

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BİR TEKSTİL FABRİKASINDA BAYES AĞLARININ BAKIM
PLANI DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN UYGULANMASI**

Hazırlayan

Elif DOĞDU

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ocak 2012

KAYSERİ

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİR TEKSTİL FABRİKASINDA BAYES AĞLARININ BAKIM
PLANI DEĞERLENDİRİLMESİ İÇİN UYGULANMASI
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**Hazırlayan
Elif DOĞDU**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY**

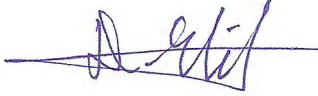
**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Ocak 2012
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Elif DOĞDU



YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI

“Bir Tekstil Fabrikasında Bayes Ağlarının Bakım Planı Değerlendirilmesi İçin Uygulanması”, etkinliklerinin araştırılması adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

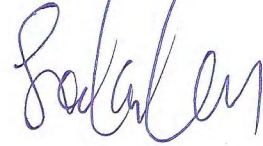
Tezi Hazırlayan

Elif DOĞDU



Danışman

Yrd. Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY



Endüstri Mühendisliği ABD Başkanı

Doç. Dr. Mithat ZEYDAN



Yrd. Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY danışmanlığında **Elif DOĞDU** tarafından hazırlanan “**Bir Tekstil Fabrikasında Bayes Ağlarının Bakım Planı Değerlendirilmesi İçin Uygulanması**”, adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

02 / 01 / 2012

JÜRİ:

Danışman **Yrd. Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY**

Üye **Doç. Dr. Mithat ZEYDAN**

Üye **Yrd. Doç. Dr. Mete ÇELİK**

Selda Kapan Ulusoy
Mithat Zeydan
Mete Çelik

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 03/01/2012 tarih ve 2012/01-06 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

03 / 01 / 2012

M. Maraşlı

Prof. Dr. Necmettin MARAŞLI

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım boyunca değerli görüş ve katkılarıyla beni yönlendiren ve her konuda yardımcı olan danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY'a katkılarından dolayı teşekkür eder, tüm hocalarıma saygılarımı sunarım.

Ayrıca çalışmamın uygulama kısmı için gereken verileri bana temin eden ve desteklerini, bilgilerini paylaşan firmanın haşıl bölümünden sorumlu mühendisi sayın Elçin ÖZALP'e teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Tüm çalışmalarımda her zaman yanımda olan ve hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen canım aileme ve arkadaşlarıma sevgi ve saygılarımı sunarım.

BİR TEKSTİL FABRİKASINDA BAYES AĞLARININ BAKIM PLANI DEĞERLENDİRMESİ İÇİN UYGULANMASI

Elif DOĞDU

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2012

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY

ÖZET

Endüstride işletmeler rekabetin artmasıyla gittikçe zorlaşan koşullarda varlığını sürdürmek zorundadır. Firmalar üretim yöntemlerini, sistemlerini ve süreçlerini müşteri ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde düzenlemelidir. Bunların yanı sıra rekabette önemli unsurlardan biri de güvenilirliktir. Müşteri ihtiyaçları karşılanırken işletme karlılığının düşmemesi, üretimin aksamaması, üretim kalitesinin düşmemesi, üretimde kayıpların ve bu kayıpların getirdiği maliyetlerin artmaması için üretim sistemlerinde güvenilirliğin sağlanması gereklidir. Bunun için uygun bir bakım planının belirlenmesi önem arz etmektedir.

Tez çalışmasında, bir üretim tesisinin bakım onarım planının değerlendirilmesi için olasılıklı ağ modellerinin en çok kullanılan çeşitlerinden biri olan bayes ağları (BA) kullanılmıştır. BA ile bir sistemin parçaları ve bu parçalarla olan ilişkileri göz önüne alındığından bakım onarım planı belirlemede etkin bir araçtır.

Anahtar Kelimeler: Güvenilirlik, Bakım planlama, Bayes ağları (BA).

**USING BAYESIAN NETWORKS FOR EVALUATING A MAINTENANCE
PLAN IN A TEXTILE FACTORY**
Elif DOĞDU

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, January 2012

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Selda KAPAN ULUSOY

ABSTRACT

Establishments in industry have to continue their operations and be successful together with the increasing competition under becoming more and more difficult conditions. Firms should design their manufacturing methods, systems and process in order to meet the needs of the customers. Reliability is also an important element in competition while they are trying to meet the needs of the customers; it is necessary for them to provide the reliability of manufacturing systems to keep the production cost down, to achieve the best operating performance, to obtain optimum profit, to increase the manufacturing quality and to prevent the losses in production.

Therefore, it is significant to determine a proper maintenance and repair plan. In this study, a Bayesian Network (BN), which is one kind of the most probabilistic network models, is used to evaluate the maintenance and repair plan in a manufacturing establishment. BN is an effective tool to determine the maintenance and repair plan when we take into consideration the parts of system and their relation to the system.

Keywords: Reliability, Maintenance Planning, Bayesian Networks (BN).

İÇİNDEKİLER

BİR TEKSTİL FABRİKASINDA BAYES AĞLARININ BAKIM PLANI DEĞERLENDİRMESİ İÇİN UYGULANMASI

Sayfa

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	ii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. İlgili Olasılık Konularının Özetlenmesi.....	3
1.1.1. Koşullu Olasılık	3
1.1.2. Bayes Teoremi.....	4
1.1.3. Ortak Olasılık Fonksiyonu	5
1.1.4. Koşullu Bağımsızlık	6
1.2. Bakım Faaliyetlerinin Sınıflandırılması	7
1.3. Bakım Politikaları ve Analizleri	8
1.3.1. Tek Ünite Sistemler için Bakım Politikaları	8
1.3.1.1. Yaşa Bağlı KB Politikası	8
1.3.1.2. Periyodik KB Politikası	9
1.3.1.3. Yetmezlik Limit Politikası	10
1.3.1.4. Ardışık KB Politikası	10
1.3.1.5. Tamir Limit Politikası	11
1.3.1.6. Tamir Sayısı Sayma ve Referans Zamanı Politikası	11
1.3.2. Çok Üniteli Sistemler için Bakım Politikaları	12
1.3.2.1. Grup Bakım Politikası	13

1.3.2.2. Fırsat Bakım Politikası	14
--	----

2. BÖLÜM

BAYES AĞLARI

2.1. Bayes Ağı Nedir	15
2.2. Bayes Ağı Yapısının Oluşturulması	17
2.2.1. Nedensel Ağlar	18
2.2.1.1. Seri Bağlantılar	18
2.2.1.2. Iraksayan Bağlantılar	19
2.2.1.3. Yakınsayan Bağlantılar	20
2.3. Koşullu Olasılık Tabloları	21
2.4. Bayes Ağlarının Güvenilirlikte Kullanılması	23

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Modele Karar Verme	24
3.2. Değişkenlere Karar Verilmesi	29
3.3. Bayes Ağının Niteliksel Kısmının Oluşturulması	33
3.4. Bayes Ağının Niceliksel Kısmının Oluşturulması	35
3.5. Kurulan Bayes Ağının Doğrulanması	42

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

Sonuç ve Öneriler	44
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Üç durumlu B değişkeni bilindiğinde iki durumlu A değişkeni için koşullu olasılık tablosu.....	22
Tablo 2.2. Üç değişkenli B ve iki değişkenli A için birleşik olasılık tablosu	23
Tablo 3.1. Çağlık bölümü için arıza türleri	30
Tablo 3.2. Haşıl teknesi bölümü için arıza türleri	30
Tablo 3.3. Kurutma barabanları bölümü için arıza türleri	30
Tablo 3.4. Başlık bölümü için arıza türleri.....	30
Tablo 3.5. Mantık kapılarının gösterimi	31
Tablo 3.6. Hata ağacı kavramları.....	31
Tablo 3.7. Alt sistemlerin bozuk olduğu verildiğinde sistemin olasılık dağılımı.....	42
Tablo 3.8. Alt sistemlerin bozuk olduğu verildiğinde alt sistem parçalarının olasılık dağılımı	43

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Örnek bir BA yapısı	15
Şekil 2.2. Seri bağlantı	18
Şekil 2.3. Seri bağlantıya bir örnek.....	19
Şekil 2.4. Iraksayan bağlantı	19
Şekil 2.5. Cinsiyet, saç ve boy uzunlukları arasındaki nedensel ilişkiler	19
Şekil 2.6. Yakınsayan bağlantı	20
Şekil 2.7. Soğuk algınlığı boğaz iltihabı ve ateş çıkması arasındaki nedensel ilişkiler..	21
Şekil 2.8. A nın ebeveynlerine bağlı olduğu durumlara örnekler.....	21
Şekil 3.1. Haşıl depertmanı yerleşim planı	27
Şekil 3.2. Haşıl bölümünün hata ağacı grafiği	32
Şekil 3.3. Bütün sistemin BA gösterimi.....	33
Şekil 3.4. Çağlık bölümü BA gösterimi.....	33
Şekil 3.5. Haşıl teknesi bölümü BA gösterimi	34
Şekil 3.6. Kurutma barabanları bölümü BA gösterimi	34
Şekil 3.7. Başlık bölümü BA gösterimi	34
Şekil 3.8. Kullanılan veriler	35
Şekil 3.9. Veri öğretildikten sonra meydana gelen olasılık dağılımı.....	36
Şekil 3.10. Sistemin olasılıkları.....	36
Şekil 3.11. Çağlık bölümünün olasılıkları.....	36
Şekil 3.12. Haşıl teknesi bölümünün olasılıkları.....	37
Şekil 3.13. Kurutma barabanları bölümünün olasılıkları.....	37
Şekil 3.14. Başlık bölümünün olasılıkları	38
Şekil 3.15. Sistemin bozuk olduğu verildiğinde bileşenlerin olasılıkları	40
Şekil 3.16. Hatalı üretim meydana geldiği bilindiğinde bileşenlerin olasılıkları	41

GİRİŞ

Endüstride teknolojinin gelişimi ve pazar alanının genişlemesiyle rekabet artmaktadır. Bu nedenle firmalar gün geçtikçe çetinleşen bu koşullarda ayakta kalmak zorundadır. Bunun için de müşteri ihtiyaçlarına cevap vermeleri gerekmektedir. Firmalar üretim yöntemlerini, sistemlerini ve süreçlerini müşteri ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde düzenlemelidir. Kullanılan ekipmanın tamiri ve bakımı üretim maliyetleri üzerinde doğrudan etkiye sahiptir. Bu yüzden bakım faaliyetlerinin üretim üzerine etkisi göz ardı edilmemelidir.

Belirli bir ekipmanı çalışır halde tutmak, arızalanmasını önlemek ve özelliklerini yitirmiş bir ekipmanı tekrar eski haline getirmek için yapılan bütün faaliyetlere bakım adı verilmektedir. Bakım bu amaçlara yönelik teknik, idari, yönetsel ve denetim faaliyetlerinin bir bütünü olarak değerlendirilmektedir. Yukarıda bahsedilen zor koşullarda firmaların varlığını sürdürebilmesi için bakım konusundada yüksek teknolojiyi kullanması gerekmektedir. Müşteri isteklerine cevap verirken işletme karlılığının düşmemesi için üretimin aksamaması, üretim kalitesinin düşmemesi, üretimde kayıpların ve bu kayıpların getirdiği maliyetlerin artmaması için uygun bir bakım onarım planının belirlenmesi önem arz etmektedir.

Optimum bir bakım onarım planının hazırlanması üretim aksamalarını, bu aksamalardan doğacak üretim kayıplarını en aza indirmede önemlidir. Ekipmanın ve üretimin ani meydana gelen arızalardan dolayı ve bu arızaların büyük kayıplara neden olması bakım onarım planının gerekliliğini mecbur kılmıştır.

Yukarıda anlatılanlar doğrultusunda bir üretim tesisi için bakım planlamanın önemi açıktır. Bu çalışmada uygun bir bakım onarım planının kurulması için olasılıklı ağ modellerin en çok kullanılan çeşitlerinden biri olan bayes ağları (BA) modelleri

kullanılmıştır. BA, ilgilenilen değişkenler arası olasılık ilişkilerini gösteren grafik modelleridir. BA ile bir sistemin parçaları ve bu parçalarla olan ilişkileri göz önüne alındığından bakım onarım planı belirlemede etkin bir araçtır.

Bu bakış açısıyla yola çıkarak bu çalışmada BA ve bakım planlamanın geniş bir anlatımı yapıldıktan sonra BA kullanılarak bir üretim sistemi için mevcut bakım planı değerlendirilecektir.

Yapılan literatür taramasında bakım onarım planlama için BA'nın yeni bir uygulama alanı olduğu görülmüştür. Çalışmanın ikinci bölümünde BA ayrıntılı olarak anlatılmış ve bu konuda yapılan literatür taramasına yer verilmiştir. Üçüncü kısımda ise bakım işlevi hakkında bilgi verilmiş ve işletmelerin bakım politikası anlatılmıştır. Bir sonraki bölüm olan dördüncü bölümde ise üretim sistemindeki belirlenen bir makinenin bakım onarım planı anlatılmış ve mevcut olan bakım planlarına göre oluşturulan BA modeli açıklanmıştır. Son bölümde bir kumaş fabrikasının iplik bölümündeki haşıl makinesi üzerinde analizler yapılacaktır. Bayes ağları ile yeniden düzenlenen bakım onarım planlama ile mevcut bakım onarım planından kaynaklanan yetersiz ya da gereksiz yere yapılan bakım onarım işlemlerini, gereksiz bakımından kaynaklanan işçi maliyetlerini yetersiz bakımdan kaynaklanan makine yetmezliklerini engelleyerek üretim ve zaman kaybı azaltılacaktır. Firmaya katkı sağlanacaktır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. İlgili Olasılık Konularının Özetlenmesi

Yukarıda problemden ve bu problemin BA kullanılarak çözüleceğinden bahsetmiştik. Bu bölümde 2. bölümde anlatılacak olan BA nı daha iyi anlayabilmek için ilgili olan olasılık konuları özetlenecektir.

1.1.1. Koşullu Olasılık

Bir deneyin olası tüm çıktılarının kümesi 'örnek uzay' olarak adlandırılır. Bir örnek uzayın deneyin tüm çıktılarını içerdiği farz edilir. Bu varsayım deneyin örnek uzay içindeki bir değerle sonuçlanmasını sağlar. Örneğin bir zarın atılması örneğinde örnek uzay $S = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ kümesidir. Örnek uzayın bir alt kümesi bir olay olarak adlandırılır. 6 durumlu bir zar için 3 ya da daha yüksek gelmesi olayı $\{3, 4, 5, 6\} \subseteq \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ alt kümesiyle ifade edilir.

S örnek uzayının bir alt kümesi olan A olayının gerçekleşme olasılığı $P(A)$ ile ifade edilir. Bu olasılık aşağıdaki 3 aksiyoma göre olmalıdır [1].

Aksiyom 1: Örnek uzayın bir çıktısı olan S olayının meydana gelmesi kesin ise olasılığı 1 dir.

$$P(S) = 1$$

Aksiyom 2: Herhangi bir A olayı negatif olmayan bir olasılık değerine sahip olmalıdır. Her $A \subseteq S$ için $P(A) \geq 0$ olmalıdır.

