

**TEPKİN ÇİZELGELEME YAKLAŞIMININ  
AKIŞ TİPİ ATÖLYE ORTAMINDA  
ETKİNLİĞİNİN ANALİZİ**

**Alptuğ Selçuk BÜYÜKSÜNETÇİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Şubat 2006**

**ANALYSIS OF  
REACTIVE SCHEDULING APPROACH EFFECTIVENESS  
IN THE FLOW SHOP ENVIRONMENT**

**Alptuğ Selçuk BÜYÜKSÜNETÇİ**

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

**Department of Industrial Engineering**

**February 2006**

**TEPKİN ÇİZELGELEME YAKLAŞIMININ  
AKIŞ TİPİ ATÖLYE ORTAMINDA  
ETKİNLİĞİNİN ANALİZİ**

**Alptuğ Selçuk BÜYÜKSÜNETÇİ**

**Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  
Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Danışman: Yrd. Doç. Dr. Servet HASGÜL**

**Şubat 2006**

Alptuğ Selçuk Büyüksünetçi' in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “**Tepkin Çizelgeleme Yaklaşımının Akış Tipi Atölye Ortamında Etkinliğinin Analizi**” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye :

Üye :

Üye :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
TABLolar DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. TEPKİN ÇİZELGELEME ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	6
3. TEPKİN ÇİZELGELEME.....	12
3.1. Çizelgeleme Kavramı .....	12
3.2. Çizelgelerde Onarıma Gitme ve Yeniden Çizelgeleme .....	18
3.2.1. Çizelgede onarıma gitme nedenleri .....	18
3.2.2. Çizelgenin onarılmasını tetikleyici etkenler ve onarım seçenekleri .....	19
3.2.3. Yeniden çizelgeleme maliyetleri .....	21
3.3. Yeniden Çizelgeleme Yapısı .....	23
3.4. Kestirimci Çizelge .....	24
3.5. Tepkin Çizelgeleme .....	25
3.5.1. Tepkin çizelge kavramının ortaya çıkışı .....	27
3.5.2. Tepkin çizelgeleme sistemlerinin gereksinimleri .....	28
3.5.3. Tepkin çizelgeleme sistemlerinde bilginin sağlanması .....	29
3.5.4. Fabrika varlıkları ve durum mesajları.....	30
3.5.5. Kavramsal tepkin çizelgeleme sistemi.....	31
3.5.6. Tepkin çizelgeleme politikaları .....	34
3.5.7. Çizelgelerin onarılması .....	38
3.5.7.1. Boş zaman ekleyerek çizelgelerin onarılması.....	39
3.5.7.2. Yeniden rotalayarak çizelgelerin onarılması .....	46
3.6. Performans Ölçümü .....	48
3.6.1. Çizelge verimliliği .....	48
3.6.2. Çizelge kararlılığı .....	49

4.	UYGULAMA .....	50
4.1.	Mevcut Durum .....	50
4.1.1.	Modelleme süreci .....	50
4.1.2.	İlk çizelgenin oluşturulması ve Lekin programı .....	51
4.1.3.	Benzetim tekniği, Arena benzetim yazılımı ve sistemin benzetim modelinin kurulması .....	54
4.2.	Makine Arızalanmaları .....	56
4.3.	Onarıma Gitme .....	60
4.3.1.	Kısıtları sağlayan işin boşluklara atanması .....	61
4.3.2.	Etkilenen işlerin yeniden sıralanması ile çizelgede onarıma gitme .....	65
4.3.3.	Yöntemlerin etkinliğinin değerlendirilmesi .....	67
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER .....	70
	KAYNAKLAR DİZİNİ .....	72
	EKLER .....	76

## ÖZET

Üretim faaliyetleri belirsizlikler ve bozulmalar ile karşı karşıyadırlar. Bozulma meydana geldikten sonra üretilen ilk çizelgenin performansı düşebilir hatta ilk çizelge uygulanamaz hale gelebilir. Azalan çizelge performansının etkilerini azaltmak için çizelgenin bozulmaya çabuk bir şekilde yanıt vermesi gerekmektedir. Bu nedenle etkili çizelgeleme ve kontrol sistemleri günümüz üretim sistemleri için önemli bir yere gelmişlerdir.

Etkili bir çizelgeleme sistemi belirsizlik ya da bozulmaya tepki verirken performansını da korumalıdır. Günümüz çizelgeleme sistemlerinde iki ana bileşen bulunmaktadır. Bunlardan birincisi çizelge üretimi (kestirimci), diğeri ise onarımdır (güncelleme). Çizelge üretim bileşeni kestirimci düzenek olarak da adlandırılır. İşlere ait işlemlerin planlanmış başlangıç ve tamamlanma anlarının belirlendiği yerdir. İkinci bileşen ise tepkin çizelgeleme kısmı olarak bilinir, çizelgenin gözlendiği ve bozulmaya tepki verildiği kısımdır.

Bu çalışmada, yeniden düzenlenmiş akış tipi atölyede tepkin çizelgeleme yaklaşımı ele alınmıştır. Tepkin çizelgeleme yaklaşımından bahsedilerek, yeniden uyarlanmış zaman boşluğu doldurma ve kritikliğe dayalı onarım yöntemlerinin etkinlikleri farklı iş büyüklükleri ve farklı makine arızaları durumlarında gösterilmeye çalışılmıştır.

Sonuç olarak; arızanın oluş anı ve arıza süresi çizelge performansı üzerinde doğrudan etkilidir. Bozulma meydana geldikten sonra çizelgeyi onarmak, çizelgeyi en baştan yapmaya göre daha iyi bir alternatiftir. Doğru seçilmiş yordamlar ile bozulmaların etkileri azaltılabilir.

**Anahtar Sözcükler:** Çizelgeleme, Tepkin Çizelgeleme, Çizelge Onarımları, Çizelge Güncelleme,

## ABSTRACT

Manufacturing activities can be faced with a wide range of uncertainties, and disruptions. After a disruption initial schedules performance can be decreased and initial schedule can become inapplicable. To avoid decreasing schedule performance, schedule must react to the distribution quickly. Therefore, an effective scheduling and control system is becoming crucial for modern manufacturing systems.

An effective scheduling system should maintain its performance while reacting to uncertainties and disruptions. There are two key elements in modern scheduling system: Schedule generation and revisions (update). Schedule generation element acts as a predictive mechanism, where the operations of the jobs planned start and completion times are considered. The second element, viewed as reactive part of the system, monitors the execution of schedule and reacts to the disruption.

In this paper, the reactive scheduling problems in a modified flow shop are studied. The reactive scheduling concept is presented, also modified time gap filling strategy, and job's criticality-based strategy is investigated under different machine breakdown condition and under different job size in a modified flow shop environment.

Consequently, disruptions occurrence time and the length of disruptions have direct effect on the schedule performance. After disruptions, repairing schedule is better alternative instead of creating a schedule from scratch. By meaning of accurately selected heuristics, the effects of disruptions can be decreased.

**Key Words:** Scheduling, Reactive Scheduling, Schedule Repair, Schedule Update



## TEŞEKKÜR

Bu alıőmada yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danıőmanım Yrd. Doç. Dr. Servet Hasgöl'e en içten teőekkürlerimi sunarım. Her zaman yanımda olan, maddi, manevi hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan anneme ve babama teőekkürü borç bilirim.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3-1 Çizelgeleme Genel Durum .....	13
Şekil 3-2 Tabakalandırılmış Görev Kaynak Sistemi (GKS) Yapısı .....	14
Şekil 3-3 Tepkin Çizelge Onarımı .....	26
Şekil 3-4 Tepkin Çizelgeleme Sistemi Bileşenleri .....	32
Şekil 3-5 Genel Çizelgeleyici Veri Yapısı.....	33
Şekil 3-6 Olaya Dayalı Sistemlerin Genel Yapısı .....	36
Şekil 3-7 Olaya Dayalı Süreç.....	36
Şekil 3-8 Tam Çizelgeleme & Çizelge Onarımı (Kısmi Çizelgeleme) .....	38
Şekil 3-9 Makine Arızası Algoritması .....	42
Şekil 3-10 Yokluk Algoritması.....	43
Şekil 3-11 İşlem Süresinden Sapma Algoritması .....	44
Şekil 3-12 Beklenmeyen İşin Gelmesi Algoritması .....	45
Şekil 3-13 İş Reddi Onarım Algoritması .....	46
Şekil 4-1 Elde Edilen İlk Çizelge .....	52
Şekil 4-2 Ele Alınan Atölye İş Akış Şeması.....	55
Şekil 4-3 Atölyenin Benzetim Modeli .....	56
Şekil 4-4 Makine Arızası Sonrası Çizelgenin Durumu .....	58
Şekil 4-5 Onarma Algoritması.....	63
Şekil 4-6 8 İş, $c=100$ Ve $\delta=3$ Saat İçin Onarım Sonrası Çizelge.....	64

## TABLolar DİZİNİ

Tablo 3-1 Yeniden Çizelgeleme Yapısı.....	23
Tablo 3-2 Tepkin Çizelgeleme Politikaları.....	34
Tablo 3-3 Genel Onarım Yöntemi.....	40
Tablo 3-4. Zaman Boşluğunu Anlatmak İçin Kullanılan simgeler.....	41
Tablo 4-1 İşlerin İlk Çizelgedeki Başlama ve Bitiş Zamanları .....	53
Tablo 4-2 İşlerin Bozulma Zamanı Kadar Sağa Kaydırılmasıyla Oluşan Başlama ve Bitiş Zamanları .....	59
Tablo 4-3 Çizelgenin Farklı Arıza Zamanları ve Arıza Sürelerine Göre Performans Değerleri.....	60
Tablo 4-4 Çizelgede Meydana Gelen Boşluklar .....	61
Tablo 4-5 Boşluklara Aday İşler.....	62
Tablo 4-6 Onarım Sonrasında Çizelgenin Performans Değerleri .....	65
Tablo 4-7. Sıra Önem (SD) Değerleri.....	66
Tablo 4-8 Onarım Sonrasında Çizelgenin Performans Değerleri .....	67

## 1. GİRİŞ

Çizelgeleme endüstriyel üretim süreçlerinin zaman ve maliyet etkili yürütülmesi için çok önemlidir. Atölye faaliyetlerinin etkili planlama ve zamanlaması ile birçok sistemin performansı en iyilenebilir. Tanım olarak çizelgeleme sınırlı kaynakların (makine, işçi, donanım, alet vb) belli kısıtlar altında, belli bir amaç veya amaçlar doğrultusunda, belirli bir zaman aralığında, işleri/görevleri bitirebilmek için işlere/görevlere atanması ile ilgili karar verme sürecidir. Bu sürecin çıktısı ise zaman/makine/işlem/işçi atamalarıdır. Üretim gereksinimleri görevler olarak tanımlanır. Her bir görev gerek duyduğu kaynak tiplerini (makine, insan), gerek duyulan zamanı belirtir (Macerauskas and Teresius, 2004).

Çizelgeleme planı beş seviyede sınıflandırılabilir (Morton and Pentico, 1993):

1. Uzun dönem planlama: Tesis tasarımı, tesisin genişletilmesi, tesis yerleşimi.
2. Orta dönem planlama: Lojistik, üretimin düzgünleştirilmesi
3. Kısa dönem planlama: Gereksinim planları, termin ayarlamaları.
4. Çizelgeleme: Montaj hattı dengeleme, üretim büyüklüğüne karar vermek.
5. Tepkin çizelgeleme/kontrol: Yeni işler, bozulan makineler, geciken hammaddeler.

Çizelgeleme problemleri klasik atölye çizelgelemeden iş gücü ve hizmet planlamaya, ürün montaj hattı dengelemeden, lojistik kaynak ataması ve çizelgelemesine kadar birçok yerde ve değişik şekillerde karşımıza çıkarlar.

Klasik olarak atölye tipi çizelgeleme, iş kümeleri ve makineleri içerir. Her bir makine belli bir anda belli bir iş için atanır. Her iş belli bir sırada, belli makinelerde ve verilen zaman aralığında bir aksama olmadan işlem görmektedir. Amaç; işlemlerin, makineler için uygun zaman aralıklarına atanması ve bütün işlerin olası en kısa zamanda tamamlanmasıdır.

Klasik çizelgeleme teorisinde, ele alınan problemler matematiksel modellerle ifade edilir ve kesin çözüm veren zor yöntemler ya da yaklaşık çözüm veren yordamsal yöntemlerle çözülür. Birçok çizelgeleme probleminin çözüm uzayının polinom zamanlı olmayan NP-zor (NP-Hard) olduğu bilinmektedir.

Çizelgeleme araştırmaları, belirli kısıt ve hedefler doğrultusunda farklı problem sınıfları için farklı varsayımlarla en iyi çizelgelerin oluşturulması üzerine odaklanmıştır. Ne yazık ki endüstriyel çevrelerde bu varsayımlar çok nadiren gerçekleşmektedir. Gerçek hayatta karşılaşılan çizelgeleme problemleri, özünde sadece endüstriyel çevrelerin dinamik doğasından dolayı değil, örgütsel hedeflerdeki çatışmalardan, birçok işletim kısıtının ve özel tercihlerin varlığından dolayı karmaşık olarak nitelendirilirler.

Çizelgeleme araştırmalarındaki tüm çabalara rağmen hala üretim çizelgeleri ve üretim kontrolündeki teori ve uygulama arasında büyük farklılıklar meydana gelmektedir. Yıllarca, en iyiye yakın çizelgelerin oluşturulması araştırmacılar için ilgi alanı olmuştur.

Endüstriyel çizelgeleme problemlerinin verileri düzenli olarak tanımlanamayabilir, bir takım kısıtlar tam olarak verilemeyebilir, uygulanabileceği düşünölen çizelge, yürütölemeyebilir, çizelgeler uygulamaya geçildikten sonra çizelgede beklenmeyen olaylar veya bozulmalar meydana gelebilir. Bu bozulmalara bağlı olarak da çizelgelerin performansı düşer ve çizelgeyi uygulamak zorlaşır. Bu gibi nedenlerden dolayı en iyi çizelgeyi ya da en iyiye yakın çizelgeyi bulmak için kullanılan katı çizelgeleme yordamları tatminkâr sonuçlar vermeyebilir (Henning and Cerda, 2000).

Beklenmeyen olay tipleri *iş-İlgili* ve *makine-İlgili* olarak sınıflandırılır. İş-İlgili olaylar; hammadde yokluğu, bir işin bütün üretim işlemlerinin bozulması gibi olaylardır. Makine-İlgili olaylar ise makine arızalanması, makinedeki işlerin sırasının bozulması gibi olaylardır. Üretim sürecinde olaylar düzgün ya da rassal olarak meydana gelebilir. Yapılan çalışmalar olaya tepki olarak onarıma giden tepkin çizelgelerin daha etkili olduklarını göstermiştir (Aytug H., et al, 2003)

Çizelgeleme sabit ya da dinamik bir üretim çevresinde yapılabilir. Bütün işlerin belirli olduğu, işlem sürelerinin bilindiği ve değişmediği, makinelerin ve diğer malzemelerin çizelgeleme süresi boyunca uygun olduğu sabit çevreler için yapılan çizelgeleme kestirimci çizelge olarak adlandırılır.

Dinamik çevrede yapılan çizelgede ise işler rassal zamanlarda gelir, işlem süreleri değişkenlik gösterir, sistemde durmadan bir rassallık ve siparişin iptal edilmesi gibi tahmin edilemeyen olayların gerçekleşmesi olasılığı vardır. Dinamik, olasılıklı üretim

sistemlerinde, arızalanmalar, beklenmeyen acil işler, kalite problemleri, malzeme sıkıntısı üretim süreci boyunca meydana gelebilir. Bu tür olaylar en etkili çizelgeleri bile etkisiz hale getirebilir.

Üretim aşamasında beklenmeyen olaylar olduğu zaman çizelgeler en baştan yeniden yapılarak, yeni bir çizelge oluşturulabilir. Oluşturulan yeni çizelge önceki çizelgeden tamamen farklı olabilir. Üretim ortamını düşünecek olursak, her bir ürün farklı üretim aşamalarında farklı hammadde ve yarı mamul gereksinimi duyar. Bu hammadde ve yarı mamuller farklı tedarikçilerden sağlanabilirler. Tamamen yeniden oluşturulan bir çizelge hammadde ve veya yarı-mamulün sağlanması için gereken süreleri hesaba katmayabilir. Çizelgede gerçekleşen büyük çaplı ani değişimler, üretim ortamındaki malzeme taşıma mesafelerini, sürelerini, maliyetlerini arttırabilir. Bazı tezgâhların yeniden programlanması gerekebilir. Bu gibi nedenlerden dolayı çizelgelerin uygulama aşamasında beklenenden sapmalar meydana gelirse çizelgede gerçekleşecek değişiklikler en aza indirilmelidir. Bu nedenle çizelgeleri sil baştan yapmak yerine çizelgelerde onarıma gidilmesi daha sağlıklı bir yaklaşımdır.

Genel olarak, çizelge problemlerini çözme süreci iki aşamadan meydana gelir: Çizelge üretme aşaması ve tepkin kontrol aşaması. Çizelge üretme aşamasında ana amaç, probleme ait birçok kısıtı sağlayan etkili bir çizelge oluşturmaktır. Tepkin kontrol aşamasında ise, üretilen çizelgenin; makine arızalanması, kalite kontrol standartlarının sağlanmaması, yeni, acil işlerin gelmesi gibi beklenmeyen olayların çizelgenin uygulandığı ortamda meydana gelmesiyle etkinliğini kaybetmesi ve güncel süreç ile uyumsuzluğa düşmesi üzerine, üretilen çizelgede değişikliklere gidildiği süreçtir. Bir karşılaştırma yapmak gerekirse, çizelge üretimi süreci planlama birimi olarak da düşünülebilir. Bu birimde işlerin planlanan başlama ve bitiş zamanlarına karar verilir. Tepkin kontrol birimi ise çizelgenin güncellendiği ve/veya beklenmeyen olaylara karşı tepki gösterdiği bileşendir. Bir başka ifade ile bu bileşen ile çizelgenin işleyişi izlenir ve makine arızalanmaları gibi beklenmeyen olaylara tepki olarak onarılır.

Tepkin çizelgeleme, üretim aşamasında uygulamaya konulan ilk çizelgenin, uygulama ortamında meydana gelen beklenmeyen olaylar karşısında onarılması süreci olarak

tanımlanır. Uygulama öncesi hazırlanan çizelgenin üretim süreci boyunca iyileştirilmesi veya üretim sürecine adaptasyonu olarak da ifade edilebilir.

Kestirimci çizelgeleme ve tepkin çizelgeleme için birçok problem çözüme kavuşturulmalıdır. Bu problemler şu şekilde sıralanabilir (Sun and Xue, 2001):

- i.** Yakın zamanda geliştirilen çizelgeleme sistemlerinde, üretim gereksinimleri müşteri ihtiyaçlarına bağlı olarak modellenir. Üretim gereksinimleri, üretim kaynakları tanımları ile birlikte kısıt olarak kullanılır ve ürün tasarım tanımlamaları ile kısıtları bu sistemlerde dikkate alınmaz. Birçok yeni çizelgeleme sistemi tasarımı yapılırken, sistem bileşenlerinin üretim gereksinimleri modellenir, tasarımların kısıtları düşünülür, tasarımların üretim görevleri tanımlanır ve var olan birimleri sistem bileşeni olarak kullanılır.
- ii.** İlk gerçekleştirilen üretim çizelgeleme sistemleri, bileşenlerinde, bütün bilgi tabanlarının ve veri tabanlarının aynı konumda bütünleşik ve merkezi yapı olarak geliştirilmişlerdir. Bu merkezi kontrol yapısı farklı konumlara dağıtılmış veri ve bilgi gereksinimi olan karmaşık imalat sistemlerinde yetersiz kalmaktadır. Karşılaşılan sorunlar, dağıtılmış üretim çizelgeleme sistemlerinin geliştirilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Tepkin çizelgeleme yaklaşımında, tepki verme (güncelleme, onarıma gitme) periyodik, olaya dayalı, ya da karma olabilir. Periyodik güncellemede, çizelge belli zaman aralıklarında güncellenir. Olaya dayalı çizelgelemede çizelgenin onarıma gitmesini gerektirecek olayın meydana gelmesi gerekmektedir. Karma çizelgelemede ise periyodik durum ve olaya dayalı durum birlikte değerlendirilmektedir.

Yapılan çalışmada tepkin çizelgeleme sistemlerinin genel yapısı ele alınmış, sistem gereksinimleri ve sistem öğelerinden bahsedilmiştir. Ayrıca, yeniden düzenlenmiş akış tipi atölye ortamında meydana gelen makine arızasından kaynaklanan çizelge bozulmalarının çizelge performansı üzerine etkileri incelenmiş ve bu etkilere tepki olarak geliştirilen onarım yöntemi tanıtılmıştır. Önerilen çizelge onarım yaklaşımının etkinliği hesaplanmış ve benzetim çalışması ile desteklenmiştir.

Çalışmada girişi izleyen ikinci bölümde tepkin çizelgeleme ile ilgili yapılan çalışmaların incelendiği literatür araştırmasına yer verilmiştir. Bu bölümde önceki çalışmaların hangi başlıklar altında toplanabileceğinden de bahsedilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde çizelge ve tepkin çizelge kavramları hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Belirsizlik, bozulma, yeniden çizelgeleme, çizelge onarımı kavramlarına değinilmiştir. Tepkin çizelgelemenin ortaya çıkışı, tepki vermek için kullanılan yordamlar ve tepki vermenin yapısından bahsedilmiş, çizelgede onarıma gidilirken dikkat edilmesi gereken performans ölçütleri belirtilmiş ve bu performans ölçütler doğrultusunda tepkin çizelgelemenin geçerliliği ortaya konmuştur..

Çalışmanın dördüncü bölümünde uyarlanan yaklaşımların etkinliğini göstermek amacıyla yeniden düzenlenmiş akış tipi üretim atölyesi benzetim ortamına taşınmıştır. Farklı büyüklükte işlere, farklı arıza oluş zamanlarına ve farklı arıza sürelerine sahip çizelgelerden oluşturulan senaryolar türetilmiş, Lekin çizelgeleme yazılımı kullanılarak hazırlanan çizelgeler benzetim ortamına taşınmış, çizelgelerde meydana gelen bozulmaların ve uyarlanan algoritmaların etkinliği gerek yapılan hesaplamalarla gerekse benzetim ortamında gösterilmeye çalışılmıştır.

Çalışmanın son bölümünde ise çalışmanın genel bir değerlendirilmesi yapılmış, çalışmanın geliştirilmesi için ilerleyen aşamalarda neler yapılması gerektiği üzerinde durulmuştur.



## 2. TEPKİN ÇİZELGELEME ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çizelgeleme alanında yapılan çalışmalar genellikle çizelge üretimi ve çizelgeleme problemlerinin kestirimci doğası üzerine kurulmuştur. Son yıllarda yapılan çalışmalar ise çizelgelerin geçerliliğini koruyabilmesi, etkinliğinin kaybolmasının önüne geçilebilmesi için tepkin çizelgelerin oluşturulması ve kontrolü üzerine yoğunlaşmıştır.

Oluşturulan çizelgenin uygulanmaya konması ile başlayan çizelgenin kontrol edilmesi ve çizelgelerin onarılması süreci, son yıllarda önem kazanan ve üzerinde sıklıkla çalışılan bir konu haline gelmiştir. Yeniden çizelgeleme kavramı üzerine ilk çalışmalar 70'li yılların sonunda yapılmış, ancak tepkin çizelgeleme kavramı 90'lı yılların başında Uluslararası Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) ile Amerikan endüstrisinin birlikte çalışması sonucunda ortaya çıkmıştır.

Yeniden çizelgeleme üzerine yapılan ilk çalışmalar problemleri analitik yaklaşımlar kullanarak, çözmeye çalışmışlardır. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle ve üretimde bilgisayarların etkili bir biçimde kullanılmaya başlaması ile birlikte analitik yaklaşımlar yerlerini benzetime dayalı çalışmalara, yapay zekâ tekniklerine ve bilgi tabanlı sistemlere bırakmışlardır. Tepkin çizelgeleme kavramı da özellikle bilgi tabanlı sistemlerle birlikte önem kazanmıştır.

Yeniden çizelgeleme ve tepkin çizelgeleme üzerine yapılan çalışmalar çözüm yaklaşımlarına göre sıralanabileceği gibi meydana gelen bozulmanın (beklenmeyen olayın) türüne göre de sınıflandırılarak sıralanabilirler. Çalışmalar sadece bir bozulma üzerine odaklandığı gibi, birden fazla bozulma üzerinde de odaklanabilmektedir. Üretim ortamlarının doğasından dolayı bozulmalar kesin sınırlarla birbirlerinden ayrılmayabilirler.

Yeniden çizelgeleme yaklaşımları üzerine birçok çalışma yapılmış ve bu çalışmalar tepkin çizelgeleme yaklaşımları içinde yol gösterici olmuşlardır. Yamamoto ve Nof (1985) işlerin gelişleri durağan kabul ederek atölye ortamı için rassal olarak meydana gelen makine arızalarına karşılık yeniden çizelgeleme yaklaşımları üzerinde durmuşlardır. Çizelgeyi dal sınır yöntemi ile oluşturmuşlar ve amaç olarak tamamlanma zamanının en

küçüklenmesini ele almışlardır. Çalışmada tetikleyici, makine arızalanmasının gerçekleşmesidir.

Bean et al. (1991) birden fazla tezgâhın bulunduğu ve bu tezgâhların birbirlerine alternatif oluşturabileceği atölyelerdeki makine arızalanmaları üzerinde durmuştur. Yapılan çalışmada makineler eşleştirilmiş, eşleşme yaklaşımı farklı sevk etme kuralları ile karşılaştırılmıştır. Ağırlıklı toplam gecikmenin en küçüklenmesi amaç olarak ele alınmıştır. Bu çalışma aynı zamanda birçok çalışma için alt yapı oluşturmuştur.

Li, Shyu ve Adiga (1993), bilgisayar tabanlı üretim çizelgeleme sistemlerinde yeniden çizelgeleme için geliştirdikleri yordamdan bahsetmişlerdir. Matsura et al (1993) yarı-dinamik atölye ortamında yaptığı çalışmada dal-sınır algoritmasını, en kısa işlem süresini (SPT) ve ilk giren ilk çıkar (FIFO) yöntemlerini kullanarak çizelgeyi oluşturmuş, amaç olarak da tamamlanma zamanının en küçüklenmesini ele almıştır. Araştırılan konu ilk makine arızası meydana geldikten sonra çizelgenin en baştan nasıl oluşturulması gerektiğidir.

Kim ve Kim (1994) yarı dinamik bir esnek üretim ortamını ele alarak yaptıkları çalışmada sevk etme kurallarını kullanmış, ortalama akış süresinin en küçüklenmesi ve gecikmenin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Yeniden çizelgeleme zamanı için ise periyodik ve olaya dayalı politika kullanılmıştır. Smith (1994), yaptığı çalışmada daha etkili üretim çizelgeleri oluşturmak ve dinamik ortamlarda daha yüksek verim almak için OPIS (OPportunistic Intelligent Scheduler) adını verdiği yazılımdan bahsetmiştir. Bu çalışmada ortaya konulan OPIS yazılımının mimarisi tepkin çizelgeleme kavramının anlaşılabilirliği ve çizelgeleme yazılımlarını veri tabanları ile bütünleşmelerini sağlamak açısından önemlidir. Bu çalışma aynı zamanda uygulamada etkinliğin artırılması için sistem gereksinimi ortaya koymuş ve tepkin çizelgeleme sistemleri çalışmalarında önemli bir dönüm noktası olmuştur.

Dorn, Kerr ve Thalhammer (1995); yaptıkları çalışma da bulanık nedenlerden kaynaklanan atölye bozulmalarının etkilerini sınırlandırmak ve çizelgelerin sağlamlılığını arttırmak üzerinde durmuşlardır. Dorn (1995); üretim sürecinde meydana gelen bozulmalara tepki veren kalifiye insan çizelgeleyicinin yer aldığı sistemlerde duruma dayalı

tepkin çizelgeleme konusu üzerinde çalışmıştır. Dorn et al (1997); tepkin çizelgeleme sistemleri ile benzetim çevresi arasında ilişki sağlanması ve bu ilişkinin nasıl yürütülmesi gerektiği üzerinde çalışmışlardır

Akturk ve Gorgulu (1997), makine arızalanmalarında alternatif makinelerin eşleşmesi üzerinde ve yeniden düzenlenmiş akış tipi atölye ortamında arıza meydana geliş anına göre alternatif makine belirleme üzerinde çalışmışlardır. Bean (1991) in ortaya attığı yaklaşımı kullanmışlardır. Gecikmenin en küçükleştiği bu çalışmada tetikleyici bozulma olayının meydana gelmesidir.

Riddick et al (1997), yaptıkları çalışmada, tepkin çizelgeleme sistemlerindeki veri toplama yapısını ele almışlar ve tepkin çizelgeleme sisteminin yapısında bulunan bileşenlerin rollerini tanımlamışlardır. Riddick (1999), benzetimi yapılmış atölye ortamında tepkin çizelgeleme sistemlerinin etkinliğini göstermeye ve tepkin çizelgeleme yapısını göstermeye çalışmıştır.

Lee et al (1998), yaptıkları çalışma da tepkin çizelgelemede kısıt tatminini sağlayan sıralama yöntemlerini değerlendirmişlerdir. Yöntemler çelik üretimdeki süreçler üzerinde test edilmişlerdir. O'Donovan et al (1998), makine arızalarının ve yeni gelen işlerin olduğu tek makine ortamında kestirimci çizelgelerin yapılmasına yönelik bir algoritma üzerinde çalışmışlardır.

Sabuncuoğlu tepkin çizelgeleme üzerinde çalışan araştırmacıların başında gelmektedir. Sabuncuoğlu ve Karabük (1997) esnek üretim sistemlerini ele almışlar ve birçok yeniden çizelgeleme stratejisini denemişlerdir. Yapılan çalışmada amaçlanan ağırlıklı gecikmenin en küçükleşmesidir. Sabuncuoğlu ve Bayız (1999), tepkin çizelgeleme problemlerini atölye ortamı çevresinde ele almışlardır. Özellikle makine arızaları üzerinde durmuşlar ve birçok yeniden çizelgeleme politikasını test etmişlerdir.

Sabuncuoğlu ve Karabük (1999) esnek üretim sistemlerinde tepkin çizelgelemede zamana dayalı çizelgeleme yapılırken, çizelgelerin ne kadar sıklıkla yapılması gerektiğinden bahsetmektedirler. Sabuncuoğlu ve Karabük (1999), yaptıkları çalışmada bozulmaların gerçekleştiği ve işlem sürelerinin değişkenlik gösterdiği esnek üretim sistemlerinde yeniden çizelgelemenin ne kadar sıklıkla yapılması gerektiği konusunu

incelemiştir. Birçok tepkin çizelgeleme politikası farklı deneysel koşullarda, çevrim içi ve çevrim dışı çizelgelerde test edilmiştir.

Sabuncuoglu ve Kutanoğlu (2001), dinamik atölye ortamında makine arızalarının çizelge performansı üzerindeki etkilerinin azaltılması için işlerin diğer makinelere yönlendirilmesine yönelik tepkin çizelgeleme politikalarına değinmişlerdir. Sabuncuoglu ve Kızılısık (2003), dinamik ve olasılıklı esnek üretim sistemleri çevresinde tepkin çizelgeleme kavramını ele almışlardır. Çalışma kapsamında esnek üretim sistemleri için benzetime dayalı çizelgeleme sistemi geliştirmişler ve farklı tepkin çizelgeleme politikalarını ve bunların farklı deneysel ortamlarda farklı işlem sürelerinde, makine arızaları altında test etmişlerdir.

Kempf ve diğerleri (2000), üretim çizelgelerini ve üretim çizelgelerinin uygulama ortamındaki etkinliklerini değerlendirmişlerdir. Aytug ve Kasap (2000), Tek makine çizelgeleme problemleri üzerinde çalışmışlardır. Önleyici bakım ve makine arızalanmalarından dolayı meydana gelen kayıpları en aza indirmek için çalışmışlardır. Aytug ve diğerleri (2001, 2003), yaptıkları çalışma ile atölye ortamındaki bozulmalar konusunu ele almışlar ve çizelgeleme algoritmalarını belli belirsizlik durumları ya yanıt vermek için sınıflandırmışlardır.

Cerda ve Henning (2000), bilgiye dayalı kestirimci ve tepkin çizelgeleme kavramını endüstriyel ortamda incelemiştir. Yaptıkları çalışmada tamamen otomatik çizelgeleme sistemlerine karşı çıkmış ve bilgiye dayalı sistemlerin öneminden bahsetmişlerdir.

Vin ve Ierapetritou (2000), çok ürünli parti tipi üretim yapan tesislerde etkili yeniden çizelgeleme yaklaşımı geliştirmek konusu üzerinde durmuşlardır. Ele alınan yaklaşım makine arızası ve acil iş olmak üzere iki bozulma türü üzerinde düşünülmüş ve karışık tamsayı programlama kullanılarak ifade edilmiştir. Vin ve Ierapetritou (2001), talep belirsizliğinin bulunduğu çok ürünli parti tipi üretim yapan tesislerde sağlam, kısa dönem çizelgeleme üzerinde durmuşlar ve çizelge tepki verme esnekliğini arttırmak için yöntem geliştirmişlerdir.

Vieira, Herrmann ve Lin (2000), yaptıkları çalışma ile paralel makineler için yeniden çizelgeleme stratejilerini tahmin etmek için analitik model geliştirmişlerdir. İş gelişleri

dinamik, farklı üretimler arasında farklı hazırlık süreleri düşünülerek dönemsel, karma ve olaya dayalı olmak üzere üç farklı yeniden çizelgeleme yöntemini bu kapsamda incelemişlerdir. Vieira, Herrmann ve Lin (2003), yaptıkları çalışmada üretim sistemlerinin yeniden çizelgelenmesi üzerinde durmuşlar, yeniden çizelgelemenin yöntemlerini, politikalarını ve stratejilerini değerlendirmişlerdir.

Sun ve Xue (2001), üretim sürecinde ve üretim öncelik sırasında meydana gelen değişikliklere tepki vermek için ajanlar için dinamik tepkin çizelgeleme mekanizması geliştirmişlerdir. Archimede ve Coudert (2001), ajana dayalı sistemler çerçevesinde tepkin çizelgeleme sistemlerini ele almışlardır. Üretimde ajanların gerekliliğine değinmişler ve SCEP adını verdiği çok ajanlı bir tepkin çizelgeleme bileşeni geliştirmişlerdir.

Ran, Roos ve Herik (2001), onarıma dayalı çizelgeler için yöntemler geliştirmek üzere çalışmıştır. Yaptıkları çalışmada çizelgeleri onarmak için kısıta dayalı yaklaşım geliştirmeyi amaçlamışlardır. Roslöf ve diğerleri (2001), yaptıkları çalışmada karmaşık endüstriyel sistemlerdeki çizelgeleme problemleri için karma tamsayılı doğrusal programlamaya dayalı yeniden çizelgeleme algoritmasını geliştirmişlerdir. Önerilen algoritmanın etkinliği eczacılık endüstrisinde ve kâğıt dönüşümü yapan işletmelerde araştırılmıştır.

Hofer (2002), çelik üretiminde tepkin çizelgeleme ve duruma dayalı tepkin çizelgeleme yaklaşımları üzerinde durmuştur. Yapılan çalışmada algoritma geliştirmek yerine tepkin çizelgeleme çelik üretim sürecinde uygulanmıştır. Alcaide ve diğerleri (2002), bozulma meydana geldiği zaman en büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesine yönelik yaklaşım geliştirmişlerdir. Akış tipi atölye ortamı düşünülerek yapılan çalışmada makineler için belirli çizelgeleme modelleri önermek üzerinde durmuşlardır.

Kramer ve Smith (2003), çizelgede yeni işlerin ilk çizelgeye eklenemeyeceği durumlarda çizelgede iyileştirme sağlamak için görev değiştirme kavramı üzerinde çalışmışlardır. Chong ve diğerleri (2003), dinamik kesikli üretimde benzetime dayalı gerçek zamanlı çizelgeleme düzenekleri üzerinde çalışmışlar ve farklı çizelgeleme yaklaşımlarını çevrim dışı benzetim ile yeniden düzenlenmiş ortalama akış zamanı performansına göre karşılaştırmışlardır. Le Quere ve diğerleri (2003), farklı karar

merkezlerinin bulunduğu, işbirlikçi çevrede, karmaşık sistemlerin tepkin çizelgelemesinin iletişim zamanları ile ele almışlardır. Çalışmada tepkin çizelgeleme tetikleyicisi olarak yeni bir işin gelmesi ya da planlanmış işin süresinin değişkenlik göstermesi olarak belirtilmiştir.

Herroelen ve Leus (2004), sağlam ve tepkin proje çizelgeleme konusunu ele almışlar, proje yönetiminde kullanılacak yöntemlerle ilgili çalışmalarına yer vermişlerdir. Liu ve diğerleri (2004); tepkin atölye çizelgeleme problemlerini çözmek için çok ajanlı model kavramı üzerinde çalışmışlardır. Kestirimci karar vermek ile gerçek zamanlı karar vermeyi bütünleştiren ve sevk etme kuralları ile birçok bozulma karşısında esneklik sağlayan bir yaklaşım önermişlerdir.

