

**ÜRETİMDE BAKIM PLANLAMA İÇİN BÜTÜNLEŞİK BİR MODEL ÖNERİSİ
VE UYGULAMA**

Raheleh KHATIBI

Yüksek Lisans Tezi

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Haluk YAPICIOĞLU

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ağustos 2020

ÖZET

ÜRETİMDE BAKIM PLANLAMA İÇİN BÜTÜNLEŞİK BİR MODEL ÖNERİSİ VE UYGULAMA

Raheleh KHATIBI

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos 2020

Danışman: Doç. Dr. Haluk YAPICIOĞLU

Bütünleşik sistemlerle ilgili üretim planlamasında yeni yöntemler önermek veya halihazırda kullanılmakta olan yöntemleri geliştirmek, endüstri mühendisleri tarafından büyük ilgi görmektedir. Çoğu durumda, geliştirilen modeller bakım ve kalite kontrol parametrelerinin optimizasyon süreçlerini ayrı ayrı ele almaktır. Bununla birlikte, üretim planlama parametrelerini ve optimizasyon yöntemlerini daha iyi anlamak için hem bakım hem de kalite kontrolü aynı anda düşünülebilir ve bu da sektörün temel ihtiyaçlarını karşılayan bir modelle sonuçlanabilir. Bütünleşik bir optimizasyon modeli benimsenen ve geliştirmeye çalışılan bu tezde, bir üretim planlama problemini çözmek için sayısal bir örnek incelenmiştir. Tez kapsamında, biri minimum düzeltici bakım diğeri ise kusurlu önleyici bakım olmak üzere, iki tür bakım politikası (önleyici bakım ve onarıcı bakım), modeli geliştirmek için kullanılmıştır. Önerilen model, birim zaman başına toplam entegrasyon maliyetini azaltmak için numune büyüklüğü (n), örnekleme zaman aralığı (h), kontrol faktörü katsayısı (k) ve önleyici bakım zaman aralıkları (t_{PM}) olmak üzere dört farklı karar değişkeni kullanarak bir yöntem sunmaktadır. Önerilen modelin farklı model parametrelerinden ne kadar etkilendiğini incelemek için yapılan duyarlılık analizlerinin sonuçları da tartışılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Önleyici bakım, Kalite süreç politikası, Kalite kontrol, Bütünleşik model, Maliyet minimizasyonu.

ABSTRACT

A MODEL PROPOSAL FOR INTEGRATED MAINTENANCE IN PRODUCTION PLANNING AND AN APPLICATION

Raheleh KHATIBI

Department of Industrial Engineering

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, August 2020

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Haluk YAPICIOĞLU

Proposing new methods in production planning related to integrated systems or developing the currently used ones has been attracted great interest for industrial engineers. In most cases, models represent optimizing methods for maintenance or quality control parameters. However, in order to better understand production planning parameters and optimization methods, both maintenance and quality control could be considered simultaneously which results in a model that meets the essential needs of the industry. In this work, developing a joint optimization model and trying to improve it, a case study is performed to solve a production planning problem. Two types of maintenance strategies, one of which is the minimal corrective maintenance and the other is the imperfect preventive maintenance, has been taken into consideration to develop the model. The joint model proposes an improved method using four decision variables, i.e. sample size (n), sampling frequency (h), control limit coefficient (k) and preventive maintenance interval (t_{PM}) to minimize the total cost of the integration per unit time. Finally, using a numerical example, the effect of the cost parameters on the joint process and the sensitivity of the model to various problem parameters have been studied.

Keywords: Preventive maintenance, Process quality policy, Quality control, Integrated model, Cost minimization.

TEŞEKKÜR

Bu tezin her aşamasında sabır ve engin tecrübe ve derin bilgileri ile yanımda olan ve bana yol gösteren değerli danışmanım Doç. Dr. Haluk YAPICIOĞLU 'na sonsuz teşekkürler.

Sayın jüri üyeleri Prof. Dr. Nihal ERGİNEL ve Prof. Dr. İnci SARIÇİÇEK hocalarıma bana daha da iyi olabilmek yolunu gösterdiklerinden dolayı teşekkürlerimi sunuyorum.

Her zaman arkadaşlığı ve yardımları ile yanımda olan sevgili Mohsen arkadaşına teşekkür etmeyi kendime borç bilirim.

Ve son olarak canım aileme hayatım boyunca beni koruyup kollayıp, destek çıkıp ve yardım ettikleri için minnettarım.

Raheleh KHATIBI

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Raheleh KHATIBI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI.....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Kalite Kontrol	3
2.1.1. Kalitenin tanımı ve boyutları	3
2.1.2. Kalite mühendisliği ve kalite mühendisliğinde kullanılan terimler	4
2.2. Bakım Tarihçesi	6
2.2.1. Önleyici Bakım	7
2.2.2. Bakım sisteminin iyileştirilmesinde bazı etkili çözümler	8
2.3. Bütünleşik Model Literatürünün Gözden Geçirilmesi	10
2.3.1. Üretim, kalite ve bakım ilişkisi.....	11
2.3.2. Kalite ve üretim	12
2.3.3. Bakım ve üretim	14
2.3.4. Bakım ve kalite	18
3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ	21
3.1. Modelin Varsayımları.....	21
3.2. Maliyet Modelleri.....	24
3.2.1. Tip1 hata modu için onarıcı bakım maliyet modeli.....	25

3.2.2. Önleyici bakım için maliyet modeli.....	26
3.2.3. Arızalı süreçten kaynaklanan kalitesizlik nedeniyle oluşan maliyet modeli	27
3.2.4. Kalite kontrol süreci maliyet modeli elde etmek	27
3.2.5. Proses uzunluğunun hesaplanması	29
3.2.6. Proses ve makine arıza oranları.....	32
3.2.7. Ortalama kilitlenme sayısını önleyici bakım aralıklarının bir fonksiyonu olarak hesaplanması.....	33
4. VERİ TOPLAMA VE ANALİZİ	35
4.1. Bakım Modelleri.....	35
4.2. Kalite Kontrol Modeli.....	36
4.3. Modeli Sayısal Veriler Üzerinde Çalıştırma	37
4.4. Toplam Maliyet Fonksiyonu ve Karar Değişkenlerinin Duyarlılık Analizi	37
4.5. Verilerin Bağımsız Modele Uygulanması.....	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	40
KAYNAKÇA	43
EKLER	50
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 4.1. Verilen problem parametrelerinin değeri	37
Tablo 4.2. + (%10) ve + (%20) Seviyelerinde bazı problem parametrelerindeki değışikliklerin özeti.....	37
Tablo 4.3. Karar değışkenlerinin ve amaç fonksiyonu değeri +(%10) ve + (%20) seviyelerinde	38



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

CM	: Corrective Maintenance
CTQ	: Critical To Quality
ELSP	: Economic Lot-Scheduling Problem
EMQ	: Economic Manufacturing Quantity
EPQ	: Economic Production Quantity
MRP	: Material Requirements Planning
MTBF	: Mean Time Between Failures
PM	: Preventive Maintenance
TBM	: Time Based Maintenance

1. GİRİŞ

Üretimde zamanlama konusu planlamacılar ve araştırmacılar için her zaman en önemli ve genişletilebilir konulardan biri olmuştur. Bu konuda günümüze kadar pek çok çalışma yapılmış ve birçok araştırmacı üretim planlamasının optimizasyonu için pek çok farklı model önermiştir. Özellikle tek makineli sistemlerde üretimin çizelgelenmesi konusu çizelgeleme problemleri içinde önemli bir yer tutmuştur. Bu konunun yanı sıra önleyici bakım (Preventive Maintenance-PM) ve onarıcı bakım (Corrective Maintenance-CM) gibi konular da literatürde kendine yer bulmuştur. Önleyici bakım ile onarıcı bakım çalışmalarının ne zaman yapılması gerektiği konusu da araştırmacılar için her zaman merak konusu olmuştur. Burada temel soru “Makinada bakım çalışması ne zaman yapılır?” şeklinde ortaya çıkar.

Öte yandan, makinelerde üretilen ürünlerin kalite kontrolü konusu da kalite kontrolörleri tarafından ele alınmaktadır. Kalite standartlarına uygun olarak üretilen ürünün müşteri beklentilerini karşılayıp karşılamadığı, amaçlanan beklenti ve değerlerle uyumlu olup olmadığı, sistemin kontrolde olup olmadığı, üretim sisteminin hangi nedenden dolayı kontrolden çıktığı ve tekrardan nasıl kontrol altına alınabileceği gibi sorular uzmanları hep meşgul etmiştir. Üretilen ürünün kalite kontrolüyle ilişkili maliyetleri en aza indirmek için kontrol grafiğinin optimal parametrelerinin belirlenmesi ve tasarlanması, kalite yöneticilerinin kalite kontrol faaliyetlerini planlarken dikkate alması gereken bir diğer konudur. Bu iki konunun, yani bakım ve kalite kontrolün önemi, üretim tartışmasında göz ardı edilemez ve üretimde bu iki faaliyetin dikkate alınmaması üretimde kesintiler, makinelerin eskime maliyetlerinin artışı, üretilen ürünün kalitesinin düşüklüğü, ürün iadesinin ve müşteri memnuniyetsizliğinin artışı gibi birçok soruna yol açabilir.

Bu amaçla, bu iki konuda birçok model önerilmiş ve geliştirilmiştir. Bu modellerin hedefi bakım tartışmasında, makine onarım maliyetleri ve işçilik maliyetleri gibi maliyetleri en aza indirmek amacıyla önleyici ve/veya onarıcı bakımın uygulanması için uygun bir zaman aralığı elde etmektir. Kalite kontrol konusunda bir diğer amaç ise kontrol maliyetlerini en aza indirmek için kullanılacak kontrol şemalarının parametrelerinin en uygun şekilde belirlenmesi olarak tanımlanır.

Bununla birlikte, son çalışmalar, bakım ve kalite kontrolün önemli ilişkilere ve karşılıklı bağımlılıklara sahip olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, bu iki faaliyeti birlikte

ve birbirleriyle bağımlı düşünmek daha mantıklı olabilir. Aslında, aralarındaki ilişki göz önüne alındığında, bu iki faaliyeti birbirinden bağımsız olarak ele almanın iyi sonuç vermeyeceği de açıktır. Bu konu ile ilgili olarak son yıllarda araştırmacılar tarafından birçok bütünleşik model geliştirilmiştir. Bu modellerin çoğunda, bakım faaliyetlerinin, üretim zamanlamasının ve kalite kontrolün bütüncül bir yaklaşımla ele alınması araştırılmış ve bu üç faaliyetin bütüncül olarak ele alınması sonucunda her bir faaliyetin diğerlerinden bağımsız olarak ele alınmasından daha iyi sonuçlar elde edildiği raporlanmıştır. Bütünleşik modeller hakkındaki çoğu makalede, bu karşılaştırmalar yapılmış ve bu üç faaliyet birlikte ele alındığında işletmelere maliyetlerinin daha az olduğu gösterilmiştir.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde kalite kontrol ve bakım faaliyetlerinin tarihsel gelişimi ve bütünleşik modelleri araştırılmış ve bu konular hakkında yapılan çalışmalar incelenmiştir.

2.1. Kalite Kontrol

Kalite kontrol, eldeki sonuçlar ile ürün ya da hizmetten beklenen ve belirlenen özellikleri kıyaslama ve gerekli olduğunda düzeltici önlemleri alma süreci olarak ifade edilebilir.

2.1.1. Kalitenin tanımı ve boyutları

Kalite ihtiyaçlara göre farklı şekillerde tanımlanabilir. Bu çalışma kapsamında kalite, bir ürün ya da hizmetin istenen, belirlenen ya da olabilecek ihtiyaçları karşılayabilme özelliklerinin toplamı olarak tanımlanmıştır. Kalite, mevcut ürün ve hizmetler arasında seçim yaparken müşterinin karar vermesinde en önemli faktörlerden biri haline gelmiştir. Bu tutum tüketicinin ötesinde bireylere, sanayi kuruluşlarına, perakendecilere, bankalara, ve hatta finansal kuruluşlara kadar yayılmıştır ve hemen her toplumda yaygın hale gelmiştir.

Bir ürünün kalitesi farklı şekillerde tanımlanabilir ve değerlendirilebilir. Kalitenin çeşitli boyutlarının ayrılması esastır. Garvin (Garvin, 1987), bileşenlerin veya kalitenin sekiz boyutunu nispeten kapsamlı bir şekilde aşağıdaki gibi belirlemiştir:

1. Performans (Ürün istenen işi yapabilir mi?) Potansiyel müşteriler genellikle bir ürünü farklı işlevler ve bu işlevlerin her birinin nasıl çalıştığı açısından değerlendirir.
2. Güvenilirlik (Ürün ne sıklıkla bozulur?) Çoğu ev aleti, araba veya uçak gibi karmaşık ürünlerin kullanım ömürleri boyunca bozulduğunda onarılması gerekecektir.
3. Dayanıklılık (Ürün ne kadar dayanır?) Dayanıklılık, ürünün kullanım ömrüdür. Tüketiciler nispeten uzun bir süre boyunca tatmin edici bir şekilde performans gösteren ürünler talep ederler.
4. Onarım kapasitesi (Ürün ne kadar kolay onarılabilir?) Çoğu endüstride, müşterinin kalite görüşü onarım veya bakım faaliyetlerinin hızından ve maliyetinden doğrudan etkilenir.

5. Güzellik (Ürün nasıl görünüyor?) Bu boyut, şekil, renk, model, paketlenme yöntemi, dokunsal özellikler ve diğer benzer özellikler gibi faktörleri dikkate alarak ürünün görünümünün kalitesini tanımlar.

6. Özellikler (Ürün ne yapar?) Müşteriler genellikle farklı özelliklere sahip olan ve bu konuda kaliteli ürünler olarak rakiplerin ürünlerinden daha üstün olan ürünleri tercih ederler.

7. Algılanan kalite (Ürünün veya şirketin itibarı nedir?) Çoğu durumda, müşteri, ürün kalitesi açısından kuruluşun itibarına güvenerek ürünü satın alır. Bu itibar, ürünün görünür hasarından veya üreticinin büyük onarım çağrılarından ve kalite sorununu bildirirken müşteriyle nasıl iletişim kurulduğundan doğrudan etkilenir. Ürünün algılanan kalitesi, şerefiye ve müşteri tarafından yeniden satın alınması ile yakından ilişkilidir.

8. Standartlara uygunluk (Ürün tasarımcının tam olarak istediği şekilde yapılmış mıdır?) Genellikle önceden belirlenmiş gereksinimleri karşılayan kaliteli ürünler müşteriler tarafından daha fazla tercih edilir.

2.1.2. Kalite mühendisliği ve kalite mühendisliğinde kullanılan terimler

Her ürün, kullanıcının veya tüketicinin kaliteli olarak nitelediği özellikleri ortaklaşa tanımlayan unsurlardan oluşur. Bu unsurlar (parametreler) bazen de Kritik Kalite Özellikleri (Critical-to-Quality-CTQ) olarak adlandırılırlar. Bu parametrelerin bazıları nitel iken bazıları da nicel olabilir. Örneğin bir ürünün fiziksel özellikleri olarak tanımlanan ve uzunluk, ağırlık, voltaj gibi ölçülebilen unsurları nicel kalite özellikleri olarak değerlendirilirken, tat, görünüm, renk gibi duysal özellikleri nitel kalite özellikleri olarak değerlendirilir. Bunların yanında kalite özelliklerinin güvenilirlik, dayanıklılık ve onarılabirlik gibi zaman boyutuna karşılık gelen yönleri de mevcuttur. Çeşitli kalite özelliklerinin, bir önceki bölümde tartışılan kalitenin boyutları ile doğrudan veya dolaylı olarak ilişkili olabileceğine dikkat edilmelidir.

Kalite mühendisliği, bir işletmenin bir ürünün kalite özelliklerinin nominal veya istenen seviyelerde olmasını ve istenen seviyelerdeki dağılımının asgari düzeyde olmasını sağlamaya çalıştığı bir dizi operasyonel, yönetsel ve mühendislik faaliyetleri bütünüdür.

Çoğu kuruluş için, müşterinin beklentilerine tam olarak uyan aynı kalite özelliklerine veya seviyelerine sahip ürünler sunmak zor ve maliyetlidir. Saçılım, ürün eşitsizliğinin ana nedenlerinden biri olarak gösterilebilir. Her üründe biraz saçılma

olduğundan iki ürün tamamen aynı değildir. Saçılma sadece istatistiki olarak tanımlanabildiğinden, kalite geliştirme faaliyetlerinde istatistiksel yöntemler önemli bir rol oynamaktadır. Kalite mühendisliğinde istatistiksel yöntemlerin uygulanmasında, nicel özellikler genellikle tanımlayıcı veya değişken veriler olarak sınıflandırılır. Değişken veriler genellikle uzunluk ve voltaj gibi sürekli ölçümleri içerir. Öte yandan, tanımlayıcı veriler genellikle sayısal olarak kabul edilen ayırık verilerdir. Örneğin, bilgi eksikliği nedeniyle süreci engelleyen kredi başvurularının sayısı veya hastaneye yatırılan ancak tıbbi bakım almak için 30 dakikadan fazla beklemek zorunda kalan acil durum hastalarının sayısı ayırık verilere örnek olarak gösterilebilir (Jones ve Conerly, 1999).

Niceliksel özellikler genellikle teknik özelliklerle karşılaştırılarak değerlendirilir. Üretilen bir üründe, ürünü oluşturan parçaların ve montajların altındaki kalite karakteristikleri için istenen boyutların yanı sıra nihai ürünün kalite karakteristikleri için istenen değerler teknik özellikler olarak belirtilebilir. Örneğin, aracın şanzımanında kullanılan şaftın çapı, yatağa sığmayacağından veya gevşeklik, titreşim ve erken arızaya neden olacağından çok büyük veya çok küçük olamaz. Hizmet sektöründe teknik spesifikasyonlar genellikle bir siparişin tamamlanması veya belirli bir hizmetin sağlanması için geçen maksimum süreye göre tanımlanır.

Niceliksel bir özelliğin ideal değerine karşılık gelen ölçülen miktar, nominal değeri veya hedef olarak adlandırılır. Bu hedef değerlerin genellikle alt ve üst sınırları vardır ve bu sınırların, performansı olumsuz etkilemeyecek şekilde hedef değere yeterince yakın olması gerekir. Bu sınırlar genellikle ürünün tasarım sürecinin sonucudur. Tipik olarak, tasarım mühendisleri bir ürünü mühendislik ilkelerine göre tasarlar ve kritik parametre değerleri genellikle tasarımcı tarafından belirlenir.

