerekip gerekmemesi de süreyi etkilemektedir.” yanıtı alınmıştır. Sistemin tüm elemanları için benzer sorular sorulmuştur, alınan yanıtlara göre anlaşılan sistem işleyişi izleyen paragrafta verilmektedir.

Sistemin işleyişi şu şekilde açıklanabilir: Radyolojik tetkik yapılması gereken hastalar bunun için önceden randevu almaktadırlar. Deske başvuru aşaması tetkik saatinden bir kaç saat önce gelinmesi ve tetkik için hazırlıkların yapılmasını kapsamaktadır. Bu hazırlıklarda görevli hemşireler hastalara yardımcı olmaktadır. Bazı tetkikler yapılırken hastanın özel olarak hazırlanması gerekmektedir. Bu hazırlıklar tetkikten önce çeşitli ilaçların alınması ya da çok miktarda su içilmesi şeklinde olabilmektedir. Bunların yanı sıra vücutta aksesuar olarak kullanılan metallerin çıkarılması gerekmektedir. Tetkik aşamasının zamanında başlayabilmesi için hazırlıkların tetkikten önce tamamlanması gerektiği açıktır. Yapılacak tetkik türü deskten tetkike kadar geçen süreyi etkilemektedir.

Tetkik aşamasında en önemli rol teknisyene düşmektedir. Tetkik odasında hasta ile birlikte teknisyen olmaktadır ve bazı durumlarda doktor dışarıdan tetkik aşamasını izlemektedir. Tetkik süresini etkileyen faktörler tetkik türü, tetkikin ilaçlı ya da ilaçsız yapılması, hastanın davranışları ve teknisyendir. Uzmanlarla yapılan görüşmeler sonucunda incelenen tomografi sisteminde en çok tetkik yapılan dört tür

dikkate alınmıştır. Bu tetkik türleri thorax, kranial, tüm batin ve ürinerdir. Tüm bu tetkik türleri ilaçlı ya da ilaçsız olabilmektedir.

Tetkik süresini etkileyen bir başka değişken hastanın durumudur. Hastanın uyumlu ya da uyumsuz olması tetkik süresini etkilemekte, hastanın uyumsuz olduğu durumlarda teknisyenin de müdahalesi ile hatalar o an tetkik aşamasında düzeltilmekte, sorunlu kısım gerekirse tekrar çekilmektedir. Bu tekrar çekim tetkik aşamasında gerçekleştiğinden hastanın durumu (uyumsuz oluşu) ile ifade edilmiş, tekrar çekim tetkik süresini etkileyen ayrı bir değişken olarak alınmamıştır.

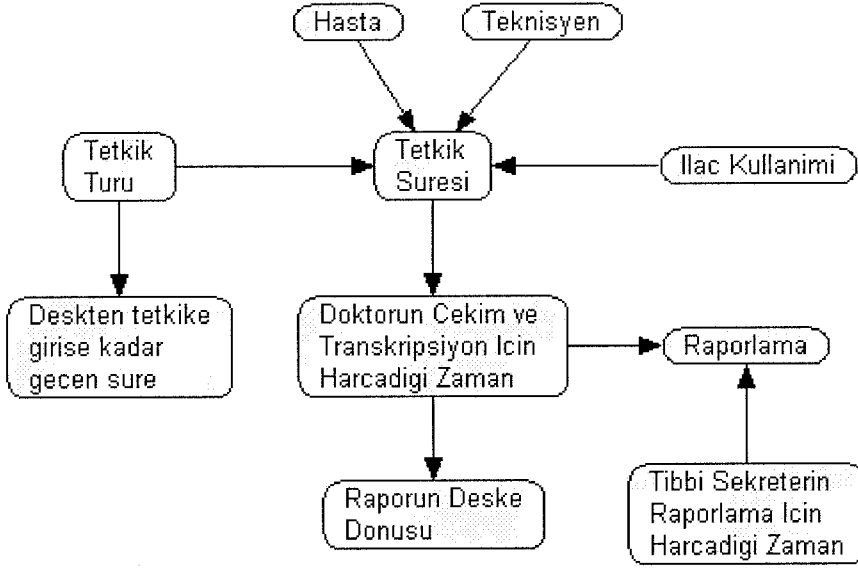
Tetkik süresini etkileyen bir başka değişken ise teknisyendir. Teknisyenin primer tomografi teknisyeni olduğu durumlarda tetkik öngörülen süresinde bitmekte, ancak teknisyenin primer tomografi teknisyeni olmadığı durumlarda ise tetkik öngörülen süresinden daha fazla sürebilmektedir.

Raporlama doktor tarafından yapılmakta, bu işleme transkripsiyon adı verilmektedir. Doktor tetkiki izlemekte ve çekim sonuçlarına da bakarak işlem ile ilgili raporunu bir kayıt cihazına okumaktadır. Tetkik türü ve tetkik süresi doktorun çekim ve raporlama için harcadığı zamanı etkilemektedir.

Doktorun çekim ve transkripsiyon için harcadığı zaman ise raporlamayı (rapor yazımını) ve raporun hastaya verilmek üzere deske dönüşünü etkilemektedir. Çünkü bu aşamadaki bir gecikme diğer aşamaların da gecikmesine neden olmaktadır. Bunun dışında doktorun tıbbi sekreterin raporu yazmasından sonra yanlışlar olması olasılığına karşın raporu tekrar kontrol etmesi, varsa yanlışları düzeltmesi gerekmektedir. Bu durumda tıbbi sekreterin de raporu tekrar yazması söz konusu olabilmektedir. Sistem elemanları arasındaki ilişkiler verildikten sonra izleyen bölümde tomografi sisteminin BA ile modellenmesi anlatılmaktadır.

5.3 Tomografi Sisteminin Bayes Ağları ile Modellenmesi

Uzmanlarla yapılan görüşmeler sonucunda ortaya çıkan değişkenler ve bu değişkenlerin aralarındaki ilişkiler yine uzmanlarla birlikte ağ şeklinde çizilmiştir. Bu çizim Şekil 5.2 ile verilmektedir. Değişkenler düğümlerle, ilişkiler ise oklarla gösterilmiştir. Etkileyen değişkenler okun başlangıç noktasında, etkilenen değişkenler ise okun bitiş noktasında yer almaktadır. Çizilen bu ağda döngü ya da geri besleme bulunmamaktadır.



Şekil 5.2 Tomografi sisteminin Bayes Ağı

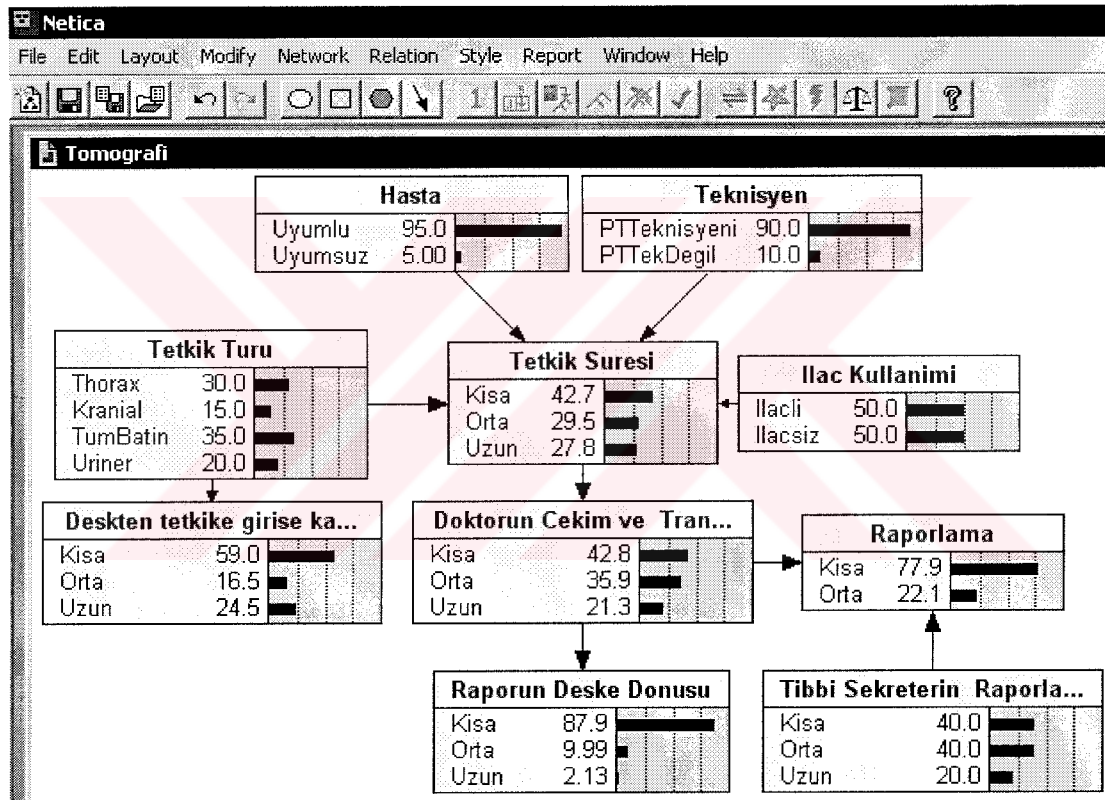
Radyoloji servisinde incelenen tomografi bölümünün BA Şekil 5.2’de verilmektedir. Sistem elemanları arasındaki ilişkiler şu şekildedir: Deskten tetkike kadar geçen süre tetkik türünden etkilemektedir. Tetkik süresini etkileyen dört değişken vardır: Tetkik türü, hasta, teknisyen ve ilaç kullanımı. Doktorun çekim ve transkripsiyon için harcadığı zaman tetkik türü değişkeninden etkilenmekte, raporlama ve raporun deske dönüşü değişkenlerini etkilemektedir. Raporlama ise doktorun çekim ve transkripsiyon için harcadığı zamanın yanında tıbbi sekreterin raporlama için harcadığı zamandan da etkilenmektedir.

