

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

**SÜREÇ GÜVENİLİRLİĞİNİN BULANIK-BAYESGİL YÖNTEMLERİ
İLE BELİRLENMESİ**

Proje No: FBY-09-811

Lisansüstü ve Araştırma Prj.(Yüksek Lisans Tezi)

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Yrd.Doç.Dr. Selda Kapan Ulusoy
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Arş.Gör. Latife Görkemli
Endüstri Mühendisliği Bölümü

Mart 2011
KAYSERİ

Yrd. Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY danışmanlığında **Latife GÖRKEMLİ** tarafından hazırlanan “**Üretim Süreçlerinin Güvenilirliğinin Bulanık Bayesgil Yöntemi ile Belirlenmesi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

07/09/2009

JÜRİ:

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Selda KAPAN ULUSOY

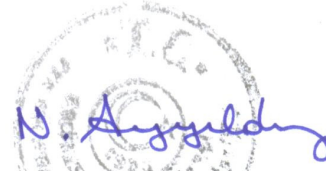
Üye : Yrd. Doç. Dr. Adem GÖLEÇ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Banu SOYLU

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 29/09/2009 tarih ve 2009/33-03 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

29/09/2009


Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Literatür Çalışması	4
2.1.1. Güvenilirlik ve Kullanılabilirlik.....	5
2.1.2. Sistem Güvenilirliği ve Kullanılabilirliği.....	6
2.1.2.1. Seri Sistemler İçin Güvenilirlik ve Kullanılabilirlik Analizleri	7
2.1.2.2. Paralel Sistemler için Güvenilirlik ve Kullanılabilirlik Analizleri.....	8
3. GEREÇ ve YÖNTEM.....	11
3.1. Bulanık Bayesgil Yöntemi ile Üretim Süreçlerinin Güvenilirlik ve Kullanılabilirlik Analizleri.....	13
3.1.1. Bulanık Küme Teorisi	13
3.1.1.1. Güvenilirlik Analizlerinde Bulanık Küme Teorisi.....	14
3.1.2. Bayesgil Yöntemler	15
3.1.3. Güvenilirlik Analizlerinde Bulanık Bayesgil Yöntemler	15
3.2. Üretim Süreçlerinin Güvenilirliğinde Bulanık Bayesgil Analizler	17
3.2.1. Kullanılan Yöntem	17
3.2.1.1. Bulanık Rastlantı Değişkenleri.....	18
3.2.1.2. Bulanık Bayes Nokta Tahminçileri	19
3.2.1.3. Bulanık Bayesgil Yöntemi ile Sistem Güvenilirliğinin Belirlenmesi	20
3.2.1.3.1. Seri Sistemler	20
3.2.1.3.2. Paralel Sistemler.....	22
3.2.2. Bulanık Bayesgil Yöntemi ile Üretim Süreçlerinin Güvenilirliğinin ve Kullanılabilirliğinin Tespiti	22
3.2.2.1. Bulanık Bayesgil Yöntemi ile Üretim Süreçlerinin Güvenilirliğinin Belirlenmesi	23

3.2.2.2. Bulanık Bayesgil Yöntemi ile Üretim Süreçlerinin Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi	24
3.2.2.2.1. Seri Sistemlerin Kullanılabilirliği	26
3.2.2.2.2. Paralel Sistemlerin Kullanılabilirliği.....	27
3.2.2.2.3. Seri-Paralel Sistemlerin Kullanılabilirliği	28
4. BİR İPLİK ÜRETİM SİSTEMİNİN GÜVENİLİRLİĞİNİN BULANIK BAYESGİL YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ	31
4.1. İplik Üretim Sistemi	31
4.2. İplik Üretim Sistemine Ait Güvenilirlik Verilerinin İncelenmesi.....	32
4.3. İplik Üretim Sistemi Güvenilirlik Hesaplamaları	34
4.4. İplik Üretim Sistemine Ait Kullanılabilirlik Verilerinin İncelenmesi.....	37
4.5. İplik Üretim Sistemi Kullanılabilirlik Hesaplamaları	39
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	44
KAYNAKLAR.....	46

ÖZET

Günümüzün üretim sektörlerinde önemli rekabet unsurlarından biri olan güvenilirliğin, imalatın ilk aşamalarından ürünün ömrünü tamamlamasına kadar geçen safhada yer alması üreticilerin başarıyı yakalayabilmelerinde etkili olmaktadır. Literatürde makine ve ekipman, insan, ürün vb. güvenilirliklerin belirlenmesi için çok sayıda çalışma yer almasına rağmen üretim süreçlerinin güvenilirliklerinin tespitine yönelik çalışmalar kısıtlı miktardadır. Oysaki özellikle üretim planlama ve kontrol faaliyetlerinin daha etkin bir şekilde sürdürülebilmesi için üretim sistemini oluşturan süreçlerin güvenilirliklerinin bilinmesi önemlidir.

Proje çalışmasında üretim sistemini oluşturan süreçlerin güvenilirliklerini belirlemeye yönelik yeni bir modelleme yaklaşımı önerilmiştir. Üretim ortamlarında karşılaşılan belirsizlikleri de analizlere dahil edip daha gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için belirsizliği modellemede etkin araçlar olan olasılık teorisi ve bulanık küme teorisini içeren bulanık Bayesgil yöntemi model çözümünde kullanılmıştır. Literatürde tamir edilemeyen sistemler için geliştirilen söz konusu bulanık Bayesgil yöntemi, tamir edilebilir sistemler olan süreçlerin güvenilirlik ve kullanılabilirlik (availability) hesaplarının yapılması için uyarlanmıştır. Önerilen modelleme yaklaşımı ve analizlerin belirlenen varsayımlar altında uygulanabilirliği, bir iplik üretim fabrikasında yapılan çalışma ile anlatılmıştır. Uygulama çalışmasında, hem süreç yetmezlikleri hem de sadece makinelerden kaynaklanan yetmezlikler dikkate alınarak ayrı ayrı hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güvenilirlik, üretim sürecinin güvenilirliği, bulanık Bayesgil yöntemi

ABSTRACT

Reliability, one of the most important competition factors in today's manufacturing, should take place in all of the phases of production systems to accomplish. Although there are lots of studies on machine and equipment, human, product etc. reliability, studies on production process reliability are limited in the literature. However, it is important that the manufacturers should determine reliability of processes for being more efficient in production planning and control.

In this study we suggested a new modeling approach for determining of reliability of production processes. In the analysis, a fuzzy Bayesian method is used to handle the uncertainties in the production environment. The method which is used in the analysis of thesis was developed for the unrepairable systems before. But the processes are repairable systems. So the method is adapted to calculate process reliability and availability.

The applicability of suggested modeling approach and analysis under some assumptions are explained with an application in the yarn production system. In the application, process failures and machine failures are considered separately, and the results of reliability and availability analysis are compared.

Keywords: Reliability, reliability of production process, fuzzy Bayesian method.

1. GİRİŞ

Gerçek hayatta sistemlerin karmaşık olmasının ve sonuçta istenilen çözümlere ulaşamamasının en önemli nedenlerinden birisi, söz konusu sistemlerin bünyesinde barındırdığı belirsizliktir. Belirsizliğin bulunduğu sistem için uygun kararlar almak, belirsizliğin tipine, doğru modellenmesine ve analizine bağlıdır. Günümüze kadar, belirsizliği modelleme ve analiz etmeye yönelik yapılan çalışmaların çoğu, olasılık ve bulanık küme teorilerine dayanmaktadır.

Olasılık teorisi, rassal olayların çıktıları ile ilgili belirsizliklerin değerlendirilmesi için hesaplama yöntemleri sunarken, Zadeh'in ortaya koyduğu bulanık küme teorisi ise, sınıflandırma ile ilgili belirsizliklerin modellenmesinde, dilsel belirsizlikleri ifade etmektedir [1]. Birçok araştırmacı, olasılık teorisi ile bulanık küme teorisinin birlikte ele alınarak geliştirilen yöntemler ile farklı tipte belirsizlikleri içeren problemlerin çözümünde başarılı olunabileceğini belirtmişlerdir [1-4]. Ross ve ark. [4] bu iki teori arasında nasıl köprü kurulabileceğini örnek uygulamalarla göstermişlerdir.

Belirsizlik (uncertainty); rassallık (randomness), muğlâklık (vagueness), hassassızlık (imprecision), anlam bulanıklığı (ambiguity) gibi değişik şekillerde karşımıza çıkabilir. Olasılık teorisi ile modellenmesi uygun tesadüfî belirsizlikler, genellikle kantitatif verilerin analizlerinde söz konusu olmaktadır. Muğlaklık ve anlam bulanıklığı, çoğunlukla kalitatif verilerdeki dilsel belirsizlikten kaynaklanmakta ve bulanık küme teorisi ile modellenebilmektedir. Hassassızlık ise hem kalitatif hem de kantitatif verilerde bulunabilir. Kantitatif olarak belirsizlikteki rassal değişkenliği, kalitatif olarak ise varlıkları tanımlamakta kullanılır. Belirsizlik tipleri ve modelleme yaklaşımları ile ilgili detaylı çalışma Ross ve ark. [4] tarafından yapılmıştır.

Güvenilirlik belirleme analizlerinde, kalitatif ve kantitatif bir çok veri incelenmekte, uzman bilgisine başvurulmakta ve sistemi oluşturan parçaların ömür dağılımları ve dağılımların parametreleri belirlenmektedir. Üretim sistemlerinde insan hatalarından ve beklenmeyen

durumların ortaya çıkmasından dolayı veriler tam ve doğru bir şekilde toplanamayabilir, yaklaşık verileri analizlere dahil etmek gerekebilir. Bu gibi hassassızlık modellerinde bulanık küme teorisi uygun bir modelleme aracıdır [5]. Mühendislik uygulamalarında ortaya çıkan belirsizliklerin kaynağının sadece tesadüfîlik olmadığını belirten Huang [6], elde edilen ömür verilerinin, çoğu zaman kirli (polluted) olduğunu, tam doğru olmadığını (imprecise), öznel değerlendirme ve yaklaşık tahminlerle elde edilebildiğini bunun da verilerde bulanıklığa yol açtığını ifade etmiştir. Bunlara ek olarak, çok durumlu güvenilirlik analizlerinde, yetmezlik durumların sınıflandırılmasında da bulanık küme teorisi kullanılabilir [7]. Güvenilirlik analizlerinde ortaya çıkan sözkonusu durumlar, bulanık küme teorisi ile olasılık teorisinin birlikte dikkate alınmasını gerektirmektedir.

Bu çalışmada ele alınan üretim süreçlerinin ve sisteminin güvenilirliğinin belirlenmesine yönelik modelleme ve analizlerde de bütün bu sözkonusu belirsizlikler ile karşılaşılabilir. Çünkü bir üretim sürecinin güvenilirliği, imalat sürecinin mevcut çalışma koşulları altında kendisinden beklenen fonksiyonları belirlenen zaman diliminde yerine getirmesinin olasılığıdır. Çalışmada, üretim süreçlerinin modellenmesine yönelik yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geleneksel güvenilirlik modellerinde çoğu zaman, makine ve ekipmandan kaynaklanan yetmezlikler dikkate alınmakta, güvenilirlik tahminlerinin ardından bakım politikaları geliştirilmektedir. Önerilen süreç güvenilirliği modelleri ve analizleri ile süreçlerde meydana gelebilecek tüm yetmezlikler analizlere dahil edilebilecektir. Süreç ve süreçlerin oluşturduğu sistem güvenilirliklerinin tespitinden sonra ise üretim planlama ve kontrol çalışmaları daha etkin bir şekilde yapılabilir. Üretim süreçlerinin güvenilirliklerinin doğru tahmin edilmesi ürün teslim tarihlerinin belirlenmesinde ve buna bağlı olarak müşteri memnuniyetinin artırılmasında da önemlidir. Günümüzde firmaların önemli rekabet unsurlarından olan ürün güvenilirliği ve kalitesi mühendislik tasarımı, imalat süreçleri, yönetim kararları vb gibi birçok alanın etkileşimini içermektedir. Ürün güvenilirliğinin artırılması ise yeniden tasarım, kullanılan malzeme ve süreçlerin iyileştirilmesi vb. birçok çalışmayı içinde bulunduran karmaşık bir durumdur. Görüldüğü gibi üretim süreçlerinin güvenilirlikleri ürün güvenilirliklerini de etkilemektedir.

Üretim süreç güvenilirliğinin belirlenmesine yönelik geliştirilen modelleme yaklaşımının çözümünde mevcut belirsizlikleri analizlere dahil edebilmek ve doğru sonuçlar elde edebilmek için Wu [5,8,9] tarafından ortaya koyulan bulanık küme teorisini ve olasılık teorisini içeren bulanık Bayesgil yöntemi temel alınmıştır. Sözkonusu yöntem kullanılarak

süreç ve süreçlerden oluşan sistemin güvenilirliklerinin nasıl tespit edilebileceği gösterilmiştir. Wu [9] 'nın yaptığı analizler tamir edilemeyen sistemlerin güvenilirliklerini belirlemeye yöneliktir. Ancak üretim süreçleri tamir edilebilir sistemlerdir. Tamir edilebilir sistemlerde parçaların ve sistemin güvenilirliklerinin belirlenmesinin yanında kullanılabilirliklerinin tespiti de önemlidir. Proje çalışmasında üretim süreçleri ve süreçlerden oluşan sistem için güvenilirlik analizlerinin yanında bulanık Bayesgil kullanılabilirlik analizleri de yapılmıştır. Önerilen modelleme yaklaşımı ve analizlerin belirlenen varsayımlar altında uygulanabilirliği, bir iplik üretim tesisinde yapılan çalışma ile gösterilmiştir. Uygulama çalışmasında hem süreç yetmezlikleri hem de sadece makinelerden kaynaklanan yetmezlikler dikkate alınarak ayrı ayrı hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

Bir üretim sürecinin güvenilirliği, sözkonusu imalat sürecinin üretimin çalışma koşulları altında kendisinden beklenen fonksiyonları belirlenen zaman diliminde yerine getirmesi olasılığıdır. Çalışma ve duruş süreleri dikkate alınarak, istenen zamanda sürecin çalışıyor durumda olmasının olasılığı ise üretim sürecinin kullanılabilirliği olarak tanımlanabilir.

2.1. Literatür Çalışması

Literatürde güvenilirlik ve kullanılabilirlik analizleri ile ilgili çok sayıda çalışma yer almaktadır [10-15]. Geleneksel güvenilirlik çalışmalarının çoğunda ya makinelerden kaynaklanan yetmezlikler dikkate alınmış ya da belirlenen yetmezlik tipleri ayrı ayrı incelenmiştir. Ancak bilimsel yazında farklı yetmezlikleri içerisinde bulunduran imalat süreçleri için, söz konusu bütün yetmezlikleri analizlere dahil eden çalışma sayısı az sayıdadır.

Brall ve Gardner [16] üretim kapasitesini göz önünde bulunduran süreç kullanılabilirliğini belirlemeye yönelik bir modelleme yaklaşımı önermişlerdir. Geleneksel kullanılabilirlik modellerinde, yazılım ve donanım yetmezlikleri ile bakım süreleri dikkate alınarak sistemin değerlendirildiğini, zaman zaman modellere insanın neden olduğu yetmezlikler ile kaynak kısıtlamalarının katıldığını, fakat üretim esnasında farklı süreç yetmezliklerinin de ortaya çıkabileceğini, bunların göz önünde bulundurularak modelleme yapılmasının daha doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlayacağını belirtmişlerdir. Çalışmada, süreç yetmezliklerini, hatalı parça üretimi veya makineden kaynaklanan yetmezlikler olmadan üretim hattının durmasına neden olan yetmezlikler olarak tanımlamışlardır. Süreç yetmezlikleri modelde ayrı bloklar ile temsil edilmiş ve ilgili makinelerle seri şekilde ilişkilendirilmiştir. Burada kısa tamir zamanlarına (ortalama 6 dakika) sahip olan yetmezlikler süreç yetmezlikleri, uzun tamir zamanları olanlar ise (ortalama 2 saat) makine yetmezlikleri şeklinde gruplandırılmıştır.

Önerdikleri yaklaşımı ise simülasyon ile sistem kullanılabilirliğini belirledikleri uygulama çalışmasında göstermişlerdir.

