

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

128673

**KESİKLİ SERİ ÜRETİM AKIŞ SİSTEMLERİNDE
MONTAJ HATTI DENGELEME VE BENZETİM
YAKLAŞIMI İLE BİR UYGULAMA**

**YÜKSEK ÖĞRETİM KURULU
BİLGİ TEKNOLOJİLERİ MERKEZİ**

Endüstri Mühendisi Koray CENGİZ

FBE Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doç. Dr. Mesut ÖZGÜRLER
Doç. Dr. Ahmet G. Berim
Prof. Dr. Hüseyin BAŞUGİL

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mesut ÖZGÜRLER

İSTANBUL, 2002



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	v
ÖNSÖZ	vi
ÖZET	vii
ABSTRACT	viii
1. GİRİŞ	1
2. FABRİKA DÜZENLEME ve MONTAJ HATLARI	3
2.1 Yerleştirme Düzeninin Üretim Sistemine Etkileri	3
2.2 Süreç Tasarımı ve Yerleşim Planı	4
2.2.1 Süreç Tasarımı Analizi	5
2.2.2 İş Merkezleri	6
2.2.3 Tesis Tasarımı	7
2.3 Üretim Miktarına veya Akışına Göre Sınıflandırma	7
2.3.1 Kesikli Üretim Sistemleri	7
2.3.2 Sürekli Üretim Sistemleri	8
2.3.3 Kesikli ve Sürekli Üretim Sistemlerinin Özellikleri	9
2.4 İş Yeri Düzenleme Tipleri	11
2.4.1 Mamule Göre Düzenleme	11
2.4.2 Prosese Göre Düzenleme	13
2.4.3 Sabit Pozisyonlu Mamule Göre Düzenleme	15
2.5 İş Yeri Düzenleme Tiplerinin Yararları ve Sakıncaları	15
2.5.1 Prosese Göre Düzenlemenin Yararlı ve Sakıncalı Yanları	15
2.5.2 Mamule Göre Yerleştirmenin Yararlı ve Sakıncalı Yanları	16
2.5.3 Sabit Pozisyonlu Mamule Göre Yerleştirme	17
3. MONTAJ HATTI DENGELEME	18
3.1 Montaj Hatları ve Hat Dengeleme Kavramı	18
3.2 Montaj Hatlarının Dengelenmesinin Amaçları	22
3.3 Montaj Hatlarının Dengelenmesini Etkileyen Temel Etmenler Ve Kısıtlar	24
3.3.1 Temel Etmenler	24
3.3.2 Kısıtlar	24
3.4 Montaj Hattı Dengeleme Faktörleri Ve Karar Seviyeleri	26
3.5 Montaj Hattı Faktörlerinin Maliyetler Üzerindeki Etkisi	37
3.6 Montaj Hatlarının Dengelenmesinde Kullanılan Kavramlar ve Temel Çözümler	38
3.7 Montaj Hattı Dengeleme Yöntemlerinin Sınıflandırılması	44
3.7.1 Probleme Göre Sınıflandırma	44

3.7.2	Çözüm Yaklaşımına Göre Sınıflandırma	45
3.8	Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Kavramı.....	46
4.	BENZETİM YAKLAŞIMI	48
4.1	Benzetim Yaklaşımı Tanımı	48
4.2	Benzetim Model Örnekleri.....	48
4.3	Benzetim Mekaniği	49
4.4	Benzetim Evreleri.....	51
4.5	Benzetim Modeli Nitelikleri	52
4.6	Benzetim Çalışmalarında Dikkat Edilecek Hususlar	55
4.7	Üretimde Benzetim	59
4.8	Benzetim ve Karar Verme Prosesi.....	59
4.9	Yazılım Özellikleri.....	61
4.10	İletişim İçin Animasyon	63
4.11	Görsel Üretim Benzetimi Çevresinin Geliştirilmesi	65
5.	UYGULAMA	67
5.1	Şirket Profili	67
5.2	Ürün ve Atölye Tanımı	68
5.3	Hat Dengeleme Yapılmadan Mevcut Koşullar	73
5.4	Öncelik Matrisine Göre İşlemlerin İstasyonlara Atanması.....	75
5.5	Girdi Dağılımlarını Oluşturmak	83
5.6	Model'in Kurulması	85
5.7	Montaj Hattının Dengelenmesinden Sonraki Sonuçlar	102
6.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	104
	KAYNAKLAR	106
	ÖZGEÇMİŞ.....	108

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Mamule Göre İş Yeri Düzenleme	12
Şekil 2.2 Prosese Göre İş Yeri Düzenleme	14
Şekil 3.1 Muhtemel Bir Montaj Hattı Düzeni	20
Şekil 3.2 Genel Montaj Sistemi.....	21
Şekil 3.3 Hat Dengeleme Probleminin Ana Elemanları	38
Şekil 4.1 İki Tip Zaman Tutma Mekanizması(a-soraki olay, b-sabit artış mekanizması). 51	
Şekil 4.2 Bir Benzetim Yazılımının Sahip Lması Gereken Özellikler	63
Şekil 4.3 Animasyon Klasik İstatistiksel Yöntemlere Göre Ne Kadar Önemli.....	65
Şekil 5.1 Akış Şeması.....	72
Şekil 5.2 Benzetimi Yapılacak İşlemler Akış Şeması.....	77
Şekil 5.3 Verilerin Dağılımı.....	81
Şekil 5.4 Normal Dağılıma Uydurulmuş Veriler	82
Şekil 5.5 Arrive Modülü.....	84
Şekil 5.6 Server Modülü.....	85
Şekil 5.7 Depart Modülü	86
Şekil 5.8 Benzetim Arayüzü	87
Şekil 5.9 İlk Modelin Çalışma Anındaki Ekran Çıktısı.....	90
Şekil 5.10 Son Modelin Sistem Çalıştırıldığındaki Görüntüsü.....	94
Şekil 5.11 Montaj Hattı Yerleşim Planı.....	98

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1	Montaj Hatlarında Hiyerarşik Karar Çerçevesi 30
Çizelge 4.1	Endüstride Benzetim Kullanımı 60
Çizelge 4.2	Amaca Bağlı Olarak Benzetim Çıktıları 62
Çizelge 5.1	Üretim Akış Şeması Zamanlama Tablosu..... 69
Çizelge 5.2	Firma Tarafından Yapılan İşlemler 75
Çizelge 5.3	Kat Kaloriferi için öncelik matrisi..... 79
Çizelge 5.4	İkinci atama için öncelik matrisi 80
Çizelge 5.5	Öncelik Matrisine göre işlemlerin istasyonlara atanması 81
Çizelge 5.6	İşlem Numaralarına göre Örnek Veriler ve Dağılımları..... 82
Çizelge 5.7	Benzetimde kullanılan veriler 86
Çizelge 5.8:	İlk Modelin 7. gündeki sonuçları..... 94
Çizelge 5.9:	İlk Modelin 30. gündeki sonuçları..... 95
Çizelge 5.10	Son Modelin 7. gündeki sonuçları..... 98
Çizelge 5.11	Son Modelin 30. gündeki sonuçları..... 99
Çizelge 5.12	Üretim Hattındaki Son Durum 98
Çizelge 5.13	Montaj Hattı Dengelenmesinden Sonraki Sonuçlar 102

ÖNSÖZ

Montaj hattı dengeleme ve benzetim yaklaşımı ile çözüm arama uygulamasını yaptığım bu tez çalışmada dört ana bölümden söz edilebilir.

Birinci bölümde montaj hatlarının üretim sistemleri içerisindeki yerini, kesikli ve seri üretim sistemlerini, ve diğer üretim biçimleri ile farkları, yararları ve sakıncalarını tanımlamaya çalıştım.

İkinci bölümde montaj hatlarının tanımı, tipleri, çözüm elde edilmesi için neler yapmak gerektiği, bu tekniklerden benzetim yaklaşımının kategorisinden bahsedilmektedir.

Üçüncü bölüm benzetim tekniğinin tanımını, benzetim ile çözüm aramanın önemini, avantajlarını, ve benzetim yaklaşımı olarak bir yazılımın kullanılma nedenlerinden bahsetmektedir.

Dördüncü bölüm ise katı yakıtlı kat kaloriferi üretim hattı dengelenmesi probleminin benzetim yaklaşımı ile çözülmesini, bu çözüm sırasındaki adımları tarif ederek anlatmaktadır.

Yüksek lisans eğitimimi tamamlayacağım bu tez çalışmada bana her türlü yardımda bulunan Doç. Dr. Mesut Özgürler' e, Bahadır Gülsün'e teşekkür ederim.



ÖZET

Bir parçanın üretim süresinin kısaltılması, üretim adedinin fazlalaştırılması, maliyetlerin düşürülmesi için önemli bir yöntem montaj hattı dengelenmesidir. Montaj hattının dengelenmesi problemi üretim adedinde oluşabilecek değişme, yeni teknoloji gelişimi, yerleşim planı değişimi gibi nedenlerle karşılaşılabılır. Böyle bir problemle karşılaşıldığında uygulanacak önemli bir yöntem de benzetim yaklaşımıdır. Benzetim yaklaşımı montaj hatlarının dengelenmesi probleminde çok alternatifli bir yöntemdir.

Benzetimin temel amacı yönetim kararlarının kalitesini yükseltmektir. Benzetim yaklaşımı, bir laboratuvarıdan fizikçinin sonuç bulmakta yararlanması gibi yöneticilere yardım etmektedir. Üretimde simülasyon; sistem kapasitesinin tasarlanması, darboğazların belirlenmesi, sistem çıktıların optimize edilmesi, yeni yerleşim planlarına karar vermek gibi durumlarda kullanılır.

Bu tezde üretim adedindeki büyük artış ile yeniden düzenlenmesi gereken bir üretim hattı dengeleme probleminin benzetim yaklaşımı ile çözümü yapılmıştır. Bütün firmalarda değişime karşı oluşacak olan tepkiye karşı tüm firmanın katılımıyla değişiklik yapabilmek için animasyonlu bir benzetim yazılımı kullanılmıştır. Özellikle girdi dağılımlarını ayırabilen, çıktı analizi yapan ancak akademik versiyonu bulunan Arena programı bu özellikleri desteklediği için kullanılmıştır.

Benzetim yaklaşımı ile montaj hattı dengeleme yapıldığında problem ya da darboğaz istatistiksel olarak ve animasyonla görülmektedir. Montaj hattı dengeleme gibi üzerinde deneme yapılmak istenen önemli problemlerin benzetim yöntemini kullanarak çözülmesi, benzetimin gerçekliğe çok yakın ve çok yararlı bir araç olduğunu gösterecektir.

Anahtar Kelimeler: Montaj hattı dengeleme, Benzetim, Arena, üretim yönetimi, kapasite değişimi



ABSTRACT

For decreasing production time, maximizing the output, or minimizing the cost of a product line balancing is an important tool. Line balancing problem can be encountered when the facility layout changes, a new technology arises or a change on the production size. Simulation is another tool for solving the problems mentioned above. Simulation has many alternative solutions on line balancing problems.

The primary objective of a simulation study is to help improve the quality of managerial decisions. Simulation using graphical animation easily conveys results and serves a management scientist or an operations research analyst the same way that the laboratory experiment serves a physical scientist. Simulation in manufacturing is used for such situations as: determine system capacity, test different inventory control strategies, identify bottlenecks, optimize the system throughput, plan new plant layouts.

In this thesis, the solution of a line balancing problem because of the increased amount of a product was made. Simulation with animation is used because of decreasing reaction to the change. Arena was used for simulating because it can achieve input and output analysis, and other features like animation.

If line balancing problem is solved by simulation software, potential problems or bottle necks are brought up by statistics or animation. If the problems that should be tested like line balancing are solved with simulation, it can be seen that simulation is realistic and a very strong tool.

Key Words: Line balancing, Simulation, Arena, Operations management, Capacity changes

1. GİRİŞ

Bir organizasyonun üretkenliğini söz konusu olduğunda üretim yerleşim planı oldukça önemli bir etken durumun gelir. Üretim yapan firmalarda proses tasarımı ve yerleşim planı çalışmaları işin kontrolü, akışın geliştirilmesi, yarı mamul maliyetlerindeki azalma gibi bir takım sonuçlar doğuracaktır.

Proses tasarımı ve yerleşim planı değişiklikleri yeni bir yerleşim birimi inşasında, ürün adedindeki değişimlerde, yeni ürün sunumunda gibi birkaç durum ile karşılaşıldığında gerekli olacaktır.

Bir montaj hattı ürünlerin işlem gördüğü ardışık iş istasyonlarından oluşur. İş istasyonları ise ürüne ait işlemlerin gerçekleştirildiği yerler olarak tanımlanabilir. Ürün her bir iş istasyonunda en fazla çevrim zamanı kadar kalmaktadır.

Hattın tasarımında yapılması gereken görevler, bu görevlere ait zamanlar, görevin işlem göreceği sıraya yönelik kısıtlar analiz edilir.

Bu analizden sonra problemin tanımlanması ve çözümü için çeşitli yöntemlerin kullanılması gerekmektedir. Bu yöntemlerden bu tez çalışmasında benzetim yaklaşımından yararlanılacaktır.

Benzetim yaklaşımı gerçekte olması muhtemel olayların bir bilgisayar programı ile animasyon katılarak bilgisayar ortamına aktarılmasıdır. Bu olayın gerçekleşmesi durumundaki rassallığı da katarak olası muhtemel sonuçların incelenmesi bu yöntemle çok kolaylaşmıştır.

Montaj hattı dengelenmesi neticesinde firma içerisinde bir değişim olacağı ve bu değişime de bir tepkinin olacağı kesindir.

Benzetim yaklaşımında alternatif modeller kurmak bir çok sonucun mümkün olabileceğini göstermiştir. Benzetim yaklaşımı eğer animasyonu da içeriyorsa çok daha etkili bir değişim yakalanmasını sağlamaktadır. Bir firma içerisindeki çalışanlar olması muhtemel üretim sürecinin rassallığa dayanan bir şekli gördüklerinde ikna olmaları çok daha kolaylaşmaktadır.