Aksiyom 3: A ve B ayrık iki olaysa birleştirilmiş olayın olasılığı bu iki olayın olasılıklarının toplamıdır.

Eğer $A \subseteq S$, $B \subseteq S$ ve $A \cap B = \emptyset$ ise $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$ dir.

A ve B ayrık olaylar değilse $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$ dir.

Koşullu olasılık kavramı, bir olayın gerçekleşme olasılığının hesaplanmasında ek bilginin kullanılmasına olanak tanır. Örneğin bir kişinin iki çocuğu olduğunu düşünürsek, her ikisinin de kız olma olasılığı 1/4 olur. Ancak birinin kız olduğunu önceden bilirsek, bu olasılık 1/2 olarak değişir. Yani ikinci durumda, her iki çocuğun da kız olma olasılığı, birinin kız olmasına koşullu olarak hesaplanmıştır. B olayı verildiğinde A olayının gerçekleşme olasılığı p ise, bu $P(A/B) = p$ olarak gösterilir.

S yi örnek uzay; A ve B yi S nin altkümeleri olarak düşünelim. B olayının gerçekleştiği biliniyorsa A nında gerçekleşmesini $A \cap B$ kümesindeki elemanlar ifade eder. B nin bilinmesi $C \cap B$ nin olasılıkları arasındaki oranı değiştirmez. Biz $P(A \cap B)/P(C \cap B)$ ve $P(A/B) / P(C/B)$ nin aynı olmak zorunda olduğunu çıkarabiliriz. $C=B$ olduğu durumda ve aksiyom 1 den $P(B/B)=1$ olduğu bilindiğinden aşağıdaki özellik çıkartılabilir.

A ve B iki olayı ve $P(B) > 0$ için B verildiğinde A nın koşullu olasılığı [1] :

$$P(A | B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)} \quad (1.1)$$

(1) denklemden temel olasılık hesabı elde edilir:

$$P(A | B) P(B) = P(A \cap B) \quad (1.2)$$

Bu temel kural bize B nin gerçekleştiği verildiğinde A nın gerçekleşme olasılığı ve B nin olasılığı bilindiğinde A ve B nin birlikte meydana gelme olasılığını verir.

Bir diğer C olayı koşulu olduğunda temel kural şöyle yazılabilir:

$$P(A | B \cap C) P(B | C) = P(A \cap B | C) \quad (1.3)$$

$P(A \cap B) = P(B \cap A)$ olduğundan temel kuraldan $P(A | B) P(B) = P(A \cap B) = P(B | A) P(A)$ elde edilir bu da Bayes Teoremini üretir.

1.1.2. Bayes Teoremi

Bayes teoremi bir rassal değişken için olasılık dağılımı içinde koşullu olasılıklar ile marjinal olasılıklar arasındaki ilişkiyi gösterir. Bu şekli ile Bayes teoremi bütün istatistikçiler için kabul edilir bir ilişkiyi açıklar. Bu kavram için Bayes kuralı veya Bayes kanunu adları da kullanılır.

Olasılık teorisi içinde incelenen bir olay olarak B olayına koşullu bir A olayı (yani B olayının bilindiği halde A olayı) için olasılık değeri, A olayına koşullu olarak B olayı (yani A olayı bilindiği haldeki B olayı) için olasılık değerinden farklıdır. Ancak bu iki birbirine ters koşulluluk arasında çok belirli bir ilişki vardır ve bu ilişkiye Bayes Teoremi denilmektedir [1].

$$P(A | B) = \frac{P(B | A) P(A)}{P(B)} \quad (1.4)$$

Bayes kuralı bize diğer bir B olayı hakkında bilgi bilindiğinde A olayı hakkındaki bilgimizi güncellememizi sağlar. Bu nedenle $P(A | B)$, B verildiğinde A'nın sonsal olasılığı olarak adlandırılmasına karşın $P(A)$ genellikle A'nın öncül olasılığı olarak adlandırılır. $P(B | A)$ olasılığı B verildiğinde A'nın olasılığı olarak adlandırılır.

Bayes kuralını üçüncü olayın varlığı için yazarsak:

$$P(A | B, C) = \frac{P(B | A, C) P(A | C)}{P(B | C)} \quad (1.5)$$

1.1.3. Ortak Olasılık Fonksiyonu

Bazı deneyler iki ya da daha fazla RD ile tanımlanırlar. Öğrencilerin almış olduğu notlar ile yaşları arasındaki bir ilişkiyi ortaya koymak için bir araştırma yaparken, partilerin illere göre oy dağılımının araştırmasını yaparken ve bunun gibi birçok olayları incelerken ortak olasılık fonksiyonu kullanılır.

(x,y) iki sayısal karakter olan X ve Y ile ölçülmüş bir rassal deneyin sonucunu gösteriyorsa, o iki boyutlu rassal değişkendir. (x,y) birleşiminden birisi kesikli olurken diğeri sürekli olabilir. Ama burada yalnızca ikisinin ya kesikli ya da sürekli olduğu durum için ortak olasılık fonksiyonları tanımlanacaktır.

X ve Y aynı örnek uzayda tanımlanmış, iki kesikli rassal değişken olsun. X ve Y'nin ortak olasılık fonksiyonu $P_{xy}(x,y)$ ile gösterilir ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$P_{xy}(x, y) = P(x, y) = P(\{s \in S \mid X_{(s)}=x, Y_{(s)}=y\}) = P(X=x, Y=y) \quad (1.6)$$

$P(x, y)$ 'nin bileşik olasılık dağılım fonksiyonu olabilmesi için aşağıda verilen üç eşitliği sağlaması gerekir.

- i. $P(x_i, y_j) = 0$, $\forall (x_i, y_j) \notin S$ için
- ii. $P(x_i, y_j) \geq 0$, $\forall (x_i, y_j) \in S$ için
- iii. $\sum_{j=1} \sum_{i=1} P(x_i, y_j) = 1$, $\forall (x_i, y_j) \in S$ için

1.1.4 . Koşullu Bağımsızlık

B olayının meydana gelme bilgisi bir diğer A olayının meydana gelme olasılığını etkilemiyorsa A ve B olayları bağımsızdır [2]. Eğer $P(A \mid B) = P(A)$ ise A ve B birbirinden bağımsızdır denir.

Örneğin iki özdeş zar atıldığında ilk zarın 2 gelmesi ikinci zarın ne geleceği konusunda fikir vermez. A, B den bağımsızsa B de A dan bağımsızdır.

$$P(B \mid A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} = \frac{P(A \mid B) P(B)}{P(A)} = \frac{P(A)P(B)}{P(A)} = P(B) \quad (1.7)$$

Bu ispat $P(A) > 0$ için geçerlidir. $P(A) = 0$ için geçerli değildir. İki olay bağımsız olduğunda temel kural şu şekilde yazılabilir:

$$P(A \cap B) = P(A \mid B) P(B) = P(A) P(B) \quad (1.8)$$

Buradan biz her iki olay içinde olasılıkları çarparak olasılıkları hesaplayabiliriz. C olayı bilindiğinde B olayı hakkındaki bilgimiz A olayı hakkındaki bilgimizi değiştirmezse; C olayı verildiğinde A ve B olayının koşullu bağımsız olduğunu söyleriz. C olayı verildiğinde A ve B olayları koşullu bağımsızsa $P(A \mid B \cap C) = P(A \mid C)$ dir.

Koşullu bağımsızlık durumu simetriktir. Eğer C verildiğinde A, B ye koşullu bağımsızsa; C verildiğinde B de A ya koşullu bağımsızdır.

$$P(B | A \cap C) = \frac{P(A \cap B | C)P(C)}{P(A | C)P(C)} = \frac{P(A | B \cap C)P(B | C)}{P(A | C)} = \frac{P(A | C) P(B | C)}{P(A | C)} = P(B | C) \quad (1.9)$$

1.2. Bakım Faaliyetlerinin Sınıflandırılması

Bakım, düzeltici ve koruyucu bakım olarak iki ana kategoride sınıflandırılabilir. Düzeltici bakım (DB) MIL-STD-721B [3] ye göre, sistem yetmez olduğunda sistemi istenilen duruma getirmek için yapılan faaliyetlerin tümü olarak tanımlanmıştır. Bazı araştırmacılara göre düzeltici bakım tamir olarak adlandırılır. Wang ve Pham [4] DB genel olarak 3 adımda uygulanır:

- i. Problemin tanımı
- ii. Yetmez olan parçaların değişimi ya da tamiri
- iii. Tamirin kontrolü

Koruyucu bakım (KB) MIL-STD-721B [3] ye göre, bir parçanın sistematik şekilde incelenmesini sağlayarak ve yetmezlikleri önleyerek parçanın çalışılabilirliğini sürdürmek için yapılan bütün faaliyetlerdir.

Bakım aynı zamanda bakımın kalitesi açısından da sınıflandırılır. Wang ve Pham [4] bu sınıflandırmayı şöyle vermiştir:

a) Tam Tamir ya da Tam Bakım: Sistemin 'yeni-gibi-iyi' duruma getirildiği bakım faaliyetleridir. Bir sistem yenisiyle aynı ömür dağılımına ve yetmezlik sıklık fonksiyonuna sahipse tam bakım söz konusudur. Genelde bozulan sistemin yenisiyle değiştirilmesi bir tam tamirdir.

b) Minimal Tamir ya da Minimal Bakım: Tamir edilen sistem bakımdan sonra bozulduğu zamandaki aynı yetmezlik sıklığına sahipse bu bakım faaliyetleri minimal

bakım faaliyetleridir. Minimal bakım faaliyetlerinden sonra sistemin çalışma durumu literatürde genellikle 'eski kadar kötü' olarak adlandırılır.

c) Tam Olmayan Tamir ya da Tam Olmayan Bakım: Sistemi 'yeni gibi iyi' yapmayan ama daha genç yapan bakım faaliyetleridir. Genellikle tam olamayan bakım sistem durumunu 'yeni gibi iyi' ve 'eski gibi kötü' arasında bir yere iyileştirir. Açıkça, tam olamayan bakım ya da tamir minimal ve tam bakım gibi iki uç durumu içeren genel bir bakım ya da tamirdir.

d) Daha Kötü Tamir ya da Daha Kötü Bakım: Kasten olmadan sistem yetmezlik sıklığını ya da gerçek yaşını artıran fakat sistemi bozmayan bakım faaliyetleridir.

e) En Kötü Tamir ya da En Kötü Bakım: Kasten olmaksızın sistemi bozan ya da başarısız yapan bakım faaliyetleridir.

1.3. Bakım Politikaları ve Analizleri

İşletmeler farklı bakım politikaları uygulamaktadırlar. Literatürde maliyet ve güvenilirlik ölçüt alınarak bu bakım politikalarının optimum çözümlerinin bulunduğu birçok çalışma vardır.. Wang ve Pham [4] bakım politikalarını Tek-Ünite Sistemler ve Çok-Ünite Sistemler başlıkları altında iki grupta incelemişlerdir. Eğer çok-ünite sistemlerde alt sitemler arasında ekonomik, yetmezlik ve yapısal bağımlılık yoksa tek-ünite sistem bakım politikaları uygulanabilir. Her politika farklı özelliklere, avantajlara, dezavantajlara ve diğerleriyle ilişkilere sahiptir.

1.3.1. Tek- Ünite Sistemler İçin Bakım Politikaları

Bütün KB politikaları altında tek ünite sistemler için temel varsayım sistem ömür süresinin artan yetmezlik sıklığına sahip olduğudur.

1.3.1.1. Yaşa Bağlı KB Politikası

Bu politikaya göre bir birim T yaşına geldiğinde veya yetmezlik olduğunda (hangisi önce meydana gelirse) değiştirilir [5]. Yaşa bağlı KB politikasının bakımın kalitesine

göre farklı versiyonları literatürde yaygın bir şekilde çalışılmıştır. Nakagawa [6] nın sunduğu yaş yenileme politikasında birim T zamanında ya da N tane yetmezlik olduğunda (hangisi önce meydana gelirse) yenilenir ve yenilemeler arasında birimde yetmezlik meydana geldiğinde yetmezlik minimum tamirle giderilir. Sheu yaş yenileme politikasının iki farklı versiyonunu literatüre sunmuştur. İlkine göre, eğer bir birim yaşı $y < t$ de yetmez olursa ona $p(y)$ olasılıkla tam tamir uygulanır ya da $q(y) = 1 - p(y)$ olasılıkla minimum tamir yapılır; aksi durumda birim t den sonra meydana gelen ilk yetmezlikde ya da çalışma zamanı $T (0 \leq t \leq T)$ ye ulaştığında (hangisi önce meydana gelirse) yenilenir [7]. İkincisine göre, bir birimin yaş z de iki çeşit yetmezliğe sahip olduğu varsayılır ve birim n tane 1. tip yetmezlikte ya da ilk 2. tip yetmezlikte ya da yaşı T ye ulaştığında (hangisi önce meydana gelirse) yenilenir. 1. tip yetmezlik $p(z)$ olasılıkla meydana gelir ve minimum tamirle giderilir. 2. tip yetmezlik $q(z) = 1 - p(z)$ olasılıkla meydana gelir ve tam tamirle giderilir [8].

Wang ve Pham [9] 'karma yaşlı KB politikası' adı altında başka bir yaş yenileme politikasını önermişlerdir. Bu politikada iki tip yetersizlik söz konusudur. 1. tip yetmezlik genel bozulmaları 2. tip yetmezlik daha zayıf yetmezlikleri ve basit problemleri ifade eder. Bir yetmezlik meydana geldiğinde bu yetmezlik $p(t)$ olasılıkla 1. tip yetmezlik ve $q(t) = 1 - p(t)$ olasılıkla 2. tip yetmezlik olabilir. 1. tip yetmezlik tam tamirle, 2. tip yetmezlik minimum tamirle giderilir. n tane tam olmayan tamirden sonra birim T yaşına geldiğinde ya da ilk 1. tip yetmezlikde (hangisi önce meydana gelirse) tam bakım uygulanacaktır.

1.3.1.2. Periyodik KB Politikası

Periyodik KB politikasına göre, bir birim veya birimler grubu önceden belirlenen kT ($k=1,2,\dots$) zamanlarında birimin yaşına bakılmaksızın değiştirilmektedir. Bu bakım politikası yaygın olarak karmaşık sistemler için kullanılır. Yine yapılan bakımın kalitesine göre periyodik KB nın farklı versiyonları literatürde çalışılmıştır.

Diğer temel bir periyodik KB politikası olan 'yetmezlikde minimum tamirli periyodik yenileme' politikasında bir birim daha önceden belirlenen kT ($k=1,2,\dots$) zamanlarında yenilenir ve yetmezlikler minimum tamirle giderilir [5].

Nakagawa [10] üç farklı yetmezlikde minimum tamirli periyodik yenileme politikası önermiştir. Önerdiği bu üç politikada da T_0 referans zamanı ve T^* periyodik zamanı söz konusudur. Eğer yetmezlik T_0 dan önce meydana gelirse minimum tamir uygulanır. Eğer birim T^* da çalışabilir durumda olsa bile birim T^* zamanında yenilenir. Eğer yetmezlik T_0 ve T^* arasında meydana gelirse Politika 1'e göre birim tamir edilmez ve yetmezlik T^* a kadar devam eder; politika 2'ye göre T^* a ulaşıncaya kadar yetmez durumdaki birim yedek bir birimle yenilenir; politika 3'e göre ise yetmez durumdaki birim yenisiyle değiştirilir.