Tasarım yaklaşımı kullanıldığında ürün ile ilgili kalite sorunları genellikle daha fazladır. Bu yaklaşımda, karakteristik aralıklar genellikle malzemelerin, işlemlerin ve sistemin diğer bölümlerinin doğal dağılımından bağımsız olarak belirlenir ve bu muntazam olmayan parçaların veya ürünlerin üretimine yol açar. Düzgün olmayan ürünler, özelliklerinin bir veya daha fazlası beklenen özelliklerle uymayan ürünlerdir. Bir ürünün bir veya daha fazla kusuru varsa kusurlu olduğu belirtilir. Bu kusurlar, ürünün güvenli veya etkili kullanımını önemli ölçüde etkileyen çok ciddi tutarsızlıklar oluşturur. Üretici tarafından bu kusurlara yol açan üretim süreçlerini iyileştirmek için uygun

eylemlerin bulunamamasının, uygunsuzlukların veya kusurların üretimine yol açabileceği açıktır.

2.2. Bakım Tarihçesi

Bakım bilgisi tarihsel evrimi sırasında çeşitli değişikliklere uğramıştır. Bu bölümde, bu değişim süreci incelenmiş ve buna dayanarak, bakım alanındaki gelişmelerin tarihsel seyri üç ana döneme ayrılmıştır.

Birinci periyod: Araştırmalar bakım ve onarım faaliyeti uygulamaları ile ilgili ilk adımların İkinci Dünya Savaşı'ndan önceki yıllarda atıldığını göstermektedir. O günlerde, endüstri günümüzde olduğu kadar mekanize olmamıştı, bu nedenle makinelerin ani arızaları ve duruşları üretimde yer alanlar için ciddi bir sorun yaratmıyordu. Başka bir deyişle, çoğu yöneticinin ve mühendisin zihninde bir kusurun ortaya çıkmasının önlenmesi mantıklı değildi veya en azından bunu yapma ihtiyacı hissetmiyordu. Buna ek olarak, çoğu makine ve üretim ekipmanı, çalışmayı ve onarmayı kolaylaştıran nispeten basit tasarımlara sahipti. Sonuç olarak, bu dönemde sistematik bakım kullanmaya gerek yoktu ve çoğu işletme, yalnızca arıza oluştuğunda cihazları veya ekipmanları inceleme veya onarım yapma ihtiyacı duyuyordu.

İkinci periyod: İkinci Dünya Savaşı sırasında her şey değişti. Savaşın baskıları çeşitli ürünlere olan talebi arttırırken, sanayinin insan kaynakları keskin bir şekilde azaldı. Bu durum mekanizasyonun artmasına neden oldu. 1950'ler, mekanize makinelerin tasarım ve üretiminde patlama yılı olarak adlandırılabilir ve bu günler endüstrinin mekanize ekipman ve otomasyona bağımlılığının başlangıcı oldu.

Otomasyon arttıkça, makine arızası konusu daha da önem kazandı. Bir süre sonra, arızalanma sürecinin artışı, ürünlerin miktarını ve kalitesini gölgede bırakacak ve işletme sahipleri için memnuniyetsizliğe neden olacak hale geldi. Bu hoş olmayan sürecin devam etmesi, yöneticiler ve uzmanların, artan kusur eğilimini önlemek için uygun bir çözüm arayışına gitmelerine yol açtı.

Bu arada, Amerika Birleşik Devletleri'nde Önleyici Bakım Yaklaşımı (Preventive Maintenance – PM) geliştirilerek uygulamaya alındı. İşletmelerin pazarda rekabet gücünü artırmak için yüksek kaliteli ürünleri makul fiyatlara üretme ihtiyacı, PM yaklaşımının kullanımında bir patlamaya yol açtı.

1950'ler boyunca, önleyici bakım endüstrinin yeni ihtiyaçlarını karşılamak için yavaş yavaş gelişti. Bu bağlamda, üreticinin bakım sistemi 1954'te Amerikan endüstrisine tanıtıldı. Bu sistemde, farklı istatistik ve olasılık teknikleri ve yöneylem araştırması, simülasyon, mühendislik ekonomisi, kuyruk teorisi ve diğer analitik yaklaşımlarla, farklı cihaz ve ekipman türleri için teknik ve modeller geliştirildi ve alandaki uzmanlar oluşabilecek arızaları önceden tahmin edebildiler, böylece bakım için planlama yapılabilirdi.

1960'lar endüstride verimli bakım kullanımının genişletilmesi on yılı olarak adlandırılabilir. Onarımdan bağımsız bakım, güvenilirlik mühendisliği ve onarım kabiliyeti mühendisliğinin (1962) tanıtılması, bu on yılda yürütülen araştırmaların sonuçlarıdır.

Üçüncü periyod: Bir yandan endüstriyel makine ve otomasyon yatırımlarının, diğer yandan da finansal ve ekonomik değerlerinin artması, yöneticileri ve işletmeleri imalatla kullanılan ekipmanların hizmet ömrünü daha da artıracak mantıklı çözümler arayışına itmiştir. Makinelerin verimliliğini artırmak ve ürünlerin kalitesini iyileştirmenin yanı sıra bakım maliyetlerini ve çevreye verilen zararı azaltmak, bakım ve onarım alanında yeni gelişmelere yol açan unsurlar olmuştur.

2.2.1. Önleyici Bakım

Önleyici bakım, makine bileşenlerinin beklenmeyen arızalarını önlemek ve makinelerin acil duruşlarını azaltmak amacıyla gerekli bakım işlerini gerçekleştirmek için uygulanan planlama ve zamanlama bazlı bir yaklaşımdır. Önleyici bakım faaliyetleri ilgili bakım faaliyetinin hangi sıklıkla yapılacağına göre planlandığı ve uygulandığı için bu faaliyet kategorisi için Zaman Bazlı Bakım (Time Based Maintenance-TBM) terimi de kullanılmaktadır. Önleyici bakım faaliyetleri, (1) Makine bileşenlerinin beklenmeyen arızalarını önleme amacıyla yapılan, temizleme ve yağlama, (2) Acil duruşların azaltılması için önceden belirlenmiş bir programa uygun olarak periyodik onarım ve değiştirme işlemlerini içerir.

Yıllar geçtikçe, çoğu işletmede yönetimin tüm odak noktası üretim faaliyetlerine kaymış ve bakım konusu gereksiz bir faaliyet olarak görülmüştür. Bu tutum, bakım faaliyetlerinin ihmal edilmesine yol açmıştır. Ancak son yıllarda, organizasyon politikaları ve iş gereksinimleri, yöneticilerin bakım faaliyetlerine daha fazla dikkat

etmelerini sağlamıştır. Bunun temel nedenlerinden biri, kuruluşlardaki bakım maliyetlerinin ana maliyetlerden biri olmasıdır.

2.2.2. Bakım sisteminin iyileştirilmesinde bazı etkili çözümler

Bir işletmede bakım sisteminin varlığı ve başarılı bir şekilde sürdürülebilmesi için gerekli adım ve yaklaşımlar aşağıda özetlenmiştir:

Alışkanlık ve tekniklerdeki değişim: İmalat şirketlerinin bakım birimlerinden en iyi deneyimleri elde etmek ve örgütsel birimleri karlı işlere yönlendirmek için kurumun alışkanlıkları ve çalışma tekniklerinde önemli değişiklikler yapılması gerekmektedir. Örgütsel ve teknik değişiklikler yalnızca belirli bir dönem için gerçekleşirse, değişiklik döngüsü iyi gitmeyebilir ve daha sonra kuruluş, bakım deneyimini içselleştiremeden eski rutinine geri döner.

Değişiklikleri anlamak: Birçok insan değişimden korkar ve bu nedenle ona direnir. Önemli olan, herkesin değişime ihtiyaç konusunda ikna olmasıdır ve ancak o zaman kuruluşun değişimin gerçek başarısına ulaşmasına yardımcı olurlar. Bir kuruluş, üretim veya bakım organizasyonunu dünya standartlarında bir seviyeye getirmeye karar verirse, bunun için öncelikle kalıcı bir çalışma programı oluşturması gerekir. Hazırlanan çalışma planının kuruluşun üst düzey yöneticileri tarafından gözden geçirilmesi ve onaylanması da zorunludur. Bu ortak anlayış oluştuktan sonra, üretim ve bakım yöneticileri önerilen değişiklikleri olabildiğince çabuk uygulamak için her türlü çabayı göstermelidir.

Eğitim: Kurumsal dönüşüm programının tüm aşamalarında, dünya standartları seviyesine ulaşmak için özel eğitim programlarına yer verilmelidir. Yeni fikirler oluşturmak için iş geliştirme kontrolü ve eğitim oturumları önemlidir. Bunu anlatmak için personele temel çalışma yöntemlerini olabildiğince yalın bir şekilde açıklamak gerekir.

Öte yandan, kurumun sorunlarını incelemek ve çözmek için çalışanlara problem çözme yöntemlerini öğretmek ve yeni standartlar tamamen karşılanana kadar bu faaliyetlere devam etmek gerekir. Şirket personeli, mevcut bilgileri sistematik olarak analiz edebilmek için bilimsel yöntemleri ve problem çözme becerilerini öğrenmelidir. Sorun çözme yönteminin kurum genelinde standart bir faaliyet olduğu, daha ileri araştırma gerektiren sorunları analiz etmek için çeşitli becerilerin yer aldığı bir organizasyon sisteminin geliştirilmesine özen gösterilmelidir. Farklı disiplinlerden gelen

insanlardan oluşan problem çözme ekiplerinin, gerektiğinde yeni eğitim ve yetenekler edinmelerine yardımcı olmak için uzmanlardan faydalanılabilir.

Varlık yönetimi (Asset management): Tüm ekipman ve cihazlar büyük ekipman yapıları veya varlık merkezleri şeklinde düzenlenmelidir. Bir varlık merkezi, belirli bir ürünü veya ürün grubunu üretmek için bir araya getirilmiş bir makineler grubudur. Bu varlık merkezlerinin her biri bir maliyet merkezi olacağından tüm personel ve ekipman maliyetlerinin de bu maliyet merkezi temelinde hesaplanması gerekir. Maliyet merkezlerinin maliyet tasarrufu ve trend kontrolü açısından izlenmesi gerekir. Bunun için de gerçekleştirilen tüm operasyonlar için bakım ve onarım maliyetlerinin ilgili maliyet merkezinde tutulması gerekir.

Stok ve depo kontrolü: Kuruluşun deneyimindeki önemli değişikliklerden biri de deponun gözden geçirilmesi ve iyileştirilmesidir. Yedek parça ve aletlerin uygun ortamlarda depolanması, bakım ve onarım personelinin temel endişelerinden biridir. Acil durumlar ve acil durum arızaları için yedek parçaların bulunması bakım sisteminin verimliliği açısından kritik öneme sahiptir. Bakım için yedek parçaların depolanmasında, bilimsel ve sistematik depolama kuralları kullanılmalı ve parçalara kolay erişim ve hızlı tanımlama gibi hususlar göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca, her bir ekipmanın bakımında kullanılan parçaların kaydı için çeşitli raporlar oluşturmak gerekir, böylece bu bilgilerin analizi ile bakım ünitesi daha arzu edilen sonuçlar elde edebilir. Son olarak, bakım için uygun bir depo oluşturmak gerekir. Parça, depolama, sayım, dağıtım ve hurdaya alma prosedürleri basit ve kolay talimatlar ile personelin kullanımına sunulmalıdır.

Onarıcı bakımlar: Ekipman ve varlıkları tanımladıktan sonra, net onarıcı bakım faaliyetlerini tanımlamak mümkün olacaktır. Bu aşamada iş ve bilgi kaydının tanımı, tanımlanan maliyet merkezleri ile ilişkili olacak şekilde yapılmalıdır. Saat ücreti, tüketilen malzeme ve parçalar, ihtiyaç duyulan parçaların siparişi ve diğer maliyet döngüleri ile ilgili hesaplamalar bu bilgilerle yapılır. Herhangi bir bakım çalışması için neyin (what), kim tarafından (whom), nerede (where), ne zaman (when) ve neden (why) yapıldığı hakkında soruların açık bir şekilde cevaplanması gerekir. Bu bilgileri toplamak için, raporun yanı sıra bunlarla ilgili tüm kayıtları ve ayrıntıları saklamak ve günlük bilgi girişlerinin doğruluğunu gözden geçirmek gerekir. Birçok durumda, küçük düzeltmeler gibi günlük faaliyetlerin detaylarının doğru ve eksiksiz olarak kaydedilmesi önemlidir. İş

emri sisteminde planlama, sistemin temel öğelerinden biridir. Programcı ekipmana zaman, malzeme ve insan gücü ayırabilmelidir. Programlama ünitesi, bakım çalışmalarının belirlenen zaman dilimi içerisinde yapılacağı ve üretim ve bakım sisteminin ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde çalışmalıdır.

Önleyici bakımlar: Tanımlanan PM programının, gereksinimleri ve etkinliği karşılayabildiğinden emin olmak için gözden geçirilmesi önemlidir. Programlı olmayan ve sıklıkla duran ekipmanların çokluğu, tanımlanan PM programının gerektiği kadar iyi performans göstermediğine işaret eder. PM için asıl amaç, kesinti süresini yönetimin kabul edilebilir seviyelerine indirmektir. PM programının etkinliği, programlarını onarıcı bakım (CM) ve öngörülebilir bakım ve onarımlar (PdM) ile birleştirmektir. Üretim ve bakım yöneticileri arasında tam bir koordinasyon ve iş birliği olması gereklidir. Bu birimlerin birlikte nasıl çalışacaklarına dair talimatların oluşturulması ve bu birimlerin her birinin arızalanma durumunda ve arızalar karşısında kesin görevlerinin tanımlanması gereklidir.

2.3. Bütünleşik Model Literatürünün Gözden Geçirilmesi

Üretim, kalite ve bakım, herhangi bir endüstriyel sürecin üç önemli özelliğidir, ortak ve birbirine bağlı sorunlara sahiptir. İşletmelerdeki birbirine bağlı problemleri anlamak ve çözmek, bu üç faaliyet alanını birbiri ile ilişkilendirmeyi ve uygun bir modelleme yapmayı gerektirir. Geçmişte üretim, kalite ve bakım tamamen ayrı ve bağımsız olarak ele alınan problemler iken son zamanlarda, üç faaliyet alanını birlikte ele alma eğilimi ilgi odağı olmuştur. Bu bölümde üretim, kalite ve bakımı birlikte ele alan modeller hakkındaki literatür özetlenmiştir.

Günümüz üretim teknolojisinde, üretim işletmeleri çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. Standart ve arzu edilen ürünlerin seri üretimi, birbirinden farklı ve standart olmayan ürünler üreten sistemlerin yerini almaktadır. Pazarlamadaki hızlı değişimler, üretim farklılıklarının artması ve üretilen ürünlerin kalitesi ile ilgili endişelerin yanı sıra en üst düzeyde gelişmiş ve otomatik donanıma sahip olmak, üretim süreçlerinin maliyetini artırmıştır. Üretilen ürünlerin kalitesini ve yeni bir yönetim sisteminin güvenilirliğini ve başarısını artırmak üretim yaklaşımı ve ürünlerin zamanında teslimi (Garg ve Deshmukh, 2005; Pandey, Kulkarni ve Vrat, 2007) gibi kabul edilebilir stratejilerle, üretim süreçlerini ideal koşullarda ve kalite standartlarında tutmak, ancak düzgün ve doğru planlama ile sağlanır.

Üretim, kalite ve bakım, üretim tartışmasında üç önemli konudur ve önemli ortak noktaları vardır. Bu sorunları ilke olarak doğru bir şekilde anlamak ve çözmek için, üretim, kalite ve bakım arasındaki bu bağımlılıkları doğru bir şekilde modellemek gerekir. Geçmişte üretim, kalite ve bakım birbirinden bağımsız olarak ele alınan ve değerlendirilen konulardı. Bu üç faaliyet alanı arasındaki birçok bağımlılık nedeniyle, bu üç faaliyet alanını birlikte ele alan modeller geliştirmek için çok çaba sarf edilmiştir. Bu araştırma alanı özellikle son on yılda hızla genişlemiştir.

Bu bölümün amacı bu konudaki literatürü ve herhangi bir modern endüstriyel üretim süreci için önemli olacak bu üç önemli faaliyet alanının entegrasyonu ile ilgili konuları gözden geçirmektir. Bu bölümde ilk olarak üretim, kalite ve bakım arasındaki ilişki ele alınmaktadır. Ardından üretim entegrasyonu ve kalite ile ilgili modeller incelenmiştir. Bu bölümün devamında, bakım modelleri, üretim ve bakım, kalite konusundaki literatür genel olarak gözden geçirilmiştir. Ayrıca üretim entegrasyonu, kalite ve bakım konularında kullanılan modeller incelenmiştir.

2.3.1. Üretim, kalite ve bakım ilişkisi

Stok yönetimi ve üretim planlama literatüründe, ekonomik üretim miktarı (Economic Production Quantity-EPQ) çeşitli koşullar altında incelenmiştir. EPQ ile ilgili olan çoğu modelde, üretim sürecinin sürekli hatasız üretim yaptığı, ürünlerin her zaman kabul edilebilir ve istenen kalite seviyesinde olduğu varsayımı altında bu modeller ürün yalnızca üretilen ürün miktarına odaklanmıştır. Bu konuyu gerçekçi bir şekilde ele almak için ise üretilen ürünlerin her zaman kabul edilebilir kalite seviyesinde olamayacağını ve zamanla her üretim sürecinin koşullarının orijinal veya ideal durumundan sapabileceğini dikkate almak gerekir. Üretim sürecinin ideal koşullarından zamanla uzaklaştığı görüşüne dayanarak birçok araştırmacı (Cheng, 1991; Porteus, 1986; Rahim, 1994; Rahim ve Ben-Day, 1998) üretim modellerinde kalite konusunu ele almıştır. Bütünleşik bir bakım ve üretim modelinin olmaması, üretim ve bakım parametreleri arasındaki ilişki ile üretim politikaları ve bakım maliyetleri arasındaki bağımlılığın doğru ve kabul edilebilir bir şekilde anlaşılmasının sonucudur. Bu nedenle, son zamanlarda önerilen üretim modellerinin çoğunda, bu ilişkileri dikkate alma çabası vardır.