Bu tez çalışmasında ilk önce fabrika düzenleme tiplerinden montaj hattı sistemlerinin genel yerleşim düzenleme tipleri içerisindeki yerlerinden bahsedilmektedir.

İkinci bölüm montaj hatlarından, montaj hatlarının amaçlarından, hat dengeleme yöntemlerinden oluşmaktadır.

Üçüncü bölüm benzetim yaklaşımının tanımı, uygulama alanları, animasyonun benzetim tekniğindeki önemi ve benzetim yöntemi ile uygulama yapmayı kolaylaştıran programlar arasındaki seçimi ve nedenlerini incelemektedir.

Son bölümde DÇD Doğalgaz A.Ş. Kadosan fabrikasında katı yakıtlı kat kaloriferi montaj hattının dengelenmesi uygulama çalışması bulunmaktadır.



2. FABRİKA DÜZENLEME ve MONTAJ HATLARI

2.1 Yerleştirme Düzeninin Üretim Sistemine Etkileri

Bir fabrikanın yerleştirme düzeni, bir sistem olarak fiziksel yapıyı oluşturan unsurlardan biridir. Üretim sistemlerinde fiziksel yapı ve faaliyetlerin yerleştirme biçiminden etkilendiği noktalar şunlardır:

- Üretim departmanları arasındaki uzaklıklar.
- Alan veya hacimden yararlanma oranı, kullanma verimliliği
- Malzeme ve insan hareketleri, taşıma uzaklığı veya taşınan toplam ağırlık, taşıma süreleri ve maliyetleri.
- Taşıma işlerinde kullanılan araç-gereç tipleri ve maliyetleri
- İş istasyonları arasında bekleyen yarı mamul miktarları, toplam üretim süresi, yani üretim periyodu uzunluğu
- Fabrika içindeki ana ve ara depoların yerleri ve büyüklükleri
- İşçinin genel çalışma verimi. Gereksiz taşımalar, yorgunluk, yardımcı görevler gibi verimi etkileyen faktörler.
- Tezgahlardan yararlanma oranı, yatırım ve işçilik maliyetleri açısından verimlilik
- Makine ve tesislerin bakım planları, tamirleri veya yenilenmeleri
- Gözlem sıklığı ve posta başı, ustabaşı gibi amirlerin nitelikleri
- Üretim planlama ve kontrol işlemleri. İş seyri, tezgah yükleme, iş dağıtımı ve kalite kontrolü
- Kontrol ve düzeltici kararlar arasında geçen süre, yönetimin etkinliği.

Yerleştirme düzeninin üretim sistemi üzerindeki etkilerini özetledikten sonra fabrika düzenlemenin ana amaçları üzerinde duralım. Fabrika düzenlemenin ana amacı, tüm hareketlerin minimum düzeye indirilmesine çalışmaktır. Ayrıntılara inildiğinde bu ana amacın başarılması bir takım yan amaçları gerçekleştirerek mümkün olacağı anlaşılır. Bunlar şöyle sıralanabilir:

- Makine, araç ve gereçler her şeyden önce mantığa ve basit kurallara uygun bir düzen içinde yerleştirilmeli ve etkin bir üretim sistemi içinde entegre edilmelidir.

- Malzeme ve insan hareketleri basit, az ve kolay kontrol edilebilecek şekilde yapılmalıdır
- Yardımcı tesisler mantığa uygun, ihtiyacı karşılayacak yerlerde bulunmalıdır.
- Gelecekteki genişleme ve değişiklik isteklerini karşılayacak esnek bir yerleştirme düzeni kurulmalıdır.
- Üretim faaliyetlerinin ve yardımcı hizmetlerin ihtiyacı olan alanlar dengeli biçimde dağıtılmalıdır.
- İşçiler rahat ve emniyetli çalışabilmeli, gözlemciler az yorularak etkili bir kontrol yapabilmelidirler.
- Bu amaçları hepsi aynı anda ve en iyi biçimde gerçekleştirmek çok güçtür. Dolayısıyla n uygun yerleştirme planı, çeşitli amaçları uygun derecelerde karışımını veren optimal çözüm olmalıdır.(Tuna, 2001)

2.2 Süreç Tasarımı ve Yerleşim Planı

Bir tesisin fiziksel tasarımı organizasyonun verimliliğinde önemli bir rol oynar. Organizasyonun imalatında, tesis tasarımı ve süreç tasarımının amacı, işin kontrol ve akışını sağlamak, yarı mamul stokunun maliyetini düşürmek, donanım için gereken yatırımı en aza indirmek ve çalışanların moral ve denetimini güçlendirmeyi sağlamaktır.

Süreç ve tesisi tasarımı; (1) yeni bir tesis kurulduğunda, (2) üretimde belirgin bir değişiklik olduğunda, (3) yeni bir ürün sunulduğunda, (4) değişik süreçler ve donanımlar kurulduğunda gereklidir. Süreç ve tesisi tasarımı üretimin dışında ayrıca kütüphane, hastane, lokanta ve banka gibi hizmet işletmeleri içinde yararlıdır. Bu tür işletmelerde amaç, müşterinin bekleme zamanını azaltmak, işçi verimliliğini arttırmak , vb.

Süreç ve tesis tasarımı konusunda gösterilecek özel bir dikkat sonucunda bir çok avantaj sağlanılabilir. Bunlar:

1. Materyalin imalat süreci tamamlanmadan kaydedilmesi halinde muhtemel olarak % 95 oranında indirgenmiş imalat dönüş süreci
2. Yarı mamul stoklarında yapılan indirimler; dönüş sürecinin de katkısıyla, çoğu kez önemli bir azalma meydana gelir
3. İndirgenmiş ayar zamanları
4. İndirgenmiş alan ihtiyaçları

5. Oldukça kısıtlanmış materyal maliyeti
6. Basitleştirilmiş planlama ve kontrol sistemleri
7. Geliştirilmiş ürün kalitesi
8. Geliştirilmiş ürün fleksibilitesi

Sun Microsystems, bu konuda elde edilebilecek yararları açıklamaktadır. 1982' de kurulmuş olan Sun, bilgisayar iş istasyonu ürünleri imal etmektedir. Sun, şirketi büyümesi ve kapasite ihtiyacını karşılamak üzere üretim tesisini çeşitli safhalarda büyötmeye başladı.. bunun sonucu olarak, koordine olmuş bir süreç dizaynı yoktu. İşler her zaman, etkili bir süreç akışından çok, esas olarak çalışanların etkililiğine bağılı olarak yapılyordu. Dahası ürün karışımı devamlı olarak değışiyordu. Sonuç olarak yönetim yeni bir tesise ihtiyaç duyulduğuna karar verdi. Bu yeni tesisin dizaynında belirlenen amaçlar:

- Ürün değışikliklerini karşılamak için esneklik sağlanması
- Materyalin en iyi şekilde işlenmesi ve süreç akışı için yüksek kalite sağlanması.
- Materyallerin bilgisayar ortamında takibi ve kontrolü için gerekli olanağın sağlanması
- Çalışanlara memnuniyet verici bir çalışma ortamı aracılığıyla gerekli moralin sağlanması

2.2.1 Süreç Tasarımı Analizi

Süreç tasarımının amacı şirketin fiziksel kaynaklarının en uygun kazanç için ne şekilde organize edilmesi ve yapılandırılmasının belirlenmesidir. Bunun etkili bir şekilde yapılabilmesi için ürünlerin adım adım nasıl üretildiklerine dair bir açıklama gerekmektedir. Bu da genellikle sürecin akış şemasının çıkarılmasıyla başanlır.

Akış şemaları materyallerin işlenişı ve süreç içinde çalışışı hakkında genel bir bilgi verir. Daha detaylı bilgi ise iş akış şemaları ve süreç akış şemalarında verilir.

İş akış şemaları da, tıpkı montaj şemaları gibi üretimin belirli işlemleri hakkında önemli bilgileri gösterir. Genelde, bir iş akış şeması, parçanın adı ve sayısı, şemadan sorumlu kişinin adı, operasyon numarası, tanımı, departmanı/bölümü ve kullanılan belli makinelerin tanımlarını içerir. İş akış şemaları, montaj çizimleri ve şemalarıyla birlikte üretim için eksiksiz bir tanımlama sağlar.

Fakat, iş akışı tabloları, parçanın belirli üretim safhalarındaki hareketi ve işlenmesi hakkında gerekli kritik bilgileri sağlamamaktadır. Bunun için süreç akış şeması gerekmektedir. Süreç akış şeması, işlemlerin sırası, ulaşımı, denetimi, depolanması, ve oluşabilecek gecikmeler gibi üretimin başlıca elemanları hakkında analizleri içerir.

İş akışı tabloları, endüstri mühendisleri ve işletme müdürlerine gereksiz faaliyetlerin ortadan kaldırılmasında yardımcı olurlar. Bir iş akışı tablosunun incelenmesinde, belirli işlemlerin birleştirip birleştirilemeyeceği yada basitleştirilemeyeceği, nakliye işlemlerinin basitleştirilip birleştirilemeyeceği yada niçin gecikmelerin olduğu gibi çeşitli soruların sorulması gerekir. Bu sorulara verilecek cevaplar, iş metotlarında, donatımda hatta tasarımda belirli değişmelerin yapılmasını sağlayacak, ve buda masrafların belirgin ölçüde kısılmasına ve verimliliğin artmasına neden olacaktır.

2.2.2 İş Merkezleri

Kapasite planlaması ve programlanması doğrultusunda bir iş merkezi, bir bütün sayılabilecek bir kaç kişi veya makinenin birleşimidir. Örneğin, iş merkezi, bir yerleşimdeki bir yada bir grup makine/işçi, yada, montaj hattı veya bir ürün üzerinde bir grup işlem uygulayan değişik makineler gibi benzer görevler yüklenmiş işçi/makineler bütünüdür. Daha çok iş merkezi tanımlaması oldukça, üretim sürecinin programlanması ve kontrolü daha da zorlaşıyor ve idari kararların alımı için gereken bilgi daha karmaşık hale geliyor. Öte yandan, oldukça az iş merkezi ise belirli problemlerin tanımı ve düzeltimi için yöneticilerin olası darboğaz sebepleri, varolan performansın güçlendirilmesi , ve maliyet bilgileri gibi verilere ulaşmasını güçleştiriyor.

Etkili bir üretim bilançosu hazırlamak için iş merkezi kapasitelerinin bilinmesi gerekir. Burada kapasite, makine yada işgücü için verilen zaman dilimi içerisinde yer alan ve kullanılan saatlerin sayısı olarak ifade edilebilir. Kapasite, herhangi bir bakım yada başarısızlık durumunda oluşan çalışmama haline etki eder.

Her bir ünite için belirlenen işlem ihtiyaçları ve de her bir iş merkezinin kapasitesi verildiği takdirde; biz, belirli zaman dilimi içerisinde oluşturulan toplam ünite sayısına ulaşabiliriz. Örneğin, her biri bir vardiyada 8 saat çalışmak suretiyle, bir iş merkezi, toplam 4 makineden oluşuyor. Ve farz edelim ki, makineler bakım ve onarım dolayısıyla varolan zamanın % 15 inde kullanılabilir durumda değiller. Bu durumda bu merkezin günlük kapasitesi :

$$(4 \text{ makine})(8 \text{ saat/vardiya/makine})(1 \text{ vardiya}).(85) = 27.2 \text{ saat/günde.} \quad (1.1)$$

Bu durumda, eğer bir makine işleme sürecinin .8 dakikasına ihtiyaç duyuyorsa, bir vardiyadaki üretim hacmi ise:

$$(27.2 \text{ saat})(60 \text{ dakika/saat})(1 \text{ bölüm}/.8 \text{ dakika}) = 2040 \text{ parça/vardiya} \quad (1.2)$$

Bu tür bilgi ve süreç akış şemalarından yararlanarak, süreç tasarımcıları, üretim süreci sırasındaki tasarımlarda oluşacak değişikliklerin etkilerini belirlerler. Belirlenen işlemler uygulandıktan, materyal ve ürünlerin rotası belirlendikten, iş merkezleri belirlendikten, sıra fiziksel özelliklerin belirlenmesine gelmektedir.

2.2.3 Tesis Tasarımı

Tesis tasarımı, tesisin fiziksel özellikleri hakkındaki belirli hazırlıkları kapsar. Bu, materyal akışı, yönetim etkinliği, cihaz kullanımları, verimlilik, üretim esnekliği, bakım masrafları ve hatta işçi memnuniyetini kapsar. İyi bir tesisi tasarımı, malzeme işçi ve bilgi akışının etkili ve yeterli olmasını sağlar. Tesisi tasarımının belirgin amaçları:

1. Materyal işleme süreci ve gecikmeleri en aza indirmek
2. Esneklik sağlanması
3. İşçi gücü ve yerleşiminin en iyi şekilde kullanılması
4. Çalışan moralinin yüksek tutulmasının sağlanması
5. Gider ve diğer bakım masraflarının planlanmış olmasıdır.(Ewans, 1993)

2.3 Üretim Miktarına veya Akışına Göre Sınıflandırma

Üretilen mamulün miktarı ile üretim faaliyetlerinin fabrika içindeki akışı arasında yakın bir ilişki vardır. Aynı cinsten bir mamulün az veya çok sayıda üretilmesi kullanılan makinelerin tiplerini, imalat yöntemlerini, işgücünden yararlanma biçimini, fabrikanın yerleşme düzenini, üretim planlama ve kontrol yöntemlerini etkiler. Bütün bunlar hammaddenin mamul haline gelinceye kadar izlediği yolu, yani akışı da belirler.

2.3.1 Kesikli Üretim Sistemleri

2.3.1.1 Siparişe Göre Üretim

Tüketicinin veya müşterinin firmanın zaman, miktar ve kalite bakımından özel olarak belirlediği bir mamulün üretilmesidir. Miktar genelde bir veya birkaç denilebilecek ölçüde

azdır. Yalnız bir defa üretilen mamuller için; üretim tekniği, alet ve tertibat ve planlama bakımından yapılacak bir şey yoktur.

Belirli veya belirsiz aralıklarda tekrar üretilen mamuller için metot, işlem planlaması ve kontrol faaliyetlerinin düzenlenmesi ve bunlara ilişkin bilgilerin gerektiğinde kullanmak üzere iyi saklamak gerekir.

