

52533

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ESNEK İMALAT SİSTEMLERİ VE
SİMÜLASYONLA BİR UYGULAMASI**

End. Müh. Vecihi Yiğit

**F.B.E. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hüseyin BAŞLIGİL

İSTANBUL, 1996



**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
1971**

ESNEK İMALAT SİSTEMLERİ VE SİMÜLASYONLA BİR UYGULAMASI

I. BÖLÜM: ESNEK İMALAT SİSTEMLERİ

1.1. İmalat Hücreleri.....	1
1.1.1. Hücre Tanımı ve Sınıflaması.....	1
1.2. İnsansız İmalat.....	3
1.2.1. İnsansız İşleme Merkezinin Özellikleri ve İstekleri.....	4
1.3. Nümerik Kontrol.....	5
1.3.1. CNC Tezgahları.....	5
1.3.2. CNC Uygulamaları.....	7
1.3.3. CNC'nin Adaptasyonu.....	7
1.3.4. CNC'lerin Dezavantajları.....	8
1.3.5. CNC ve Tasarım.....	9
1.4. Esnek İmalat Sisteminin Tanımı.....	9
1.4.1. İş İstasyonları.....	12
1.4.2. Yükleme/Boşaltma İstasyonu.....	12
1.4.3. Kontrol İstasyonu.....	13
1.4.4. Temizleme İstasyonu.....	13
1.4.5. Malzeme İletim Sistemi.....	14
1.4.6. Sabitleyice ve Palet.....	14
1.5. Esnek İmalat Sistemlerinde Esneklik.....	15
1.6. Esnek İmalat Sistemlerinin Özellikleri.....	16
1.7. Kontrol Sistem Yazılımı.....	17
1.7.1. Kontrol Sisteminin Yapısı.....	17
1.7.2. Yazılımın Tanımı.....	19
1.7.2.1. EİS Seviye 1 Operasyonları.....	19
1.7.2.2. EİS Seviye 2 Operasyonları.....	19
1.7.2.3. EİS Seviye 3 Operasyonları.....	20

1.7.3. İş Parçası Rotası.....	21
1.7.4. Veri Dağıtımı.....	21
1.7.5. Sistem Sorgulaması.....	22
1.7.6. Sistem Takibi.....	22
1.8. Parça ve İş İstasyonu Seçimi.....	23
1.8.1. Parça ve Makina Seçimi.....	23
1.8.1.1. Seçim Yöntemi.....	24
1.8.2. Temel Adımlar.....	25
1.8.3. Parça ve Tezgahların Önseçimi.....	26
1.9. EİS Tasarımlarının Değerlendirilmesi.....	27
1.9.1. Aday EİS Konfigürasyonlarını Değerlendirme.....	28
II. BÖLÜM: ESNEK İMALAT SİSTEMİ İLE İLGİLİ PROBLEMLER	
2.1. Esnek İmalat Sistemleri İle İlgili Problemlere Genel Bir Bakış.....	31
2.2. Esnek İmalat Sistemleri'nde Çizelgeleme Problemi.....	32
2.2.1. Esnek İmalat Sistemleri'nde Çizelgeleme Kuralları.....	36
2.2.2. Bilgiye Dayalı Çizelgeleme Sistemi.....	38
2.3. Esnek İmalat Sistemleri'nde Planlama Problemleri.....	40
2.4. Esnek İmalat Sistemleri Kontrol Problemleri.....	41
2.5. Esnek İmalat Sistemlerinin Performansına Yükleme ve Rotalama Kararlarının Etkisi	42
2.5.1. Yükleme ve Rotalama Modelleri.....	44
2.5.1.1. Yükleme Modelleri.....	44
2.5.1.2. Rotalama Kararları.....	47
2.5.2. Araştırma Hipotezleri ve Simülasyon Prosedürü.....	49
2.6. Literatür Araştırması.....	50
2.7. Esnek İmalat Sistemlerinde Gerçek Zamanlı Çizelgeleme.....	54
2.7.1. Gerçek Zaman Çizelgeleme Mekanizması.....	55
2.7.2. Hesaplamaya Dayalı Deneyler.....	57
2.7.3. Gözönüne Alınan EİS.....	58
2.7.4. Test Problemi.....	59

2.7.5. Sonuçlar.....	60
2.8. Esnek İmalat Sistemlerinde Dinamik Yükleme ve Süzme.....	63
2.8.1. Çalışmanın Hedefi.....	65
2.8.2. Deneysel Çatı.....	66
2.8.2.1. Simüle Edilen EİS Modeli.....	67
2.8.2.2. Üretim Karışımları.....	68
2.8.2.3. Yükleme ve Süzme Kuralları.....	69
2.8.3. Simülasyon Çalışmaları.....	70
2.8.3.1. Deneylerin Tarifi.....	71
2.8.2.3. Performans Ölçüleri.....	71
2.8.4. Sonuçlar.....	73
2.9. Esnek İmalat Sistemleri'nin Çizelgelenmesi.....	73
2.9.1. Kontrol Modülünün Yapısı.....	76
2.9.2. Simülasyonla Statik Çizelgeleme.....	76
2.9.2.1. Sistem ve Sonuçlar.....	77
III. BÖLÜM: ESNEK İMALAT SİSTEMLERİ'NDE BİR SİMÜLASYON	
.UYGULAMASI	
3.1. Esnek İmalat Sistemlerinde Simülasyon.....	78
3.2. Simülasyon Çalışmalarında Dikkat Edilecek Hususlar.....	81
3.2.1. Modelleme ve Modelin Geçerliliği.....	82
3.2.1.1. Amaçların Tam Olarak Tanımlanamaması.....	82
3.2.1.2. Modelin Kurulması İçin Gerekli Olan Verilerin Detay Seviyesinin Saptanması.....	82
3.2.1.3. Yönetimle Ortak Bir Alanda Fikir Birliği Olmalıdır.....	83
3.2.1.4. Uzmanların Simülasyon Çalışmaları Üzerine Yeterli Bilgiye Sahip Olmamaları.....	83
3.2.2. Simülasyon veya Canlandırma Yazılımı.....	83
3.2.2.1. Uygun Olmayan Bir Yazılımın Seçilmesi.....	84
3.2.2.2. Canlandırmanın Yanlış Yapılması.....	84

3.2.3. Modellenen Sistemdeki Belirsizliklerin Modelin Doğruluğu Üzerindeki Etkileri.....	84
3.2.3.1. Dağılımların Oluşturulması.....	85
3.2.3.2. Yanlış İhtimal Dağılımının Kullanılması.....	85
3.2.3.3. Makina Bozulma Zamanlarının Tam Olarak Modellenememesi.....	85
3.2.4. Deneysel Tasarım / Analiz.....	85
3.3. Bir EİS Tasarımı ve Simülasyon Çalışması.....	86
3.3.1. Siman 3.5 İle Sistem Simülasyonu.....	86
3.3.1.1. Sistemin Tanımlanması.....	86
3.3.1.2. Sistemin Analizi.....	91
3.3.1.2.1. Sistemde Kullanılan Değişkenler.....	91
3.3.1.2.2. Parametreler.....	91
3.3.1.2.3. Varsayımlar.....	91
3.3.2. Algoritma.....	92
3.4. Programlar ve Sonuçları.....	93
3.4.1. En Kısa İşlem Süresine Sahip Önce Kuralı Model Programı....	94
3.4.2. En Uzun İşlem Süresi Önce Kuralı Model Programı.....	101
3.4.3. İlk Gelen Önce Kuralı Model Programı.....	108
3.4.4. Deneysel Program.....	115
3.4.5. En Kısa İşlem Zamanı Önce Kuralı Sonucu.....	118
3.4.6. En Uzun İşlem Zamanı Önce Kuralı Sonucu.....	122
3.4.7. İlk Gelen Önce Kuralı Sonucu.....	125
3.4.8. Uygulama Sonuçları.....	128
3.5. SONUÇLAR.....	132
KAYNAKLAR.....	133
ÖZGEÇMİŞ	

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezimin hazırlanmasında bana yön veren yardım ve hoşgörüsüyle yanımda olan hocam sayın Doç. Dr. Hüseyin Başlıgil'e teşekkür ederim. Ayrıca yardımlarını esirgemeyen sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa Özbayrak'a ve Arş. Gör. A. Kürşat Türker'e de teşekkürü borç bilirim. Yüksek Lisans öğrenimimin başlangıcından itibaren maddi ve manevi yardımlarını gördüğüm Emopar A.Ş Genel Müdürü sayın Yük. Mühendis Erhan Karazlı' yada teşekkürü borç bilirim.

Ocak 1996

Vecihi YIĞIT

ÖZET

Esnek İmalat Sistemlerinin tasarımı, kurulması ve işletilmesinde simülasyon çok önemli bir araçtır. Son zamanlarda simülasyon teknikleri birçok alanda özellikle, imalat sistemlerindeki optimizasyon çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Bununla birlikte bilgisayar ve mevcut paket programlar sayesinde daha karmaşık sistemlerin incelenmesi mümkün olmuştur.

Esnek İmalat Sistemleri, insansız üretimle ürünün elde edildiği yegane ve tek bütünleştirilmiş sistemlerdir. Bölüm 1'de Esnek İmalat Sistemlerine giriş yapılmıştır. Alt sistemleriyle birlikte yapısal açıdan tanıtılmış, esneklik kavramı üzerinde durulmuş, özellikleri ve istekleri açıklanmıştır.

Bölüm 2'de Esnek İmalat Sistemleriyle ilgili problemler ele alınmıştır. Ele alınan problemlerden sıralama ve yükleme problemi üzerinde durulmuş ve çeşitli çizelgeleme kuralları verilmiştir. Çizelgeleme kurallarının performansı, seçilen kritere ve üretim sisteminin konfigürasyonuna bağlıdır. Çizelgeleme kuralları, otomatik sistemlerin performansı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Çünkü, bu sistemlerin bütün parçaları birbirleriyle sıkıca bağlantılıdır. İlk önce bir performans ölçüsü seçip, ondan sonra değişik çizelgeleme kurallarının bu kriter üzerindeki etkileri araştırılmalıdır. Ayrıca işletim problemlerinden olan çizelgeleme problemiyle ilgili olarak literatür araştırması yapılmıştır. Önemli görülen araştırmalar incelenmiş ve çizelgeleme kurallarının performans kriterlerinin üzerindeki etkileri açısından bir fikir edinilmeye çalışılmıştır.

Sistem tasarlanırken dizayn safhasıyla işletme safhasını ayrı ayrı ele almak gerekir. Fabrikanın dizaynı standart bir karışıma göre yapılır. Üretim yönetimindeki kontrol kuralları hakkında ise, sistem işletimini üretilecek karışıma adapte edecek yaklaşımlar görülür. En yaygın yaklaşım prosesi iki safhaya böler:

1. Yükleme; işleri üretime sokabilmek için sistemin girişinde işlerin sıralanmasıyla tutarlı olmalıdır.
2. Süzme; bir makinada üretim için bekleyen işlerden, yüklenecek olanların seçimiyle tutarlı olmalıdır.

Üçüncü bölümde ise, birinci ve ikinci bölümde yapılan çalışmalar gözönüne alınarak bir Esnek İmalat Sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan bu sistemin parça sıralama ve yükleme probleminin optimizasyonu için simülasyonla çalışmalar yapılmıştır. Simülasyon için Systems Modeling Corporation tarafından geliştirilen Siman 3.5 paket programı kullanılmıştır. Çeşitli çizelgeleme kriterleri kullanılmış ve çizelgeleme kriterlerinin sistem performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Sonuçlar yorumlanarak problem çözülmeye çalışılmıştır.

ABSTRACT

The simulation in design, installation and operation of flexible manufacturing systems (FMS), is an important tool. Recently, simulation techniques are used extensively at many fields especially in optimization of manufacturing systems. Together with this, with the help of computers simulation applications have been expanded to more complex systems.

The flexible manufacturing is an integrated and unmanned system. In chapter I, an introduction is given about FMS and FMS's sub systems, and flexibility term are investigated and explained.

In chapter 2, the problems of FMS are investigated, and sequencing and loading problems are included and various scheduling rules are derived. The performance of scheduling rules depends very heavily on the criterion chosen as well as on the configuration of the production system at hand. Scheduling rules can have a large impact on performance measures in automated systems, because all components of such systems are tightly interconnected. One shall have to carefully select a suitable performance measure and then simulate the effects of various scheduling rules on that criterion.

Design stage and the operating stage are in a more markedly separate manner when system is designed. Regarding the former, the design of plant is carried out making reference to a standard mix, while with regard to the control rules for the operational production management, an approach is sought which can adapt dynamically the management of the plant to the effective mix to be produced. The most common approach subdivides the process into two phases:

1. Loading, consistent in the sequencing of the jobs at the entrance of the system so as to make them accessible for production.
2. Dispatching, consistent in the choice of jobs to be loaded from those waiting to be produced by a machine.

In chapter 3, an FMS is designed according to applications which are studied in chapter 1 and 2. A simulation application is made for the optimization of loading and dispatching problem of designed system. Siman 3.5 packet program which is developed by Systems Modeling Corporation is used for simulation. Various performance criteria are used and scheduling rules on system performance are also investigated. As a result a conclusion is given about FMS problem solution.

BÖLÜM I

1.1. İmalat Hücreleri

Bir imalat hücresinde parça işleme kavramı genellikle çekirdek bir ekipman olarak bir NC tezgahı etrafında gelişir. Tezgah bazında ve imalat hücresi bazında hücre, tekbir tezgahtan tam otomatik esnek imalat sistemine kadar geniş bir yelpazeyi kapsamaktadır. Esnek İmalat Hücresi (EİH) ve Esnek İmalat Sistemi (EİS) bazen birbirlerinin yerlerine kullanılmakla beraber, sistem büyüklüğüne, karmaşıklığına, uygulama alanına ve kullanıcıya bağlı olarak aralarında pek çok farklar bulunmaktadır.

Hücreler genellikle gruplanmış bir veya iki CNC iş istasyonundan oluşmaktadır. Parça yükleme ve boşaltma genellikle entegre edilmiş bilgisayar kontrollu robot veya kısmen otomatize edilmiş sistem veya insan gücüyle elle yapılmaktadır.

Günümüzde pekçok imalat sistemi iki-üç yada dört tezgahtan oluşturulmuş ve tamamen otomatize edilmiş yada çokaz insan müdahalesini gerektiren son derece esnek ve yüksek otomasyon sahibi bu tip hücreleri tercih etmektedir.

1.1.1. Hücre Tanımı ve Sınıflaması

En genel anlamda hücre, tek bir yada birkaç tane gruplanmış CNC iş istasyonundan oluşmuş ve yardımcı ekipmanla desteklenmiş ve tüm sistemin bilgisayar kontrolü altında tutulduğu yüksek esneklik ve otomasyon sahibi imalat birimleri olarak tanımlamak mümkündür. Günümüzde imalat hücreleri belli bir seviyede otomatize edilmiş parça yükleme, boşaltma, teslim ve değiştirmeyide kapsamaktadır.

Temel olarak imalat hücreleri dört genel kategoriye ayrılabilir:

1. Geleneksel tekbir NC tezgahından oluşan hücreler.
2. Tekbir CNC iş istasyonundan oluşan hücreler.

3. Entegre edilmiş birden fazla CNC iş istasyonundan oluşmuş hücreler.
4. Esnek İmalat Sistemi.

Tekbir NC tezgahından oluşan hücrenin temel özelliği sınırlı depolama, otomatik takım değiştirici ve geleneksel olarak bir tezgah bir operatör prensibi ile çalışıyor olmasıdır.

Pekçok durumda bu tezgahlar belli bir parça ailesinin imalatı için gruplanmışlardır. Fakat hala bir tezgah bir operatör prensibine uygun olarak çalışmaktadırlar. Bazende bir operatör iki veya üç tezgaha birden bakabilir. Parça üretim çevrimi tezgahın çalışmaya başlaması ve durması bir operatör tarafından kontrol edilmektedir, dolayısıyla bir tezgah çalışırken diğer tezgahları yüklemek veya boşaltmak mümkündür.

Tekbir CNC iş istasyonunun oluşturduğu hücre, son derece otomatize bir iş istasyonu, tam otomatik iş değiştirme mekanizması, sürekli bir palet akımı, iş değişimini sağlayan bir robot kolu veya robot ve 220 takıma kadar kapasitesi olan bir takım magazini genellikle standart ekipmandır. Çeşitli değişikliklerle pekçok CNC iş istasyonu bulmak mümkündür. Kırılmış takımların otomatik değiştirilmesi, yüksek basınçlı soğutucu kontrolü, parça işleme simülasyonu bunlardan bazılarıdır. CNC iş istasyonu hücreleri hem tüm bir sisteme oranla çok ucuz olmaları, hem son derece esnek olmaları, hem yüksek derecede otomasyona haiz olmaları, hemde insansız üretime müsait olmaları bu sistemi çok cazip kılmaktadır.

Entegre edilmiş çok makinalı hücre aynı tür birden fazla genellikle dört CNC iş istasyonundan oluşmuş, ya malzeme iletim rotasıyla, ya Otomatik kılavuzlu araç (OKA), ya konveyör yada RGV ile beslenen, tüm tezgahların son derece yüksek teknoloji ve otomasyonla donatıldığı bir sistemdir. İş istasyonları hep aynı tip olabildiği gibi farklıda olabilir. İş parçaları paletler üzerinde sabitleyici ile sabitlenmiş olarak taşınırlar ve tüm iş istasyonları birbirine entegre edilmişlerdir.

Esnek İmalat Sistemi, bazen Esnek İmalat Hücresi olarakta anılır (EİH). Sistemin temel özelliği çok sayıda CNC iş istasyonu, otomatize edilmiş rassal hareket eden paletize edilmiş iş parçaları, sistemin tümüne çok ileri düzeyde kabiliyetleri olan bir yazılım ile kontrol altında tutulmasıdır. Esnek İmalat Hücresi'nin temel özelliği hammaddenin otomatik akışı bir parçanın tamamının sistemde işleniyor olması, parça yıkama, kurulama, muayene ve parçanın sistemden stoğa alınmasına kadarki işlemlerin tümünün tamamen otomatize olmasıdır. Sistem son derece yüksek verimli, kaliteli parça üreten, son derece az insan gücüne ihtiyaç duyulan bir yapı arz etmektedir.

1.2. İnsansız İmalat

İnsansız imalat genellikle bir operatör kontrolü veya katkısı olmaksızın bir CNC iş istasyonunun bir veya daha fazla vardiya (8-16 saat) çalışmasıdır. Parça, takımlar ve CNC programları ya iş istasyonuna yüklenmiştir yada ihtiyaç duyulduğunda otomatik olarak yüklenmektedir.

İnsansız imalat, parçaların düzgün ve uygun olarak tezgaha gönderilmesi ve bu parçaların enaz bir vardiya süresince işlenmesini sağlayacak olan kesici takımların iş istasyonlarına yüklenmiş olması ile başlar.

İnsansız imalatla ilgili cevaplanması gereken soruları şu şekilde sıralamak mümkündür;

1. Parçalar ne tür malzemeden üretilecek? Çelik, dökme demir, alüminyum, alaşım?
2. İş istasyonu ne kadar süreyle insansız çalışacak?
3. Ne tür bir tedbir insansız imalatı garanti etmektedir?
4. Kaç çeşit parça üretilmektedir?
5. Ne kadar fazladan bir hazırlık ve zaman gereklidir (Parça programları, sabitleyiciler, takımlar veya malzeme iletimi değişiklikleri)?

İnsansız imalatın gerçekleştirilmesi büyük ölçüde iş istasyonlarının sistem içindeki entegrasyonuna, uyumluluğa, insansız imalatın temel ilkelerinin harfiyen yerine getirilmesine ve tüm bir sistemin kontrolünün kolay ve anlaşılabilir bir yazılımla sağlanmasına bağlıdır.

İş istasyonları bireysel olarak, parça sıralamaya, takım değiştirme, otomatik hata tespit ve otomatik sondaj yeteneklerine sahip olması gerekmektedir. İnsansız imalatın faydaları, temel olarak EİH yada EİS'nin alt setlerinin faydalarıyla aynıdır. Bunlar, yüksek tezgah kullanım oranı, daha az yer işgal etmesi ve daha az insan gücüne ihtiyaç duyulmasıdır. Yan imalat stoku, iş sıralama programına bağlı olarak değiştiği için insansız imalatla fazlaca etkilenmemekle beraber eğer tüm bir sistem tümüyle otomatize edilmiş ve otomatik akış sağlanmışsa bu oran düşecektir.

Fakat klasik sistemlerden farklı olarak metod mühendisliği ve parça programlamasının getirdiği fazladan bir maliyet sözkonusudur. Sistem ve yardımcı ekipman sistemin müdahalesiz çalışabilmesi için fazladan bir çaba ve koordinasyon gerekmektedir. Genellikle ya işleme merkezi yada tornalama merkezi'nden oluşmuş bir veya çok iş istasyonundan oluşmaktadır.

1.2.1. İnsansız İşleme Merkezi'nin Özellikleri ve İstekleri

1. Parça büyüklüğü otomatik olarak ölçülmekte.
2. Parçalar otomatik olarak teslim edilmeli, yüklenmeli ve boşaltılmalıdır. Genellikle bu iş istasyonuna entegre edilmiş bir robot koluyla, otomatik olarak getirilmiş palet üzerindeki iş parçalarını almak suretiyle yapılmaktadır.
3. Özel parça tanımlama otomatik olarak yapılmaktadır ve bu iş için uygun bir NC programı gerekebilir.
4. Gerektiğinde parça, takım yada tezgaha fiziki bir istenmeyen etki olmadan evvel tezgah tamamiyle durdurulmalıdır. Bu tip durdurular genellikle aşırı yüklenmelerden,

tezgahın güç limitinin aşılmasından, ekonomik ömrü bitmiş takımların kullanılmasından ve aşırı iş yüklenmesinden kaynaklanmaktadır.

5. Bazı talaşlar aynadan ya hızlı bir dönüş yaptırılarak yada bir sonraki iş parçası yüklenmeden evvel hava üflenerek temizlenir. Ancak talaş kontrolü genel bir problemdir ve takım değiştirmelerde kırılmış ve temizlenmemiş talaşlar problem çıkarabilir. Uzun süreli insansız imalatta biriken talaşların temizliği genellikle sıkıntı yaratır.
6. Parçalar kolaylıkla döndürülebilmeli ve bütün işlemlerin yapılabilmesini kolaylaştırmalıdır.
7. Otomatik takım uzunluğu ölçümü ve takım çapı belirleme ve otomatik takım değiştirme insansız üretim için şarttır.

1.3. Nümerik Kontrol

Nümerik Kontrol (NC), tezgahların ve diğer proses makinalarının bir dizi kodlanmış organize komutlar listesiyle yönlendirilmeleridir. Tezgah, kontrol ünitesine depolanmış olan program dahilinde hareket eder.

1.3.1. CNC Tezgahları

CNC tezgahlarında ikinci kuşak NC tezgahlarına oranla bulunan yenilikler şöyle sıralanabilir:

1. **Depolanmış programlar:** Parça programları tezgahın kontrol ünitesinin hafızasında saklanabilir ve defalarca kullanılabilir.
2. **Düzeltilme imkanı:** Hafızada saklanan program kolaylıkla düzeltilebilir. Programa ilaveler yapılabilir veya üzerinde başka değişiklikler yapılabilir.
3. **Temel tezgah operasyonları hafızada saklanabilir:** Bazı ortak operasyonlar, örneğin delik açmak, matkaplama ve delik iç yüzeyini işleme gibi rutin operasyonlar

kontrol ünitesinin hafızasında saklanabilir ve sadece belli parametreler vermek suretiyle boyutlar hesaplanır ve operasyonlar gerçekleştirilir.

4. **Alt programlar:** Tekrarlanan işlemler için alt programlar hazırlanıp gerektiğinde çağrılmak suretiyle program boyutu kısaltıldığı gibi zamandanda kazanmak mümkün olur.
5. **Geliştirilmiş Kesici Boyut Ayarlaması:** Parça programı yazıldığında genellikle belli bir takım gözönüne alınarak program hazırlanır. Kesicinin, iş parçasına göre pozisyonunu belirlemede kesicinin (takımın) boyutunun (çapının) gözönüne alınması gerekmektedir. Eğer parça programı hazırlanırken düşünülen takım kesme operasyonu başlayacağı anda yoksa CNC kontrol ünitesi düşünülen takım boyutu ile gerçekte kullanılan takımın boyutu arasındaki farkı kaldırmak için bir başlangıç noktası ve tekrar ayarlamaya uygundur. Parça programı, kesici boyutundan bağımsız olarak yazılabilir. Bu durum, operasyon esnasında takım kırılması veya ekonomik ömrünü doldurması halinde kullanılacak ikinci takımın aynı takım olmaması durumundada söz konusudur.
6. **Optimize edilmiş işlem şartları:** Çok duyarlı hesaplama yeteneği ve bilgisayar teknolojisinin inanılmaz hızı kesme şartlarının, kontrol ünitesi tarafından sürekli olarak kontrol altında tutulmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla kesme hızı, kesme derinliği ile mükemmel şekilde eşleşmekte, besleme hızı her zaman güçle orantılı olarak optimize edilmektedir.
7. **İletişim imkanları:** CNC kontrol ünitesinde bilgisayar teknolojisinin kullanılıyor olması diğer bilgisayar kullanılan ortamlarla olan iletişimi kolaylaştırmaktadır. Bu nedenle diğer bilgisayar ortamlarından tezgaha doğrudan program yada data yüklemek mümkündür.
8. **Programın doğruluğunun gösterilmesi imkanı:** modern kontrol sistemleri hazırlanan programın parça üzerinde işlenişini animasyonla göstermek suretiyle, parça işlenmeden doğruluğunun görülmesini sağlamaktadırlar.
9. **Sorgulama:** Tüm modern CNC tezgahları sorgulama yazılımı ile donatılmışlardır ve tüm elektronik operasyonlar önceden kendi kendine kontrol edilirler. Mesela, hafıza ekibini kontrol için rutin sorgulama sözkonusudur.

10. **Yönetim bilgisi:** Tüm fonksiyonlar CNC kontrol ünitesinden idare edildiğinden birtakım kullanım ve verimliliğe ait bilgilere (parça işleme süresi, takım değiştirme süresi, gibi) erişmek kolaydır.

1.3.2. CNC Uygulamaları

Pekçok nedenden dolayı CNC tezgahları tercih edilmektedir. Bunların bazılarını şöyle sıralayabiliriz:

1. Güvenilir, yüksek kalitede parça üretimi söz konusu olduğunda.
2. Operasyonlar ve hazırlık süreleri çok fazla ve pahalı olduğunda.
3. Tezgahın işleme süresi, hazırlık süresiyle çok orantısız bir şekilde kısa olduğunda.
4. Temin süresi klasik operasyonlarda çok uzun olduğunda..
5. Parçalar şekil ve operasyon olarak çok karmaşık olduğunda ve insan hatasının kaçınılmaz olduğu durumlarda.
6. Bir grup parça üzerinde tasarım değişiklikleri ve bireysel küçük değişiklikler söz konusu olduğunda.
7. Muayene maliyetinin toplam maliyet içinde önemli bir yer tuttuğu durumlarda.
8. Takım maliyeti ve takım deposu problem olduğu durumlarda.

1.3.3. CNC'nin Adaptasyonu

CNC imalatın otomotize edilmesinde en büyük faktördür. Esneklik çok büyük bir avantajdır ve bir parçanın işlenmesinden diğer parçanın işlenmesine geçişte gereken sadece kısa bir hazırlık süresi ve yeni parçanın programının devreye sokulmasıdır. Mevcut program üzerinde değişiklikleri ve ilaveleri anında yapmak mümkündür. Takım maliyeti önemli oranda düşürülmüştür ve parça programı takım boyutu ile sınırlı değildir. CNC adaptasyonu için temel sebepler şöyle sıralanabilir:

1. CNC esnek bir otomasyon teklif etmektedir. Farklı istekleri ve değişiklikleri karşılamak kolaydır, bir işten diğer bir işe geçiş son derece basittir.
2. CNC aynı kalitede ve formatta binlerce parça üretebilir.
3. Tek bir parça programı benzer parçaların üretiminde küçük değişikliklerle kullanılabilir.
4. CNC operasyonları işçinin insiyatifini, yönetimin eline vermiştir, bağımlılığı kaldırmıştır.
5. Küçük ve orta boyuttaki yığın üretim ekonomik hale geldiğinde yüksek orandaki yığın üretimine gerek kalmamıştır.
6. Tezgah daha az durmakta, üretime daha çabuk geçmekte, üretimde düzgünlük sağlanmakta, üretim süresi kısalmakta, yarımamul oranı ve hatalı mamul oranı düşmektedir.
7. Tasarım değişikliklerinde zaman kaybı en aza indirilmektedir.
8. Tezgahlar arası yığılmalar azalmakta, stoğa bağlanan sermaye daha çabuk diğer kanallara aktarılabilmektedir.
9. İşçi ücretini ya ortadan kaldırmakta, yada enaza indirmektedir.
10. Etnak imalat ve insansız üretimde CNC'ler ilk adımdır.
11. İnsan psikolojisinin üretime etkisi ortadan kalkmakta, insana bağımlılık sözkonusu olmaktan çıkmaktadır.

1.3.4. CNC'lerin Dezavantajları

CNC'lerin başlıca dezavantajlarını şöyle sıralayabiliriz;

- Başlangıç yatırımı çok yüksektir.
- Bakım ve onarımda uzman ekip ve hassasiyet gerekmektedir.
- Yardımcı ekipmana ihtiyaç duymaktadır ve çoğunlukla çok ileri teknoloji gerektirdiği için pahalıdır.
- Parça programcısı gerekmektedir ve özel bir eğitim verilmek zorundadır.
- İşsizliğe sebep olmaktadır.

- Tüm atölye ve fabrika bazında organizasyonda değişikliklere ihtiyaç duyulmaktadır.

1.3.5. CNC ve Tasarım

Bir parça üretileceği zaman ilkönce tasarım yapılmalıdır. Sonra yeter detayda çizimi yapılmalıdır. CNC'lerde üretilecek bir parçada ilk durum tasarım aşamasında gözönüne alınmak zorundadır. Klasik tasarımlarda tasarım daha çok tasarımı yapanın tercihinde kalmıştır. CNC ise tasarımda çeşitli durumları gözönüne almayı gerektirir. Değer analizi olarak bilinen ve amacı daha ucuz ve daha kolay üretilebilir tasarım yapmak olan bir analiz yapılması zorunludur. Bu genellikle daha önce tasarımı yapılmış olan parçalar üzerinde değişikliklere gidilmek suretiyle yapılmaktadır. Bu hem tasarım aşamasında hemde üretim aşamasında, parça programlamada, takım seçiminde, sabitleyici ve palet seçiminde pekçok işin elimine edilmesi demektir.

Diğer sözkonusu durum ise, bilgisayar teknolojisinin kullanılıyor olmasıdır ki, tasarım işleminde otomatik olarak bilgisayar teknolojisi yardımıyla yapılmasını bir noktada zorunlu kılmaktadır. Boyut belirleme, çizimin yapılması, taramalar vs. otomatik olarak bilgisayarda yapılmakta, tasarlanmış parça otomatik olarak veriye dönüştürülüp (otomatik kod üretimi) ve doğrudan CNC kontrol ünitesine aktararak üretime hazır hale getirilmektedir.