Günlük üretim miktarlarını dikkate alarak yapılan süreç güvenilirliği analizleri ise tesisin üretim miktarındaki değişkenliği azaltma çalışmalarında önemli olmaktadır [17].

Tuomala, M. [18] birleştirilmiş endüstriyel süreçlerin etkinliklerinin değerlendirilmesine yönelik kalitatif analizlerden oluşan bir yaklaşım geliştirmiştir.

Kusiak ve Zakarian [19] yaptıkları çalışmada, çeşitli süreçleri modellemek ve güvenilirliklerini değerlendirebilmek için süreci oluşturan aktivitelerin güvenilirliklerinden yola çıkılarak hesaplama yapan, süreçlerdeki kritik faaliyetlerin belirlenmesinde ve sürecin performansının artırılmasında etkili olan bir yöntem önermişlerdir.

Proje çalışmasında önerilen süreç güvenilirliği modelleme yaklaşımı ile üretim süreci alt sistemlere ayrılmıştır. Üretim sürecinin güvenilirliği ise söz konusu alt sistemlerin güvenilirliklerinden yola çıkılarak belirlenecektir.

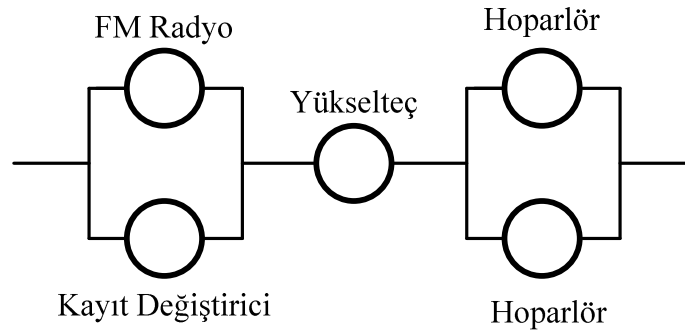
2.1.1. Güvenilirlik ve Kullanılabilirlik

Güvenilirlik, bir sistemin belirlenen çalışma koşulları altında belirlenen zaman diliminde kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirmesi olasılığıdır. Güvenilirlik analizlerinde, sistemden beklenen (ihtiyaç duyulan) fonksiyonların tespiti başlangıç aşamasıdır. Sistem ve parçalarının yetmezlik tanımı sistemi analiz etme, modelleme ve çözüm safhalarında önemlidir. Yetmezlik sistemin kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirememesi durumudur. Güvenilirlik genellikle R ile gösterilir. t güvenirliliğin hesaplanacağı zaman parametresi olarak alınırsa, güvenilirlik fonksiyonu $R(t)$, $[0, t]$ aralığında, sistemde herhangi bir yetmezlik olmaması olasılığını verir.

Kullanılabilirlik ise, tamir edilebilir sistemlerde güvenilirlik ve sürdürülebilirlik (maintainability) kavramlarını birleştiren sistem etkililiğinin bir ölçüsüdür. $[0, t]$ zaman aralığının çalışma ve duruş süresi olarak ikiye ayrıldığını düşünürsek, herhangi bir t zamanında sistemin çalışıyor durumda olması (yetmez durumda olmaması) olasılığı kullanılabilirlik olarak tanımlanır.

2.1.2. Sistem Güvenilirliği ve Kullanılabilirliği

Geleneksel sistem güvenilirliği belirleme çalışmalarında, eğer sistem alt sistemlerden oluşuyorsa, söz konusu alt sistemlerin güvenilirliklerinden ve kullanılabilirliklerinden yola çıkılarak sistemin güvenilirliği ve kullanılabilirliği tespit edilebilir. Sistem güvenilirlik ve kullanılabilirlik analizlerinde izlenen yolu, Şekil 2.1.'deki ses sistemi örneği [20] üzerinde açıklayalım.



Şekil 2.1. Ses sistemi.

Burada alt sistemler (FM radyo (1. parça), kayıt değiştirici (2. parça), yükselteç (3. parça) ve hoparlörler (4. ve 5. parçalar)) birleşerek seri-paralel bir yapı oluşturmuştur. Ses sisteminin parçalarını ve sistemin durumunu çalışan durum ve yetmez durum şeklinde ikiye ayırıp, i . parçanın durumu, x_i ikili değişkeni ile matematiksel model (2.1.)'de gösterilir ise:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i.\text{parça çalışıyorsa} \\ 0, & \text{eğer } i.\text{parça çalışmıyorsa (yetmez durumda ise)} \end{cases} \quad \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (2.1.)$$

n sistemdeki parça sayısı.

Benzer şekilde φ de sistemin durumunu gösteren ikili değişken olsun. Sistem durumu matematiksel model (2.2.)'de gösterilmiştir.

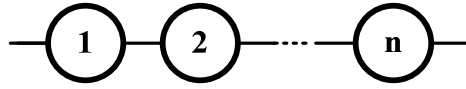
$$\varphi = \begin{cases} 1, & \text{eğer sistem çalışıyorsa} \\ 0, & \text{eğer sistem çalışmıyorsa (yetmez durumda ise)} \end{cases} \quad (2.2.)$$

Sistemin durumu parçaların durumundan yola çıkılarak eşitlik (2.3.) ile belirlenebilir. Burada $\varphi(\mathbf{x})$ sistemin yapısal fonksiyonudur [20].

$$\begin{aligned}\varphi &= \varphi(\mathbf{x}) \\ \mathbf{x} &= (x_1, \dots, x_n)\end{aligned}\tag{2.3.}$$

Tamir edilebilir sistemlerde, sistemin belirlenen bir t zamanında çalışır durumda olup olmadığının tespit edilebilmesi kullanılabilirlik analizleri ile yapılır. Tamir edilebilir sistemlerde parçaların ve sistemlerin hem güvenilirlik hem de sürdürülebilirlik durumlarını dikkate alan performans kriteri kullanılabilirliktir. Kullanılabilirlik sisteme ihtiyaç olduğunda sistemin yetmez ya da bakımda olmamasının olasılığıdır [21].

2.1.2.1. Seri Sistemler İçin Güvenilirlik ve Kullanılabilirlik Analizleri



Şekil 2.2. Seri sistem yapısı.

Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi seri sistemlerde sistemi oluşturan parçalardan birinin bozulması tüm sistemin bozulmasına neden olmaktadır. Sistemin yapısal fonksiyonu eşitlik (2.4.)'te verilmiştir [20].

$$\varphi(\mathbf{x}) = \prod_{i=1}^n x_i = \min(x_1, \dots, x_n)\tag{2.4.}$$

Seri sistemin güvenilirliği sistem parçaları birbirinden bağımsız ise eşitlik (2.5.) ile hesaplanmaktadır.

$$R_s = \prod_{i=1}^n P(x_i)\tag{2.5.}$$

Burada R_s sistemin güvenilirliğini, x_i i . parçanın çalışma durumunu, $P(x_i)$ ise i . parçanın çalışır durumda olma olasılığını göstermektedir. Sistem güvenilirliği parçaların güvenilirliği ile ifade

edilecek olursa, R_i parçaların güvenilirlikleri olmak üzere hesaplamada eşitlik (2.6.) kullanılabilir.

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i \quad (2.6.)$$

Seri sistemlerde sistem güvenilirliğinde en düşük güvenilirliğe sahip parçanın etkisi en büyüktür. Bir zincir en fazla zayıf halkası kadar güçlüdür sözü, seri sistemlerde parçaların etkisini oldukça güzel bir şekilde ifade etmektedir. Sonuç olarak sistemin güvenilirliği her zaman güvenilirliği en az olan parçanın güvenilirliğinden daha düşüktür [21].

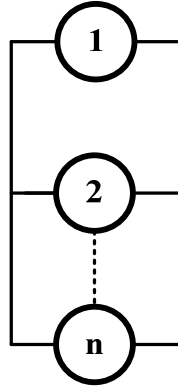
N birbirinden bağımsız parçanın oluşturduğu seri sistemde her bir parçaya ait tamir biriminin olduğu varsayımı ile A_i i . parçanın kullanılabilirliği olmak üzere, sistem kullanılabilirliği eşitlik (2.7.)’de verildiği gibi hesaplanabilir [20].

$$A = \prod_{i=1}^N A_i \quad (2.7.)$$

2.1.2.2. Paralel Sistemler için Güvenilirlik ve Kullanılabilirlik Analizleri

Paralel sistemlerde sistemin çalışır durumda olabilmesi için parçalardan en az birinin çalışır durumda olması gerekmektedir. Paralel sistemlerde birden fazla olan birimler artık birimler (redundant units) olarak da görülür. Sistem tasarımında ve güvenilirliğinde fazlalık konusu oldukça önemlidir, fazlalık artırma güvenilirliği iyileştirmenin yollarından biridir, ancak maliyet artışlarına neden olmaktadır. Dolayısıyla güvenilirlik ve maliyet açısından en uygun tasarımın yapılması önemlidir. N parçadan oluşan paralel sistemlerde sistemin bozulması için n parçanın da bozulmuş olması gerekir [21].

Paralel sistem yapısı Şekil 2.3.’te, yapısal fonksiyonu ise eşitlik (2.8.)’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Basit bir paralel sistem yapısı.

$$\varphi(x) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - x_i) \quad (2.8.)$$

Paralel sistemin güvenilirliği sistem parçaları birbirinden bağımsız ise eşitlik (2.9.)'da verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n P(x_i) \quad (2.9.)$$

Burada R_s sistemin güvenilirliğini, x_i i . parçanın çalışma durumunu, $P(x_i)$ ise i . birimin çalışmıyor durumda olma olasılığını göstermektedir. Sistem güvenilirliği, parçaların güvenilirliği ile ifade edilecek olursa R_i parçaların güvenilirlikleri olmak üzere, hesaplamada eşitlik (2.10.) kullanılabilir.

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (2.10.)$$

N birbirinden bağımsız parçanın oluşturduğu paralel sistemde her bir parçaya ait tamir biriminin olduğu varsayımı ile A_i i . parçanın kullanılabilirliği olmak üzere, sistem kullanılabilirliği eşitlik (2.11.)'de verildiği gibi hesaplanabilir [22].

$$A = 1 - \bar{A} \quad (2.11.)$$

Bu bilgiler ışığında ses sisteminin parçalarının birbirinden bağımsız olduğu varsayılırsa, yapısal fonksiyonu eşitlik (2.12.)’de ve güvenilirlik fonksiyonu eşitlik (2.13)’de olduğu gibi oluşturulabilir.

$$\varphi(\mathbf{x}) = (x_1 \cup x_2)x_3(x_4 \cup x_5) \quad (2.12.)$$

$$R_s = (1 - (1 - R_1)(1 - R_2))R_3(1 - (1 - R_4)(1 - R_5)) \quad (2.13.)$$

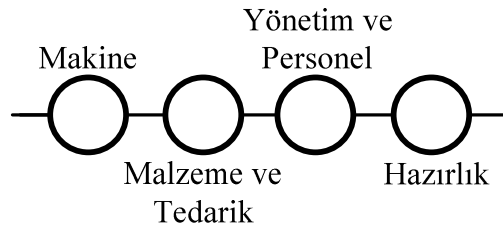
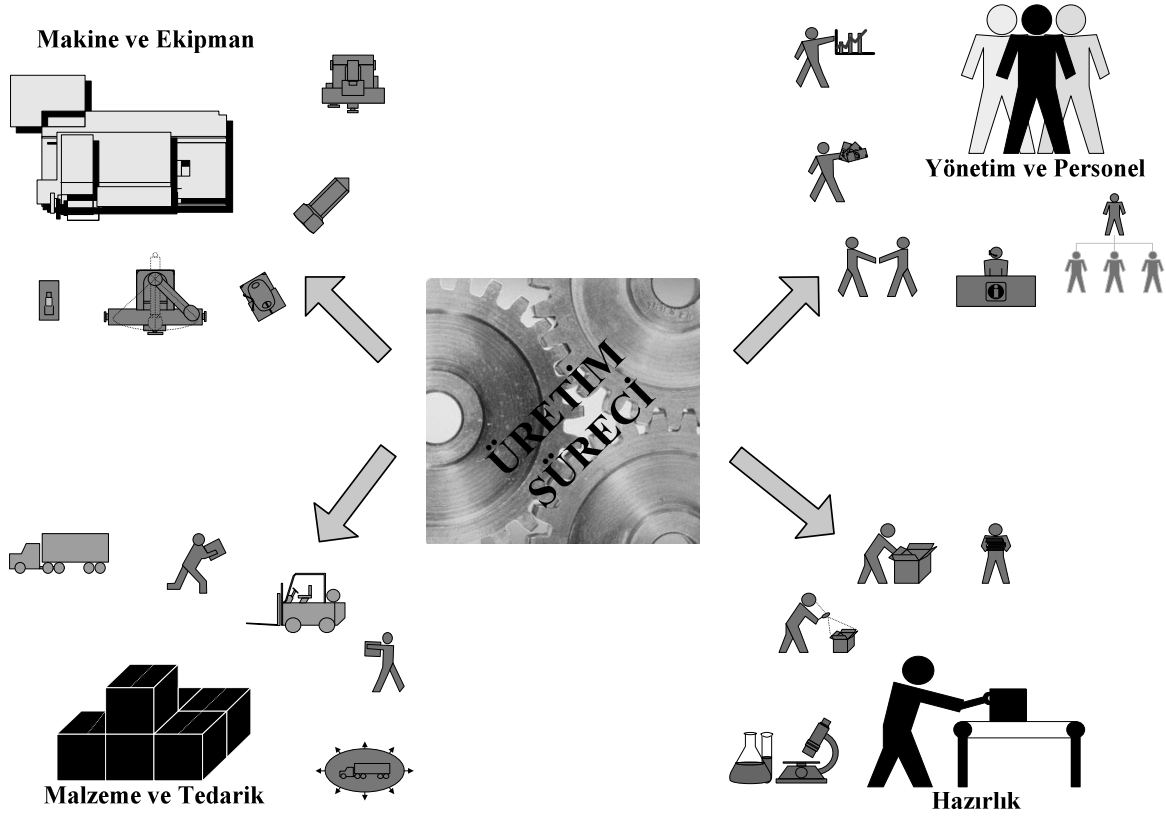
Burada her bir alt sistemin (FM radyo, kayıt değiştirici, yükselteç ve hoparlörler) güvenilirlikleri tespit edilir. Bu değerler dikkate alınarak oluşturulan yapısal fonksiyon ve güvenilirlik modeli ile ses sisteminin güvenilirliği bulunur.

3. GEREÇ ve YÖNTEM

Nasıl ki, mekanik veya elektronik sistemler alt sistem ve parçalara sahip ise üretim sürecini de oluşturan alt sistemler mevcuttur ve aynı şekilde üretim süreçleri de alt sistemlere ayrılıp süreç güvenilirliği analizleri yapılabilir. Burada süreçlere ait belirlenen alt sistemler bir sistemi oluşturan parçalar gibi düşünülmüştür. Proje çalışmasında süreci oluşturan alt sistemler 4 ana grupta toplanmıştır. Sürecin yapısına göre alt sistemler değişebilir, alt sistemler daha alt bölümlere ayrılarak analizler genişletilebilir. Süreçler için belirlenen dört ana alt sistem aşağıda listelenmiştir:

- Makine
- Malzeme ve Tedarik
- Yönetim ve Personel
- Hazırlık

Bu durumda üretim süreci ve onu oluşturulan alt sistemler Şekil 3.1.'teki gibi şematize edilebilir, alt sistemlere ait seri sistem yapısı Şekil 3.2.'te olduğu gibi gösterilir.



Güvenilirlik analizlerinin ilk aşaması sistemden, karşılaması istenen fonksiyonların ve yetmezlik durumunun tanımlanmasıdır. Süreçten beklenen fonksiyonlar, ürünün istenen kalitede, istenen miktarda, istenen zamanda elde edilmesidir. Yetmezlik ise sürecin belirlenen bu fonksiyonlardan herhangi birini yerine getirmediği durumda ortaya çıkmaktadır.