2.3.1.2 Parti Üretimi

Bir mamulün özel bir siparişi veya sürekli bir talebi karşılamak amacıyla belirli miktarlardan oluşan partiler halinde üretilmesidir. Bir mamulün üretimi gerçekleştirildikten sonra makine ve tesisler başka bir cins mamulün üretiminde kullanılabilir. Parti üretiminde iki temel problem vardır:

- i) Parti büyüklüğünün saptanması,
- ii) Minimum kapasite kaybına yol açan üretim programının hazırlanması.

2.3.2 Sürekli Üretim Sistemleri

Üretim alanı yalnız bir ürünün üretimine tahsis edildiği üretim şeklidir. Talebin üretim hızına uyduğu üretim, tek tip üretim sistemidir. Sipariş ve parti üretimlerinde, üretim hızının talepten biraz yukarıda olmasına izin verilebilir, yani bir miktar stoklama yapılabilir. Sürekli üretimde ise ancak talep hacminin üretimi her an yakından izlemesi şartı ile faaliyetleri sürdürmek mümkündür. Tesisattan en verimli şekilde faydalanmayı korumak için farklı zamanlarda meydana gelen üretim değişikliğinin bir program dahilinde düzenlenmesi gerekir.

Sürekli üretimi; kütle ve akış üretimi olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Kütle üretiminde bir mamulden çok büyük miktarlarda ve uzun süre imal edilir. Fakat gerektiğinde makine yerleşim düzeni, tertibat, kalıp vs. de değişiklikler yapmak suretiyle başka tip mamulün üretimine geçme olanağı vardır. Akış veya proses üretiminde ise makine ve tesisler yalnız bir cins mamulü üretecek şekilde tasarlanmıştır.

Sürekli üretim tipinde üretim planlama ve kontrol faaliyetleri parti üretimine kıyasla çok daha basit ve az yoğundur. Üretime başlamadan önce ayrıntılı bir planlama yapılır. Ancak üretim esnasında bunu değiştirmek mümkün değildir.(Uslu,1999)

2.3.3 Kesikli ve Sürekli Üretim Sistemlerinin Özellikleri

1. Üretim Miktarı:

Kesikli üretimde mamul miktarı küçüktür. Buna karşılık mamul çeşidi fazladır. Sürekli üretimde ise mamul miktarları büyük, mamul çeşidi azdır.

2. Kullanılan Makine ve Teçhizat:

Kesikli üretimde mamul miktarı çok olduğundan ve yapılan işlemler sık sık değiştiğinden çok amaçlı ve üniversal dediğimiz çeşitli işler görme niteliğinde olan tezgahlar kullanılır. Üniversal tezgahlarda yapılabilecek işlem tipi fazla olmamakla birlikte, hız ve verimlilik düşüktür. Sürekli üretimde kullanılan özel tezgahlarda ise, çalışma hızı ve verimlilik oldukça yüksektir.

3. Fabrikanın Yerleştirme Düzeni :

Kesikli üretimde prosese göre yerleştirme yapılır. Yani aynı işi gören tezgahlar bir yerde toplanır. Sürekli üretimde ise, hammaddeden başlayarak mamul hale gelinceye kadar iş parçası üzerinde uygulanan işlemleri yapan tezgahlar bir üretim hattı üzerinde sıralanırlar.

4. İş Yüğü Dengesi :

Kesikli üretimde iş yüğü dengesini sağlamak oldukça güçtür. Çünkü üretilen malın cinsinin sık sık değişmesi ve miktarının bilinmemesi planlama yapmayı oldukça güçleştirir. Bazı tezgahlar boş beklerken bazılarının işi yetiştirememesi olağandır. Sürekli üretimde ise planlar çok önceden hazırlandığından tezgahların iş yükleri arasında bir denge vardır. Dolayısıyla kapasiteden yararlanma oranı yüksek, gecikmelerin neden olduğu kayıpların oranı düşüktür.

5. İşçilik Kalifikasyonu :

Kesikli üretimde kalifiye işçilik gereklidir. Sürekli üretimde ise birkaç kalifiye elemana karşılık, önceden ayrıntılı olarak planlanmış belirli, rutin sayılabilecek işleri gören çok sayıda vasıfsız işçi vardır.

6. İş Hazırlama Faaliyetleri :

Üretilen mamul cinsinin sürekli değiştiği kesikli üretim tipinde iş hazırlama faaliyetleri oldukça fazladır. Sürekli üretim tipinde ise, üretim büyük partiler halinde yapıldığı için, her parti için ilgililere bir kez iş emri verilir. Ancak iş emrinin çok ayrıntılı olarak hazırlanmış olması gerekir. Sürekli üretimde iş hazırlama faaliyetleri yoğunluk açısından az fakat karmaşık olarak nitelendirilebilir.

7. Hammadde, Yarı mamul ve Mamul Stokları :

Kesikli üretimde değişen mamul cinsine göre ihtiyaç duyulabilecek her türlü hammadde ve malzeme stokta hazır bulundurulmalıdır. Parti üretiminde ise, yapılan hesaplamalar sonucu

En ekonomik stok düzeyleri belirlenir. Ancak bunun için tüketim hızı, hazırlık ve elde tutuma masraflarının önceden belirlenmiş olması gerekir.

Sürekli üretimde hammadde ihtiyacı önceden bilinir ve kullanım hızı sabittir. Bu nedenle sürekli üretimde normal şartlar altında her türlü stok düzeyinin az olması doğaldır. Yalnız tedarik kaynaklarındaki düzensizlik stokları yükseltebilir.

8. Fabrika İçindeki Taşıma Faaliyetleri :

Kesikli üretimde; mamul cinsinin büyüklüğü, ağırlığı ve imalat sırasındaki rotası çok değiştiği için taşıma üniversal araçlarla yapılmaktadır. Bu araçların başında vinçler gelir. Sürekli üretimde taşınan cisim belirli ve taşıma hızı sabit olduğundan amaca uygun biçimde yapılan konveyör, kaygan yüzey, raylı araba vb. özel araçlar kullanılır. Taşıma için ayrılan alan daha azdır.

9. Tamir-Bakım Faaliyetleri :

Kesikli üretimde arıza esnasında yapılan bakım üretimi fazla aksatmaz. Çünkü aynı işlem başka bir tezgahta yapılabilir. Sürekli üretimde bir noktadaki arıza bütün üretim hattının durmasına neden olur. Bu nedenle sürekli üretimde tamir ve bakım planlarının hazırlanması çok önemlidir.

10. Üretim Kapasitesi :

Kesikli üretimde kapasitenin esnek olduğu söylenebilir. Çalışma yöntemlerini geliştirme, fazla mesai yapma ve yeni tezgahlar alma yolu ile mevcut kapasiteyi artırma olanağı vardır. Sürekli üretimde tezgahlar birbirine o derece bağlıdır ki, birinin kapasitesini arttırma, üretimi arttırmayacağı gibi üretim hattında da tıkanmalara, dar boğazlara neden olabilir. Kapasitede bir değişme yapabilmek için tüm sistemi ilgilendiren büyük yatırımlara ihtiyaç vardır. (Tuna, 2001)

2.4 İş Yeri Düzenleme Tipleri

İşyeri düzenleme probleminin ilk aşaması olan ön çalışmanın yapılmasından sonra, düzenleme yapılacak iş yerinin üretim şekline göre düzenlemenin tipinin belirlenmesi gerekecektir. Bu kararın alınmasında karşılaşılan en büyük problem, hangi üretim faktörünün hareketli, hangilerinin hareketsiz olacağına karar vermek, buna ek olarak üretim makinelerinin iş yeri içinde düzenlenmesi ve gruplanması olarak ortaya çıkar. Üretim makine ve teçhizatının gruplanması iş akış hızına karar vermede önemli bir faktördür. Bunun yanında imalat tipine uygun olmayan bir işyeri düzeni imalat maliyetini artıracaktır. İşyeri düzenleme tipleri, proses, mamul cinsi ve mamul büyüklüğü kriterine göre 3 grupta toplanırlar.(Monks, 1996)

2.4.1 Mamule Göre Düzenleme

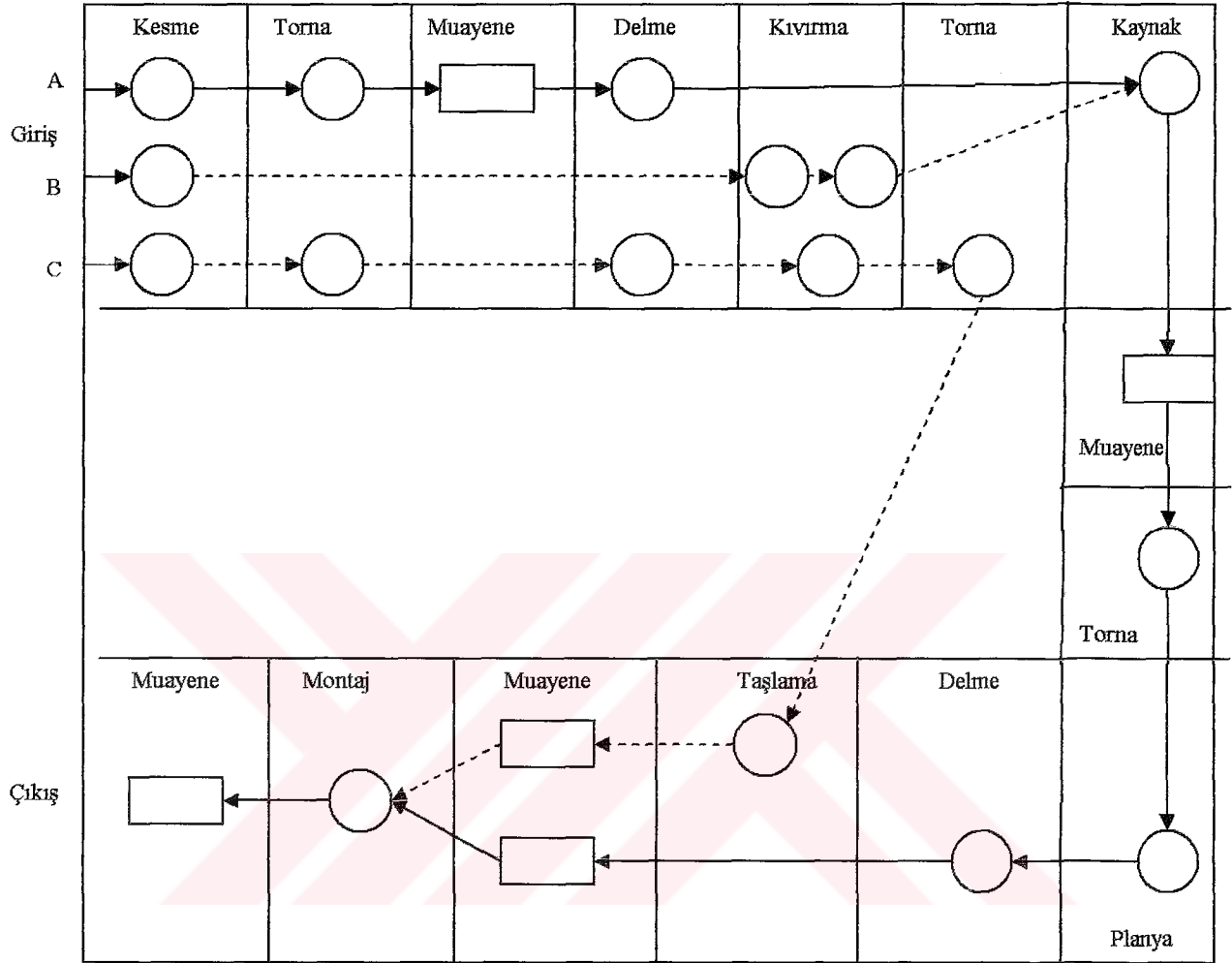
Makineler bir mamulün üretim alanına hammadde olarak girişinden başlayarak, son şeklini almaya kadar izlediği yol üzerinde işlemlerin gerektirdiği sıraya göre dizilirler. Her mamul için ayrı üretim hattı oluşturulabilir . Sürekli üretim tipine uygun bir yerleştirme düzenidir. Otomobil montajının yapıldığı modern imalat hatları, mobilya imalatı, gıda sanayi bu düzenleme şekline örnek olarak verilebilir.

Sürekli akış, seri üretim, ve toplu işlem gibi ürün süreçleri, genelde ürün tasarımı tarafından fiziksel olarak belirlenir. Cihazların hazırlanması, üretim esnasındaki operasyonların sırasına dayanır ve ürünler bir departmandan diğerine doğru devamlı bir rota takip ederler.

Bütün ürünler aynı doğrultuda hareket ettiklerinden dolayı, ürün tasarımı düzgün ve mantıklı bir üretim akışı oluşturur ve materyali işleyen özel donanımın kullanımını sağlar. Daha az yarı mamul stoku, kısa birim üretim zamanı, materyalin işlenme zamanının kısalması, iş deneyimi için gereksinimin azalması, basit planlama, üretim ve kontrol sistemleri, ürün tasarımının diğer avantajlarındandır.

