

470 70

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ESNEK İMALAT SİSTEMLERİNİN  
ÇİZELGELENMESİNDE SİMÜLASYON  
YAKLAŞIMI**

**End. Müh. Gül Erdem Okudan**

**F.B.E. Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında  
hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Prof. Yaşar B. Cengiz**

**İSTANBUL, 1995**

**YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
SİMÜLASYON MERKEZİ**

## İÇİNDEKİLER

|                                                                               |            |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>KISALTMALAR LİSTESİ</b>                                                    | <b>I</b>   |
| <b>TEŞEKKÜR</b>                                                               | <b>II</b>  |
| <b>ÖZET</b>                                                                   | <b>III</b> |
| <b>SUMMARY</b>                                                                | <b>V</b>   |
| <br>                                                                          |            |
| <b>BÖLÜM 1.GİRİŞ</b>                                                          | <b>1</b>   |
| 1.1. Alandaki Son Gelişmeler                                                  | 1          |
| <br>                                                                          |            |
| <b>BÖLÜM 2. ESNEK İMALAT SİSTEMLERİ</b>                                       | <b>3</b>   |
| 2.1. Kavram Olarak Esnek İmalat Sistemleri                                    | 3          |
| 2.2. Esnek İmalat Sistemlerinin Bileşenleri                                   | 5          |
| 2.2.1. Esnek İmalat Sistemlerinde Malzeme Taşıma                              | 6          |
| 2.2.1.1. Malzeme Taşıma Gereksinimleri                                        | 7          |
| 2.2.1.2. Robotlar                                                             | 9          |
| 2.2.1.3. Konveyörler                                                          | 11         |
| 2.2.1.4. Ray Kılavuzlu Transfer Mekanizmaları                                 | 12         |
| 2.2.1.5. Otomatik Kılavuzlu Araçlar                                           | 13         |
| 2.2.1.5.1. Kılavuzlu Yol ve İzleme Sistemleri                                 | 15         |
| 2.2.1.6. Ayaklı Yükleyiciler                                                  | 17         |
| 2.2.1.7. Otomatik Depolama ve Yeniden Elde Etme Sistemleri                    | 17         |
| 2.3. İnsan Kaynakları                                                         | 19         |
| 2.3.1. Personelde dikkate alınması gereken hususlar                           | 19         |
| 2.3.2. Ekip Çalışması, İletişim ve Katılım                                    | 21         |
| 2.3.2.1. Ekip Yaklaşımının Yararları                                          | 23         |
| 2.3.3. Denetleyicinin Rolü                                                    | 24         |
| 2.3.4. Personel Seçimi                                                        | 25         |
| 2.3.5. İşin Tanımlanması                                                      | 26         |
| 2.3.6. Çalışanların Eğitimi                                                   | 28         |
| 2.4 Esnek İmalat Sistemlerinin Yararları                                      | 29         |
| 2.5. Esnek İmalat Sistemlerinin Klasik İmalat Sistemleriyle Karşılaştırılması | 31         |
| 2.6. Esneklik Kavramı ve Önemi                                                | 32         |
| 2.6.1. İmalat Esnekliğinin Türleri                                            | 33         |

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>BÖLÜM 3. ESNEK İMALAT SİSTEMLERİNDE ÇİZELGELEME</b>                          | <b>38</b> |
| 3.1. Çizelgeleme                                                                | 38        |
| 3.2 Esnek İmalat Sistemlerinde Çizelgeleme                                      | 40        |
| 3.2.1. Esnek İmalat Sistemlerinde Planlama Problemleri                          | 40        |
| 3.2.2 Esnek İmalat Sistemlerinde Çizelgeleme Problemleri                        | 41        |
| 3.3. Literatür Taraması                                                         | 43        |
| 3.4. Anında Kontrol ve Çizelgeleme                                              | 48        |
| <br>                                                                            |           |
| <b>BÖLÜM 4. ÇİZELGELEMEDE SİMÜLASYON YAKLAŞIMI</b>                              | <b>50</b> |
| 4.1 Giriş                                                                       | 50        |
| 4.2 Simülasyonun Anlamı                                                         | 50        |
| 4.2.1. Simülasyonun Amacı                                                       | 52        |
| 4.2.2. Simülasyon Kullanım Nedenleri                                            | 52        |
| 4.2.3. Simülasyon Prosedürü                                                     | 52        |
| 4.3. Simülasyon Tipleri                                                         | 53        |
| 4.4. Simülasyon Yazılımları                                                     | 53        |
| 4.5. Simülasyon Uygulamaları                                                    | 56        |
| 4.5.1. Dezavantajları-Avantajları                                               | 56        |
| 4.5.2. Uygulama Alanları                                                        | 57        |
| 4.6. Üretim Alanında Simülasyon                                                 | 58        |
| 4.6.1. Üretim Simülasyonunda İstatistiksel Konular                              | 60        |
| 4.6.2. Simülasyon Deneylerinin Tasarımı ve Analizi                              | 61        |
| 4.7. SIMAN                                                                      | 63        |
| 4.7.1. Siman Simülasyon Programlarının Derlenmesi, Bağlanması ve Çalıştırılması | 68        |
| <br>                                                                            |           |
| <b>BÖLÜM 5.DENEYSEL TASARIM</b>                                                 | <b>70</b> |
| 5.1. Giriş                                                                      |           |
| 5.2. Deney Tasarımı ve Analizi                                                  | 70        |
| 5.3. Deney Tasarımının Uygulama Alanları                                        | 71        |
| 5.4. Temel Prensipler                                                           | 72        |
| 5.5. Sıklıkla Kullanılan Deneysel Tasarım Modelleri                             | 73        |
| 5.5.1. Tek Faktörlü Deneyler                                                    | 73        |
| 5.5.2. Tam Faktöriyel Deney Tasarımları                                         | 78        |

|                                                          |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| <b>BÖLÜM 6. ESNEK İMALAT SİSTEMLERİNDE ÇİZELGELEMeye</b> |     |
| <b>SİMÜLASYON YAKLAŞIMI VE SONUÇLARIN DENEY</b>          |     |
| <b>TASARIMI İLE ANALİZİ</b>                              | 79  |
| 6.1. Giriş                                               | 79  |
| 6.2. Teslim Süresi Esaslı Çizelgeleme                    | 81  |
| 6.2.1. Temel Çizelgeleme Problemi                        | 82  |
| 6.2.2. Detaylı Çizelgeleme Problemi                      | 83  |
| 6.3. Geliştirilen Çizelgeleme Yaklaşımı                  | 88  |
| 6.4. Çizelgelemenin Deneysel Tasarım İle Analizi         | 98  |
| 6.4.1. Giriş                                             | 98  |
| 6.4.2. Deney Tasarımı                                    | 99  |
| 6.4.3. Tasarlanan Deneyin Analizi                        | 101 |
| <b>BÖLÜM 7. SONUÇLAR</b>                                 | 102 |
| <b>KAYNAKLAR</b>                                         | 104 |
| <b>EK 1: SAS Çıktı Örneği</b>                            | 111 |
| <b>EK 2: DOE Örneği</b>                                  | 115 |
| <b>EK 3</b>                                              | 117 |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b>                                          |     |

**KISALTMALAR LİSTESİ**

|             |                                                |
|-------------|------------------------------------------------|
| <b>EİS</b>  | Esnek İmalat Sistemi                           |
| <b>ODYS</b> | Otomatik Depolama ve Yeniden Elde Etme Sistemi |
| <b>OKA</b>  | Otomatik Kılavuzlu Araç                        |
| <b>OKAS</b> | Otomatik Kılavuzlu Araç Sistemi                |
| <b>RKTS</b> | Ray Kılavuzlu Taşıma Sistemi                   |
| <b>TZÜ</b>  | Tam Zamanında Üretim                           |
| <b>TZÜS</b> | Tam Zamanında Üretim Sistemi                   |
| <b>US</b>   | Uzman Sistem                                   |
| <b>YZ</b>   | Yapay Zeka                                     |



## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında, önerileri ile beni yönlendiren ve hiçbir konuda desteğini esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Yaşar Baki CENGİZ' e içten teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman olduğu gibi hep yanımda olan, bugüne değin tüm başarılarımın asıl mimarı aileme, kardeşim Aylin Okudan' a ve kardeşim gibi sevdiğim Aylin Şener' e yardımları için sonsuz teşekkürler.

Gül Erdem Okudan  
End. Müh.  
İstanbul Ocak, 1995

## ÖZET

Dünyanın her tarafındaki imalatçıların günümüzdeki en büyük kaygısı, siparişleri daha kısa zamanda, daha hızlı ve parti hacimlerinin bir olduğu durumlarda bile, takım değiştirme duraklamalarına gerek kalmadan karşılamaktır. Bu bağlamda etkili sözcükler; verimli, israfsız ve daha az maliyetli üretimi ima eden "Kütle Üretimi", talepteki değişime göre sistemin konfigürasyonunu değiştirme hızı olarak bilinen "Çeviklik" ve müşteri tercihlerine uyum sağlama kabiliyeti dediğimiz "Esneklik"tir.

Firmaların, müşterilerinin tatminini öncelik listelerinin ilk sıralarına ve hatta başına almakta oldukları ve alıcıya bir ürünü, gönlünün sevdiği renk, boyut, şekil ve diğer özelliklerini seçme özgürlüğünü verdikleri durum hakimdir.

Bu gelişmelerin arkasında global rekabetin büyük ekonomik baskısı vardır. Bu baskıyı karşılamak için, düşük ürün maliyeti, kalitede yükselme, üründe daha az hasar ve azaltılmış hata oranı birarada gerçekleştirilmelidir. Bu gelişmelere en büyük katkı, elektroteknoloji ve bilişim teknolojisi tarafından sağlanmaktadır. Bilgisayarlar, donanım ağları, iletişim araçları ve kontrol sistemleri yalnızca değişikliklere fırsat vermekle kalmaz, aynı zamanda onlardan etkilenir.

Bir tarafta global pazarın baskısını, diğer tarafta bilgisayarların ve elektroteknolojinin hızlı gelişimin hisseden firmalar, pazar talebini karşılayabilmek için bir süredir otomatik üretim sistemleri kullanmaktadırlar. Bu bağlamda, EİS' de kullanımdadır ve bir süre daha popülerliğini sürdürecektir.

Üretim sistemleri, parça çeşitliliği ve parça başına üretim hacmi orta düzeyde olduğu durumlarda en önemli çözüm yolu olarak düşünülse de, kullanımlarındaki hata kötü sonuçlara yol açabilir. Bu tezde, EİS' nin en büyük problemlerinden birine, bir çözüm yaklaşımı sunulmuştur: EİS çizelgelemesine bilgisayar simülasyonu ve sonuçların deneysel tasarım ile analizi.

Bilindiği gibi, çizelgeleme EİS' nin performansını direkt olarak etkiler. Bu yüzden, bu alana özel bir önem verilmektedir.

Bu çalışmalar sırasında, EİS hakkında genel bilgiler verilmektedir. Çizelgeleme ve simülasyon hakkında kısa bir girişten sonra, EİS' ni çizelgelemek için bir model geliştirilmiştir. Bu metodun uygulaması, Kusiak (1986) tarafından ortaya konan bir çizelgeleme problemine çözüm getirmek için yapılmıştır. Kaynaklar açısından, hemen hemen aynı üretim sistemi kullanılmıştır.

Bu sistemin bilgisayar simülasyonu, mevcut, genel amaçlı, güçlü simülasyon dillerinden biri olan SIMAN V kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ardından deneysel tasarım analizi eklenmiştir.

Değerlendirme sonuçlarına göre, esnek imalat sistemlerinin çizelgelenmesi için simülasyon iyi bir araçtır. Diğer taraftan , simüle edilmiş veriye bir geri besleme olarak kullanılacak deneysel tasarımın sistemi destekleyeceği bulunmuştur.

Bütün üretim problemlerini çözmek için, tesis yatırımlarında olduğu gibi, sistemin bir bütün olarak ele alınması gerektiği unutulmamalıdır. İnsan-makine entegrasyonu şarttır.



## SUMMARY

The goal of manufacturing at companies throughout the world is processing orders sooner, faster, and without pausing for retooling, even for lots of one. The buzzwords are "lean", to describe efficient, unwasteful, less costly manufacturing; "agile", said of a manufacturing system's speed in reconfiguring itself to meet changing demands; and "flexible", meaning the system's ability to adjust to customer's preferences.

Companies are putting customer satisfaction high, or even first, on their list of priorities; and, giving the buyer the freedom to pick a product with the colour, size, shape, and other features dearest to his or her heart is, in effect, manufacturing "à la carte".

Behind this evolution are massive economic pressures for global competitiveness. In order to surmount these kinds of pressure, reduced product costs must go hand in hand with superior quality, evidenced by fewer defects and a reduced failure rate. Electrotechnology and information technology are major contributors to these developments. Computers, networking, communications, and control systems, moreover, not only enable changes but are influenced by them as well.

Having the pressures of the global market at one side and the rapid developments of computers and electrotechnology at the other, companies have been using highly automated manufacturing systems to respond to the demands of the market. In this sense, "Flexible Manufacturing Systems" have been in use, and it seems that they will be popular for some more time.

Although, they are thought to be one of the most important solutions for mid-volume and mid-variety manufacturing systems, misuse of these systems can result in miseries.

In this thesis, a solution approach for one of the biggest problems of an FMS is provided: Computer Simulation of an FMS Scheduling and analysis of the results with design of experiments.

As we all know, scheduling can directly affect the performance of an FMS. Therefore, a special importance has to be given to this area.

In this study, first of all, general knowledge about Flexible Manufacturing Systems is given. Then, after giving brief information about scheduling and simulation, a model for scheduling an FMS system is developed. The method is used to solve a scheduling problem which was published by Kusiak (1986). More or less, the same manufacturing system is used by means of the resources.

The computer simulation of the system is done, using SIMAN V, one of the powerful, general purpose languages. Then, the analysis of the simulation results are done using design of experiments.

Finally, according to the evaluation results of the developed model, it can be said that, simulation is a good tool that can be used for scheduling an FMS. On the other hand, it is found that design of experiments analysis can support the system by generating feedback according to the simulated data.

It should not be forgotten that, in order to overcome all these problems, it is necessary to prepare the system as a whole, like the investments at the factory floor. Human-machine integration is needed.



## 1.GİRİŞ

Yetmişli yılların sonlarından başlamak üzere üretim sektörlerinde kendini hissettirmeye başlayan rekabet, teknolojik gelişmelerin endüstriye uygulanmasıyla üretim sistemleri yatırımlarının büyük ölçüde değişmesine sebep olmuştur.

Bu atılımdaki temel amaç, teknolojik gelişmenin yanısıra, enerji ve diğer kaynakların daha az kullanılması, dolayısıyla imalat maliyetlerinin düşürülmesi ve maksimum ekonomi sağlanmasıdır. Ayrıca, mevcut pazar payını, artan rekabet baskısı altında korumak ve değişen müşteri isteklerine hızla cevap vererek rekabet açısından avantaj elde etmek, neredeyse bir zorunluluk haline gelmiştir. Teknolojik gelişmelerde elektromekanik bilimin gelişmesine paralel olarak endüstriyel robotların gelişmesi, bilgisayarların günlük yaşama girecek biçimde yaygınlaşması, özellikle otomasyonun ve entegrasyonun gelişmesine, çok çeşitli parçaların küçük ve orta miktarlardaki parti hacimlerinde optimal imalatını sağlamıştır.

Teknolojik gelişmelerin endüstriye uygulanmasıyla, verimliliği arttırmak için robotlar ve transfer hatlarıyla desteklenmiş bilgisayar kontrollü imalat sistemlerinin kullanılması sonucunda "Esnek İmalat Sistemleri" geliştirilmiştir. Bu sistemler, başlangıçta sadece talaş kaldırma işlemleri için planlanmış olmasına karşın, daha sonra az da olsa talaşsız şekillendirme alanında, dericilik ve konfeksiyon sanayiinde, ağaç işleri ve montajda uygulama alanına girmiştir (Gupta et al., 1992).

Pazarda tutunabilme veya yerini koruma çalışmalarında vazgeçilmez olanak olan verimlilik artırma amacıyla daha hızlı, daha hatasız ve herşeyden önemlisi parti hacmi veya dizayn, boyut esnekliği sağlayan yatırımlara yönelinmiştir. Bu durumda son yılların çözümü, esnek imalat sistem yatırımları artmış ve artmaktadır.

Esnek imalat sistem yatırımları sadece üretim birimi yatırımı olarak değil, bu birimleri işleten, programlayan insangücü, yazılım ve programlama gereklilikleri nedeni ile çok pahalı sistemlerdir. Bu nedenlerden ötürü yatırım kararı titizlikle alınmalı ve yatırımdan sonra da sistem en verimli şekilde çalıştırılmalıdır.

### 1.1. Alandaki Son Gelişmeler

Günümüzde firmaların üretimdeki amacı; daha kısa zamanda, daha hızlı ve bir hacimli partiler için bile takım değiştirme duraksamalarına gerek kalmayan proseslere ulaşılmasıdır. Bu amaç için çalışmaların hemen hepsinde geçen iki sözcük; "Çeviklik" ve

"Esneklik" tir. Çeviklik, üretim sisteminin değişen talepler için yeniden konfigürasyonunun hızı olarak tanımlanmaktadır. Esneklik ise, müşteri tercihlerinin karşılanabilme yeteneği olarak açıklanıyor.

Firmalar; öncelik listelerinde, müşteri ihtiyaçları tatmininin yerini yükseltmekte hatta ilk sıraya yerleştirmektedirler. Bunun sonucunda, müşterilere zevklerine uygun renk, boyut, şekil, desen ve benzeri özelliklerde, alakart üretim olanakları sağlanmaktadır (Kaplan 1993).

National Bicycle Industrial Co. adlı bir Japon firmasında, kalifiye bir operatörün yönetiminde, bir esnek üretim sisteminde bilgisayar-kontrollü montaj robotları kullanılarak kişisel bisikletler üretilmektedir. 11.000.000 kadar farklı şekilde üretilen bu bisikletler, sipariş anından en fazla iki hafta sonra teslim edilebilmektedir.

Motorola' nın seslendirme ürünleri bölümünde (Boynton Beach, FL), üretim sisteminin çevrim zamanını arttırmadan, bir parti hacimli montajları gerçekleştirebilmektedirler. Bu noktalara ulaşan sistemler giderek artmaktadır.

Tasarım ve üretim çevrimini kısaltarak üretim esnekliğini geliştiren diğer bir etken "Hızlı prototip" yapılabilmesidir. Bu alanda en çok kullanılan yaklaşımlardan biri olan sterolitografide, tasarlanan ürün şeklindeki kesit alana, lazer kullanılarak sıvı halindeki polimer katmanlar şeklinde dökülür. Bu teknik, elektronik ve kominikasyon ürünlerinin pazara sürüm zamanını son derece kısaltmıştır.

1970' lerde üretim dünyasına giren esnek imalat sistemleri, hızlı protiplemenin alana entegrasyonu ile güçlenmiştir. Parti hacimleri, sadece bir olan üretimler daha olası hale gelmiştir.

Yukarıda değinildiği gibi, esnek sistemlerde konfigürasyon değişiklikleri sebebiyle duraksamalardan kaçınılmaya çalışılması çevik sistemleri getirmiştir. Kısaca çevik sistemler temelde, esnek imalat sistemleridir.

Teknolojik ilerlemelerin ivmesinden, teknolojinin endüstriye ve özellikle üretim sistemlerine uygulamaları da etkilenmiştir. Her geçen gün dünyanın bir yerinde, insan ihtiyaçlarının daha etkin karşılanması için çalışmalar yapılmaktadır. Sonuçlar, üretim sistemlerinde özellikle son yirmi yıldaki gelişmeler olarak gözlenebilir.

## 2. ESNEK İMALAT SİSTEMLERİ

### 2.1. Kavram Olarak Esnek İmalat Sistemleri

Esnek İmalat, üretim sistemlerinin pek çok sorununa çözümler getirebilecek çağdaş bir teknolojidir. Potansiyel yararları arasında kalitede gelişme, envanter hacmi ve maliyetlerde azalma ve ürün dönüşüm hızının artması sayılabilir.

Esnek imalat sistemi, bir otomatik malzeme taşıma ve depolama sistemiyle örülmüş entegre bir bilgisayar sistemiyle kontrol edilen işleme istasyonlarından oluşur (Groover, 1987).

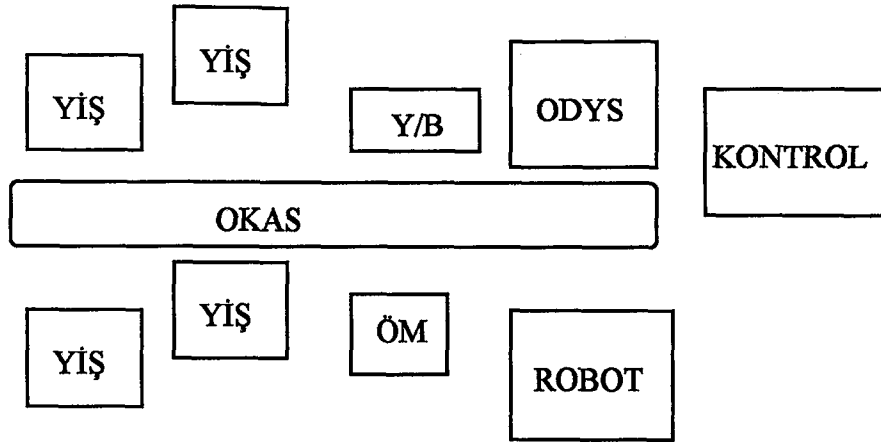
Ayrıca, zeki altsistemlerin işleme, kalite kontrol, montaj, malzeme taşıma ve depolama gibi, dağıtılmış bir yönetim-bilişim sistemiyle bağlanması biçiminde de düşünülebilir (Ranky, 1983).

Stecke (1981) tarafından yapılan diğer bir tanım şöyledir: Esnek imalat, otomatik malzeme taşıma araçları ve orta hacimli, çok farklı parça tiplerini işleyebilen nümerik kontrollü takım tezgahlarından oluşan bilgisayar kontrollü ve entegre bir komplekstir.

Theo Williamson, AR&GE yöneticisi (Molins-Deptford-Londra), esnek işlemeyi ilk düşünmüş kişi olarak kabul edilir. Kurduğu sisteme, günde 24 saat çalıştırmak amacıyla yaklaştığından "Sistem 24" adını vermiştir. Bu, esnek imalat teknolojisinin temel adımı olarak kabul edilir (Lenz, 1989).

Esnek imalat sistemleri, farklı araştırmacılarca farklı şekilde isimlendirilmektedir. Amerika'da, bilgisayar destekli üretim, bilgisayar denetimli parça imalatı gibi.. Diğer ülkelerde, esnek otomasyon, esnek üretim sistemi kompleksi, bilgisayar destekli ve otomatik imalat sistemleri olarak anılmaktadır.

Amerika'daki ilk sistemler 1967'lerde kurulmuştur. Bu sistemler parça ailelerinin nümerik kontrollü tezgahlarda işlenmesini gerçekleştirmişlerdir. 1981'de Amerika'da esnek imalat sistemlerinin sayısı 25, Japonya'da 40 ve Avrupa'da 50' ye ulaşmıştır. 1985 başlarında dünyadaki sistemlerin toplamı 300' ü geçmiştir. Tipik bir EİS konfigürasyonu şekil 2.1' de gösterilmiştir.



YİŞ: Yatay İşleme Merkezi  
 ÖM: Ölçme Merkezi  
 Y/B: Yükleme-Boşaltma

### ***Şekil 2.1. Bir Esnek İmalat Sistemi Yerleşimi***

Esnek imalat sistemlerinin amacı, otomasyon kavramı ve teknolojisi ile, bir imalat sisteminin belirli bir üründen, olabildiğince çabuk bir başka ürüne geçebilme yeteneği olan esneklik kavramı ve teknolojisini tek bir imalat sisteminde birleştirmektir. Buna göre EİS, esnek otomasyonu mümkün kılan imalat sistemi olarak tanımlanabilir.

İmalat sanayiinin günümüzde ulaştığı son nokta olan EİS, en kısa zamanda, en ekonomik biçimde ve çok hassas toleranslarla imalat yapabilen, gelişen teknolojiye paralel hareket edebilen prodüktif ve esnek sistemlerdir.

Esnek imalat sistemlerinde küçük ve orta büyüklükteki çeşitli parçalar:

- Nümerik kontrollü tezgah veya nümerik kontrollü tezgah hücrelerinde işlenir,
- İş parçası transferi otomatik olarak, transfer araçları, robotlar veya insansız taşıyıcı arabalarla yapılır,
- Sonuçta, tüm sistemler bağlı bulundukları merkezi bir bilgisayarın kontrolünde idare edilmekte ve yönlendirilmektedir.

Esnek imalat sistemleri genellikle orta çeşitlilikteki, orta-hacimli sistemler için kullanılır. Bu tip üretim toplam hacmin % 50-75'ini oluşturmaktadır. Bu da EİS' nin geniş bir alanın sorunlarına cevap olarak kullanılabileceğini göstermektedir (Groover, 1987). Tipik bir EİS, parça sayısı 4 den 100' e kadar değişebilen bir çok parça ailesinin imalatı için kullanılabilir. Her bir parça tipi için üretim oranları yılda 40-200 arasında olabilir (Charasmi, 1989). Genel olarak EİS, verimliliği yüksek fakat esnek olmayan transfer

hatları ile pek verimli olmayan ancak imalat esnekliği yüksek atölye tipi üretimin yararlarını birleştirmektedir.

EİS kullanılmasının amaçları şöyle sıralanabilir:

1. Orta hacimli üretim için nümerik kontrol teknolojisinin kullanılması,
2. Belirli parça ailelerini üretebilen ve tekrar programlanarak başka parça ailelerine geçilebilen sistemler sağlaması,
3. Otomatik çizelgeleme ve otomatik kalite kontrol gibi kolaylıkların imalat sisteminin bünyesine eklenmesi.

Bazı EİS' ler bünyelerinde işleyebildikleri, farklı parça ailelerine ait parçaları partiler halinde alabildikleri halde, bazıları farklı ailelerden gelen parçaları rassal olarak kabul ederler. Parçaların benzer üretim proseslerine göre sınıflandırılmasında Grup Teknolojisi (GT)'nden yararlanılabilir. Tam Zamanında Üretim uygulamasında işleme öncelikleri, montaj sıralamasına göre yapıldığından, her iki yaklaşımın da uygulandığı sistemlerde karışıklıkların olduğu düşünülebilir. Fakat bu, bir parçadan diğerine geçişteki hazırlık maliyetleri önemli ise bir sorun oluşturur.

EİS uygulamalarının yararlarına ek olarak direkt ve indirekt işçilik maliyetlerindeki azalma, envanter hacminde azalma, teslim süreleri ve ıskarta miktarlarındaki azalma, tezgah kullanımındaki artış, ürün kalitesi ve iş ortamındaki gelişmeler olarak sayılabilir. (Groover 1987.)

Esnek imalat sistemi, genellikle Malzeme İhtiyaç Planlama Sistemiyle birlikte kullanılmalıdır. Bunun amacı, çizelgelenen üretim için gerekli malzemenin gerekli zaman ve uygun yerde bulunabilmesidir. Ayrıca, Bilgisayar Destekli Tasarım kullanılması, tasarım verileri ve tolerans spesifikasyonlarının NC tezgahlara ve otomatik kalite kontrol makinalarına ulaşması için gerekli bilgi akışını kolayca sağlar.

## 2.2. Esnek İmalat Sistemlerinin Bileşenleri

### • İşleme İstasyonları:

Nümerik kontrollü takım tezgahları, kalite kontrol istasyonları, montaj istasyonları, levha metal presleri işleme istasyonlarına örnek teşkil ederler.

### • Malzeme taşıma ve depolama sistemi:

Otomatik malzeme taşıma sistemi iki amaca hizmet etmek için tasarlanır:

1. Bir sonraki işleme aşamaları için iş istasyonları arasında yarımamülün taşınması,
2. Parçaların işlenmek için tezgahlara yakın olarak yerleştirilmesi.

Sistem, parçaları takım tezgahlarına iletmelidir. EİS' deki gelişmeler parçaların taşınma işleminin bir kısmının robotlarca yapılmasını sağlamıştır. Robotların, farklı hacimlerdeki, farklı parça tiplerini rassal olarak taşımaları yapabilmeleri esnek imalat sisteminin esnekliğini arttırmaktadır.

#### • *Bilgisayar Kontrol Sistemi:*

Hazırlanan sistem aşağıda verilen sistem bileşenlerini kontrol etmek üzere tasarlanmalıdır:

1. Tezgah kontrolü,
2. Üretim kontrolü,
3. Trafik kontrolü (Taşıyıcı trafiğinin kontrolü),
4. İş taşıma sisteminin izlenmesi,
5. Sistem performansının izlenmesi ve rapor edilmesi.

#### • *İnsangücü.*

1. İşlenecek parçaların yüklenmesi,
2. İşlenmiş parçaların sistemden alınması,
3. Takımların düzenlenmesi,
4. Ekipmanların tamir ve bakımı,
5. Nümerik kontrollü takım tezgahları için programlama,
6. Bilgisayar sisteminin kontrolü ve işletilmesi.

### 2.2.1. Esnek İmalat Sistemlerinde Malzeme Taşıma

Esnek imalat sistemlerinin kurulmasının birincil sebeplerinden biri, ham malzemenin bitmiş mamule çabuk, verimli ve kontrollü olarak dönüştürülmesidir. Bu durum, üretim proseslerindeki etkinliğe ve güvenilirliğe bağlıdır. Fakat işleme hızlarının önemli oranlarda arttırılamamasından ve toplam zamanın görece olarak küçük bir bileşeninin makina zamanı olduğundan, EİS' nin etkinliğini belirleyen gerçek unsur malzeme taşıma sistemidir (MTS). Maliyetler açısından bakıldığında da, malzeme taşıma faaliyetlerinin maliyeti ürünün toplam maliyetinin yaklaşık olarak üçte biri olduğundan, malzeme taşımanın önemi belirgin olarak ortaya çıkar.

Bu nedenlerden dolayı, EİS'de üretilecek parçanın seçimi ve geçeceği proseslerin belirlenmesi dışındaki en önemli alan MTS veya sistemleri hakkındaki kararların verilmesidir. Bu seçim yarı mamüllerin, takımların vb., kısımlar veya altsistemler arasında iletimini de kapsamaktadır.

### 2.2.1.1. Malzeme Taşıma Gereksinimleri

Bir EİS'de çok çeşitli malzeme taşıma faaliyetleri gerekli olabilir. Bunlardan bir kısmı, proste kullanılan tezgahlara bağlı olduğundan sabittir. Diğerlerinin seçimi EİS tasarımcısına bağlıdır. Bunlar arasında dört temel malzeme taşıma işi vardır:

1. Farklı sistemler arasında taşıma,
2. Aynı sistemin farklı altsistemleri arasında taşıma,
3. Altsistemleri oluşturan işstasyonları arasında taşıma,
4. İşstasyonlarında taşıma.

Bütün bu kategorilere aynı çözümü uygulamak istenebilir. Ancak taşıma işlemlerinin yapısal farklılıklarından dolayı bu genellikle yapılamaz. Bu nedenle, EİS'de taşıma sistemlerinin optimum karışımı kullanılmaya çalışılır. Bununla ilgili bir örneği, küçük parçaların üretildiği bir EİS'de görebiliriz. Belirli bir altsistemdeki işstasyonları arasında parçaların taşınması bir robotla yapılabilir. Ancak parçaların büyük ve farklı geometrilere olduğu durumlarda, çevrim zamanları da değişken ise ayaklı sistemler kullanılabilir. Her iki durumda da EİS ve otomatik depolama ve yeniden geri alma sistemi veya diğer EİS arasındaki taşıma otomatik kılavuzlu araçlarla yapılabilir (OKA). O halde bir fabrikada çeşitli MTS kullanılabildiği ortaya çıkmaktadır. Bu durumda da uyumlandırmanın getireceği mekanik, elektronik problemler kaçınılmaz olacaktır.

MTS'de parçalar dışında yükler de taşınır. Bunlardan bazıları teslim zamanını etkileyen taşımalar. Bu nedenle tasarım sırasında olası tüm taşımalar hesaba katılmalıdır. Aşağıda hepsi olmasa da, birçok sistemde taşınması gereken yükler sıralanmıştır:

- İşparçaları,
- Takımlar,
- Bağlama tertibatları,
- Soğutucu ve bağlayıcılar,
- Talaş,
- İnsan,
- Bakım araçları.

MTS seçiminde bir sonraki adım, önemli ve optimize edilmesi gereken faktörlerin belirlenmesidir. Bu analiz ciddi bir çalışmayı gerektirir. Bu faktörlerden bazıları şunlardır:

1. Zorunlu taşıma hızı,
2. Transfer frekansı,
3. Yükün hacim ve ağırlık gereksinimleri,
4. Gerekli yerleşim hassaslığı,
5. Yükü oluşturan eleman sayısı,
6. Yükün bağlanma ihtiyacı,
7. Rotalama esnekliği ve genişletilebilirliği,
8. Sistem sürekliliği,
9. Güvenlik, koruma ve bakım gereksinimi.

TABLO 2.1. Malzeme Taşıma Sistemleri

| <i>Tip</i>  | <i>Yükün Yapısı</i> | <i>Yük Kap</i> | <i>Hız</i>   | <i>Rota Esnekliği</i> | <i>Maliyet</i> | <i>Uyarlanıklık</i> |
|-------------|---------------------|----------------|--------------|-----------------------|----------------|---------------------|
| OKA         | Kesikli             | Yüksek         | Orta         | Yüksek                | Çok Yüksek     | Yüksek              |
| RKTS        | Kesikli             | Yüksek         | Yüksek       | Düşük                 | Yüksek         | Düşük               |
| Konveyör    | Sürekli             | Düşük-Orta     | Düşük-Yüksek | Orta                  | Düşük-Yüksek   | Çok Yüksek          |
| Robot       | Kesikli             | Düşük-Orta     | Orta         | Düşük                 | Orta-Yüksek    | Orta                |
| Ayaklı T.   | Kesikli             | Düşük-Orta     | Orta         | Düşük                 | Düşük-Yüksek   | Düşük               |
| Elle Taşıma | Kesikli             | Düşük          | Düşük        | Çok Yüksek            | Düşük          | Çok Yüksek          |
| Forklift    | Kesikli             | Düşük-Orta     | Orta         | Yüksek                | Düşük          | Yüksek              |

EİS'de kullanılan MTS tipleri Tablo 2.1'de gösterilmektedir. Aslında EİS'de kullanılan malzeme taşıma sistemlerini sınıflandırmak zordur. Çünkü kullandıkları sisteme göre önemli uyarlamalar yapılabilmektedir. En fazla uyarlanabilir olanlar konveyörlerdir.

Tabloda sadece başlıca malzeme iletim seçenekleri sunulmuştur. Örneğin ilk akla gelen otomatik malzeme depolama ve yeniden geri alma sistemlerinin çalışma dışı bırakılmasıdır. Bunlar genelde otomatik depolama araçları olarak bilindiği halde çoklu

yükleme-boşaltma noktaları eklendiğinde malzeme iletim araçları olarak da kullanılabilirler. Aslında bu tip sistemlerin verimli olacağı da belirtilmelidir.

Malzeme iletim araçlarının seçimi, hemen hemen tamamen taşınacak yükün gereksinimlerine bağlıdır. Bir sistem seçildikten sonra, diğerlerinin seçiminde sistemlerin uyumlu çalışmaları dikkate alınmalıdır.

### 2.2.1.2. Robotlar

Robotik, robotları kullanan ve hızla gelişen bir teknolojidir. Robot kelimesi Çek dilindeki köle anlamına gelen ROBOTA kelimesinden türetilmiştir. 1920'lerde Çek Oyun Yazarı Karel Capek'in R.U.R. (Rossum'un Eveansel Robotu) adlı oyunu ile popüler olmuştur. Bu oyunda işçiler birer robot olarak tanımlanmıştır.

1920'lerden beri robotun birçok tanımı yapılmıştır. Amerikan Robotik Enstitüsü tarafından yapılan resmi tanım şöyledir:

" Endüstriyel bir robot, çeşitli programlar vasıtasıyla malzemeleri, parçaları, takımları taşıyabilecek ya da özel araçları kullanabilecek şekilde dizayn edilmiş çok fonksiyonlu bir manipülatördür."

"Yeniden programlanabilir", "çok fonksiyonlu", "değişik şekilde programlanmış" kelimeleri, robotları sabit veya özel amaçlı otomasyondan farklılaştıran anahtar kelimelerdir. Endüstriyel bir robot, genel amaçlı bir otomasyon aracıdır. Günümüzde robotlar mekanik bir insandan ziyade, mekanik bir koldur. Bu da bu tip bir aracın yürüyemeyeceğini, makinaları kontrol edemeyeceğini, insanların yapabileceği pek çok görevi yapamayacağını gösterir.

Endüstriyel bir robot manipülatör, güç kaynağı ve kontrol sistemi olarak bilinen üç temel parçadan meydana gelir. Manipülatör pek çok hareket eksenine sahip olan ve robotun uzanma, alma, hareket, yerleştirme ya da parça üzerinde herhangi bir görevi yapma gibi esas işlemlerini yapan kısımdır. Güç kaynağı manipülatörün hareketini sağlayan, gücü veren ve kontrol eden kısımdır. Örneğin hidrolik ve pnömatik silindirler, elektrik ya da hidrolik motorlar güç kaynağı olabilirler. Kontrol sistemi ise robotun beynidir. Bu kısım robotun çeşitli eksenlere olan hareketinin koordinasyonunu ve sıralamaları sağlar. Ayrıca harici araçlar ve makinalarla da kominikasyon ağını oluşturur.

Robotlar, tek başlarına üniteler değildirler. Bunların otomatik ve esnek üretim sistemleri içindeki diğer makina ve araçlarla birleştirilmesi mümkündür. Bu konudaki artan önem dolayısıyla robotların kullanımı daha önce görülmemiş boyutlara

ulaşmaktadır. Ancak robotların kullanımı bazı sosyal problemleri de beraberinde getirmektedir.