1.4. Esnek İmalat Sisteminin Tanımı

Esnek İmalat Sistemi (EİS) yarıbağımsız CNC iş istasyonlarının oluşturduğu ve bu istasyonların bir malzeme iletim sistemi aracılığıyla birbirlerine bağlandığı ve tüm bir sistemin merkezi bir bilgisayar sistemiyle kontrol altında tutulduğu sistemlerdir. Tanımda anlaşılacağı üzere EİS' in üç temel fiziki unsuru ortaya çıkmaktadır. Bunlar ;

1. Potansiyel olarak bağımsız CNC iş istasyonları

2. Parça bazında takımların iş istasyonlarına ve sabitleyici istasyonlarına taşınmasını sağlayan bir iletim ağı
3. İş istasyonlarını, parçaların ve iletim araçlarının koordineli bir şekilde çalışmasını sağlayan kontrol ağı.

Bir çok EİS'nde işlenmemiş parçalar, iş istasyonlarından ayrı bir yerde duran sabitleme istasyonlarında paletler üzerinde sabitlenirler. Daha sonra bu paletler malzeme iletim sistemi aracılığıyla parçaların işleneceği iş istasyonlarında kuyruğa girerler. Düzgün olarak tasarlanmış sistemlerde bu kuyruklar nadiren boş olurlar, yani herhangi bir iş istasyonu başladığı zaman beklemekte olan bir iş parçası hemen boş olan iş istasyonuna atanır. Palet değişim süresi kısa olduğu zaman iş istasyonunun boş bekleme süresi gayet kısadır. Sistemdeki iş istasyonu sayısı genellikle 2 ila 20 yada daha fazladır. Malzeme ve/veya takım iletim sistemi karosel, konveyör, kart ve robot veya OKA yada bunların bir, ikisinin kombinasyonu olabilir. Fakat önemli olan iş istasyonu, malzeme iletim sistemi ve kontrol elemanları gelişmiştir ve esnek bir imalat ve verimliliği başarmaktadırlar.

EİS'ni anlamak için mevcut yaklaşımlar içinde en kolay olanı parçaların sistem içinde akışını takip etmektir. Tipik bir EİS verilen bir parça listesini rastgele olarak işleyebilmektedir. Yani, verilen bir zaman diliminde parça listesindeki parçaların birisini veya birkaçını sistemin herhangi bir yerinde görmek mümkündür. Eğer işlenecek parçalar pek çok sayıda takıma ihtiyaç duyuyorsa takım mağazininin kapasitesi kısıtı nedeniyle tüm parçaların aynı yerde görmek mümkün olmayabilir. Bu durumda parça listeleri yığın (batch) dediğimiz gruplara ayrılmakta, dolayısıyla takım ihtiyacı EİS içinde karşılanabilir seviyede tutulmaktadır. Her yığın için iş istasyonlarının magazinleri takımlarla donatılacaktır.

Parça akışı yükleme boşaltma istasyonlarında başlayacaktır, ki burada dökümü yapılmış parçalar ve sabitleyiciler tutulmaktadır. EİS kontrol bilgisayarı sistemdeki her parçanın ve iş istasyonunun durumunu takip etmektedir. Kontrol bilgisayarının amacı

mümkün olduğu kadar her parça için üretim hedeflerini bulmasını sağlamak ve iş istasyonlarını çalışır durumda tutmaktır. Parça seçiminde, sisteme ilk yollanacak olanlar, o anda üretim hedeflerinin gerisinde kalacaklardır. Sonra bu parçalar yükleme/boşaltma istasyonunda uygun palet/sabitleyici kombinasyonu bulunması halinde, yükleme istasyonu bilgisayar terminali gerekli sinyali alacak ve parçayı ilgili palet'e yükleyecektir. Aynı terminalden parça numarası ve palet kodu girilecek, merkezi bilgisayar yükleme istasyonuna malzeme iletim aracını (OKA, RGV vs.) yollayacak, bu araç paleti iş istasyonları kuyruğuna taşıyacaktır. İş istasyonu önündeki kuyruktaki palet, iş istasyonu boşalttığı zaman harekete geçerek (bilgisayar aracılığıyla) ve palet taşıma sistemiyle mekik (shuttle) üzerine aktarılacaktır.

Taşıyıcı bu taşıma işleminden sonra bilgisayardan gelen hareket emri üzerine tezgah önünden ayrılacaktır. Parça ve palet istasyondaki operasyon bitinceye kadar istasyon üzerinde kalacak sonra yeni parçanın işlenebilmesi için mekik üzerinde değişecektir. Yeni parça ve palet iş istasyonu üzerine taşındığı zaman uygun NC parça programı EİS kontrol bilgisayarında iş istasyonunun kontrol ünitesine yüklenecektir. Bu yükleme işleminden sonra, istasyon operasyona başlayacaktır.

Operasyonu bitmiş parça mekik üzerinde bir sonraki gideceği noktaya gönderilmek üzere bilgisayarın boş bir taşıyıcı yollamasını beklemektedir. Eğer herhangi bir sebepten dolayı parça gideceği noktaya ulaşmamışsa bilgisayar ilgili dosyaları kontrol edecek ve alternatif bir nokta tespit edecektir. Eğer gidecek bir nokta varsa, bilgisayar EİS içindeki şartları (gecikme, uygunluk, yükleme, boşaltma) kontrol edecek ve uygun bulunduğu takdirde o noktaya gönderecektir. Eğer uygun görmezse parça ya sistem içinde taşıyıcı üzerinde dolaştırılacak yada arada bir istasyona yada bir uygun bir nokta buluncaya kadar geçici depoya boşaltacak ve gideceği nokta için şartlar uygun olduğu zaman tekrar yükleyip ilgili noktaya gidecektir. Son nokta genellikle boşaltma istasyonudur ve parça paletin üzerinde alınır ve paletler yeni bir parça yüklenmek üzere hazırlanır.

Bilgisayar kontrol fonksiyonu, yukarıda izah edildiği şekilde parça, palet taşıyıcı sistem, iş istasyonu, yükleme/boşaltma istasyonu, iş sıralama, yükleme ve trafik koordinasyonunu kapsamaktadır. Ayrıca istatistiksel amaçlar için tüm imalat bilgilerini ilgili istasyonlardan toplayıp rapor edecektir.

1.4.1. İş İstasyonları

Çalışma İstasyonları, ürüne yönelik parça tipleriyle uyumlu olan makinalardan meydana gelmelidir. Örneğin, talaşlı şekillendirme sistemlerinde makinalar genellikle yatay işleme merkezli CNC'lerdir. Bazı sistemler, işlenecek parçaların operasyonları farklıysa tüm makina tiplerini içerebilirler. Tek amaçlı makinaları içeren içeren sistemlerde vardır. Ayrıca metal işleme merkezlerinde yıkama makinaları, ölçme makinaları yada diğer tiplerde kontrol makinaları olabilir.

1.4.2. Yükleme/Boşaltma İstasyonu

Yükleme/Boşaltma (Y/B) İstasyonunun temel görevleri, malzeme iletim sisteminin ulaşabileceği bir pozisyonda paletlerin yüklenip boşaltılabilmesi, paletlerin rahatlıkla manevra yapabilmesi, iş parçalarının rahatlıkla yüklenebilmesi, boşaltılabilmesi parçalar üzerinde kalan talaşların temizlenebilmesi için yıkama imkanıyla donatılmış olması ve iş parçasının bir sonraki yükleme veya boşaltma için tutulabilecek bir nokta olmasını sağlamaktır. EİS kontrol bilgisayarıyla iletişim kurmayı sağlayacak bir terminalle donatılmış olması gerekir .

Normal olarak, palet desteği hidrolik olarak hareket eden bir tabladır ve malzeme iletim sistemi ile koordineli olarak çalışır ve uygun bir noktadan paletler iletim sistemine yüklenirler. Bu mekanizma (palet) genellikle talaşların veya diğer istenmeyen maddelerin parça üzerine yapışmaması için bir koruma mekanizmasıyla desteklenmiştir. Bu parçanın yönünün ve bağlama şeklinin düzgünlüğü için gereklidir.

Parça yükleme/boşaltma mekanizması genellikle forklift yada robot şeklindedir. Genellikle parçalar çok ağır olduğundan bu gereklidir. Bitmiş ve hammadde depoları yükleme/boşaltma istasyonuna yakın olmalıdır. Bu taşıma sistemi parçaların palet üzerine sabitlenebilmelerinin kolaylıkla ve hızla yapılmasına imkan vermektedir. Y/B istasyonu işleme sırasında ve sonrasında sabitleyici-palet ikilisi temizlenmeli ve bu iş bir spray hortumu vasıtasıyla yapılmalıdır.

1.4.3. Kontrol İstasyonu

Merkezi bilgisayar EİS alanından uzakta olabilir fakat çeşitli seviyelerde iletişim EİS'ni kontrol ve işletmek için gereklidir. Bu iletişimin büyük bir kısmı, iş istasyonları, malzeme iletim sistemi, Y/B istasyonu hakkındaki raporlar şeklindedir. Her iş istasyonu kendi kontrol ünitesinde kuyruktaki işlerin bir listesini gösterirler.

Merkezi kontrol istasyonu her iş istasyonu için daha genel bilgilerde rapor etmektedir. Bunlar, parça tanımlanması, operasyonun durumu (beklemekte, işlemekte, yıkanmakta vs.) iş sıralaması, takım atanması, beklenen değişiklikler parça programının durumu, paletin durumu, malzeme iletim sisteminin durumu vs.'dir.

1.4.4. Temizleme İstasyonu

Temizleme istasyonları EİS hattından ayrı yada hattın bir parçası olarak bulunabilirler ve Y/B istasyonunun bir modülü olarak çalışırlar. Temizlikten amaç parçanın, paletin ve sabitleyicinin yıkanması ve talaşlardan temizlenmesidir.

1.4.5. Malzeme İletim Sistemi

1. Parça taşıma:

İki temel parça taşıma şekli vardır. Bunlar parçaların sistemin dışından sistemin içine taşınması ve sistem içinde taşınmasıdır. Sistem içinde taşınma, parça taşıma ile birlikte, palet, sabitleyici ve palet montajında taşınmasıdır. Hammaddenin sistem içine taşınması genellikle manuel sistemle yapılmaktadır. Çeşitli vinçler, forkliftler yada robotlar çok ağır parçaların kaldırılması ve taşınmasında kullanılır. Paletler ve işlenmemiş parçalar Y/B istasyonunun yanında yer alırlar. Sistem içerisinde pekçok palet hareket tasarımı söz konusudur. Üç temel araç OKA, konveyör ve robotlar daha çok bu taşıma işi için kullanılırlar.

2. Tampon Depolama:

İş istasyonlarındaki mekik mekanizmasından başka çeşitli şekillerde bulunan tampon bölgeler mevcuttur. Bu tip geçici konaklama noktaları üretimin esnekliği parçaların sıralanması ve dağılımı için çok büyük avantajdır. Özellikle tezgah bozulmalarında ve takımların kırılması yada bulunmaması durumunda bu daha da belirgin hale gelir. En belirgin tampon bölge, arı bir taşıma sisteminin bitmiş yada yarımamul parçaların gideceği noktanın meşgul olması durumunda sistem içinde dolaştırılmasıdır. Tampon bölgeler geçici depolama merkezlerinden sadece bir palet-sabitleyici kombinasyonunun birinden ötekine geçmesi istenmemesi halinde ayrı tutulmalıdır.

1.4.6. Sabitleyici ve Palet

EİS'te kullanılan paletler genellikle iş istasyonlarını sağlayan firmadan temin edilir ve yükleme/boşaltma istasyonu, mekikle uyumlu olmalıdır. Ayrıca, tüm paletlerde iş parçasının bağlanma biçimini ve açısını sağlayan yardımcı ekipman mevcuttur. Ayrıca,

birden fazla operasyon için yüzey ve açı dönüşümünün indeksini sağlarlar. Önemli bir konu bu mekanizmanın korunmasıdır ve pekçok hata bu mekanizmanın talaş vs ile açı ve yüzey hassasiyetinin yitirilmesinden kaynaklanmaktadır.

Sabitleyici'ler çok çeşitli şekillerde olabilir. Sabitleyici seçimi çok değişik faktöre bağlıdır. Temel imalat proses planı, kaç adet sabitleyici ihtiyacı olacağını tespit ederek başlar. Çevrim süresi doğru tahmin edilmelidir. Dolayısıyla aynı sabitleyici'lerin tekrar ne zaman kullanılacağı hesap edilerek gereksiz sabitleyici kalabalığının önüne geçilmiş olur.

1.5. Esnek İmalat Sistemlerinde Esneklik

Esneklik, bir imalat sisteminin, çalışma koşullarında ortaya çıkan değişimlerin veya çevreden kaynaklanan belirsizliklerin üstesinden gelme yeteneği olarak tanımlanmaktadır.

Esneklik, herhangi bir imalat sisteminin anahtar amacı ve toplam imalat performansının kritik bir ölçütüdür. Hazırlık süreleri azaldıkça küçük parti hacimli imalat daha ekonomik hale gelecektir. Bu durum organizasyonun kendi rekabet stratejisini ölçek ekonomisinden alan ekonomisine doğru değiştirmesine imkan tanımaktadır.

EİS, proses içi stok düzeylerinin azaltılması ve kaynakların daha verimli kullanılması ile geleneksel parti imalatına önemli miktarda avantajlar kazandırmıştır. Konvansiyonel sistemler ile karşılaştırıldığında, EİS ile elde edilen esneklik, geleneksel proses yatırımlarına göre ürünlerin daha uzun ömürlü olmalarını sağlamaktadır. Ayrıca, daha iyi ürün kalitesi, azaltılmış stok ve atölye alanı, daha kısa akış süresi ve pazar değişikliklerine daha hızlı yanıt verme gibi ilave faydalarda elde edilmektedir. Zaman içerisinde yöneticiler teknolojiyi daha iyi tanıdıkça ve yani donanım ve yazılımlar ortaya çıktıkça imalat sisteminin yetenekleri dahada iyiye gitmektedir.

EİS'teki esneklik ile ilgili kriterleri kısaca şöyle sıralayabiliriz:

1. Parça sayısı ile ölçülen esneklik.
2. Farklı rotalarda farklı parçaları ele alma yeteneği ile ilgili malzeme taşıma sistemi esnekliği.
3. Değişen fonksiyonlara uyarlanması ile ölçülen bilgisayar sistemi esnekliği.
4. Organizasyonel esneklik:
 - a. Parça karması ile ilgili iş esnekliği.
 - b. İşin işlenebildiği farklı rotalarla ölçülen çizelgeleme esnekliği.
 - c. Üretim programındaki değişikliklerin maliyetleriyle ölçülen kısa dönem esneklik.
 - d. Yeni üretime hazırlık maliyetleriyle ölçülen uzun dönem esneklik.

1.6. Esnek İmalat Sistemlerinin Özellikleri

Esnek İmalat Sisteminin temel özellikleri ve aynı zamanda esnek sistemlerle bu sistemlerin eşdeğeri olan klasik sistemlerin farkları sekiz gözlem altında açıklanabilir (Kusiak A, 1990): Bu gözlemler mevcut 50 civarında esnek imalat sisteminin analizi sonucuna dayanmaktadır. Burada iki imalat sisteminin eşdeğer olması, üretim hızı veya parça karması gibi aynı çıktıya sahip olması anlamında kullanılmıştır.

1. Bir EİS'nde makinaların ve malzeme taşıma sistemlerinin otomasyon derecesi, bu sistemin eşdeğeri olan klasik işleme sisteminden çok daha yüksektir.
2. Adamsız bir işleme hücresi, eşdeğeri olan adamlı bir işleme hücresinden daha az makina içerir.
3. Bir EİS'ndeki makinaların yerleşim düzenlemesi, kullanılan malzeme taşıma donanımının çeşiti tarafından belirlenir. En fazla kullanılan malzeme taşıma donanımları, mafsal kollu robotlar, iskelesi olan robotlar, OKA'lar ve istifleme vinçleridir.
4. Bir EİS için tasarlanmış proses planındaki hazırlıkların sayısı, eşdeğer bir klasik proses planındakinden önemli oranda daha azdır. Klasik proses planlamada, az sayıda işlem bir hazırlığa atanır. Bu, klasik makinaların ve malzeme taşıma sistemlerinin kısıtlı yetenekleri ile klasik üretim yönetiminde yaygın uzmanlık nedeniyledir. Bununla

beraber otomatik makina ve malzeme taşıma sistemlerinin daha büyük yetenekliliği ve etkinliği, üretim yöneticilerinin proses planlamadaki yaklaşımını değiştirmeye zorlamaktadır. EİS'teki proses planlamada, bir hazırlığa mümkün olan en fazla işlem atanmaya çalışılır. Bu toplanma yaklaşımı, klasik imalat sistemlerinde kullanılan uzmanlık yaklaşımına karşıttır.

5. Bir EİS'nde her makinayı yüklemdeki işleme süresi, eşdeğeri klasik işleme sisteminde olduğundan daha uzundur. Çünkü, gözlem 4'te belirtildiği gibi, EİS'te işlemler toplu halde gerçekleştirilmektedir.
6. Bir EİS'nde bilgi hacmi ve akışı, eşdeğeri klasik imalat sistemine göre fazladır.
7. EİS'nde imalat parti miktarlarını; sipariş miktarları, tertibat kapasitesi, takım dayanma süreleri gibi faktörler kuvvetli oranda etkiler.
8. EİS'nin tasarımı, sistemde gerçekleşen işlemler üzerinde bir etkiye sahiptir.

1.7. Kontrol Sistem Yazılımı

EİS Kontrol sistemi, sistem içinde bulunan tüm takımların, araçların ve makinaların tamamının kombine kontrolünü sağlamaktadır. Bunlar iş istasyonlarının kontrol üniteleri, malzeme iletim sistemi, sistem kontrol araçları, sistem iletişimi ve sistem bilgisayarlarıdır. Yazılım, tüm kontrol ve takip fonksiyonlarını, yüksek kullanımı sağlamak üzere icra eder. Kontrol sistemi, fonksiyonlarına göre düzenlenerek yapılmış olan tüm elemanların gözönünde bulundurularak kolaylıkla takibini sağlar.

1.7.1. Kontrol Sisteminin Yapısı

Karmaşık sistemlerin kontrolü genellikle hiyerarşik bir yapıda düzenlenmiştir. Bu yapı EİS için gerekli olan işlerin organizasyonu ve bu işlerin birbirleriyle olan ilişkisinin nasıl olacağı ile ilgilidir. Hiyerarşi içinde işler sistem içindeki rollerine göre düzenlenirler.

EİS hiyerarşik kontrol yapısını tanımlamanın en kolay olanı, klasik sistemlerle kıyaslanarak yapılabilir. Dört seviyeli kontrol yapısı sözkonusudur.

Birinci seviye, sistemin fonksiyonunu yerine getireceği üretim hedeflerini ve parametrelerini belirlemektir. Bu tüm sistemi kapsamaktadır, veri tabanı yönetim sistemini, malzeme ihtiyaç planlama (MİP), ana çizelgeleme ve kısa uzun dönem operasyonlar için iş önceliklerini ve ana sınırların ve çerçevenin belirlenmesini temin etmektedir.

İkinci seviye genel imalat ve destek işlerinden oluşmaktadır. Aynı zamanda parça-proses planını, NC programlarını, takım ve sabitleyici tasarımını, zaman standartlarını ve istenildiği an operasyon bilgilerinin sağlanmasını temin ederek tüm sisteme yardımcı olur.

Üçüncü seviye genel tesis koordinasyonunu sağlar. Üretim kontrol fonksiyonunu yerine getirir. Bu seviyede, iş parçaları mevcut kapasiteye göre ve ana çizelgelemenin öngördüğü şekilde sıralanırlar. Sonra, bu parçalar için iş siparişleri, operasyon paketi, rotalar, NC parça programları, takımlar, palet ve sabitleyici'ler alındıktan sonra faaliyete geçirilir. Üretim kontrol, her bir iş siparişini, parçaların sistem içindeki akışını, iş parçalarının bağıl geç kalması önceliğine göre atama yaparak kontrol eder.

Dördüncü seviye, kısım ve bireysel olarak iş istasyonları ile ilgilenir. Bu seviyede, kısım şefi üretim kararlarını alır (öncelik kurallarına göre istasyon yükleme, ekipman sağlanması ve en az yarı mamul envanteri, en az parça gecikmesini sağlamak gibi sistemin amaçlarını gerçekleştirecek yönde) ve iş gücü ihtiyacının teminini sağlar. Tezgah operatörleride bu seviyede fonksiyon gösterirler. Tezgahına iş yüklemek, boşaltmak, takımları yüklemek, gerekli değişiklikleri ve küçük tamirleri sağlamak operatörün işidir. Kısım şefine gerekli üretim bilgilerini ve işin o anki statüsünü bildirirler. Buradaki donanım tipik bir EİS için minimum seviyede gerekli olan sistemdir ve merkezi bilgisayar, malzeme iletim sistemi, nimerik kontrolü tezgahları ve takım deposunun iletişimini sağlamaktadır. Donanım harddisk ve teypler, optimal olarak kağıt okuyucu, yazıcı ve kontrol konsolundan oluşmaktadır. Yazılım fonksiyonları çeşitli alt fonksiyonlardan oluşmaktadır.

1.7.2. Yazılımın Tanımı

EİS yazılımı üç alt seviyeye ayrılmıştır. Bu fonksiyonlar tesis seviyesinde şu şekilde icra edilirler;

- Fabrika seviyesinde MİP
- Fabrika seviyesinde üretim planları
- Fabrika seviyesinde veri-tabanı yönetimi ve bilgi sistemi

Bu fabrika bazındaki fonksiyonlar tüm amaçlar ve üretim hedefleri için durdurulacak uzun dönemli hedeflerdir. Bu bilgiler genellikle ana bilgisayarlarda saklanır ve yukarıda sayılan üç seviyeli kontrol yapısı için girdi oluştururlar.

1.7.2.1. EİS Seviye 1 Operasyonları

Bu seviye aşağıdaki alanları kapsamaktadır:

- EİS için stratejik karar vermek
- EİS performansının geliştirilmesi
- EİS operasyonları için yardımcı destekler

Bu seviyedeki faaliyetlerin icrası için yazılım bir mainframe bilgisayarla destelenecektir. Bazı organizasyonlarda bunun alternatifini bilgisayar olabilir ve karar destek sistemi (DSS) bilgisayarı olarak kullanılırlar.

1.7.2.2. EİS Seviye 2 Operasyonları

Bu seviyede EİS hattı, yönetici tarafından alınmış bir vardiyalık yada bir kaç gün veya bir haftalık bir dönem için alınmış kararları icra eder. Bu seviyede icra edilecek temel işler;

- Üretim hedeflerini küçük parçalara bölmek. Büyük üretim guruplarını küçük yığınlara bölmek
- Her yığın içinde, kaynak kullanımını maksimize edecek yani iş yükünü dengeleyecek şekilde sistem kaynaklarını atamaktır.
- Üst seviye üretim planlarındaki ve malzeme sağlanmasındaki değişikliklere kısa sürede cevap verebilmek.

Bu yazılım kararları desteği ve yardımı EİS bilgisayarda yer alacaktır veya eğer bu fizibil değilse DSS bilgisayarında yer alacaktır.

1.7.2.3. EİS Seviye 3 Operasyonları

Bu seviye gerçek zaman (real-time) EİS operasyonları ile ilgilidir. Fonksiyonel alanları ise:

- İş siparişlerinin çizelgelenmesi ve sıralanması ve zamanlanması.
- İş parçalarının hareketi ve malzeme iletim sistemi (Bu iş parçası hangi tezgaha gönderilecek ve hangi OKA bu iş parçalarını almak üzere yollanacak?)
- Veri dağıtımı.
- Kesici takım yönetimi.
- Sistem takibi ve sorgulanması.
- Kesintilere reaksiyon duyukması (bir veya daha fazla sistem biriminin başarısız olması veya üretim isteklerindeki ani değişim)

Normal sistem operasyonları sırasında pekçok karar EİS bilgisayarındaki yazılım tarafından alınmaktadır. Fakat farklı bir durum söz konusu olduğu zaman, örneğin bir tezgah bozulduğunda EİS yöneticisi karar verecektir. EİS yöneticisinin karar alma mekanizması, EİS bilgisayarında yer alabilecek ve hızla devreye sokulabilecek çeşitli karar yazılımları ile kolaylaştırılabilir.

1.7.3. İş Parçası Rotası

İş parçası rotası yazılım modülü iş parçasının sistem içindeki hareketlerini kontrol eder. Bu modül çeşitli alt fonksiyonlara sahiptir. İlk alt fonksiyon, iş parçalarının iş istasyonları arasında hareketini sağlamak için malzeme iletim sistemini kontrol eder. Bu modül aynı zamanda iş parçalarının konduğu paletleri tazgah üzerine taşıyan mekik mekanizmasında kontrol eder. İkinci alt fonksiyon her taşıma mekanizmasının gideceği yeri belirleyecek olan trafik yönünü yönünü belirleme algoritmasına sahiptir, yani ne, nereye ne zaman taşınacak sorusuna cevap verir. Bu modül aynı zamanda sistemin durumunu ve iş parçalarının her hareketini kontrol altında tutar. Modül, palet ve iş parçaları da dahil malzeme iletim sisteminin tüm kaynaklarını optimum performansı gösterecek şekilde yönlendirmelidir.

1.7.4. Veri Dağıtımı

EİS içinde çok büyük miktarda veri transferi sağlanır ve veri dağıtım modülü bu transfer işinden sorumludur. Bu modül şu fonksiyonlardan sorumludur,

- NC kontrol programlarının tezgahların kontrol ünitelerine transfer edilmelerinden sorumludur.
- Parça program kütüphanesinin bakımını sağlamak, yenilemek.
- Sistem performansı veri dosyalarının bakımını sağlamak.
- Tüm sistem haberleşmesinin kontrolünü ve dağıtımını sağlamak.

Bu modül aynı zamanda herhangi bir bilgi istendiğinde uygun kimlik olup olmadığını kontrol etmek suretiyle verilerin güvenliğinde sağlar. Örneğin, bir parça programının bir istasyondan diğer istasyona gitmesini önleyecektir. Bu modül aynı zamanda isteğe bağlı olarak dinamik raporda hazırlar.

1.7.5. Sistem Sorgulaması

EİS, malzeme iletim sistemi ve istasyon kontrol ünitelerine yerleştirilmiş olan geri besleme sensörleriyle sistemin çalışmasını kontrol altında tutar. Herhangi bir yerde bir aksaklık olduğu zaman bu sensörler aracılığıyla bulunur ve operasyon durdurulur. Bir sorgulama kütüphanesi programı, aksaklığın kesin sebebini tespit edecektir. Sistemin son derece karmaşık olmasından dolayı sorgulama kütüphanesi oldukça büyük yer kaplar. Aksaklığı tespit ve sorgulamanın başarılı olması sistem içine yerleştirilmiş olan sensörlerin sayısına ve sorgulama sisteminin kalitesine bağlıdır. Çok çeşitli sensörler vardır ve bunun yapısı çoğunlukla üretice firmaya bağlıdır.

1.7.6. Sistem Takibi

Sistem sorgulanmasının takibi ya mevcut ana/mini bilgisayarla yada ayrı bir bilgisayarla yapılmalıdır. İlk opsiyon merkezi bilgisayar içindeki verilere doğrudan erişimin sağlanmasıdır ve mevcut bilgiyi diğer sistem elemanlarına (programlanabilir mantık kontrolü) ulaşımda ve ilave veriler kullanmada kullanmaktır. Mevcut bilgisayarın kapasitesini genişletmek durumu hasıl olabilir fakat bu durum yinede ayrı bir bilgisayar kullanmaktan daha ekonomiktir.

Diğer bir opsiyon ise, eğer arzu edilirse EİS'nin daha bağımsız olarak fonksiyonunu sürdürmesini sağlamak için izlenmesidir. Bu çoğunlukla tüm fonksiyonlara sahip alt bilgisayar kullanmakla mümkündür. Bu takip sistemi, EİS bilgisayarının hatasını keşfedebilir, dolayısıyla aksaklık sırasında oluşacak veri kaybının önüne geçilmiş olur.

Takip sisteminin veri tabanı EİS veri tabanından farklı olabilir veya EİS bilgisayarında yer alıp EİS veri tabanının bir uzantısı olabilir. Genel olarak sorgulama için sistem takibi, geleceğe ait sağlıklı değerlendirmeler yapabilmek için geçmiş ve gelecek

verileri değerlendirmek durumundadır. EİS veri ihtiyacı daha çok o ana ait olması ve bir miktar geleceğe ait programı kapsaması gerekmektedir. Dolayısıyla, ilave veri sağlanması daha uzun bir peryoda ait değerlendirmeyi mümkün kılar.

Ayrıca EİS verileri merkezi bir bilgisayardan ziyade diğer makinalara dağıtılmış olabilir. Takip sistemi, buna mukabil olarak herbir sistem elemanına ait tüm bilgilerin birleştirilerek verilmesini ister. Dolayısıyla tüm verilerin merkezi bir bilgisayarda olmasında veya belli peryatlarla toplanması ve yönetim bilgi sistemini beslemesi gerektirmektedir. Bu işlem, EİS merkezi bilgisayarın üstünde daha yüksek seviyeli bir iletişim kartını gerekli kılar.

Takip programına, kesici takım deposunun bilgilerini, dakikası dakikasına işlenmiş üretim kontrol bilgilerini eklemek ve personel arasındaki iletişimde kırtasiye kullanımını ve sözlü iletişimi sıfıra indirmek bilginin standardı için gereklidir.

1.8. Parça Ve İş İstasyonu Seçimi

Parça ve tezgah seçimi EİS tasarımının en temel işlemlerinden biridir ve alternatif üretim sistemleriyle kıyaslandığında maliyet tasarımını en iyileştirmek için mevcut EİS iş istasyonlarıyla parçaların uyumlu olması gerekmektedir. Çeşitli kalitatif faktörler bu karar vermede etkili olmakla beraber asıl faktör ekonomik faktörlerdir. Parça ve tezgah seçimi EİS tasarımının ilk adımını oluştururlar ve sistem büyüklüğü hakkında bir bilgi verirler. İki metod, yatırımın yaklaşık amorti edilmesi (ROI) ve amorti süresi önemli kriterlerdir.

1.8.1. Parça ve Makina Seçimi

- 1 Mevcut adaylardan EİS'ne uygun olacak şekilde parçaları ve tezgahları belirle.
- 2 Her parçanın o anki maliyetini hesapla.
- 3 Her parçanın EİS'ndeki üretim maliyetini hesapla.

- 4 En ekonomik parça ve tezgahların seçimini yapmak için ya manuel seçim metodlarından birini yada bir bilgisayar programı kullanınız.
- 5 EİS'nin ekonomik bir alternatif olup olmadığını ölçmek için yatırım analizini yapınız.
- 6 Gerekli veriler;
 - a Her aday parça için,
 - İşlenecek parçanın hacmi
 - Malzeme
 - Üreticiden parçanın alınma maliyeti (eğer satın alınan bir parça ise)
 - Yıllık üretim hacmi
 - Parçanın imalatı için kullanılacak tezgahlar
 - Her tezgah için hazırlık süresi
 - Her tezgahdaki operasyon süresi
 - Her tezgahdaki her parça için hazırlık ve operasyon maliyeti
 - Kullanılan her kesici takımın tanımı.
 - b Her tezgah grubundaki her bir tezgahın maliyeti, malzeme iletim sisteminin (MİS), bilgisayarın, kesici takımların, sabitleyici'lerin vs. maliyetleri.
 - c Her tezgahdaki işlenebilecek en büyük parça büyüklüğü (hacmi).
 - d Her parçanın her bir tezgahdaki operasyon maliyetinin tahmini.
 - e Yıllık üretim süresi.
 - f İstenen sistem büyüklüğü (Mevcut sermayeyle bağlantılı olarak).
 - g Her istenen sistem büyüklüğü için toplam yatırımlar.