Fakat yinede ürün tasarımları sırasında bir çok dezavantajda oluşur. Örneğin bir makinede oluşabilecek herhangi bir aksama bütün bir üretim hattında faaliyetlerin durmasına neden olabilir. Ayrıca, tasarım ürün tarafından belirlendiği andan itibaren, ürün tasarımındaki herhangi bir değişiklik yada yeni bir ürünün tanıtımı varolan tasarımda önemli değişikliklere yol açabilir; bunun sonucunda da esneklik kısıtlanmış olur. Ayrıca ilave etmek gerekir ki, üretim hattının kapasitesi, iş istasyonundaki darboğaz tarafından belirlenir. Son ve en önemli unsurlardan biride, ürün tasarımı işi içinde yer alan görevlerin, tıpkı seri üretim hattı gibi, çok

az iş memnuniyeti sağlamasıdır. Bu, çoğunlukla tekdüzeliğe neden olan; işgücünün yüksek seviyelerdeki bölünmesiyle bağlantılıdır.(Evans,1993)



Şekil 2.1 Mamule göre iş yeri düzenleme (Kobu,1999)

2.4.2 Prosese Göre Düzenleme

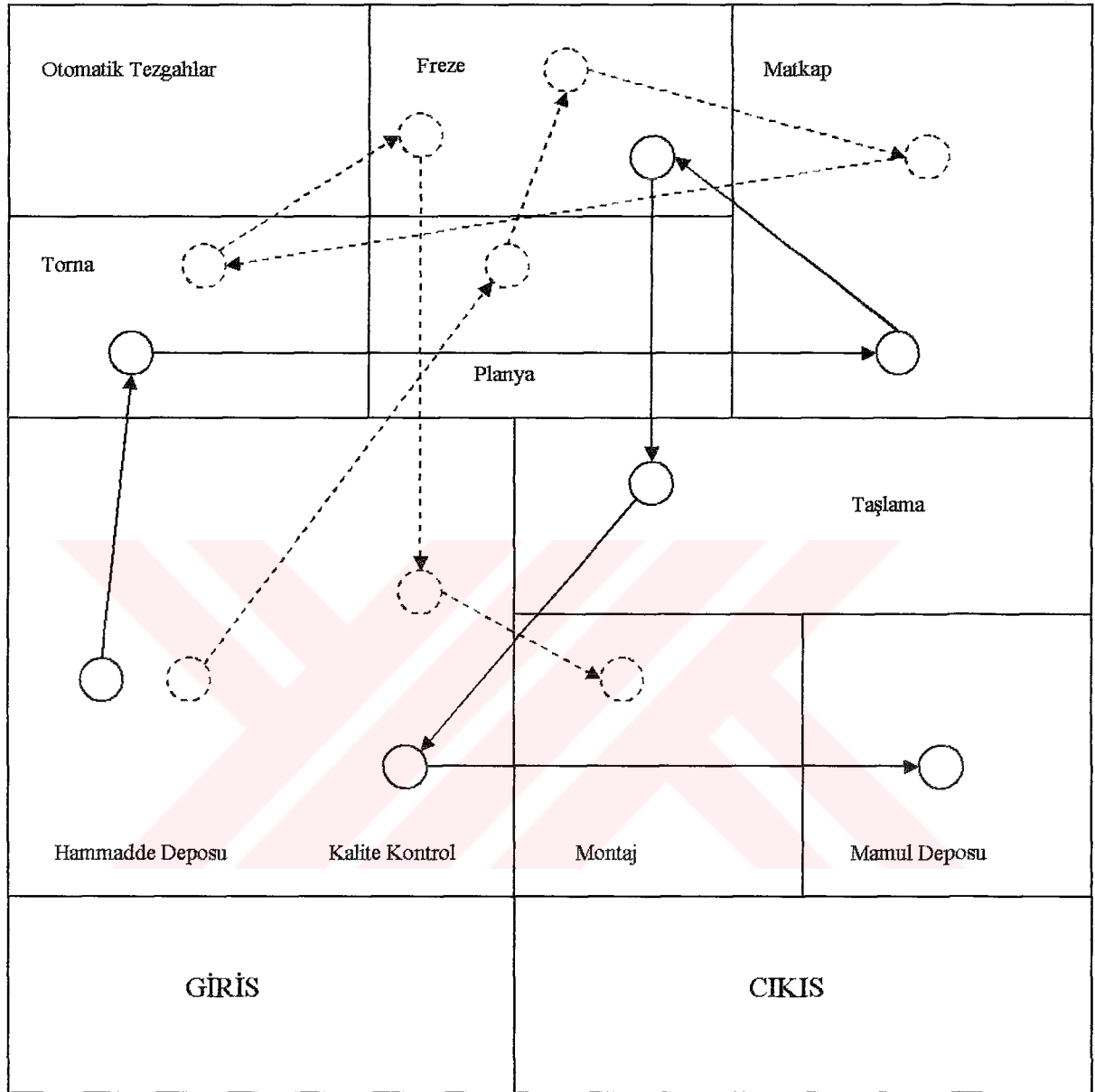
Prosese göre işyerinin düzenlenmesinde makineler ve yardımcı servisler fonksiyonel amaçlarına göre gruplandırılarak yerleştirilir (Şekil 2.2). Bu yerleştirme düzeninde ürünün imalat prosesi rol oynamaz. Ürün hammadde olarak girdiği üretim alanında, aynı fonksiyonel özelliklere sahip makinelerin toplandığı bölümler arasında dolaştırılarak üretim gerçekleştirilir. Örneğin bu düzenlemede bütün kaynak, tornalama ve boyama ayrı ayrı bölümlerde yapılır. Bu tip düzenleme en fazla parti üretimi ve sipariş üretimi gibi sürekli bir üretim söz konusu olmadığı üretim tipleri için uygundur. Müşteri siparişlerine göre çalışan atölyeler, hastaneler, her biri birbirinden farklı özel siparişlerin yerine getirildiği tekrarlanmayan ve aralıklı üretim tipi bu tip düzenlemenin esasını oluşturur (Render ve Heizer; 1996)

Süreç tasarımı, benzer işleri yapan makine yada faaliyetlerin işlevsel bütününden meydana gelir. Örneğin, bütün sondaj makinelerinin beraber ve freze tezgahlarının ayrı gruplandırılması. İçerdikleri süreçlendirme çeşitlerine göre, parçalar departmanlar arasında farklı sırayla hareket edebilirler. İş merkezleri de oluşturulacak ürünlerde esneklik yaratabilmek ve işgücü ve donanımın kullanılmasının sağlanması amacıyla süreç tasarımı kullanan şirketlerden biridir. Ürün tasarımlarına oranla, bir süreç tasarımı cihazlandırma açısından daha az sermaye gerektirir. Ayrıca görevlerdeki çeşitlilik, süreç tasarımı süresince çalışan memnuniyeti yaratır.

Süreç tasarımı sırasında oluşabilecek bilimli kısıtlamalar ise:

1. Ürünlerin departmanlar arası sık hareketi sebebiyle yüksek yükleme-boşaltma ve nakliye giderleri,
2. İşlerin aynı doğrultuda işlenmemesi nedeniyle daha karışık planlama ve kontrol sistemleri,
3. Departmanlar arasındaki yükleme ve boşaltma nedeniyle uzayan total üretim süresi,
4. Çeşitli görevlerin ayrı departmanlardan gelerek belirli bir zaman beklmeleri nedeniyle oluşan daha fazla yarı mamul stoku,

Değişik süreç gereksinimleri olan siparişleri ele alabilmeleri için daha fazla kalifiye işçi ihtiyacı.(Evans 1993)



Şekil 2.2 Prosesse Göre İşyeri Düzenleme (Kobu, 1999)

2.4.3 Sabit Pozisyonlu Mamule Göre Düzenleme

Bu tip düzenleme gerektiren işyerlerinde üretilen mamul oldukça fazla büyük ve ağır olduğu için taşınması zordur. Bu nedenle üretim personeli, üretimde kullanılacak makine ve teçhizat gerekli işlemleri yerine getirmek amacıyla, bir yerde sabit tutulan bu mamulün yanına getirilirler. Yani mamul sabit tutularak, üretim personeline ve diğer üretim araçlarına hareketlilik kazandırılır. Büyük tankların, basınçlı kapların, gemilerin, uçakların imalinde bu tip yerleştirme düzeninden yararlanılır (Kobu,B.;1999)

2.5 İş Yeri Düzenleme Tiplerinin Yararları ve Sakıncaları

2.5.1 Prosese Göre Düzenlemenin Yararlı ve Sakıncalı Yanları

Yararlı Yanları:

- Özel görevler için teçhizat ya da insan gücünde esneklik söz konusudur, bu şekilde yük dağılımı kontrol edilebilir.
- Makine zamanlarından daha iyi faydalanılır, bunun sonucu daha az makine gerekli olur.
- Makineler için oldukça düşük yatırım gerekir.
- Her bölüm uzmanlaşmış denetimden faydalanabilir.
- Görevin farklı olabilmesi, işçi için daha ilginç ve tatmin edici olur.

Sakıncalı Yanları:

- Taşıma miktarı fazladır.
- Yarı mamul stokları yüksektir.
- Makine ve işçinin boş bekleme olasılığı yüksektir.
- ÜPK işlemleri daha karmaşıktır.
- Kalifiye eleman kullanma zorunluluğu vardır.
- Toplam üretim süresi oldukça uzundur (Kobu; 1999)

2.5.2 Mamule Göre Yerleştirmenin Yararlı ve Sakıncalı Yanları

Yararlı Yanları:

- Düzenleme işlemlerin sırasına göre yapılmıştır. Bu nedenle iş akış hatları düzgün ve mantıkidir.
- Malzeme aktarılması azaltılmıştır. Çünkü makineler, ardışık işlemler arasındaki mesafeler minimum olacak şekilde yerleştirilmiştir.
- Ara stok miktarı azdır.
- Ünite başına toplam üretim zamanı kısadır.
- ÜPK işlemleri basittir, denetimi basitleştirilmiştir.
- Üretim hattındaki işçilerden az beceri istenir.

Sakıncalı Yanları:

- Düzenleme mamule göre saptanır. Dolayısıyla esneklik için pek az olanak vardır. Mamul dizaynında değişiklik olursa, düzenlemede büyük değişiklikler gerekebilir.
- Bir makinedeki arıza makineyi takip eden hattın tamamen durmasına neden olabilir.
- Oldukça fazla yatırım gereklidir. Arıza için yedek makinelere gerek duyulabilir.
- Denetim geneldir, fakat uzmanlaşmamıştır (Kobu;1999)

2.5.3 Sabit Pozisyonlu Mamule Göre Yerleştirme

Yararlı Yanları:

- Malzeme Hareketi Minimumdur.
- Ekip çalışması yapıldığından iş dağıtımı, gözlem ve kontrol kolaydır.
- Ekipler oldukça bağımsız çalıştıklarından, toplam üretim süresini kısaltacak önlemler almak mümkündür.

Sakıncalı Yanları:

- Makine ve teçhizatın mamulün bulunduğu yere taşınması güç ve pahalı olabilir.
- Makine ve teçhizattan yararlanma oranı düşük.
- Kalifiye işçiye ihtiyaç var (Kobu;1999)



3. MONTAJ HATTI Dengeleme

3.1 Montaj Hatları ve Hat Dengeleme Kavramı

Hat dengeleme problemi ilk olarak 1955 yılında matematiksel bir problem olarak Salverson tarafından ortaya atıldı. O zamandan beri araştırmacılar için önemli bir problem oldu. Araştırmacılar iki tip hat dengeleme problemi ile ilgilendiler. Tip 1 problemi belirtilen üretim ihtiyaçları için minimum sayıda iş istasyonu kurarak üretimi gerçekleştirmektir. Tip 2 problemi ise görevlerin atandığı iş istasyonlarındaki zamanların bütün fizibil çözümlerde minimal hale getirilmesidir. (Wen ve Chyan, 1998)

Endüstrileşme sürecinde, toplam işin öğelerine ayrılarak, bu parçaların ayrı ayrı işçiler tarafından yapılmasıyla daha hızlı, kitlesel ve daha ucuz üretim yapılabileceği görüşü ortaya çıkmıştır. Bunun sonucu olarak üretim, üzerinde değişik iş istasyonlarının olduğu belirli bir hat üzerinden malzemelerin geçirilmesi yoluyla yapılır. Malzemelerin, akış hattı boyunca işgücü veya donanımdan yararlanılarak transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin; aralarındaki- öncelik ilişkileri ve çevrim süresi gibi- kısıtlar göz önüne alınarak birleştirilmesiyle oluşturulan, yine bir hat boyunca sıralanmalarıyla oluşan sisteme montaj hattı denir. Hat üzerindeki iş istasyonlarında bulunan işçiler, ürün durumuna getirilecek yarı ürün önlerinden geçerken, kendilerine ait iş öğeleriyle ilgili bir veya birkaç işlemi yaparlar. Bu işlem sonucunda, hatta giren parça ve yarı ürünler, gereken tüm işler yapılmış şekilde, hattın sonundan ürün olarak çıkarlar.

Bir veya birkaç ürün için yapılacak montaj hattı üretimi tasarlandığında; üretim hattındaki iş istasyonuna ilişkin işlem sürelerinin dengelenmesi sorunu ortaya çıkar. Bundaki amaç; kurulan montaj hattının verimli olarak çalışabilmesi için; üretim süresi içinde her bir montajcıya, çok az boş süre bırakılacak veya hiç boş süre bırakılmayacak şekilde işlemlerin istasyonlara dağıtılması, yani varolan kısıtlar altında -işlem sayısının çok ve üretim hızının yüksek olmasından dolayı- iş istasyonları arasındaki işlem süresi farkları toplamının enküçüklenmesidir. Sorunun bu noktasında, sürekli üretim yapan sistemlerin yerleşim düzeninin kurulmasında, hat dengeleme problemi ortaya çıkar.

Ürün oluşumu sırasında yapılması gereken işlerin, montaj istasyonlarına, kayıp süreleri en aza indirecek şekilde atanması olayına, bir başka tanımla iş öğelerinin iş duraklarına özgülenmesine, montaj hattı dengeleme veya kısaca hat dengeleme denir.

Montaj hattı dengeleme konusu; üretim hızının artırılması, sağlıklı bir planlama yapılması ve işletmenin ekonomik sorunlarına çözüm getirmeye yönelik olmasından dolayı, endüstri dünyasında büyük önem taşır.(Ma; 1997)

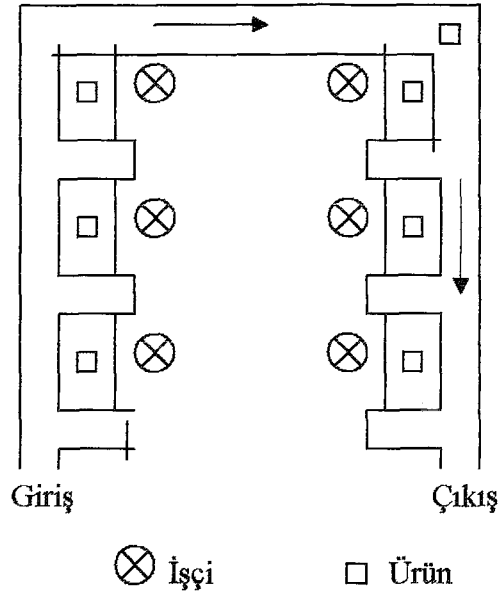
Görüldüğü gibi hat dengeleme problemleri, üretim hatlarının tasarımında ve işletilmesinde her an ortaya çıkabilen bir konudur. Gerçekte hat dengeleme problemleri, çeşitli kapasitelerde ve üretim hızlarında çalışıldığında , hatta oluşabilecek ve iş istasyonlarının verimliliğini etkileyecek başlıca etkenlerden olan atıl kaynak kullanımını en alt düzeyde tutmak için en uygun çözümün belirlenmesinde ortaya çıkmıştır.