Bu değişkenlerin durumları da yine uzmanlar ile birlikte belirlenmiştir. Buna göre *deskten tetkike girise kadar geçen süre* değişkenin üç durumu vardır ve durumlar kısa, orta, uzun olarak adlandırılmaktadır. *Tetkik türü* değişkeninin dört durumu vardır: thorax, kranial, tüm batın ve üriner. *Hasta* değişkeninin durumları uyumlu ve uyumsuz olarak belirlenmiştir. *Teknisyen* değişkeninin durumları primer tomografi teknisyeni ve primer tomografi teknisyeni değil olarak belirlenmiştir. *İlaç kullanımı* değişkeninin durumları ilaçlı ve ilaçsızdır. *Doktorun çekim ve transkripsiyon için harcadığı zaman* değişkeninin durumları kısa, orta ve uzundur. *Raporlama* değişkeninin durumları kısa ve orta, *tıbbi sekreterin raporlama için harcadığı zaman* değişkeninin durumları kısa, orta ve uzun, *raporun deske dönüşü* değişkeninin durumları kısa, orta ve uzun olarak belirlenmiştir. Bu aşamadan değişkenlerin durumları için olasılık tabloları hazırlanmış ve uzmanlardan bu olasılık tablolarını doldurmaları istenmiştir. Tüm değişkenler için doldurulmuş öncül ve koşullu

olasılıkları gösteren tablolar Ek-A'da verilmektedir. Bu olasılıklar BA'na girildiğinde ağ derlenmeye hazır hale gelmiştir. Ağın derlenmesi ve sistem davranışını tahmin için kullanılması izleyen bölümde anlatılmaktadır.

5.4 Bayes Ağının Tomografi Sistemi Davranışının Tahmininde Kullanılması

Ağda bulunan tüm değişkenlerin durumlarının olasılıkları modele girildikten sonra derleme işlemi yapılmıştır. Model çizimi, olasılık tablolarının oluşturulması, modelin derlenmesi ve tahminler yapılması için 4.1 bölümünde hakkında bilgi verilen Netica1.12 yazılımından yararlanılmıştır. Şekil 5.3'te derlenmiş model görülmektedir.



Şekil 5.3 Derlenmiş Bayes Ağı

Değişkenlerin durumlarını açıklamak gerekirse, *deskten tetkike kadar geçen süre* ve *tetkik türü* değişkenlerinin durumları, kalite geliştirme bölümü tarafından yapılmış önceki bir çalışmanın veri setine dayanarak kısa, orta ve uzun olarak belirlenmiştir. *Deskten tetkike kadar geçen süre* değişkeni için kısa durumu 35 dakikaya kadar, orta durumu 35 dakika ve 1 saat 20 dakika arası, uzun durumu ise 1 saat 20 dakika ve üzeri ile tanımlanmaktadır. Bu veri seti EK-B'de sunulmaktadır.

Tetkik türü değişkeninin durumları hem geçmiş verilere bakarak hem de uzman görüşüne dayanarak belirlenmiştir. Tomografide en fazla çekim yapılan türler thorax, kranial, tüm batin ve ürinerdir. Bu türler *tetkik türünün* durumları olarak seçilmiştir.

Hasta değişkeninin uyumlu ve uyumsuz şeklinde iki durumu vardır. Bu durumlar hastanın tetkik sırasında gösterdiği davranışları nitelendirmektedir. Hastanın tetkik sırasında belirli şekillerde durması, kıpırdamaması ya da teknisyenin talimatlarını izlemesi gerekmektedir. Hastalar tetkikte teknisyenle uyumlu şekilde davranmakta ancak bazen tetkikin ve laboratuvarın atmosferi hastayı olumsuz etkilemekte ve hasta kendisinden beklenenleri yerine getirememektedir. Bu ise tetkik süresini olumsuz etkilemektedir. Hastalar tetkiklerin %95'inde uyumlu %5'inde ise uyumsuz davranmaktadır.

Teknisyen değişkeninin iki durumu teknisyenin primer tomografi (PT) teknisyeni olması (PTTeknisyeni) ve olmamasıdır (PTTekDegil). Radyoloji bölümünde 11 farklı teknik ile tetkikler yürütülmektedir ve sıklıkla olmasa da tomografi tetkiklerinde PT teknisyeni olmayan teknisyenler görev alabilmektedir. Yapılan tetkiklerin %90'ında teknisyenler PT teknisyeni, %10'unda ise PT teknisyeni değildir.

İlaç kullanımı değişkeni tetkikin ilaçlı yapıp yapılmayacağını göstermektedir. Bu değişkenin durumları ilaçlı ve ilaçsızdır. Yapılan tetkiklerin %50'si ilaçlı %50'si ilaçsız olmaktadır.

Tetkik süresi değişkeni kısa, orta ve uzun durumlarına sahiptir. Kısa durumu 10 dakikaya kadar, orta durumu 10-20 dakika, uzun durumu 20 dakika ve üzeri süren tetkik sürelerini tanımlamaktadır. Tetkik süresi tetkik türünden, hasta, teknisyen ve ilaç kullanımı değişkenlerinden etkilenmektedir.

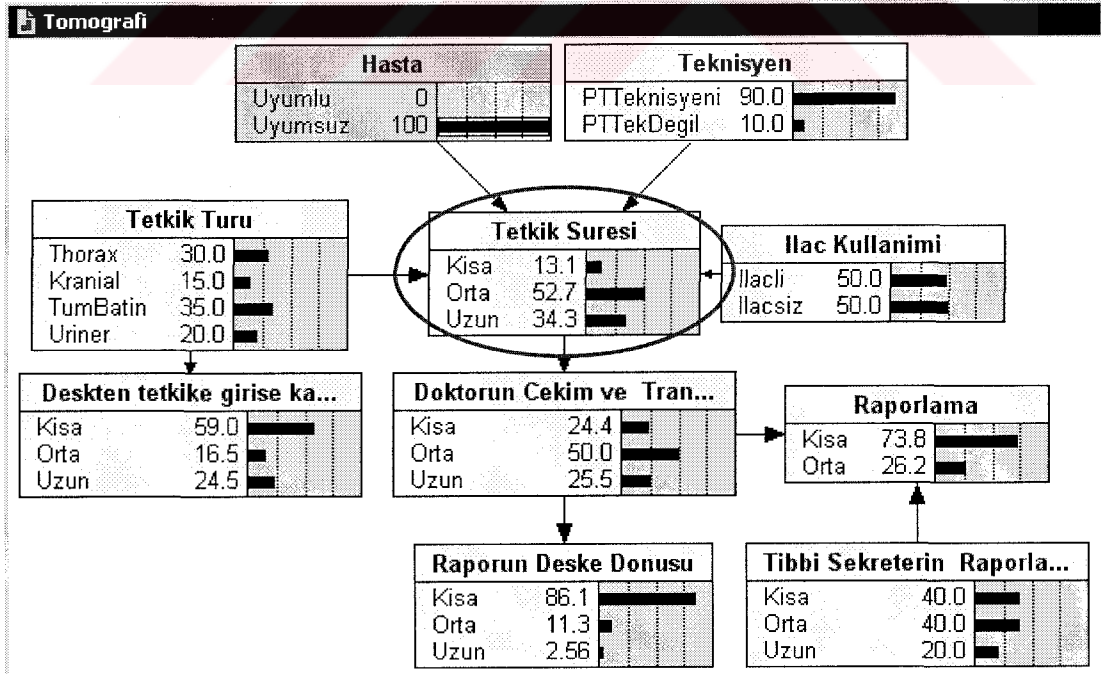
Doktorun çekim ve transkripsiyon için harcadığı zaman kısa, orta ve uzun durumları ile belirtilmektedir. Kısa 10 dakikaya kadar, orta 10-20 dakikaya kadar, uzun ise 20 dakika ve üstü ile tanımlanmaktadır. Raporun deske dönüşünden önce doktor tarafından kontrolü de bu değişken ile düşünülmüştür.

Rapor yazımı, doktorun çekim ve transkripsiyon için harcadığı zamana ve tıbbi sekreterin raporlama için harcadığı zamana bağlıdır. Bu değişken için durumlar kısa, ve orta olarak belirlenmiştir. Kısa 20 dakikaya kadar, orta ise 20-40 dakika ile belirlenmektedir. Raporlamanın 40 dakikadan fazla sürdüğü durumlar çok ender olduğundan dikkate alınmamıştır.

Tıbbi sekreterin raporlama için harcadığı zaman değişkeni de kısa, orta ve uzun durumları ile tanımlanmaktadır. Kısa 15 dakikaya kadar, orta 15-25 dakika, uzun ise 25 dakika ve üzeri ile belirlenmektedir. Tıbbi sekreterin raporlama için harcadığı zaman %40 kısa, %40 orta ve %20 uzun olmaktadır.