Bakım, birçok araştırmacının dikkatini çeken ayrı bir konudur. Pierskalla ve Voelker (Pierskalla ve Voelker, 1976) bakım modelleri konusundaki literatürün bir özetini dikkatle gözden geçirmişlerdir. Konuyla ilgili diğer çalışmalar arasında Osaki ve

Nakagawa (Osaki ve Nakagawa, 1976), Sherif ve Nakagawa (Nakagawa, 1980) ve Smith (Sherif ve Smith, 1981) sayılabilir. Bakım konusunda Elsayed 'in de aralarında bulunduğu (Elsayed, 1996) birçok güvenilir kitap bulunabilir.

Kapsamlı kalite yönetimi felsefesine göre (Garg ve Deshmukh, 2005), süreç düzeyinde nihai kalite denetimleri süreç kontrol teknikleri aracılığıyla gerçekleştirilir. Kontrol grafiği en yaygın olarak kalite kontrolünü izlemek için kullanılır. Kontrol grafiği yöntemleri tipik olarak bir ürünün kalitesini kontrol etmek ve bir üretim sürecinin durumunu değerlendirmek için en yaygın önerilen ve kabul gören yöntemlerden biridir (Montgomery, 1991). Bir kontrol grafiği tasarlamamanın ekonomik etkileri vardır. Kontrol grafiği parametrelerinin seçimi maliyetleri etkiler. Kontrol grafiğinin ekonomik tasarımı için ilk model Duncan (Duncan, 1956) tarafından geliştirilmiştir. Çoğu durumda, istatistiksel kalite kontrol süreci önleyici bakımdan (PM) bağımsız olamaz.

Kalite ve bakım arasındaki ilişki yakın zamanda detaylı bir şekilde incelenmiştir (Ben-Daya ve Duffuaa, 1995). Tagaras'ın da belirttiği gibi (Tagaras, 1988) istatistiksel proses kontrolü ile elde edilen bilgi bir sürecin idealinden sapıp saptığını ve idealden sapma olduğu durumda geri kazanılması ile ilgili olası faaliyeti belirler, böylece onarıcı bakım programını ve önleyici bakımı etkiler. Benzer şekilde, bakım faaliyetleri de, üretim sürecinin eskime modeli ile ilişkilidir. Bu nedenle, proses kontrol gereksinimleri de buna göre değişir. Son zamanlarda geliştirilen birçok model, istatistiksel süreç kontrolü ile bakım ve onarımı birleştirmektedir (Ben-Daya ve Rahim, 2000).

Çok aşamalı üretim sistemlerinde de entegre modeller kullanılmış (Ben-Daya, 1999; Ben-Daya ve Rahim, 1998) ve bu modeller tek aşamalı sistemlerin modelleri ile karşılaştırılmıştır. Bu konuda araştırmalar halen devam etmektedir. Bir sistemdeki yedek parçaların bakımı ve onarımı için garanti ve mevcut politikalar gibi hususları dikkate alan başka entegre modeller de vardır (Murthy ve Blischke, 1992; Murthy, Wilson ve Djamaludin, 1993).

İzleyen bölümlerde, entegre bakım, kalite ve üretim modelleri hakkındaki literatür ele alınmıştır.

2.3.2. Kalite ve üretim

Ekonomik üretim miktarının belirlenmesinde kalite konusunu ele alan birçok bütünsel kalite ve üretim modeli bulunmaktadır. Rosenblatt ve Lee (Rosenblatt ve Lee,

1986(a); Rosenblatt ve Lee, 1986(b)), kusurlu üretim süreçleri için EPQ'nun belirlenmesi konusunu inceleyen bir model geliştirmişlerdir. Modellerinde, sürecin kontrolden çıkması işleminin üstel dağılımı izlediği varsayımı altında üç farklı genel eskime yapısı (lineer, üstel ve genel çoklu durum eskimesi) araştırılmıştır. Lineer ve üstel eskime için üretim dönemi uzunluklarının sınıf EMP modelinden daha kısa olduğunu bulmuşlar ve birden fazla eskime türü için, üretim süresinin uzunluğunun doğrusal ve üstel eskimeye eşit veya daha az olduğunu göstermişlerdir. Lin ve ark. (Lin, Tseng ve Liou, 1991), bir sürecin eskimesinin genel bir dağılımı takip ettiği durum için Rosenblatt ve Lee'nin modelini incelemiştir. Hariga ve Ben-Daya (Hariga ve Ben-Daya, 1998), sürecin kontrol dışına geçiş süresinin genel bir dağılımı takip ettiği durum için Rosenblatt modelini genelleştirmiştir. Kim ve Hong (Kim ve Hong, 1999) ayrıca, üretim sürecinin üç tür eskimede (doğrusal artış (linear ascent) ve yükselen (ascending)) optimum üretim süresi uzunluğunu belirleyen bir ekonomik üretim miktarı (Economic Manufacturing Quantity-EMQ) modeli önermiştir.

Porteus (Porteus, 1986) örneklem büyüklüğü ve ürün kalitesi arasındaki ilişkiyi inceleyen modeller geliştirmiştir. Kalite gelişimine yatırım yapmak için üç seçenek önermiştir. Bu seçenekler (1) Sürecin kontrolden çıkma olasılığını azaltmak, (2) Başlangıç maliyetlerini azaltmak, ve (3) Önceki iki seçeneğin simülasyonunu kullanmak olarak belirlenmiştir. Ayrıca, etkili bir incelemenin mümkün olmadığı durumlarda kalite eksikliğini telafi etmek için örneklem boyutunun azaltılması gerektiğini önermiştir. Bu üç seçeneği kullanan modellerinin tanımlayıcı örnekleri, ürün üretme maliyetlerinin EPQ modelinin maliyetlerinden daha düşük olduğunu göstermektedir. Voros (Voros, 1999), üretim hızının ve başlangıç zamanına yaklaşma maliyetinin sıfır olduğu varsayımları altında örnek büyüklüğü, kalite gelişimi ve başlatma süresinin azaltılması için başka bir model geliştirmiştir.

Cheng (Cheng, 1991), eksik üretim süreçleri için EPQ'nun belirlenmesini dikkate almaktadır. Birim üretim maliyetlerini proses kapasitesi ve kalite güvencesine bağlayan basit bir model önermiş ve birim üretim maliyetlerinin artan süreç kapasitesi ve kalite güvence maliyetleri ile arttığını göstermiştir. Chen ve Chung (Chen ve Chung, 1996) aynı zamanda en uygun üretim dönemini ve kalite seçimini birleştirme ve belirleme konusunu ele almaktadır. Panagiotidou ve Nenes (Panagiotidou ve Nenes, 2009), üretim kontrolü ile bir sistemin hatalı çıktısı arasındaki ilişkiyi baz almıştır.

Lee (Lee, 1992), yonga plakası üretimi sırasında sürecin kontrol dışına çıkıp çıkmadığını anlamak için gereken örnekleme büyüklüğünü bulmak için bir model sunmaktadır. Liou ve ark. (Liou, Tseng, ve Lin, 1994), tek bileşenli bir EPQ modelinde en uygun teftiş sayısını belirleme konusunu incelemiştir. Arızalı bir üretim sistemini incelerken tip1 ve tip2 hataların oluştuğunu varsaymıştır. Khouja ve Mehrez (Khouja ve Mehrez, 1994), üretim hızının karar değişkeni olduğu ekonomik üretim miktarı modelinde artan üretim hızı ile üretim sürecinin kalitesinin düştüğünü varsaymışlardır. Bu model üretim hızının arttırılarak üretim maliyetleri en aza indirildiğinde kalitenin düştüğünü ve optimum üretim hızının, en büyük üretim hızından daha düşük olabileceğini göstermektedir.

Goyal ve ark., (Goyal vd., 1993) üretim, örneklem büyüklüğü, muayene ve işlemin uygun bir sınıf haritası altında entegre edilmesinin önemli yönleri hakkındaki literatürü gözden geçirmişlerdir. Ayrıca, modern üretime geçişte yüksek verimli bir üretim tasarım sistemi geliştirmek için bir çerçeve sunmuşlardır. Gunasekaran ve ark. (Gunasekaran vd., 1995) üretimi ve kaliteyi optimize etmek için optimum yatırım ve örnek büyüklüğü politikaları ile ilgili bir konuyu incelemektedir. Wright ve Mehrez (Wright ve Mehrez 1998) kalite ve stok seviyesi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir.

Başka bir yaklaşım, kalite kontrol ve üretim politikalarının bir kombinasyonunu geliştirerek üretim ve kaliteyi entegre etmektir. Rahim (Rahim, 1994), kontrollü bir olasılık dağılım süresi olan aşındırıcı bir süreç sınıfı için birim zaman başına beklenen toplam maliyeti (kalite kontrol maliyeti ve stok kontrol maliyeti) en aza indirmek için kontrol grafiğinin ve üretim miktarının optimal parametrelerini belirlemiştir. Tek tip olmayan üretim gözden geçirme prosedürleri için, her inceleme zaman aralığı boyunca sabit bir kayıp oranını korumak amacıyla muayene aralıklarının uzunluğu belirlenmiştir. Bu model daha gerçekçi örnekler için Rahim ve Ben-Day (Rahim ve Ben-Day, 1998) tarafından genişletilmiştir.

2.3.3. Bakım ve üretim

Entegre üretim ve bakım konusu, bu iki farklı konunun literatüründeki genel yaklaşımlardan biri haline gelmiştir. Zhang ve Grechak (Zhang ve Grechak, 1990), rassal bir EMQ modeli için grup ölçümü ve ürün inceleme politikasının bir kombinasyonunu geliştirmiştir. Makis (Makis, 1998), rassal erozyona sahip bir üretim süreci için ekonomik üretim kalite modelinde EMQ grup ölçüm optimizasyonu ve denetim çizelgelemesi

konusunu incelemiştir. Allaoui ve Artiba (Allaoui ve Artiba, 2004), makine işsizlik sürelerinin ve önleyici bakımın grup ölçüm kararları üzerindeki etkisini incelemek için başka bir model geliştirmiştir. Beklenmedik makine arızaları nedeniyle ortaya çıkan istatistiksel süreksizlikleri karşılamak için iki üretim kontrol politikası önerilmiştir. İlk politika, durdurulan grupların üretiminin bir işsiz dönemden sonra devam etmeyeceğini ve bir sonraki dönemin stoksuз olarak başladığını varsayar. İkinci politika, üretimin hemen devam ettiğini varsaymaktadır.

Makis ve Fung (Makis ve Fung, 1995), üretim parti büyüklüğü belirleme, makine muayene zaman aralığı ve önleyici parça değiştirme süresinin kombinasyonunu incelemiştir. Sürecin başarısız olma olasılığının normal bir dağılım izleyeceğini varsaymışlardır. Ayrıca, önleyici parça değiştirme süresi ile çalışma sürecinin ortalama başarısız olma süresi arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Makis ve ark. (Makis, Jiang ve Tse, 2000), makine işsizliği ve üretim birimlerinin önleyici bakımı ile birlikte bir EMQ modeli için stok-üretim kontrolü problemini de ele almıştır. Çalışmalarında iki tür hata vardır: Tip1 hatası oluştuğunda, bir ünite başka bir ünitenin yerini alır ve müstakil grup çalışmayı durdurur. Değişimden sonra veya tam bir üretim döneminden sonra yeni bir grubun başlatılması, başlangıç maliyetine neden olacaktır. Tip2 hataları (alt hata) küçük onarımlarla düzeltilir. Minimum onarım uygulandıktan sonra üretim, işlemi yeniden başlatmadan daha düşük bir maliyetle hemen devam edebilir.

Meller ve Kim (Meller ve Kim, 1996) sistem maliyetleri ve depo hacmi üzerindeki onarıcı bakım ve önleyici bakım baskısını incelemiştir. Dohi ve ark. (Dohi, Yamada ve Kaio, 1997), istatistiksel bir EMQ model için bağımlı bir değiştirme politikası önermiştir. Daha sonra Dohi ve ark. iki bakım ve minimum limit onarım modelini ele almıştır. İlk modelde, stok seviyesi önceden belirlenip makine bozulana kadar sınırsız sayıda minimum onarım tespit edilebilir. İkinci modelde, bir üretim döneminde sınırlı sayıda asgari onarım uygulanacaktır. Makine işsizliğinin ve onarımlarının üretim birimlerinin büyüklüğü üzerindeki baskısı ve etkisi açıklanmaktadır.

Ashyeri ve ark. (Ashyeri, Teelen ve Selen, 1996) endüstriyel prosesler için bir bakım modeli önermiştir. Bakım ve üretim planlaması problemini endüstriyel bir ortamda birleştirerek doğrusal bir planlama modeli geliştirmişlerdir. Bu model, sistem maliyetleri üretim ve bakım bağılı olduğunda üretim ve bakım çalışmalarının zamanlamasını belirlemeyi amaçlamaktadır.

Bakımın üretim koşullarına ve zaman kısıtlamalarına göre gerçekleştirildiği başka bir yaklaşım daha vardır. Rishel ve Christy (Rishel ve Christy, 1996) planlı bakım politikalarının Malzeme İhtiyaç Planlaması Sistemi (MRP) üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bakımın etkisini, üretim zamanlamasıyla birlikte değerlendirmek için dört fonksiyon (işlev) kullanmışlardır:

1. Zamanında sipariş sayısı,
2. Programlı bakım işlemlerinin sayısı,
3. Ekipman arızası sayısı,
4. Toplam bakım maliyetleri.

Ayrıca acil ve beklenmedik bakımları da dikkate almışlardır. Bu çalışmalarında, planlanan bakım programlarının üretim programı ile kombinasyonunu ilerletmek için altı planlama materyali gereksinimi kullanılmıştır. Bakım ve programlı onarımların üretim zamanlaması ile birleştirilmesinin daha verimli olup olmadığını veya ikisinin bağımsız olarak ele alınıp alınamayacağını analiz etmişlerdir. Simülasyon sonuçları planlanan bakım ve onarımların arıza sayısı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ve üretim sistemindeki potansiyeli artırdığını göstermektedir. Ayrıca, MRP sisteminde beklenmedik bakım ve onarımın dikkate alınması gerektiğini ve bunun bağımlı bir unsur olarak görülmesinin hem üretim hem de bakım operasyonlarında planlama, zamanlama ve kontrol kararlarını uygulama yeteneğini artırdığını göstermişlerdir.

Brandolese ve Francei (Brandolese ve Francei, 1996), esnek makinelerin paralel çalışmasından oluşan çok ürünlü bir sistemin ve tek aşamalı bir üretiminin planlanması ve yönetimini incelemiştir. Geliştirilen model hem üretim hem de bakım için en uygun zamanlamayı bulmayı hedeflemektedir. Model, beklenen bakım maliyetleri, başlangıç maliyetleri ve üretim maliyetlerinin toplamından oluşan maliyetleri en küçüklemeyi hedeflemektedir. Model toplam işlem süresi, toplam makine boşa kalma süresi ve toplam bakım süresi olarak tanımlanan sistemde harcanan zamanı da en aza indirmeyi hedeflemektedir. Model, beklenen önleyici bakım maliyetini ve önleyici bakımları hesaplamak için her bir önleyici bakım işleminden sonra sistemin ömrünün, sistemin başlangıç durumu kadar iyi olacağı varsayımı altında geliştirilmiştir. Kaabi ve ark. (Kaabi, Varnier ve Zerhoni, 2002) önleyici bakım ve güvenilir depolamanın güvenilir olmayan bir üretim ortamında uygulamasını geliştirmek için bir model oluşturmuş ve iki yön arasındaki ilişkiyi araştırmıştır.

Bazı araştırmacılar, üretim programındaki kısıtlamalar ile üretim sistemindeki optimum bakım politikalarını belirleyerek bu sorunu incelemişlerdir. Lee ve Rosenblatt (Lee ve Rosenblatt, 2006) tek bir ürün sisteminde EPQ'nun belirlenme ve bakım programlanması için bir model geliştirmişlerdir. Üstel bir olasılık dağılımının, kontrollü durumda işlem için geçen süreyi temsil ettiği varsayılır. Bakımın uygulanıp uygulanmayacağına dair karar, orijinal duruma geri dönme maliyeti ile kusurlu ürünlerin maliyeti arasındaki bir karşılaştırmaya dayanarak verilen zaman aralığında yapılır. Üretim süresi, EPQ ve denetim zaman aralıkları sayısı gibi diğer karar değişkenlerinin hesaplanmasına yönelik yaklaşımlar da bu karşılaştırma kriterine dayanmaktadır. Lee ve Rosenblatt (Lee ve Rosenblatt, 2005) süreç transferlerini kolaylaştırmak ve bulmak için farklı politikaların maliyetlerini ve orijinal duruma dönme kabiliyetini dikkate almışlardır. Dört farklı denetim ve iade politikası kombinasyonunu dikkate almışlardır:

1. Muayene ve sürekli ilk duruma geri dönme ve işlem arızasına dayalı olarak,
2. Gerekirse orijinal durumuna geri dönerek periyodik muayene,
3. Sürekli muayene ve periyodik olarak ilk moda geri dönme,
4. Periyodik olarak muayene ve ilk moda geri dönme.

Tüm bu politikalar için en uygun maliyet modelleri üstel dağılımı takip eden kontrollü sürelerle bölünmüştür. Lee ve Rosenblatt (Lee ve Rosenblatt, 2004) ayrıca üretim planlama ve bakım için kombine bir model geliştirmişlerdir. Süreci orijinal durumuna geri getirmenin maliyetinin, sorunu bulmadaki gecikmenin bir işlevi olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bakım uygulamak için ekonomik üretim ve bakım zamanlaması konusunu ele almışlardır. Bu çalışmada da sürecin eskime ve erozyonunun üstel dağılım izlediği varsayılmaktadır.

Berrichi ve ark. (Berrichi ve ark., 2009), güvensiz üretim tesisleri için ekonomik numune büyüklüğünü sabit bir başarısızlık oranında seçme problemini incelemek için bir model geliştirmiştir. Başlangıç periyotlarının maliyetini en aza indiren optimum numune boyutu, bir başlatma maliyeti fonksiyonuna, talep oranına ve üretim döneminin başında uygulanan onarıcı ve önleyici bakım seviyesine bağlıdır. Onarıcı ve önleyici bakım seviyeleri ile toplam beklenen maliyet arasındaki ilişkiyi tanımlamak için arızalar arasında ortalama süreye bağlı olarak tanımlanan (Mean Time Between Failures-MTBF) üç farklı fonksiyon kullanılır.