Chun [11] belirli bir planlama dönemi için periyodik KB lerin optimum sayısını belirlemek için çalışmalar yapmıştır. Dagpunar ve Jack [12] KB ler arasında herhangi bir yetmezlikde sınırlı bir dönem için tam olmayan KB lerin optimum sayısını belirlemiştir.

1.3.1.3. Yetmezlik Limit Politikası

Yetmezlik limit politikasına göre KB, birimin yetmezlik sıklığı veya diğer güvenilirlik göstergeleri daha önceden belirlenen seviyeye ulaştığında yapılır. Gösterge belirlenen seviyeye ulaşmadan ortaya çıkan yetmezlikler tamirle düzeltilir.

Örneğin; Lie ve Chun [13] bir birimin daha önce belirlenmiş maksimum yetmezlik sıklığına ulaştığında yapılan KB nin bakım maliyet politikasını formüle etmiştir.

1.3.1.4. Ardışık KB Politikası

Periyodik KB politikasının aksine, ardışık KB politikasına göre bir birim eşit olmayan zaman aralıklarında bakıma alınır. Genellikle, çoğu birim yaşla birlikte daha sık bakıma ihtiyaç duyacağından bakım zaman aralıkları zaman geçtikçe kısalmıştır. Ardışık KB politikası ile ilgili ilk çalışmalar Barlow ve Porchan [14] tarafından sınırlı ömür için tasarlanmıştır. Ardışık KB politikası altında bir sonraki KB aralığı geriye kalan zaman boyunca beklenen harcamaları en aza indirmek için seçilir.

Nguyen ve Muthy [15] nin önerdiği politikaya göre, eğer bir yetmezlik referans zamanı t_i de meydana gelmezse birim $(i-1)$. tamirden sonra birime bakım uygulanmaz; birim $(k-1)$. tamirden sonra yenilenir.

Kijima ve Nakagawa [16] birikmiş zarar kavramını kullanarak bir ardışık KB politikası önermişlerdir.

1.3.1.5. Tamir Limit Politikası

Mevcut literatüre göre tamir maliyet limit politikası ve tamir zaman limit politikası olmak üzere iki tip tamir limit politikası vardır. Tamir maliyet limit politikasında bir birim bozulduğunda, tamir maliyeti tahmin edilir ve eğer tahmin edilen maliyet önceden belirlenen limitten azsa tamir gerçekleştirilir; aksi halde birim yenilenir [17]. Bakım kararı tek bir bakım maliyetine göre verildiğinden karar optimum olmayabilir.

Nguyen ve Murthy [18] tam olmayan tamirli bir zaman limit politikası sunmuşlardır. Dohi ve ark. [19] optimum tamir zaman limitini tahmin etmek için bir parametrik olmayan çözüm prosedürü önermişlerdir ve gecikme zamanlı ve tam olmayan tamirli tamir zaman modelini oluşturmuşlardır.

1.3.1.6. Tamir Sayısı Sayma ve Referans Zamanı Politikası

Bu politika tipleri KB içeren politika tiplerinden değildirler. Morimura ve Makabe [20] nin sunduğu tamir sayısı sayma politikasında, bir birim $(k-1)$ tane yetmezlikde minimum tamirle onarılır, k . yetmezlikte yenilenir. Bu politikalar temelde tamir sayılarına veya referans zamanına dayanır. Fakat yaş bağımlı KB politikası ve periyodik KB politikası faaliyetleri gerçekleştirildiğinde KB zamanına güvenir. Tamir sayıyı sayma ve referans zamanı politikasında bakım faaliyetleri tam olarak referans zamanı noktası T de gerçekleştirilemez. Tamir sayısı sayma ve referans zamanı politikasında tamirlerin sayıları ve referans zamanı politikanın karar değişkenleridir. Yaş bağımlı KB politikasında ve periyodik KB politikasında KB zamanı politika karar değişkenlerinden biridir.

Yukarıda anlatılanları özetlersek; yaş bağımlı KB politikası ve periyodik KB politikası literatürde en çok çalışılan bakım politikalarıdır. Barlow [14], blok yenileme politikasında yaş yenileme politikasına göre daha çok değişmemesi gereken başarılı bileşenin değiştirildiğini ve değiştirilen hem başarısız hem de başarısız olmayan bileşen

sayılarının blok yenileme politikasından daha yüksek olduğunu matematiksel karşılaştırmalarla göstererek yaş yenileme politikasının blok yenileme politikasına göre daha ekonomik bir yol olduğunu ispatlamışlardır. Berg ve Epstein [21] yaş, blok ve yetmezlik yenileme politikalarını karşılaştırmışlardır ve en iyisini seçmek için sezgisel bir kural bulmuşlardır. Berg [22] ve Bergman [23] yaş yenileme politikasının bütün bakım politikaları arasında optimum olduğunu ispatlamışlardır. Block ve ark. [24] blok yenileme politikası ile yetmezlikde minimal tamirli periyodik yenileme politikasını karşılaştırmışlardır. Periyodik KB politikası yaş bağımlı KB politikasından daha pratiktir, çünkü o kayıt tutulmasını gerektirmez. Blok yenileme politikası yaş yenileme politikasından daha maliyetlidir, çünkü bir birimin yaşı genç olmasına rağmen periyodik zamanlarda yenilenebilir. Aynı tartışma yaş bağımlı KB ve periyodik KB politikası için de söz konusudur.

Yetmezlik limit politikası, tamir limit politikası ve ardışık politika, yaş yenileme ve blok yenileme politikalarına göre çok daha pratiktir. Fakat onların üzerine çok daha az araştırma bulunmaktadır. Yetmezlik limit politikası aynı zamanda güvenilirliğin geliştirilmesi ve yetmezlik sıklığının azaltılması gibi bakım amaçlarıyla direk olarak uyumludur. Yetmezlik limit politikasının ve ardışık politikanın dezavantajlarından birisi KB aralıklarının eşit olmamasıdır.

Son yıllarda bakım politikaları gittikçe daha fazla gelişmektedir. Bu genel politikalarından elde edilen optimum bakım planları bazı maliyet tasarruflarıyla sonuçlanabilir çünkü bu bakım politikaları altında optimal bakım planları global olabilir. Fakat onlar daha karmaşıklaşırken bu genel politikalar pratikteki uygulamalara uygun olmayabilir.

Genelde tek ünite sistemler için olan bakım politikaları tamir sayısının kayıtlarına ya da referans zamanına bağlıdır. Uygulamada sayılan tamir sayısı, kaydedilen KB zamanı ve referans zamanı mümkün yollardır.

1.3.2. Çok Üniteli Sistemler için Bakım Politikaları

Tek ünite sistemler için bahsedilen bakım politikaları çok üniteli bakım sistemlerine eğer alt sistemler arasında ekonomik, yetmezlik ve yapısal bağımlılık bulunmuyorsa

uygulanabilir. Böyle bir durumda sistemler için verilecek bakım kararları bağımsızdır ve her bir alt sistem için yukarıda bahsedilen altı çeşit bakım politikasından uygun olanı seçilip uygulanabilir. Fakat bağımlılık mevcutsa, o zaman optimum bakım politikası her alt sistem için ayrı ayrı düşünülemez ve bakım kararları bağımsız olamaz. Açıkça, bir alt sistem için optimum bakım faaliyeti sistemdeki bütün alt sistemlerin durumuna bağlıdır. Ekonomik bağımlılık, alt sistemler üzerindeki bakım faaliyetlerinin her bir alt sisteme ayrı ayrı uygulanan bakım faaliyetlerinin maliyetinden hem para hem de zaman açısından daha düşük olması anlamına gelir. Yetmezlik bağımlılığı ise bir kaç alt sistemin yetmezlik dağılımlarının stokastik açıdan bağımlı olması demektir. Ekonomik bağımlılık sürekli işleyen sistemlerde yaygındır. Uçak, gemi, enerji santrali, telekomünikasyon sistemleri, kimyasal işleme tesisleri ve seri üretim hatları gibi sistemler ekonomik bağımlılığı olan sistemlere örnek verilebilir. Bu çeşit sistemler için sistemin bir süre kapalı olma maliyeti bakım maliyetinden daha yüksek olabilir. Bu yüzden, fırsat bakım politikasını uygulayarak maliyetten tasarruf yapmak makuldür.

Şu anda, çok ünite bakım politikaları ve modellerine artan bir ilgi vardır. Bakım ve yenileme uygulamalarındaki başarı eksikliğinin sebeplerinden birisi modelin gerçek hayattaki kompleks çevre ile karşılaştırıldığında basit kalmasıdır.

Cho ve Parlar [25], 1991'den önce yaratılan bakım politikalarını araştırmışlardır. Dekker ve ark. [26] çalışması 1991'den sonra yayınlanan ekonomik bağımlılık modellerine odaklanmıştır.

1.3.2.1. Grup Bakım Politikası

İşlem maliyeti ve sistemin güvenilirliği için en iyi grup bakım politikasını oluşturma problemi literatürde kayda değer dikkat çekmiştir. Bazı grup bakım politikaları bir yetmezlik meydana geldiğinde yenilenmesi gereken ünitelere karar verirler. Bu özellikle montaj ve demontajla ilgili maliyetler olduğunda önemlidir. Diğer tür grup yenileme politikaları sistem tasarımıdaki gereksiz bölümler açısından maliyetin azaltılmasıyla ilgilendir. Diğer tür çalışmalar aynı dağılımlı ve stokastik yetmezliği olan bağımsızca işleyen sistemler için grup bakım politikası kurmayla ilgilendir [27]. Bu son sınıf için üç çeşit grup bakım politikası vardır. Birinci politika, bir T -yaş grup yenileme politikası

temel alır ve sistemin yaşı T iken grubun yenilenmesini gerektirir. İkinci politika, m -yetmezlik grup yenileme politikası olarak adlandırılır ve m tane yetmezlik olduğunda sistemin tamirini gerektirir. Üçüncü politika, T -yaş politikası ile m -yetmezlik grup yenileme politikasının avantajlarını birleştirir. Bu politika, bir (m, T) grup yenileme politikası olarak adlandırılır ve yetmezlik sayısı m ye ulaştığında ya da sistemin yaşı T olduğunda (bunlardan hangisi önce meydana gelirse) grubun yenilenmesini gerektirir. Bu tamirde bütün yetersiz üniteler yenisiyle değiştirilir ve bütün üniteler 'yeni gibi iyi' durumuna getirilir.

1.3.2.2. Fırsat Bakım Politikası

Daha önce belirtildiği gibi çok bileşenli sistemlerin bakımı bileşenler arasında bağımlılık mevcutsa tek üniteli sistemlerden farklıdır. Bu bağımlılıklardan birisi ekonomik bağımlılıktır. Örneğin, KB uygulanırken yetmez durumundaki alt sistemlere tamir yapılırken yeter durumundaki alt sistemlerde de bir ek maliyet meydana gelmesi mümkündür. Diğer bir bağımlılık yetmezlik bağımlılığı ya da ilişkili yetmezliklerdir. Örneğin bir alt sistemin yetmezliği bir ya da daha fazla alt sistemi etkileyebilir [28]. Berg [29] üstel yetmezliğe sahip olan iki bileşenli bir makine için koruyucu yenileme politikasını önermiştir. Bu politika altında bir bileşenin yetmezliği üzerine eğer yaşı daha önceden belirlenmiş limit L yi aşarsa o bileşen ve diğer bileşenler yenisiyle değiştirilir.

Zheng [30] k tane farklı tür birimden oluşan bir sistemin yetmezlik sıklık oranına dayalı bir fırsat bakım politikasını geliştirmişlerdir. Bu politikaya göre, bir birim risk oranı L ye ulaştığında ya da yetmezlik sıklığı daha önceden belirlenmiş $(L-u, L)$ aralığında olan bütün birimler yenilenir.

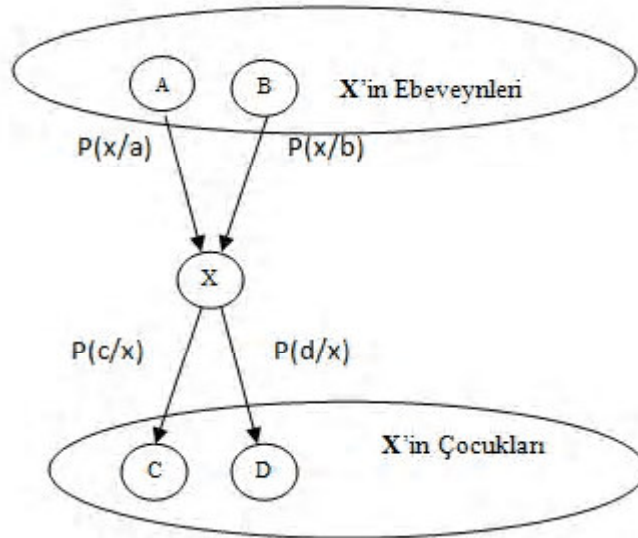
2. BÖLÜM

YÖNTEM, MATERYAL ve METHOD

2.1. Bayes Ağları Nedir?

BA, yapay zeka teknikleri şemsiyesi altında incelenen bir uzman sistem yöntemidir. BA değişkenler arasındaki olasılıksal ilişkileri ifade eden yönlü döngüsüz bir grafik modeldir.

Jensen [1] de belirtildiği gibi bir BA şunları içermektedir:



Şekil 2.1 : Örnek bir BA yapısı.

- i. Değişkenlerden oluşan bir küme ve değişkenler arasındaki yönlü doğrultuların oluşturduğu bir küme mevcut,
- ii. Her bir değişken sonlu sayıda birbirinden ayrık durumlardan oluşur,

- iii. Değişkenler ve yönlü doğrultuların oluşturduğu döngüsüz bir ağ oluşturur (bir grafik $A_1 \rightarrow \dots \rightarrow A_n$ ve $A_1 = A_n$ olacak şekilde bir yönlendirilmiş yola sahip değilse o grafik döngüsüdür),
- iv. B_1, B_2, \dots, B_n ebeveynlerine sahip her bir A düğümü için koşullu olasılık tabloları $P(A|B_1, B_2, \dots, B_n)$ oluşturulur ise bu yapıya Bayes Ağı denir [1].

Bayes ağlarının avantajları şu şekilde sıralanabilir:

1. Bayes ağları eksik veriyle uygun bir şekilde çalışır. Kayıp değerli örneklerde olasılıkları toplayarak veya birleştirerek sorun giderilebilir.
2. Bayes ağları nedensel ilişkileri öğrenmek için kullanılabilir. Böylece problemin daha iyi kavranmasını sağlamak ve sonuçları tahmin etmeye yarar. Bunların dışında bir ağ oluşturmak zaman kaybına sebep olabilir ve çok fazla çaba gerektirebilir. Fakat Bayes ağlarında öncelikle ağın yapısı belirlenmekte ve daha sonra modele yeni bir değişken kolaylıkla eklenebilmektedir.
3. Son olarak veri kullanıcının ön bilgilerine dayanarak olasılıksal olarak birleştirildiği için bu yöntem sağlam bir modelin oluşturulmasını sağlar [31].