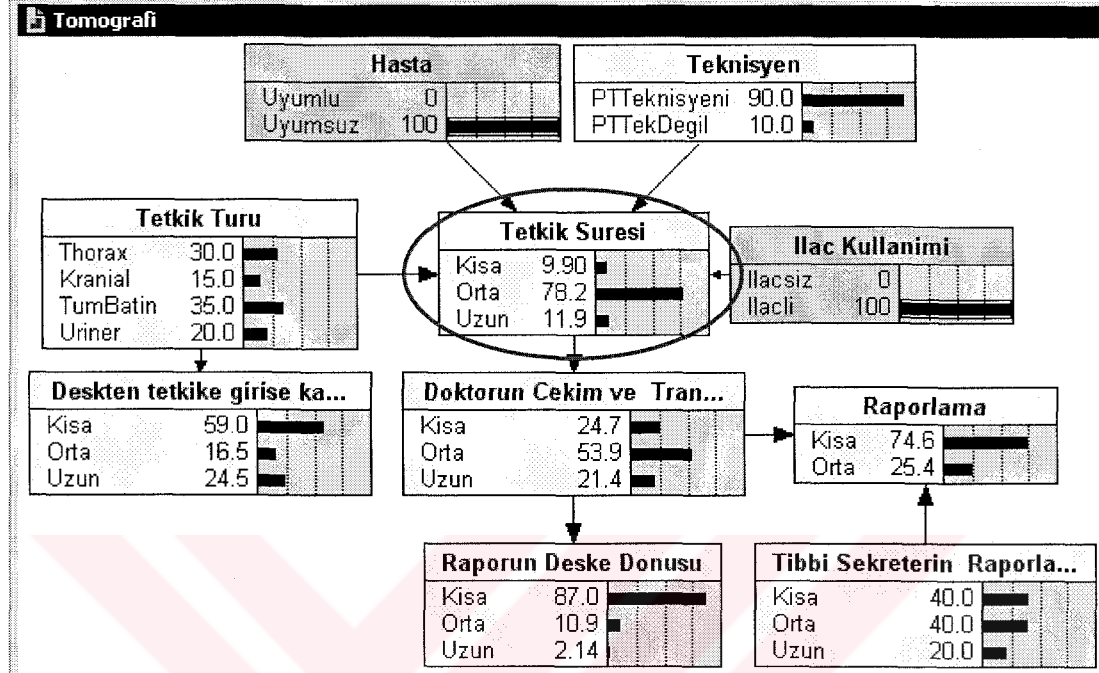
Raporun deske dönüşü değişkeni için de kısa, orta ve uzun durumları geçerlidir. Kısa 30 dakikaya kadar, orta 30-60 dakika ve uzun 60 dakika ve üstü olarak tanımlanmaktadır.

Gerek kalite geliştirme bölümü uzmanları gerekse tomografi servisi uzman doktorları ve desk personeli ile yapılan görüşmelerden tomografi sistemi için en kritik değişkenin tetkik süresi olduğu ortaya çıkmıştır. Şekil 6.6’da verilen BA’na bakarak tomografi sistemini etkileyen değişkenler bilinmezken, yani tetkik yapılacak yeni bir hasta geldiğinde bu hasta ile ilgili hastaya uygulanacak tetkik türü, hastanın uyumlu ya da uyumsuz olması, tetkiki gerçekleştirecek teknisyenin PT teknisyeni olup olmadığı, tetkikin ilaçlı yapıp yapılmayacağı bilinmezken (sistemi etkileyen değişkenler hakkında henüz herhangi bir bilgi yok iken) *tetkik süresinin* kısa sürme olasılığı 0,427, orta sürme olasılığı 0,295 ve uzun sürme olasılığı 0,278 olduğu sonucuna varılabilir. Bundan sonra elde edilebilecek bir bilginin, örneğin hastanın uyumsuz oluşunun tetkik süresini nasıl etkilediği Şekil 5.4’te görülmektedir.



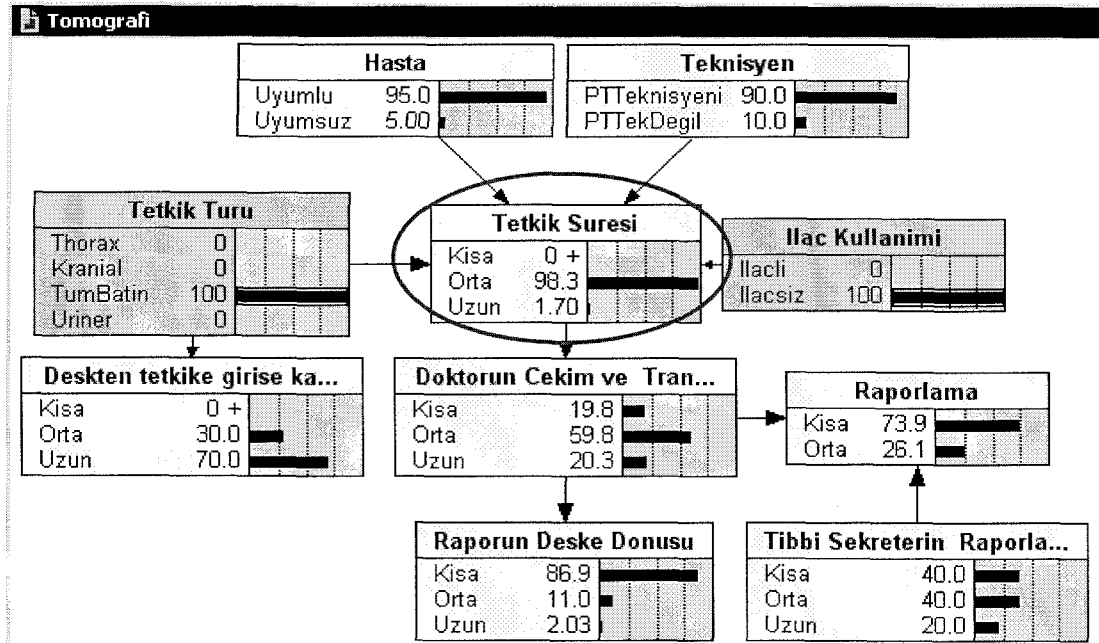
Şekil 5.4 Hasta uyumsuz ise tetkik süresi olasılıkları

Hastanın uyumsuz olduğu bilgisinin yanında çekimin ilaçsız yapılacağı bilgisi de edilnilirse tetkik süresi olasılıklar değişmekte ve kısa sürme olasılığı 0,162'ye yükselmektedir. Ancak çekim ilaçlı olacaksa tetkik süresi olasılıkları bu kez Şekil 5.5'teki gibi değişecektir.



Şekil 5.5 Hasta ve ilaç kullanımı değişkenleri bilinirken tetkik süresi

Tetkik süresini etkileyen değişkenlerden tetkik türü ve ilaç kullanımı hakkında bilgi varsa olasılıklar Şekil 5.6'daki gibi değişecektir.



Şekil 5.6 Tetkik türü ve ilaç kullanımı bilgileri altında tetkik süresi olasılıkları

Sistem davranışının tahmin edilmesini açıklayan bu bölümde son olarak yapılan analiz, olaya tersten bakmak ve tetkik süresinin kısa, orta ve uzun durumlarında bulunması ($P(\text{Tetkik süresi} = \text{Kısa})=1$, $P(\text{Tetkik süresi} = \text{Orta})=1$ ve $P(\text{Tetkik süresi} = \text{Uzun})=1$) halinde diğer değişken olasılıklarının nasıl değiştiğini ortaya koymak amacını taşımaktadır. Bu analiz Tablo 5-2 ile verilmektedir.

Tablo 5-2 Tetkik süresi durumları için etkileyen değişkenlerin olasılıkları

Tetkik süresi	Tetkik türü		Hasta		Teknisyen		İlaç kullanımı	
Kısa	Thorax	0.667	Uyumlu	0.985	PTTeknisyeni	0.906	İlaçlı	0.337
	Kranial	0.173	Uyumsuz	0.0153	PTTekDegil	0.0937	İlaçsız	0.663
	Tüm batin	0						
	Üriner	0.16						
Orta	Thorax	0.0506	Uyumlu	0.911	PTTeknisyeni	0.899	İlaçlı	0.274
	Kranial	0.258	Uyumsuz	0.0894	PTTekDegil	0.107	İlaçsız	0.726
	Tüm batin	0.584						
	Üriner	0.107						
Uzun	Thorax	0.0011	Uyumlu	0.938	PTTeknisyeni	0.898	İlaçlı	0.989
	Kranial	0.0004	Uyumsuz	0.0616	PTTekDegil	0.102	İlaçsız	0.0107
	Tüm batin	0.639						
	Üriner	0.359						

BA derlendikten sonra tomografi sistemi davranışlarını başarı ile tahmin edebilmektedir. Bu noktada akla gelen önemli bir soru bu sistemin kritik değişkeni olan tetkik süresinin kendisini etkileyen değişkenlerden en çok hangisi tarafından etkilendiğidir. Tetkik süresini en çok etkileyen değişkenlerin bulunması için YSA desteğine başvurulmuş, tüm değişkenler nominal değişken olduğundan YSA türlerinden ÇKA değişken önemlerinin bulunmasında kullanılmıştır. Bir sonraki bölümde ÇKA'da kullanılmak üzere tomografi sistemi davranışını yansıtan bir veri seti oluşturulması açıklanmaktadır.

5.5 Tomografi Sistemi Davranışlarını Yansıtan Veri Setinin Oluşturulması

Oluşturulan BA ile tomografi sistemi davranışları tahmin edilebilmekte ancak bu sistem için kritik değişken olan tetkik süresini etkileyen diğer değişkenlerin önem dereceleri belirlenememektedir. Bu önem derecelerinin bilinmesi sistemi iyileştirme önerilerinin yapılandırılmasında da araştırmacıya ışık tutacağından büyük önem taşımaktadır.