Her bir alt sistemden kaynaklanan makine yetmezlikleri, malzeme ve tedarik yetmezlikleri, yönetim ve personel yetmezlikleri ve hazırlık yetmezlikleri sürecin yetmezliklerini oluşturur. Görüleceği gibi bu şekilde yetmezliklerin gruplandırılması, sistemin davranışını belirlemede

ve süreç güvenilirliği çalışmalarında daha etkin analizler yapılmasını sağlayacaktır. Önerdiğimiz yaklaşımda, her bir alt sistemin yetmezlik ve tamir sürelerinin dağılım ve parametreleri ayrı ayrı tespit edilerek analizlere dahil edilecektir. Bu durum ise daha doğru tahminlerin yapılmasını sağlayacaktır. Karşılaşılabilecek herhangi bir yetmezlik grubu sürecin durmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı alt sistemler birbirlerine seri bloklar şeklinde bağlanmıştır.

İmalat süreçleri tamir edilebilir sistemlerdir. Dolayısıyla süreçler için kullanılabilirlik analizleri de yapılmıştır.

Süreç kullanılabilirlik ve güvenilirlik analizlerinde kullanılacak süreç yapısının, süreci oluşturan alt sistemlerden oluşan seri sistem yapısı şeklinde modellenmesi önerilmektedir. Süreçlerden oluşan sistemin güvenilirliğinin belirlenmesinde ise, geleneksel seri, paralel ve seri-paralel sistem modelleme yaklaşımları uygulanacaktır.

3.1. Bulanık Bayesgil Yöntemi İle Üretim Süreçlerinin Güvenilirlik ve Kullanılabilirlik Analizleri

3.1.1. Bulanık Küme Teorisi

“Belirsizlik içeren problemlerin çözümünde olasılıklı yöntemler ve istatistiksel teknikler en uygun araçlar mıdır?” sorusunun araştırmacılar tarafından sorulmasıyla belirsizliği modellemede farklı çalışmalar ortaya koyulmaya başlanmıştır. Zadeh’in bulanık küme olarak isimlendirdiği teorisi, öne çıkan alternatiflerdendir [1].

Rassallığa bağlı olmayan belirsizliklerin olduğu karar verme süreçlerinde geleneksel yöntemler ile istenilen sonuçlar elde edilememektedir. L. A. Zadeh dilsel ifadelerden kaynaklanan, rassal olmayan belirsizliklerin olduğu ortamlarda karar vermede, küme üyelik fonksiyonlarını kullanmıştır. Klasik küme yaklaşımında bir elemanın bir kümeye ait olup olmama durumu net bir şekilde belirlidir. Zadeh’in önerdiği küme üyelik derecesi kavramı ile geleneksel ikili üyelik durumu genişletilmiş, küme elemanlarının kümeye aitliği, üyelik fonksiyonları ile tanımlanmıştır. Bir bulanık küme, çeşitli üyelik derecelerine sahip elemanlar içerir ve bu elemanlar aynı zamanda aynı uzayda başka kümelerin de elemanı olabilirler [4].

3.1.1.1. Güvenilirlik Analizlerinde Bulanık Küme Teorisi

Güvenilirlik analizlerinde sistem ve sistem parçalarının ömür dağılımlarının belirlenmesinden sistemin kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirip getirmediğinin tespitine kadar gerek verilerden gerekse sınıflandırmadan kaynaklanan birçok belirsizlik mevcuttur.

Elimizdeki veriler veya bilgiler sınırlı ise olasılıklı yaklaşımları kullanmak uygun olmayabilmektedir. Bu gibi durumlarda olabilirlik teorisini kullanmak tam olmayan bilgileri değerlendirmek için etkin bir yoldur. Son yıllarda hem teorik ve hem de pratik çalışmaların yoğun bir şekilde sürdüğü sistem güvenilirliği analizi, karmaşık bir problemdir. Karmaşık problemlerin modellenmesinde ise bulanık küme teorisi kolaylıklar sağlamaktadır [23]. Güvenilirlik modellerinde, genellikle parçaların ömür dağılımları teorik yollardan veya mevcut verilerden tahmin edilerek belirlenir, fakat bazı durumlarda sözkonusu olasılıkların elde edilmesi oldukça zordur. Deneysel olarak tespiti tehlikeli veya mümkün olmayan ya da olasılık tahminleri için uygun olmayan verilerin bulunduğu sistemlerde uzman bilgisine başvurulabilir, bu şekilde modellemede ise bulanık küme teorisi önemli bir araçtır. Dunyak ve ark. [24] sözkonusu durumları ifade ederek yaptıkları çalışmada tutarlı bulanık güvenilirlik modelleri geliştirmişlerdir. Lei ve ark. [25] yaptıkları çalışmada bir güç dağıtım sisteminin belirsizliklerini dikkate alarak güvenilirlik değerlendirmesi yapan bulanık küme teorisini kullanan bir yaklaşım sunmuşlardır. Mevcut modellerden daha az hesaplama yükü getiren bu yöntemde bulanık sayılar kullanılmıştır. Wu'nun [26] yaptığı çalışmada, klasik sistem güvenilirliğine bulanık olasılık ölçümleri öneren bir yaklaşım tartışılmıştır. Sistemdeki her bir parçanın bozulma ve çalışma olasılıkları gerçek hayatı daha iyi yansıtmayı sağlayan bulanık değerli ölçüm yaklaşımı altında negatif olmayan bulanık sayılar ile ifade edilmiştir.

Reddy ve Haldar [27] sistemlerin yetmezliğinin olasılığını değerlendirmek için bulanıklığı ve rassal değişkenleri dikkate alan bir metot önermiştir. Geliştirilen metot özellikle kapalı formda kısıtlı durum fonksiyonlarının olduğu problemlerde kullanılabilir. Sharma ve ark. [28] yaptığı çalışmanın ana amacı sistemin yetmezlik davranışını incelerken çok daha tutarlı ve mantıksal biçimde analiz yapılmasını sağlamaktır. Sistemin risk ve güvenilirlik analizleri için kalitatif ve kantitatif tekniklerin kullanıldığı metodolojik ve yapısal bir çatı önerilmiştir. Bu önerilen çatı altında bir model geliştirilmiş ve endüstriyel bir probleme uygulanmıştır. Kantitatif çatı altında sistemin petri ağ modeli geliştirilmiştir, bu aşamada yetmezlik ve tamir verilerinin bulanık aritmetik işlemler kullanılarak bulanık sentezi yapılmıştır. Tamir zamanları, yetmezlik sıklığı, bozulmalar arası ortalama süre, kullanılabilirlik, yetmezliklerin beklenen değeri gibi yönetsel önemi olan birçok sistem parametresi değerleri için hesaplama yapılmıştır.

3.1.2. Bayesgil Yöntemler

Bayesgil yöntemleri olasılıktaki Bayes teoreminin bir parçasıdır. Bu yöntemler olaylara ait uzman bilgisini gözlem bilgileri ile birleştirmede ve güncellemede kullanılmaktadır. Bayesgil metotları farklı çeşitlerde belirsizlikleri modellemede etkin oldukları gibi aynı zamanda öznel tabanlı olasılık teorisi ile bulanık mantık arasında da bağlantı sağlayabilmektedir. Bayesgil paradigmasında belirsizlik, kişisel veya öznel olasılıklar ile olasılığın aksiyomları dikkate alınarak ölçülür. Bir X olayının olasılığı $P(X;H)$ ile ifade edilir. Burada H , X olayına ait uzman bilgisini gösterir ve öncül bilgi olarak isimlendirilir. Bayesgil felsefesinin temelinde öncül bilgi H 'nin değerli olduğu ve X olayına ait bilgilerle matematiksel olarak birleştirilebileceği ve bu birleştirme ile belirsizliğin azaltılacağı yatar.

Bayes teoreminin en pratik kullanımlarından biri ise güncellemedir. Dinamik ortamlarda olaylara ait yeni veriler sürekli olarak sistemde oluşmaktadır ve var olan analizlere yeni bilgilerin dahil edilmesi istenmektedir. Böyle durumlarda mevcut durum öncül hale gelmekte, yeni bilgiler ise analizlerde kullanılarak sonuçlar elde edilmektedir [4]. Birçok mühendislik uygulamasında çok az veri mevcut olup, hatta bazen bir veya iki gözlem ile analizlerin yapılması gerekebilmektedir. Böyle durumlarda ömür dağılımlarının parametrelerini tahmin etmek geleneksel güvenilirlik analiz yöntemleri ile mümkün olmamaktadır. Bu gibi zorlukların üstesinden gelmekte Bayesgil yaklaşımı etkili olmaktadır [6].

3.1.3. Güvenilirlik Analizlerinde Bulanık Bayesgil Yöntemler

Pratik açıdan bakıldığında sistemlerin ömürlerini değerlendirirken bulanıklık ve rassallık iç içedir. Bulanıklığı ve rassallığı ayrı ayrı değerlendirmek sistemin davranışını tam olarak ifade etmemektedir [29].

Wu'nun [5] çalışmasında bahsettiği geleneksel güvenilirlik teorisinin iki temel varsayımı [30-35] ve bu varsayımların geçerli olduğu durumlar şöyledir:

- I. İkili durum varsayımı: Sistemin çalışıyor ya da çalışmıyor şeklinde iki kesin durumdan oluştuğu varsayımdır.
- II. Olasılık varsayımı: Sistem tamamen olasılık ölçümleri ile karakterize edilir.

Ancak olasılık varsayımı aşağıdaki durumlar gerçekleştiğinde anlamlı kabul edilir.

- (i) Deneydeki olay belirli şekilde gerçekleşmeli veya tanımlanmalı
- (ii) Kabul edilebilir büyüklükte veriye sahip olmalı
- (iii) Veri toplama aşamasında olayın davranışı sürekli gözlemlenmeli.

Fakat gerçek hayatta yukarıda sayılan durumlar her zaman elde edilememektedir. Örneğin, sistemin ya da sistemi oluşturan parçaların ömrü hatalardan dolayı tamamen doğru bir şekilde tespit edilemeyebilir veya maliyetli bir deney için istenilen büyüklükte veri toplanamayabilir [5].

Sistem ikili durumun dışında çoklu duruma sahip olabilir. Örneğin, üç adet birbirinden bağımsız işlemci birimi olan bilgisayar sistemini ele alalım. Üç birimde aynı anda çalışıyorsa sistem tam olarak çalışıyor, tüm birimler aynı anda çalışmıyorsa sistem tamamen çalışmıyordur. Ancak bir ya da iki birim çalışmıyorsa bu durumda sistemin durumunu ikili durum varsayımı altında belirlemek uygun olmayacaktır. Bu durumda bulanık küme teorisi ile sistemin yetmezlik durumu bulanıklaştırılarak analizler yapılabilir [5]

Güvenilirlik modellerinin etkin bir şekilde oluşturulmasından model çözümüne kadar birçok avantaj sağlayan bulanık Bayesgil yöntemleri ile ilgili yapılan çalışmalar devam etmektedir.

Yadav ve ark. [36] yaptıkları çalışmada karmaşık sistem güvenilirliği tahminlerinde yetmezlik verisinin olmadığı durumlarda kullanılan çeşitli metotları birleştiren ve belirsizliği modelleyen bir yapı önermişlerdir. Bayesgil analizleri, sistem güvenilirliğine çevresel faktörlerin etkilerini de dahil edebilmek için monte carlo simülasyonu ile bulanık mantığı birleştirmekte kullanılmıştır. İlk olarak imalat süreçlerindeki parça seviyesinde parametre değişkenliği dikkate alınıp, monte carlo simülasyon yöntemi kullanılarak başlangıç güvenilirlik tahminleri hesaplanmıştır. İkinci aşamada sistem güvenilirlik analizlerine çevresel faktörleri yansıtabilmek için bulanık mantık kullanılmıştır. Sonunda ise öncül güvenilirlik tahminlerine, yeni veriler Bayesgil analizleri ile dahil edilmiştir. Oluşturulan yapı ile sistem tasarım ve geliştirme aşamalarında yeni veriler oluşukça sürekli güncellemeler yapılabilmektedir.

Viertl [37] bulanık nokta tahminlerini ve genelleştirilmiş Bayesgil yöntemlerini içeren genelleştirilmiş parametrik metotlar sunmuştur.

Wu [5,8,9] yaptığı çalışmalarda bulanık ortamlarda Bayesgil yöntemini kullanarak güvenilirlik tahminlemesine yönelik yaklaşım önermiştir. Önerilen yaklaşımda bulanık parametreler, bulanık öncül dağılımlı bulanık rassal değişkenler olarak varsayılmıştır. Bayesgil tahminleme yöntemi ve bulanık küme teorisi kullanılarak güvenilirliğin bulanık bayes nokta tahmin edicisi oluşturulmuştur. Güvenilirliğin bayes nokta tahmininin üyelik derecesini değerlendiren prosedürler sunulmuştur.

Huang [6] bulanık ömür verileri ile Bayesgil güvenilirlik tahmin çalışmalarının literatürde az sayıda olduğunu ve mevcut çalışmaların çoğunun ise tek parametrelili ömür dağılımları ile sınırlı kaldığını belirtmiştir. Yaptığı çalışmada çok parametrelili ömür dağılımlarının güvenilirlik fonksiyonları ve

parametre tahminlerinin üyelik fonksiyonlarını belirlemeye yönelik yeni bir yaklaşım önermiştir. Önerilen metot çok parametrelili dağılımların Bayesgil tahminlerinin üyelik fonksiyonlarını belirlemekte kullanılabilir. Söz konusu metodun etkililiği normal ve weibull dağılımlarla gösterilmiştir

3.2. Üretim Süreçlerinin Güvenilirliğinde Bulanık Bayesgil Analizler

Bilimsel yazında yer alan bulanık Bayesgil yöntemleri içerisinde proje çalışmasında süreç ve sistem güvenilirliğini belirlemeye yönelik Wu [9]'nun önerdiği yaklaşım temel alınacaktır. Aşağıda söz konusu yaklaşım anlatılmıştır.

3.2.1. Kullanılan Yöntem

X evrensel küme, A ise X evrensel kümesinin bir alt kümesi olsun. A 'nın karakteristik fonksiyonu $x_A: X \rightarrow \{0,1\}$ (3.1.) matematiksel modeli ile tanımlanır.

$$x_A(a) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } a \in A \\ 0 & \text{eğer } a \notin A \end{cases} \quad (3.1.)$$

Zadeh [38-40] “genişleme prensibini” önermiş, dilsel değişken ve bulanık alt küme kavramını ortaya koymuştur. X uzayındaki A bulanık alt kümesi, karakteristik fonksiyonun genişlemesi ile elde edilen üyelik fonksiyonu $\xi_A: X \rightarrow \{0,1\}$ ile tanımlanmıştır. Burada $\xi_A(a)$ A kümesindeki bir a noktasının üyelik derecesi olarak değerlendirilebilir. Bulanık küme bazı şartları sağladığı takdirde bulanık gerçel sayıya dönüşür. Burada a gerçel sayı olmak üzere, bulanık gerçel sayı $\tilde{a}$, “yaklaşık a ” olarak yorumlanabilir [9]. Güvenilirliğini belirlemek istediğimiz sisteme ait bilgilerde kesinlik yok ise, dikkate alınan olasılık, yaklaşık olarak p değerine eşittir. Bu durumda “yaklaşık p ” ifadesi, bulanık gerçel sayı ile modellenir [5].

Bulanık kümeler ve olasılıklar birleşerek bulanık rastlantı değişkeni kavramını oluşturmuştur. Rastlantı değişkenlerine ait gözlem verileri gerçel sayılardır. Bulanık rastlantı değişkenlerinin gözlem verileri ise bulanık gerçel sayılardır. Bulanık rastlantı değişkeni kavramını Kwakernaak [41] ve Puri ve Ralescu [42] ortaya koymuştur. Olasılık teorisi rastsal belirsizliği modellemede, bulanık küme teorisi ise rastsal olmayan belirsizliği modellemede etkin olduğu için bulanık rastsal değişken kavramı, rastsalılığı ve bulanıklığı içerisinde bulundurmasıyla modellemede avantajlar sağlamaktadır [5]. Sistem güvenilirliğini belirlemede uygulanacak metotta oldukça önemli olan bulanık rastlantı değişkeni ve ilgili konulara ait tanımlama ve şartlardan bahsedelim.

3.2.1.1. Bulanık Rastlantı Değişkenleri

$X=R$ bir gerçel sayı sistemi ve $\tilde{a}$ ise R 'de bir bulanık alt küme olsun.

$\tilde{a}_\alpha = \{x: \xi_{\tilde{a}}(x) \geq \alpha\}$ ifadesi $\alpha \in (0,1]$ olmak üzere $\tilde{a}$ bulanık kümesinin α seviye kümesini göstermektedir.