Batun ve Azizoglu (Batun ve Azizoglu, 2009) parçalanabilir bir üretim sistemi için bir bakım-üretim politikası ileri sürmüştür. Denetimlerin eşit aralıklarla yapıldığı varsayımı altında üretim süresinin ve denetim zaman aralıklarının belirlenmesi için bir maliyet modeli geliştirmişlerdir. Bu, maliyet modeli satış öncesi işi yapmanın maliyeti ile satış sonrası garantinin maliyeti arasındaki fark dikkate alınarak yapılmıştır. Makine işsizliğini önlemenin yolları arasında onarıcı ve önleyici bakım ve güvenli depolama yer alır.

2.3.4. Bakım ve kalite

İstatistiksel kontrol süreci, üretimde kalite kontrol için en yaygın yöntemlerden biridir. Daha önce belirtildiği gibi, çoğu süreçte, aralarındaki ilişkiler nedeniyle süreç kontrolünü önleyici bakımdan ayırmak mümkün değildir. Tagaras (Tagaras, 1988) proses kontrol optimizasyonu ile önleyici bakım işlemlerini birleştirmek ve analiz etmek için entegre bir maliyet modeli sunmaktadır. Bakımın kontrol grafiklerinin ekonomik tasarımı üzerindeki etkisi, Ben Daya ve Rahim tarafından da incelenmiştir (Ben-Daya ve Rahim, 2000). Ben-Daya ve Rahim'in çalışmasında sayısal bir örnek ile, önleyici ve onarıcı bakımın kalite kontrol maliyetini düşürebileceği göstermektedir.

Ben-Daya ve Duffuaa (Ben-Daya ve Duffuaa, 1995), üretimde kalite ve bakım arasındaki ilişkiyi araştırmış ve kalite ile bakım arasındaki ilişkiyi modellemek için geniş bir çerçeve sağlamıştır. Bu ilişkileri bağlantılandırmak ve modellemek için iki yaklaşım önermişlerdir. İlk yaklaşım, bakımın ekipman arıza modelini etkilediği fikrine dayanmaktadır. Bu yaklaşımda her ihtiyati bakım işleminden sonra ekipman arıza oranlarının belirli bir miktarda azaldığı varsayılır. İkinci yaklaşım Taguchi (Taguchi, 1986) yaklaşımına dayanmaktadır. Yani, üretim kalitesi özelliklerinde sapma olasılığını azaltmak için bakım ve onarımların kullanılması hedeflerden birisidir.

Chiu ve Huang (Chiu ve Huang, 1996) ekonomik kontrol çizelgeleri planı içerisinde önleyici ve onarıcı bakımları tanıtan bir model geliştirmiştir. Model kullanılarak yapılan simülasyon sonuçları, küçük ölçekli bir onarımın beklenen toplam maliyeti önemli ölçüde azaltacağını ve büyük ölçekli bir onarımın ürünün maliyetini bakım gerektirmeyen sistemlerden daha fazla azaltacağını göstermektedir. Chiu ve Huang (Chiu ve Huang, 1995) ayrıca koruyucu bakım ile $\bar{X}$ ve s^2 kontrol grafikleri tasarlamak için bir model geliştirmiştir. Önleyici ve onarıcı bakım içeren sistemlerin veya bakım içermeyen

sistemlerin avantajlarını belirlemek için iki farklı önleyici ve onarıcı bakım politikası tek tip ve tek tip olmayan örnekleme formlarıyla karşılaştırılmıştır.

Cassady ve ark. (Cassady ve d., 2000) $\bar{X}$ önleyici ve onarıcı bakım politikalarına dayanan grafikleri incelemiştir. Yeung ve ark. (Yeung, Cassady ve Schneider, 2008), Cassady tarafından üretim sürecinin çıktısını izlemek ve örnek boyutunu, kontrol çizelgesi parametrelerini ve zaman aralığını optimize etmek için ne zaman önleyici ve onarıcı bakım gerektiğini belirlemek için bir $\bar{X}$ grafiği kullanan bir model ile üretim, kalite, önleyici ve onarıcı bakım içeren entegre modeller sunmuştur.

Leng ve ark. (Leng, Ren ve Gao, 2006) bir makinenin sürekli üretim kalitesi ve bakımı konusunu formüle etmektedir. Bir işlemin kalitesinin, makinenin eskilme durumlarından bilindiğini varsayar. Döngüler açmak, bakım sorunları ve istatistiksel kontrol hakkında geri bildirim almak için analitik cevaplar elde etmek için belirli bir kalite fonksiyonunun çeşitli çözümlerini kullanır.

Kuo (Kuo, 2006) makine bakım ve ayrık zaman ve sınırlı alan kalite kontrolü kombinasyonu üzerine bir çalışma yapmıştır. Linderman ve ark. (Linderman, McKone-Sweet ve Anderson, 2005), istatistiksel bakım sürecinin kontrolünü eşleştirmek ve kontrol etmek amacıyla en uygun politikayı belirlemek için genelleştirilmiş bir analitik model geliştirmiş ve beklenen toplam maliyeti en aza indirmek için planlanmış onarımlar önermiştir. Panagiotidou ve Tagaras (Panagiotidou ve Tagaras, 2007) iki kalite durumlu bir üretim süreci için önleyici ve onarıcı bakımın arasındaki zaman aralığını optimize etmek amacıyla ekonomik bir model geliştirmiştir. Panagiotidou ve Tagaras (Panagiotidou ve Tagaras, 2008), önleyici ve onarıcı bakım faaliyetleri için bakım ve onarım politikasını eksiksiz ve eksik bir şekilde optimize etmek için ekonomik bir model geliştirmiştir. Bu model, istatistiksel proses kontrolünde kontrol ve kontrol dışı iki modlu bir üretim sürecini dikkate almaktadır. Chiu ve Huang (Chiu ve Huang, 1996), önleyici bakımın ekonomik kontrol çizelgeleri planı şeklinde ele alındığı bir model sunmaktadır. Önleyici bakımdan sonra sistemin orijinal durumuna döneceğini varsaymışlardır. Zhou ve Zhu (Zhou ve Zhu, 2008) bakım kontrol ve bakım diyagramının ekonomik tasarımını entegre etmeye çalışmış ve entegre modelin maliyetini analiz etmek için matematiksel bir model kullanmıştır. Son zamanlarda Panagiotidou ve Nenes (Panagiotidou ve Nenes, 2009), değişkenler için Warts nesne kontrol şemasını (Warts object control scheme) kullanan kalite ve bakım yöntemlerini entegre etmek için bir model önermişlerdir.

Huang ve Chiu 'ya göre bakım maliyetleri üretim ve kalite maliyetleri ile ilgilidir (Huang ve Chiu, 1995). Kumar (Kumar, 2008) kalite parametrelerinin ve bakım maliyetlerinin sayısının üretim maliyetlerini en aza indirecek şekilde optimize edildiği kombine bir bakım ve kalite kontrol modeli sunmaktadır. Garg ve Deshmukh (Garg ve Deshmukh, 2005), ekonomik tasarımı ve üretilen ürün miktarını göz önünde bulundurarak entegre bir model geliştirdi. Pandey ve ark. (Pandey, Kulkarni ve Vrat, 2007) proses kalitesi ile ekipman bakımı ve onarımı arasındaki güçlü ilişkiyi vurgulamıştır. Misra (Misra, 2008), üretim yapısının maliyetlerini dikkate alan bakım ve onarım politikalarına dayanan bir model önermiştir. Wang (Wang, 2010) np kontrol şemaları tarafından izlenen ve örnekleme zaman aralıklarını dikkate alarak üretim sisteminin önleyici ve onarıcı bakımı için üç model geliştirmiştir. Wang (Wang, 2010), kontrol şeması parametreleri yolundaki kalite kontrol maliyetlerini göz önünde bulundurarak, numune ve süreç denetimlerinin optimize edildiği bakım ve onarım politikaları ile entegre bir model sağlamıştır.

3. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu bölümde önce modelin varsayımları açıklanıp geliştirilen model tanımlanmış, devamında ise onarıcı bakım, önleyici bakım ve arızalı süreçten kaynaklanan kalitesizlik nedeniyle oluşan maliyet ve kalite kontrol süreci için maliyet modellerinin nasıl elde edildiği detaylı bir şekilde verilmiştir.

3.1. Modelin Varsayımları

Bir entegre modeli elde edebilmek için, modeli oluşturan bileşenlerin tüm özelliklerini incelemek ve birbirleriyle olan ilişkilerini tanımlayabilmek için içindeki tüm bağımlılıkları tanımlamak gerekir. Bu bölümde problem tanımlanmış, entegre model açıklanarak, önerilen model formüle edilmiş ve toplam maliyet fonksiyonu hesaplanmıştır.

Sürekli üretim yapan (haftada altı gün, günde yedi saatlik üç vardiya) tek bir üretim makinesinden oluşan bir üretim sistemini ele alalım. Bu üretim sistemi için makina arızaları iki tür olarak ayrılmıştır:

1. Tip1 Arıza Modu (FM_1 hatası): Makine arızalandığı anda tanımlanır,
2. Tip2 Arıza Modu (FM_2 hatası): Üretim sonrası makine arızası, proses kalitesi incelemelerinde tanımlanır.

Bu tanımlamalar Lad ve Kulkarni tarafından kullanılan sınıflandırmaya benzerlik göstermektedir (Lad ve Kulkarni, 2008). Bu sınıflamaya göre bir makine arızası makinenin tamamen durmasına yol açmıyorsa bu üretilen ürünün kalitesini etkileyebilir, bu durum da ancak ürün iade istatistiklerinin incelenmesiyle ortaya çıkabilir. Örneğin, düzleştirme makinesinde kayış kesilirse, makine derhal çalışmayı durduracaktır. Bununla birlikte, makinenin bir kısmı gevşerse, makine çalışmaya devam eder, ancak daha düşük bir kalitede üretim yapabilir hale gelir. Bu tür hataların dikkate alınması, planlama ve bakım kararlarında belirli koşullara tabi olabilecek hata maliyetleri açısından önemlidir. FM_2 hataları küçük hatalar olarak kabul edilebilir ve bu tür hatalar Black ve Mejaby (Black ve Mejaby, 1995) tarafından tam hatasız bir makinenin performansındaki düşüş olarak tanımlanır.

Çalışma kapsamında geliştirilen model aşağıdaki varsayımlar göz önüne alınarak tanımlanmıştır:

1) Onarıcı bakım doğası gereği asgari düzeydedir, yani onarım işleminden sonra ekipmanın ömrü değişmez. Onarım işinin süresi de ekipmanın ömrüne dahil olarak kabul edilir.

2) Bakım doğal olarak kusurludur, yani sorunu tamamen çözmez ve bakım sonrasında da sorun yaşanabilir.

3) Kalite kontrolü için, yalnızca CTQ özelliği dikkate alınır.

4) Model başlangıç anında üretim sürecinin kontrol altında olduğu kabul edilir.

5) CTQ 'nün ortalama ve standart sapması sırasıyla μ ve σ ile ifade edilir.

6) Rastgele oluşan bir hata, σ sabit kaldığında işlem ortalamasının μ_0 'dan $\mu_1 = \delta + \mu_0$ değerine kaymasına neden olur.

7) Süreç, tek bir kritik kalite karakteristiği üzerinden $\bar{X}$ kontrol grafiği ile izlenir.

Kullanılan Parametreler

$ARL2_H$: Dış ve çevresel nedenlerden dolayı işlem kontrol dışı olduğunda ortalama örnek uzunluğu

$ARL2_{M/C}$: Makine eskimesi nedeniyle işlem kontrol dışı olduğunda ortalama örnek uzunluğu

$ARL1$: İşlem kontrol modundayken ortalama örnek uzunluğu

k : Kontrol sınır katsayısı

C_{ip} : Üretimi durdurma maliyeti

C_{Rej} : Ürün iade maliyeti

$C_{resetting}$: Makineyi hatadan önceki duruma geri getirme maliyeti

prd_E : Tahmini toplam değerlendirme süresi

$[C_{CM}]_{FM_1}$: FM₁ hata modu nedeniyle onarıcı bakım maliyeti

C_{PM} : Önleyici bakımın maliyeti

$E [T_{Cycle}]$: Ardışık kontrol altındaki dönemler arasında beklenen süre

T_1 : Belirtilen bir nedenin ortaya çıkışını belirlemek için gereken süre

$E [T_{restore}]$: Dış veya eskime nedeniyle süreç kontrolden çıkarsa, makineyi onarmak için gereken süre

$[TCQ]_{process-failure}$: İşlem hatası nedeniyle kalitesizliğin maliyeti

λ_1 : Çevresel ve dış nedenlerle başarısızlık oranı

λ_2 : Makine eskimesi nedeniyle başarısızlık oranı

C_{FCCM} : Onarıcı Bakım Sabit Maliyeti

C_{FCPM} : Önleyici Bakımın Sabit Maliyeti

LC : Bakım elemanı maliyeti

MT_{CM} : Onarıcı Bakım için gerekli ortalama süre

MT_{PM} : Önleyici Bakım için gerekli ortalama süre

N_f : Ortalama bozulma sayısı

t_{PM} : Önleyici bakım zaman aralığı

β_H : Dışsal nedenle Tip2 arıza olasılığı

$\beta_{M/C}$: Makine eskime nedeniyle Tip2 arıza olasılığı

P_{FM_1} : FM_1 hata oluşma olasılığı

P_{FM_2} : FM_2 hata oluşma olasılığı

λ : İşlem başarısızlık oranı

PR : Üretim oranı

n : Örnek boyutu

T_s : Örnekleme zamanı

α : Tip1 arıza olasılığı

h : Örnekleme arasındaki zaman aralığı

Tip1 arıza (FM_1 hatası) meydana geldiğinde, makine hemen durur ve onarmak için işlemler yapılır. Bu nedenle, onarıcı bakım maliyetleri ($[C_{CM}]_{FM_1}$) makinenin boş kalma maliyetini ile makineyi tamir ve eski durumuna geri getirme maliyetini içerir.

Tip2 arıza (FM_2 hatası) ürünün geri dönüş oranının artışıyla anlaşılan hata türüdür. Başka bir deyişle, FM_2 işlemin geri dönüş oranını etkiler. FM_2 hatası her oluştuğunda, işlemin derhal durdurulduğu ve işlemi onarmak ve normale döndürmek için düzeltici önlem alındığı varsayılmaktadır. FM_2 'den kaynaklanan hatalara ek olarak, çevresel etkiler, operatör hataları, takımların yanlış kullanımı vb. gibi dış nedenlerle (H) de süreç yavaşlayabilir. Harici bir sebep meydana gelirse işlem kontrolden çıkar.

FM_2 veya harici sebep bulunması, ancak işlem izlenerek mümkün olabilir. Bu amaçla süreci izlemek için bir kontrol grafiği mekanizması tanımlanmıştır. Kontrol sınırının orta çizgisi ile süreç kontrol sınırları arasındaki mesafeyi belirlemek için kontrol grafiği tasarım parametrelerini, örneklem büyüklüğünü (n), örnekleme aralığını (h), ve kontrol sınır katsayısı (k) ele almamız gerekir. Bu nedenle, FM_2 ve H 'ye bağlı süreç arızasının toplam maliyeti, yani $[TCQ]_{process-failure}$, makine işsizliği, süreç değişim nedeniyle ürün geri dönüş maliyeti, onarım maliyeti, örnekleme ve kontrol maliyeti ve CTQ 'dan sapma maliyetini içerir.

Onarım işlemine ek olarak, makinenin arıza sebebiyle boşa kalma süresini en aza indirmek için önleyici bakımdan geçer. Bu çalışmada kusurlu bakım ele alınmıştır. Yani, önleyici bakım işleminden sonra, makine önleyici bakımdan önce ve sonrası arasında iyi bir duruma ulaşır. Önleyici bakımdan sonra kusur sayısı azalır. Yani, hem FM_1 hem de FM_2 hataları azalır. FM_2 'deki azalma, kontrol dışı işlemlerle ilişkili kalite maliyetlerini azaltır. Ancak önleyici bakım, üretime harcanabilecek bazı kaynakları ve zamanı tüketir. C_{PM} maliyeti, süreç işsizliğinin maliyetini ve önleyici bakım faaliyetlerinin maliyetini içerir.

3.2. Maliyet Modelleri

Bu çalışma kapsamında geliştirilen modelin amacı, birim zaman başına toplam bakım maliyetini ($[TCT]_{Maintenance*Quality}$) en küçükmek amacıyla karar değişkenlerinin (n, h, k, t_{PM}) optimum değerlerini belirlemektir. Önleyici bakımdan sonra ekipmanın ömrü ve iade faktörünün azaldığına dikkat edilmelidir. Toplam maliyet birim başına ($[TCT]_{Maintenance*Quality}$) önleyici bakım ve kalite kontrol politikasını göz

önünde bulundurarak, kalite kontrol oran toplamı ($[TCQ]_{process-failure}$), önleyici bakım maliyeti (C_{PM}) ve toplam makine onarım bakım maliyeti ($[C_{CM}]_{FM_1}$) arasındaki değerlendirme sırasındaki zamana göre orandır. Proses kalite kontrol maliyeti, FM_2 hata nedeniyle oluşan maliyeti içerir. Dolayısıyla, bütünleşik model için birim zaman başına toplam maliyet bu şekilde formüle edilebilir:

$$[TCT]_{Maintenance*Quality} = \frac{1}{prd_E} ([C_{CM}]_{FM_1} + C_{PM} + [TCQ]_{process-failure}) \quad (3.1)$$

$[TCT]_{Maintenance*Quality} = f(n, h, k, t_{PM})$ ve prd_E , tahmini toplam değerlendirme süresidir. Böylece optimizasyon problemi aşağıdaki gibi formüle edilebilir:

$$\text{Minimize } [TCT]_{Maintenance*Quality}$$

Subject to

$$a_1 \leq n \leq b_1$$

$$a_2 \leq h \leq b_2$$

$$a_3 \leq k \leq b_3$$

$$a_4 \leq t_{PM} \leq b_4$$

$$n, h, k, t_{PM} \geq 0$$

Burada a_i ve b_i , karar değişkenlerinin üst ve alt sınır değerleridir. Amaç fonksiyonunda yer alan üç maliyet fonksiyonu detaylı bir biçimde izleyen bölümlerde açıklanmıştır. Bu fonksiyonlar sırasıyla FM_1 nedeniyle onarıcı bakım için beklenen maliyet modelleri, FM_2 nedeniyle oluşan işlem hatası maliyetleri ve dış nedenlere bağlı olarak oluşan hata maliyetleri önceden belirlenen bir tahmini süre için hesaplanarak verilmiştir.