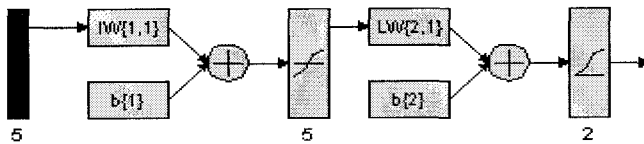
Önem derecelerinin belirlenebilmesi için kullanılacak ÇKA'ya sistem davranışını yansıtan bir veri seti sunulmalıdır. Bu veri seti yine BA ve Netica 1.12 yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Tetkik süresini etkileyen değişkenler ve tetkik süresi

seçilerek programdan 1200 olaylık bir veri seti oluşturması istenmiştir. Bu veri setinde bulunan ilk 40 olay örnek olması açısından Ek-C’de verilmektedir. 1200 olay MS Excel kullanılarak saklanmaktadır ve bu olayların MATLAB’de ÇKA oluşturmak için kullanılmak üzere kodlanması da yine Excel kullanılarak yapılmıştır. Veri setinin kodlanmış halinin ilk olayı yine örnek olması için Ek-D’de verilmektedir. Oluşturulan bu veri seti ÇKA’da kullanılan girdi değişkenler (etkileyen değişkenler) ve hedef değişken (etkilenen değişken) için farklı kombinasyonları kapsamaktadır. Veri setinin MATLAB’e aktarılması ve değişken önem derecelerinin saptanması izleyen bölümde açıklanmaktadır.

5.6 Etkileyen Değişkenlerin Önem Derecelerinin Saptanması

Oluşturulan veri seti MATLAB programına “Array Editor” isimli dizi editörü kullanılarak aktarılmıştır. Etkileyen değişkenler tetkik türü, hasta, teknisyen ve ilaç kullanımı girdi, etkilenen değişken tetkik süresi ise hedef değişken olarak tanımlanmıştır. Değişkenlerin önem derecelerinin saptanması için geri yayılmaya sahip ileri beslemeli bir ÇKA kullanılmıştır.

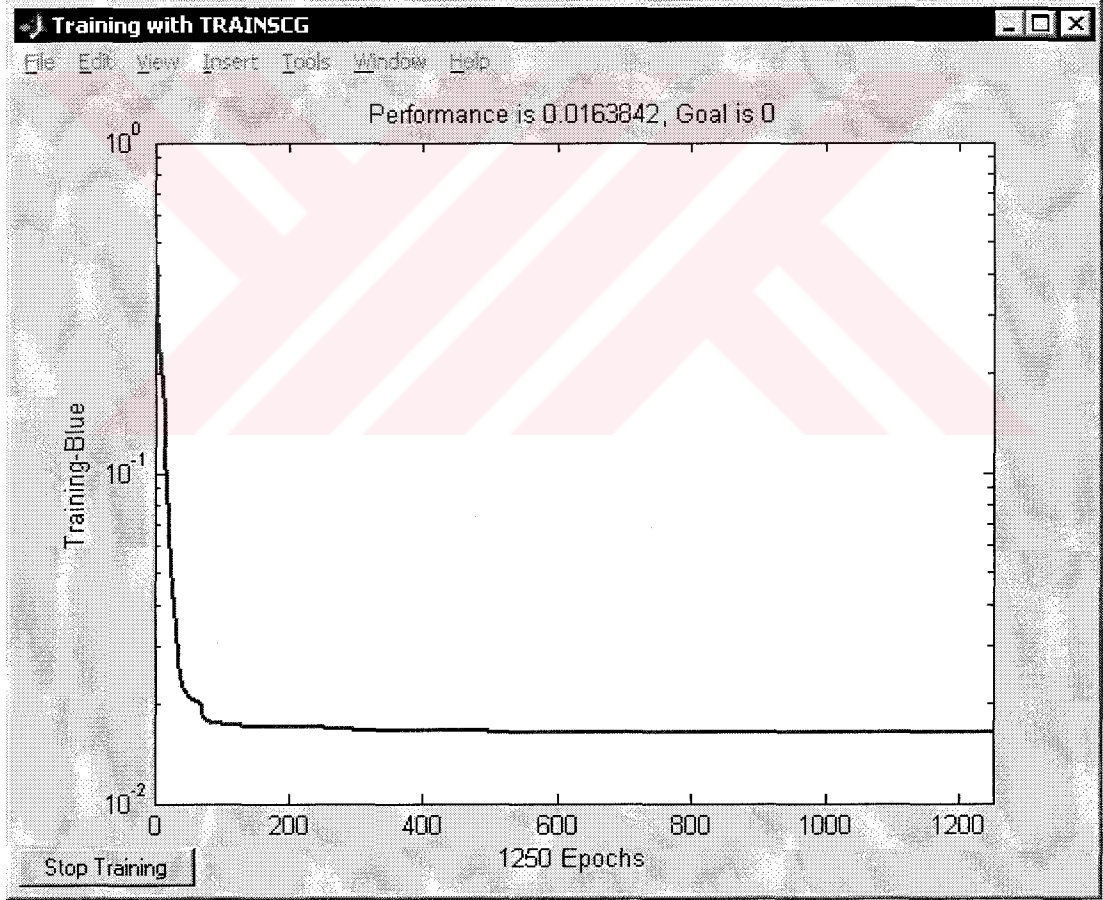
Kullanılan ÇKA için hata oranı 0.02 olarak belirlenmiştir. Geri yayılmaya sahip ileri beslemeli ağlarda katmanlar için seçilen iletim fonksiyonları – hata teriminin küçültülmesi için eğim düşümü algoritması kullanıldığından – türevlenebilir olmalıdır. Gizli katman iletim fonksiyonu TANSIG, çıktı katmanı iletim fonksiyonu LOGSIG olarak seçilmiştir. Eğitim fonksiyonu ölçekli eğim düşümü yöntemi olan TRAINSCG seçilmiştir. Performans fonksiyonu hataların karelerinin ortalaması olan MSE’dir. Gizli katman nöron sayısı 1 den başlayarak 50’ye kadar arttırılmış ve 5 nörondan sonrasında hata terimindeki değişiklik virgülden sonra 6. basamakta gerçekleştiğinden (milyonda 1 düzeyinde bir değişiklik) gizli katman nöron sayısı 5 olarak belirlenmiştir. Gizli katman sayısı 5 olarak seçildiğinde ÇKA 0.02’lik hata hedefinin altına kısa sürede düşebilmektedir. Şekil 5.7’de kullanılan ÇKA görülmektedir.



Şekil 5.7 Kullanılan ÇKA yapısı

Girdi nöronlardan ilk iki tanesi tek değişkeni, tetkik türü değişkenini temsil etmektedir. üçüncü nöron hasta, dördüncü nöron teknisyen ve beşinci nöron da ilaç kullanımı değişkenlerini göstermektedir. Dolayısıyla Kullanılan bu ÇKA'nın 5 girdi nöronu, 5 gizli nöronu ve iki çıktı nöronu bulunmaktadır. İki çıktı nöronun bulunmasının nedeni tetkik süresi değişkeninin üç durumunun minimum iki nöron kullanarak temsil edilebilmesidir.

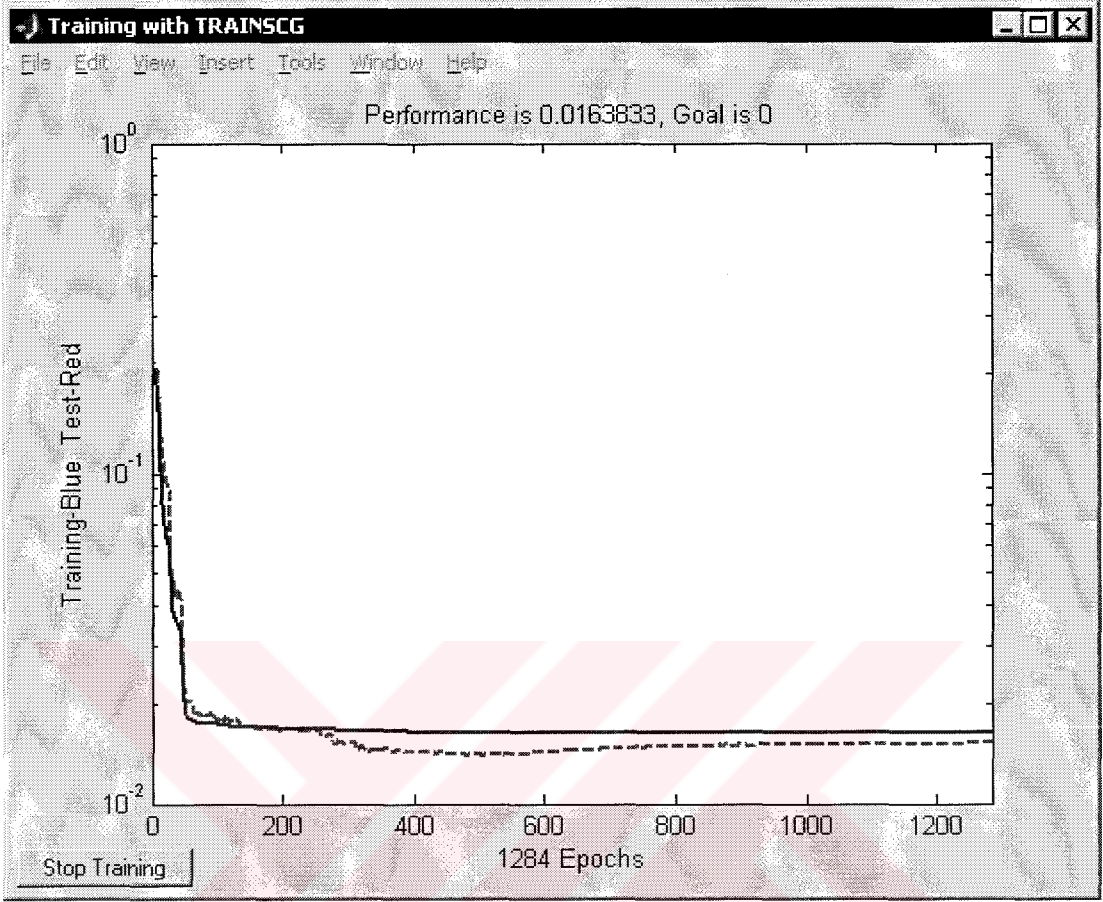
İlk 1000 girdi/hedef çifti eğitim için, sonraki 200 girdi/hedef çifti ise test için kullanılmıştır. ÇKA her iki aşama için de 0.02'den düşük hatalar vermiştir. ÇKA 1250 devir için eğitilmiş, eğitim parametrelerinden hata hedefi 0.02 yerine 0 seçilerek ÇKA'nın düşebildiği minimum hata düzeyi de gözlemlenmiştir. Bu hata düzeyi 0.01638 civarındadır. Şekil 5.8'de Kullanılan ÇKA'nın eğitimi için hata grafiği verilmektedir.