$\{x: \xi_{\tilde{a}}(x) \neq 0\}$ ise, bu durumda $\tilde{a}_0$ kapalı bir kümedir.

$\xi_{\tilde{a}}(x) = 1$ üyelik dereceli bir x elemanı olan bulanık küme ise, normal bulanık küme olarak adlandırılır.

$\xi_{\tilde{a}}(\lambda x + (1-\lambda)y) \geq \min\{\xi_{\tilde{a}}(x), \xi_{\tilde{a}}(y)\}$ $\lambda \in [0,1]$ şartını sağlayan küme ise, konveks bulanık kümedir.

Zadeh'in [43] yaptığı önermeye göre $\tilde{a}$ nın R 'de konveks bulanık alt küme olabilmesi için aşağıdaki şartı sağlaması gerekir.

$$\tilde{a}_\alpha = \{x: \xi_{\tilde{a}}(x) \geq \alpha\} \text{ tüm } \alpha \in [0,1]$$

f , R 'de tanımlanmış gerçel değerli bir fonksiyon olsun. Herbir α için $\{x: f(x) \geq \alpha\}$ R 'de bir kapalı küme ise bu durumda f üst yarı süreklidir (upper semi-continuous).

$\tilde{a}$, R 'de bir bulanık alt küme olsun. Bu durumda $\tilde{a}_\alpha \subseteq \tilde{a}_\beta$ for $\alpha > \beta$ olur. Eğer $\tilde{a}_0$ R 'de sınırlı bir kümedir varsayımı yapılırsa herbir $\alpha \in (0,1]$ için $\tilde{a}_\alpha$ da R 'de sınırlı bir kümedir.

$\tilde{a}$ R 'de aşağıdaki koşulları sağlayan bir bulanık alt küme olsun.

- i. $\tilde{a}$ normal ve konveks bir bulanık kümedir,
- ii. $\tilde{a}$ bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu $\xi_{\tilde{a}}$ üst yarı süreklidir,
- iii. 0-seviye kümesi $\tilde{a}_0$ R 'de sınırlıdır.

Yukarıdaki önerme ve koşullar ışığında $\tilde{a}_\alpha$ 'nın α seviye kümesi R 'de konveks, kapalı ve sınırlıdır ve bu durum $\tilde{a}_\alpha$ 'nın kapalı bir aralık olduğunu gösterir. $\tilde{a}_\alpha, \tilde{a}_\alpha = [\tilde{a}_\alpha^L, \tilde{a}_\alpha^U]$ şeklinde gösterilir.

Wu'nun yaptığı bulanık gerçel sayı tanımında $\tilde{a}$ R 'de bir bulanık alt küme olmak üzere, $\tilde{a}$ aşağıda sıralanan şartları sağlar ise bulanık gerçel sayı olarak adlandırılır.

- i. $\tilde{a}$ normal ve konveks bir bulanık kümedir,
- ii. $\tilde{a}$ 'nın üyelik fonksiyonu $\xi_{\tilde{a}}$ üst yarı-süreklidir,
- iii. 0-seviye kümesi $\tilde{a}_0$ R 'de sınırlıdır,
- iv. 1-seviye kümesi $\tilde{a}_1$ teklik kümesidir,
- v. $g(\alpha) = \tilde{a}_\alpha^L$ ve $h(\alpha) = \tilde{a}_\alpha^U$ fonksiyonları $[0,1]$ aralığındaki α 'ya uygun olarak süreklidir.

Tüm bulanık gerçel sayıların kümesi ise F_R ile gösterilmiştir.

Wu bulanık rastlantı değişkenini, $\tilde{X}: \Omega \rightarrow F_R$ bulanık değerli bir fonksiyon olmak üzere, eğer $\tilde{X}$ ölçülebilir ise bulanık raslantı değişkenidir şeklinde yapmıştır.

$\tilde{X}: \Omega \rightarrow F_R$ bulanık değerli bir fonksiyon olsun. $\tilde{X}$ 'in bulanık raslantı değişkeni olabilmesi için $\tilde{X}_\alpha^L$ ve $\tilde{X}_\alpha^U$ tüm $\alpha \in [0,1]$ için rastlantı değişkeni (geleneksel) olması gerekmektedir [5].

3.2.1.2. Bulanık Bayes Nokta Tahmincileri

X olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(x; \theta_1, \dots, \theta_n)$ olan, bir rastlantı değişkeni olsun. Burada $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_n)$ vektörü ile ifade edilen θ_i ($i = 1, \dots, n$), olasılık yoğunluk fonksiyonunun bilinmeyen parametreleridir. X θ parametrelili bir dağılıma sahip rastlantı değişkeni olsun. θ parametresinin bayes nokta tahmin edicisini elde edebilmek için, θ parametresinin, bilinen $\eta_1, \dots, \eta_m$ parametreleri olan dağılıma sahip bir rastlantı değişkeni olduğu varsayılır, π $\eta_1, \dots, \eta_m$ dağılımı, θ parametresinin öncül dağılımı olarak adlandırılır. Daha sonra yapılan hesaplamalarda θ parametresinin soncul dağılımı elde edilir. θ parametresinin Bayes nokta tahmin edicisi bir hata fonksiyonuna bağlı olarak soncul dağılımın ortalamasıdır [9].

Bulanık Bayesgil yaklaşımının uygulanabilmesi için bulanık parametre olan $\tilde{\theta}$, bulanık rastlantı değişkeni olarak varsayılmıştır. Herhangi bir $\theta \in [\tilde{\theta}_\alpha^L, \tilde{\theta}_\alpha^U]$ parametresi için Bayes nokta tahmincisi $\hat{\theta}$ hesaplanabilir.

$$A_\alpha = \left[\min \left\{ \inf_{\alpha \leq \beta \leq 1} \tilde{\theta}_\beta^{\bar{L}}, \inf_{\alpha \leq \beta \leq 1} \tilde{\theta}_\beta^{\bar{U}} \right\}, \max \left\{ \sup_{\alpha \leq \beta \leq 1} \tilde{\theta}_\beta^{\bar{L}}, \sup_{\alpha \leq \beta \leq 1} \tilde{\theta}_\beta^{\bar{U}} \right\} \right] \quad (3.2.)$$

Yukarıda eşitlik (3.2.) ile tanımlanan aralık her bir $\theta \in [\tilde{\theta}_\alpha^L, \tilde{\theta}_\alpha^U]$ için bayes nokta tahmincilerini içerir [9].

3.2.1.3. Bulanık Bayesgil Yöntemi ile Sistem Güvenilirliğinin Belirlenmesi

Sistem güvenilirliğine Bayesgil yönteminin uygulanmasında asıl amaç öncül dağılımların atanarak, yapılan hesaplamalar sonucunda sistem güvenilirliğinin soncul dağılımının hesaplanmasıdır. Öncül dağılım sistemi oluşturan her bir parçaya atanır. Her bir parça güvenilirliğinin soncul dağılımı, sistemden elde edilen veriler kullanılarak bayes teoremi ile bulunabilir. Sistem güvenilirliğinin soncul dağılımı ise parça güvenilirliklerinin soncul dağılımlarından çıkarılabilir [9].

t parçanın test süresi, s bu sürede meydana gelen yetmezlik sayısı olmak üzere, yetmezlik oranı s/t şeklinde hesaplanır. Burada s ve t tam olarak belirli olmayabilir. Örneğin yapılan bir güvenilirlik testinde, elde edilen veri, n parça teste koyulduğunda “yaklaşık” t sürede “aşağı yukarı” s yetmezliğin meydana gelmesi olabilir. Bu durumda yetmezlik oranı “yaklaşık” $\lambda = s/t$ olmak üzere, eğer parça yetmezlik zamanlarının üstel dağılımlı olduğu varsayılırsa, t zamanında parça güvenilirlikleri “yaklaşık” $r = e^{-\lambda t}$ şeklindedir. “Yaklaşık $e^{-\lambda t}$ ” ifadesi, $\tilde{e}^{-\lambda t}$ bulanık gerçel sayısı ile modellenabilir. Parça güvenilirlikleri bulanık gerçel sayı olarak dikkate alınabilir. Uygulanan yöntemde bulanık Bayesgil sistem güvenilirliği bulanık parça güvenilirliklerinden yola çıkılarak tahmin edilmiştir [9].

3.2.1.3.1. Seri Sistemler

Seri sistemlerde sistem güvenilirliğinin Bayesgil nokta tahmini, belli bir hata fonksiyonu altında eşitlik (3.3)’te verilmiştir [9].

$$\hat{p} = \prod_{i=1}^k \left(\frac{v_i + \theta_{i2}}{v_i + \theta_{i2} + t} \right)^{m_i + \theta_{i2}} \quad (3.3.)$$

Burada öncül dağılım parametreleri olan θ_{i1} ve θ_{i2} , önceki deneyim ve uzman bilgisine bağlı olarak, sistemi oluşturan k parçadan biri olan i . parçada θ_{i2} sürede θ_{i1} yetmezlik olduğunu göstermektedir. Gözlem verilerinden elde edilen m_i ve v_i notasyonları ise, sistemdeki i . parçada v_i zamanında n_i gözlemden m_i yetmezlik görüldüğünü ifade etmektedir. t tespit edilmek istenen sistem güvenilirliği süresidir.

Burada hem uzman bilgisinden, hem de gözlem sonuçlarından elde edilen veriler insan, makine hataları ya da başka nedenlerden dolayı tam doğru olarak tespit edilemeyebilir. Analizlerde bu durumun da değerlendirilmesi daha etkin sonuçların çıkarılmasına yardımcı olacaktır. Burada θ_{i1} , θ_{i2} , m_i ve v_i bulanıklaştırılabilir. Seri sistemler için güvenilirlik aralığını belirleyen $\tilde{r}_\alpha^L$ ve $\tilde{r}_\alpha^U$,nın bayes nokta tahminleri Wu [9]'nun ortaya koyduğu eşitlik (3.4.) ve (3.5.)'de verildiği gibi hesaplanabilir. Eşitliklerin elde edilmesinde yapılan detaylı analiz ve varsayımlar Wu [5,8,9]'nun çalışmalarında mevcuttur.

$$\begin{aligned} \tilde{r}_\alpha^L &= \prod_{i=1}^k \left(\frac{(\tilde{v}_i)_\alpha^L + (\tilde{\theta}_{i2})_\alpha^L}{(\tilde{v}_i)_\alpha^L + (\tilde{\theta}_{i2})_\alpha^L + t} \right)^{m_i + (\tilde{\theta}_{i2})_\alpha^L} \\ &= \prod_{i=1}^k \left(\frac{\sum_{j=1}^{m_i} (\tilde{x}_{(ij)})_\alpha^L + (n_i - m_i)(\tilde{x}_{(im_i)})_\alpha^L + (\tilde{\theta}_{i2})_\alpha^L}{\sum_{j=1}^{m_i} (\tilde{x}_{(ij)})_\alpha^L + (n_i - m_i)(\tilde{x}_{(im_i)})_\alpha^L + (\tilde{\theta}_{i2})_\alpha^L + t} \right)^{m_i + (\tilde{\theta}_{i2})_\alpha^L} \end{aligned} \quad (3.4.)$$

ve,

$$\begin{aligned} \tilde{r}_\alpha^U &= \prod_{i=1}^k \left(\frac{(\tilde{v}_i)_\alpha^U + (\tilde{\theta}_{i2})_\alpha^U}{(\tilde{v}_i)_\alpha^U + (\tilde{\theta}_{i2})_\alpha^U + t} \right)^{m_i + (\tilde{\theta}_{i2})_\alpha^U} \\ &= \prod_{i=1}^k \left(\frac{\sum_{j=1}^{m_i} (\tilde{x}_{(ij)})_\alpha^U + (n_i - m_i)(\tilde{x}_{(im_i)})_\alpha^U + (\tilde{\theta}_{i2})_\alpha^U}{\sum_{j=1}^{m_i} (\tilde{x}_{(ij)})_\alpha^U + (n_i - m_i)(\tilde{x}_{(im_i)})_\alpha^U + (\tilde{\theta}_{i2})_\alpha^U + t} \right)^{m_i + (\tilde{\theta}_{i2})_\alpha^U} \end{aligned} \quad (3.5.)$$

Eşitliklerde $\alpha \in [0,1]$ olmak üzere $(\tilde{v}_i)_{\alpha}^L, (\tilde{\theta}_{i2})_{\alpha}^L, (\tilde{\theta}_{i1})_{\alpha}^L$, sırasıyla bulanık $(\tilde{v}_i)_{\alpha}, (\tilde{\theta}_{i2})_{\alpha}, (\tilde{\theta}_{i1})_{\alpha}$ ifadelerinin alt sınır değerlerini, $(\tilde{v}_i)_{\alpha}^U, (\tilde{\theta}_{i2})_{\alpha}^U, (\tilde{\theta}_{i1})_{\alpha}^U$, sırasıyla bulanık $(\tilde{v}_i)_{\alpha}, (\tilde{\theta}_{i2})_{\alpha}, (\tilde{\theta}_{i1})_{\alpha}$ ifadelerinin üst sınır değerlerini göstermektedir. $(\tilde{t}_{(ij)})_{\alpha}^L$ ve $(\tilde{t}_{(ij)})_{\alpha}^U$ bulanık sayıları ise sırasıyla, i . parçanın m_i . yetmezliğine ait sürenin alt ve üst sınır değerleridir.

3.2.1.3.2. Paralel Sistemler

Paralel sistemler için $\tilde{r}_{\alpha}^L$ ve $\tilde{r}_{\alpha}^U$ 'nin bayes nokta tahminleri $\alpha \in [0,1]$ olmak üzere, eşitlik (3.6.) ve (3.7.)'de [9] olduğu gibi hesaplanabilir.

$$\tilde{r}_{\alpha}^L = 1 - \prod_{i=1}^k \left[1 - \left(\frac{\sum_{j=1}^{m_i} (\tilde{t}_{(ij)})_{\alpha}^L + (n_i - m_i)(\tilde{t}_{(im_i)})_{\alpha}^L + (\tilde{\theta}_{i2})_{\alpha}^L}{\sum_{j=1}^{m_i} (\tilde{t}_{(ij)})_{\alpha}^L + (n_i - m_i)(\tilde{t}_{(im_i)})_{\alpha}^L + (\tilde{\theta}_{i2})_{\alpha}^L + t} \right)^{m_i + (\tilde{\theta}_{i2})_{\alpha}^L} \right] \quad (3.6.)$$

$$\tilde{r}_{\alpha}^U = 1 - \prod_{i=1}^k \left[1 - \left(\frac{\sum_{j=1}^{m_i} (\tilde{t}_{(ij)})_{\alpha}^U + (n_i - m_i)(\tilde{t}_{(im_i)})_{\alpha}^U + (\tilde{\theta}_{i2})_{\alpha}^U}{\sum_{j=1}^{m_i} (\tilde{t}_{(ij)})_{\alpha}^U + (n_i - m_i)(\tilde{t}_{(im_i)})_{\alpha}^U + (\tilde{\theta}_{i2})_{\alpha}^U + t} \right)^{m_i + (\tilde{\theta}_{i2})_{\alpha}^U} \right] \quad (3.7.)$$

3.2.2. Bulanık Bayesgil Yöntemi ile Üretim Süreçlerinin Güvenilirliğinin ve Kullanılabilirliğinin Tespiti

Proje çalışmasında Wu [9]'nun ortaya koyduğu bulanık Bayesgil yöntemleri kullanılarak süreçlerin ve sistemin güvenilirliği hesaplanacaktır. Ancak Wu [9] çalışmasında tamir edilemeyen sistemleri ele almıştır. Yapılan bu proje çalışmasında güvenilirliği tespit edilecek olan süreçler tamir edilebilir sistemlerdir. Tamir edilebilir sistemlerde güvenilirlik kadar kullanılabilirlik oranlarının tespiti de önemlidir. Bundan dolayı bu çalışmada, bulanık Bayesgil kullanılabilirlik analizleri de yapılacaktır. Analizlerde dikkate alınan varsayımlar aşağıda listelenmiştir.

- 1) Burada her bir süreç yetmezliği birbirinden bağımsızdır.
- 2) Süreç yetmezlikleri arası süreler birbirinden bağımsız ve özdeştir.