1.8.1.1. Seçim Yöntemi

Parça ve tezgahların seçimi hem elle hesaplanarak hemde bilgisayar yardımıyla yapılabilir. Elle hesaplama metodu, 40 aday parçadan az parçanın olduğu ve küçük bir EİS tasarımı sözkonusu olduğunda etkili olarak kullanılır. ancak aday parça sayısı ve sistem büyüklüğü arttıkça bu metod gittikçe zaman alıcı ve etkisiz kalmakta ve bilgisayarlı metodlar daha etkili olmaktadır. Her iki metodda bağlı üretim maliyetinden

tasarruf üzerine kurulmuştur ve önce aday parçaların üretim maliyeti veya satınalma maliyeti hesaplanmaktadır. Her parçanın EİS'nde üretilmesinin maliyeti daha sonra hesaplanmaktadır. Daha sonra en ekonomik parça/tezgah çifti seçilmektedir.

1.8.2. Temel Adımlar

Temel konu gözönüne alınan sistemin büyüklüğüdür (kaç tane tezgah bulunacak?). Bu mevcut atölye büyüklüğü, bütçe büyüklüğü veya personel durumuna göre ayarlanabilir.

İkinci konu ise, EİS için toplam yıllık operasyon süresidir. CNC'lerle EİS oldukça pahalı bir sistem olduğundan her birim yıl içinde daha uzun süreli çalışması daha iyi bir ROI (yatırımın yaklaşık amorti edilmesi) demek olacaktır. Bu mantık günde üç vardiya haftada 7 gün çalışmayı gerektirir. Ayrıca, üretimin düzgünlük seviyesi yıllık bakımlar arasındaki süreye uzatacaktır. Fakat pekçok fabrika üç vardiya çalışmaya elverişli olmadığı gibi, pekçok işçide 3. vardiyada çalışmayı pek sevmez. Genellikle koruyucu bakım için zaman yoktur ve yine genellikle haftada 5 gün ve günde iki vardiya uygun çalışma şartlarıdır.

Ayrıca, hangi sınıf parçalar üretileceği, yani prizmatik, silindirik yada karışık parçaların üretimini mi yapılacağı belirlenmelidir. Bu parça gruplarının herbiri için ayrı bir EİS tasarımı ve projesi hazırlamak gerekmektedir.

Seçim her parça sınıfı içindeki iş grupları ve bu grupları işleyebilmek için en rahat nasıl bir organizasyon yapılabileceği üzerine oturmalıdır. Parça sınıfını seçtikten sonra, o anda üretilen parçalar, tamamen yeni parçalar, yedek parçalar yada bir veya birkaçının kombinasyonu arasında bir seçim yapmak gerekmektedir.

Parça büyüklüğü çok sayıda faktöre bağlıdır. Eniyi bilinen faktör ortalama parça büyüklüğüdür. Büyük parçalar büyük tezgahlar gerektirir. Küçük tezgahlar ise küçük

parçalar için daha uygundur ancak birkaç küçük parça tek sabitleyici ile tutturulduğu zaman problem olabilir. Daha kısa üretim süresi daha fazla parçanın aynı anda sistem içinde olmasına neden olur. Bu ise MİS'nin aşırı yüklenmesine dolayısıyla tüm sistem verimliliğinin düşmesine neden olabilir. Büyük parçalar genellikle özel bir malzeme iletim sistemini gerektirir.

1.8.3. Parça ve Tezgahların Önseçimi

Eğer tüm üretilmesi planlanan parçalar grup teknoloji sınıflama prensiplerine uygun olarak kodlanırsa, EİS'ne uygun parça kriterleri üzerine bina edilerek, tüm parçalar bilgisayar teknolojisi kullanılarak hızlı ve basit bir şekilde sıralanabilirler. Temel EİS kriterleri ise;

- İstenen parça büyüklüğü
- Malzeme (alüminyum, çelik, vs.)
- Geometrik şekil (prizmatik, düz, silindirik, vs.)
- Operasyon tipi (frezeleme, tornalama, vs.)
- Toleranslar
- Üretim miktarı
- Operasyon süresi
- Mevcut sabitleyici oranı'dır.

Bu kriterler genellikle aday parça sayısını önemli ölçüde azaltırlar. Bu kriterleri kullanarak bir firma 3300 değişik parça sayısını 677'ye indirmeyi başarmıştır.

Ayrıca her parçayı sabitlemek için gerekli olan sabitleyici sayısında bir kriter oluşturabilir. Uygulama alanı sabitleyici sayısı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmakla birlikte eğer bir parça üç veya dört defa sabitlenmek zorundaysa genellikle reddedilmektedir. Bu işlem bilgisayarlarla otomatik olarak yapılmaktadır.

Bir başka kriter tüketilen kesici takım sayısıdır. Sert malzemeden üretilen bir parça çok sayıda kesici takımın kullanılmasını, sık sık takım değişimini dolayısıyla tezgah veriminin düşmesine neden olabilir. Dolayısıyla çok sayıda kısa operasyonları olan parçalardansa birkaç çok uzun operasyonu olan parçalar tercih edilirler.

Birbaşka parça önseçim kriteri, elle yapılan parça-tezgah gruplamasıdır. Bu yolla seçilen gruplar içinden EİS için en uygun olan gruplar tercih edilirler. Burada uygun olan üç temel gruplama metodu ise;

1. **Montaj:** Tüm üretilmesi gerekli parçaların bir kısmı nihai ürün yada alt montaj grubudurlar
2. **Parça hacmi ve ortak imalat operasyonları:** Bir grup parça yaklaşık olarak aynı hacimde ve aynı tip operasyonları gerektirebilir.
3. **Tip:** Tüm parçalar aynı tip olabilir.

Çoğunlukla bazı parça aileleri yeterli sayıda parça sayısına sahiptirler ve karar, hangisinin üretimi EİS için eniyi olacak kriteri üzerine bina edilecektir. Fakat bir başka kriter, parça aileleri içinden EİS için en ekonomi olanı seçmek olabilir.

Hem manuel hemde otomotize edilmiş parça/tezgah seçimi için bir sonraki adım ise üretilmesi planlanan parça grubu ve gerekli tezgahlar için veri tabanının oluşturulmasıdır.

1.9. EİS Tasarımlarının Değerlendirilmesi

Çeşitli alternatif EİS tasarımlarının değerlendirilmesi sistematik adım adım bir yaklaşım kullanılarak yapılmalıdır. Bu sistematik yaklaşımın temel adımları şu şekilde olabilir:

1. Her alternatif EİS konfigürasyonun değerlendirilmesi için tüm önemli faktörlerin gözönüne alındığı bir değerlendirme matrisi oluştur.

2. Simülasyon ve ekonomik analiz için gerçek değerleri yansıtan, yığın, yük dengesi, sıralama ve atama ile ilgili kuralları içeren sistemin işletimine ait stratejileri geliştir.
3. Sistemi simüle et ve alternatif konfigürasyonlar ve ekonomik analiz için tüm performans değerlerini not et.
4. Ya mevcut tasarlanmış sistemi geliştir, yada yeniden bir sistem tasarla.
5. (1), (2), (3). adımları tüm alternatif sistemler için tekrarla.
6. Mevcut alternatifleri yatırım analizine göre kontrol et.
7. Değerlendirme matrisini tamamla ve eniyi sonucu veren alternatif konfigürasyonu seç.

1.9.1. Aday EİS Konfigürasyonlarını Değerlendirme

- 1 Önceden tespit edilmiş sıralama, atama, yığın büyüklüğü, tezgah yükü dengesi üzerine oturmuş her alternatif tasarımı simüle et ve her konfigürasyon için performans değerlerini bul.
- 2 Herbir alternatif yeterli performans gösterinceye kadar yada reddedilinceye kadar simülasyonu tekrarla.
- 3 Herbir konfigürasyon için detaylı bir yatırım analizi gerçekleştir.
- 4 Analizde eniyi alternatifi veren konfigürasyonu seç.
- 5 Değerlendirme için gerekli veriler ise:
 1. Her parça için:
 - Tezgahlar arasındaki rota.
 - Her tezgahtaki operasyon süresi.
 - Gerekli sabitleyici sayısı.
 - Gerekli sabitleyici tipi.
 - Her tezgah için gerekli kesici takım sayısı.
 - Muayene süresi.
 - Sabitleyici bağlama ve çözme süresi.
 2. Simülasyon için:
 - Parça verisi.

- Sistem yerleşimi ; tezgah sayısı ve tezgah tipi, yükleme, boşaltma, muayene istasyonları, yıkama istasyonu ve depolama.
- Parça rotaları (asıl ve alternatif) ; rota, sıralama, yükleme, yığın ve tezgah yükü dengesine göre ayarlanır.
- İstasyonlararası parça taşıma süresi.
- Üretim ihtiyacı.
- Mevcut üretim süresi.
- Sistem verimlilik faktörü.
- Malzeme iletiminin çalışma mantığı.
- Her tezgah ve malzeme iletim sisteminin bozulma oranı.
- Sistem içinde biranda bulunan maksimum palet ve sabitleyici sayısı.

3. Ekonomik Analiz İçin:

- Parçanın üretilinceye kadar sistemde kaldığı süre.
- Birim zaman için EİS imalat maliyeti.
- Üretim ihtiyacını karşılamak için gerekli yığın miktarı.
- Yığın üretiminin sonunda sistemi değiştirmek için gerekli işçi miktarı.
- EİS içinde gerekli tam zamanlı işçi maliyeti.
- Tezgah maliyeti.
- Muayene istasyonu maliyeti.
- Yükleme/Boşaltma istasyonu maliyeti.
- Malzeme iletim sistemi maliyeti.
- Bilgisayar maliyeti.
- Sabitleyici maliyeti.
- Palet maliyeti.
- Kesici takım maliyeti.
- Parça programlama maliyeti.
- Mühendislik maliyeti.
- Sistem kurma maliyeti.
- Yedek parça maliyeti.
- Amortisman programı.

- Yatırım vergisi kredisi.

- Vergi oranı.

4. Fiziksel olmayan değerler için ise;

- Ağırlık şeması: Değerlendirme için öneme göre bir değerlendirme kriteri ve ağırlığı oluşturulur.

- Sıralama Şeması: Herhangi bir alternatif sistem için bir derecelendirme şeması (örneğin 1'den 5'e kadar) kabul edilebilir.

Değerlendirme kriterlerinden önemli olanlar ise aşağıdadır:

1. Maliyet.

2. Sistem üretim zamanı.

3. Tahmini sistem çalışma süresi.

4. Sistem esnekliği, özellikle değişen parçalara karşı.

5. İletim problemine karşı etkinlik.

6. Takım deposu kısıtı ve yığın üzerindeki etkisi.

7. Büyüme oranı kapasitesi.

8. Fazlalık.

BÖLÜM II

2.1. Esnek İmalat Sistemleri ile İlgili Problemlere Genel Bir Bakış

Esnek İmalat Sistemlerinde iki grup problem, özellikle önemlidir:

1. Tasarım
2. İşletim

İlk grup tüm Esnek İmalat Sistemleri elemanlarının optimal seçimi, ikincisi ise, bu elemanların optimal kullanımı ile ilgilidir.

Bir Esnek İmalat Sistemi'nin tasarımında şu sorunların çözüme ulaşması gerekir:

1. Organizasyonel problemler; yeni imal edilecek parça ailelerinin seçimidir. Çünkü halihazırdaki Esnek İmalat Sistemi teknolojisi esnek imalat için tasarlanmış parçaların biçimlerini kısıtlamaktadır.
2. Esnek İmalat Sistemi üretim sisteminin seçilmesi.
3. Malzeme taşıma sisteminin seçilmesi.
4. Takım-tertibat ve paletlerin seçimi.
5. Uygun bilgisayar sisteminin seçilmesi.
6. Yukarıda sözü edilen sistemlerin düzenlenmesi ve bütünleştirilmesi.

Esnek imalat sistemleri, yüksek bir yatırım maliyetine sahip olduğundan, bu yatırımın kısa bir sürede geri dönüşünü sağlamak üzere, sistemin etkin ve yüksek oranda kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla aşağıda belirtilen işletim problemlerinin tatmin edici bir düzeyde çözülmesi şarttır:

1. Planlama; Esnek İmalat Sistemi'nde, tahmin yapma ile orta ve uzun dönemli planlamalar klasik durumlara göre çok farklıdır. Tahmin yapma, Esnek İmalat

Sistemi'nin esnekliği nedeniyle önemini oldukça kaybetmiştir. Orta ve uzun dönemli planlamalar Esnek İmalat Sistemleri'nde de çok önemlidir. Ancak bu planlamalarla ilgili ölçüt ve kısıtlar değişmektedir.

2. Gruplama; Genel olarak gruplama problemi grup teknolojisi yaklaşımını esas alan çeşitli algoritmalar (King J.R. et al, 1982) yardımıyla çözülebilmektedir.
3. Sıralama ve yükleme problemleri: Esnek İmalat Sistemi'nin esnekliği nedeniyle sıralama ve yükleme problemleride yeni boyutlar kazanmaktadır.

Biz burada genel olarak işletim problemlerinden sıralama ve yükleme problemleriyle ilgileneceğiz.

2.2. Esnek İmalat Sistemlerinde Çizelgeleme Problemi

Gerçek üretimden önce gerçekleştirilmiş olan planlama aşamasında hazırlanmış olan Esnek İmalat Sistemleri'nde çalışma sırasındaki problemler Esnek İmalat Sistemi çizelgeleme problemleri olarak incelenir. Eis çizelgeleme problemleri, atölye tipi çizelgeleme problemlerinden düşüncede farklıdır. Esnek İmalat Sistemi çizelgeleme problemleri, fiili üretimden önce planlama aşamasında kurulduktan sonra Esnek İmalat Sistemi'nin gerçek zamandaki işlemleriyle ilgilenmektedir. Parçaların çalışmasını sistem içinde çizelgelemek için birçok yaklaşımdan faydalanılabilir. Değişik yaklaşımların değişik durumlarına uyarlanabilir. Problem şunları içerir:

Uygun bir girdi sırası belirlenir. Bazen parça tiplerinin belirli oranlarda üretilmesi gerekli olabilir. Bazı Esnek İmalat Sistemleri'nde periyodik girdi sırası uygun olabilir. Sistem üzerinde belirli üretim oranlarında parça tiplerinin üretimini sürdürmek uygun olabilir. Diğer durumlarda ise hangi parçanın gireceği ile ilgili esnek, gerçek zaman kararı vermek en iyisidir.

Uygun çizelgeleme metodları ve algoritmaları belirlenmelidir. Bu tür çizelgeleme yardımları basit gönderme kurallarından kompleks algoritmalara kadar sıralanabilir.

Planlama aşamasında Esnek İmalat Sistemi iyi bir şekilde tasarlanırsa, gerçek zaman çizelgeleme fonksiyonunu uygulamak kolaylaşır. Planlama aşamasının önemli boyutlarından biride teslim tarihi kriterinin gözönüne alınmasıdır. Esnek İmalat Sistemi çizelgeleme problemlerinin bazıları ise aşağıdadır.

- Sisteme girişi yapılacak parça türlerinin hangi sırasının optimum sırayı vereceğinin belirlenmesi.
- Uygun çizelgeleme metodlarının ve algoritmalarının geliştirilmesi.
- Eğer, aynı tezgahta işlemeyi bekleyen birkaç parça varsa, bu parçalar arasındaki öncelik ilişkilerinin belirlenmesi.

Çizelgeleme metodları, basit sıralama metodlarından karmaşık algoritma ve ileriye görebilen prosedürlere kadar çok geniş bir yelpaze içerisine dağılmıştır. Klasik çizelgeleme metodlarının çoğu statik yani sistem çalışmaya başlamadan önce tasarlanır ve uygulamaya konulur. Eğer, Esnek İmalat Sistemi, planlama aşamasında iyi bir şekilde uyarlanmış ise, anlık çizelgeleme daha kolay uygulanabilir.

Üretim çizelgeleme aşağıdaki yollar yardımıyla sınıflandırılabilir:

1. Atölyeye göre
 - Açık sistem.
 - Kapalı sistem.
2. İşlem karmaşıklığına göre.
 - “n” iş, tek kaynak problemi.
 - “n” iş, paralel kaynak problemi.
 - Çok seviyeli akış tipi atölye.
 - Çok seviyeli sipariş tipi atölye.
 - Sırasız üretim programı.
3. Çizelgeleme kriterine göre.
 - Çizelgeleme ve yeniden çizelgeleme maliyeti.
 - Performans.

4. Yapıya göre.

- Deterministik.
- Stokastik.

5. Çizelgeleme çevresine göre.

- Statik.
- Dinamik.

Açık sistemde, envantere ihtiyaç olmamakla beraber kapalı sistemde siparişler stokla karşılaşır. Kapalı sistemde daha fazla maliyet olmasına rağmen, herhangi bir bozukluk veya organizasyonel hataların oluşması durumunda güvenilirliği ile emniyet faktörü olarak çalışması mevcuttur.

Bilgisayarla bütünleşik imalat ile elde edilebilecek en büyük faydanın düşük envanter seviyeleri ile çalışmak olduğu düşünülürse, bilgisayarla entegre olmuş bir fabrikada, veya Esnek İmalat Sistemi'nde düşük envanter elde etme kuralları uygulanmalıdır.

Çizelgelemede uygun çözümler ise, genellikle "n" iş, "m" makina için Esnek İmalat Sistemi'ne uyarlanmış sipariş tipi çizelgeleme metodlarıdır. Ama bu tür metodların çoğu Esnek İmalat Sistemi'nde meydana çıkabilecek değişikliklere anında ve yeterli hızda cevap veremezler. Esnek İmalat Sistemi'ndeki çizelgeleme sisteminde meydana gelebilecek farklılıklar aynı zamanda Esnek İmalat Sistemi kontrol sistemi, takım yönetim sistemi, malzeme taşıma sisteminde etkileyeceğinden bu tür farklılıkların sistem tarafından elimine edilmesi veya anında sisteme yeni bir öneri getirebilmesi gerekmektedir.

Bir başka problem ise, gayet düşük makina ve iş sayılarında bile çok önem kazanabilecek bir faktör olan işlem zamanlarının çizelgenmesidir.

Sezgisel hesap algoritmalarının kullanılması halinde bile basit esnek imalat sistemi problemlerinin çözümü çok uzun zaman alabilir. Yeni güncelleştirilmiş çizelgenin

oluşturulması halinde tüm esnek imalat sisteminin durumu değişmiştir ve artık eski sistem geçerliliğini yitirmiştir.

Esnek İmalat Sistemi'nde, planlama aşamasında işlerin sıralanması ve izelgenmesi aşamasında aşağıdaki veriler analiz edilmelidir:

- Esnek İmalat Sistemi'ndeki makina veya hücre sayıları.
- Zaman leği içindeki işsayısı.
- Sisteme gelen işlerin yapısı.
- Rotalama .
- izelgeme kuralları.

Birçok izelgeme ve sıralama modelleri üretim ortamını statik olarak varsayıp, en azından belirli bir zaman dilimi için sistem davranışının tamamen bilindiği varsayılır.

Esnek İmalat Sistemleri'nde izelgeme metodu çok seviyeli dinamik izelgeme metodu olmalıdır. Bu ise Esnek İmalat Sistemi'nde yükleme izelgemesinin organizasyonunun farklı kademelerinden sağlanan bilgi kaynaklarına dayanarak yapılmasını ortaya koyar. Böylece bir ana planlama seviyesi birde dinamik veya anlık seviye oluşur. Ana planlama seviyesi; uzun zaman dilimlerinde parça seçimi, parti hacmi belirleme, dengeleme gibi işlerin yapılmasıdır. Dinamik, anlık seviye; hangi hücrede o an neyin işlendiği gibi kısa zaman dilimleri için izelgemedir.

Esnek İmalat Sistemleri'nin kurulması için çok büyük sermaye yatırımı gerektiğinden dolayı, bu yatırımın etkili bir şekilde kullanımını sağlamak için Esnek İmalat Sistemleri'nin okiyi izelgenmesi gerekir. Esnek İmalat Sistemleri'ni çizelgelerde sadece atölye tipi izelgemenin zorlukları yoktur. Aynı zamanda yüksek derecede kompleksliğe sahip yeni değişkenleride içermektedir (Z.Doulgeri et al, 1987). Bu değişkenler parçalarıyla birlikte izelgenmesi gereken takımlar, paletler, sabitleyiciler, malzeme taşıma sistemleridir. Mevcut atelye tipi izelgeme algoritmaları

bu değişkenleri içermediğinden dolayı, direkt olarak Esnek İmalat Sistemleri'ne uygulanmaları, gerçekçi olmayan çizelgeleri verir. Esnek İmalat Sistemleri'nde çizelgeleme problemini çözmek için bu değişkenleri gözönünde bulundurmak ve algoritmaya dahil etmek gerekir.

2.2.1. Esnek İmalat Sistemleri'nde Çizelgeleme Kuralları

Bir makina mevcut olduğunda yürütülecek işlemde ona uygun olmalıdır. İki yada daha fazla operasyon hazır ise bir tanesi süzme kuralı olarak adlandırılan kurala göre seçilmelidir. Bu kural, işlemlerdeki öncelikleri (acil durumları) tanımlamaktadır (Min H, 1994). Çizelgeleme kuralları, mevcut işlerden işlenmekte olan işten sonraki işin seçiminde kullanılırlar. Bu kurallar, sisteme girecek parçalarda genellikle sistemdeki parçaların rotasında ve kolayca atanacak parçalarda kullanılırlar. Statik veya dinamik olabilirler. Çok basit veya karmaşık olabilirler ve dağılımlarına göre farklılık arz ederler (Montazeri et al, 1990). Çizelgeleme mekanizmalarında yer alan süzme kurallarına aşağıda kısaca değineceğiz. Bu kurallar statik olduğu kadar dinamikte olan atölye tipi çizelgelemede kullanılabilir.

Yapılacak veya işlenecek parça iş olarak adlandırılır. Herbir iş bir dizi operasyondan oluşmaktadır. Bunların herbiri makina merkezlerinde işlenebilmektedirler. Burada p_i , operasyonun işleme süresidir. i işinin bağlı olduğu zaman ise d_i 'dir. t zaman olup öncelikli kurallar uygulanır yada mevcut bulunan makina için operasyon seçilir. w_i , i operasyonu için geride kalan işleri göstermektedir. (Burada geride kalan işlerin işleme sürelerinin toplamıdır.) o_i , ise i operasyonunun geride kalan operasyonlarıdır. Aynı zamanda, $x^+ \max(0, x)$ olarak gözönüne alalım. Süzme kuralları ise aşağıdaki gibi olur:

EKİZ: En kısa işlem zamanı önce kuralı; en kısa işleme sahip olan iş seçilir.

EUİZ: En uzun işlem zamanı önce kuralı; en uzun işleme sahip olan iş seçilir

SJT: En kısa iş işleme zamanı önce kuralı; işin operasyonlarının işleme süreleri toplamından en kısa süreye sahip olan iş seçilir.

LJT: En uzun iş işleme zamanı önce kuralı; işin operasyonlarının işleme süreleri toplamından en uzun süreye sahip olan iş seçilir.

DJT: İşleme süresinin toplam iş işleme süresine oranlanması ve en küçük olanının seçilmesi kuralıdır.

PMJT: İşleme süresiyle, toplam iş işleme süresinin çarpımı sonucu elde edilen değerlerden en küçüğüne sahip olan işin seçimi.

İGÖ: İlk gelen ilk işlem görür kuralı; makinaya en erken gelen operasyon seçilir.

SLACK: En küçük gevşekliğe sahip olan operasyonun seçimi ($d_i - w_i - t$).

S/RMOP: Geride kalan gevşek operasyonlar kuralı; geride kalan operasyonların sayısı ile gevşeklik süresinin oranlanmasından elde edilen değerlerden en küçük olanı seçilir ($((d_i - w_i - t)/o_i)$).

S/RMWK: Geride kalan gevşek işler kuralı; geride kalan işlerin gevşeklik süresine oranlanmasıyla elde edilen değerlerden en küçük olanı seçilir ($((d_i - w_i - t)/w_i)$).

EDD: En erken teslim tarihi kuralı; en erken teslim tarihine sahip operasyon seçilir.

MDD: Modife edilmiş teslim tarihi kuralı; minimum modife edilmiş teslim tarihine sahip olan operasyon seçilir. Burada modife edilmiş teslim tarihi ise, i operasyonu için $\max\{d_i, t + w_i\}$ 'dir.

MOD: Modife edilmiş operasyon teslim tarihi kuralı; minimum modife edilmiş operasyon teslim tarihine sahip olan operasyon seçilir. Burada modife edilmiş operasyon teslim tarihi ise, i operasyonu için $\max\{d_i - b(w_i - p_i), t + w_i\}$ 'dir.

COVERT: Fazla zaman maliyeti kuralı; beklenen gecikme cezasının işleme zamanına oranlanmasıyla elde edilen değerlerden en büyük olanına sahip operasyon seçilir. Bu da maksimum değere sahip olan operasyonun seçimidir ki;

$$\left[\left\{ 1 - \frac{(d_i - w_i - t)^+}{k \cdot b \cdot w_i} \right\} / p_i \right]^+ \text{ 'dir.}$$

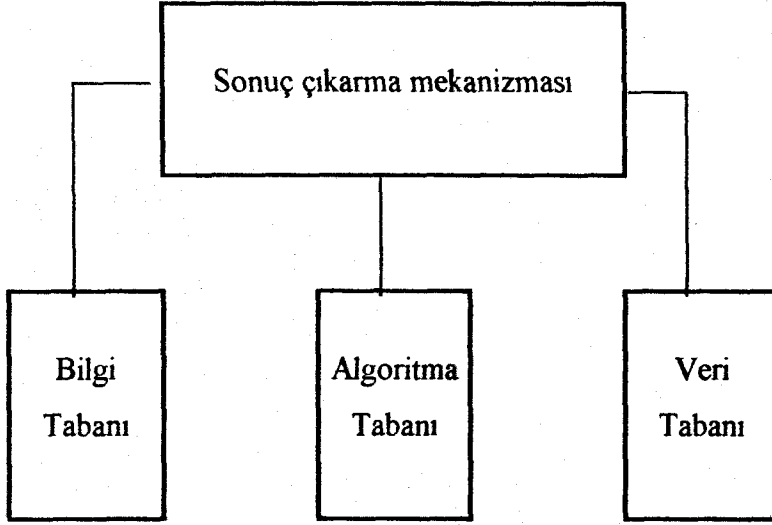
Burada son iki kuralda bulunan b ve k özel parametrelerdir. Burada b , malzeme temin süresini değerlendirme parametresi olup işlemler arasındaki bekleme zamanını belirtir. k ise, en kötü şartlarda bekleme zamanını düzenleyen çoklu düzenleyicidir. (Örneğin kümülatif ihtimal dağılımının %95'i gibi.) Bu parametreler iş bitimi zamanında kuyruklardaki işlemlerin bekleme zamanını ve makina kullanımını gözönüne almaktadırlar.

2.2.2. Bilgiye Dayalı Çizelgeleme Sistemi

Çizelgeleme probleminin çözümü için geleneksel olarak nümerik algoritmalar kullanılmaktadır. Buradaki yaklaşımda sadece algoritmadan değil, aynı zamanda açıklayıcı ve prosedüre dayalı bilgiyle sonuç çıkarma mekanizmasında verilmiştir. Bunların tamamını bilgiye dayalı çizelgeleme sistemi (BDÇS) olarak yorumlanmaktadır. BDÇS aşağıdaki iki temel fonksiyonu yerine getirir:

1. Düşünülen problem için algoritma seçer.
2. Seçilen algoritmanın çizelge çıkarma prosedürünü kontrol eder.

BDÇS'nin temel komponentleri ise aşağıdadır ve şekil 2.1'de gösterilmiştir:



Şekil 2.1. Bilgiye dayalı çözelgeleme sisteminin yapısı.

1. Bilgi tabanı; BDÇS'deki bilgiler uzmanlardan olduğu kadar çözelgeleme literatüründen de alınmaktadır. Çözelgeleme probleminin parçalarının, işlemlerinin ve çıkarılan çözelgelerin tanımlarıyla ilgili açıklayıcı bilgileri temsilen çerçeveler kullanılır.
2. Algoritma tabanı; Bu kısımda tanıtılan algoritmalar ile birlikte diğer mevcut algoritmalar algoritma tabanına yüklenir. İlave algoritmalar da tabana kolayca girebilecektir. Daha sonra aşağıda açıklanacak olan sezgisel algoritma, büyük ölçekli otomatik imalat sistemlerindeki çözelgeleme problemlerinin çözümüne yarayan en çok kullanılan algoritmadır.
3. Veri tabanı.
4. Sonuç çıkarma algoritması; BDÇS'ndeki sonuç çıkarma mekanizması bilgi tabanındaki başlatma kuralları prosedürünü ve bir algoritmadaki çözelge çıkartma prosedürünü kontrol eder. BDÇS'ndeki sonuç çıkarma mekanizması ileriye zincirleme kontrol stratejisi uygulanır.

Birçok imalat sisteminde bazıları her parçaya temel proses planı veya daha fazla alternatif proses planı verir. Proses planı parçaya ait işlemleri, bu işlemlerin işlem süresini ve makina, takım, tertibat gibi gerekli kaynakları açıklar. Özellikle şu dört tip kaynak kullanılmaktadır:

1. Makina.
2. Takım.
3. Tertibat.
4. Malzeme taşıma.

2.3. Esnek İmalat Sistemlerinde Planlama Problemleri

Esnek İmalat Sisteminin işletimi ile ilgili üretim yönetimi problemleri planlamanın ve çizelgelemenin iki farklı fakat birbirine bağlı fonksiyonları bakımından birbirinden ayrıştırılabilir. Esnek İmalat Sisteminde, bir parçanın müteakip faaliyeti için gerekli bütün kesici takımlar takım tezgahının sınırlı kapasitedeki takım yuvasına yüklenmediği sürece o parça doğrudan tıpte olsa dahi tezgaha gönderilemez. Bu da göstermektedir ki, üretim başlamadan önce bazı kararların verilmesi lazımdır.

Esnek İmalat Sistemi planlama problemleri, sistem parçaları üretmeye başlamadan önce alınması gereken kararlardır. Esnek İmalat Sistemi, kurulduktan sonra ve gerekli olan bütün kesici takımlar takım yuvasına yüklendikten sonra üretim başlayabilir. Esnek İmalat Sistemleri çizelgeleme problemleride sistemin çalışmasıyla ilgili problemlerdir.

Esnek İmalat Sistemi'ndeki planlama aşamasında, sistem tasarlanmış, uygulamaya geçilmiş ve üretim yapılmaktadır. Sistemde üretilebilen parça sayılarında, üretim siparişleri bulunan bir alt küme vardır. Bu siparişler fabrikadaki diğer bir departmandan olabileceği gibi tahmini talep veya müşteri siparişleride olabilir.