3.2.1. Tip1 hata modu için onarıcı bakım maliyet modeli

FM_1 ve onarıcı bakım nedeniyle bakım maliyetlerini tahmin etmek için analistin aşağıdaki bilgilere sahip olması gerekir:

- CM işlemleri için gereken süre. Bu, bakım süresini ve makul gecikmeleri (gerekli işgücünün, ihtiyaç duyulan malzemelerin temini) içerebilir,
- Makine arıza süresi, iş gücü, gerekli malzemeler ve diğer maliyetler CM dahildir,
- Belirli bir arıza nedeniyle ekipmanın hasar görmesi olasılığı.

Yukarıda belirtilen bilgilere ek olarak, bakım ve onarım maliyetlerinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki faktörlerin de bilinmesi gerekir:

- Onarıcı bakım için gerekli ortalama süre: MT_{CM}
- Sistem üretim hızı: PR
- Bakım ve onarım sırasında üretimi durdurma maliyeti: C_{lp}
- Onarıcı bakım için işçilik maliyeti: LC
- Sabit onarıcı bakım maliyeti: C_{FCCM}
- FM_1 hata oluşma olasılığı: P_{FM_1}
- Ortalama bozulma sayısı: N_f

Belirtilen parametreler kullanılarak FM_1 hatası nedeni ile onarıcı bakım maliyeti eşitlik 3.2 'de verildiği gibi hesaplanır:

$$[C_{CM}]_{FM_1} = \{MT_{CM} \cdot [PR \cdot C_{lp} + LC] + C_{FCCM}\} \times P_{FM_1} \times N_f \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2 'de $\{MT_{CM} \cdot [PR \cdot C_{lp} + LC] + C_{FCCM}\}$ makinenin onarıcı bakımından kaynaklanan çalışmama maliyetidir. Eşitlik 3.2'de, N_f fonksiyonu t_{PM} değişkeni üzerinden tanımlanır. Bununla ilgili detaylı bilgiler izleyen bölümlerde verilmiştir.

3.2.2. Önleyici bakım için maliyet modeli

Önleyici bakım için bir maliyet modeli elde etmek için aşağıdaki faktörler dikkate alınmalıdır:

- Önleyici bakım için gerekli ortalama süre: MT_{PM}
- Sistem üretim hızı: PR
- Önleyici bakım sırasında üretimi durdurma maliyeti: C_{lp}
- Önleyici bakım için işçilik maliyeti: LC
- Önleyici bakım sabit maliyeti: C_{FCPM}
- FM_2 hata oluşma olasılığı: P_{FM_2}
- Tahmini toplam değerlendirme süresi: prd_E

Açıklanan parametrelere göre önleyici bakımın beklenen toplam maliyeti eşitlik 3.3 olarak tanımlanabilir:

$$C_{PM} = \{MT_{PM} \cdot [PR \cdot C_{lp} + LC] + C_{FCPM}\} \times \frac{prd_E}{t_{PM}} \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3'te $\{MT_{PM} \cdot [PR \cdot C_{lp} + LC] + C_{FCPM}\}$ makineyi önleyici bakım nedeniyle kapatmanın maliyetidir ve $\frac{prd_E}{t_{PM}} = N_{PM}$ olarak verilen önleyici bakım sayısıdır ki en yakın daha küçük bir tam sayıya yuvarlanır.

Bu tür bakım maliyetleri Pandey ve Kulkarni tarafından (Pandey ve Kulkarni, 2010), müşteri tarafından ürünü iade etme maliyetinin optimize edildiği bir model önerisi için yapılmıştır.

Bu çalışmada, değerlendirilen süre boyunca makine hatalarına benzetilerek elde edilen bakım sayısı bir sonraki bölümde açıklanmıştır.

3.2.3. Arızalı süreçten kaynaklanan kalitesizlik nedeniyle oluşan maliyet modeli

Burada, öncelikle işlem hatası toplam maliyeti ($[TCQ]_{process-failure}$), sonra $E[T_{Cycle}]$ periyodunun uzunluğu hesaplanır. Periyod uzunluğu $E[T_{Cycle}]$, sürekli kontrol altındaki döngülerin arasında beklenen süre olarak tanımlanır. Kontrol altındaki dönemde örnek toplama, üretilen ürünlerdeki kusurlar ve yanlış uyarı maliyetleri nedeniyle oluşacak maliyetler söz konusudur. Süreç kontrolden çıktığında müdahale olmadan sürecin kontrole geri dönemeyeceği varsayılır. Kontrolün tekrar ele alınması için ürün seviyesini yükseltmek, örnekleme, onarım ve geri yükleme, bir sebep arama maliyeti, süreci durdurma maliyeti gibi maliyetler de vardır. Bundan sonra bir periyot biter ve bir sonraki periyot başlar.

3.2.4. Kalite kontrol süreci maliyet modeli elde etmek

Bu bölümde, kalite kontrol sürecinin beklenen maliyeti ($[TCQ]_{process-failure}$) alt maliyet kalemlerine ayrılmıştır. Bu maliyetler şunları içerir:

- Belirli bir nedeni bulmak için beklenen maliyet,
- Örnekleme maliyeti,
- Kontrol dışı işlemler için beklenen maliyet,
- Makinenin eskime veya dış ve çevresel nedenlerle kontrolden çıkması durumunda, işlemin eski haline dönmesi için beklenen maliyet.

C_F 'nın sabit örnekleme maliyeti ve C_V 'nın değişken örnekleme maliyeti olduğu varsayımı altında, bir dönem boyunca beklenen örnekleme maliyeti, birim zaman başına sabit ve değişken maliyetlerin toplamı aşağıdaki gibidir (Batun, 2009):

$$E[C_{sampling}] = (C_F + C_V \cdot n) \times (ARL2_{M/C} \times \lambda_2/\lambda + ARL2_H \times \lambda_2/\lambda) \quad (3.4)$$

Artık durum kontrolden çıktığında kalite eksikliğinden dolayı beklenen maliyeti, aslında süreç kontrolden çıktığı zaman kusurlu ürünlerin maliyetini elde ediyoruz. Bu maliyetler:

- Makine arızası nedeniyle işlem kontrolden çıktığında beklenen ürünü iade etme maliyeti:

$$E[c_o]_{M/C} = (PR \times P_{M/C} \times C_{Rej}) \times \{ (h+n.T_s) \times (ARL2_{M/C} \times \lambda_2/\lambda + ARL2_H \times \lambda_1/\lambda) - \tau + T_1 \} \times (\lambda_2/\lambda) \quad (3.5)$$

- Dış ve çevresel bir faktör nedeniyle süreç kontrolden çıktığında beklenen ürün iade etme maliyeti:

$$E[c_o]_H = (PR \times P_E \times C_{Rej}) \times \{ (h+n.T_s) \times (ARL2_{M/C} \times \lambda_2/\lambda + ARL2_H \times \lambda_1/\lambda) - \tau + T_1 \} \times (\lambda_1/\lambda) \quad (3.6)$$

Sırasıyla $P_{M/C}$ ve P_H , makine eskime ve dış ve çevresel nedenlerden dolayı arızalı bir ürün üretme olasılığıdır, bu olasılık 3.7 ve 3.8 denklemleri kullanılarak elde edilebilir:

$$P_{M/C} = 1 - \Pr(LSL \leq X \leq USL) = 1 - \Pr\left(\frac{LSL - (\mu + \delta_{M/C})}{\sigma} \leq N(0,1) \leq \frac{USL - (\mu + \delta_{M/C})}{\sigma}\right) \quad (3.7)$$

$$P_H = 1 - \Pr(LSL \leq X \leq USL) = 1 - \Pr\left(\frac{LSL - (\mu + \delta_H)}{\sigma} \leq N(0,1) \leq \frac{USL - (\mu + \delta_H)}{\sigma}\right) \quad (3.8)$$

USL , LSL alt ve üst kalite tolerans değerleridir.

$C_{resetting}$, dış nedenlerden dolayı belirli bir nedeni bulma ve geri yükleme maliyeti olarak tanımlanır. $C_{resetting}$ için beklenen değer:

$$E[C_{resetting}] = [C_{resetting} \times T_{resetting}] \times (\lambda_1/\lambda) \quad (3.9)$$

FM_2 hatası ve makina arızasının belirli nedenini bulup onarmaktan oluşan beklenen onarıcı bakım maliyeti:

$$E[C_{Repair}]_{FM_2} = \{(MT_{CM}) \cdot [PR \cdot C_{lp} + LC] + C_{FCCM}\} \times (\lambda_2 / \lambda) \quad (3.10)$$

Buna üretim kesintileri, işçilik maliyetleri ve sabit onarıcı bakım maliyetleri dahildir. Bu nedenle, söz konusu dönemde süreç başarısızlığının beklenen maliyeti aşağıdaki gibi olacaktır:

$$E[C_{process}] = E[C_{sampling}] + E[C_o]_{M/C} + E[C_o]_H + E[C_{resetting}] + E[C_{Repair}]_{FM_2} \quad (3.11)$$

İşlem başarısızlığının doğal olarak meydana geldiği varsayılmaktadır. Yani, her seferinde, işlem tekrar kontrollü durumdan kontrol dışı duruma geçtiğinde yeniden kontrollü duruma geçiyor, işlem süresi bir olacaktır. (Yani, sürenin uzunluğu sabit olacaktır). İşlem başarısızlık süresini tahmini bir zamanda M 'ye sahipsek, toplam maliyet şu şekilde olacaktır:

$$[TCQ]_{process-failure} = [E(C_{process})] \times M \quad (3.12)$$

Aslında M parametresi de Kuo tarafından (Kuo, 2006) eşitlik 3.13 'te olduğu gibi tanımlanmaktadır:

$$M = \frac{prd_E}{E[T_{cycle}]} \quad (3.13)$$

3.2.5. Proses uzunluğunun hesaplanması

Proses uzunluğunun beklenen değeri ($E[T_{cycle}]$) aşağıdaki ifadelerin toplamından oluşur:

- Belirli bir nedenin gerçekleşmesi için geçen süre,
- Sonuçların bir örneğini ve kontrol grafiğini analiz etmek ve araştırmak için gereken süre,

- Kontrol grafiğinin sürecin kontrol limitleri dışına çıktığını gösterebilmesi için geçmesi gereken süre,
- Olan özel nedeni bulup yorumlamak için geçen süre,
- Kusur FM_2 'den kaynaklanıyorsa gidermek veya kusur harici bir nedenden kaynaklanıyorsa işlemin kusursuz hale getirilmesi için geçen süre.

Kontrol altındaki durumun ortalama $1/\lambda$ ile üstel bir dağılım izlediği varsayılmaktadır.

Başarısızlık Oranı

İstatistiksel açılarından alınan örneklerin bağımsız olduğu varsayımı altında:

$$ARL1 = 1/\alpha \quad (3.14)$$

olarak tanımlanabilir. α ise:

$$\alpha = Pr(\text{out of control signal} | \text{process is in control}) \quad (3.15)$$

olarak tanımlanabilir. Bu durumda kalite kontrol hesaplamalarına göre:

$$\alpha = 2 F(-k) \quad (3.16)$$

Denklem 3.16 'de F normal kümülatif dağılım olacaktır.

λ : başarısızlık oranı

k : Kontrol sınır katsayısı

h : Örneklem süresi

τ 'nın, i ve $i + 1$ örneği arasında belirtilen neden ortaya çıktığında belirli bir nedenin beklenen oluşum zamanı olduğunu varsayalım. Bu nedenle (Linderman, 2005):

$$\tau = h/2 \quad (3.17)$$

O zaman τ 'nin i 'den bağımsız olduğu söylenebilir.

ARL2 işlemin kontrol dışına çıkması için ortalama örnek uzunluğu ve alınan örnekler bağımsız ise, QC 'ye göre:

$$ARL2_{M/C} = 1 / (1 - \beta_{M/C}) \quad (3.18)$$

$$ARL2_H = 1 / (1 - \beta_H) \quad (3.19)$$

$$\beta = \Pr(\text{in control signal} \mid \text{process is out of control})$$

$$\beta_{M/C} = \Pr(LCL \leq \bar{x} \leq UCL \mid \mu = \mu_1 = \mu_0 + \delta_{M/C} \sigma_p) \quad (3.20)$$

$$\beta_H = \Pr(LCL \leq \bar{x} \leq UCL \mid \mu = \mu_1 = \mu_0 + \delta_H \sigma_p) \quad (3.21)$$

$\bar{X} \sim N\left(\mu, \frac{\sigma_p^2}{n}\right)$ ile kontrolün üst ve alt sınırları şuna eşittir:

$$UCL = \mu_0 + k \sigma_p / \sqrt{n} \quad (3.21)$$

$$LCL = \mu_0 - k \sigma_p / \sqrt{n} \quad (3.23)$$

O zaman:

$$\beta_{M/C} = F\left(\frac{UCL - (\mu_0 + \delta_{M/C} \sigma_p)}{\sigma_p / \sqrt{n}}\right) - F\left(\frac{LCL - (\mu_0 + \delta_{M/C} \sigma_p)}{\sigma_p / \sqrt{n}}\right) \quad (3.24)$$

$$\beta_H = F\left(\frac{UCL - (\mu_0 + \delta_H \sigma_p)}{\sigma_p / \sqrt{n}}\right) - F\left(\frac{LCL - (\mu_0 + \delta_H \sigma_p)}{\sigma_p / \sqrt{n}}\right) \quad (3.25)$$

Burada F , standart normal kümülatif dağılım fonksiyonunu temsil eder. 3.24 ve 3.25 'teki eşitlikler 3.26 ve 3.27 'teki gibi basitleştirilebilir:

$$\beta_{M/C} = F(k - \delta_{M/C} \sqrt{n}) - F(-k - \delta_{M/C} \sqrt{n}) \quad (3.26)$$

$$\beta_H = F(k - \delta_H \sqrt{n}) - F(-k - \delta_H \sqrt{n}) \quad (3.27)$$

n adet numune için numunenin analiz süresi ve grafik sonucu analizi $n \times T_s$ olarak alınabilir. Burada T_s örnekleme zamanıdır.

Sürecin belirli bir nedenin oluşmasından dolayı kontrolden çıkması için beklenen oluşum süresi, aşağıdaki gibidir:

$$\{(h + n \times T_s) \times (ARL2_{M/c} \times \lambda_2 / \lambda + ARL2_H \times \lambda_1 / \lambda)\} - \tau \quad (3.28)$$

Dış ve çevresel nedenlerle başarısızlık oranı: λ_1

Makine eskimesi nedenlerle başarısızlık oranı: λ_2

T_1 'in belirli bir nedenin bulunması için beklenen süre olduğunu ve $E [T_{restore}]$ 'nün harici nedenlerden veya makinenin kontrolden çıkmasından sonra işlemi ilk haline geri getirmek için beklenen süre olduğunu varsayalım. Belirli bir neden aranmıştır, iyileşme süreci karşılaşılan sorunun türüne bağlıdır. Örneğin, makine eskimesi veya harici veya çevresel nedenlerden dolayı işlemde sorun oluşabilir. Geri yükleme veya onarım için beklenen süre ($E [T_{restore}]$) aşağıdaki gibi hesaplanır (Wang, 2010):

$$E [T_{restore}] = (T_{resetting} \times \lambda_1 / \lambda + MT_{CM} \times \lambda_2 / \lambda) \quad (3.29)$$

Böylece bir periyod için zaman:

$$E [T_{cycle}] = \{(h + n \times T_s) \times (ARL2_{M/c} \times \lambda_2 / \lambda + ARL2_H \times \lambda_1 / \lambda)\} - \tau + T_1 + E [T_{restore}] \quad (3.30)$$

3.2.6. Proses ve makine arıza oranları

Şimdiye kadar, bakım ve kalite kontrolünü entegre etmek için bir model sunulmuştur. Verilen bilgiler ışığında bakım ve kalite kontrol arasındaki ilişkiler birbirine bağlanabilir ve genel maliyet fonksiyonu entegre edilebilir. Böylece, işlem başarısızlık oranı (λ) için bir matematiksel ilişki elde edilerek amaç fonksiyonundaki iki konu birbiriyle ilişkilendirilebilir.

Bu çalışmada makine arızaları iki şekilde ele alınmıştır. Birincisi, makinenin performansının kademeli olarak eskimesi ve diğeri ise makinenin performansının hemen bozulmasıdır. Bir makine arızası olasılığı hakkındaki önceki bilgilerden türetilmiştir.

Benzer şekilde, makinede eskime ve yıpranma veya dış ve çevresel nedenlerden dolayı işlem arızalanabilir. Arıza oranının, makinenin eskimesinden kaynaklandığını (λ_2) ve arıza oranının dış ve çevresel nedenlerden kaynaklandığını (λ_1) varsayalım. Bu nedenle, başarısızlık oranı (λ), makinenin eskimesine bağlı başarısızlık oranının ve dış ve çevresel nedenlerden kaynaklanan başarısızlık oranının toplamı olacaktır.

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 \quad (3.31)$$

Makinenin eskimesinden kaynaklanan arıza oranı aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$\lambda_2 = \frac{1}{prd_E} \cdot N_f \quad (3.32)$$

Makinenin dış ve çevresel nedenlerden kaynaklanan arıza oranını:

$$\lambda_1 = \frac{1}{MTTF} \quad (3.33)$$

$MTTF$, arızalar arasındaki ortalama süredir (Panagiotidou, 2008).

N_f ve $MTTF$, her bir problem için verilere göre hesaplanır ve önleyici bakım aralıkları ve her aralık arasındaki arıza sayısı hakkındaki bilgiler N_f ve $MTTF$ 'yi hesaplamamıza yardımcı olur.

3.2.7. Ortalama kilitlenme sayısını önleyici bakım aralıklarının bir fonksiyonu olarak hesaplanması

Hata sayısını analitik ve kesin olarak kısa bir süre için elde etmenin imkânsız olduğu açıktır. N_f 'yi elde etmenin birkaç yolu vardır ve bir süreçteki arıza sayısını elde etmek için birçok model önerilmiştir, ancak önerilen yöntemler genellikle zaman alıcı ve karmaşıktır.

Bu çalışmada N_f t_{PM} 'nin bir fonksiyonu olarak düşünülmüş ve regresyon yaklaşım yöntemi kullanılmıştır. Önleyici bakım için zaman aralıklarını ve bir dönemin farklı süreçlerinde aralık başına düşen arıza sayısını kullanarak yaklaşık N_f değerine ulaşmak mümkündür. Aslında Yeung ve ark. (Yeung, Cassady ve Schneider, 2008) hata sayısı için aşağıdaki eşitliği önermiştir:

$$N_f = a (t_{PM})^b \quad (3.34)$$

Regresyon analizi ile a , b değerlerinin 1 ve 2 olduğunu tahmin edilebilir.