Şekil 5.8 Kullanılan ÇKA'nın eğitimi için hata grafiği

Eğitim aşamasından sonra ÇKA test edilmiştir. Şekil 5.9'da test ve eğitim performanslarının karşılaştırması görülmektedir. Kesikli çizgi test verileri için ÇKA'nın hata performansını, diğer çizgi ise eğitim verileri için hata performansını

göstermektedir. Buradan oluşturulan bu ÇKA'nın başarılı bir sinir ağı olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 5.9 Test ve eğitim performansı - kesikli çizgi: test, sabit çizgi: eğitim

ÇKA'nın başarılı olduğuna karar verildikten sonra girdi değişkenlerin tetkik süresi üzerindeki önem derecelerinin saptanması için girdi nöronları gizli nöronlara bağlayan ağırlıklara bakılmış, bu ağırlıkların mutlak değerleri her bir değişken için toplanmış ve en büyük toplama sahip değişkenin tetkik süresi üzerinde en çok etkiye sahip olan değişken olduğu sonucuna varılmıştır. Tablo 6-3 kullanılan ÇKA'da girdileri gizli katmana bağlayan katman ağırlıklarını, bu ağırlıkların mutlak değerlerini ve değişkenlerin önem sıralamasını göstermektedir.

Tablo 5-3'e dayanarak incelenen tomografi bölümünde *tetkik süresi* değişkenini en çok etkileyen değişken *tetkik türü*dür. Tetkik türünden sonra tetkik süresini en çok etkileyen değişken ilaç kullanımıdır. Tetkik süresi üzerinde en az etkisi olan değişken ise teknisyen değişkenidir.

Tablo 5-3 Değişkenlerin önem dereceleri

	Tetkik türü		Hasta	Teknisyen	İlaç kul.
Katman ağırlıkları	4.5195	-2.9455	-2.1851	-2.8054	-0.05787
	-4.2545	-5.424	2.7054	0.42521	-2.3258
	-4.9372	-4.1678	1.6014	1.9986	4.9438
	-1.5946	2.8693	-4.283	2.4817	-1.6096
	3.9368	4.3335	1.0264	-0.35697	-3.7852
Ağırlıkların mutlak değeri	4.5195	2.9455	2.1851	2.8054	0.057869
	4.2545	5.424	2.7054	0.42521	2.3258
	4.9372	4.1678	1.6014	1.9986	4.9438
	1.5946	2.8693	4.283	2.4817	1.6096
	3.9368	4.3335	1.0264	0.35697	3.7852
Toplam	19.2426	19.7401	11.8013	8.06788	12.72227
Sonuç	1		3	4	2

İzleyen bölümde sağlık hizmetleri yönetiminde yapılan bu yapay sinir ağırları uygulaması için sonuçların değerlendirilmesi ve sistem hakkında öneriler sunulmaktadır.

5.7 Model Sonuçların Değerlendirilmesi ve Öneriler

Tomografi bölümünde yapılan bu uygulama iki farklı açıdan sisteme yararlar sağlamaktadır. İlk olarak sistem BA ile modellenmiş ve tomografi sürecinin kritik değişkenine etkileyen diğer değişkenler ve sistemin bütünündeki nedensel ilişkiler ortaya konmuştur. Böylelikle yeni bir hasta tomografi bölümüne geldiği ilk anda, sistemi etkileyen hiç bir değişken hakkında bilgi edinilmemişken, kritik değişken tetkik süresinin gösterebileceği durumların olasılıkları (kısa=0,427, orta=0,295 ve uzun=0,278) bulunmuştur. Hasta sisteme girdikten sonra hakkında elde edilecek bilgiler (tetkik türü, ilaç kullanımı vb.) ışığında tetkik süresinin durumlarının olasılıkları bulunabilmektedir.

Daha önce de belirtildiği gibi tomografi bölümünün sorunu tetkik süresinin beklenenden uzun sürmesidir. Uygulamanın sağladığı ikinci bir yarar bu kritik değişkeni etkileyen değişkenlerin önem sırasının bulunmasıdır. Böylelikle sistemi iyileştirme, tetkik süresini düşürme önerileri bu önemli değişkenlerden başlayarak geliştirilmiştir.

Tetkik süresini en çok etkileyen değişken tetkik türüdür. Tetkik süresi özellikle tüm batın çekimlerinde uzun sürmektedir. Bu durumda, yapılacak bir değişiklik, acil olmadığı sürece, tüm batın çekimlerinin haftanın bir gününe ya da gün içinde

öğleden önceye ya da öğleden sonraya konması olabilir. Bundan başka yapılabilecek bir değişiklik ilaçlı ve ilaçsız çekimleri de ayırmak olabilir. Bu değişiklik de ilaç kullanımı değişkeni tetkik süresini en çok etkileyen ikinci değişken olduğundan tetkik süresi üzerinde fark edilir bir iyileşmeye neden olacaktır. Hastaların davranışlarının kontrol edilebilirliği düşüktür. Ancak hastaya çekimin nasıl yapılacağı ve özellikle ne kadar süreceği önceden bildirildiğinde hasta tetkik süresince uyumsuz davranmamak, teknisyen yönlendirmelerini izleyebilmek için daha fazla çabada bulunabilir. Teknisyen değişkeni önem sıralamasında sonuncu olmuştur. Tomografi çekimlerine giren tüm teknisyerlerin PT teknisyeni olmasının sağlanmasının tetkik süresinin küçültülmesi üzerindeki etkisi de küçük olacaktır.

İzleyen bölümde Sağlık Hizmetleri Yönetiminde Bir Yapay Sinir Ağları isimli bu tez çalışması hakkında genel sonuçlar sunulacak ve gelecek çalışma fırsatları tartışılacaktır.



6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında yüksek derecede belirsizliğe ve karmaşıklığa sahip olan sistemlerin incelenmesi ve iyileştirilmesi için Bayes Ağlarının ve Yapay Sinir Ağlarının birbirlerini destekleyecek şekilde kullanımını gerektiren bir model önerilmiştir. Önerilen bu modelde BA, incelenen sistemdeki nedensel ilişkilerin ortaya konması ve sistem davranışının tahmin edilmesinde, YSA ise incelen sistemin kontrol edilemeyen kritik değişkenlerini etkileyen diğer kontrol edilebilir değişkenlerin etki derecesine göre önem sıralamasının bulunmasında kullanılmıştır.

Çalışmada, uygulama alanı SHY'nden seçildiği için, öncelikle sağlık hizmetleri ve yöneylem araştırması ilişkisi, yöneylem araştırmasının sağlık hizmetlerinde yararlanılabileceği konular açıklanmıştır. Daha sonra modelde kullanılan BA ve YSA teknikleri ayrıntıları ile anlatılmıştır. Çalışmada BA ve YSA'nın bütünlük olarak kullanılması önerilmektedir çünkü karşılaşılan gerçek hayat problemleri çoğu kez bünyelerinde yüksek bir belirsizlik ve karmaşıklık barındırmaktadır.

Önerilen model, incelenen sistemin nedensel ilişkilerinin belirlenmesini, bu ilişkilere dayanarak sistem davranışlarının tahmin edilmesini ve sistem davranışlarından değişkenler arasındaki ilişkilerin boyutlarının ortaya konmasını amaçlamaktadır. Değişkenler arasındaki ilişkilerin boyutları ortaya konduktan sonra sistem için sunulacak iyileştirme önerileri de daha sağlam bir temele oturmuş olacaktır.

Önerilen modelin uygulamasında BA'nın kurulması, derlenmesi ve sistem davranışının tahmin edilmesi için Netica 1.12 yazılımından yararlanılmıştır. Bundan sonra sistemin kontrol edilemez kritik değişkenini etkileyen diğer değişkenlerin önem sırasının bulunması için YSA türlerinden geri yayılmaya sahip ileri beslemeli ÇKA kullanılmıştır.

Önerilen modelin uygulaması VKV Amerikan Hastanesi Radyoloji Servisi Tomografi Bölümü'nde yapılmıştır. Bu bölümde yaşanan sorun tetkik süresinin beklenenden uzun sürmesidir. Tomografi sistemini etkileyen değişkenler ve aralarındaki ilişkilerin BA kullanılarak modellenmesi ve değişkenler durumlarının belirlenmesinde yüksek derecede uzman bilgi ve görüşlerinden yararlanılmıştır.

Önerilen modelin zayıf bir yanı modelin öznel bilgilere ve deneyimlere dayanarak kurulması, yoğun olarak uzman bilgi ve görüşlerine dayanmasıdır.