Yukarıda genel olarak açıklanan hat dengeleme konusu, gerçekte, üretimi yapan işletmeciler için çok önemli bir konudur. Kaliteli ve yüksek hızlı bir üretim düzeyi tutturmak, gerçekte hat dengeleme çalışmalarının ayrıntılı ve iyi bir şekilde yapılması ile sağlanır.

Günümüzde ise üretim miktarları, rekabet arttığından ve piyasa koşulları zorlaşmaya başladığından, artık üretim hatlarını tasarlamak ve bu hatlara, oluşan çeşitli dalgalanmalar karşısında yeterli esnekliği verebilmek için girilen çalışmalar, bilgisayar desteği ile geliştirilen simülasyon programları ile oldukça kolay olmaktadır.

Üretimde, tezgahlar ve çağdaş montaj aletleri kullanıldığı takdirde, görece daha kısa bir sürede daha çok üretim yapılabilir. Ürün şeması veya montaj hatları kullanılarak bir kez üretim yapılmasıyla, büyük hacimdeki mallar verimli bir şekilde üretilir. (Erel vd., 2001)

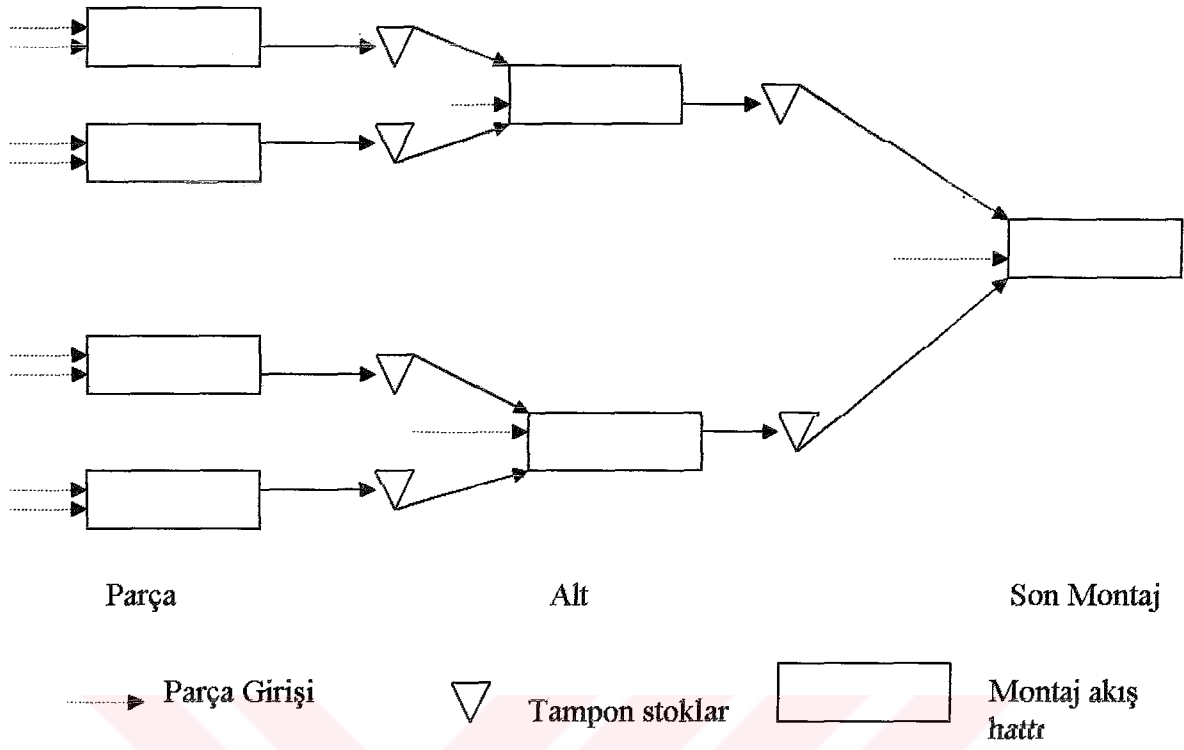
Bir montaj hattı ardışık iş istasyonlarından meydana gelir ve tipik olarak bir devamlı malzeme taşıma sistemleri ile birleştirilirler. Bir hat işin parçalarını birleştirmek için tasarlanır ve tamamlanmış bir ürünü üretmek için gerekli bütün işlemlerle ilişkilendirilir. Ürüne ait tam montaj aktivitesini prodüktif iş elemanlarına bölebiliriz. Örneğin bir IC chipini bir dairesel kart içine yerleştirebiliriz ya da bir yan paneli arabanın gövdesine monte edebiliriz. İşin en küçük parçasına iş elemanı denir ve bir aktiviteye değer katmalı, ayrıca diğer aktiviteyi hemen takip etmemelidir. Bu iş elemanları gruplarının hepsi iş istasyonlarına atanmalıdır. Bir ürün hattı tamamlandığında her bir iş istasyonuna uğramalıdır. Hat üzerinde bulunan iş istasyonlarının simültane olarak çalışması gerekir. Bir ürüne ait parçanın işlemlerinin ataması tamamlanana kadar, parça bir istasyondan diğerine geçmeli, onun öncesindeki istasyondan yeni bir parça elde edilmeli ve bütün bu işlemler birbirini takip etmelidir.



Şekil 3.1 Muhtemel Bir Montaj Hattı Düzeni (Uslu, 1999)

Montaj hatlarının birçok avantajlarından biri; direkt işçilik (ya da otomatik makine) meşguliyetini koruyarak prodüktif işin yapılabilmesi yeteneğidir. Burada karşılaşılan zorluk, tipik işlerde kuruluş aktiviteleri için zaman kaybının olmasıdır. Bu kayıplar; edinim (kazanç), malzeme sırası, araç-gereçlerin konfigürasyonu ve eğitim olabilir. Yapılan işlerin dinamik doğasında sık sık şu sonuçlarla karşılaşılır; sahip olunan boş zamanın uygun olarak planlanmasındaki eksiklik, standartlar ya da eğitimidir. İşler (görevler) tekrarlanıncaya kadar montaj hatlarında normal olarak başlangıç gereksinimleri minimumudur.

Arzu edilen montaj hattı çevresinde çok yüksek üretim hacmine sahip tek bir parça ya da benzer parçalardan oluşan grupların bulunması istenir. Ayrıca toplam iş yükü eşit olarak iş istasyonlarına bölünebilmelidir. Montaj hattı sistemleri büyük miktarlarda üretim içi stok kuyruklarına gereksinim duymaz. Sonuç olarak montaj hatlarında daha az boş zamana ihtiyaç duyulur, artı düşük envanter tutma maliyeti vardır ve işlem zamanı daha kısadır.



Şekil 3.2 Genel Montaj Sistemi (Uslu, 1999)

Sonuç olarak montaj hattı dengeleme problemleri işlem sayısının çok ve üretim hızının yüksek olduğu sürekli üretim yapan sistemlerde iş istasyonları arası işlem tamamı farkları toplamını minimum yapmaya çalışır.

3.2 Montaj Hatlarının Dengelenmesinin Amaçları

Montaj hatları, kitle üretiminin önemli bir alt sistemidir. Bu tip sistemler ayrıntıda farklı olmakla birlikte, temelde birbiri ardına dizilmiş iş istasyonlarından oluşur. Hammadde ve yarı ürün parçalar, hat içine, hattın başlangıcından veya ara istasyonlardan girerler. Giren parçalar, bir iş istasyonundan diğerine geçerek, en son istasyondan hattı ürün olarak terk ederler.

Transfer donanımı ile birbirine bağlanmış otomatik üretim makine serilerinin oluşturduğu üretim hatları olan ve transfer makineleri olarak da bilinen transfer hatları, montaj hatlarından farklı olarak insan gücünü çok az kullanır. Transfer hatlarının belirgin özellikleri; malzemenin bir hat boyunca otomatik olarak transferi ve parçaların otomatik olarak işlenmesidir. Oysa montaj hatlarında; hat boyunca malzeme çoğunlukla işgücüne dayalı bir şekilde işlenir ve transfer edilir.(Jacobs vd., 1998)

Bir montaj hattının kurulmasında ulaşılması gereken amaçlar şunlar olabilir:

1. Düzenli bir malzeme akışı sağlamak.
2. İnsan gücü ve tezgah kapasitelerini en üst düzeyde kullanmak
3. İşlemleri en kısa sürede tamamlamak
4. Boş süreleri en aza indirmek.
5. Montaj hattı üzerindeki iş istasyonu sayısını en aza indirmek.
6. Boş süreleri, iş istasyonları arasında düzgün şekilde dağıtmak.
7. Üretim maliyetini en aza indirmek.

Montaj hattı dengelemenin amaçları birbiriyle çeliştiklerinden hepsini birden en üst düzeye ulaştırmak olanaklı olmayabilir. Dengelemede ana amaç, bu çelişkilerin göz önüne alınarak en uygun çözüme ulaşılmasıdır. Bu yapılırken, montaj maliyeti de en aza indirilmelidir. Dengeleme işleminde düşünülen etmenler içinde, maliyet etkisi olan iki değişken, işgücü büyüklüğü ve hattın uzunluğudur.

İşgücü yükünün dengelenmesinde başvurulabilecek bazı çareler şunlardır:

1. Otomatik işlem süresi uzun olan iki veya daha fazla tezgahta tek bir işçi çalıştırılabilir.
2. İki kısa işlem süresi, diğerleri kadar veya daha az ise, bunlar yapılmak üzere bir işçiye verilebilir.

3. İşçinin yükü arttırılabilir.
4. İşçiler, çalışma hızlarına göre dizilebilir. (Tuna; 2001)



3.3 Montaj Hatlarının Dengelenmesini Etkileyen Temel Etmenler ve Kısıtlar

3.3.1 Temel Etmenler

Montaj hattı dengelemeyi etkileyen temel etmenler aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

1. Mühendislik spesifikasyonları; işlemler arası öncelikler ve gerekli kaynak gereksinimleri
2. İşin yapılmasında izlenen yöntem (bazı montaj işlerinde verilen belirli bir teknolojik sıra, işin kolay ve daha hızlı yapılmasını sağlayabilir.)
3. Kullanılan aygıtlar ve tezgahlar (bazı aletlerin, montaj hattının birden çok yerinde kullanılmasına gerek duyulabilir; böyle durumlarda aynı alet grubun birden fazla işlemcinin kullanabileceği bir şekilde, bazı istasyonları ardı ardına yerleştirmek gerekebilir)

3.3.2 Kısıtlar

3.3.2.1 Temel Kısıtlar

Montaj hatlarına iki temel kısıt vardır. Bunlar çevrim süresi ve öncelik ilişkileridir.

Çevrim süresi: çevrim süresini, verilmiş net üretim hedefi, brüt çalışma süresi ve tolerans yüzdesi (yani kontrol edilemeyen nedenlerle yitirilen süreler ve önceden tasarlanmış duruş süreleri toplamının, brüt çalışma süresinin yüzdesi olarak ifadesi) birlikte belirlerler. Çevrim süresi, bir adet ürünün, üretimi sırasında herhangi bir istasyonda işlem görebileceği en büyük süre değeridir. Bir istasyona atanan iş öğelerinin süreleri toplamı, çevrim süresini aşamaz.

Öncelik İlişkileri: Tüm montajın içerdiği iş öğelerinin kendi aralarında söz konusudur. Yani bir iş öğesinin yapılmaya başlanabilmesi için, diğer iş öğesi veya öğelerinin kesinlikle bitirilmiş olması gerekebilir. İstasyonlara yapılan iş öğesi atamalarının, bu öncelik ilişkilerine aykırı olmamaları zorunludur.

3.3.2.2 Yan Kısıtlar

Temel kısıtların dışında beş tane yan kısıt vardır. Bunlar aşağıda açıklanmıştır.

Konum Kısıtı: Konumsal kısıtlamalar, montajı yapılan nesnenin konumu ile, işlemcilerin banttaki konumu arasındaki ilişkiyi ifade etmekte kullanılan bir kavramdır. Konumsal kısıtlamalarla daha çok, büyük ölçekli ürünlerin montajında karşılaşılır. Ön ve arka konum kısıtı, işlerin, bandın iki yanından birinde yapılması gerektiğinde ortaya çıkar. Bu tip işler, hattın karşısına geçmek güç olacağından, aynı anda iki işçi tarafından yapılırlar. Montaj hattı dengelemenin amaçları da göz önüne alınacak olursa, bandın önünde ve arkasında yapılacak işlerin, birbirlerinden ayrılmasının gerekli olduğu söylenebilir. Alt-üst konum kısıtı ise, montajı yapılacak ürünün, belirli istasyonlarda ters veya yan çevrilmesi; işin, ürünün alt yada yan kısmında yapılması veya ürünün, hattın belirli bir yerinde, işlemcinin başının üstüne yükseltilerek yapılması durumunda ortaya çıkar. Her istasyonda, yükseltme ve ters çevirme işlemlerini yapacak donanım bulunmadığından, bulunabilse bile bu işleri yapmak ekonomik olmayacağından, ürünün altında yapılan işlerin bir veya birkaç istasyonda toplanması, daha verimli ve gerçekçi bir davranış biçimi olacaktır.

Sabit Donanım Kısıtı: Tezgahlar, test araçları gibi sabit donanımlar, montaj hatlarının bütünleşik parçalarıdır ve değiştirilemez istasyonları oluştururlar. Sabit donanım kısıtı, iş öğelerinin değiştirilebilirliğini azaltır.