Macerauskas ve Teresius (2004), çok ajanlı kontrol sistemleri tepkin çizelgelemeyi de içine alacak şekilde ele almışlardır. Yeni sistemlerin gereksinimleri üzerinde durmuşlar ve bu gereksinimleri karşılayacak çok ajanlı kontrol sistemleri üzerinde çalışmışlardır.

Subraniam ve diğerleri (2005), atölye çizelgelerinde tepkin çizelgeleme araçları üzerinde durmuşlardır. Tepkin çizelgelemenin, tam çizelgelemeye kıyasla daha etkili olduğunu göstermeye çalışmışlardır.

Yapılan birçok çalışma tepkin çizelgeleme problemlerini araştırmakta ve makine arızalanmaları gibi beklenmeyen olaylara tepki verecek yöntemler geliştirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmaların büyük bir kısmında çevrimdışı çizelge üretmek için üretim ortamı durağan bir ortam olarak ele alınmaktadır. Yapılan çalışmada makine arızalanmaları, bunların çizelge performansı üzerine etkileri yeniden düzenlenmiş akış tipi atölye ortamı ele alınarak incelenmiştir. Çizelge performansını iyileştirmek için geçmiş çalışmalardan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş, bu sonuçların üzerine ilave sonuçlar eklenerek tepkin çizelgeleme kavramı tanıtılmış, makine arızaları için onarım yöntemi önerilmiştir.

### 3. TEPKİN ÇİZELGELEME

Üretim ortamlarının değişkenlik gösteren doğası, atölyede uygulamaya konulan ilk çizelgelerin uygulanmasını zorlaştırmış ve çizelge performansında azalmaya neden olmuştur. Azalan çizelge performansını arttırmak için yeni arayışlara girilmiştir. Tepkin çizelgeleme bu arayışlar sonucu ortaya çıkmıştır.

#### 3.1. Çizelgeleme Kavramı

Çizelgeleme; işgücünün, makinelerin, makine donanımlarının, işlerin, konumların ya da bütün bu kaynakların tek bir planda düzenlenmesidir. Herhangi bir planda gerek duyulan faaliyetlere, gerek duyulan kaynakların ve zamanların kaynak değişkenleri doğasında atanmasıdır.

Çizelgelerin işlevlerini üçe ayırmak mümkün olabilir. İlki müşteri beklentileri doğrultusunda, atölye varlıklarının performansını en üst düzeyde tutacak şekilde kaynakların işlere atanmasıdır. İkinci işlevi, üretim faaliyetlerinin atölyede yer alan, hazırlık süreleri, bakım ve personel çizelgeleme gibi diğer atölye faaliyetleri ile uyumlu bir şekilde yürütülmesidir. Üçüncü olarak da olası problemlerin önüne geçmek ya da etkilerini en aza indirebilmek için görünürlük sağlamasıdır (O'Donovan et al, 1998). (1)'de çizelgeleme problemlerinin genel yapısı verilmiştir (Eisenberg, 1997).

$$F(\text{eylem}) \leftrightarrow \begin{bmatrix} \text{kaynak}_i \\ \text{kaynak}_j \\ K \\ \text{zaman} \end{bmatrix} \quad (1)$$

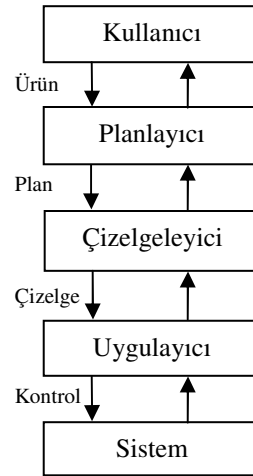
Günümüz çizelgeleme problemlerinde, yapılan çalışmalarda ele alınan çizelgeleme yapısı, görevlere ve alt görevlere bir başka ifade ile işlere ya da alt işlere uygun makine ve zamanların atanmasıdır (Eisenberg, 1997). Bu problemlerin yapısı (2)'de gösterilmiştir.

$$\text{Çizelge (Görev)} \leftrightarrow \begin{bmatrix} \text{makine}_i \\ \text{zaman} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Çizelgeleme problemlerini şu şekilde boyutlandırmak mümkün olur (Jones, and Rabelo, 1997):

- Gereksinim üretimi, üretim atölyesi açık ya da kapalı olabilir. Açık olması siparişe açıklığı ve stok bulunmayacağını ifade eder. Kapalı ortamda ise siparişler var olan stoktan karşılanır.
- İşleme karmaşıklığı, işlem basamak sayısına ve üretim sürecindeki iş istasyonuna karşılık gelir. Bu karmaşıklığın boyutları şu şekildedir;
  - Bir aşama, bir işlemci
  - Bir aşama, çok işlemci
  - Çok aşama, akış atölyesi
  - Çok aşama, atölye
- Çizelgeleme ölçütleri
- Parametre değişkenliği
- Çizelgeleme çevresi

İyi organize edilmiş ve dikkatle yapılmış çizelgeleme faaliyetleri, istenen miktarda, istenen kalitede, istenen zamanda en uygun fiyatta üretimi gerçekleştirir. Maliyet amacı, kalite hedefi, taşıma içeriği, miktar hedefi, çizelgelemenin bakış açılarındandır. Bir çok sistemde çizelge oluşturulurken kesin varsayımlar kullanılır (Aytug et al., 2003). Çizelgelemenin genel durumu Şekil 3-1’de verilmiştir (Fromherz, 2001). Şekil 3-2’de tabakalandırılmış görev kaynak sistemi yapısı verilmiştir (Nieuwelaar, 2004).



**Şekil 3-1 Çizelgeleme Genel Durum**





### Şekil 3-2 Tabakalandırılmış Görev Kaynak Sistemi (GKS) Yapısı

Çizelgelemede verilmesi gereken kararlar şu şekilde sıralanabilir (Belaud, 2003):

- Belirli performans ölçütleri altında işlerin en iyi sırası,
- Her bir zaman aralığında işlenecek malzemenin miktarı,
- Her işin işlem süresi,
- Zaman fonksiyonu olarak kaynakların kullanımı.

Çizelgeleme problemleri;

- Kaynakların ve birimlerin işlere atanmalarını,
- Birimlere atanan işlerin sıralanmasını,
- İşlerin uygulama aşamasındaki başlama ve bitiş zamanlarına karar verilmesini,
- Herhangi bir zamandaki kaynak kullanım kararlarını içerir (Belaud, 2003).

Çizelgeler için ana tasarım kriterleri şu şekilde sıralanabilir (Dorn et al.,1997):

- Gösterim, farkı çizelge uygulamalarındaki farklı kaynaklar ve işlerin gösterimine olanak sağlayacak şekilde olabildiğince esnek olmalıdır.
- Tekrarlı geliştirme yöntemleri ya da kullanıcı tarafından oluşturulan çizelgeleme görevlerine destek sağlamalıdır.
- Çizelgeleme görevleri kullanıcıya hızlı geri bildirim sağlamada ve hızlı en iyileme seçenekleri sağlamada etkili olmalıdır.
- Çizelge kolayca kopyalanabilen nesne olmalıdır (Özellikle genetik algoritma gibi yapay zekâ teknikleri ile kullanılabilmesi açısından).

Gerçek hayat çizelgeleme problemleri akademisyenler tarafından çalışılan matematiksel modellerden farklılık gösterirler. Gerçek hayat problemleri ile teorisel

modeller arasındaki bütün farkları listelemek mümkün değildir, çünkü her gerçek hayat çizelgeleme problemi kendi karakteristiğine (özelliğine) sahiptir (Pinedo, 1994). Bununla birlikte, yaygın olarak karşılaşılan çok sayıda farklılıkları sıralamamız da mümkündür.

- i. Teorisel modellerde genellikle, çizelgelenen  $n$  işin olduğunu varsayılır ve bu  $n$  işin çizelgelenmesi problemi çözülmeye çalışılır. Gerçek hayat problemlerinde sistemde her hangi bir zamanda  $n$  iş olabilir ancak, yeni işler sürekli olarak sisteme geliş yapmaktadırlar.
- ii. Teorisel modeller genellikle yeniden çizelgeleme problemleri üzerinde durmazlar. Uygulamada, belli varsayımlar üzerine kurulan ilk çizelge, uygulamaya konulduktan sonra rassal (beklenmeyen) olaylar meydana gelir, bu değişiklikler sonucunda çizelgenin geçerliliğinin devam edebilmesi için çizelgede küçük ya da büyük çapta değişikliklere gereksinim olur. Yeniden çizelgeleme süreci, çizelgenin etkinliğini istenen düzeyde, istenen kısıtlar çerçevesinde kalmasını sağlar.
- iii. Gerçek hayatta makine çevresi kitaplarda bahsedilen makine çevresinden daha karmaşıktır. İşlem sınırlamaları ve kısıtları anlaşılabilir, ya da makine bağımlı, iş bağımlı ya da zaman bağımlı olabilir.
- iv. Matematiksel modellerde, işlerin ağırlıkları (öncelikleri) sabit, zamanla değişmedikleri varsayılır. Uygulama da işlerin ağırlıkları zamanla düzensiz bir şekilde değişebilir, rassal bir fonksiyon gibi davranabilir. Düşük öncelikli bir iş aniden yüksek öncelikli bir iş haline gelebilir.
- v. Matematiksel modeller genellikle özel tercihleri dikkate almazlar. Bir modelde bir iş verilen makinede ya yapılır ya yapılamaz. Eğer bir iş bir makinede yapılabilirse 1, yapılamıyorsa 0 değerini alır. Gerçek hayatta, bir iş çizelgelendiği makinenin dışındaki bir makinede de yapılabilir.
- vi. Birçok teorisel model makine uygunluğu kısıtını dikkate almaz, genellikle makineler her zaman uygundur varsayımını kullanırlar. Gerçek hayatta, makineler her zaman uygun olmayabilir. Bir makinenin bir işlemde olmaması için birçok neden bulunmaktadır. Bu nedenlerden bir kısmı belirli

(deterministik) süreçlere, diğerleri de rassal süreçlere bağlıdır. Makineler için bakım planlaması yapılmış olabilir, ya da makine arızalanmış olabilir.

- vii.** Yapılan çalışmalarda çoğu ceza fonksiyonu parçalı doğrusal olarak düşünülmüştür. Bir işin gecikmesi, birim cezası... Uygulamada, genellikle termin ya da teslim zamanı bellidir. Bununla birlikte ceza fonksiyonu parçalı doğrusal değildir. Ceza fonksiyonu S şeklini alabilir.
- viii.** Birçok teorisel araştırma tek amaçlı modeller üzerine odaklanmıştır. Gerçek hayatta, genellikle birçok amaç vardır. Birçok amacın yanı sıra, bu amaçların ağırlıkları da zamanla değişebilir ve / veya çizelgeleyiciye göre değişebilir. Birden fazla amacın birleşiminden oluşan ortak amaçta, amaçların ağırlıkları sabit olmayabilir. Ağırlıklar zamana ve üretim ortamının anlık durumuna göre değişkenlik gösterebilir. İş yükü çok fazla ise, sıra bağımlı hazırlık sürelerinin en küçüklenmesi önem kazanır, iş yükü az ise toplam ağırlıklı gecikmenin en küçüklenmesi önem kazanır.
- ix.** Çizelgeleme süreci, uygulamada, sıklıkla vardiya atamaları ile fazla mesai çizelgelemesi ile bağlanabilir. İş yükü fazla aşırı görülürse ve termin de az kalmışsa, karar verici ürünü zamanında göndermek için, fazla mesai çizelgelemek ya da ilave vardiya koyma seçeneğine sahiptir.
- x.** Yapılan çalışmalarda kullanılan olasılıklı modeller genellikle çok özel işlem zamanı dağılımlarını kullanırlar. Üstel dağılım çalışmalarda en çok kullanılan dağılımlardan birisidir. Gerçekte, işlem zamanları üstel dağılım özelliği göstermeyebilir. Ayrıca farklı durumlarda farklı dağılım özellikleri gösterebilir. Eğer görevi gerçekleştiren bir robot ise, işlem süresi genellikle sabittir, ancak herhangi bir hata meydana geldiğinde işlem süresi daha da artabilir.
- xi.** Rassal işlem süreleri için bir başka boyut korelasyondur (ilişki). Aynı makinedeki başarılı işlem süreleri uygulamada pozitif ilişkilidir. Pozitif korelasyonun etkilerinden birisi de performans ölçüsünün varyansındaki artıştır.

- xii.** İşlem süresi dağılımları, öğrenmeye ya da kötüleşmeye göre değişiklik gösterebilir. Eğer dağılım elle yapılan işlem ile ilişkilendirilirse, öğrenme olasılığı ortaya çıkar. Görevi gerçekleştiren kişi, bir işlemin yapılması için gereken süreyi azaltabilir. Eğer dağılım makine ile ilişkilendirilirse, makinenin yaşı, yıpranma payı, kullandığı donanımların o andaki durumu işlemin gerçekleşme süresini etkiler.

Birçok durumda bir takım tekniklerle elde edilen en iyi çözüm ile uygulamaya konması arasında boşluk vardır. Üretim atölyeleri doğaları gereği belirsizlikleri barındırırlar (Björkqvist et al., 2001). Bazı olayların ne zaman ve nasıl olacağı belli değildir. Belirsiz üretim çevresinde yer alan üretim çizelgeleme ve yeniden çizelgelemesi dört bölümde sınıflandırılabilir (O'Donovan, 1998, Aytug et al., 2003).

- Tamamen tepkin yaklaşımlar (Çevrim içi çizelgeleme),
- Kestirimci-tepkin yaklaşımlar,
- Sağlam-Gürbüz (robust) çizelgeleme,
- Bilgi tabanlı çizelgeleme.

Tamamen tepkin yaklaşımlarda, çizelge üretilmez ve kararlar gerçek zamanda bölgesel alınır. Genellikle kullanılan yaklaşım; makinenin boş olduğu anda, iş ve makine özelliklerinden hesaplanan öncelik indeksine bağlı işin seçildiği yerel öncelikli sevk etme kurallarıdır (Ouelhadj, 2003).

Kestirimci – Tepkin çizelgelemede, kestirimci çizelge üretilir, uygulama esnasında bozulma meydana gelir ve çizelge onarılır. Bu yaklaşımda çizelgeyi en baştan üretmek yerine, çizelgede onarıma gidilir.

Sağlam çizelgeleme yaklaşımında, kestirimci çizelgelerle ve gerçekleşen çizelge performans ölçüm değeri arasındaki sapmayı en küçükleme için üretim aşamasında meydana gelen bozulmalardan elde edilen bilgilerle kestirimci çizelge hazırlanılır. Yeniden çizelgeleme yaklaşımları kullanılabilir. Bu yaklaşım bozulmanın etkilerini en küçükleme üzerine odaklanmıştır (Ouelhadj, 2003).

### 3.2. Çizelgelerde Onarıma Gitme ve Yeniden Çizelgeleme

Çizelgeler uygulamaya geçildikten sonra çizelgede beklenmeyen olaylar meydana gelir. Bu olaylardan dolayı çizelgelerin performansı düşer. Beklenmeyen olaylar ilk çizelgenin geçerliliğinin kaybolmasına ya da ilk çizelgenin uygulanmasının zorlaşmasına neden olabilir. Endüstriyel çizelgeleme problemleri doğaları itibari ile dinamiklerdir (Üretim süreci boyunca yeni siparişler sürekli alınır). Oluşturulan çizelge, geçerlilik süresi boyunca, üretim sırasındaki değişikliklere ve üretim koşullarındaki değişikliklere yanıt vermek için değiştirilebilir. Üretim sırasındaki değişiklikler, müşterisi tarafından iptal edilen siparişler dâhil olmak üzere kısa sürede tamamlanmak zorundadır. Üretim şartları işçilerin hastalığı, kaynakların bozulma olayları gibi olaylardan dolayı değişmektedir. Bu gibi değişiklikler bozulmalar olarak adlandırılırlar.

Çizelgeleme sistemlerinde genellikle iki ana bileşen bulunur (Sabuncuoğlu and Kızılışık, 2003).

- i. Çizelge Oluşturulması
- ii. Çizelge Kontrolü

İlk çizelge oluşturulmasını planlama birimi (kestirimci düzenek) olarak düşünebilir. İşlerin işlemlerinin planlanmış başlama ve tamamlanma zamanlarına karar verildiği bileşendir. Çizelge kontrolünü de tepki verme bileşeni olarak düşünebilir. Çizelgenin güncellenmesini sağlayan ve beklenmeyen olaylara tepki verilmesi sağlayan bileşendir.

Onarıma dayalı çizelgeleme sistemlerinde var olan çizelgedeki değişiklikler en azda tutularak ve geleneksel en iyileme hedefleri (akış süresinin en küçüklenmesi, en büyük gecikmenin en küçüklenmesi gibi) dengelemeye çalışılır (Ran et al., 2001).

#### 3.2.1. Çizelgede onarıma gitme nedenleri

Daha önce de belirtildiği gibi üretim çevresi doğası gereği dinamiktir ve sistemin durumunu değiştiren ve sistem performansını etkileyen birçok bozulma ile karşı karşıyadır. Bir çizelgede onarıma gitmek için gerekli nedenleri bir başka ifade ile çizelgenin onarılmasını tetikleyici etkenleri dört ana başlık altında toplamak mümkün olur:

- i.** *Mevcut çizelge geçerliliğini kaybetmiş ise,*  
Oluşturulan ilk çizelge uygulamaya konulduktan sonra malzeme kıtlığı, kalite problemleri, makine arızaları, tahmin edilenden farklı işlem süreleri gibi nedenlerle geçerliliğini kaybedebilir bir başka ifade ile çizelgelenen işlerden birisi hammaddesi olmadığı için üretilemeyebilir. Böyle bir durumda çizelge geçerliliğini kaybedecektir. Çizelgenin geçerliliğinin sağlanması için çizelge ya sil baştan yapılmalı ya da çizelgede onarıma gidilmelidir (güncelleme).
- ii.** *Mevcut çizelge geçerliliğini kaybedecek gibi görünüyorsa,*  
Çizelgenin güncellenmesi için geçerliliğini kaybetmesini beklemeye gerek yoktur. Oluşturulan çizelge geçerli olmasına rağmen, hedefe ulaşılma olasılığı kalmamış ise çizelgede onarıma gitmek gerekebilir.
- iii.** *Mevcut çizelge kabul edilebilir olmasına rağmen iyileştirmek için fırsat varsa,*  
Çizelgede her şey yolunda gidiyorken bile iyileştirme yapmak amacıyla onarıma gidilebilir. Zaman kısıtı gevşerse ya da sıkılaşırsa bu çizelgede iyileştirme fırsatı olarak değerlendirilip, çizelge güncellenebilir.
- iv.** *Belli zaman aralıklarında,*  
Çizelge belli aralıklarla güncellenebilir, böylece meydana gelmesi olası performans düşüklüklerinin önüne geçilebilir, çizelgenin uygulanması esnasındaki etkinliği artırılabilir.

### **3.2.2. Çizelgenin onarılmasını tetikleyici etkenler ve onarım seçenekleri**

Beklenmeyen olaylar (bozulmalar), sistemin durumunu değiştirebilirler ve sistem performansını etkileyebilirler. Bu bozulmalar eğer sistem performansında kötüleşmeye neden olurlarsa, performans düşüşünü azaltmak için çizelgenin güncellenmesini uyarırlar, bir başka ifade ile tetiklerler. Bu nedenden dolayı bu bozulmalara yeniden çizelgeleme etkenleri de denir. Bozulmaları şu şekilde sıralayabiliriz (Vieira et al., 2003; Raheja, et al., 2002).

- i.** Makine Arızaları
- ii.** Makine Bakımları

- iii. Acil İşlerin Gelişi
- iv. Yeni İş Gelişleri
- v. İş İptalleri
- vi. Termin Zamanında Değişiklik
- vii. Malzeme Sıkıntısı ve Malzeme Gelişlerinde Gecikme
- viii. İşlerin Önceliklerinde Değişme
- ix. Tahmin Edilenin Altında ya da Üstünde Gerçekleşen İşlem Süreleri
- x. Operatör Devamsızlığı
- xi. Donanım ve Alet Bozulmaları
- xii. Makine Performansındaki Değişim
- xiii. Hazırlık Sürelerinin Beklenenin Altında ya da Üstünde Gerçekleşmesi
- xiv. Yeniden İşlemeler
- xv. Kalite Kontrol Problemleri
- xvi. Hammadde Yetersizliği

Üretim sisteminde gerçekleşen bozulmaları iki ana bölüme ayırmamız mümkün olur (Ouelhadj, 2003):

- *Kaynak İlişkili:* Makine arızalanmaları, operatör hastalıkları, donanın uygun olmaması ya da arızalanması, yükleme limitleri, hammadde kıtlığı ya da hammaddenin beklenenden geç gelmesi, hammaddenin beklenen kaliteyi sağlamaması.
- *Sipariş İlişkili:* Acil işler, sipariş iptalleri, termin değişiklikleri, sipariş önceliğinde meydana gelen değişimler, sipariş işlem süresinde meydana gelen değişiklikler.

Bozulmalar çizelgenin onarılması için tetikleyici etkenlerdir. Bozulmaların özellikleri, üretim performansını doğrudan etkilemektedir. Bozulmaların özellikleri şu şekilde sıralayabiliriz (Chong, et al., 2003):

- i. *Bozulmanın Türü;* sistemin karşılaşılabileceği bozulmalardır. Üretim işletmelerinde karşılaşılmaması muhtemel bozulmalar yukarıda sıralanmışlardır.

- ii. *Bozulmanın Büyüklüğü*; makine arızasının giderilmesi için gerek sürenin uzun ya da kısa olması, işlem süresinden sapmanın miktarı gibi bozulmanın ne kadar süre etkili olacağına dair kavramdır.
- iii. *Bozulmanın Aralığı*; iki bozulma arasında geçen süre bozulmanın sıklığı olarak ta adlandırılır.
- iv. *Bozulmanın Meydana Gelmesi*; bozulmanın meydana geldiği an.
- v. *Bozulmanın Erkenden Belirlenmesi*; olay meydana gelmeden önce tespit edilme süresinin boyutu. Acil bir iş için gelen siparişin atölye ortamına bırakılması saatler alan bir hazırlık gerektirebilir.

Bozulmaların yukarıda sıralanan özelliklere ilave özellikleri de vardır. Bozulmanın kademesi, bozulmanın yayılması (diğer bozulmalar için tetikleyici olması) gibi.

Bozulma meydana geldikten sonra çizelgede onarıma gidilir. Onarım için seçenekler ise şu şekilde sıralanabilir.

- i. Fazla Mesai
- ii. Dış Yaptırım
- iii. Süreç Değişimleri
- iv. Yeniden Rotalama
- v. Makine Değişiklikleri
- vi. Sınırlı İşgücü
- vii. Hazırlık Süreleri
- viii. Donanım Düzenlemeleri

Yukarıda belirtilen seçenekler kullanılarak çizelgede meydana gelen aksaklıklar giderilebilir, ancak burada önemli olan çizelgenin en az maliyetle, en kısa sürede ve en etkili biçimde güncellenmesidir.

### 3.2.3. Yeniden çizelgeleme maliyetleri

Sadece üretimde meydana gelen bozulmalar değil, bozulmaların olabileceğinin düşünülmesi de işletmelere ilave maliyetler yükler. Sistem kararsızlığından kaynaklanan yeniden onarım maliyetlerini üç açıdan inceleyebiliriz (Aytug et al., 2003):



- i.** Bozulma olacak diye katlanılan maliyetler (eğer bozulma olmazsa boşa gider),
- ii.** Belirsizlikten kaynaklanan tedirginlik olduğunda katlanılan maliyetler,
- iii.** Sistem onarıldıktan sonra katlanılan maliyetler.

Üretimde meydana gelen bir takım aksaklıklar, çizelgelerde bozulmalara neden olabilir. Bozulmanın türüne göre, işletmenin katlanması gereken maliyetler de artacaktır. Bozulan çizelgenin etkili bir biçimde onarılamaması işletmelerde zaman, para, müşteri, itibar kaybı gibi istenmeyen kayıplara neden olabilir.

Bir çizelgenin onarılması, güncellenmesi için bir takım maliyetlere katlanmak gerekir, ancak çizelgenin onarılması için katlanması gereken maliyet, çizelgenin onarılmamasından kaynaklanacak maliyetten daha az olacaktır. Bir çizelgede onarıma gitmenin maliyetlerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- i.** *Sabit Maliyetler;*
  - a.** *Tekrarlı Olmayan Yatırım Maliyetleri (algılayıcılar, göstergeler, iletişim ağları, donanımlar, yazılımlar):* Çizelgeleme için bir sistem geliştirilecekse ya da geliştirilmiş bir sistem kullanılacaksa ortaya çıkan maliyetlerdir. İlk yatırım maliyetleri yüksektir, ama çizelgede meydana gelecek bozulmalara tepki verme süreleri çok kısadır ve bozulmalara verdikleri tepkiler daha etkilidir.
  - b.** *Tekrarlı Maliyetler:* Sistemlerde kullanılan donanımların ve yazılımların bakım, onarım, güncelleme gibi maliyetleridir.
  - c.** *Planlamacılar, Yöneticiler ve Amirlerin Maliyeti:* (Yeniden çizelgeleme elle yapıldığında). Çizelgeleme işinden sorumlu kişilerden kaynaklanan maliyetlerdir.
- ii.** *Hazırlık Maliyetleri:* Bir işletmede tepkin çizelgeleme sistemleri kullanılmadan önce katlanması gereken maliyetlerden birisi de hazırlık maliyetleridir. Bu maliyetler, işletmenin, işletmede kullanılan kaynakların ve süreçlerin düzenlenmesinde katlanılan maliyetleri içerir.
- iii.** *Taşıma Maliyetleri:* Malzemenin taşınması, gerek malzemenin taşınması için gerek duyduğu kaynaklar, gerek de harcanan süre açısından işletme için bir

takım maliyetleri beraberinde getirir. İşler sistemde kaldıkları sürenin %80 ine yakın bir süreyi taşınarak geçirebilmektedir. Çizelgede yapılan değişiklik bu maliyetlerde artışa neden olabilir (Hitomi, 1995).

### 3.3. Yeniden Çizelgeleme Yapısı

Yeniden çizelgeleme araştırmaları geniş bir faaliyet alanına yayılmaktadır. Bazı çalışmalar üretim sistemlerinin yeniden çizelgelenmesi için karşılaştırmalı yöntemleri tartışmakta, bazı çalışmalar ise beklenmeyen olay meydana geldiğinde kısıt bozulmalarını çözmek için özel teknikler sunmaktadırlar.

Tablo 3-1’de bir yeniden çizelgeleme yapısı sunulmaktadır. Yapı yeniden çizelgeleme çevresini, yeniden çizelgeleme politikasını ve yeniden çizelgeleme metodunu kapsar. Diğer yeniden çizelgeleme stratejileri (dinamik çizelgeleme ya da kestirimci-tepkin çizelgeleme) belirsizlik ya da değişkenlik ile yeniden çizelgeleme çevresinde kullanılabilir.

Günümüzde hala birçok kestirimci ve tepkin yeniden çizelgeleme yöntemlerinde yeniden çizelgeleme yordamları kullanılmaktadır. Yeniden çizelgeleme yöntemleri; sadece kestirimci ve tepkin çizelgelemede kullanılan yeniden çizelgeleme politikaları için uygun olan, çizelgelerin üretimi ve onarılması için işlemlerdir. Dinamik çizelge, çizelgeyi oluşturmaz ya da güncellemez (Herrmann et al., 2003).

**Tablo 3-1 Yeniden Çizelgeleme Yapısı**

Yeniden Çizelgeleme Çevresi				
Hareketsiz(İşlerin Sınırlı Kümesi)		Dinamik(İşlerin Sınırsız Kümesi)		
Belirli	Rassal Bazı Bilgiler Belirsiz	Gelişlerin Değişkenliği Yok (Çevrimsel Üretim)	Gelişlerin Değişkenliği (Atölye)	Süreç Akışı Değişkenliği (Atölye)
Yeniden Çizelgeleme Stratejileri				
Dinamik(Çizelge Yok)		Kestirimci-Tepkin (Oluşturur Ve Günceller)		
Gönderme Kuralları	Kontrol - Teorik	Yeniden Çizelgeleme Politikaları		
		Periyodik	Olay-Güdümlü	Karma-Karışık
Yeniden Çizelgeleme Yöntemleri				
Çizelge Üretimi		Çizelge Onarımı		
Tanımlanmış Çizelgeler	Gümbüz (Sağlam) Çizelgeler	Sağa Kaydırma Yeniden Çizelgelemesi	Kısmi Yeniden Çizelgeleme	Tamamen Yeniden Üretim

Yeniden çizelgeleme yöntemlerinde üretim kontrolü için yaygın iki yöntem bulunmaktadır. Dinamik çizelgeleme ve kestirimci-tepkin çizelgeleme. Dinamik çizelgelemede sevk etme kuralları ve çekme mekanizması kullanılır. Dinamik çizelgelemede üretim çizelgeleri oluşturulmaz. Üretim kontrolü, üretim çizelgesi olmadan, sevk etme kuralları ve çekme yöntemi ile sağlanır (Herrmann et al., 2003). Sevk etme kuralları için gereken bilgiler şu şekilde sınıflandırılabilir (Ramasesh, 1990; Kutanoğlu and Sabuncuoğlu, 1999);

- Geliş Anları (Örnek; FCFS – ilk giren ilk çıkar),
- İşlem Süreleri (Örnek; SPT – en kısa işlem süresi),
- Termin Bilgileri,
  - Toleransa Dayalı (Örnek; EDD - en erken termin),
  - Gevşekliğe Dayalı (Örnek; SLACK)
  - Orana Dayalı (Örnek; CR – kritik oran, S/OPN – kalan işlemler için gevşeklik, S/RPT – kalan işlem zamanları için gevşeklik)
  - Yukarıda verilenlerden bir veya daha fazlasının bileşimi (Örnek; WSPT– ağırlıklı en kısa işlem süresi, MOD – değiştirilmiş işlem termini ).

Çekme yöntemi, kanban kartları ve iş bırakma politikaları gibi üretim yetki kartlarını sisteme getirir böylece kaynaklar malzemeler ve kartlar uygun olduğu zaman çalışırlar (Herrmann et al., 2003).

Dinamik çizelgeleme, üretim sisteminin anlık durumuna bağlı olarak kararlar alınması itibariyle gerçek zamanlı kontrolle benzerlik gösterir.

### 3.4. Kestirimci Çizelge

Çizelgelere bozulma olması halinde ortaya çıkabilecek kayıpları en aza indirebilmek için ilave zamanlar eklenir. Bu yaklaşıma *kestirimci çizelge* denir. Çizelgede meydana gelen bozulmaların etkilerinin önüne geçmek için geçmiş verilerden yola çıkarak çizelgelere bozulma payı eklenmesi sürecidir. Tepkin çizelgeleme sürecinin ilk aşamasıdır. Kestirimci çizelgeleme yaklaşımı bozulmaların etkisini azaltabilir. Bu stratejinin amacı,

kabul edilebilir hesaplama süresi içinde olası çözümü elde etmek ve genişletilebilir çizelge sistemi geliştirmektir (Cerda, Henning, 2000).

Atölye ortamındaki belirsizlikleri iyi analiz etmek kestirimci çizelgeleme için önemlidir. Üretim çevresinde görülen belirsizlikler üç tipte tanımlanabilir (O'Donovan et al., 1998).

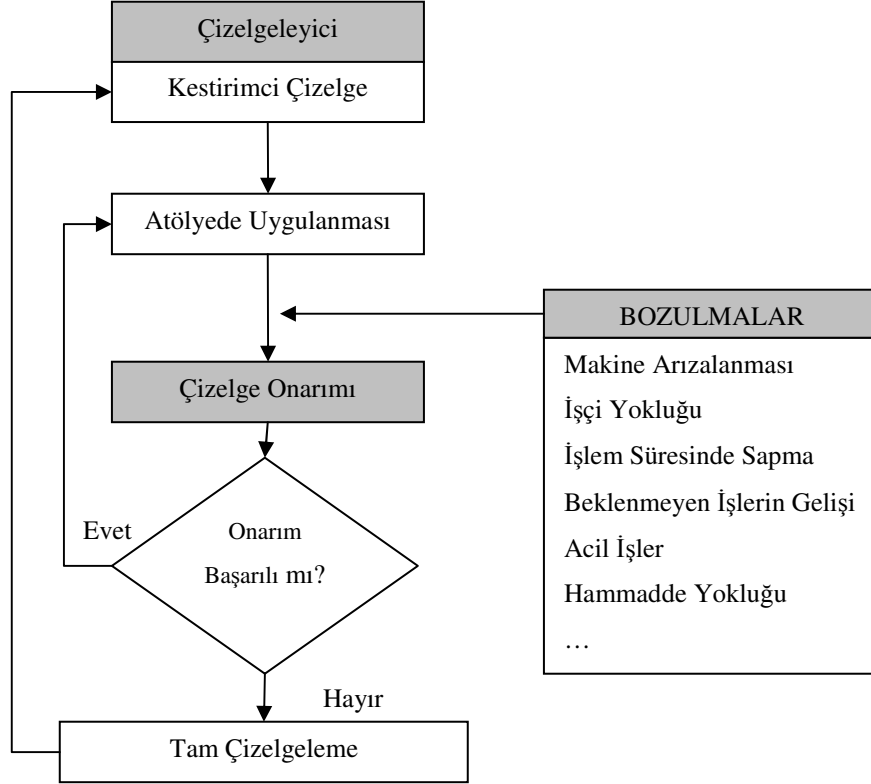
- *Tamamen Bilinmeyenler:* Tahmin edilemeyen olaylardır. Bu olaylar hakkında çok fazla bir bilgi yoktur. Aniden ortaya çıkan grev gibi... Bu olaylara tepki olarak çok az şey yapılabilir. Bu tarz durumları hesaba katan kestirimci çizelgeleri yapmak çok zordur.
- *Geleceği Belirsizler:* İnsanlar yani çizelgeleyicinin deneyimi ya da sezgileri ile görülebilirler. Bunları ölçmek ve çizelgeleme algoritmaları ile birleştirmek çok zordur. Bu durumlarda yapay zekâ teknikleri kullanan karar destek sistemleri kullanılabilir.
- *Bilinen Belirsizlikler:* Kestirimci çizelge üretilirken bazı belirsizlikler hesaba katılabilir. Arıza gelişleri arası süre ve arıza süresi olasılık dağılımları ile ifade edilebilir. Bozulma olasılığı ya da onarma zorlukları geçmiş verilerden hesaplanabilir.

### 3.5. Tepkin Çizelgeleme

Uygulamaya konulan çizelgelerde, uygulama aşamasına geçildikten sonra içsel (üretim sürecinde yeni alınan siparişler) ve dışsal (makine arızaları, performans altında çalışan işçiler gibi) bir takım etkenlerden dolayı sapmalar (bozulmalar) meydana gelmektedir. Bu olaylardan sonra üretim verimsiz, etkisiz davranışlarla devam eder (Raheja, et al., 2005). Bozulmaların doğası genellikle rassal olduğundan kolaylıkla çizelgeleme için kullanılan tekniklere yansıtılamaz.

Gerçek hayat çizelgeleme problemleri için uygun çözüm, üretim çevresinde meydana gelen bozulmalara yanıt verebilmek için çizelgelerin güncellenmesidir. Bu güncellemeye *tepkin çizelgeleme* adı verilir. Bir başka ifade ile çizelgelerin uygulanması esnasında meydana gelen beklenmeyen olaylar karşısında, gerçek zamanlı olarak

çizelgelerin güncellenmesi sürecidir. Tepkin çizelgeleme onarımın algoritması Şekil 3-3'te verilmiştir (Raheja et al., 2005).



**Şekil 3-3 Tepkin Çizelge Onarımı**

Tepkin çizelgeleme, eğer kısıtlar ya da kabullenmeler değişirse ya da geçerliliklerini kaybederlerse çizelgelerin onarılmasına olanak tanır. Tepkin çizelgeleme planlama, takip, onarım düzenekleri üzerine kurulmuş bir iyileştirme ya da onarma sürecidir (Hofer, 2002).

Tepkin çizelgeleme sistemlerinin hedeflerini şu şekilde tanımlanabilir (Hofer, 2002):

- Üretimde kullanılabilir nitelikte uygulanabilir ilk çizelgenin oluşturulması,
- Üretim boyunca meydana gelen atölye durum değişikliklerinin izlenmesi,
- Çizelgenin etkinliğinin sağlanması için atölyenin o andaki durumundan yararlanılması,
- Atölyenin o andaki durumuna göre, atölyedeki değişmelere tepki verilmesi.

### 3.5.1. Tepkin çizelge kavramının ortaya çıkışı

Bütünleşik üretim uygulamalarında; geliştirilen yaklaşımlar imalat verimliliğinin artması için önemlidir. Bütünleşik üretim uygulamalarının artması ile birlikte üretim yeteneğinin artırılması bir görev haline gelmiştir. Bireysel üretim uygulamaları güçlü kabiliyet dizileri sağlarken, bir şirket için bilgi adası haline gelmişlerdir. Bu durumda yalnız/uzakta bulunan bilgi depolarının atılmasına neden olur, çünkü bu uygulamalar diğer uygulamalarla iletişim kuramamakta, ya da bilgileri diğer uygulamalarla değiştirememektedir. Birçok işletme bu problemlerin üstesinden gelebilmek için alışlageldik, noktadan noktaya birleştirilmiş yöntemler ile problemleri çözmeye çalışmışlar, ancak uygulamaya koymak için maliyetli, devam ettirmek için ya da korumak için maliyetli, patentli/tescilli teknolojilere bağlı ve işletmede bulunan diğer uygulamalarla bütünleşmesi zor olan bu yöntemlerden istenen fayda sağlanamamıştır. Bu problemleri çözme çabaları sonucunda bütünleşik imalat uygulamaları ile artan randıman ve üretim yeteneği daha esnek, maliyet yönünden verimli birleşim yaklaşımlarını ortaya çıkarmıştır. ABD’de hükümet, akademisyenler, donanım ve yazılım tedarikçileri ve imalat uygulamaları müşterileri bir uygulama geliştirmek için bir araya geldiler (Riddick, 1999).