Robot kullanımının faydaları aşağıda sıralanmıştır:

- Robotlar günde üç vardiya çalışabilirler, saate bağlı değildirler ve fazla mesai ücreti gerektirmezler.
- Robotlar insanların yapması imkansız ya da tehlikeli olan görevleri yapabilirler.
- Robotlar üretimde devamlılığı sağlayarak kaliteyi artırırlar.
- Robotlar genelde atölyede çalışmak istemeyen mühendislerin yarattığı mühendis açığı problemini elimine ederler.
- Robotlar hastalık, kaza maliyetleri, ücretler ve diğer sosyal yardımlardan tasarruf sağlarlar.
- Robotlar CAD/CAM sisteminin oluşturulmasında otomatik araç sistemlerine rehberlik ederler.

Bütün bunların net faydası ise parti ve toplam verimliliğin geliştirilmesidir. Bu gelişmeler ise ilk yatırım maliyeti, üretim miktarı ve kullanım esnekliği gibi bazı faktörlere bağlıdır.

Tipik bir döküm operasyonunda robotlar, üretimi % 10 kadar arttırmış ve gecikmeleri orijinal değer % 15'ine düşürmüştür. Sadece %2 ıskarta ile de güvenilirliği oldukça yüksek bir işçilik sağlamışlardır.

Robotların Amerika'da kullanımı 1969 yılında General Motors'un gelişmiş bir kaynak hattı kurması ve bir otomobil montaj hattı üzerindeki otomatik operasyonlara cevap vermek amacıyla 28 robot görevlendirmesiyle başlamıştır. Japonlar ilk endüstriyel robotlarını 1967'de ithal etmişlerdir. Kawasaki ağır endüstrisi ise 1968'de teknoloji lisansını almış ve ilk robot üretimini 1969'da gerçekleştirmiştir. Günümüzde ise dünyanın en büyük robot üreticisi ve kullanıcısıdır.

Robotların endüstriyel kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır. Ancak bunlara her geçen gün yenileri eklenmektedir.

1. Nokta kaynağı,
2. Sprey boyama,
3. Ark kaynağı,
4. Bileme,
5. Malzeme taşıma,
6. Makina yükleme-boşaltma,
7. Montaj,
8. Kontrol,

9. İstifleme,
10. Döküm,
11. Doldurma, paketlenme, damgalama, yapıştırma, sıkıştırma,
12. Pasta yapımı ve süsleme,
13. Nükleer reaktör operatörlüğü,
14. Kesme,
15. Cilalama-yüzey hazırlama.

Robotların imalat sisteminde kullanılabilmesi için, sistemdeki işlerin çok tekrarlı, monoton ve işletme maliyetlerinin yüksek olması gerekmektedir.

Robot esnekliğini iki faktör belirler:

- Robot kolunun manevra esnekliği
- Kontrol sisteminin esnekliği.

Pek çok robot uygulamaları 6 eksenli hareket kabiliyetine sahiptir. Robotun verilen bir noktadaki pozisyonu referans alınarak hareketlerine yön verilir.

### 2.2.1.3. Konveyörler

Herkes konveyörlerin bir ya da bir kaç tipini tanır. Genelde hemen hemen her yerde fabrikalarda, havaalanlarında, alışveriş merkezlerinde sıkça rastlanmaktadır. Fakat çok az insan, mevcut konveyör tiplerinin sayısı hakkında düşünmüştür. Konveyörlerin çok çeşitli olmalarının sebebi, alternatiflerine göre ucuz ve güvenilir taşıma araçları olmalarındandır. Karmaşık sistemler, bir bilgisayar veya kısmen tahsis edilmiş bir bilgisayar tarafından kontrol edilebilirken, birçoğu programlanabilir mantıksal kontrolörlerle kumanda edilmektedir. Bunların koordinasyonu için yüksek seviyeli bir bilgisayar gerekmektedir. Genelde düz hatlarda çalışan konveyörlere rastlanmakla beraber konveyörler her yönde çalışabilirler. Bundan dolayı da son derece karmaşık kumanda sistemlerine ihtiyaç olabilir.

OKA sistemlerinde yapay zeka, araca, mikroişlemci kontrolüne veya OKAS kontrol bilgisayarına bırakıldığı halde, durum konveyör sisteminde biraz farklıdır. Benzer işlem konveyör kontrol sistemine bağlı çok sayıdaki sensörle yapılmaktadır. Bunlar sistemin doğru kısmına hareketi sağlamak için örneğin; palet numarasını ya da konumu anlamaya yararlar. Konveyörlerde kullanılan taşıma sistemi karmaşıklaştıkça, kontrol sistemi de karmaşıklaşacak ve muhtemelen maliyetleri de artacaktır.

Konveyörlerin birçok tipi vardır. Bunlardan bazıları: Tekraylı, üstten tekraylı, bantlı, kovalı, sürükleyici, makaralı, zincirli, pnömatik ve yerçekimiyle çalışanlardır. Bütün bu sistemler farklı boyut ve yük kapasiteleri için uyarlanabilirler. Buna rağmen kontrol sistemleri son derece benzerdir.

Konveyör sistemleri, OKA'lar kadar esnek değildir. Ancak taşıma işlerinin sıkça gerektiği sistemlerde problemleri çözmede çekicidirler. Mekanik basitliklerine özenli tasarım eklenirse güvenilir, verimli ve oldukça esnek olarak kullanılabilirler. Tasarım kalitesi ve uygulanabilirliğin yanı sıra, müşterinin deneyimlerinden yararlanılması oldukça başarılı sonuçlar doğuracaktır. Bir konveyör sistemi tasarlanıp inşa edildikten sonra, temel işleme karakteristiğini değiştirmek oldukça zor ve pahalıdır.

Bir çok tipte konveyör olduğundan EİS tasarımcısına anlamlı seçim önerileri sunmak olanaksızdır. Her tipin kendine göre avantajları vardır. Özel bir durum için bunlardan biri baskın olabilir. Bu durumda mümkün olduğunca çok imalatçıyla ilişki kurulup, uzman görüşlerden faydalanmak en iyi yol olacaktır.

#### **2.2.1.4. Ray Kılavuzlu Transfer Mekanizmaları**

Son yıllarda EİS tasarımcıları konveyör sistemiyle OKA' lar arasında bir sistem geliştirdiler. Bu, ray kılavuzlu transfer sistemidir. Dış görünüş olarak OKA' ya benzemekle birlikte gömülü tellerle yönlendirilmek yerine raylar üzerinde hareket etmektedir. Rotalama esnekliğinin biraz sınırlı olmasına rağmen (30-50 m' lik düz hatlar), avantajları çok büyüktür. Öncelikle OKA' lardan daha hızlı hareket edebilirler. İkinci olarak araçtaki kontroller görelî olarak daha az karmaşık olduğundan ve batarya kullanımı gerekmediğinden , konveyörler kadar güvenilirlerdir. EİS bir hat halinde tasarlandığında ray kılavuzlu transfer mekanizmaları oldukça uygun olmaktadır.

Günümüzde EİS' nde OKAS, konveyör, ray kılavuzlu transfer mekanizmaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Sözü edilen sistemlerden herhangi birini kullanmayan sadece birkaç tane EİS vardır. Bunun yanında genellikle altsistemlerdeki taşımalar robotlarla yapılmaktadır (Greenwood).

### 2.2.1.5. Otomatik Kılavuzlu Araçlar

OKA önceden belirlenmiş bir yolu sürücüsüz olarak izleyebilen ve bilgisayarlarla kontrol edilen yüksek teknolojiye malzeme iletim sistemidir. Konvansiyonel malzeme taşıma sistemlerinden farklı olarak varacağı noktaya ulaşmak için yolunu kendi seçebilir. Genelde üç tekerlekli olan sistemler büyüktürler. Normal bir OKA için 50 cm yükseklik, 130 cm uzunluk ve 90 cm genişlik örnek olarak verilebilir.

İlk OKA sistemi 1950'de Barret Elektronik tarafından Amerika'da geliştirilmiştir. Bu sistemler depolama ortamlarında basit malzeme iletimi için kullanılan tel kılavuzlu araçlardı. Kontrol sistemleri vakumlu tüp teknolojisine dayanıyordu. İriydiler ve yeterince esnek değillerdi. Bu dönemde kullanılan sürücüsüz traktöre birkaç treyler bağlanabiliyordu.

Daha sonraki gelişmelerle OKA'lar malzemenin üretim alanına taşınmasında taşıyıcı arabaların yerini aldı.

Malzeme iletiminde kullanılan OKA'lar iki gruba ayrılır: Genel malzeme taşıyıcıları sürücüsüz traktör ve paletli taşıyıcı gibi ve EİS'de sıkça kullanılan birim yük taşıyıcıları olmak üzere. Sürücüsüz traktörler az duraklı uzun mesafelerde ağır malzemenin taşınması gerektiği durumlarda pratiktirler. Paletli taşıyıcılar adı geçen traktörlere benzetmekle birlikte daha duraklı ve hafif malzemelerin iletimi söz konusu olduğunda kullanılır. Birim yük taşıyıcıları, yükü bünyelerinde değişik iş istasyonlarına taşırlar. Esnekliği, uyarlanabilirliği ve manevra kabiliyeti sebebiyle birim yük taşıyıcıları, ileri üretim sistemleri için uygundur.

OKA'lar 40 yıldır mevcut olmalarına rağmen son on yıldır oldukça önemli hale gelmişlerdir. Geçmişte üretim çevreleri konvansiyonel iletim araçlarını tercih etmekteydiler. Otomatik üretim tekniklerine ilişkin işçi ve yöneticilerin görüşlerinin değişmesi ve daha esnek sistemlere ihtiyaç duyulması, günümüzde OKA'ları çekici kılmaktadır.

OKA'ların kullanımındaki avantaj ve dezavantajlar şöyle sıralanabilir:

#### *Avantajlar:*

##### 1. İşgücünde azalma,

- Çok yüksek ve düşük üretim durumlarında dengeli işgücü,
- Taşıyıcı operatörü ve envanter memuru gibi personelde azalma.

##### 2. Gelişmiş verimlilik ve kalite,

- Bir motor montajında tekraylı konveyörün yerine kullanılmasıyla bitmiş ürünlerdeki hatalar % 30'a inmiştir.

- Hat dengelemeyi kolaylaştırır.

3. İş zenginleştirme ve işçi tatmini,

- Batarya ile çalıştığından ortamdaki gürültü seviyesini düşürür, işçi tatmininin artmasına katkıda bulunur.

4. Malzeme iletiminde gerçek zamanlı kontrol,

- Malzeme taşındığı araçla tanımlanabilir. İleri düzeyli malzeme ihtiyaç planlama için veri oluşturur. Bunun bir çok avantajı vardır. Bazıları:

4.1. Üretimdeki envanterin doğru olarak izlenmesi,

4.2. Stok alanı ve teslim süresinde azalma,

4.3. Memur çalışma saatlerinde ve kırtasiye işlerinde azalma,

4.4. Bilgi güncelleştirme zamanında azalma,

4.5. İsraf olan malzemede azalma,

4.6. Envanter maliyetlerinde azalma,

4.7. Üretim ihtiyacına çabuk cevap verebilme kabiliyeti,

5. Alan ihtiyacında azalma,

6. Ürün hasarında azalma,

7. Hareket ve lokasyonda kolaylık,

8. Otomasyona entegrasyon kolaylığı,

9. Mevcut sisteme uyarlabilirlik ve esneklik,

10. Diğerleri:

- En temiz çevre şartlarını oluşturur,

- Esneklikten dolayı ek fırsatlar yaratır,

- Rekabet ortamında üstünlük sağlar,

- Fabrika modernizasyonu için temel elemanlardır.

#### **Dezavantajlar:**

1. Pahalılık,

2. Dışsal kullanım: Soğuk bölgelerde dışarıda kullanım zordur. (Yolu tuz kullanmadan kar ve buzdan arındırmak zor olduğundan).

3. Taban yüzeyi: Sadece çini, asfalt ve bazı durumlarda da tahta bloklu yollarda hareket edebilirler.

4. Yolun kararlılığı: Hava şartlarına bağlı genleşme, büzüşme kullanılan teli tahrip eder. Bakım gerektirir.

5. Metal yüzey: Ancak 40-46 cm'lik metal yüzeyleri geçebilirler. Daha uzun olursa izini kaybederek durur.

6. İşçilerin yaklaşımı: İşçiler önceleri OKA' ları direkt bir tehdit olarak gördüler. Bu nedenle ilk kullanımlar başarısız oldu. Bu problem eğer planlama ve konfigürasyon safhasına işçiler de katılırsa bertaraf edilebilir.

7. Sistemin işleyişinden gelen engeller: Boş konteyner, ara stok vb.' nin OKA yollarına yığılması. Eski alışkanlıklar terkedilmezse tüm sistemin durmasına sebep olabilir.

8. Rampa meyili: %4-6 ve yükün azaltıldığı durumlarda maksimum %10 ile sınırlandırılmıştır. Uzun rampalar motorda ısınma gibi sorunlar yaratmaktadırlar. Rampa duruşlarında yeniden hareket enerjisi sağlanamayabilir.

9. Bakım-onarım: Diğer malzeme iletimi araçlarına göre daha karmaşıktırlar. Hatalara duyarlıdırlar.

10. Diğer düşünceler:

- Çok pahalı olduğundan envanter depolama gibi işlerde kullanılmamalıdır.
- 4536 kg (10000 lb) den fazla yük için gerekli araçlar çok pahalı ve kullanımı zordur.
- Yükün boyutları ve ağırlığı önemli bir sorundur.
- Aynı kılavuz yolda farklı imalatçıların OKA' larını kullanmak genelde mümkün değildir.
- 49 ° C (120 °F) üzerindeki sıcaklıklarda verimli çalışamaz.
- Sistemin karmaşıklığına göre 8-18 aylık teslim zamanı gerektirir.
- Basit bir sistemi karmaşık hale getirmek çok zordur.

#### 2.2.1.5.1. Kılavuzlu Yol ve İzleme Sistemleri

Genelde OKA'lar izleyecekleri bir kılavuzyola ihtiyaç duyarlar. ( Bazıları kısa mesafeler için kılavuz yolu terkedip, geri dönebilirler. Ancak bunlar son derece sınırlıdır.) Kılavuz yolu izleme teknikleri pasif ve aktif olmak üzere ikiye ayrılırlar. Pasif izleme, optik ve metalik tarama prensiplerine dayanır. Aktif izleme indüktif prensipleri içerir.

##### • Pasif İzleme

Optik metodda araca monte edilmiş işiğa duyarlı bir fotoselle yerdeki bandın izlenmesi söz konusudur. Fotoselle algılanan yansıyan ışıktaki değişmelerle aracın kılavulu yoldan çıkmakta olduğu anlaşılır. Bir sinyal aracı tekrar yola döndürmek için kullanılır.

Kılavuz yoldaki farklı boyanmış bant kirlenirse veya aşınırsa ya da ortamdaki ışık durumu algılanan ışığı etkilerse araç yoldan çıkar. Bu tip izleme sistemi olan araçlarda, benzeri durumlarda araç durur.

Optik metodun bir çeşidi Litton patentli optik sistemdir. Bu sistemde kılavuz yola döşenen floresan parçacıklara ultraviyole ışın verilmesiyle ışık oluşturulması söz konusudur. Bu ışık yansıyan ışık olmadığından çevre şartlarından etkilenmeyecektir. Duyarlı kafadaki osilasyon aynası yolu tarar ve oluşan ışığı mikroişlemciye ileten alıcıya yansıtır. Mikroişlemci kimyasal şeridin iki yanını karanlık, ortasını parlak olarak yorumlar. Bu zıt değerler matematikteki çan eğrisine benzer bir şekle yaklaşır. Mikroişlemci okumaların ortalamalarını alarak merkezi çizgiyi belirlerler.

İş istasyonu gibi yerleri belirtmek için Litton yolu , uygun noktalara kısa, dik uyarıcılar koyar. Bu durumda sensör çan eğrisini algılayamaz. Sadece yolun bir tarafını aydınlık olarak algılar. Uyarıcının bulunduğu tarafa bağlı olarak bir ikili veya sıfır görür. İkili verileri kodu okuyarak yorumlar. Böylece düz gideceğini veya döneceğini algılar. Benzer şekilde merkezi çizgiyi bularak yoluna devam eder.

Diğer pasif izleme teknikleri, paslanmaz çelik şeridin izlenebilmesi için metal tarayıcı sensörler gerektirirler. Transcar patentli kılavuz sisteminde OKA' ların her iki ucunda beşer sensörlü iki paket vardır. Üç merkezi sensör, aracın şeridi ortalamasını sağlar. Kalan iki sensör eğrilerin katedilmesinde kullanılır. Kılavuz şerit döşemenin altında kalmak koşuluyla birçok yüzeyde kullanılabilir. Paslanmaz çelik bant çözeltilerden ve korozyondan etkilenmez ve bakım gerektirmez. Bant ağı kolayca modifiye edilebilir. Kısa aralıklar sistemi durdurmaz.

#### • *Aktif İzleme*

Endüstride çoğunlukla kullanılan aktif izlemede kılavuz tele gereksinim vardır. Sistemde yere gömülmüş telden düşük akımlı, düşük voltajlı, düşük frekanslı bir alternatif akım geçirilerek bir elektomanyetik alan oluşturulur. Kılavuz tarayıcılar olarak iki indüktif sensör kullanılır. Sensörlerdeki sinyallerin büyüklükleri sürekli olarak karşılaştırılır. Eşit oldukları sürece araç yolun üzerindedir. Yoldan sapmalar olduğunda sinyaller eşit olmayacaktır. Sinyaller arasındaki büyüklük farkı yolu ortalaması için veri olarak kullanılır (Hammond, 1986).

### 2.2.1.6. Ayaklı Yükleyiciler

Robotlardan ve konveyörlerle kombinasyonlarından oluşan sistemlerin avantajlarından maksimum şekilde yararlanmak için ayaklı yükleyiciler geliştirilmiştir. Ray üzerine monte edilmiş bir robottan yüklenecek ekipman üzerine konumlandırılmış raylı köprüye monte edilmiş bir robot gibi birçok çeşitte olabilir. Bu tip sistemler genelde robottan daha hızlı, fakat daha az esnektirler. Ayaklı yükleyicilerin rotası monte edildiği ray sisteminin düz hatlarıyla sınırlıdır. Bu hatta bir çok durma noktası tanımlanarak, üstelik aynı anda yükleme-boşaltma vb. yapılabilir.

Böylesi sistemler genellikle, programlanabilir mantık kontrolörleriyle kumanda edilirler. Robotlara göre donanımları son derece ucuz olmasına rağmen kenetleme mekanizmalarının tasarım problemi oldukça önemli bir sorundur. Robotlarca sağlanan tüm hareket esnekliği gerekmediğinde son derece verimli olarak kullanılabilir (Blackwell, 1989).

### 2.2.1.7. Otomatik Depolama ve Yeniden Elde Etme Sistemleri

1950'lerde ABD'de bu konu devrimsel bir başlık olarak ortaya kondu. Bu gelişmenin sonucunda envanter yönetim ve kontrolünde köklü değişiklikler olmuştur.

Otomatik depolama ve yeniden elde etme (ODYS) sistemi olarak adlandırılan bu sistemler, envanter tutma sistemleridir. Amacı, malzeme depolamada insangücünden minimum faydalanmaktır.

Çoğunlukla ODYS' ler hammaddeyi karşılayarak içeri alan, parçaları, tezgah aparatlarını tanıyıp depolayan ve bunları gerektiklerinde yeniden elde etmeyi sağlayan atölye içi araçlardır.

ODYS' nin amacı doğru malzemeyi, doğru yere, doğru zamanda sunmayı sağlamaktır. Malzeme elde edilir ve görevini yapacağı noktaya, kullanılacağı mümkün olan en yakın zamanda iletilir.

ODYS' ler standart ölçü paletleri olan ve koridorlarla bölünmüş depo raflarından oluşmuş bir sistemdir. Her koridorda bir robot kolu veya bir vinç bulunur. Buna yükleyici veya istifleyici vinç adı verilir. Bu vinç bir yükü giriş istasyonundan alır, kaldırır ve bilgisayarla yerini atayarak depolar ve daha sonra bunu bir çıkış istasyonuna sunar.

Yükleyici vinçler yatay ve düşey boyutta olur ve hızları cinsinden sınıflandırılır. Eşzamanlı olarak yatay ve düşey hareket yapabilmelidirler. Vincin seçiminde, taşınacak malzemelerin ölçü, ağırlık ve duruş şekli dikkate alınmalıdır.

***ODYS'lerinin yararları:***

- Geliştirilmiş envanter yönetim ve kontrolü,
- Güvenli ve anında malzeme sağlanması,
- Alan etkinliği,
- Basitleştirilmiş ve daha hızlı envanter sorumluluğu,
- Kapatılmış, korunmuş stok alanı ve çalmaları önleme,
- Kayıp ve yanlış yere konmuş parçalarda azalma,
- İşçilik maliyetlerinde azalma,
- Doğru envanter ve yük lokasyonu,
- Bilgi kesinliği sayesinde envanter azalışı,
- Kullanım potansiyelinde yükselme,
- Hurda ve yeniden işlemlerde azalma (Elle verilen hasarlarda azalma).

ODYS' nin başarısı, çoğunlukla hizmet verilen parçaların sayısı ile ölçülür. Bu ise pek çok faktörün bir kombinasyonudur. Şöyle ki:

1. Vinç hızı,
2. Depolama raflarının yüzde kullanım oranı,
3. Giriş ve çıkış anında OKA veya diğer taşıyıcıların hızı ve etkinliği,
4. Depolama safhalarının ayarlanması,
5. Giriş ve çıkış operasyonlarının karmaşıklığı,
6. Bilgisayar kontrollü ODYS'nin hızı
7. Açık giriş-çıkış noktaları.

Sistemde Tam Zamanında Üretim uygulanması planlanıyorsa, ODYS'nin kurulmasında güçlüklerle karşılaşılacaktır. Çünkü, " TZÜS' de stok olmadığına göre envanter depolamak için bu kadar parayı yatırmaya ne gerek var?" gibi sorularla karşılaşılacaktır. Fakat TZÜS' de stoksuz çalışma ortamı deyince mevcut imkanlar ve prosesin elverdiği ölçüde minimum stokla çalışılması akla gelir. ODYS TZÜS felsefesi içinde doğru parçaları, doğru yere, doğru zamanda ve gereken miktarda sağlayabilecek ve kayıtların tutulmasında temel oluşturacaktır.

## 2.3. İnsan Kaynakları

Fabrikalarda otomasyon uygulaması personel seçimi ve organizasyonunda farklı yaklaşımlar gerektirir. Eğitim, yeni iş atamaları, deneyim, iş güvencesi gibi konular esnek imalat sisteminin başarısını doğrudan etkiler.

Bilindiği gibi EİS maliyeti düşürüp verimlilik ve karlılığı arttırarak elde edilen fayda derecesini yükseltmeyi amaçlayan bir sistemdir. Fayda derecesi vardiya sayısının artmasıyla yükselir. Buradaki problem, ikinci ve üçüncü vardiyada çalışacak kalifiye işçilerin bulunmasındaki güçlükten kaynaklanır.

EİS' de kişilerden beklenen özellikler çoğalırken gereksinilen kişi sayısı azalır. Eğitim ve denetlemenin rolü ve insan kaynakları yönetiminin önemi ortaya çıkar.

Başarılı bir insan-otomasyon ilişkisi açık, dürüst ve samimi bir ortamda ekip çalışması, karşılıklı iletişim ve işçinin katılımı ile sağlanabilir.

### 2.3.1. Personelde Dikkate Alınması Gereken Hususlar

EİS kullanılan işletmelerde genellikle personelden çok teknik konulara önem verilir. Oysa ileri üretim teknolojilerini başarıyla uygulayan firmalar, insan kaynakları yönetim ve organizasyonuna önem vermelidir.

Personel organizasyonunun tipi EİS' nin tipine bağlıdır. (EİS, adamlı veya adamsız çalışabilir, EİS kısmi olabilir vb. ) Bir EİS' de personel yerleştirme işlemi, sistemin işlemesi için gerekli fonksiyonların ve bunların gerektirdiği vasıfların anlaşılmasıyla başlar. Bu fonksiyon ve özelliklerin ilk adımda tanımlanması gerekir.

Bir EİS' nin işlemesi için gerekli genel fonksiyonlar ve sistemdeki yerleri şöyledir:

- **EİS sistem yöneticisi:**

Tezgahları ve bunlara bağlı proses işleme ekipmanlarını harekete geçiren ana bilgisayara sistem komutlarını verir, çizelgeleme programını ve iş emirlerini girer. Tüm sistemin işlemesinden sorumludur.

- **EİS sistem operatörü:**

Parça girişinden çıkışına kadar parça kalitesi ve muhasebesinden sorumludur. Yeni ve tamamlanmış parçaları sisteme sokup çıkarır. Bu kişilerin CNC tezgahlarının işleyişi hakkında derin bilgiye sahip olmaları gerekir.

• **Mekanik-elektronik bakım teknisyenleri:**

CNC birimleri, tezgahlar ve diğer ekipmanı muayene ve tamir ederler. Bigisayar ve programlanabilir kontrolörlerle koruyucu bakım uygularlar, fakat tamir etmezler.

Burada sistemin programlama ve tasarım işlerinin önceden yapıldığı varsayılmıştır. Sorular sistemin işleyişinde kullanılan personelin fonksiyon ve vasıflarına yöneliktir.

Her tipten kaç kişinin sistemde yeralacağı sorusunun kesin bir yanıtı yoktur. Vardiya sayısı, sistemin karmaşıklığı, sistem kapasitesi, kişisel yetenekler ve organizasyonun şekli gibi değişkenler EİS'de personel durumunu belirler. Sisteme katılan kişiler esnek ve eğitebilir olmalıdır.

Sistem karmaşık ve bilgisayar bağlantılı olduğu için teknik açıdan yeterli elemanlar gerektirir. Ayrıca işçinin bakış açısı, tek tek tezgahlar, işlemler ve parçalardan çok sistemin işleyişini sağlamak amacıyla genişlemelidir. EİS'yi başarıyla uygulayan işletmeler elemanlarını "Ne olursa olsun iş tamamlanmalıdır" felsefesine sahip olan kişilerden seçmiş ve sistemi verimli ve işler halde tutmak için işbirliği sağlamıştır. " Bu benim işim değil" ziniyeti sisteme zarar verebilir.

Sistemdeki personelin doğru davranması seçim, eğitim ve organizasyonla sağlanır.

• **Seçim:**

Personelin oluşturulmasındaki en önemli aşamadır. Mümkün olduğunca objektif bir seçim yapabilmek için sistemin gereksinimleri ışığında işçiden beklenen vasıflar, yetenek ve deneyimle ilgili kriterler önceden belirlenmelidir. Yeni bir kişi alınmadan önce işletme içinden bu ihtiyacın karşılanıp karşılanamayacağına bakılmalıdır.

• **Eğitim:**

Eğitim hem EİS tedarikçisi hem alıcısı için bir sorumluluktur. Noksan özellikler ve vasıflar farkedilip tanımlanmalı ve tamamlanmalıdır.

• **Organizasyon:**

Organizasyon EİS'nin başarısını ve verimini önemli derecede etkiler. Başarılı EİS'lerin çoğu ekip çalışması felsefesini uygulamaktadır. Her ekip tüm sistemin işleyişinden ve güvenliğinden sorumludur.

EİS personelinin oluşturulmasında yönetim kademelerine kadar ulaşan değişiklikler olabilir. EİS uygulamasıyla olabilecek genel kadro değişiklikleri:

1. Yönetimin üretim sistemiyle alışılmıştan daha yoğun bir ilişki içine girmesi,
2. Yüksek vasıflı, esnek, sorun çözücü ve işbirliği içindeki işgücü,
3. İş aktiviteleri, fonksiyonları, görevler ve işçiler arasında daha fazla ilişki,
4. Bir ekip içinde bir ürün, parça veya procesten sorumlu işçi sayısında azalma,
5. Çalışan başına düşen yatırım ve fayda miktarında azalma,

6. Hata malitinde yükselme ve etki alanının büyümesi,
7. Atölye düzeyinde zihinsel özelliklere duyulan ihtiyacın fiziksel özelliklere nazaran artması,
8. Yönetim kadrosunun teknik açıdan daha ilgili, daha katılımcı, sorumlu ve risk alan kişilerden oluşması,
9. Ekip ve sistem yaklaşımıyla "ben" den "biz" ulaşılması,
10. Öğrenmenin artması ve işte değişiklikler.

### 2.3.2. Ekip Çalışması, İletişim ve Katılım

EİS çapında bir otomasyon projesinde başarılı olmak birçok vasıf, bilgi ve yeteneğin kombinasyonu ile sağlanabilir.

Planlama prosesinin başında atölyeye daha tezgahlar gelmeden ekip çalışması, iletişim ve katılım prosesi başlamalıdır. Yönetim EİS ile doğrudan veya dolaylı ilişkideki tüm çalışanları bir dizi toplantıyla buna yönleltmelidir. Bu toplantılarda öne konuyla ilgili bilgiler sunulmalı, sonra soru ve cevaplara yer verilmelidir. Her oturumda en çok 15-20 kişilik gruplar yer almalıdır.

Yönetimin bu toplantılardaki görevi açık, dostça, dürüst ve güvenli bir şekilde iletişimi sağlamaktır. Çalışanların değişiklik planları ve değişiklikler konusunda bilgi edinmeleri iletişimi kolaylaştırır. Ayrıca çalışanların yeni üretim teknolojisinin bir parçası olma konusunda motive olmalarına yardımcı olur.

Bu toplantılarda bilgi akışı çift yönlü olmalıdır. Yönetim yaratıcı olmalı ve çalışanları olumlu etkileyecek ayrıntılar yaratmalıdır. (Örneğin, EİS tişörtleri dağıtmak veya konuyla ilgili filmleri izletmek gibi) EİS çalışanlara kaliteyi ve verimliliği artırıcı, "işleri kolaylaştırıcı" olarak tanıtılmalıdır.

İletişim planlama, çaba ve çalışmayı gerektiren bir kavramdır. Proje bilgisinin yayılması için harcanması gereken çaba, projenin büyüklüğü ve karmaşıklığı ile orantılıdır. EİS gibi büyük ölçekli otomasyon projelerinde plan ve stratejilerin çalışanlara iletilmesi çok zaman ve çabaya mal olur. Çalışanları dinlemek, tavsiye ve görüşlerini dikkate almak da iletişimin bir parçasıdır.

Çalışanların katılımı iletişimle bağlantılıdır. Katılımcı olanlar bilgiye sahip olanlardır. Çalışanların katılımı grup toplantıları, prezantasyonlar, video gösterileri ve teşvik edici tutumla sağlanır. Gazete, haber panoları veya özel mektuplar EİS'ni başarılı kılmak için gerekli fabrika ortamını yaratmakta yardımcı olurlar.

Yönetim ekiplerden ne istediğini bir model halinde sunar. Kısaca cesaret verici açıklık, rasyonel karar verme ve karar verme sürecinde işçi katılımı gibi. Katılım aynı zamanda insanlara güven duyma, yeteneklerini işlerinde kullanma ve geliştirmelerine izin verme anlamına da gelir. Ekip elemanları, seçim kriterlerinin geliştirilmesi, işe alımlar, çalışma grup prosedürleri gibi konulara da iştirak etmelidir.

Çalışanları paylaşımcı bir tutumla katılıma yöneltmek yeni bir fabrika kurarken çok daha kolay olur. Çünkü bu amaçla yeni işe aldığımız kişilerin yetenek, vasıf ve deneyimlerini çok daha iyi inceleyip yerinde seçimler yapabiliriz. mevcut bir fabrikadaki geleneksel otoriter yönetim tarzı ise şüphecilik ve direnişe sebep olabilir. Ekip çalışması denemeleri başarısızlıkla sonuçlanabilir. Bir fabrikanın kültürü değiştirilebilir. Fakat bunun avantajları yanında dezavantajları da vardır. Kültürel değişikliğin benimsendiği fabrikalar çok vasıflı işçilere sahip, otomasyon yatırımlarına önem veren fabrikalardır. Diğer yandan fabrikanın kültürünü değiştirmek, özellikle yönetim otoriterse, belirlilik ve düzen yerini merak ve belirsizliğe bırakır.

Paylaşımcı yönetim ve çalışanların katılımı programları, geleneksel organizasyonların dünya çapında artan rekabete uyum sağlayamamaları dolayısıyla uluslararası düzeyde kabul görmüştür. EİS ve otomasyon teknik sistem olarak kabul edilirken, paylaşımcı yönetim ve çalışanların katılımı insan sistemi olarak uygulanmaktadır.

İleri üretim sistemlerinde insan kaynağının özü ekip çalışmasıdır. Ekip çalışmasıyla hedefler isimlerden daha fazla önem kazanır. Geleneksel yaklaşımda ise " makina operatörü ", " bakım teknisyeni " gibi etiketler fonksiyonların bütünlüğünü saklamaktadır. Geleneksel yaklaşımda bu görevlilerin verdikleri kararlar birbirlerinden bağımsızdır. Oysa ekip yaklaşımı insanları bilgilerini paylaşmaya ve katılımcı olmaya yöneltir. Organizasyonlar bu tip bir bağımlılığı, statü ve ücretleri eşitleyip, eğitim sınıf ve atölyeleri sunarak kişisel yetenekleri ve problem çözme yeteneklerini geliştirerek sağlayabilirler. Geleneksel organizasyon haritaları yerini kararların tartışılarak verildiğini yansıtan diyagramlara bırakabilir.

EİS ekip sorumluluklarını organize ederken iş alanı farklı şekillerde genişler:

1. Tezgah operasyonu makinalara bağlı hale gelirken, bakım ve kontrol herkesin sorumluluğu haline gelir.
2. Rutin tezgah bakımı da ekibin sorumluluğu olur. Makinaları yağlamak, uygun soğutma koşullarını sürdürmek gibi görevler bu sorumluluğa dahildir.
3. Kalite sorumluluğu artar, proses içi denetim ve istatistiksel proses kontrol ile hata yapmamak grubun hedefidir.

4. Basit NC tezgah programlamayı ekibin her üyesi bilmelidir.

5. Program optimizasyonu veya metod geliştirme gibi konularda tavsiyeler ortaya konmalıdır.

6. Çizelgeler ve tezgah kullanım düzeyleriyle ilgilenme sağlanmalı, karar verme desteklenmelidir. Ekip başarısı girdi, çıktı, kalite ve teslim süresiyle ölçülür.

### 2.3.2.1. Ekip Yaklaşımının Yararları

- ***Çok vasıflılık:***

Ekip üyeleri birbirlerinden öğrenirler ve ekip içinde yeni vasıflar geliştirirler.

- ***Esneklik:***

Kişiler yeni vasıflar edinerek hem kendileri hem de işletme için daha yararlı olurlar.

- ***Dayanıklı organizasyonlar:***

Birden fazla vasıf sayıca az kişide toplandığından yani işgücü esnek olduğundan organizasyon daha dayanıklı olur.

- ***Rotasyon:***

Ekipler halinde organize olmak, ekip elemanları arasında iş rotasyonu sağlar. BU da çalışanların ilgi ve motivasyonlarını canlı tutar. Bunlara ek olarak:

1. Düşük operasyon maliyeti,
2. Performans düzeyinin yükselmesi,
3. Hızlı problem tespiti,
4. İşçi sorumluluğunun artması,
5. Kalitenin artması,
6. Daha bilgili ve kendini yönlendirebilen işgücü,
7. Prosedür bağımlılığının azalması,
8. Ekiplerin kendi kendilerini denetlemesi,
9. Tanımlanan iş sayısının azalması,
10. Güven ve paylaşımın artması,
11. İşletme içi bağımlılığın artması,
12. Çalışanların işten çıkarılmalarının azalması.

Ekip çalışması, iletişim ve katılım uygulaması doğru yapılmazsa negatif etkilere yol açabilir. Bunlara örnekler aşağıda verilmiştir:

1. Sorumlulukların işi vasıfsız, rutin veya bölünmüş kılacak şekilde düzenlenmesi,
2. İş değerlendirme ve ücret ödeme sistemlerinin uygun olmaması,

3. İş basıncının artması,
4. İşçilerden yönetime gereğinden fazla sorumluluk kaydırılması,
5. İstenmeyen veya ulaşılamayan çizelgelemeler ve teslim tarihleri,
6. Çalışanların iletişimi ve sosyal etkinliklerin kısıtlanması, iş alanını insansız hale getirme çabaları,
7. Özel kişisel ilişkilere saldırılması veya zorlaştırılması.

Aktivitelerin giderek daha fazla birbirine yakın olması, bağlı olması ve otomasyon sistemlerinin karmaşıklığı verimi ve ekipman faydasını arttırmak için ekip çalışmasını gerekli kılmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi, insan kaynakları sistemi, üretim sistemine uydurulmak zorundadır. İnsan kaynakları sisteminde dikkat edilmesi gereken faktörler şöyledir:

- İş iyi tanımlayarak ilgili görevleri bir çerçeveye oturtmak,
- İş planları ve koşulları hakkında çalışanlarla iletişime girmek,
- İş atamalarında esneklik göstermek,
- Düşük organizasyon seviyelerindekilere daha fazla, karar yetkisi vermek,
- Çalışanları işbirliğine yöneltecek aktiviteler düzenlemek.

### 2.3.3. Denetleyicinin Rolü

Otomasyonun fazlalaşmasıyla denetçi, daha çok ekip ile destek personel arasında iletişim rolü oynar. Otomasyonun denetçinin görevinde meydana getirdiği en büyük değişiklik ise, emir vermekten çok planlama, eğitim ve yardıma zaman ayırmasıdır. Bu yeni rol, ekip çalışması yaklaşımı sonucu ortaya çıkmıştır. Operatörler ve yardımcı personel ekip yaklaşımıyla kendi kendilerini yönettiklerinde; denetleyiciye, onlara üretim ve kalite hedeflerine ulaşmakta yardımcı olmak düşer. Hatta bazı fabrikalarda denetçi, ekipler tarafından elenmiştir.

EİS gibi ileri üretim tekniklerinin gelişile denetçi daha çok pahalı ekipman, yatırım ve proseslerden sorumlu tutulur. Bu artan sorumluluk denetçiden eğitim, vasıf ve yeteneklerde artan beklentiler doğurur.

İyi bir teknik bilginin yanısıra, üretim ve envanter kontrolünün teknik, insan ve iş açısından zihinsel ve pratik olarak kavrayabilecek yetenekte olmalıdır. Ayrıca organizasyonda çeşitli değişiklikleri öngörebilecek ve yerine getirebilecek kapasitede olmalıdır. Beklenen bu yüksek vasıflar, denetçi seçim prosesine önem verilmesine neden olur. Fabrikanın otomasyon amaçlarına uygun yönetici ve denetçilerin seçiminde çok büyük dikkat ve objektiflik gerekir.