Olasılık teorisinin bilimsel açıdan yetersiz ve matematiksel açıdan uygunsuz olduğunun düşünülmesi üzerine iki kavram ön plana çıkmıştır. Birincisi, karmaşık problemlerin bileşik dağılımlar gerektirdiği; ikincisi belirli olayların ilgili olasılıklarının etkili şekilde hesaplanmasını gerektiren bilgi edinimi kavramıdır. Bu kavramlarla ilgili Shafer ve Pearl [32] geniş kapsamlı çalışmalar yapmışlardır. İstatistiksel modellemenin kalitatif yapısı da kantitatif yapısı kadar önemli hale gelmiştir. Darrach ve ark. [33] direk olmayan grafiklerle log-linear modellerin sınıflandırılması için çalışmışlardır ve olasılıksal özelliklerin grafik gösteriminde kullanılması için önemli adımlar atmışlardır. Wermuth ve Lauritzen [34] direk olmayan grafiklerle direk grafikleri karşılaştırmışlardır.

Literatürdeki bazı çalışmalarda BA için ilişkileri belirlemede istatistiksel veriyi ve uzman değerlendirilmesini beraber kullanan sezgisel bir yol önerilir. Verilmiş bir grafik yapısı için, şartlı olasılık tablolarının tahmini, parametre uzayı üzerinde tam arka dağılımının kapalı formda lokal hesaplama ile nasıl elde edilebileceğini gösteren Spiegelhalter ve Lauritzen [35] tarafından göz önüne alınmıştır. Yapısal öğrenme yani bir BA'nın grafik yapısının tahmin edilmesi Cooper ve Herskovits [36], Heckerman ve

arkadaşları [37] tarafından çalışılmıştır. Bir BA yapısı olası koşullu olasılıklar tabloları kümesinin kapsamlarını kısıtlar ve bu Cooper ve Herskovits [36] tarafından direk yönlü graflar uzayı üzerinde bir sonsal dağılımın yerel hesaplamalarla nasıl elde edileceğini göstermek için kullanılmıştır. Heckerman ve arkadaşları[37], model uzayı üzerinde önsellerin kullanımını araştırmışlardır.

BA karmaşık istatistiksel modellerin kurulmasında bir araç olarak kullanılmasının yanı sıra bazı araştırmacılar BA'ları *nedensel Markov modelleri* olarak kabul etmektedirler ve kaza araştırmaları için kullanılmaktadırlar. Pearl [38] çalışmasında BA nı nedensel modeller olarak net bir şekilde belirtmiştir.

2.2. Bayes Ağı Yapısının Oluşturulması

BA'yı kurmak için veri toplanmasında ya uzmanlara ya da istatistiksel verilere başvurulur. Uzman görüşünden BA yı kurmak zor ve zaman harcayıcı olabilir. Bir BA uzmanı BA'yı kurar, ilişkileri sorar ve modeli oluşturan varsayımları açıklar. Diğer yandan sürecin uzmanı kendi bilgisini BA uzmanına BA yapısının oluşturulması için sunar. BA uzmanı konu hakkında çalışmalı ve BA hakkında temel bilgiler için güvenilirlik analizleri gerekmektedir. Bu kurulum kurulmaz model kurma bir kaç aşamada işlenecektir [39].

Adım 0: Modele karar verme. Modelin kapsadığı sınırları belirleme.

Adım 1: Değişkenlerin Tanımlanması: Modeldeki önemli değişkenler seçilir, sürekli değişkenlerin aralığı ve kesikli değişkenlerin durumları belirlenir.

Adım 2: Niteliksel bölüm: Değişkenler arasındaki ilişkilerin grafikte gösterildiği kısım BA nın kalitatif kısmını oluşturur. Bu aşamada grafikde ki sınırları nedensel olarak düşünmek faydalı olabilir. BA uzmanının görevi modelin karmaşıklığına rağmen alan uzmanlarının kabul ettiği varsayımlarla doğru ilişkiyi kurmaktır.

Adım 3: Niceliksel Bölüm: BA nın bir diğer yapısı da kantitatif yani parametre öğrenme yapısıdır. Bu yapıda her bir değişken için bağımlılık ilişkileri bileşik koşullu olasılık dağılımları ile ifade edilmektedir [2].

Adım 4: Doğrulama: Doğrulama hem senaryolar bilindiğinde modelin nasıl davrandığını bilen testlerle hem de duyarlılık analizleri yoluyla yapılır. Duyarlılık BA

yapısının büyüklüğüyle ilişkilidir ve böylece grafik en önemli bölümdür. Duyarlılık parametrelerin uygulamadaki bağımlılığıyla ilgilidir [39].

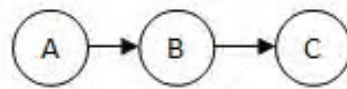
Yukarıda model kurma adımları verilirken de bahsedildiği gibi, BA kalitatif ve kantitatif olmak üzere iki kısımdan oluşur. Burada, BA yı kurmak için kalitatif bölümü ifade eden grafik yapısını oluşturmada kullanılan nedensel ağlardan bahsedilebilir.

2.2.1. Nedensel Ağlar

Bir nedensel ağ değişkenler kümesini ve değişkenlerin birbiriyle olan ilişkilerini ifade eder. Matematiksel olarak, yapı direk graf olarak adlandırılır. Bir direk grafdaki ilişkileri aile ilişkileriyle adlandırırız. Eğer A dan B ye bir bağlantı varsa B yi A nın çocuğu, A ya B nin ebeveyni denir. Değişkenler durumları temsil eder. Bir değişken çok sayıda duruma sahip olabilir. Örneğin, bir değişken arabanın rengi, bir ailenin çocukları sayısı ya da bir hastalık olabilir. Değişkenler sayılabilir ya da sürekli durum kümesi olabilir. Fakat bu bölümde sınırlı sayıda durumu olan değişkenlerden bahsedeceğiz [1].

2.2.1.1. Seri Bağlantılar

Şekildeki durumu düşünelim. Burada A, C üzerinde etkisi olan B üzerinde bir etkiye sahiptir. Açıkça, A nın C yi etkileyen B yi etkilediği görülebilir. Benzer şekilde, C hakkındaki bilgiler B yoluyla A nın olasılığını etkileyecektir. Diğer taraftan, eğer B'nin durumu bilinirse A ve C bağımsız olurlar [1].



Şekil 2.2. Seri bağlantı.

Örneğin şekil 2.3. de yağış miktarı (yok, az, orta, çok), su seviyesi (düşük, orta, yüksek) ve su taşkını (var, yok) arasındaki ilişkiler için bir nedensel model görülmektedir. eğer su seviyesi gözlemlenemezse ve sonra bir sel olduğu bilindiğinde

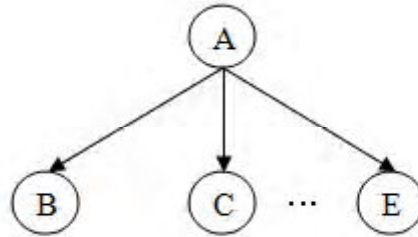
su seviyesinin yüksek olduğu sonucu çıkarılabilir, bu da bana yağış hakkında fikir verecektir.



Şekil 2.3. Seri bağlantıya bir örnek.

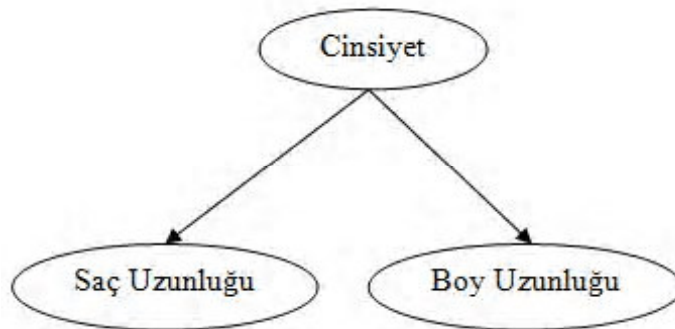
2.2.1.2. İraksayan Bağlantılar

Şekil 2.4. de görülen bağlantı iraksayan bağlantı olarak adlandırılır. A'nın durumu bilinmezse A'nın çocukları arasında etki geçişi olabilir. Yani; A verildiğinde B, C,..., E birbirinden bağımsız olurlar.



Şekil 2.4. İraksayan bağlantı.

Şekil 2.5'de cinsiyet ile saç uzunluğu ve boy uzunluğu arasındaki nedensel ilişki gösterilmektedir.

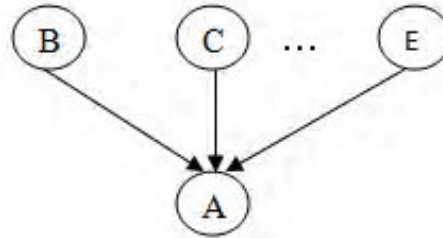


Şekil 2.5 : Cinsiyet, saç ve boy uzunlukları arasındaki nedensel ilişkiler.

Cinsiyet {erkek, kadın}, saç uzunluğu {uzun, kısa}, boy uzunluğu {<1.65, >1.65} durumlara sahip olsun. Eğer bir insanın cinsiyeti hakkında fikrimiz yoksa saç uzunluğuna bakarak bir varsayımda bulunabiliriz ve bu varsayım aracılığıyla kişinin boy uzunlu hakkında yorum yapabiliriz. Ancak gözlemlenen kişinin erkek olduğunu biliniyorsa saç uzunluğu kişinin boy uzunluğu hakkında fikir vermez [1].

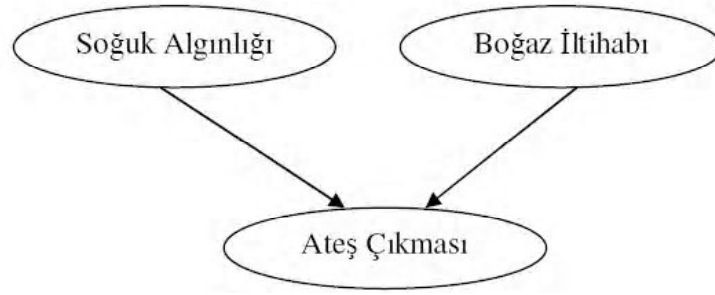
2.2.1.3. Yakınsayan bağlantılar

Yakınsayan bağlantılar daha önce bahsedilen bağlantı türlerinden farklıdır. Eğer A olayının haricinde B, C,... olayları bilinmiyorsa bu durumda B, C,... olayları birbirinden bağımsızdır. Yani A olayı gözlemlenebilir ise A'nın ebeveyni olan olayların birbiri üzerine etkisi yoktur. Bir olayın olası bir nedeni hakkındaki bilgi bu olayın diğer olası nedenleri hakkında bilgi edinmemizi sağlayamaz. Fakat sonuç olan olay bilinmiyorsa bu olayın olası nedenleri hakkında yorum yapılabilir. Örneğin; B ve C olayları A olayının sebepleri olsun. C olayı gerçekleştiğinde B olayının kesinliği azalır. Aynı şekilde C olayı gerçekleşmezse B olayının gerçekleşme olasılığı artar.



Şekil 2.6 : Yakınsayan bağlantı.

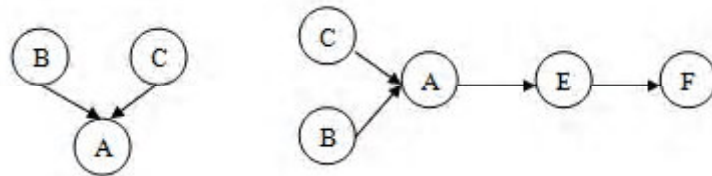
Örnek: Şekil 2.7 de soğuk algınlığı ve boğaz iltihabı ile ateş çıkması arasındaki nedensel ilişki gösterilmiştir.



Şekil 2.7 : Soğuk algınlığı, boğaz iltihabı ve ateş çıkması arasındaki nedensel ilişkiler.

Eğer ateş çıkması hakkında bir şey bilmiyorsak bir kişinin soğuk algınlığı geçiriyor olması onun boğaz iltihabı geçirip geçirmediği hakkında bilgi vermez. Ancak bu kişinin ateşinin çıktığı gözlemleniyor ve soğuk algınlığı geçirmediği biliniyorsa boğaz iltihabı olma olasılığı yüksektir.

Şekil 2.8 de iki örnek gösterilmektedir. İkinci durumda A'nın doğrudan F'nin bilgisine bağlı olduğu gözlemlenebilir. F'nin durumunun bilinmesi bize E'nin durumu hakkında bir şeyler söyler bu da bize A'nın durumu hakkında bilgi verir.



Şekil 2.8: A'nın ebeveynlerine bağımlı olduğu durumlara örnekler

2.3. Koşullu Olasılık Tabloları

Bir A değişkeni ile ilgili durumların kümesi $sp(A)=(a_1, a_2, \dots, a_n)$ ile gösterilir. A olayı $sp(A)$ kümesinin içindeki durumların sadece birine sahiptir. Örneğin D bir zarın atıldığında kaç geldiğini gösteren bir değişken olsun; onun durum uzayı $sp(D)=\{1,2,3,4,5,6\}$ olur. Yukarıda da bahsedildiği gibi a_1, a_2, \dots, a_n durumlu bir A değişkeninin durumunun belirsizliği $P(A)$ olasılık dağılımıyla ifade edilir:

$$P(A) = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad x_i \geq 0 \quad \sum_{i=1}^n x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_n = 1 \quad (2.1)$$

Burada, x_i A'nın a_i durumunda olması olasılığıdır. Genelde A'nın a_i durumunda olması olasılığı $P(A = a_i)$ ya da $P(a_i)$ ile gösterilir.

Eğer B değişkeni b_1, b_2, \dots, b_m durumlarına sahipse, $P(A | B)$ n.m tane b_j verildiğinde a_i nin gerçekleşme olasılığını ifade eden $P(a_i | b_j)$ koşullu olasılığını içerir. Yani, bir değişkenin koşullu olasılıkları diğer değişkenin her bir durumu için olan olasılıkların kümesidir. Bu olasılıklar $n \times m$ boyutunda bir tablo ile gösterilir [1].

Dahası, her $B = b_j$ olayı için bir olasılık dağılımı belirlediğinde Aksiyom 1'den her B durumu için A'nın olasılıkları toplamının 1 olduğunu biliyoruz:

$$\sum_{i=1}^n P(A = a_i | B = b_j) = 1 \quad (2.2)$$

Tablo 2.1. Üç durumlu B değişkeni bilindiğinde iki durumlu A değişkeni için 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

Bileşik çıktılarının olasılığı iki ya da daha fazla değişken için bileşik olasılıklar tarafından ifade edilebilir. A ve B değişkenlerinin her (a_i, b_j) kombinasyonu için $P(A, B)$, $A = a_i$ ve $B = b_j$ olma olasılığını gösterir. Böylece, $P(A, B)$ n.m tane durum içerir ve $P(A | B)$ ye benzer şekilde $n \times m$ boyutunda bir tabloyla gösterilir. A ve B nin durum uzayları bir örnek uzay olarak düşünülebileceğinden Aksiyom 1 den:

$$P(A | B) \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P(A = a_i, B = b_j) = 1 \quad (2.3)$$

Tablo 2.2. Üç değişkenli B ve iki değişkenli A için birleşik olasılık tablosu

	b_1	b_2	b_3
a_1	0.08	0.18	0.12
a_2	0.12	0.42	0.08

1.2 temel kuralı A ve B değişkenleri üzerinde kullanılırsa kural iki değişkenin n.m tane kombinasyonunun (a_i, b_j) her biri için uygulanır.

$$P(a_i | b_j) P(b_j) = P(a_i, b_j) \quad (2.4)$$

Yukarıdaki denklem $P(A | b_j)$ de ki her olasılık $P(A, b_j)$ tablosunu elde etmek için $P(b_j)$ ile çarpılır. Eğer $P(B)=(0.2, 0.6, 0.2)$ ise tablo 2.1 üzerinde temel kural uygulanarak tablo 2.2 elde edilir.