İstasyon Yüklü: Montaj hattında bazı istasyonların yüklerinin , çevrim süresinin %100'ünden az olması yeğlenebilir. Bu özellikle, ilk istasyonda veya istasyonlarda, hattın başında olabilecek aksamaların, tüm hatta etkisini azaltabilmek için yapılabilir.

Aynı İstasyona Atanması İstenen İş Öğeleri: Bu özelliğe sahip işlerin, aynı veya birbirini izleyen istasyonlara atanması gereklidir. Böyle durumda bir iş ögesi alt grubu, tek bir iş ögesi gibi düşünülebilir. Örneğin, özel aygıt kullanımını gerektiren iki iş ögesinin aynı işçi tarafından yapılması, ikinci bir aygıt gereksinimini ortadan kaldıracığı için, istenilen bir durumdur.

Aynı İstasyona Atanmaması İstenen İş Öğeleri: Bu özelliğe sahip bir iş ögesi diğer bazı iş öğeleriyle, aynı istasyona atanamaz. Örneğin, aşırı fiziksel güç uygulamasını gerektiren iki iş ögesinin, iş yükü açısından ayrı istasyonlara atanmaları istenebilir. Benzer şekilde, birden fazla iş ögesi, teknolojik olarak istenmediği için aynı işlemciye atanmazlar veya en azından bir aracı (tampon) istasyon ile birbirlerinden ayrılırlar. Titreşimli bir çalışma ile, hassas ölçme gerektiren bir çalışmanın ayrılması buna bir örnek olarak verilebilir.(Tuna,2001)

3.4 Montaj Hattı Dengeleme Faktörleri ve Karar Seviyeleri

Kapsamlı bir şekilde aşağıda verilen 52 montaj hattı dengeleme faktörü; üretim yöneticileri ve mühendisleri için tasarım planlarını, yeni tasarımların ve montaj hattı sistemlerinin operasyonel değerlendirmelerini yaparken ilk dikkatte almaları gereken noktadır.

1. Montaj hattının kapasitesi.
2. Montaj hattının sınırlamalarının belirlenmesi.
3. Hatlara modellerin atanması.
4. Hatlara işçilerin atanması.
5. Konveyör ya da adımlanmış işçi hattı.
6. Çevresel sınırlar.
7. Sayısal donanım sınırlamaları.
8. Donanım kapasitesi.
9. Donanım değiştirme zamanları ve sıra bağlantıları.
10. Yetersiz donanım oranı.
11. Donanım bakım-onarım zamanı ve sıklığı.
12. Donanım alanı sınırları.
13. Performanstaki gelişmelerin etkileri.
14. Teşvik sistemlerinin etkileri.
15. İstasyonlar arasında geçen yürüme süreleri.
16. Endirekt işçi atamalarındaki sınırlamalar.
17. Bireysel işçilik gereksinimleri ve işçi motivasyonu.
18. Katılımcı görev atamaları.
19. Malzeme / Parça / Alet stokları.
20. Maksimum iş istasyonu sayısı.
21. Maksimum hat uzunluğu.
22. İstasyon Başına atanan minimum/maksimum işlerin sayıları.
23. Minimum/maksimum istasyon süreleri.
24. Model Koşum sırası.
25. Model genişliği.

26. Seçenekli/paralel istasyonlar.
27. Tek yada seçenekli hatlar.
28. Gelecekle ilgili üretim planları.
29. Ürün başarısızlık oranı ve doğru strateji .
30. Kalite kontrol süresi , yeri ve sıklığı.
31. Otomasyon kullanımı.
32. Gerekli iş grupları.
33. Gerekli işler , öncelikler ve işlem süreleri.
34. Hattın sol ve sağındaki gerekli atamalar.
35. İş paylaşımları.
36. İstasyona, ihtiyaç duyduğu işlerin atanması.
37. Güvenlik sınırlamaları.
38. Tek,seçenekli yada karışık ürünlü montaj hatları.
39. İstasyon başına tek/ seçenekli operatörler.
40. Standart iş (görev) süreleri. (Minimum ya da ortalama)
41. İstasyon uzunluğu.
42. İstasyon çalışma çizelgeleri.
43. Denetçi atama sınırlamaları .
44. İşçilerin kişisel beceri seviyelerine göre işlere atanmaları.
45. Makine arızaları ve yer değiştirme süreleri.
46. Ücret seviyelerinin etkileri.
47. Stok yerleşim sınırlamaları.
48. Stok mesafesi sınırlamaları.
49. İşçi atamaları.
50. İşçi gecikmeleri.
51. İşçi pozisyon hareketleri.
52. Montaj üniteleri arasında işçi yürüme süreleri.

Tasarım ve değerlendirme amaçları için bu faktörlerin alfabetik veya kronolojik organizasyonu yeterli olmayacaktır. Buradaki faktörler teknik, davranışsal , ekonomik

ve operasyonel ölçüleri içermektedir. Bu faktörlerin bazılarının doğasında sistematiklik, bazılarının taktiksellik bazılarının ise teknolojik öncelik ilişkileri bulunmaktadır.

Bu 52 montaj hattı faktörünü ve üretimdeki rakip olan öncelikleri dikkate alarak 10 temel karar seviyesi ve karar adımlarını içeren bir hiyerarşik karar çerçevesi düzenlenmiştir. Belirtilen bu karar seviyeleri, faktörler ve karar adımları şu sıra dahilinde geliştirilmiştir.

- Stratejik taktiksellığe,
- Sistematiikten basitliğe,
- Bu faktörler ve kararlar değerlerine (çoktan aza) göre saptandı,
- Ve onların mantıksal ve teknolojik öncelikleri dikkate alındı.

Bu 10 temel karar seviyesini şu şekilde belirtebiliriz:

- 1- Montaj hattında rakip olan öncelikler saptanmalı ve her bir montaj hattı başarılı olmalıdır.
- 2- Montaj hattı girdilerindeki odak noktası/esneklik seçimi.
- 3- Hatların entegrasyonu ve sayıları, montaj hattı sisteminin kapasitesinin ve her bir hattın parçalarının seçimi.
- 4- Her bir montaj hattı için uygun yerleşimin ve istasyon sayısının belirlenmesi,
- 5- Montaj işlemleri ve donanım tasarımları hakkındaki fikirlerin belirlenip, en uygun tercihin seçilmesi.
- 6- Karakteristikler ve kısıtlar arasındaki uygunluk ilişkisinin tarifini yapmak.
- 7- İş istasyonlarının sayısının, tasarımlarının ve operasyonel ilişkilerinin belirlenmesi.
- 8- İş(görev) sınırlamalarının belirlenmesi.
- 9- Davranışsal ve sosyolojik çerçeve içersinde, bütün bu görüşleri dikkate alarak işçilere yönelik iş tasarımını yapmak.
- 10- Montaj hatlarının kullanım programlarını yapmak.(İşçiler, malzeme, donanım ve olanaklar.)

Bütün bu 10 mantıksal montaj hattı kararları ve faktörlerinin etkilerini göz önüne alarak ve işletmenin organizasyonel kriterlerini belirleyecek tarzda hazırlanan bir “hiyerarşik karar çerçevesi” Çizelge 3.1’ de gösterilmektedir.(Tuna,2001)



Çizelge 3.1 Montaj Hatlarında Hiyerarşik Karar Çerçevesi (Tuna, 2001)

SEVİYE	FAKTÖRLER	1. KARAR BASAMAĞI	2. KARAR BASAMAĞI	3. KARAR BASAMAĞI	4. KARAR BASAMAĞI	5. KARAR BASAMAĞI
1. Rakip Montaj sistemleri/ yönetim öncelikleri	Düşük maliyetler	Hangi maliyetin minimize edileceği	Hangi maliyet kriteri (işlenmemiş ya da şimdiki değer maliyetleri vb.)	Ne kadarlık ürün hacmi/ kapasitesi (örneğin; düşü k, beklenen, yüksek, yıllık ya da gerçek çevrim miktarları)	Hangi ürün karışımı	
	Kalite	Yüksek kalite performansı ya da standartı	Kalite tanımları /ölçü aralıkları vb.			
	Esneklik/ Uydurulabilirlik	Montaj skalası Ürün montaj sırası				
	Esneklik/ Uydurulabilirlik	Ürün değişiklikleri Miktar/ kapasite değişiklikleri. Proses değişiklikleri Model değiş. Enerji politikaları				

	Dağıtım/ teslimat	Hızlı yeni ürün tanıtımları Hızlı model değişiklikleri Hızlı çevrim zamanları				
2. Montaj hattının odak noktası/esneklik	Tek seçenekli ya da karma modeller	Her hattın kabiliyeti, olabilirliği				
3. Kapasite/Hat entegrasyonu	Sistem yeteneği	Sabit ya da değişken	Eğer değişkense; maksimum kapasite için minimum yap			
	Tek ya da seçenekli hatlar	Bağımlı ya da bağımsız hatlar	Her hat tipinin kapasitesi			
4. Montaj hattı yerleşimleri	Tek ya da seçenekli yerleşimler	Yerleşim seçimi için kriter	Her alan ve hattın kapasitesi/ esnekliği/ yapabilirliği			
5. Proses/ Donanım	Teknolojik proses	Gerekli işler, öncelikler ve	Alternatif rotalar ve hatlar			

faktörleri	gereksinimleri	işlem süreleri				
	Otomasyon kullanımı	Sabit ya da programlanabilir.				
	Donanım sınırlamaları	Sayı ve mükte'dirlik	Sabit ya da hareket edebilir pozisyonlar	Sınırlı ya da sınırsız	Tek ya da seçenekli başlangıç oranları	Deterministik ya da stokastik başlangıç oranları
	İş akış kontrolü	Konveyör ya da işçi adımı				
	Denetleme ve kontrol:	Deterministik ya da stokastik denetimler				
	Hat yerleşimi, kriter, prosedür, Sıklık, personel (hatta çalışanlar) ve gerekli süreler	(Sıklık ve devamlı süreler açısından)				
	Proses kesintileri; bağımlı model sırası	Deterministik ya da stokastik				
	Donanım/araç – gereç yetersizliği ve/veya başarısız	Deterministik ya da stokastik Ortaya çıkan ve/veya				

	ayarlamalar	devamlı süreler				
	Donanım bakım onarımı	Deterministik ya da stokastik devamlı süreler	Deterministik ya da stokastik			
	Ürün başarısızlıkları	Hat içindeki ve dışındaki doğruluk ya da ıskartaya çıkarma	Ortaya çıktığında ve doğru zamanda			
6. Kolaylık faktörü	Hat konfigürasyon sınırları					
	Maksimum iş istasyonu sayısı					
	Maks. hat uzunluğu					
	Envanter yerleşim sınırlamaları					
	Envanter mesafe sınırlamaları					
	Donanım					

	yerleşim sınırları					
7. İş istasyonu faktörü	Seçenekli paralel istasyonlar					
	İstasyon çalışma çizelgeleri	Açık ya da kapalı	Eğer açıksa; kısıtlı ya da kısıtsız			
	İstasyon başına operasyonlar	Tek veya seçenekli				
	İstasyon uzunluğu	Sınırlı ya da sınırsız				
8. İlişkili görev faktörü	Katılımcı iş atamaları					
	Gerekli iş grupları					
	İstasyona, ihtiyaç duyulan iş atamaları					
	Hat sol ve sağındaki gerekli atamalar					
	İş (görev) süreleri	Durağan ya	Deterministik			

		da değişken	ya da stokastik			
9. İlişkili işle ilgili faktörler	İşçi gecikmeleri	Deterministik ya da stokastik Ortaya çıktığında ve devamlı süreler				
	İşçi atamaları	Sabit yada esnek	Eğer esnekse; sınırlı yada sınırsız			
	İstasyon başına atanmış işlerin min/maks sayıları					
	Yürüme süreleri	Zamanlar				
	Montaj üniteleri arasında yürüme süreleri	Deterministik yada stokastik				
	Ücret seviyesi faktörü					
	Teşvik sistemlerinin etkileri					
	Denetçi atama sınırları					

	Endirekt işçi atma sınırları Güvenlik/ çevresel sınırlar Bireysel işçi ihtiyaçları/ motivasyon					
10. İlişkili program faktörü	Gelecekle ilgili planlar	Tek yada seçenekli				
	Model genişliği	Sabit yada değişken	Eğer değişkense; öncelik kuralına göre programın seçimi			
	Model koşum sırası	Sabit yada değişken	,			
	Hatlara modellerin atanması	Sabit ya da değişken				
	Hatlara işçilerin atanması	Sabit ya da değişken				

3.5 Montaj Hattı Faktörlerinin Maliyetler Üzerindeki Etkisi

IBM firması montaj hattı faktörlerinin üretim maliyetleri üzerindeki etkilerini incelemiş ve şu modeli benimsemiştir.

Problem: Bir ürünün son montajındaki üretim hattının tasarımı ve maliyet etkisi:

- Her bir alt montaj hattının günlük üretim kapasitesi ne olmalı?
- Alt montaj hatları nasıl tasarlanmalı?

Kısıtlar:

- Hattın önünde yer alan pahalı ve çok büyük makineler ve bunların yerleşimindeki yüksek maliyetler
- Hatta yapılan aşırı yatırımlar.
- Küçük miktarlardaki kapasite çekiciliği.
- Binaların büyüklüğü ve kabul edilebilir limitlerdeki yerleşim boşlukları.
- İşlem maliyetleri.
- Üretim departmanında çalışan mühendislerin alt montaj hatlarını tam olarak kontrol etmek istemesi.