### 2.3.4. Personel Seçimi

İnsan kaynaklarının otomasyon projesinin başarısında rol oynayan en önemli faktörü isabetli insan seçimidir. Tabii ki, yalnız vasıflı insanlar projenin başarısını garanti etmez. Bunun yanında proje planı kötü, uygulaması hatalı ve iletişim eksik olabilir. Ayrıca , eğer seçilmiş EİS ekibi işi yapmak için hevesli değilse, plan mükemmel, yatırım yerinde ve yardımcı personel çok iyi de olsa durumu kurtaramaz.

EİS ve diğer otomasyon teknikleri geleneksel kıdem yaklaşımının dışında bir seçim prosesi yaklaşımına ihtiyaç duyarlar. Burada tecrübe ve kıdem, öğrenme yeteneğinden az önemlidir.

Seçim prosesine bazı örnekler şöyle verilebilir:

1. İş tanımlanır ve bu tanıma uygun adaylar özelliklerini sunarlar. Proje ekibi görüşmeler yaparak, işe alınacakları daha önce belirlenmiş vesif listesine göre seçerler.

2. İlgilenen adaylar önce yönetim ve proje ekibi üyelerinin kombinasyonlarından oluşan bir grupla ön görüşme yaparlar. Eğer adayın kişisel özellikleri yeterliyse ve ekip çalışmasına uygunsa, teknik özelliklerini değerlendirmek üzere bir dizi görüşmeye tabi tutulur.

3. Adaylar, teknik ve kişisel vasıflarını göstermek için yerel bir okul tarafından yönetilen 8 saatlik bir sınava alınır. Sonra vasıf-düzey değerlendirilmesine girerler.

4. Adaylar benzer vasıf-düzey testlerinden geçirilir ve davranış kontrolü testine alınır. Daha sonra problem çözme yetenekleri tecrübeli kişiler tarafından test edilerek değerlendirilir. Kısaca, anlatılanların birçok kombinasyonları seçim prosesi olarak kullanılabilir.

Seçim prosesinde dikkate alınması gereken faktörler:

- **Enerji:** Kişi enerji dolu veya yüksek aktivite düzeyine ulaşmaya yatkın mı görünüyor? (Dış görünüş)

- **Hüküm verme:** Problemlere alternatif çözümler üretme yeteneği çok önemlidir. Ayrıca hareket yönünü tayin etme ve mantıklı kararlar verme yeteneğine de dikkat edilmelidir.

- **Kararlılık:** Karar vermeye hazır olma, hükümleri yerine getirme ve ilk harekete geçme.

- **Esneklik:** Hedefe ulaşabilmek için davranış ve duyguları değiştirme yeteneği, değişen koşullara uyum sağlayabilme.

- **Aciliyet bilinci:** Belirlenmiş tarih ve anlaşmalara uyma sorumluluğu ve çekimserlik göstermeden problemleri çözme.
- **Planlama ve organizasyon:** Hedeflere ulaşmak için gerekli işleri öncelik sırasına koyabilme yeteneği.
- **Meslek bilgisi:** Meslekle ilgili eğitim ve tecrübeyle edindiği bilgilerin işe ve sorumluluğa oranı.
- **Bağımsız hareket edebilme:** Gerektiğinde kişisel kararlarla hareket edebilme.
- **Sebat:** Bir çizgiyi kararlılıkla takip edebilme.
- **Yeterlilik:** Daha önce verilen görevlerin ne kadar başarıyla yerine getirildiğinin ölçülmesi, mükemmellik, rekabet yeteneği.
- **Dinleme yeteneği:** Sözlü iletişimde ilgili konunun özünü anlama yeteneği.
- **Risk alma:** Bilgi, tecrübe, emniyet ve hüküm verebilme düzeyine göre hesaplanmış risk alabilme yeteneği.
- **Takım oyuncusu:** Problemler belirlediğinde grup katılımı arama ve ortak hedefe katılma yeteneği.
- **Stres toleransı:** Baskı ve muhalefet karşısında performansın değişmemesi.
- **Hassaslık:** Diğerlerinin ihtiyaçlarına karşı hassas davranma özelliği.
- **İnsiyatif:** Kendi kendini yönetebilme ve harekete geçirebilme, ihtiyaç doğrultusunda hareket etme.
- **Yaratıcılık:** Sorunları hayal gücüyle çözümleme.
- **İş standartları:** Kişinin bireysel tatmini için iyi iş yapma isteği.
- **Problem analizi:** Problemleri tanımlama, uygun bilgi toplama ve problem sebeplerini mantıklı şekilde tanımlama yeteneği.
- **Çalışma motivasyonu:** Kişisel rahatlık kazanmak için işin önemini kavrama, sonuç almaya yönelik ve verimli bir şekilde yardımcı olma isteği.

### 2.3.5. İşin Tanımlanması

EİS işletmelere, fabrika, iş dizaynı, klasifikasyonu ve tanımını gözden geçirme ve teknolojiye uyarılama fırsatı verir. 1970' lerin ortalarında işletmeler işleri gözden geçirmeye başladılar. Çünkü geleneksel iş dizaynı, işçiyi en iyisini yapmaya motive etmiyordu. Ekipler ve işçilerin birden çok vasıflandırılması gibi değişiklikler verimi arttırdı.

Otomasyon bazı işçilerin yerini alıp bazı sorumluluklar yüklense de bunların yerini yeni ve daha geniş sorumluluklar almıştır. Genellikle ileri teknoloji, genişleyen

sorumluluklar ve sayıca az insan, daha az iş tanımı demektir. Fabrika bazında, bu sayının 200' den 30' a düştüğü gözlenmektedir. Aynı sınıfa dahil, aynı görevleri yapabilen insanlarla yönetim, iş atamada ihtiyaca göre esnek olabilir. İş sınıflandırma sisteminin basitleşmesi, işçi maaş sistemini de basitleştirir.

İş sınıflarının azalması, işin kapsamının artmasıyla olur. İş kapsamı artınca daha önce bu işi yapan yardımcı personel sayısı azalır ve servislerin bekleme süresi minimize edilir.

İşler hem yönetimin hem de atölyenin memnun olacağı şekilde sınıflandırılabilir. İşçiler vasıflarını geliştirir ve daha anlamlı işler yapar, daha çok kazanırlar. Yönetim işgücü esnekliği sağlar ve insan kaynaklarının faydasını artırır. EİS' de kullanılan genel isimler, sistem yöneticisi, sistem operatörü, EİS mühendisi, sistem teknisyeni, hücre yöneticisi ve hücre operatörüdür.

İş klasifikasyonuna göre, iş alanı şöyle arttırılabilir:

- Bir sistem bakım teknisyeni kadrosu açılır ve elektrik-mekanik teknisyenleri arasındaki fark ortadan kaldırılır. Her zaman mümkün olmasa da, böyle bir birleştirme özel bir problemin daha hızlı teşhis ve çözümünü sağlar.

- Parçaları, ekipmanları yükleyip boşaltan sistem operatörleri eğitilip, ek görevlerle sorumlulukları arttırılabilir. Bu görevler, rutin tezgah bakımı ve servisi, basit sorunları bertaraf etme olabilir. Ayrıca sistem operatörlerine kalite, proses içi denetim, tezgah deformasyonu ve aşınma, istatistiksel proses kontrol ve basit NC programlama gibi ek sorumluluklar verilebilir. Bazı durumlarda iş çizelgeleme ve tezgah kullanım düzeyleri konusunda kısa vadeli karar verme sorumlulukları da eklenebilir. Sistem operatörünün böyle geniş sorumluluğunun olması EİS' de tezgah operatörü, denetçi ve endüstri mühendislerine olan ihtiyacı yok eder.

- Her vardiya sistem yöneticisine tüm sistemin sorumluluğunu vermek. Bu sorumluluk kullanım düzeyleri, parça kalitesi ve çizelgeleme , koruyucu bakım, envanter kontrol, tezgah montajı, teslim zamanı, tüketim ve işgücünü yönetmeyi içerir. Sistem yöneticileri, ana bilgisayar ve EİS yazılımlarını bilmek zorundadır.

Genellikle işçilerin çoğu, geleneksel sistemde kendilerinden beklenenden daha fazlasını EİS' de yapabilmek için gerekli temel vasa sahiptir. Birçok işçi kendilerine verilen ek sorumluluğu sevinerek kabul eder ve daha fazlası için eğitilebilir. Bunun yanında kendini geliştirmek ve ekstra çabalar sarfetmek istemeyen işçiler de olabilir. Yönetim ek sorumluluk alanlara ödül, ilerleme fırsatları ve yüksek ücret vermelidir.

### 2.3.6. Çalışanların Eğitimi

Geçmiş yıllarda işçinin eğitimi ikinci derecede önem taşıyordu ve genellikle iş başında eğitim yapılabiliyordu. EİS' nin gelişiyile işletmeler eski eğitim yöntemlerinin yeni teknolojiye uyum sağlayamayacağını gördüler.

Yeni teknoloji eğitime ağırlık vermeyi gerektirirken, temel vasıfların yine de bulunması gerekiyor: Okuma-yazma, düşünme ve öğrenme kabiliyeti gibi.

Eğitimde kişi üç açıdan ele alınır:

Zeka; olayları, şekilleri ve ilgili bilgiyi kavrama; fiziksel, örneğin bir NC tezgahının kullanılışını öğrenme ve duygusal, istenen görevlerle uğraşarak pozitif vasıflar geliştirme. Eğitim ne kadar iyi olursa olsun, seçilen kişiler eğitime istekli ve yetenekli olmalıdır. Kısaca eğitimin ilk adımı doğru kişiyi seçmektir.

Genellikle ana eğitim planının hazırlanması EİS tedarikçisinin sorumluluğudur. Bu plan EİS tedarikçisi eğitim koordinatörünün EİS tedarikçi proje yöneticisiyle ve EİS alıcısıyla görüşerek ortaya çıkardığı bir plandır. Plan hazırlandıktan sonra tedarikçi ve müşteri proje yöneticilerine sunulur. Daha sonra ortaya çıkan değişiklikler her iki yöneticiye de bildirilir.

Eğitim planının uygulanabilir ve etkili olması gerekir. Bilinmesi gereken ilk ve en önemli faktör hangi bilgisayar, CNC tezgahları ve yardımcı ekipmanın yerleştirilen EİS' ne ait olduğu ve sistemin personel yerleşiminin nasıl yapılacağı ve sistemin nasıl işletileceğidir. Bunlar ana eğitim planı geliştirme sürecini verimli kılmak için EİS alıcısı tarafından açıklanmalıdır.

Planın başarılı bir şekilde geliştirilmesi için alıcı ve satıcı eğitim uzmanları arasında bir dizi görüşme yapılır. Plan geliştirme sırasında dikkat edilmesi gereken ana noktalar şöyle belirtilebilir:

**1. Teknik eğitim:** Tam olarak hangi eğitim sınıfları EİS kullanımını başarılı kılar? EİS ekipmanının personel ihtiyacı gözönüne alınır.

**2. Eğitim yeri:** Bazı eğitimlerin tedarikçinin fabrikasında olması faydalı olurken, bazılarının EİS sistemi çalışırken yapılması gerekebilir.

**3. Süre:** Her sınıf çalışması, her seminer ne kadar sürmeli? Her birinin maksimum ve minimum süresi nedir?

**4. Çizelgeleme:** Eğitim planının uygulanması ve zamanlama, ekipman teslimi ve yerleştirilmesiyle nasıl ayarlanacak?

**5. Öncelikli gereksinimler:** Bazı kişiler önceden, evde veya yerel okullarda eğitilebilirler.

**6. Yapı:** Kurs ve ders planları herbir sınıfa ve aktiviteye uygun mu? Bunlar elde edilebilir amaçlar mı taşıyor?

**7. Kim neyi üstleniyor?:** EİS' de çalışan her elemanın, herşeyi bilmesi gerekemeyebilir. EİS alıcısı sistemin işletilme ve organizasyon şeklini bilmek zorundadır.

**8. Ne kadar?:** Dersler, seminerler ve eğitim kişilerin dikkatini uyanık tutmak için mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır.

Unutulmaması gereken EİS' yi yerleştirmeden önce, yerleştirme sırasında ve daha sonra eğitim uygulanması gerektiğidir. Ancak böylece eğitim etkili olur. Eğitimin ana noktası doğru kişilerin seçimi ve onların doğru bilgi ve vasıfları kazanmalarını sağlamaktır.

En başarılı sistemler satıcı ile alıcının işbirliği, güven ve anlayış ile çalıştıkları sistemlerdir.

## 2.4 Esnek İmalat Sistemlerinin Yararları

Esnek imalat sistemlerinin sanayileşmiş ülkelerde yaygın olarak uygulanmasının esas nedenlerini aşağıdaki faktörler oluşturmaktadır. Şu anda sanayi alanında kullanılan imalat sistemleri bir patlama içindedir. EİS başarılı bir şekilde planlanır ve uygulanırsa şu sonuçlar elde edilir:

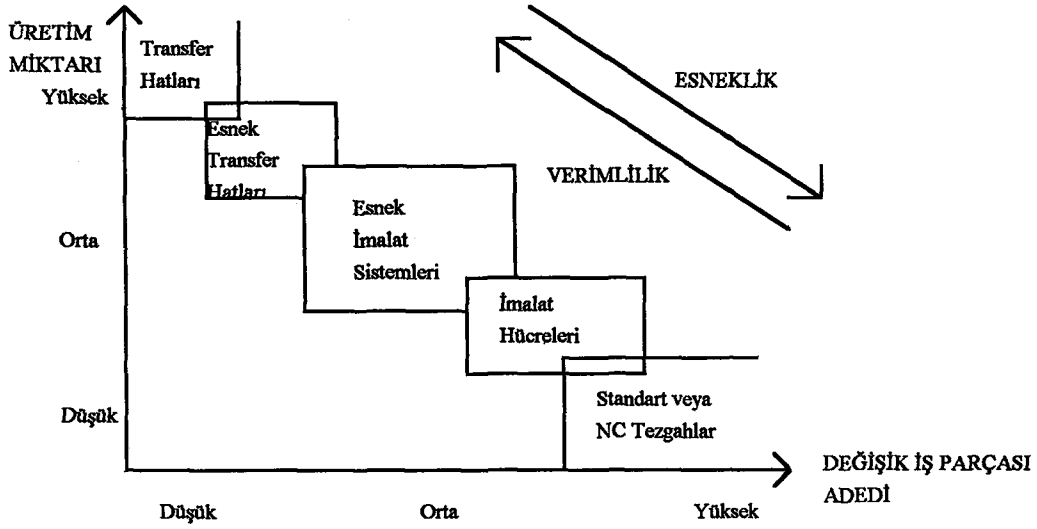
- İşlemlerin tamamen otomatik ve kendi kendine kontrollü olmasından dolayı daha fazla verim, daha fazla ürün ve daha az birim maliyet sağlanır. Ayrıca bu sistemler sayesinde, %45-85 arasında yer kullanımından tasarruf elde edilir.
- İmal edilen parça daha sıkı bir kontrolden geçtiği için kalite artar.
- İş parçası iletim sistemleri, işleme için gerekli takımlar ve diğer tüm sistemler bilgisayarlarla kontrol edilir. Kendi kendini kontrol edebilen sistemler ve geri bildirim sayesinde üretimin güvenilirliği artırılır.
- Nümerik kontrollü takım tezgahlarına sahip konvansiyonel bir sistemle karşılaştırıldığında, %45-85 daha işleme tesisi gerektiğinden ana kapital %5-10 düşer.
- Parçaların tek tek gruplar halinde ya da daha yüksek sayılarda üretiminin mümkün olması, teslim süresini %50-75 azaltır ve bu da büyük bir rekabet avantajı sağlar.
- Yüksek otomasyondan dolayı direkt işçilik maliyeti azalır. İndirekt işçilik maliyeti donanımların karmaşıklık seviyesi arttığından yükselebilir.

- Makina ve tezgahların kullanımları % 80-90' lara çıkabilir.
- Konvasiyonel sistemlere göre işleme prosesi kısa sürdüğünden, proses içi envanter miktarı azalır.
- Sistemde işlenek her yeni ürün için gerekli makina ve ekipman ihtiyacı minimize edilmiştir.

Ancak çoğu imalatçılar fabrikalarını otomasyona geçirirken prodüktivite ölçüleri mantığa aykırı sonuçlar ortaya çıkardığı için şaşırılmaktadır. Aynı zamanda fabrika otomasyonuna yatırılan milyarlarca doların ya yanlış harcandığına şahit olmakta veya tamamiyle gereksiz olduğunu görerek hayal kırıklığına uğramaktadırlar. Böyle bir sisteme yapılacak yatırıma ait karar verme işlemi sistemlerin yeniliği de gözönünde bulundurulursa çok güç bir eylem olarak nitelendirilebilir. Kurulacak sistemin esnekliğinden elde edilecek faydaların basit bir ekonomik inceleme ile kolayca anlaşılabilmesi imkansızdır. Bu yatırımlar son derece pahalı yatırımlardır. İleri imalat sistemlerinin kullanılması ile elde edilecek faydaların riski de söz konusudur. Bu risk sadece finansal değil, işletmenin tüm altyapısında değişiklikler gerektirmesi sebebiyle aynı zamanda da organizasyonel bir risktir. O halde böylesine pahalı ve riskli bir yatırıma girmeden önce detaylı inceleme ve analizler yapılmalı, yatırımdan elde edilecek faydalar ve yatırım maliyetleri dikkatli bir şekilde karşılaştırılmalı ve iyice düşünüldükten sonra, EİS yatırımına girişilmelidir.

Fakat, hemen hemen tüm sanayileşmiş ülkelerde metal işleme sanayiinde toplam üretim hacminin %75'nin kütleli olmayan imalat olduğu ve bunun en az yarısının parça sayısı 50' den az parti üretimler olduğu düşünülürse, esnek imalat sisteminin imalatla ne kadar büyük bir alana cevap verme potansiyeli olduğunu görmek mümkündür.

Bir çok araştırmacı tarafından EİS' lerinin, parti veya orta hacimli üretim için en azından kısmi çözümler ürettiği kabul edilmektedir. ( Şekil 2.2. ) Bir kaynaktan, yılda 1000 ile 100,000 birim arasındaki üretim hacmi için EİS kullanılabilir. Diğer bir kaynağa göre ise, toplam üretim 15,000 - 35,000 arasında olmalıdır. Her parça tipi için üretim miktarı ise yıllık 100 ile 8000 adet arasında olabilir. Üretim esnekliğinin verimli kapasiteye göre değişimini gösteren grafik şekil 2.2.' de verilmektedir.



Şekil 2.2. Üretim esnekliği ve prodüktivite

## 2.5. Esnek İmalat Sistemlerinin Klasik İmalat Sistemleriyle Karşılaştırılması

Tipik bir akış hatlı imalat sistemi işlenecek parçanın teknolojik operasyon sırasına göre sıralanmış farklı veya benzer iş istasyonları arasında, tek yönlü doğrultuda transfer edilen parçalarla karakterize edilebilir. Bu sistemlerdeki malzeme iletimi, kesikli ve insangücü kullanılarak yapılır.

Eğer akış hattı, iş istasyonları arasında otomatik bir malzeme taşıma kullanırsa, yani parçanın getirilmesi, tezgahtan tezgaha taşınması, tezgaha bağlanması ve çözülmesi, ana kontrolü, son kontrolü ve sistemden uzaklaştırılması otomatik olarak gerçekleştirilirse, transfer sistemi olarak adlandırılır. Parçalar böyle sistemlerde genellikle büyük partiler halinde işlenir. Böyle sistemlerde, aynı anda işlenebilen parça tipleri çok azdır. Çoğunlukla bir tipte kalır. Bu nedenle bu sistemler prodüktivitesi yüksek fakat esnekliği düşük olan sistemlerdir.

Transfer hatlarının tersine atölye tipi imalatla ise, tezgahlar fonksiyonel olarak sıralanırlar ve bunların arasındaki malzeme akımı yine kesikli ve insangücü kullanılarak yapılır. Atölye tipi imalatla çok çeşitli parçalar üretilir, dolayısıyla da esneklik yüksektir, ancak sistem çıktısı miktar olarak azdır yani prodüktivite düşüktür.

## 2.6. Esneklik Kavramı ve Önemi

İmalat esnekliği karışık, çok boyutlu ve sentezi zor bir kavramdır. Esneklik, bir imalat sisteminin çalışma koşullarında ortaya çıkan değişimlerin veya çevreden kaynaklanan belirsizliklerin üstesinden gelme yeteneği olarak tanımlanmaktadır.

Esneklik herhangi bir imalat sisteminin ana amaçlarından biri olmalıdır. Çünkü bu kavram, toplam imalat performansı için önemli bir ölçü teşkil etmektedir. Ayrıca hem proses sırasında elde bulunan envanter seviyelerini azaltarak ve kullanılan her türlü kaynağın kullanımını geliştirerek, imalat prosesinin mali açıdan verimli olmasını sağlamakta, hem de ısmarlanan mamüllerin teslim sürelerini kısaltıp müşteri isteklerini zamanında karşılayabilme durumunu mümkün kılarak rekabet açısından üstünlük kazanma avantajını vermektedir.

İmalat esnekliği hem iç hem de dış organizasyonel çevrelerdeki karışıklıkları çözümleme imkanı sağlar. İç çevrelerdeki karışıklıklar donanım bozuklukları, değişen işlem zamanları, kuyrukta beklemeler, ıskartalar ve işlem tekrarları şeklinde kendilerini belli edebilirler. Dış karışıklıklar ise, talep seviyesinde ve çeşidindeki dalgalanmalar dolayısıyla ortaya çıkan belirsizlik, ürün fiyatları, ürün karışımı ve rekabetçilerin davranışı gibi faktörlerle özetlenebilir.

İmalat esnekliği hem saldırıya hem de savunmaya yönelik stratejik amaçlar için kullanılabilir. Saldırıya yönelik kullanımda firma, esnekliği çevresini sürekli değiştirmek , yönlendirmek için kullandığından etkindir. Oysa savunmaya yönelik bir kullanımda ise kullanıcı çevrenin bu gibi değişikliklerine cevap verme yeteneğinde bulunduğundan pasif kalmamaktadır. Rekabetçi çevresini yönlendirmeye imkan tanıyan esnekliğe sahip bir imalatçı sadece diğerlerine karşı nasıl rekabet etmek istediğine karar vermekle kalmaz, aynı zamanda diğerlerinin nasıl rekabet etmeleri gerektiğini de belirleyebilir. Bu tür esneklikten yoksun olan imalatçılar diğerlerinin kendilerini rekabet konusunda yönlendirmelerine izin verirler. Böylece esneklik, bir firmanın rekabet gücü için temel öneme sahiptir. İmalat esnekliği; fiyat, kalite ve güvenilirlik açısından, iş rekabet stratejisinin boyutlarından biri olmalıdır.

Yapılan araştırmalar, firma yöneticilerinin büyük çoğunluğunun esnekliği rekabet açısından gerekli olan, kritik öneme sahip bir boyut olarak gördüklerini ortaya koymuştur. Buna göre imalat esnekliğini geliştirmede EİS ve Bilgisayar Destekli İmalat gibi ileri imalat teknolojilerinde yoğun yatırımlar yapılıyor olması şaşırtıcı değildir. Fakat işletmeler imalat esnekliğinin öneminin bilincinde olmalarına rağmen, gerekli sistemi

kurmada yatırım yaparken ve kurulu sistemi işletirken gerekli özeni göstermemekte ve sonuçta da kurdukları sistemden istenilen sonucu elde edememektedirler. Öte yandan yöneticiler imalat esnekliğini kısmi bir kavram olarak görmektedirler. Bu nedenle, sistem esnekliğinden çok tegah esnekliği üzerinde durmaktadırlar. Tezgah esnekliği ise, rekabet üstünlüğü sağlamak açısından tek başına yeterli değildir. Bu durumda çeşitli esneklik terimleri arasındaki ilişkileri anlamak ve bunların imalat performansına etkilerini belirlemek zorunludur.

Literatürde bu konu hakkında hala kavram karmaşaları mevcuttur. Esneklik ve imalat esnekliği iyice ayırdedilememiştir. Araştırıldığında esneklik ile ilgili yaklaşık 50 farklı tanım olduğu ortaya çıkacaktır. Bu durum üç nedene bağlanabilir: İlki, ilgili terimlerin kapsadığı esneklik alanları oldukça benzerdir; ikincisi, bazı terimler diğerlerinin toplanmış halidir ve üçüncüsü, çeşitli yazarlarca kullanılan tanımsal terimler çoğunlukla aynı şeyi ifade etmez. Ayrıca imalat esnekliğinin somut olmayan doğası da durumu daha karmaşık bir hale sokmaktadır (Gupta et al., 1992).

### 2.6.1. İmalat Esnekliğinin Türleri

İmalat esnekliğinin bir çok araştırmacı tarafından çeşitli sınıflandırmaları yapılmış ve bu sınıflandırmalarda çeşitli esneklik türleri tanıtılmıştır. Bu çalışmada imalat esnekliğinin en yaygın sınıflandırma sistemlerinden biri olan ve iki farklı esneklik türü tanımlayan Sethi & Sethi tarafından önerilmiş sistem üzerinde durulmuştur. Tablo 2.2 de bu esneklikleri ölçen faktörler sıralanmıştır.

#### *Tezgah Esnekliği:*

Tezgahın bir operasyondan diğerine geçişte yüksek maliyetler veya çok fazla zaman gerektirmeksizin gerçekleştirebildiği operasyonların çeşitliliği ile ilgilenir. Uzun bir hazırlığa ihtiyaç olmadan aşınan ya da kırılan takımları yerine koyma, takımları magazin içinde değiştirme ve gerekli ekipmanları monte etme yeteneğidir. Bu, sistemin verilen bir parça setini üretmek için gerekli olan değişiklikleri gerçekleştirme kolaylığı olarak özetlenebilir.

#### *Malzeme Taşıma Esnekliği:*

MTS' nin parçaların yüklenmesi-boşaltılması, tezgahlar arasında taşınması ve imalat tesisinin çeşitli şartları altında depolanmasını da içererek, farklı parça türlerini tüm imalat

tesisi genelinde verimli bir şekilde hareket ettirme yeteneği olarak tanımlanır. Malzeme taşıma esnekliği tezgahların üretkenliğini arttırabilir ve ürün alma zamanını kısaltabilir.

#### ***Operasyon Esnekliği:***

Bir parçanın farklı yöntemlerle üretilme yeteneğidir. Operasyon esnekliği, uygulamada parça planlama kolaylığını getirir ve özellikle de tezgah güvenilirliklerinin düşük olduğu durumlarda tezgah kullanımını arttırır.

#### ***Proses Esnekliği:***

Bir işi bitirmek için gerekli adımları değiştirme yeteneğidir. Bu tezgah kombinasyonlarını kullanarak, bir kaç değişik işin sistemde tamamlanabilmesine olanak tanımaktadır. Proses esnekliği, sistemin ekipman ve takım bozulması gibi nedenlerden dolayı parça işlemede oluşabilecek değişimlere adapte olabilmesidir. Bu tip değişimlere sistemin tam olarak cevap vermesi büyük miktarlarda proses içi stok ile sonuçlanır. Proses içi stok, işlenecek parçaların maliyeti ya da bekleme süresi ile orantılıdır. Eğer cevap hızlı ise prosesteki bekleme maliyeti azalır.

#### ***Ürün Esnekliği:***

İmalat sisteminin ürün karışımındaki değişimlere adapte olabilme yeteneğidir. Başka bir deyişle, tanımlanmış bir parça spektrumu içinde yeni bir ürünü ekonomik ve çabuk bir şekilde üretme yeteneğidir. Ürün esnekliği firmanın pazara yeni tasarımılanmış ürünleri çabucak getirmesine imkan tanıyarak, firmanın pazarın ihtiyaçlarına cevap vermesini kolaylaştırır.

#### ***Rotalama Esnekliği:***

Bir imalat sisteminin bir parçayı tüm sistem dahilinde alternatif rotalarla üretme yeteneğini ifade eder. Rotalama esnekliğinin amacı, beklenmedik tezgah arızaları durumunda, nisbeten düşük bir hızla da olsa verilen bir parça türü grubunu üretmeye devam etmektir. Bu kavram tezgah yüklerinin geliştirilmiş dengelenmesi yoluyla parçaların verimli bir şekilde programlanmasına olanak tanır.

#### ***Hacim Esnekliği:***

Bir imalat sisteminin tüm çıktı seviyelerinde karlı bir şekilde çalıştırılma yeteneği olup, fabrikanın üretimini geniş bir aralıkta ayarlamasına imkan sağlar.

### ***Genişleme Esnekliği:***

Bir imalat sisteminin ihtiyaç duyulduğunda kapasitesini arttırmak için gereken tüm gayretlerin derecesidir. Başka bir deyişle, sistemin kapasite artışını ya da ürün alanındaki bir değişimi karşılama yeteneğidir. Genişleme esnekliği işlemlerin süresini kısaltabilir ve yeni ürünler, eklenen kapasite açısından maliyetleri azaltabilir.

### ***Program Esnekliği:***

Yeterince uzun bir süre için sistemin kendi kendine çalışması yeteneğidir. Program esnekliği, tahsis edilen zamanları azaltarak, muayeneleri iyileştirerek ve daha iyi alet ve ekipmanlar sağlayarak tüm zamanlarda azalma sağlar.

### ***Üretim Esnekliği:***

İmalat sisteminin ilave bir sermaye yatırımı gerektirmeksizin yeni ürünler üretme yeteneği olup, kısa bir zaman periyodu içinde ve azaltılmış bir maliyetle yeni ürünlerin sisteme girme stratejisini ifade eder. Bu tür esneklik tezgahların çeşitliliği ve çok yönlülüğü, malzeme taşıma sistemlerinin esnekliği ve fabrika bilgi ve kontrol sistemlerinin esnekliği gibi birkaç faktöre bağlıdır.

### ***Pazar Esnekliği:***

İmalat sisteminin pazar çevresini değiştirmeye adaptasyon kolaylığı olarak tanımlanabilir. Bu, firmanın fazla etkilenmeksizin pazar değişikliklerine cevap vermesini sağlar.

Tablo 2.2. İmalat Esnekliğini Ölçen Faktörler

| <b>KOD</b> | <b>AÇIKLAMA</b>                                                                           |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| A          | Yeni ürünlere geçmek için gerekli zaman                                                   |
| B          | Yeni ürünlere geçmek için gerekli maliyet                                                 |
| C          | Üretim hacmini %20 arttırmak için ya da azaltmak için gerekli zaman                       |
| D          | Bir birimlik üretim kapasitesi eklemek için gerekli zaman                                 |
| E          | Tamamlanan ürünlerin azlığının maliyeti                                                   |
| F          | Müşteri siparişlerini karşılamadaki gecikmelerin maliyeti                                 |
| G          | İmalat sisteminin ek bir sermaye yatırımı gerektirmeksizin üretebildiği parça tipi kümesi |
| H          | İmalat sistemi 2. ve 3. vardiya esnasında kendi kendine çalışabilir                       |

|    |                                                                                                                                                               |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | durumdadır                                                                                                                                                    |
| I  | Sistem çıktısını %100 arttırmanın maliyeti                                                                                                                    |
| J  | Sistem çıktısını %100 arttırmak için gereken zaman                                                                                                            |
| K  | Sistem kapasitesi gerektiğinde kolaylıkla arttırılabilir                                                                                                      |
| L  | Sistemin yeterliliği (Kalite vb.) gerektiğinde kolaylıkla arttırılabilir                                                                                      |
| M  | Toplam üretim hacminin değişen seviyelerinde birim imalat maliyetinin kararlılığı                                                                             |
| N  | Firmanın karlı biçimde çalışabileceği hacimler aralığı                                                                                                        |
| O  | Bir parça türünün sistemde işlenebileceği olası yolların ortalama sayısı                                                                                      |
| P  | İhale harcamasının bir sonucu olarak üretim kaybı maliyeti                                                                                                    |
| Q  | Tezgah arızası dolayısıyla tüm çıktılardaki azalma                                                                                                            |
| R  | Bir parça karışımından diğerine geçiş için gerekli zaman                                                                                                      |
| S  | Yıl başına üretimine başlanan yeni parçaların sayısı                                                                                                          |
| T  | Bir karışımından diğerine geçiş için gerekli maliyet                                                                                                          |
| U  | Yeni ekipman, alet ve proglamada %20' lik bir ek maliyetle, sistem içinde imal edilebilecek yeni ürünlerdeki toplam kıymet artışı                             |
| V  | Sistemin ek bir sermaye yatırımı gerektirmeden üretebileceği parça türleri kümesinin hacmi                                                                    |
| W  | Ürün karışımının verimli bir şekilde üretilmek koşuluyla değiştirilebileceği derece                                                                           |
| X  | Mevcut üretim programı dahilinde bilinen iki üretim görevi arasında geçiş maliyeti                                                                            |
| Y  | Toplam çıktı ile işlenen parçaların bekleme maliyetinin oranı                                                                                                 |
| Z  | Uygun bir şekilde yer değiştirme ve imalat tesisinin her tarafında işleme açısından malzeme taşıma sisteminin farklı parça türlerini hareket ettirme yeteneği |
| AA | Malzeme taşıma sistemlerinin destekleyebildiği yolların toplam yol sayısına oranı                                                                             |
| BB | Malzeme taşıma sistemi her tezgahı diğer bütün tezgahlara bağlayabilir                                                                                        |
| CC | Tipik bir tezgahın bir operasyondan diğerine geçişte çok fazla bir zaman gerektirmeksizin işleyebildiği farklı operasyonların sayısı                          |
| DD | Tipik bir tezgahın fazla bir maliyet gerektirmeksizin işleyebildiği farklı operasyonların sayısı                                                              |
| EE | Toplam çıktı ile tipik bir tezgahın belirli bir periyottaki ideal maliyeti arasındaki oran                                                                    |

|    |                                                                                                      |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FF | Tipik bir tezgahın kullanabileceği aletlerin veya programların sayısı                                |
| GG | Tipik bir tezgahın taşıyabildiği ham girdi stoğunun boyut ve metalik özelliklerinin değişme derecesi |
| HH | Tipik bir tezgahın yeni bir ürüne geçişte kullanım dışı kalma oranı.                                 |

Bu faktörler mevcut sistemlerin esnekliklerini ölçmek ya da tasarım safhasında olan sistemlerin esnekliğini belirlemek açısından temel faktör listesi olarak ele alınabilir. Sistem için gerekli esneklikler dahil edilerek amaçlanan sistem performansına ulaşılmaya çalışılır.



### 3. ESNEK İMALAT SİSTEMLERİNDE ÇİZELGELEME

#### 3.1. Çizelgeleme

Karar verme hiyerarşisinde çizelgeleme kararları, transformasyon sürecinde gerçek çıktı elde edilmeden önceki son adımı oluştururlar. Sistem kapasitesi, ekipman seçimi, operatörlerin seçimi ve eğitimi, ürün ve servislerin dizaynı gibi pek çok kararlar çizelgeleme kararlarından önce verilmiş olmalıdır. Sonuç itibarıyla, çizelgeleme problemleri diğer kararların sonucu olan kısıtlar altında çözülmek zorundadır.

Çizelgeleme, bir organizasyonda ekipman, tezgah gibi yatırım unsurları ve insangücü faaliyetlerinin zamanlamalarının düzenlenmesi olarak tanımlanabilir. Bu tanım, işyüklerinin belirli iş merkezlerine atanmaları ve operasyon sıralarının belirlenmesi olarak genişletilebilir.

Çizelgelemenin temel amacı, çelişen kriterlerin optimizasyonu olarak ele alınabilir. Çelişen başlıca iki amaç şunlardır: İnsangücü, ekipman ve sistem kullanımının maksimize edilmesi ve müşteriye teslim zamanı, envanter miktarı, proses zamanlarının minimize edilmesi. Çizelgeleme problemine sistem çıktısının bir fonksiyonu olarak bakıldığında, hacme göre çizelgeleme yöntemlerinin değiştiği görülür. Örneğin; yüksek hacimli sistemlerin çizelgeleme yöntemleri, atölye tipi üretim için gerekli çizelgelemeden farklılıklar gösterir. Yüksek hacimli sistemlerin çizelgelemesi; orta ve düşük hacimli sistemlere göre daha kolaydır. Genellikle iyi bir hat dengeleme ile çıktı maksimize edilebilmektedir.

Orta hacimli sistemlerde tek tip ürünün sürekli üretilmesi talep hacmi yeterli olmadığı için mümkün değildir. Periyodik olarak bir işten diğerine geçiş söz konusudur. Bu gibi sistemlerde ne zaman, ne miktarda işin hangi sıra ile yapılacağı gibi problemler çözülmelidir.

Üretilen hacimlerin belirlenmesine, envanter teorisindeki ekonomik sipariş miktarı formülasyonu ile yaklaşılabilir. Hazırlık ve envanter maliyetlerinin minimize edilmesi temel amaçtır. Diğer yandan işlerin sıralanmasında eldeki envanter durumunun hesaba katıldığı "Elde Bulunmama Zamanı" kriteri öncelik belirlemede uygulanabilir.

$$EBZ = \frac{\text{Eldeki Envanter}}{\text{Kullanım Hızı}}$$

**ÖRNEK:**

| <i>ÜRÜN</i> | <i>ENVANTER</i> | <i>TALEP(birim/hafta)</i> | <i>ORAN(hafta)</i> |
|-------------|-----------------|---------------------------|--------------------|
| A           | 400             | 100                       | 4.0                |
| B           | 120             | 100                       | 1.2                |
| C           | 60              | 20                        | 2.5                |

B ürününün elde bulunmama zamanı 1.2 hafta olduğu için önce o üretilmelidir. Bu karar kriterine, kar oranları eklenerek modifiye edilebilir.

Düşük hacimli sistemlerin çizelgelenmesi, yüksek ve orta hacimli sistemlerden oldukça farklıdır. Genellikle üretim siparişe yönelik olup, siparişler; proses gereksinimleri, malzeme, işleme zamanı, sıralama ve tezgah hazırlığı olarak çok farklıdır. Bu durum sistemi çizelgeleme açısından çok karmaşık hale getirmektedir.