- 3) Yetmezlikler arası süreler üstel dağılımlı, üstel dağılımın parametresi ise gamma dağılımlıdır.
- 4) Yetmezliklerin giderilme süreleri birbirinden bağımsız ve özdeşdir.
- 5) Yetmezliklerin giderilme süreleri üstel dağılımlı, üstel dağılımın parametresi ise gamma dağılımlıdır.
- 6) Sistem tamir edilebilir sistem olup, her bir alt grubun tamir birimi ayrıdır. Tamir edildikten sonra alt gruplar eski durumlarını muhafaza etmektedirler.

Üretim süreçlerinin güvenilirlik ve kullanılabilirlik analizlerinde kullanılan eşitliklerdeki alt ve üst limit ifadeleri, sözkonusu denklemde dikkate alınan bulanık sayıların hangi limit (alt veya üst) değerinin kullanıldığını göstermektedir.

3.2.2.1. Bulanık Bayesgil Yöntemi ile Üretim Süreçlerinin Güvenilirliğinin Belirlenmesi

Bir üretim süreci 4 alt sistemden oluşan seri sistem olarak tanımlanmıştır. Söz konusu üretim süreci için bulanık Bayesgil nokta tahminleri Wu [9]'un önerdiği yöntem kullanılarak eşitlik (3.8.) ve (3.9.) ile hesaplanabilir. Uygulama çalışmasında eşitliklerdeki öncül ve gözlem verilerine ait yetmezlik zamanları bulanıklaştırılmıştır. Süreçlerden oluşan sistemin yapısına göre sistem güvenilirliği belirlenebilir. Seri süreçler için eşitlik (3.4.) ve (3.5.) ile tespit edilen güvenilirliğin bayes nokta tahminleri, paralel süreçler için eşitlik (3.6.) ve (3.7.) ile hesaplanabilir. Uygulama çalışmasında yapılan analizlerde kullanılan (3.4.), (3.5.), (3.6.) ve (3.7.) eşitliklerinde de öncül ve gözlem verilerine ait yetmezlik zamanları bulanıklaştırılmıştır.

$$\begin{aligned} \hat{r}_{\alpha}^L &= \prod_{i=1}^{k=4} \left(\frac{(\hat{\vartheta}_i)_{\alpha}^L + (\hat{\theta}_{i2})_{\alpha}^L}{(\hat{\vartheta}_i)_{\alpha}^L + (\hat{\theta}_{i2})_{\alpha}^L + t} \right)^{m_i + \theta_{i2}} \\ &= \prod_{i=1}^{k=4} \left(\frac{\sum_{j=1}^{m_i} (\hat{x}_{(ij)})_{\alpha}^L + (n_i - m_i)(\hat{x}_{(im_i)})_{\alpha}^L + (\hat{\theta}_{i2})_{\alpha}^L}{\sum_{j=1}^{m_i} (\hat{x}_{(ij)})_{\alpha}^L + (n_i - m_i)(\hat{x}_{(im_i)})_{\alpha}^L + (\hat{\theta}_{i2})_{\alpha}^L + t} \right)^{m_i + \theta_{i2}} \end{aligned} \quad (3.8.)$$

$$\hat{r}_{\alpha}^U = \prod_{i=1}^{k=4} \left(\frac{(\hat{\vartheta}_i)_{\alpha}^U + (\hat{\theta}_{i2})_{\alpha}^U}{(\hat{\vartheta}_i)_{\alpha}^U + (\hat{\theta}_{i2})_{\alpha}^U + t} \right)^{m_i + \theta_{i2}}$$

$$= \prod_{i=1}^{k=4} \left(\frac{\sum_{j=1}^{m_i} (\tilde{t}_{(ij)})_{\alpha}^U + (n_i - m_i)(\tilde{t}_{(im_i)})_{\alpha}^U + (\tilde{\theta}_{i2})_{\alpha}^U}{\sum_{j=1}^{m_i} (\tilde{t}_{(ij)})_{\alpha}^U + (n_i - m_i)(\tilde{t}_{(im_i)})_{\alpha}^U + (\tilde{\theta}_{i2})_{\alpha}^U + t} \right)^{m_i + \theta_{i2}} \quad (3.9.)$$

$\alpha \in [0,1]$ olmak üzere bir sürece ait yapısal fonksiyonda seri olarak bağlanan 4 alt sistem makine, malzeme ve tedarik, yönetim ve personel, hazırlıktır.

3.2.2.2. Bulanık Bayesgil Yöntemi ile Üretim Süreçlerinin Kullanılabilirliğinin Belirlenmesi

Yetmezlik zamanı X olan $\varepsilon(\lambda)$ dağılımlı, bozulma zamanı Y olan $\varepsilon(\mu)$ dağılımlı tamir edilebilir bir parçanın kullanılabilirliği eşitlik (3.10.) [22] ile belirlenir. Burada X ve Y 'nin birbirinden bağımsız olduğu varsayılmıştır.

$$A = \frac{E(X)}{E(X) + E(Y)} = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \quad (3.10.)$$

Eşitlik (3.10.)'deki λ ve μ parametrelerinin tahmin edilmesi gerekmektedir. Wu [5] üstel dağılım parametresini bulanık Bayesgil yöntem ile tahmin etmek için eşitlik (3.11.) ve (3.12.)'ü geliştirmiştir. Burada öncül bilgiye göre θ_2 süresince meydana gelen yetmezlik sayısı θ_1 , gözlem verilerine göre ise t süresince s sayıda yetmezlik oluşmuştur. Wu [5] eşitlik (3.11.) ve (3.12.)'te öncül dağılım verilerini bulanık olarak almıştır.

$$\widehat{\tilde{\lambda}_{\alpha}^L} = \frac{s + (\tilde{\theta}_1)_{\alpha}^L}{t + (\tilde{\theta}_2)_{\alpha}^L} \quad (3.11.)$$

ve,

$$\widehat{\tilde{\lambda}_{\alpha}^U} = \frac{s + (\tilde{\theta}_1)_{\alpha}^U}{t + (\tilde{\theta}_2)_{\alpha}^U} \quad (3.12.)$$

Proje çalışmasında ise uygulama çalışmasında dikkate alınacak veriler doğrultusunda θ_2 ve t bulanıklaştırılacaktır. Bu durumda λ ve μ parametrelerini tahmin etmeye yönelik hesaplamalarda eşitlik (3.13.), (3.14.), (3.15.) ve (3.16.) kullanılacaktır.

Yetmezlik sürelerinin dağılım parametresi için;

$$\widehat{\tilde{\lambda}}_{\alpha}^L = \frac{s + \theta_1}{(\tilde{t})_{\alpha}^L + (\tilde{\theta}_2)_{\alpha}^L} \quad (3.13.)$$

ve,

$$\widehat{\tilde{\lambda}}_{\alpha}^U = \frac{s + \theta_1}{(\tilde{t})_{\alpha}^U + (\tilde{\theta}_2)_{\alpha}^U} \quad (3.14.)$$

Tamir sürelerinin dağılım parametresi için;

$$\widehat{\tilde{\mu}}_{\alpha}^L = \frac{s + \theta_1}{(\tilde{t})_{\alpha}^L + (\tilde{\theta}_2)_{\alpha}^L} \quad (3.15.)$$

ve,

$$\widehat{\tilde{\mu}}_{\alpha}^U = \frac{s + \theta_1}{(\tilde{t})_{\alpha}^U + (\tilde{\theta}_2)_{\alpha}^U} \quad (3.16.)$$

λ ve μ parametrelerinin tahmin edilmesinden sonra elde edilen kullanılabilirlik formülü eşitlik (3.17.) ve (3.18.)’de verildiği gibidir.

$$\widehat{\tilde{A}}_{\alpha}^L = \frac{\left(\frac{s + \theta_1}{(\tilde{t})_{\alpha}^L + (\tilde{\theta}_2)_{\alpha}^L} \right)_{\mu}}{\left(\frac{s + \theta_1}{(\tilde{t})_{\alpha}^L + (\tilde{\theta}_2)_{\alpha}^L} \right)_{\lambda} + \left(\frac{s + \theta_1}{(\tilde{t})_{\alpha}^L + (\tilde{\theta}_2)_{\alpha}^L} \right)_{\mu}} \quad (3.17.)$$

$$\widehat{A}_{\alpha}^U = \frac{\left(\frac{s + \theta_1}{(\hat{t})_{\alpha}^U + (\hat{\theta}_2)_{\alpha}^U} \right)_{\mu}}{\left(\frac{s + \theta_1}{(\hat{t})_{\alpha}^U + (\hat{\theta}_2)_{\alpha}^U} \right)_{\lambda} + \left(\frac{s + \theta_1}{(\hat{t})_{\alpha}^U + (\hat{\theta}_2)_{\alpha}^U} \right)_{\mu}} \quad (3.18.)$$

3.2.2.2.1. Seri Sistemlerin Kullanılabilirliği

N adet birbirinden bağımsız tamir edilebilir parçası olan seri sistemi dikkate alalım. Yapılan varsayımlar:

- Bozulan bir parça tamirde iken diğer sağlam parçalar çalışmaktadır.
- Her bir parça için birbirinden bağımsız çalışan tamir birimleri mevcuttur.
- Bir parçanın bozulma ve tamir süreleri birbirinden bağımsızdır.

Sistem parçalarına ait dağılım fonksiyonları eşitlik (3.19.) ve (3.20.)’de verildiği gibidir.

$$f_{x_i}(x_i) = \lambda_i \exp(-\lambda_i x_i), \quad x_i \geq 0 \quad (3.19.)$$

$$f_{y_i}(y_i) = \mu_i \exp(-\mu_i y_i), \quad y_i \geq 0 \quad (3.20.)$$

i . parçaya ait yetmezlik oranı λ_i ve tamir oranı μ_i olmak üzere seri sistem kullanılabilirliği parça kullanılabilirliklerinden yola çıkılarak eşitlik (3.21.) [22] ile hesaplanabilir.

$$A = \prod_{i=1}^N \left(\frac{\mu_i}{\lambda_i + \mu_i} \right) \quad (3.21.)$$

Bulanık Bayesgil yöntemleri dikkate alındığında bulanık Bayesgil kullanılabilirlik eşitlikleri (3.22.) ve (3.23.)’da verilmiştir.

$$\widehat{A}_{\alpha}^L = \prod_{i=1}^N \left(\frac{(\widehat{\mu}_i)_{\alpha}^L}{(\widehat{\lambda}_i)_{\alpha}^L + (\widehat{\mu}_i)_{\alpha}^L} \right) \quad (3.22.)$$

$$\overline{A}_\alpha^U = \prod_{i=1}^N \left(\frac{(\overline{\mu}_i)_\alpha^U}{(\overline{\lambda}_i)_\alpha^U + (\overline{\mu}_i)_\alpha^U} \right) \quad (3.23.)$$

3.2.2.2.2. Parelel Sistemlerin Kullanılabilirliği

N adet birbirinden bağımsız tamir edilebilir parçası olan paralel sistemi dikkate alalım.

Yapılan varsayımlar:

- Bozulan bir parça tamirde iken diğer sağlam parçalar çalışmaktadır.
- Her bir parça için birbirinden bağımsız çalışan tamir birimleri mevcuttur.
- Bir parçanın bozulma ve tamir süreleri birbirinden bağımsızdır.
- Paralel parçalar eş zamanlı olarak aynı fonksiyonları yerine getirmektedir ve sistem en az bir paralel parçanın çalışması ile çalışabilmektedir.

Sistem parçalarına ait dağılım fonksiyonları eşitlik (3.24.) ve (3.25.)’de verildiği gibidir.

$$f_{x_i}(x_i) = \lambda_i \exp(-\lambda_i x_i), \quad x_i \geq 0 \quad (3.24.)$$

$$f_{y_i}(y_i) = \mu_i \exp(-\mu_i y_i), \quad y_i \geq 0 \quad (3.25.)$$

i . parçaya ait yetmezlik oranı λ_i ve tamir oranı μ_i olmak üzere paralel sistem kullanılabilirliği (3.26.), (3.27.) ve (3.28.) eşitlikleri [22] ile hesaplanabilir.

$$\text{Sistem kullanılamazlığı} = \bar{A} = 1 - A \quad (3.26.)$$

$$\bar{A} = \prod_{i=1}^N \left(\frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} \right) \quad (3.27.)$$

$$A = 1 - \prod_{i=1}^N \left(\frac{\lambda_i}{\lambda_i + \mu_i} \right) \quad (3.28.)$$

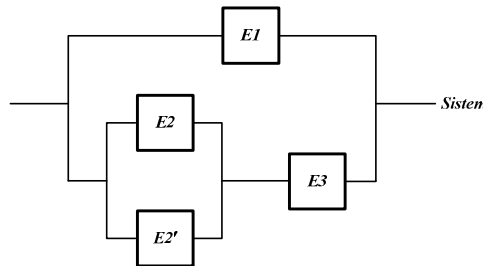
Bulanık Bayesgil yöntemleri dikkate alındığında oluşan bulanık Bayesgil kullanılabilirlik eşitlikleri (3.29.) ve (3.30)'te verilmiştir.

$$\widetilde{A}_\alpha^L = 1 - \prod_{i=1}^N \left(\frac{(\widetilde{\lambda}_i)_\alpha^L}{(\widetilde{\lambda}_i)_\alpha^L + (\widetilde{\mu}_i)_\alpha^L} \right) \quad (3.29.)$$

$$\widetilde{A}_\alpha^U = 1 - \prod_{i=1}^N \left(\frac{(\widetilde{\lambda}_i)_\alpha^U}{(\widetilde{\lambda}_i)_\alpha^U + (\widetilde{\mu}_i)_\alpha^U} \right) \quad (3.30.)$$

3.2.2.2.3. Seri-Paralel Sistemlerin Kullanılabilirliği

Seri-paralel yapılardan oluşan sistemlerin seri ve paralel modellerin bir kombinasyonu olduğunu belirten Birolini [44], sistem kullanılabilirliği belirlemede parçalardan alt sistemlere, alt sistemlerden sisteme giden kademeli bir şekilde yetmezlik ve tamir oranları belirleyerek hesaplama yapan yöntemler geliştirmiştir. Proje çalışmasında ise seri ve paralel sistemlerin kullanılabilirliğini belirlemede dikkate alınan varsayımlar altında seri-paralel sistem kullanılabilirlik hesaplamalarında, kademeli hesaplama yapısı kullanılacaktır. Ancak her adımda dikkate alınan kısmın durumuna göre seri veya paralel kullanılabilirlik denklemleri ile belirlenen kullanılabilirlik değerleri dikkate alınacaktır. Söz konusu yapı Birolini [44]'nin verdiği örnek (Şekil 3.3.) üzerinde aşağıda anlatılmıştır. Örnekte E_1 , E_2 , E_2' ve E_3 parçalarının yetmezlik oranları sırasıyla λ_1 , λ_2 , $\lambda_{2'}$ ve λ_3 , tamir oranları ise sırasıyla μ_1 , μ_2 , $\mu_{2'}$ ve μ_3 gösterilmiştir. Hesaplamalarda yetmezlik ve tamir oranları bulanıklaştırılacaktır.

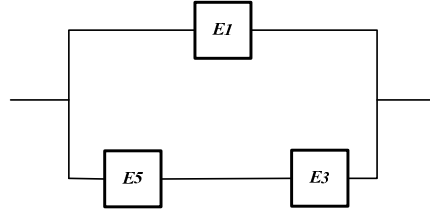


Şekil 3.3. Seri-paralel sistem yapısı.

Şekil 3.3.'de görülen sistem yapısında ilk olarak birbirine paralel şekilde bağlı E_2 ve E_2' parçalarından oluşan alt sistem ele alınacaktır. Söz konusu alt sisteme ait kullanılabilirlik değerleri eşitlik (3.31.) ve (3.32.) ile hesaplanabilir.

$$(\widehat{\tilde{A}}_{\alpha}^L)_{\Xi} = 1 - \left(\frac{(\widehat{\tilde{\lambda}}_2)_{\alpha}^L}{(\widehat{\tilde{\lambda}}_2)_{\alpha}^L + (\widehat{\tilde{\mu}}_2)_{\alpha}^L} \right) * \left(\frac{(\widehat{\tilde{\lambda}}_{2'})_{\alpha}^L}{(\widehat{\tilde{\lambda}}_{2'})_{\alpha}^L + (\widehat{\tilde{\mu}}_{2'})_{\alpha}^L} \right) \quad (3.31.)$$

$$(\widehat{\tilde{A}}_{\alpha}^U)_{\Xi} = 1 - \left(\frac{(\widehat{\tilde{\lambda}}_2)_{\alpha}^U}{(\widehat{\tilde{\lambda}}_2)_{\alpha}^U + (\widehat{\tilde{\mu}}_2)_{\alpha}^U} \right) * \left(\frac{(\widehat{\tilde{\lambda}}_{2'})_{\alpha}^U}{(\widehat{\tilde{\lambda}}_{2'})_{\alpha}^U + (\widehat{\tilde{\mu}}_{2'})_{\alpha}^U} \right) \quad (3.32.)$$

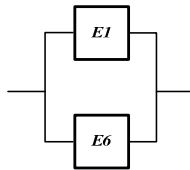


Şekil 3.4. Seri-paralel sistem yapısı.