Tomografi sistemi 10 değişken ile modellenmiştir. Bu değişkenler deskten tetkike kadar geçen süre, tetkik türü, hasta, teknisyen, ilaç kullanımı, tetkik süresi, doktorun tetkik ve raporlama için ayırdığı zaman, raporlama, tıbbi sekreterin raporlama için ayırdığı zaman ve raporun deske dönüşü olarak belirlenmiştir. Tetkik türü deskten tetkike kadar geçen süreyi ve tetkik süresini etkilemekte, başka bir değişkenden etkilenmemektedir. Deskten tetkike kadar geçen süre yalnız tetkik türünden etkilenmektedir. Hasta, teknisyen ve ilaç kullanımı yalnız tetkik süresini etkilemekte, başka değişkenlerden etkilenmemektedir. Tetkik süresi tetkik türü, hasta, teknisyen ve ilaç kullanımı değişkenlerinden etkilenmekte, doktorun tetkik ve raporlama için harcadığı süreyi etkilemektedir. Doktorun çekim ve raporlama için harcadığı süre yalnız tetkik süresinden etkilenmekte raporlama ve raporun deske dönüşünü etkilemektedir. Raporlama doktorun tetkik ve raporlama için harcadığı süreden ve tıbbi sekreterin raporlama için harcadığı süreden etkilenmekte, ancak herhangi bir değişkeni etkilememektedir. Tıbbi sekreterin raporlama için harcadığı zaman yalnız raporlamayı etkilemekte, başka bir değişkenden etkilenmemektedir. Raporun deske dönüşü yalnız doktorun tetkik ve raporlama için harcadığı zamandan etkilenmekte, başka bir değişkeni etkilememektedir.

BA ile modellenmiş hali ile sistem davranışları hakkında tahminler yapılabilmekte, değişken belirliliklerinin değişmesinin diğer değişkenlerin belirlilikleri üzerindeki etkileri gözlemlenebilmektedir. Ancak bu sistemde kullanıcılar tarafından en önemli kabul edilen değişken tetkik süresidir. O nedenle, tetkik süresini etkileyen değişkenlerin önem sıralarının bulunması ve bu sıraya uyarak önerilen iyileştirme değişikliklerinin yapılması - kritik değişkeni daha çok etkileyeceğinden - anlamlıdır. Bu önem sırasının bulunmasında oluşturulan ÇKA'nın girdi nöronlarını gizli katman nöronlarına bağlayan ağırlıkların mutlak değerleri toplanmış ve en büyük ağırlık toplamına sahip değişken önem sıralamasında birinci sıraya konulmuştur. Tetkik süresini etkileyen değişkenlerin önem sırası tetkik türü, ilaç kullanımı, hasta ve teknisyen şeklindedir.

Bu çalışmaya ek olarak yapılacak bir çalışmada değişken durumlarının belirlenmesi ve olasılıkların hesaplanması konusunda bulanık mantıktan yararlanılabilir. Değişken

durumları için üyelik fonksiyonları kullanılabilir ve incelenen sistemlerin sahip oldukları belirsizlik düzeyleri daha iyi temsil edilebilir.

Çalışmada sistemin modellenmesi ve olasılıkların saptanması konularında karşılaşılan uzman öznel bilgisi kullanma zorunluluğu sorunlarından ilki için BA'nın veriden sonuç çıkarma yöntemi kullanılabilir. Ancak bu yöntemin kullanılabilmesi için verilerin önceden toplanmış olması gereklidir. Bu aşamada ise hangi verilerin toplanması gerektiği önceden bilinmediğinden çok fazla sayıda ve kaçınılmaz olarak bir kısmı gereksiz veriler toplamakla karşı karşıya kalınabilir. Bu nedenle gelecek çalışmalarda da BA modeli kurulumunda uzman görüşlerinden yararlanılması planlanmaktadır. Ancak model bir kez kurulduktan sonra olasılıkların uzmanlardan elde edilmesi yerine sistem kendisini açıklayan değişkenler açısından gözlemlenebilir.

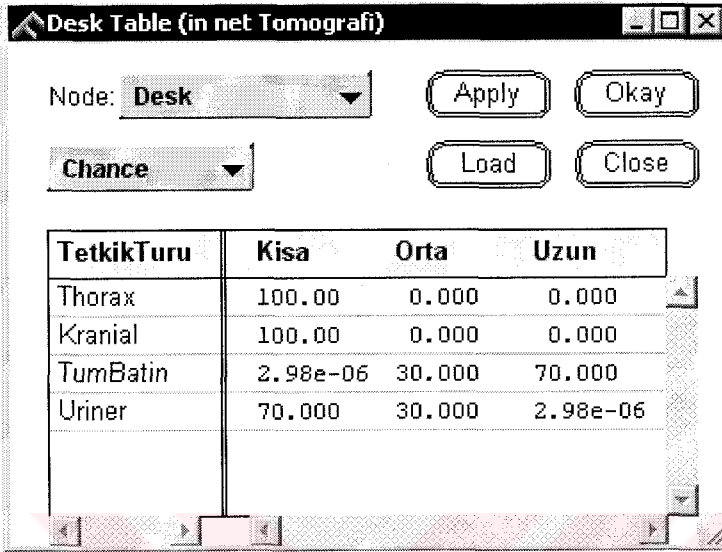


KAYNAKLAR

- [1] **Luss, H. ve Rosenwein, M. B.**, 1997. Operations research applications: opportunities and applications, *European Journal of Operations Research*, **27**, 220-244.
- [2] **De Angelis V., Felici G., Impelluso P.**, 2003. Integrating simulation and optimisation in health care centre management, *European Journal of Operational Research*, **150**, 101–114.
- [3] **Li J., Aickelin U.**, 2003. A Bayesian Optimization Algorithm for the Nurse Scheduling Problem, *Proceedings of 2003 Congress on Evolutionary Computation (CEC2003)*, 2149-2156, IEEE Press, Canberra, Australia.
- [4] **Standridge, C.R.**, 1999. A Tutorial On Simulation In Health Care: Applications And Issues, *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, P. A. Farrington, H. B. Nembhard, D. T. Sturrock, and G. W. Evans, eds., 49-55.
- [5] **Kaplan, E.H. ve O'Keefe, E.**, 1993. Let the needles do the talking! Evaluating the New Haven needle exchange, *Interfaces*, **23/1**, 7-26.
- [6] **Shortliffe, E.D., Perrault L.E.** (eds.), 2001. Medical Informatics Computer Applications in Health Care and Biomedicine, 31-40, Springer-Verlag, NewYork.
- [7] **Orr RK.**, 1997. Use of a probabilistic neural network to estimate the risk of mortality after cardiac surgery, *Medical Decision Making*, **17/2**, 178-185.
- [8] **Speigelhalter, D.J., Dawid, A.P. Lauritzen, S.L. Cowell R.G.**, 1993. Bayesian analysis in expert systems, *Statistical Science*, **8/3**, .
- [9] **D. Heckerman**, 1996. Bayesian networks for data mining, *Data Mining and Knowledge Discovery* **1**, .
- [10] **Geiger, D., Shenoy, P.P.**, (Editör), 1997. Uncertainty in Artificial Intelligence: *Proceedings of the Thirteenth Artificial Intelligence Conference* içinde **K.B. Laskey, S.M. Mahoney**, Network fragments: representing knowledge for constructing probabilistic models.
- [11] **Jensen, F.V.**, 2001. Bayesian Networks and Decision Graphs, Springer-Verlag, NewYork.
- [12] **Cerit, C., Yüksel M.**, 2000. Olasılık, 34-45, Beta Yayınevi, İstanbul.
- [13] **Lauritzen, S.L., Spiegelhalter D.J.**, 1988. Local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert systems, *Journal Royal Statistics Society*, **50/2**, 157-194.
- [14] **Broomhead, D.S., Lowe, D.**, 1988. Multivariate functional interpolation and adaptive networks, *Complex Systems*, **2**, 321-355.

- [15] **Moschetti, G., Blaiotta G., Villani, F., Coppola, S., Parente, E.,** 2001. Comparison of Statistical Methods for Identification of *Streptococcus thermophilus*, *Enterococcus faecalis*, and *Enterococcus faecium* from Randomly Amplified Polymorphic DNA Patterns, *Applied and Environmental Microbiology*, **67/5**, 2156-2166.
- [16] **Şahin Önsel Ş.,** 2001. Yapay Sinir Ağları ile Dinamik Bir Senaryo Analizi, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] **Demuth, H., Beale, M.,** 2002. Neural Network Toolbox, *Matlab User's Guide*, Mathworks.
- [18] **Vermuri, V.,** 1990. Artificial Neural Networks: Theoretical Concepts, Computer Society Press, California
- [19] **Vermunt, J.K., Magidson, J.,** 2003. Latent class models for classification, *Computational Statistics & Data Analysis*, **41**, 531 – 537.
- [20] http://www.csse.monash.edu.au/bai/book/appendix_b.pdf
- [21] <http://www.norsys.com>
- [22] <http://www.mathworks.com>
- [23] <http://www.amerikanhastanesi.com.tr>

EK – A Değişken Durumları İçin Olasılık Tabloları

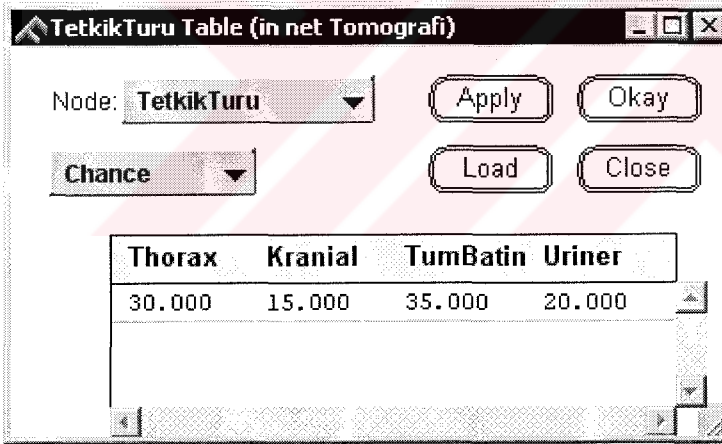


Node: **Desk** Apply Okay

Chance **Desk** Load Close

TetkikTuru	Kisa	Orta	Uzun
Thorax	100.00	0.000	0.000
Kranial	100.00	0.000	0.000
TumBatin	2.98e-06	30.000	70.000
Uriner	70.000	30.000	2.98e-06