Tasarım Amaçları:

- Minimum maliyet.
- Minimum risk.
- Maksimum esneklik.(üretim kapasiteleri, ürün modellerindeki karmalık, prosesteki değişiklikler ve çevrim zamanları)
- Hat yönetimi.(sahiplik, proses kontrol, haberleşme, kalite ve üretkenlikte en iyiyi elde etme)

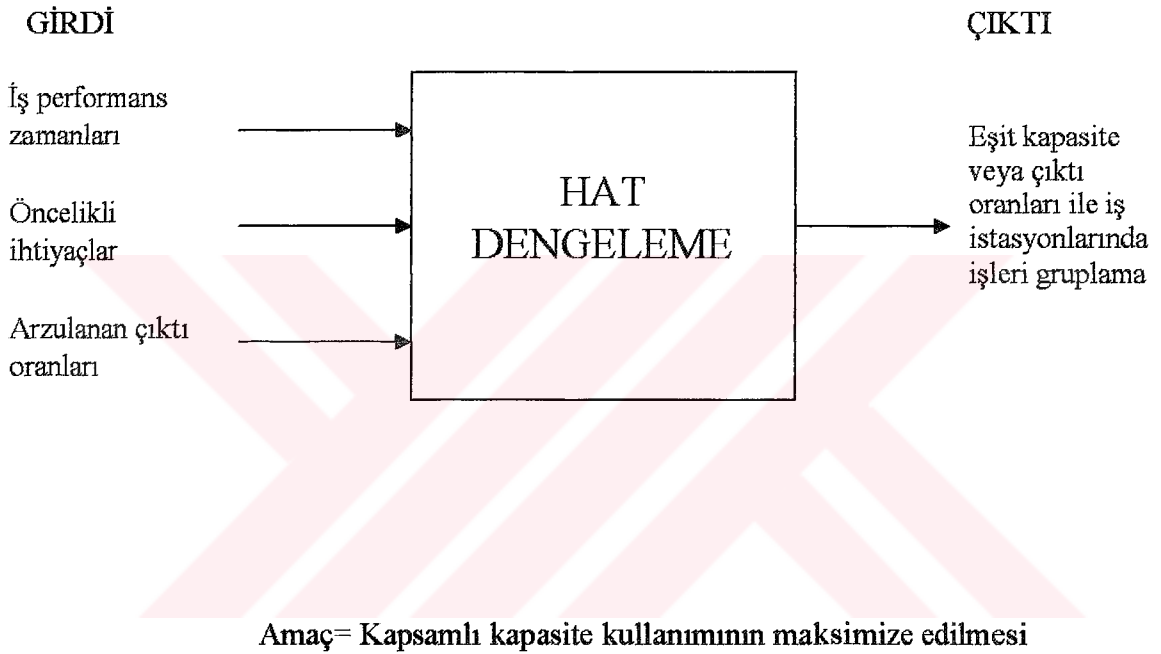
Sonuç:

- Büyük hat genişliği; toplam üretim boşluklarını ve kapasite maliyetlerini minimum yapmıştır.
- Hattın odak noktasının tasarımı (maksimum sahiplik, haberleşme, geri besleme, proses kontrol, kalite, takım çalışması ve esneklik.)

Bu belirtilen adımlar üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde; odak noktalı hatlar, temellendirilmiş hatlara nazaran %5 daha düşük maliyetle gerçekleşir.(Uslu, 1999)

3.6 Montaj Hatlarının Dengelenmesinde Kullanılan Kavramlar ve Temel Çözüm Algoritması

Gruplandırılmış işler, bir dengelenmiş montaj hattında iş performans zamanları hakkında sonuçlar vererek, kontrol altında tutulabilen fizibil sıralardaki öncelikli ihtiyaçlar ve arzulanan çıktı oranlarını ve ünite başına çevrim zamanları sağlayacaktır. Hat dengeleme probleminin ana özellikleri Şekil 3.3 de gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Hat Dengeleme Probleminin Ana Elemanları (Gökçen ve Erel, 1996)

Bir montaj hattı dengeleme probleminde şu terimler kullanılır:

İşler (Görevler): İşler, temel hareketlerden veya iş parçacıklarından oluşur. İş öğeleri; toplam işin, uygun ve pratik en küçük alt parçalarıdır ve bu iş parçacıklarının bir veya birkaçı tarafından oluşturulurlar. İş öğesi (work element); üretim süreci içinde, toplam iş içeriğinin, mantıksal olarak bölünmüş bir parçasıdır. Diğer bir görüşe göre iş öğesi; montajcılar arasında gereksiz karışıklıklara neden olmadan, iki veya daha fazla işçi arasında paylaştırılması olanaksız en küçük iş birimidir. Yani toplam işin kaç aşamada tamamlanacağını ve bunların hangi aşamalar olacağını belirleyen, işi yeterli ve anlamlı en azlara bölme sonucu ortaya çıkan birimler ve yapılacak işlemlerdir. Örneğin bir parçaya 5 tane delik açmak için beş farklı iş öğesi tanımlanabilir. Ama montaj hattının dengelenmesi söz konusu olunca, mantıksal iş öğesi, beş deliği birden açmayı

içeren iş grubu olarak tanımlanmalıdır. Ayrıca bu işlem otomatik bir tezgahta tek bir seferde yapılıyor ise o zaman beş tane delik açma işi tek bir iş ögesidir.

.Öncelikli İş: Ardışık sıraya yada emre göre işler yapılırlar. Her bir iş için öncelik demek, bilinen iş listesinden hemen öncelikli olarak yapılması gereken işi yapmaktır.

İş (Görev) Zamanı: Bir kalifiye işçi için gerekli olan zaman yada başlatılmamış bir makine için bir işi yapması için ihtiyaç duyulan zaman olarak tanımlanır. İş zamanı genellikle dakika ile ifade edilir. Montaj hattı üzerinde üretilecek bir ürünün montajı için gerekli olan süre veya işi oluşturan tüm iş ögelerinin standart süreleri toplamıdır. Toplam iş süresi;

N: Montaj hattındaki iş ögesi sayısı

t_i : i no.lu iş ögesinin işlem süresi

olmak üzere şu şekilde hesaplanır:

$$\sum_{i=1}^N t_i \quad (2.1)$$

Çevrim Zamanı: Çevrim süresi (cycle time), montaj hattında, ürünün bir istasyonda kalabileceği en büyük süre veya bir iş istasyonundaki işçinin o istasyonda yapılması gerekli işleri tamamlaması için gerekli süre olarak tanımlanabilir. Çevrim süresi, iş istasyonu süresine eşit veya daha büyük olabilen, iş istasyonundaki işçinin, işini tamamlayabilmesi için kullanabileceği süredir. Çevrim süresini seçmekteki ana düşünce, gerek duyulan üretim hızıdır. Bu süre, bazı hatlarda konveyör bandı hızına eşit alınır. Bir istasyonda, ardışık ögeler için iş tamamlama ve başlatma arasında bir süre geçer. Ayrıca o istasyondaki tüm işler bitmesine rağmen çevrim süresi dolmamış olabilir. Bu nedenle çevrim süresi üç alt süreye ayrılabilir; Üretken iş süresi, üretken olmayan iş süresi, atıl süre. Kurumsal olarak çevrim süresi, gerçekleşmesi istenen ürün çıktısından hesaplanabilir.

C : Çevrim süresi

T : Kullanılabilir üretim süresi

ÜS : Üretilmek istenen ürün sayısı

Olmak üzere şu ifade yazılabilir:(Chase vd., 1998)

$$C = T / \ddot{U}S \quad (2.2)$$

Saatteki Üretken Zaman: Her bir saat için bir istasyonda çalışılan zamanın ortalamasıdır. Bazen bir iş istasyonu çalışmayabilir; yemek arası, mola süresi, makine hazırlama ve kapatma süresi, makinenin bozulması durumunda geçen zamanlar olabilir.

İş İstasyonu: Montaj hattı üzerinde verilen bir işin, işçi/işçiler tarafından yapıldığı alandır. Her istasyonda, bir işçinin, bir işlem için gerekli araçlarla çalıştığı varsayılır. Genellikle iş istasyonu (Workstation), bir montajcı tarafından doldurulan yer olarak düşünülür. Bir montaj hattı için; en az istasyon sayısının bir olduğu ve istasyon sayısı dengeleme çalışması sırasında saptanan gerekli en az istasyon sayısının altına düşmemek gerektiği kısıtları vardır.

İş Merkezi: İki veya daha fazla özel iş istasyonunun meydana getirdiği fiziksel alandır. Eğer bir veya daha fazla iş istasyonundan istenen üretim kapasitesinin aşılması isteniyorsa, bu iş istasyonları bir iş merkezinde toplanırlar.

Çalışan İş İstasyonlarının Sayısı: Bir iş merkezinde yapılan işin miktarı iş istasyonlarının sayısında ifade edilir. 28 saatlik bir iş, 8 saatlik bir çalışma süresinde yapılıyorsa; bu 28/8 veya 3,5 iş istasyonu çalışıyor diye ifade edilir.

Minimum İş İstasyonu Sayısı: Montaj hattındaki işlemleri, her istasyona, çevrim süresini tümüyle veya en az bir tanesi dışında tümüyle dolduracak şekilde atadığımızı düşünecek olursak gerekli en az iş istasyonu sayısı (nenk) şu şekilde bulunacaktır:

$$n_{enk} = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{C} \right\rceil \quad (2.3)$$

Burada $\lceil x \rceil$; x 'e eşit ya da x 'ten büyük en küçük tamsayı değeri ifade etmektedir.

Çevrim süresinin yarısından daha büyük süreye sahip iki iş ögesinin süreleri toplamı çevrim süresini aşacağı için bu ögeler, aynı istasyona atanamazlar. Dolayısıyla bu durumdaki iş ögeleri ayrı istasyonlarda bulunmalıdırlar. Bu durumda gerekli iş istasyonu sayısı ($n_{olası}$) şu şekilde bulunacaktır.

$n_{olası}$: Çevrim süresinin yarısından daha büyük süreye sahip olan iş ögesi sayısı

Bu durumda montaj hattını dengelemek için gerekli en az iş istasyonu sayısı (n_{enaz})

Bu durumda montaj hattını dengelemek için gerekli en az iş istasyonu sayısı (nenaz), bu iki değer en büyüğü olarak tanımlanır:

$$(n_{enaz}) = \text{Enb} (n_{enk}; n_{olası}) \quad (2.4)$$

Gerçek İş İstasyonlarının Sayısı: Üretim hattına girişte istenen toplam iş istasyonlarının sayısı: Çalışan iş istasyonları sayısının bir sonraki en yüksek tam sayı değeri alınarak hesaplanır.

Kullanım: Bir üretim hattında çalışılan zamanın yüzdesi genellikle şöyle hesaplanır:

$$\frac{\text{Minimum İş İstasyonu Sayısı}}{\text{Toplam Gerçek İş İstasyonu Sayısı}} \times 100 \quad (2.5)$$

Denge Gecikmesi: İş istasyonlarının üretim hattına dengesiz dağılımından kaynaklanan boş süre olarak tanımlanır.

Verimlilik: yapılan hat dengelemenin şu formülle verimliliği hesaplanır.

$$\text{Verimlilik} = \frac{\text{İşlem süreleri Toplamı}}{\text{İş istasyonu sayısı} \times \text{Çevrim zamanı (Chase vd., 1998)}} \quad (2.6)$$

Öncelik Diyagramı: Öncelik diyagramı (precedence matrix), teknolojik öncelik diyagramının üst üçgensel matris durumuna dönüştürülmüş şekildir. Bu matriste, aralarında doğrudan veya dolaylı öncelik ilişkisi bulunan iş öğeleri için, matriste önde gelen iş öğesi numaralı satırla; izleyen iş öğesi numaralı sütunun kesiştiği göze “1”, diğer gözlere ise “0” konur.(Oflaz, 1999)

Montaj hatlarının dengelenmesinde üreticiyi ilgilendiren monte edilen işin zamanında yetişip yetişmeyeceği, makinelerin ve çalışanların nasıl yerleştirildiği, hat üzerindeki istasyonlardan birinde gecikme olup olmadığı ve genel olarak hattın nasıl çalıştığıdır. Hat dengelemesiyle sorumlu kişinin görevi ise her görevin her istasyona düzgün bir şekilde dağılımını sağlamak ve işi gerçekleştirecek olan operatörlerin istasyona dağıtımını sağlamaktır. Montaj hatlarının dengelenmesinde her bir görevin üretim zamanlarına karar vermek çok kritik bir iştir. Belirlenen zaman birimine göre her bir iş istasyonunda aynı seviyede iş yapılması gereklidir. Aksi halde bir dar boğaz olması kaçınılmazdır.

Hat dengeleme işlemini gerçekleştirmede gerekli olan her bir görevin üretim zamanlarının belirlenmesi için şu teknikler kullanılabilir.

1. zaman etüdü
2. önceden belirlenen hareket zaman sistemleri
3. iş örnekleme
4. standart veri geliştirilmesi

Hat dengeleme T.K. Bhattacharjee'ye göre şu kategorilere ayrılabilir.

1. Tek model hattı: deterministik görev zamanı: her bir istasyondaki iş elemanlarının görev zamanları sabit olarak kabul edilir ve her bir hatta tek bir ürün üretilir.
2. Tek model hattı:stokastik görev zamanı: 1 ile aynı fakat istasyon zamanlarının ortalama ve varyansları belirli bir normal dağılıma uygundur.
3. Çoklu model hatları:deterministik görev zamanı: her bir istasyonda iş elemanlarının görev zamanları sabit ve montaj hattı aynı ürünün birden fazla tipini üretmektedir.
4. Çoklu model hatları: :Stokastik görev zamanı: 3 ile aynı fakat istasyon zamanlarının ortalama ve varyansları belirli bir normal dağılıma uygundur.

Hat dengelenmesi işleminin verimliliğinin ölçülmesi Moodie ve Young(1985)'a göre şu şekilde olabilir.

$$SI = (\sum_{k=1}^{N_{stns}} (S_{max} - S_k)^2)^{1/2} \quad k=1,2,3,\dots,N_{stns} \quad (2.7)$$

Formüldeki S_{max} maksimum istasyon sayısı, N_{stns} iş istasyonlarının sayısı, S_k bağımsız istasyon zamanıdır. İstasyon zamanı şu şekilde hesaplanmaktadır.

$$S_k = S_{mean} + \sigma (S_{var})^{1/2} \quad (2.8)$$

σ normal dağılımdaki sabiti, S_{mean} ortalamaların, S_{var} varyansların toplamını ifade etmektedir. σ genelde 1 olarak kabul edilebilir.

İlk formülde hat dengeleme verimliliği için zaman farkı kritik bir elemandır. SI ne kadar küçük olursa dengeleme verimliliği de o kadar iyidir.