Uluslararası Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST), imalat uygulamalarında sistem bütünleşmesi (SIMA) programı kapsamında imalat bütünleşmesi problemleri için olası bilgi değişimi ve arayüz protokol standart çözümlerini ve bu çözümlerin imalat işletmelerinde uygulamalarını sağlamayı geliştirmek için Amerikan endüstrisi ile birlikte çalıştılar. Çalışmanın hedefleri; bütünleşik üretim sistemleri mühendisliği, imalat tesislerinin benzetimin yapılması ve üretim veri yönetim sistemlerinin diğer uygulamaları ve destek sistemleri ile bunların her biri için modeller, arayüzler, teknikler ve prototipler geliştirmektir.

Çalışmada ortaya konulan hedefler doğrultusunda etkili çizelge uygulamaları ile atölye uygulamaları için metot geliştirmek amacıyla bir proje başlatıldı. Bu projede bilgi modelleri, genel arayüz öz nitelikleri (spesifikasyonları), atölye varlıklarını tanımlamak için metotlar ve üretim süreçleri geliştirildi, üretim boyunca bu varlıklarda ve süreçlerde değişikliklere neden olan önemli olaylar tanımlandı. Bu araştırmada ele alınan yaklaşıma

diğer atölye uygulamaları ve çizelgeleme teknolojileri ile bütünleşen reaktif çizelgeleme sistemi teknolojisi dendi (Riddick, 1999).

### 3.5.2. Tepkin çizelgeleme sistemlerinin gereksinimleri

Tepkin çizelgeleme sistemlerinin gereksinimleri üç başlık altında aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- *Sağlamlık (Robust)*: Sağlam kestirimci bir çizelge birçok bozulma türü karşısında geçerliliğini devam ettirebilir. Sağlamlık kestirimci çizelgelerde istenen bir özelliktir. Tepkin çizelgeleme aşamasında çizelge onarılrken verilmesi gereken karar sayısını azaltır. Sağlamlığı, bozulmalara gereksiz tepki verecek, gerçekten uzak tahminlerden arındırarak oluşturulan kestirimci çizelgelerle arttırmak mümkün olur (Aigner et al., 1997). Sağlam çizelgeler üreterek basit çizelge düzeltmeleri ile iyi sistem performansı elde edilebilir. (Herrmann et al., 2003).
- *Sinirlilik (Nervousness)*: Çizelgeler onarılarak ya da en baştan yapılarak bozulmalara tepki verirler. Çizelgeyi sıfırdan yapmak daha iyi bir çözüm verir gibi görülebilir ama bu tarz çözümlerin götürüleri getirilerinden fazla olabilirler. Tepkin çizelgeleme sistemleri hareketliliğe neden olan ve maliyeti fazla olan sık güncellemeler yerine daha az sıklıkla mevcut durumlara adapte edilmelidirler. Sinirlilik kısaca çizelgedeki kesin değişimlerdir. Durağanlığın tersidir. Tepkin çizelgeleme sistemlerinin hedeflerinden biriside sinirliliği azaltmak olmalıdır (Aigner et al., 1997).
- *Durağanlık (Stability)*: Sistem bozulmalara tepki göstermelidir ve bozulmalara tepki gösterirken de olabildiğince ilk çizelgeye bağlı kalmalıdır. Çizelgede yapılacak önemsiz değişiklikler bütün çizelgenin performansını etkileyebilir (Aigner et al., 1997).

### 3.5.3. Tepkin çizelgeleme sistemlerinde bilginin sağlanması

Tipik atölye çizelgeleme uygulamalarının bulunduğu imalat senaryolarında çizelgeleme yazılımları kullanılarak bütün atölye işlemleri için başlangıç ve bitiş zamanları çizelgelenebilir. Birçok çizelgeleme uygulaması ile çizelgenin en iyilenmesi için (süreçteki işi en küçüklemek, gecikmeyi en küçüklemek vb.) kullanıcıya kontrollü parametre sağlanır. Çizelge bilgisi atölye kontrolcüsünün bazı formlarına taşınır, daha sonra atölyedeki süreç bu çizelge doğrultusunda işler. Çizelge işleme konulduktan sonra çizelge eniyilemesini bozan olaylar gerçekleşebilir. Bu olaylardan sonra üretim verimsiz, etkisiz davranışlarla devam eder. Bu bir istenmeyen durumdur, çünkü çizelgeleme uygulamaları, bazı olaylar için etkili çizelge üretme kapasitesine sahip olmalarına rağmen, genellikle çizelgeleme uygulaması ile iletişime geçerek onda iyileştirme yapacak mekanizmaya sahip değildir.

Tepkin çizelgelemede, çizelgenin gerçekleşmesi süresince meydana gelen önemli olayların verileri toplanır. Çizelgeleme uygulamalarının verilerinin güncellenmesi için uygun mekanizma ile bu bilgiler gösterilir. Atölye işlemlerinin mevcut durumu ile çizelgeleyicinin verileri güncellenir ve üretim yetersizliği için yeni çizelge oluşturulur. Bu yolla tasarlanan sistemlerin gerekli özellikleri üretim yeteneği, üretime koyma ve üretim işlemlerinin mevcut durumuna bağlı çizelgelerdir.

Diğer kaynak kısıtlı, çok ajanlı planlama problemlerinde olduğu gibi, imalat üretim yönetiminin geniş amacı, talebin zamanla ve maliyet-etkili biçimde sunulduğu yerlerde düzenlenmiş davranışları üretmektir. Birçok üretim ortamında ileri çizelgelerin kurulması, bu amacı başarmanın merkezi sayılır, olası performans engellerinin önceden sezilmesini sağlar ve üretim sistemi davranışlarının üzerindeki zararlı etkilerini en küçüklemeye yardımcı olur.

Uygulamada, iki faktör çizelgenin performansını etkiler. Bunlardan birincisi; herhangi etkili genelleştirilmiş bir çizelgeden; sistematik davranışları, önemli işletme kısıtlarını ve durumlarını yok sayarak modellerle işletmek ve genelleştirilmiş çizelgelerin, işletme tabanı faaliyetleri ile uyumunun kayıp olmasıdır. İkincisi ise üretim ortamının dinamik olarak değişen doğasıdır (makine arızalanması, malzemenin zamanında yerine ulaşmaması, değişen pazar koşulları, beklemeyen ürün talepleri gibi). Bu planların tamamı



zaman aşımına dayanan planlardır. Gerçekte, üretim örgütünün performansı çizelgenin hızla değişen koşullara hızla uyum sağlama yeteneğine bağlıdır. Bu yönde üretim planlama/çizelgeleme değişmeyen eniyileme problemi değil, ancak devam eden tepkin (aktif) süreçtir.

En iyileme hedefleri işletme bütününde üretim davranışlarını garantileyerek faaliyetlerdeki devamlılığın ilgisi ile sürekli dengede olmalıdır, üretim sistemi hareketlerini tutmak için yanıt vermelidir.

Tepkin çizelgeleme sisteminin amaçları;

- i. Üretimde uygulanabilecek olası ilk çizelgenin üretilmesi
- ii. Atölye durumunun üretim aşaması boyunca meydana gelen değişikliklerin izlenmesi
- iii. Çizelgenin etkinliğini hesaplamak için mevcut atölye durumunun kullanılması
- iv. Mevcut atölye durumuna bağlı gelişmiş çizelgenin üretilerek atölye çevresinde meydana gelen değişikliklere yanıt vermek olarak nitelendirilebilir.

#### 3.5.4. Fabrika varlıkları ve durum mesajları

Atölye durumu kavramı, atölye faaliyetlerinden etkilenen zorunlu atölye varlıklarının tamamını toplayan durumdur. Tepkin çizelgeleme sistemlerinde atölye varlıkları dört tipe ayrılır (Riddick, 1999).

- i. *Yükler*; atölye faaliyetlerinden geçerek bitmiş ürün olarak çıkan parça gruplarını gösterir. Her bir yük kendi niteliğini tanımlayan değere sahiptir. Bu nitelik eşsiz tanımlayıcı, planlanmış başlangıç zamanı ve termin, ilgili ürün, yerine getirilmeye başlanan mevcut iş basamakları, parçaların başlangıç sayısı, yük için mevcut ve önceki süreçlerin durumudur. Yük için süreç durumları, yük durumu olarak isimlendirilir, yük belirli iş basamağında işleme başlar, tutulur ya da üretim problemi yüzünden yarıda kalabilir, ya da tüm süreçlerini tanımlar.
- ii. *Kaynaklar*; makineleri, operatörü, aletleri ve atölyede üretimi uygulamak için kullanılan eşyalardır. Her bir kaynak kendi niteliklerini tanımlayan

karakteristiklere sahiptir. Bu karakteristikler, eşsiz tanımlayıcı, süreçte bulunan yük, en son bakım olayında kaynağın kullanıldığı süre, mevcut hazırlık, mevcut ve önceki süreçlerde kaynak durumlarıdır. Kaynak için süreç durumu, kaynak durumu olarak adlandırılır, kaynak uygun, meşgul, bakımda, hazırlık ayarları yapılıyor, bozulmuş, süreçten yeni çıkmış, vardiya da ya da çizelgelenmemiş olabilir.

- iii. *Tamponlar*; tamamlanmamış yüklerin üretim tesislerinde geçici olarak depolandıkları yerlerdir. Her bir tampon kendi niteliklerine sahiptir. Bunlar tampon için eşsiz tanımlayıcı ve tamponda bulunan yüklerin listesidir.
- iv. *Malzemeler*; yüklerle ilgili olmayan ancak gerek duyulan ve üretim faaliyetleri boyunca tüketilen madde miktarlarını/büyükliklerini tanımlar. Malzeme örnekleri boyalar, tornavidalar gibi. Her bir malzemenin nitelikleri, eşsiz tanımlayıcı ve malzeme miktarıdır.

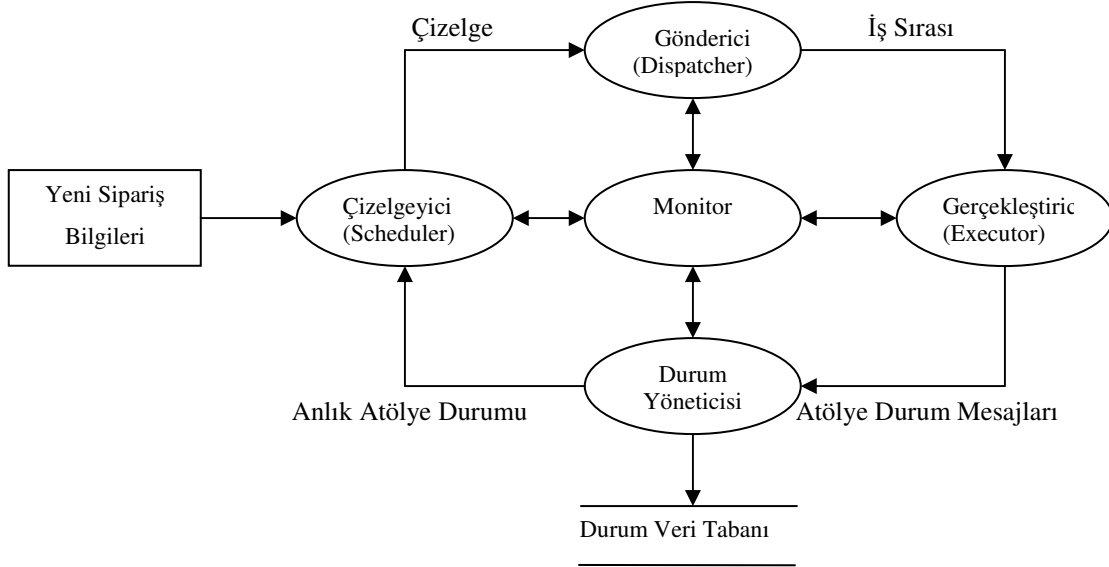
Yükler, kaynaklar, tamponlar, malzemeler; atölyedeki üretimin mevcut durumunu tanımlayan fabrika varlıklarının en küçük kümesidir. Bunlar tüm fabrika varlıkları faaliyetlerini ayrıntılı tanımlayamaz ancak üretimle ilgili olayların çizelgeleyiciyle iletişimine olanak vermek için atölyelerin önemli elementlerinin yaygın kavramsal modellerini sağlar.

Değişikliklerin fabrika varlıkları ile iletişimini kolaylaştırmak için durum mesajları tanımlanır. Bu mesajlar her bir farklı fabrika varlıklarının yaratma, değiştirme ya da tahribi için önemli bilgiler sunar. Her bir mesaj belirli fabrika varlıkları ile ilgili bilgiler içerir ve belirli fabrika elementleri için yeni durum tanımlar. Fabrika varlık tanımlarını kullanan imalat uygulamaları atölyenin durumunu anlamak için temel oluşturur, atölye operasyonlarının güncellenmesi için durum mesajları kullanılır.

### 3.5.5. Kavramsal tepkin çizelgeleme sistemi

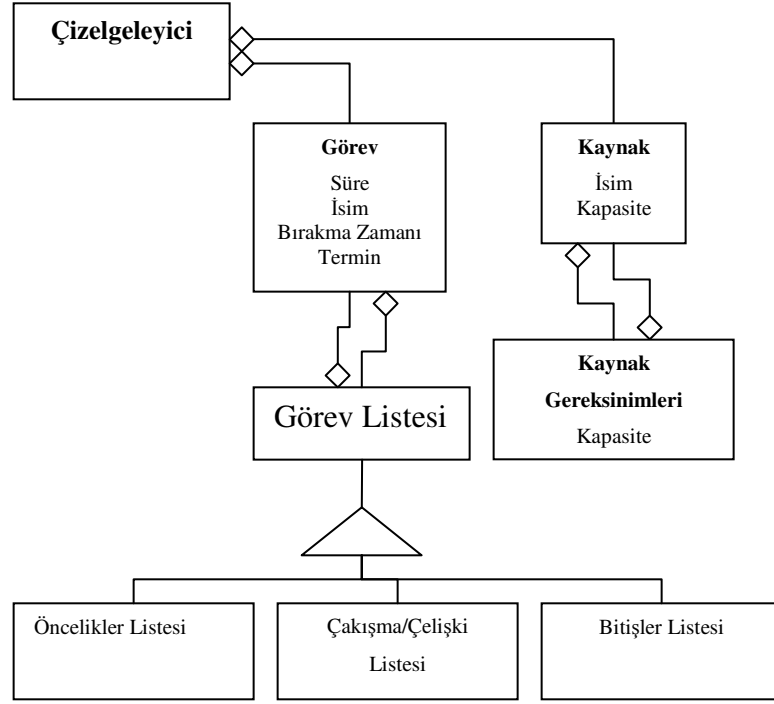
Tepkin çizelgeleme üzerine yapılan çalışmalarda birçok tepkin çizelgeleme sistemi yapısı tasarlanmıştır. Tepkin çizelgelemenin bileşenleri bir birinden farklılık gösterebilir bile işlev olarak benzerdirler. Çizelgeleyici bilgisayarda olabilir, insan da ama işlevi

çizelgeyi üretmektir. Farklı kurallar ya da yordamlar kullanarak çizelge üretilebilir. Kavramsal bir tepkin çizelgeleme sisteminin bileşenleri (Riddick, 1999) Şekil 3-4’de verilmiştir.



**Şekil 3-4 Tepkin Çizelgeleme Sistemi Bileşenleri**

- i. **Çizelgeleyici:** Sipariş bilgilerini alır ve atölyede gerçekleşmesi için çizelge üretir. Tepkin çizelgeleme sistemleri sözlüğünde, sipariş sadece bir veya daha fazla yük grubudur. Siparişe ilgili bazı bilgiler, müşteri-maliyet ilişkili gibi, bu durumun dışındadır. Çizelge üretilmeden önce, çizelgeleyici; yeni çizelge üretirken atölye ortamından haberdar çizelge üretebilmek için atölyedeki son durumlar hakkında bilgi toplama sorumluluğuna sahiptir. Çizelgeleyicinin veri yapısı Şekil 3-5’de verilmiştir (Prabhakar, 2003). Çizelgeleme sürecinin çıktısı yeni bir çizelgedir ve çizelgenin bağlı olduğu sipariş listesi üzerindedir. Çizelgenin her bir satırı (hattı) makine kaynağını tanımlar, yüklerle ilgili iş basamak adı, başlangıç ve tamamlanma zamanları her bir üretim basamağı için tanımlanır (Riddick, 1999).



**Şekil 3-5 Genel Çizelgeleyici Veri Yapısı**

- ii. **Gönderici:** Atölye faaliyetleri için önemli bilgileri korur ve gerek duyulduğunda bu bilgileri sağlar. İki çeşit bilgi tutulur. Yüklerin bırakılma listesi, her bir yükün üretim için serbest bırakılacağı ile ilgili bilgi listesidir. Listenin her bir elementi yük oluşturmak, yükün üretim için bırakılacağı saat ve tarih oluşturmak için önemli bilgiler içerirler ve buna ilave olarak ta yükün mevcut durumu (serbest mi bırakıldı?, süreci tamamladı mı?) ile ilgili bilgiler içerir. Gönderici her bir makine kaynağı için gönderme listesi hazırlar. Gönderme listesi süreçten geçerek makine kaynağı ile ilgili işlerin sırasını tanımlar. Bir iş; yükün süreçteki bir basamağını tanımlar ve iş basamaklarını içerir; yük tanımlayıcısını ve sipariş tanımlayıcısını içerir. Gönderme listesi bilgileri yeniden sıralanan çizelge bilgilerinden gelir (ilk olarak kaynaktan, ikinci olarak başlangıç zamanından). Gönderici sipariş listelerinin ve çizelge bilgilerinin mevcut yük bırakmalarının ve gönderme liste bilgilerinin çizelgeleyici tarafından yeni gönderme listesi oluşturulduğunda birleştirilmesinden sorumludur (Riddick, 1999).

- iii. Gerçekleştiren:** Sistemin üretim yeteneklerinin/kapasitelerinin sunulduğu bileşendir. Atölye bir çeşit bileşen kısımdır. Gerçekleştirici iş ve yük bırakma bilgileri için gönderici ile koordineli çalışır ve bilgilerle sınırlandırılmış üretim faaliyetlerini gerçekleştirir ve üretim faaliyetlerinin durumlarını durum yöneticisine raporlar (Riddick, 1999).
- iv. Durum Yöneticisi:** Atölyedeki faaliyetlerinin durumunun o andaki görüntüsünü sağlamakla sorumludur. Üretimde kullanılan kaynakların ve yüklerin tamamı hakkındaki bilgilerin bulunduğu veri tabanını içerir. Bu veri tabanı gerçekleştiren tarafından yaratılan durum mesajlarını alarak ve mevcut verilerle birleştirerek güncel kılınır. Yük ve kaynak bilgilerini kullanmak için arayüz sağlar (Riddick, 1999).

### 3.5.6. Tepkin çizelgeleme politikaları

Çizelgeleme kararı politikaları iki bölümde ele alınabilir: *Ne Zaman Çizelgelenir* ve *Nasıl Çizelgelenir*. Ne zaman çizelgelenir politikasında, iki ardıl çizelgeleme noktası arasındaki zamana karar verilir. Nasıl çizelgelenir politikasında ise, geçerli çizelge üretme yollarına karar verilir. Tepkin çizelgeleme politikaları Tablo 3–2’de verilmiştir (Sabuncuğlu and Kızılışık, 2003).

**Tablo 3-2** Tepkin Çizelgeleme Politikaları

<p><b>Ne Zaman Çizelgelenir?</b></p> <p>Zaman Aralığı (Sabit)</p> <p>Zaman Aralığı (Değişken)</p> <p>Olaya Dayalı</p> <p>Karma</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sabit Zaman Aralığında Tekrarlı Gözden Geçirme</li> <li>• Sabit Sıralama</li> <li>• Değişken Zaman Aralığında Tekrarlı Gözden Geçirme</li> <li>• Sürekli Gözden Geçirme</li> <li>• Zaman Aralığı</li> <li>• Olaya Dayalı</li> </ul>
<p><b>Nasıl Çizelgelenir?</b></p> <p>Tam Çizelgeleme</p> <p>Kısmi Çizelgeleme</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uygun Olan Tüm İşlerin Çizelgelenmesi</li> <li>• Sistemde Çizelgelenen işlerin (İşler Kümesinin) belli bir kısmının çizelgelenmesi</li> </ul>

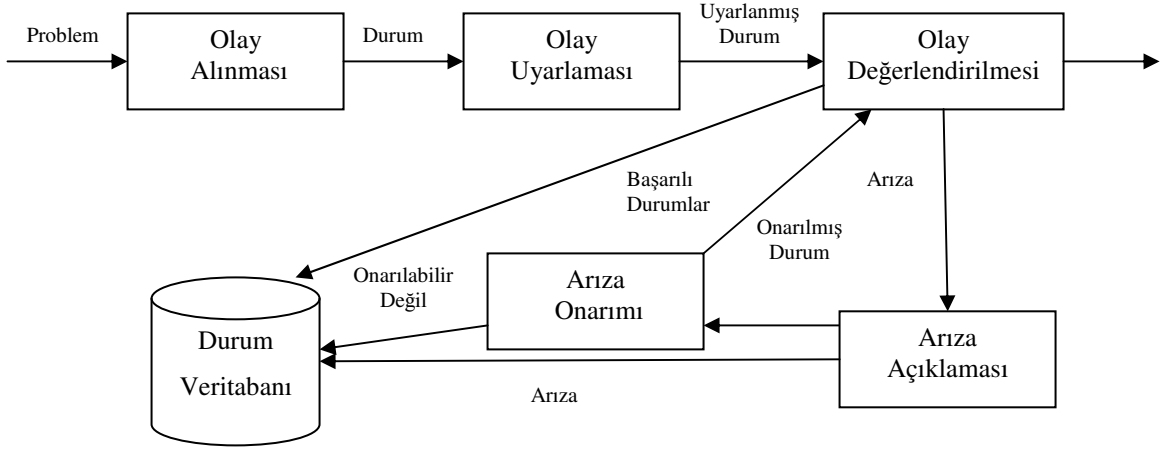
Ne zaman çizelgelenir politikasını üç alt bölümde incelemek mümkün olur. Bu alt bölümler sabit sıralama yaklaşımı, tekrarlı gözden geçirme yaklaşımı ve olaya dayalı yaklaşım (sürekli gözden geçirme) olarak sıralanırlar.

Sabit sıralama yaklaşımında; çizelge sadece çizelgeleme zamanının başlangıcında üretilir ve daha sonra basit zaman kaydırmalarından başka güncelleme yapılmaz. Bu yaklaşımda sistemin bozulmaların olumsuz etkilerinden kendi başına kurtulduğu varsayılır. Tekrarlı gözden geçirme yaklaşımında, sistem belli zaman aralıklarında gözden geçirilir ve tepkin çizelgeleme ile güncellenen çizelge bu gözden geçirme yapıldıktan sonraki çizelge başlangıç anlarında uygulamaya konulur (Sabuncuoğlu and Karabük, 1999; Sabuncuoğlu and Bayız, 1999; Aytug et al, 2003).

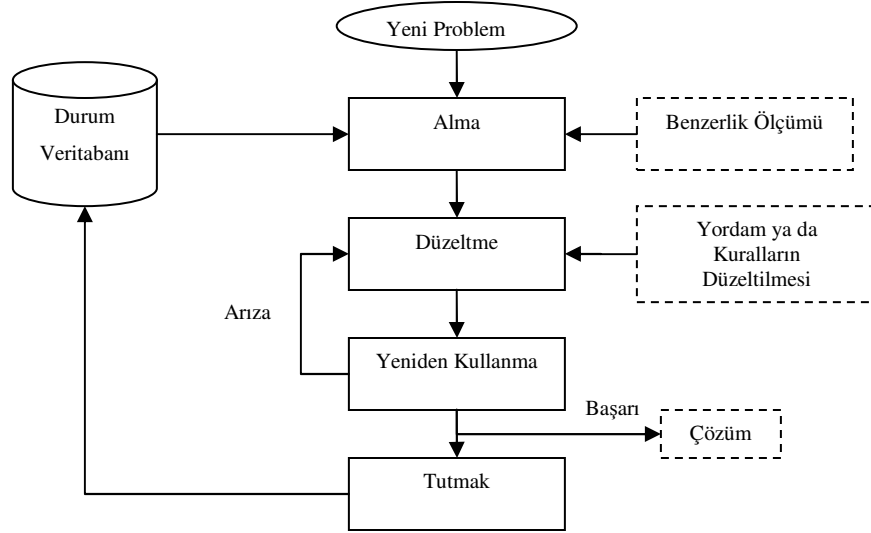
Tekrarlı gözden geçirme yaklaşımında sabit zaman aralığı ve değişken zaman aralığı olmak üzere iki yöntem söz konusudur. Sabit zaman aralığı yönteminde, gözden geçirme anı zamanda eşit aralıklı noktalardır (her vardiyanın başlangıcı, saat, gün, hafta.). Değişken zaman aralığı yaklaşımında, iki çizelgeleme noktası arasında geçen zaman sabit değildir, gerçekleştirilen işlerin yüzdesine ya da gerçekleştirilen işlerin bütün makinelerdeki toplam işlem süresine bağlıdır. Değişken zaman aralığı sistemin durumuna yanıt verebilmek açısından sabit zaman aralığına göre daha duyarlıdır (Sabuncuoğlu and Karabük, 1999; Sabuncuoğlu and Bayız,1999; Aytug et al, 2003).

Olaya dayalı yaklaşımda, sistem devamlı kontrol edilir, sistemde meydana gelen değişmelere göre (onarıma gitme nedenleri) tepkin çizelgeleme tetiklenir ve çizelgede güncellemeye (onarıma) gidilir. Olaya dayalı yapıda;

- Bozulmaya sebep olan durumlar ve bozulmalar, bozulma açıklaması ile birlikte durum veri tabanına kaydedilirler.
- Bozulmalar onarılmaya çalışılır ve eğer bozulmalar onarılamaz ise, bu durumda durum veri tabanında kayıt altına alınır.
- Bozulmaların onarılması durumunda ise onarma yöntemi de bozulma ile birlikte durum veri tabanında kayıt altına alınır. Olaya dayalı sistemlerdeki yapı Şekil 3-6'da verilmiştir (Hofer, 2002). Bu sürecin işleyişi ise Şekil 3-7'de verilmiştir (Burke et al., 2005).



**Şekil 3-6 Olaya Dayalı Sistemlerin Genel Yapısı**



**Şekil 3-7 Olaya Dayalı Süreç**

Beklenmeyen olay karşısında üç özelliğe gerek vardır (Hofer, 2002).

- i. Çözülmüş problemin nitelendirilmesi,
- ii. Çizelgenin özelliklerinin ve uygun durumların tanımlanması
- iii. Problemi çözmek için uygun durumda kullanılacak çözüm yöntemi.

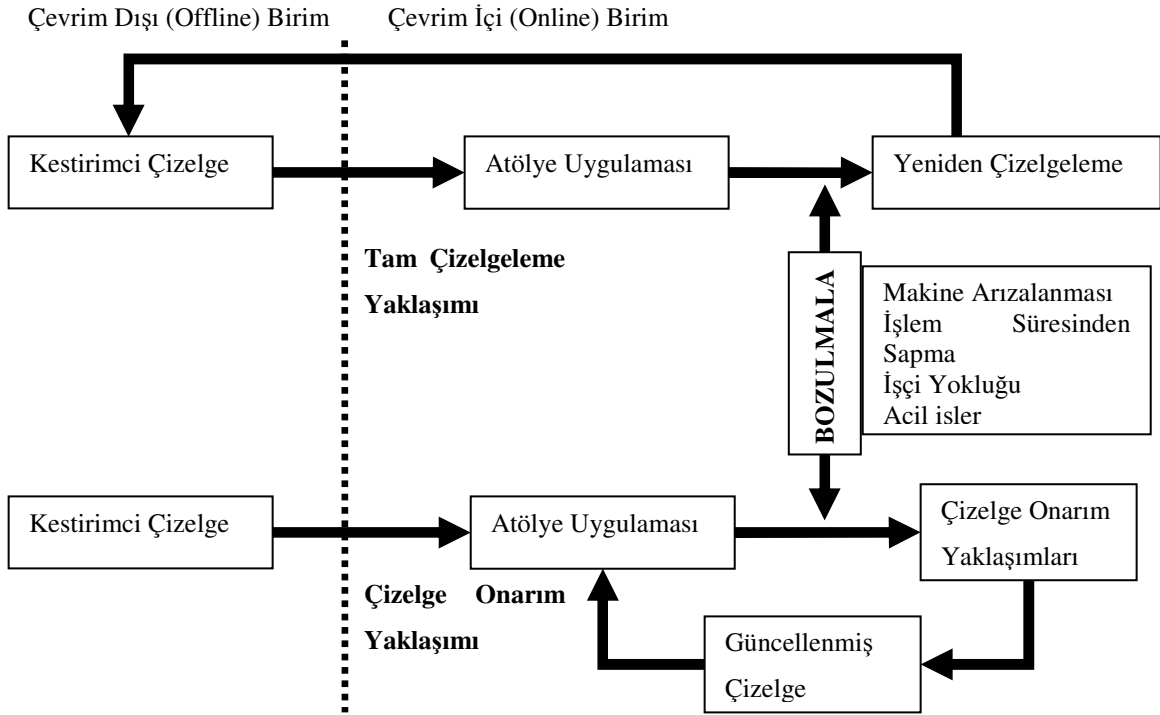
Karma politikada çizelge periyodik olarak kontrol edilir eğer, onarım zamanı gelmeden bozulma meydana gelmiş ise onarım meydana geldiği anda çizelgelenir (Ouelhadj, 2003).

Nasıl Çizelgelenir politikasında çizelgenin nasıl onarılacağı ya da nasıl güncelleneceği kararı verilir. Bu politika da iki seçenek söz konusudur. Tam çizelgeleme ve kısmi çizelgeleme. Tam çizelgeleme sistemde uygun durumda olan tüm işlerin (%100) çizelge tepki verme noktasında çizelgelenmesidir. Kısmi çizelge ise sistemde bulunan işlerin (iş kümesinin) belli bir kısmının (yüzdesinin ) çizelgelenmesidir (Sabuncuğlu and Kızılışık, 2003).

Tam çizelgeleme uygulamada istenen bir çizelgeleme değildir. Tam çizelgeleme, kısmi çizelgelemeye göre daha fazla zaman alır, onarım ile ortaya çıkan çizelgenin, uygulamaya konan ilk çizelgeden tamamen farklı bir çizelge oluşturulmasına neden olabilir. Bu duruma *atölye sinirliliği* de denir. Bu durumdan çalışan ataması, hammadde taşınması, makinelerin hazırlık ayarları, tamamlanmamış işlerin taşınması gibi birçok karar etkilenir. Böyle bir durumda güncellenen çizelgenin maliyeti işletme için ağır olabilir (Raheja, et al., 2005; Dorn, 1995).

Bir çizelge onarılırken istenen, ilk çizelgede meydana gelen değişikliğin olabildiğince az olmasıdır (Herroelen and Leus, 2004). Çizelgeyi tamamen sil baştan yapmak yerine kısmi olarak çizelgelemek daha uygun olacaktır. Şekil 3-8'de tam çizelgeleme ile kısmi çizelgeleme arasındaki fark gösterilmektedir (Raheja, et al, 2002).





**Şekil 3-8 Tam Çizelgeleme & Çizelge Onarımı (Kısmi Çizelgeleme)**

Nasıl çizelgenir kararı verilirken üç farklı çizelgeleme aşaması ile karşılaşılır. Bunlardan birincisi çevrim dışı çizelgelemedir. Çevrim dışı çizelgeleme aşamasında çizelgeleme dönemi için çizelgeleme yapılırken çizelgenin uygulanmaya konmasından önceki aşamadır (Gören, 2002).

Çevrim içi aşaması çizelgele uygulanırken yapılan çizelge güncellemeleridir. Bu iki aşamanın arasında işlerin faaliyetlerinin alt kümelerinin çizelgelendiği, geri kalanların ise gelecek zamanlar için ayrıldığı *sözde çevrim içi* aşaması söz konusudur (Gören, 2002).

### 3.5.7. Çizelgelerin onarılması

Çizelgelerin onarılmasında kullanılan iki farklı onarım yaklaşımı bu bölümde ele alınacaktır.

### 3.5.7.1. Boş zaman ekleyerek çizelgelerin onarılması

Çizelge oluşturulduktan sonra, üretim işlemleri başlar. Atölye bozulmaları çizelgenin planlanan işlemlerinde meydana gelen sapmalardır. Dikkatle yapılan analizler sonucunda herhangi bir karmaşık bozulma basit onarım basamaklarına ayrılır (Raheja, et al., 2002). Ek-1’de çeşitli bozulmalar için genel onarım yöntemleri yer almaktadır. Çizelgede etkilenen işlerin onarılması sürecine Etkilenen İşlerin Yeniden Çizelgelenmesi (AOR) yöntemi adı verilir. Bu basamaklara göre, genel onarma olayları şu şekilde tanımlanabilir.

- i. *Boş Zaman Ekle*: Makine arızalanmalarındaki ve yokluklardaki (makine operatörlerinin uygun olmamaları) bozulmalarda kullanılır. Etkilenen makine bozulma süresince boş tutulur.
- ii. *Ayarlama Zamanı Ekle*: Hazırlık gecikmeleri iş operasyonlarının başlama ve bitiş zamanlarında gecikmelere neden olur. Makine tarafından işlenecek operasyonlar için tahmin edilen ilave zaman çizelgeye eklenerek düzeltilir.
- iii. *Operasyon Ekleme*: İş operasyonları; yeni işlerin gelmesi, hammaddenin eksikliğinden dolayı işlerin ertelenmesi, teslim zamanının gevşemesi gibi bozulmalarla çizelgeye eklenirler.
- iv. *Operasyon Silme*: Eğer daha fazla işleme gerek yoksa ilk çizelgeden iş operasyonlarının çıkartılmasını içerir.

Bu genel onarım faaliyetleri bir bozulmayı onarmak için yalnız başlarına ya da birlikte kullanılırlar. Her bir bozulmanın onarımı için gerek duyulan ana onarım olayları tanıtılmış ve bu onarım faaliyetleri Tablo 3-3’de verilmiştir (Raheja et al., 2005).

Onarım ile ilgili yöntemler genel olarak şu başlıklar altında toplanabilir (Raheja, et al., 2005, Gerber, 1998). Bunlar;

- *Sağa Doğru Kaydırma*, çizelgeyi uygun yapabilmek için her bir işlemi kaybedilen zaman kadar ileri kaydırma işlemidir. Bir başka ifade ile işlerin başlama zamanlarını kaybedilen zaman kadar ileri bir zamana almaktır.
- *Sağa Doğru Kaydırma ve Atlama*, sağa doğru kaydırma yöntemine benzer. Sağa doğru kaydırma işlemi domino etkisine sahiptir ve kendisinden sonra

gelen her işi etkiler. Sağa doğru kaydırma ve atlatma ise önem derecesi düşük işler ya daha ileri bir zamana ötelenenir kısaca o işlerin üzerinden atlanır ve diğer işler sağa kaydırılır (Gerber, 1998).

- *Sola Doğru Kaydırma*, çizelgede kazanılan zaman söz konusu ise bu yöntem kullanılabilir. İşlerin başlama zamanları kazanılan zaman kadar erkene alınır.
- *Rassal Onarım*, Zweben tarafından ortaya atılan rassal onarım kavramında sistem rasgele bir iş seçer ve onu yeniden atar. Bu atama yapılacak zaman rasgele de seçilebilir, çizelgeleyici de karar verebilir (Gerber, 1998). Kazanılan zaman çizelgeyi onarmak için değerlendirilir.
- *İleriye Bakma Onarımı*, her işe ait onarma ya da gecikme maliyetleri hesaplanır. Maliyetlere göre sıralama yapılır.

**Tablo 3-3 Genel Onarım Yöntemi**

Onarma Faaliyeti	Onarım Prosedürü
<b>Boş Zaman Ekle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Boş zamanın süresini kaydet.</li> <li>• Çizelgede istenen konuma boş zaman ekle.</li> <li>• Uygun yordamı kullanarak çizelgeyi onar.</li> </ul>
<b>Düzeltilme Süresi Ekle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Değişen işlemin yeni bitiş zamanını kaydet.</li> <li>• Yeni ve orijinal bitiş zamanları arasındaki zaman farkını hesapla.</li> <li>• Etkilenen makinede bu farka eşit düzeltme süresi ekle.</li> </ul>
<b>Operasyon Ekle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Operasyonun ekleneceği zamanı ve işlem süresini kaydet.</li> <li>• Atanan makinede, gerek duyulan pozisyonda işlem süresine eşit dönem ekle.</li> <li>• Uygun yordamı kullanarak çizelgeyi onar.</li> </ul>
<b>Operasyon Sil</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yordam kullanımını kapsamayan işlemleri sil. Bu silme işlemlerin basit silinmesi ya da ilave zamanların silinmesi şeklinde.</li> <li>• Orijinal çizelge bozulmasını.</li> </ul>

Bir çizelge uygulamaya başladıktan sonra bozulma meydana gelirse bu çizelgeyi onarmak için bozulmanın etkilediği işler ele alınarak, bozulmaya uygulanan onarma olayları sonucunda oluşan zaman boşluklarını doldurabilmek için öncelikle hangi zaman boşluğunun hangi işle doldurulacağına karar vermek gerekir. Burada çözülmesi gereken iki

tane problem karşımıza çıkmaktadır. Bu problemlerden birincisi öncelikle hangi zaman boşluğunun doldurulması gerektiği, ikincisi ise zaman boşluğunun hangi işle doldurulacağıdır.