Şekil A.1 Deskten tetkike girişe kadar geçen süre için olasılık tablosu



Node: **TetkikTuru** Apply Okay

Chance **TetkikTuru** Load Close

Thorax	Kranial	TumBatin	Uriner
30.000	15.000	35.000	20.000

Şekil A.2 Tetkik türü için olasılık tablosu

Hasta Table (in net Tomografi)

Node: **Hasta** ▼

Chance ▼

Apply Okay

Load Close

Uyumlu	Uyumsuz
95.000	5.000

Şekil A.3 Hasta için olasılık tablosu

Teknisyen Table (in net Tomografi)

Node: **Teknisyen** ▼

Chance ▼

Apply Okay

Load Close

PTTekn...	PTTekD...
90.000	10.000

Şekil A.4 Teknisyen için olasılık tablosu

IlacKullanimi Table (in net Tomografi)

Node: **IlacKullanimi** ▼

Chance ▼

Apply Okay

Load Close

Ilacli	Ilacsiz
50.000	50.000

Şekil A.5 İlaç kullanımı için olasılık tablosu

Netica - [TetkikSuresi Table (in net Tomografi)]						
File Edit Layout Modify Network Relation Style Report Window Help						
Node: TetkikSuresi			Apply		Okay	
Chance			Load		Close	
TetkikTuru	IlacKullan...	Hasta	Teknisyen	Kisa	Orta	Uzun
Thorax	Ilacli	Uyumlu	PTTeknisyeni	100.00	0.000	0.000
Thorax	Ilacli	Uyumlu	PTTekDegil	80.000	20.000	5.96e-06
Thorax	Ilacli	Uyumsuz	PTTeknisyeni	60.000	40.000	5.96e-06
Thorax	Ilacli	Uyumsuz	PTTekDegil	5.96e-06	60.000	40.000
Thorax	Ilacsiz	Uyumlu	PTTeknisyeni	100.00	0.000	0.000
Thorax	Ilacsiz	Uyumlu	PTTekDegil	90.000	10.000	2.98e-06
Thorax	Ilacsiz	Uyumsuz	PTTeknisyeni	0.000	100.00	0.000
Thorax	Ilacsiz	Uyumsuz	PTTekDegil	0.000	100.00	0.000
Kranial	Ilacli	Uyumlu	PTTeknisyeni	0.000	100.00	0.000
Kranial	Ilacli	Uyumlu	PTTekDegil	0.000	100.00	0.000
Kranial	Ilacli	Uyumsuz	PTTeknisyeni	0.000	100.00	0.000
Kranial	Ilacli	Uyumsuz	PTTekDegil	2.98e-06	70.000	30.000
Kranial	Ilacsiz	Uyumlu	PTTeknisyeni	100.00	0.000	0.000
Kranial	Ilacsiz	Uyumlu	PTTekDegil	100.00	0.000	0.000
Kranial	Ilacsiz	Uyumsuz	PTTeknisyeni	70.000	30.000	2.98e-06
Kranial	Ilacsiz	Uyumsuz	PTTekDegil	30.000	70.000	2.98e-06
TumBatin	Ilacli	Uyumlu	PTTeknisyeni	0.000	0.000	100.00
TumBatin	Ilacli	Uyumlu	PTTekDegil	0.000	0.000	100.00
TumBatin	Ilacli	Uyumsuz	PTTeknisyeni	0.000	0.000	100.00
TumBatin	Ilacli	Uyumsuz	PTTekDegil	0.000	0.000	100.00
TumBatin	Ilacsiz	Uyumlu	PTTeknisyeni	0.000	100.00	0.000
TumBatin	Ilacsiz	Uyumlu	PTTekDegil	0.000	100.00	0.000
TumBatin	Ilacsiz	Uyumsuz	PTTeknisyeni	2.98e-06	70.000	30.000
TumBatin	Ilacsiz	Uyumsuz	PTTekDegil	2.98e-06	30.000	70.000
Uriner	Ilacli	Uyumlu	PTTeknisyeni	0.000	0.000	100.00
Uriner	Ilacli	Uyumlu	PTTekDegil	0.000	0.000	100.00
Uriner	Ilacli	Uyumsuz	PTTeknisyeni	0.000	0.000	100.00
Uriner	Ilacli	Uyumsuz	PTTekDegil	0.000	0.000	100.00
Uriner	Ilacsiz	Uyumlu	PTTeknisyeni	70.000	30.000	2.98e-06
Uriner	Ilacsiz	Uyumlu	PTTekDegil	90.000	10.000	2.98e-06
Uriner	Ilacsiz	Uyumsuz	PTTeknisyeni	0.000	100.00	0.000
Uriner	Ilacsiz	Uyumsuz	PTTekDegil	0.000	100.00	0.000

Şekil A.6 Tetkik süresi için olasılık tablosu

DoktorYogunlugu Table (in net Tomografi)

Node: **DoktorYogunlugu** ▼

Chance ▼

Apply Okay Load Close

TetkikSuresi	Kisa	Orta	Uzun
Kisa	80.000	10.000	10.000
Orta	20.000	60.000	20.000
Uzun	10.000	50.000	40.000

Şekil A.7 Doktorun çekim ve transkripsiyon için harcadığı zamanın olasılık tablosu

Raporlama Table (in net Tomografi)

Node: **Raporlama** ▼

Chance ▼

Apply Okay Load Close

TibbiSkr...	DoktorYog...	Kisa	Orta
Kisa	Kisa	100.00	0.000
Kisa	Orta	90.000	10.000
Kisa	Uzun	60.000	40.000
Orta	Kisa	90.000	10.000
Orta	Orta	60.000	40.000
Orta	Uzun	50.000	50.000
Uzun	Kisa	80.000	20.000
Uzun	Orta	70.000	30.000
Uzun	Uzun	60.000	40.000

Şekil A.8 Raporlama için olasılık tablosu

TibbiSekreterYogunlugu Table (in net Tomografi)

Node: **TibbiSekreterYog_** [Apply] [Okay]

Chance [▼] [Load] [Close]

Kisa	Orta	Uzun
40.000	40.000	20.000

Şekil A.9 Tıbbi sekreterin raporlama için harcadığı zamanın olasılık tablosu

RaporunDeskeDonusu Table (in net Tomografi)

Node: **RaporunDeskeDo_** [Apply] [Okay]

Chance [▼] [Load] [Close]

DoktorYog...	Kisa	Orta	Uzun
Kisa	95.000	5.000	1.49e-06
Orta	90.000	10.000	2.98e-06
Uzun	70.000	20.000	10.000

Şekil A.10 raporun deske dönüşü için olasılık tablosu

EK – B Kalite Geliştirme Bölümünden Alınan Veriler

RADYOLOJİ VERİLERİ

SIRA NO	TETKİK ADI	Deske başvurudan tetkike girişe kadar geçen süre	Tetkik süresi
1	Kranial	00:27:00	00:05:00
2	TumBatin	04:49:00	00:04:00
3	Kranial	00:11:00	00:04:00
4	Thorax	00:10:00	00:09:00
5	Thorax	00:05:00	00:02:00
6	TumBatin	02:40:00	00:08:00
7	Thorax	00:41:00	00:10:00
8	Kranial	00:20:00	00:10:00
9	Thorax	00:05:00	00:10:00
10	Kranial	00:00:00	00:04:00
11	Thorax	01:48:00	00:07:00
12	Thorax	01:00:00	00:27:00
13	Thorax	00:14:00	00:06:00
14		02:15:00	00:14:00
15	Thorax	00:08:00	00:04:00
16	TumBatin	01:25:00	00:23:00
17	Thorax	01:50:00	00:10:00
18	TumBatin	00:25:00	00:04:00
19	Kranial	03:00:00	00:20:00
20	Thorax	01:00:00	00:00:00
21	Thorax	00:10:00	00:06:00
22	Thorax	01:25:00	00:10:00
23	Thorax	02:15:00	00:15:00
24	Uriner	00:10:00	00:05:00
25	Kranial	00:15:00	00:10:00
26	Thorax	01:35:00	00:08:00
27	Thorax	00:05:00	00:05:00
28	Thorax	00:50:00	00:20:00
29	Kranial	00:15:00	00:15:00
30	TumBatin	01:00:00	00:10:00
31	LOMBER BT	01:00:00	00:10:00
32	ÜST BETR	00:40:00	00:05:00
33	Thorax	01:15:00	00:15:00
34	Kranial	00:25:00	00:05:00
35	TumBatin	01:00:00	00:15:00
36	Kranial	03:35:00	00:10:00
37	Thorax	00:45:00	00:10:00
38	Thorax	03:03:00	00:07:00
39	TumBatin	00:40:00	00:20:00
40	Thorax	00:10:00	00:10:00
41	Kranial	00:30:00	00:10:00