2.4. Bayes Ağlarının Güvenilirlikte Kullanılması

Literatürde BA'ların güvenilirlikte uygulanması ile ilgili çok sayıda çalışma yer almaktadır. Ancak bilimsel yazında bakım onarım planı geliştirilmesi için BA'nın kullanımı ile güvenilirliğin analiz edilmesi ile ilgili çalışmalar az sayıdadır.

Güvenilirlikte Bayesian ağlarının kullanımı Langseth ve Portinale [39] tarafından incelenmiştir. Onlar güvenilirlikte BN'leri kullanmak için modellenecek sistemin özelliklerini tartışmışlardır ve klasik güvenilirlik metodları ve BN'leri karşılaştırmışlardır. Güvenilirlik analizleriyle birlikte modellemeye ilişkin blok diagramlar ve hata ağaçları BN'ler ile karşılaştırılmıştır ve BN'ler matematiksel formülasyonları etkili öğrenme metodlarını oluşturmak için kullandığından geleneksel metodlara karşı önemli avantajları olduğu görülmüştür. Bunu ispatlamak içinde bir gerçek hayat problemi, bir PLC Kontrol Ünitesinin Güvenilirliği bu metodlarla incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Wilson ve Huzurbazar [40] BA yı çok aşamalı sistem güvenilirliği için araştırmışlardır. Güvenilirlikte BA'lerin uygulamalarının çok olmasına karşın bunlar tek çıktılı sistemlere odaklanmışlardır. Bu çalışma, çok aşamalı kesikli veriler için BA'in kullanımı eklenmiştir ve ağdaki tüm nodlarla ilgili çıkarımın nasıl yapılacağı tartışılmıştır. Bu metod FT'ler için çok karmaşık kabul edilen sistemler için kullanılır. Problemin kapsamının gösterilmesi için iki çıktılı bir problem koşullu olasılıkların bilinmesi, marginal ve koşullu olasılıkların bilinmemesi, marginal ve koşullu olasılıkların bilinmemesi ve koşullu olasılıkların tahmini için veri eklenmesi ve lojistik regresyon için olmak üzere 4 problem incelenmiştir.

Doguç ve Ramirez- Marquez [41] sistem güvenilirliğini BA kullanarak tahmin etmek için genel bir metod sunmuşlardır. Önceki çalışmalarda sistem güvenilirliğini tahmin etmek için BA yı önceden kurmuş olmak gerekiyordu. . Bu da BA yı kurma görevinin etkili uzmanların olduğu uzman gruplarına bırakıyordu. Onlar ilk olarak güvenilirlik tahmininde insan uzman kullanmak yerine tarihsel veriyi kullanan bir metod sunmuştur. Metodda bir veri madenciliği algoritması olan K2 algortimasını sistem bileşenleri arasındaki ilişkiyi kurmak için BA yı kullanır. Bu çalışmada BA yapılandırılırken ve güvenilirlik tahmin süreci boyunca insan müdahalesi gerekli değildir.

Simon ve ark. [42] güvenilirlik analizlerine Dempster Shafer teorisini uygulayarak Bayesian Ağ Çıkarım Algoritmasını sunmuşlardır. Çalışmada öncelikle kantitatif güvenilirlik analizleri için alışılmış metodlardan bahsedilmiş ve BA kullanımıdaki eksikliklere değinilmiştir. Dempster Shafer teorisini güvenilirlik analizlerinde belirsizliği doğru tedavi etmek için tartışılır ve onun temel kavramları BN çıkarım algortiması için uygulanabilir.

Norrington ve ark. [43] bayesian ağları kullanarak arama ve kurtarma çalışmalarının güvenilirliğini modellemişlerdir. Çalışma İngiltere sahil güvenlik merkezinin arama kurtarma çalışmalarının güvenilirliğini modellemek için BA'yı kullanmıştır. Önceki çalışmalar ikincil veri kaynaklarını kullanmışlardır ve tekil lojistik regresyon yöntemini analizler için desteklemeye çalışmışlardır. Bu çalışma ise birincil verileri toplamaya odaklanır böylece değişkenler arasındaki ilişkiler daha objektif olarak kurulabilecektir.

Neil ve ark. [44] güvenilirlik sistemlerini hibrid BA lar kullanarak modellemişlerdir. Hibrid BA hem kesikli hem sürekli nodları birleştirir. Bu çalışmada güvenilirlik tahmini için bir iteratif algoritma sunulmuştur. İlk olarak basit tekli sistemin güvenilirliği tahmin edildikten sonra hiyerarşik bir Bayesian model uygulamışlardır. Hiyerarşik modelde benzer alt sistemlerden toplanmış tarihsel verilerden bilinmeyen altsistemlerin güvenilirliği hesaplanmıştır. Sonra kurulan sistemin güvenilirlik seviyesinin hesaplamak için sonuçlar bir güvenilirlik modeline girilmiştir. Daha doğru sonuçlar elde etmek için dinamik ayrıştırma yapılmıştır.

Jones ve ark. [45] üretim endüstrisinde bakım planlamayı modellemek için BA yı kullanmışlardır. Çalışmanın amacı, gecikme zaman analizi çalışmasına uygulamak için BA modelini kullanarak, bir sistemin başarısızlık oranından sorumlu değişik parametreleri kurmak ve modellemektir. BA modeli aynı zamanda verilen bir zamanda mevcut verilere bağlı güncellemeler yapmaya ve bu etkileyen olayları değiştirmeye izin verir. Bunu gösterebilmek için bir metodoloji geliştirilmiştir ve bu metodoloji bir siyah karbon üretim sürecine uygulanmıştır. Daha sonra BA ve istatistiksel ortalamadan elde edilen birim zaman başına kesintiler karşılaştırılmıştır.

Cai ve ark. [46] BA lara dayanan bir bakım yönetim sistemini literatüre sunmuşlardır. Onlar, bir bakım planı belirlerken en büyük zorluklardan biri olan parçaların bozulma olasılığını tahmin etmek ve maliyeti minimum yapmak amacıyla detaylı bir bakım stratejisinin belirlenmesi için bir proaktif bakım yönetim sistemi sunmuşlardır. Bu sistemi oluştururken tahmin ve karar aşamaları için BA ları kurmuşlar ve faydalanmışlardır.

Celeux ve ark. [47] hızlı ve güvenilir bir koruyucu bakım için uzman fikirlerinden bir BA tasarlanması üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada, BA nükleer bir tesisin mekanik sistem aşamalarını anlatmak için kullanılmıştır. BA dan anlamlı bir sonuç çıkarmak için koşullu ve marjinal olasılıkların belirtilmesi gerekir. Onlar, farzedilen sınırlamalara dayalı bir log-lineer model olarak BA yı dikkate almayı içeren bir çözüm sunmuşlardır. Böylece uzmanlar tarafından verilen olasılıkların sayısında önemli bir azalma elde edilir. Ayrıca, elde edilen olasılıkların uyumlu olduğunu kontrol etmek için bazı kurallar

önerilmiştir. Son olarak, önemli ve güçlü bir BA yı oluşturmak için sunulan yöntem EDF nükleer tesislerin soğutucu reaktör bölümüne uygulanarak yöntemi anlatmışlardır.

Çınar ve Kayakutlu [48] BA kullanarak enerji politikaları için senaryo yaratmaya genel bir bakış sağlamışlar ve enerji sektöründe bir uygulama göstermişlerdir. BA herhangi bir stratejik değişikliğin temel sonuçlarını ve kompleks yapıların analizini yapmak için faydalı bir araçtır. onlar, senaryo analiz alanında ve güvenilir tahmin yapmak için karar modeli önermişlerdir. Teklif edilen modeli Türkiye için bir vaka çalışmasında uygulamışlardır.

Bobbio ve ark. [49] hata ağaçlarını BA ya dönüştürerek güvenilir sistemleri analiz etmeye çalışmışlardır. Onlar, güvenilebilir sistemlerin analizinde BA kullanımının avantajlarını göstermek istemişler ve BA ları güvenilirlik analizleri için en popüler araçlardan biri olan hata ağaçlarıyla karşılaştırmışlardır. İki metodolojinin karşılaştırılması literatürden alınan örnekler vasıtasıyla yapılmıştır.

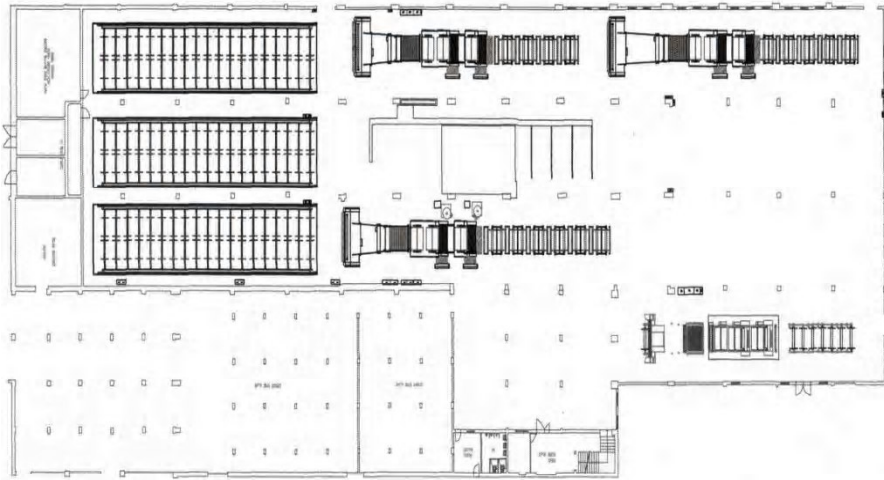
Wilson ve ark. [50] kompleks bir sistemin güvenilirliğini veya performansını belirlemek için bir metodoloji geliştirmişlerdir. Bir fırlatma aracının füze güvenilirliği açısından verimliliğini değerlendirmişlerdir. BA kullanarak veri çeşitliliğini bütünleştirmeye ve bir sistem modeli kurulmasına çalışmışlardır.

3. BÖLÜM

BULGULAR

3. 1. Modele Karar Verme

Uygulama çalışmasında amaç, elimizdeki arıza verilerine göre BA oluşturmak ve böylece mevcut bakım onarım planının etkinliğini belirlemektir. Çalışmanın yapılması için kumaş fabrikasının iplik üretim bölümündeki Haşıl makinelerinden haşıl 1 makinesi seçilmiştir. Haşıl bölümünde 4 adet Sucker Müller Haşıl makinesi bulunmaktadır. Her bir haşıl makinesi dokuma bölümünde 80 civarı makineyi beslediğinden makinelerde meydana gelen arızaların minimum edilmesi önemlidir. Biz çalışmamız için en eski ve en çok arızalanan makine olan Haşıl 1 makinesini seçtik. Haşıl 1 makinesi 2000 model olup, 20 li cağlık, çift haşıl teknesi ve 20 li baraban grubundan oluşmaktadır. Uygulama çalışmasının yapıldığı haşıl bölümü Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Haşıl departmanı yerleşim planı

Haşıl; çözgü ipliklerinin dokuma sırasında maruz kalacakları mekanik etkilere karşı gerekli fiziksel ve kimyasal özellikleri artırmak veya korumak amacıyla çözgü ipliklerindeki elyaf uçlarını birbirine yapıştırmak, ipliğin yüzeyini bir haşıl filmiyle kaplamak ve mukavemetini artırmak için hazırlanan çeşitli ve uygun kimyasal bileşimde yapıştırıcı özelliği bulunan viskoz bir sıvıdır. Çözgü ipliklerine, o çözgüye uygun haşıl kimyasallarının belli sıcaklık, rutubet, refrakto, viskozite ve uzamada, uygun baskı ve proses koşullarında aktarılması işlemine haşılama denir. Haşıl makinesinde iplikler dokuma bölümüne gitmeden önce dokuma bölümündeki sürtünmeye karşı dayanıklı hale getirmek amacıyla haşıl maddesiyle kaplanırlar. Haşılama işleminin amacı ve önemini aşağıda verilen bir kaç maddeyle özetleyebiliriz:

- i. Yüksek yapıştırma gücü sayesinde iplik üzerindeki elyafların yapışması sağlanır. Dokuma makinelerinde toz ve uçuntu oluşumu engellenir.
- ii. Dokuma bölümünde ipliklerle uygulanan işlemlerde iplikler gerilir, ipliklerde uzamalar meydana gelir. İyi bir haşıl filmi esnektir ve uzayan ipliğin tekrar kendini toplamasına izin verir. İpliğin elastikiyetini koruyarak deforme olmasını önler. Böylece ipliğin uzayarak özellikle duruş kalkış hatasına neden olmasını önler.
- iii. Önceki proseslerden gelen tansiyon dalgalanmalarını minimuma indirilerek, dokumada gevşek gergin oluşumunun engellenmesine yardımcı olur.
- iv. Haşıl kimyasalları çözgüye sürtünme mukavemeti kazandırarak, dokumada maruz kaldıkları mekanik etkilerden dolayı oluşacak tüylenme ve kopuşları minimuma indirilir.
- v. Sanforlanmış kumaşta istenilen tutuma göre haşılama yapılır. Kumaşa yumuşak ve dolgun tutum verir. Değişik efektlerde kumaş oluşumuna olanak tanır.
- vi. Atkı ipliklerine çözgü ipliklerinin boyasının bulaşmasını engeller.

İncelenen haşıl makinesi Çağlık, haşıl teknesi, kurutma barabanları ve başlık olmak üzere 4 bölüme ayrılmıştır.

Çağlık Bölümü: Açma leventlerinin yüklendiği kısımdır, haşıl teknesine ipliklerin verilmesini sağlar. Çalışılacak olan partinin açma levent sayısına göre uygun haşıl

makinesi tercih edilir. Cağlıkta boş kalan kısımlar yedekleme için kullanılır. Cağlık dizilimi alt –üst şeklinde yapılmaktadır.

Haşıl Teknesi: Çözgü ipliklerine haşılın verildiği, fazla haşılın baskı silindirleri yardımıyla sıyrıldığı, çözgü tansiyonunun dengelendiği bölümdür.

Kurutma Barabanları: Çözgü ipliklerinin istenen rutubete göre kurutulduğu tamburlardır. Haşıl makinelerinde, iki grup altılı bir grupta sekizli olmak üzere 20 adet baraban bulunmaktadır.