Stecke, çizelgeleme prosedürüyle uyumlu çalışacak şekilde Esnek İmalat Sistemi'ne yardımcı olacak 5 üretim planlama problem düşünmüştür (Stecke K.E.,

1981). Birinci Esnek İmalat Sistemi planlama problemi, muhtelif ebattaki üretim siparişleri için açıklanan parça tiplerinden, derhal ve benzer imalat için parça tiplerinden bir alt küme seçimidir. Teslim tarihi dikkate alınabilir veya uyumlu parça tipleri seçilebilir. İkinci planlama problemi ise; parça tipleri seçildikten sonra, her makina tipinden gerekli toplam takım aralıkları ve toplam işlem ihtiyaçları için bazı bütünleşik bilgi hesaplamaları yapılabilir. Her türdeki makina başına mevcut kapasite ile ilgili bu bilgi sayesinde hem işlem süresi hemde takım kutusu kapasitesi havuzlarının belirlenmesine yardımcı olur. Üçüncü planlama problemi ise, her türdeki makinanın gruplandırılmasıdır. Dördüncü planlama problemi ise, üretim oranlarının belirlenmesidir. Sonuncu planlama problemi ise, muhtemel makina grupları için seçilen kesme takımlarının ve işlemlerin tayin edilmesidir.

2.4. Esnek İmalat Sistemleri Kontrol Problemleri

Esnek İmalat Sistemleri kontrol problemleri, sistemi sürekli gözetleyerek ve üretim hedeflerini takip ederek ihtiyaçları planladığı gibi, beklenen talebi istenen teslim tarihinde karşılayabilmektir.

Özellikle kontrol merkezlerinden bir tanesi takım tezgahını ve diğer dökümantasyonu ele almak için politikaları belirlemelidir. Bu politikaların dizayn aşamasında belirlenmesi gereklidir. Politikaların uygulanması ise, Esnek İmalat Sistemi'nin kontrolü sırasında olur. Dizayn aşamasında hiçbir zaman için tahmin edilemeyecek olaylar vardır. Dolayısıyla, sistemin uygulanmasında belirli bir öğrenme eğrisi vardır.

Uzun bir süre için bir veya birkaç takım tezgahı çalışamaz durumda olabilir. Bu tip rassal olayları ele almak için yaklaşımlarda vardır. Bunlardan bazıları, çizelge revize edilebilir veya üretimin ilk durumuna, planlanan programa en kısa zamanda dönüşebilmesi için bazı prosedürler geliştirilebilir. Yada yeni çizelge geliştirilebilir. Bir makina arızalanabilir ve diğer takım tezgahları daha önce bu parçaları üretecek şekilde

programlanmışsa o zaman bazı parça türlerinin üretimine devam edebilmek için kesme takımları hızla çıkarılır ve diğer makinaların takım kutusuna yüklenir. Fakat bu diğer kesme takımlarının yerinin değişmesine neden olabilir.

Makinaların üretim planlama aşamasında fonksiyonel olarak makina gruplarında gerçek zaman çizelgeleriyle bağlantılı havuzlanması, makinanın arızalanmasını otomatik olarak takip etmeye yarayabilir. Diğer bir bağlantılı problem ise; makinalar üstüste birkaç defa arızalanıyorsa, bakımcı neye dikkatini yönlendireceğini tahmin etmelidir. Buda klasik bir makina müdahale problemidir.

Programlı ve/veya periyodik koruyucu bakım politikaları belirlenmelidir. Koruyucu bakım, üretim ihtiyaçlarıyla birlikte haftalık programın bir parçası olarak programlanabilir veya vardiya sonu yada hafta sonu olarakta programlanabilir. Proses içi veya mamül ürün teftiş politikalarında belirlenmelidir.

2.5. Esnek İmalat Sistemleri'lerinin Performansına Yükleme ve Rotalama Kararlarının Etkisi

Modern imalat sistemlerinde esneklik, artan bir öneme sahip olan anahtar bir konudur. Esnek İmalat Sistemi'ne giriş, üretimde ön sürelerin azaltımı, yeni ürünler için yeni işlemlerin geliştirilmesi, hazırlık zamanlarının kısalması ve işçönlere daha geniş çaplı görevler verilmesi gibi üretimlerdeki son zamanlarda olan eğilimlerin temel sebeplerinden biriside esnekliktir. Esnekliğin bir imalat tesisinin hizmet süresini uzatacağı ve dinamik pazar değişmelerine çabucak ve ekonomik bir şekilde cevap vereceği beklenmektedir.

Esnek İmalat Sistemleri yükleme kararları, operasyonların ve takımların araştırmalarda ve sistemin teknolojik kısıtlarında makinalara atanmalarıyla ilgilidir. Bununla birlikte, geleneksel atölye tipi, Esnek İmalat Sistemleri'ne herbir makinaya bir operasyon düşüncesini ekler. Sonuç olarak herbir parça tipi sistemde bir rotaya sahip

olmalıdır. Verilen parça proseslerinin sabit olduğu makina sıralamasından beri, bu imalat politikası Esnek İmalat Sistemleri literatüründe sabit rotalama şeklinde belirmiştir. Bir makinanın operasyonu diğer makinelerde yapılabiliyorsa, herbir parça sistemde birden fazla rotaya (alternatif rota) sahip olabilir. Sonuç olarak, alternatif rotalama kararları olumludur diyebiliriz. Rotaların belirlenmesi (örneğin makinelerin sıralanması), teknolojik işlem kısıtlarında iş gruplarının tamamlanmasında “rotalama kararları” olarak tanımlanır. Bu makinelerde iş için gerçek zaman tahsisi çizelgelemeyle yapılır.



Şekil 2.2. Esnek İmalat Sistemleri Planlama ve Kontrol Kararları

Şekil 2.2. hiyerarşik Esnek İmalat Sistemleri planlama ve çizelgeleme kontrol şemasını göstermektedir. Maimon ve Gershwin'e göre rotalama, hesaplamada Esnek İmalat Sistemi çizelgelemesinden önce çok önemlidir (Maimon and Gershwin, 1988). Fakat, bu kritik karar daima ihmal edilir. Ayrıca araştırmacılar genellikle rotalama ve çizelgelemeyi ayrı problemler olarak düşünmüşlerdir. Burada amacımız, rotalama kararının planlandığı yada işin atölyeden ayrılmadan önce yapıldığı zaman çoklu yükleme ve alternatif rotalama kararlarının potansiyel faydalarının özdeşliğini göstermektir. Bulunanların daha sonra, alt seviyede çizelgeleme aktivitesi için yönlendirme ve açıklamaları sağlaması beklenir. Böylece burada, iki olay incelenmiştir:

1. Konvansiyonel atölye tipi yüklemelerin, sabit rotalamayı içeren modern otomatik imalat çevresinde direkt uygulanabilirliği incelenmiştir.
2. Yükleme ve rotalama kararlarının, Esnek İmalat Sistemi'nin esnekliği ve verimliliği üzerindeki etkileriyle aralarındaki ilişki incelenmiştir.

Birinci testimiz varolan eforların Esnek İmalat Sistemleri yükleme ve rotalama problemlerinde formulasyonudur. Daha sonrada rotalama modeliyle mevcut alternatif üç yükleme modeli (YM1, YM2 ve YM3) formüle edilecektir.

2.5.1. Yükleme ve Rotalama Modelleri

2.5.1.1. Yükleme Modelleri

Esnek İmalat Sistemi yükleme kararı, operasyonların atanmasıyla ve teknolojik ve kapasite kısıtları altında çalışma istasyonları yada makina gruplarında seçilmiş parça tiplerinin gerekli takımlarıyla ilişkilidir (Stecke, 1983, 1986). Yükleme probleminin formulasyonunda kullanılan hazırlanmış altı hedef ise şöyledir:

1. Atanan makina işleme zamanlarının dengelenmesi.
2. Makinadan makinaya hareket sayılarının minimizasyonu.
3. Eşit hacimdeki birbiriyle ilişkilendirilmiş makina gruplarının sistemi için herbir makinada işyükü dengelenmesi.
4. Takım magazinlerini mümkün olduğunca yoğun bir şekilde doldurma.
5. Eşit olmayan hacimdeki birbiriyle ilişkilendirilmiş makina gruplarının sistemi için herbir makinada işyükünün dengelenmemesi.
6. Herbir makinaya atanan operasyon sayısının maksimizasyonu.

Stecke (1983,1986)'ninde belirttiği gibi, tüm konvansiyonel atölye tipi için genel yükleme prosedürü, mevcut Esnek İmalat Sistemi'nde herbir makinaya işyükü atayarak dengelemeye çalışır. Ayrıca herbir operasyon daima sadece bir makinaya atanmalıdır. Dolayısıyla, atölye tipinde herbir parça tipi sabit rotaya sahiptir. Fakat alternatif rotalama imalat kararlarıyla Esnek İmalat Sistemi performansının daha fazla olacağı düşünülmektedir (Injazz C. , 1991). Çünkü bu Esnek İmalat Sistemi'nin tabiatında varolan esnekliği daha iyi işletebilir. Bununla birlikte alternatif rotalamanın olumlu olması için, makinalara atanan operasyon sayısının çoğaltılması gerekir.

Altıncı hedefte operasyon atamalarının mümkün olduğunca çoğalması her bir parça tipinin birden fazla rotaya sahip olmasıdır. Alternatif iş rotalarının sayısının artmasından sonra, makina faydalılığının artması, iş bekleme zamanının azalması, üretim oranının artmasıyla Esnek İmalat Sistemi performansına fayda sağlar. Ayrıca bu alternatif rotalama ve yeniden rotalama yeterliliği olasılıklı Esnek İmalat Sistemi'nde değerlidir. Araştırmalar göstermiştir ki, ne zaman makina arızaları olursa, yeniden rotalanan parçalar, Esnek İmalat Sistemi'nde arızalı makinayla benzer yeterlilikteki diğer makinalarda işlem görür. Buda Esnek İmalat Sistemleri'nin endüstriyle adapte edilmiş çok önemli bir stratejisidir.

Stecke (1983,1986) operasyon atamalarının keyfice çoğaltılamayacağı ve ağırlığın belirlenmesi üzerinde durmuştur. Aynı zamanda ağırlığın nasıl seçileceği ve atanacağı üzerinde apaçık bir görüş belirtmemiştir. Yükleme modeli YM1, teknolojik ve araştırma kısıtları altında operasyon atamalarının toplam sayısını maksimize edecek şekilde temel yükleme modelidir. Kısıt 2.1.1. gerekli operasyonların enaz bir makinaya atanmasını garanti etmektedir. Kısıt 2.1.2. ise her bir makinanın takım magazinlerinde sınırlanmış takım magazinlerini belirler. Sonuç olarak, verilebilir Esnek İmalat Sistemleri için kullanılabilir takım sayısı sınırlıdır. Bu da takım envanteri kısıtını 2.1.3.'te yansıtmaktadır.

Yükleme Modeli 1(YM1):

$$\text{Max} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij} \quad , \text{ ve kısıtları ise;} \quad (2.1.)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ij} \geq 1 \quad , \quad i=1, \dots, I \quad (2.1.1.)$$

$$\sum_{i=1}^I V_i \cdot X_{ij} \leq q_j \quad , \quad j=1, \dots, J \quad (2.1.2.)$$

$$\sum_{i=1}^I S_{ik} \cdot \sum_{j=1}^J X_{ij} \leq r_k \quad , \quad k=1, \dots, K \quad (2.1.3.)$$

Burada X_{ij} , i operasyonu j . Makinaya atanmışsa 1 değerini aksi halde ise 0 değerini alır, q_j ise j . makinadaki takım magazini yuvalarının sayısıdır. r_k sistemde kullanılabilir k tipindeki takımların sayısı, S_{ik} , i operasyonu için gerekli k tipindeki takımların sayısı ve V_i 'de i operasyonu için gerekli takım magazini sayısıdır.

YM1 modelinde amaç fonksiyonu operasyon atamalarının toplam sayısını maksimum etmektedir. Herbir operasyon ataması eşit ağırlıklıdır. Bu durum, herbir operasyon için gerekli olanlar üretim çalışmasında benzerlikteyse pratiktir. Bununla birlikte, özel operasyonlar için gerekli olanlar diğerlerinden daha fazlaysa, yüksek ağırlık faktörüyle o operasyona çoklu atamalar için daha fazla öncelik verilmelidir. Herbir operasyon değişikliği için ihtiyaçların olduğu istasyonda yapmak istediğimizde, YM2 modelinde amaç fonksiyonu içerisine herbir operasyon için ağırlık faktörü dahil etmektir.

Yükleme Modeli 2 (YM2):

$$\text{Max } \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J P_i \cdot X_{ij} \quad (2.2.)$$

(2.1.1.), (2.1.2), (2.1.3.) kısıtlarında P_i tüm parçalarda gerekli i operasyonunun toplam sayısıdır.

Bretthauer (1988), ağırlık faktörünü hesaplamada tüm operasyonların toplam işleme zamanının bir operasyonun işleme zamanına oranı olarak varsaymıştır. Buna rağmen, uygulamada iki önemli zorluk vardır. Bunlar:

1. Operasyonların işleme zamanı yükleme kararlarından bağımsız değildir. Herbir operasyon farklı makinalara atandığında farklı işleme zamanlarına sahip olabilir. Bu makinadan makinaya farklı takım verimliliği ilişkisinden kaynaklanır.
2. Belirlenememiş operasyonun işleme zamanının sonucu gibi, üretim çalışmasındaki tüm operasyonların toplam işleme zamanı final yükleme kararı yapılanaya kadar bilinemez.

YM2 parçalarla herbir operasyonun ihtiyaç duyduğu sayıyı gözönüne alırken ve operasyon atamalarının çoğaltımında toplam ağırlığı maksimize ediyorken operasyon işleme zamanları için raporlama yapmaz. Model, eğer operasyon işleme zamanını raporlama içine almışsa, faydalı yükleme kararlarına sahip olur. Çünkü, yükleme kararı, en küçük operasyon işleme zamanını tercih eden rotalama modelinde akıntı yönünde girmiş gibi servis görür. Yükleme modeli YM3 aşağıda direk olarak yükleme hedefine ağırlık faktörü gibi operasyon işleme zamanlarında dahil edilerek verilmiştir:

Yükleme Modeli 3 (YM3):

$$\text{Max } \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij} \cdot (M - t_{ij}) \text{ 'dir.} \quad (2.3)$$

Kısıtlar YM1'le aynıdır ve burada M, operasyon işleme zamanlarında karşılaştırmalı en büyük sayı ve t_{ij} 'de j. makinada i operasyonunun işleme zamanıdır.

YM2 ve YM3 modellerinin YM1 modelinden önemli avantajları rotalama modeli kontrol etmeden önce aleyhteki rotaları elimine etme yetenekleridir. Böylece, bu modellerin mevcut rotalama modeline epey fayda sağlamaları beklenir.

2.5.1.2. Rotalama Kararları

Yukarıdaki üç yükleme modelide operasyon atamalarının optimizasyonunu ve sisteme giren parçaların olurlu rotalarının sayısını maksimize etmek istemektedir. Bununla birlikte, bizim çıkarımımız ise; herbir parça tipi için yükleme modelinden rotalama alternatiflerinin setidir. Örneğin, parça tipi 1, 2 alternatif rotaya ve parça tipi 2'de 3 alternatif rotaya sahip olsun. Bununla birlikte, geride kalan rota veya rotalar karışımı çözülmemişlerde sistem performansının maksimizasyonu için adapte edilmiştir.

Rotalama modelinin amacı, yükleme modelinden çıktıyı almaktır. Rotalama modeli, olurlu rotaların seti olup sistem performansını optimize etmeye çalışır.

Sistem/makina verimliliğini maksimize etme ve proses içi envanteri minimize etmeyi gerçekleştirme iki önemli Esnek İmalat Sistemleri performans kriteridir. Rotalama modelinin amacında bu iki hedefi birleştirmeye temel ve pratik olarak çalışmaktadır. Birinci yol çoklu kriterli karar yapıları uygulamalarıdır. Diğer alternatif ise, iki hedefide gerçekleştirebilecek vekil amaç fonksiyonunu optimize etmektir. Genellikle verilen iş grubunu (örneğin iş tamamlanma zamanı) tamamlamada gerekli en kısa toplam zaman civarında enaz proses içi stok envanteri tasınır. Ayrıca, iş tamamlanma zamanının minimizasyonu ile verimlilikte artar. Dolayısıyla, rotalama amacının tamamlanma zamanıyla adaptesinin uygun olduğunu kabul etmek gerekir. Wilhelm ve Shin (1985) ve Van Looveren ve arkadaşları (1986)'nın çalışmalarına benzer şekilde rotalama modeli aşağıdadır (Injazz C. et al, 1991):

Rotalama modeli;

$$\text{Min MS} \quad (2.4.)$$

$$\sum_{h=1}^H \sum_{g=1}^G T_{h_g} \cdot n_{hg} \leq MS, \quad j=1, \dots, J \quad (2.4.1.)$$

$$\sum_{g=1}^G n_{hg} = D_h, \quad h=1, \dots, H \quad (2.4.2.)$$

$$n_{hg} \geq 0, \text{ tamsayı.} \quad \text{tüm } h, g \text{'ler için.} \quad (2.4.3.)$$

Burada;

MS : Toplam iş tamamlanma zamanı.

T_{h_g} : Eğer g rotası kullanılıyorsa, j. makinadaki h tipi parçaların tüm operasyonlarının icra edildiği zaman.

n_{hg} : g rotasıyla üretilen h tipi parçaların sayısı.

D_h : h tipi parça için talebi göstermektedir.

Yukarıdaki model, Esnek İmalat Sistemleri performansında alternatif rotalama politikalarının etkisinde eniyelenmiş temel model olarak aşağıdaki varsayımlara dayanmıştır:

1. Operasyon işleme zamanları makina hazırlık zamanlarını içermektedir.
2. Malzeme taşıma zamanı, operasyon işleme zamanıyla karşılaştırmada yeterli değildir.

(2.4.1.) kısıtı tamamlanma zamanı ve herbir makinadaki toplam makina çalışma zamanı arasındaki ilişkiyi kurar. Buda iş tamamlanma zamanının herbir makinadaki toplam makina çalışma zamanından büyük yada eşit olmasını sağlar. Herbir parça tipinin talebinin karşılanmasında (2.4.2.) kısıtı ile karşılaşılır. Sonuç olarak üretilecek parça tiplerinin sayısında kullanılacak özel rota non-negatiftir. Buda kısıt (2.4.3) ile karşılanmaktadır.

2.5.2. Araştırma Hipotezleri ve Simülasyon Prosedürü

Yukarıdaki üç yükleme modeli ve rotalama modeliyle ilgili olarak hazırlanan araştırma soruları konvansiyonel atölye tipi yükleme ve sabit rotalama imalat politikasıyla Esnek İmalat Sistemleri'nin mantığına uygun olarak bağlantı kurulmuş ve 3 konu belirlenmiş ve bununla ilgili olarak Esnek İmalat Sistemleri'nin kendine has bir simülasyon prosedürü ve algoritması geliştirilmiştir. bu 3 konu ise;

1. Yükleme modelinin Esnek İmalat Sistemleri performansına etkisi
2. Esnek İmalat Sistemleri'nin performansında sabit rotalamayla alternatif rotalamanın karşılaştırılması
3. Operasyon şartlarının Esnek İmalat Sistemleri performansına etkisidir.

Birinci araştırma konusundaki mantık, modelde operasyon işleme zamanı bilgilerinin dahil edildiği YM3'tür. Ayrıca YMI basitçe ağırlıksız operasyon atamalarını

maksimum ediyorken herbir parça tipi için gerekli operasyonları dahil eden YM2 modeli YM1 modelinden daha iyi sonuç vermektedir.

Alternatif rotalama imalat politikasıyla ise, alternatif rota sayısı artar ve buda iş bekleme zamanının düşmesine, makina/sistem faydalılığının artmasına neden olur.

Prosedür ise 3 bilgisayar programını içermekte ve bu programlarla Esnek İmalat Sistemi simülasyonunu gerçekleştirmektedir. Bilgisayarla yapılan simülasyon prosedürünün yapısının detayları adım adım şöyledir (Injazz J. et al, 1991):

1. Yukarıda tanımlandığı gibi gerekli veri gruplarını üret.
2. Yukarıdaki veri gruplarını kullanarak Esnek İmalat Sistemi yükleme problemini formüle et.
3. Esnek İmalat Sistemi yükleme kararını bulmada LINDO paket programının tamsayı programlama fonksiyonunu çalıştır.
4. Sonuç çıkarma mekanizmasının etkisini kontrol et. Esnek İmalat Sistemi rotalama problem formülasyonu için Esnek İmalat Sistemi yükleme kararları girdilerini al.
5. Rotalama kararını bulmak için LINDO paket programının lineer programlama fonksiyonunu çalıştır.
6. İstatistiksel analiz için simülasyon sonuçlarını al ve yukarıdaki prosedürü tüm hücrelerdeki deneysel dizayn tamamlanana kadar tekrar et.

2.6. Literatür Araştırması

Aşağıda bazı araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar farklı çevrelerde farklı performans ölçüleriyle çizelgeleme kurallarının değerlendirilmesini içermektedir. Sınıflandırılacak olan araştırmalardan elde edilen sonuçlar bu incelemenin sonunda sunulacaktır. Amacımız, güçlükle elde edilebilen genel sonuçları gerçek olarak açıklamaktır. Çizelgeleme kurallarının performansı yalnız kriter seçimine değil, aynı zamanda üretim sisteminin seçimine de bağlıdır. Araştırmacılar, deneysel tasarımların

özelliklerinde yeterli detayları sağlamakta başarısız olduklarında, araştırma sonuçlarında sık sık çelişkiler ortaya çıkmaktadır.

Conway (1965) çok sayıda çizelgeleme kuralının analizini yapan ilk araştırmacılar arasındadır. Conway, bir atölyeyle 9 makina grubunun herbirini tek makina olarak düşünmüştür. O'nun karşılaştırma kriteri, proses iç envanter ve iş gecikmelerinin çeşitli ölçüleridir. Conway, proses içi envanterin minimizasyonu için, 16 çizelgeleme kuralını test etmiştir. Yaptığı çalışmaların sonucunda performans açısından EKİZ (İşlem süresi en kısa olan önce) kuralı diğer bütün kurallardan daha yüksek çıktı. EKİZ kuralı teslim tarihine dayalı kriterlerdende daha iyi sonuç vermiştir.

Hershauer ve Ebert (1975) üç işleme süresine dayalı çizelgeleme kuralıyla teslim tarihine dayalı çizelgeleme kurallarını kombine ederek 7 çeşit kural gözönüne aldılar ve test ettiler. Elde ettikleri sonuçlar ise aşağıdadır:

1. EKİZ kuralı öncelikle ortalama akış zamanını minimize etmektedir.
2. Teslim tarihine dayalı kurallar EKİZ kuralına göre birim sipariş maliyetlerinde daha iyi netice vermektedir.
3. SLACK/RO diğer teslim tarihine dayalı kurallardan daha iyi sonuç vermektedir.

McCartney ve Hinds (1981), öncelikle üç kuralı (İGÖ, EKİZ ve SLACK/RO), makina ve bir taşıma sisteminden ibaret olan EİS'nde test etmişler ve ortalama pozitif gecikme için SLACK/RO'nun, teslim tarihi gözönüne alınmadığında diğer iki kuraldan daha iyi sonuç verdiğini kabul etmişlerdir. Ayrıca, teslim tarihine dayalı kurallar gözönüne alındığında EKİZ kuralının diğer kurallardan daha iyi sonuç verdiğinide kabul etmişlerdir.

Stecke ve Solbeg (1981), gerçek bir EİS'nin deneysel araştırmasını yapmışlardır. Bu sistem 9 makina, 1 kontrol istasyonu ve 1 malzeme iletim sisteminden ibarettir. Sistemin performansını ölçmek için çok sayıda parçayla birlikte 16 kuralı test ettiler. Bu testin sonucunda EKİZ kuralı ortalamanın altında bir sonuç vermiştir.

Blackstone et al (1982), çizelgeleme kurallarıyla ilgili çalışma yapmışlar ve EKİZ kuralı tüm çalışmalarında en iyi sonucu vermiştir. Dar-el ve Wysk (1983) klasik bir iş atölyesinde 6 çeşit kuralı test ettiler. Performans kriteri olarak minimum iş gecikmelerini aldılar. Çalışmalarının sonucunda EKİZ kuralı ortalama pozitif gecikmeyi en iyi şekilde minimize etmektedir.

Elmaraghy (1982), 5 makina, 1 yükleme/boşaltma istasyonu ve iki malzeme iletim sisteminden oluşan sisteminde 4 çeşit öncelikli kurala göre (EKİZ, İGÖ, RANDOM, FRO) test etmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda EKİZ kuralı çok sayıda parça üretiminde en yüksek üretim oranını sağlamış ve bütün istasyonların toplam işleme zamanı oranında eniyilenmiştir. Aynı zamanda EKİZ kuralı ortalama akış zamanını da diğer çizelgeleme kurallarına göre eniyilemektedir.

Ballakur ve Steudel (1984), çalışmalarında atölye tipi kontrol sistemini gözönüne almış ve şu sonuçlara varmışlardır:

1. EKİZ kuralı, süzme kuralları arasında en iyi sonucu vermiştir.
2. Birleştirilen kurallar, SLACK ve EKİZ'de daha fazla araştırmayı kapsar.

Çizelgeleme kurallarının sistem performansı üzerindeki sonuçlarını açıklayan tabloda aşağıda verilmiştir (Montazeri et al, 1990):

Tablo 2.1. Çizelgeleme Kurallarının Literatür Özeti (Performans ölçümlerinin sınıflandırılması)

Performans	Referans							
	Conway (1965) ¹	Dar-el et al (1982) ¹	Hershauer et al (1975) ¹	McCartney et al (1981) ²	Stecke et al (1981) ²	Elmeraghy (1982) ²	Blackstone et al (1982) ³	Ballakur et al (1984) ³
Ortalama fayda	—	—	—	—	—	—	—	—
Üretim oranı	—	—	—	EKİZ	SDT	EKİZ	—	—
Proses içi envanter	EKİZ	—	—	—	—	—	—	—
Ortalama akış zamanı	EKİZ	—	EKİZ	—	—	EKİZ	EKİZ	EKİZ
Ortalama gecikme	EKİZ	—	—	—	—	—	EKİZ	EKİZ
Ortalama pozitif gecikme	—	—	—	EKİZ	—	—	EKİZ	EKİZ
Geç kalan iş sayısı	—	EKİZ	—	—	—	—	—	—
Teslim tarihine dayalı kriter	SLACK/R O	—	SLACK/R O	—	—	—	SLACK/RO	—

¹. Atölye tipi ortamda.

². EİS ortamında.

³. Ortam açıklanmamış.

Ayrıca, bu araştırmalar dışında yapılmış olan çalışmalardan önemli gördüğümüzden bazılarında aşağıda özet olarak vereceğiz.

2.7. EİS'nde Simülasyona Dayalı Gerçek Zamanlı Çizelgeleme

EİS'te karar verme problemleri dizayn, planlama (yada sistem hazırlığı), çizelgeleme ve kontrol olmak üzere 4 aşamada incelenebilir. EİS'teki çizelgeleme problemi, hazırlıktan sonraki parça akışıyla ve işleme zamanındaki sistem çalışmasıyla ilişkilidir. Problem, parçaların giriş sırasının belirlenmesi ve verilen sistem konfigürasyonunda herbir makina takımında operasyon sıralamasını ve parça karışımını kapsar.

Parça imalat sistemlerinde çizelgelemeye farklı yaklaşımlar verilebilir. Operasyonlar bilgisayar kontrolludur, ardışık operasyonlar arası hazırlık otomatiktir ve tüm operasyonlar NC makina takımıyla işlenir. Dolayısıyla işleme zamanları hemen, hemen deterministiktir. Buda gösterir ki, sistem karışıklığı yoksa çizelge sonuçları önceden tahmin edilebilir. Bazı istasyonlarda sabit statik çizelgeleme olabilir, buna rağmen problem analitik olarak zordur. EİS için pratik olmayan statik çizelgelemeyle dinamik ve belirsiz sistem doğasına sahip durumlarda bir sonuç elde edilmeyebilir. (Kim et all, 1994) Genellikle, EİS'nin daha sıkı senkronizasyona sahip olması, sisteminin geliştirilmiş olması ve otomatik bileşenler arasındaki karşılıklı bağımlılık sayesinde konvansiyonel sistemlere göre sistem karışıklığına daha duyarlıdır. Bundan dolayı sistemdeki ani değişimlere acil olarak cevap verme ihtiyacı hasıl olmaktadır. Buda gerçek zamanlı çizelgelemeyle başanabilir. Bu durumda kullanılmakta olan sistemde kararlar, gelen parçalar, makina durumu (dolu, boş), makinalardaki kuyruklar, takım arızaları, öncelikli işler ve diğer bazı sistem aksaklıkları gözönüne alınarak verilir.

Çizelgeleme araştırmasıyla çokaz genel sonuç elde edilmiştir. Çizelgeleme metodolojisinin performansı sistemin performansı konfigürasyonuna olduğu kadar seçilen kriterlere de bağlıdır. Bu nedenle verilen herhangi bir sistem için sistemin ihtiyaçlarına göre

dikkatli bir şekilde uygun performans ölçümü seçilmelive daha sonra bu ölçüm üzerinde çeşitli çizelgeleme metodları geliştirilmelidir.

Biz burada açık atölye tipinin karakteristiklerinden oluşan bir EİS'ni gözönüne alan Min Hee Kim ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmayı inceleyerek konuyu açıklamaya çalışacağız. Bu çalışmada, herbir parça için proses planının, sistem konfigürasyonunun ve sistem hedeflerinin verildiği varsayılmıştır. Aynı zamanda parti büyüklüğünün ve parça rotalarında belirli olduğu kabul edilmiştir. Bu kararlar optimal yada optimale yakın verilirse daha fazla tasarruf edileceği görülür. Örneğin, dikkatli bir şekilde yapılan proses planının problemi kolaylaştırabileceği ve daha basit bir şekilde iyi bir çizelge bulunabileceği görülür (Min H. et el, 1994). Bu çalışmadada karar verildikten sonra çözülmesi gereken düşük seviyeli işlemleri içeren küçük seviyeli çizelgeleme problemleri ele alınacaktır.

Çizelgeleme ve yeniden çizelgeleme metodunu esas alan bir çizelgeleme mekanizması geliştirilmiştir. Bu mekanizmada iş süzme kuralları kesikli olaylı simülasyon sonuçlarına göre seçilmiştir. Burada iki büyük komponent vardır. Birincisi, simülasyon mekanizması, ikincisi ise gerçek zamanlı kontrol mekanizmasıdır. Simülasyon mekanizması, çeşitli süzme kurallarını değerlendirip verilen kriter için en iyisini seçmektedir. Gerçek zaman kontrol sistemi, peryodik olarak fabrika karakteristiklerini izlemekte ve sistem performansını ölçmektedir. En iyi süzme kuralı, gerçek performans değeri ve simülasyonun verilen bir limiti aşmasıyla ölçülen değer arasındaki fark belirene kadar kullanılır. Daha sonra simülasyonda kalan işlemlerle birlikte yeni bir simülasyon yapılır ve yeni kural seçilir.