Oluşan yeni durum Şekil 3.4.'de verilmiştir. Bundan sonra dikkate alınacak alt sistem ise birbirine seri bağlı E_5 ve E_3 parçalarından oluşan alt sistemdir. Bu alt sistem için kullanılabilirlik limit değerleri (3.33.) ve (3.34.) eşitlikleri ile bulunur.

$$(\widehat{\tilde{A}}_{\alpha}^L)_{\Theta} = (\widehat{\tilde{A}}_{\alpha}^L)_{\Xi} * \left(\frac{(\widehat{\tilde{\mu}}_3)_{\alpha}^L}{(\widehat{\tilde{\lambda}}_3)_{\alpha}^L + (\widehat{\tilde{\mu}}_3)_{\alpha}^L} \right) \quad (3.33.)$$

$$(\widehat{\tilde{A}}_{\alpha}^U)_{\Theta} = (\widehat{\tilde{A}}_{\alpha}^U)_{\Xi} * \left(\frac{(\widehat{\tilde{\mu}}_3)_{\alpha}^U}{(\widehat{\tilde{\lambda}}_3)_{\alpha}^U + (\widehat{\tilde{\mu}}_3)_{\alpha}^U} \right) \quad (3.34.)$$

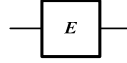


Şekil 3.5. Paralel sistem yapısı.

Şekil 3.5.'te verilen aşamada ise, görüldüğü gibi E_I ve E_6 birbiri ile paralel bağlıdır. Kullanılabilirlik limit değerleri eşitlik (3.35.) ve (3.36.) ile hesaplanır.

$$(\widehat{\tilde{A}}_{\alpha}^L)_S = 1 - \left(\frac{(\tilde{\lambda}_1)_{\alpha}^L}{(\tilde{\lambda}_1)_{\alpha}^L + (\tilde{\mu}_1)_{\alpha}^L} \right) * (\widehat{\tilde{A}}_{\alpha}^L)_6 \quad (3.35.)$$

$$(\widehat{\tilde{A}}_{\alpha}^U)_S = 1 - \left(\frac{(\tilde{\lambda}_1)_{\alpha}^U}{(\tilde{\lambda}_1)_{\alpha}^U + (\tilde{\mu}_1)_{\alpha}^U} \right) * (\widehat{\tilde{A}}_{\alpha}^U)_6 \quad (3.36.)$$



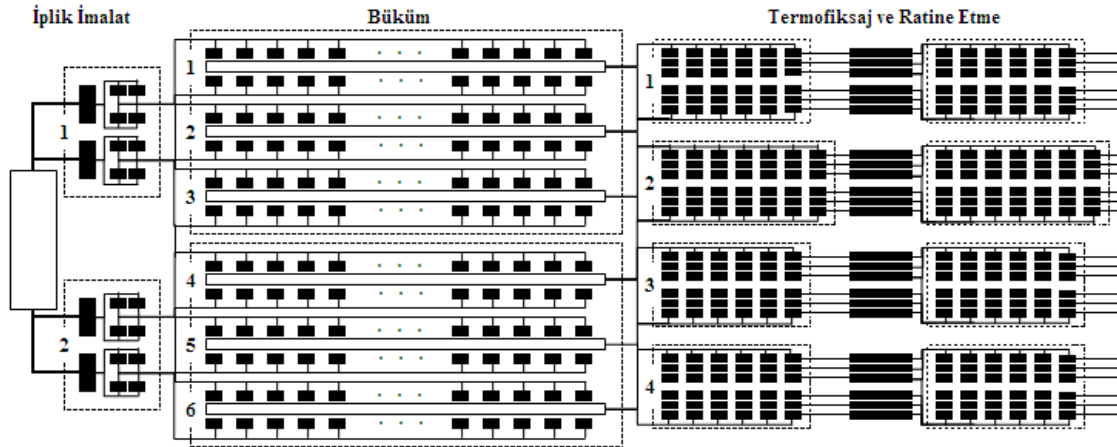
Şekil 3.6. Genel sistem yapısı.

Sonuç olarak Şekil 3.6.'teki indirgenen sistem yapısının kullanılabilirlik değeri A eşitlik (3.35.) ve (3.36.) ile hesaplanan kullanılabilirlik limit değerleri aralığındadır.

4. BİR İPLİK ÜRETİM SİSTEMİNİN GÜVENİLİRLİĞİNİN BULANIK BAYESGİL YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

4.1. İplik Üretim Sistemi

Yapılan uygulama çalışmasında amaç, önerilen modelleme yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek olup, süreç yapıları en genel halleriyle ele alınmış, hesaplamalarda kolaylık sağlaması açısından analizlerde çeşitli varsayımlar yapılmıştır. İplik üretiminde, iplik imalatı, büküm ve termofiksaj veya ratine etme olmak üzere üç ana süreç mevcuttur. Uygulama çalışmasının yapıldığı fabrikanın genel işleyişi ve süreçleri Şekil 4.1.'de gösterildiği gibidir. Söz konusu üretim sisteminde imalat süreçleri seri-paralel sistem yapısına sahiptir.



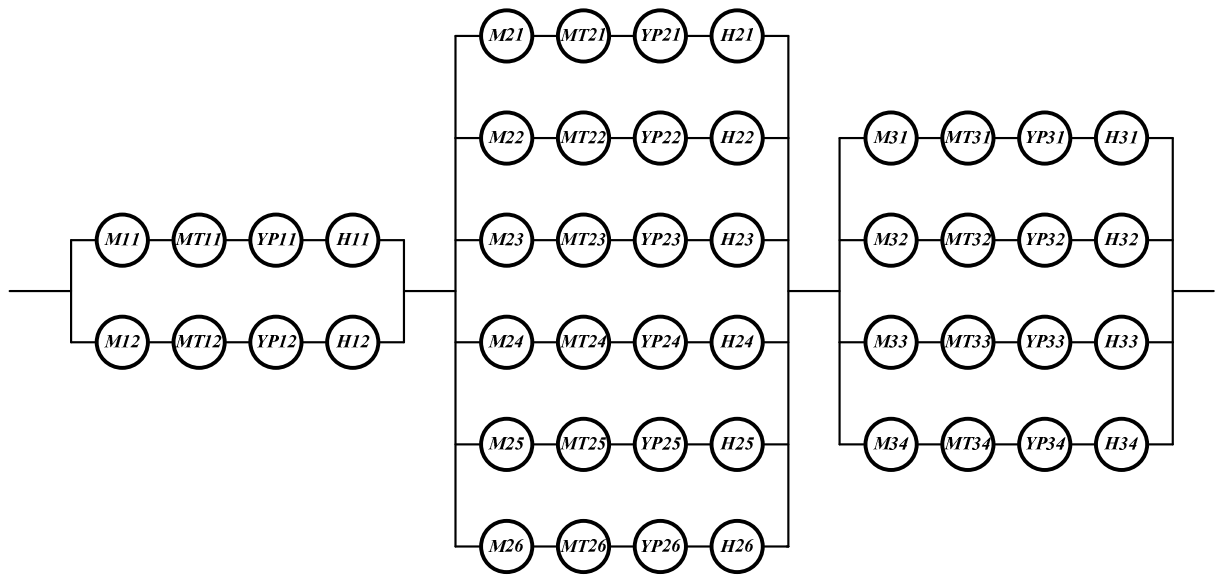
Şekil 4.1. İplik üretim sistemi.

Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi genel iplik imalat süreci 2 paralel süreçten, genel büküm süreci 6 paralel süreçten ve genel termofiksaj veya ratine etme süreci 4 paralel süreçten oluşmaktadır.

İplik imalat sürecinde, ana hammadde olarak polipropilen kullanılmakta, ısıtma, bölme, şekil verme vb. çeşitli aşamalardan geçen yarımamullerden, istenilen özelliklerde şeritler üretilmektedir. Elde edilen şeritler büküm sürecinden önce bobinlere sarılır. Genel büküm

sürecinde ise, büküm yapan, her birinden 3 makine olmak üzere iki farklı tipte büküm makinesi bulunmaktadır. Söz konusu değişik tipteki makinelerin iğ sayıları ve denye ölçüleri birbirinden farklıdır. Çağlık ve bobin sarma makinesi bölümlerinden oluşan makineleri bulunan son süreçten geçen ipliğe ise, termofiksaj veya ratine etme işlemleri uygulanır ve iplik bobinlere sarılarak üretimi tamamlanır.

İkinci aşamada sistemin yapısal şeması oluşturulmuştur. Genel imalat, büküm ve termofiksaj veya ratine etme süreçleri birbirine seri şekilde bağlıdır. Proje çalışmasında önerilen modelleme yaklaşımında ise her bir süreç birbirine seri bağlı dört alt gruba ayrılmıştır. Bu durumlar dikkate alınarak elde edilen sistemin seri-paralel yapısal şeması Şekil 4.2.'de verilmiştir. M_{ij} , i . genel sürecin j . sürecine ait makine alt sistemini, MT_{ij} , i . genel sürecin j . sürecine ait malzeme ve tedarik alt sistemini, YP_{ij} , i . genel sürecin j . sürecine ait yönetim ve personel alt sistemini, H_{ij} , i . genel sürecin j . sürecine ait hazırlık alt sistemini göstermektedir.



Şekil 4.2. İplik üretim sisteminin seri-paralel yapısal şeması.

4.2. İplik Üretim Sistemine Ait Güvenilirlik Verilerinin İncelenmesi

3. aşamada işletmenin bir yıllık duruş verileri incelenmiştir. Her bir sürece ait veriler belirlenen yetmezlik grupları altında makineden kaynaklanan yetmezlikler, malzeme tedarikinden kaynaklanan yetmezlikler, yönetim ve personelden kaynaklanan yetmezlikler ve hazırlıktan kaynaklanan yetmezlikler şeklinde kategorize edilmiştir. Burada önerilen modelleme yaklaşımının gösterilmesinde ve hesaplamalarda kolaylık sağlaması açısından,

kategorilerin ortalamalarından yola çıkılarak üstel dağılıma uygun şekilde veriler türetilmiştir. Öncül dağılım verileri de sözkonusu ortalamalardan yola çıkılarak analizlere katılmıştır. Süreçlerin ve sistemin güvenilirlik ve kullanılabilirlik hesaplamalarında, bulanıklaştırma ise bulanık üçgensel sayılar ile yapılmıştır.

Uygun verilerin elde edilmesi aşamasından sonra her bir sürecin güvenilirliği tespit edilmiştir. Süreçlerin güvenilirliklerinden, üretim sisteminin yapısı göz önünde bulundurularak sistemin güvenilirliği hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamaları göstermek üzere örnek olarak ilk süreç olan iplik imalat sürecini dikkate alalım. Tablo 4.1. iplik imalat sürecinin alt sistemlerine ait yetmezlik zamanlarından oluşmaktadır.

Tablo 4.1. İplik imalat sürecinin alt sistemlerine ait yetmezlik zamanları.

Yetmezlik No	<i>M11</i>	<i>M12</i>	<i>MT11</i>	<i>MT12</i>	<i>YP11</i>	<i>YP12</i>	<i>H11</i>	<i>H12</i>
1	1387	1498	41825	51434	27271	29871	3259	3045
2	1305	1265	38397	46247	23425	22452	2895	2543

Yetmezliklerin öncül dağılımlarına ait değerler ise Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. İplik imalat süreci yetmezlik öncül dağılım verileri.

Yetmezlik No	<i>M11</i>	<i>M12</i>	<i>MT11</i>	<i>MT12</i>	<i>YP11</i>	<i>YP12</i>	<i>H11</i>	<i>H12</i>
1	291	310	8477	10448	5616	5479	656	639

Tablo 4.1. ve Tablo 4.2.'deki bulanık sayılar bulanık üçgensel sayı olarak dikkate alınmıştır. Sözkonusu bulanık sayılar aşağıda olduğu gibi oluşturularak, hesaplamalarda kullanılmıştır.

$$\bar{1387}=(1287, 1387, 1487) \quad \text{ve} \quad \bar{1387}_\alpha=(1287+100\alpha, 1487-100\alpha)$$

$$\bar{1305}=(1205, 1305, 1405) \quad \text{ve} \quad \bar{1305}_\alpha=(1205+100\alpha, 1405-100\alpha)$$

$$\bar{1498}=(1398, 1498, 1598) \quad \text{ve} \quad \bar{1498}_\alpha=(1398+100\alpha, 1598-100\alpha)$$

$$\begin{aligned}
\overline{1265} &= (1165, 1265, 1365) \quad \text{ve} \quad \overline{1265}_\alpha = (1165+100\alpha, 1365-100\alpha) \\
\overline{41825} &= (40825, 41825, 42825) \quad \text{ve} \quad \overline{41825}_\alpha = (40825+1000\alpha, 42825-1000\alpha) \\
\overline{38397} &= (37397, 38397, 39397) \quad \text{ve} \quad \overline{38397}_\alpha = (37397+1000\alpha, 39397-1000\alpha) \\
\overline{51434} &= (50434, 51434, 52434) \quad \text{ve} \quad \overline{51434}_\alpha = (50434+1000\alpha, 52434-1000\alpha) \\
\overline{46247} &= (45247, 46247, 47247) \quad \text{ve} \quad \overline{46247}_\alpha = (45247+1000\alpha, 47247-1000\alpha) \\
\overline{27271} &= (26271, 27271, 28271) \quad \text{ve} \quad \overline{27271}_\alpha = (26271+1000\alpha, 28271-1000\alpha) \\
\overline{23425} &= (22425, 23425, 24425) \quad \text{ve} \quad \overline{23425}_\alpha = (22425+1000\alpha, 24425-1000\alpha) \\
\overline{29871} &= (28871, 29871, 30871) \quad \text{ve} \quad \overline{29871}_\alpha = (28871+1000\alpha, 30871-1000\alpha) \\
\overline{22452} &= (21452, 22452, 23452) \quad \text{ve} \quad \overline{22452}_\alpha = (21452+1000\alpha, 23452-1000\alpha) \\
\overline{3259} &= (3159, 3259, 3359) \quad \text{ve} \quad \overline{3259}_\alpha = (3159+100\alpha, 3359-100\alpha) \\
\overline{2895} &= (2795, 2895, 2995) \quad \text{ve} \quad \overline{2895}_\alpha = (2795+100\alpha, 2995-100\alpha) \\
\overline{3045} &= (2945, 3045, 3145) \quad \text{ve} \quad \overline{3045}_\alpha = (2945+100\alpha, 3145-100\alpha) \\
\overline{2543} &= (2443, 2543, 2643) \quad \text{ve} \quad \overline{2543}_\alpha = (2443+100\alpha, 2643-100\alpha) \\
\overline{291} &= (281, 291, 301) \quad \text{ve} \quad \overline{291}_\alpha = (281+10\alpha, 301-10\alpha) \\
\overline{310} &= (300, 310, 320) \quad \text{ve} \quad \overline{310}_\alpha = (300+10\alpha, 320-10\alpha) \\
\overline{8477} &= (8377, 8477, 8577) \quad \text{ve} \quad \overline{8477}_\alpha = (8377+100\alpha, 8577-100\alpha) \\
\overline{10448} &= (10348, 10448, 10548) \quad \text{ve} \quad \overline{10448}_\alpha = (10348+100\alpha, 10548-100\alpha) \\
\overline{5616} &= (5516, 5616, 5716) \quad \text{ve} \quad \overline{5616}_\alpha = (5516+100\alpha, 5716-100\alpha) \\
\overline{5479} &= (5379, 5479, 5579) \quad \text{ve} \quad \overline{5479}_\alpha = (5379+100\alpha, 5579-100\alpha) \\
\overline{656} &= (646, 656, 666) \quad \text{ve} \quad \overline{656}_\alpha = (646+10\alpha, 666-10\alpha) \\
\overline{639} &= (629, 639, 649) \quad \text{ve} \quad \overline{639}_\alpha = (629+10\alpha, 649-10\alpha)
\end{aligned}$$

Burada yetmezlik sayıları bulanıklaştırılmamış, gerçel sayı olarak alınmıştır. İncelenen sistemin durumuna göre yetmezlik sayıları da bulanık olarak alınabilir. Yapılan hesaplamalarda kullanılan eşitliklerdeki alt ve üst limit ifadeleri, sözkonusu denklemde dikkate alınan bulanık sayıların hangi limit (alt veya üst) değerinin kullanıldığını göstermektedir.