Başlık: Çapraz çubuk bölgesi ve taraktan oluşur. Çapraz çubuk bölgesi haşılama esnasında yapışan ipliklerin, birbirinden belli bir tansiyon altında ayrılmasını sağlar. Ayırma için kullanılan çubuklara da çapraz çubukları denir. Bu bölgedeki ayrılmaların kolay ve düzgün olması iyi haşılama yapıldığının göstergesidir. Tarak bölümü ise çözgü ipliklerinin dokuma leventine düzgün aktarılmasını sağlayan mekanizmadır. Tarağın açılma mesafesi ipin enine bağlıdır. Tarağı gereğinden fazla ya da az açmak bozuk sarıma, dokumada kenar hatalarına ve kopuşa neden olur.

3. 2. Değişkenlere Karar Verilmesi

Haşıl bölümü bir sistem olarak düşünülerek, sistemin davranışları alt bölümlerde meydana gelen arızalarla ilişkilidir. Her alt sistem için o alt sistemi etkileyen arıza çeşitleri geçmiş verilerden ve sistemin uzmanlarıyla yapılan görüşmelerden modelin değişkenleri olarak belirlenmiştir. Her bir arıza bir değişkeni ifade etmektedir. Değişkenlerin koşullu olasılıklarını öğrenmede HUGIN yazılımından faydalanılmıştır. Elimizdeki 70 veri sisteme öğretilmiştir. Alınan verilerden her bölüm için meydana gelen arızalar şu şekilde özetlenmiştir.

Tablo 3.1. Çağlık bölümü için arıza türleri

<i>Çağlık Bölümü Arıza Türleri</i>
Rulman Arızası
Fren Balata Arızası
Yatak Arızası
Rolling Arızası

Tablo 3.2. Haşıl teknesi bölümü için arıza türleri

<i>Haşıl Teknesi Bölümü Arıza Türleri</i>
Şanzıman Arızası
Pinomatik Arızası
Pompa Arızası
Sıkma Silindir Arızası
Rolling Arızası
Zincir Arızası
Rulman Arızası

Tablo 3.3. Kurutma barabanları bölümü için arıza türleri

<i>Kurutma Barabanları Bölümü Arıza Türleri</i>
Kaplin Arızası
Bağlantı Eleman Arızası
Rulman Arızası
Yatak Arızası
Şanzıman Arızası

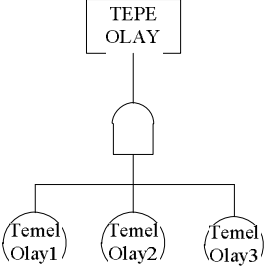
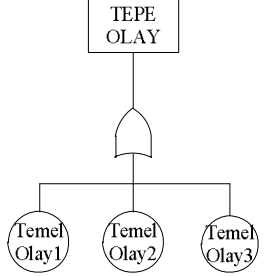
Tablo 3.4. Başlık Bölümü İçin Arıza Türleri

<i>Başlık Bölümü Arıza Türleri</i>
Rulman Arızası
Pinomatik Arızası
Levent Baskı Mil Arızası
Şanzıman Arızası
Bağlantı Eleman Arızası
Tekerlek Arızası
Yatak Arızası

Sistemin Hata Ağacı ile Gösterimi

Hata ağaçları alt sistem ve bileşen hatalarındaki mantıksal ilişkilerini ve bileşen hatalarının sistemin bozuk olmasıyla ilişkisini gösterir. Hata ağacı gösteriminde en yukarıdaki olay bileşen hatalarına mantıksal ilişkilerle bağlanan bir sistem olayıdır ve temel olay olarak bilinir. Hata ağacı oluşturulurken kullanılan bazı semboller ve ifadeleri Tablo 3.5 de verilmiştir.

Tablo 3.5. Mantık kapılarının gösterimi

<p>VE Kapısı</p>		<p>VE kapısı yalnızca tüm temel olaylar olursa TEPE OLAY'ın olacağını gösterir</p>
<p>VEYA Kapısı</p>		<p>VEYA kapısı en az bir tane temel olayın gerçekleştiğinde TEPE OLAY'ın da gerçekleşeceğini gösterir</p>

Tablo 3.6. Hata ağacı kavramları




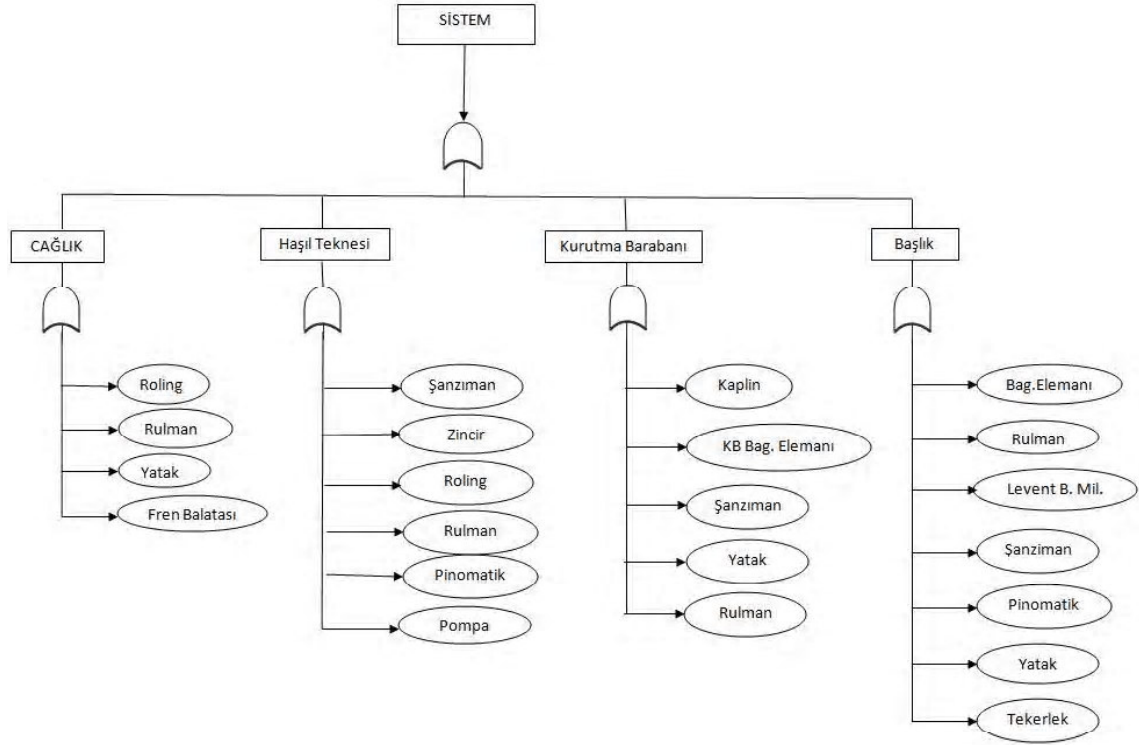
<p>Temel Olay</p>		<p>Temel olay bileşenlerine henüz ayrılmamış sistemin hatasıdır.</p>
<p>Tepe Olay</p>		<p>TEPE OLAY bir veya daha fazla olayın mantıksal kapılarla birleşmesiyle oluşur.</p>
<p>Gelişmemiş Olay</p>		<p>GELİŞMEMİŞ OLAY bilgi veya önem eksikliğinden dolayı daha fazla parçalanamamış olaydır.</p>

Diagram oluşturulduktan sonra, yetmezlik ve tamir verileri sistem bileşenlerine atanır. Analizler sistem ve bileşenlerin güvenilirlik ve kullanılabilirlik parametrelerini hesaplamak için yapılır. Bölüm 3.1 de ki tablolarda gösterilen arıza çeşitlerine göre oluşturulan Haşıl bölümünün hata ağacı şekil 3.2 de gösterilmiştir.



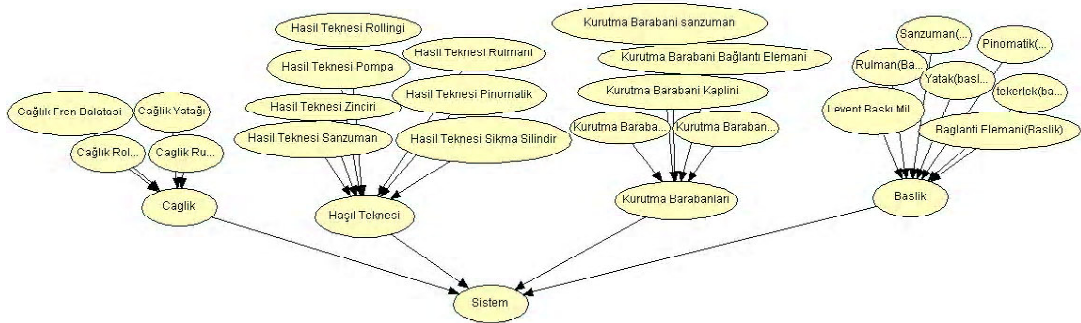
Şekil 3.2. Haşıl bölümünün hata ağacı grafiği

Bir hata ağacında aşağıdaki varsayımların sağlanması gerekmektedir:

- Olayların çalışıyor/çalışmıyor gibi iki durumu vardır.
- Olaylar istatistiksel olarak birbirinden bağımsızdır.
- Olaylar arasındaki ilişkiler mantıksal VE ve VEYA gibi kapılarla birbirine bağlanır. Yani ilişkiler deterministiktir.
- Hata ağacının kökü analiz edilmek istenen baş olaydır.

3. 3. BA nın Niteliksel Kısmının Oluşturulması

Bir sistemi BA kullanarak modellediğimizde hata ağacını anlatırken belirttiğimiz varsayımlardan a,b ve c varsayımlarına uyulmak zorunda değildir. Modellediğimiz sistemde bu varsayımları sağlamamaktadır. Sistemimizin tüm değişkenleri iki durumlu değildir, bazı arızalar bazen hatalı üretime bazen sistemin durmasına sebep olmaktadır; yani arızalarla sistemin ilişkisi her zaman deterministik değildir, olaylar birbirinden istatistiksel olarak bağımsız değildir. O yüzden, sistemin BA kullanarak modellenmesi daha uygundur. Sistemi modellemek için haşıl bölümünden sorumlu mühendis, ustabaşı ve ustabaşı yardımcısı ile görüşmeler yapılmıştır. Bizzat makinenin işleyişi ustabaşı tarafından detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu uzmanların görüşlerine göre makinenin BA sı oluşturulmuştur. BA da ki en üstteki ebeveyn nodlar makinenin alt sistemlerinin parçalarından kaynaklanan arızalardan oluşmaktadır. Bu yapı şekil 3.3. de gösterilmiştir.



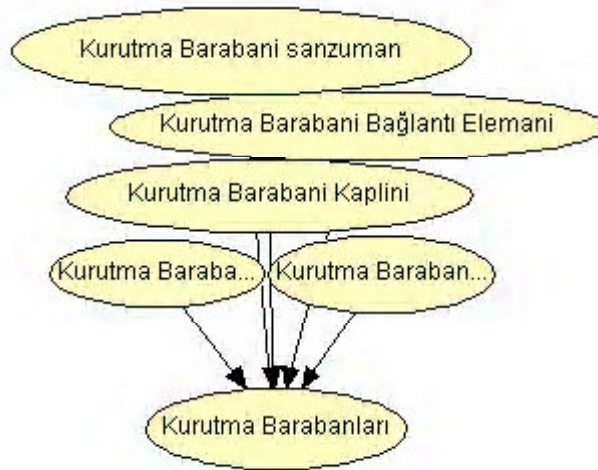
Şekil 3.3. Bütün sistemin BA gösterimi



Şekil 3.4. Cağlık bölümü BA gösterimi



Şekil 3.5. Haşıl bölümü BA gösterimi



Şekil 3.6. Kurutma barabanı bölümü BA gösterimi



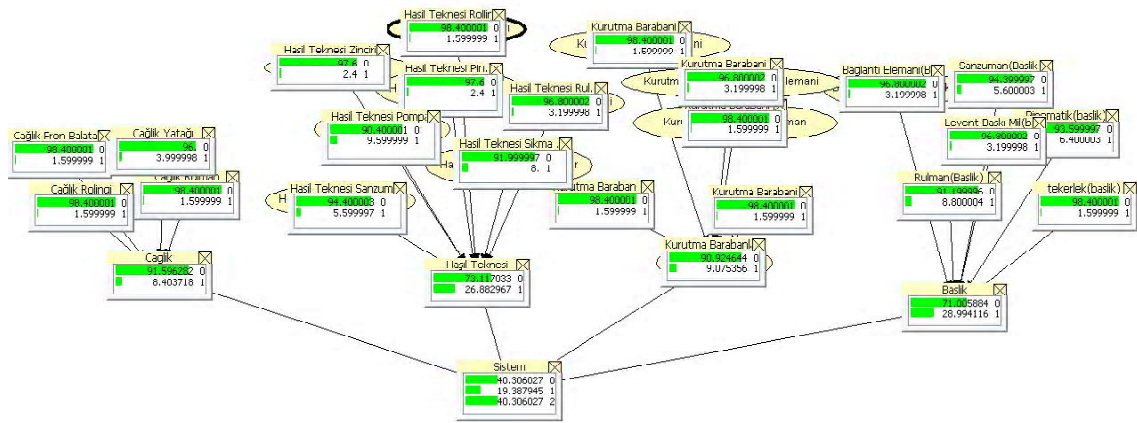
Şekil 3.7. Başlık bölümü BA gösterimi

3. 4. BA nın Niceliksel Kısımının Oluşturulması

BBOLNO	BBAKNO	BBASTA	BBASSA	BBITTA	BBITSA	BSUR	BSUİ	BMAKIN	BAR	YTANIM	BDSAAT	BDDAKK
0002	00615561	20090204	900	20090204	1015	1	15	HASM1	300	RULMAN ARIZASI	1	15
0002	00629694	20090403	1607	20090403	1707	1	0	HASM1	302	PİNOMATİK ARIZASI	1	0
0002	00673921	20090827	2050	20090827	2220	1	30	HASM1	308	ŞIKMA SİLİNDİR ARIZASI	1	30
0002	00682246	20090917	2010	20090917	2120	1	10	HASM1	311	POMPA ARIZASI	1	10
0002	00705651	20091112	730	20091112	800	0	30	HASM1	311	POMPA ARIZASI	24	30
0002	00712301	20091201	832	20091201	932	1	0	HASM1	311	POMPA ARIZASI	1	0
0002	00712301	20091201	832	20091201	932	1	0	HASM1	311	POMPA ARIZASI	1	0
0002	00749609	20100219	950	20100219	1100	1	10	HASM1	306	ŞANZUMAN ARIZASI	1	10
0002	00749609	20100219	950	20100219	1100	1	10	HASM1	306	ŞANZUMAN ARIZASI	1	10
0002	00750753	20100221	2149	20100222	30	2	41	HASM1	308	ŞIKMA SİLİNDİR ARIZASI	2	41
0002	00780886	20100420	30	20100420	200	1	30	HASM1	330	ELEKTİRİK ARIZASI	1	30

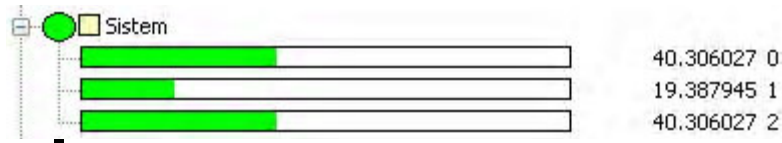
Şekil 3.8. Kullanılan Veriler

Analizin yapılabilmesi için makinenin 12.01.2009- 15.04.2011 tarihleri arasındaki 28 aylık bakım verileri incelenmiştir. Bölüme ait veriler belirlenen yetmezlik grupları altında makineden kaynaklanan yetmezlikler, malzeme tedarikinden kaynaklanan yetmezlikler, yönetim ve personelden kaynaklanan yetmezlikler ve hazırlıktan kaynaklanan yetmezlikler şeklinde tutulmuştur. Kullanılan verilerin bir kısmı şekil 3.8 de görülmektedir. Biz sadece makinenin parçalarından kaynaklanan arızaları analiz edeceğimizden veriler süzölmüş ve düzenlenmiştir. Burada verilen arıza çeşitleri bölüm bazında tutulmadığı için her arızanın hangi bölüme ait olduğu bölümle ilgili ustabaşına, ustabaşının yardımcısına, bölümün ilgili mühendisine sorularak belirlenmiştir. Yukarıda belirtildiği gibi uzmanlardan (haşıl bölümünden sorumlu mühendis ve ustabaşı) öğrenilen değişkenler arasındaki ilişkilerle iplik üretiminde haşıl bölümündeki haşıl 1 makinesi için BA kurulmuştur. Makinenin bazı parçaları bozulduğunda ya makine durmaktadır ya da hatalı üretim olmaktadır. Bu da makine ve parçaları arasındaki ilişkinin deterministik olmadığını gösterir. HUGIN yazılımı kullanılarak elimizdeki veriler sisteme öğretilmiş ve HUGIN in her arıza türü ve alt bileşen için hesapladığı arızalanma olasılıklarına göre mevcut bakım planı değerlendirilmiştir. Verilerle öğretilmiş BA dan elde edilen olasılık dağılımı şekil 3. 9 da verilmiştir.