2.7.1. Gerçek Zaman Çizelgeleme Mekanizması

Daha önce belirtildiği gibi makina gruplama, paletlerin ve sabitleyicilerin tahsisi, operasyonların atanması ve makinaların kesme takımlarının birleştirilmesi gibi planlama problemlerinin varsayımı baştan kabul edilmiştir. Aynı zamanda, sistemin performans

ölçüsünün verilerek, bir dizi süzme kuralından, sistemin hedeflerine, durumuna ve fabrikanın karakteristiklerine göre aday süzme kuralı seçilir. Bunlar simülasyonun girdileridir. Her iki komponent ve sistemdeki bilgi akışı çizelgeleme kontrolörüyle kontrol edilmektedir. Bu yapı en iyi süzme kuralının seçimi gerektiğinde simülasyon mekanizmasını çağıran bir kural seçici içermektedir. Bu seçim herbir planlama ufkunda yada peryodik izlemeye sistem hataları yada büyük bir sistem hatası gibi aksaklıklar olması halinde yapılır. Şayet sistem çevresinde yada sistem bünyesinde değişiklik yoksa herbir planlama ufkunda tek bir çizelgeleme aktivitesi olduğu gözönüne alınmalıdır. Simülasyon mekanizması, planlama probleminin kararlarında sağlanan bilgilerle oluşturulan bir modeli içermektedir. Kural seçici, simülasyon mekanizmasını çağırdığında bir dizi kesikli olaylı simülasyon aynı şartlar altında bulunan süzme kuralı setiyle birlikte oluşturulur. Simülasyondan elde edilen çıktılarla birlikte kural seçici verilen performans ölçüsü için en iyisini seçmektedir. Daha sonra seçilen kural çizelgeleme kontrolörüne gider ve kontrol sistemi için girdi elde edilir. Atölyede işler bu kurala göre dağıtılmaktadır. Bu anda çizelgeleme mekanizması seçilen süzme kuralından elde edilen değerleri kaydeder. Bu ölçülen değer simülasyon mekanizması için bir diğer çıktıdır. Bu mekanizma bilinmeyen gelecekteki makina arızalarını ve öncelikli işleri içermemektedir. Ancak halihazırdaki verilen sistemi içermektedir. Bu nedenle deterministik simülasyon olarak gözönüne alınır.

Gerçek zamanlı kontrol sistemleri bütün çizelgeleme çizelgeleme kontrolör bilgisini atölyeye göndermekte ve buna görede işler makinaya dağıtılmaktadır. Aynı zamanda gerçek zamanlı kontrol sistemi performans olarak atölyenin performans değerini izlemekte ve kontrol etmektedir. Gerçek ve ölçülen performans değerleri arasındaki fark izleme noktasında (performans limitinde) önceden belirlenen limit değerini aşarsa yeni bir kesikli olaylı simülasyon yeni bir süzme kuralı seçimiyle birlikte diğer geride kalan işletme şartlarındaki içerecek şekilde yürütülür. Şayet farklılık performans limiti içindeyse, kalan proses mevcut kurala göre yürütülür. Bazen makina arızaları, takım kırılmaları ve acil işlerin gelişi gibi sistem aksaklıkları olabilir. Bunlar, büyük aksaklık ve küçük aksaklık olmak üzere iki şekilde kategorize edilebilir. Büyük

aksaklıklar acil işlerin gelmesi ve önemli makina arızaları olup bunlar uzun ve tespiti güç tamir zamanına ihtiyaç duyarlar. Diğer taraftan takım arızaları ve makina bozulmaları için olan tamir zamanı kısadır ve bunlar küçük aksaklık olarak gözönüne alınır.

Büyük aksaklık olması durumunda çizelgeleme kontrolörü yeni simülasyon mekanizmasını yeni bir sistemle birlikte yeni bir simülasyon icra etmesi için çağırır. Aynı zamanda yeni bir simülasyon sistem durumu normale döndüğünde icra edilir. Küçük aksaklıklar olduğunda (makina bozulması, takım kırılmaları olduğunda), gerçek zamanlı kontrol sistemi bozulmuş olan makinadan yeni rota belirler. Yeni rotaya verilecek işi yürütecek makinayı arasında en kısa kuyruk uzunluğuna sahip olanı yeni rotalama işlemi için seçilir. Bu noktada yeni bir simülasyon icra edilmez ancak ölçülen ve gerçek performans değerleri arasındaki farkın periyodik olarak izlenmesine göre yapılabilir. İzlenmeyen bir sistemin büyük aksaklıklar olması durumunda sağlanan yeni bir çizelgeyi gösterdiğini gözönüne alalım. Tavsiye edilen metodun performansı iki parametreye bağlı olabilir. Bunlar izleme periyodunun uzunluğu ve yeniden çizelgeleme için olan performans limitidir. Gözönüne alınan gerçek zamanlı çizelgeleme metodolojisi için izleme periyodu ve sistem üzerindeki performans limiti için çeşitli alternatifler tavsiye edilmiştir. Performans sadece bu parametrelere bağlı olmayabilir. Aynı zamanda çizelgeleme mekanizmasındaki süzme kurallarının ayarlanmasında bağlıdır.

2.7.2. Hesaplamaya Dayalı Deneyler

Metodolojinin uygulanabilirliği için makina takımları üreten bir EIS'nde simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Daha önce belirtildiği gibi izleme periyodu ve sistem performans limiti için çeşitli alternatifler denenmiştir. İzleme periyodunun uzunluğu için çeşitli esaslar olabilir. Bu çalışmada ortalama operasyon işleme zamanı esas alınmıştır (MPT). Denenen izleme periyodu uzunlukları $MPT*5$, $MPT*8$, $MPT*10$ ve $MPT*12$ 'dir. Aynı zamanda performans limiti içinde 4 alternatif (%3, 5, 7 ve 10) denenmiştir. Dolayısıyla, gerçek performans değeri ölçülen performans değerinden %3, 5, 7, 10' luk bir farklılık gösteriyorsa, simülasyon mekanizması çağrılmaktadır. Buna ilave olarak

peryodik izlemenin etkisini bulmak üzere izlemesiz çizelgeleme mekanizması test içinde yer alır.

2.7.3. Gözönüne Alınan EİS

Gözönüne alınan EİS 6 adet yatay makina işleme merkezi, 1 adet yıkama makinası, 2 adet yükeme/boşaltma istasyonu, 1 adet parça stoklayıcı, 1 adet malzeme taşıma için kreyn ihtiva etmektedir. Makina işleme merkezi farklı operasyonları işlemek üzere farklı takımlar içerebilir. Parça stoklayıcısı, 90 adet paleti depolayabilme kapasitesine sahip ve depolayıcı kreyn paletleri makina işleme merkezi ve depo arasında taşır.

İşler acil olanları dışında herbir üretim planına göre planlama ufkunun başında yığın olarak gelir. Herbir iş planlama aşamasında tanımlandığı gibi ilgili makinalarda işlenir. Teslim tarihi, işleme zamanına uygun olarak işlere uygulanır. Buradaki teslim tarihi varış zamanına ilave olarak toplam işlem zamanının 6 katıdır. İşleme ve nakil zamanları deterministiktir ve bilinmektedir. Aynı zamanda eğer işler acil değilse, sonraya kalan işler halihazırdaki planlama ufku tamamlandıktan sonra gözönüne alınır. Sisteme sağlanan parçalar sisteme alınır ve yükeme/boşaltma istasyonundaki operatör tarafından palet üzerine sabitleştirilir. İşlem yapılacak makina merkezi doluyrsa parça aylaktır. Yüklenen parça, depolama kreyni ile taşınır ve işlenir. Eğer makina işleme merkezi meşgulse, yüklenen parça beklemek üzere depolayıcıya taşınır. Makina işleme merkezi bir parçayı tamamladığında, süzme kurallarına göre daha sonra kalanlardan birini seçer. Makina yada depolayıcı uygunsa o makinada tamamlanmış olan parça bir sonraki makinaya gider. Eğer parçanın tüm işlemleri tamamlanmışsa, yıkama makinasında yıkanır ve boşaltılmak üzere yükeme/boşaltma istasyonuna nakledilir. Bu akış, bir kontrol bilgisayarı tarafından yürütülmekte olup makina kuyruklarındaki parçalar hakkındaki tüm bilgiye sahiptir. Bu bilgiler ise, varış zamanı, toplam işlem zamanı, kalan iş, işlemlerin toplam sayısı, kalan işlerin sayısı ve teslim tarihidir. Bu sistemde üç tane performans kriteri kullanılmıştır. Bunlar:

1. Ortalama akış zamanı.
2. Ortalama pozitif gecikme zamanı.
3. ikili kriter ölçüsü; buda diğer ikisini ağırlık ölçme faktörüne bağlamaktadır.

İkili kriter ölçüsü, ortalama akış zamanı ve ortalama pozitif gecikmeye karşı eşdeğer ağırlıkları vermektedir. Çünkü heriki kavramda önemli sayılmaktadır. Her ne kadar bu ölçümler sistemde kullanılsada önerilen çizelgeleme metodlarını sisteme farklı amaçlar içinde uygulayabiliriz. Bunlar hazırlık zamanının yada üretim zamanının minimize yapılmasıdır. Bunlar bazı sistemlerde daha önemlidir.

2.7.4. Test Problemi

Simülasyon deneylerinde, planlama ufkuunda gözönüne alınan işlerin sayısı için üç aralıkla karakterize edilen (20, 30, 40 adet) ve ortalama işlem zamanı içinde yine üç aralıkla karakterize edilen (40, 50, 60 dk) 9 uygulama yapıldı. Herbir planlama ufku süresince yapılan simülasyon çalışmaları gözönüne alınması gereken iş sayısını 20 adet olarak göstermiştir. Çizelgeleme metodları izleme peryotları ve performans limitlerinin tüm kombinasyonlarında test edilmiştir. Ortaya çıkan problemlerin yukarıdaki sistemi yansıtmaları için testte rassal unsurlar kullanılmıştır. Problemler için üretilen datalar ise şöyledir:

1. Herbir işin operasyon sayısı kesikli üniform dağılımlı ve 3-6 arasındadır.
2. Makinalar (birincil ve alternatif), eşit ihtimallerle herbir operasyonu işlemede rassal olarak seçilmiştir. Alternatif makina sayısı 0, 1 ve 2'den eşit ihtimalle seçilmiştir. Alternatif makina sadece bir operasyon için asıl makina kullanılamaz olduğunda kullanılabilir.
3. Herbir operasyonun işleme zamanı eksponansiyel dağılımdadır ve verilen ortalama değerler ise 40, 50 ve 60 dakikadır.

4. Yükleme ve boşaltma zamanları eksponansiyel dağılımdadır ve verilen ortalama değerler ise 15 ve 10 dakikadır.
5. Yıkama zamanı eksponansiyel dağılımdadır ve ortalama 10 dakikadır.
6. Taşıma zamanı eksponansiyel dağılımdadır ve ortalama 2 dakikadır.
7. Acil işlerin gelişi eksponansiyel dağılımdadır ve ortalama 400 dakikadır.
8. Büyük arızalar herbir makina için eksponansiyel dağılımdadır ve 1500 dakika olan arızalararası ortalama zamanla olmaktadır. Herbir arızanın tamir süresi ise eksponansiyel dağılımdadır ve ortalama 200 dakikadır.
9. Takım kırılmalarını içeren küçük arızaların olması ise eksponansiyel dağılımdadır ve 500 dakika olan arızalararası ortalama zamanla olmaktadır. Herbir arızanın tamir süresi ise eksponansiyel dağılımdadır ve ortalama 30 dakikadır.

Deneysel model Siman 4.00'da programlanmış ve alt programlar Fortranda yazılmıştır.

2.7.5. Sonuçlar

Sonuçlar tablo 2.2., 2.3. ve 2.4.'te görülmektedir. Tablolarda, izleme periyotları ve performans limitlerinin herbir kombinasyonu için ortalama düzeltme yüzdeleri verilmiştir. Düzeltme yüzdeleri $100 \cdot (S_0 - S_m) / S_0$ 'dan hesaplanmıştır. Burada, S_0 , izlemesiz çözüm değeridir (ortalama pozitif gecikme, ortalama akış zamanı veya kombine ölçüm değeri). S_m 'de periyodik izlemeyle bulunmuştur. Test sonuçlarına göre, sistem performansını değiştirmenin avantajlı olduğu ve yeniden çizelgelemeyle performanstaki değişime cevap verilebileceği söylenebilir. İzleme periyotlarının farklılığıda performansın farklı olmasına neden olmaktadır.

Tablo 2.2., 2.3. ve 2.4.'te görüldüğü gibi, izleme periyotları uzunluğu, MPT*5 ve MPT*12'den sonra MPT*8 ve MPT*10 eniyi sonuçları vermektedir. Bunun anlamı ise, çok uzun izleme periyotlarında sistem çok kötü performans sonuçları verir ve aynı zamanda çok frekanslı izleme (ve yeniden çizelgeleme) performansa negatif etki eder.

Tablo 2.3. Ortalama akış zamanında ortalama düzeltme yüzdeleri

izleme per.					Üstü
perf. limiti	MPT*5	MPT*8	MPT*10	Mpt*12	Üstü
3%	1,19	1,20	1,83	0,91	1,28
5%	1,52	1,82	1,93	1,20	1,62
7%	1,62	2,08	1,90	1,31	1,73
10%	0,47	1,22	0,81	0,52	0,76
üstü	1,20	1,58	1,62	0,99	1,35

Tablo 2.3. Ortalama pozitif gecikmede düzeltme yüzdeleri

izleme per.					Üstü
perf. limiti	MPT*5	MPT*8	MPT*10	Mpt*12	Üstü
3%	2.52	2.84	5.51	2.89	3.44
5%	3.61	4.45	6.10	1.91	4.02
7%	3.50	4.70	5.21	2.42	3.96
10%	2.79	3.66	3.41	1.49	2.84
üstü	3.11	3.91	5.06	2.18	3.56

Tablo 2.4. İkili Ölçümde ortalama düzeltme yüzdeleri

izleme per.					Üstü
perf. limiti	MPT*5	MPT*8	MPT*10	Mpt*12	Üstü
3%	0.54	1.70	1.98	1.11	1.33
5%	1.41	2.70	2.43	1.41	1.99
7%	1.49	2.36	2.58	1.77	2.05
10%	0.01	1.18	1.07	0.27	0.63
üstü	0.86	1.99	2.02	1.14	1.50

Sistem performansına performans limitleride etki etmektedir. Her ne kadar ortalama pozitif gecikmenin, ortalama pozitif gecikmedeki sistem performansına etkisi az olsada, limitler önemli ölçüde çizelgeleme mekanizmasındaki ortalama akış zamanına ve ikili ölçüme etki etmektedirler. Sistem performansının beklendiği şekilde olması için limit değerlerinin çok büyük ve çok küçük olmamasına dikkat edilir (% 5 ve 7 alınır). Simülasyon mekanizmasından seçilen çizelgeler yada çizelgeleme kuralları bazı durumlarda yeterli bekleme süreleri uygulandığında iyi sonuçlar vermektedirler. Aşağıda bulunan tablo'da bu çizelgeleme kurallarının bir kıyaslamasını vermektedir.

Tablo 2.5. Süzme Kurallarının Karşılaştırılması

Süzme Kuralları	Akış zamanı		Pozitif gecikme		İkili	
	a	b	a	b	a	b
EKİZ	16	52	0	113	0	71
SJT	23	0	76	16	0	39
PDJT	0	43	0	98	0	61
PMJT	112	61	96	148	128	83
İGÖ	0	17	0	60	0	28
SLACK	0	22	0	73	0	37
S/RMOP	0	28	0	95	0	51
S/RMWK	0	30	0	90	0	52
EDD	0	23	16	76	0	39
MDD	16	32	16	105	0	51
MOD	0	39	32	106	16	54
COVERT	0	50	0	120	0	67
ATC	0	22	0	82	0	33

a. Başlangıç simülasyonunda en iyi çözümü veren kuralın zaman sayısı

b. Altsıra simülasyonunda en iyi çözümü veren kuralın zaman sayısı.

Bu tabloda görüldüğü gibi simülasyonun başlangıcında herbir kural eniyi sonucu vermektedir. Daha sonra sistem aksaklıklarından dolayı, sonraki simülasyonlar görülmektedir. Sonuçlar atölye tipi çizelgelemede kullanılan diğer araştırmadan farklıdır. Özellikle bu farklılık, ortalama pozitif gecikmede ortaya çıkmaktadır. Covert ve ATC iyi bir performans göstermemiştir. Eniyi performansı gösterenler teslim tarihini gözönüne alanlardır. Çünkü bu çalışmada herbir işin teslim tarihi işin işleme zamanıyla çoklu olarak set edilmiştir.

Tablo 2.2., 2.3. ve 2.4.'te görülen gelişmeler yeterli derecede etkileyici olmayabilir. Tablolar sadece periyodik izlemenin etkisini göstermektedirler. Kural seçimi için simülasyon mekanizmasının kullanımının etkisini içermemektedirler. İzleme periyodunda temel olarak ortalama operasyon işleme zamanı kullanılmıştır. Kullanılan metodolojinin iyi bir tarafıda, uzun hesap dönemine ihtiyaç göstermemesidir.

2.8. Esnek İmalat Sistemlerinde Dinamik Yükleme ve Süzme

Otomasyon yapılmış sistemlerde üretim planlaması alışılmış hiyerarşik yaklaşıma göre yapılabilir (Kimemia ve Gershwin, 1983). Bu yaklaşıma göre, planlama metodu özel hedef ve sınırlarla karakterize edilen üç safhaya ayrılır:

1. Orta süreli planlama.
2. Kısa süreli planlama.
3. Gerçek zaman kontrolü.

Orta süreli planlamada metodsall değişimler önemli değildir ve böylece metodolojiler geçerli kalır. Diğer iki planlamada ise ilginç çalışmalar ve deneyler, esnek otomasyon gözönünde bulundurularak geliştirilebilir.

Gerçek zamanlı kontrol için iki değişik yaklaşımın gelişimi tanımlanabilir. Üretim karışımı sınırlıysa ve değişmiyorsa fabrikanın konfigürasyonu ve çalışma yöntemlerinin optimum çözümü simülasyon, kuyruk teorisi ve lineer programlama gibi yöntemlerle sağlanır. Fakat üretim karışımı genişse ve sürekli değişiyorsa, optimum çözümü arayan yukarıdaki yöntemleri kullanamayız. Burada amaç, dizayn safhasıyla işletme safhasını ayrı ayrı ele almaktır. Fabrikanın dizaynı standart bir karışıma göre yapılır. Üretim yönetimindeki kontrol kuralları hakkında ise, fabrikanın yönetimini üretilecek karışıma adapte edecek yaklaşımlar görülür. En yaygın olan yaklaşım prosesi iki safhaya böler (Shanker and Tzen, 1985):

1. Yükleme; işleri üretime sokabilmek için sistemin girişinde işlerin sıralanmasıyla tutarlı olmalıdır.
2. Süzme; bir makinada üretim için bekleyen işlerden yüklenecek olanların seçimiyle tutarlı olmalıdır.

Burada yukarıdaki yaklaşımı incelemek için Garetti ve arkadaşlarının çalışmasını (Garetti et al, 1990) vereceğiz.

Yükleme ve süzme algoritmalarının performansları hem mevcut üretim, hemde geçici peryotlar gözönünde bulundurularak araştırılabileceği için, her iki çalışma moduda dikkate alınmıştır. Üretim anında fabrika hem mevcut durum şartlarında hemde doluluk ve boşluk (geçici) şartlarında bulunacağından, EIS'nin yükleme ve süzmesinde mantıklı bir yaklaşım olmalıdır.

Atölye tipi ve Esnek İmalat tipi sistemlerde süzme (çizelgeleme) kurallarının uygulaması hakkında birçok çalışma yapılmıştır (Baker and Kanet 1984, Bell and Bilalis 1982, Bunnog and Smith 1985, Doulgeri et al 1985, Scutter and Hoffman 1985, Shanker and Tzen 1985, Stecke and Solberg 1981). Yapılmış olan çalışmalar göstermiştir ki, farklı makinalar arasındaki iş yükünü dengeleyecek şekilde işleri sisteme yükleyen

yükleme kuralları genellikle iyi sonuçlar vermektedir (Bell and Bilalis 1982, Shanker and Tzen 1985).

Çeşitli EİS konfigürasyonları için başka ilginç çalışmalarda yapılmıştır (Doulgeri et al 1987, Denzler and Boe 1987). Denzler ve Boe (1987) bir duyarlılık araştırması yapmış ve bir yükleme/süzme çözümünün performansının, fabrika konfigürasyonunun ve üretim karışımının değişimine oldukça duyarlı olduğunu görmüşlerdir. Bu yüzden konu üzerinde sistematik deneylere ihtiyaç vardır.

2.8.1. Çalışmanın Hedefi:

Burada açıklayacağımız çalışmanın amacı, üretim karışımının ve fabrikanın karakteristiklerinin, yükleme ve süzme kurallarının performansı üzerindeki etkilerini araştırmaktır. Üretim karışımı hakkında:

1. Rotalamanın özellikleri
2. Karışımın dengeleme indeksi incelenmiştir.

Rotalamayı, hem akış tipi hemde atölye tipine göre düşündük. EİS'nde her iki akış tipide mümkündür ve uygulanmaktadır.

Bir iş karışımının dengeleme indeksini (BI, 0-1 arasında) şöyle tanımlayalım:

$$BI = \frac{\sum_i \sum_j T_{ij} N_j}{\max_i \{ \sum_j T_{ij} N_j \} m} \quad (i=1, \dots, m) \quad (j=1, \dots, l) \quad (2.5)$$

olup burada; i makina indeksini, j iş indeksini, m sistemdeki makina sayısını, l üretim karışımını meydana getiren işlerin sayısını, T_{ij} j işinin i makinasındaki makina zamanını, N_j karışımında j tipindeki işlerin sayısını belirtmektedir.

Dengelenmemiş bir karışım sistemde darboğaz oluşumuna sebep olduğu için, karışımın dengeleme indeksi fabrikanın verimlilik oranı üzerinde doğrudan etkilidir.

Diğer yandan, yükleme ve süzme kurallarının performansını etkileyen çeşitli parametreler vardır. Bunlar:

1. Operasyonlar arası tampon büyüklüğü (sistem tamponu).
2. EİS'ndeki makina sayısı.
3. Paralel makinaların olup olmaması.
4. Taşıma sisteminin verimlilik oranı.
5. Makinalardan önceki girdi-çıkı tamponlarının büyüklüğü.

Burada (1) ve (5). faktörlerin etkisi incelenmiştir: operasyonlar arası tamponun genişliği yükleme kurallarının davranışını etkiler. Geniş bir tampon varsa, yükleme işi daha önemsizdir. Makinalardan önceki sıralı tamponların varlığı ise süzme kurallarının önemini azaltır, çünkü bu tamponlar İGÖ (İlk gelen ilk servis görür) mantığıyla çalışmaktadır.

2.8.2. Deneysel Çatı

Deneysel Çatıda araştırmanın hedefleri için bir simülasyon modeli ve değişik özelliklerde belirli sayıda üretim karışımlarını içeren deneysel bir hazırlık yapılmıştır. Gözönüne alınan simülasyon modeli ise aşağıdadır.

2.8.2.1. Simüle Edilen EİS Modeli

Gözönüne alınan EİS 6 iş istasyonundan oluşmaktadır. Elemanları ise;

1. Dış direk giriş deposu.
2. Otomatik yükleme/boşaltma sistemi.
3. Sisteme girişin sıralı tamponu.
4. Sistem tamponu.
5. Taşıma sistemi.
6. Altı adet iş istasyonu: üç çeşit makina (M1, M2, M3) ve her çeşitte 2 makina vardır.
7. Sistemden çıkışın sıralı tamponu.

Sistem tamponu tekbir makina için ayrılmamıştır ve testteki kapasitesi 20'dir. Üretim karışımının özellikleri 15-20-40-80 şeklinde değişkendir ve bunun yükleme ve süzme kurallarının davranışları üzerindeki etkisi araştırılacaktır.

Bildiğimiz gibi, girdi-çıkı tamponları taşıma sisteminin etkisini azaltarak makinaların verimlilik oranlarını artırır. Simülasyon modelinde, karışım özelliklerinin testinde tek alanlı tamponlar, EİS özelliklerinin testinde ise bir veya üç alanlı tamponlar kullanılmıştır. Taşıma sisteminde iki OKA vardır ve kuralların performansını etkilememeleri için bilerek büyük tutulmuşlardır. Sistemin girdi-çıkı tamponları yükleme/boşaltma sistemini, sistemin ritminden kurtarır. Dış direk giriş deposu, kontrol sisteminin göstergesine göre operatörün bekleyen işlerden birini almasını sağlar.

2.8.2.2. Üretim Karışımları

14 değişik iş karışımı ele alınmıştır. Bunlardan 7 adedi akış tipinde (F1,...,F7), diğer 7 adedi ise atölye tipindedir (J1,...,J7). Dengeleme indeksleri ve makina işyükleri (darboğaz yükü 100 olarak alınmıştır.) her karışım için tablo 1'de verilmiştir. İyi bir karşılaştırma için aşağıdaki durumlar gözlenmiştir.

1. Her karışım 11 değişik iş türünden oluşmuştur.
2. Herbiri için aynı sayıda iş vardır. (Yükleme ve boşaltma geçişlerini kapsayan testler için 468, ilk ve son geçişlerin atıldığı mevcut durum testleri için 1874 iş vardır.)
3. Bütün karışımlar için darboğaz makina işyükü eşittir. (Geçişleri kapsayan testler için 5240 dakika, mevcut durum testleri için 20960 dakika.)

Her iş için sabit rotalı belirli üretim süreleri düşünülmüştür ve makina bozulmaları gözönüne alınmamıştır.

Tablo 2.6. Gözönüne alınan değişik üretim karışımları için makina yüklemeleri ve dengeleme indeksleri

<i>Makina iş yükü (%)</i>				
	<u>BI (%)</u>	<u>M1</u>	<u>M2</u>	<u>M3</u>
F1	100	100	100	100
F2	86.6	100	80	80
F3	86.6	80	100	80
F4	86.6	80	80	100
F5	80	100	70	70
F6	80	70	100	70
F7	80	70	70	100
J1	100	100	100	100
J2	86.6	100	80	80
J3	86.6	80	100	80
J4	86.6	80	80	100
J5	80	100	70	70
J6	80	70	100	70
J7	80	70	70	100

2.8.2.3. Yükleme ve Süzme Kuralları

Altı yükleme kuralı ve 7 adette süzme kuralı ele alınmıştır. Ele alınan yükleme kurallarının ilk üçü işyükü dengesini (BL1, BL2, BL3), dördüncüsü (RNO) rasgele

durumu, son iki kural (BN1, BN2) ise darboğaz makinayı gözönüne almaktadır. Süzme kurallarında ise; teslim tarihlerine dayalı kuralların dışındaki kurallar gözönüne alındı. Bu çalışmada ele alınan kurallar ise:

1. EKİZ
2. İGÖ
3. MOPR; maksimum operasyona sahip iş önceliklidir.
4. MOP; en çok toplam operasyona sahip işi önceliklidir.
5. MOPR-EKİZ; MOPR'un birkaç işe öncelik verdiği durumlarda EKİZ kullanılır.
6. SWNQ1; son operasyonunu o anda işlem gördüğü makinada gerçekleştirecek iş seçilir.
7. SWNQ2; o anda kuyruktaki işlerin operasyon süreleri toplamının en az olduğu makinada, sıradaki operasyonu yapılacak olan işe öncelik verilir.

SWNQ1'de üretimin son basamağında olan iş seçilir ve yeni işlerin daha çabuk gelmesi sağlanır. Fakat bakılan makinadan sonra gelen makinalardan daha az faydalanılmasına neden olur. Çünkü, bu makinalar üzerinde çalışacakları bir makina bulamayabilirler. SWNQ2 ise, işlerin sistemden çabuk çıkmasına uğraşmak yerine, sistemin verimliliğine ağırlık verir.

2.8.3. Simülasyon Çalışmaları

Bir yükleme kuralının etkinliği sadece mevcut durum performansı ile değil (bu geçici durumlarının ihmal edilmesini gerektirir), aynı zamanda mevcut durum performansını etkileyen hızlilikta ortaya çıkarılır. Örneğin, bir çalışmanın ilk safhalarında karışımın dengeleme özelliklerini kötüleştirecek bir yükleme kuralı uygulanırsa bu, sistemin daha sonraki safhalarda verimsiz kullanılmasına sebep olur.

Öte yandan, çeşitli gerçek durumlarda, yönetim, çalışma organizasyonu veya sistemin fiziki sınırları gibi sebeplerden, üretim her çalışma oturumunda programlanmış iş karışımının temizlenmesi şeklinde olur. Sistem, bir oturumla diğeri arasında boştur. Dolayısıyla EİS, üretim planlaması sistemi tarafından, belirli bir zaman aralığında bitirilecek bir işin verildiği bir makina gibi görülür. Kontrol kurallarının etkinliği verilen işi en kısa zamanda bitirme kapasitesi ile ölçülebilir. Bu yüzden simülasyon çalışmaları, mevcut durum, ilk geçici durum ve son geçici durum safhaları gözönüne alınarak yapılmıştır.

2.8.3.1. Deneyleerin Tarifi

Deney çalışmaları çok geniş kapsamlı yapılmıştır (yaklaşık 4200 test). Testler iki kısımda yapılmış olup; birinci kısımda karışımın özellikleri, ikinci kısımda ise fabrikanın özellikleri değişken tutulmuştur. Her kısımda mevcut durum ve geçici durum olmak üzere iki kısımdan oluşmuştur.

1. Karışım özellikleri ile ilgili testlerde, iki durumun ve 14 karışımın, 6 yükleme kuralı ve 7 süzme kuralı ile oluşturduğu bütün kombinasyonlar üzerinde çalışılmıştır.
2. Fabrika özellikleri ile ilgili testler, operasyonlararası 4 tampon değeri, makinaların giriş-çıkış (I/O) tamponları için 2 değeri ve atölye tipi karışımın 7 değeri gözönüne alınarak yapılmıştır. Bunların herbiri için bütün yükleme kriterleri, geçici durumları içeren süzme kurallarının bir alt kümesiyle yapılmıştır.

2.8.3.2. Performans Ölçüleri

Mevcut durum testlerinde kuralların performanslarını ölçmek için şu ölçüler kullanılmıştır:

1. Ortalama akış zamanı
2. Akış zamanının standart sapması

3. Sistemin ortalama verimliliği (MU), MU (0, 1 arasında) şu şekilde tanımlanmıştır:

$$MU = \frac{\sum_i \sum_j T_{ij} \cdot Q_j}{m \cdot T} \quad (i=1, \dots, m) \quad (j=1, \dots, l) \quad (2.6)$$

burada;

T_{ij} ; j işinin i makinasındaki makina zamanı.

Q_j ; T kadar sürede simülasyonla üretilen j tipindeki iş sayısı.

T ; Simülasyon süresi.

m ; makina sayısı.

l ; İş çeşidi sayısını göstermektedir.

Geçici durumları içeren testlerde ise aşağıdaki ölçüler kullanılmıştır:

1. Ortalama akış zamanı.
2. Akış zamanının standart zamanı.
3. Verimlilik indeksi (UI), aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$UI \text{ (0 ile 1 arasında) ve } UI = \frac{MU}{BI} \quad (2.7)$$

Mevcur durum halinde sistemin ortalama verimliliğini maksimize etme kapasitesi araştırılırken, yukarıda farklı bir performans parametresi kullanılmıştır. Geçici durumlar dikkate alındığında testlerde, kuralların ortalama verimliliğinin üst limitinden uzaklaşmama kapasitelerinin hesaplanması önemlidir (Bu karışımın dengeleme indeksidir).

Bu varsayımlarla çalışmalar yapılmış ve çeşitli sonuçlar görülmüştür. Bu sonuçları ise aşağıda genel olarak özetleyeceğiz.