Atölye tipi çizelgelemede temel iki problem, işyükünün iş merkezleri arasında dağıtımı ve sıralamanın belirlenmesidir. Yükleme probleminin çözümünde yöneticiler genellikle işleme ve hazırlık maliyetlerini minimize etme, iş merkezlerinin boşa kalma zamanlarını azaltma gibi kriterler kullanırlar. Bu amaçla Gannt şemalarından lineer programlamaya kadar birçok yöntem kullanılabilir. N iş N makina bulunduğu durumlarda Macar Algoritması kullanılabilir.

Yükleme ile hangi iş merkezinde hangi işlerin yapılacağı belirlendikten sonra bu işler arasındaki sıralamanın yapılması gerekir. Sıralamada önceliğin belirlenmesinde kullanılabilecek kurallar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. İşler, iş istasyonuna geliş sırasına göre işlenir.(İGİS)
2. En kısa işleme zamanına sahip iş, önce işlenir.(EKİZ)
3. Teslim tarihi en erken olan iş, önce işlenir.(TT)
4. Teslim zamanının işleme zamanına oranı en küçük olan iş, önce işlenir.(KO)
5. Acil veya tercihli işler önce işlenir.(A)

Sıralamanın etkinliği üç değerle verilebilir:

1. Ortalama tamamlanma zamanı,
2. Ortalama gecikme,
3. İş merkezlerinde bekleyen iş sayısı.

İki iş merkezindeki işlerin sıralanması, Johnson kuralına göre yapılır. Bunun dışında son yıllarda sıkça kullanılmakta olan optimize üretim teknolojilerinden de yararlanılabilir. OPT, darboğaz işler üzerinde yoğunlaşarak bunların optimizasyonunu hedef alan bir çizelgeleme yazılım paketidir (Stevenson, 1993).

### 3.2 Esnek İmalat Sistemlerinde Çizelgeleme

Esnek İmalat Sistemleri (EİS), konvansiyonel sistemlerden önemli farklılıklar gösterdiği için yöneylem araştırması ve yönetim alanlarına yeni bir problem kaynağı yaratmışlardır. Bu çalışmanın amacı doğrultusunda önce potansiyel problemler genel olarak sıralanacak, daha sonra çalışmanın yoğunluk noktası planlama ve özellikle çizelgeleme problemleri üzerinde bilgi verilecektir.

Her şeyden önce esnek imalat sisteminin prosese uygunluğu maliyet açısından gözden geçirilmeli, bu pek stratejik kararın alınmasında uzmanlara başvurulmalıdır. Unutulmaması gereken bir nokta herhangi bir görüşü desteklemek için rakamların kolaylıkla uyarlanabileceğidir.

Gerekli ön fizibilite araştırmalarından sonra ortaya çıkabilecek problemler şöyle sıralanabilir:

1. EİS tasarım problemleri,
2. EİS planlama problemleri,
3. EİS çizelgeleme problemleri,
4. EİS kontrol problemleri.

#### 3.2.1. Esnek İmalat Sistemlerinde Planlama Problemleri

Bir imalat sistemindeki üretim yönetimi problemleri ayrı fakat aynı zamanda pek ilişkili iki fonksiyonun bileşimi olarak görülebilir. Örneğin, işleme merkezlerinde gerekli takımlar magazinelere yüklenmeden rotalama yapılamaz. Bu demek ki, üretim başlamadan bazı kararların verilmiş olması gerekir.

Planlama problemlerini, üretim başlamadan önce verilen kararlar olarak tanımlamak mümkündür. EİS hazır olduğunda üretim başlayabilir. EİS çizelgeleme problemleri sistemin çalışması sırasında parçaların sistem içerisindeki akışıyla ilgili problemlerdir.

Planlama safhasında, EİS yatırımı gerçekleştirilmiş ve üretim yapılabilir durumdadır. Sistemde işlenebilir parçaların bir altkümesi iş emirleri halinde diğer bir departman, fabrika siparişini veya tahmini talebi karşılamak üzere sisteme gönderilir. Bu esnada karşılaşılabilecek planlama problemleri şöyle sıralanabilir:

1. Çeşitli hacimler için düzenlenmiş üretim emirlerinden ilk ve eş zamanlı üretim için bir altkümenin seçilmesi,

Parça tipi seçimi birçok şekilde yapılabilir. Teslim zamanı, kriterlerden biri olarak ele alınabilir. Öte yandan toplam verimliliği arttırmak için farklı makinalarda üretilecek parçaların aynı zamanda işlenmesi öngörülebilir.

Parçalar seçildiğinde bazı önemli kararlar kolayca alınabilir: Toplam takım sayısı ve çeşidi, toplam işleme zamanları gibi. Eldeki her makinanın kapasite durumuna göre, takım magazin kapasitesi ve işleme zamanı bir sonraki problemi ortaya çıkarır.

2. Tezgahların gruplara ayrılması,

Belirli bir gruptaki tezgahlara, aynı takımlar yüklendiğinde ve aynı işlemleri yapabildikleri zaman "Havuzlanmış" denir. Tezgahların havuzlanması çoğu zaman sistem performansını geliştirir.

3. Seçilmiş parça seti için üretim oranlarının belirlenmesi,

4. Sınırlı sayıdaki palet ve bağlamaların seçilmiş parça tiplerine atanması,

5. Seçilmiş parça seti için gerekli operasyonların ve kesici takımların tezgah gruplarına atanması.

EİS planlama problemleri çözüldüğünde ve tüm kesici takımlar uygun magazinelere yerleştirildiğinde üretim başlayabilir. EİS planlama problemleri sırsal, iterasyonlar halinde veya çok eşzamanlı olarak çözülebilir. Çözümler birkaçgün veya birkaç haftalık zaman dilimleri için gerçekleştirilebilir. Tezgahlardan biri uzunca bir süre için devre dışı kalacaksa, çözümün yinelenmesi gerekebilir. Çözümün yinelenmesini gerektiren diğer bir durum, kapasite kriterlerinden en az birinin değişmesidir.

### 3.2.2 Esnek İmalat Sistemlerinde Çizelgeleme Problemleri

Planlama problemlerinin çözülmesiyle gerekli yüklemeler yapıldıktan sonra sistemin çalışır durumda olduğu gerçek zaman problemleri, çizelgeleme problemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu gruba giren bazı problemler şöyle sıralanabilir:

- Seçilmiş parça tiplerinin optimal sıralamasının belirlenmesi,

Genellikle, örneğin montaj gereksinimlerinden dolayı parçalar göreceli oranlarda üretilmek zorundadır. Bir takım esnek imalat sistemleri için periyodik girdi sıralaması uygun olabilir. Bazılarında ise, önceden belirlenmiş sabit bir sıralama kullanılmaktadır. Diğer durumlardaysa, esnek gerçek zamanlı kararların uygulanması optimum sonuçlar vermektedir.

- Uygun çizelgeleme metod ve algoritmaları geliştirilmelidir,

Çizelgeleme algoritmaları, basit sevk kurallarından karmaşık algoritmalara veya stratejik karar temelli prosedürlere kadar değişebilir. Genel çizelgeleme literatüründe çoğunlukla çalışan sistem üzerinde yapılmayan, çevrim dışı çizelgelemeler geçerlidir. Çizelgeleme algoritmalarında belirli bir girdi verinin incelemesi yapılır. Sonuç olarak, hangi operasyonların hangi makinalarda ve ne zaman işleneceği belirlenir. Esnek imalat sistemleri için daha uygun olabilecek bir yöntem gerçek zamanlı ve sistemin çalıştığı ortamda yapılan çizelgelemedir. Gerçek zamanlı çizelgelemede sistem elemanlarındaki değişiklikler karar aşamasında hesaba katılır. Planlama problemlerinin en optimum şekilde çözülmesi, gerçek zamanlı çizelgelemeyi kolaylaştırır.

- Aynı tezgahta işlenmek üzere birçok parça beklediği durumlarda önceliklerin belirlenmesi.

Parti hacimleri çok küçüklenebileceğinden (Gerektiği zamanlarda 1 parça) esnek imalat sistemlerinde rassal işleme sırası kabul edilebilir. Fakat parçaların sıralanmasında optimizasyona gidilmesi sistem performansını büyük ölçüde geliştirir. Her işleme merkezi için optimal bir sıralamanın yapılması uygundur. Belirlenen sıralama periyodik olarak yinelenir. Sıralamada basit sevk kurallarından, çok karmaşık adaptif kontrol tabanlı yöntemlere kadar değişik metodlar uygulanabilir (Stecke, 1985).

Yukarıda kısaca belirtilen problemlere ilişkin kararlar ve tipik performans ölçüleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

### **KARARLAR**

1. Gerekli tezgahların sayısı ve tipi,
2. Gerekli yükleme ve boşaltma istasyonlarının sayısı,
3. Sistemde işlenecek parça türleri,
4. Alternatif rotalar,
5. Kesici takımların magazinlere atanması,
6. Gerekli bağlamaların sayısı ve tipi,
7. Palet sayısı,
8. Taşıyıcıların sayısı,

9. Sistem yerleşimi,
10. Depolama alanları,
11. İşletme politikaları.

### ***TİPİK PERFORMANS ÖLÇÜLERİ***

1. Kullanım,
2. Üretim oranları,
3. Sistemde işlenmekte olan parça miktarı,
4. Sistem kaynaklarındaki kuyruklar,
5. Esneklik,
6. Geri ödeme zamanı,
7. Yatırımın geri ödeme oranı,
8. Net şimdiki değer,
9. Parçaların sistemdeki dolaşım zamanı (Akış zamanı) (Suri, 1985).

Esnek imalat sistemi içiçe geçmiş yazılım ve donanım bileşenleri, palet, bağlama ve kesici takımlar gibi sınırlı kaynak durumunda olan bileşenlerin oluşturduğu karmaşık bir sistemdir. Esnek imalat teknolojisi, bir çok kesikli parça imalatçısı tarafından yüksek maliyet ve düşük verimlilik problemlerine çözüm getirmek için kullanılmaktadır. Fakat genelde çok gelişmiş pahalı sistemler olan EİS' nin kullanımı azdır. Bunun sebebi çok tecrübeli üretim sorumluları için bile bu tip sistemlerin verimli çalıştırılmasının pek güç olmasıdır.

### **3.3. Literatür Taraması**

Çizelgeleme sorunu, sistem amaçlarının bir kümesini karşılamak üzere, gelecek bir zaman periyodu için kaynakların en uygun kullanım sırasını bulmak olarak düşünülebilir.

Esnek İmalat Sistemlerinin çizelgelenmesi için farklı yaklaşımlarda bulunulmuştur. Bunlar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Sabuncuoğlu et al., 1992):

- Analitik araçların geliştirilmesi,
- Uzman sistemler (US) ve/veya yapay zeka (YZ) teknikleri kullanarak akıllı çizelgeleme sistemlerinin geliştirilmesi,
- Simülasyon modelleri kullanılarak çizelgeleme kurallarının performanslarının araştırılması ve çevrim içi, işi başlatma algoritmalarının tasarımı.

Analitik yaklaşımlar, EİS' nin çizelgeleme problemini açık bir amaç fonksiyonu ve kısıtlar kümesine sahip olan bir optimizasyon modeli olarak formüle edip, uygun bir çözüm algoritmasıyla çözmektedir. İlk zamanlarda genellikle yöneylem araştırmasında kullanılan optimizasyon metodları bu probleme uygulanmıştır.

Karışık tamsayılı programlama ilk kullanılan yöntemlerdendir. Graves (1981), Afentakis, Gavish ve Karmarkar (1984), Karmarkar ve Schrage (1985) ' nin çalışmalarında bu yöntem kullanılmıştır. Karmaşık tamsayılı programlama yaklaşımıyla sistemler detaylı olarak modellenenmiştir. Ancak modelde bulunan bir çok ikili sistemdeki veya tamsayılı değişkenlerin sayısının fazlalığı, gerekli hesaplamaların çözümünü ve yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Probleme olasılıklı yapının eklenmesi, olayı daha da karmaşık bir hale getirmektedir.

Maxell ve Muckstadt (1985), kaynak kapasiteleriyle ilgili sınırlamaları gözardı ederek, problemi basitleştirmişlerdir. Geliştirdikleri sistemle, yeniden sipariş aralıkları ve sistem hazırlık zamanlarının sıklıklarını hesaplamaya çalışmışlardır. Kusiak, Vanelli ve Kumar (1985) gruplama problemiyle ilgilenmişlerdir.

Kimemia ve Gershwin, (Kimemia 1982), (Gershwin et al. 1983), stokastik bir çizelgeleme algoritması geliştirmişlerdir. Burada amaç, sistemdeki rassal olaylara dayalı sistem performansını koruyan kararlar üretilmesidir. Adı geçen çalışmalarda sistemde malzeme akışının sürekli temsilden mümkün olduğunca fazla bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Sürekli sistem problemi çözüldükten sonra, detaylı kesikli probleme geçilir.

Bu grupta Gershwin (1986)' dan önce sistem hazırlık zamanları modele dahil edilmemiştir. Takımların değiştirilmesi veya belirli bir parça grubuna ait kaynakların değiştirilmesine ilişkin zaman ve maliyetler sıfır kabul edilmiştir. Fakat gerçekte, esnek imalat sistemlerinin de esneklik sınırlamaları vardır. Hazırlık zamanlarının sıfır alınması bir aileye ait parçalar işlenirken sözkonusu olabilir. Başka bir parça ailesi işlenmeye geçildiğinde ise, hazırlık zamanları sıfır olmayacaktır. Çünkü konfigürasyon değişmek durumundadır. Gershwin 1986'da modele sıfır olmayan hazırlık zamanlarını da eklemiştir.

Yukarıda kısaca değinilen çalışmalar Esnek İmalat Sistemlerinin etkin kullanımı için çeşitli algoritmalarla otomatik çizelgeleme, tam ya da yarı otomatik sistem bileşenlerinin otomatik gerçek zamanlı kontrolü üzerine yapılmıştır. Prosedürler tipik olarak belirli bir sistem performans ölçüsünü (Akış zamanı, prosesteki iş miktarı gibi.) optimize etme amacındadır. (Dar-El ve Sarin, 1984; Han ve McGinnes, 1986; Kimemia, et al., 1982)

Algoritmali kontrol sistemlerinde, seçilmiş performans kriterini optimize eden algoritmaya göre parçalar sisteme gönderilir. Algoritmalar yukarıda da değinildiği gibi basit sevk kurallarından (Ammons et al., 1986) daha karmaşık algoritmalara kadar

değişebilir (Ho et al.,1984; Kimemia et al., 1982; Han - McGinnes,1986). Beklenmedik bir durum meydana geldiğinde problemi üretimden sorumlu mühendislerin çözmesi ve aynı zamanda sistem performansını düşürmemeleri beklenir. Ancak, doğaldır ki problemin çözümü sorumlunun deneyimine, bilgisine ve sistemi iyi tanımasına bağlıdır. Beklenen çıktı değerlerinin gerçekleşmesi amaçlanır.

Analitik formülasyonların çoğu sadece parçaların makinalara çizelgelenmesiyle ilgilenmektedir. Bazıları parça transfer sürelerini hesaba katsalar bile, yine de malzeme taşıma araçlarının kesintisiz bir şekilde çalıştıklarını varsaymaktadırlar. Üstelik, her işi başlatma algoritması çok farklı varsayımlar altında ve çok farklı EİS' ler için geliştirilmiştir. Dolayısıyla bunaların karşılaştırılmaları çok güçtür.

Son yıllarda bir çok yayında görüldüğü gibi, ikinci bir yaklaşım da, EİS' nin ve diğer otomatik sistemlerin çizelgeleme problemlerine US ve YZ' nin uygulanmasıdır. Çizelgeleme problemlerine US yaklaşımının ardındaki gerçek şudur: Herbir çizelgeleme problemi imalat sistemine hasır, dolayısıyla bu problemleri çözerken geniş çaplı bilgiye ve uzmanlığa gereksinim vardır. Sauve ve Collinot'un (1987) da belirttiği gibi, optimizasyon tekniklerine dayanan günümüz çizelgeleme sistemleri, uzman bir çizelgeleyicinin rolünü kavrayamamakta ve çizelgeleme problemlerindeki nitel faktörlerin önemini gözardı etmektedir.

Simülasyon modelleri ile problemin deneysel olarak incelenmesi ve işi başlatma algoritmalarının tasarımı yapılır. Bu alandaki araştırmalar iki grupta toplanır:

1. Değişik çizelgeleme kriterleri karşısında, çeşitli makina ve MTS birimlerinin çizelgeleme kurallarının performans testleri,
2. Dinamik işi başlatma algoritmalarının veya diğer çevrim içi çizelgeleme tekniklerinin tasarımı.

Diğer bir grup araştırmacı da bilgi-tabanlı teknikler üzerine yoğunlaşmışlardır. (Fox and Smith,1984; Bourne and Fox, 1984) Bilgi tabanlı çizelgeleme, algoritmalarına göre çevresel faktörlerin sisteme etkilerini daha iyi modelleyen ve kullanıcıyla daha fazla ilişkiye giren yöntemlerdir. Sistem davranışını tahmin etmek ikinci planda kalmıştır. Bu yöntemler, hüristik kurallar kullanarak bir sonraki faaliyeti belirlerler. Sistemde optimizasyondan çok her ihtiyacın karşılanması temel amaçtır.

Otomotik çizelgeleme ve kontrol sistemlerinin kurulma yaklaşımlarına diğer bir örnek bilgi mühendisliğine dayalı hesaplama yöntemlerinin geliştirilmesidir (Ammons et al., 1986).

Yapay zeka yazılımlarının karmaşıklığından dolayı bu alandaki çalışmalar henüz pek sınırlı olmakla birlikte, yazılımların çoğalması ilgiyi arttıracaktır. (KEE, Rule Master, Nexpert vb.)

Bu tip çalışmalarda, deneyimine ve bilgisine güvenilen konu ile yakından ilgili bir grup uzmandan yararlanılır. Bilgi; görüşme, tartışma ve gözlemlerle toplanarak, bir bilgi mühendisi tarafından bir bilgisayar yazılımıyla kurallar zinciri haline dönüştürülür.

Uzman sistemi hazırlayan kişinin konuya uzaklığı oranında bilgiyi topladığı uzmanlara doğru, gerekli soruları sorma ve bunları sisteme katma riski vardır. Sonuç itibarıyla, uzman sistemdeki kuralların doğruluğu veya sistem için en iyi sonuçları ürettiği söylenemez.

Algoritmik ve bilgi-tabanlı çözüm yaklaşımlarının gerçek esnek imalat sistemleri üzerinde uygulanmasında pek çok sınırlamalar vardır. Bu gözönüne alınarak Georgia Institute of Technology' de GT-FMS sistemi üzerinde yapılan çalışmalarda (Mitchell et al., 1984; Mitchell and Govindaraj, 1985; Ammons et al. (1985); Govindaraj et al., 1986a, 1986b.) bilgisayar-tabanlı algoritmaların ve mühendislik bilgisinin geliştirilmesiyle bir kontrol yöntemi geliştirilmiştir.

Diğer yandan, çizelgeleme sorunu hakkında yapılan çalışmaları, öncelik verilen kaynaklar açısından sınıflandırmak mümkündür (Kıran ve Karabatı, 1989):

- Makinaların çizelgelenmesine öncelik verenler.

Burada çizelgeleme sorunu iki kısımda düşünülebilir. İlki sisteme ve/ veya makinalara işlemlerin atanmasını içeren yükleme sorunudur. Diğeri ise, sistem veya makine kuyruğunda bulunan işlerin işlenmek için seçilmesinde işlere öncelik veren işi başlatma kurallarının belirlenmesi sorunudur. İş başlatma kurallarını seçimi üzerine, gerek klasik imalat sistemlerinde, gerekse EİS' lerinde birçok araştırma yapılmıştır. Bunlara örnek olarak sırasıyla Conway (1965 a ve b) ile Montazeri ve Wassenhove (1990) verilebilir. Yükleme ve iş başlatma kurallarının sistem performansına etkilerini beraberce inceleyen çalışmalar da oldukça ilgi çekmektedir (Garetti et al., 1990, Shanker ve Tzen 1985). Bu tip çalışmalarda makinalara yükleme kural veya algoritmalarının önemli oranda sistem performansına olumlu etkileri olduğu belirtilmektedir.

Gerek sözü edilen yayınlar ve gerekse diğer, çizelgeleme sorununu inceleyen yayınlar gözden geçirildiği taktirde, yükleme ve iş başlatma kurallarının performansının, genellikle seçilen ölçüte ve mevcut imalat sistemi konfigürasyonuna bağlı kaldığı görülmektedir. Bu nedenle, çalışmaların çoğu genel sonuçlar vermemekte ve mevcut sisteme özgü benzetim çalışmaları sonucuna dayalı olarak sistemin işletilmesi önerilmektedir.

Montazeri ve Wassenhove (1990) ayrıca esnek imalat sistemlerinin gerek çizelgelenmesi, gerekse tasarım ve işletilmesi çalışmalarına yardımcı olacak bir "EİS Simülatörü" geliştirmişlerdir.

Hutchison (1991), mevcut çizelgeleme yayınları için mükemmel bir sınıflandırma planı geliştirmiştir. Ayrıca gelecek çalışmaların alacağı yön hakkında kestirmelerde bulunmuştur; sistem ve çizelgeleme faktörlerinin çeşitlenerek üst düzeylere çıkacağı sistemlerin çizelgelenmelerinin ön plana çıkacağından söz etmektedir.

- Diğer kaynakların makinalara göre öncelik taşıdığı çalışmalar.

Makinadan sonra, en önemli çizelgelenmesi gereken kaynak malzeme taşıma sistemidir. Bir robot birden fazla (2-5 adet civarı) makinaya hizmet edebilir. Başka bir robot sözkonusu makinalara karışmadığından, robotu çizelgelemek kolaydır. Ancak OKA' larda durum farklıdır. Birden fazla OKA aynı sistemde dolaşabilir. Böyle bir durumda çizelgeleme sorunu önemlidir ve incelenmelidir. Egbelu ve Tanchoco (1984) bir sipariş tipi atölyede OKA' ların çizelgelenmesi için, işi başlatma kurallarının simülasyon ile analizini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca sadece OKA'ların oluşturduğu sistemleri modellemek ve benzetimini yapmak amacıyla AGVSim adı altında bir benzetim programı da geliştirmişlerdir. Burada OKA' ların sadece tek bir yönde akışı söz konusudur. OKA' ların çift yönlü trafik akışlarını da modelleyen AGVSim 2 benzetim programı, Gaskins ve Tanchoco (1989) tarafından geliştirilmiştir.

Buzer ve Srinivasan (1991) ise, tek ve çift yönlü trafik akışı ile bunların çakışmalarından doğan karmaşık çizelgeleme sorununu ortadan kaldırmak ve artan yazılım maliyetlerini düşürmek istemişlerdir. " Sistemi basit tut " temel felsefesine dayalı birbiri ardısıra sıralanmış bir yapı ile ayrı bir döngüde çalıştırılan OKA' lardan oluşan bir sistem önerilmiştir.

Kusiak ve diğerleri (1985), takım-tertibat çizelgeleme sorununa bir yaklaşımda bulunmuşlardır. Bu yaklaşım, takım-tertibatın işlem benzerliğine göre gruplanması ve böylece çizelgeleme yapılırken aynı gruptaki işlemler birbirinden ayrı tutularak en-az takım-tertibatla işlemlerin yapılmasını sağlamaktadır.

- Birden fazla kaynağa önem veren çalışmalar

Raman ve diğerleri (1986) işlemlerin makinalar ve otomatik malzeme taşıma sistemi üzerinde eş zamanlı çizelgelenmesini içeren ve toplam gecikmeyi minimize eden bir model geliştirmişlerdir. Önerdikleri çözüm yöntemi ise, çok kaynaklı proje çizelgelemesinin bir uygulamasıdır. Benzer bir çalışma ise, Ulusoy ve Bilge (1991) tarafından gerçekleştirilmiştir. Eş zamanlı çizelgeleme sorunu, önce bir doğrusal olmayan karışık tam sayı programlama modeli olarak tanımlanmıştır. Ancak modelin boyutlarının

gerçek uygulamalara imkan vermemesi nedeniyle; sorun, makina ve araç çizelgeleme sorunu olarak iki gruba ayrılarak geliştirilen bir yöntem ile çözülmüştür.

SLAM II benzetim paketi ile yapılan bir çalışmada da, makina ve malzeme taşıma araçları eş zamanlı çizelgelenmiş, ayrıca bir çok performans ölçüleri için en iyi sonucu veren bir proses seçim kuralı, söz konusu şartlar altında bulunmuştur (Ro ve Kim, 1990).

### 3.4. Anında Kontrol ve Çizelgeleme

Günümüz veri temini ve veri işleme teknolojinin bir sonucu olarak çizelgeleme kararları çevrim içi olabilmekte ve hatta anında çizelgelemeye yaklaşabilmektedir. Bu terimlerin kullanımı artık çizelgeleme teriminin yerini alacak şekilde yaygınlaşmaktadır. Ancak yine de, çevrim içi ve çevrim dışı çizelgeleme terimleri hakkında anlaşmazlıklar mevcuttur.

Çevrim dışı çizelgeleme (Sabuncuoğlu, et al., 1992), çizelgeleme periyoduna girecek olan bütün operasyonların çizelgelenmesini anlatır. Buna karşılık çevrim içi çizelgeleme, operasyonların ihtiyaç duyulduğu anda çizelgelenmesi anlamına gelir. Kısaca çizelgeleme; herhangi bir işin tamamlanması, parçaların sisteme gelişleri gibi sistem statüsündeki değişimler sonucu yapılır.

Çizelgelemenin zaman içinde düzenlenmesi çeşitli şekillerde yapılmaktadır. Yaklaşımlardan biri, bir grup işin tüm çizelgeleme kararlarını sisteme girmeden önce vermektedir. Verilen bu kararlar çerçevesinde söz konusu işler, seçilen bir periyot boyunca sistemde ilerler. Bu yaklaşım periyot dışı plan olarak adlandırılabilir. Diğer yaklaşım, periyot yaklaşımıyla zamanı dilimlemeden gerçek zamanlı bir planlama yapar. Bu yaklaşımda ilk olarak işler sisteme hangi sırada girecek kararı verilir. Daha sonra herhangi bir makinada bir işin ilk işlemi bitirildikten sonra, o iş hangi makineye gidecek kararı verilir. Eğer seçilen makina boşalmışsa, hangi parçanın makinada işleneceği hakkında bir karara varılır ve böylece gerçek zamanlı planlama gerçekleştirilmiş olur.

Bazı araştırmacılar, detaylı çizelgeleme kararlarını vermek için bir periyot dışı plan kullanılmasının, sistem performansını geliştirdiğini ifade etmektedir (Hutchison, 1991). Buna neden olarak da tüm atölyenin durumunun dikkate alınması ve kararların verilmesi gösterilmektedir. Bu araştırmacılar, gerçek zamanlı bir planlamanın, sadece sistemin küçük bir bölgesi hakkında o sıradaki bilgiyi gözönüne aldığını, bu yüzden yetersiz kaldığını belirtmektedir. Diğer araştırmacılar, çevrim dışı plan kullanılmasının pratik olmadığını, karar sorununu çözmek için tüm atölye düşünüldüğünden aşırı hesaplama çabalarının gerekli olduğunu vurgulamaktadır. Ayrıca aynı kişiler, seçilen periyot

boyunca oluşacak tezgah arızaları gibi sistem değişikliklerinden doğan gecikmelerin birikimli bir şekilde çevrim boyunca sabit kalan çizelgeyi geçersiz kılacağını belirtmektedir. Bu durum ise, çevrim dışı planda yeniden çizelgelemenin değişen durumlar için sık sık yapılmasına neden olacak, dolayısıyla hesaplama yükünü aşırı bir şekilde arttıracaktır.

Wu ve Wysk (1989), çevrim dışı planda periyot süresinin olabildiğince küçük tutulmasını öneren anında kontrol ve çizelgeleme amaçlı çok geçişli bir mekanizma önermişlerdir. Küçük periyot hesaplama yükünü arttıracak, ancak sistem değişimleri nedeni ile doğacak geçersiz çizelge oluşması olasılığını azaltarak sisteme dinamik bir yapı kazandıracaktır. Çünkü değişen duruma karşı zaman geçmeden yeniden çizelgeleme çalışması gerçekleşecektir. Söz konusu çalışmada hesaplama yükünün dolayısı ile simülasyon çevrim sayısının artmasını önleyecek aday işi başlatma kuralları yaklaşımı yapılmıştır. Burada, mevcut işi başlatma kurallarını süzerek sadece verilen imalat sistemi durumuna uygun olabilecek adayları belirleyen bir uzman sistem yaklaşımı geliştirilmiştir. Böylece tüm işi başlatma kuralları için değil, sadece sistem durumuna dayanan aday işi başlatma kuralları için benzetim çalışmaları yapılmaktadır.

Çok geçişli çizelgeleme mekanizmasının performansını etkileyecek olan en önemli faktör sözkonusu periyot uzunluğudur. Periyot uzunluğu değerinin ne olması gerektiği hakkında kesin bir hesaplama şekli saptanamamıştır. Simülasyon mekanizması ise, LISP dili yardımıyla geliştirilmiştir. Böylece gerek sistem konfigürasyonu değişimi, gerekse aday işi başlatma kurallarının değişimi gibi farklı sistem senaryolarında, model yeniden kodlanmaksızın simülasyon yapılabilir.

Anında kontrol ve çizelgeleme yaklaşımı, sistemi itme tipi sistemden çekme tipi sisteme yaklaştırır. Başka bir deyişle, tam zamanında üretim yapılmasını sağlar. Ayrıca mevcut sistem basitleştirilebilir ve değişkenlik kaynakları ortadan kaldırılabilirse, doğal olarak sadece son montaj hattının çizelgelenmesi yeterli olacak, böylece sözü edilen çok geçişli bir simülasyon mekanizmasına da gerek kalmayacaktır (Durmuşoğlu et al., 1993).

## 4. ÇİZELGELEMEDE SİMÜLASYON YAKLAŞIMI

### 4.1 Giriş

İmalat endüstrisi düşük maliyetli ve yüksek kaliteli ürünlerle yarışmak için yeniden yapılanmaya gitmiş ve gitmektedir. Bunun sonucunda kaliteyi, verimliliği arttırmak dolayısıyla maliyetleri azaltmak için otomasyon ve modernizasyona büyük önem verilmiştir. (Stevenson 1990) Bu durumda geleneksel atölyeler yerlerini entegre üretim sistemlerine bırakmış ve bırakacaklardır. (Black 1991) Benzer parçalar ailelere gruplandırılacaktır. Operasyonların gerçekleştirileceği tezgahlar ve işleme merkezleri grup teknolojisi kullanılarak üretim hücreleri halinde gruplandırılacaktır. (Groover 1987)

Böylesi gelişmelerin bir kısmı matematiksel metodlar kullanılarak desteklenebilir. Eğer, üretim sistemi çok karmaşıksa matematiksel modellerin uygulanması her zaman mümkün olmaz, olsa da kısa zamanda sonuç elde edilemez. Bu durumda bilgisayar simülasyonu bir çözüm olabilir. Bir simülasyon çalışmasında ilgilendiğimiz sistem modelini nümerik olarak değerlendirmek için bilgisayar kullanılır. Sonuçta, sistem karakteristiklerini tahmin etmekte kullanılacak bilgi elde edilir.

### 4.2 Simülasyonun Anlamı

Simülasyon eldeki yöneylem araştırması tekniklerinin en güçlülerinden biridir. 1980 yılında yapılan bir araştırmada (Shannon 1980), simülasyonun en çok kullanılan ikinci yöneylem araştırması tekniği olduğu ortaya konmuştur. Daha sonraları (1988), Üretim Mühendisleri Birliği'nce yapılan bir araştırmada simülasyon modellemesi yirmibirinci yüzyılda üretim mühendisleri için en önemli teknolojilerden biri olarak tanınmıştır. (Koska ve Romano, 1988)

Simülasyon gerçek sistem ve proseslerin temel mantıksal modelini operasyonların canlandırılması ve bileşenlerin etkileşimlerini stokastik değişkenlerle birlikte incelenmesinde bilgisayar kullanan bir teknik olarak ele alınabilir.

Simülasyon sistem davranışını bir bütün olarak yansıtır. Böylece sistem hakkında bilgi elde edebiliriz veya çalışması hakkında gerekli kişiler bilgilendirilir. (Carrie, 1988) Simülasyon analizciye yeni sistemleri kurmadan denemeyi ya da mevcut sistemlerin modifikasyon sonuçlarını, sistemi bozmadan analiz etme şansı tanır.

Simülasyonun artan popüleritesini etkileyen bazı faktörler şunlardır:

- Ürün kalitesini, verimliliği arttırmaya ve maliyetleri, envanteri azaltmayı hedefleyen pek karmaşık üretim sistemleri geliştirilmiştir. Bu karmaşık üretim sistemleri yalnızca simülasyonla analiz edilebilir.
- Düşük maliyetli, yüksek performanslı bilgisayarlar, simülasyon modellerinin geliştirilmesini hem kolaylaştırmış hem de ucuzlaştırmıştır.
- Simülasyon yazılımlarındaki gelişmeler model geliştirme zaman ve maliyetini düşürmüştür.
- Simülasyon yazılımlarına animasyonların eklenmesi yöneticilerin bu güçlü aracı anlamasını kolaylaştırır.

Simülasyon uygulamalarındaki en çok gelişme üretim alanında gerçekleştirilmiştir. (Thesen ve Travis, 1988) Son yıllarda yapılan hemen hemen bütün büyük projeler bir çeşit simülasyon analizi içermektedir. Üretim sistemlerinde planlanan değişimler simülasyon sonuçlarından yararlanılarak kararlaştırılır. Birçok simülasyon yazılımında üretim sistemlerinin modellenmesini kolaylaştıran özel fonksiyonlar vardır. (Kleine ,1988; Christy ve Watson 1983)

Simülasyon terimini kullandığımızda; analog bir durum, model veya araçla bir durum veya sistem davranışı hakkında farklı amaçlar için bilgi edinmeyi ima ederiz. (Pritsker 1979, Christy 1983, Robbins 1991.)

Pritsker ve Pegden (1979)'a göre simülasyon, dinamik sistem davranışının iyi tanımlanmış işletim kurallarının durumdan duruma taşınmasıyla yaşatılmasıdır.

Aşağıda verilen tanımlarla simülasyonun anlamının kavranması ve literatürdeki tanımların karşılaştırılması amaçlanmıştır.

- Simülasyon, stokastik veya deterministik proseslerin zaman içinde deneysel incelenmesinde kullanılan bilgisayar destekli nümerik bir tekniktir. (Schruben ve Margolin, 1978)
- Simülasyon gerçek bir sistem modelinin; sistemin davranışını, gerçek sistemi değiştirmeden incelemek amacıyla kurmak ve işletmektir. (Bobilier, 1976)
- Simülasyon gerçek sistem modelinin dizayn prosesi ve bu modelle belirli kriterler dahilinde, sistemin anlaşılması için, sistem çalışmasına ilişkin deneyler yapılmasıdır.
- Modelleme, parametre değerlerine değişkenlerin ilk değerlerinin ve etkileşimlerinin formalize edilmesi için veri toplanması ve bir yapıya dönüştürülmesidir. Modeller fiziksel, matematiksel veya bilgisayar destekli ya da bunların bileşimi şeklinde olabilir. Simülasyon benzetilenin belirli özelliklerinin incelenmesi için özel olarak düzenlenmiş deneylerin gerçekleştirilmesidir. (Mclead, 1972)

• Simülasyon, bir gerçek dünya proses veya sisteminin belirli bir zaman için işletilmesinin canlandırılmasıdır. Sistemin yapay bir geçmişinin yaşatılması ve bu geçmiş izleyerek temsil edilen gerçek sistem hakkında yorumlar yapılmasını içerir (Banks et al., 1995).

Karar verme yaklaşımlarının değeri esnekliklerinin artmasıyla yükselir. Bu durumda üretim yönetiminde simülasyonun yeri tartışılmazdır.

#### 4.2.1. Simülasyonun Amacı

- Davranışını açıklamak için bir sistem yapısının ve işleyişinin anlaşılma istenmesi,
- Gerçek bir sistemin zaman içindeki davranışının tahmin edilmesi,
- Sistem yapısının ya da işletme politikalarının değiştirilme etkilerinin değerlendirilme ihtiyacı, simülasyonun başlıca amaçları arasında sayılabilir.

#### 4.2.2. Simülasyon Kullanım Nedenleri

- İlgilenilen gerçek sistem analitik modellerle temsil etmek için çok karmaşık olabilir,
- Analitik modeller kurulabilir, fakat çözülmesi pek zor olabilir,
- Gerçek sistemle direkt deneyler pahalı, zaman alıcı veya tehlikeli olabilir.

#### 4.2.3. Simülasyon Prosedürü

Bir simülasyon çalışmasında izlenmesi gereken yol maddeler halinde, aşağıdaki gibi verilebilir:

1. Kantitatif formda problem formülasyonu,
2. Simülasyon modelinin kurulması,
3. Veri toplama ve analizi için deney tasarımı,
4. Bilgisayar programının yazılması ve denenmesi,
5. Simülasyon modelinin çalıştırılması ve değerlendirilmesi,
6. Simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi (Dervitsiotis, 1981).

### 4.3. Simülasyon Tipleri

Simülasyon teknikleri soyutluğun giderek azaldığı matematik modellerden, bilgisayar simülasyonu ve pilot fabrikalara kadar değişir (Alptekin, 1990). Bilgisayar simülasyonu, bu alanın ortalarında yer alır. Sistem tasarımcısına fiziksel simülatörler veya pilot fabrika gibi ek masraflar getirmeden, sistemin işleme performansının anlaşılmasını sağlar. (Benjamin ve Muther, 1990)

Law ve Kelton'a göre (1991), simülasyon modelleri üç farklı boyutta sınıflandırılır:

#### 1. Statik-dinamik simülasyon modelleri,

Statik bir simülasyon modelinde zamanın bir rolü yoktur. Diğer yandan, bir dinamik simülasyon modeli zaman içinde değişmeyi temsil eder.

#### 2. Deterministik ve stokastik simülasyon modelleri,

Deterministik modellerde olasılıklı bileşenler yoktur ve çıktı bir girdi kümesinin değerleri ve mantıksal ilişkileri tanımlanınca elde edilebilir. Deterministik modeller gerçek sistemlerdeki belirsizliği simüle edemezler. Öte yandan, stokastik simülasyon modelleri rassal çıktı üretirler ve bu nedenle sistemin gerçek karakterine bir tahmin olarak kabul edilirler.