Bozulma sonucunda meydana gelen zaman boşluğunu doldurmak için önerilen iki seçenek vardır (Suh, et al., 1998). Bunlardan birincisi en erken başlama zamanına sahip olan boşluk ilk olarak doldurulur. İkincisinde ise zaman boşluğunun kritiklik durumuna göre sıralama yapılır. Seçenekler ele alınan problemin sayısına ya da problemde meydana gelen boşluk sayısına göre artış ya da azalış gösterebilir. Tablo 3-4'te zaman boşluğu ile ilgili tanımlamalar verilmiştir.

**Tablo 3-4. Zaman Boşluğunu Anlatmak İçin Kullanılan simgeler**

$T_j$	Meydana gelen boşluk
$J_i$	İş
$TS(J_i)$	$J_i$ işinin taşıma süresi
$BA(T_j)$	$T_j$ boşluğunun başlangıç anı
$TA(T_j)$	$T_j$ boşluğunun bitiş anı
$IS(T_j)$	$T_j$ boşluğuna atanacak işlerin ortalama işlem süresi
$PS(T_j)$	$T_j$ boşluğunun doldurmak için gerekli iş sayısı

Burada  $PS(T_j) = (TA(T_j) - BA(T_j)) / IS(T_j)$  olarak hesaplanır.

En erken başlama zamanına sahip boşluk ilk doldurulur yönteminde, boşlukların başlama anları sabitlenir ve en erken başlangıç anına sahip boşluk ilk olarak doldurulur.

Boşluklar kritiklik durumuna göre doldurulmak istense ilk önce her boşluğun kritiklik değeri hesaplanır. Her bir zaman boşluğunun kritiklik değerini ( $KO$ ) şu şekilde gösterebiliriz (Suh, et al., 1998):

$$KO(T_j) = \frac{\sum \phi_{T_j}(S_i)}{PS(T_j)} \quad (3)$$

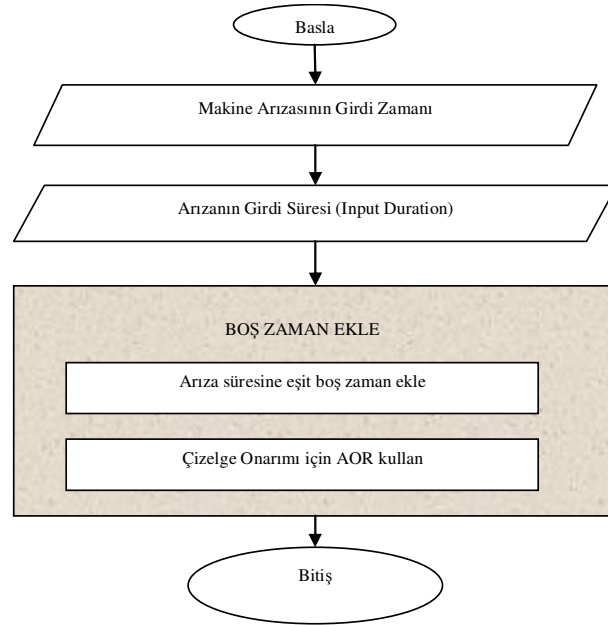
Burada  $\phi_{T_j}(S_j) = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } S_i \text{ işi } T_j \text{ ye atanabiliyorsa} \\ 0, & \text{d.d.} \end{cases}$  olarak alınır.

Eğer (3) ile hesaplanan  $KO$  değeri  $1$ 'den büyük ve  $1$ 'e ne kadar yakınsa, zaman boşluğu da o oranda kritiktir. Kritik bir zaman boşluğu için atanabilecek az sayıda iş olduğu

anlamına gelir. Öncelikle ilgili zaman boşluğunun doldurulması gerekir. Eğer  $KO < 1$  ise bu zaman boşluğu doldurulması olası bir zaman boşluğu değildir, bu zaman boşluğunda bir takım kısıtlarda gevşetme yapılması gerekmektedir.

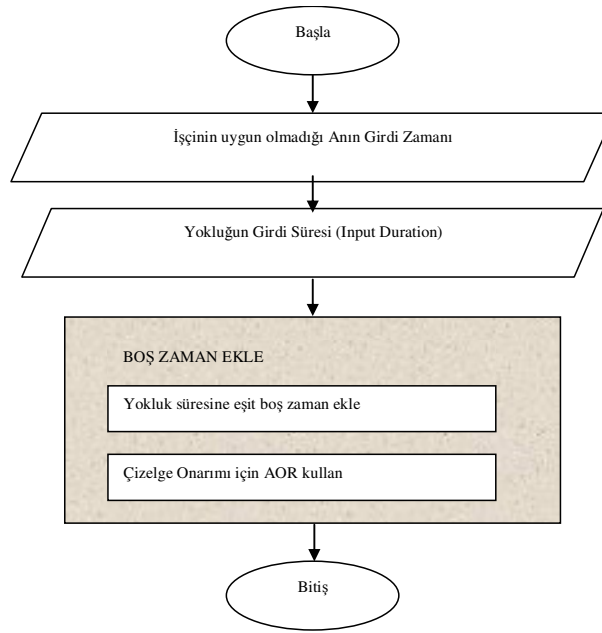
Tepkin çizelgeleme yaklaşımında en fazla kullanılan onarma yöntemleri Tablo 3-3'te verilmiştir. Bu yöntemler belli bozulmalar için şu şekilde kullanılabilir. AOR yordamı ile kastedilen etkilenen işlerin yeniden çizelgelenmesidir.

- Makine arızasında onarmak için *Boş Zaman Ekle* genel onarım faaliyeti kullanılır Şekil 3-9'da onarım algoritması verilmiştir. Bozulma noktasında, arıza süresine eşit boş zaman çizelgeye eklenir ve makine onarıncaya kadar işlemler bekletilir (Raheja et al., 2005).



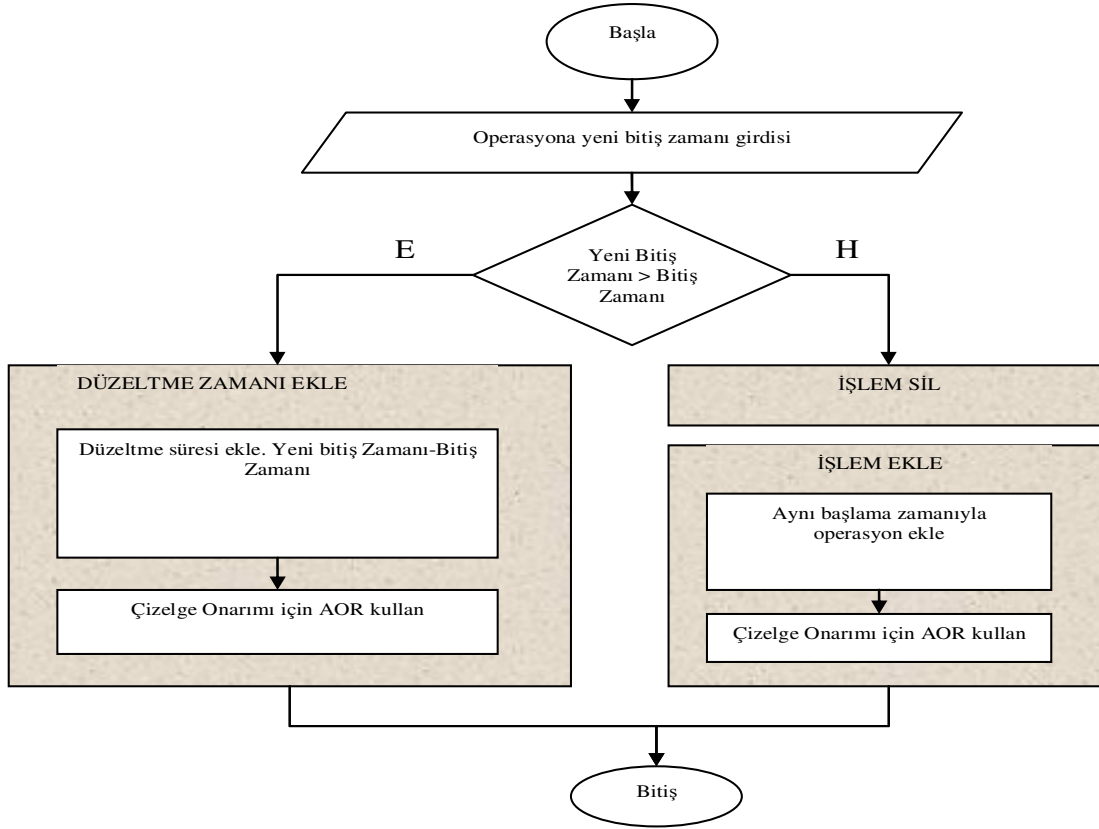
**Şekil 3-9 Makine Arızası Algoritması**

- Yokluk; eğer işçi geçici bir süre için görülemeyen nedenlerden dolayı makinenin başında olmaması, onun yokluk süresine eşit sürede bir boş zaman Genel Boş Zaman onarma işlemleri kullanılarak çizelgeye eklenir. Daha sonra çizelge AOR yordamı ile onarılır Şekil 3-10'da yokluk durumunda kullanılması gereken onarım algoritması verilmiştir (Raheja et al., 2005).



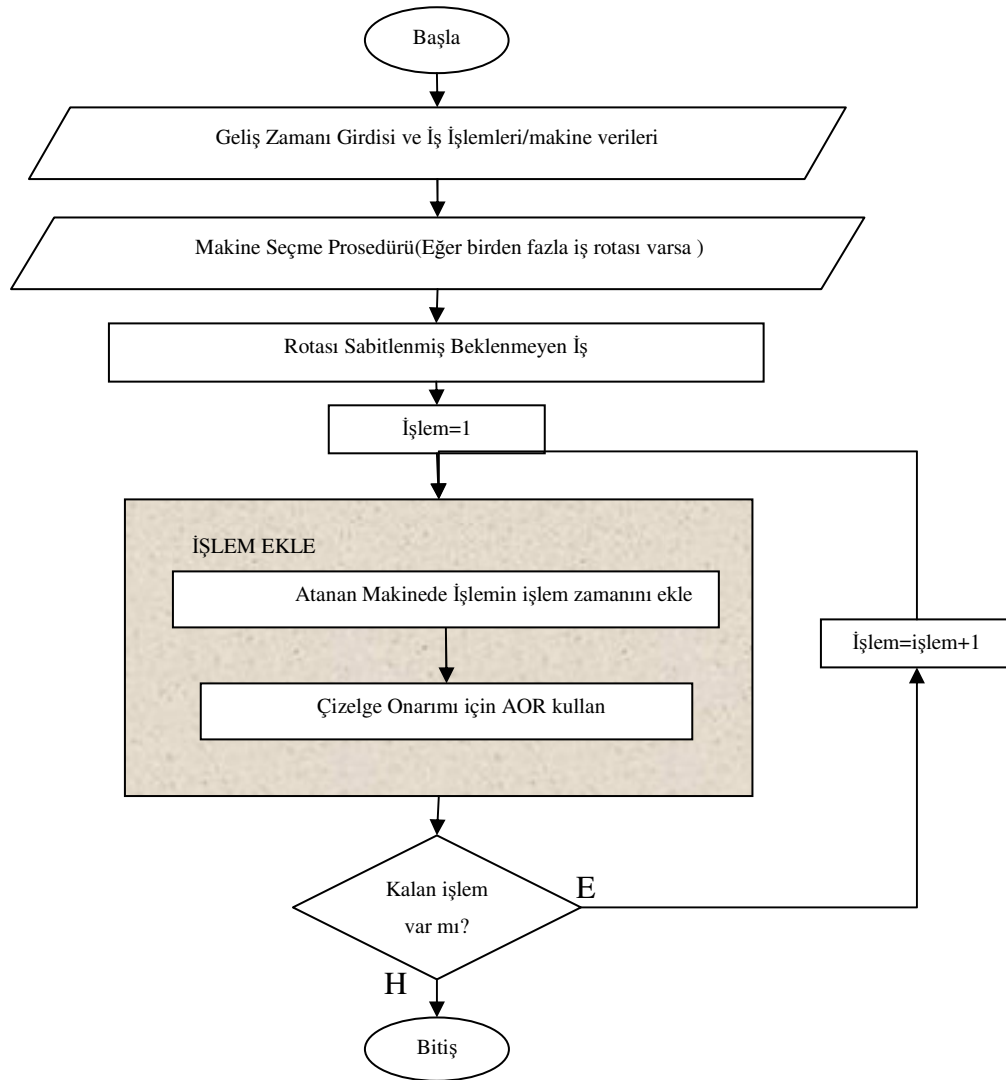
**Şekil 3-10 Yokluk Algoritması**

- İşlem Süresinde Sapma, işlem süresinin bitiş zamanında değişikliklere neden olur. Eğer işlemin işlem süresi azaltılırsa işlem çizelgeden silinir ve aynı başlama zamanı ile yeniden çizelgeye eklenir, ama yeni bitiş zamanı AOR yordamı kullanılarak onarılır. Alternatif olarak işlem süresinde artış söz konusu ise tamamlanması için gerekli ilave zamana eşit düzeltme zamanı “*Düzeltilme Süresi Ekle*” yaklaşımı kullanılarak çizelgeye eklenir. Daha sonra çizelge AOR yordamı kullanılarak onarılır. Bu algoritma Şekil 3–11’de verilmiştir (Raheja et al., 2005).



**Şekil 3-11 İşlem Süresinden Sapma Algoritması**

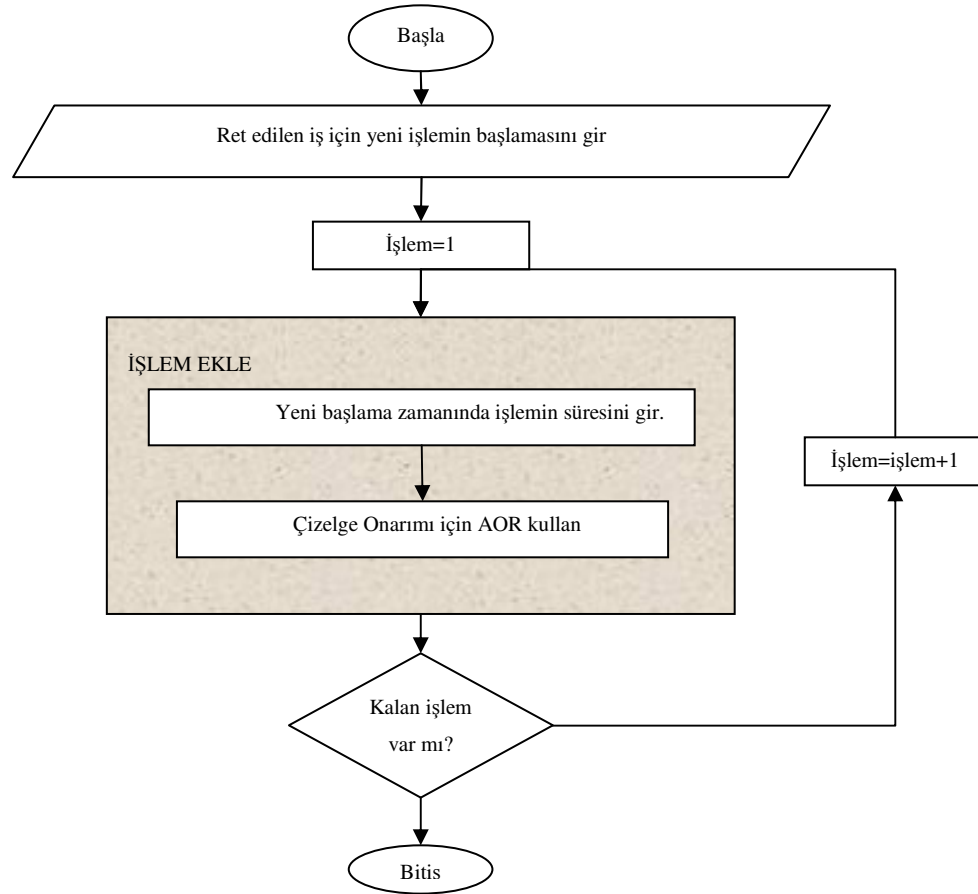
- Beklenmeyen İşin Gelmesi, çoklu rotalama ile beklenmeyen bir işin gelmesinin onarım süreci genel onarım faaliyetlerin başarılı olarak yinelenmesini içerir. İlk olarak makine seçim kuralını kullanarak en iyi rotaya karar verir. Bu çalışmada SPT kuralına göre rotalar onarılmaktadır. Beklenmeyen bir iş, bir sabit operasyonlar kümesi olarak görülebilir. İşlemin en başta gelen operasyonu “*Operasyon Ekleme*” onarım hareketi kullanılarak çizelgeye eklenebilir. Etkilenen işlemler için AOR yordamı kullanılarak çizelge onarılabilir. Sırada bulunan iş işlemleri de benzer biçimde ve beklenmeyen işlerin öncelik sırasına göre tanımlanır. Onarım algoritması Şekil 3-12’de verilmiştir (Raheja et al., 2005).



**Şekil 3-12 Beklenmeyen İşin Gelmesi**

- İş Reddi, muayenede sürecinde ret edilen işlerin belli safhalarında meydana gelir. Tüm iş ya da ilgili birkaç işlemin tekrar yapılması gerekebilir. Onarım; “*İşlem Ekleme*” dizileri kullanılarak gerek duyulan işlemlerin onarılmasını ve çizelgenin AOR yordamı kullanılarak yapılmasını içerir. Şekil 3–13’de algoritma verilmiştir (Raheja et al., 2005).





**Şekil 3-13 İş Reddi Onarım Algoritması**

### 3.5.7.2. Yeniden rotalayararak çizelgelerin onarılması

Yeniden rotalama yöntemi genellikle elimizde bulunan makine, donanım gibi kaynaklardan kaynaklanan çizelge bozulmalarını onarmak için tercih edilir. Bir bozulma olduğu zaman bundan kendisinden sonra gelen işler etkilenir. Elimizde bulunan kaynağa alternatif oluşturacak kaynaklarımız varsa bu yöntem tercih edilebilir. Yeniden rotalama yöntemleri şu şekilde sıralanabilir (Kutanoğlu and Sabuncuoğlu, 2001);

- *Yeniden Rotalama Yok (NR-No Rerouting)*: Makine arızası olduğu zaman, bu arıza en az onarım süresi boyunca makinenin çalışmasını engeller. Bu durum makineyi kullanılmaz kılar. Eğer bir makine bir işi yaparken bozulursa, daha sonra iş boşaltılır (Preempt). Arızanın etkileri kuyrukta bulunan işe bağlıdır ve eğer varsa daha önceden boşaltılmış işe bağlıdır. Yeniden Rotalama Yok

yönteminde, bitecek olan iş arıza olan makinenin kuyruğunda arıza giderilinceye kadar bekletilir. Makinenin onarımı bittikten sonra daha önceden boşaltılan iş ilk olarak bitirilir. Daha sonra onarmak için bir takım seçenekler söz konudur;

- Dinamik BD hesaplanır ve en yüksek önceliği sahip iş ile işleme devam edilir (Kutanoğlu and Sabuncuoğlu, 2001).
  - Çizelgede hiçbir değişiklik yapılmaz.
  - Kritik Oran değeri hesaplanır ve kritik orana göre sıralama yapılır.
  - Kalan işlem sürelerine bakılır, kalan işlem süresi kısa olana göre sıralama yapılır.
  - Kalan işlem sayısına bakılır. Kalan işlem sayısı az olana göre sıralama yapılır.
  - İlk gelen ilk servis görür kuralı uygulanır. Bir iş bitmeden kuyrukta bekleyen işler var ise işlerin öncelik sırasına göre sıralama yapılır.
- *Yeniden Rotalama(QR-Queue Rerouting)*: “*Yeniden Rotalama Yok*” yöntemine karşı bir alternatif olarak, arızalanan makineden etkilenen işleri alternatif makinelere yeniden rotalamaktır. Kuyruk yeniden rotalama yöntemi bu işleri bozulan makineden alternatif makinelere yönlendirmektedir. “*Yeniden Rotalama Yok*” yöntemine kıyasla, makine arızası süresince kuyrukta beklenen zamanın olmadığı düşünülürse bu yöntem işlerin sürelerini hızlandırmaktadır.
  - *Geliş Yeniden Rotalaması (AR-Arrival Rerouting)*: “Kuyruk Yeniden Rotalama” yönteminde, bozulan makine yeni gelişleri hala almaya devam etmektedir ancak bu işler arıza süresi boyunca işlenemeyeceklerdir. “*Geliş Yeniden Rotalaması*” yönteminde bozulan makinede kuyrukta bekleyen işler yine kuyrukta beklerler ancak yeni gelen işler işlerini yeni bitirmiş alternatif makinelere yönlendirilirler (bu süreç onarım süresi boyunca devam eder). Bu yöntem, “*Kuyruk Rotalamaya*” göre, MHS’leri (malzeme taşıma sistemleri) ekstra yüklerden korumayı amaçlar.

- *Tamamen Yeniden Rotalama (AAR-All Rerouting)*: Bu yöntem “*Kuyruk Yeniden Rotalama*” ve “*Geliş Yeniden Rotalamanın*” birleşimidir. Kuyruktaki bütün işler ve bunlara ilaveten yeni gelişler (onarım süreci boyunca) diğer alternatif makinelere yönlendirilirler. Bu yöntem işleri bozulan makineden diğer makinelere taşımayı (MHS'lere ilave yük yüklemeyi) amaçlar.

### 3.6. Performans Ölçümü

Atölyelerin genel amaçları arasında terminde ürünü teslim etmek, ortalama akışı azaltmak, geciken is sayısını azaltmak hedefleri yer almaktadır. Bu hedeflerin yanı sıra maliyetlerin en küçüklenmesi ve verimliliğin en büyüklenmesi ilk çizelge oluşturulurken dikkat edilen diğer unsurlardır. Bozulma olduktan sonra, çizelgenin en az değişiklikle onarılması istenir. Bu durum atölye sinirliliğinin engellenmesi için de önemlidir. Onarma süreci, çizelge verimliliği ve çizelge kararlılığı olarak iki boyutta değerlendirilebilir (Subramaniam et al., 2005):

#### 3.6.1. Çizelge verimliliği

Verimlilik, onarıma göre toplam çizelge uzunluğundaki değişimin değerlendirilmesinin ölçüsüdür. Onarılan çizelgenin ilk çizelgeye oranla tamamlanma zamanındaki değişikliğinin ölçüsüdür. Verimlilik izleyen formül ile hesaplanır (Subramaniam et al.,2005).

$$\eta = \left\{ 1 - \frac{(M_{yeni} - M_{ilk})}{M_{ilk}} \right\} \times 100\% \quad (4)$$

Burada  $\eta$  verimlilik,  $M_{yeni}$  onarılan çizelgenin tamamlanma zamanı,  $M_{ilk}$  ilk çizelgenin tamamlanma zamanı olarak verilmiştir.

### 3.6.2. Çizelge kararlılığı

Kararlı çizelge ilk çizelgeden çok az sapma gösteren çizelgelerdir. Kararlılık onarılan çizelge ile ilk çizelgedeki işlerin başlama zamanları arasındaki farklılık ile ölçülür.

İki çizelgedeki işlemlerin başlama zamanları arasındaki farklılık hesaplanır. Hesaplama işlemi daha sonra toplam operasyonlara bölünerek normalleştirilir. Söz konusu normalleştirme işlemi aşağıdaki şekilde yapılır.

$$\xi = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{p_j} |S_{ji}^* - S_{ji}|}{\sum_{j=1}^k p_j} \quad (5)$$

Burada  $\xi$  normalleştirilmiş sapma,  $p_j$   $j$  işinin işlem sayısı,  $k$  iş sayısı,  $S_{ji}^*$  onarılan çizelgede  $j$  işinin  $i$ . işlemin başlama zamanı,  $S_{ji}$  ilk çizelgede  $j$  işinin  $i$ . işleminin başlama zamanını verir.

Normalleştirilmiş sapmanın düşük olması, çizelgenin daha kararlı olduğunu gösterir. Onarma mekanizmasının sağlamlılığı verimliliğin ve kararlılığın en büyüklenmesi ile sağlanır.

## 4. UYGULAMA

Çalışmada irdelenen tepkin çizelgeleme uygulamasında bir yeniden düzenlenmiş akış tipi atölye süreci ile üretim yapan bir işletmenin mekanik atölyesi dikkate alınmıştır. İşletmede mevcut üretim sisteminde yaşanan sorunların üstesinden gelmek için çözüm yolları aranmaktadır. Tepkin çizelgeleme bu sorunların giderilmesi için kullanılabilir, ancak tepkin çizelgeleme yaklaşımının geleneksel üretim sistemlerine nazaran çekme tipi üretim sistemleri için daha etkili olduğu gösterilmiştir (Aytug et al., 2003).

Çalışmada özel amaçlı ve seyrek kullanılan bazı tezgâhlar dikkate alınmamıştır. Atölye de gerçekleştirilen her iş farklı süreçleri izlemektedir.

### 4.1. Mevcut Durum

Yeniden düzenlenmiş akış tipi atölyelerde işlerin bir akışı söz konusudur. Ele alınan sistemde de işler sırasıyla mekanik, temizleme, kaplama, montaj ve muayene süreçlerinden geçmektedirler, ancak bazı işler mekanik süreçteki belli tezgâhlara uğramadan o süreci tamamlamakta, bazı işler ise kaplama ve montaj sürecine uğramadan sistemi terk etmektedirler. Süreç akış şeması Ek-2’de verilmiştir.

#### 4.1.1. Modelleme süreci

Modelleme süreci, bir problemin tanımlanmasından uygulamaya konmasına kadar geçen süreyi kapsar. Bu süreç, modeli hazırlayan kişinin yeteneğine bağlı, alınacak kararların kalitesini etkileyen bir süreçtir. Çalışmada izlenen modelleme süreci yedi adım ile ifade edilebilir (Winston and Albright, 2001).

- Problemin Tanımlanması; ele alınacak problemin tanımlanması modelleme sürecinin ilk basamağıdır. Tanımlama yapılırken işletmenin hedefleri de göz önüne alınmalıdır. Eğer problem hatalı ya da olandan farklı tanımlanırsa, gerçek hayat problemi için en uygun çözüm asla gerçekleşmeyebilir. Problemin tanımlanması yapılırken dikkat edilmesi gereken en önemli

hususlardan birisi de problemin sınırlarının belirlenmesine özen gösterilmelidir.

- Sistemin Gözlenmesi ve Veri Toplanması; can alıcı süreçlerden birisidir. Verilerin doğruluğu ve geçerliliği, mevcut sistemin iyi analiz edilmesi kurulacak modelin geçerliliğini arttıracak önemli bir basamaktır.
- Modelin Kurulması; problem tanımlandıktan sonra ve veriler toplandıktan sonra model kurma sürecine geçilir. Kurulan model, modeli kuran kişinin yeteneğine bağlı bir süreçtir. Kurulan modelden elde edilecek veriler, alınacak kararları etkileyeceği için model kurulması süreci üzerinde önemle durulması gereken bir süreçtir.
- Modelin Doğruluğunun ve Geçerliliğinin Sağlanması, bir modeli kurmamız bu modelin doğru ya da geçerli bir model olduğu anlamına gelmez. Kurduğumuz bir model doğru olabilir ancak geçerli olmayabilir. Bu da modelden elde edeceğimiz verilere, sonuçlara bakarak alacağımız kararların kalitesini etkileyecektir.
- Uygun Alternatifin Seçilmesi, model çıktıları birçok alternatif sunabilir. Karar vericiye düşen alternatifler arasında en iyisine karar vermektir.
- Sonuçların Sunulması, kurulan modelin sonuçlarının karar vericiye ya da karar vericilere sunulması gerekmektedir. Karar vericiler işlerin de iyi olmalarına rağmen matematiksel modellerden ya da benzetim programlarından anlamayabilirler. Burada önemli olan karar vericiyi sonuçları sunarak etkilemeye çalışmaktır.
- Modelin Uygulamaya Konulması, kurulan model için en son aşama uygulama kararının alındığı aşamadır. Bu aşama modeli kuran kişiye bağlı olmayan, karar vericiye bağlı olan bir süreçtir.

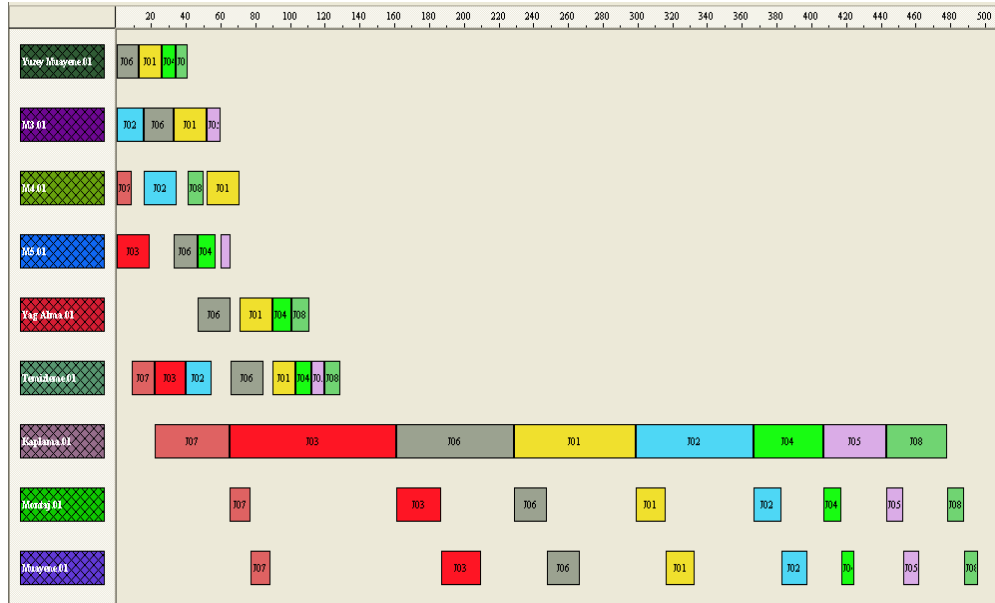
#### **4.1.2. İlk çizelgenin oluşturulması ve Lekin programı**

Benzetim ortamında uygulanmak için geliştirilen ilk çizelge Lekin çizelgeleme programı kullanılarak elde edilmiştir. Lekin yazılımı New York Üniversitesi, Stern iş

okulunda eğitim amaçlı geliştirilen bir çizelgeleme yazılımıdır. Bu yazılım projesi Prof. Dr. Michael L. Pinedo ve As. Prof. Xiuli Chao tarafından yönetilmiştir. Yazılımın önemli özelliklerinden birisi de geliştirilen algoritmalar programa eklenerek program genişletilebilmektedir.

Tepkin çizelgeleme sürecinde ilk aşama kestirimci çizelgenin hazırlanmasıdır. Bunun için ilk çizelgeye meydana gelebilecek olası bozulmalardan dolayı boş zaman eklenecektir. Çizelge Lekin programı kullanılarak hazırlanmış ve programın oluşturduğu ilk çizelge benzetim ortamında uygulamaya konulmuştur.

Lekin yazılımında işlem süreleri ondalıklı girilemediği için süreler saat\*10'luk zaman birimlerine çevrilerek girilmiştir. Bir başka ifade ile çizelgede görülen 495 anı aslında 49,5 saatlik (2970 dakikalık) bir zaman dilimine karşılık gelmektedir. Lekin programı kullanılarak elde edilen ilk çizelge Şekil 4-1'de gösterilmektedir.



**Şekil 4-1 Elde Edilen İlk Çizelge**

Tablo 4-1'de Lekin programı ile hazırlanan sekiz işlik kestirimci çizelgede yer alan işlere ait başlama ve bitiş zamanları dakika olarak verilmektedir. Sürecin daha iyi incelenebilmesi, önerilen onarma yöntemlerinin etkinliğinin sağlanması için iş sayısı, küçük, orta ve büyük olarak ele alınmıştır. Küçük iş sayısı için 5, orta iş sayısı için 8 ve 12, büyük iş sayısı içinde 20 iş dikkate alınarak çizelgeler oluşturulmuştur.

İşlerin sıfır anında atölyeye gönderildikleri varsayılmıştır. Çizelge oluşturulurken taşıma süreleri, taşımanın nasıl yapıldığı ve tezgâh ayar süreleri ayrı bir isim ile hesaba katılmamıştır. Kestirimci çizelge oluşturulurken bu işlemler için belli bir gecikme payı bırakılmıştır.

**Tablo 4-1 İşlerin İlk Çizelgedeki Başlama ve Bitiş Zamanları**

MD		Yüzey Muayene	M3	M4	M5	Yağ Alma	Temizleme	Kaplama	Montaj	Muayene
J1	Bas	78	198	312	0	426	540	1374	1794	1896
	Bit	156	312	426	0	540	618	1794	1896	1998
J2	Bas	0	0	96	0	0	240	1794	2202	2298
	Bit	0	96	210	0	0	330	2202	2298	2388
J3	Bas	0	0	0	0	0	132	390	966	1122
	Bit	0	0	0	114	0	240	966	1122	1260
J4	Bas	156	0	0	282	540	618	2202	2442	2502
	Bit	204	0	0	342	606	672	2442	2502	2550
J5	Bas	0	312	0	360	0	672	2442	2658	2718
	Bit	0	360	0	396	0	720	2658	2718	2772
J6	Bas	0	96	0	198	282	396	966	1374	1488
	Bit	78	198	0	282	396	510	1374	1488	1602
J7	Bas	0	0	0	0	0	54	132	390	462
	Bit	0	0	54	0	0	132	390	462	534
J8	Bas	204	0	246	0	606	720	2658	2868	2928
	Bit	246	0	300	0	666	774	2868	2928	2976

20 işe ait iş akış şeması Ek-2’de verilmiştir. 5, 12 ve 20 iş için hazırlanan ilk çizelgeler Ek-3’te ve çizelgelenen işlerin başlama ve bitiş zamanları Ek-4’de verilmiştir.

Üretim ortamlarının doğasında bulunan belirsizlik ya da rassallık durumlarını verebilmek amacıyla benzetim tekniğinden yararlanılmıştır. İşlerin taşınırken harcadıkları süre bir dağılım ile ifade edilmiş ama nasıl taşındıkları benzetim modelinde yer almamıştır.

Çizelge benzetim ortamına taşındıktan sonra işlerin çizelgelenen başlangıç ve bitiş zamanlarında bir takım farklılıklar gözlenmektedir. Bunun başlıca nedenleri şu şekilde sıralanabilir;

- İşlerin işlem süreleri bir dağılıma uymasına rağmen, programa değerler dağılım olarak girilemediği için çizelgeleme yapılırken sabit bir değer gibi düşünülmüştür.



- Kullanılan yazılım ondalıklı değer girişine izin vermediği için yuvarlama yapılarak değer girilmiştir.
- İşlerin taşıma süreleri çizelgelenirken hesaba katılmamasına rağmen bu süre benzetim modelinde dikkate alınmıştır.

Hazırlanan ilk çizelge kestirimci çizelgedir. Bir başka ifade ile bir takım bozulmaların olacağı varsayımı ile işlere bozulma payı eklenerek işler çizelgelenmiştir.

#### **4.1.3. Benzetim tekniği, Arena benzetim yazılımı ve sistemin benzetim modelinin kurulması**

Benzetim, karmaşık süreçlerin ve sistemlerin tasarımında ve çalışmalarının izlenmesinde kullanılan en etkili analiz araçlarından biridir. Rekabetin giderek arttığı günümüzde, benzetim; sistemlerin planlanması, tasarımı ve kontrolünde etkili bir araç olmuştur. Benzetim tekniği, mühendisler, tasarımcılar ve yöneticiler için en son başvuru olan yöntem bilimi olarak düşünülmekten çıkmış, günümüzde vazgeçilmez problem çözme aracı olarak görülmeye başlamıştır. Bir sistemin benzetim modeli kurulurken iş akış sürecinin bilinmesi modelin doğruluğunun ve geçerliliğinin sağlanması açısından önemli yer tutar. Şekil 4-2’de değiştirilmiş akış tipi atölyede üretilen 8 farklı iş için iş akış şeması verilmiştir.