4. VERİ TOPLAMA VE ANALİZİ

Bölüm 3'te görüldüğü gibi, bu tez çalışmasında birbirinden bağımsız iki kalite kontrol ve bakım modeli birleştirilerek bütünleşik bir model şeklinde sunulmaktadır. Böylece, bakım ve kalite kontrol arasındaki tüm ilişkileri ve karşılıklı bağımlılıkları tek bir makine ve tek bileşenli bir sistemde üretilen tek bir ürün tipi için inceleyerek, bakım ve kalite kontrolün tüm yönlerini kapsayan bütünleşik bir model elde edilmiştir.

Bu aşamada önemli olan, önerilen modelin ele alınan sorunları birbirinden bağımsız olarak inceleyen modellerden daha verimli ve uygun bir şekilde inceleyip inceleyemediğinin belirlenmesidir. Bu bölümde geliştirilen bütünleşik model iki bağımsız bakım ve kalite kontrol modeliyle karşılaştırılacak, her iki yaklaşım da sayısal bir örnek kullanılarak hangi modelin daha uygun olduğu araştırılacaktır. Bunu yapmak için, önce problem iki bağımsız kalite kontrol ve bakım modeline ayrılacak, daha sonra hangi modelin en iyi çözümü sağlayacağını görmek için iki bağımsız ve bütünleşik modelin performansı sayısal bir örnek üzerinden karşılaştırılacaktır.

4.1. Bakım Modelleri

Bu modelde, bir sistemde sadece bakım ele alınmakta ve sadece bakımın dikkate alındığı varsayılmaktadır. Amaç, bakım maliyetinin bir fonksiyonu olması için önleyici bakım için en uygun zaman aralığını bulmaktır.

Bu model kalite kontrolünü dikkate almaz. Üretilen ürünlerin kalitesinin düşebileceği göz ardı edilir. Bakım maliyetleri de onarıcı ve önleyici bakım maliyetleri olarak ikiye ayrılmıştır. Daha önce verilen notasyon kullanılarak onarıcı bakım maliyeti eşitlik 4.1'de önleyici bakım maliyeti de eşitlik 4.2 'de verilmiştir.

$$C_{CM} = \{MT_{CM} \cdot [PR \cdot C_{lp} + LC] + C_{FCCM}\} \times N_f \quad (4.1)$$

$$C_{PM} = \{MT_{PM} \cdot [PR \cdot C_{lp} + LC] + C_{FCPM}\} \times \frac{prd_E}{t_{PM}} \quad (4.2)$$

Bu durumda, belli bir planlama dönemindeki toplam onarıcı ve önleyici bakım maliyetleri eşitlik 4.3 'te verildiği gibi tanımlanabilir:

$$C_{MP} = \frac{1}{prd_E} (C_{CM} + C_{PM}) \quad (4.3)$$

Bu durumda, önleyici bakım için en uygun zaman aralığı (t_{PM}), C_{MP} 'i en küçükleyerek elde edilir.

4.2. Kalite Kontrol Modeli

Bu modelde, sadece mevcut sistemin kalite kontrol unsurları göz önünde bulundurulmakta ve bakım sorunları göz ardı edilmektedir. Diğer bir deyişle bu model için tanımlanması gereken başka bir zaman periyodu bulunmaktadır. Bunun sonucu olarak $E[T_{cycle}]$ bütünleşik model için tanımlanandan farklıdır, bu değişikliklerin nedeni de açıktır. Bu model artık makine eskimesi ve onarım gerektiren eskime, makine arızalarını içermediğinden arıza oranı sadece dış ve çevresel nedenlere bağlıdır. Aslında, bakım ihtiyacı dikkate alınmazsa, üretilen ürünlerin kalitesini etkileyen tek şey dış ve çevresel faktörlerdir.

Kalite kontrol modelinde elde edilen sürenin uzunluğu yaklaşık olarak bütünleşik modeli ile elde edilene benzerlik gösterir. Bununla birlikte, buradaki başarısızlık oranı, λ_H ile belirtildiği gibi dış ve çevresel faktörlerle sınırlıdır. Dolayısıyla kalite kontrol modelinde $E[T_{cycle}]_{SPC}$ ile verilen periyod uzunluğu eşitlik 4.4 ile tanımlanabilir (Pandey, 2010):

$$E[T_{cycle}]_{SPC} = 1/\lambda_H + \{(h+nT_S) \times (ARL2)_H\} - \tau + T_1 + T_{reset} \quad (4.4)$$

Bakım maliyetleri göz ardı edildiğinde kalite kontrol maliyet fonksiyonu, C_{SPC} , eşitlik 4.5 olarak verilebilir:

$$C_{SPC} = \frac{(C_F + C_V \cdot n) \cdot (1/\lambda_H + T_0 \times \frac{S}{ARL1}) + \{h \times (ARL2)_H\} - \tau + nT_S}{h} + (\alpha \cdot PR \cdot C_{Rej}) \cdot (1/\lambda_H + (PR \times \frac{(R\delta)_H}{1-\beta_H} \times C_{Rej}) \cdot (h \cdot (ARL2)_H)) - \tau + nT_S + (C_{resetting} \times T_{resetting}) \quad (4.5)$$

Bu nedenle, birim zaman başına toplam kalite kontrol maliyeti (Lorenzen ve Vance, 1986):

$$CPUT_{SPC} = \frac{C_{SPC}}{E[T_{cycle}]_{SPC}} \quad (4.6)$$

4.3. Modeli Sayısal Veriler Üzerinde Çalıştırma

Bu bölümde, optimal karar değişkenlerini elde etmek için model üzerinde sayısal bir örnek uygulanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, öncelikle tek bileşenli bir makine tek bir makine sisteminin bir parçası olarak kabul edilir. Makinenin yedi saatlik üç vardiyada haftanın altı günü çalıştığını varsayalım. Önleyici bakım süresi 7 ve onarıcı bakım süresi 12 saat olarak varsayılmıştır. Sürecin başlangıçta kontrol altında olduğunu varsayalım.

Tablo 4.1. Verilen problem parametrelerinin değeri

Veri	C_v	C_F	$T_{resetting}$	T_1	T_0	T_s	$\delta_{M/C}$	δ_H
Değer	50	100	2	1	1	$\frac{20}{60}$	0.6	1.5
Veri	PR	C_{reset}	LC	C_{Lp}	C_{FCPM}	C_{FCCM}	$C_{false-Alarm}$	C_{Rej}
Değer	10	5000	500	400	1000	10000	1200	2500

Bu verileri bütünleşik modelimizde kullanarak modelimizi Maple yazılımında çözdürdüğümüzde bulunan en iyi çözüm için n^* , k^* , h^* , t_{PM}^* değerleri sırasıyla 12, 1.85, 6, 652 olarak bulunmuştur.

$$f^* = f(12, 1.85, 6, 652) = 112$$

4.4. Toplam Maliyet Fonksiyonu ve Karar Değişkenlerinin Duyarlılık Analizi

Bu bölüm verilerin analizi ve karar değişkenleri ve toplam maliyet fonksiyonu üzerindeki etkisi hakkında yapılan çalışmaları içermektedir. C_v , C_F , C_{rej} , $T_{resetting}$, T_0 , T_1 , δ_H , $\delta_{M/C}$ verilerinin her birinin model üzerindeki etkisi %10 ve %20 'lik artışlarla ve bunların karar değişkenleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve amaç fonksiyonunun en iyi değerine etkisi de ayrıca raporlanmıştır (Tablo 4.2).

Tablo 4.2. + (%10) ve + (%20) Seviyelerinde bazı problem parametrelerindeki değişikliklerin özeti

Veri	İlk Değer	+(%10)	+(%20)
δ_H	1.5	1.65	1.8
$\delta_{M/C}$	0.6	0.66	0.72
T_0	1	1.1	1.2
T_1	1	1.1	1.2
$T_{resetting}$	2	2.2	2.4
C_{Rej}	2500	2750	3000
C_v	50	55	60
C_F	100	110	120

Tablo 4.3. Karar değişkenlerinin ve amaç fonksiyonu değerleri + (%10) ve + (%20) seviyelerinde

<i>Veri</i>	<i>n</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	<i>t_{pm}</i>	<i>f(n, h, k, t_{pm})</i>
$\delta_H = 1.65$	11	7	1.90	653	118
$\delta_H = 1.8$	10	6	1.92	655.5	120.5
$\delta_{M/C} = 0.66$	12	8	1.85	654	119
$\delta_{M/C} = 0.72$	11	8	1.9	654	117
$T_0 = 1.1$	12	6	1.8	652	112
$T_0 = 1.2$	12	6	1.8	652	112
$T_1 = 1.1$	12	6	1.8	652	112
$T_1 = 1.2$	12	6	1.8	652	112
$T_{resetting} = 2.2$	12	6	1.95	651	113
$T_{resetting} = 2.4$	12	6	1.9	652	114
$C_{Rej} = 2750$	13	6	1.85	650	113
$C_{Rej} = 3000$	13	5.5	1.85	651	115
$C_F = 110$	12	6	1.8	652	112.5
$C_F = 120$	13	8	1.85	652	114.5
$C_v = 550$	11	9	1.8	651	113
$C_v = 600$	11	9	1.8	650	114

Tablo 4.3 'te görebileceğiniz gibi, amaç fonksiyonunun ve karar değişkenlerinin değerleri, δ_H ve $\delta_{M/C}$ verilerindeki %10 ve 20 'lik artışla önemli ölçüde değişmektedir, ancak diğer verilerdeki değişiklikler amaç fonksiyonunun ve karar değişkenlerinin değerlerinde önemli bir değişikliğe yol amamaktadır. Bu da modelimizde, sürecin kontrolden çıkmasının ve niceliksel özelliğin ortalama standart sapmasını değişmesinin çok önemli olduğunu gösterir.

4.5. Verilerin Bağımsız Modele Uygulanması

şimdi ele alınması gereken soru, bağımsız model kullanıldığında, amaç fonksiyonunun optimal değerinin nasıl değişeceğidir. Bölüm 4.5'te kullanılan veriler bağımsız bir kalite kontrol maliyeti fonksiyonu için Maple yazılımı kullanılarak çözdürülmüştür. Elde edilen sonuç aşağıdaki gibidir:

$$(n^*, k^*, h^*) = (11, 3.44, 9)$$

$$f^* = f(11, 3.44, 9) = 359.8$$

Görüldüğü gibi, sadece kalite kontrol bölümündeki maliyet fonksiyonu, bakım ve kalite kontrolün birlikte ele alındığı entegre modeldeki toplam maliyeti aşmaktadır. Aslında, bir kalite kontrol modelinin bakım ve onarım yönlerini dikkate almak, üretim ekipman ve makinelerinin denetimine ve kabul edilebilir kalitede ürünler üretmek için ekipman ve makinelerin bakım ve onarımına yol açacaktır. Beklenen kaliteli ürünlerin üretimi, kalite kontrol ile ilişkili maliyetleri azaltır.

Bu modelde önleyici bakım, önleyici bakım aralıkları ve kalite parametrelerinin optimum değerlerini belirleyerek kontrol dışı modların sayısının azalmasına ve kontrol altında üretilen ürünlerin toplam üretimin daha büyük bir yüzdesine ulaşmasına neden olur ve toplam maliyet işlevini en aza indirir. Bölüm 4.5'teki bir örnek olarak, maliyet fonksiyonu ihmal edilen bakımdan çok daha düşüktür ve önleyici bakımın yanı sıra kalite kontrolün dikkate alınmasının daha verimli olacağı sonucuna varılabilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

İmalatta zamanlama konusu mühendisler ve araştırmacılar için her zaman en önemli ve genişletilebilir konulardan biri olmuştur. Bu konuda günümüze kadar pek çok çalışma yapılmış ve birçok araştırmacı üretim planlamasını optimize etmek için farklı modeller önermiştir. Özellikle, tek makine sistemlerinde üretimde çizelgeleme problemi, üretim çizelgelemesinde alt problemlerinden birisidir. Önleyici bakım (PM) ve onarıcı bakım (CM) gibi konular da çizelgeleme literatürüne girmiş, önleyici ve onarıcı bakım işlemlerinin zamanlaması gibi konular da yeni bir araştırma alanı haline gelmiştir. Bu yeni araştırma alanının temelde cevaplamaya çalıştığı soru “Makinede bakım yapmak için en iyi zaman nedir?” sorusudur.

Öte yandan, makineler tarafından yapılan ürünlerin kalite kontrolü konusu da kalite kontrol personeli tarafından ele alınmaktadır. Sistem tarafından üretilen ürünün kalitesi beklentileri karşılıyor mu ve hedef değerler ile uyumlu mu? Sistem kontrol altında mı? Sistem kontrol dışındaysa nedeni nedir ve sistem nasıl tekrar kontrol altına alınabilir gibi sorular da kalite kontrol personeli tarafından cevapları aranan sorulardır. Sorun ya da sorunları çözmenin bir yolunu bulmak ve sistemin tekrardan kontrol altına dönmesini sağlamak da kalite kontrol personelinin sorumluluğu altındadır. Üretilen ürünün kalite kontrolüyle ilişkili maliyetleri en aza indirmek için kontrol çizelgesinin optimum parametrelerinin belirlenmesi ve kontrol çizelgesinin tasarlanması, ürün yöneticilerinin kalite kontrol ile ilgili faaliyetleri tartışırken dikkate alması gereken bir diğer konudur.

Bu iki konunun, yani bakım ve kalite kontrolün önemi, üretim tartışmasında inkâr edilemez ve üretimde bu iki yönün dikkate alınmaması üretime zarar verebilecek makinenin eskimesi, daha yüksek maliyetler, daha düşük ürün kalitesi, artan ürün iadesi, müşteri memnuniyetsizliği gibi birçok soruna yol açacaktır.

Belirtildiği gibi, bakım ve kalite kontrolünün iki konusu üretim planlama tartışmalarında özel bir öneme sahiptir ve üretim planlama çalışmalarında bu iki konunun ihmal edilmesinin birçok olumsuz sonucu olabilir. Bu amaçla, bu iki konuda birçok model sunulmuş ve geliştirilmiştir. Bu modellerin amacı, makine işsizliği maliyeti, işgücü maliyeti ve bakımların maliyetleri de dahil olmak üzere, işlem sırasında önleyici veya onarıcı bakım için bir zaman aralığı elde etmek ile en aza indirmek ve kalite kontrol konusunda, kontrol maliyetlerini en aza indirmek için kontrol grafiğinin parametrelerini optimize etmektir.

Ancak son çalışmalar, bu iki ynn önemli ilişkilere ve karşılıklı bağımlılıklara sahip olduğunu göstermiştir ve bu ilişkilerden dolayı bu iki yönü birlikte ele almak daha iyi sonuçlara yol açacaktır. Aslında, bu iki yönü bağımsız olarak ve ayrı ayrı düşünmek, aralarındaki ilişkiler göz önüne alındığında, rasyonel değildir ve optimal sonuçlar üretemez. Son yıllarda araştırmacılar tarafından birçok entegre model önerilmiştir; bunların çoğu, bu iki yönden bağımsız olarak üretim sürecini iyileştirmektense bakım, üretim planlama ve kalite kontrol süreçlerini entegre etmeyi karşılaştırır ve bu iki yönü birlikte ele almanın, ayrı olarak dşnldğinden daha az maliyete sebep olduğunu kanıtlar.

Bu tez, bakım ve kalite kontrolün iki yönünü tek bir sistemde, entegre bir model olarak sunmaktadır. Bu modelde tüm bakım ve kalite kontrol özellikleri birleşik bir modelde ele alınmış ve Maple yazılımı kullanılarak zdrlmştir. Önerilen model, dört karar değişkeninin her birinin optimal değerini belirler. Bu karar değişkenleri, örneklem büyüklüğü (n), örnekleme aralığı süresi (h), kontrol sınırı katsayısı (k) ve önleyici bakım süresi aralıkları (t_{PM}) olarak sıralanabilir. Maliyet parametrelerinin kalite kontrol ve önleyici bakımı ekonomik olarak entegre etme politikası üzerindeki etkisi de sayısal bir örnek üzerinden gösterilmiştir.

Ayrıca bu tezde, bütünleşik model sayısal bir örnek kullanılarak bağımsız model ile karşılaştırılmış ve toplam maliyetteki farkın çok büyük olduğu ve entegre modelin bağımsız model üzerindeki üstünlüğünü gösterdiği gözlemlenmiştir.

Araştırma yenilikleri olarak aşağıda belirtilen konular düşünülebilir:

- Bugüne kadar birleştirilmiş çoğu model daha fazla kalite kontrol sorunlarına odaklanmıştır ve ekipmanın arızalanması ve makinenin durması veya makinenin ve ekipmanın hatalı performansının düşük üretim kalitesine neden olma olasılığını tamamen görmezden gelir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarla bu soruna bütüncül bir yaklaşım kullanan bir çözüm nerisi getirilmiştir.
- Çoğu entegre model, önleyici değiştirme veya ilk etapta ekipmanı iyi bir şekilde tamirine olanak sağlayan eksiksiz ve kusursuz önleyici bakım politikasına odaklanmaktadır. Entegre modeller içinde eksik ve kusurlu önleyici bakım durumunu ele alan nispeten az sayıda çalışma vardır.

- Çoğu entegre model, kontrol grafiğinin ekonomik tasarımına geleneksel bir hedef yaklaşımı göz önünde bulundurur. Ancak, hedef değerin kalite özelliklerinden herhangi bir sapma dolaylı olarak müşterilere zarar verir. Bu nedenle, ikincil dereceden fonksiyon yaklaşımının bakımın ekonomik planı ve kalite kontrol çizelgesi politikası ile ilişkilendirilmesi daha iyi sonuçlar verir.
- Bir makinenin arızalanması, makine tarafından üretilen ürünlerin iade edilmesine yol açarak performansı düşürür ve dolayısıyla kaliteyi düşürür. Bu nedenle, bakım maliyetleri sadece işsizlik ve onarım ve değiştirme maliyetlerini değil, aynı zamanda ürünün iade maliyetini de içerebilir. İade maliyetinin büyüklüğü, üretim sisteminin türüne bağlı olarak değişebilir. Bu yönler ve özellikler birçok bakım optimizasyonu modelinde göz ardı edilir.