4.3. İplik Üretim Sistemi Güvenilirlik Hesaplamaları

(3.8.) ve (3.9.) eşitlikleri ile iplik imalat-1 sürecinin güvenilirliği şu şekilde hesaplanır.

$$\tilde{r}_\sigma^L = \left(\frac{(1287+100\alpha) + (1205+100\alpha) + (281+10\alpha)}{(1287+100\alpha) + (1205+100\alpha) + (281+10\alpha) + 480} \right)^{2+1} \times$$

$$\begin{aligned}
& \left(\frac{(40825+1000\alpha)+(37397+1000\alpha)+(8377+100\alpha)}{(40825+1000\alpha)+(37397+1000\alpha)+(8377+100\alpha)+480} \right)^{2+1} \times \\
& \left(\frac{(26271+1000\alpha)+(22425+1000\alpha)+(5516+100\alpha)}{(26271+1000\alpha)+(22425+1000\alpha)+(5516+100\alpha)+480} \right)^{2+1} \times \\
& \left(\frac{(3159+100\alpha)+(2795+100\alpha)+(646+10\alpha)}{(3159+100\alpha)+(2795+100\alpha)+(646+10\alpha)+480} \right)^{2+1} \\
\bar{r}_\alpha^L &= \left(\frac{2773+210\alpha}{3253+210\alpha} \right)^3 \times \left(\frac{86599+2100\alpha}{87079+2100\alpha} \right)^3 \times \left(\frac{54212+2100\alpha}{54692+2100\alpha} \right)^3 \times \left(\frac{6600+210\alpha}{7080+210\alpha} \right)^3 \\
\bar{r}_\alpha^U &= \left(\frac{(1487-100\alpha)+(1405-100\alpha)+(301-10\alpha)}{(1487-100\alpha)+(1405-100\alpha)+(301-10\alpha)+480} \right)^{2+1} \times \\
& \left(\frac{(42825-1000\alpha)+(39397-1000\alpha)+(8577-100\alpha)}{(42825-1000\alpha)+(39397-1000\alpha)+(8577-100\alpha)+480} \right)^{2+1} \times \\
& \left(\frac{(28271-1000\alpha)+(24425-1000\alpha)+(5716-100\alpha)}{(28271-1000\alpha)+(24425-1000\alpha)+(5716-100\alpha)+480} \right)^{2+1} \times \\
& \left(\frac{(3359-100\alpha)+(2995-100\alpha)+(666-10\alpha)}{(3359-100\alpha)+(2995-100\alpha)+(666-10\alpha)+480} \right)^{2+1} \\
\bar{r}_\alpha^U &= \left(\frac{3193-210\alpha}{3673-210\alpha} \right)^3 \times \left(\frac{90799-2100\alpha}{91279-2100\alpha} \right)^3 \times \left(\frac{58412-2100\alpha}{58892-2100\alpha} \right)^3 \times \left(\frac{7020-210\alpha}{7500-210\alpha} \right)^3
\end{aligned}$$

Bu durumda, $\alpha=0.95$ olmak üzere iplik imalat-1 sürecinin güvenilirlik değeri bir vardiya (8 saat) için [0.499, 0.501] aralığında yer almaktadır. Aynı şekilde iplik imalat-2 sürecinin de güvenilirliği belirlenerek Tablo 4.3.'ü oluşturalım.

Tablo 4.3. İplik imalat süreci güvenilirlik değerleri.

Alt Süreçler	İplik İmalat-1	İplik İmalat-2
Güvenilirlik Değer Aralığı	[0.499, 0.501]	[0.498, 0.499]

İplik imalat-1 ve iplik imalat-2 süreçlerinden oluşan ana iplik imalat sürecinin güvenilirliği ise paralel süreç güvenilirliği belirleme eşitlikleri (3.6.) ve (3.7.)'den yola çıkılarak aşağıdaki gibi belirlenir.

$$\bar{r}_\alpha^L = 1 - (1 - 0.499) \times (1 - 0.498) = 0.748$$

$$\bar{r}_e^u = 1 - (1 - 0.501) \times (1 - 0.499) = 0.750$$

İplik imalat sürecinin bir vardiya süresince belirlenen güvenilirliği [0.748, 0.750] arasındadır. Görüldüğü gibi sistemlerde yapılan paralellik güvenilirliği kabul edilebilir ölçüde artırmıştır.

Üretim sisteminin diğer süreçlerine ve sisteme ait güvenilirlik değerleri Tablo 4.4., Tablo 4.5., Tablo 4.6, ve Tablo 4.7.'de verilmiştir.

Tablo 4.4. İplik imalat süreci güvenilirlik değerleri.

Alt Süreçler	İplik İmalat-1	İplik İmalat-2
Güvenilirlik Değer Aralığı	[0.499, 0.501]	[0.498, 0.499]
Ana Süreç	İplik İmalat	
Güvenilirlik Değer Aralığı	[0.748, 0.750]	

Tablo 4.5. Büküm süreci güvenilirlik değerleri.

Alt Süreçler	Büküm-1	Büküm-2	Büküm-3
Güvenilirlik Değer Aralığı	[0.858, 0.859]	[0.841, 0.843]	[0.858, 0.859]
Alt Süreçler	Büküm-4	Büküm-5	Büküm-6
Güvenilirlik Değer Aralığı	[0.821, 0.825]	[0.824, 0.831]	[0.843, 0.848]
Ana Süreç	Büküm		
Güvenilirlik Değer Aralığı	1.000		

Tablo 4.6. Termofiksaj veya ratine etme (T/R) süreci güvenilirlik değerleri.

Alt Süreçler	T/R-1	T/R-2	T/R-3	T/R-4
Güvenilirlik Değer Aralığı	[0.882, 0.883]	0.915	0.893	0.809
Ana Süreç	Termofiksaj veya Ratine Etme			
Güvenilirlik Değer Aralığı	1.000			

Tablo 4.7. İplik üretim sistemi güvenilirlik değerleri.

Genel Süreçler	İplik İmalat	Büküm	T/R
Güvenilirlik Değer Aralığı	[0.748, 0.750]	1.000	1.000
Üretim Sistemi	İplik Üretim		
Güvenilirlik Değer Aralığı	[0.748, 0.750]		

Yapılan hesaplamalar sonucunda, güvenilirlik değeri bir vardiya (8 saat) için [0.748, 0.750] aralığında yer almaktadır.

4.4. İplik Üretim Sistemine Ait Kullanılabilirlik Verilerinin İncelenmesi

Kullanılabilirlik analizlerinin yapılabilmesi için eşitlik (3.10.)’de yer alan parametre tahminlerinin yapılması gerekmektedir. Örnek olarak yine iplik imalat süreci ele alınacak olursa, yetmezlik verileri Tablo 4.1. ve Tablo 4.2.’de verilmişti. Tamir verileri ise Tablo 4.8. ve Tablo 4.9.’de olduğu gibidir:

Tablo 4.8. İplik imalat sürecinin alt sistemlerine ait tamir zamanları.

Tamir No	<i>M11</i>	<i>M12</i>	<i>MT11</i>	<i>MT12</i>	<i>YP11</i>	<i>YP12</i>	<i>H11</i>	<i>H12</i>
1	$\bar{120}$	$\bar{132}$	$\bar{967}$	$\bar{936}$	$\bar{272}$	$\bar{354}$	$\bar{137}$	$\bar{163}$
2	$\bar{81}$	$\bar{98}$	$\bar{409}$	$\bar{490}$	$\bar{229}$	$\bar{305}$	$\bar{112}$	$\bar{126}$

Tablo 4.9. İplik imalat süreci tamir öncül dağılım verileri.

Tamir No	<i>M11</i>	<i>M12</i>	<i>MT11</i>	<i>MT12</i>	<i>YP11</i>	<i>YP12</i>	<i>H11</i>	<i>H12</i>
1	$\bar{20}$	$\bar{24}$	$\bar{103}$	$\bar{123}$	$\bar{57}$	$\bar{69}$	$\bar{27}$	$\bar{28}$

Tablo 4.8. ve Tablo 4.9.’daki bulanık sayılar bulanık üçgensel sayı olarak dikkate alınmıştır. Sözkonusu bulanık sayılar aşağıda olduğu gibi oluşturularak, hesaplamalarda kullanılmıştır.

$$\begin{aligned}
\widetilde{120} &= (110, 120, 130) & \text{ve} & \quad \widetilde{120}_\alpha = (120+10\alpha, 130-10\alpha) \\
\widetilde{81} &= (71, 81, 91) & \text{ve} & \quad \widetilde{81}_\alpha = (81+10\alpha, 91-10\alpha) \\
\widetilde{132} &= (122, 132, 142) & \text{ve} & \quad \widetilde{132}_\alpha = (122+10\alpha, 142-10\alpha) \\
\widetilde{98} &= (88, 98, 108) & \text{ve} & \quad \widetilde{98}_\alpha = (88+10\alpha, 108-10\alpha) \\
\widetilde{967} &= (957, 967, 977) & \text{ve} & \quad \widetilde{967}_\alpha = (957+10\alpha, 977-10\alpha) \\
\widetilde{409} &= (399, 409, 419) & \text{ve} & \quad \widetilde{409}_\alpha = (399+10\alpha, 419-10\alpha) \\
\widetilde{936} &= (926, 936, 946) & \text{ve} & \quad \widetilde{936}_\alpha = (926+10\alpha, 946-10\alpha) \\
\widetilde{490} &= (480, 490, 500) & \text{ve} & \quad \widetilde{490}_\alpha = (480+10\alpha, 500-10\alpha) \\
\widetilde{272} &= (262, 272, 282) & \text{ve} & \quad \widetilde{272}_\alpha = (262+10\alpha, 282-10\alpha) \\
\widetilde{229} &= (219, 229, 239) & \text{ve} & \quad \widetilde{229}_\alpha = (219+10\alpha, 239-10\alpha) \\
\widetilde{354} &= (344, 354, 364) & \text{ve} & \quad \widetilde{354}_\alpha = (344+10\alpha, 364-10\alpha) \\
\widetilde{305} &= (295, 305, 315) & \text{ve} & \quad \widetilde{305}_\alpha = (305+10\alpha, 315-10\alpha) \\
\widetilde{137} &= (127, 137, 147) & \text{ve} & \quad \widetilde{137}_\alpha = (127+10\alpha, 147-10\alpha) \\
\widetilde{112} &= (102, 112, 122) & \text{ve} & \quad \widetilde{112}_\alpha = (102+10\alpha, 122-10\alpha) \\
\widetilde{163} &= (153, 163, 173) & \text{ve} & \quad \widetilde{163}_\alpha = (153+10\alpha, 173-10\alpha) \\
\widetilde{126} &= (116, 126, 136) & \text{ve} & \quad \widetilde{126}_\alpha = (116+10\alpha, 126-10\alpha) \\
\widetilde{20} &= (10, 20, 30) & \text{ve} & \quad \widetilde{20}_\alpha = (10+10\alpha, 30-10\alpha) \\
\widetilde{24} &= (14, 24, 34) & \text{ve} & \quad \widetilde{24}_\alpha = (14+10\alpha, 34-10\alpha) \\
\widetilde{103} &= (93, 103, 113) & \text{ve} & \quad \widetilde{103}_\alpha = (93+10\alpha, 113-10\alpha) \\
\widetilde{123} &= (113, 123, 133) & \text{ve} & \quad \widetilde{123}_\alpha = (113+10\alpha, 133-10\alpha) \\
\widetilde{57} &= (47, 57, 67) & \text{ve} & \quad \widetilde{57}_\alpha = (47+10\alpha, 67-10\alpha) \\
\widetilde{69} &= (69, 79, 89) & \text{ve} & \quad \widetilde{69}_\alpha = (69+10\alpha, 89-10\alpha) \\
\widetilde{27} &= (17, 27, 37) & \text{ve} & \quad \widetilde{27}_\alpha = (17+10\alpha, 37-10\alpha) \\
\widetilde{28} &= (18, 28, 38) & \text{ve} & \quad \widetilde{28}_\alpha = (18+10\alpha, 38-10\alpha)
\end{aligned}$$

4.5. İplik Üretim Sistemi Kullanılabilirlik Hesaplamaları

(3.13.), (3.14.) , (3.15.) ve (3.16.) eşitlikleri dikkate alınarak iplik imalat-1 sürecine ait yetmezlik ve tamir sürelerinin dağılım parametreleri belirlenmiştir. Örneğin iplik imalat-1 sürecinin makineden kaynaklanan yetmezlik süresi dağılım paramatresi:

$$\widetilde{\lambda}_\alpha^L = \frac{1+2}{(1287+100\alpha)+(1205+100\alpha)+(281+10\alpha)}$$

$$\widehat{\lambda_{\alpha}^U} = \frac{1+2}{(1487-100\alpha)+(1405-100\alpha)+(301-10\alpha)}$$

$\alpha=0.95$ olmak üzere, [0.00100, 0.00101] aralığında belirlenmiştir. Aynı şekilde iplik imalat-1 sürecinin makineden kaynaklanan yetmezliğin tamir süresi dağılım parametresi:

$$\widehat{\mu_{\alpha}^L} = \frac{1+2}{(110+10\alpha)+(71+10\alpha)+(10+10\alpha)}$$

$$\widehat{\mu_{\alpha}^U} = \frac{1+2}{(130-10\alpha)+(91-10\alpha)+(30-10\alpha)}$$

[0.01345, 0.01363] aralığında belirlenmiştir.

İplik imalat süreci için tahmin edilen parametre değerleri Tablo 4.10. ve Tablo 4.11.'da verilmiştir.

Tablo 4.10. İplik imalat-1 sürecine ait yetmezlik ve tamir sürelerinin dağılım parametrelerinin tahmin edilen değer aralıkları.

Yetmezlik Grubu	Makine	Malzeme Tedarik	Yönetim Personel	Hazırlık
Yetmezlik parametresi	[0.00100, 0.00101]	0.00003	0.00005	0.00044
Tamir parametresi	[0.01345, 0.01363]	0.00203	[0.00536, 0.00539]	[0.01084, 0.01096]

Tablo 4.11. İplik imalat-2 sürecine ait yetmezlik ve tamir sürelerinin dağılım parametrelerinin tahmin edilen değer aralıkları.

Yetmezlik Grubu	Makine	Malzeme Tedarik	Yönetim Personel	Hazırlık
Yetmezlik	[0.00097,	0.00003	0.00005	0.00048

parametresi	0.00098]			
Tamir parametresi	[0.01174, 0.01188]	[0.00193, 0.00194]	[0.00411, 0.00413]	[0.00943, 0.00952]

Yetmezlik gruplarına ait λ ve μ parametrelerinin tahmin edilmesinden sonra her bir gruba ait kullanılabilirlik değerleri, eşitlik (3.17.) ve (3.18.) ile belirlenir. İplik imalat-1 süreci makine yetmezlik grubu kullanılabilirlik değeri;

$$\widehat{A}_x^L = \frac{0.01363}{0.00101+0.01363}$$

$$\widehat{A}_x^U = \frac{0.01345}{0.00100+0.01345}$$

[0.93063, 0.93105] aralığındadır. Diğer yetmezlik gruplarının kullanılabilirlik değerleri Tablo 4.12. ve Tablo 4.13.'de verilmiştir.

Tablo 4.12. İplik imalat-1 süreci için belirlenen kullanılabilirlik değer aralığı.