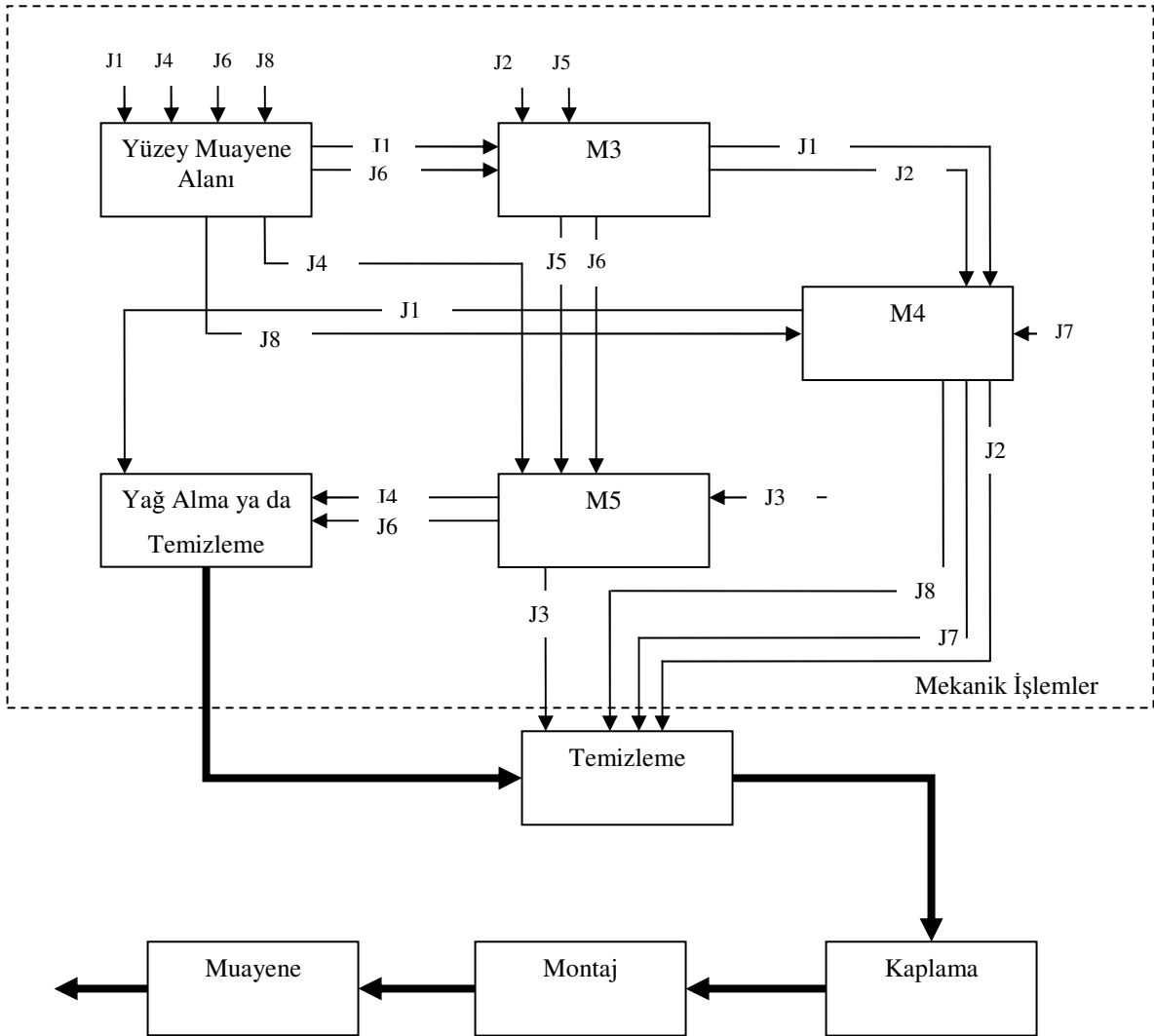
Hazırlanacak olan çizelge bu değiştirilmiş akış tipi atölye düşünülerek hazırlanacak, benzetim modeli üzerinden elde edilen üretim çıktıları, performans ölçütleri göz önünde bulundurularak, meydana gelen bozulmalar ve verilen tepkiler değerlendirilecektir. Ele alınan atölye ortamının benzetim modeli Arena 6.0 yazılımı kullanılarak geliştirilmiştir.

Arena benzetim yazılımı tedarik zincirleri, üretim, süreçler, lojistik, dağıtım, depolama, servis sistemleri ile ilgili önemli, karmaşık tasarımları içeren değişikliklerinin etkilerinin analizi için tasarlanmıştır. Arena 6.0 programı istenen karmaşıklık düzeyinde modelleme yapmak için yüksek derecede esneklik ve genişlik sağlayan bir benzetim yazılımıdır.

Arena ile yapılabilecekler şu şekilde sıralanabilir;

- Tanımlamak, belgelemek ve iletişim kurmak için süreçlerin modellenmesi,

- Gelişme için fırsatların tanımlanması ve karmaşık ilişkilerin anlaşılması için gelecek performansların benzetilmesi,
- Dinamik animasyon grafikleri ile faaliyetlerin görselleşmesi,
- Sistemin “gibi-olmak” şeklinde ve sayısız “olmak” seçenekleri sonucunda nasıl bir performans göstereceğinin analizi.



**Şekil 4-2 Ele Alınan Atölye İş Akış Şeması**

Arena benzetim yazılımı kullanılarak kurulan benzetim modeli Şekil 4-3'te verilmiştir. Kurulan benzetim modelinin doğruluğu ve geçerliliği her çizelge için ayrı ayrı değerlendirilmiştir.



- Makine arızalanması süreci  $[a,b]$  zaman aralığında olasılık dağılımı olarak tanımlanır. Makinenin  $a$  anından önce bozulmayacağı ve bozulmaların  $a - b$  zaman aralığı arasında olacağı varsayılmıştır.
- Arıza meydana geldikten sonra arızanın giderilmesi için  $\delta$  kadar süreye ihtiyaç vardır. Çizelgede güncelleme yapılırken oluşturulurken  $\delta$  süresi deterministik olarak düşünülür, ancak bu süre benzetim modelinde verilirken bir dağılımla ifade edilebilir.

Çizelge uygulamaya konulduktan sonra tezgâhların bozulmaları ile ilgili bazı varsayımlar kullanılarak ve bir takım senaryolar üretilerek onarma seçenekleri bu senaryolar üzerinde sınanabilir.

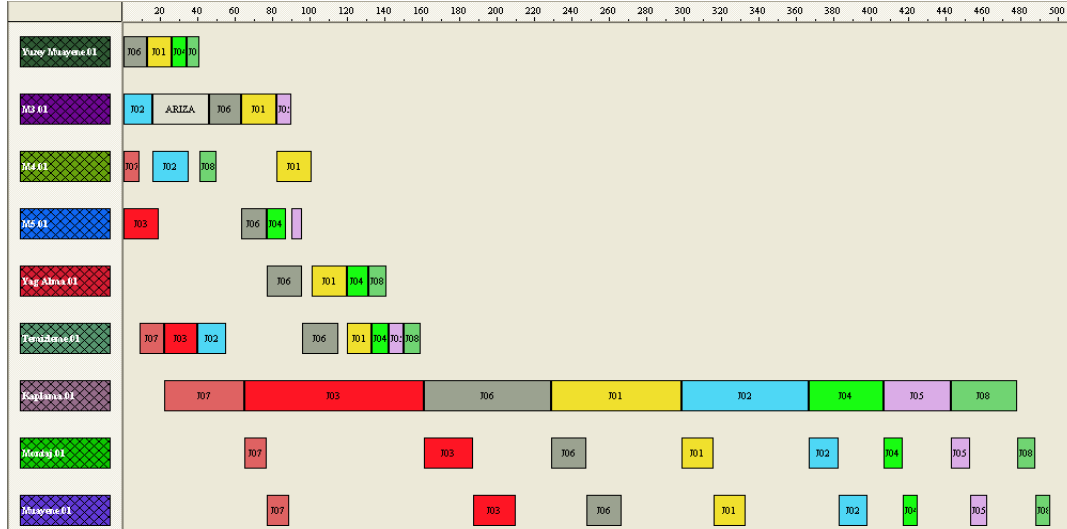
Makine arızalanmaları ile ilgili ilk senaryo olarak M3 tezgâhının  $c$  anında bozulduğu ve bu bozulmanın  $\delta$  kadar sürdüğü düşünülmüştür. Çalışmada farklı iş büyüklükleri, farklı  $c$  değeri ve farklı  $\delta$  değerleri ile ilgili toplam 79 farklı senaryo üzerinde çalışılmış sonuçlar izleyen bölümlerde verilmiştir.

Arızanın, meydana geliş anları ya da arıza gelişleri arasındaki süre gerçek hayatta rassal değişken olmasına rağmen yapılan çalışmada Lekin programı çıktıları ile belli standartların sağlanması ve karşılaştırılmaların daha sağlıklı yapılabilmesi için çizelge dönemindeki arıza meydana geliş anları sabit bir değer olarak alınmıştır.

Arızaların çizelgeleme dönemindeki etkilerini analiz etmek için de çizelgeleme evresi üç bölümde incelenmiş ve arızaların meydana geliş anlarının bu evrelerde olduğu varsayılmıştır. Çizelgede arızanın olduğu zaman çizelgeleme evresinde çizelge başlangıç anına ne kadar yakın gerçekleşirse, etkilenen iş sayısı o kadar artmaktadır. Çizelgede etkilenen iş sayısı arttıkça çizelge performansında da özellikle çizelge kararlılığında artış meydana gelir.

Çizelgeleme başlangıç evresinde meydana gelen arıza  $c=100$ , çizelge evresinin ortalarında gerçekleşen arıza  $c=300$  ve çizelge evresinin sonlarına doğru gerçekleşen arıza  $c=600$  olarak kabul edilmiştir. Böylece arıza meydana geliş anına göre etkilenen işlerin sayısı değişkenlik gösterecektir.

Çizelgenin  $c=100$  ve  $\delta=3$  saat olan bozulma süresine göre işlerin sağa kaydırılmasıyla oluşan çizelge Şekil 4-4'te verilmiştir.



**Şekil 4-4 Makine Arızası Sonrası Çizelgenin Durumu**

Çizelge ilk çizelge ile karşılaştırılacak olursa çizelgenin bitiş zamanında bir değişiklik olmadığı görülecektir. Bunun nedeni kaplama sürecinin diğer işlemlere oranla çok uzun olmasıdır. Çizelge hazırlanırken sadece tek bir atölyenin durumu değil, o süreçte yer alan tüm atölyelerin durumları düşünülerek çizelge hazırlanmalıdır.

Kaplama süreci mekanik atölye sürecine dâhil değildir, ancak işlerin termini ile doğrudan ilgilidir. Bozulmaların daha iyi analiz edilebilmesi ve çizelgelerin daha iyi incelenebilmesi için kaplama süreci, montaj ve muayene süreci de çizelgeye dâhil edilmiştir.

Temizleme işleminin ilk çizelgede belirtilen süreden daha ileri bir zamanda biteceği anlaşılmaktadır.  $\delta=3$  saatlik bir arıza, çizelgenin performansını etkileyecektir ancak bu etkiyi belirlemek için arıza sonrası işlerin sağa kaydırılması ile oluşan çizelgenin performans ölçütlerinin hesaplanması gerekir.

Çizelge performansının hesaplanabilmesi için ise yeni çizelgenin başlangıç ve bitiş zamanlarına gereksinim vardır. Çizelgenin  $\delta=3$  saatlik sağa kaydırılması ile oluşan yeni çizelgede işlerin başlangıç ve bitiş zamanları Tablo 4-2'te verilmiştir.

Çizelgenin performans değerleri Tablo 4-2'deki değerler yardımı ile 3. Bölümde yer alan (4) ve (5) numaralı formüller kullanılarak hesaplanabilir. Çizelgede onarım, çizelge performansına göre alınması gereken bir karardır.

**Tablo 4-2 İşlerin Bozulma Zamanı Kadar Sağa Kaydırılmasıyla Oluşan Başlama ve Bitiş Zamanları**

3 sa		Yüzey Muayene	M3	M4	M5	Yağ Alma	Temizleme	Kaplam a	Montaj	Muayene
J1	Bas	78	378	492	0	606	720	1374	1794	1896
	Bit	156	492	606	0	720	798	1794	1896	1998
J2	Bas	0	0	96	0	0	240	1794	2202	2298
	Bit	0	96	210	0	0	330	2202	2298	2388
J3	Bas	0	0	0	0	0	132	390	966	1122
	Bit	0	0	0	114	0	240	966	1122	1260
J4	Bas	156	0	0	462	720	798	2202	2442	2502
	Bit	204	0	0	522	786	852	2442	2502	2550
J5	Bas	0	492	0	540	0	852	2442	2658	2718
	Bit	0	540	0	576	0	900	2658	2718	2772
J6	Bas	0	276	0	378	462	576	966	1374	1488
	Bit	78	378	0	462	576	690	1374	1488	1602
J7	Bas	0	0	0	0	0	54	132	390	462
	Bit	0	0	54	0	0	132	390	462	534
J8	Bas	204	0	246	0	786	900	2658	2868	2928
	Bit	246	0	300	0	846	954	2868	2928	2976

Çizelgelerin bitiş zamanları karşılaştırılacak olursa ilk çizelge ile ikinci çizelge verimliliği arasında fark olmadığı söylenebilir ancak bunun nedeni kaplama sürecinin uzun olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelgenin farklı iş sayıları ( $N=5, 8, 12, 20$ ), farklı arıza oluş zamanları ( $c=100, 300, 600$  dakika) ve farklı arıza onarım sürelerine ( $\delta=3, 5, 10$  saat) göre Bölüm 3'deki (4) ve (5) numaralı formüller kullanılarak hesaplanan verimlilik ve kararlılık değerleri Tablo 4-3'te verilmiştir.

Çizelgede meydana gelen bozulmalar benzetim ortamına taşınmış, yapılan 20 tekrarlık benzetim çalışması sonucunda da bozulmaların çizelge üzerindeki etkileri gözlenmiştir. Ek-5'de M3 tezgâhında meydana gelen arızaların muayene ve temizleme süreçlerine göre çizelge performansı üzerindeki etkileri gözlenebilir.

Arızanın oluş anı, iş sayısı, arıza süresinin uzunluğu, arızanın olduğu makine, bozulmayı onarma süresi çizelge performansını etkileyen faktörlerdir. Bu faktörler çizelge verimliliğini azaltabilir, çizelge kararlılığını arttırabilir ya da her iki performans değerini eş zamanlı etkileyebilir.

**Tablo 4-3 Çizelgenin Farklı Arıza Zamanları ve Arıza Sürelerine Göre Performans Değerleri**

İş Sayısı	c	δ	100 dakika					
			3 saat		5 saat		10 saat	
			Temizleme Sürecine Göre	Muayene Sürecine Göre	Temizleme Sürecine Göre	Muayene Sürecine Göre	Temizleme Sürecine Göre	Muayene Sürecine Göre
5	Verimlilik	η (%)	71,96	100	52,00	100,00	4,67	91,14
	Kararlılık	ξ	0,84		1,43		3,74	
8	Verimlilik	η (%)	76,7	100,00	61,24	100,00	22,5	95,16
	Kararlılık	ξ	0,92		1,54		3,88	
12	Verimlilik	η (%)	91,02	100,00	85,03	100,00	70,06	94,15
	Kararlılık	ξ	1,64		2,78		5,56	
20	Verimlilik	η (%)	93,32	100,00	88,54	100,00	76,61	98,22
	Kararlılık	ξ	1,71		2,87		6,08	
			300 dakika					
			3 saat		5 saat		10 saat	
8	Verimlilik	η (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	22,5	100,00
	Kararlılık	ξ	0,12		0,20		0,59	
12	Verimlilik	η (%)	91,02	100,00	85,03	100,00	70,06	90,73
	Kararlılık	ξ	1,09		2,04		3,78	
20	Verimlilik	η (%)	92,84	100,00	88,07	100,00	76,13	97,93
	Kararlılık	ξ	1,58		2,70		5,52	
			600 dakika					
			3 saat		5 saat		10 saat	
12	Verimlilik	η (%)	97,60	100,00	91,62	100,00	76,65	95,16
	Kararlılık	ξ	0,43		1,24		2,67	
20	Verimlilik	η (%)	92,84	100,00	88,07	99,11	76,13	97,93
	Kararlılık	ξ	1,25		2,11		4,86	

Tablo incelenecek olursa farklı zamanlarda meydana gelen arızaların, farklı iş sayılarında ve farklı arıza süresinde çizelge performansına olan etkileri görülebilir. Arıza

oluş anı çizelgeleme anına ne kadar yakınsa etkilenen işlerin sayısı artmakta ve çizelge performansındaki düşüş fazla olmaktadır.

### 4.3. Onarıma Gitme

Çizelgede bozulma sonrası durum incelendiğinde çizelgenin performansında düşüş gözlenmektedir. Burada verilmesi gereken ilk karar bu performans kayıpları altında onarıma gidip gitmeme kararıdır. Onarıma gitme kararı alındıktan sonra ise verilmesi gereken karar hangi onarma yönteminin kullanılacağıdır. Her zaman onarma yöntemi kullanmak yerine rassal onarım ya da yapay zekâ teknikleri kullanarak da onarıma gidilebilir, ancak bu çalışmada ele alınan var olan onarma yöntemlerinin uyarlanması ile elde edilen onarma algoritmaları kullanılarak onarıma gidilmesidir.

#### 4.3.1. Kısıtları sağlayan işin boşluklara atanması

Çizelgede meydana gelen boşlukları doldurmak için benimsenen yöntem, boşluk kısıtını sağlayan işin uygun boşluğa atanmasıdır. Kısıtı sağlama işin uygun boşluğa atanması yöntemi çizelge verimliliğini arttırırken çizelge kararlılığını da arttırabilir. Algoritma; onarım sonucunda en iyi çözümü garanti etmez. 100 anında M3 makinesinde 3 saatlik makine arızası meydana geldikten sonra çizelgede bir takım boşluklar meydana gelir. Bu boşlukların başlama ve bitiş zamanları Tablo 4-4'te verilmiştir.

**Tablo 4-4 Çizelgede Meydana Gelen Boşluklar**

$T_{jk}$	$BA(T_{jk})$	$TA(T_{jk})$	$TA(T_{jk}) - BA(T_{jk})$
$T_{1M3}$	100	280	180
$T_{1M4}$	54	96	42
$T_{2M4}$	210	246	36
$T_{3M4}$	300	492	192
$T_{1M5}$	114	378	264
$T_{2M5}$	522	540	18
$T_{1YA}$	0	462	462
$T_{1Te}$	0	54	54
$T_{2Te}$	330	576	246



Burada  $T_{jk}$ ,  $k$  makinesinde meydana gelen  $j$  boşluğunu,  $BA(T_{jk})$ , boşluğun başlangıç anını,  $TA(T_{jk})$ , boşluğun bitiş anını göstermektedir. İşlerin akışına göre boşlukların doldurulma önceliği sırada yer alan sürecin boşluklarındadır. Bir boşluk doldurulduktan sonra, boşluğu dolduran iş, bir başka süreçte de çizelgede boşluğa neden olabilir ya da var olan boşluğun kısıtlarını değiştirebilir.

Süreçte yer alan boşlukları doldurmak için boşluklara aday işler bulunmaktadır. Boşluklara aday işler Tablo 4-5'te verilmiştir.

**Tablo 4-5 Boşluklara Aday İşler**

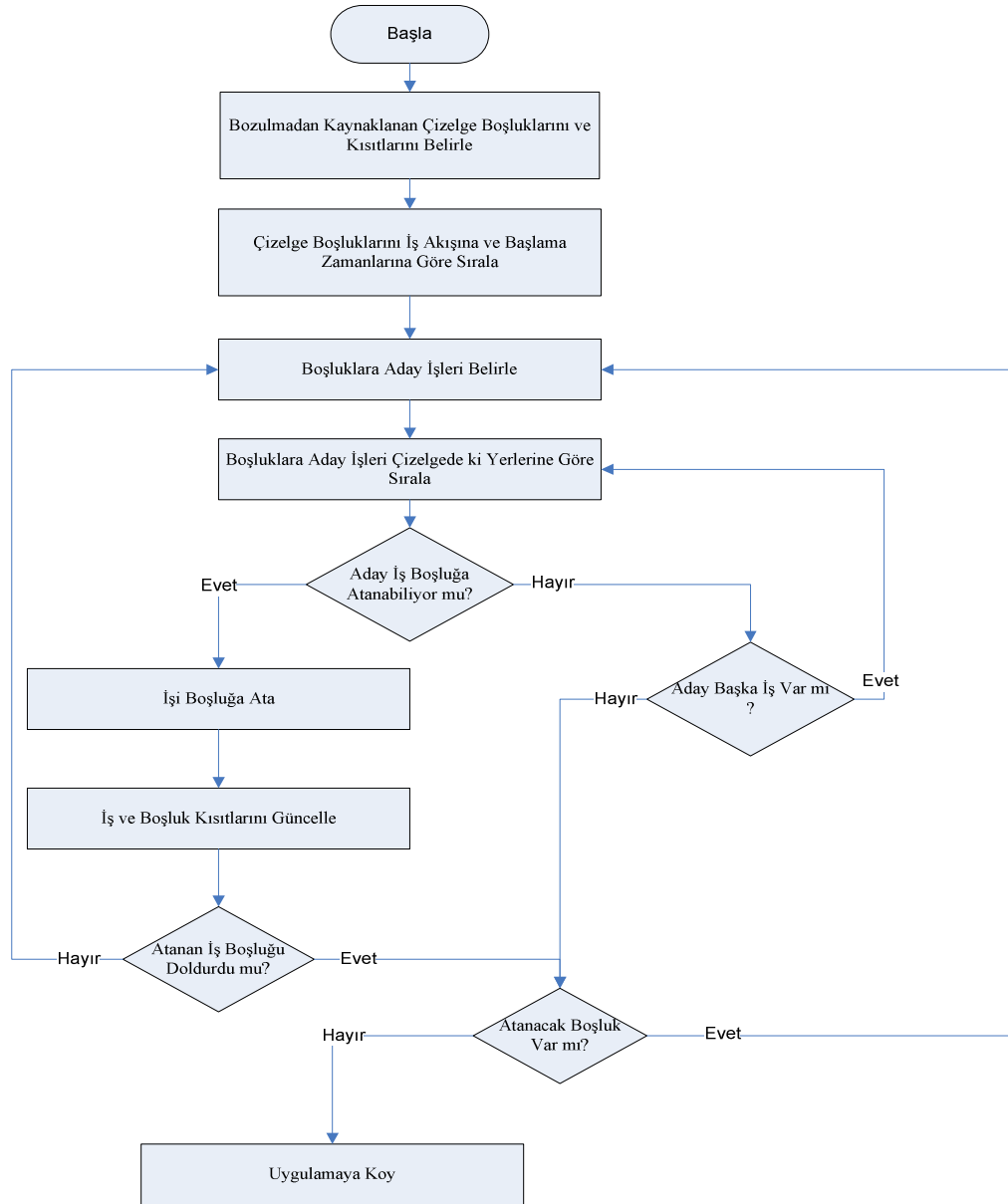
$T_{jk}$	$CJ(T_{jk})$	$Pt(J_{ik})$
$T_{1M3}$	-	-
$T_{1M4}$	J8, J1	$Pt(J_{1M4})=1,9$ ; $Pt(J_{8M4})=0,9$
$T_{2M4}$	J8, J1	$Pt(J_{1M4})=1,9$ ; $Pt(J_{8M4})=0,9$
$T_{3M4}$	J1	$Pt(J_{1M4})=1,9$
$T_{1M5}$	J6, J4, J5	$Pt(J_{6M5})=1,4$ ; $Pt(J_{4M5})=1$ , $Pt(J_{5M5})=0,6$
$T_{2M5}$	J5	$Pt(J_{5M5})=0,6$
$T_{1YA}$	J6, J4, J8, J1	$Pt(J_{6YA})=1,9$ ; $Pt(J_{4YA})=1,1$ ; $Pt(J_{8YA})=1$ ; $Pt(J_{1YA})=1,9$
$T_{1Te}$	-	-
$T_{2Te}$	J6, J4, J5, J8, J1	$Pt(J_{6Te})=1,9$ ; $Pt(J_{4Te})=0,9$ ; $Pt(J_{8Te})=0,9$ ; $Pt(J_{1Te})=1,3$ ; $Pt(J_{5Te})=0,8$

$J_i$ , süreçte yer alan işi,  $CJ(T_{jk})$ ,  $T_{jk}$  boşluğuna atanabilecek işlerin kümesini,  $Pt(J_{ik})$ , boşluğa atanabilecek  $i$  işinin  $k$  işlemindeki işlem süresini göstermektedir. İşin makineye geliş anı o işten önceki süreçlere bağlıdır. İşin uygun boşluğa atanması için o işin atanacağı boşluğun kısıtlarını sağlaması gerekmektedir.

Ele alınan süreçte işler belli bir süreci takip ettiği için her süreçteki boşluklar sırası ile doldurulmalıdır. Ele alınan süreçte arıza M3 tezgâhında meydana gelmiştir. Bu yüzden boşluklar M3 sürecinden başlayarak doldurulmaya başlanmalıdır. İşlerin iş yerine geliş anı boşluklar doldurulurken dikkate alınmalıdır. Çizelge 100 anında güncelleneceği için yapılacak olan değişiklikler 100 anından sonrası düşünülerek yapılmalıdır.

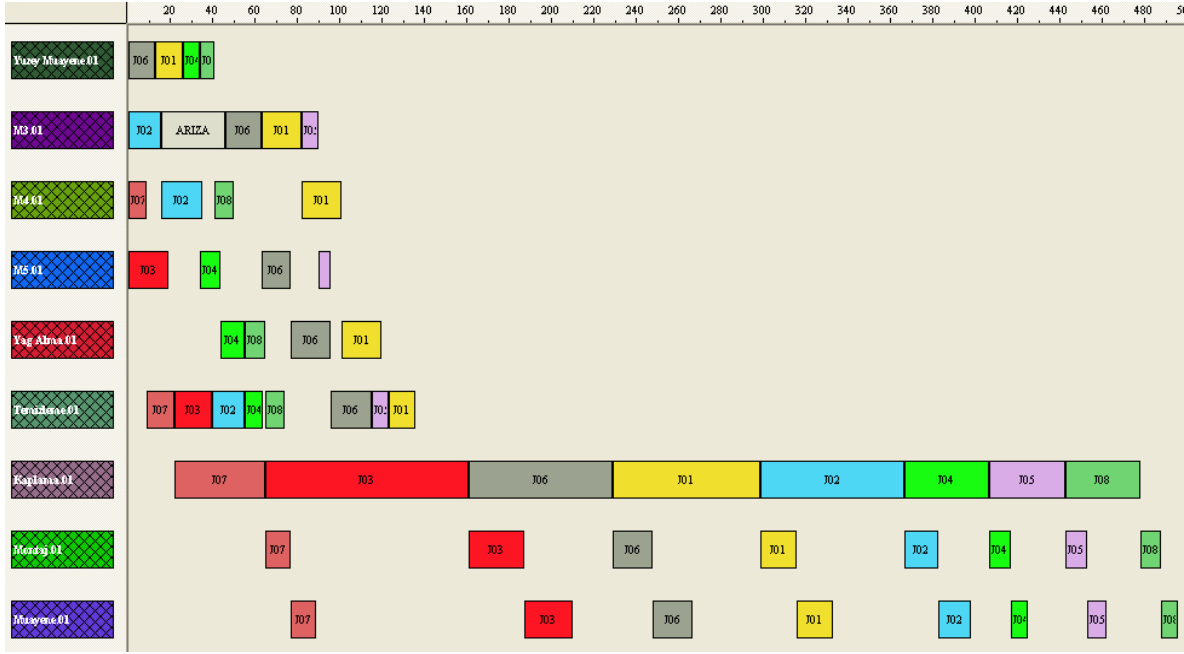
$T_{1M4}$  boşluğu için 2 tane aday işimiz vardır. J2 işi M3 tezgâhından 96 anında ayrılmaktadır.  $TA(T_{1M4})=96$  olduğu için J2 işi  $T_{1M4}$  boşluğuna atanamaz.

Geliş anları da dikkate alınacak olursa J4 işine ait süreçler M3 tezgâhını içermemektedir. Bir başka ifade ile J4 işi M3 tezgâhında işlem görmemektedir. J4 işinin M5 tezgâhına geliş anı 214 anıdır ve işlem süresi 60 dakikadır.  $T_{IM5}$  boşluğu 114 ile 378 anları arasındadır. Buda J4 işinin  $T_{IM5}$  boşluğuna atanabileceğini gösterir. M5 sürecinde J4 işi J6 işinden önceye alınabilir. Bu işlem diğer süreçler ve işler için tekrarlanırsa karşımıza onarılmış çizelge çıkar. Çizelgeye ait onarım algoritması Şekil 4-5'te verilmiştir.



Şekil 4-5 Uyarlanan Onarım Algoritması

Önerilen algoritma kullanılarak 8 iş için, 100 anında meydana gelen 3 saatlik bir arızanın yarattığı boşlukları doldurmak suretiyle onarılan çizelge Şekil 4-6’da verilmiştir.



**Şekil 4-6 8 İş,  $c=100$  Ve  $\delta=3$  Saat İçin Onarım Sonrası Çizelge**

Önerilen yordam uygulama yönünden basittir. İş özellikleri boşluk kısıtlarını karşılamaz ise boşluk kısıtları gevşetilebilir. Kısıtların ne kadar gevşetileceği çizelgeleyiciye bağlı bir karardır. Bir boşluk kısıtının gevşetilmesi kendisinden sonra gelen ya da daha sonraki süreçte yer alan işleri etkileyeceğinden çizelge performansını olumsuz yönde etkileyebilir. Burada ne kadarlık bir gevşetme yapılacağı kararı uygulama ortamına, çizelgenin durumuna bağlı bir karardır.

Bu onarma yöntemi kullanılarak elde edilen performans değerleri Tablo 4-6’da verilmiştir. Çizelgede “\*” ile gösterilen kısımlarda bozulma çizelge performansını etkilemediği için çizelgede onarıma gidilmesine gerek olmadığını göstermektedir.

Makine arızası sonrasında işlerin sağa kaydırılması ile oluşan çizelge ile ilk çizelge verimlik değeri ile karşılaştırılacak olursa çizelgenin onarılması için önerilen algoritmanın yeniden düzenlenmiş akış tipi çizelgelerin onarılmasında ve etkili olduğu gözlenebilir. Kararlılık değerleri karşılaştırılacak olursa, önerilen algoritma verimlik üzerinde olduğu

kadar etkili olmadığı gözlenmektedir. Bunun nedeni ise çizelgede onarıma gidilirken işlerin başlama zamanlarının değişime uğramasıdır.

**Tablo 4-6 Onarım Sonrasında Çizelgenin Performans Değerleri**

		100 dakika					
		3 saat		5 saat		10 saat	
	C=100	Temizleme	Montaj	Temizleme	Montaj	Temizleme	Montaj
N=5	Verimlilik	80,37	100,00	60,75	100,00	13,08	96,29
	Kararlılık	0,88		1,34		4,50	
N=8	Verimlilik	94,57	100,00	81,40	100,00	40,31	100,00
	Kararlılık	0,99		1,41		4,05	
N=12	Verimlilik	99,59	100,00	99,60	100,00	85,63	100,00
	Kararlılık	1,43		2,03		4,98	
N=20	Verimlilik	91,65	100,00	97,61	100,00	86,16	100,00
	Kararlılık	2,69		2,96		5,11	
		300 dakika					
		3 saat		5 saat		10 saat	
	C=300	Temizleme	Montaj	Temizleme	Montaj	Temizleme	Montaj
N=8	Verimlilik	*	*	*	*	65,12	100,00
	Kararlılık	*		*		0,50	
N=12	Verimlilik	94,31	100,00	99,60	100,00	85,63	100,00
	Kararlılık	1,09		1,37		2,64	
N=20	Verimlilik	99,52	100,00	97,61	100,00	85,20	100,00
	Kararlılık	2,29		2,68		4,53	
		600 dakika					
		3 saat		5 saat		10 saat	
	C=600	Temizleme	Montaj	Temizleme	Montaj	Temizleme	Montaj
N=12	Verimlilik	95,21	100,00	99,39	100,00	89,22	100,00
	Kararlılık	1,26		1,49		1,80	
N=20	Verimlilik	98,39	100,00	97,61	100,00	85,68	100,00
	Kararlılık	1,57		2,14		3,41	

#### 4.3.2. Etkilenen işlerin yeniden sıralanması ile çizelgede onarıma gitme

Makinede arıza meydana geldikten sonra işler boşluklara atanabilecekleri gibi, etkilenen işler yeniden sıralanarak çizelgede onarıma gidilebilir. Yeniden düzenlenmiş akış tipi atölyelerde çizelgelenen işleri 3 grupta toplamak mümkündür. Bu gruplardan birincisi arızadan etkilenmeyen işler, ikincisi arızalanan makinede çizelgelenen ve arızadan etkilenen işler, üçüncüsü ise arızalanan makinede çizelgelenmesine rağmen meydana gelen arızadan etkilenen işlerdir. Bu işleri kendi aralarında bu üç grupta topladıktan sonra yeniden çizelgeleme yordamı kullanılarak etkilenen işler sıra önem değerine göre sıralanarak çizelge onarılır.

$$SD_j = \frac{TZ_j - AB}{KS_j} \quad (6)$$

$SD_j$ ,  $j$  işinin sıra önem değerini,  $TZ_j$   $j$  işinin hedef süreçteki tamamlanma anını,  $KS_j$   $j$  işinin arıza olduğu andan itibaren hedeflenen sürece ulaşması için kalan işlem süresini,  $AB$  tahmini arıza bitiş anını göstermektedir.  $SD_j < 1$  ise  $j$  işi gecikmektedir.  $JS_A$  arızalanan makinede çizelgelenen ve arızadan etkilenen işleri,  $JS_B$  arızalanan makinede olmamasına rağmen arızadan etkilenen işleri ve  $JS_C$  arızadan etkilenmeyen işleri göstermektedir.  $SD_j$  değeri birden küçük ve birden büyük olanlar ise ayrı ayrı gruplandırılarak kendi aralarında sıralanırlar.  $JS_C$  de tanımlı işler sıralamaya katılmayacağı için  $SD_j$  değerlerini hesaplamaya gerek yoktur. 8 iş için işleri şu şekilde sınıflandırabiliriz:

$$JS_A = \{J1, J5, J6\}$$

$$JS_B = \{J4, J8\}$$

$$JS_C = \{J2, J3, J7\}$$

8 iş için 100 anında 3 saatlik bir arıza için hesaplanan değerler Tablo 4-7'de verilmiştir.

**Tablo 4-7. Sıra Önem (SD) Değerleri**

	Çizelgelenen Başlangıç Anı		SD(Te)	SD(Mu)
	Temizleme	Muayene		
J1	540	1896	0,76	1,72
J4	618	2502	2,68	4,21
J5	672	2718	4,67	5,98
J6	396	1488	0,39	1,29
J8	720	2928	3,86	6,05

İşlerin öncelik sırası  $JS_C$ ,  $JS_B$ ,  $JS_A$  şeklindedir. İşler kendi aralarında sıralanırken ise SD değeri büyükten küçüğe sıralanır.

İşlerin sırası şu şekilde olur;

1.  $JS_B = \{J4, J8\}$

2.  $JS_A = \{J6, J1, J5\}$

Hedeflenen sürece kadar her süreçte işler bu sıraya göre sıralanır.

Önerilen yordam kullanılarak elde edilen çizelgeye ait performans değerleri Tablo 4-8’de verilmiştir.

**Tablo 4-8 Onarım Sonrasında Çizelgenin Performans Değerleri**

İş Sayısı	C	c	100 dakika					
			3 saat		5 saat		10 saat	
	C=100	δ	Temizleme	Muayene	Temizleme	Muayene	Temizleme	Muayene
5	Verimlilik	η (%)	85,05	100,00	66,36	100,00	18,69	95,43
	Kararlılık	ξ	0,77		1,21		4,85	
8	Verimlilik	η (%)	90,70	99,80	75,19	99,80	30,23	99,80
	Kararlılık	ξ	5,47		5,95		6,82	
12	Verimlilik	η (%)	98,80	100,00	92,81	100,00	77,84	100,00
	Kararlılık	ξ	1,59		2,10		5,28	
20	Verimlilik	η (%)	96,42	100,00	88,01	100,00	77,57	100,00
	Kararlılık	ξ	3,12		4,89		6,15	
			300 dakika					
	C=300		3 saat		5 saat		10 saat	
8	Verimlilik	η (%)	*	*	*	*	65,12	100,00
	Kararlılık	ξ	*		*		0,50	
12	Verimlilik	η (%)	98,80	100,00	92,81	100,00	84,43	100,00
	Kararlılık	ξ	0,98		1,66		2,91	
20	Verimlilik	η (%)	92,54	100,00	88,54	100,00	79,24	100,00
	Kararlılık	ξ	3,51		3,41		5,17	
			600 dakika					
	C=600		3 saat		5 saat		10 saat	
12	Verimlilik	η (%)	98,98	100,00	97,99	100,00	88,02	100,00
	Kararlılık	ξ	1,45		1,71		2,64	
20	Verimlilik	η (%)	88,54	100,00	92,60	100,00	80,67	100,00
	Kararlılık	ξ	3,35		2,43		3,99	

#### 4.3.3. Yöntemlerin etkinliğinin değerlendirilmesi

Ele alınan çalışmada çizelgelede meydana gelen arızaların performans üzerindeki etkileri ve onarım yordamlarının etkinliği deterministik olarak hesaplanmıştır. Ayrıca geliştirilen benzetim modeli ile rassallık ya da belirsizlik faktörü de probleme yansıtılarak, önerilen yöntemlerin etkinliği araştırılmıştır.