Gelecekteki muhtemel araştırma konuları olarak bu konular düşünülebilir:

- Bu tezde tek makineden oluşan bir üretim sistemi ele alınmış, gelecekteki araştırmalarda çok makineli sistemlere genişletilebilir.
- Burada işlem hatası üstel bir dağılım izler. İşlemin parçalanma süresi dağılımının başka bir dağılım olduğu varsayılabilir.
- Bu tezde sadece kantitatif (nicel) özellik dikkate alınmıştır. Oysa soru daha kalitatif (nitel) özelliklerle modellenebilir.
- Burada kalite özelliği $\bar{X}$ kontrol grafiği ile izlenir. Nicel özellik, takip olarak başka şekillerde de izlenebilir.

KAYNAKÇA

- Allaoui, H. and Artiba, A., (2004). Integrating simulation and optimization to schedule a hybrid flow shop with maintenance constraints. *Computers & Industrial Engineering*, 47,431–450.
- Ashyeri, J., Teelen, A. and Selen, W., (1996). A production and maintenance planning model for the process industry. *International Journal of Production Research*, 34(12), 3311-3326.
- Batun, S. and Azizoglu, M., (2009). Single machine scheduling with preventive maintenance. *International Journal of Production Research*, 47(7),1753–1771.
- Ben-Daya, M. and Duffuaa, S.O., (1995). Maintenance and Quality: The Missing Link. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 1(1), 20-26.
- Ben-Daya, M. and Rahim, A., (1998). Optimal Lot Sizing, Quality Improvement, and Inspection Errors for Multi-Stage Production Systems. *Systems Engineering*, King Fahd University of Petroleum & Minerals.
- Ben-Daya, M. and Rahim, M.A., (2000). Effect of Maintenance on the Economic Design of x-Chart. *The European Journal of Operational Research*., 120, 131-143.
- Ben-Daya, M., (1999). Quality and reliability Improvement in Multistage Production Systems. *Proceedings of the 5th ISSAT International Conference on Reliability and Quality Design*, 229-233.
- Berrichi, A., Amodeo, L., Yalaoui, F., Châtelet, E. and Mezghiche, M., (2009). Bi objective optimization algorithms for joint production and maintenance scheduling: application to the parallel machine problem. *J Intell Manuf.*, 20, 389–400.
- Black, J. and Mejabi, O., (1995). Simulation of complex manufacturing equipment reliability using objectoriented methods. *Reliability Engineering and System Safety*, 48(1), 11–18.
- Brandolese, M., M. Francei and A., (1996). Pozzetti Production and Maintenance Integrated Planning. *International Journal of Production Research*, 34(7), 59-75.

- Cassady, C.R., et al., (2000). Combining preventive maintenance and statistical process control: a preliminary investigation. *IIE Transactions*, 32, 471–478.
- Chen, S.L. and Chung, K.J., (1996), Determination of the optimal production run and the most profitable process mean for a production process. *International Journal of Production Research*, 34(7), 2051-58.
- Cheng, T.C.E., (1991). An Economic Order Quantity Model with Demand Dependent Unit Production Cost and Imperfect Production Processes. *LIE Transactions*, 23(1), 23-28.
- Cheng, T.C.E., (1991). EPQ with Process Capability and Quality Assurance Considerations. *Journal of the Operational Research Society*, 42(8), 713-720.
- Chiu, H.N. and Huang, B.S., (1995). The Economic Design of $\bar{x}$ and S^2 Control Charts with Preventive Maintenance and Increasing Hazard Rate. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 1(4), 17-40.
- Chiu, H.N. and Huang, B.S., (1996) The Economic Design of $\bar{x}$ -Control Charts under Preventive Maintenance Policy. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 13(1), 61-71.
- Dohi, T., Yamada, Y., Kaio, N. and Osaki, S., (1997). The optimal lot sizing for unreliable economic manufacturing models. *International Journal of reliability Quality and Safety Engineering*, 4, 413-426.
- Duncan, A.J., (1956). The Economic design of $\bar{x}$ -charts used to maintain current control of a process. *Journal of the American Statistical Association*, 51, 228-242.
- Elsayed, E. A. *Reliability Engineering*. New York, Addison Wesley Longman, (1996).
- Garg, A. and Deshmukh, S.G. (2005). Maintenance management: literature review and directions. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 12 (3), 205-238.
- Garvin, D. A., (1987). Competing in the Eight Dimensions of Quality *Harvard Business Review*. Sept-Oct. 87(6), 101-109.
- Goyal, S.K., Gunasekaran A., Martikainen T. and Yli-Olli, P., (1993). Integrating production and quality control policies: A survey. *European Journal of Operational Research*, 69, 1-13.

- Gunasekaran, A., Korukonda, A.R., Virtanen, I. and Yli-OUI, P., (1995). Optimal Investment and Lot Sizing Policies for Improved Productivity and Quality. *International Journal of Production Research*, 33(1), 261-278.
- Hariga, M. and Ben-Daya, M., (1998). The Economic Manufacturing Lot Sizing Problem with Imperfect Manufacturing Processes: Bounds and Optimal Solutions. *Naval Research Logistics*, 45, 423-433.
- Huang, B. and Chiu, H. (1995) The Quality Management of the Imperfect Production Process under Two Monitoring Policies. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 12 No.3 19-31.
- Jones, L.A., W.H. Woodall, and M.D. Conerly, (1999). Exact Properties of Control Chart. *Journal of Quality Technology*.31(2), 207-216.
- Kaabi, J., Varnier, C. and Zerhoni, N., (2002). Heuristics for scheduling maintenance and production on a single machine. *IEEE Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Hammamet, Tunisia, 6–9 October.
- Khouja, M. and Mehrez, A., (1994). Economic Production Lot Size Model with Variable Production Rate and Imperfect Quality. *Journal of Operational Research Society*, 45(12), 1405-1417.
- Kim, C. H. and Hong, Y., (1999). An Optimal Production Run Length in Deteriorating Production Processes. *International Journal of Production Economics*, 58(2), 183-189.
- Kumar, U. (2008). System maintenance: trends in management and technology, in Misra, K.B. (Ed.), *Handbook of Performability Engineering*, Springer, London, 773-787.
- Kuo, Y., (2006). Optimal adaptive control policy for joint machine maintenance and product quality control. *European Journal of Operational Research*, 171, 586–597.
- Lee, H.L., (1992). Lot Sizing to Reduce Capacity Lot Utilization in a Production Process with Defective Items, *Process correction and Rework Management Science*, 1314-1328.

- Lee, H.L., and Rosenblatt M.J., (2004). Simultaneous Determination of Production Cycles and Inspection Schedules in a Production System. *Management Science*, 33(11), 25-36.
- Lee, H.L., and Rosenblatt M.J., (2005). Economic Design and Control of Monitoring Mechanisms in Automated Production Systems. *IIE Transactions*, 20(2), 201-209.
- Lee, H.L., and Rosenblatt M.J., (2006). A Production and Maintenance Planning Model with Restoration Cost Dependent on Detection Delay. *IIE Transactions*, 21(4), 368-375.
- Leng, K., Ren, P., & Gao, L., (2006). A novel approach to integrated preventive maintenance planning and production scheduling for a single machine using the chaotic particle swarm optimization algorithm. In *Proceedings of the 6th world congress on intelligent control and automation* (pp. 7816–7820). June 21–23, Dalian, China.
- Lin, T.M., Tseng, S.T. and Liou, M.J., (1991). Optimal Inspection Schedule in the Imperfect Production System Under General Shift Distribution. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 8(2), 73-81.
- Linderman, K., McKone-Sweet, K.E., and Anderson, J.C., (2005). An integrated systems approach to process control and maintenance. *European Journal of Operational Research*, 164, 324–340.
- Liou, M.J., Tseng, S.T. and Lin, T.M., (1994). The Effects of Inspection Errors to the Imperfect EMQ Model. *IIE Transactions*, 26(2), 42-51.
- Lorenzen, T. J., & Vance, L. C. (1986). The economic design of control charts. A unified approach. *Technometrics*, 28(1), 3–10.
- Makis, V. and J. Fung, (1995). Optimal Preventive Maintenance Replacement, Lot Sizing and Inspection Policy for a Deteriorating Production System. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 1(4), 41-55.
- Makis, V., (1998). Optimal Lot Sizing and Inspection Policy for an EMQ Model with Imperfect Inspections *Naval Research Logistics*, 45, 165-186.

- Makis, V., X. Jiang and Tse, E., (2000). A General EMQ Model with Machine Breakdowns. In Maintenance Modeling and Optimization, Editors: M. Ben-Daya, S. Duffuaa, and A. Raouf (eds). Kluwer Academic Publishers.
- Meller, R.D. and Kim, D.S., (1996). The Impact of Preventive Maintenance on System Cost and Buffer Size. *European Journal of Operations Research*, 95, 577-591.
- Misra, K.B. (2008). Maintenance engineering and maintainability: an introduction, in Misra, K.B. (Ed.), *Handbook of Performability Engineering*, Springer, London, 755-772.
- Montgomery, D.C. *Introduction to Statistical Quality Control*, 2nd Edition, Wiley and Sons, New York, (1991).
- Murthy, D.N.P. and Blischke, W.R., (1992). Product warranty man- argument - II: An integrated framework for study. *European Journal of Operational Research*, 62, 261-228
- Murthy, D.N.P., Wilson, R.J. and Djamaludin, I., (1993). Product warranty and quality control. *Quality and Reliability Engineering*, 9, 431-443.
- Nakagawa, T. A., (1980). Summary of Imperfect Preventive Maintenance Policies with Minimal Repair. *Operations Research*, 14(3), 249-255.
- Osaki, S. and Nakagawa, T., (1976). Bibliography of Reliability and availability of Stochastic Systems. *IEEE Transaction on Reliability*, R-25, 284-287.
- Panagiotidou, S. and Nenes, G., (2009). An economically designed, integrated quality and maintenance model using an adaptive Shewhart chart. *Reliability Engineering and System Safety*, 94, 732–741.
- Panagiotidou, S. and Tagaras, G., (2007). Optimal preventive maintenance for equipment with two quality states and general failure time distributions. *European Journal of Operational Research*, 180(1), 329–353.
- Panagiotidou, S. and Tagaras, G., (2008). Evaluation of maintenance policies for equipment subject to quality shifts and failures. *International Journal of Production Research*, 46(20), 5761–5779.

- Pandey, D., Kulkarni, (2010). A model for optimal maintenance interval incorporating the cost of rejections in manufacturing International Journal of Advanced Operations Management.
- Pandey, D., Kulkarni, M.S. and Vrat, P. (2007). Integrated production scheduling, quality, maintenance models: an overview, in Jain, C.K. (Ed.), Proceedings of the International, Conference on Recent Trends in Mechanical Engineering ICRTME, Ujjain Engineering, College, Ujjain, India, 4-6 October, pp. IP-21-5.
- Pierskalla, W.P. and Voelker, J.A., (1976). A Survey of Maintenance Models: The Control and Surveillance of Deteriorating Systems. Naval Research Logistics Quarterly, 23, 353-388.
- Porteus, E.L., (1986). Optimal Lot Sizing, Process Quality Improvement and Setup Cost Reduction. Operations Research, 34, 137-144.
- Rahim, M.A. and Ben-Daya, M. A., (1998). Generalized Economic Model for Joint Determination of Production Run, Inspection Schedules and Control Chart Design. International Journal of Production Research, 36, 277-289.
- Rahim, M.A., (1994). Joint Determination of Production Quantity, Inspection Schedule and Control Chart Design. IIE Transactions, 26(6), 2-11.
- Rishel, T.D. and Christy, D.P., (1996). Incorporating Maintenance Activities into Production Planning; Integration at the Master Schedule Versus Material Requirements Level. International Journal of Production Research, 34(2), 421-446.
- Rosenblatt, M.J., and Lee, H.L., (1986). A comparative Study of Continuous and Periodic Inspection Policies in Deteriorating Production Systems. IIE Transactions, 18, 2-9.
- Rosenblatt, M.J., and Lee, H.L., (1986). Economic Production Cycles with Imperfect Production Process. IIE Transactions, 18, 48-55.
- Sherif, V.S., and M.L. Smith, (1981). Optimum Maintenance Models for Systems Subject to Failure: A Review. Naval Research Logistics Quarterly, 28, 47-74.

- Tagaras, G., (1988). An Integrated Cost Model for the Joint Optimization of Process Control and Maintenance. *J. Opl Res. Soc.* 39(8), 757-766
- Taguchi, G., (1986). Introduction to Quality Engineering. Asian Productivity Organization American Supplier Institute.
- Voros, J. (1999) Lot Sizing with Quality Improvement and Setup Time Reduction. *European Journal of Operations Research*, 113 568-574.
- Wang, W., (2010). Maintenance models based on the np control charts with respect to the sampling interval. *Journal of the Operational Research Society*, (13 January 2010), 165.
- Wright, C.M. and Mehrez A., (1998). An Overview of Representative Research of the Relationships Between Quality and Inventory. *Omega: International Journal of Management Science*, 26, 29-47.
- Yeung, T.G., Cassady, C.R., and Schneider, K., (2008). Simultaneous optimization of X-control chart and age-based preventive maintenance policies under an economic objective. *IIE Transactions*, 40, 147–159.
- Zhang, X. and Grechak, Y., (1990). Joint Lot Sizing and Inspection Policy in an EOQ Model with Random Yield. *IIE Transactions*, 22, 44-47.
- Zhou, W.H. and Zhu, G.L., (2008). Economic design of integrated model of control chart and maintenance management. *Mathematical and Computer Modeling*, 47(11), 1389–1395.

EKLER

Bu bölümde, sonuçlarla entegre ve bağımsız bir model için Maple yazılımında çözüm adımları sunulmaktadır.

1. ÖNLEYİCİ VE ONARICI BAKIM MALİYET MODELİNİ UYGULAMAK:

$$p := \frac{1398.4 \times x^{0.8703} + \frac{227500000}{x}}{7000} ;$$

$$0.1997714286x^{0.8703} + \frac{32500}{x}$$

2. SÜREÇ BAŞARISIZLIĞI NEDENİLE KALİTE BOZULMASINDAN DOĞAN MALİYET MODELİNİN UYGULAMASI:

2.1. Hatalı Arıza Uyarı Maliyeti:

$$q := \frac{1}{7000} \left((1200) \times \left(\frac{e^{-(0.012429 + 0.000003121 \times x^{0.8703}) \times h}}{1 - e^{-(0.012429 + 0.000003121 \times x^{0.8703}) \times h}} \right) \times 2 \times \left(\int_{-\infty}^{-k} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) \right);$$

$$\frac{12}{35} \frac{e^{-(0.012429 + 0.000003121 x^{0.8703}) h} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left(\frac{1}{2} \sqrt{2} k \right) \right)}{1 - e^{-(0.012429 + 0.000003121 x^{0.8703}) h}}$$

2.2. Makine Arızası Nedeniyle İşlem Kontrolden Çıktığında Ürün Geri Dönüş Maliyetini Yerleştirmek:

$$z1 := \left(10 \times \left(1 - \left(\int_{-\infty}^{3-0.6} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) - \left(\int_{-\infty}^{-3.6} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) \right) / \left(1 - \left(\int_{-\infty}^{k - ((0.6) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) - \left(\int_{-\infty}^{-k - ((0.6) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) \right) \times 2500 \right);$$

$$200.9606828 / (-0.5000000000 \operatorname{erf}(0.7071067812k - 0.4242640687\sqrt{n}) + 0.5000000000 \operatorname{erf}(0.7071067812k + 0.4242640687\sqrt{n}))$$

$$z2 := h \times \left(\left(1 / \left(1 - \left(\int_{-\infty}^{k - ((0.6) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) - \left(\int_{-\infty}^{-k - ((0.6) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) \right) \right) \right)$$

$$\times \frac{(0.02185 \times (x)^{0.8703})}{87 + (0.02185 \times (x)^{0.8703})} + \left(1 / \left(1 - \left(\int_{-\infty}^{k - ((1.5) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) - \left(\int_{-\infty}^{-k - ((1.5) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) \right) \right) \times \frac{87}{87 + (0.02185 \times (x)^{0.8703})} \right) - \frac{h}{2} + 1 + \left(\frac{1}{3} \times n \right);$$

$$h \left((0.02185x^{0.8703}) / ((-0.5000000000\operatorname{erf}(0.7071067812k \right. \\ \left. - 0.4666904756\sqrt{n}) + 0.5000000000\operatorname{erf}(0.7071067812k \right. \\ \left. + 0.4666904756\sqrt{n})) (87 + 0.02185x^{0.8703})) + 87 / ((\right. \\ \left. -0.5000000000\operatorname{erf}(0.7071067812k - 1.060660172\sqrt{n}) \right. \\ \left. + 0.5000000000\operatorname{erf}(0.7071067812k + 1.060660172\sqrt{n})) (87 \right. \\ \left. + 0.02185x^{0.8703})) - \frac{1}{2} h + 1 + \frac{1}{3} n$$

$$z3 := \left(\frac{(0.02185 \times (x)^{0.8703})}{87 + (0.02185 \times (x)^{0.8703})} \right);$$

$$\frac{0.02185x^{0.8703}}{87 + 0.02185x^{0.8703}}$$

$$z4 := (z1 \times z2) \times z3;$$

$$\left(4.390990919 \left(h \left((0.02185x^{0.8703}) / ((\right. \right. \right. \\ \left. \left. -0.5000000000\operatorname{erf}(0.7071067812k - 0.4666904756\sqrt{n}) \right. \right. \\ \left. \left. + 0.5000000000\operatorname{erf}(0.7071067812k + 0.4666904756\sqrt{n})) (87 \right. \right. \\ \left. \left. + 0.02185x^{0.8703})) + 87 / ((\right. \right. \\ \left. \left. -0.5000000000\operatorname{erf}(0.7071067812k - 1.060660172\sqrt{n}) \right. \right. \\ \left. \left. + 0.5000000000\operatorname{erf}(0.7071067812k + 1.060660172\sqrt{n})) (87 \right. \right. \\ \left. \left. + 0.02185x^{0.8703})) - \frac{1}{2} h + 1 + \frac{1}{3} n \right) x^{0.8703} \right) / ((\right. \\ \left. -0.5000000000\operatorname{erf}(0.7071067812k - 0.4242640687\sqrt{n}) \right. \\ \left. + 0.5000000000\operatorname{erf}(0.7071067812k + 0.4242640687\sqrt{n})) (87 \right. \\ \left. + 0.02185x^{0.8703}))$$

$$z := \frac{z4}{7000};$$

$$\begin{aligned}
& \left(0.0006272844170 \left(h \left((0.02185x^{0.8703}) / \left(\left(\right. \right. \right. \right. \right. \right. \\
& \quad -0.5000000000 \operatorname{erf} \left(0.7071067812k - 0.4666904756\sqrt{n} \right) \\
& \quad + 0.5000000000 \operatorname{erf} \left(0.7071067812k + 0.4666904756\sqrt{n} \right) \right) \left(87 \right. \\
& \quad \left. \left. + 0.02185x^{0.8703} \right) \right) + 87 / \left(\left(\right. \right. \\
& \quad -0.5000000000 \operatorname{erf} \left(0.7071067812k - 1.060660172\sqrt{n} \right) \\
& \quad + 0.5000000000 \operatorname{erf} \left(0.7071067812k + 1.060660172\sqrt{n} \right) \right) \left(87 \right. \\
& \quad \left. \left. + 0.02185x^{0.8703} \right) \right) \right) - \frac{1}{2} h + 1 + \frac{1}{3} n \left(x^{0.8703} \right) \Bigg/ \left(\left(\right. \right. \\
& \quad -0.5000000000 \operatorname{erf} \left(0.7071067812k - 0.4242640687\sqrt{n} \right) \\
& \quad + 0.5000000000 \operatorname{erf} \left(0.7071067812k + 0.4242640687\sqrt{n} \right) \right) \left(87 \right. \\
& \quad \left. \left. + 0.02185x^{0.8703} \right) \right)
\end{aligned}$$