#### 3. Sürekli ve kesikli simülasyon modelleri.

Sürekli modeller sistemdeki değişiklik sürekli olduğunda kullanılır. Sıklıkla, zaman içinde değişkenlerin dalgalanması matematik denklemlerle verilebilir. Kesikli simülasyon, modellenen sistemin değişimi kesikli şekilde tanımlanabiliyorsa kullanılır. Sistem bileşenleri herhangi bir sayıdaki durumdan birinde, herhangi bir zaman noktasında bulunabilir ve bir durumdan diğerine rassal olarak değişebilir. (Carrie, 1988)

### 4.4. Simülasyon Yazılımları

Büyük sistemlerden mikrobilgisayarlara kadar farklı sistemlere yönelik pek çok yazılım mevcuttur. Haider ve Banks (1986), bu yazılımları üç farklı seviyede sınıflandırmışlardır:

1. Sistem,
  - 1.1. Sürekli
  - 1.2. Kesikli
2. Uygulama,
  - 2.1. Özel amaçlı
  - 2.2. Genel amaçlı
3. Yapısal ( Genel amaçlı simülasyon yazılımları)
  - 3.1. Olay çizelgeleme
  - 3.2. Proses etkileşimi
  - 3.3. Faaliyet tarama.

Sistem seviyesinde simülasyon yazılımları benzetilen sistemin tipine göre sınıflandırılır. Sürekli sistemlerde durum değişkenleri zaman içinde sürekli değişirler. Kesikli sistemlerde ise, durum değişkenleri sadece kesikli noktalarda değişir. Bir çok simülasyon yazılımları kesikli sistemlere cevap verecek durumdadır. Bunlardan bazıları; SIMAN (Davis ve Pegden, 1988), SIMPLE-1 (Cobbin, 1988), SIMCRIPT II.5 (Russel,1988), ve SLAM II (O'Reily ve Liledgdon, 1988) gibi hem kesikli hem de sürekli sistemlere yöneliklerdir.

Uygulama seviyesinde özel amaçlı simülasyon yazılım paketleri, özel sistemler için tasarlanmışlardır. Amaç belirli bir tip uygulamanın kolay ve çabuk olarak modelinin geliştirilip analizinin yapılabilmesidir. Bu tip özel amaçlı simülasyon paketleri, "simülatörler" olarak adlandırılır. Üretim sistemleri uygulamaları için geliştirilmiş birçok simülatör yaygın olarak kullanılmaktadır. (Banks,1991) Bunlardan bazıları: AutoMod (Thompson, 1989), WITNESS (Gilman ve Billingham, 1989). XCELL ( Conway, 1986), SimFactory (CACI,1991), MicroSaint, STARCELL, MIC-SIM ( Strack, 1989) ve ProModelPC ' dir.

Simülasyonun yapısal sınıflandırılmasına farklı bir yorum "üç faz" ı da ekler. Yukarıda verilen yapısal sınıf şöyle detaylandırılabilir:

• **Proses-Etkileşim Metodu:**

Temel düşünce objenin, bilgisayarca sistemdeki akışının izlenmesidir. Obje herhangi bir şekilde bekletilmez ya da tutulmazsa akışına devam eder veya sistemden çıkar. Hareket durdurulduğunda simülasyon zamanı ilerler. Siman V de bu yaklaşım kullanılabilir.

- ***Olay Çizelgeleme Metodu:***

Zaman bir sonraki olayın gerçekleşmesiyle ilerler. Kaynaktan çıkan objenin, bir sonraki kaynağa çizelgelenmesiyle simülasyon ilerler.

- ***Faaliyet Tarama:***

Aynı zamanda iki-faz yaklaşımı olarak da bilinmektedir. Kural esaslı programlamaya benzerdir. Belirlenmiş koşul gerçekleştiğinde bir faaliyet başlar. Bu metotta çalıştırılmaya hazır bağımsız modüller, simülasyon programını oluşturur. Tarama, belirli zaman aralıklarında yapılır. Olay gerçekleşirse sistem durumu güncelleştirilir.

- ***Üç-Faz Metodu:***

Bu metotta sistemde bir durum değişimi olana kadar zaman ilerler. Sistemdeki tüm faaliyet tamamlanma zamanları kontrol edilir. Bütün kaynaklar serbest bırakıldığında, kaynakların tekrar atanması ve yeni faaliyetlere başlanması simülasyonun üçüncü fazını oluşturur. Özet olarak; ilk faz zamanın ilerlemesidir. İkinci faz belirli zamanlarda kaynakların serbest bırakılması ve üçüncü faz da yeni faaliyetlerin başlamasıdır (Banks et al., 1995).

Simülatörler, parametrelili simülasyonlar olarak genellenebilir. Çeşitli prosesleri modelleme kapasiteleri vardır. Simülasyon modelini kurmak için gerekli bilgi genellikle çok çabuk öğrenilir. Genel amaçlı simülasyon dilleri kullanmaya göre, modellerin kurulması ve animasyonu simülatörlerle daha çabuk gerçekleştirilir. Fakat maalesef, bazı simülatörler gerçek sistemlerin her detayını veremezler. Böyle problemlerden kaçınmak için diğer yazılımlarla bağlantısı kurulabilen simülatörler veya genel amaçlı simülasyon yazılımları kullanılmalıdır.

Genel amaçlı simülasyon yazılımları çoğunlukla simülasyon dilleri olarak anılır. Simülasyon dilleri çok çeşitli sistemleri modellemek için kullanılabilirler. Bazı simülasyon dillerinin belirli imalat fonksiyonlarını modellemek için modülleri vardır. Analizciler kontrol mantıkları ne kadar karmaşık olursa olsun hemen hemen her tip sistemi modelleyebilen genel amaçlı paketlerden yararlanabilirken, karmaşık sistemlerin model geliştirilme zamanı ve programlama ihtiyacının artacağını unutmamalıdır. Bu kategorideki örnekler şöyle sıralanabilir: SIMAN, SIMSCRIPT II.5, SLAM II, GPSS ve ECLSL.

Yapısal düzeyde simülasyon yazılımları modelleme amacına göre sınıflandırılır. Bu düzeydeki sınıflandırma, simülatörler parametre kökenli olduğu için sadece simülasyon dilleri için geçerlidir. Olay çizelgeleme, proses etkileşimi ve faaliyet tarama kesikli

modelleme için kullanılan üç temel amaçtır. Bazı simülasyon yazılımları bu amaçların bir karışımına olanak tanır. (Haider ve Banks, 1986)

#### 4.5. Simülasyon Uygulamaları

Akademik ve endüstriyel çevrelerde yapılan simülasyon operasyonlarının, planlamanın dolayısı ile verimliliğin arttırılmasında etken kullanılabilirliğini kanıtlayan pek çok araştırma yapılmıştır. ( Christy ve Watson, 1983, Laughery 1990, Massay 1991)

##### 4.5.1. Dezavantajları-Avantajları

Simülasyonun pek çok avantajı olmakla birlikte bazı dezavantajları da vardır. Bunlar Pegden, Shannon ve Sadowski (1990) tarafından şöyle sıralanmıştır:

###### *Avantajlar:*

- Yeni politikalar, işletme prosedürleri, karar kuralları, bilgi akışları, organizasyonel prosedürler ve benzerleri gerçek sistemlerin, normal faaliyetlerini etkilemeden araştırılabilir.
- Yeni sistem tasarımları, fiziksel yerleşimler, malzeme taşıma sistemleri ve benzerleri ilgili kaynakların durum değişiklikleri yapılmadan denenebilir.
- Herhangi bir olayın nasıl ve neden oluşacağına ilişkin fizibilite hipotezleri test edilebilir.
- İnceleme altındaki sistem davranışının hızı, zaman sıkıştırılarak veya uzatılarak arttırılabilir, azaltılabilir. Örneğin; bir bilgisayarın çalışmasının 1 nanosaniyelik bölümü 10 dakika, bir fabrikanın 8 saatlik vardiyasının incelenmesi 5 dakika alabilir.
- Değişkenlerin ilişkileri hakkında bilgi edinilebilir.
- Değişkenlerin sistem performansı üzerindeki önemi hakkında bilgi edinilebilir.
- Yarı mamül, bilgi, malzeme ve benzerlerinin beklemelerinde darboğaz analizi yapılabilir.
- Simülasyon, kişilerin sistem işleyişini algılamalarından çok, sistemin gerçek işleyişini ortaya koyar.

- "Ne yapılırsa, ne olur" soruları yanıtlanabilir. Yeni sistem tasarımlarında bu çok yararlıdır.

#### ***Dezavantajlar:***

- Model kurma özel eğitim gerektirir. Aynı sistem için farklı kişilerin kurduğu modeller aynı olmayabilir.
- Simülasyon sonuçlarını yorumlamak zor olabilir.
- Simülasyon modellemesi ve analizi zaman alıcı ve pahalı olabilir. Modeli basitleştirmek de amaçlanan iş için yeterli sonuç vermeyebilir.
- Simülasyon, analitik bir çözüm mümkün veya tercih edilir olmadığı hallerde kullanılmalıdır.

Yukarıda belirtilen dezavantajlar aşağıdaki önerilerle bertaraf edilebilir:

- Simülasyon yazılımcıları, sadece girdi veri kullanılarak sonuçların üretilebildiği gelişmiş paketler sunmaktadırlar.
- Bazı simülasyon yazılımcıları, çıktı analizini yazılım paketine eklemişlerdir. Bu durum çıktı analizinin otomatik olarak yapılmasını sağlar.
- Simülasyon günümüzde geçmişe göre daha hızlı yapılmaktadır. Bu, bilgisayar donanımlarındaki hızlı gelişmeye bağlanabilir.
- Kapalı modellerle karmaşık sistemler incelenemez. Bu nedenle simülasyon bir yerde zorunluluktur.

#### **4.5.2. Uygulama Alanları**

Simülasyonun uygulama alanları çok geniştir. Kış Simülasyon Konferansında (1993, WSC), uygulama alanları üç ana başlık altında toplanmıştır:

1. Üretim sistemleri,
2. Kamu sistemleri,
3. Servis sistemleri.

Üretim uygulamalarına örnekler şöyle sıralanabilir:

- Esnek imalat hücrelerinde çizelgeleme,
- Malzeme taşıma sistemleri,

- Esnek imalat sistemlerinde kesici takım dağılımının değerlendirilmesi,
- Zeki kart-tabanlı üretim. (Smart card-based manufacturing.)

Üretim alanında daha pek çok çalışma yapılmış ve yapılmaktadır (Banks et al., 1995).

#### 4.6. Üretim Alanında Simülasyon

Son yıllarda üretim alanında simülasyonun kullanılmasında, dramatik bir yükselme vardır. Giderek kızışan uluslararası rekabet firmaların; kaliteyi artırma, verimliliği yükseltme ve maliyetleri düşürme amacıyla otomasyona yönelmelerini hızlandırmış ve yoğunlaştırmıştır. Otomatik sistemler genellikle çok karmaşık olduğundan sadece güçlü bir araç olan simülasyonla analiz edilebilir. Giderek azalan programlama maliyetleri ve simülasyon dillerindeki model geliştirme zamanını kısaltan gelişmeler, aynı zamanda simülasyonun kullanımını arttırmıştır. Ayrıca grafik animasyonların simülasyon paketlerine eklenmesi yüksek düzey yetkililerin analizi daha kolay kavramasını sağlamıştır (Law, 1986).

Animasyon, modellenen sistemin önemli elemanlarının bir grafik ortamda sembollerle temsil edilmesi ve her durum değişikliğinin yansıtılmasıdır. Böylece analizci, zaman içindeki sistem değişimini grafik olarak izleyebilir.

Animasyonun potansiyel yararları şöyle sıralanabilir (Law, 1986):

- Simülasyon modelinin veya karşılığı sistem doğasının yöneticiye aktarılması,
- Simülasyon yazılımının kontrolü,
- Modelin geçerli olmadığının gösterilmesi,
- Üretim personelinin yeni sistemin işlemleri hakkında eğitilmesi.

Üretimde simülasyonun genel yararı, yöneticiye olası değişiklikler hakkında sistem genelinde bir fikir vermesidir. Bu, sistem gerçekte mevcut olsa da olmasa da mümkündür. Örneğin, bir iş istasyonuna bir tezgah eklemenin etkisi basit kuyruk teorisi hesaplarıyla tahmin edilebilir. Fakat muhtemelen bu teknik tüm sistem üzerindeki etkiyi açıklamaya yeterli olmayacaktır. Bir istasyondaki iş hacminin arttırılması, bir veya daha çok istasyonda darboğazlara neden olabilir.

Simülasyonun potansiyel yararları; üretimde artış, yarı mamul envanterinde azalma, tezgahların ve operatörlerin kullanımında artış, teslim zamanlarındaki gecikmelerde azalma ve kapital ihtiyacında azalma olarak sayılabilir.

Simülasyonun uygulanabileceği üretim alanları üç ana başlık altında toplanabilir:

**1. Yeni ekipman veya bina ihtiyacı,**

Örnek olarak General Motors firmasının otomobil modeli "Saturn" için yaptığı çalışmalar gösterilebilir.

**2. Eski bir binada yeni ekipmana ihtiyaç duyulması,**

Mevcut sistemde yeni bir mamul üretilmesi.

**3. Mevcut ekipmanların veya operasyonların geliştirilmesi.**

Aynı ürünleri daha verimli üretmek için veya ekipmanlarda, işletme prosedürlerinde değişikliklerin incelenmesi için kullanılabilir. Örneğin, çizelgeleme kurallarında değişiklik.

Simülasyon ile çözülebilecek üretim problemleri:

**1. Ekipman ve personel ihtiyacının ve de sayılarının belirlenmesi.**

- Belirli bir amaç için gerekli tezgah sayısı ve tipinin belirlenmesi.
- Destekleme elemanlarının sayı, tip ve fiziksel arajmanının belirlenmesi.
- Envanter depolarının yer ve miktarının belirlenmesi.
- Ürün karışımındaki değişikliklerin değerlendirilmesi.
- Mevcut üretim sistemine eklenecek yeni bir ekipmanın etkisinin değerlendirilmesi.

- Kapital yatırımlarının değerlendirilmesi.

- Personel ve işgücü ihtiyacının belirlenmesi.

**2. Performans değerlendirme.**

- Çıktı miktarının analizi.
- İşlerin üretim sisteminde geçirdiği zamanın analizi.
- Darboğaz analizi.

**3. Operasyonel prosedürlerin değerlendirilmesi.**

- Üretim çizelgeleme. Önerilen yükleme ve sıralama politikalarının değerlendirilmesi.

- Ham malzeme ve parça bileşenlerinin, envanter seviyelerini belirleme politikalarının değerlendirilmesi.

- Güvenilirlik analizi.

- Kalite kontrol politikalarının değerlendirilmesi.

Üretim simülasyonlarında kullanılan performans ölçüleri:

1. Birim zamanda üretilen işlerin sayısı,
2. İşlerin sistem içindeki zamanı,
3. İşlerin kuyruklarda geçirdiği zaman,
4. Taşımalarda harcanan zaman,
5. Prosesteki envanter hacmi,
6. Ekipman ve personel kullanımı,
7. Tezgahların bozuk veya bloke olma zamanının oranı,
8. Tekrar işlenmesi veya ıskartaya atılması gereken işlerin oranı,
9. Yeni veya geliştirilmiş üretim sistemi yatırımında geri ödeme,
10. Geri ödeme zamanı. (Law, 1986)

#### 4.6.1. Üretim Simülasyonunda İstatistiksel Konular

Simülasyon modelinin kurulmasında rassal olasılık dağılımları girdi olarak kullanıldığından, sonuçta elde edilen çıktı veri de olasılık fonksiyonlarından rassal kümelerdir. Bu nedenle, rassal verilerin modellenmesi ve simülasyon deneylerinin dizayn ve analizinin modelleme amacına uygun yapılması büyük önem taşımaktadır.

Çoğu üretim sistemi bir veya daha çok rassal değişken kaynağına sahiptir. Bir tezgaha işlerin gelme aralığı, arızadan önce tezgahların çalışma süresi, tezgah tamir süreleri ve kalite kontrol sonuçları (İskarta, yeniden işleme vb.), üretim sistemlerinin bünyesindeki rassal değişken örnekleridir.

Sistemin doğru olarak modellenmesi için her rassal değişken, simülasyonda uygun bir olasılık dağılımıyla temsil edilmelidir. Uygun dağılım belirlendikten sonra simülasyon zamanı ilerledikçe ilgili dağılımların değer üretmesi için rassal sayı üreticileri kullanılır. Rassal sayı üreticileri bilgisayar tabanlı bir mekanizma olup 0 ile 1 arasında eşit şanslı sayı üretirler.

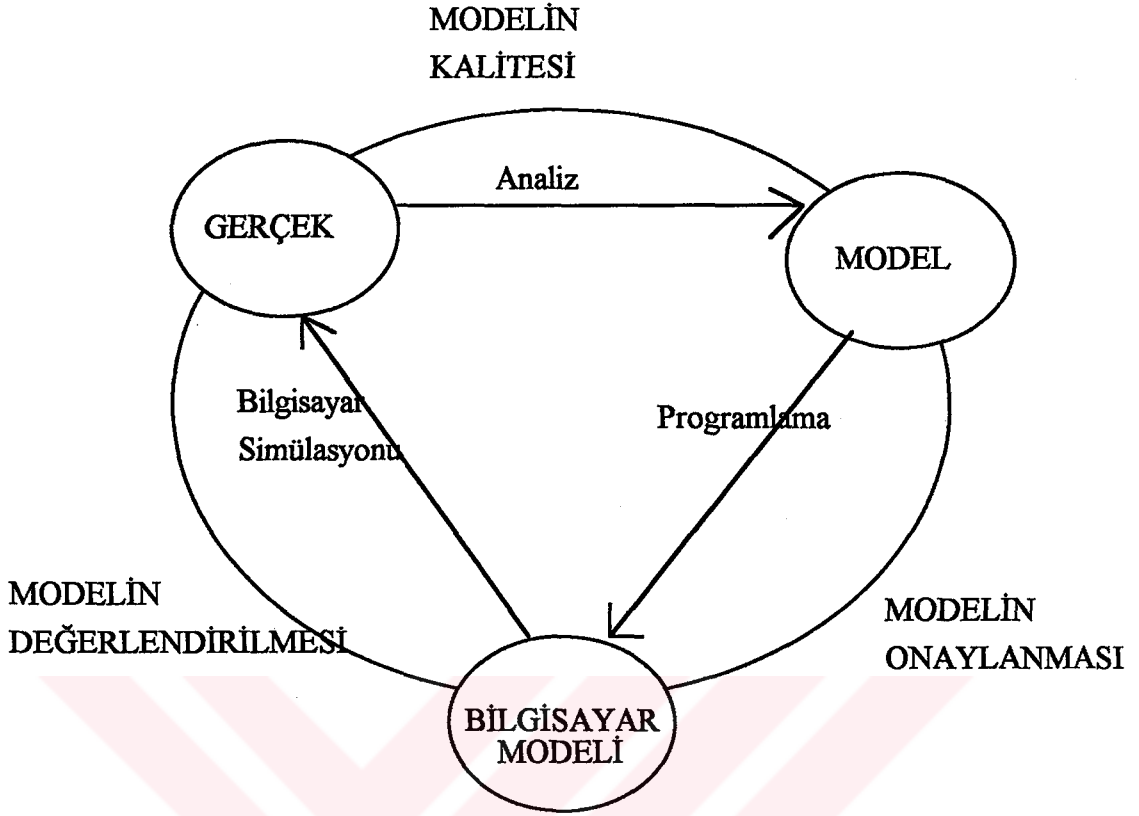
#### 4.6.2. Simülasyon Deneylerinin Tasarımı ve Analizi

Üretim sistemlerinin simülasyonlarında sıklıkla yapılan potansiyel hatalardan biri stokastik simülasyonun sadece bir kez çalıştırılmasıdır. Örneğin, bir günde 16 saat çalıştırılan bir üretim sisteminde günlük üretim hacminin beklenen değerini bulmak istediğimizi düşünelim. Simülasyon sadece bir kez çalıştırılırsa simülasyon sonucunda elde edilen günlük üretim hacmi, beklenen değeri günlük üretim hacminin ortalama değeri olan olasılık fonksiyonundan herhangi bir değerdir. Bu da klasik istatistikte sadece bir veri noktasıyla bir populasyon ortalamasını tahmin etmeye çalışmaktan farklı değildir. Dahası ilk gözlem değeri ortalamadan büyük oranda farklılıklar gösterebilir.

Simülasyon deneylerinin tasarım ve analizine ek bir nokta da, genellikle üretim sistemlerini simüle ederken, sistemin uzun-vadedeki davranışının temsilinin amaçlanmasıdır. Sistemin normal durumdaki davranışı algılanmaya çalışılır. Yukarıda verilen örnekte ise sadece 16 saatlik durum izlenebilmiştir.

Öte yandan, üretim sistemleri simülasyonunda, simülasyonun başlangıcında sistemin boş olduğu varsayımı yapılır. Bu da, tezgahlara ilk iş gelene kadar boşta kalacakları anlamındadır. Bu ise, sonucu etkiler. Çünkü sistemin normal durumu tam olarak temsil edilememektedir. (Law, 1986)

Genellikle pek dikkat edilmeyen, fakat çok önemli olan bir problem simülasyon modelinin uygun olup olmadığıdır. Model uygunluğu kavramı, birçok araştırmacı tarafından belirli temellere oturtulmak istenmiştir. Bu konudaki çalışmalara girmeden önce bir kaç tanımın verilmesinde yarar vardır. Tanımlar Schlesinger'in 1980'de yaptığı çalışmaların sonucudur. Simülasyon ve özellikle modelleme ortamını tariflemek için yapılan bu çalışmalar aşağıdaki şekille özetlenebilir:



Şekil 4.1. Modelleme Ortamı

Şekilde dairenin içindeki oklar, elemanların birbirleriyle ilişkisini gösterir. Dıştakiler ise, prosesin inandırıcılığını değerlendiren prosedürleri işaret eder. Model kalitesi, onaylanması ve değerlendirilmesi genellikle fikir ayrılıklarına sebep olan kavramlardır. Bu tanımlar şöyle genelleştirilebilir:

- **Model kalitesi:** Gerçek sistemin modellenen kısmına göre simülasyon modelinde bulunması gereken elemanların belirlenme prosedürüdür.
- **Onaylama:** Çalıştırılan modelin, belirlenen doğruluk limitlerine göre fonksiyonunun belirlenmesi prosedürüdür. Programlama akış şemaları ve derleme sıklıkla kullanılır.
- **Değerlendirme:** Yukarıdaki maddelerle belirlenen simülasyon modelinin, üzerinde çalışılan gerçek sistemi temsil edip etmediğinin araştırılmasıdır..

Değerlendirme hakkında ilk çalışmalar Naylor ve Finger (1967) tarafından yapılmıştır. Bundan önce genellikle karmaşık modellerin detayları üzerinde çalışılmaktaydı (Cochran, 1986).

#### 4.7. SIMAN

Siman, kesikli veya sürekli ve karma sistemler için kullanılabilen güçlü bir genel amaçlı simülasyon dilidir. Modeller programlama ifadeleri veya grafik formda oluşturulabilir. Program ifadeleri kullanıldığında SIMAN blok ve elemanları herhangi bir editör kullanılarak iki ayrı ASCII dosyada ( Model ve Deney) saklanır.

Grafik formda, model ARENA ortamında geliştirilir. Her blok için gerekli veri diyalog kutuları aracılığı ile girilir.

Bütün SIMAN simülasyonları iki ana kısımdan oluşur:

1. Model,
2. Deney.

Model kısmında sistemin fiziksel bileşenleri ve aralarındaki mantıksal ilişkiler tanımlanır. ( Takım tezgahlarının tipi-sayısı, operatörlerin sayısı vb.) Deney; ilk koşullar, kaynakların sayısı, toplanacak istatistik bilginin seçimi, deney süresi gibi koşulların verildiği programdır.

Bunların dışında, deney dosyası analizcinin belirlediği çizelgeleme ve rotalamayı verdiğimiz bölümdür. Simülasyon modelinin iki kısımda oluşması, değiştirilecek koşulların sadece deney dosyasında verilir, model kısmının değiştirilmesine gerek bırakmaz ki, bu da büyük bir kolaylıktır.

Eğer modelleme için ARENA ortamı kullanıldıysa model ve deney programları otomatik olarak kodlanır. Bu çalışmada Siman modellerinin yazılımı hakkında derin bilgi verilmeyecektir. Bunun yerine basit bir örnek verilerek sistemin anlaşılması kolaylaştırılacaktır.

**PROBLEM:\*<sup>1</sup>**

Bir üretim sisteminden sorumlu mühendis olduğunuzu düşününüz. Üst düzey yönetim, sistemde planlanmakta olan değişiklikler için görüş bildirmenizi istemiştir. Herhangibir analiz için ihtiyacınız olacak Siman Simülasyon paketini Bilgi-işlem departmanı size sağlayacaktır.

**Sistemdeki mevcut durum:**

İki tip parça işlenmektedir. Toplam parça hacminin % 70'i Tip I, geri kalanı Tip II adlı parçalardan oluşmaktadır.

**Sistemdeki hazır kaynaklar:**

|                  |        |
|------------------|--------|
| Torna tezgahı    | 3 adet |
| Taşılama tezgahı | 2 adet |
| Matkap tezgahı   | 2 adet |
| Planya tezgahı   | 3 adet |
| Kontrol tezgahı  | 1 adet |

**Parçaların işlem sıraları ve ilgili zamanlar:**

| <i>Tip I</i>                           | <i>Tip II</i>            |
|----------------------------------------|--------------------------|
| Matkap, Düzgün D. (6,9)                | Matkap, Düzgün D. (6,9)  |
| Planya, Üçgensel D. (20,26,32)         | Torna, Normal D. (9,1.2) |
| TaşılamaKesikliD. (0.25,6,0.75,8,1,12) | Aynısı.                  |
| Kontrol, Normal D. (3.6,0.6)           | Aynısı.                  |

**Kabuller:**

- Kaynaklar arasındaki taşımalar ihmal edilebilir.
- Herhangibir kaynak kuyruğuna kapasite kısıtlamalarından ötürü giremeyen işler sistemden çıkartılır.
- Kontrol kaynağının kuyruk kapasitesi 6, diğerleri 3' tür.

<sup>1</sup>Yukarıda verilen problem, Dr. Susan Murray'nin " Endüstri Mühendisliğinde Metodlar" (EMgt-University of Missouri-Rolla) başlıklı dersi bünyesinde, asistanı olarak tarafımdan hazırlanan dönem sonu projesidir. Proje öğrencilere ödev olarak verilmeden önce yine tarafımdan, Siman Simülasyon dili anlatılmıştır.

- Geçmiş verilerden bilindiği üzere kontrole giren parçaların % 90' ı kalite kısıtlarını sağlamakadır. %5'i yeniden işlenmekte ve geri kalanı da ıskartaya çıkarılmaktadır.

40 saatlik bir simülasyon için aşağıdaki soruları yanıtlayınız!

1. Her tipte tamamlanan işlerin toplam sayısı,
2. Yeniden işlenmiş parçaların sayısı,
3. Kaynakların kullanımı.

Önerilen durumda, sisteme Tip III adında yeni bir parçanın eklenmesi tasarlanmaktadır. Bu iş için gerekli işleme zamanlar şöyledir:

- Tornalama, Normal D. (5,0.8)
- Taşlama, Diğer işlerle aynı.
- Kontrol, Diğer işlerle aynı.

Yeni sistemde Tip I üretiminin %50' ye azaltılacağı ve Tip III' ün toplam hacmin %20'si oranında üretileceği hesaplanmaktadır.

Yeni sistem için tezgahların yeterli olup olmadığını araştırınız.

Problemin verilişinden anlaşılacağı üzere beklenen, farklı iki simülasyondur. Önce sistemin orijinal durumu simüle edilecek ve daha sonra 3. iş eklendikten sonraki yeni durum için sonuçlar araştırılacaktır.

Aşağıda orijinal sistem simülasyonu için gerekli model ve deney dosyaları verilmektedir.

! MODEL

!

BEGIN;

CREATE: EX(1.1) : MARK(GELİŞZAMANI);

ASSIGN: İŞTİPİ= DP(2,1):

MATKAPZAMANI= UN(3,1):

TORNAZAMANI= RN(4,1):

PLANYAZAMANI= TR(5,1):

TAŞLAMAZAMANI= DP(6,1):

KONTROLZAMANI= RN(7,1);

Matkaplama QUEUE, MATKAPQ,3, ÇIK;

SEIZE: MATKAP;  
 DELAY: MATKAPZAMANI;  
 RELEASE: MATKAP;  
 BRANCH,1:  
 IF, İŞTİP= 1, Planyalama:  
 ELSE, Tornalama;  
 Planyalama QUEUE: PLANYAQ,3,ÇIK;  
 SEIZE: PLANYA;  
 DELAY: PLANYAZAMANI;  
 RELEASE: PLANYA: NEXT (Taşlama);  
 Tornalama QUEUE: TORNAQ,3,ÇIK;  
 SEIZE: TORNA;  
 DELAY: TORNAZAMANI;  
 RELEASE: TORNA: NEXT (Taşlama);  
 Taşlama QUEUE, TAŞLAMAQ,3,ÇIK;  
 SEIZE: TAŞLAMA;  
 DELAY: TAŞLAMAZAMANI;  
 RELEASE: TAŞLAMA;  
 Kontrol QUEUE,KONTROLQ,6,ÇIK;  
 SEIZE: KONTROL;  
 DELAY: KONTROLZAMANI;  
 RELEASE: KONTROL;  
 BRANCH,1,10:  
 WITH,0.05, Yenidenİşleme:  
 WITH,0.05,Iskarta:  
 ELSE, Bitti;  
 Bitti TALLY: AKIŞZAMANI, INT(GELİŞZAMANI);  
 TALLY: ÇIKIŞPERİYODU, BET;  
 COUNT: İŞTİPİ,1:  
 DISPOSE;  
 Yenidenİşleme ASSIGN: İŞTİPİ= DP(2,1):  
 MATKAPZAMANI= UN(3,1):  
 TORNAZAMANI= RN(4,1):  
 PLANYAZAMANI= TR(5,1):  
 TAŞLAMAZAMANI= DP(6,1):

|         |                                               |
|---------|-----------------------------------------------|
|         | KONTROLZAMANI= RN(7,1);                       |
|         | COUNT: Yeniden İşlenmiş, 1: NEXT(Matkaplama); |
| Iskarta | COUNT: Iskarta, 1: DISPOSE;                   |
| Çık     | COUNT: Çıkanlar: DISPOSE;                     |

! DENEY

!

BEGIN;

PROJECT,SIMPRO,GÜL;

ATTRIBUTES: GELİŞZAMANI:

İŞTİPİ:

MATKAPZAMANI:

TORNAZAMANI:

PLANYAZAMANI:

TAŞLAMAZAMANI:

KONTROLZAMANI;

RESOURCES:

MATKAP,2:

TORNA,3:

PLANYA,3:

TAŞLAMA,2:

KONTROL;

QUEUES:

MATKAPQ:

TORNAQ:

PLANYAQ:

TAŞLAMAQ,LVF(İŞTİPİ):

KONTROLQ;

COUNTERS:

TİP I COUNT:

TİP II COUNT:

ISKARTA:

YENİDENİŞLEME:

ÇIKANLAR;

PARAMETERS: 1,5:  
 2,.7,1.0,2:  
 3,6,9:  
 4,9,1.2:  
 5,20,26,32:  
 6,.25,6,.75,8,1.0,12:  
 7,3.6,0.6;

TALLIES: AKIŞZAMANI:  
 ÇIKIŞPERİYODU;

DSTATS: NQ(MATKAPQ):  
 NQ(TORNAQ):  
 NQ(PLANYAQ):  
 NQ(TAŞLAMAQ):  
 NQ(KONTROLQ):  
 NR(1)/2, MATKAP KULLANIMI:  
 NR(2)/3, TORNA KULLANIMI:  
 NR(3)/3, PLANYA KULLANIMI:  
 NR(4)/2, TAŞLAMA KULLANIMI:  
 NR(5), KONTOL KULLANIMI;

REPLICATE,1,0,2400;

#### 4.7.1. Siman Simülasyon Programlarının Derlenmesi, Bağlanması ve Çalıştırılması

ASCII formunda hazırlanmış model ve deney dosyaları öncelikle derlenmelidir. Bu amaçla model dosyası için: "model dosyaadı.mod dosyaadı.m" komutu kullanılır. Model derlenmesi, yazılan ilk dosya olan dosyaadı.mod 'un kontrol edilerek dosyaadı.m 'de saklanması şeklinde gerçekleşir. Benzer şekilde deney dosyası; "expmt dosyaadı.exp dosyaadı.e" komutuyla derlenir. Bu derlemeler esnasında ortaya çıkabilecek sorunlar dosyaadı.mls ve dosyaadı.els dosyalarından izlenebilir. Dosyalar hatasız olarak derlendikten sonra bağlanmalıdır. Bu amaçla, linker dosyaadı.m dosyaadı.e dosyaadı.p komutu kullanılır. Derlenmiş ve bağlanmış dosyaadı.p dosyası "siman dosyaadı.p" komutuyla çalıştırılır. Bağlama konusundaki problemler .lls dosyasında saklanır.

Programın çalışması sırasında da hatalar ortaya çıkabilir. Bu halde program durdurulacaktır. Deney dosyasında istenmiş olan istatistikler dosyaası.out ' da otomatik olarak depolanır. Çıktı dosyaları analizi, kolaylaştırmaktadır. (SIMAN IV, Reference Guide)



## 5. DENEYSEL TASARIM

### 5.1. Giriş

Bu bölümde, deneysel tasarım hakkında kısa açıklayıcı bilgiler verilecektir. Amacımız, uygulamada bir araç olarak kullandığımız deneysel tasarımdan nasıl yararlandığımızı ortaya koymaktır. Konunun kolayca anlaşılabilmesi için örneklerden yararlanılmıştır.

### 5.2. Deney Tasarımı ve Analizi

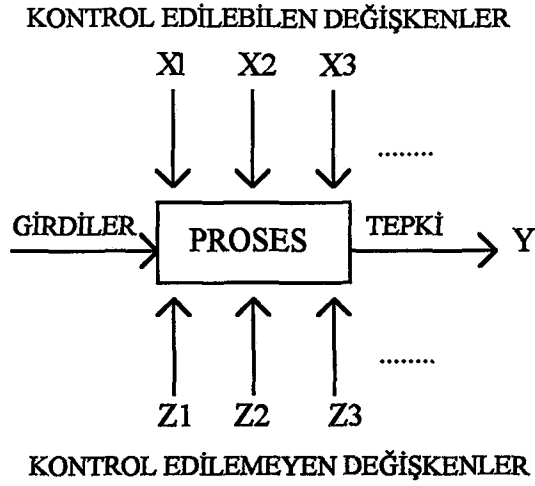
Deneyler, araştırmacılar tarafından bir proses veya sistemin belirli bir özelliği veya parçasına ait detayları incelemek üzere yapılır. Bu amaçla yapılan denemeler, deney olarak tanımlanır.

Tasarlanmış bir deney ise, bir proses veya sistemin girdi değişkenleri üzerinde amaçlı değişiklikler yapılması ve bu değişikliklerin sonucunda oluşan, tepki üzerinde değişme sebeplerinin belirlenmeye çalışılması için deneme ya da bir dizi denemeler yapılmasıdır.

Benzeri şekilde tasarlanan deneylerin amaçları şunlar olabilir:

- Çıktı ya da tepki üzerinde etkili olan değişkenlerin belirlenmesi,
- Tepkinin nominal değerini elde etmek için, tepkiyi etkileyen değişkenin değer aralığının belirlenmesi,
- Tepkideki değişkenliğin minimize edilmesi için girdi değişkenlerinin değer aralıklarının belirlenmesi,
- Kontrol edilemeyen değişken değerlerinin minimize edilmesi için girdi değişkenlerin uygun değer aralıklarının belirlenmesi.

Deney tasarımı proses geliştirme, problem çözme ve performans iyileştirme alanlarında önemli rol oynamaktadır. Detaylara inmeden önce, bu konu kapsamında prosese bakışımızı şekil 5.1'de ifade etmekteyiz.



ŞEKİL 5.1: Bir proses veya sistemin genel modeli.

### 5.3. Deney Tasarımının Uygulama Alanları

Deney tasarımı, bir çok disiplinde uygulama alanı bulmuştur. Aslında sistem veya proseslerin nasıl işlediğini anlamaya yarayan bilimsel prosesin bir parçası olarak düşünülebilir.

Deney tasarımı, üretim proseslerinin performans geliştirilmesinde kullanılabildiğinden mühendislik dünyası için çok önemli bir araçtır. Yeni proseslerin geliştirilmesinde de yaygınca kullanılmaktadır. Deneysel tasarımın proses geliştirme uygulamalarından elde edilebilecek potansiyel kazançlar şöyle sıralanabilir:

1. Proses çıktı miktarında gelişme,
2. Nominal veya hedef değerlere yakın ya da değişkenliği az sonuçlar elde edilmesi,
3. Geliştirme zamanında azalma,
4. Toplam maliyette azalma.

Deneysel tasarım yöntemlerinin mühendislik dizaynında, yeni ürünler üretme ve mevcut ürünleri geliştirme uygulamalarına örnekler ise;

1. Temel dizayn konfigürasyonlarının değerlendirilmesi ve karşılaştırılması,
2. Malzeme alternatiflerinin değerlendirilmesi,

3. Değişik çalışma koşulları altında, ürünün iyi çalışabilmesi için dizayn parametrelerinin seçimi,

4. Ürün performansını etkileyen ürün anahtar parametrelerinin belirlenmesi, gibidir.

Yukarıda verilen amaçlardan bir veya birkaçı için deney tasarımının uygulanması sonucunda:

- Daha kolay üretilen ürünler,
- Değişik çalışma koşulları için geliştirilmiş performans,
- Güvenilirlik,
- Düşük ürün maliyeti,
- Daha kısa ürün tasarımı ve geliştirme zamanı, gibi yararlar sağlanabilir.