2.8.4. Sonuçlar

1. Bu testlerde yükleme kurallarının etkisi, en azından yapılan test şartlarında süzme kurallarının etkisinden daha büyük olarak gözlenmiştir.
2. En iyi yükleme kuralları BL1 (Makinaların işyklerini mümkün olduğu kadar sabit tutacak şekilde işleri seçer.) ve BL3 (eşitli makinaların işykleriyle darboğaz makinanın işyükü oranlarını sabit tutacak şekilde işleri seçer.) olarak gösterilmiştir.
3. Sistemin ortalama verimliliği gözönüne alındığında en iyi süzme kuralı SWNQ2'dir.
4. Atölye tipi üretim, ortalama olarak akış tipi üretimden daha iyi performans sergilemektedir.
5. Akış tipi üretimde süzme kurallarının önemi, atölye tipindeki üretimden daha fazladır.
6. Karışımın dengeleme indeksi, yükleme kurallarının performansını büyük lde etkilemektedir. Süzme kurallarını ise yok denecek kadar az etkilemektedir.
7. Operasyonlar arası tamponun byklğu, kötü yükleme kurallarının performansını çok etkilemekte, iyi kuralları ise az etkilemektedir.
8. Operasyonlar arası tampon büyüyünce süzme kurallarının önemi artmaktadır.
9. Sıralı giriş/çıkış tamponlarının yükleme kuralları üzerindeki etkisi azdır. Bu tamponların boyutlarının süzme kurallarının performansına etkisi ise önemlidir. Bu tamponların boyutu arttıka süzme kurallarının performansı İG kuralına yaklaşır.

2.9. Esnek İmalat Sistemlerinin izelgenmesi

Bu alışmada Z. Doulgeri ve arkadaşları tarafından 1987 yılında yapılmıştır. Onlarda kendilerine göre bir sistem dizayn etmiş ve simülasyonla statik izelgeme yapmışlardır. alışmalarına, klasik atölye sistemlerinin içermeyip EİS'nin içerdiği değişkenleride katmışlardır. Yapmış oldukları çalışma zet olarak aşağıdadır.

Tasarlamış oldukları EİS aşağıdakileri içeren bir sistem olarak modellenmiştir:

1. Makinaların herbiride farklı türdeki operasyonları işlemeye uygundur.

2. Yükleme/boşaltma istasyonu gibi hizmet eden ve verilen kapasitedeki ortak depolama.
3. Herbir makinanın verilen kapasitesi için tamponc depolama.
4. Gerekli miktarda taşıma araçları içeren bir malzeme taşıma sistemi.
5. Takımlar için merkezi depo.
6. Verilen herbir makina kapasitesi için yeterli takım magazini.
7. Belirlenmiş sayıda takım taşıma sistemi.

Modelin operasyonlarını kapsayan ilave varsayımlar ise;

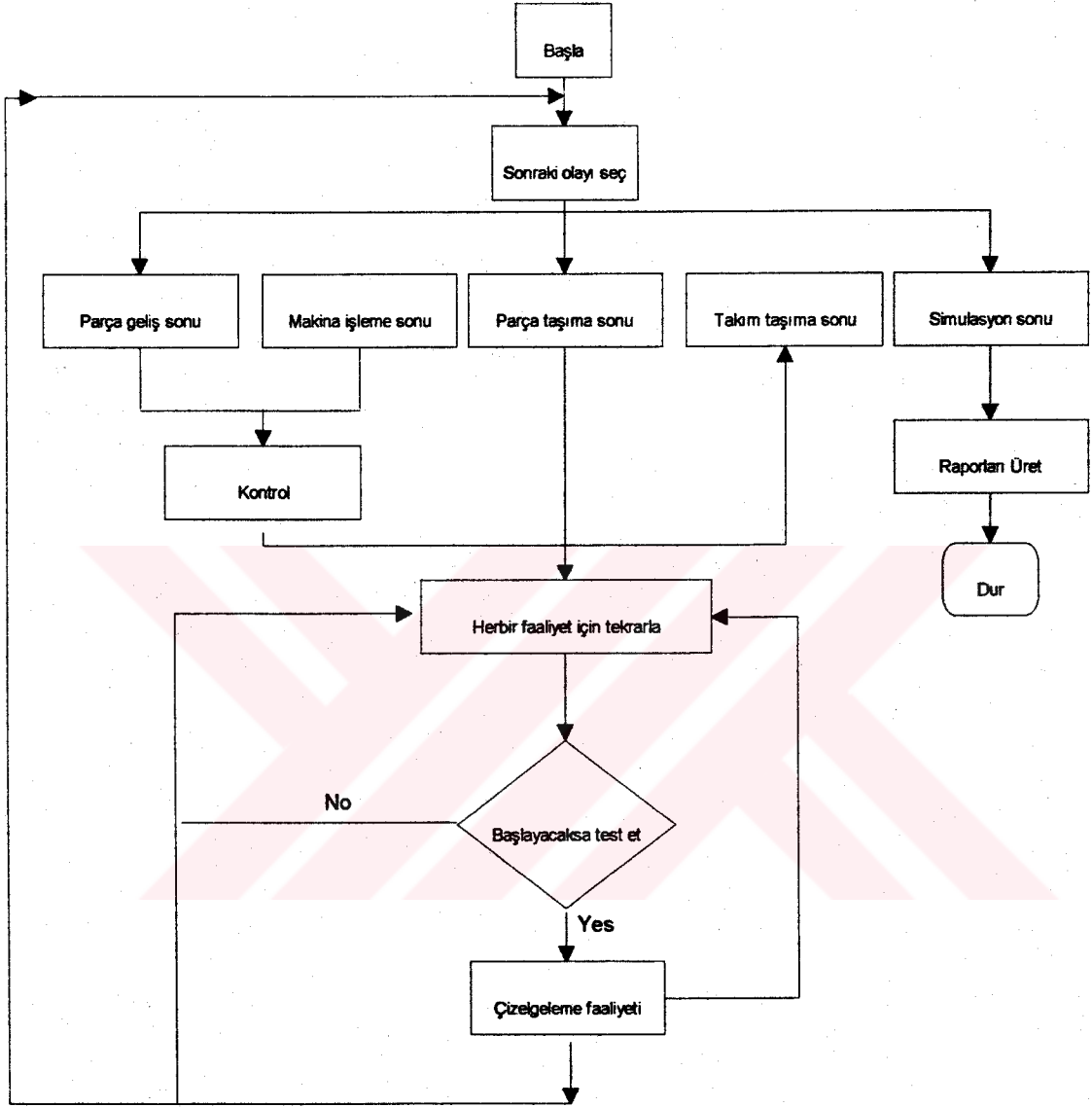
1. Aynı zamanda çalışan iki makinanın işlem yetersizliği yada benzer şekilde aynı makinanın iki parçayı işlemesindeki yetersizliğin, yansıtmada güçlükler olacaktır.
2. Proses aşamasında herbir parça için gereken operasyonu yerine getiren alternatif makina takımları olabilir ve herbir makina bir veya daha fazla operasyonu gerçekleştirebilir.
3. Herbir parça belirlenmiş operasyonel sıraya ve işleme aşamasındaki durumuna göre işlenir.
4. Operasyon süreleri ve taşıma zamanları verilir veya bilinen bir dağılımdan rasgele olarak üretilir.

EIS modelinin üretim çizelgeleme problemi şöyle açıklanabilir:

Tamamlanma zamanını minimize edecek şekilde sabit üretim oranlarıyla parça tiplerinin belirlenmiş sınırlarına ait N parçanın çizelgesini belirlemek.

Model, çizelgelenen algoritmaların geliştirilmesini kolaylaştırmak için yapılmıştır. Sistem aktivitelerinin simülasyonu verilen ayırma modülü ve kontrol modülüyle çizelgeleme kararlarından ayrılmıştır. Bu sadece kontrol modülünün değiştirilmesi gerektiği için farklı kontrol stratejilerinin geliştirilmesini amaçlar. "Kontrol", her karar anında devreye girer. Bunlar, olumlu çizelgeleme alternatifleri arasında bir seçim yapılacağı an sistemin operasyonu esnasındaki durumlardır. Öncelik, olumlu alternatif sayısındaki sınırlamadan dolayı parçalara takım, demirbaş ve malzeme taşıma üniteleriyle

birlikte atanır. Karar zamanı, atama zamanı olarak da isimlendirilir. Aşağıdaki şekilde simülasyon modelinin yapısı verilmiştir.



Şekil 2.3. ELS Simülasyon yapısı.

2.9.1. Kontrol Modülünün Yapısı

Kontrol modülünün ana görevi aylak makinaya tahsis için parça seçimidir. Bu bir çizelgeleme kararıdır. İyi bir çizelgeleme kararı verebilmek için tüm sistemin statüsünün bilinmesi gerekir. Kontrol modülünün ilk amacı budur. Daha farklı prosesler için bekleyen mevcut parçaların ve bu zamanda boş olan makinaların bilgilerini içeren dinamik dosya kopyalanarak, sistemin doğru şeklinin bir imajını ortaya çıkararak gerçekleştirilir.

Herbir aylak makina için bir grup kurulur ve bu grup sonraki operasyonunda bu makinada yapılabilmesi için kullanılabilir parçaları içerir. Bu, grup seçimi olarak isimlendirilir ve genelde bir parçanın bir grup seçiminden daha fazlaya ait olması önemli değildir. Her grup seçiminden sonra parça, karar kuralına göre herbir makinaya tahsis için seçilecektir. Karar kuralları makinaların yada parçaların dağıtım sayısının toplam ağırlığını içermesiyle, karmaşıklık açısından basit öncelik kurallarından değişik olabilir. Örneğin, parçaların gecikme zamanı veya pozitif gecikme zamanı, bu parça için geride kalan operasyon sayısı yada geride kalan işleme zamanı kural olarak kullanılabilir.

2.9.2. Simülasyonla Statik Çizelgeleme

Simülasyon çalışması, gecikmesiz çizelge üretilmesi için sezgisel süzme metodu gibi çizelgeleme amaçları için kullanılabilir. Gecikmesiz çizelge, parçanın atandığı makinadan gecikmesiz ayrılacağını varsayar.

Simülasyonun başlangıcında kontrol modülü, herbir çalışma için bir grup seçer. Seçilen birincil kural, herbir gruptan bir parçanın uygun makinaya atanmasıdır. Atamaya ihtiyaç duyulduğunda, simülasyon gelecek karar zamanına ilerler. Bu işlem parça grupları üretiminin simülasyonunun tamamlanmasına kadar devam eder. Alınan atama kararlarının kaydı, sistem için tüm gecikmesiz çizelgelere uygulanır.

Çizelge üretimi için birinci süzme kuralı, dinamik atölye tipi çizelgeleme için sık sık kullanılan dinamik süzmeyle benzerdir.

2.9.2.1. Sistem ve Sonuçlar

Sezgisel algoritmayı esas alarak yapılmış olan simülasyonun etkileri tasarlanmış bir sistemde araştırılmıştır. Sistem, imalat endüstrisinden birinin basitleştirilmiş halidir. Sistemde 5 makina vardır ve iki tanesi benzerdir. Makinalar farklı türde operasyonları işleyebilmektedirler. Herbir makina için tampon depolama, farklı iş istasyonları ve yükleme/boşaltma istasyonu olarak kullanılan merkezi depolama arasında parça taşıma sistemi olarak kullanılan iki robot vardır. Üç farklı parça tipi vardır ve ürün oranı 2:1:1'dir. İşleme ve taşıma zamanları belirlidir ve herbir makina takım magazinine sahiptir (takımlar gerekli operasyonları yapabilecek özelliktedirler).

Çalışmalar yukarıdaki sistem gözönüne alınarak yapılmış ve aşağıdaki tablo 2.7. ile özetleyebileceğimiz sonuçlar elde edilmiştir. Tablo 2.7.'deki sonuçlar ortak süzme kurallarının kullanımıyla, geliştirilen çizelgenin kullanıldığı algoritma arasındaki karşılaştırmadır.

Tablo 2.7. Geliştirilen sezgisel algoritma ile süzme kurallarının karşılaştırılması

	Tamamlanma zamanı	Performans Ölçüleri	
		Ortalama zamanı	akış Ortalama makina faydalılığı
Algoritma	250	90.8	53
Süzme kuralları			
İGÖ	283	94.3	46
LWT	277	94.6	47
EUİZ	323	90.8	41
EKİZ	277	93.3	47

BÖLÜM III

3.1. Esnek İmalat Sistemlerinde Simülasyon

Esnek İmalat Sistemlerini inceleyebilmenin birçok yöntemi vardır. Bu yöntemlerden biriside simülasyondur. Tablo 3.1. EİS'ni inceleme yöntemlerini göstermektedir.

Tablo 3.1. Esnek İmalat Sistemlerini İnceleme Yöntemleri¹

1. Matematik Programlama
2. Kuyruk Şebekeleri
3. Markov Süreçleri
4. Petri Ağları
5. Uzman Sistemler
6. Düzensizlik Analizi
7. Simülasyon

İmalat sistemlerinin analizlerinde simülasyon kullanımıyla çeşitli faydalar elde edilmiştir. Bunlar ise;

- Üretimin artması (zamandaki parça üretiminin artması).
- Proses içi envanterdeki azalma.
- Makinaların ve işgörenlerin verimliliğinin artması.
- Müşterilere yönelik ürünlerdeki servis zamanının artması.
- Uzun vadede gerekli sermaye ihtiyacının azalması.

¹ Kusiak A. 1986

Ayrıca simülasyon kullanımıyla, imalat rahatlıkla konularına göre alt kısımlara ayrılıp incelenebilir. Alt konular 3 genel kategoriye ayrılabilir (Law A. M. ,1990). Bunlar;

1. İhtiyaçlar, gerekli ekipman ve personel.

- Nesnel ayrıntılar için makinelerin sayısı ve tipi.
- Taşıyıcıların fiziksel planlaması, sayısı ve tipi (forklift, OKA gibi), konveyörler ve diğer destek elemanları (paletler, sabitleyiciler gibi).
- Tampon stoğun konumu ve büyüklüğü.
- Ürün hacminin yada karışımın değişiminin değerlendirilmesi (yeni ürünlerin etkisi gibi).
- Mevcut olan imalat hattında yeni ekipmanların etkisinin değerlendirilmesi.
- Sermaye yatırımlarının değerlendirilmesi.
- Laboratuvar ihtiyaçlarının planlanması.

2. Performans Değerlendirme.

- Üretim analizleri.
- Parçaların sistem içinde harcadıkları zaman analizleri.
- Darboğaz makina analizleri.

3. Operasyonel prosedürlerin analizi.

- Üretim çizelgeleme (Planlama aşamasında sipariş büyüklüğünün seçimi, sistemdeki iş istasyonlarına parçaların sıralanması ve yüklenmesi için alınan kararların değerlendirilmesi.)
- Komponent parçaların yada hammaddelerin envanter seviyelerinin kararları.
- Taşıma sistemleri için kontrol stratejileri.
- Güvenilirlik analizi.
- Kalite kontrol kararları.

İmalat sistemlerinde simülasyon çalışması birçok ortak performans ölçüm kriterlerini değerlememizde yarar. Ortak olan performans ölçüm kriterleri ise;

1. Üretim.
2. Parçaların sistem içinde harcaıkları tamamlanma zamanı.
3. Parçaların kuyrukta geçen süresi.
4. Parçaları taşıma için harcanan zaman.
5. Parçaları taşımada harcanan bekleme zamanı.
6. Servis zaman hattı (örneğin, geciken siparişlerin oranı).
7. Proses içi envanter büyüklüğü.
8. Ekipman ve işgören verimliliği.
9. Makina kırılma, boшта bekleme ve bloklanma (biten parçanın taşınması için beklemesi yada önleyici bakım çalışmaları) zamanları.
10. Parçaların iskarta veya yeniden işleme oranları.

Yukarıda açıkladığımız EİS'nde simülasyonun kullanımıyla elde edilen faydalar ve kriterlerin kullanımıyla sistemi planlarken daha az zaman kaybı ve uzun vadede çalışan sayısında azalma olacaktır. İlk yatırımın düşük ve beklenmedik harcamalarla karşılaşma ihtimalide çok düşüktür. Sistem hakkında daha fazla bilgi ve sistemin verimliliğine ulaşmak için harcanacak zamanda düşecektir. Ayrıca, simülasyon çalışmasından sonra kurulmuş Esnek İmalat Sistemlerinde nakit akışları daha kısa süreli ve yoğunur.

Esnek İmalat Sistemlerinde simülasyon kullanmamızdaki amaç, sistemi kurmadan önce sistemde meydana gelebilecek olan sorun veya sorunları çözmektir. Örneğin, bir makinaya gelen parçaların sayısı, ara stok miktarını aşarsa orada bir problem var demektir. Böyle bir sorunuda sistemde çeşitli değişiklikler yaparak çözebiliriz. Bu değişiklikleri yaptıktan sonrada sistemi yeniden değerlendirmek gerekmektedir. Bu işlemler hem zaman alıcı olacak hemde sistem istenen şekilde tasarlanamamış olacaktır. Dolayısıyla, bu beklenmedik sonuçlar sistemin kurulmasını geciktirecek ve mali olarakta büyük kayıplara neden olacaktır.

Yukarıda bahsettiğimiz olaylar karşısında simülasyondan yararlanırsak, istenmedik durumlarla karşılaşma ihtimalini ortadan kaldırmış oluruz ve olaylar farklı olarak gelişir.

İlk önce mevcut sistemin modeli kurulacak ve sistemin davranışları incelenerek problemler çözüme kavuşturulacaktır.

İmalat sistemleri ile ilgili bir simülasyon çalışmasında gözönüne almamız ve dikkat etmemiz gereken kural ve hatalar vardır ki önemlidir. Bu kural ve hatalarda aşağıda anlatılacaktır.

3.2. Simülasyon Çalışmalarında Dikkat Edilecek Hususlar

Simülasyon, imalat sistemlerindeki optimizasyon çalışmalarında kullanılmaya başladığından beri, bilgisayar ve hazır paket programlar sayesinde uygulama alanı genişlemiş ve karmaşık sistemlerin incelenmesi mümkün olmuştur. Hazır paket programlar sayesinde sistemler modellenip rahatlıkla kodlanmıştır (Law A., 1990). Gerçekte modelin kodlanması, simülasyon için harcanan toplam çabanın sadece %30-40'ı kadardır. Gerçekte bilgi ve verilerin toplanması, modelin oluşturulması, doğruluğu ve geçerliliği açısından önemlidir. Veriler ne kadar doğru olarak toplanırsa, sistem üzerine yapılacak çalışmaların sonuçlarının gerçeği yansıtması ihtimalide yüksek olacaktır.

Yukarıda belirtilen bazı faaliyetler dikkate alınmazsa model hatalı sonuçlar üretecek veya sonuçlar doğru olmadığı için karar verme işlemi gerçekleşmeyecektir. Burada bir mühendis veya analistin simülasyon çalışması yaparken dikkat etmesi gereken hususları açıklamaya çalışacağız. Bu gözlemler farklı endüstrilerde çalışan uzman kişilerin yorumları dikkate alınarak hazırlanmıştır (Law A. , 1990).

Düşülebilecek hatalar dört ana gruba ayrılmaktadır:

1. Model geliştirme işleminde yapılabilecek hatalar.
2. Simülasyon yazılımının seçimi ve kullanımında yapılabilecek hatalar.
3. Gerçek sistemdeki belirsizliklerin modellenmesi esnasında yapılabilecek hatalar.
4. Simülasyon çalışmalarının tasarımında ve analizinde düşünebilecek hatalar.

3.2.1. Modelleme ve Modelin Geçerliliği

Bir simülasyon çalışmasında, modeli kurabilmek için çaba gösteren personelin, bu konuda oldukça bilgili ve deneyimli olması gerekir. Ayrıca çalışmanın amacına yönelik olarak sistemin etkinliğini sağlayan elemanların seçilmesi ve kullanılmasında ayrı bir önem taşımaktadır. Aşağıda, modelin kurulması ve geçerliliğinin araştırılması esnasında farkında olmadan düşülebilecek hatalar açıklanmıştır.

3.2.1.1. Amaçların tam olarak tanımlanamaması:

Simülasyon çalışmasına başlamadan önce çalışma hedeflerinin ve amaçlarının açık bir şekilde tanımlanması gerekir. Projenin amacına bağlı olarak, sistemden alınacak verilerinde amaç doğrultusunda olması gerekir. Simülasyon modelleri evrensel değildir ve model amaçlar tam olarak belirlendikten sonra kurulabilir. Amaç belirlendikten sonra projede çalışacak kişiler bu konuya doğru yönlendirilmelidir. Bu arada proje, başlangıcında sistemi tanımlayan performans kriterleri tam olarak belirlenmeli ve bunun istenilen amaca uygun olup olmadığı proje personelinde bulunduğu bir toplantıda ele alınmalıdır.

3.2.1.2. Modelin kurulması için gerekli olan verilerin detay seviyesinin saptanması:

Genelde modelin her elemanı ile gerçek sistemin her elemanı arasında birebir bağlantı yoktur. Modelin geçerli olabilmesi için formülasyon esnasında imalat sistemini en iyi temsil edecek detayda veri seçilmelidir. Model yeterince detaylı değilse, elde edilen sonuçlar şüpheli olacaktır. Diğer durumda ise, model kurmak için çok detaylı bilgiler kullanılıyorsa, hem modelin çalışma zamanının hemde kullanılan bilgisayarın hafızasının dışına taşılabilir. Ayrıca uzmanlar ve analistlerde daha fazla zaman ve çaba

harcayacaklardır. Bütün gereksiz çalışmaların bir maliyeti olduğu düşünülerek bunun projenin süresine ve maliyetine olan etkisinde hesaplanmalıdır.

3.2.1.3. Yönetimle ortak bir alanda fikir birliği olmalıdır:

Yönetici ile proje personeli arasında tüm çalışma boyunca düzenli bir etkileşim olmalıdır. Yönetim tarafından desteklenen bir simülasyon çalışmasının daha başarılı olacağı muhakkaktır ve yönetici model kurulurken kabul edilen bazı varsayımları onayladığı için model daha güvenli ve doğru olarak oluşturulabilir. Gerçekte yönetici veya diğer üst düzey yetkililerin bu varsayımlar üzerinde proje elemanlarına “yeşil ışık” yakması gerekir. Bu yaklaşım modelin güvenilirliği konusunda karar verme aşamasında kullanılacak model sonuçlarının doğru olma ihtimalini artırır.

3.2.1.4. Uzmanların simülasyon çalışmaları üzerine yeterli bilgiye sahip olmamaları:

Modelin kodlanması kusursuz bir simülasyon çalışması için tüm çalışmaların %50'sinden daha azdır. Çalışmayı yapacak analistin simülasyon paket programlarını kullanmayı bilmesinin yanısıra diğer alanlardaki eksikliklerini gidermesi gerekmektedir. Analist özellikle, simülasyon mantığını, modelin geçerliliğini anlamak için kullanılan teknikleri, simülasyon sonucunda elde edilen verilerin yorumlanması ve giriş olasılık dağılımlarının seçimi konularında yeterince bilgiye sahip olmalıdır.

3.2.2. Simülasyon Veya Canlandırma Yazılımı

Uygun simülasyon paketinin seçimi, modelin geçerliliği ve projenin zamanında tamamlanması üzerinde oldukça büyük bir etkiye sahiptir. Aşağıda paket program seçimi ve geçerliliğinde düşülebilecek önemli hatalar açıklanmıştır.

3.2.2.1. Uygun olmayan bir yazılımın seçilmesi:

Eğer yeterince modelleme esnekliğine sahip olmayan bir simülasyon kullanılırsa bu durumda incelenen sisteminde özellikleri gözönüne alınmak zorundadır. Yoksa elde edilen sonuçlar anlaşılabilir ve model sonuçları gerçek sistemin performansını temsil etmeyebilir. Eğer, uygun yazılım paketi seçilirse modelin daha hızlı geliştirilmesi ve yüksek programlama bilgisine sahip olmaksızın modelin kodlanması mümkün olmaktadır.

3.2.2.2. Canlandırmanın yanlış yapılması:

Canlandırma, simülasyon modelinin bilgisayarda incelenmesini sağlayan ve aynı zamanda modelin özünün yönetime iletilmesi için kullanılan son derece yararlı bir araçtır ve hataların giderilmesinde ve modelin geçerliliği konusunda yapılan çalışmalara önemli yararlar sağlamaktadır. Bununla birlikte gerçek sistemin üç boyutlu olarak canlandırılması modelin geçerlilik seviyesini artırır. Özellikle, model mantığının yalnız bir kısmı canlandırmada tanımlanabileceği için bu temel üzerinde modelin doğruluğunu tahmin etmek mümkün değildir.

3.2.3. Modellenen Sistemdeki Belirsizliklerin Modelin Doğruluğu Üzerindeki Etkileri

Birçok imalat sistemi bir veya daha çok rasgele değişkenlerle ifade edilebilecek kaynaklara sahiptir. Bir makinadaki işlerin işlem zamanları, montaj zamanları, arızalararası süre, makina tamir zamanları, hazırlık zamanları vb. değerler imalat sistemlerinde rasgele değişen değerlerdir.

Ayrıca sistemi doğru olarak modelleyebilmek için, her bir rasgele değişken simülasyon modelinde uygun bir ihtimal dağılımıyla temsil edilir.

3.2.3.1. Dağılımların oluşturulması:

Simülasyon analistleri bazen modeli oluşturma sırasında ilgili dağılımları yanlış belirler ve sistemin performansını belirten rasgele değişkenlerin bazıları dikkate alınmazsa kurulacak model yanlış olacaktır.

3.2.3.2. Yanlış ihtimal dağılımının kullanılması:

Genel olarak, modeli kuirmek için kullanılan ihtimal dağılımları sistemin herbir kaynağının model üzerinde işlenebilmesi için gereklidir. Yani, sistemdeki belirsizlikler dağılımlar kullanılarak tahmin edilmektedir. Bununla birlikte doğru dağılımların kullanılmasında önemlidir.

3.2.3.3. Makina bozulma zamanlarının tam olarak modellenememesi:

Birçok imalat sisteminde en büyük belirsizliklerden biride makina bozulma zamanlarıdır. Makina bozulma zamanlarının gözönüne alındığı sistemlerle alınmadığı sistemlerdeki sonuçlar oldukça farklıdır. Dolayısıyla, gerçek sistemi yansıtmak için makina bozulma zamanlarında çok önemlidir.

3.2.4. Deneysel Tasarım / Analiz

Simülasyon çalışmasının en önemli kısımlarından biri simülasyon çalışmalarının tasarımı va analizidir. Giriş ihtimal dağılımlarından elde edilen rasgele değişkenlerin simülasyonda kullanılmasıyla, simülasyon sonucunda rasgele veriler elde edilir. Böylece, simülasyon sonuçları yorumlanırken düşülebilecek hataları şöyle sıralayabiliriz:

1. Simülasyon sonuçlarının yanlış yorumlanması..
2. Hazırlık periyodunun gözönüne alınmaması.

3.3. Bir EİS Tasarımı ve Simülasyon Çalışması

EİS'deki önemli işletim problemlerinden birinde sıralama ve yükleme problemi olduğunu daha önce belirtmiştik. Burada ise bir EİS tasarlayacağız ve tasarladığımız EİS'nde sıralama ve yükleme problemini inceleyip çözmeye çalışacağız. EİS'ndeki çizelgeleme problemi, tahsis edilmiş işlerin sıralanmasını ve makinalara yüklenmesini içerir. Bu yüzden çizelgeleme problemi yükleme problemi gibi düşünülebilir ve sıralama ile ilişkili bir çalışmayı gerektirir. Biz burada EİS'nde çeşitli çizelgeleme kurallarının hangisinin performans açısından en iyi sonucu verdiğini incelemeye çalışacağız. Yükleme ve sıralama ile beraber çalışan bir bütün çizelgeleme problemi için matematiksel bir modelin karmaşık olacağı tahmin edilmektedir (Shanker et al, 1985). Bu yüzden simülasyon çalışması bu karmaşık problem için uygun bir araç olmaktadır. Simülasyon çalışmasını Siman paket programıyla gerçekleştirdik. Programımızın kısıtlı olmasından dolayı ve eniyi performansı veren çizelgeleme kurallarından (M. Garetti et al, 1990) EKİZ (En kısa işlem süresi önce), EUİZ (En uzun işlem süresine sahip önce) ve İGÖ (İlk gelen ilk işlem görür) kuralları gözönüne alınarak sistem incelenmiştir.

3.3.1. Siman 3.5 İle Sistem Simülasyonu

3.3.1.1. Sistemin Tanımlanması:

Kurulacak EİS'nin yapısında, tezgah sayısı, türü ve özelliklerinin nasıl olacağı belirlenmelidir. Aynı zamanda malzeme iletimi, yükleme/boşaltmanın nasıl gerçekleştiği; kısaca parça, makina ve iletim sistemi hakkındaki tüm bilgilerin tanımlanması gerekir. Bu bilgiler modelin varlıklarını ve faaliyetlerini tanımlamaya ve herbir faaliyetin oluşması için gerekli şartları belirleyen mantığı ortaya çıkarır.

Modelden hangi sonuçları istediğimizi tanımlamak ve sonuçların sunumunu optimize etmek son derece önemlidir. İncelenecek sonuçlar arasında, tezgah kullanım oranları ve sistemin verimliliği gibi ölçütlerin yanısıra sistemin performansını etkileyebilecek önemsiz görünen faktörlerde dikkat edilmelidir. Bundan sonra modelin gerektireceği verilerin derlenmesi gerekir.