Yetmezlik Grubu	Makine	Malzeme Tedarik	Yönetim Personel	Hazırlık
Kullanılabilirlik değer aralığı	[0.93063, 0.93105]	0.98359	[0.99018, 0.99020]	[0.96102, 0.96131]

Tablo 4.13. İplik imalat-2 süreci için belirlenen kullanılabilirlik değer aralığı.

Yetmezlik Grubu	Makine	Malzeme Tedarik	Yönetim Personel	Hazırlık
Kullanılabilirlik değer aralığı	[0.92349, 0.92384]	0.98588	[0.98756, 0.98756]	[0.95145, 0.95174]

Makine, malzeme tedarik, yönetim personel ve hazırlıktan kaynaklanan yetmezlikler sürecin toplam yetmezliğini oluşturmakta, seri olarak modellenerek analizler yapılmaktadır. Eşitlik (3.22.) ve (3.23.) ile hesaplamaları yaparak iplik imalat-1 sürecinin kullanılabilirlik değer aralığını belirleyelim.

$$\bar{A}_x^{\bar{L}} = 0.93105 \times 0.98359 \times 0.99020 \times 0.96131$$

$$\bar{A}_x^{\bar{U}} = 0.93063 \times 0.98359 \times 0.99018 \times 0.96102$$

İplik imalat 1 ve 2 süreçleri kullanılabilirlik aralıkları sırasıyla, [0.87105, 0.87171] ve [0.85547, 0.85606] olarak hesaplanmıştır. İplik imalat-1 ve iplik imalat-2 süreçleri paralel bağlı olup genel iplik imalat sürecini oluşturmuştur. Paralel süreçlerin güvenilirliği eşitlik (3.29.) ve (3.30.)'den faydalanılarak belirlenebilir. İplik imalat süreci kullanılabilirliği;

$$\bar{A}_x^{\bar{L}} = 1 - (1 - 0.87171) \times (1 - 0.85606)$$

$$\bar{A}_x^{\bar{U}} = 1 - (1 - 0.87105) \times (1 - 0.85547)$$

eşitlikleri ile hesaplanarak [0.98136, 0.98153] aralığında tespit edilir. Bu şekilde diğer süreçlerin ve sistemin kullanılabilirlik değer aralıkları bulunur. Tablo 4.14., 4.15., 4.16. ve 4.17. kullanılabilirlik değerlerini göstermektedir.

Tablo 4.14. İplik imalat süreci kullanılabilirlik değerleri.

Alt Süreçler	İplik İmalat-1	İplik İmalat-2
Kullanılabilirlik Değer Aralığı	[0.87105, 0.87171]	[0.85547, 0.85606]
Ana Süreç	İplik İmalat	
Kullanılabilirlik Değer Aralığı	[0.98136, 0.98153]	

Tablo 4.15. Büküm süreci kullanılabilirlik değerleri.

Alt Süreçler	Büküm-1	Büküm-2	Büküm-3
Kullanılabilirlik Değer Aralığı	[0.94622, 0.94632]	[0.94825, 0.94870]	[0.95297, 0.95342]
Alt Süreçler	Büküm-4	Büküm-5	Büküm-6
Kullanılabilirlik Değer Aralığı	[0.91515, 0.91473]	[0.92004, 0.92174]	[0.92298, 0.92450]
Ana Süreç	Büküm		
Kullanılabilirlik Değer Aralığı	1.00000		

Tablo 4.16. Termofiksaj veya ratine etme (T/R) süreci kullanılabilirlik değerleri.

Alt Süreçler	T/R-1	T/R-2	T/R-3	T/R-4
Kullanılabilirlik Değer Aralığı	[0.91350, 0.91359]	[0.96144, 0.96152]	[0.95100, 0.95110]	[0.91818, 0.91835]
Ana Süreç	Termofiksaj veya Rafine Etme			
Güvenilirlik Değer Aralığı	0.99999			

Tablo 4.17. İplik üretim sistemi kullanılabilirlik değerleri.

Genel Süreçler	İplik İmalat	Büküm	T/R
Kullanılabilirlik Değer Aralığı	[0.98136, 0.750]	1.000	0.99999
Üretim Sistemi	İplik Üretim		
Kullanılabilirlik Değer Aralığı	[0.98135, 0.98152]		

İplik üretim sisteminin kullanılabilirlik değeri bir vardiya (8 saat) için [0.981, 0.982] aralığındadır.

Çalışmada güvenilirlik ve kullanılabilirlik değerlerinin tespitinde sadece makinelerden kaynaklanan yetmezlikler dikkate alınırsa aynı varsayımlar ve veriler ile güvenilirlik değeri [0.872, 0.873], kullanılabilirlik değeri ise [0.99469, 0.99475] aralığında belirlenmiştir. İplik üretim sisteminin süreç yetmezlikleri ve makine yetmezliklerinin ayrı ayrı dikkate alınması ile yapılan hesaplamaların sonuçları Tablo 4.18. verilmiştir.

Tablo 4.18. Süreç ve makine yetmezliklerinin ayrı ayrı dikkate alınması ile hesaplanan güvenilirlik ve kullanılabilirlik değerlerinin karşılaştırılması.

Yetmezlik Türü	Süreç Yetmezlikleri	Makine Yetmezlikleri
Güvenilirlik Değer Aralığı	[0.748, 0.750]	[0.872, 0.873]
Kullanılabilirlik Değer Aralığı	[0.981, 0.982]	[0.99469, 0.99475]

Analizlerin sonucunda da görüldüğü gibi süreç yetmezlikleri ve makine yetmezlikleri tabanlı olarak hesaplanan sistem güvenilirlikleri önemli ölçüde farklıdır. Kullanım amaçlarına uygun olarak hesaplamaların yapılması işletmeye doğru kararlar alma noktasında avantajlar sağlayacaktır. Örneğin makine bakım çalışmalarında makine yetmezliklerine bağlı olarak güvenilirlik ve kullanılabilirlik değerleri tespit edilmesi uygun olacak iken, üretim planlama ve kontrol çalışmalarında (teslim tarihlerinin belirlenmesi, malzeme temini vb.) süreç güvenilirliklerinin dikkate alınması gerekmektedir.

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bilimsel yazında çoğunlukla ele alınan ürün ve makine güvenilirliklerinin her ikisini de etkileyen, üretim planlama ve kontrol çalışmalarının daha etkin bir şekilde yapılmasına yardımcı olup, iç ve dış müşteri memnuniyetinin artırılmasını sağlayan üretim süreçlerinin güvenilirliğinin belirlenmesi çalışması üreticiler için günümüz rekabet koşullarında oldukça önemlidir. Güvenilirliğin çalışma ortamındaki belirsizlikleri dikkate alarak doğru bir şekilde tespit edilmesi şirketlerin başarısında etkili olacaktır. Proje çalışmasında üretim süreçlerinin güvenilirliklerinin belirlenmesine yönelik yeni bir modelleme yaklaşımı ortaya koyulmuştur.

Üretim süreç güvenilirliklerinin belirlenmesi yönelik geliştirilen modelleme yaklaşımı, imalat süreçlerinde, hammadde girişinden çıktının elde edilmesine kadar meydana gelen tüm yetmezlikleri dikkate almaktadır. Süreç güvenilirliklerinden yola çıkılarak tüm sistemin güvenilirliği belirlenebilir. Üretim ortamındaki bütün belirsizliklerin çözüme dâhil edilebilmesi ve gerçekçi sonuçların elde edilebilmesi için model çözümünde bulanık Bayesgil yöntemler kullanılmıştır. Kullanılan yöntem literatürde tamir edilemeyen sistemler için geliştirilmiştir. Ancak süreçler tamir edilebilir sistemlerdir. Tamir edilebilir sistemlerde hem güvenilirlik hem de tamir edilebilirlik durumlarını dikkate alan kullanılabilirlik analizleri de belirlenen varsayımlar altında bulanık Bayesgil yöntemleri ile yapılmıştır.

Bir iplik üretim tesisinde yapılan uygulama çalışması ile önerilen modelleme yaklaşımının uygulanabilirliği gösterilmiştir. İlk aşamada, işletmenin üretim süreçleri ve süreçlere ait yetmezlik verileri incelenmiştir. Yetmezlik verileri, tespit edilen yetmezlik sınıflarına göre gruplandırılarak önerilen yaklaşım doğrultusunda sistem modellenmiş, belirlenen varsayımlar altında bulanık Bayesgil yöntemi ile güvenilirlik ve kullanılabilirlik analizleri yapılmıştır. Geleneksel güvenilirlik analizlerinde olduğu gibi sadece makinelerden kaynaklanan

yetmezlikler dikkate alınarak da aynı çalışmalar yapılmıştır. Süreç yetmezlikleri ve makine yetmezliklerinin ayrı ayrı olduğu bu iki durum karşılaştırılmış ve aradaki fark ortaya koyulmuştur. Bakım planlama çalışmalarında makine yetmezlikleri, üretim planlama ve kontrol çalışmalarında ise süreç yetmezliklerinin dikkate alınarak güvenilirliklerin belirlenmesi yapılan planların gerçekleşme oranını artıracaktır.

KAYNAKLAR

1. Singpurwalla, N. D., Booker, J. B, Membership Functions and Probability Measures Sets, Journal of the American Statistical Association, 99, 467, Science Module pg. 867, Sep 2004.
2. Zadeh, L. A., Discussion: Probability Theory and Fuzzy Logic Are Complementary Rather Than Competitive, Technometrics, Vol. 37, No. 3, 271-276, August 1995.
3. Booker, J. M., Meyer, M. A., Uncertainty Quantification: Methods and Examples from Probability and Fuzzy Theories, Automation Congress, Proceedings of the 5th Biannual World, 13, 135-140, 2002.
4. Ross, T. J., Booker, J. M., Parkinson, W. J., Fuzzy Logic and Probability Applications Bridging the Gap, ASA-SIAM, 2003.
5. Wu, H., Fuzzy Reliability Estimation Using Bayesian Approach, Computers & Industrial Engineering, 46, 467-493, 2004.
6. Huang, H., Zuo, M. J., Sun, Z., Bayesian Reliability Analysis for Fuzzy Lifetime Data, Fuzzy Sets and Systems, 157, 1674-1686, 2006.
7. Sellers, K. A. F., Vague Coherent Systems, Ph.D Thesis, The George Washington University, Washington DC, 2001.
8. Wu, H., Bayesian System Reliability Assessment Under Fuzzy Environments, Reliability Engineering and System Safety 83, 277-286, 2004.
9. Wu, H.C., Fuzzy Bayesian System Reliability Assessment Based on Exponential Distribution, Applied Mathematical Modelling, 30, 509-530, 2006.
10. Tung, Y.K., Mays, L.W., Gullinane M.J., Reliability Analysis of Systems, Reliability Analysis of Water Distribution Systems, Book Chapter 9, 260-298, 1989.
11. Kiureghian, A. D., Ditlevsen, O.D., Song, J, Availability, Reliability and Downtime of Systems with Repairable Components, Reliability Engineering and System Safety, 92, 231-242, 2007.

12. Malada, A., Stochastic Reliability Modeling for Complex Systems, Ph.D. Thesis, University of Philosophy, Pretoria, 2006.
13. Sharma, R.K., Kumar, S., Performance Modeling in Critical Engineering Systems using RAM Analysis, Reliability Engineering and System Safety, 93, 891-897, 2008.
14. Merrick, J.R.W., Soyer, R., Mazzuchi, T.A., A Bayesian Semiparametric Analysis of the Reliability and Maintenance of Machine Tools, American Statistical Association and the American Society for Quality, Technometrics, Vol. 45, No. 1, 2003.
15. Langseth, H., Portinale L., Bayesian Networks in Reliability, Reliability Engineering and System Safety, 92, 92-108, 2007.
16. Bral, A., Gardner L., Availability Modeling for the Application of Manufacturing Equipment, Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, 2002.
17. Barringer, P., Bennett, T., Barringer & Associates, Inc., <http://www.barringer1.com/pr.htm>
18. Tuomaala, M., Conceptual Approach to Process Integration Efficiency, Ph.D. Thesis, Helsinki University of Technology, Helsinki, 2007.
19. Kusiak, A., Zakarian, A., Reliability Evaluation of Process Models, IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Part A, Vol. 19, No. 2, 268-275, 1996.
20. Barlow, R. E., Proschan, F., Statistical Theory of Reliability and Life Testing, Holt, Rinehart and Winston, Inc, New York, 1975.
21. ReliaSoft Corporation, <http://www.weibull.com/>, 1992-2009.
22. Martz, H. F., Waller, R. A., Bayesian Reliability Analysis, New York:Wiley, 1982.
23. He, L. P., Huang, H. Z., Du, L., Zhang X. D., Miao, Q., A Review of possibilistic approaches to reliability analysis and optimization in engineering design. Human-Computer Interaction. HCI Applications and Services, Lecture Notes in Computer Science, Volume 4553/2007.

24. Dunyak, J., Saad, I. W., Wunsch, D., A theory of independent fuzzy probability for system reliability. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 7, no. 2, 1999.
25. Lei, X. R., Ren, Z., Huang, W., Y., Chen, B. Y., 2005. Fuzzy reliability analysis of distribution systems accounting for parameters uncertainty. *Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Guangzhou, 18-21 August 2005.
26. Wu, H. C., Fuzzy reliability analysis based on closed fuzzy numbers. *Information Sciences*. 103, 135-159, 1997.
27. Reddy, R. K., Haldar, A., 1990. A random-fuzzy reliability analysis. *IEEE*, TH0334-3/90/0000/01 \$101 .00 0 1990.
28. Sharma, R. K., Kumar, D., Kumar, P., Fuzzy Modeling of System Behavior for Risk and Reliability Analysis, *International Journal of Systems Science*, Vol. 39, No. 6, 563–581, 2008.
29. Liu, Y., Tang, W., Zhao, R., Reliability and mean time to failure of unrepairable systems with fuzzy random lifetimes. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 15, No. 5, 2007.
30. Cai, K. Y., Wen, C. Y., Street Lighting Lamps Replacement: A Fuzzy Viewpoint, *Fuzzy Sets and Systems*, 37, 161–172, 1990a.
31. Cai, K. Y., Wen, C. Y., Zhang, M. L., Fuzzy Variables as a Basis for a Theory of Fuzzy Reliability in the Possibility Context, *Fuzzy Sets and Systems*, 42, 145–172, 1991a.
32. Cai, K. Y., Wen, C. Y., Zhang, M. L., Posbist Reliability Behavior of Typical Systems with Two Types of Failures, *Fuzzy Sets and Systems*, 43, 17–32, 1991b.
33. Cai, K. Y., Wen, C. Y., Zhang, M. L., Fuzzy Nature of Human Reliability Behavior. In G. E. Apostolakis (Ed.), *Probabilistic Safety Assessment and Management*. Amsterdam: Elsevier, 1991c.
34. Cai, K. Y., Wen, C. Y., Zhang, M. L., Fuzzy States as a Basis for a Theory of Fuzzy Reliability. *Microelectronics and Reliability*, 33, 2253–2263, 1993.

35. Cai, K. Y., Wen, C. Y., Zhang, M. L., Coherent Systems in Profust Reliability Theory. In T. Onisawa, & J. Kacprzyk (Eds.), Reliability and Safety Analyzes Under Fuzziness, 81–94, Heidelberg: Physica-Verlag, 1995.
36. Yadav, O. P., Choudhary, N., Bilen, C., Complex System Reliability Estimation Methodology in the Absence of Failure Data, Quality and Reliability Engineering International, 24, 745-764, 2008.
37. Viertl, R., On Reliability Estimation Based on Fuzzy Lifetime Data, Journal of Statistical Planning and Inference, 139, 1750-1755, 2009.
38. Zadeh, L.A., The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning-I, Information Sciences, 8, 199-249, 1975.
39. Zadeh, L.A., The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning-II, Information Sciences, 8, 301-357, 1975.
40. Zadeh, L.A., The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning-III, Information Sciences, 9, 43-80, 1975.
41. Kwakernaak, H., Fuzzy Random Variables I: Definitions and Theorems, Information Sciences, 15, 1-29, 1978.
42. Puri, M.L., Ralescu, D.A., Fuzzy Random Variables, Journal of Mathematical Analysis and Applications, 114, 409-422, 1986.
43. Zadeh, L.A., Fuzzy Sets, Inform. Control, 8, 338-353, 1965.
44. Birolini, A., Reliability Engineering Theory and Practice, Springer, Fifth Edition, August, 2007.