#### 5.4. Temel Prensipler

Deneylerin planlanmasında bilimsel yaklaşım kullanılmalıdır. İstatistiksel deney tasarımı; uygun verinin istatistiksel yöntemlerle toplanması, analizin geçerli ve objektif sonuçlarla ifade edilebilmesi için deneylerin planlanması prosesidir. Verilerden anlamlı sonuçlar çıkartabilmek için deneysel tasarımda istatistik yaklaşımının kullanılması gereklidir. Bu nedenle her deneysel problemin iki kısmı vardır:

1. Deney tasarımı,
2. Verinin istatistiksel analizi.

Bu iki konu, analiz metodu kullanılan tasarım modeline bağlı olduğundan çok ilişkilidir.

Deneysel tasarımın üç temel prensibi; replikasyon, rassallaştırma ve bloklama.

Replikasyon, kısaca temel deneyin bir tekrarıdır. İki önemli özelliği vardır: Birincisi, araştırmacıya deneysel hatanın tahmin edilmesi şansı tanır. Bu tahmini hata, verilerdeki değişimlerin istatistiksel olarak farklı olup olmadığı ölçüsünün temel birimidir. İkincisi, eğer örnek kümenin ortalaması, deneydeki herhangi bir faktörün etkisinin tahmini için kullanılıyorsa, replikasyon gözlemciye daha kesin değerler sunar.

Rassallaştırma, deneysel tasarımda istatistiksel metodların kullanılabilmesinin temellerinden biridir. Rassallaştırma ile deneysel malzemenin atanması ve her bir denemenin rassal sırada gerçekleştirilmesi anlamındadır.

Bloklama, bir deneyin hassasiyetini arttırmak için kullanılan bir tekniktir. Blok, toplam malzeme setine göre daha homojen olması gereken deneysel malzemenin bir bölümüdür.(Keppel,1973)

### 5.5. Sıklıkla Kullanılan Deneysel Tasarım Modelleri

Bu modeller üç ana başlık altında toplanabilir (Kluczny, 1994):

1. Tek faktörlü deneyler,
2. Tam faktöriyel deney tasarımları,
3. Kısmi faktöriyel deney tasarımları.

Uygulamaların daha kolay anlaşılabilmesi için üç metod farklı örnekler üzerinde tartışılacaktır.

#### 5.5.1. Tek Faktörlü Deneyler

**Örnek:** Bir ürün geliştirme mühendisinin, üretmekte oldukları ipliğin gerilim direncinin, pamuk yüzdesine bağlı oluşu hakkında şüpheleri vardır. Bu nedenle deneysel tasarımı araç olarak kullanarak sonuca varmayı planlamaktadır. Bu amaçla, tek faktör tasarımı dahilinde 5 ayrı pamuk miktarını denediği ve her biri için 5 deneme yaptığı deneyi tasarlar. Deney uygulama sırasını rassallaştırıp, sonuçları aldığında Tablo 5.1' i elde etmiştir: (Gözlem sonuçlarında elde edilen seçilmiş tepki, iplikteki gerilme kuvvetidir. ( $\text{kg/cm}^2$  ))

Deney sonuçları elde edildikten sonra, varyans analizi yapılarak pamuk yüzdesinin gerilme kuvvetini değiştirip değiştirmediği saptanmalıdır. Kullanılan formüller ve çıkarılışları kalite kontrol, deneysel tasarım ve bir kısım istatistik kitaplarında mevcuttur. (Montgomery, 1991)

Tablo: 5.1. Gözlem Sonuçları

| GÖZLEMLER |    |    |     |    |    |         |                   |
|-----------|----|----|-----|----|----|---------|-------------------|
| %         | I  | II | III | IV | V  | TOPLAM  | ORTALAMA          |
| 15        | 7  | 7  | 15  | 11 | 9  | 49      | 9.8               |
| 20        | 12 | 17 | 12  | 18 | 18 | 77      | 15.4              |
| 25        | 14 | 18 | 18  | 19 | 19 | 88      | 17.6              |
| 30        | 19 | 25 | 22  | 19 | 23 | 108     | 21.6              |
| 35        | 7  | 10 | 11  | 15 | 11 | 54      | 10.8              |
|           |    |    |     |    |    | Y..=376 | $\bar{Y}..=15.04$ |

Varyans analizi için gerekli olan hesaplamalar aşağıda gösterilmiştir:

$$SS(T) = \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^5 y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{N}$$

$$SS(T) = (7)^2 + (7)^2 + (15)^2 + \dots + (11)^2 - \frac{(376)^2}{25} = 636.96$$

$$SS(\%) = \sum_{i=1}^5 \frac{y_i^2}{n} - \frac{y_{..}^2}{N}$$

$$SS(\%) = \frac{(49)^2 + \dots + (54)^2}{5} - \frac{(376)^2}{25} = 475.76$$

$$SS(E) = SS(T) - SS(\%) = 636.96 - 475.76 = 161.2$$

Sonuçlar Tablo 5.2' de özetlenmiştir.

Tablo 5.2. Varyans Analizi Sonuçları

| Değişme Kay. | SS     | DF | MS     | Fo    |
|--------------|--------|----|--------|-------|
| % Pamuk      | 475.76 | 4  | 118.94 | 14.76 |
| Hata         | 161.20 | 20 | 8.06   |       |
| Toplam       | 636.96 | 24 |        |       |

$F_0 = 14.76$  değeri,  $F_{.01,4,20} = 4.43$  değerinden büyük olduğundan, gerilim kuvvetine pamun yüzdesinin etkidiği kanıtlanmıştır. Aynı verileri kullanarak, toplamın ortalaması ve her bir pamuk yüzdesi için beklenen değerler hesaplanabilir.

$$\hat{\mu} = 376/25 = 15.04$$

$$\tau_1 = \bar{y}_1 - \bar{y}_.. = 9.80 - 15.04 = -5.24$$

$$\tau_2 = \bar{y}_2 - \bar{y}_.. = 15.40 - 15.04 = 0.36$$

$$\tau_3 = \bar{y}_3 - \bar{y}_.. = 17.6 - 15.04 = -2.56$$

$$\tau_4 = \bar{y}_4 - \bar{y}_.. = 21.6 - 15.04 = 6.56$$

$$\tau_5 = \bar{y}_5 - \bar{y}_.. = 10.8 - 15.04 = -4.24$$

Buraya kadar yapılan hesaplamalarda, pamuk yüzdesinin tepkiyi etkilediği bulunmuş ve ayrı pamuk yüzdeslerinin beklenen değerleri hesaplanmıştır. Bir de, istatistiksel olarak, bu ortalamaların birbirinden farklı olup olmadığı araştırılmalıdır. Bu amaçla kullanılan yöntemler aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Grafik karşılaştırma,
- Kontrastlar (Zıtlıkların karşılaştırılması),
- Ortogonal kontrastlar,
- Duncan'ın çoklu saha testi.

Bu çalışmada ortogonal kontrast çözümü verilecektir.

### **HİPOTEZ**

$$\mu_4 = \mu_5$$

$$\mu_1 = \mu_3$$

$$4\mu_2 = \mu_1 + \mu_3 + \mu_4 + \mu_5$$

$$\mu_1 + \mu_3 = \mu_4 + \mu_5$$

### **KONTRAST**

$$c_1 = -y_4 + y_5$$

$$c_2 = -y_1 + y_3$$

$$c_3 = -4y_2 + y_1 + y_3 + y_4 + y_5$$

$$c_4 = -y_1 - y_3 + y_4 + y_5$$

Verilen kontrastlar, aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$c_1 = -108 + 54 = -54$$

$$SSc_1 = (-54)^2/5.2 = 291.6$$

Diğer kontrast ve karelerin toplamı benzer şekilde hesaplanarak Tablo 5.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Kontrastlar için varyans analizi

| Değişme Kay. | SS     | DF | MS     | Fo    |
|--------------|--------|----|--------|-------|
| % Pamuk      | 475.76 | 4  | 118.94 | 14.76 |
| C1           | 291.60 | 1  | 291.60 | 36.18 |
| C2           | 0.81   | 1  | 0.81   | 0.10  |
| C3           | 31.25  | 1  | 31.25  | 3.88  |
| C4           | 152.10 | 1  | 152.10 | 18.87 |
| Hata         | 161.20 | 20 | 8.06   |       |
| Toplam       | 636.96 | 24 |        |       |

Sonuç olarak, 4 ve 5, 1 ile 3 'den farklıdır. Ancak 1 ve 3'ün ortalaması 4 ve 5'in ortalamasından farklı değildir. 2 ise diğerlerinin ortalamasından istatistik olarak farklı değildir.

#### ÖRNEK II:

Dört kimyacı bir kimyasal bileşikteki metil alkol oranını belirlemek üzere deneyler yapmışlardır. Gözlem sonuçları Tablo 5.4. ile verilerek çözüm gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Gözlem Sonuçları

|   | GÖZLEMLER |        |        | TOPLAM  | ORT.   |
|---|-----------|--------|--------|---------|--------|
| 1 | 84.990    | 84.040 | 84.380 | 253.410 | 84.470 |
| 2 | 85.150    | 85.130 | 84.880 | 255.160 | 85.053 |
| 3 | 84.720    | 84.480 | 85.160 | 254.360 | 84.787 |
| 4 | 84.200    | 84.100 | 84.550 | 252.850 | 84.283 |
|   |           |        |        | 1020.43 | 84.683 |

#### Hesaplamalar:

$$SS(T) = 85985.987 - 85984.084 = 1.903$$

$$SS(Kim) = 85985.129 - 85984.084 = 1.045$$

$$SS(E) = 0.858$$

**Sonuçlar:**

| Değişme K | SS    | DF     | MS    | Fo    |
|-----------|-------|--------|-------|-------|
| Kimyager  | 1.045 | 3.000  | 0.348 | 3.246 |
| Hata      | 0.858 | 8.000  | 0.107 |       |
| Toplam    | 1.903 | 11.000 |       |       |

Bu çözüm QuattroPro kullanılarak yapılmıştır. Benzer çözüm SAS 'de ( Statistical Analysis System) bir program yazılarak da yapılabilir. Programın çalıştırılmasıyla elde edilen çıktı, EK 1'de verilmiştir.

```
data gözlem;
  input type $ @;
  do I=1 to 3;
    input obs @;
    output;
  end;
cards;
A 84.9984.0484.38
B 85.1585.1384.88
C 84.7284.4885.16
D 84.2084.1084.55
options linesize=65;
proc print;
proc glm data=bobo;
  class type;
  model obs= type/p clm;
  means type/lsd cldiff alpha=0.01; means type/duncan
  alpha=0.01;
```

### 5.5.2. Tam Faktöriyel Deney Tasarımları

Birçok deneyde iki veya daha fazla faktörün incelendiği çalışmalar yapılır. Tam faktöriyeliliğin anlamı, tamamlanmış bir denemede veya replikasyonda, incelenen faktörlerin tüm kombinasyonlarının deneye dahil edildiği anlamındadır.

Faktör sayısı iki olduğunda,  $2^n$  (n faktör sayısı olmak üzere) adet deney yapılmak zorundadır. Ekte, (EK2) DOE paketi ile çözülmüş bir örnek verilmiştir. Bu problemde, 3 faktör olup, tam faktöriyel tasarım seçildiğinden 8 deney yapılmış ve sonuçları analiz edilmiştir.

Tam faktöriyel deneyler için ayrılacak zaman, kapital gibi kaynakların sınırlı olması halinde, deneyin planlı bir bölümünün yapıldığı kısmi faktöriyel tasarımlar kullanılır.

Bunlara örnek olarak bir esnek imalat sistem çizelgeleme simülasyonunun analizi (Okudan, 1994), bir işleme merkezinde metal işlemenin MasterCam kullanılarak, işleme değişkenlerinin etkilerinin analizi (Agarwal et al., 1994) yapılmıştır. Bir çok endüstri kolunda, özellikle kimya endüstrisinde örneklerine sıkça rastlanmaktadır.

## 6. ESNEK İMALAT SİSTEMLERİNDE ÇİZELGELEMAYA SİMÜLASYON YAKLAŞIMI VE SONUÇLARIN DENEY TASARIMI İLE ANALİZİ

### 6.1. Giriş

Esnek İmalat Sistemi içiçe geçmiş donanım ve yazılım bileşenleri ve palet, bağlama kesici takımlar gibi sınırlı durumdaki kaynakların oluşturduğu karmaşık bir sistemdir. Esnek imalat teknolojisi bir çok kesikli parça imalatçısı tarafından, yüksek maliyet ve düşük verimlilik problemlerinin giderilmesi için kullanılmaktadır. Fakat genelde çok gelişmiş, pahalı sistemler olan esnek imalat sistemlerinin kullanımı düşüktür. Bunun sebebi çok tecrübeli üretim sorumluları için bile EİS' nin verimli çalıştırılmasının çok zor olmasıdır. 1985 yılında Amerika'da EİS' nde sıralama ve çizelgeleme problemlerine artan ilgi ve üniversite-endüstri arasındaki bilgi akışının artırılmasını desteklemek amacıyla 22 EİS üzerinde bir araştırma yapılmıştır (Milton et al.).

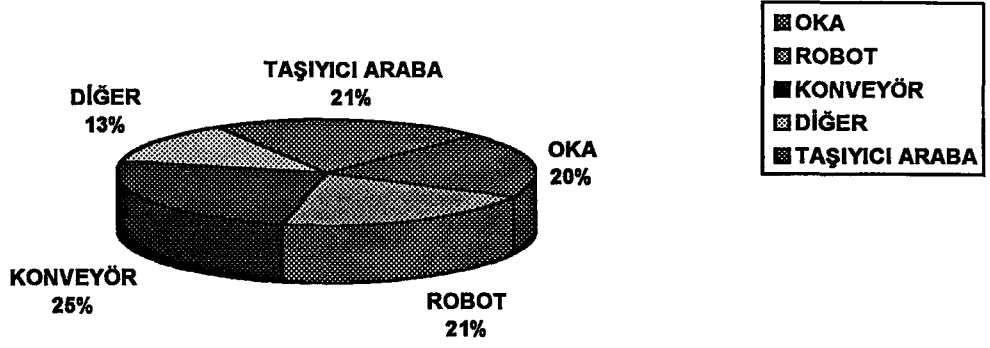
Araştırmanın temel amacı şöyle verilebilir:

- EİS kullanıcılarının tercih ettiği çizelgeleme kriterlerinin belirlenmesi,
- Çizelgeleme literatüründeki kriterlerin pratik kriterlere uyumlandırılması,
- Çizelgeleme yazılımlarının kullanımı ve sonuçların etkinliğinin araştırılması.

Araştırmanın sonuçları kısaca şöyle özetlenebilir:

- Araştırmaya katılan sistemlerin % 36'sı 100 den fazla parça tipi üretmektedir.
- Sistemlerin % 47' sinde üretim partiler halindedir.
- Sistemlerin % 50' sinde 50' den fazla parti vardır.
- Parti değiştirme sıklığı; sistemlerin % 63' ünde günlük ve geri kalanında ise aylık ve haftalık olarak yapılmaktadır.

• Malzeme taşıma sistemleri: Malzeme taşıma sistemlerinin sistemler arasındaki dağılımı şekil 6.1. de verilmiştir.



Şekil 6.1. Kullanılmakta olan MTS sistemlerinin dağılımı

- Sistemlerde gerçekleştirilen fonksiyonlar:

|                      |     |
|----------------------|-----|
| 1. Kesme             | %84 |
| 2. Şekillendirme     | %16 |
| 3. Montaj            | %11 |
| 4. Kalite Kontrol    | %42 |
| 5. Temizleme/Finisaj | %37 |
| 6. Diğerleri         | %05 |

Genelde EİS'nin % 75' i metal kesme işlemleri için kullanılır. Bunun dışında, % 15' i şekillendirme ve % 10' luk kısım ise montajda kullanılmaktadır.

- Sistem kriterleri, puanlandırılarak önem sırasına konmuştur. Bunlar Tablo 6.1'de verilmektedir.

Tablo: 6.1. Uygulamadaki EİS' leri için önemli kriterler.

| ÖNEM SIRASI | KRİTERİN AÇIKLAMASI                         | PUAN |
|-------------|---------------------------------------------|------|
| 1           | Teslim zamanı                               | 57   |
| 2           | Sistem ve tezgah kullanımında maksimizasyon | 44   |
| 3           | Proses içi envanerde minimizasyon           | 23   |
| 4           | Üretim oranlarının maksimize edilmesi       | 13   |
| 5           | Hazırlık zamanlarının minimizasyonu         | 13   |
| 6           | Akış zamanlarının minimizasyonu             | 8    |
| 7           | Tezgah dengeleme                            | 3    |

- Kapital yatırımı:

|                          |      |
|--------------------------|------|
| 0.75-4.00 (Milyon Dolar) | %32  |
| 4.00-10.00               | %16  |
| 10.00-25.00              | %52. |

- Sistem kullanım oranları % 30' lardan % 90' lara kadar değişmektedir.

Araştırmanın sonucunda görülmüştür ki, birçok firma için teslim zamanı en önemli kriterdir. Teslim zamanını, sistem kullanımının arttırılması ve proses içi envanterin azaltılması izlemektedir.

Öte yandan, araştırmacıların geliştirdiği algoritmaların, endüstrinin ihtiyaçlarını tam olarak karşılayamadığı anlaşılmıştır. Çünkü literatürde, teslim zamanlarını ele alan çok az çalışma vardır. İlginç olan diğer bir nokta da, kullanıcılara göre hat dengeleme veya akışın kısaltılması gibi kriterlerin pek önemli olmadığıdır.

Bu çalışmanın dahilinde, yukarıdaki araştırma sonuçlarına dayanan bir çizelgeleme geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem SIMAN V ile simüle edilip, deneysel tasarım ile analizi yapılmıştır.

## 6.2. Teslim Süresi Esaslı Çizelgeleme

Çizelgeleme çalışmalarında rastlanan iki önemli hata ya da eksiklik (Kusiak, 1985) şunlardır:

- Fabrikasyon, işleme, montaj altsistemleri bağımsız olarak ele alınmıştır. Pratikte ise, genelde ikisi ve hatta üçü bağlantılıdır.

İşleme sistemiyle montaj sisteminin bağıntılandırılması için ilk çalışmalardan biri Kusiak (1985a) tarafından yapılmıştır. Bağlantı, çizelgeleme periyodunu işleme ve montaj periyotlarına ayırmak ve montaj ihtiyacına göre işleme için parçaları gruplamakla yapılmıştır.

- Çizelgeleme sadece parçalar ve makinalar için sınırlı kalmaktadır. Fakat çizelgeleme problemi bunlardan ibaret değildir. Kesici takımlar, takım magazinleri, bağlamalar, paletler ve malzeme taşıma elemanları da çizelgelenmelidir.

Üretim planlama problemlerinin çözümü için temelde iki yaklaşım kullanılmaktadır:

1. Planlama problemlerini oldukları gibi modellemek ve çözmek,
2. Toplam problemi parçalama.

Karmaşıklığından dolayı, birinci yaklaşımın esnek imalat problemlerine uygulanması mümkün değildir. İlk imkansızlık, tam problemin formüle edilme güçlüğüdür. İkinci olarak ise, formüle edilmiş olsa bile çözümü ve kullanımı pratik olmayabilir. Son olarak verilerin toplanması ve derlenmesi, elde edilecek faydalardan daha yüksek maliyetli olabilir.

Kusiak (1986), problemi iki altprobleme ayırmıştır:

1. Temel çizelgeleme problemi (Düzey 2),
2. Detaylı çizelgeleme problemi (Düzey 1).

Temel çizelgelemede, ürünler çizelgelenirken; düzey 1 de ise, bu ürünlerin imalatı için gerekli bütün işler çizelgelenir. Düzey 1 için Kusiak, hüristik bir algoritma geliştirmiştir. Bu yaklaşımın optimallığı garanti edilmemekle birlikte, uygulaması çok kolaydır.

### 6.2.1. Temel Çizelgeleme Problemi

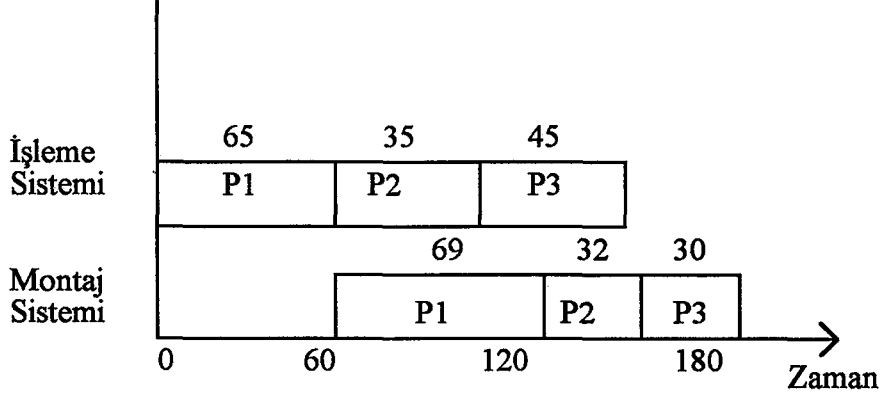
Kusiak, problemin bu kısmını, iki makina için çizelgeleme problemi olarak ele almıştır. Yaklaşım, bir örnek üzerinde verilmeye çalışılacaktır. Problemin bu kısmının tek varsayımı, montaj sürelerinin belirli olmasıdır.

**Örnek:** Sistem zamanının minimize edilmeye çalışıldığı, üç ürün için temel çizelgeleme problemini gözönüne alınız. Gerekli zaman bilgileri aşağıda verilmiştir:

|                            |    |    |    |
|----------------------------|----|----|----|
| <b>Parça Numarası:</b>     | P1 | P2 | P3 |
| <b>İşleme Top. Zamanı:</b> | 35 | 65 | 45 |
| <b>Montaj Top. Zamanı:</b> | 32 | 69 | 30 |

Bu verilere Johnson Kuralı'nı uyguladığımızda, elde edilen sonuç Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo: 6.2. Temel Çizelgeleme Problemi Çözümü



### 6.2.2. Detaylı Çizelgeleme Problemi

Detaylı çizelgeleme probleminin ayrıntılarına girmeden, bazı terimler tanımlanmalıdır: Ürün önceliği, iş önceliği ve iş çizelgelenebilirliği.

- **Ürün Önceliği:** Öncelik  $PP_k$ ,  $k$  ürünü için şu şekilde tanımlanır:

$$PP_k = M - q$$

Burada;  $M$ , büyük bir tamsayı,  $q$  temel çizelgelemede, işleme sistemi için ürün numarasıdır.

Örneğimizdeki durum için öncelikler:  $M = 10$  alındığında;

$$PP_2 = 10 - 0 = 10$$

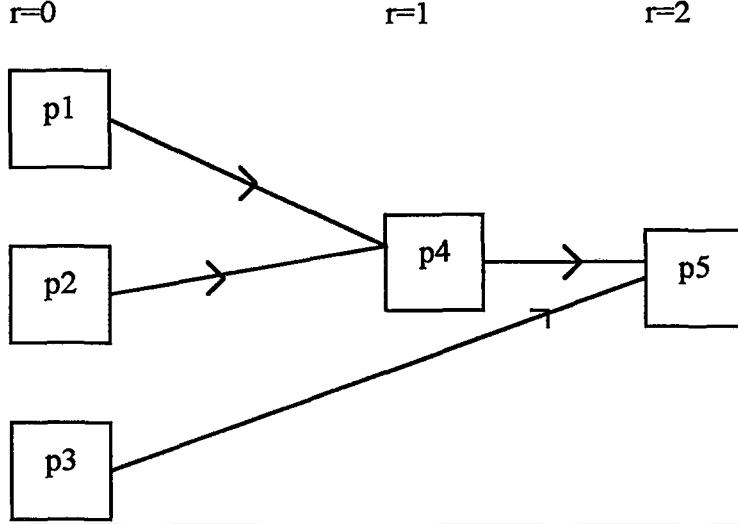
$$PP_1 = 10 - 1 = 9$$

$$PP_3 = 10 - 2 = 8 \text{ gibidir.}$$

- **İş Önceliği:**  $I$  işi için,  $ppi = M - r$  şeklinde tanımlanır.

**Örnek:** Bir  $P$  ürünün,  $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5$  parçalarından oluşan, üç montaj düzeyi olduğunu düşünelim. (Tablo 6.3)

Tablo 6.3. P ürünü için montaj şeması



Yine  $M = 10$  alınarak;

$$pp1 = 10 - 0 = 10$$

$$pp2 = 10 - 0 = 10$$

$$pp4 = 10 - 1 = 9$$

$$pp5 = 10 - 2 = 8$$

PP3 için 10 veya 9 değeri kabul edilebilir.

Eğer acil siparişler söz konusu ise, öncelik değerlerine daha büyük değerler atanabilir.

- **Çizelgelenebilirlik Durumu:** Bunun için ikili sistemde bir vektör tanımlanır.

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{i4}, x_{i5})$$

Burada;  $X_i$ ' ler ile verilen koşulların hepsi olumlu ise, vektör 1 değerini üretir. Aksi halde, tüm koşullar sağlanana kadar çizelgelenebilirlik vektörü 0 değerini üretecektir. Buradaki beş koşul sırasıyla şunlardır:

1. İş, işleme sırasına / önceliklerine uygun mudur?
2. İş, çizelgelenmeye hazır mıdır?

3. İş için gerekli palet ve bağlamalar mevcut mudur?
4. İş için gerekli kesici takımlar mevcut mudur?
5. İşin taşınması için gerekli malzeme taşıma birimi serbest midir?

### **ALGORİTMA:**

**Adım 1:** Üretilecek mamüller için temel çizelgeleme yapılır. Ürün ve iş önceliklerinin ilk değerleri bulunur. İterasyon numarası 1'dir.

**Adım 2:** İki tane çizelgelenmemiş işler listesi oluşturulur:

- Çizelgelenebilirlik durumunun 1 olduğu aktif liste,
- Çizelgelenebilirlik durumunun 0 olduğu bekleme listesi.

Bekleme listesindeki işlerin durumu 1 olduğunda aktif listeye aktarılır.

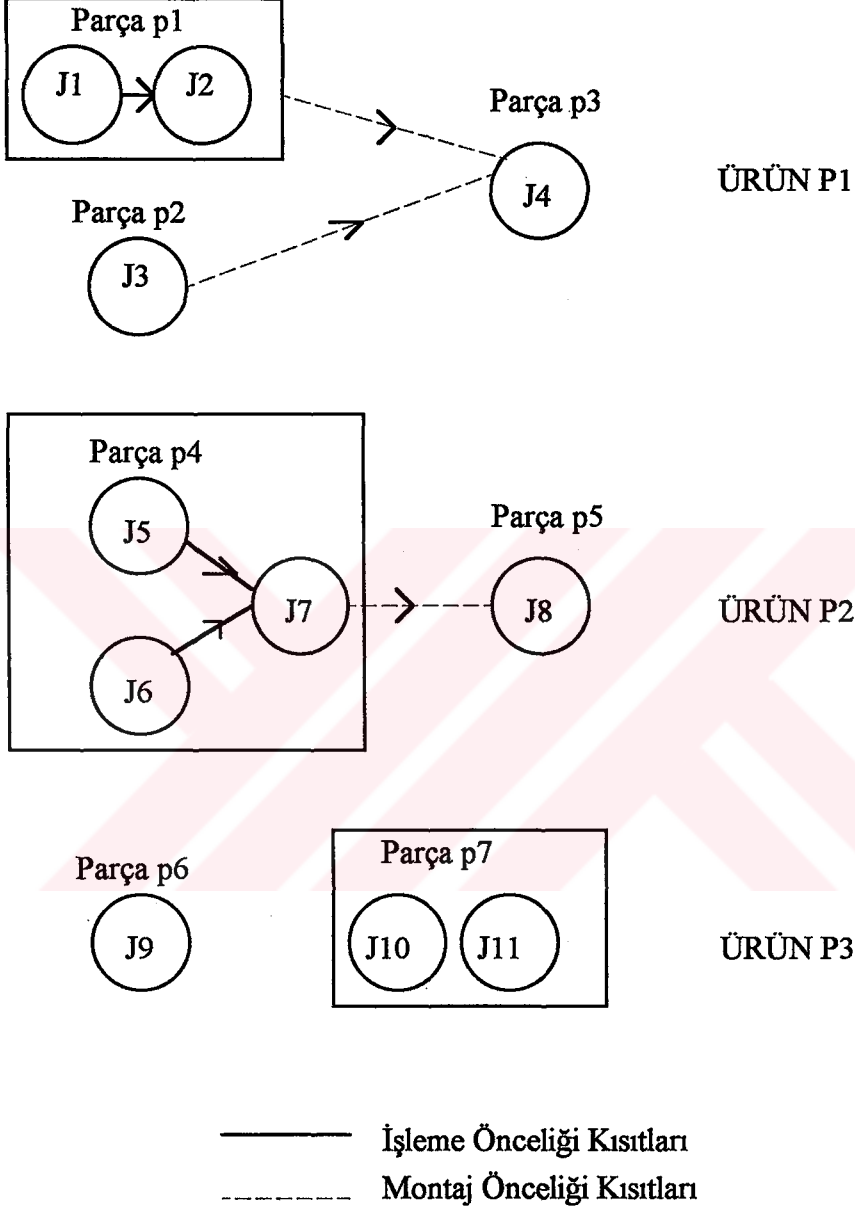
**Adım3:** Aktif listeden aşağıdakileri seçiniz:

- Ürün önceliğinin maksimum değeri,
- İş önceliğinin maksimum değeri.

**Adım 4:** Seçilmiş altküme için beklemeyi en azlayacak işler çizelgelenir.

Bu algoritmayı örnek üzerinde inceleyelim. Çizelgelenecek parçalar Tablo 6.4.' de verilmiştir.

Tablo 6.4. Çizelgelenecek ürünler için montaj şeması.



Bu montaj şemasına ilişkin çizelgeleme verilerinin Tablo 6.5. ile verildiğini biliyoruz.

Tablo 6.5. Çizelgeleme Verileri

| İş  | Durum | Parça No | Parça Önceliği | Ürün No | Ürün Ön. | Tez.No. | İşleme Za |
|-----|-------|----------|----------------|---------|----------|---------|-----------|
| J1  | 1     | p1       | 10             | P1      | 9        | 3       | 22        |
| J2  | 0     | p1       | 10             | P1      | 9        | 3       | 12        |
| J3  | 1     | p2       | 10             | P1      | 9        | 1       | 35        |
| J4  | 1     | p3       | 9              | P1      | 9        | 2       | 22        |
| J5  | 1     | p4       | 10             | P2      | 10       | 3       | 17        |
| J6  | 1     | p4       | 10             | P2      | 10       | 1       | 25        |
| J7  | 0     | p4       | 10             | P2      | 10       | 2       | 20        |
| J8  | 1     | p5       | 9              | P2      | 10       | 2       | 45        |
| J9  | 1     | p6       | 10             | P3      | 8        | 1       | 45        |
| J10 | 1     | p6       | 10             | P3      | 8        | 2       | 38        |
| J11 | 1     | p7       | 10             | P3      | 8        | 3       | 15        |

1. Çözüm için öncelikle temel çizelgeleme tablosu ele alınır. Tablo 6.4.' de 4. ve 6. kolonlarda verilen öncelik değerleri hesaplanır.

2. Çizelgelenbilirlik durumu araştırılır. Sadece iş 7 ve 2, bekleme listesindedir. Diğerleri aktif listede olup, çizelgelemeye hazırdırlar.

3. Aktif listeden,  $PP5 = PP6 = 10$  ve  $pp5 = pp6 = 10$  işleri çizelgelenmek üzere seçilir.

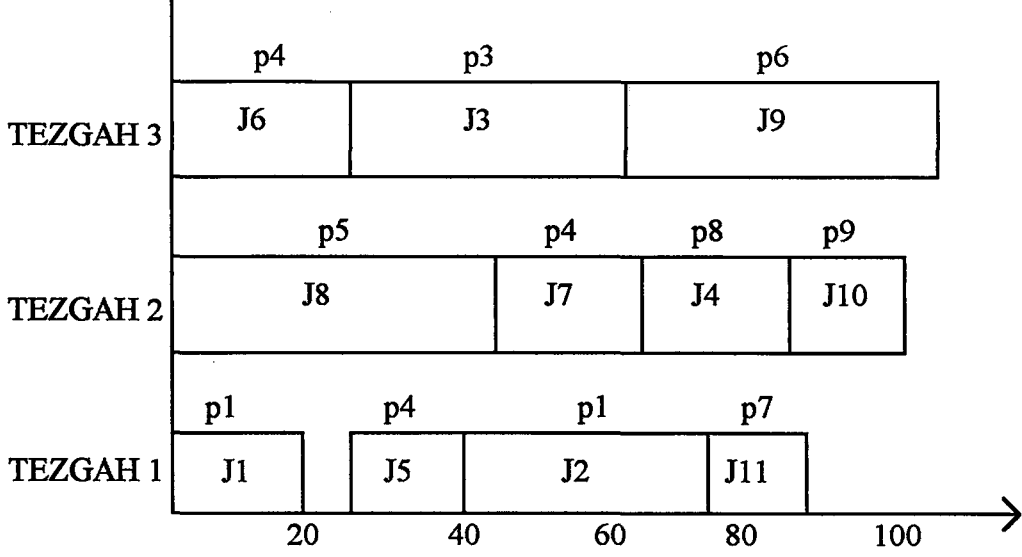
4. J6, birinci tezgaha ve J5, üçüncü tezgaha çizelgelenir. Burada iterasyon 1 tamamlanmış olur.

5. J5 ve J6, aktif listeden çıkarılır.

6. J8 seçilir.

7. J8 ikinci makinaya çizelgelenir.

İterasyonların sonunda elde edilen çizelge, aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.



Şekil 6.2: Sonuç Çizelgeleme İçin Gantt Şeması

Şekilden görüleceği üzere, birinci ve ikinci tezgahların kullanımı % 100 'dür. Üçüncü tezgah ise, kısa bir zaman için boşta kalmaktadır. Bu durumda, tezgahların boşta kalan zamanları için neler yapılabileceği sorusu akla gelir. Eğer, boşluklar yeterince uzunsa, ilk çizelgelemede yer almayan işler yapılabilir. Tezgah ve ekipmanların bakımı için de belirli bir zamana gerek duyulacağı unutulmamalıdır.

Geliştirilen bu algoritma, statik ve dinamik durumlar için kullanılabilir. Statik çizelgelemede, gerekli kaynak miktarları hesaplanabilir. Dinamik durumda ise, olası durumlar için kaynak değerlendirilmesi yapılabilir.

### 6.3. Geliştirilen Çizelgeleme Yaklaşımı

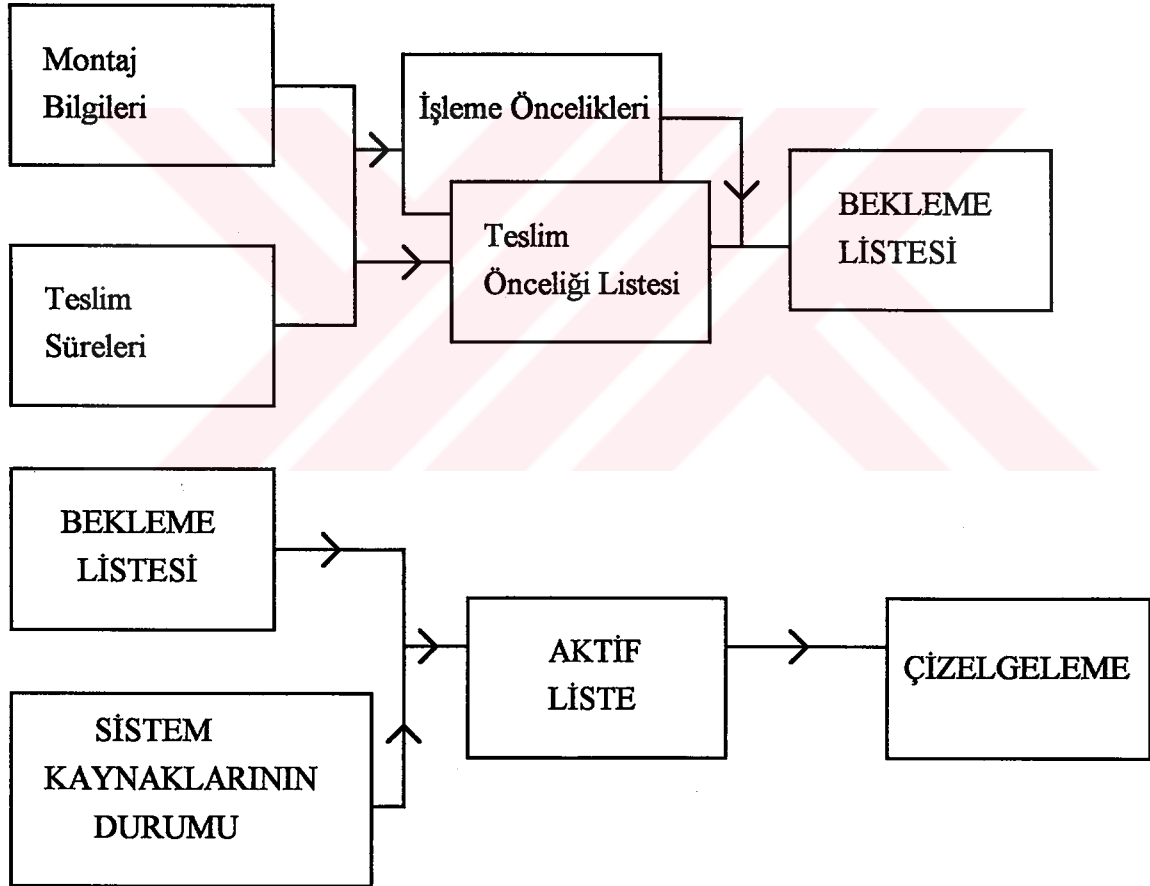
Bu çalışmada geliştirilen çizelgeleme yaklaşımının temelinde, bölüm 6.1. 'de verilen araştırma sonuçlarından (Milton et al.,1985) ikisi vardır. Bunlar:

1. Esnek imalat sistemleri kullanan imalatçılar için, en önemli kriter teslim zamanlarıdır. Hatta teslim zamanları, sistemde kullanılan tezgah kullanımlarının maksimizasyonlarından daha önemlidir.

2. Siparişlerin zamanında teslim edilebilmesi için, montajın bitim zamanı gözönüne alınmalı ve çizelgeleme buna göre yapılmalıdır.