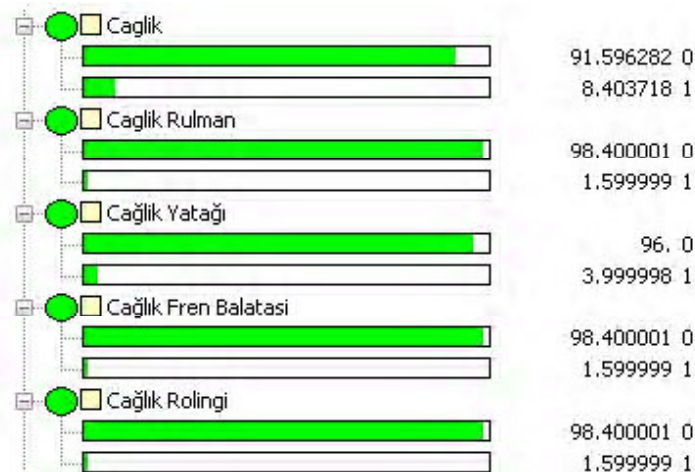


Şekil 3.9. Veri öğretildikten sonra meydana gelen olasılık dağılımı

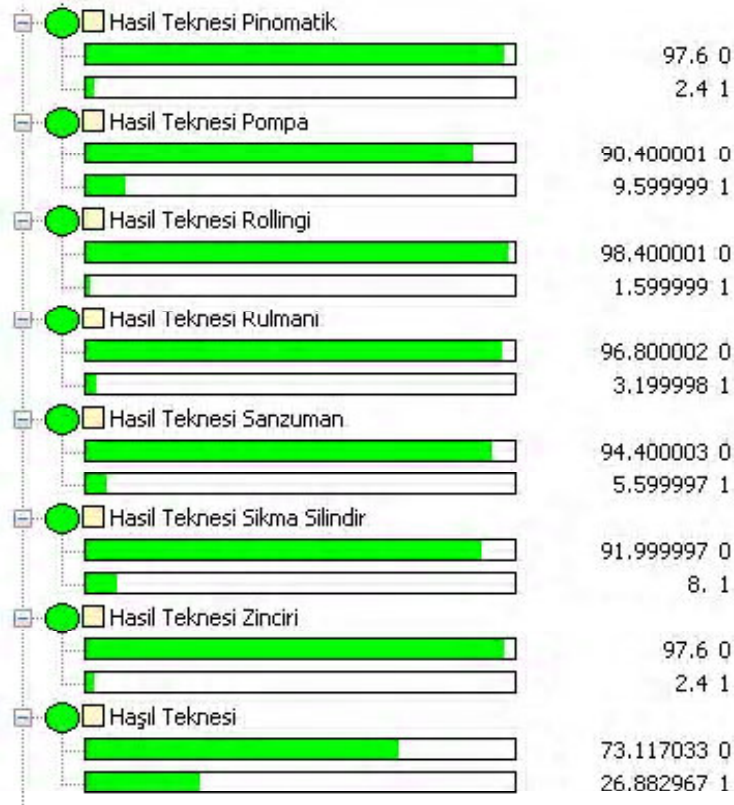
Bu şekle göre sistemin çalışıyor durumda olma olasılığı %40, hatalı üretim yapma olasılığı %40 ve bozuk olma olasılığı %20 dir. Çağlığın bozuk olma olasılığı 0.084, haşıl bölümünün bozuk olma olasılığı 0.2688, kurutma barabanlarının olasılığı 0.0907, başlık bölümünün bozuk olma olasılığı da 0.2894 dir. Bütün alt sistemlerin, alt sistem parçalarının ve sistemin olasılıkları Şekil 3.10 - Şekil 3.14 arasında verilmiştir.



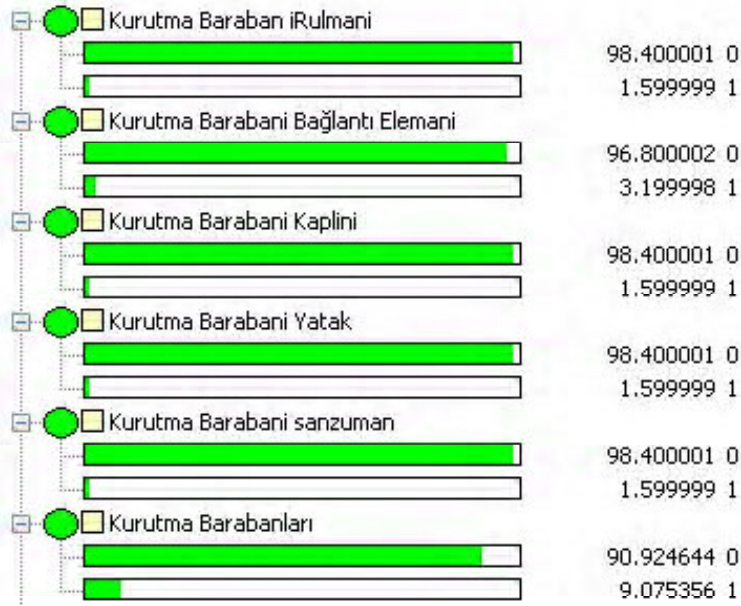
Şekil 3.10. Sistemin olasılıkları



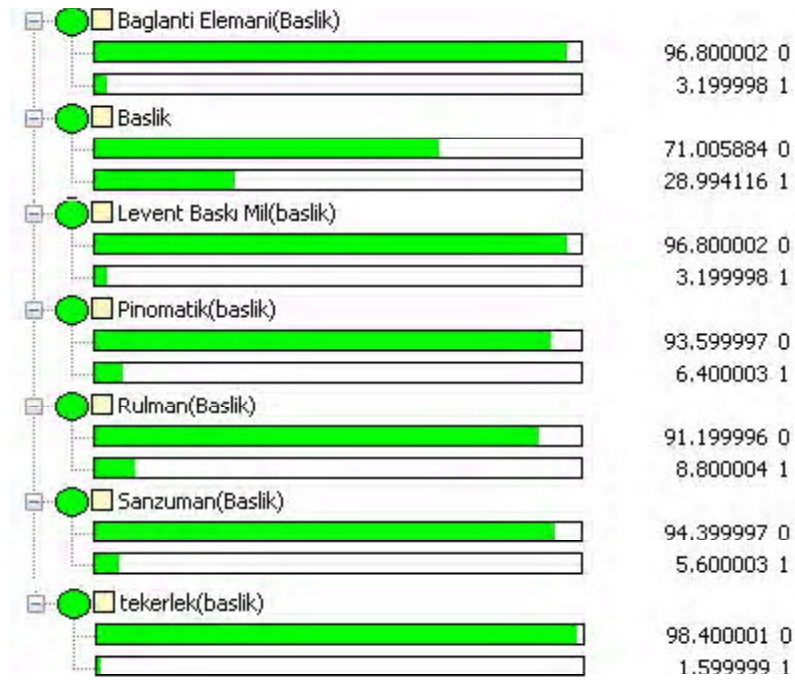
Şekil 3.11. Çağlık bölümünün olasılıkları



Şekil 3.12. Haşıl teknesi bölümünün olasılıkları



Şekil 3.13. Kurutma barabanları bölümünün olasılıkları



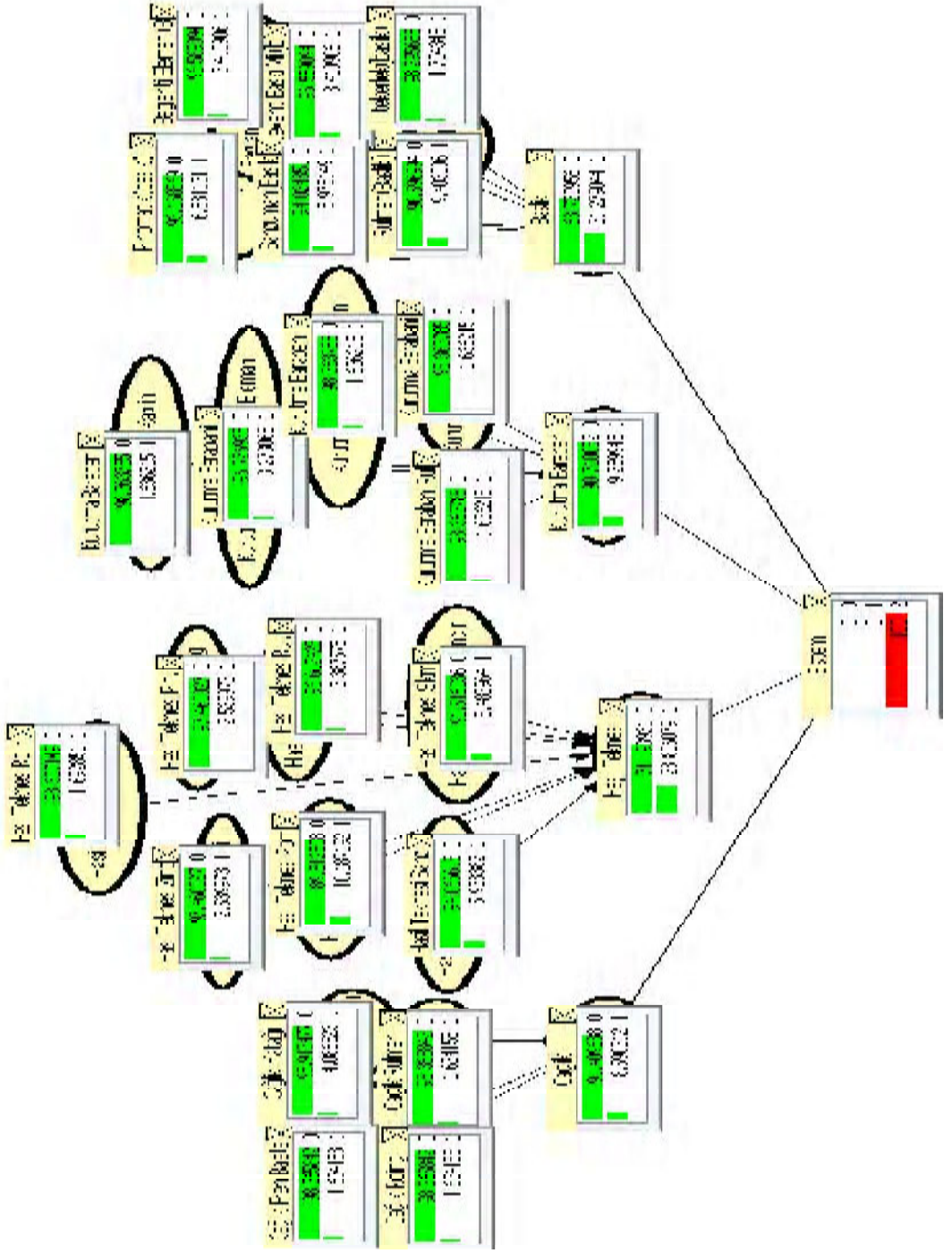
Şekil 3.14. Başlık bölümünün olasılıkları

Sistemin bozuk olduğu verildiğinde bütün alt sistemler ve parçalar için olasılık dağılımı Şekil 4.15 da ki gibi değişmektedir. Sistemin bozuk olduğu bilindiğinde 0.1943 en yüksek olasılıkla başlık bölümü bozuk olabilir. Kurutma barabanı bölümü 0.08183 olasılıkla, haşıl teknesi bölümü 0.1888 olasılıkla, çağlık bölümü 0.07627 olasılıkla bozuk olabilir.

Sistemin hatalı üretim yaptığı verildiğinde bütün alt sistemler ve parçalar için olasılık dağılımı Şekil 3.16 de ki gibi değişmektedir. Sistemin hatalı üretim gerçekleştirdiği bilindiğinde 0.3127 en yüksek olasılıkla başlık bölümü bozuk olabilir. Kurutma barabanı bölümü 0.09289 olasılıkla, haşıl teknesi bölümü 0.2881 olasılıkla, çağlık bölümü 0.0859 olasılıkla bozuk olabilir.

Yukarıda belirtilen iki durumdan anlaşılacağı üzere sistemde bir bozukluk olduğu ya da hatalı üretim meydana geldiği bilindiğinde bunun haşıl teknesi ve başlık bölümünden kaynaklanma olasılığı diğer bölümlere göre daha yüksektir. Makinenin bakım planına göre bütün bölümlere aynı bakım planı uygulanmaktadır. Oysaki farklı ömür dağılımlarına sahip olduğu uzmanlarla yapılan görüşmelerle de belirtildiği gibi oldukça

açıktır. Bu nedenle her bölüm için ayrı bir bakım planı hazırlanabilir. Örneğin haşıl teknesi rulmanlarını değiştirmek için belirlenen zaman 6 aydır ve bu nedenle tüm makine 6 ayda bir genel bakımdan geçmekte ve rulmanları değiştirilmektedir. Halbuki Haşıl bölümündeki gibi haşıl maddesi kimyasalına ve o kadar yoğun bir mekanik harekete, sürtünmeye maruz kalmayan çamlık ve kurutma barabanları bölümlerindeki rulmanların ömrü uzman görüşünde ortalama 3 yıl olarak belirtilmiştir. O zaman açıktır ki 3 yıl ortalama ömrü olan parçaların 6 ayda bir değiştirilmesi israfa sebep olur.