SIRA NO	TETKİK ADI	Deske başvurudan tetkike girişe kadar geçen süre	Tetkik süresi
42	TumBatin	01:25:00	00:10:00
43	Kranial	00:15:00	02:25:00
44	TumBatin	01:15:00	00:30:00
45	Kranial	00:30:00	00:15:00
46	Kranial	00:35:00	00:05:00
47	Kranial	00:05:00	00:30:00
48	TumBatin	01:15:00	00:10:00
49	SİNÜS BT	00:53:00	00:03:00
50	Thorax	00:35:00	00:05:00
51	Thorax	03:55:00	00:05:00
52	AYAK BİLEĞİ	00:10:00	00:10:00
53	Kranial	00:20:00	00:15:00
54	Thorax	00:15:00	00:15:00
55	Thorax	00:05:00	00:10:00
56	Kranial	00:10:00	00:05:00
57	TumBatin	01:00:00	00:15:00
58	Thorax	00:45:00	00:05:00
59	TumBatin	02:00:00	00:20:00
60	Thorax	00:35:00	00:15:00
61	Thorax	00:00:00	00:30:00
62	TumBatin	01:55:00	00:25:00
63	TumBatin	00:10:00	00:25:00
64	Kranial	00:30:00	00:10:00
65	Thorax	01:20:00	00:25:00
66	Thorax	01:05:00	00:10:00
67	Thorax	00:20:00	00:20:00
68	Thorax	02:15:00	00:05:00
69	Kranial	00:10:00	00:05:00
70	Thorax	01:10:00	00:30:00
71	TumBatin	01:00:00	00:10:00
72	Thorax	01:30:00	00:15:00
73	SİNÜS BT	00:13:00	00:04:00
74	Thorax	00:30:00	00:10:00
75	BBT	01:00:00	00:15:00
76	Kranial	01:05:00	00:05:00
77	Thorax	00:25:00	00:10:00
78	Kranial	01:15:00	00:05:00
79	Thorax	00:40:00	00:05:00
80	Thorax	01:00:00	00:05:00
81	Kranial	00:10:00	00:05:00
82	Thorax	01:50:00	00:05:00
83	Kranial	00:50:00	00:05:00
84	Thorax	00:25:00	00:05:00
85	TumBatin	00:40:00	00:10:00
86	Thorax	00:05:00	00:05:00
87	Thorax	00:45:00	00:10:00
88	TumBatin	01:15:00	00:20:00
89	TumBatin	03:00:00	00:45:00
90	Thorax	00:30:00	00:05:00

SIRA NO	TETKİK ADI	Deske başvurudan tetkike girişe kadar geçen süre	Tetkik süresi
91	TumBatin	00:35:00	00:40:00
92	Thorax	01:00:00	00:15:00
93	Thorax	00:15:00	00:05:00
94	Thorax	00:15:00	00:20:00
95	Thorax	01:15:00	00:10:00
96	Thorax	01:30:00	00:30:00
97	Thorax	00:05:00	00:05:00
98	Thorax	00:10:00	00:10:00
99	TumBatin	01:46:00	00:10:00
100	Thorax	02:30:00	00:05:00
101	-	00:05:00	00:10:00
102	Thorax	01:20:00	00:10:00
103	-	02:18:00	00:07:00
104	Thorax	00:05:00	00:06:00
105	TumBatin	18:15:00	00:15:00
106	Thorax	01:00:00	00:05:00
107	Thorax	00:30:00	00:05:00
108	Thorax	00:40:00	00:10:00
109	Kranial	01:20:00	00:10:00
110	Thorax	00:20:00	00:10:00
111	Thorax	00:45:00	00:05:00
112	-	00:55:00	00:05:00
113	Thorax	00:08:00	00:04:00
114	-	00:35:00	00:05:00
115	TumBatin	00:45:00	00:15:00
116	TumBatin	00:30:00	00:20:00
117	Thorax	01:30:00	00:10:00
118	Thorax	00:14:00	00:06:00
119	Thorax	00:25:00	00:10:00
120	Thorax	00:45:00	00:15:00
121	Thorax	00:10:00	00:05:00
122	Thorax	00:20:00	00:05:00
123	Thorax	01:20:00	00:05:00
124	Thorax	00:16:00	00:06:00
125	Thorax	01:05:00	00:05:00
126	Kranial	01:00:00	00:15:00
127	-	01:10:00	00:15:00
128	Boyun C	00:06:00	00:14:00
129	Thorax	02:40:00	00:15:00
130	TumBatin	00:30:00	00:10:00
131	-	01:05:00	00:15:00
132	Thorax	01:25:00	00:10:00
133	TumBatin	01:10:00	00:20:00
134	-	00:40:00	00:10:00
135	TumBatin	00:50:00	00:05:00
136	Thorax	01:15:00	00:00:00
137	Thorax	00:50:00	00:05:00
138	TumBatin	01:30:00	00:30:00
139	Erner Sistem	01:10:00	00:20:00
140	-	00:15:00	00:10:00

SIRA NO	TETKİK ADI	Deske başvurudan tetkike girişe kadar geçen süre	Tetkik süresi
141	Thorax	02:45:00	00:07:00
142	Kranial	00:15:00	00:10:00
143	Kranial	00:40:00	00:10:00
144	Thorax	02:30:00	00:15:00
145	Thorax	01:25:00	00:00:00
146	Thorax	02:30:00	00:00:00
147	Kranial	00:20:00	00:10:00
148	Kranial	00:50:00	00:10:00
149	Kranial	01:03:00	00:05:00
150	TumBatin	01:00:00	00:08:00
151	Kranial	02:50:00	00:10:00
152	TumBatin	01:00:00	00:35:00
153	Thorax	00:35:00	00:10:00
154	Thorax	01:00:00	00:15:00
155	Thorax	00:40:00	00:05:00
156	Kranial	00:30:00	00:10:00
157	Urin	00:06:00	00:09:00
158	Thorax	00:15:00	00:05:00
159	Urin	01:10:00	00:10:00
160	Thorax	00:15:00	00:05:00
161	TumBatin	02:50:00	00:25:00
162	-	01:30:00	00:15:00
163	Thorax	00:25:00	00:05:00
164	Kranial	00:55:00	00:05:00
165	Urin	00:10:00	00:05:00

EK – C ÇKA’da Kullanılan Veri Setinin İlk 40 Olayı

// ~->[CASE-1]->~

// File created by an unlicensed user using Netica 1:12

// on Apr 16, 2004 at 20:24:16.

IDnum	TetkikTuru	Hasta	Teknisyen	IlacKullanimi	TetkikSuresi
1	TumBatin	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Orta
2	Thorax	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Kisa
3	Uriner	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacli	Uzun
4	Thorax	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Kisa
5	TumBatin	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Orta
6	Uriner	Uyumsuz	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Orta
7	Thorax	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacli	Kisa
8	Thorax	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Kisa
9	Thorax	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Kisa
10	Thorax	Uyumsuz	PTTeknisyeni	Ilacli	Kisa
11	TumBatin	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Orta
12	Kranial	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Kisa
13	Uriner	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Orta
14	Uriner	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacli	Uzun
15	Uriner	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Kisa
16	Uriner	Uyumsuz	PTTeknisyeni	Ilacli	Uzun
17	Thorax	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacli	Kisa
18	TumBatin	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Orta
19	TumBatin	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Orta
20	Thorax	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacli	Kisa
21	TumBatin	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacli	Uzun
22	Uriner	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Orta
23	Thorax	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacli	Kisa
24	Thorax	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Kisa
25	TumBatin	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacli	Uzun
26	Thorax	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacli	Kisa
27	TumBatin	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Orta
28	Thorax	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacli	Kisa
29	Thorax	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Kisa
30	Kranial	Uyumlu	PTTekDegil	Ilacli	Orta
31	Thorax	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Kisa
32	Uriner	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacli	Uzun
33	Kranial	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Kisa
34	Thorax	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Kisa
35	TumBatin	Uyumlu	PTTeknisyeni	Ilacsiz	Orta

EK – D ÇKA’da Kullanılan Kodlanmış Veri Setinin İlk 40 Olayı

// ~->[CASE-1]->~

KODLANMIS

// File created by an unlicensed user using Netica 1.12

// on Apr 16, 2004 at 20:24:16.

IDnum	TetkikTuru		Hasta	Teknisyen	IlacKul	TetkikSuresi	
1	1	0	1	1	0	1	0
2	1	1	1	1	0	1	1
3	0	1	1	1	1	0	1
4	1	1	1	1	0	1	1
5	1	0	1	1	0	1	0
6	0	1	0	1	0	1	0
7	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	0	1	1
9	1	1	1	1	0	1	1
10	1	1	0	1	1	1	1
11	1	0	1	1	0	1	0
12	0	0	1	1	0	1	1
13	0	1	1	1	0	1	0
14	0	1	1	1	1	0	1
15	0	1	1	1	0	1	1
16	0	1	0	1	1	0	1
17	1	1	1	1	1	1	1
18	1	0	1	1	0	1	0
19	1	0	1	1	0	1	0
20	1	1	1	1	1	1	1
21	1	0	1	1	1	0	1
22	0	1	1	1	0	1	0
23	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	0	1	1
25	1	0	1	1	1	0	1
26	1	1	1	1	1	1	1
27	1	0	1	1	0	1	0
28	1	1	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	0	1	1
30	0	0	1	0	1	1	0
31	1	1	1	1	0	1	1
32	0	1	1	1	1	0	1
33	0	0	1	1	0	1	1
34	1	1	1	1	0	1	1
35	1	0	1	1	0	1	0

Kod yapisi

Tetkik Turu	Thorax	1 1
	Kranial	0 0
	TumBatin	1 0
	Uriner	0 1
Hasta	Uyumlu	1
	Uyumsuz	0
Teknisyen	Primer	1
	Pr. Degil	0
Ilac Durumu	Ilacli	1
	Ilacsiz	0
Tetkik süresi	Kisa	1 1
	Orta	1 0
	Uzun	0 1

ÖZGEÇMİŞ

Emel AKTAŞ, 29 Kasım 1980’de Kütahya’da doğdu. 1998 yılında Bartın Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. Aynı yıl İTÜ İşletme Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’ne girdi. Lisans eğitimini Haziran 2002’de tamamladıktan sonra İTÜ Endüstri Mühendisliği Anabilim dalı Endüstri Mühendisliği Yüksek Lisans programında eğitim görmeye başladı. Aynı yılın Ekim ayında halen görev yapmakta olduğu Yöneylem Araştırması Anabilim Dalı’nda araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. İngilizce bilmektedir.