Kusiak' ın yukarıda verilen hiyerarşik çizelgelemesi, işleme ve montajı birlikte gözönüne aldığından ve de teslim süreleri esaslı olduğundan, tasarladığımız çizelgelemeye benzemektedir. Ancak, hiyerarşik olması nedeniyle yeterince pratik olduğu düşünülmemektedir. Çünkü, önce temel problemin çözümü yapılmakta, Johnson Kuralı kullanılarak montaj önceliği belirlenmektedir. Daha sonra, detaylı çizelgelemeye geçilmektedir. Ayrıca, acil imalatlar için çizelgelemeye pek olanak tanınmamaktadır.

Bu çalışmada geliştirilen anında çizelgeleme sisteminin ana hatları şekil 6.3. ile ifade edilebilir.



Şekil 6.3. Geliştirilen Çizelgeleme Mantığı

Eldeki sipariş listelerinde, siparişin ne zaman teslim edileceği bulunmaktadır. Ayrıca, ürünün montaj şemasında ve ilgili proses bilgilerinde, işlem öncelikleri bilinmektedir. Bu durumda, ürün öncelikleri ve işleme öncelikleri, siparişin alınmasından sonra "İşleme Önceliği Listesi" ve "Teslim Önceliği Listesine" işlenir.

Adı geçen iki listedeki bilgilerden yararlanılarak, "Bekleme Listesi" oluşturulur. Bekleme listesindeki sıra Kusiak' ın kullandığı, ürün önceliği ve işleme önceliği hesapları uyarınca belirlenir.

- **Ürün Önceliği:** Öncelik PPk, k ürünü için şu şekilde tanımlanır:

$$PPk = M - q$$

Burada; M, büyük bir tamsayı, q temel çizelgelemede işleme sistemi için ürün numarasıdır.

Örneğimizdeki durum için öncelikler: (M = 10)

$$PP2 = 10 - 0 = 10$$

$$PP1 = 10 - 1 = 9$$

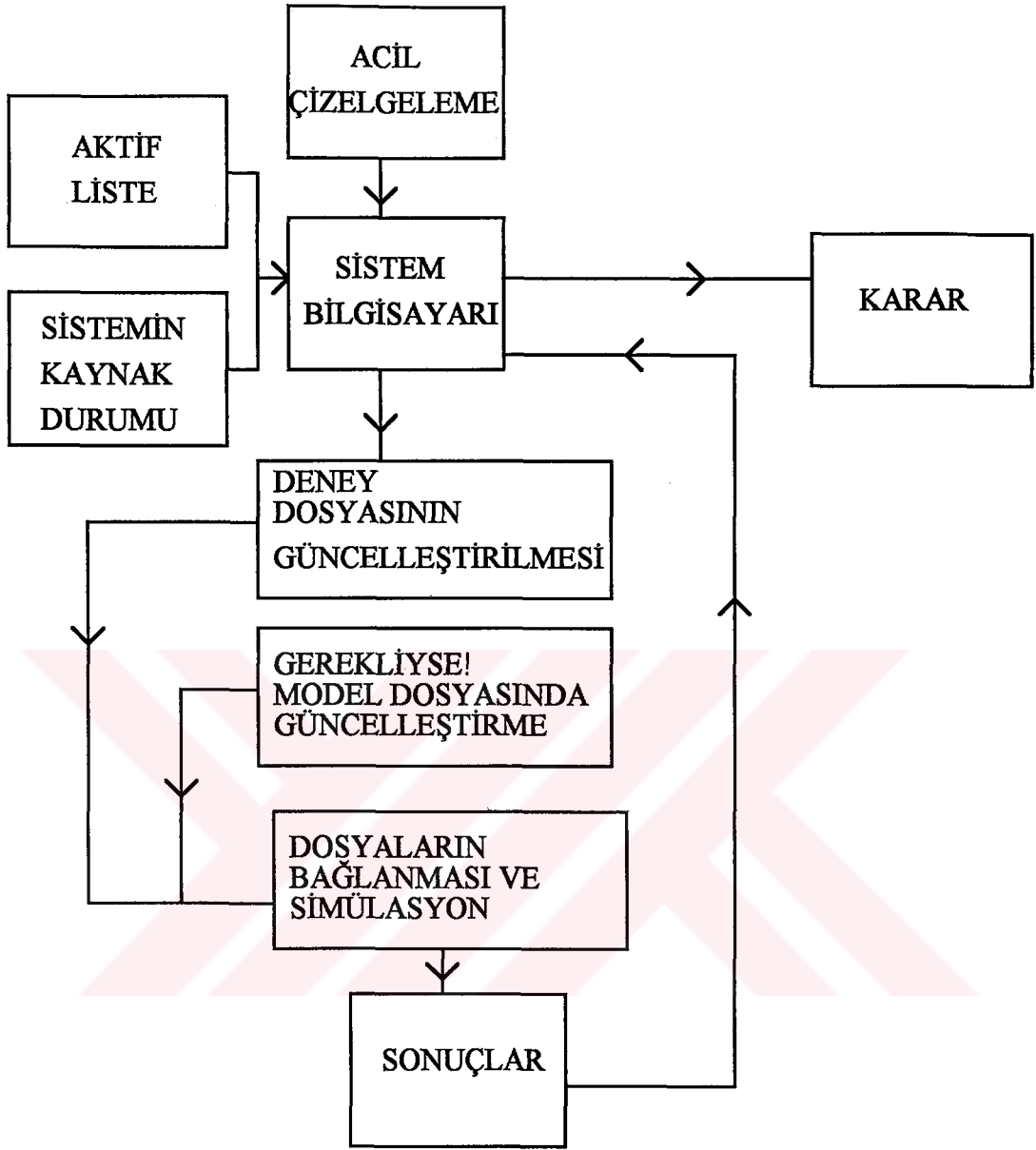
$$PP3 = 10 - 2 = 8$$

- **İş Önceliği:** İ işi için, ppi = M - r şeklinde tanımlanır.

Bekleme listesi belirlendikten sonra, imalat sistemindeki kaynak durumları incelenir. Bu incelemede sistemdeki palet ve bağlama sayısı, kullanılır durumdaki tezgah sayıları, kesici takım sayısı ve makinalara göre dağılımı gibi pek çok, kaynaklara ilişkin sayısal değer dikkate alınmalıdır.

Burada, çizelgeleme probleminin çözümüne dahil edilmediği halde, taşıyıcıların sayısı ve kullanılabilirliği, farklı tegahlarda işleme hızları ve verim oranları da dikkate alınabilir. İlgili kısıtlar, şekil 6.4 ' de verilen "Sistem Kaynaklarının Durumu" ' na eklenebilir. Bunlar, anında çizelgelemede zorunlu olarak değerlendirmeye alınacaktır.

Sistem değişikliklerine hemen cevap verilebilmesi ve eldeki koşullarla maksimum verimliliğin elde edilmesi için anında çizelgeleme kullanılacaktır. Bu amaçla, sistem değişikliklerinin sonuçlarını inceleyen bir simülasyon kullanılmalı ve simülasyon sonuçlarına dayalı kararlar alınmalıdır. Bu tasarıya ilişkin, simülasyon programı SIMAN ile yazılmıştır. Anında çizelgeleme akışı şekil 6.4. ile ifade edilebilir



Şekil 6.4. Geliştirilen Anında Çizelgeleme Modeli

Yukarıdaki şekilden görüleceği üzere, simülasyon sonuçları merkezi bilgisayarda değerlendirilmektedir. Tasarladığımız sistemde, bu değerlendirmelere deneysel tasarımın da eklenmesi öngörülmektedir.

Tasarlanan deneye göre, sistem kaynaklarındaki değişmelerin sisteme etkisi merkezi bilgisayarda analiz edilerek sistem performansını arttırmak açısından daha sağlıklı sonuçlar verilebilir.

Geliştirilen çizelgeleme ve buna ek olarak planlanan deneysel tasarımın işleyişi bir örnek üzerinde gösterilerek anlaşılması kolaylaştırılmaya çalışılmıştır.

### **ÖRNEK:**

Geliştirilen çizelgeleme aşağıda, kaynak itibariyle detaylandırılarak sistem üzerinde kullanılacaktır. Çizelgeleme sonuçları, deneysel tasarımla incelenecek, önerilerde bulunulacaktır.

### **SİSTEM KAYNAKLARI:**

- **Tezgahlar:** Sistemde birbirinin tamamen aynısı olmak üzere dört adet tezgah bulunmaktadır. İşlemelere göre belirli bir rotanın olmaması problemi daha da karışık bir hale getirmektedir. Tezgahların herhangi bir sebeple devre dışı kalmaları ihmal edilmiştir. Ancak önerilen sistem bu gibi değişiklikleri kapsamaktadır.
- **Paletler:** Her iş veya ürün için aynı tip palet kullanıldığı varsayılmıştır.
- **Bekleme Bölgeleri:** Her tezgah önünde belirli kapasitesi olan bekleme bölgeleri vardır. Hazırlanan işler, işlenmek üzere bu bölgelere yerleştirilir.
- **Kesici Takımlar:** İşler için gerekli kesici takımlar ayrı ayrı ele alınmamıştır. Ancak sistemdeki takım dolaşımı, bir magazin olarak ele alınabilir. Ayrı ayrı ele alınması gerektiği durumlarda ise, karşılaştırmalarda artışla, bu problem de çözülebilir.

### **SİSTEMDE İŞLENECEK ÜRÜNLER**

Kusiak' ın çizelgeleme örneğinde kullandığı ürün karışımının aynısı ele alınmıştır. Ancak, üretim için belirli oranlar verilmiştir. Ürün karışımı Tablo 6.4. ile verilmiştir. Bu ürünlerden birincisi toplam hacmin % 34.5' i, ikincisi % 11.5' i ve üçüncüsü ise % 54.0 oranlarıyla imal edilecektir.

Çizelgeleme için simülasyon SIMAN ile yazılmıştır. Model ve deney dosyaları aşağıda verilmektedir:

! MODEL FRAME

BEGIN,NO;

CREATE:ED(1):MARK(ArrTime);

ASSIGN:JobType=ED(2);

```

IF: JobType==5;
DELAY:ED(12):NEXT(JOBLINE);
ELSEIF: JOBTYP==6;
DELAY:ED(13):NEXT(JOBLINE);
ELSEIF: JOBTYP==7;
DELAY:ED(23):NEXT(JOBLINE);
ELSEIF: JOBTYP==8;
DELAY:ED(14):NEXT(JOBLINE);
ELSEIF: JOBTYP==3;
DELAY:ED(15):NEXT(JOBLINE);
ELSEIF:JOBTYP==1;
DELAY:ED(16):NEXT(JOBLINE);
ELSEIF:JOBTYP==2;
DELAY:ED(24):NEXT(JOBLINE);
ELSEIF:JOBTYP==4;
DELAY:ED(17):NEXT(JOBLINE);
ELSEIF:JOBTYP==9;
DELAY:ED(18):NEXT(JOBLINE);
ELSEIF:JOBTYP==10;
DELAY:ED(19):NEXT(JOBLINE);
ELSEIF:JOBTYP==11;
DELAY:ED(20):NEXT(JOBLINE); ELSE;
ENDIF;

```

JobLine QUEUE, JobQ,5,Eject;

PalLine QUEUE, PalletQ,8,Eject;

SEIZE: Pallet;

ToolLine QUEUE, ToolsQ,4,Eject;

SEIZE: Tool;

PickMach PICKQ,SNQ,Eject:

Mach1:

Mach2:

Mach3:

Mach4;

Mach1 QUEUE,Machine1Q,4,Eject;

SEIZE: Machine1: NEXT(ProcessTime);

Mach2 QUEUE,Machine2Q,4,Eject;

SEIZE: Machine2: NEXT(ProcessTime);

Mach3 QUEUE,Machine3Q,4,Eject;

SEIZE: Machine3: NEXT(ProcessTime);

Mach4 QUEUE,Machine4Q,4,Eject;

SEIZE: Machine4: NEXT(ProcessTime);

```

ProcessTime    BRANCH,1:
                IF, JobType==1, Delay1:
                IF, JobType==4, Delay1:
                IF, JobType==2, Delay2:
                IF, JobType==3, Delay3:
                IF, JobType==5, Delay4:
                IF, JobType==6, Delay5:
                IF, JobType==7, Delay6:
                IF, JobType==8, Delay7:
                IF, JobType==9, Delay7:
                IF, JobType==10, Delay8:
                IF, JobType==11, Delay9;

Delay1          DELAY:ED(3): NEXT(Rel);
Delay2          DELAY:ED(4): NEXT(Rel);
Delay3          DELAY:ED(5): NEXT(Rel);
Delay4          DELAY:ED(6): NEXT(Rel);
Delay5          DELAY:ED(7): NEXT(Rel);
Delay6          DELAY:ED(8): NEXT(Rel);
Delay7          DELAY:ED(9): NEXT(Rel);
Delay8          DELAY:ED(10):NEXT(Rel);
Delay9         DELAY:ED(11):NEXT(Rel);

Rel            IF: NR(Machine1)==1;
                RELEASE: Machine1:
                Pallet:
                Tool;
                ELSEIF:NR(Machine2)==1;
                RELEASE: Machine2:
                Pallet:
                Tool;
                ELSEIF:NR(Machine3)==1;
                RELEASE: Machine3:
                Pallet:
                Tool;
                ELSEIF:NR(Machine4)==1;
                RELEASE: Machine4:
                Pallet:
                Tool;
                ELSE;
                ENDIF;

DONE           TALLY:FLOWTIME,INT (ARRTIME) ;
                TALLY:EXITPERIOD,BET;
                COUNT:JOBTYPE,1:
                DISPOSE;

Eject          COUNT: Ejections:
                DISPOSE;

```

## ↓ EXPERIMENT FRAME

BEGIN,NO;

PROJECT,THESIS,GUL;

ATTRIBUTES: ArrTime:  
JobType;RESOURCES: Machine1,1:  
Machine2,1:  
Machine3,1:  
Machine4,1:  
Pallet,8:  
Tool,8;QUEUES: Machine1Q:  
Machine2Q:  
Machine3Q:  
Machine4Q:  
JobQ:  
PalletQ:  
ToolsQ;COUNTERS: Job 1 Count:  
Job 2 Count:  
Job 3 Count:  
Job 4 Count:  
Job 5 Count:  
Job 6 Count:  
Job 7 Count:  
Job 8 Count:  
Job 9 Count:  
Job 10 Count:  
Job 11 Count:  
Ejections;EXPRESSIONS:1,,EXPO(5,1):  
2,,DISC(.1,1,.2,2,.3,3,.4,4,.433,5,.466,6,.5,7,.53  
3,8,.689,9,.845,10,1.0,11):  
3,,22:  
4,,12:  
5,,35:  
6,,17:  
7,,25:  
8,,20:  
9,,45:  
10,,38:  
11,,15:  
12,,1:  
13,,5:  
14,,10:  
15,,15:  
16,,20:  
17,,25:

```

18,,30:
19,,35:
20,,40:
21,,0.1:
22,,0.1:
23,,1:
24,,1;

```

```

TALLIES: FlowTime:
          ExitPeriod;

```

```

DSTATS: NR(1):
          NR(2):
          NR(3):
          NR(4);

```

```

REPLICATE,1,10,2400;

```

Deney dosyasından görülebileceği üzere, sistem 2400 dakika için simüle edilmiştir. Simülasyonda, önceliklere göre işlenme sıraları belirlenmiş olan işler, herbiri aynı tezgahlardan oluşan sisteme gönderilmektedir. İşlerin tezgahlara gönderilişi, iş kuyruğundaki ilk işin, ilk önce boşalan tezgaha gönderilmesiyle yapılmaktadır.

Deney dosyasında, istenen istatistik değerler, dört tezgah için kullanım oranlarıdır. Montaj sayısı da burada istenebilecek diğer değerlerden biridir.

Simülasyonda kullanılan işler ve işleme zamanları, montaj ve teslim süresi ihtiyaçlarına aynen uyulmuştur. Veriler Tablo 6.4. ve deney dosyası değişkenleri ile karşılaştırılabilir.

Deney ve model dosyalarının bağlanarak çalıştırılması sonucunda, çıktı dosyaları elde ederiz. Yukarıdaki değerlerle elde edilen çıktı dosyası aşağıda verilmiştir.

SIMAN V - License #9410788  
Engineering Management Department

Summary for Replication 1 of 1

Project: THESIS  
Analyst: GUL

Run execution date : 12/14/1994  
Model revision date: 12/14/1994

Replication ended at time : 2410.0

TALLY VARIABLES

| Identifier | Average | Variation | Minimum | Maximum | Observations |
|------------|---------|-----------|---------|---------|--------------|
| FlowTime   | 94.681  | .30845    | 18.000  | 219.47  | 337          |
| ExitPeriod | 6.9665  | .75277    | .08258  | 27.190  | 336          |

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

| Identifier | Average | Variation | Minimum | Maximum | Final Value |
|------------|---------|-----------|---------|---------|-------------|
| NR(1)      | .97375  | .16417    | .00000  | 1.0000  | 1.0000      |
| NR(2)      | .98298  | .13160    | .00000  | 1.0000  | 1.0000      |
| NR(3)      | .97290  | .16690    | .00000  | 1.0000  | 1.0000      |
| NR(4)      | .96020  | .20359    | .00000  | 1.0000  | 1.0000      |

COUNTERS

| Identifier   | Count | Limit    |
|--------------|-------|----------|
| Job 2 Count  | 36    | Infinite |
| Job 3 Count  | 41    | Infinite |
| Job 4 Count  | 33    | Infinite |
| Job 5 Count  | 16    | Infinite |
| Job 6 Count  | 11    | Infinite |
| Job 7 Count  | 13    | Infinite |
| Job 8 Count  | 11    | Infinite |
| Job 9 Count  | 46    | Infinite |
| Job 10 Count | 47    | Infinite |
| Job 11 Count | 46    | Infinite |
| Ejections    | 144   | Infinite |

Execution time: 0.02 minutes.  
Simulation run complete.

## 6.4. Çizelgelemenin Deneysel Tasarım İle Analizi

### 6.4.1. Giriş

Önerilen çizelgelemenin simülasyonu yukarıda görüldüğü biçimde yapılmıştır. Hemen akla gelebilecek sorulardan biri; makina sayısı, palet ve bağlamaların sayısı, bekleme bölgelerinin genişliği gibi sistem değişkenlerinin, amaçlanan kriter performansını etkileyip etkilemediğidir. Bu soru, "Eğer sistemde herhangi bir kaynak sayısında değişiklik olursa, performans nasıl etkilenir?" olarak da yorumlanabilir. Kısaca, bu sorular yanıtlanmalıdır. Bu amaçla deneysel tasarım seçilmiştir.

Deneysel tasarım hakkında beşinci bölümde kısaca bilgi verilmiş olduğundan, burada direkt olarak probleme geçilecektir.

### 6.4.2. Deney Tasarımı

Sistemde uygulanan çizelgeleme performansını etkileyebileceği düşünülen faktörler şöyle sıralanabilir:

1. İşlerin hazırlık zamanı,
2. Sistemdeki palet sayısı,
3. Sistemdeki kesici takım küme sayısı,
4. Sistemde kullanılabilir işleme merkezi sayısı,
5. İş parçalarının paletlenmesi için gerekli bekleme alanının genişliği,
6. Her işleme merkezine ait işlenmemiş parça bekleme alanı,
7. Sisteme girmek üzere aynı anda bekletilebilecek parça sayısı,
8. Kesici takım kuyruğunun kapasitesi.

Analizde kullanılacak faktör düzeyleri Tablo 6.6.' da verilmiştir.

Tablo: 6.6. Faktör düzeyleri

| FAKTÖR | ALT SEVİYE | ÜST SEVİYE |
|--------|------------|------------|
| 1      | 5 dakika   | 10 dakika  |
| 2      | 4 birim    | 8 birim    |
| 3      | 4 birim    | 8 birim    |
| 4      | 3 adet     | 4 adet     |
| 5      | 6 birim    | 8 birim    |
| 6      | 4 birim    | 6 birim    |
| 7      | 5 birim    | 10 birim   |
| 8      | 4 birim    | 8 birim    |

Faktör sayısı sekiz olduğundan ve her faktör için iki düzey analize dahil edileceğinden tam faktöriyel tasarım yapılamayacaktır. Çünkü eğer tam faktöriyel tasarım seçilirse,  $2^8 = 256$  adet deney yapılmak durumundadır. Bu ise, gerçek hayatta zaman ve maliyetler açısından imkansızdır. Bu nedenle, kısmi faktöriyel tasarım kullanılacaktır.

Seçilen tasarım,  $2^{8-4}$  kısmi faktöriyel tasarımıdır. Buna göre, farklı kombinasyonlardan oluşan 16 deney yapılacaktır. Kısmi faktöriyel tasarımın benzerlik yapısı aşağıdaki şekilde verilebilir:

$I = BCDE = ACDF = ABEF = ABCG = ADEG = BDFG = CEF G = ABDH = ACEH = BCFH = DEFH = CDGH = BEGH = AFGH = ABCDEFGH$ .

Tepki değerinin seçimi için; tezgah kullanım oranları ve bitmiş montaj sayılarının dikkate alınması planlanmıştır. Bu amaçla, her iki değerin birleştirildiği bir formül kullanılmıştır. Bu formül şöyle verilebilir:

$$TEPKİ = \left( \frac{\sum_{i=1}^4 \text{Tezgah Kullanımı}}{4} \right) \times \text{Bitmiş Montaj Sayısı}$$

Tablo 6.7.' de, belirlenen tasarım ve faktör düzeylerine göre simülasyonu yapılan sistemin, farklı onaltı kombinasyonu ve bu kombinasyonlara karşılık gelen tepki değerleri verilmektedir. Bu tepki değerleri, her bir kombinasyon için deney dosyası değişkenleri değiştirilip, model dosyasıyla bağlandıktan sonra simülasyonun çalıştırılması sonucunda elde edilmiştir.

Tablo 6.7. Deneyler ve sonuçları

| <i>Test</i> | <i>AT</i> | <i>NOP</i> | <i>NOT</i> | <i>NOM</i> | <i>NIPQ</i> | <i>NOMQ</i> | <i>NIJL</i> | <i>NITQ</i> | <i>Tepki</i> |
|-------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 1           | 5         | 4          | 4          | 3          | 6           | 4           | 5           | 4           | 25.03800     |
| 2           | 10        | 4          | 4          | 3          | 6           | 6           | 10          | 8           | 20.57200     |
| 3           | 5         | 8          | 4          | 3          | 8           | 4           | 10          | 8           | 28.33300     |
| 4           | 10        | 8          | 4          | 3          | 8           | 6           | 5           | 4           | 21.24900     |
| 5           | 5         | 4          | 8          | 3          | 8           | 6           | 10          | 4           | 35.58100     |
| 6           | 10        | 4          | 8          | 3          | 8           | 4           | 5           | 8           | 21.89400     |
| 7           | 5         | 8          | 8          | 3          | 6           | 6           | 5           | 8           | 58.99200     |
| 8           | 10        | 8          | 8          | 3          | 6           | 4           | 10          | 4           | 37.51000     |
| 9           | 5         | 4          | 4          | 4          | 8           | 6           | 5           | 8           | 20.75500     |
| 10          | 10        | 4          | 4          | 4          | 8           | 4           | 10          | 4           | 16.42000     |
| 11          | 5         | 8          | 4          | 4          | 6           | 6           | 10          | 4           | 20.26100     |
| 12          | 10        | 8          | 4          | 4          | 6           | 4           | 5           | 8           | 14.45400     |
| 13          | 5         | 4          | 8          | 4          | 6           | 4           | 10          | 8           | 18.77800     |
| 14          | 10        | 4          | 8          | 4          | 6           | 6           | 5           | 4           | 15.42400     |
| 15          | 5         | 8          | 8          | 4          | 8           | 4           | 5           | 4           | 87.56100     |
| 16          | 10        | 8          | 8          | 4          | 8           | 6           | 10          | 8           | 29.26700     |

#### 6.4.3. Tasarlanan Deneyin Analizi

Tablo 6.7.' de gösterilen kombinasyon düzenleri ve ilgili tepki değerleri, Devlin Enterprises tarafından hazırlanan deneysel tasarım paketinde (DOE) incelenmiştir. Çıktı dosyası EK 3' te verilmektedir.

Çıktıdan da izlenebileceği gibi, önemli faktörler aşağıdaki gibi bulunmuştur:

|         |     |           |
|---------|-----|-----------|
| LCLE(I  | ) = | 29.50557  |
| LCLE(1  | ) = | -14.81363 |
| LCLE(2  | ) = | 15.39562  |
| LCLE(3  | ) = | 17.24063  |
| LCLE(23 | ) = | 15.01762  |

Bu analiz sonucuna göre; birinci, ikinci, üçüncü ve ikinci ile üçüncü faktörlerin etkileşimi önemli olarak bulunmuştur. Ancak dikkat edilirse, birinci faktörün etkisi negatiftir. Bunun anlamı, birinci faktör azaldığı zaman tepkinin artacağıdır. Bu da, amaçlanmaktadır.

O halde, sonuç şöyle dile getirilebilir:

Sistem performansının artırılması için;

1. İşlerin hazırlanma süresi çok hızlandırılmamalıdır,
2. Sistemdeki palet sayısı artırılmalıdır,
3. Sistemdeki kesici takım grubu sayısı artırılmalıdır.

Hemen belirtilmesi gereken bir nokta; yukarıdaki analiz sonucunun sadece tasarlanan sistem için geçerli olduğudur. Farklı sistemler için, farklı sonuçlara ulaşılması olasıdır. Ancak, deneysel tasarım ile desteklenmiş simülasyon çalışmasının ve uygulanabildiği durumlar için önerilen çizelgeleme sisteminin yarar sağlayacağına inanılmaktadır.



## 7. SONUÇ

Değişme ivmesinin arttığı pazar koşulları ve rekabet karşısında, yeniden yapılanmaya giden imalat firmaları için; esnek imalat sistemleri son yılların gözde çözümleri olmuşlardır. Özellikle, parça çeşitliliği ve parça başına üretim hacmi orta düzeylerde olan sistemler için EİS bir potansiyel fırsattır.

Gelişen teknolojinin üretim sistemlerine yansımalarıyla daha fazla ya da kapsamlı sorunlara çözüm getiren sistemler, aynı zamanda da karmaşıklaşmaktadır. Bu ise, verimli yönetilmelerini zorlaştırır. Son derece pahalı olan EİS için de benzer durum söz konusudur.

Bu tezde, esnek imalat sistemlerinde çizelgeleme problemi üzerinde çalışılmıştır. Bilindiği üzere, çizelgeleme, sistem performansını direkt olarak etkiler. Sistemlerin pahalılığı gözönüne alındığında da, problemin önemi belirginleşmektedir.

Çizelgeleme problemine çözüm getirmek üzere, simülasyon yaklaşımı seçilmiş ve tasarlanan sistem SIMAN V ile simüle edilerek, ilgili değerler deneysel tasarım ile analiz edilmiştir. Geliştirilen modelde kullanılan algoritma, Kusiak'ın (1986) kullandığı algortimaya benzer olmakla birlikte, hiyerarşiden arındırılmış ve daha pratik bir biçime sokulmuştur. Uygulamada kullanılan problem ise, sonuç karşılaştırmaları açısından, yine ilgili makaledeki probleme benzer seçilmiştir.

Simülasyon verilerinin deneysel tasarımla analizine dayanan sonuçlar aşağıda verilmektedir:

1. Sistem performansını düşürmemeye yönelik, sistem değişikliklerine anında cevap verebilmek amacıyla anında çizelgeleme kullanılmalıdır. Bu amaçla, sistem kontrolü bir simülasyon paketi ile desteklenebilir.

2. Deneysel tasarımın, sistem simülasyon verilerinin incelenmesinde etkin bir araç olduğu ortaya konmuştur. Bununla beraber, hemen hemen her türlü performans geliştirme çalıştırmalarında kullanılabileceği açıktır. Bu tip bir problemde deneysel tasarım uygulamasının, akademik çevrelerce kabulü beklenmektedir.

3. Üretim sistemleri yatırımları yapılırken, sistemin insan kaynakları ile birlikte geliştirilmesi şarttır. Çünkü, karmaşıklaşan sistemler uzman elemanları gerektirir. Bu alanda, sistem içi ve dışı eğitimin yararı tartışılmazdır.

4. Esnek imalat sistemlerinden etkin sonuçlar alınabilmesinin temel unsuru, malzeme taşıma ve üretim birimlerinin entegrasyonun iyi yapılabilmesidir. Otomasyonla en çok, taşıma ve taşıma zamanından kazanılabileceği unutulmamalıdır.

5. Geliştirilen modelin performansı, tasarlanan bir sistem üzerinde uygulanarak kanıtlanmıştır. Ancak modele diğer çizelgeleme algoritmaları eklenerek, karşılaştırılmalı sonuçların elde edilebildiği bir sistemin geliştirilmesi daha yararlı olacaktır.

Bu alan, biz endüstri mühendisleri için potansiyel bir problem alanıdır. Yapılan çalışmayı desteklemek amacıyla, gelecekteki çalışmalardan bazıları şunlar olabilir:

1. Uygulamada, sistemdeki kesici takım grupları ve paletlerin aynı olduğu varsayılmıştır. Modele farklı kaynaklar eklenerek, performans kontrolü yapılabilir.

2. Ülkemizde pek uygulama alanına girmemiş olan deneysel tasarımın, endüstriyel problemlere uygulamaları genişletilebilir.

Yukarıda belirtildiği gibi, meslektaşlarımıza bu alanda büyük sorumluluklar düşmektedir. Bu bağlamda, teorik çalışmaların gerçek sistemler üzerinde yapılan uygulamalarla pekiştirilmesi önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

AFENTAKIS,P., GAVISH,B., KARMARKAR, U.S., "Computationally Efficient Optimal Solutions to the Lot-Sizing Problem in Multi-Stage Assembly Systems", Management Science, Vol. 30., No. 2, 1984.

AGARWAL,M., OKUDAN, G.E.," Analysis of Metal Machining Factors Using DOE ", Working Paper, UMR,1994.

AMMONS, J.C., GOVINDARAJ, T., and MITCHELL, C.M., " Decision Models For Aiding FMS Control ", 1985.

AMMONS, J.C., GOVINDARAJ, T., and MITCHELL, C.M., " Human Supervisory Control in Flexible Manufacturing Systems, Proceedings of the 24th Conference on Decision and Control, Ft. Lauderdale, FL, 1985..

BANKS, Jerry, BURNETTE, Barry, KOZLOSKI, Henry, ROSE, James, " Introduction to Siman V and CINEMA V ", John Wiley & Sons, Inc., 1995, ISBN: 0-471-30960-5.

BLACK,J.T., " The Design of the Factory with a Future", McGraw Hill, New York, 1991.

BLACKWELL,N.C., "Computing Needs For Automated Material Handling", 1989.

BOURNE, D.A., FOX,M.S., " Autonomous Manufacturing: Automating the Job-Shop, IEEE Computer, Vol. 17, No. 9, 76-86, September, 1984.

CHARASMI, J., " Computer Simulation of a Flexible Manufacturing System with Scheduling Applications Using SLAM II, 1989.

CHRISTY,O.P.,WATSON,H.J.,"The Application of Simulation- A Survey of Industry Practice", Interfaces, Vol.13, No.5, 1983.

COCHRAN, J.K., "Techniques for Ascertaining the Validity of Large-Scale Production Simulation Models", Int. J. Prod. Res., Vol.25, No. 2, 232-244, 1987.

CONWAY, R.W., "Priority Dispatching and WIP Inventory in a Job-Shop", Journal of Industrial Engineering, Vol. 16, No. 2, 123-130, 1965a.

CONWAY, R: W., "Priority Dispatching and Job Lateness in a Job Shop", Journal of Industrial Engineering, Vol. 16, No.4, 228-237, 1965b.

DAR-EL,E.M., and SARIN,S.C., " Scheduling Parts in FMS to Achieve Maximum Machine Utilization", Proceedings of the First ORSA/TIMS Special Interest Conference on Flexible Manufacturing Systems, Ann Arbor, MI., 300-306, 1984.

DERVITSIOTIS, K.N., "Operations Management", McGraw-Hill, International Book Co., 252-254, 1981.

DURMUŞOĞLU, M. B., "Hücreyel İmalat Sistemlerinin Çalışma Düzeni ve Stok Sistemleri Semineri", Türkiye Şanayi Sevk ve İdare Enstitüsü, Gebze-Kocaeli, 1988.

DURMUŞOĞLU, M. Bülent, SÜMEN, H. H., " Esnek Üretimde Hücreler ve Malzeme Taşıma Sistemlerinin Benzetim ile Eş Zamanlı ve Anında Çizelgelenmesi" , 1993.

EGBELU,P.J., TANCHOCO,M.A., "Characterization of Automatic Guided Dispatching Rules", International Journal of Production Research, Vol.22, No.3, 359-374, 1984.

FOX, M.S., and SMITH S.F., "A Knowledge-Based System for Factory Scheduling", Expert Systems: Vol. 1, No. 1, 25-49, 1984.

GARETTI,M., POZETTI,A., BAREGGIA., "On-Line Loading and Dispatching in Flexible Manufacturing Systems", International Journal of Production Research, Vol. 28,No.7, 1271-1292, 1990.

GASKINS,R.J., TANCHOCO,M.A., "AGVSim 2- A Development Tool for AGVS Controller Design", International Journal of Production Research, Vol. 27,No. 6, 915-926, 1989.

GERSWIN,S.B., GRAVES,S.C., CHOONG,Y.F., AKELLA,R., "Control of Material Flow in Manufacturing Systems", Draft of MIT Laboratory for Information and Decision Systems Report- Final Report, 1985.

GERSHWIN,S.B., AKELLA,R., CHOONG,Y.F.," Short-Term Production Scheduling of an Automated Manufacturing Facility", IBM Journal of Research and Development, Vol. 29, No.4, 392-400, 1985.

GERSHWIN,S.B., "Stochastic Scheduling and Set-Ups in Flexible Manufacturing Systems", Second ORSA/TIMS Conference, 1986.

GERSHWIN,S.B.," An Approach to Hierarchial Production Planing and Scheduling ", Proceedings of the Symposium on Real-Time Optimization in Automated Manufacturing Facilities, 1986.

GOVINDARAJ,T., AMMONS, J.C., MITCHELL,C.M., "A Supervisory Control Paradigm for Scheduling and Control of Flexible Manufacturing Systems", Working Paper, Center for Man-Machine Systems Research, GIT, 1986a.

GOVINDARAJ,T., AMMONS, J.C., MITCHELL,C.M., "A Research for Modeling Human-Computer Interacion in Scheduling and Control of FMS", Working Paper, Center for Man-Machines Systems Research, GIT, 1986b.

- GRAVES,S.C., "A Review of Production Scheduling", Operations Research, Vol. 29, No.4, 646-675, 1981.
- GREENWOOD,N.R., " Implementing Flexible Manufacturing Systems".
- GROOVER, Mikell,P., "Automation, Production Systems and Computer Integrated Manufacturing", Prentice Hall, Inc., 1987.
- GUPTA, Yash P., SOMERS, Toni M., "The Measurement of Manufacturing Flexibility", 0377-2217, Elsevier Science Publishers B.V.,1992.
- HAMMOND, Gary, "AGVS at Work", IFS Ltd., 1986.
- HAN,M.H., McGINNIS,L.F., "Dynamic Scheduling in FMS", Working Paper, GIT, 1986.
- HARTLEY, John, "FMS at Work", 1984.
- HILDEBRANT,R.R., " Scheduling Flexible Machining Systems When Machines Are Prone To Failure", Ph.D. Thesis, MIT, Cambridge, MA, 1980.
- HO,Y.C., "Optimization and Analysis of Discrete Event Stochastic Systems with Application to Manufacturing Automation", International Federation of Automatic Control-8th Triennial World Congress, Japan ,40-50, 1981.
- HO,Y.C., SURI,R., CAO,X.R., DIEHL,G.W., DILLE,J.W., ZAZANIS,M., "Optimization of Large Multiclass Queueing Network Using Perturbation Analysis", Large Scale Systems Journal,1984.
- HUTCHISAN,J., " Current and Future Issues Concerning FMS Scheduling ", OMEGA International Journal of Management Science, Vol. 19, No. 6, 529-537, 1991.
- INSTITUTE OF INDUSTRIAL ENGINEERS, " Simulation- Modeling Manufacturing & Service Systems ", Published by Industrial Engineering and Management Press, 1987, ISBN: 0-89806-086-9.
- KAPLAN,G., Ed. "Manufacturing Ala Carte-Agile Assembly Lines, Faster Development Cycles, IEEE Spectrum,1993.
- KARMARKAR,U.S., SCHRAGE,L., "The Deterministic Dynamic Product Cycling Problem", Operations Research, Vol. 33, No. 2, 326-345, 1985.
- KEPPEL,G., "Design and Analysis - A Researcher' s Handbook", Prentice Hall, Inc, Englewood Cliffs, NJ.,1973, ISBN:0-13-200030-X.
- KIMEMIA,J., " Hierarchial Control of Production in Flexible Manufacturing Systems", MIT Laboratory for Information and Decision Systems Report, LIDS-TH-1215, 1982.
- KIMEMIA,J.,GERCSHWIN,S.B., " An Algorithm for the Computer Control of a Flexible Manufacturing System", IIE Transactions, Vol.15, No. 4, 353-362, 1983.

KIRAN, A.S., KARABATI, S., "Esnek Üretim Sistemleri Çizelgeleme Problemi", Endüstri Mühendisliği Dergisi, Vol.1, No.4, 3-9, 1989.

KIRAN, A.S.,ALPTEKİN,S., " Scheduling Algorithms for FMS" Working Paper No. 85-18, Dept. of Industrial and Systems Engineering, University of Southern California, Los Angeles, CA.

KLUCZNY, R., "EMgt-387, Experimentation in Engineering Management", Class Notes, Fall-1994.

KUSIAK,A., VANELLI,A., KUMAR,K.R., "Grouping Problem in Scheduling Flexible Manufacturing Systems", Robotica, Vol. 33, 245-252, 1985.

KUSIAK,A., "Flexible Manufacturing Systems: A structural Approach", International Journal of Production Research, Vol. 23, No. 6, 1057-1073,1985.

KUSIAK,A., "Planning of Flexible Manufacturing Systems", Robotica, Vol. 3, No.4, 229-232, 1985a.

KUSIAK,A., " Application of Operational Research Models and Techniques in Flexible Manufacturing Systems, European Journal of Operational Research, Vol. 24, No. 3, 336-345, 1986.

KUSIAK, A., " Design of Flexible Manufacturing Systems, Proceedings of the 1986 FMS Seminar, Chicago, IL. and SME, Dearborn,MI, SME Paper No. MS86-157-12,1986a.