Şekil 3.16. Hatalı üretim meydana geldiği bilinmediğinde bileşenlerin olasılıkları

3. 5. Kurulan Bayes Ağının Doğrulanması

Sistem için BA kurulmuştur ve geçmiş verilere dayandırılarak sistemin ve parçaların olasılık dağılımı belirlenmiştir. Kurulan modelin doğrulanması için sonuçlar sistemin uzmanlarıyla görüşülüp, tartışılmıştır. Modelin doğrulanabilmesi için kurulan model her alt sistemin ayrı ayrı bozuk olduğu verildiğinde sistemin durum olasılıklarını belirlemek için ve her alt sistemin bozuk olduğu bilindiğinde parçaların bozuk olma olasılıklarını belirlemek için çalıştırılmıştır. Bulunan sonuçlar sistemin uzmanlarıyla değerlendirilmiştir. Sonuçların hem elimizdeki verilere hem de uzmanlarla yapılan görüşmelere göre tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Alt sistemlerdeki bozulmaların sisteme olan etkileri Tablo 3.7 de verilmiştir. Örneğin cağlığın bozuk olduğu verildiğinde sistemin bozuk olma olasılığı 0.69 ve hatalı üretim yapma olasılığı 0.31 dir.Bu tabloya göre haşıl teknesi ve kurutma barabanlarının bozuk olması sistemin bozuk olma olasılığını başlığın bozuk olması ise hatalı üretim olasılığını en yüksek yapmaktadır.

Tablo 3.7. Alt sistemlerin bozuk olduğu verildiğinde sistemin olasılık dağılımı

<i>Bozuk Olduğu Verilen Alt Sistem</i>	<i>Sistemin Olasılık Dağılımı</i>	
	<i>Bozuk Olma Olasılığı</i>	<i>Hatalı Üretim Gerçekleşmesi Olasılığı</i>
<i>Cağlık</i>	0.69	0.31
<i>Haşıl Teknesi</i>	0.76	0.24
<i>Kurutma Barabanları</i>	0.76	0.24
<i>Başlık</i>	0.45	0.55

Alt sistemlerdeki bozulmaların parçalarına olan etkileri Tablo 3.8 de verilmiştir. Örneğin cağlığın bozuk olduğu bilindiğinde bozukluğun en yüksek ihtimalle yatak parçasının bozukluğundan kaynaklandığı tablodan okunabilir. Rulman, fren balatası ve roling parçaları 0.81 olasılıkla çalışıyor durumda, 0.19 olasılıkla ise bozuktur. Aynı şekilde diğer alt sistem parçalarının olasılıklarını da tablodan yorumlayacak olursak; haşıl teknesinin bozukluğu 0.33 en yüksek olasılıkla pompa parçasının bozukluğundan, kurutma barabanlarının bozukluğu 0.35 olasılıkla bağlantı elemanı parçasının

bozukluğundan, başlık bölümünün bozukluğu ise 0.34 olasılıkla rulman parçasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 3.8. Alt sistemlerin bozuk olduğu verildiğinde alt sistem parçalarının olasılık dağılımı

<i>Bozuk Olduğu Verilen Alt Sistem</i>	<i>Alt Sistemin Arıza Çeşitleri</i>	<i>Çalışma Olasılığı</i>	<i>Bozuk Olma Olasılığı</i>
<i>Cağlık</i>	<i>Rulman</i>	0.81	0.19
	<i>Fren Balatası</i>	0.81	0.19
	<i>Yatak</i>	0.53	0.47
	<i>Roling</i>	0.81	0.19
<i>Haşıl Teknesi</i>	<i>Zincir</i>	0.92	0.08
	<i>Pompa</i>	0.67	0.33
	<i>Şanzıman</i>	0.81	0.19
	<i>Roling</i>	0.94	0.06
	<i>Pinomatik</i>	0.92	0.08
	<i>Rulman</i>	0.89	0.11
	<i>Sıkma silindiri</i>	0.72	0.28
<i>Kurutma Barabanları</i>	<i>Rulman</i>	0.83	0.17
	<i>Bağlantı Elemanı</i>	0.65	0.35
	<i>Kaplin</i>	0.83	0.17
	<i>Yatak</i>	0.83	0.17
	<i>Şanzıman</i>	0.83	0.17
<i>Başlık</i>	<i>Bağlantı Elemanı</i>	0.88	0.12
	<i>Levent Baskı Mil</i>	0.88	0.12
	<i>Pinomatik</i>	0.75	0.25
	<i>Rulman</i>	0.66	0.34
	<i>Şanzıman</i>	0.78	0.22
	<i>Tekerlek</i>	0.94	0.06

4. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmamızın başında firmaların rekabet edebilmek için üretimlerinin her anında güvenilirliği ön planda tutmaları gerektiğini söylemiştik. Güvenilir bir sistem kurmaya giden yolda bakım planlamanın önemi açıktır. Bu nedenle biz de çalışmamızda bir iplik üretim sisteminde önemli bir bölüm olan haşılama bölümünün bakım planını değerlendirdik. Sistemimiz seri bağlı bir sistem olduğundan bir altsistemde meydana gelen hata sistemi ya bozuyor ya da hatalı üretime sebep oluyor. Her alt sistem farklı çalışma koşullarına sahiptir. Örneğin, çalgık ve haşıl teknesinin çalışma koşulları çok farklıdır. Haşıl bölümündeki bir parçanın bakım ihtiyacıyla çalgık bölümündeki bir parçanınki aynı değildir. Mevcut bakım planında belirlenen genel bakım periyodu olan 6 ay bazı bölümler için fazla bazı bölümler için kısadır. Her bölüm için ayrı bakım planının belirlenmesi için de arıza verilerinin bölüm bazında tutulması gerekmektedir. Hatalı üretime sebep olan başlık ve çalgık bölümleri sistemin yetersizlik olasılığını yükseltmektedir. Haşıl teknesi ve kurutma barabanı bölümleri diğer bölümlere göre daha iyidir. Şekil 4.9 da ki sonuçlardan da görülebileceği ve yorumlanabileceği gibi sistemlerin tarihsel veriler girilerek elde edilen sonsal yetmezlik olasılıkların çoğu birim için çok düşük olduğu görülmektedir. Fakat birimlerden tek tek bahsedecek olursak, haşıl teknesi ve başlık bölümlerinin bakım planlarının yenilenmesi gerektiği çok açıktır.

KAYNAKLAR

1. Jensen, F. V., Nielsen, T. D., 2007, **Bayesian Networks and Decision Graphs**, Springer Series in Information Science and Statistics, London, 447 pp.
2. Berger, J. O., 1985, **Statistical Decision Theory and Bayesian Analysis**, Springer Series in Statistics, London, 378 pp.
3. MIL-STD-721B, Interface and performance standard for automated control applique for hf radio, Military Standard, 1994.
4. Wang, H., Pham, H., 2006, **Reliability and optimal maintenance**, Springer Series in Statistics, New York, 345 pp.
5. Barlow, R. E., Hunter, L.C., 1960, **Optimum preventive maintenance policies**, Operations Research, 8:90-100.
6. Nakagawa, T., 1984, **Periodic inspection policy with preventive maintenance**, Naval Research Logistics Quarterly, 31:33-40.
7. Sheu, S. H., Kuo, C. M., Nakagawa, T., 1993, **Extended optimal age replacement policy with minimal repair**, RAIRO Recherche Operationnelle, 27(3):337-351.
8. Sheu, S. H., Griffith, W. S., Nakagawa, T., 1995, **Extended optimal replacement model with random minimal repair costs**, European Journal of Operational Research 85:636-649.
9. Wang, H. Z., Pham, H., 1999, **Some maintenance models and availability with imperfect maintenance in production systems**, Annals of Operations Research, 91:305-318.
10. Nakagawa, T., 1981, **A summary of periodic replacement with minimal repair at failure**, Journal of the Operations Research Society of Japan, 24:213-228.
11. Chun, Y. H., 1992, **Optimal number of periodic preventive maintenance operations under warranty**, Reliability Engineering and System Safety, 37(3): 223-225.
12. Dagpunar, J. S., Jack, N., 1994, **Preventative maintenance strategy for equipment under warranty**, Microelectronics and Reliability 34(6): 1089-1093.
13. Lie, C. H., Chun, Y. H., 1986, **An algorithm for preventive maintenance policy**, IEEE Transactions on Reliability, 35(1): 71-75.

14. Barlow, R. E., Proshan, F., 1965, *Mathematical Theory of Reliability*, John Wiley & Sons, New York, 258 pp.
15. Nguyen, D. G., Murthy, D. N. G., 1981, **Optimal maintenance policy with imperfect preventive maintenance**, *IEEE Transactions on Reliability*, 30(5): 496-497.
16. Kijima, M., Nakagawa, T., 1992, **Replacement policies of a shock model with imperfect preventive maintenance**, *European Journal of Operations Research*, 57:100-110.
17. Drinkwater, R. W., Hastings, N. V. J., 1967, **An economic replacement model**, *Operational Research Quart*, 18:121-138.
18. Nguyen, D. G., Murthy, D. N. G., 1981, **Optimal repair limit replacement policies with imperfect repair**, *Journal of Operational Research Society*, 32: 409-416.
19. Dohi, T., Matsushima, N., Kaio, N., Osaki, S., 1997, **Nonparametric repair-limit replacement policies with imperfect repair**, *European Journal of Operational Research* 96(2):260-273.
20. Morimura, H., Makabe, H., 1963, **A new policy for preventive maintenance**, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 5:110-124.
21. Berg, M., Epstein, B., 1978, **Comparison of age, block, and failure replacement**, *IEEE Transactions on Reliability* 27(1):25-29.
22. Berg, M., 1976, **A proof of optimality for age replacement policies**, *Journal of Applied Probability*, 13:751-759.
23. Bergman, B., 1980, **On the optimality of stationary replacement strategies**, *Journal of Applied Probability*, 17:178-186.
24. Block, H. W., Langberg, N. A., Savits, T. H., 1990, Comparisons for maintenance policies involving complete and minimal repair. In Block, H. W., Langberg, N. A., Savits, T.H., *Proceedings of the Symposium on Dependence in Probability and Statistics*, August 1-5, 1987 Somerset, Pennsylvania.
25. Cho, I. D., Parlar, M., 1991, **A survey of maintenance models for multi-unit systems**, *European Journal of Operational Research*, 51:1-23.
26. Dekker, R., Wilderman, R. E., 1997, **A review of multicomponent maintenance models with economic dependence**, *Mathematical Methods In Operations Research*, 45(3):411-435.

27. Ritchken, P. H., Wilson, J. G., 1990, **(m , T) group maintenance policies**, Management Science, 36(5):632-639.
28. Nakagawa, T., Murthy, D. N. P., 1993, **Optimal replacement policies for a two-unit system with failure interactions**, Recherche Operationnelle, 27(4):427-438.
29. Berg, M., 1976, **Optimal replacement policies for two-unit machines with increasing running costs - I**, Stochastic Processes and Applications, 5:89-106.
30. Zheng, X., 1995, **All opportunity-triggered replacement policy for multiple-unit system**, IEEE Transactions on Reliability, 44(4):648-652.
31. Neapolitan, R. E., 2003, Learning Bayesian Networks, Prentice Hall, London, 692 pp.
32. Shafer, G. R., Pearl, J., 1990, Readings In Uncertain Reasoning, Morgan Kaufmann, San Mateo, 524 pp.
33. Darrach, J. N., Lauritzen, S. L., Speed, T. P., 1980, **Markov fields and log-linear models for contingency tables**, Ann Statistic, 8: 522-539.
34. Wermuth, N., Lauritzen, S. L., 1983, **Graphical and recursive models for contingency tables**, Biometrika, 70: 537-552.
35. Spiegelhalter, D. J., Lauritzen S. L., 1990, **Sequential updating of conditional probabilities on directed graphical structures**. Networks 20: 579–605.
36. Cooper, G. F., Herskovits E., 1992, **A Bayesian method for the induction of probabilities networks from data**, Machine Learning 9, 309–347.
37. Heckerman, D., Geiger, D., Chickering, D. M., 1995, **Learning Bayesian networks: The combination of knowledge and statistical data**, Machine Learning 20 (3): 197–243.
38. Pearl, J., 2000, Causality – Models, Reasoning, and Inference, UK: Cambridge University Press, Cambridge, 578 pp.
39. Langseth, H., Portinale L., 2007, **Bayesian Networks in Reliability**, Reliability Engineering and System Safety, 92: 92-108.
40. Wilson A. G., Huzurbazar A. V., 2007, **Bayesian networks for multilevel system reliability**, Reliability Engineering and System Safety 92, 1413–1420.
41. Doguç Ö., Ramirez Marquez J. E., 2009, **A generic method for estimating system reliability using Bayesian networks**, Reliability Engineering and System Safety, 94: 542– 550.

42. Simon C., Weber P., Evsukoff A., 2008, **Bayesian networks inference algorithm to implement Dempster Shafer theory in reliability analysis**, Reliability Engineering and System Safety, 93: 950–963.
43. Norrington N., Qigley J., Russell A., Van Der Meer R., 2008, **Modelling the reliability of search and rescue operations with Bayesian Belief Networks**, Reliability Engineering and System Safety 93, 940–949.
44. Neil M., Tailor M., Marquez D., Fenton N., Hearty P., 2008, **Modelling dependable systems using hybrid Bayesian networks**, Reliability Engineering and System Safety 93, 933–939.
45. Jones B., Jenkinson J., Yang Z., Wang J., 2010, **The use of Bayesian network modelling for maintenance planning in a manufacturing industry**, Reliability Engineering and System Safety 95, 267–277.
46. Cai H., 2007, **Establish a maintenance management system using Bayesian networks** Reliability, Reliability Engineering and System Safety , 92, 1203–1220.
47. Celeux, G., Corset, F., Lannoy, A., Richard, B., 2006, **Designing a Bayesian network for preventive maintenance from expert opinions in a rapid and reliable way**, Reliability Engineering and System Safety 91: 849–856.
48. Cinar, D., Kayakutlu, G., 2010, Scenario analysis using Bayesian networks: A case study in energy sector, Knowledge-Based Systems 23: 267–276.
49. Bobbio, A., Portinale, L., Minichino, M., Ciancamerla, E., 2001, **Improving the analysis of dependable systems by mapping fault trees into Bayesian networks**, Reliability Engineering and System Safety 71: 249–260.
50. Wilson, A. G., McNamara, L. A., Wilson, G. D., 2007, **Information integration for complex systems**, Reliability Engineering and System Safety 92: 121–130.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı : Elif DOĞDU
Uyruğu : Türkiye (TC)
Doğum Tarihi ve Yeri: 16 Nisan 1987, Kayseri
Medeni Durumu : Bekâr
Tel : +90 505617 07 20
email : edogdu@bartin.edu.tr
Yazışma Adresi :Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği
Bölümü, 741100, Merkez/ BARTIN

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	E.Ü. M. F. Endüstri Mühendisliği	2009
Lise	N. M. Baldöktü A. L., Kayseri	2005

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2010- Halen	Bartın Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YABANCI DİL

İngilizce