Arızaların çizelge performansı üzerindeki etkilerini görmek için üretim ortamı benzetim ortamına taşınmıştır. Farklı iş sayıları, farklı arıza oluş anları ve farklı arıza süreleri için benzetim modelleri çalıştırılmış, çizelge performansı üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

Yeniden düzenlenmiş akış tipi atölyelerde işlerin bir akışı söz konusudur. Ele alınan sistemde de işler sırasıyla mekanik, temizleme, kaplama, montaj ve muayene süreçlerinden

geçmektedir. Ancak bazı işler mekanik süreçteki belli tezgâhlara uğramadan o süreci tamamlamakta, bazı işler ise kaplama ve montaj sürecine uğramadan sistemi terk etmektedirler. Özetle her işin kendine özgü bir rotası bulunmaktadır.

Ele alınan problemde ilk çizelge en büyük tamamlanma zamanının en küçüklenmesi ölçütü düşünülerek hazırlanmıştır. Çizelgede onarıma gitmeyi tetikleyici etken arızanın meydana gelmesidir. Arıza sonrası çizelge performansı Tablo 4-3'de verilmiştir. Performans değerlerinden de anlaşılacağı gibi arızanın oluş anının ve arıza süresinin çizelge performansı üzerinde etkisi bulunmaktadır. Arızanın oluş anı çizelgeleme zamanına yaklaştıkça etkileyeceği iş sayısı artmaktadır.

Makine arızası boyunca arıza meydana gelen tezgâhta işlem yapılamayacaktır. Bu durumda o makinede çizelgelenen işlerin gecikmesine neden olur. Bu süre ne kadar uzun ise arızalanan makine o kadar uzun süre kullanılamayacağından işler de arızanın uzunluğu boyunca gecikirler.

Meydana gelen arızanın çizelge performansı üzerindeki etkilerini azaltmak için çizelgelerin onarılması gerekmektedir. Tepkin çizelgeleme birçok onarım yordamı üzerine çalışılmıştır, bu yordamlar genel olarak boşluk doldurma, sıralama, alternatif makinelere yönlendirme başlıkları altında toplanabilir.

İşletmeler için önemli olan konu işletmenin yapısına uygun tepkin çizelgeleme düzeneğine ve yordamına karar vermektir. Önerilen ve etkili olduğu kanıtlanmış bir yordamın bir atölyede mükemmel yakın sonuç verirken bir başka atölyede uygulanırsa arızanın etkisini daha da arttırabildiği gözlenmiştir. Bu nedenle kullanılan yordamın istenilen sonucu vermesi için uygulama ortamına ve bozulma türüne göre yordam seçmek ya da yordamı ortama veya bozulma türüne uyarlamak gerekir.

Çalışmada boşluk doldurma ve sıralama yöntemleri, yeniden düzenlenmiş akış tipi atölye ortamı için uyarlanmış, etkinlikleri gerek deterministik yollarla hesaplanarak gerek ise benzetim ortamı kullanılarak gösterilmiştir.

Çizelgelerin onarılması sonucunda meydana gelen değişikliklerin etkilerini görmek amacıyla yapılan 20 tekrarlı benzetim çalışması sonucunda elde edilen çizelge tamamlanma zamanı değerleri Arena programı Output Analyzer bileşeni kullanılarak derlenmiş ve Ek-

7’da verilmiştir. Çizelgelenen işlerin süreçlerdeki en büyük tamamlanma zamanları güven aralığının en sağında yer alan değerdir. Onarılan yöntemlerin çizelgelerin tamamlanma zamanı üzerindeki etkileri Ek-8’de verilmiştir. Elde edilen karşılaştırmalar Arena benzetim yazılımının Process Analyzer bileşeni kullanılarak elde edilmiştir.

Farklı senaryolarda uyarlanan yordamların etkinliği test edilmiş ve çizelge performansı üzerindeki etkileri gözlenmiştir. Bu sonuçlardan hareketle yordamların yeniden düzenlenmiş akış tipi atölye ortamında makine arızaları üzerinde etkili oldukları söylenebilir

Özet olarak arızanın çizelgeleme zamanından uzaklığına göre oluş yeri ve arıza süresi çizelge performansı üzerinde doğrudan etkilidir. Meydana gelen çizelge performansındaki azalma çizelgenin uygun yordamlar kullanılarak onarılmasıyla giderilebilir. Bir bozulmanın giderilmesi için yapılması gereken çizelgenin atölyeye ve bozulmaya uygun yöntem ile onarılmasıdır.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Rekabetin arttığı günümüzde kaybedilen her zaman rakipler karşısında şirketlerin geri kalmasını sağlar hale gelmiştir. Müşteri kavramının önemi ortaya çıkmış, üretimde amaç kalite, maliyet ve zaman üçgeni dâhilinde müşteri isteklerinin en etkili şekilde karşılanması olarak tanımlanmaya başlamıştır. Çizelgede meydana gelen değişiklikler zaman kayıplarına ve kalitenin düşmesine bu da üretim maliyetlerinin artmasına neden olur.

Günümüzde gerçekleştirilen çizelgeleme faaliyetleri üretimin doğasında olan değişimlere cevap vermede yeterince esnek değildir. Doğası gereği sürekli beklenmeyen olayların olduğu üretim ortamında bu olaylara tepki verecek sistemlere gerek duyulmaktadır.

Tepkin çizelgeleme yaklaşımı çizelgelerin uygulamaya konulduktan sonra uygulama alanında meydana gelen değişikliklere çizelgelerin etkili şekilde uyum sağlaması için geliştirilmiştir. Önemli unsurlarından birisi ilk çizelge ile yeni çizelge arasındaki farkın olabildiğince aza indirilmesidir.

Sistemin performansı; atölyenin yapısına, üretim sisteminin yapısına, üretimde yer alan süreçlere ve atölyenin kendisine özgü karakteristiklerine göre değişkenlik gösterebilir. İşletmelerde tepkin çizelgeleme sisteminden istenilen verimi almak için, sistemin işletmeye uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Sistemlerin uygulamaya konulması kararı dikkatle alınması gereken bir karardır. Deneme yanılma yöntemi ile sistemler kurmak işletmeler için çok büyük zaman, para, işgücü ve müşteri kayıplarına neden olur. Bu yüzden kurulması düşünülen sistemin gerekliliği ve uygulanabilirliğinin gösterilmesi gerekir. Benzetim tasarlanan sistemin, mevcut durumun ve alternatiflerin neler getirebileceğinin belirlenmesi açısından etkili bir araçtır.

Yapılan çalışmada yeniden düzenlenmiş akış tipi atölye ele alınmış, bu atölyede meydana gelen ya da atölyelerin doğasında bulunan belirsizliklerden etkilenen çizelge

performansının iyileştirilmesi için tepkin çizelgeleme yaklaşımının uygulanabilirliği benzetim tekniği kullanılarak araştırılmıştır.

Mevcut atölye üzerinde farklı senaryolar denenmiş, bu senaryolarda değişken arıza meydana geliş anı, değişken arıza süresi, değişken iş sayılarına yer verilmiştir. Bu senaryolar üzerinde, meydana gelen bozulmalardan etkilenen işlerin sıralamasına yönelik geliştirilen algoritmaların çizelge performansına etkileri değerlendirilerek, atölye için ele alınan bozulma türüne uygun tepki verme yordamı önerilmiş, önerilen yordamın etkinliği benzetim tekniği ile gösterilmiştir.

Sonuç olarak makinede meydana gelen arızanın çizelgeleme zamanından uzaklığı ve arıza süresi çizelge performansı üzerinde doğrudan etkilidir. Meydana gelen çizelge performansındaki azalma çizelgenin uygun yordamlar kullanılarak onarılmasıyla giderilebilir ya da iyileştirilebilir. Bir bozulmanın giderilmesi için gerekli olan çizelgenin bozulma olduktan sonra sil baştan yapılması değil, atölyeye ve bozulmaya uygun yöntem ile onarılmasıdır.

Çalışmanın devamı olarak, uyarlanan yordamların diğer bozulmalar karşısında etkinliği araştırılabilir. Tepkin çizelgeleme uygulaması için bir tepkin çizelgeleme sistemi hazırlanabilir. Böylece tepkin çizelgeleme yaklaşımı uygulamaya koymak için daha elverişli hale getirilmiş olur. Farklı bozulma türleri ele alınarak yeni algoritmalar geliştirilebilir, farklı sektörlerde uygulama yapılarak tepkin çizelgeleme kavramının gerekliliği ortaya konulabilir.

Tepkin çizelgeleme yaklaşımında önemli olan kavramlardan birisi de bozulmaya tepki verme süresidir. Tepki verme süresinin en aza indirilmesine yönelik çalışmalar yapılarak tepkin çizelgeleme sistemlerinin etkinliği arttırılabilir.

**KAYNAKLAR DİZİNİ**

- Aigner C., Dorn J., Girsh M., 1997, Cooperation Between A Simulation Environment And A Reactive Scheduling System, (unpublished)
- Akturk M. S., Gorgulu E., 1999, Theory And Methodology: Match-up Scheduling Under A Machine Breakdown, European Journal Of Operational Research 112 (1999), 81-97
- Aytug H., Lawley M. A., Mckay K., Mohan S., Uzsoy R., 2003, Executing Production Schedules In The Face Of Uncertainties: A Review And Some Future Directions, European Journal Of Operational Research, 25 p
- Belaud J. P., 2003, Open Interface Specification: Planning And Scheduling Interface, [www.colan.org](http://www.colan.org)
- Björkqvist J., Harjunkoski I., et al., 2001, An MILP-Based reordering Algorithm For Complex Industrial Scheduling And Rescheduling, Computer and Chemical Engineering 25 (2001), 821-828
- Bongaerts L., Valckenaers p., Van Brussel H., 1997, Co-operative Reactive Scheduling: Schedule Execution Using Perturbation Analysis, Non-Linear Dynamics In Production Processes And Systems, 27 p
- Burke E., McCarthy B., Petrovic S., Qu R., 2005, Multiple-Retrieval Case-Based Reasoning For Course Timetabling Problems, Journal of the Operational Research Society (2005), 1-15
- Cerda J., Henning G. P., 2000, Knowledge-Based Predictive And Reactive Scheduling In Industrial Environments, Computers And Chemical Engineering 24 (2000) 2315-2338
- Chong C. S., Gay R., Sivakumar A, I., 2003, Simulation-Based Scheduling For Dynamic Discrete Manufacturing, Proceedings Of The 2003 Winter Simulation Conference, 1465-1473

- Dorn J., 1995, Case-Based Reactive Scheduling,  
[www.dbai.tuwien.ac.at/staff/dorn/Projects/](http://www.dbai.tuwien.ac.at/staff/dorn/Projects/)
- Dorn J., Girsch M., Vidakis N., 1997, Deja Vu – A Reusable Framework For The Construction Of Intelligent Interactive Schedulers,  
[www.dbai.tuwien.ac.at/staff/dorn/Projects/DejaVu/Overview.html](http://www.dbai.tuwien.ac.at/staff/dorn/Projects/DejaVu/Overview.html)
- Eisenberg C., 1997, Reactive Job-Shop Scheduling with A Constraint Logic Algorithm, MSc Thesis, London University.
- Fromherz M. P. J., Parc X., 2001, Constraint-Based Scheduling, Tutorial Paper At The American Control Conference (ACC'01), 14 p.
- Gerber, K. M., 1998, A System To Test Rescheduling Algorithms, Master's Thesis, University of Maryland.
- Gören S., 2002, Robustness And Stability Measures For Scheduling Policies In A Single Machine Environment, Master Of Science Thesis, Bilkent University.
- Herrmann J. W., Lin E., Vieira G. E., 2003, Rescheduling Manufacturing Systems: A framework Of Strategies, Policies, And Methods, Journal Of Scheduling 6 (2003), 34p.
- Herroelen W., Leus r., 2004, Robust And Reactive Project Scheduling: A Review And Classification Of Procedures, International Journal Of Production Research (2004), Vol. 42, No. 8, 1599–1620.
- Hitomi K., 1995, Manufacturing Systems Engineering : A Unified Approach To Manufacturing Methodology, Production Management, And Industrial Economics, Taylor & Francis.
- Hofer J., 2002, Reactive And Case-Based Reactive Scheduling: Theory And Application In A Steel Making Plant Environment, (unpublished).
- Jones A., Rabelo L. C., 1997, Survey Of Job Shop Scheduling Techniques, (unpublished)

- Karabuk S., Sabuncuoğlu I., 1999, Rescheduling Frequency in An FMS With Uncertain Processing Times And Unreliable Machines, *Journal Of Manufacturing Systems*, Vol. 18, No. 4.
- Kızıılışık O. B., Sabuncuoğlu I., 2003, Reactive Scheduling In A Dynamic And Stochastic FMS Environment, *International Journal Of Production Research*, Vol.41, No.17, 4211-4231.
- Kutanoğlu E., Sabuncuoğlu I., 1999, An Analysis Of Heuristics In A Dynamic Job Shop With Weighted Tardiness Objectives, *International Journal Of Production Research*, Vol. 37, No.1, 165–187.
- Kutanoğlu E., Sabuncuoğlu I., 2001, Routing-Based Reactive Scheduling Policies For Machine Failures In Dynamic Job Shop, *International Journal Of Production Research*, Vol. 39, No.14, 3141–3158.
- Kutanoğlu E., Sabuncuoğlu I., 2001, Experimental Investigation Of Iterative Simulation-Based Scheduling In A Dynamic And Stochastic Job Shop, *Journal Of Manufacturing Systems*, Vol. 20, No. 4, 3141-3158.
- Kramer L. A., Smith S. F., 2004, Task Swapping For Schedule Improvement: A Broader Analysis, *American Association For Artificial Intelligence*.
- Kwan Ko Y., Lee A., Lee Y. J., Suh S. M., 1998, Evaluation Of Ordering Strategies For Constraint Satisfaction Reactive Scheduling, *Decision Support Systems* 22 (1998) 187-197.
- Macerauskas V., Teresius V., 2004, Investigation Of Multi-Agent Control System, *Elektronika Ir Elektrotechnika*, ISSN 1392 – 1215, Nr. 3 (52), 21-26.
- Nieuwelaar N. J. M. v., 2004, Supervisory Machine Control by Predictive-Reactive Scheduling, *Technische Universiteit Eindhoven, Proefschrift*, ISBN 90-386-2756-4.
- O'Donovan R., McKay N., K., Uzsoy R., 1998, Predictable Scheduling Of A Single Machine With Breakdowns And Sensitive Jobs, (unpublished).

- Ouelhadj D., 2003, A Multi-Agent System For The Integrated Dynamic Scheduling Of Steel Production, Doctor of Philosophy Thesis, The University of Nottingham.
- Pinedo M., Scheduling: Theory, Algorithms, And Systems.
- Prabhakar R., 2003, Scheduling In Time Triggered Systems Under Mode Changes, Master Of Science Thesis, The Graduate School Of Vanderbilt University.
- Raheja A., Subramaniam V.,2001, Reactive Schedule Repair Of Job Shops, (unpublished)
- Raheja A. S., Reddy K. R. B., Subramaniam V., 2002, A Generic Mechanism For Repairing Job Shop Schedules, (unpublished).
- Raheja A. S., Reddy K. R. B., Subramaniam V., 2005, Reactive Repair Tool For Job Shop Schedules, International Journal Of Production Research, Vol. 43, No.1, 1–23.
- Ramasesh R., 1990, Dynamic Job Shop Scheduling: A Survey Of Simulation Research. OMEGA, 19, 43–57.
- Ran Y., Roos N., 2001, Van den Herik J., Methods For Repair Based Scheduling, (unpublished).
- Riddick F., 1999, Reactive Scheduling System Implementations Using A Simulated Shop Floor, (unpublished).
- Sabuncuoğlu I., Bayız M., 2000, Theory And Methodology: Analysis Of Reactive Scheduling Problems In A job Shop Environment, European Journal Of Operational Research 126 (2000), 567-586.
- Sun J., Xue D., 2001, A Dynamic Reactive Scheduling Mechanism For Responding To Changes Of Production Orders And Manufacturing Resources, Computers In Industry, 46 (2001), 189-207.
- Winston W., Albright S., 2001, Practical Management Science, Duxbury, ISBN 0-534-37135-3.

**EKLER**

Ek 1.Bozulmalar ve Onarma Yöntemleri .....	77
Ek 2 20 İş İçin Kullanılacak İş Akış Şemaları.....	81
Ek 3- İşlere ait hazırlanan ilk çizelgeler .....	82
Ek 4- İşlere ait hazırlanan ilk çizelgeler (devam) .....	83
Ek 5 İlk Çizelgede yer alan işlerin başlangıç ve bitiş zamanları .....	84
Ek 6 İlk Çizelgede yer alan işlerin başlangıç ve bitiş zamanları (devam).....	85
Ek 7 Arızaların çizelge performansı üzerindeki etkileri .....	86
Ek 8 Onarım sonrası çizelgelere ait başlangıç ve bitiş zamanı örnekleri .....	90
Ek 9 Önerilen onarım yöntemlerinin çizelge performansı üzerine etkileri .....	100
Ek 10 Önerilen iyileştirme yöntemlerinin karşılaştırılması .....	108

### Ek 1.Bozulmalar ve Onarma Yöntemleri

	<b>Bozulma</b>	<b>Etki</b>	<b>Genel Onarma Prosedürü</b>	<b>Baskın Onarma Mekanizması</b>
1	Makine Arızalanmaları	Bir dönem için makine uygun değil	Bozulmanın zamanını ve onarmanın tahmini süresini kaydedilir. Arıza süresine eşit boş zaman çizelgeye eklenir ve çizelge onarılır.	Boş zaman eklenir
2	Makinelerin Bakımları	Bir dönem için makine uygun değil	1’de anlatılan süreçle aynı, sadece makine arızası süresi yerine bakım zamanı yerleştirilir.	Boş zaman eklenir
3	Yokluk	Eğer makine operatörü geçici süre için yoksa bu bozulma boş makine gibi düşünülebilir, eğer operatör daha uzun süreli yoksa operatör yerine yenisi eklenir ya da çizelge kritikliği için ve onarım etkili olmayacağı için toplam çizelgelemeye ihtiyaç duyulur..	Operatör yok olduğu sürece makine boştur. Operatör yokluğu süresine eşit boş zaman çizelgeye eklenir ve makine boş tutulur ve çizelge onarılır.	Boş zaman eklenir
4	Alet Arızalanması	Bir dönem için makine uygun değil	Alet değişimi için gereken zaman için makine boştaadır. Makinenin duraklatılması için alet değişme süresine eşit zaman belirlenir ve çizelge onarılır.	Boş zaman eklenir
5	İşlem Süresinden Sapma	Bitiş zamanında değişme	İşlem tanımlanır. Bitiş zamanındaki artış belirlenir. İşlem süresindeki artışa eşit zaman çizelgeye	Düzeltilme zamanını ekle (İşlem süresi artışı durumunda) ve silmeyi kullan ve eğer işlem



**Ek 1.Bozulmalar ve Onarma Yöntemleri (devam)**

			eklenir ve çizelge onarılır. Eğer işlem süresi azalır, çizelgeden operasyon silinir ve aynı başlama ve bitiş zamanları ile yeniden eklenir.	süresi azalır işleme araya yerleştirilir. .
6	Malzeme taşıma sistemi kullanılarak taşımadaki gecikme	Parçaların taşınması için geçen zamanı etkiler ve bitiş süresini arttırır.	Gecikmeye göre etkilenen işlemler tanımlanır. Bitiş zamanındaki artış belirlenir. İşlemin olması için gerekli ilave zaman eklenir ve çizelge onarılır.	Düzeltilme süresi eklenir
7	Makine Performansındaki Değişim	İşlem süresindeki ve bitiş zamanındaki değişimler.	İşlem tanımlanır. Bitiş zamanındaki artış belirlenir. İşlem süresindeki artışa eşit zaman eklenir ve çizelge onarılır. Eğer işlem süresi azalır, çizelgeden operasyon silinir ve aynı başlama ve bitiş zamanları ile yeniden eklenir.	Düzeltilme süresi eklenir (İşlem süresi artışı durumunda), silme kullanılır ve eğer işlem süresi azalır işleme araya eklenir.
8	Alet Giysileri	Daha uzun işlem sürelerine gerek duyulur ve bitiş zamanında artışa neden olur.	Gecikmeye göre etkilenen işlemler tanımlanır. Bitiş zamanındaki artış kaydedilir. İşlemin olması için gereken gerekli ilave zaman eklenir ve çizelge onarılır.	Düzeltilme süresi eklenir
9	Hazırlık Süresindeki Değişimler	İşlerin başlangıç ve bitiş zamanlarında değişimler meydana gelir.	Eğer başlama zamanı gecikirse, bitiş zamanında gecikmeye neden olur ve	Düzeltilme zamanını eklenir (İşlem süresi artışı

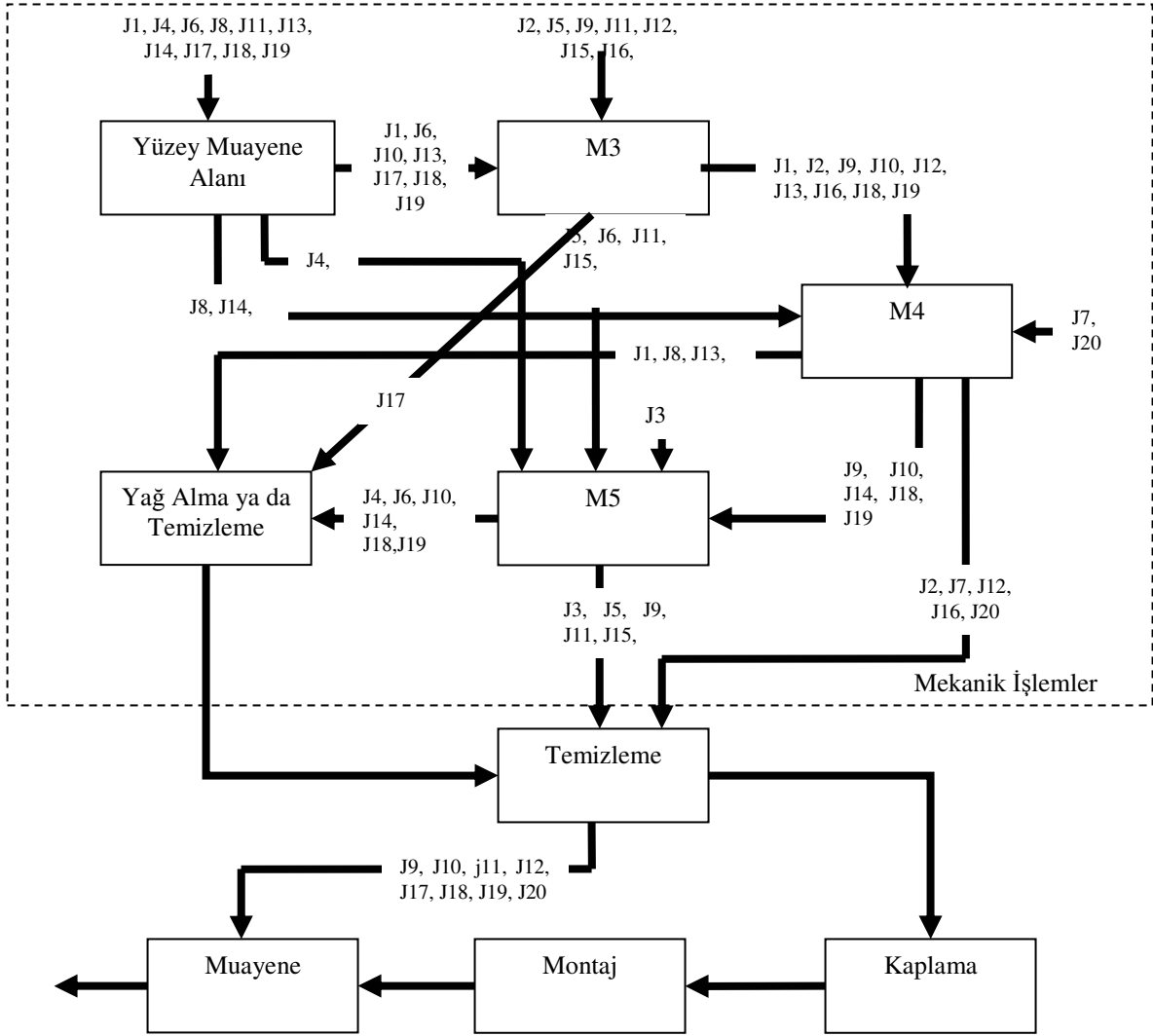
**Ek 1.Bozulmalar ve Onarma Yöntemleri (devam)**

			eğer başlama zamanı erkene alınırsa, iş daha erken biter.	durumunda), silme kullanılır ve eğer işlem süresi azalırsa işlemi araya eklenir.
10	Yeni işlerin Gelişi	Yeni işler gelir ve çizelgeye anında eklenmelidirler.	Ulaşma zamanı kaydedilir. Makineye atanan operasyona eşit uzunlukta dönem eklenir ve onarma yordamı kullanarak çizelge onarılır. Diğer Operasyonlar için tekrar edilir.	Operasyonlar yinelemeli olarak araya eklenir.
11	Yeniden işlem	İşlerin bazı işlemleri yeniden yapılmalıdır.	Yeniden işlem zamanı kaydedilir. Makinedeki operasyon zamanına eşit süre eklenir. Onarma yordamı kullanılarak çizelge onarılır.	Operasyon eklenir
12	Red etme	Tüm iş yeniden yapılabilir.	Yeniden gelme zamanı kaydedilir. Makineye atanan operasyona eşit uzunlukta boşluk eklenir. Onarma yordamı kullanılarak çizelge onarılır. Diğer Operasyonlar için tekrar edilir.	Operasyonlar yinelemeli olarak araya eklenir.
13	Hammaddenin Uygun Olmaması	İş işlemleri planlandığı gibi yapılamaz.	Hammadde uygun olmasının tahmini süresi belirlenir. . Şimdiki zamandan itibaren operasyon silinir. Makinedeki işlem süresine	Çizelgelenen işlem silinir. Yeni operasyon eklenir.

**Ek 1.Bozulmalar ve Onarma Yöntemleri (devam)**

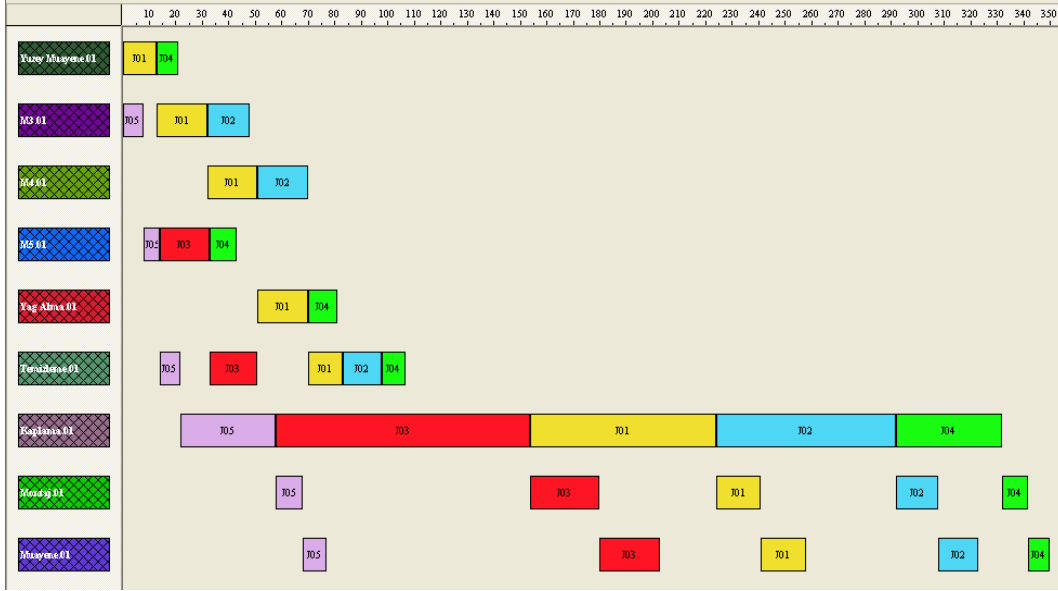
			ait zaman eklenir. Onarma yordamı ile çizelge onarılır.	
14	Acil iş	İş acilen yapılmak zorundadır çünkü terminde değişme olmuştur ya da ani talep olmuştur. İşler zaman merdiveninde itilir.	İş için tahmin edilen süre belirlenir. İş çizelgedeki mevcut yerinden silinir. Acil zamanda, atandığı makinedeki işlem süresine ait süre eklenir ve çizelge onarılır. Diğer işlemler için de uygulanır.	Çizelgelenen operasyon silinir. Operasyonları yinelemeli olarak araya eklenir.
15	Öncelikte Değişme	İşe çizelgelenen zamandan daha erken ya da daha geç ihtiyaç duyulabilir.	İş için tahmin edilen süre belirlenir. İş çizelgedeki mevcut yerinden silinir. Acil zamanda, atandığı makinedeki işlem süresine ait süre eklenir ve çizelge onarılır. Diğer işlemler için de uygulanır.	Çizelgelenen operasyonu silinir. Operasyonlar yinelemeli olarak araya eklenir.
16	Sipariş iptali	İşe daha fazla gerek duyulmaz	İptal edilecek işi tanımlanır ve çizelgeden çıkarılır.	İş ve işe ait işlemler silinir.
17	Dış yaptırım	İş, dış yaptırımdadır ve üretime gerek kalmaz	Dış yaptırıma gönderilen iş tanımlanır ve çizelgeden çıkartılır.	İş ve işe ait işlemler silinir.

## Ek 2 20 İş İçin Kullanılacak İş Akış Şemaları

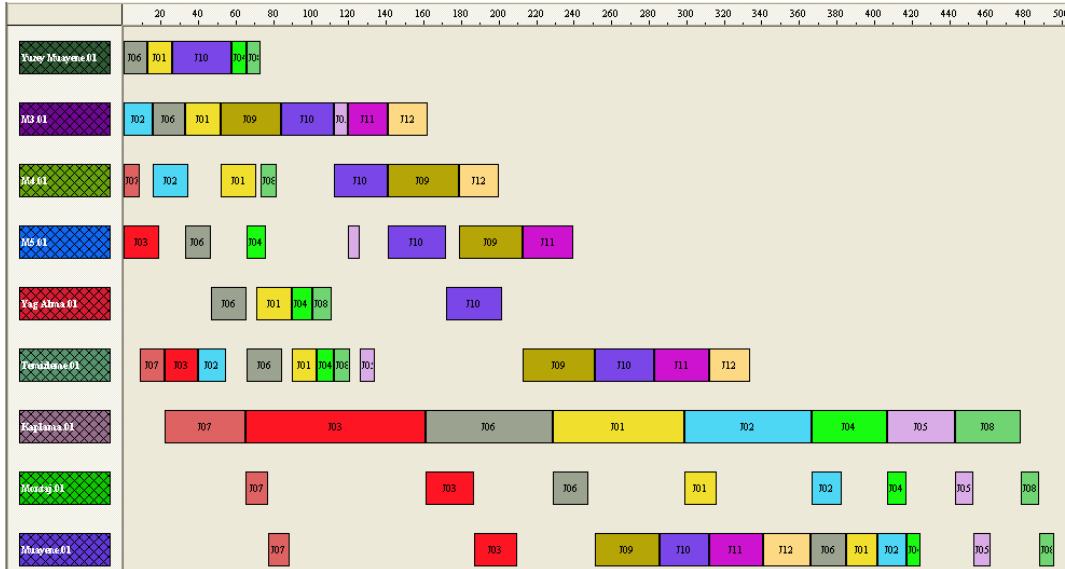


### Ek 3- İşlere ait hazırlanan ilk çizelgeler

#### 5 iş için oluşturulan ilk çizelge <sup>1</sup>



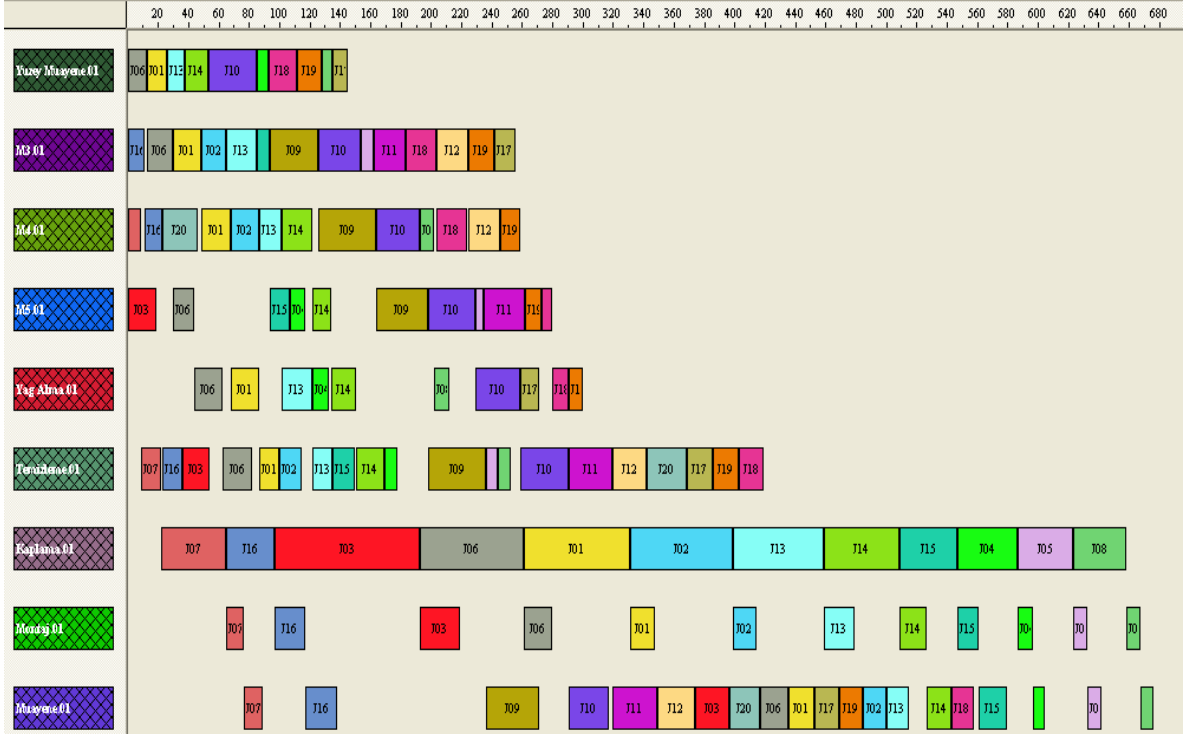
#### 12 iş için oluşturulan ilk çizelge



<sup>1</sup> Çizelgedeki zamanlar 10\*saatlik zamanlardır. Lakin Çizelgeleme programına ondalıklı değer girilemediği için tercih edilmiştir.