KUSIAK,A., " FMS Scheduling: A Crucial Element in an Expert System Control Structure", Proceedings of the 1986 IEEE Conference on Robotics and Automation, April 7-10, San Francisco, CA., 653-658, 1986b.

KUSIAK,A., Ed. " Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies", Nort Holland, Amsterdam, The Netherlands, 1986c.

KUSIAK,A., Ed. " Modelling and Design of Flexible Manufacturing Systems", Elsevier, New York, N.Y., 1986d.

LAW, A.M. " Introductin to Simulation: A Powerful Tool for Analyzing Complex Manufacturing Systems, IE, May 1986.

LAW,A.M., KELTON,W.D., "Simulation Modeling and Analysis", McGraw-Hill Inc., 333-348, 1991.

LENZ,John E., "Flexible Manufacturing - Benefits for the Low-Inventory Factory", 1989.

MAXWELL,W., MUCKSTADT,J., "Establishing Consistent and Realistic Reorder Intervals in Production-Distribution Systems", Operations Research, Vol. 33, No. 6, 1316-1341, 1985.

MILTON, S.L., RAMESH, R., DUDEK, R.A., and BLAIR, E.L., "Characteristics of U.S. Flexible Manufacturing Systems--A Survey", Proceedings of the Second ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems, edited by K.E. Stecke, R. Suri, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1986.

MITCHELL, C.M., GOVINDARAJ, T., AMMONS, J.C., "Human Machine Interface in the Control of FMS", Proceedings of the 1984 IEEE International conference on System, Man and Cybernetics, 1984.

MITCHELL, C.M., GOVINDARAJ, T., "Decision Support Systems for Real-Time Control of FMS", Proceedings of the 1985 International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 1985.

MONTAZERI, M., WASSENHOVE, L.N.V., "Analysis of Scheduling Rules for FMS", International Journal of Production Research, Vol. 28, No. 4, 785-802, 1990.

MONTGOMERY, D., "Design and Analysis of Experiments", John Wiley and Sons, 1991, ISBN: 0-471-52000-4.

NAYLOR, T.H., FINGER, J.M., "Verification of Computer Simulation Models", Management Science, 14-92, 1967.

OKUDAN, G.E., "Simulation Approach for Scheduling FMS", Working Paper, UMR, 1994.

PARRISH, David J., "Flexible Manufacturing", Butterworth-Heinemann Ltd, 1990, ISBN 0-7506-1011-5.

PEGDEN, C.D., SHANNON, R.E., SADOWSKI, R.P., "Introduction to Simulation Using SIMAN", McGraw-Hill, Inc., New Jersey, 1990.

PRITSKER, A.A.B., "Introduction to Simulation and SLAM II", System Publishing Co., 266-273, 1979.

RANKY, Paul, "The Design and Operation of FMS", 1983.

REMBOLD, Ulrich, BLUME, C., DILLMANN, R., "Computer Integrated Manufacturing Technology and Systems", 1985.

RO, I., KIM, J., "Multi-Criteria Operational Control Rules in Flexible Manufacturing Systems", International Journal of Production Research, Vol. 28, No. 1, 47-63, 1990.

RUSSELL, E.C., "Building Simulation Models with SIMSCRIPT 11.5", CACI Inc. Los Angeles, 1988.

SABUNCUOĞLU, İ., HOMMERTZHEIM, D.L., "Dynamic Dispatching Algorithm for Scheduling Machines and Automated Guided Vehicles in a Flexible Manufacturing System", Int. J. of Prod. Res., 1992, Vol. 30, No. 5, 1059-1079.

SARIN,S.C.,CHEN,C.S., "A Mathematical Model for Manufacturing System Selection", *Flexible Manufacturing Systems: Methods and Studies*, Ed: A. Kusiak, Elsevier Science, 99-112, 1986.

SCHLESINGER,S., "Terminolog for Modeel Credibility", *Simulation*, 1980.

SCHORER,B.J., TSENG, F.T., "An Intelligent Assistant for Manufacturing System Simulation", *International Journal of Production Research*, Vol. 27, No. 10, 1665-1683, 1989.

SCHRUBEN,L.W., "Establishing the Credibility of Simulations", *Simulation* ,34-101, 1980.

SHANKER, K. ve TSENG, Y. J., "A Loading and Dispatching Problem in a Random Flexible Manufacturing System", *International Journal of Production Research*, Vol. 23, No. 3, 579-595, 1985

SHANNON,R.E., "Systems Simulation -The Art and Science", Prentice Hall, 1980.

SIMAN IV, Reference Guide, Systems Modeling Corp., 1988.

STECKE, K.E., and SOLBERG, J.J., " Loading and Contol Policies for a Flexible Manufacturing System" *International Journal of Production Research*, Vol. 19, No. 5, 481-490, 1981.

STECKE, K.E., and SURI,R., Eds. " Flexible Manufacturing Systems: Operation Research Models and Applications, *Annals of Operations Research*, Vol. 3, 1985.

STECKE, K.E., "Design, Planning, Scheduling and Control Problems of FMS", *Annals of Operations Research*, Vol.3, 1985.

STECKE, K.E., and SURI, R., " Proceedings of the Second ORSA/TIMS Conference on Flexible Manufacturing Systems, Elsevier Publishers, ISBN 0-444-42679-5, Vol.5, 1986.

STEVENSON,W.J., "Production /Operations Management", 4th Ed., 732-771, 1993.

SURI, R., " An Overview of Evaluating Models for FMS", *Annals of Operations Research*, Vol 3, 1985.

" Tool And Manufacturing Engineers Handbook", Volume 6, SME, 1992.

" Tool And Manufacturing Engineers Handbook", Desk Edition, SME, 1989.

ULUSOY,G., BİLGE,Ü., "Esnek İmalat Sistemlerinde Makinalar ve Malzeme Taşıma Sisteminin Eş Zamanlı Çizelgelenmesi", YA/EM'91 XIV. Ulusal Kongresi, İ.T.Ü., Maçka, İstanbul, 1991.

WU,S-Y. D., WYSK,R.A., "Multi-pass Expert Control System - A Control/Scheduling Structure for Flexible Manufacturing Cells", Journal of Manufacturing Systems, Vol.7, 107-210, 1988.

WU, S-Y. D., WYSK,R.A., "An Application of Discrete Event Simulation to On-line Control and Scheduling in Flexible Manufacturing", International Journal of Production Research, Vol.27, No.9, 1603-1623, 1989.



**EK 1: SAS Çıktı Örneği*****The SAS System***

02:44 Thursday, September 29, 1994

| <i>OBS</i> | <i>TYPE</i> | <i>I</i> | <i>OBS</i> |
|------------|-------------|----------|------------|
| 1          | A           | 1        | 84.99      |
| 2          | A           | 2        | 84.04      |
| 3          | A           | 3        | 84.38      |
| 4          | B           | 1        | 85.15      |
| 5          | B           | 2        | 85.13      |
| 6          | B           | 3        | 84.88      |
| 7          | C           | 1        | 84.72      |
| 8          | C           | 2        | 84.48      |
| 9          | C           | 3        | 85.16      |
| 10         | D           | 1        | 84.20      |
| 11         | D           | 2        | 84.10      |
| 12         | D           | 3        | 84.55      |

***General Linear Models Procedure Class Level Information***

| Class | Levels | Values  |
|-------|--------|---------|
| TYPE  | 4      | A B C D |

Number of observations in dataset=12

***General Linear Models Procedure******Dependent Variable: OBS***

| <i>Source</i>   | <i>DF</i> | <i>Sum of Squares</i> | <i>F Value</i> | <i>Pr&gt; F</i> |
|-----------------|-----------|-----------------------|----------------|-----------------|
| Model           | 3         | 1.04456667            | 3.25           | 0.0813          |
| Error           | 8         | 0.858200              |                |                 |
| Corrected Total | 11        | 1.90276667            |                |                 |

|          |          |            |
|----------|----------|------------|
| R-Square | C.V.     | OBS Mean   |
| 0.548973 | 0.386929 | 84.6483333 |

|        |    |             |         |        |
|--------|----|-------------|---------|--------|
| Source | DF | Type I SS   | F Value | Pr > F |
| TYPE   | 3  | 1.04456667  | 3.25    | 0.0813 |
| Source | DF | Type III SS | F Value | Pr > F |
| TYPE   | 3  | 1.04456667  | 3.25    | 0.0813 |

| Observation | Observed    | Predicted Lower 95% Residual | Upper 95%   |
|-------------|-------------|------------------------------|-------------|
| 1           | 84.99000000 | 84.47000000                  | 84.03393332 |
|             |             | 0.52000000                   | 84.90606668 |
| 2           | 84.04000000 | 84.47000000                  | 84.03393332 |
|             |             | -0.43000000                  | 84.90606668 |
| 3           | 84.38000000 | 84.47000000                  | 84.03393332 |
|             |             | -0.09000000                  | 84.90606668 |
| 4           | 85.15000000 | 85.05333333                  | 84.61726665 |
|             |             | 0.09666667                   | 85.48940002 |
| 5           | 85.13000000 | 85.05333333                  | 84.61726665 |
|             |             | 0.07666667                   | 85.48940002 |
| 6           | 84.88000000 | 85.05333333                  | 84.61726665 |
|             |             | -0.17333333                  | 85.48940002 |
| 7           | 84.72000000 | 84.78666667                  | 84.35059998 |
|             |             | -0.06666667                  | 85.22273335 |
| 8           | 84.48000000 | 84.78666667                  | 84.35059998 |
|             |             | -0.30666667                  | 85.22273335 |
| 9           | 85.16000000 | 84.78666667                  | 84.35059998 |
|             |             | 0.37333333                   | 85.22273335 |
| 10          | 84.20000000 | 84.28333333                  | 83.84726665 |
|             |             | -0.08333333                  | 84.71940002 |
| 11          | 84.10000000 | 84.28333333                  | 83.84726665 |
|             |             | -0.18333333                  | 84.71940002 |
| 12          | 84.55000000 | 84.28333333                  | 83.84726665 |
|             |             | 0.26666667                   | 84.71940002 |

**General Linear Models Procedure**

|                                     |             |
|-------------------------------------|-------------|
| Sum of Residuals                    | 0.00000000  |
| Sum of Squared Residuals            | 0.85820000  |
| Sum of Squared Residuals - Error SS | -0.00000000 |
| Press Statistic                     | 1.93095000  |
| First Order Autocorrelation         | -0.40397214 |
| Durbin-Watson D                     | 2.41000544  |

**General Linear Models Procedure****T tests (LSD) for variable: OBS**

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate not the experimentwise error rate.

**Alpha= 0.01 Confidence= 0.99 df= 8 MSE= 0.107275**

**Critical Value of T= 3.35539**

**Least Significant Difference= 0.8973**

Comparisons significant at the 0.01 level are indicated by '\*\*\*'.

| <b>TYPE</b>       |     | <b>Lower</b>      | <b>Difference</b> | <b>Upper</b>      |
|-------------------|-----|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Comparison</b> |     | <b>Confidence</b> | <b>Between</b>    | <b>Confidence</b> |
|                   |     | <b>Limit</b>      | <b>Means</b>      | <b>Limit</b>      |
| B                 | - C | -0.6307           | 0.2667            | 1.1640            |
| B                 | - A | -0.3140           | 0.5833            | 1.4807            |
| B                 | - D | -0.1273           | 0.7700            | 1.6673            |
| C                 | - B | -1.1640           | -0.2667           | 0.6307            |
| C                 | - A | -0.5807           | 0.3167            | 1.2140            |
| C                 | - D | -0.3940           | 0.5033            | 1.4007            |
| A                 | - B | -1.4807           | -0.5833           | 0.3140            |
| A                 | - C | -1.2140           | -0.3167           | 0.5807            |
| A                 | - D | -0.7107           | 0.1867            | 1.0840            |
| D                 | - B | -1.6673           | -0.7700           | 0.1273            |
| D                 | - C | -1.4007           | -0.5033           | 0.3940            |
| D                 | - A | -1.0840           | -0.1867           | 0.7107            |

*General Linear Models Procedure*

*Duncan's Multiple Range Test for variable: OBS*

NOTE: This test controls the type I comparisonwise error rate, not the experimentwise error rate.

Alpha= 0.01 Confidence= 0.99 df= 8 MSE= 0.107275

|                 |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|
| Number of Means | 2     | 3     | 4     |
| Critical Range  | .8970 | .9337 | .9566 |

Means with the same letter are not significantly different.

| Duncan Grouping | Mean    | N | TYPE |
|-----------------|---------|---|------|
| A               | 85.0533 | 3 | B    |
| A               |         |   |      |
| A               | 84.7867 | 3 | C    |
| A               |         |   |      |
| A               | 84.4700 | 3 | A    |
| A               |         |   |      |
| A               | 84.2833 | 3 | D    |

EK 2: DOE Örneği

\*\*\*\*\*

|   |                                  |     |      |       |   |
|---|----------------------------------|-----|------|-------|---|
| * |                                  |     |      |       | * |
| * | VARIABLE SETTINGS FOR EXPERIMENT |     |      |       | * |
| * |                                  |     |      |       | * |
| * | Variable Name                    | Low | High | Units | * |
| * | 1-Water                          | 0   | 2    | gall  | * |
| * | 2-Fat-Salt                       | 00  | 40   | %     | * |
| * | 3-Working-out                    | 00  | 60   | min   | * |
| * |                                  |     |      |       | * |
| * | Response Name                    |     |      |       | * |
| * | Weight change                    |     |      |       | * |
| * |                                  |     |      |       | * |
| * |                                  |     |      |       | * |

\*\*\*\*\*

DESIGN MATRIX IN STANDARD ORDER WITH RESPONSES

-----

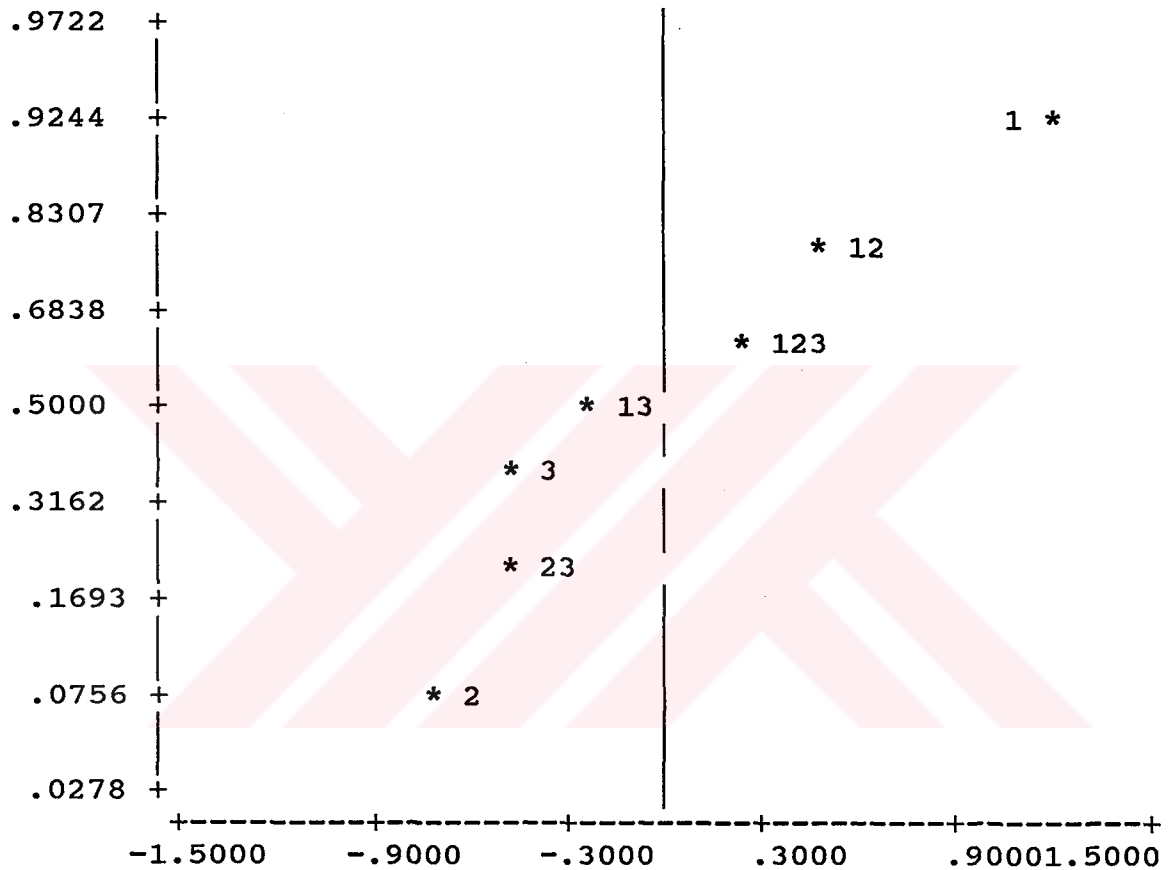
| TEST | W | FS | WO | RESPONSE | RUN # |
|------|---|----|----|----------|-------|
| 1    | 0 | 00 | 00 | 1.50000  | 8     |
| 2    | 2 | 00 | 00 | 3.00000  | 1     |
| 3    | 0 | 40 | 00 | 1.00000  | 5     |
| 4    | 2 | 40 | 00 | 3.00000  | 7     |
| 5    | 0 | 00 | 60 | 2.00000  | 6     |
| 6    | 2 | 00 | 60 | 2.50000  | 2     |
| 7    | 0 | 40 | 60 | 0.00000  | 3     |
| 8    | 2 | 40 | 60 | 2.00000  | 4     |

SUMMARY OF LOCATION EFFECT ESTIMATES

-----

|        |   |   |          |
|--------|---|---|----------|
| LE(I   | ) | = | 1.87500  |
| LE(1   | ) | = | 1.50000  |
| LE(2   | ) | = | -.750000 |
| LE(3   | ) | = | -.500000 |
| LE(12  | ) | = | .500000  |
| LE(13  | ) | = | -.250000 |
| LE(23  | ) | = | -.500000 |
| LE(123 | ) | = | .250000  |

# **NORMAL PROBABILITY PLOT OF LOCATION EFFECT** -----



Third and higher order effects have been used to estimate the standard error of an effect. The limits on the dot diagram are based upon two (2) standard errors:  $H = .500$   $L = -.500$

EK 3

\*\*\*\*\*  
\*  
\* FFDES Version 2.1 \*  
\*  
\* Selection, Construction, and Analysis of \*  
\*  
\* Fractional Factorial Designs \*  
\*  
\*  
\* Devlin Enterprises Inc., 1986 \*  
\*  
\*  
\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*  
\* DATA DESCRIPTION : \*  
\*  
\* USERS NAME : GÜL ERDEM OKUDAN \*  
\*  
\* DATE : 12/10/1994 \*  
\*  
\* PLANT/LOCATION : EMGT-UMR \*  
\*  
\* COMMENTS : \*  
\*  
\* DATA FILE NAME : a:SIMULATION.DAT \*  
\* REPORT FILE NAME : a:FINAL.REP \*  
\*  
\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

|                                                                                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------|
| * <b><i>VARIABLE SETTINGS FOR EXPERIMENT</i></b> *                                       |
| * <b><i>Variable Name</i></b> <b><i>Low</i></b> <b><i>High</i></b> <b><i>Units</i></b> * |
| * 1-Arrival Time 5 10 min *                                                              |
| * 2-No. of Pallets 4 8 *                                                                 |
| * 3-No. of Tools 4 8 *                                                                   |
| * 4-No. of Machines 3 4 *                                                                |
| * 5-No. in Pal. Q 6 8 *                                                                  |
| * 6-No. in Mac. Q 4 6 *                                                                  |
| * 7-No. in Job Line 5 10 *                                                               |
| * 8-No. in Tool Q 4 8 *                                                                  |
| *<br>* Response Name *                                                                   |

\*\*\*\*\*

### ***SUMMARY OF EXPERIMENTAL CONDITIONS***

| <i>Test</i> | <i>AT</i> | <i>NOP</i> | <i>NOT</i> | <i>NOM</i> | <i>NIPQ</i> | <i>NOMQ</i> | <i>NIJL</i> | <i>NITQ</i> | <i>Response</i> |
|-------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|
| 1           | 5         | 4          | 4          | 3          | 6           | 4           | 5           | 4           | 25.03800        |
| 2           | 10        | 4          | 4          | 3          | 6           | 6           | 10          | 8           | 20.57200        |
| 3           | 5         | 8          | 4          | 3          | 8           | 4           | 10          | 8           | 28.33300        |
| 4           | 10        | 8          | 4          | 3          | 8           | 6           | 5           | 4           | 21.24900        |
| 5           | 5         | 4          | 8          | 3          | 8           | 6           | 10          | 4           | 35.58100        |
| 6           | 10        | 4          | 8          | 3          | 8           | 4           | 5           | 8           | 21.89400        |
| 7           | 5         | 8          | 8          | 3          | 6           | 6           | 5           | 8           | 58.99200        |
| 8           | 10        | 8          | 8          | 3          | 6           | 4           | 10          | 4           | 37.51000        |
| 9           | 5         | 4          | 4          | 4          | 8           | 6           | 5           | 8           | 20.75500        |
| 10          | 10        | 4          | 4          | 4          | 8           | 4           | 10          | 4           | 16.42000        |
| 11          | 5         | 8          | 4          | 4          | 6           | 6           | 10          | 4           | 20.26100        |
| 12          | 10        | 8          | 4          | 4          | 6           | 4           | 5           | 8           | 14.45400        |
| 13          | 5         | 4          | 8          | 4          | 6           | 4           | 10          | 8           | 18.77800        |
| 14          | 10        | 4          | 8          | 4          | 6           | 6           | 5           | 4           | 15.42400        |
| 15          | 5         | 8          | 8          | 4          | 8           | 4           | 5           | 4           | 87.56100        |
| 16          | 10        | 8          | 8          | 4          | 8           | 6           | 10          | 8           | 29.26700        |

### ***DESIGN SUMMARY AND LOCATION EFFECT ESTIMATES***

A 2\*\* (8- 4) fractional factorial design has been specified with 8 variables and requiring 16 tests.

This is a resolution IV fractional factorial design obtained with the following assignment(s) of the 4 variable(s):

$$\begin{array}{lll}
 +5 = 234 & +6 = 134 & +7 = 123 \\
 +8 = 124 & & 
 \end{array}$$

Defining Relation = +I

$$\begin{array}{lll}
 = +2345 & = +1346 & = +1237 \\
 = +1248 & = +1256 & = +1457 \\
 = +1358 & = +2467 & = +2368 \\
 = +3478 & = +3567 & = +4568 \\
 = +2578 & = +1678 & = +12345678
 \end{array}$$

A 2\*\* (8- 4) fractional factorial design has been specified. The estimates of the 16 linear combinations of the location effects (LCLE) are available. The user has specified that 3 factor and higher order interactions may be assumed negligible.

|           |                |     |     |     |
|-----------|----------------|-----|-----|-----|
| LCLE(I    | )=29.50557 =   |     |     |     |
|           | +I             |     |     |     |
| LCLE(1    | )= -14.81363 = |     |     |     |
|           | +1             |     |     |     |
| LCLE(2    | )=15.39562 =   |     |     |     |
|           | +2             |     |     |     |
| LCLE(3    | )=17.24063 =   |     |     |     |
|           | +3             |     |     |     |
| LCLE(4    | )=-3.28113 =   |     |     |     |
|           | +4             |     |     |     |
| LCLE(12   | )=-8.35312 =   |     |     |     |
|           | +12            | +37 | +48 | +56 |
| LCLE(13   | )=-9.39063 =   |     |     |     |
|           | +13            | +46 | +27 | +58 |
| LCLE(14   | )=-3.13387 =   |     |     |     |
|           | +14            | +36 | +28 | +57 |
| LCLE(23   | )=15.01762 =   |     |     |     |
|           | +23            | +45 | +17 | +68 |
| LCLE(24   | )=4.64587 =    |     |     |     |
|           | +24            | +35 | +18 | +67 |
| LCLE(34   | )=2.54438 =    |     |     |     |
|           | +34            | +25 | +16 | +78 |
| LCLE(123  | )=-7.33062 =   |     |     |     |
|           | +7             |     |     |     |
| LCLE(124  | )= -5.74988 =  |     |     |     |
|           | +8             |     |     |     |
| LCLE(134  | )= -3.48587 =  |     |     |     |
|           | +6             |     |     |     |
| LCLE(234  | )= 6.25387 =   |     |     |     |
|           | +5             |     |     |     |
| LCLE(1234 | )= -6.03638 =  |     |     |     |
|           | +15            | +26 | +47 | +38 |

### ***DETERMINATION OF SIGNIFICANT LOCATION EFFECTS***

Significant location effects have been determined based on user input.

The significant effects are:

|         |    |           |
|---------|----|-----------|
| LCLE(I  | )= | 29.50557  |
| LCLE(1  | )= | -14.81363 |
| LCLE(2  | )= | 15.39562  |
| LCLE(3  | )= | 17.24063  |
| LCLE(23 | )= | 15.01762  |

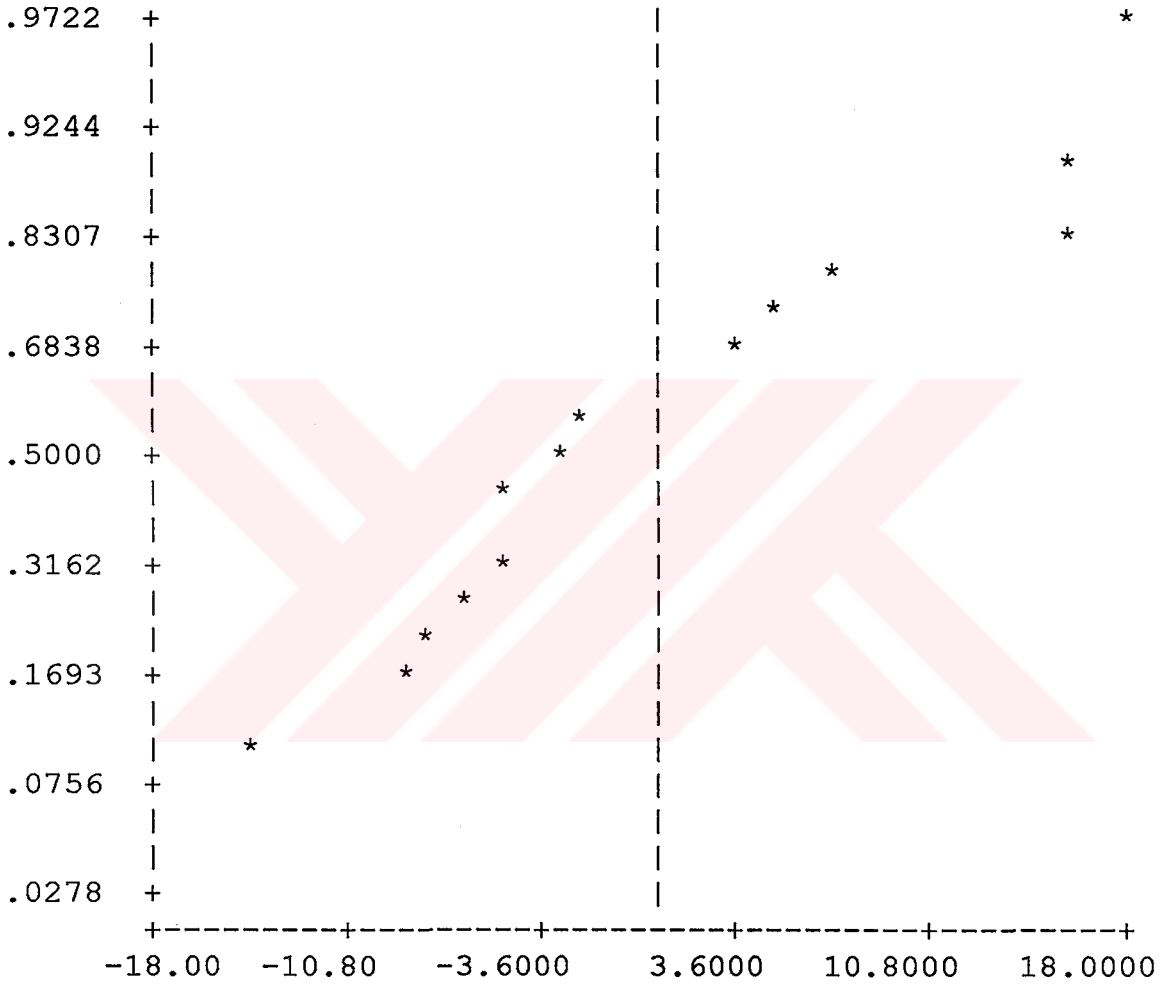
MODEL BASED PREDICTIONS

| <i>Test</i> | <i>AT</i> | <i>NOP</i> | <i>NOT</i> | <i>NOM</i> | <i>NIPQ</i> | <i>NOMQ</i> | <i>NIJL</i> | <i>NITQ</i> | <i>Prediction</i> |
|-------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------------|
| 1           | 5         | 4          | 4          | 3          | 6           | 4           | 5           | 4           | 28.10307          |
| 2           | 10        | 4          | 4          | 3          | 6           | 6           | 10          | 8           | 13.28944          |
| 3           | 5         | 8          | 4          | 3          | 8           | 4           | 10          | 8           | 28.48106          |
| 4           | 10        | 8          | 4          | 3          | 8           | 6           | 5           | 4           | 13.66744          |
| 5           | 5         | 4          | 8          | 3          | 8           | 6           | 10          | 4           | 30.32607          |
| 6           | 10        | 4          | 8          | 3          | 8           | 4           | 5           | 8           | 15.51244          |
| 7           | 5         | 8          | 8          | 3          | 6           | 6           | 5           | 8           | 60.73931          |
| 8           | 10        | 8          | 8          | 3          | 6           | 4           | 10          | 4           | 45.92569          |
| 9           | 5         | 4          | 4          | 4          | 8           | 6           | 5           | 8           | 28.10307          |
| 10          | 10        | 4          | 4          | 4          | 8           | 4           | 10          | 4           | 13.28944          |
| 11          | 5         | 8          | 4          | 4          | 6           | 6           | 10          | 4           | 28.48106          |
| 12          | 10        | 8          | 4          | 4          | 6           | 4           | 5           | 8           | 13.66744          |
| 13          | 5         | 4          | 8          | 4          | 6           | 4           | 10          | 8           | 30.32607          |
| 14          | 10        | 4          | 8          | 4          | 6           | 6           | 5           | 4           | 15.51244          |
| 15          | 5         | 8          | 8          | 4          | 8           | 4           | 5           | 4           | 60.73931          |
| 16          | 10        | 8          | 8          | 4          | 8           | 6           | 10          | 8           | 45.92569          |

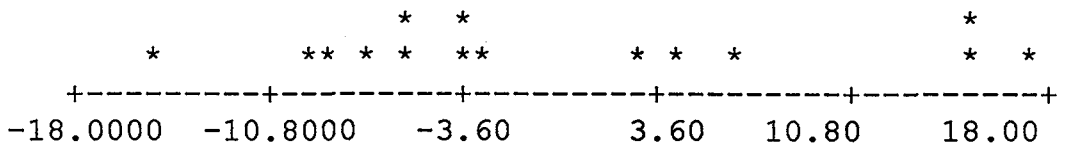
RESIDUALS

| <i>Test</i> | <i>AT</i> | <i>NOP</i> | <i>NOT</i> | <i>NOM</i> | <i>NIPQ</i> | <i>NOMQ</i> | <i>NIJL</i> | <i>NITQ</i> | <i>Residuals</i> |
|-------------|-----------|------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|
| 1           | 5         | 4          | 4          | 3          | 6           | 4           | 5           | 4           | -3.06507         |
| 2           | 10        | 4          | 4          | 3          | 6           | 6           | 10          | 8           | 7.28256          |
| 3           | 5         | 8          | 4          | 3          | 8           | 4           | 10          | 8           | - .14806         |
| 4           | 10        | 8          | 4          | 3          | 8           | 6           | 5           | 4           | 7.58156          |
| 5           | 5         | 4          | 8          | 3          | 8           | 6           | 10          | 4           | 5.25494          |
| 6           | 10        | 4          | 8          | 3          | 8           | 4           | 5           | 8           | 6.38156          |
| 7           | 5         | 8          | 8          | 3          | 6           | 6           | 5           | 8           | -1.74731         |
| 8           | 10        | 8          | 8          | 3          | 6           | 4           | 10          | 4           | -8.41569         |
| 9           | 5         | 4          | 4          | 4          | 8           | 6           | 5           | 8           | -7.34807         |
| 10          | 10        | 4          | 4          | 4          | 8           | 4           | 10          | 4           | 3.13056          |
| 11          | 5         | 8          | 4          | 4          | 6           | 6           | 10          | 4           | -8.22006         |
| 12          | 10        | 8          | 4          | 4          | 6           | 4           | 5           | 8           | .78656           |
| 13          | 5         | 4          | 8          | 4          | 6           | 4           | 10          | 8           | -11.54807        |
| 14          | 10        | 4          | 8          | 4          | 6           | 6           | 5           | 4           | -.08844          |
| 15          | 5         | 8          | 8          | 4          | 8           | 4           | 5           | 4           | 26.82169         |
| 16          | 10        | 8          | 8          | 4          | 8           | 6           | 10          | 8           | -16.65869        |

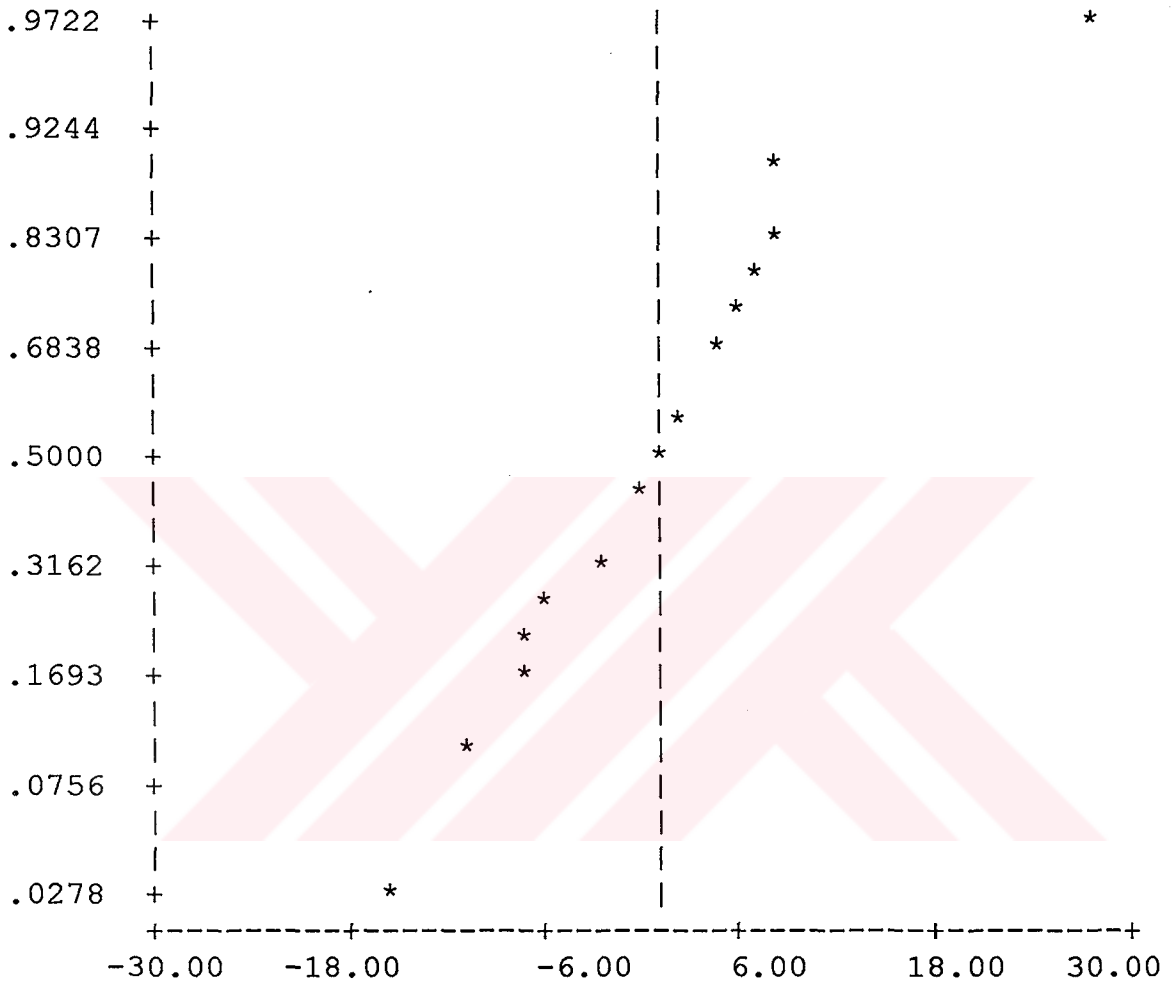
NORMAL PROBABILITY PLOT OF LOCATION EFFECTS



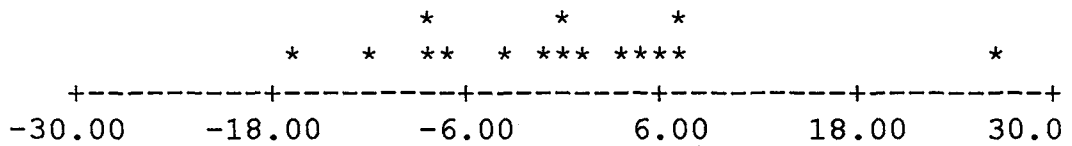
Dot diagram of the location effects



## NORMAL PROBABILITY PLOT OF THE RESIDUALS



## Dot diagram of the residuals



## ÖZGEÇMİŞ

Gül Erdem Okudan, 1970 yılında Tekirdağ 'da doğdu. Tekirdağ Cumhuriyet İlkokulu ve Edirne Anadolu Lisesi' ni bitirdi. 1988 yılında girdiği Yıldız Teknik Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü' nden 1992 yılında mezun oldu. Aynı yıl, Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı' nda ve İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Üretim Yönetimi Anabilim Dalı' nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Öğrenimine devam ederken, YÖK' ün açmış olduğu yurtdışında Yüksek Lisans ve Doktora sınavını kazanarak, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Bölümü' ne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Aralık 1993' den bu yana, bağlı olduğu kurum adına University of Missouri Rolla' da (A.B.D.) Lisansüstü çalışmalarına devam etmektedir.