2.3. İade Maliyetleri Dış ve Çevresel bir Faktör Nedeniyle Süreç Kontrolden Çıktığında:

$$\begin{aligned}
uI := & \left(10 \times \left(1 - \left(\int_{-\infty}^{3-1.5} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) - \left(\int_{-\infty}^{-4.5} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) \right) \Bigg/ \left(1 - \left(\int_{-\infty}^{k - ((1.5) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) - \left(\int_{-\infty}^{-k - ((1.5) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) \right) \times 2500 \right);
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 1670.095091 / \left(-0.5000000000 \operatorname{erf} \left(0.7071067812k \right. \right. \\
& \quad \left. \left. - 1.060660172\sqrt{n} \right) + 0.5000000000 \operatorname{erf} \left(0.7071067812k \right. \right. \\
& \quad \left. \left. + 1.060660172\sqrt{n} \right) \right)
\end{aligned}$$

$$u3 := \left(\frac{87}{87 + (0.02185 \times (x)^{0.8703})} \right);$$

$$\frac{87}{87 + 0.02185x^{0.8703}}$$

$$u4 := (u1 \times z2) \times u3;$$

$$\begin{aligned} & \left(1.45298272910^5 \left(h \left((0.02185x^{0.8703}) / ((\right. \right. \right. \\ & \quad -0.5000000000\text{erf}(0.7071067812k - 0.4666904756\sqrt{n}) \\ & \quad + 0.5000000000\text{erf}(0.7071067812k + 0.4666904756\sqrt{n})) (87 \\ & \quad + 0.02185x^{0.8703})) + 87 / ((\\ & \quad -0.5000000000\text{erf}(0.7071067812k - 1.060660172\sqrt{n}) \\ & \quad + 0.5000000000\text{erf}(0.7071067812k + 1.060660172\sqrt{n})) (87 \\ & \quad + 0.02185x^{0.8703})) - \frac{1}{2} h + 1 + \frac{1}{3} n \Big) \Big) / ((\\ & \quad -0.5000000000\text{erf}(0.7071067812k - 1.060660172\sqrt{n}) \\ & \quad + 0.5000000000\text{erf}(0.7071067812k + 1.060660172\sqrt{n})) (87 \\ & \quad + 0.02185x^{0.8703})) \end{aligned}$$

$$u := \frac{u4}{7000};$$

$$\begin{aligned}
& \left(20.75689613 \left(h \left((0.02185x^{0.8703}) / \left(\left(\right. \right. \right. \right. \right. \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left. \left. -0.5000000000 \operatorname{erf} \left(0.7071067812k - 0.4666904756\sqrt{n} \right) \right. \right. \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left. \left. + 0.5000000000 \operatorname{erf} \left(0.7071067812k + 0.4666904756\sqrt{n} \right) \right) \right) \left(87 \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left. \left. + 0.02185x^{0.8703} \right) \right) + 87 / \left(\left(\right. \right. \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left. \left. -0.5000000000 \operatorname{erf} \left(0.7071067812k - 1.060660172\sqrt{n} \right) \right. \right. \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left. \left. + 0.5000000000 \operatorname{erf} \left(0.7071067812k + 1.060660172\sqrt{n} \right) \right) \right) \left(87 \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left. \left. + 0.02185x^{0.8703} \right) \right) \right) - \frac{1}{2} h + 1 + \frac{1}{3} n \right) \Bigg) / \left(\left(\right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left. \left. -0.5000000000 \operatorname{erf} \left(0.7071067812k - 1.060660172\sqrt{n} \right) \right. \right. \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left. \left. + 0.5000000000 \operatorname{erf} \left(0.7071067812k + 1.060660172\sqrt{n} \right) \right) \right) \left(87 \right. \right. \\
& \quad \left. \left. \left. \left. + 0.02185x^{0.8703} \right) \right) \right)
\end{aligned}$$

2.4. Bir Dönemde Örneklemenin Beklenen Maliyeti:

$$t1 := (100 + (50 \times n));.$$

$$100 + 50 n$$

$$\begin{aligned}
t2 := & \left(\left(\frac{7000}{87 + (0.02185 \times (x)^{0.8703})} \right) \right. \\
& + \left(\left(\frac{e^{-(0.012429 + 0.000003121 \times x^{0.8703}) \times h}}{1 - e^{-(0.012429 + 0.000003121 \times x^{0.8703}) \times h}} \right) \times 2 \times \left(\right. \right. \\
& \left. \left. \int_{-\infty}^{-k} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) \right) \Bigg);
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{7000}{87 + 0.02185x^{0.8703}} \\
& + \left(2 e^{-(0.012429 + 0.000003121 x^{0.8703})} h \left(\frac{1}{2} \right. \right. \\
& \left. \left. - \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{1}{2} \sqrt{2} k\right)\right) \right) / \left(1 \right. \\
& \left. - e^{-(0.012429 + 0.000003121 x^{0.8703})} h \right)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t3 := h \times & \left(\left(1 / \left(1 - \left(\int_{-\infty}^{k - ((0.6) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} \right. \right. \right. \right. \\
& \left. \left. \left. \mathrm{d}y \right) - \left(\int_{-\infty}^{-k - ((0.6) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} \mathrm{d}y \right) \right) \right) \\
& \times \frac{(0.02185 \times (x)^{0.8703})}{87 + (0.02185 \times (x)^{0.8703})} \Bigg) + \left(1 / \left(1 - \left(\int_{-\infty}^{k - ((1.5) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} \mathrm{d}y \right) - \left(\int_{-\infty}^{-k - ((1.5) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} \mathrm{d}y \right) \right) \right) \right) \\
& \times \frac{87}{87 + (0.02185 \times (x)^{0.8703})} \Bigg) \Bigg) - \frac{h}{2} + \left(\frac{1}{3} \times n \right);
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& h \left((0.02185x^{0.8703}) / ((-0.5000000000\operatorname{erf}(0.7071067812k \right. \\
& \left. - 0.4666904756\sqrt{n}) + 0.5000000000\operatorname{erf}(0.7071067812k \right. \\
& \left. + 0.4666904756\sqrt{n})) (87 + 0.02185x^{0.8703}) \right) + 87 / ((\\
& -0.5000000000\operatorname{erf}(0.7071067812k - 1.060660172\sqrt{n}) \\
& + 0.5000000000\operatorname{erf}(0.7071067812k + 1.060660172\sqrt{n})) (87 \\
& + 0.02185x^{0.8703})) - \frac{1}{2} h + \frac{1}{3} n
\end{aligned}$$

$$t4 := \frac{(t2 + t3) \times t1}{h};$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{h} \left(\left(\frac{7000}{87 + 0.02185x^{0.8703}} \right. \right. \\ & + \left(2 e^{-(0.012429 + 0.000003121 x^{0.8703}) h} \left(\frac{1}{2} \right. \right. \\ & - \left. \left. \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{1}{2} \sqrt{2} k\right) \right) \right) \right) / \left(1 \right. \\ & - \left. e^{-(0.012429 + 0.000003121 x^{0.8703}) h} \right) \\ & + h \left(\left(0.02185x^{0.8703} \right) / \left(\left(-0.5000000000 \operatorname{erf}\left(0.7071067812k \right. \right. \right. \right. \\ & - \left. \left. 0.4666904756\sqrt{n} \right) + 0.5000000000 \operatorname{erf}\left(0.7071067812k \right. \right. \\ & + \left. \left. 0.4666904756\sqrt{n} \right) \right) \left(87 + 0.02185x^{0.8703} \right) + 87 / \left(\left(\right. \right. \\ & - \left. \left. 0.5000000000 \operatorname{erf}\left(0.7071067812k - 1.060660172\sqrt{n} \right) \right) \right. \\ & + \left. \left. 0.5000000000 \operatorname{erf}\left(0.7071067812k + 1.060660172\sqrt{n} \right) \right) \left(87 \right. \right. \\ & + \left. \left. 0.02185x^{0.8703} \right) \right) - \frac{1}{2} h + \frac{1}{3} n \left(100 + 50 n \right) \end{aligned}$$

$$t := \frac{t4}{7000};$$

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{7000} \frac{1}{h} \left(\left(\frac{7000}{87 + 0.02185x^{0.8703}} \right. \right. \\
& + \left(2 e^{-(0.012429 + 0.000003121 x^{0.8703})} h \left(\frac{1}{2} \right. \right. \\
& - \left. \left. \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{1}{2} \sqrt{2} k\right)\right) \right) \right) / \left(1 \right. \\
& - \left. e^{-(0.012429 + 0.000003121 x^{0.8703})} h \right) \\
& + h \left(\left(0.02185x^{0.8703} \right) / \left(\left(-0.5000000000 \operatorname{erf}\left(0.7071067812k \right. \right. \right. \right. \\
& - \left. \left. 0.4666904756\sqrt{n} \right) + 0.5000000000 \operatorname{erf}\left(0.7071067812k \right. \right. \\
& + \left. \left. 0.4666904756\sqrt{n} \right) \right) \left(87 + 0.02185x^{0.8703} \right) + 87 / \left(\left(\right. \right. \\
& - \left. \left. 0.5000000000 \operatorname{erf}\left(0.7071067812k - 1.060660172\sqrt{n} \right) \right. \right. \\
& + \left. \left. 0.5000000000 \operatorname{erf}\left(0.7071067812k + 1.060660172\sqrt{n} \right) \right) \left(87 \right. \right. \\
& + \left. \left. 0.02185x^{0.8703} \right) \right) - \frac{1}{2} h + \frac{1}{3} n \left(100 + 50 n \right) \Big)
\end{aligned}$$

2.5. Beklenen Gider ($C_{resetting}$):

$$e := \frac{10000}{7000} \left(\frac{87}{87 + (0.02185 \times (x)^{0.8703})} \right);$$

$$\frac{870}{7 (87 + 0.02185x^{0.8703})}$$

2.6. FM₂ Hatası Nedeniyle Onarıcı Bakım Faaliyetinin Beklenen Masrafı ve Makine Arıza Faktörü İçin Özel Sebebin Bulunup ve Onarılması:

$$g := \frac{64000}{7000} \left(\frac{0.02185x^{0.8703}}{87 + 0.02185x^{0.8703}} \right);$$

$$\frac{0.1997714286x^{0.8703}}{87 + 0.02185x^{0.8703}}$$

Maple yazılımında “NLPSolve” komutu ile model çözme:

with(Optimization);

[ImportMPS, Interactive, LPSolve, LSSolve, Maximize, Minimize, NLPSolve, QPSolve]

NLPSolve(p + q + ((u + z + t + g + e)), n = 10..100, k = 1..4.5, h = 5..50, x = 400..700);

[112.010390190758102 [n = 11.849025412282488, k = 1.85, h = 5.6852584019439254, x = 652.45452189547302]]

3. MAPLE YAZILIMINA BAĞIMSIZ BİR MODEL YERLEŞTİRME:

$$fI := 1200 \times \left(\frac{e^{-\left(\frac{87}{7000}\right) \times h}}{1 - e^{-\left(\frac{87}{7000}\right) \times h}} \right) \times \left(2 \times \left(\int_{-\infty}^{-k} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) \right);$$

$$\frac{1200 e^{-\frac{87}{7000} h} \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{1}{2} \sqrt{2} k \right) \right)}{1 - e^{-\frac{87}{7000} h}}$$

$$f2 := \frac{1}{h} \left(\left((100 + (50 \times n)) \times \left(\frac{7000}{87} + \frac{e^{-\left(\frac{87}{7000}\right) \times h}}{1 - e^{-\left(\frac{87}{7000}\right) \times h}} \right) \right) \right. \\ \left. + \left(h \times 1 \right) / \left(1 - \left(\int_{-\infty}^{k - ((1.5) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \right. \right. \right. \\ \left. \left. \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) - \left(\int_{-\infty}^{-k - ((1.5) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} \right. \right. \\ \left. \left. dy \right) \right) \right) - \frac{h}{2} + \left(\frac{1}{3} \times n \right);$$

$$\frac{1}{h} \left((100 + 50n) \left(\frac{7000}{87} + \frac{e^{-\frac{87}{7000}h}}{1 - e^{-\frac{87}{7000}h}} \right) + h / \left(\right. \right. \\ \left. \left. -0.5000000000 \operatorname{erf}(0.7071067812k - 1.060660172\sqrt{n}) \right. \right. \\ \left. \left. + 0.5000000000 \operatorname{erf}(0.7071067812k + 1.060660172\sqrt{n}) \right) \right. \\ \left. - \frac{1}{2}h + \frac{1}{3}n \right)$$

$$f3 := \left(50000 \times \int_{-\infty}^{-k} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) \times \left(\frac{7000}{87} \right. \\ \left. + \left(\left(\frac{e^{-\left(\frac{87}{7000}\right) \times h}}{1 - e^{-\left(\frac{87}{7000}\right) \times h}} \right) \times 2 \times \int_{-\infty}^{-k} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} \right. \right. \\ \left. \left. dy \right) \right);$$

$$\left(25000 - 25000 \operatorname{erf}\left(\frac{1}{2} \sqrt{2} k\right) \right) \left(\frac{7000}{87} + \frac{2 e^{-\frac{87}{7000} h} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{1}{2} \sqrt{2} k\right) \right)}{1 - e^{-\frac{87}{7000} h}} \right)$$

$$\begin{aligned} f4 := & \left(10 \times \left(1 - \left(\int_{-\infty}^{3-1.5} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) - \left(\int_{-\infty}^{-4.5} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) \right) / \left(1 - \left(\int_{-\infty}^{k - ((1.5) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) - \left(\int_{-\infty}^{-k - ((1.5) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) \right) \times 2500 \right) \times \left(\left(h \right. \right. \\ & \times 1 / \left(1 - \left(\int_{-\infty}^{k - ((1.5) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) - \left(\int_{-\infty}^{-k - ((1.5) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) \right) \right) - \frac{h}{2} \\ & \left. + \left(\frac{n}{3} \right) \right); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \left(1670.095091 \left(h / \left(-0.5000000000 \operatorname{erf}(0.7071067812k - 1.060660172\sqrt{n}) + 0.5000000000 \operatorname{erf}(0.7071067812k + 1.060660172\sqrt{n}) \right) - \frac{1}{2} h + \frac{1}{3} n \right) \right) / \left(-0.5000000000 \operatorname{erf}(0.7071067812k - 1.060660172\sqrt{n}) + 0.5000000000 \operatorname{erf}(0.7071067812k + 1.060660172\sqrt{n}) \right) \end{aligned}$$

$$f5 := 10000;$$

$$f6 := \frac{7000}{87} + \left(\frac{e^{-\left(\frac{87}{7000}\right) \times h}}{1 - e^{-\left(\frac{87}{7000}\right) \times h}} \right) \times \left(2 \times \left(\int_{-\infty}^{-k} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) \right) + \left(h \times 1 \right) / \left(1 - \left(\int_{-\infty}^{k - ((1.5) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) - \left(\int_{-\infty}^{-k - ((1.5) \times \sqrt{n})} \left(\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi}} \right) \times e^{-\frac{1}{2}(y^2)} dy \right) \right) - \frac{h}{2} + \left(\frac{n}{3} \right) + 1 + 2;$$

$$\frac{7261}{87} + \frac{e^{-\frac{87}{7000} h} \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{1}{2} \sqrt{2} k \right) \right)}{1 - e^{-\frac{87}{7000} h}} + h / \left(-0.5000000000 \operatorname{erf} (0.7071067812k - 1.060660172\sqrt{n}) + 0.5000000000 \operatorname{erf} (0.7071067812k + 1.060660172\sqrt{n}) \right) - \frac{1}{2} h + \frac{1}{3} n$$

$$NLPSolve \left(\frac{(f1 + f2 + f3 + f4 + f5)}{f6}, n = 10..50, k = 1..5, h = 0 \dots 30 \right);$$

$$[359.851890222741872[n = 10.6301275653380962k = 3.44010644070979543h = 8.63458841488856166]$$

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Raheleh KHATIBI

Yabancı Dil : İngilizce/Farsça

Doğum Yeri ve Yılı : İran /1982

E-Posta : khatibi.raheleh@gmail.com

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

2020, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği
Anabilim Dalı

2007, Payamnoor Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Matematik,
Matematik

Satış Sorumlusu (2014 – 2016)

Hayat Holding grubuna ait olan Pars Hayat Sağlık Ürünleri PJS firmasında iki sene
boyunca satış sorumlusu (veri analiz ve satış planlama yetkilisi) olarak çalışmıştır.

Ofis Yöneticisi (2012 – 2014)

SİNA NEWS Media grubunda idari personel ve daha sonra ofis yöneticisi olarak
çalışmıştır.

Farayaz Bonyan Sabalan Ltd. (2009 – 2012)

İlk iki sene, Kalite kontrol ve analiz sorumlusu olarak çalışmıştır. Son sene genel
koordinatör ve idari personel sorumlusu pozisyonuna yükselmiştir.

Yayınlar ve Makaleler:

Payamnoor Üniversitesi Sayısal Analiz (1) kitabının çözüm kitabı, 2007, Shahreab.