Dünyadaki çeşitli EİS örnekleri dikkate alındığında işleme merkezi veya makina sayısının 5 olduğu anlaşılmaktadır (Shanker et al, 1985). Biz bu çalışmamızda 4 makina ve iki hücreden oluşan bir EİS düşündük. Sistemimizde 15 çeşit parçanın üretildiğini ve herbirine olan talebin eşit olduğunu varsaydık. Makinalarımız gruplanmış ve iki hücreye bölünmüştür. Herbir hücrede iki adet tezgah vardır. Yükleme/Boşaltma istasyonumuz ise birer adet hücrelerde birde ana Y/B olmak üzere 3 tanedir. Heriki hücredede malzeme iletimini sağlayan toplam iki adet OKA (Otomatik kılavuzlu araç) vardır. Palet ve sabitleyicilerin her parça için yeterli olduğunu varsaydık. Parçaların gelişleri arasındaki sürenin exponansiyel dağılıma (ortalama 10 d.) uygun olduğunu kabul ettik. İşleme zamanlarının ise normal dağılıma sahip olduğunu varsaydık. Hücrelerdeki herbir makinada o hücreye işlenmek üzere gelen tüm parçaları işlemeye yeterlidir. Dolayısıyla, rotalamada parça-makina ilişkisi yerine parça-hücre ilişkisini ele almamız gerekmektedir. İşleme zamanları, parçaların hangi hücrelerde işleneceği (parça rotaları) ile ilgili bilgiler ve yerleşim şeması aşağıda verilmiştir:

Tablo 3.2. Parça Tiplerinin Rotası

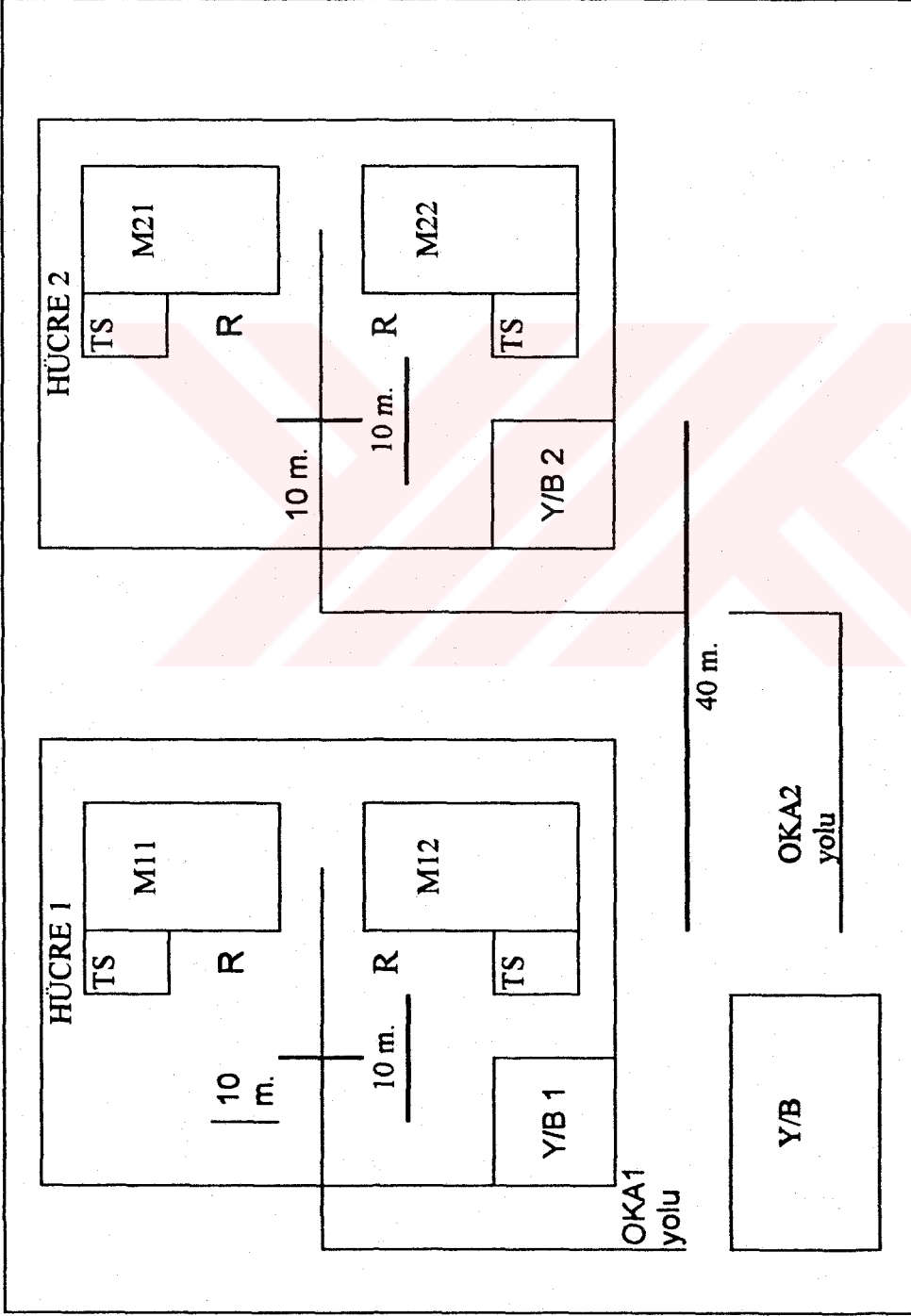
Parça Tipi	Hücre Rotası
P1-P8 arası	H1, H2
P9-P12 arası	H2
P13-P15 arası	H1

Tablo 3.3.. Parça Bilgileri

Parça Tipi	İşlem Göreceği Makina	İşlem Göreceği Hücre
Parça 1	(M101, M102), (M201, M202)	H1, H2
Parça 2	(M101, M102), (M201, M202)	H1, H2
Parça 3	(M101, M102), (M201, M202)	H1, H2
Parça 4	(M101, M102), (M201, M202)	H1, H2
Parça 5	(M101, M102), (M201, M202)	H1, H2
Parça 6	(M101, M102), (M201, M202)	H1, H2
Parça 7	(M101, M102), (M201, M202)	H1, H2
Parça 8	(M101, M102), (M201, M202)	H1, H2
Parça 9	(M201, M202)	H2
Parça 10	(M201, M202)	H2
Parça 11	(M201, M202)	H2
Parça 12	(M201, M202)	H2
Parça 13	(M101, M102)	H1
Parça 14	(M101, M102)	H1
Parça 15	(M101, M102)	H1

Tablo 3.4. İşlenecek parçaların işlem süreleri.

Parça No	İşlem gördüğü hücre	İşleme süresi	İşlem gördüğü hücre	İşleme süresi
Parça 1	Hücre 1	NR(83,8)	Hücre 2	NR(40,10)
Parça 2	Hücre 1	NR(37,8)	Hücre 2	NR(25,10)
Parça 3	Hücre 1	NR(30,8)	Hücre 2	NR(45,10)
Parça 4	Hücre 1	NR(75,8)	Hücre 2	NR(90,10)
Parça 5	Hücre 1	NR(47,8)	Hücre 2	NR(39,10)
Parça 6	Hücre 1	NR(44,8)	Hücre 2	NR(37,10)
Parça 7	Hücre 1	NR(52,8)	Hücre 2	NR(29,10)
Parça 8	Hücre 1	NR(29,8)	Hücre 2	NR(64,10)
Parça 9	---	---	Hücre 2	NR(48,10)
Parça 10	---	---	Hücre 2	NR(36,10)
Parça 11	---	---	Hücre 2	NR(70,10)
Parça 12	---	---	Hücre 2	NR(82,10)
Parça 13	Hücre 1	NR(65,8)	---	---
Parça 14	Hücre 1	NR(42,8)	---	---
Parça 15	Hücre 1	NR(80,8)	---	---



Şekil 3.1. Tasarlanan EİS'nin yerleşim planı.

3.3.1.2. Sistemin Analizi

Sistem aşağıdaki elemanlardan oluşmuştur:

1. Gezen Birim; Sisteme girişte işlemeye hazır malzeme, işlenecek parça tipi.
2. Kaynaklar;
 1. M101 Universal CNC Torna Tezgahı.
 2. M102 Universal CNC Torna Tezgahı.
 3. M201 Universal CNC Freze Tezgahı.
 4. M202 Universal CNC Freze Tezgahı.
3. Taşıyıcılar;
 1. OKA1 Y/B istasyonu ile hücre 1 arası bağlantılı, 2m/d. hızlı.
 2. OKA2 Y/B istasyonu ile hücre 2 arası bağlantılı, 2m/d. hızlı.

3.3.1.2.1. Sistemde Kullanılan Değişkenler

1. Gelişler arası süre.
2. Parça işleme süreleri.
3. İşlenecek parça tipinin belirlenmesi.

3.3.1.2.2. Parametreler

1. Gelişler arası süre dağılımı. (Ortalama 10 d.)
2. Herbir parçanın işleme süresi. (Tablo 3.4.'te verilmiştir)
3. İşlenecek parça tipinin seçildiği dağılım.

3.3.1.2.3. Varsayımlar

1. Gelişler arası süre exponansiyeldir.
2. Hücrelerin önündeki kuyrukların kapasiteleri sınırsızdır.
3. Sistemdeki kaynakların sayıları koşum boyunca sabittir.
4. Hücreler önündeki kuyruklar çizelgeleme kurallarına göre düzenlenmiştir.

5. Makinalarda parçaları işlemek için yeterli sayıda takım magazini bulunmaktadır.
6. Günde en fazla 2 vardiya çalıştığı gözönüne alınarak tezgah bakımları vardiye dışı saate bırakılarak gözönüne alınmamıştır.
7. Herbir tezgaha 1 adet parça yüklenebilmekte ve işlenebilmektedir.
8. Makinalardaki tampon stoklarda maksimum 1 adet işlenmeye hazır parça vardır.
9. Parçalar için sabitleyiciler ve palet tipleri yeterli olup sınırlama yoktur.
10. Robotun OKA'dan makinaya, makinadan OKA'ya yükleme/boşaltma yapması için ve makinanın değişik parça tiplerini işlemesinde gerekli takım magazinlerinin değişimi için gerekli süre 10 dakika kabul edilmiştir.
11. Her parçaya olan ihtiyacın eşit olduğu varsayılmıştır.

2.3. Algoritma:

Tasarladığımız sistem ile ilgili olarak yapmış olduğumuz çalışmanın algoritmasını genel olarak aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

1. Belirtilen dağılıma göre gelişleri oluştur ve gezen birimin birinci özelliğine ata.
2. Belirtilen dağılıma göre işlenecek parça tipini belirle ve gezen birimin üçüncü özelliğine ata.
3. Belirlenen parça tipine göre işleme süresini gezen birimin üçüncü özelliğine ata.
4. Parça tipine göre hücrelere gönder.
 - Parça tipi P1-P8, P13-P15 arası ise 1. hücreye gönder.
 - Parça tipi P9-P12 arası ise 2. hücreye gönder.
5. Gezen birimi ilgili hücrenin kuyruğuna al.
6. Makinaları ve tampon stokları kontrol et.
7. Makinalar ve tampon stoklar dolu ise gezen birimi beklet.
8. Tespit edilecek çizelgeleme kuralına göre kuyruktan gezen birimi çek.
9. Gezen birimi makinaya ve/veya tampon stoğa taşımak üzere OKA'yı çağır.
10. Gezen birimi Oka'ya yükle ve makina ve/veya tampon stoğa gönder.

11. makina boş, tampon stok dolu ise tampon stoktakini makinaya yükle, OKA'dakini tampona bırak. Makina dolu, tampon stok boş ise parçayı tampon stoğa bırak.
12. Makinada işlemi biten gezen birim için OKA'yı çağır.
13. Operasyonu bitmiş parçayı OKA'ya yükle ve hücreyi Y/B istasyonuna gönder.
14. i. Hücre 1'de,
operasyonu bitmiş parça tipi 1-8 arası ise hücre 2'ye gönder.
operasyonu bitmiş parça tipi 13-15 arası ise ana Y/B istasyonuna gönder ve sistemden çıkar.
- ii. Hücre 2'de,
operasyonu bitmiş parçayı ana Y/B istasyonuna gönder.
15. Gezen birime ait istatistikleri al.
16. Gezen birimi sistemden çıkar.
17. Eğer koşum herhangi bir sebepten dolayı bitirilmişse dur aksi halde adım 1'e git.

3.4. Programlar ve Sonuçları

Aşağıda tasarladığımız sistem ile ilgili Siman 3.5'ta yaptığımız programlar ve programlara ait çıktılar verilecek ve sonuçlar yorumlanacaktır. Programlar Siman 4.0 öğrenci versiyonu ile yapılmaya çalışılmış fakat öğrenci versiyonunun kısıt yetersizliği nedeniyle Siman 3.5 ile yapılmıştır. Birinci model program En Kısa İşlem Süresi önce kuralına, ikinci model program En Uzun İşlem Süresi önce kuralına ve üçüncü model programda İlk Gelen Önce kuralına yöneliktir. Hepsinin de deneysel programları aynıdır ve model programlarından sonra verilmiştir.

3.4.1. En Kısa İşlem Süresine Sahip Önce Kuralı Model Programı

```

BEGIN;
    CREATE:EX(1,1):MARK(1);
    ASSIGN:X(4)=X(4)+1;
    BRANCH,1:
        IF,X(4).GT.400,IPT:
            ELSE,DEV;
IPT    ASSIGN:X(10)=0:DISPOSE;
DEV    ASSIGN:A(2)=UN(2,1);
    BRANCH,1:
        IF,A(2).GE.1.AND.A(2).LT.2,A1:
        IF,A(2).GE.2.AND.A(2).LT.3,A2:
        IF,A(2).GE.3.AND.A(2).LT.4,A3:
        IF,A(2).GE.4.AND.A(2).LT.5,A4:
        IF,A(2).GE.5.AND.A(2).LT.6,A5:
        IF,A(2).GE.6.AND.A(2).LT.7,A6:
        IF,A(2).GE.7.AND.A(2).LT.8,A7:
        IF,A(2).GE.8.AND.A(2).LT.9,A8:
        IF,A(2).GE.9.AND.A(2).LT.10,A9:
        IF,A(2).GE.10.AND.A(2).LT.11,A9:
        IF,A(2).GE.11.AND.A(2).LT.12,A9:
        IF,A(2).GE.12.AND.A(2).LT.13,A9:
        IF,A(2).GE.13.AND.A(2).LT.14,A13:
        IF,A(2).GE.14.AND.A(2).LT.15,A14:
        IF,A(2).GE.15.AND.A(2).LT.16,A15;
;
A1    ASSIGN:A(3)=RN(3,1);
    ASSIGN:A(2)=1:NEXT(AA);

```

```
A2    ASSIGN:A(3)=RN(4,1);
      ASSIGN:A(2)=2:NEXT(AA);
A3    ASSIGN:A(3)=RN(5,1);
      ASSIGN:A(2)=3:NEXT(AA);
A4    ASSIGN:A(3)=RN(6,1);
      ASSIGN:A(2)=4:NEXT(AA);
A5    ASSIGN:A(3)=RN(7,1);
      ASSIGN:A(2)=5:NEXT(AA);
A6    ASSIGN:A(3)=RN(8,1);
      ASSIGN:A(2)=6:NEXT(AA);
A7    ASSIGN:A(3)=RN(9,1);
      ASSIGN:A(2)=7:NEXT(AA);
A8    ASSIGN:A(3)=RN(10,1);
      ASSIGN:A(2)=8:NEXT(AA);
;
A9    ROUTE:20,5;
;
A13   ASSIGN:A(3)=RN(11,1);
      ASSIGN:A(2)=13:NEXT(AA);
A14   ASSIGN:A(3)=RN(12,1);
      ASSIGN:A(2)=14:NEXT(AA);
A15   ASSIGN:A(3)=RN(13,1);
      ASSIGN:A(2)=15:NEXT(AA);
AA    QUEUE,1:DETACH;
;
BB    STATION,3;
      BRANCH,1:
          IF,X(11).EQ.0,B1:
          IF,X(12).EQ.0,B2:
          IF,X(11).EQ.1,B1:
```

```

        IF,X(12).EQ.1,B2;
;
B1    ASSIGN:X(11)=X(11)+1;
      ASSIGN:A(8)=1.NEXT(B4);
B2    ASSIGN:X(12)=X(12)+1;
      ASSIGN:A(8)=2.NEXT(B4);
B4    DELAY:10;
      QUEUE,6;
      REQUEST:AVG(SDS,7);
      ASSIGN:M=A(8);
      TRANSPORT:AVG(A(7)),M;
;
TEZ1  STATION,1;
      FREE:AVG(A(7));
      QUEUE,2;
      SEIZE:MAK1;
      DELAY:A(3);
      RELEASE:MAK1;
      ASSIGN:X(11)=X(11)-1;
      QUEUE,7;
      REQUEST:AVG(SDS,7);
      TRANSPORT:AVG(A(7)),4;
;
TEZ2  STATION,2;
      FREE:AVG(A(7));
      QUEUE,3;
      SEIZE:MAK2;
      DELAY:A(3);
      RELEASE:MAK2;
      ASSIGN:X(12)=X(12)-1;

```


QUEUE,8;
 REQUEST:AVG(SDS,7);
 TRANSPORT:AVG(A(7)),4;

;
 SONUC STATION,4;
 FREE:AVG(A(7));
 ASSIGN:X(1)=X(1)-1;
 DELAY:10;
 BRANCH,1:

IF,A(2).GE.13.AND.A(2).LT.14,D1:

IF,A(2).GE.14.AND.A(2).LT.15,D1:

IF,A(2).GE.15.AND.A(2).LT.16,D1:

ELSE,D2;

D1 ASSIGN:X(25)=0.NEXT(NETICE);

D2 ROUTE:20,5;

;
 C QUEUE,5;
 SCAN:X(1).LT.4.AND.NQ(1).NE.0;
 SEARCH,1,1,NQ:MIN(A(3));
 REMOVE:J,1,BB;
 ASSIGN:X(1)=X(1)+1.NEXT(C);

;
 HUCRE2 STATION,5;

BRANCH,1:

IF,A(2).GE.1.AND.A(2).LT.2,A11:

IF,A(2).GE.2.AND.A(2).LT.3,A21:

IF,A(2).GE.3.AND.A(2).LT.4,A31:

IF,A(2).GE.4.AND.A(2).LT.5,A41:

IF,A(2).GE.5.AND.A(2).LT.6,A51:

IF,A(2).GE.6.AND.A(2).LT.7,A61:

IF,A(2).GE.7.AND.A(2).LT.8,A71:
 IF,A(2).GE.8.AND.A(2).LT.9,A81:
 IF,A(2).GE.9.AND.A(2).LT.10,A91:
 IF,A(2).GE.10.AND.A(2).LT.11,A101:
 IF,A(2).GE.11.AND.A(2).LT.12,A111:
 IF,A(2).GE.12.AND.A(2).LT.13,A121;

A11 ASSIGN:A(3)=RN(14,1):NEXT(AA1);
 A21 ASSIGN:A(3)=RN(15,1):NEXT(AA1);
 A31 ASSIGN:A(3)=RN(16,1):NEXT(AA1);
 A41 ASSIGN:A(3)=RN(17,1):NEXT(AA1);
 A51 ASSIGN:A(3)=RN(18,1):NEXT(AA1);
 A61 ASSIGN:A(3)=RN(19,1):NEXT(AA1);
 A71 ASSIGN:A(3)=RN(20,1):NEXT(AA1);
 A81 ASSIGN:A(3)=RN(21,1):NEXT(AA1);
 A91 ASSIGN:A(3)=RN(22,1);
 ASSIGN:A(2)=9:NEXT(AA1);
 A101 ASSIGN:A(3)=RN(23,1);
 ASSIGN:A(2)=10:NEXT(AA1);
 A111 ASSIGN:A(3)=RN(24,1);
 ASSIGN:A(2)=11:NEXT(AA1);
 A121 ASSIGN:A(3)=RN(25,1);
 ASSIGN:A(2)=12:NEXT(AA1);
 AA1 QUEUE,10:DETACH;
 ;
 BB1 BRANCH,1:
 IF,X(13).EQ.0,B11:
 IF,X(14).EQ.0,B21:
 IF,X(13).EQ.1,B11:
 IF,X(14).EQ.1,B21;
 B11 ASSIGN:X(13)=X(13)+1;

ASSIGN:A(8)=6:NEXT(B41);
B21 ASSIGN:X(14)=X(14)+1;
ASSIGN:A(8)=7:NEXT(B41);
B41 DELAY:10;
QUEUE,11;
REQUEST:AVG1(SDS,7);
ASSIGN:M=A(8);
TRANSPORT:AVG1(A(7)),M;
;
TEZ3 STATION,6;
FREE:AVG1(A(7));
QUEUE,12;
SEIZE:MAK3;
DELAY:A(3);
RELEASE:MAK3;
ASSIGN:X(13)=X(13)-1;
QUEUE,13;
REQUEST:AVG1(SDS,7);
TRANSPORT:AVG1(A(7)),8;
;
TEZ4 STATION,7;
FREE:AVG1(A(7));
QUEUE,14;
SEIZE:MAK4;
DELAY:A(3);
RELEASE:MAK4;
ASSIGN:X(14)=X(14)-1;
QUEUE,15;
REQUEST:AVG1(SDS,7);
TRANSPORT:AVG1(A(7)),8;

```
;
SONUC1 STATION,8;
      FREE:AVG1(A(7));
      ASSIGN:X(2)=X(2)-1;
      DELAY:10;
      DELAY:20;
;
NETICE TALLY:A(2),INT(1);
      TALLY:16,INT(1);
      COUNT:A(2),1;
      COUNT:16,1:DISPOSE;
;
C1    QUEUE,16;
      SCAN:X(2).LT.4.AND.NQ(10).NE.0;
      SEARCH,10,1,NQ:MIN(A(3));
      REMOVE:J,10,BB1;
      ASSIGN:X(2)=X(2)+1:NEXT(C1);
END;
```

3.4.2. En Uzun İşlem Süresine Sahip Önce Kuralı Model Programı

```

BEGIN;
    CREATE:EX(1,1):MARK(1);
    ASSIGN:X(4)=X(4)+1;
    BRANCH,1:
        IF,X(4).GT.400,IPT:
            ELSE,DEV;
IPT    ASSIGN:X(10)=0:DISPOSE;
DEV    ASSIGN:A(2)=UN(2,1);
    BRANCH,1:
        IF,A(2).GE.1.AND.A(2).LT.2,A1:
        IF,A(2).GE.2.AND.A(2).LT.3,A2:
        IF,A(2).GE.3.AND.A(2).LT.4,A3:
        IF,A(2).GE.4.AND.A(2).LT.5,A4:
        IF,A(2).GE.5.AND.A(2).LT.6,A5:
        IF,A(2).GE.6.AND.A(2).LT.7,A6:
        IF,A(2).GE.7.AND.A(2).LT.8,A7:
        IF,A(2).GE.8.AND.A(2).LT.9,A8:
        IF,A(2).GE.9.AND.A(2).LT.10,A9:
        IF,A(2).GE.10.AND.A(2).LT.11,A9:
        IF,A(2).GE.11.AND.A(2).LT.12,A9:
        IF,A(2).GE.12.AND.A(2).LT.13,A9:
        IF,A(2).GE.13.AND.A(2).LT.14,A13:
        IF,A(2).GE.14.AND.A(2).LT.15,A14:
        IF,A(2).GE.15.AND.A(2).LT.16,A15;
;
A1    ASSIGN:A(3)=RN(3,1);
    ASSIGN:A(2)=1:NEXT(AA);
A2    ASSIGN:A(3)=RN(4,1);

```

```
ASSIGN:A(2)=2:NEXT(AA);
A3  ASSIGN:A(3)=RN(5,1);
    ASSIGN:A(2)=3:NEXT(AA);
A4  ASSIGN:A(3)=RN(6,1);
    ASSIGN:A(2)=4:NEXT(AA);
A5  ASSIGN:A(3)=RN(7,1);
    ASSIGN:A(2)=5:NEXT(AA);
A6  ASSIGN:A(3)=RN(8,1);
    ASSIGN:A(2)=6:NEXT(AA);
A7  ASSIGN:A(3)=RN(9,1);
    ASSIGN:A(2)=7:NEXT(AA);
A8  ASSIGN:A(3)=RN(10,1);
    ASSIGN:A(2)=8:NEXT(AA);
;
A9  ROUTE:20,5;
;
A13 ASSIGN:A(3)=RN(11,1);
    ASSIGN:A(2)=13:NEXT(AA);
A14 ASSIGN:A(3)=RN(12,1);
    ASSIGN:A(2)=14:NEXT(AA);
A15 ASSIGN:A(3)=RN(13,1);
    ASSIGN:A(2)=15:NEXT(AA);
AA  QUEUE,1:DETACH;
;
BB  STATION,3;
    BRANCH,1:
        IF,X(11).EQ.0,B1:
        IF,X(12).EQ.0,B2:
        IF,X(11).EQ.1,B1:
        IF,X(12).EQ.1,B2;
```

```
;  
B1    ASSIGN:X(11)=X(11)+1;  
      ASSIGN:A(8)=1:NEXT(B4);  
B2    ASSIGN:X(12)=X(12)+1;  
      ASSIGN:A(8)=2:NEXT(B4);  
B4    DELAY:10;  
      QUEUE,6;  
      REQUEST:AVG(SDS,7);  
      ASSIGN:M=A(8);  
      TRANSPORT:AVG(A(7)),M;  
;  
TEZ1  STATION,1;  
      FREE:AVG(A(7));  
      QUEUE,2;  
      SEIZE:MAK1;  
      DELAY:A(3);  
      RELEASE:MAK1;  
      ASSIGN:X(11)=X(11)-1;  
      QUEUE,7;  
      REQUEST:AVG(SDS,7);  
      TRANSPORT:AVG(A(7)),4;  
;  
TEZ2  STATION,2;  
      FREE:AVG(A(7));  
      QUEUE,3;  
      SEIZE:MAK2;  
      DELAY:A(3);  
      RELEASE:MAK2;  
      ASSIGN:X(12)=X(12)-1;  
      QUEUE,8;
```

REQUEST:AVG(SDS,7);
 TRANSPORT:AVG(A(7)),4;

;

SONUC STATION,4;

FREE:AVG(A(7));

ASSIGN:X(1)=X(1)-1;

DELAY:10;

BRANCH,1:

IF,A(2).GE.13.AND.A(2).LT.14,D1:

IF,A(2).GE.14.AND.A(2).LT.15,D1:

IF,A(2).GE.15.AND.A(2).LT.16,D1:

ELSE,D2;

D1 ASSIGN:X(25)=0:NEXT(NETICE);

D2 ROUTE:20,5;

;

C QUEUE,5;

SCAN:X(1).LT.4.AND.NQ(1).NE.0;

SEARCH,1,1,NQ:MAX(A(3));

REMOVE:J,1,BB;

ASSIGN:X(1)=X(1)+1:NEXT(C);

;

HUCRE2 STATION,5;

BRANCH,1:

IF,A(2).GE.1.AND.A(2).LT.2,A11:

IF,A(2).GE.2.AND.A(2).LT.3,A21:

IF,A(2).GE.3.AND.A(2).LT.4,A31:

IF,A(2).GE.4.AND.A(2).LT.5,A41:

IF,A(2).GE.5.AND.A(2).LT.6,A51:

IF,A(2).GE.6.AND.A(2).LT.7,A61:

IF,A(2).GE.7.AND.A(2).LT.8,A71:


```

IF,A(2).GE.8.AND.A(2).LT.9,A81:
IF,A(2).GE.9.AND.A(2).LT.10,A91:
IF,A(2).GE.10.AND.A(2).LT.11,A101:
IF,A(2).GE.11.AND.A(2).LT.12,A111:
IF,A(2).GE.12.AND.A(2).LT.13,A121;
A11  ASSIGN:A(3)=RN(14,1):NEXT(AA1);
A21  ASSIGN:A(3)=RN(15,1):NEXT(AA1);
A31  ASSIGN:A(3)=RN(16,1):NEXT(AA1);
A41  ASSIGN:A(3)=RN(17,1):NEXT(AA1);
A51  ASSIGN:A(3)=RN(18,1):NEXT(AA1);
A61  ASSIGN:A(3)=RN(19,1):NEXT(AA1);
A71  ASSIGN:A(3)=RN(20,1):NEXT(AA1);
A81  ASSIGN:A(3)=RN(21,1):NEXT(AA1);
A91  ASSIGN:A(3)=RN(22,1);
      ASSIGN:A(2)=9:NEXT(AA1);
A101 ASSIGN:A(3)=RN(23,1);
      ASSIGN:A(2)=10:NEXT(AA1);
A111 ASSIGN:A(3)=RN(24,1);
      ASSIGN:A(2)=11:NEXT(AA1);
A121 ASSIGN:A(3)=RN(25,1);
      ASSIGN:A(2)=12:NEXT(AA1);
AA1  QUEUE,10:DETACH;
;
BB1  BRANCH,1:
      IF,X(13).EQ.0,B11:
      IF,X(14).EQ.0,B21:
      IF,X(13).EQ.1,B11:
      IF,X(14).EQ.1,B21;
B11  ASSIGN:X(13)=X(13)+1;
      ASSIGN:A(8)=6:NEXT(B41);

```

B21 ASSIGN:X(14)=X(14)+1;
 ASSIGN:A(8)=7:NEXT(B41);

B41 DELAY:10;
 QUEUE,11;
 REQUEST:AVG1(SDS,7);
 ASSIGN:M=A(8);
 TRANSPORT:AVG1(A(7)),M;

;

TEZ3 STATION,6;
 FREE:AVG1(A(7));
 QUEUE,12;
 SEIZE:MAK3;
 DELAY:A(3);
 RELEASE:MAK3;
 ASSIGN:X(13)=X(13)-1;
 QUEUE,13;
 REQUEST:AVG1(SDS,7);
 TRANSPORT:AVG1(A(7)),8;

;

TEZ4 STATION,7;
 FREE:AVG1(A(7));
 QUEUE,14;
 SEIZE:MAK4;
 DELAY:A(3);
 RELEASE:MAK4;
 ASSIGN:X(14)=X(14)-1;
 QUEUE,15;
 REQUEST:AVG1(SDS,7);
 TRANSPORT:AVG1(A(7)),8;

;

```
SONUC1 STATION,8;
      FREE:AVG1(A(7));
      ASSIGN:X(2)=X(2)-1;
      DELAY:10;
      DELAY:20;
;
NETICE TALLY:A(2),INT(1);
      TALLY:16,INT(1);
      COUNT:A(2),1;
      COUNT:16,1:DISPOSE;
;
C1    QUEUE,16;
      SCAN:X(2).LT.4.AND.NQ(10).NE.0;
      SEARCH,10,1,NQ:MAX(A(3));
      REMOVE:J,10,BB1;
      ASSIGN:X(2)=X(2)+1:NEXT(C1);
END;
```

3.4.3. İlk Gelen Önce Kuralı Model Programı

```

BEGIN;
  CREATE:EX(1,1):MARK(1);
  ASSIGN:X(4)=X(4)+1;
  BRANCH,1:
    IF,X(4).GT.400,IPT:
      ELSE,DEV;
  IPT  ASSIGN:X(10)=0:DISPOSE;
  DEV  ASSIGN:A(2)=UN(2,1);
  BRANCH,1:
    IF,A(2).GE.1.AND.A(2).LT.2,A1:
    IF,A(2).GE.2.AND.A(2).LT.3,A2:
    IF,A(2).GE.3.AND.A(2).LT.4,A3:
    IF,A(2).GE.4.AND.A(2).LT.5,A4:
    IF,A(2).GE.5.AND.A(2).LT.6,A5:
    IF,A(2).GE.6.AND.A(2).LT.7,A6:
    IF,A(2).GE.7.AND.A(2).LT.8,A7:
    IF,A(2).GE.8.AND.A(2).LT.9,A8:
    IF,A(2).GE.9.AND.A(2).LT.10,A9:
    IF,A(2).GE.10.AND.A(2).LT.11,A9:
    IF,A(2).GE.11.AND.A(2).LT.12,A9:
    IF,A(2).GE.12.AND.A(2).LT.13,A9:
    IF,A(2).GE.13.AND.A(2).LT.14,A13:
    IF,A(2).GE.14.AND.A(2).LT.15,A14:
    IF,A(2).GE.15.AND.A(2).LT.16,A15;
;
A1  ASSIGN:A(3)=RN(3,1);
    ASSIGN:A(2)=1:NEXT(AA);