## Ek 4- İşlere ait hazırlanan ilk çizelgeler (devam)

## 20 iş için oluşturulan ilk çizelge



### Ek 5 İlk çizelgede yer alan işlerin başlangıç ve bitiş zamanları

#### 5 iş için oluşturulan ilk çizelgede işlere ait başlama ve bitiş zamanları (dakika)

MD		Yüzey Muayene	M3	M4	M5	Yağ Alma	Temizleme	Kaplama	Montaj	Muayene
J1	Bas	0	78	192	0	306	420	924	1344	1446
	Bit	78	192	306	0	420	498	1344	1446	1548
J2	Bas	0	192	306	0	0	498	1344	1752	1848
	Bit	0	288	420	0	0	588	1752	1848	1938
J3	Bas	0	0	0	84	0	198	348	924	1080
	Bit	0	0	0	198	0	306	924	1080	1218
J4	Bas	78	0	0	198	420	588	1752	1992	2052
	Bit	126	0	0	258	486	642	1992	2052	2100
J5	Bas	0	0	0	48	0	84	132	348	408
	Bit	0	48	0	84	0	132	348	408	462

#### 12 iş için oluşturulan ilk çizelgede işlerin başlama ve bitiş zamanları

		Yüzey Muayene	M3	M4	M5	Yağ Alma	Temizleme	Kaplama	Montaj	Muayene
J1	Bas	78	198	312	0	426	540	1374	1794	2310
	Bit	156	312	426	0	540	618	1794	1896	2412
J2	Bas	0	0	96	0	0	240	1794	2202	2412
	Bit	0	96	210	0	0	330	2202	2298	2502
J3	Bas	0	0	0	0	0	132	390	966	1122
	Bit	0	0	0	114	0	240	966	1122	1260
J4	Bas	348	0	0	396	540	618	2202	2442	2502
	Bit	396	0	0	456	606	672	2442	2502	2550
J5	Bas	0	672	0	720	0	756	2442	2658	2718
	Bit	0	720	0	756	0	804	2658	2718	2772
J6	Bas	0	96	0	198	282	396	966	1374	2196
	Bit	78	198	0	282	396	510	1374	1488	2310
J7	Bas	0	0	0	0	0	54	132	390	462
	Bit	0	0	54	0	0	132	390	462	534
J8	Bas	396	0	438	0	606	672	2658	2868	2928
	Bit	438	0	492	0	666	726	2868	2928	2976
J9	Bas	0	312	846	1074	0	1278	0	0	1506
	Bit	0	504	1074	1278	0	1506	0	0	1716
J10	Bas	156	504	672	846	1032	1506	0	0	1716
	Bit	348	672	846	1032	1212	1698	0	0	1872
J11	Bas	0	720	0	1278	0	1698	0	0	1872
	Bit	0	846	0	1440	0	1872	0	0	2046
J12	Bas	0	846	1074	0	0	1872	0	0	2046
	Bit	0	972	1200	0	0	2004	0	0	2196

Ek 6 İlk çizelgede yer alan işlerin başlangıç ve bitiş zamanları (devam)

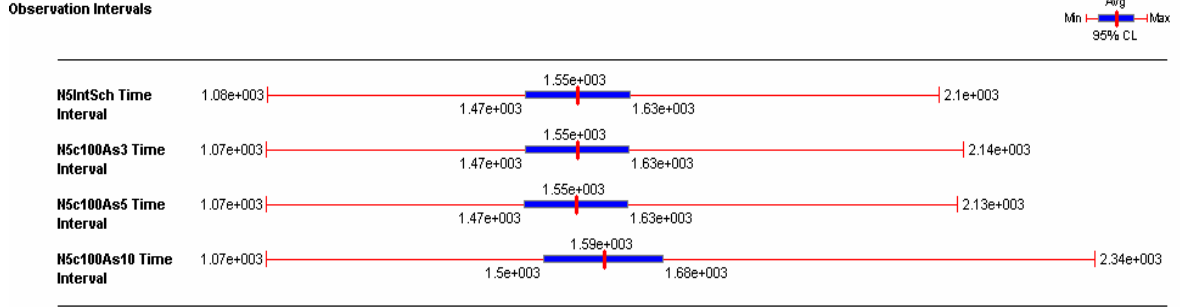
**20 iş için oluşturulan ilk çizelgede işlerin başlama ve bitiş zamanları**

Mevcut		Yüzey Muayene	M3	M4	M5	Yağ Alma	Temizleme	Kaplama	Montaj	Muayene
J1	Bas	78	180	294	0	408	522	1566	1986	2616
	Bit	156	294	408	0	522	600	1986	2088	2718
J2	Bas	0	294	408	0	0	600	1986	2394	2910
	Bit	0	390	522	0	0	690	2394	2490	3000
J3	Bas	0	0	0	0	0	216	582	1158	2244
	Bit	0	0	0	114	0	324	1158	1314	2382
J4	Bas	510	0	0	642	732	1014	3282	3522	3582
	Bit	558	0	0	702	798	1068	3522	3582	3630
J5	Bas	0	924	0	1374	0	1416	3522	3738	3798
	Bit	0	972	0	1410	0	1464	3738	3798	3852
J6	Bas	0	78	0	180	264	378	1158	1566	2502
	Bit	78	180	0	264	378	492	1566	1680	2616
J7	Bas	0	0	0	0	0	54	132	390	462
	Bit	0	0	54	0	0	132	390	462	534
J8	Bas	768	0	1158	0	1212	1464	3738	3948	4008
	Bit	810	0	1212	0	1272	1518	3948	4008	4056
J9	Bas	0	564	756	984	0	1188	0	0	1416
	Bit	0	756	984	1188	0	1416	0	0	1626
J10	Bas	318	756	984	1188	1374	1554	0	0	1746
	Bit	510	924	1158	1374	1554	1746	0	0	1902
J11	Bas	0	972	0	1410	0	1746	0	0	1920
	Bit	0	1098	0	1572	0	1920	0	0	2094
J12	Bas	0	1224	1350	0	0	1920	0	0	2094
	Bit	0	1350	1476	0	0	2052	0	0	2244
J13	Bas	156	390	522	0	612	732	2394	2754	3000
	Bit	228	510	612	0	732	810	2754	2874	3090
J14	Bas	228	0	612	732	804	906	2754	3054	3162
	Bit	318	0	732	804	906	1014	3054	3162	3258
J15	Bas	0	510	0	564	0	810	3054	3282	3366
	Bit	0	564	0	642	0	900	3282	3366	3480
J16	Bas	0	0	66	0	0	138	390	582	702
	Bit	0	66	138	0	0	216	582	702	828
J17	Bas	810	1452	0	0	1554	2214	0	0	2718
	Bit	870	1536	0	0	1626	2316	0	0	2814
J18	Bas	558	1098	1224	1638	1680	2418	0	0	3258
	Bit	672	1224	1344	1680	1746	2514	0	0	3348
J19	Bas	672	1350	1476	1572	1746	2316	0	0	2814
	Bit	768	1452	1554	1638	1800	2418	0	0	2910
J20	Bas	0	0	138	0	0	2052	0	0	2382
	Bit	0	0	276	0	0	2214	0	0	2502

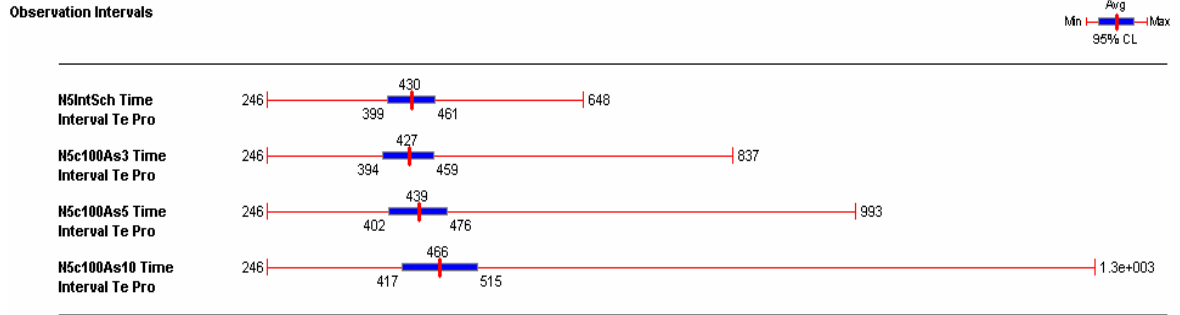


## Ek 7 Arızaların çizelge performansı üzerindeki etkileri

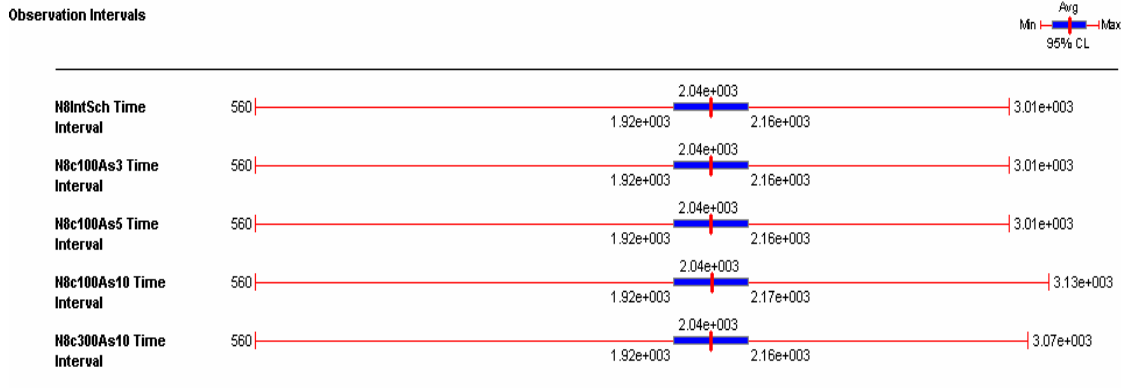
20 tekrarlık benzetim sonucunda 5 iş için farklı arıza sürelerinin muayene sürecine göre çizelge performansına etkileri (%95 güven seviyesinde)



20 tekrarlık benzetim sonucunda 5 iş için farklı arıza sürelerinin temizleme sürecine göre çizelge performansına etkileri (%95 güven seviyesinde)



20 tekrarlık benzetim sonucunda 8 iş için farklı arıza sürelerinin muayene sürecine göre çizelge performansına etkileri (%95 güven seviyesinde)

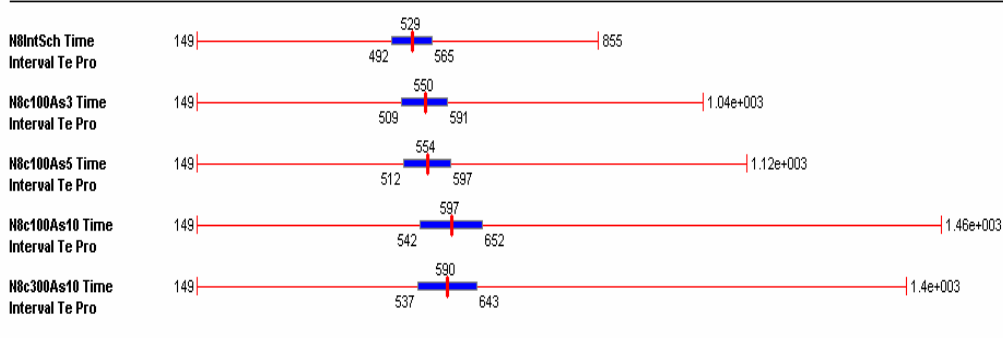


## Ek 7 Arızaların çizelge performansı üzerindeki etkileri (devam)

### 20 tekrarlık benzetim sonucunda 8 iş için farklı arıza sürelerinin temizleme sürecine göre çizelge performansına etkileri (%95 güven seviyesinde)

Observation Intervals

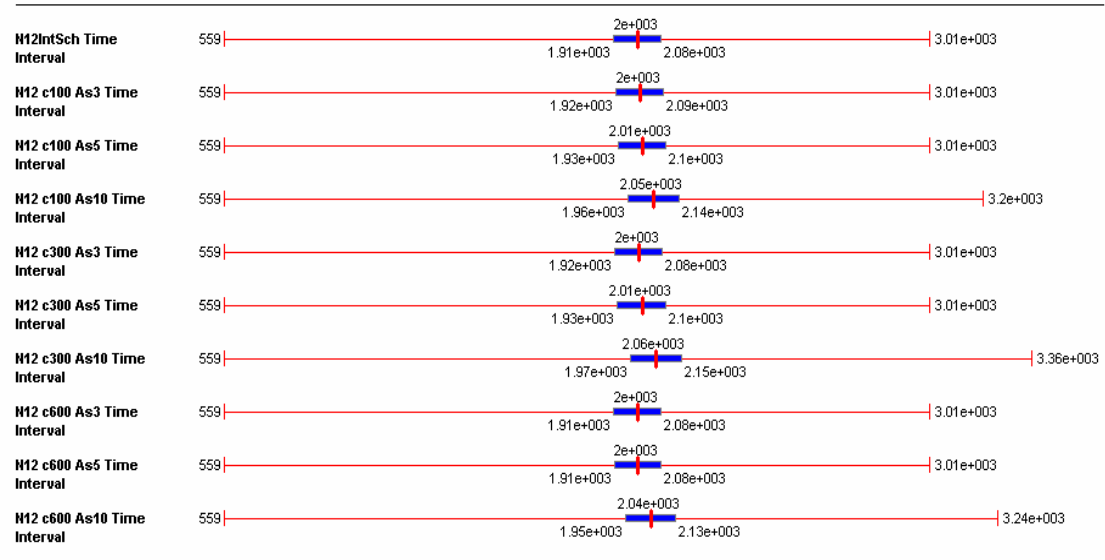
Avg  
Min Max  
95% CL



### 20 tekrarlık benzetim sonucunda 12 iş için farklı arıza sürelerinin muayene sürecine göre çizelge performansına etkileri (%95 güven seviyesinde)

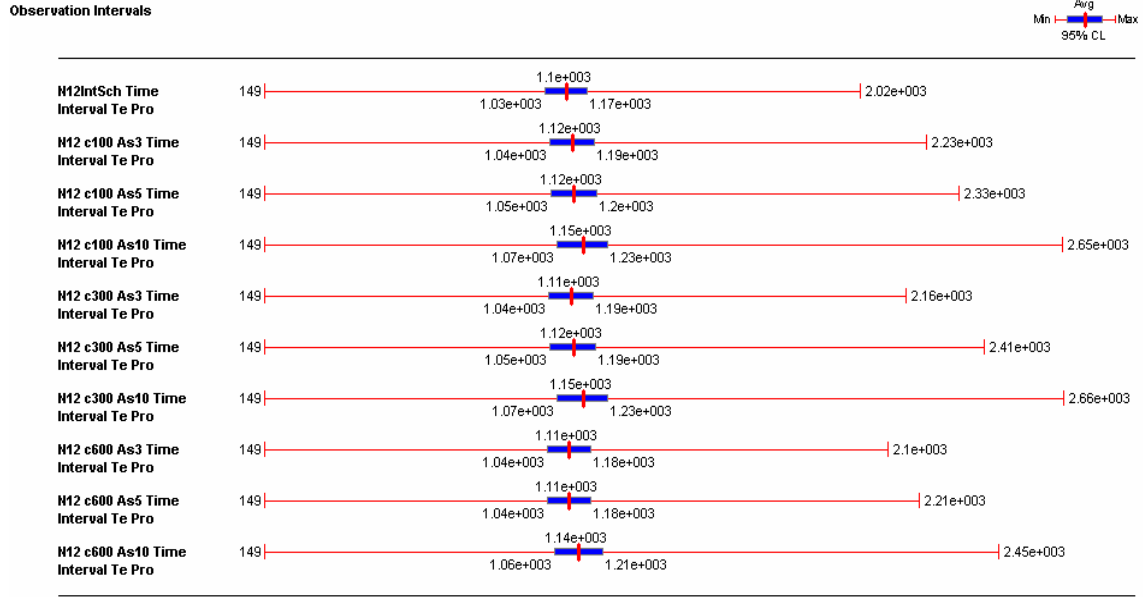
Observation Intervals

Avg  
Min Max  
95% CL

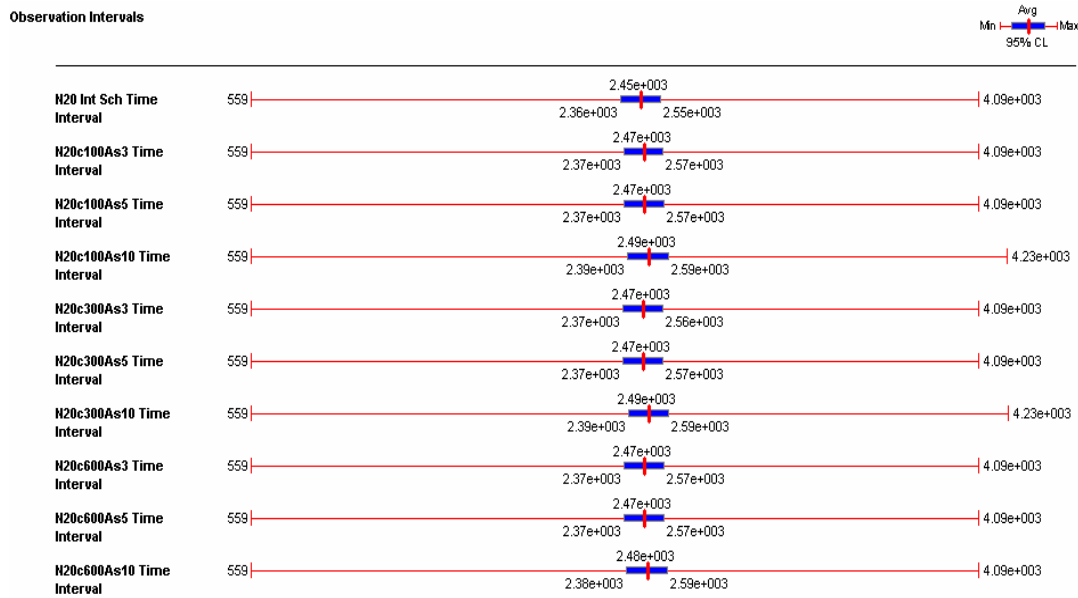


## Ek 7 Arızaların çizelge performansı üzerindeki etkileri (devam)

### 20 tekrarlık benzetim sonucunda 12 iş için farklı arıza sürelerinin temizleme sürecine göre çizelge performansına etkileri (%95 güven seviyesinde)

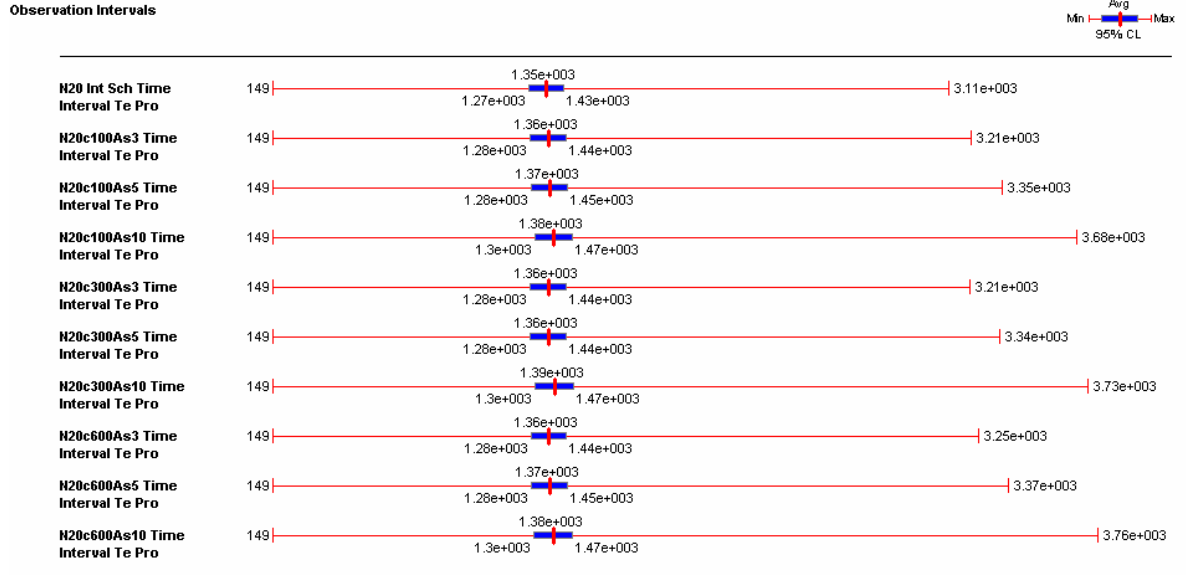


### 20 tekrarlık benzetim sonucunda 20 iş için farklı arıza sürelerinin muayene sürecine göre çizelge performansına etkileri (%95 güven seviyesinde)



Ek 7 Arızaların çizelge performansı üzerindeki etkileri (devam)

**20 tekrarlık benzetim sonucunda 20 iş için farklı arıza sürelerinin temizleme sürecine göre çizelge performansına etkileri (%95 güven seviyesinde)**



### Ek 8 Onarım sonrası çizelgelere ait başlangıç ve bitiş zamanı örnekleri

N20 c 300 As 10 Yöntem1 ile Onarılan Çizelge

J	1	0	0				
J01	1	0	0	187		13	477
					Yuzey Muayene	13	26
					M3	19	49
						19	68
					Yag Alma	19	87
					Temizleme	13	100
					Kapama	70	331
					Montaj	17	348
					Muayene	17	477
J02	1	0	0	149		149	524
					M3	16	165
						19	184
					Temizleme	15	199
					Kapama	68	399
					Montaj	16	415
					Muayene	15	524
J03	1	0	0	182		0	242
					M5	19	19
					Temizleme	18	54
					Kapama	96	193
					Montaj	26	219
					Muayene	23	242
J04	1	0	0	96		85	605
					Yuzey Muayene	8	93
					M3	10	110
					Yag Alma	11	128
					Temizleme	9	154
					Kapama	40	587
					Montaj	10	597
					Muayene	8	605
J05	1	0	0	77		254	642
					M3	8	262
					M5	6	268
					Temizleme	8	348
					Kapama	36	623
					Montaj	10	633
					Muayene	9	642
J06	1	0	0	188		0	299
					Yuzey Muayene	13	13
					M3	17	30
					M5	14	44
					Yag Alma	19	63
					Temizleme	19	82
					Kapama	68	261
					Montaj	19	280
					Muayene	19	299
J07	1	0	0	89		0	89
					M4	9	9
					Temizleme	13	22
					Kapama	43	65
					Montaj	12	77
					Muayene	12	89

Ek 8 Onarım sonrası çizelgelere ait başlangıç ve bitiş zamanı örnekleri (devam)

<b>J08</b>	1	0	0	88		128	676
	Yuzey Muayene			7	A	128	135
	M4			9	B	135	144
	Yag Alma			10	C	144	154
	Temizleme			9	D	154	163
	Montaj			35	E	623	658
	Muayene			10	F	658	668
				8	G	668	676
<b>J09</b>	1	0	0	177		194	375
	M3			32	A	194	226
	M4			38	B	226	264
	M5			34	C	268	302
	Temizleme			38	D	302	340
	Muayene			35	G	340	375
<b>J10</b>	1	0	0	208		53	428
	Yuzey Muayene			32	A	53	85
	M3			28	A	226	254
	M4			29	B	264	293
	M5			31	C	302	333
	Yag Alma			30	A	333	363
	Temizleme			32	D	370	402
	Muayene			26	G	402	428
<b>J11</b>	1	0	0	106		262	460
	M3			21	A	262	283
	M5			27	C	333	360
	Temizleme			29	D	402	431
	Muayene			29	G	431	460
<b>J12</b>	1	0	0	89		304	400
	M3			21	A	304	325
	M4			21	C	325	346
	Temizleme			22	D	348	370
	Muayene			25	G	375	400
<b>J13</b>	1	0	0	175		26	539
	Yuzey Muayene			12	A	26	38
	M3			20	B	165	185
	M4			15	C	185	200
	Yag Alma			20	D	200	220
	Temizleme			13	E	220	233
	Montaj			60	F	399	459
	Montaj			20	A	459	479
	Muayene			15	A	524	539
<b>J14</b>	1	0	0	166		38	555
	Yuzey Muayene			15	A	38	53
	M4			20	A	68	88
	M5			12	A	88	100
	Yag Alma			17	A	100	117
	Temizleme			18	A	127	145
	Montaj			50	A	459	509
	Montaj			18	A	509	527
	Muayene			16	A	539	555
<b>J15</b>	1	0	0	108		185	589
	M3			9	A	185	194
	M5			13	A	194	207
	Temizleme			15	A	233	248
	Montaj			38	A	509	547
	Montaj			14	A	547	561
	Muayene			19	A	570	589

## Ek 8 Onarım sonrası çizelgelere ait başlangıç ve bitiş zamanı örnekleri (devam)

J16	1	0	0	109		0	138	138	138
	M3			11	A	0	11		
				12	A	11	23		
	Temizleme			13	A	23	36		
	Montaj			32	A	65	97		
	Muayene			20	A	97	117		
				21	A	117	138		
J17	1	0	0	69		135	493	493	493
	Yuzey Muayene			10	A	135	145		
	M3			14	A	342	356		
	Yag Alma			12	A	378	390		
	Temizleme			17	A	431	448		
	Muayene			16	A	477	493		
J18	1	0	0	109		93	570	570	570
	Yuzey Muayene			19	A	93	112		
	M3			21	A	283	304		
				20	A	304	324		
	M5			7	A	360	367		
	Yag Alma			11	A	367	378		
	Temizleme			16	A	448	464		
	Muayene			15	A	555	570		
J19	1	0	0	99		112	509	509	509
	Yuzey Muayene			16	A	112	128		
	M3			17	A	325	342		
				13	A	346	359		
	M3			11	A	367	378		
	Yag Alma			9	A	390	399		
	Temizleme			17	A	464	481		
	Muayene			16	A	493	509		
J20	1	0	0	70		23	158	158	158
				23	A	23	46		
	Temizleme			27	A	100	127		
	Muayene			20	A	138	158		

## Ek 8 Onarım sonrası çizelgelere ait başlangıç ve bitiş zamanı örnekleri (devam)

## N20 c 300 As 10 Yöntem 2 ile Onarılan Çizelge

<b>J01</b>	1	0	0	187		13	379
					Yuzey Muayene	13	26
	M3			19	B	30	49
	M5			19	C	49	68
				19	D	68	87
				13	E	87	100
				70	F	261	331
				17	G	331	348
				17	H	362	379
<b>J02</b>	1	0	0	149		149	430
	M3			16	A	149	165
	M5			19	B	165	184
				15	C	184	199
				68	D	331	399
				16	E	399	415
				15	F	415	430
<b>J03</b>	1	0	0	182		0	242
	M3			19	A	0	19
				18	B	36	54
				96	C	97	193
				26	D	193	219
				23	E	219	242
<b>J04</b>	1	0	0	96		85	605
				8	A	85	93
	M3			10	B	123	133
				11	C	140	151
				9	D	158	167
				40	E	547	587
				10	F	587	597
				8	G	597	605
<b>J05</b>	1	0	0	77		348	642
	M3			8	A	348	356
	M5			6	B	378	384
				8	C	498	506
				36	D	587	623
				10	E	623	633
				9	F	633	642
<b>J06</b>	1	0	0	188		0	299
				13	A	0	13
	M3			17	B	13	30
	M5			14	C	30	44
				19	D	44	63
				19	E	63	82
				68	F	193	261
				19	G	261	280
				19	H	280	299
<b>J07</b>	1	0	0	89		0	89
	M4			9	A	0	9
				13	B	9	22
				43	C	22	65
				12	D	65	77
				12	E	77	89



Ek 8 Onarım sonrası çizelgelere ait başlangıç ve bitiş zamanı örnekleri (devam)

<b>J08</b>	1	0	0	88		128	676	
					Yuzey Muayene	7	128	135
					M4	9	135	144
					Yag Alma	10	151	161
					Temizleme	9	167	176
					Kontrol	35	623	658
					Montaj	10	658	668
					Muayene	8	668	676
<b>J09</b>	1	0	0	177		185	362	
					M3	32	185	217
					M4	38	217	255
					M5	34	255	289
					Temizleme	38	289	327
					Muayene	35	327	362
<b>J10</b>	1	0	0	208		53	408	
					Yuzey Muayene	32	53	85
					M3	28	217	245
					M4	29	255	284
					M5	31	289	320
					Yag Alma	30	320	350
					Temizleme	32	350	382
					Muayene	26	382	408
<b>J11</b>	1	0	0	106		254	459	
					M3	21	254	275
					M5	27	333	360
					Temizleme	29	397	426
					Muayene	29	430	459
<b>J12</b>	1	0	0	89		296	484	
					M3	21	296	317
					M5	21	347	368
					Temizleme	22	426	448
					Muayene	25	459	484
<b>J13</b>	1	0	0	175		26	499	
					Yuzey Muayene	12	26	38
					M3	20	165	185
					M4	15	185	200
					Yag Alma	20	200	220
					Temizleme	13	220	233
					Kontrol	60	399	459
					Montaj	20	459	479
					Muayene	15	484	499
<b>J14</b>	1	0	0	166		38	547	
					Yuzey Muayene	15	38	53
					M4	20	91	111
					M5	12	111	123
					Yag Alma	17	123	140
					Temizleme	18	140	158
					Kontrol	50	459	509
					Montaj	18	509	527
					Muayene	16	531	547
<b>J15</b>	1	0	0	108		245	581	
					M3	9	245	254
					M5	13	320	333
					Temizleme	15	382	397
					Kontrol	38	509	547
					Montaj	14	547	561
					Muayene	19	562	581

Ek 8 Onarım sonrası çizelgelere ait başlangıç ve bitiş zamanı örnekleri (devam)

<b>J16</b>	1	0	0	109		0	138
	M3			11	A	0	11
	M4			12	A	11	23
	Temizleme			13	A	23	36
	M4			32	A	65	97
	Montaj			20	A	97	117
	Muayene			21	A	117	138
<b>J17</b>	1	0	0	69		135	515
	Yuzey Muayene			10	A	135	145
	M3			14	A	334	348
	Yag Alma			12	A	387	399
	Temizleme			17	A	481	498
	Muayene			16	A	499	515
<b>J18</b>	1	0	0	109		93	562
	Yuzey Muayene			19	A	93	112
	M3			21	A	275	296
	M4			20	A	296	316
	M5			7	A	360	367
	Yag Alma			11	A	367	378
	Temizleme			16	A	448	464
	Muayene			15	A	547	562
<b>J19</b>	1	0	0	99		112	531
	Yuzey Muayene			16	A	112	128
	M3			17	A	317	334
	M4			13	A	334	347
	M5			11	A	367	378
	Yag Alma			9	A	378	387
	Temizleme			17	A	464	481
	Muayene			16	A	515	531
<b>J20</b>	1	0	0	70		68	158
	M4			23	A	68	91
	Temizleme			27	A	100	127
	Muayene			20	A	138	158

## Ek 8 Onarım sonrası çizelgelere ait başlangıç ve bitiş zamanı örnekleri (devam)

## N12 c 100 As 5 Yöntem1 ile Onarılan Çizelge

<b>J01</b>	1	0	0	187		13	403
					Yuzey Muayene	13	26
	M3			19	B	83	102
				19	C	102	121
				19	D	127	146
				13	E	146	159
				70	F	229	299
				17	G	299	316
				17	H	386	403
<b>J02</b>	1	0	0	149		0	418
	M3			16	A	0	16
				19	B	16	35
				15	C	40	55
				68	D	299	367
				16	E	367	383
				15	F	403	418
<b>J03</b>	1	0	0	182		0	210
	M5			19	A	0	19
				18	B	22	40
				96	C	65	161
				26	D	161	187
				23	E	187	210
<b>J04</b>	1	0	0	96		58	426
				8	A	58	66
	M3			10	B	97	107
				11	C	116	127
				9	D	135	144
				40	E	367	407
				10	F	407	417
				8	G	418	426
<b>J05</b>	1	0	0	77		162	462
	M3			8	A	162	170
	M5			6	B	170	176
				8	C	176	184
				36	D	407	443
				10	E	443	453
				9	F	453	462
<b>J06</b>	1	0	0	188		0	267
				13	A	0	13
	M3			17	B	66	83
	M5			14	C	83	97
				19	D	97	116
				19	E	116	135
				68	F	161	229
				19	G	229	248
				19	H	248	267
<b>J07</b>	1	0	0	89		0	89
	M4			9	A	0	9
				13	B	9	22
				43	C	22	65
				12	D	65	77
				12	E	77	89

Ek 8 Onarım sonrası çizelgelere ait başlangıç ve bitiş zamanı örnekleri (devam)

<b>J08</b>	1	0	0	88		66	496
					Yuzey Muayene	7	73
					M4	9	82
					Yag Alma	10	92
					Temizleme	9	101
					Montaj	35	478
					Montaj	10	488
					Muayene	8	496
<b>J09</b>	1	0	0	177		102	302
					M3	32	134
					M4	38	172
					M5	34	210
					Temizleme	38	248
					Muayene	35	302
<b>J10</b>	1	0	0	208		26	329
					Yuzey Muayene	32	58
					M3	28	162
					M4	29	201
					M5	31	241
					Yag Alma	30	271
					Temizleme	32	303
					Muayene	26	329
<b>J11</b>	1	0	0	106		170	361
					M3	21	191
					M6	27	268
					Temizleme	29	332
					Muayene	29	361
<b>J12</b>	1	0	0	89		191	386
					M3	21	212
					M4	21	233
					Temizleme	22	270
					Muayene	25	386

## Ek 8 Onarım sonrası çizelgelere ait başlangıç ve bitiş zamanı örnekleri (devam)

## N12 c 100 As 5 Yöntem1 ile Onarılan Çizelge

<b>J01</b>	1	0	0	187		13	419
	Yuzey Muayene			13	A	13	26
	M3			19	B	83	102
	M5			19	C	102	121
	Yag Alma			19	D	121	140
	Temizleme			13	E	140	153
	Kontrol			70	F	229	299
	Montaj			17	G	299	316
	Muayene			17	H	402	419
<b>J02</b>	1	0	0	149		0	434
	M3			16	A	0	16
	M5			19	B	16	35
	Temizleme			15	C	40	55
	Kontrol			68	D	299	367
	Montaj			16	E	367	383
	Muayene			15	F	419	434
<b>J03</b>	1	0	0	182		0	210
	M3			19	A	0	19
	Temizleme			18	B	22	40
	Kontrol			96	C	65	161
	Montaj			26	D	161	187
	Muayene			23	E	187	210
<b>J04</b>	1	0	0	96		58	442
	Yuzey Muayene			8	A	58	66
	M3			10	B	66	76
	M5			11	C	76	87
	Yag Alma			11	C	76	87
	Temizleme			9	D	87	96
	Kontrol			40	E	367	407
	Montaj			10	F	407	417
	Muayene			8	G	434	442
<b>J05</b>	1	0	0	77		183	462
	M3			8	A	183	191
	M5			6	B	264	270
	Temizleme			8	C	328	336
	Kontrol			36	D	407	443
	Montaj			10	E	443	453
	Muayene			9	F	453	462
<b>J06</b>	1	0	0	188		0	402
	Yuzey Muayene			13	A	0	13
	M3			17	B	66	83
	M5			14	C	83	97
	Yag Alma			19	D	97	116
	Temizleme			19	E	116	135
	Kontrol			68	F	161	229
	Montaj			19	G	229	248
	Muayene			19	H	383	402
<b>J07</b>	1	0	0	89		0	89
	M4			9	A	0	9
	Temizleme			13	B	9	22
	Kontrol			43	C	22	65
	Montaj			12	D	65	77
	Muayene			12	E	77	89

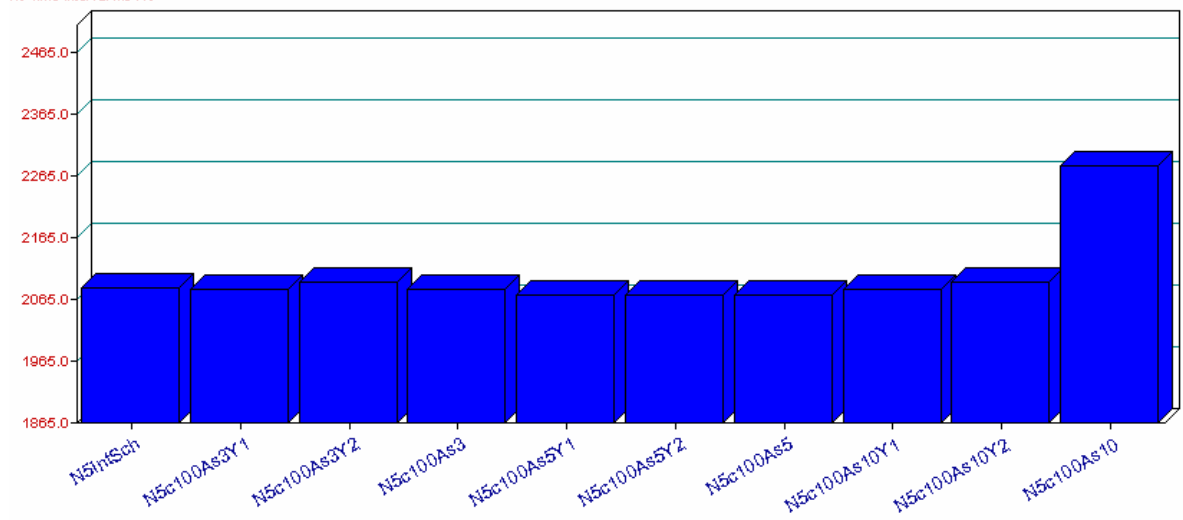
Ek 8 Onarım sonrası çizelgelere ait başlangıç ve bitiş zamanı örnekleri (devam)

<b>J08</b>	1	0	0	88		66	496
					Yuzey Muayene	7	73
					M4	9	82
					Yag Alma	10	97
					Temizleme	9	106
					Montaj	35	478
					Muayene	10	488
						8	496
<b>J09</b>	1	0	0	177		102	279
					M3	32	134
					M4	38	172
					M5	34	206
					Temizleme	38	244
					Muayene	35	279
<b>J10</b>	1	0	0	208		26	325
					Yuzey Muayene	32	58
					M3	28	162
					M4	29	201
					M5	31	237
					Yag Alma	30	267
					Temizleme	32	299
					Muayene	26	325
<b>J11</b>	1	0	0	106		162	357
					M3	21	183
					M5	27	264
					Temizleme	29	328
					Muayene	29	357
<b>J12</b>	1	0	0	89		191	383
					M3	21	212
					M4	21	233
					Temizleme	22	358
					Muayene	25	383

## Ek 9 Önerilen onarım yöntemlerinin çizelge performansı üzerine etkileri

### N5 için Muayene Sürecine Göre İşlerin Tamamlanma Zamanlar

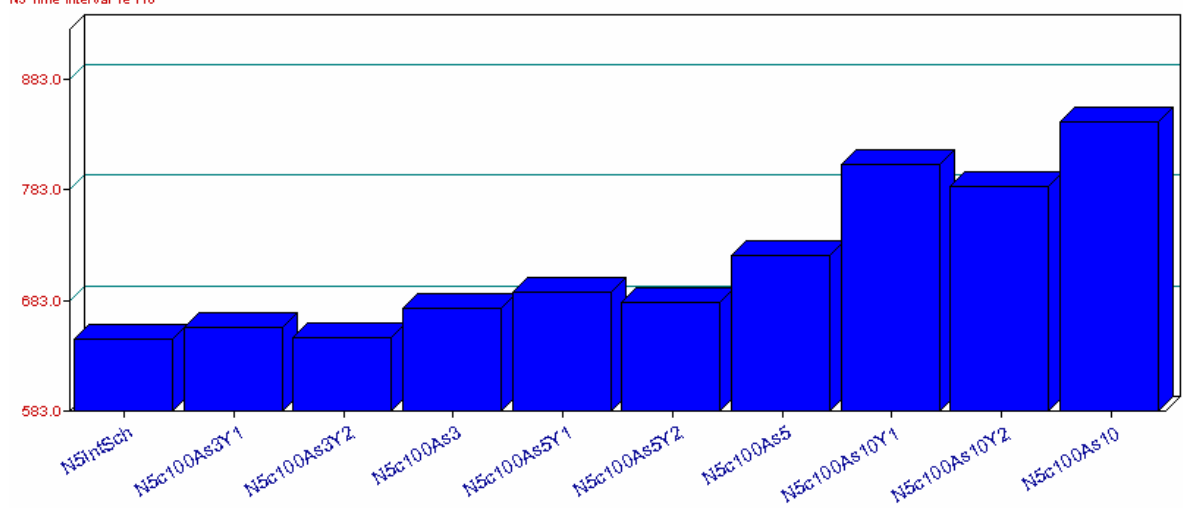
N5 Time Interval Mu Pro by Scenario



Scenario

### N5 için Temizleme Sürecine Göre İşlerin Tamamlanma Zamanlar

N5 Time Interval Te Pro by Scenario



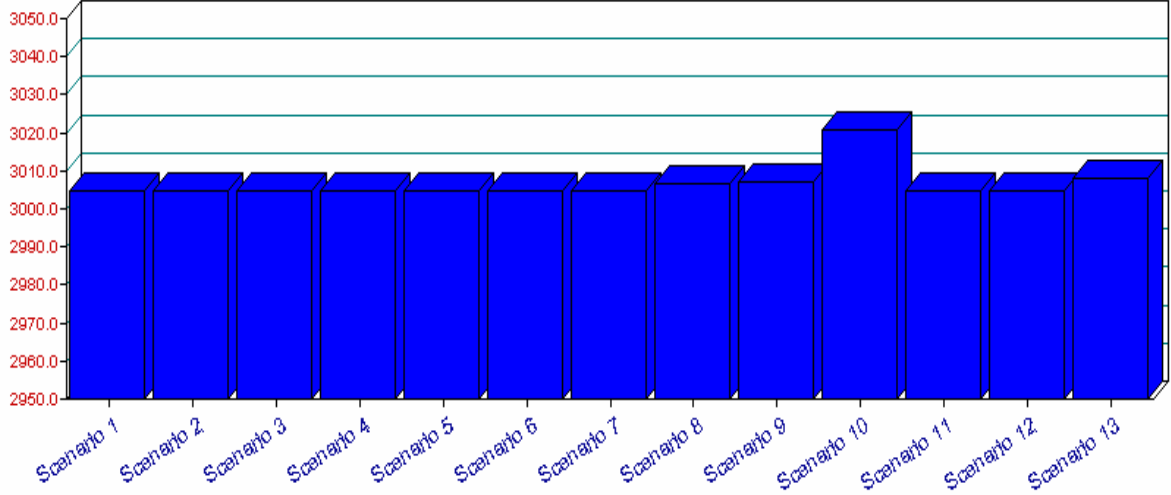
Scenario

Ek 9 Önerilen onarım yöntemlerinin çizelge performansı üzerine etkileri (devam)

### N8 için Muayene Sürecine Göre İşlerin Tamamlanma Zamanlar

N8 Time Interval Mu Pro by Scenario

N8 Time Interval Mu Pro

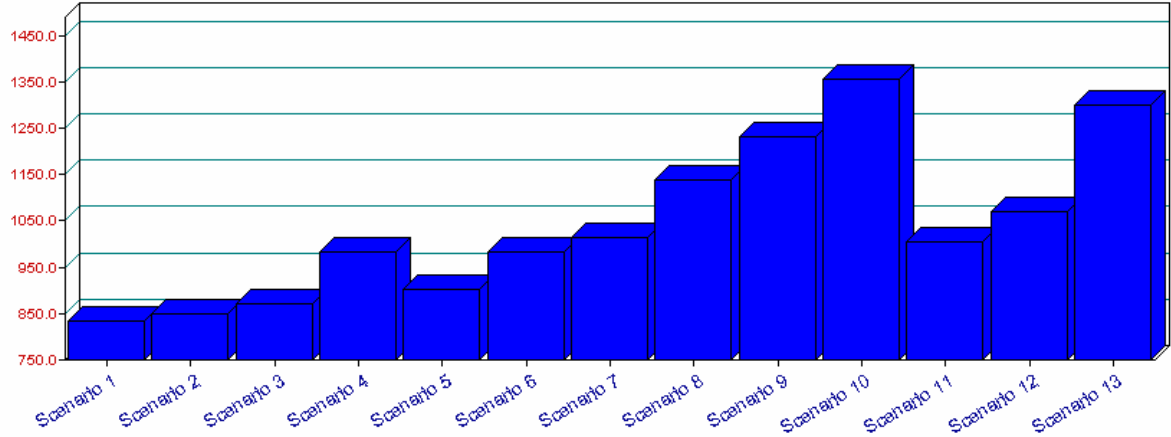


Scenario

### N8 için Temizleme Sürecine Göre İşlerin Tamamlanma Zamanlar

N8 Time Interval Te Pro by Scenario

N8 Time Interval Te Pro



Scenario

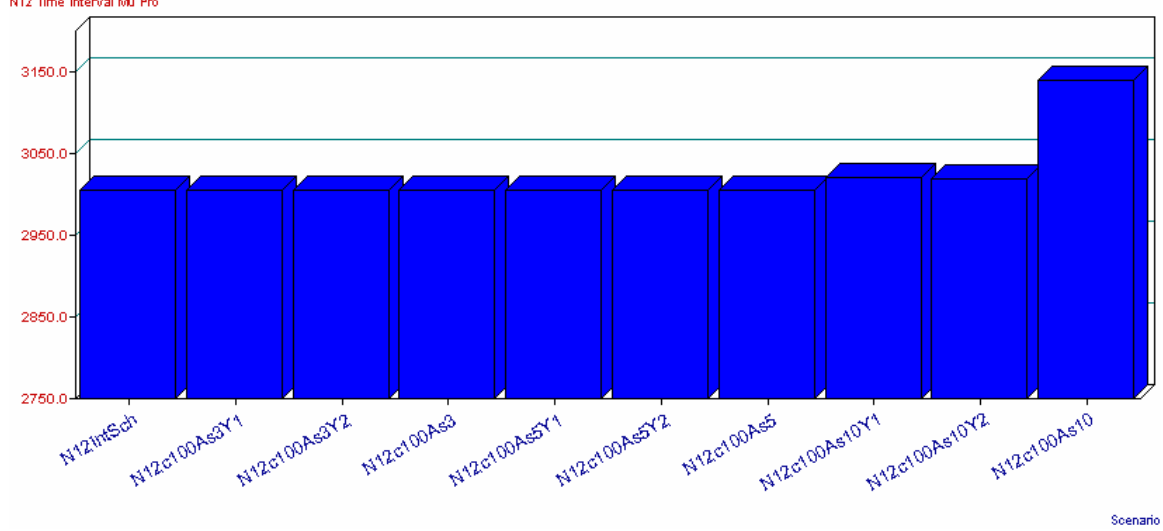
Scenario1=N8IntSch	Scenario7=N8c100As5Y2	Scenario11=N8c300As10Y1
Scenario2=N8c100As3Y1	Scenario8=N8c100As5	Scenario12= N8c300As10Y2
Scenario3=N8c100As3Y2	Scenario9=N8c100As10Y1	Scenario13= N8c300As10
Scenario4=N8c100As3	Scenario10=N8c100As10Y2	
Scenario5=N8c100As5Y1	Scenario10=N8c100As10	



Ek 9 Önerilen onarım yöntemlerinin çizelge performansı üzerine etkileri (devam)

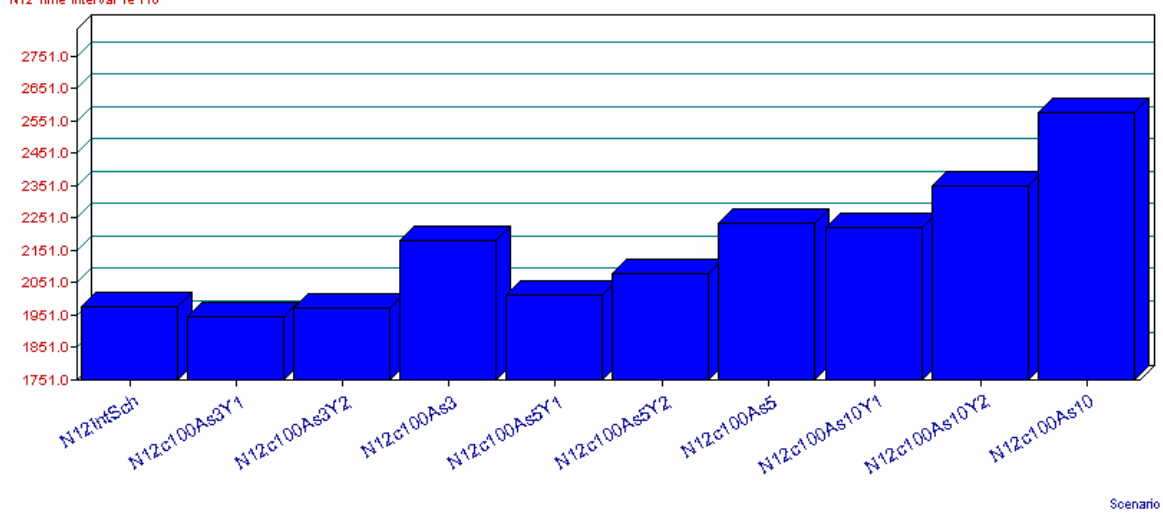
### N12, c 100 iken Muayene Sürecine Göre İşlerin Tamamlanma Zamanlar

N12 Time Interval Mu Pro by Scenario



### N12, c 100 iken Temizleme Sürecine Göre İşlerin Tamamlanma Zamanlar

N12 Time Interval Te Pro by Scenario

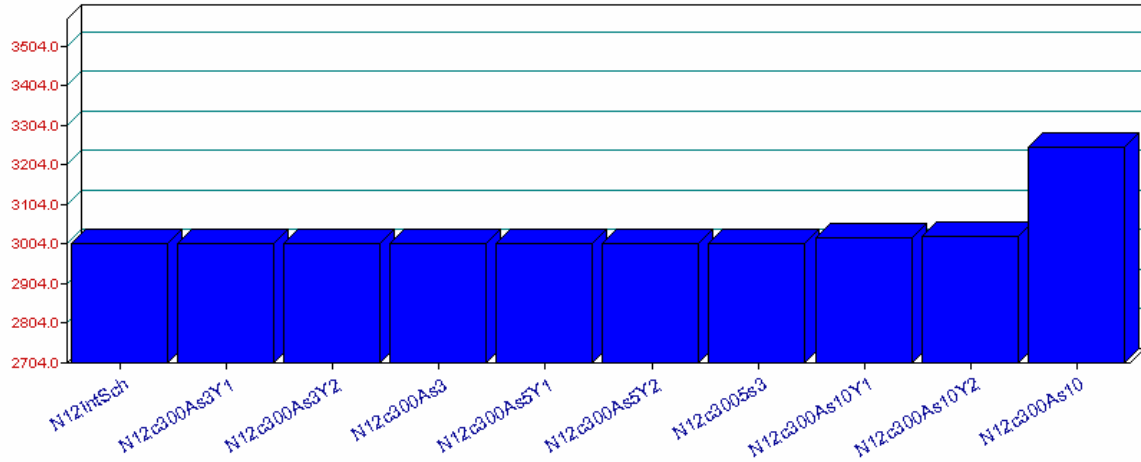


Ek 9 Önerilen onarım yöntemlerinin çizelge performansı üzerine etkileri (devam)

### N12, c 300 iken Muayene Sürecine Göre İşlerin Tamamlanma Zamanlar

N12 Time Interval Mu Pro by Scenario

N12 Time Interval Mu Pro

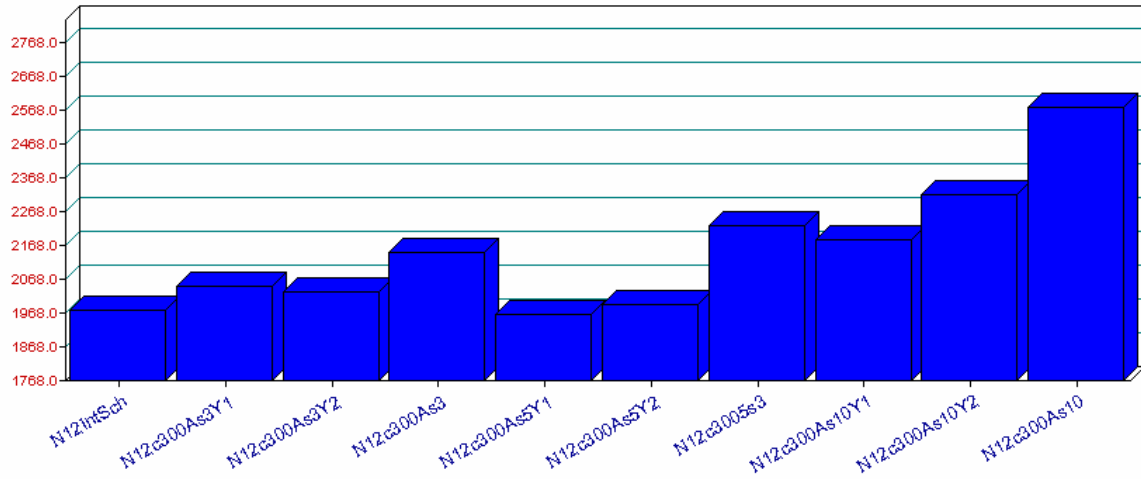


Scenario

### N12, c 300 iken Temizleme Sürecine Göre İşlerin Tamamlanma Zamanlar

N12 Time Interval Te Pro by Scenario

N12 Time Interval Te Pro



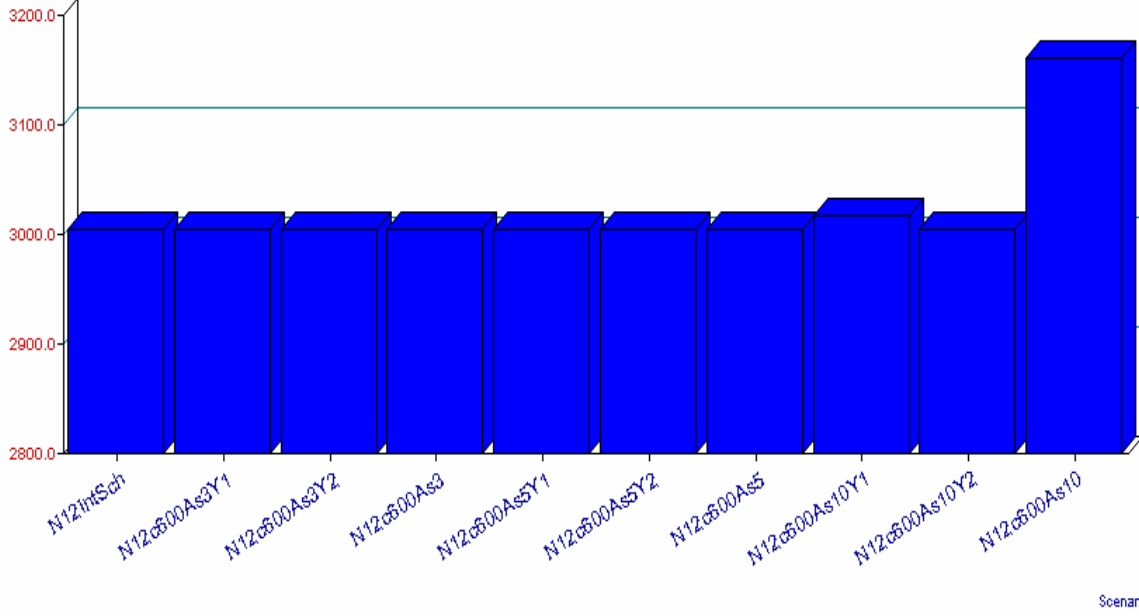
Scenario

Ek 9 Önerilen onarım yöntemlerinin çizelge performansı üzerine etkileri (devam)

### N12, c 600 iken Muayene Sürecine Göre İşlerin Tamamlanma Zamanlar

N12 Time Interval Mu Pro by Scenario

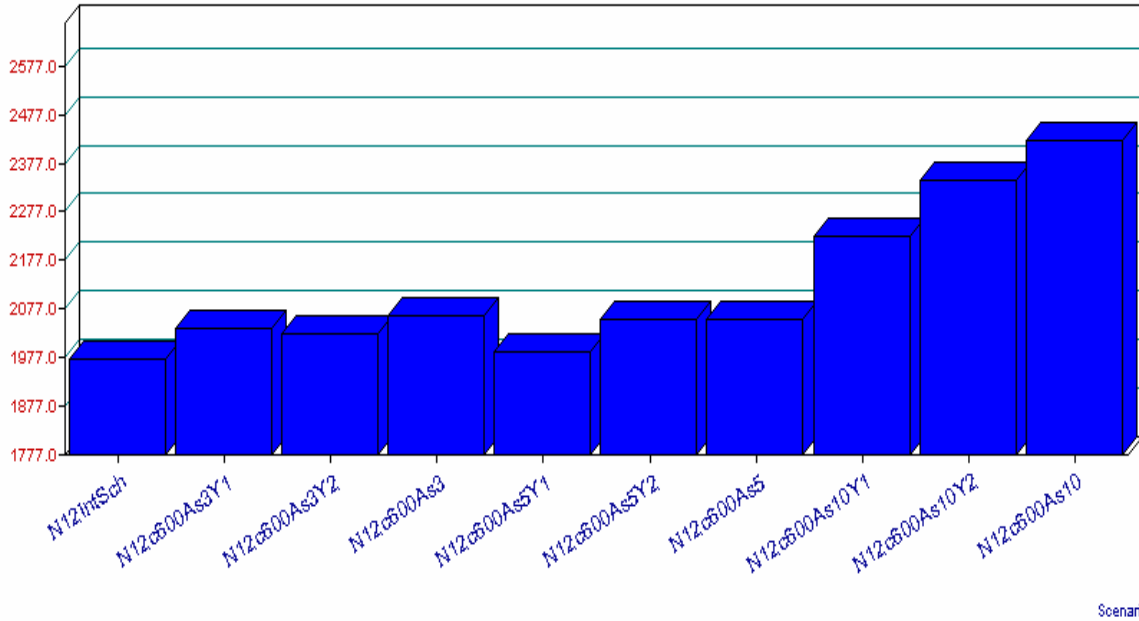
N12 Time Interval Mu Pro



### N12, c 600 iken Temizleme Sürecine Göre İşlerin Tamamlanma Zamanlar

N12 Time Interval Te Pro by Scenario

N12 Time Interval Te Pro

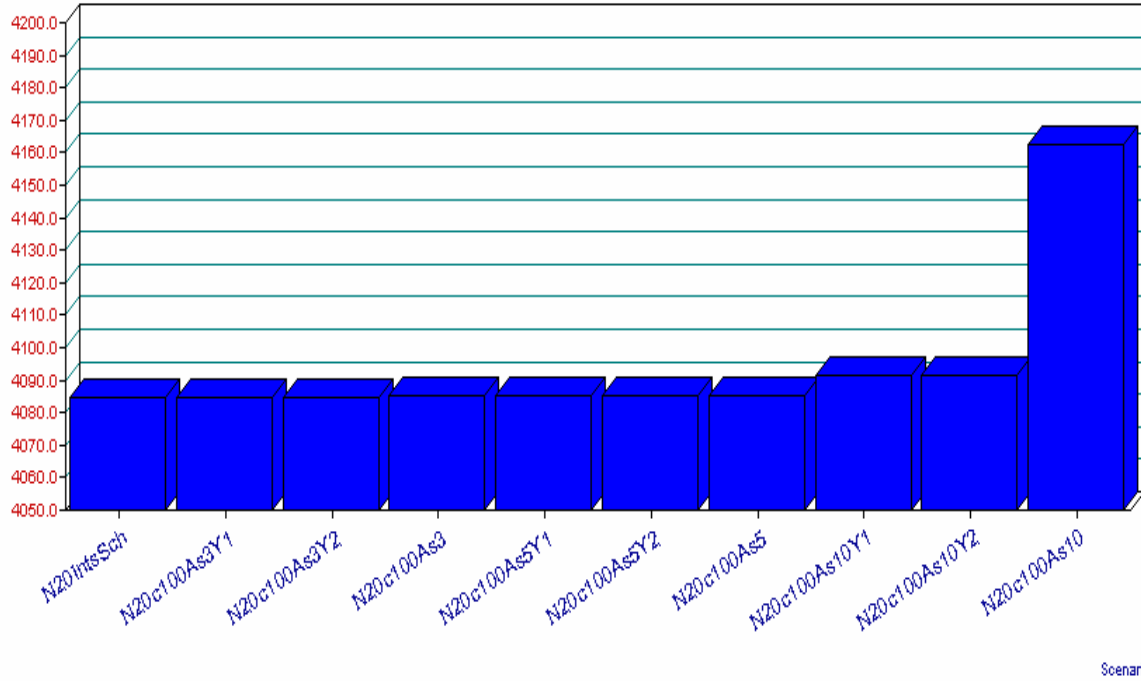


Ek 9 Önerilen onarım yöntemlerinin çizelge performansı üzerine etkileri (devam)

### N20, c 100 iken Muayene Sürecine Göre İşlerin Tamamlanma Zamanları

N20 Time Interval Mu Pro by Scenario

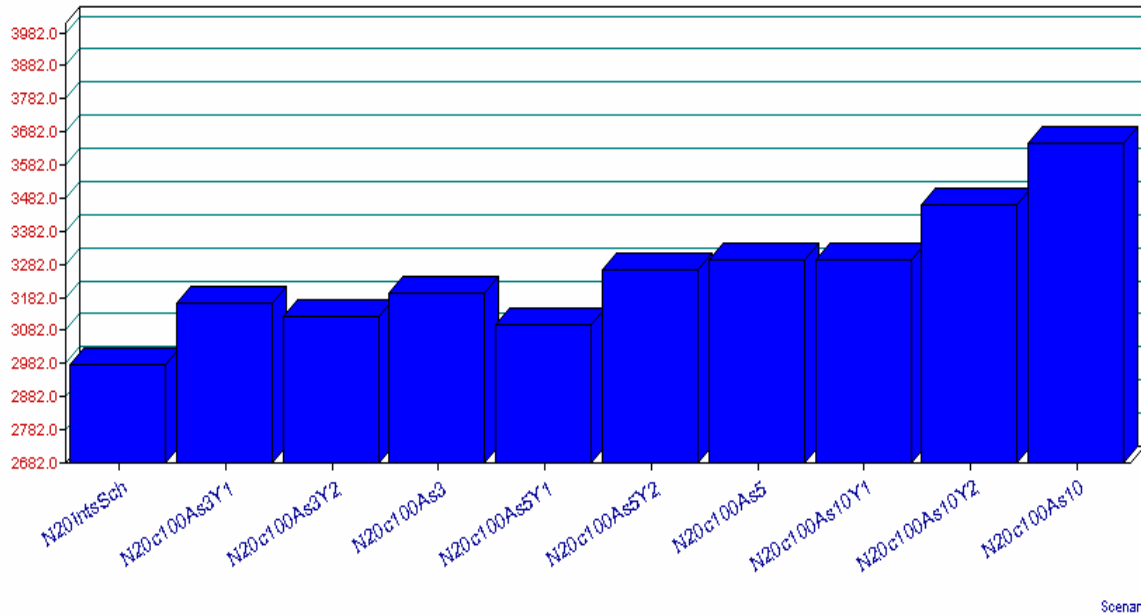
N20 Time Interval Mu Pro



### N20, c 100 iken Temizleme Sürecine Göre İşlerin Tamamlanma Zamanları

N20 Time Interval Te Pro by Scenario

N20 Time Interval Te Pro

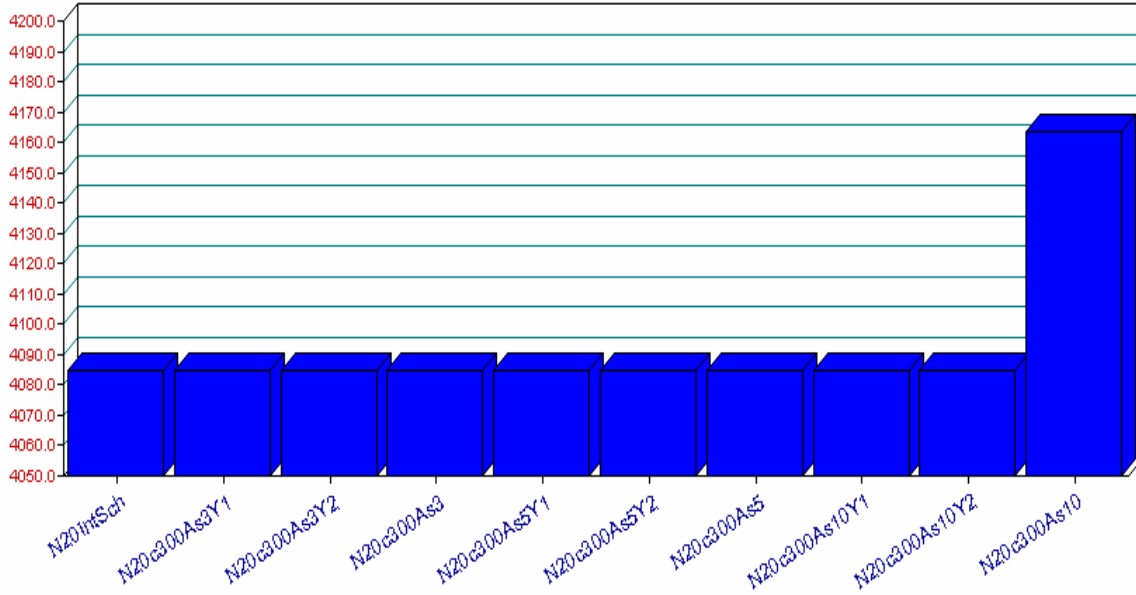


Ek 9 Önerilen onarım yöntemlerinin çizelge performansı üzerine etkileri (devam)

### N20, c 300 iken Muayene Sürecine Göre İşlerin Tamamlanma Zamanları

N20 Time Interval Mu Pro by Scenario

N20 Time Interval Mu Pro

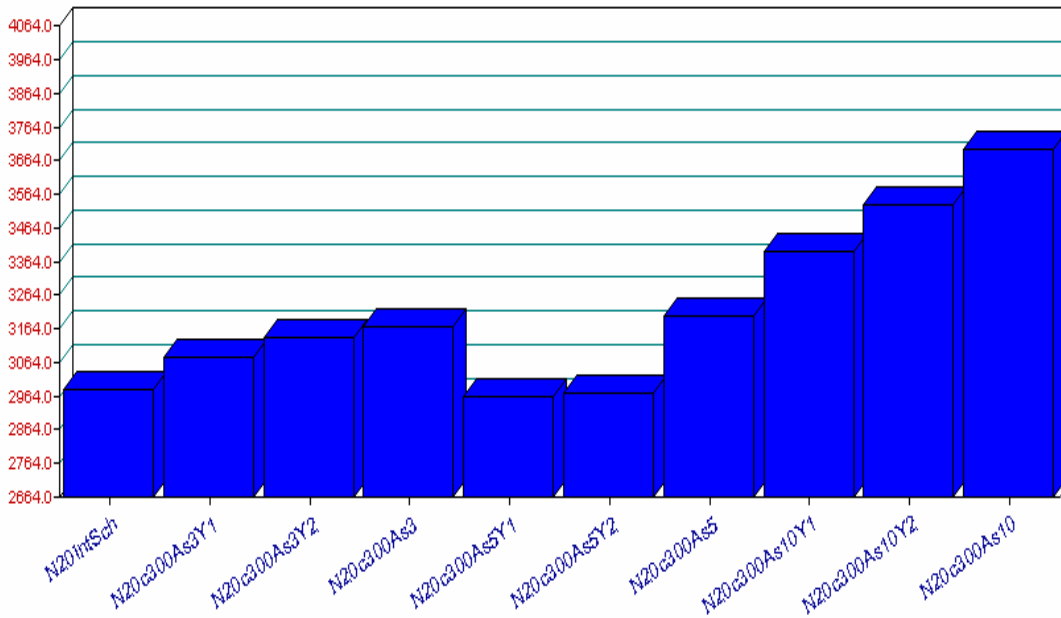


Scenario

### N20, c 300 iken Temizleme Sürecine Göre İşlerin Tamamlanma Zamanlar

N20 Time Interval Te Pro by Scenario

N20 Time Interval Te Pro



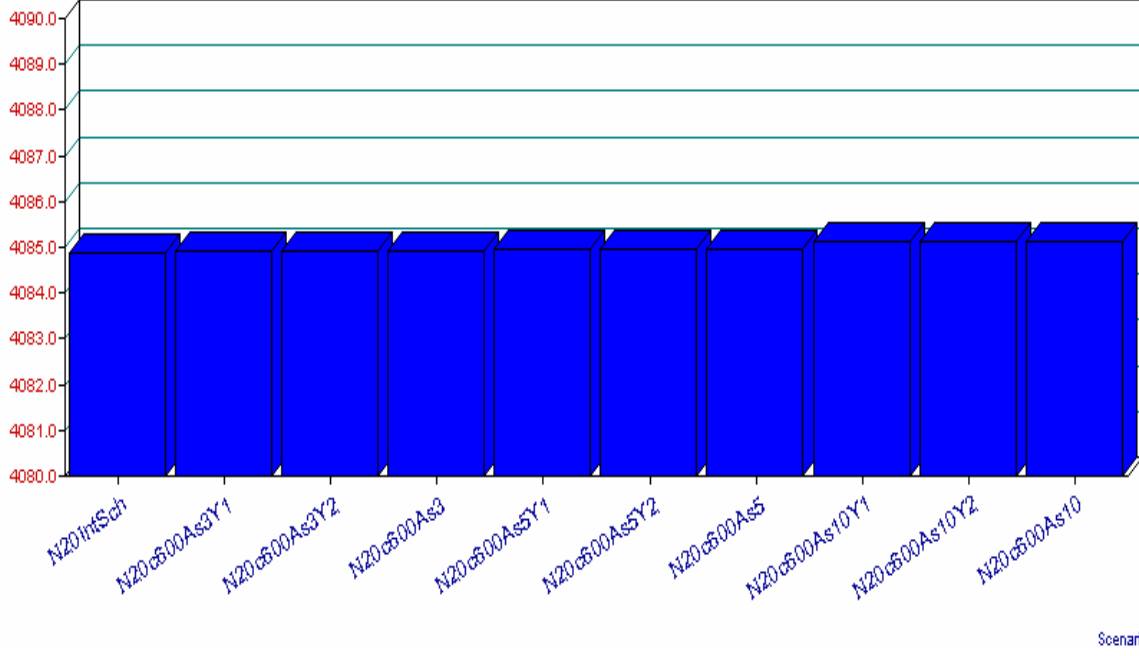
Scenario

Ek 9 Önerilen onarım yöntemlerinin çizelge performansı üzerine etkileri (devam)

### N20, c 600 iken Muayene Sürecine Göre İşlerin Tamamlanma Zamanlar

N20 Time Interval Mu Pro by Scenario

N20 Time Interval Mu Pro

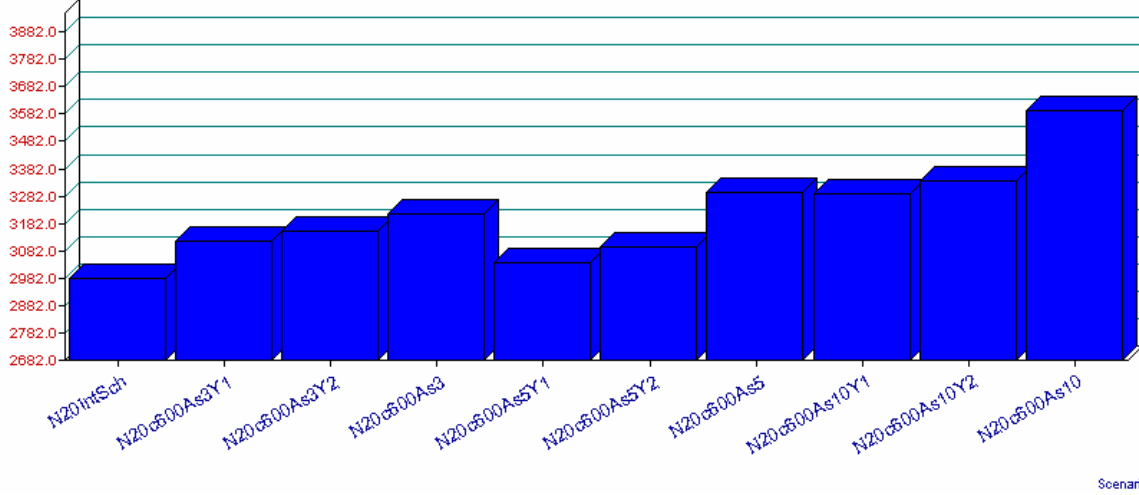


Scenario

### N20, c 600 iken Temizleme Sürecine Göre İşlerin Tamamlanma Zamanlar

N20 Time Interval Te Pro by Scenario

N20 Time Interval Te Pro



Scenario

## Ek 10 Önerilen iyileştirme yöntemlerinin karşılaştırılması

İş Sayısı		Sağa Kaydırma İle								Uyarlanmış Boşluk Doldurma Yordamı						Sıra Önem Değeri Yordamı						
		c		100 dakika		5 saat		10 saat		100 dakika		5 saat		10 saat		100 dakika		5 saat		10 saat		
		δ	3 saat	5 saat	10 saat	3 saat	5 saat	10 saat	3 saat	5 saat	10 saat	3 saat	5 saat	10 saat	3 saat	5 saat	10 saat	3 saat	5 saat	10 saat		
		Temizleme	Muayene	Temizleme	Muayene	Temizleme	Muayene	Temizleme	Montaj	Temizleme	Montaj	Temizleme	Montaj	Temizleme	Muayene	Temizleme	Muayene	Temizleme	Muayene	Temizleme	Muayene	
5	Verimlilik	η (%)	68,10	100,00	46,80	100,00	0,00	88,60	80,37	100,00	60,75	100,00	13,08	96,29	85,05	100,00	66,36	100,00	18,69	95,43		
	Kararlılık	ξ	0,70		1,20		3,58		0,88		1,34		4,50		0,77		1,21		4,85			
8	Verimlilik	η (%)	76,70	100,00	61,24	100,00	22,50	95,16	94,57	100,00	81,40	100,00	40,31	100,00	90,70	99,80	75,19	99,80	30,23	99,80		
	Kararlılık	ξ	0,92		1,54		3,88		0,99		1,41		4,05		5,47		5,95		6,82			
12	Verimlilik	η (%)	91,02	100,00	85,03	100,00	70,06	94,15	106,59	100,00	100,60	100,00	85,63	100,00	98,80	100,00	92,81	100,00	77,84	100,00		
	Kararlılık	ξ	1,64		2,78		5,56		1,43		2,03		4,98		1,59		2,10		5,28			
20	Verimlilik	η (%)	93,32	100,00	88,54	100,00	76,61	98,22	91,65	100,00	97,61	100,00	86,16	100,00	96,42	100,00	88,01	100,00	77,57	100,00		
	Kararlılık	ξ	1,71		2,87		6,08		2,69		2,96		5,11		3,12		4,89		6,15			
			300 dakika								300 dakika						300 dakika					
			3 saat		5 saat		10 saat		3 saat		5 saat		10 saat		3 saat		5 saat		10 saat			
8	Verimlilik	η (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	22,50	100,00	*	*	*	*	65,12	100,00	*	*	*	*	65,12	100,00		
	Kararlılık	ξ	0,12		0,20		0,59		*		*		0,50		*		*		0,50			
12	Verimlilik	η (%)	91,02	100,00	85,03	100,00	70,06	90,73	94,31	100,00	100,60	100,00	85,63	100,00	98,80	100,00	92,81	100,00	84,43	100,00		
	Kararlılık	ξ	1,09		2,04		3,78		1,09		1,37		2,64		0,98		1,66		2,91			
20	Verimlilik	η (%)	92,84	100,00	88,07	100,00	76,13	97,93	99,52	100,00	97,61	100,00	85,20	100,00	92,54	100,00	88,54	100,00	79,24	100,00		
	Kararlılık	ξ	1,58		2,70		5,52		2,29		2,68		4,53		3,51		3,41		5,17			
			600 dakika								600 dakika						600 dakika					
			3 saat		5 saat		10 saat		3 saat		5 saat		10 saat		3 saat		5 saat		10 saat			
12	Verimlilik	η (%)	97,60	100,00	91,62	100,00	76,65	95,16	95,21	100,00	105,39	100,00	89,22	100,00	108,98	100,00	102,99	100,00	88,02	100,00		
	Kararlılık	ξ	0,43		1,24		2,67		1,26		1,49		1,80		1,45		1,71		2,64			
20	Verimlilik	η (%)	92,84	100,00	88,07	99,11	76,13	97,93	102,39	100,00	97,61	100,00	85,68	100,00	88,54	100,00	92,60	100,00	80,67	100,00		
	Kararlılık	ξ	1,25		2,11		4,86		1,57		2,14		3,41		3,35		2,43		3,99			