```

```
A2    ASSIGN:A(3)=RN(4,1);
      ASSIGN:A(2)=2:NEXT(AA);
A3    ASSIGN:A(3)=RN(5,1);
      ASSIGN:A(2)=3:NEXT(AA);
A4    ASSIGN:A(3)=RN(6,1);
      ASSIGN:A(2)=4:NEXT(AA);
A5    ASSIGN:A(3)=RN(7,1);
      ASSIGN:A(2)=5:NEXT(AA);
A6    ASSIGN:A(3)=RN(8,1);
      ASSIGN:A(2)=6:NEXT(AA);
A7    ASSIGN:A(3)=RN(9,1);
      ASSIGN:A(2)=7:NEXT(AA);
A8    ASSIGN:A(3)=RN(10,1);
      ASSIGN:A(2)=8:NEXT(AA);
;
A9    ROUTE:20,5;
;
A13   ASSIGN:A(3)=RN(11,1);
      ASSIGN:A(2)=13:NEXT(AA);
A14   ASSIGN:A(3)=RN(12,1);
      ASSIGN:A(2)=14:NEXT(AA);
A15   ASSIGN:A(3)=RN(13,1);
      ASSIGN:A(2)=15:NEXT(AA);
AA    QUEUE,1:DETACH;
;
BB    STATION,3;
      BRANCH,1:
          IF,X(11).EQ.0,B1:
          IF,X(12).EQ.0,B2:
          IF,X(11).EQ.1,B1:
```

```
IF,X(12).EQ.1,B2;
;
B1  ASSIGN:X(11)=X(11)+1;
    ASSIGN:A(8)=1.NEXT(B4);
B2  ASSIGN:X(12)=X(12)+1;
    ASSIGN:A(8)=2.NEXT(B4);
B4  DELAY:10;
    QUEUE,6;
    REQUEST:AVG(SDS,7);
    ASSIGN:M=A(8);
    TRANSPORT:AVG(A(7)),M;
;
TEZ1 STATION,1;
     FREE:AVG(A(7));
     QUEUE,2;
     SEIZE:MAK1;
     DELAY:A(3);
     RELEASE:MAK1;
     ASSIGN:X(11)=X(11)-1;
     QUEUE,7;
     REQUEST:AVG(SDS,7);
     TRANSPORT:AVG(A(7)),4;
;
TEZ2 STATION,2;
     FREE:AVG(A(7));
     QUEUE,3;
     SEIZE:MAK2;
     DELAY:A(3);
     RELEASE:MAK2;
     ASSIGN:X(12)=X(12)-1;
```

```

    QUEUE,8;
    REQUEST:AVG(SDS,7);
    TRANSPORT:AVG(A(7)),4;
;
SONUC STATION,4;
    FREE:AVG(A(7));
    ASSIGN:X(1)=X(1)-1;
    DELAY:10;
    BRANCH,1:
        IF,A(2).GE.13.AND.A(2).LT.14,D1:
        IF,A(2).GE.14.AND.A(2).LT.15,D1:
        IF,A(2).GE.15.AND.A(2).LT.16,D1:
        ELSE,D2;
D1 ASSIGN:X(25)=0:NEXT(NETICE);
D2 ROUTE:20,5;
;
C QUEUE,5;
    SCAN:X(1).LT.4.AND.NQ(1).NE.0;
    REMOVE:1,1,BB;
    ASSIGN:X(1)=X(1)+1:NEXT(C);
;
HUCRE2 STATION,5;
    BRANCH,1:
        IF,A(2).GE.1.AND.A(2).LT.2,A11:
        IF,A(2).GE.2.AND.A(2).LT.3,A21:
        IF,A(2).GE.3.AND.A(2).LT.4,A31:
        IF,A(2).GE.4.AND.A(2).LT.5,A41:
        IF,A(2).GE.5.AND.A(2).LT.6,A51:
        IF,A(2).GE.6.AND.A(2).LT.7,A61:
        IF,A(2).GE.7.AND.A(2).LT.8,A71:

```

```

    IF,A(2).GE.8.AND.A(2).LT.9,A81:
    IF,A(2).GE.9.AND.A(2).LT.10,A91:
    IF,A(2).GE.10.AND.A(2).LT.11,A101:
    IF,A(2).GE.11.AND.A(2).LT.12,A111:
    IF,A(2).GE.12.AND.A(2).LT.13,A121;
A11    ASSIGN:A(3)=RN(14,1):NEXT(AA1);
A21    ASSIGN:A(3)=RN(15,1):NEXT(AA1);
A31    ASSIGN:A(3)=RN(16,1):NEXT(AA1);
A41    ASSIGN:A(3)=RN(17,1):NEXT(AA1);
A51    ASSIGN:A(3)=RN(18,1):NEXT(AA1);
A61    ASSIGN:A(3)=RN(19,1):NEXT(AA1);
A71    ASSIGN:A(3)=RN(20,1):NEXT(AA1);
A81    ASSIGN:A(3)=RN(21,1):NEXT(AA1);
A91    ASSIGN:A(3)=RN(22,1);
        ASSIGN:A(2)=9:NEXT(AA1);
A101   ASSIGN:A(3)=RN(23,1);
        ASSIGN:A(2)=10:NEXT(AA1);
A111   ASSIGN:A(3)=RN(24,1);
        ASSIGN:A(2)=11:NEXT(AA1);
A121   ASSIGN:A(3)=RN(25,1);
        ASSIGN:A(2)=12:NEXT(AA1);
AA1    QUEUE,10:DETACH;
;
BB1    BRANCH,1:
        IF,X(13).EQ.0,B11:
        IF,X(14).EQ.0,B21:
        IF,X(13).EQ.1,B11:
        IF,X(14).EQ.1,B21;
B11    ASSIGN:X(13)=X(13)+1;
        ASSIGN:A(8)=6:NEXT(B41);

```


B21 ASSIGN:X(14)=X(14)+1;
 ASSIGN:A(8)=7:NEXT(B41);

B41 DELAY:10;
 QUEUE,11;
 REQUEST:AVG1(SDS,7);
 ASSIGN:M=A(8);
 TRANSPORT:AVG1(A(7)),M;

;

TEZ3 STATION,6;
 FREE:AVG1(A(7));
 QUEUE,12;
 SEIZE:MAK3;
 DELAY:A(3);
 RELEASE:MAK3;
 ASSIGN:X(13)=X(13)-1;
 QUEUE,13;
 REQUEST:AVG1(SDS,7);
 TRANSPORT:AVG1(A(7)),8;

;

TEZ4 STATION,7;
 FREE:AVG1(A(7));
 QUEUE,14;
 SEIZE:MAK4;
 DELAY:A(3);
 RELEASE:MAK4;
 ASSIGN:X(14)=X(14)-1;
 QUEUE,15;
 REQUEST:AVG1(SDS,7);
 TRANSPORT:AVG1(A(7)),8;

;

```
SONUC1 STATION,8;
      FREE:AVG1(A(7));
      ASSIGN:X(2)=X(2)-1;
      DELAY:10;
      DELAY:20;
;
NETICE TALLY:A(2),INT(1);
      TALLY:16,INT(1);
      COUNT:A(2),1;
      COUNT:16,1:DISPOSE;
;
C1    QUEUE,16;
      SCAN:X(2).LT.4.AND.NQ(10).NE.0;
      REMOVE:1,10,BB1;
      ASSIGN:X(2)=X(2)+1.NEXT(C1);
END;
```

3.4.4. Deneysel Program

BEGIN;

PROJECT,FMS,VECİHİ YİĞİT,12/11/1995;

DISCRETE,750,10,25,8;

REPLICATE,1,0,100000;

ARRIVALS:1,QUEUE(5),0,1,;

2,QUEUE(16),0,1,;

COUNTERS:1,İŞLENEN PARÇA 1:

2,İŞLENEN PARÇA 2:

3,İŞLENEN PARÇA 3:

4,İŞLENEN PARÇA 4:

5,İŞLENEN PARÇA 5:

6,İŞLENEN PARÇA 6:

7,İŞLENEN PARÇA 7:

8,İŞLENEN PARÇA 8:

9,İŞLENEN PARÇA 9:

10,İŞLENEN PARÇA 10:

11,İŞLENEN PARÇA 11:

12,İŞLENEN PARÇA 12:

13,İŞLENEN PARÇA 13:

14,İŞLENEN PARÇA 14:

15,İŞLENEN PARÇA 15:

16,T.P.SAYISI,400;

PARAMETERS:1,10:

2,1,16:

3,23,8:

4,37,8:

5,30,8:

6,25,8:

7,47,8:

8,44,8:

9,52,8:

10,29,8:

11,65,8:

12,42,8:

13,80,8:

14,40,10:

15,25,10:

16,45,10:

17,32,10:

18,39,10:

19,37,10:

20,29,10:

21,34,10:

22,48,10:

23,36,10:

24,70,10:

25,82,10:

DSTAT:1,NR(1),MAK1 KUL:

2,NR(2),MAK2 KUL:

3,NR(3),MAK3 KUL:

4,NR(4),MAK4 KUL:

5,NT(1),OKA1 KUL:

6,NT(2),OKA2 KUL:

7,NQ(1),HÜCRE1 KUYRUĞU:

8,NQ(10),HÜCRE2 KUYRUĞU;

RESOURCES:1,MAK1:

2,MAK2:

3,MAK3:

4,MAK4;

TALLIES:1,PARCA1 AKIŞ Z.:

2,PARCA2 AKIŞ Z.:

3,PARCA3 AKIŞ Z.:

4,PARCA4 AKIŞ Z.:

5,PARCA5 AKIŞ Z.:

6,PARCA6 AKIŞ Z.:

7,PARCA7 AKIŞ Z.:

8,PARCA8 AKIŞ Z.:

9,PARCA9 AKIŞ Z.:

10,PARCA10 AKIŞ Z.:

11,PARCA11 AKIŞ Z.:

12,PARCA12 AKIŞ Z.:

13,PARCA13 AKIŞ Z.:

14,PARCA14 AKIŞ Z.:

15,PARCA15 AKIŞ Z.:

16,TOPLAM AKIŞ Z.;

TRANSPORTERS:1,AVG,1,1,2,4-A:

2,AVG1,1,2,2,6-A;

DISTANCES:1,1-4,10,10,10/

20,20/

0:

2,5-8,10,10,10/

20,20/

0;

END;

Beginning execution of run number 1

SIMAN Summary Report

Run Number 1 of 1

Project: FMS

Analyst: VECİHI YİĞİT

Date : 12/11/1995

Run ended at time .9239E+04

Tally Variables

Number Identifier	Average	Standard Deviation	Minimum Value	Maximum Value	Number of Obs
1 PARCA1 AKIŞ Z.	4843.73	1708.25	296.61	7918.83	31
2 PARCA2 AKIŞ Z.	286.83830	66.11826	212.64040	535.31670	27
3 PARCA3 AKIŞ Z.	324.22260	110.73560	196.67270	675.98250	27
4 PARCA4 AKIŞ Z.	6530.74	1597.49	2678.40	8845.25	24
5 PARCA5 AKIŞ Z.	772.	943.85	179.25	4382.46	30
6 PARCA6 AKIŞ Z.	542.65	475.51	239.30	2305.96	26
7 PARCA7 AKIŞ Z.	1190.32	1022.69	219.07	4293.99	29
8 PARCA8 AKIŞ Z.	2429.68	1426.31	324.48	4311.52	21
9 PARCA9 AKIŞ Z.	619.59	954.80	112.96	3947.75	25
10 PARCA10 AKIŞ Z.	274.34	337.36	103.82	1770.66	24
11 PARCA11 AKIŞ Z.	3807.02	1908.21	155.76	6921.	29
12 PARCA12 AKIŞ Z.	4307.24	1714.35	202.67	8191.25	36
13 PARCA13 AKIŞ Z.	2175.42	1479.35	151.30	4770.66	28
14 PARCA14 AKIŞ Z.	380.68	499.30	95.49	2305.33	20
15 PARCA15 AKIŞ Z.	4749.92	1470.96	1581.86	7132.53	23
16 TOPLAM AKIŞ Z.	2278.82	2354.64	95.49	8845.25	400

Discrete Change Variables

Number Identifier	Average	Standard Deviation	Minimum Value	Maximum Value	Time Period
1 MAK1 KUL	.86	.35	.00	1.00	9238.54
2 MAK2 KUL	.81	.39	.00	1.00	9238.54
3 MAK3 KUL	.91	.28	.00	1.00	9238.54
4 MAK4 KUL	.90	.30	.00	1.00	9238.54
5 OKA1 KUL	.64	.48	.00	1.00	9238.54
6 OKA2 KUL	.72	.45	.00	1.00	9238.54
7 HÜCRE1 KUY	47.47	34.41	.00	116.00	9238.54
8 HÜCRE2 KUY	41.69	25.61	.00	90.00	9238.54

Counters

Number Identifier	Count	Limit
1 İŞLENEN PARÇA 1	31	Infinite
2 İŞLENEN PARÇA 2	27	Infinite
3 İŞLENEN PARÇA 3	27	Infinite
4 İŞLENEN PARÇA 4	24	Infinite
5 İŞLENEN PARÇA 5	30	Infinite
6 İŞLENEN PARÇA 6	26	Infinite
7 İŞLENEN PARÇA 7	29	Infinite
8 İŞLENEN PARÇA 8	21	Infinite
9 İŞLENEN PARÇA 9	25	Infinite
10 İŞLENEN PARÇA 10	24	Infinite
11 İŞLENEN PARÇA 11	29	Infinite
12 İŞLENEN PARÇA 12	36	Infinite
13 İŞLENEN PARÇA 13	28	Infinite
14 İŞLENEN PARÇA 14	20	Infinite
15 İŞLENEN PARÇA 15	23	Infinite
16 T.P.SAYISI	400	400

Run Time : 4 Second(s)

Stop - Program terminated.

3.4.6. En Uzun İşlem Zamanı Önce Kuralı Sonucu

Beginning execution of run number 1

SIMAN Summary Report

Run Number 1 of 1

Project: FMS EUİZ
Analyst: VECİHİ YİĞİT
Date : 12/11/1995

Run ended at time .9116E+04

Tally Variables

Number Identifier	Average	Standard Deviation	Minimum Value	Maximum Value	Number of Obs.
1 PARCA1 AKIŞ Z	3187.31	1648.23	296.61	8163.53	28
2 PARCA2 AKIŞ Z	5623.29	1782.25	257.87	8793.12	22
3 PARCA3 AKIŞ Z	5909.85	1544.80	196.67	8249.65	22
4 PARCA4 AKIŞ Z	802.57	806.82	392.69	4613.03	31
5 PARCA5 AKIŞ Z	4316.28	1518.59	179.25	7237.87	25
6 PARCA6 AKIŞ Z	5084.70	1260.95	3089.48	8004.23	27
7 PARCA7 AKIŞ Z	4318.17	1932.93	219.07	8760.23	31
8 PARCA8 AKIŞ Z	6026.67	1119.28	4118.60	7974.66	24
9 PARCA9 AKIŞ Z	2744.45	1685.91	112.96	6051.67	26
10 PARCA10 AKIŞ Z	2939.68	1827.88	103.82	5909.34	26
11 PARCA11 AKIŞ Z	604.83	689.59	155.76	2831.97	35
12 PARCA12 AKIŞ Z	357.24	356.35	197.32	1940.	25
13 PARCA13 AKIŞ Z	1564.39	1326.80	155.67	4321.27	29
14 PARCA14 AKIŞ Z	3645.33	1909.05	113.46	6906.87	21
15 PARCA15 AKIŞ Z	529.23	800.08	178.95	3769.97	28
16 TOPLAM AKIŞ Z	3015.44	2400.82	103.82	8793.12	400

Discrete Change Variables

Number Identifier	Average	Standard Deviation	Minimum Value	Maximum Value	Time Period
1 MAK1 KUL	.87	.33	.00	1.00	9116.13
2 MAK2 KUL	.85	.36	.00	1.00	9116.13
3 MAK3 KUL	.91	.29	.00	1.00	9116.13
4 MAK4 KUL	.90	.30	.00	1.00	9116.13
5 OKA1 KUL	.65	.48	.00	1.00	9116.13
6 OKA2 KUL	.71	.45	.00	1.00	9116.13
7 HÜCRE1 KUY	88.25	61.32	.00	190.00	9116.13
8 HÜCRE2 KUY	4.50	8.65	00	0.00	116.13

Counters

Number Identifier	Count	Limit
1 İŞLENEN PARÇA 1	28	Infinite
2 İŞLENEN PARÇA 2	22	Infinite
3 İŞLENEN PARÇA 3	22	Infinite
4 İŞLENEN PARÇA 4	31	Infinite
5 İŞLENEN PARÇA 5	25	Infinite
6 İŞLENEN PARÇA 6	27	Infinite
7 İŞLENEN PARÇA 7	31	Infinite
8 İŞLENEN PARÇA 8	24	Infinite
9 İŞLENEN PARÇA 9	26	Infinite
10 İŞLENEN PARÇA 10	26	Infinite
11 İŞLENEN PARÇA 11	35	Infinite
12 İŞLENEN PARÇA 12	25	Infinite
13 İŞLENEN PARÇA 13	29	Infinite
14 İŞLENEN PARÇA 14	21	Infinite
15 İŞLENEN PARÇA 15	28	Infinite
16 T.P.SAYISI	400	400

Run Time : 4 Second(s)

Stop - Program terminated.

3.4.7. İlk Gelen Önce Kuralı Sonucu

Beginning execution of run number 1

SIMAN Summary Report

Run Number 1 of 1

Project: FMS

Analyst: VECİHI YİĞİT

Date : 12/11/1995

Run ended at time .8731E+04

Tally Variables

Number Identifier	Average	Standard Deviation	Minimum Value	Maximum Value	Number of Obs
1 PARCA1 AKIŞ Z.	3491.75	1350.02	296.61	4731.41	28
2 PARCA2 AKIŞ Z.	3006.70	1607.36	257.87	4689.81	22
3 PARCA3 AKIŞ Z.	3548.59	1276.57	196.67	4716.72	25
4 PARCA4 AKIŞ Z.	2775.99	1561.25	460.93	4630.07	23
5 PARCA5 AKIŞ Z.	3392.84	1418.76	179.25	4654.02	28
6 PARCA6 AKIŞ Z.	3258.73	1340.47	549.01	4715.06	26
7 PARCA7 AKIŞ Z.	3393.99	1336.73	219.07	4683.34	28
8 PARCA8 AKIŞ Z.	3576.30	1106.83	494.33	4667.33	27
9 PARCA9 AKIŞ Z.	1262.83	622.44	112.96	2173.17	25
10 PARCA10 AKIŞ Z.	1180.44	590.82	103.82	2027.52	25
11 PARCA11 AKIŞ Z.	1066.45	551.50	155.76	2127.06	27
12 PARCA12 AKIŞ Z.	1273.55	596.00	183.50	2147.41	31
13 PARCA13 AKIŞ Z.	2274.93	1176.03	285.73	4193.57	33
14 PARCA14 AKIŞ Z.	1808.33	1212.61	138.64	3918.34	25
15 PARCA15 AKIŞ Z.	2232.66	952.46	609.40	4038.50	27
16 TOPLAM AKIŞ Z.	2494.29	1474.74	103.82	4731.41	400

Discrete Change Variables

Number Identifier	Average	Standard Deviation	Minimum Value	maximum Value	Time Period
1 MAK1 KUL	.93	.26	.00	1.00	8730.82
2 MAK2 KUL	.86	.35	.00	1.00	8730.82
3 MAK3 KUL	.92	.27	.00	1.00	8730.82
4 MAK4 KUL	.93	.26	.00	1.00	8730.82
5 OKA1 KUL	.72	.45	.00	1.00	8730.82
6 OKA2 KUL	.70	.46	.00	1.00	8730.82
7 HÜCRE1 KUY	68.37	44.86	.00	148.00	8730.82
8 HÜCRE2 KUY	36.10	20.42	.00	74.00	8730.82

Counters

<i>Number Identifier</i>	<i>Count</i>	<i>Limit</i>
1 İŞLENEN PARÇA 1	28	Infinite
2 İŞLENEN PARÇA 2	22	Infinite
3 İŞLENEN PARÇA 3	25	Infinite
4 İŞLENEN PARÇA 4	23	Infinite
5 İŞLENEN PARÇA 5	28	Infinite
6 İŞLENEN PARÇA 6	26	Infinite
7 İŞLENEN PARÇA 7	28	Infinite
8 İŞLENEN PARÇA 8	27	Infinite
9 İŞLENEN PARÇA 9	25	Infinite
10 İŞLENEN PARÇA 10	25	Infinite
11 İŞLENEN PARÇA 11	27	Infinite
12 İŞLENEN PARÇA 12	31	Infinite
13 İŞLENEN PARÇA 13	33	Infinite
14 İŞLENEN PARÇA 14	25	Infinite
15 İŞLENEN PARÇA 15	27	Infinite
16 T.P.SAYISI	400	400

Run Time : 3 Second(s)

Stop - Program terminated.

3.4.8. Uygulama Sonuçları

3.4.'te programlar ve programların çıktılarını verdik. Burada ise, bu programlar ve çıktılarının sonuçlarını yorumlayacağız. Sonuçları yorumlamak için, yaptığımız programlara ilaveten 1000 birimlik parti hacmine görede yukarıdaki programları çalıştırdık. 400 birimlik parti hacmine ve 1000 birimlik parti hacmine göre test ettiğimiz çizelgeleme kurallarının performans kriterlerine etkileri ile ilgili düzenlenen tablolar aşağıdadır.

Tablo 3.5. Parça akış zamanlarının karşılaştırılması

	EKİZ		EUİZ		İGÖ	
	P.hacmi: 400	P.hacmi1000	P.hacmi: 400	P.hacmi1000	P.hacmi: 400	P.hacmi1000
PARÇA 1	4843.73	12072.39	3187.31	6826.37	3491.75	8314.38
PARÇA 2	286.83	292.70	5623.29	14182.71	3006.70	8177.44
PARÇA 3	324.22	744.05	5909.85	14093.31	3548.59	8156.97
PARÇA 4	6530.74	14211.69	802.57	1265.07	2775.99	8152.48
PARÇA 5	772.00	1128.57	4316.28	10644.49	3392.84	8136.14
PARÇA 6	542.65	797.95	5084.70	11208.77	3258.73	8395.53
PARÇA 7	1190.32	2296.88	4318.17	10969.59	3393.99	8094.91
PARÇA 8	2429.68	5839.12	6026.67	14492.98	3576.30	8020.64
PARÇA 9	619.59	1219.53	2744.45	4509.88	1262.83	2444.13
PARÇA 10	274.34	233.10	2939.68	7372.72	1180.44	2300.33
PARÇA 11	3807.02	8098.54	604.83	538.24	1066.45	2384.58
PARÇA 12	4307.24	11410.50	357.24	320.07	1273.55	2350.49
PARÇA 13	2175.42	6554.85	1564.39	2622.06	2274.93	5373.06
PARÇA 14	380.68	541.69	3645.33	9537.71	1808.33	5382.04
PARÇA 15	4749.92	10926.24	529.23	488.98	2232.66	5480.23

Tablo 3.6. Parti hacmine göre işlenen parça sayıları

	İşlenen Parça Sayısı					
	Parti hacmi: 400			Parti hacmi: 1000		
	EKİZ	EUİZ	İGÖ	EKİZ	EUİZ	İGÖ
PARÇA 1	31	28	28	80	72	70
PARÇA 2	27	22	22	64	65	58
PARÇA 3	27	22	25	71	66	61
PARÇA 4	24	31	23	63	71	67
PARÇA 5	30	25	28	70	59	69
PARÇA 6	26	27	26	72	69	76
PARÇA 7	29	31	28	64	76	68
PARÇA 8	21	24	27	53	61	64
PARÇA 9	25	26	25	66	69	60
PARÇA 10	24	26	25	55	60	61
PARÇA 11	29	35	27	69	74	67
PARÇA 12	36	25	31	82	64	72
PARÇA 13	28	29	33	72	71	79
PARÇA 14	20	21	25	60	63	64
PARÇA 15	23	28	27	59	60	64

Tablo 3.7. Ortalama toplam akış zamanlarının karşılaştırılması

	Parça hacmi: 400			Parça hacmi: 1000		
	EKİZ	EUİZ	İGÖ	EKİZ	EUİZ	İGÖ
Ortalama toplam akış zamanı	2278.82	3015.44	2494.29	5262.48	7182.79	6098.94

Tablo 3.8. Makinaların ve OKA'ların faydalılığının karşılaştırılması

	Parça hacmi: 400			Parça hacmi: 1000		
	EKİZ	EUİZ	İGÖ	EKİZ	EUİZ	İGÖ
Makina 1 Kullanımı	0.86	0.87	0.93	0.90	0.88	0.93
Makina 1 Kullanımı	0.81	0.85	0.86	0.85	0.85	0.87
Makina 1 Kullanımı	0.91	0.91	0.92	0.93	0.91	0.92
Makina 1 Kullanımı	0.90	0.90	0.93	0.91	0.91	0.94
OKA 1 Kullanımı	0.64	0.65	0.72	0.69	0.67	0.72
OKA 2 Kullanımı	0.72	0.71	0.70	0.71	0.71	0.70

Tablo 3.9. Hücre kuyruklarına göre karşılaştırma

	Parça hacmi: 400			Parça hacmi: 1000		
	EKİZ	EUİZ	İGÖ	EKİZ	EUİZ	İGÖ
Hücre 1 Kuyruğu	47.47	88.25	68.37	127.73	229.68	180.59
Hücre 2 Kuyruğu	41.69	34.50	36.10	96.92	79.94	86.91

Tablo 3.7.'de görüldüğü gibi EKİZ (En kısa işlem zamanı önce) kuralı ortalama toplam akış zamanı açısından diğer iki kuraldan daha iyi performans göstermektedir. Sonrakiler ise sırasıyla İGÖ (İlk gelen önce) kuralı ve EUİZ (En uzun işlem zamanı önce) kuralıdır. Tablo 3.5. ve 3.6. incelendiğinde EKİZ kuralının parça bazında tamamlanma zamanında genellikle eniyi sonucu verdiği görülür.

Hücreler önündeki kuyruklar açısından değerlendirdiğimizde ise; tablo 3.9.'da görüldüğü gibi hücre 1 kuyruğunda minimizasyonu EKİZ kuralı sağlamakta, hücre 2 kuyruğunda ise EUİZ kuralı sağlamaktadır. İGÖ kuralı ise her iki hücre önündede en uzun kuyruğa sahiptir.

Makina kullanımı açısından değerlendirdiğimizde ise, Tablo 3.8.'de görüldüğü gibi süzme kurallarının sistemin makina kullanım performansına etkileri belirgin değildir. Hepsinde hemen hemen aynı oranda faydalılık oranına sahiptirler. Fakat parti hacmi büyüdükçe istikrarlı olarak makina kullanım oranını artıran süzme kuralının EKİZ kuralı olduğunu görürüz. Düşük parti hacimlerinde ise diğerlerinden daha iyi performans gösteren süzme kuralı ise İG kuralıdır diyebiliriz. Ayrıca işlenen iş parçalarının işlem zamanlarının ve sayılarının farklı olması, makina kullanım oranlarını değerlendirmemizi belirsizleştirmektedir.

Malzeme taşıma sisteminde bulunan OKA'ların kullanımı açısından değerlendirdiğimizde ise, tablo 3.8.'de görüldüğü gibi OKA kullanım oranlarının hemen hepsi eşittir ve OKA kullanımı dengededir. En yüksek OKA kullanım oranı hücre 1'de İG kuralında, hücre 2'de ise EKİZ kuralında gerçekleşmektedir. Ayrıca OKA hızında kullanım oranını etkilemektedir ve OKA hızını ayarlamak içinde deneyler yapılabilir. Tasarladığımız sistemde OKA hızı arttıkça kullanım oranı düşmektedir.

Sonuç olarak tasarladığımız sistemin performansını eniyileyen çizelgeleme kuralı EKİZ kuralıdır. Sistem kurulduktan sonra parçaların makinalara yüklenmesi bu kural gözönüne alınarak yapılmalıdır. Bu sonuca varmamızdaki en etkili performans kriteri ise ortalama toplam parça akış zamanı veya ortalama toplam parça tamamlanma zamanıdır. Ayrıca, her  çizelgeleme kuralındada akış zamanlarının minimum ve maksimum değerlerinin yakın olması modelin güvenilirliğini ve tutarlılığını artırmaktadır. Dolayısıyla, simülasyon sürelerinin rassal dalgalanmaları ortadan kaldıracak kadar uzun tutulduğunun bir kanıtı olarak görülebilir.

SONUÇLAR

Bölüm I'de Esnek İmalat Sistemleri'ne giriş yapılmış ve yapısı açıklanmaya çalışılmıştır. Esnek İmalat Sistemleri'nin özellikleri, alt sistemleri ve kullanılacak araçlar incelenmiştir. Bölüm II'de ise Esnek İmalat Sistemleri'nin başlıca problemleri araştırılmış, Esnek İmalat Sistemleri'nde Çizelgeleme Problemleri üzerine literatür taraması yapılmış ve önemli görülenler özet olarak sonuçlarıyla açıklanmıştır.

Bölüm III'te ise, teorik olarak bir Esnek İmalat Sistemi dizayn ettik ve bu sistemle ilgili olarak yükleme ve çizelgeleme problemleri üzerinde araştırma yaptık. Sonuç olarak, literatür araştırmasındaki gibi gördük ki, genellikle çeşitli performans kriterlerinde sistem performansına etki eden en iyi süzme kuralı En Kısa İşlem Zamanı Önce kuralıdır. Tabii, bu kural sistemden sisteme, işlenecek parça özelliklerine ve diğer özelliklere göre farklılık gösterebilir. Dolayısıyla bu kuralı, gözönüne alınacak politikalarla birlikte araştırılacak sisteme uygun bir şekilde geliştirirsek, sistem performansını eniyilemek için alternatif kurallar geliştirmiş oluruz.

KAYNAKLAR

1. AANEN E., GAALMAN G.J. and NAWIJN W. M., 1993, A Scheduling Approach for a Flexible Manufacturing System, *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 31.
2. DOULGERI Z., HIBBERD R.D., 1987, The Scheduling of Flexible Manufacturing Systems, *Annals of the CIRP*, Vol. 36/1.
3. DURMUŞOĞLU M.B., 1987, Esnek İmalat Sistemlerinde Yükleme Problemi, Yöneylem Araştırması 11. Ulusal Kongresi.
4. GARETTI M., POZZETTI A. and BAREGGI A., 1990, On-Line Loading and Dispatching in Flexible Manufacturing System, *Int. J. Prod. Res.*, Vol.28.
5. INJAZZ J.C. and CHEN-HUA C., 1991, A scheduling Approach for a Flexible Manufacturing Systems, *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 29.
6. KUSIAK A., 1986, Application of Operational Research Models and Techniques in Flexible Manufacturing System, *European J. of Operational Res.*, Vol.24.
7. KUSIAK A., 1991, Planning, Scheduling and Control of Flexible Manufacturing System, *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 37.
8. LAW A. and KECTON D., 1982, *Simulation Modelling and Analysis*, Prentice-Hall International, Newyork.
9. LUGGEN W., 1991, *Flexible Manufacturing Cells and Systems*, Prentice-Hall International, London.
10. MIN H.K., YEONG D.K., 1994, Simulation-Based Real-Time Scheduling in a Flexible Manufacturing System, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.13.
11. MONTAZERI M. and WASSENHOVE V., 1990, Analysis of Scheduling Rules for a Flexible Manufacturing System, *Int. J. Prod. Res.*, Vol.28.
12. ÖZBAYRAK M., *Principles of Manufacturing Systems*, Yayınlanmamış Ders Notları.
13. PEDGEN C.D., 1985, *Introduction to Siman, Systems Modelling Co.*
14. STECKE K.E., 1991, Production Planning and Scheduling in a Flexible Manufacturing System, *Int. J. Prod. Res.*, Vol.27.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi : 13.08.1971

Doğum Yeri : Erzurum

Öğrenim : YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Bölümü 1993-
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Sakarya Mühendislik Fakültesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü 1990-1993
ERZURUM ATATÜRK LİSESİ 1985-1988
ERZURUM ATATÜRK ORTAOKULU 1982-1985
ERZURUM 50. YIL İLKOKULU 1977-1982

Yabancı Dil : İngilizce

ERZURUM
KİTAPÇI