Bir montaj hattının dengelenme probleminin çözümünde takip edilmesi gereken sırayı şöyle belirtebiliriz :

1. Belirli bir ürünün bir parçasının, bir bölümünün tamamlanması için hangi görevlerin yapılması gerektiğini belirlemek.
2. Hangi işlerin bir sıra veya düzen içinde yapılması gerektiğini belirlemek.
3. Bir öncelik diyagramı çizmek. Bu şemada işler yuvarlak ile gösterilir ve öncelik ilişkisi bulunanlar oklarla birleştirilirler.
4. İş (görev) zamanlarını tahmin etmek.
5. Çevrim zamanını hesaplamak.
6. Minimum iş istasyonu sayısını hesaplamak.
7. Uygun bir algoritma kullanarak işleri istasyonlarına atmak ve böylece montaj hattını dengelemek. (Leung ve Fun, 1999)



3.7 Montaj Hattı Dengeleme Yöntemlerinin Sınıflandırılması

3.7.1 Probleme Göre Sınıflandırma

Montaj hattı dengeleme problemi, farklı ölçütler dikkate alınırca çeşitli tiplerde olabilir:

- 1) Amaç sayısı: Tek veya çok amaçlı olabilir. Amaçlar; çevrim süresini uygun duruma getirmek, istasyon sayısını en küçük sayıya indirmek gibi olabilir.
- 2) İşlem süreleri: İşlem süreleri belirli veya rassal olarak düşünülebilir. Uygulamada değişken sürelerle karşılaşılmasına rağmen, klasik dengeleme yöntemlerinin çoğu, sabit iş süresi kabulü ile gerçekleştirilmiştir.
- 3) Ürün/Model Sayısı: akış hatlarının tiplerine bağlı olarak montaj hatlarında bir ürün, bir ürünün birden çok modeli veya birden çok benzer ürün üretilebilir.
- 4) Paralel Tezgah Durumu: Montaj Hatlarında paralel tezgah kullanımı durumunda, işlerin atandığı bir istasyon süresi, çevrim süresinden büyüktür. İstasyon süresinin, çevrim süresinin x katı olması durumunda, aynı işleri içeren x adet istasyon, paralel olarak düzenlenir. Bu durum denge kaybına olumlu etkiye bulunur.
- 5) İstasyondaki işçi sayısı: bir istasyona, bir veya birden çok işçi atanabilir. Bir işçi atanmasının işlerin zamanında bitirilmemesi, birden çok işçi atanmasının ise fazla masraflı olabilmesi gibi dezavantajları vardır.
- 6) Hattın Durumu: montaj hattı sabit veya hareketli olabilir.
- 7) İstasyon Durumu: İşlemler, insanlı, otomatik veya karma şekilde yapılabilir.
- 8) Kaynak Kısıtı: Malzeme, işgücü, tezgah, üretim alanı gibi kaynaklar kısıtlı olabilir.
- 9) Malzeme İkamesi: işlemler sırasında bir malzeme bir başkasının yokluğu durumunda onun yerine kullanılabilir.

- 10) Kusur oranlarının verilmesi durumu: yarı ürün istasyonlarda işlenirken kusurlu parçalar ayıklanır. Bu durumdaki parçaların oranının belli sınırlar içerisinde kalması istenebilir.
- 11) Özel problemler: öğrenme, maliyet, atanan iş öğelerinin istasyon içinde sıralanması gibi özel durumlar istenebilir.

3.7.2 Çözüm Yaklaşımına Göre Sınıflandırma

3.7.2.1 Sezgisel Yöntemler

Bu yöntemler belirli bir yordamın izlenmesi ve belirli varsayımların yapılması yoluyla, montaj hatlarının dengelenmesi konusunda yaklaşık çözüm verirler. Şimdiye kadar geliştirilen oldukça çok sayıda sezgisel yöntem vardır. Bu yöntemlerin çoğu, çevrim süresini sabit kabul ederek istasyon sayısını ve buna bağlı olarak dengeleme kaybını en küçüklemeye çalışır. Birkaç tanesi de istasyon sayısını sabit kabul ederek en uygun çevrim süresini saptamaya çalışır.

Bazı sezgisel yöntemler şunlardır:

1. Konum ağırlıklı dengeleme tekniği
2. Aşamalı sıralamayla çözüm
3. Öncelik diyagramı ile çözüm
4. İki aşamalı dengeleme tekniği
5. COMSOAL tekniği
6. Dinamik programlamayla çözüm
7. Killbridge-Wester yöntemi
8. Aday matrisle çözüm
9. Probabilistik hat dengeleme
10. Gruplama yöntemi
11. En kısa yol yöntemi
12. Raouf-Tsui-Elsayed yöntemi
13. İlişkili etkinlik yöntemi

3.7.2.2 Analitik Yöntemler

Bu yöntemler matematiksel programlama yöntemleri olarak sa anılırlar ve en uygun sonucu verirler. Bowman tarafından geliştirilen doğrusal tamsayılı programlamayı ve Talbot ve Patterson tarafından geliştirilen 0-1 tamsayılı programlamayı kullanan yöntemler, örnek olarak verilebilir. Bu yöntemlerde amaç fonksiyonu ve kısıtları bulunur. Özellikle işlem sayılarının arttığı durumlarda çözüm bulmak zorlaşmaktadır. Bu nedenle montaj hattı dengeleme problemlerine bulgusal yöntemlerle yaklaşılması daha yaygın bir durumdur.

3.7.2.3 Benzetim Teknikleri

Benzetim tekniği, yöneticinin denemeler yoluyla karar vermesini kolaylaştırır. Herhangi bir sistem işleyişini anlamak veya bu sistemin işleyişi ile ilgili değişik stratejileri değerlendirmek için sistemin zaman içindeki çalışmasını taklit eden bir bilgisayar modelinin kurulması ve bu model ile deneyler yapılmasına benzetim denir. Bir sonraki bölümde Benzetim tekniği, kullanım alanları, montaj hattı dengelemesindeki etkileri ve benzetim yazılımı ile ilgili detayları bilgiler bulunabilir.

3.8 Stokastik Montaj Hattı Dengeleme Kavramı

Stokastik montaj hattı dengeleme problemi şu şekilde tanımlanabilir: Sonlu bir iş seti verilir ve bu işlerden her biri bir olasılık dağılımına göre dağılmış iş sürelerine sahiptir. Buna göre problem, öncelik ilişkileri dikkate alınarak ve belirli bir performans en iyilenecek şekilde işlerin uygun iş istasyonlarına atanmasıdır.

İş süreleri stokastik olduğunda işler aşağıdaki iki sebepten dolayı tamamlanamamaktadır;

1. İş verilen çevrim zamanı içinde tamamlanamamakta, veya
2. İş, öncelik diyagramında tamamlanmış bir işin takipçisi durumunda olmaktadır.

Bu problem türünde genellikle, toplam sistem maliyeti, işgücü ve tamamlanamama maliyetinden (birimler hatta ilerleme esnasında, tamamlanmayan birimlerin sebebiyet verdiği maliyet) oluşur.

Stokastik montaj hattı dengeleme problemlerinin genel varsayımları şunlardır;

1. İş süreleri, parametreleri belirli bilinen bir olasılık dağılım fonksiyonuna göre dağılırlar.
2. Problemlerin öncelik diyagramları kesinlikle bilinmelidir.
3. İşlerin bölünmesine izin verilmemektedir.
4. Her bir istasyon bir operatör tarafından yürütülmekte ve her bir operatör ayrı ücretlendirmeye tabi olmaktadır.
5. Her bir iş, eğer kendisinden önceki tüm işler tamamlanırsa başlayabilir.
6. Bir iş tamamlanmadığında, birim tamamlanmak üzere hattın dışına hareket eder. Tamamlanmayan tüm birimler hattın dışında tamamlanır.

Literatürde stokastik montaj hattı dengeleme problemleri için en fazla rastlanılan amaç, toplam işgücü ve toplam tamamlanmama maliyetlerinden oluşan toplam sistem maliyetinin en küçüklenmesi şeklindedir.

Stokastik montaj hattı dengeleme problemlerinde tamamlanmayan ürünlerin tamamlanmasına yönelik değişik alternatifler söz konusu olup, bunlar aşağıda kısaca belirtilmiştir; (Gökçen ve Erel, 1996)

1. Tamamlanamayan işi tamamlamak için gerekli zaman kadar tüm hat durdurulabilir.
2. Ürünler, hat boyunca stratejik olarak yerleştirilmiş özel istasyonlarda test edilebilir ve tamir edilebilir.
3. Kalifiye bir ekip, gerekli olduğu durumda bir mobil tamir istasyonunda hizmet verebilir.
4. Tüm tamamlanamayan birimler hattın sonunda dikkate alınırlar.

Uygulama bölümünde Stokastik montaj hattının dengelenmesine yönelik bir çalışma yer almaktadır.

4. BENZETİM YAKLAŞIMI

4.1 Benzetim Yaklaşımı Tanımı

Sistemler, özellikle insan tarafından yapılandırılan sistemler, gittikçe daha karışık hale geldiler. Bu sistemlerin yapısını anlamaya yönelik varolan ihtiyaçla birlikte, benzetim önemli ve kullanışlı bir araç haline geldi. Shannon benzetimi:

1. Sistem yapılarını açıklayan;
2. Gözlemlenen yapılar hakkında teori yada hipotezler geliştiren;
3. Ve bu teorileri sistemde yada operasyon yönetiminde yer alabilecek değişikliklerin yol açabileceği ileriye dönük olasılıkların tahmininde kullanan deneysel ve uygulanabilir yöntemler bütünü olarak tanımlar.

Benzetim basit formüllerin bile sistem içinde meydana gelebilecek olayları tahmin edemeyeceği kadar karışık sistemler için öngörülür. Bilgisayarın güçlü bir hesaplama aracı olarak ortaya çıkmasından itibaren, benzetimin tanımı bilgisayarı, istatistiksel girdilerin hızlı üretimi ve çıktıların analizini bir araya getirebilen önemli bir parça haline getirmiştir. Mitra: “Bilgisayar simülasyonu, idareci bir bilim adamına yada işlem araştırmacısına; tıpkı bir laboratuvar deneyinin bir fizikçiye hizmet ettiği gibi hizmet eder.”

Benzetim; tıp, mekanik ve elektrik tasarımı, servis organizasyonları, üretim, sosyal ve davranışsal bilim, ulaştırma sistemleri, global sistemler ve hukuk uygulamaları da dahil olmak üzere pek çok alanda kullanılır. Fakat, bu tezin ana teması benzetimin üretimdeki uygulaması olacaktır. Bu çalışmada benzetim hakkında yapılan diğer göndermeler üretim senaryolarındaki uygulamaları kapsar.(Sadowski vd., 1998)

4.2 Benzetim Model Örnekleri

Benzetim, sistemleri anlamak için kullanılan bir analiz aracıdır. Sistem, birbirlerine bağlı ve etkileşim içinde olan elemanların birleşimi olarak adlandırılabilir. Örneğin, bir üretim senaryosunda bu elemanlar, işçiler, makine merkezleri yada kaldıraçlar olabilir. Bu elemanlar, bölümler/saat şeklinde sayısal ifadelerle şekillendirilir ve tatbik edilir. Sistem modeli, sistemi kapsayan elemanların bu matematiksel tanımıdır. Benzetim, daha sonra modelin tanımlamasını yapmak üzere model hakkında bilgi toplar. Modelin gerçek sistemin bir tasviri olması dolayısıyla, model hakkında elde edilen çıkarımlar araştırma sonucunda gerçek sisteme aktarılır. Benzetim modelleri belirli kategorilere göre sınıflandırılır:

- Fiziksel yada matematiksel

- Deterministik yada stokastik
- Devamlı yada ayrılmış

Bu tezde anlatılmayacak olan fiziksel model, aslında sisteme benzetilen bir ölçek modelidir. Matematiksel model, sistem elemanlarının hareketlerinin sayısal tanımıdır.

Matematiksel benzetim, ya Deterministik yada stokastiktir. Deterministik sistemde gelişigüzellik yada çeşitlilik yoktur – örneğin ışık beş dakikada bir kırmızıya döner. Fakat genelde bütün sistemler stokastiktir. Bunların hareketleri istatistiksel dağıtımla belirlenir. Örneğin, montaj parçalarının paletinde çalışanlar için %1 oranında hatalı parça beklentisi vardır. Bu 100 parçalık bir palette her zaman 1 tanenin hatalı olacağı anlamına gelmemektedir. Bazen hiç hata olmayacaktır, kimi zamanda 3 tane olacaktır. Bu olaylar orantı yada sıralamayla belirlenir.

Devamlı benzetim modelleri değişiklikleri zaman içerisinde akıcı olarak sergilerken, ayrılmış benzetim sistemdeki her elemana ne olduğuyla ilgilenir ve bir sonraki aşamaya geçer. Çoğu üretim sistemi stokastik ve ayrılmıştır. Buna bağlı olarak, bu modellerin oluşturulmasında kullanılan yazılımda stokastik ve ayrılmış yada ayrılmış ve devamlı modelleme özelliklerini birleştirir. (Jones, 1992)

4.3 Benzetim Mekanîği

Benzetim, sistem dahilindeki farklı elemanların etkileşimlerinin modellenmesidir. Bir benzetim yapılandırılmadan evvel, benzetimin nasıl çalıştığının anlaşılması gerekir. Kavramsal olarak benzetim, aşağıdaki mantık sırası dahilinde biçimlendirilebilir:

Sistemi değiştirecek olaylar yaratan ve belirli koşullar altında çeşitli aktivitelerle ilişkide bulunan nitelik sahibi oluşumlar...

Bu sırayı kontrol eden ve etkileyen parametreler, değişkenler, işlevsel ilişkiler ve sınırlamalardır. Parametre ve değişkenler nitelikleri; işlevsel ilişkiler aktiviteleri; sınırlamalar da koşulları belirler. Benzetim dahilindeki bütün bu olaylar, sistem durumunda bir değişiklik meydana getirmek için birleşirler. Sistem durumundaki bu değişiklikler belirli süre üzerinden olduğu için, modelin zaman bazlı mekanizmasında anlaşılması gerekmektedir.

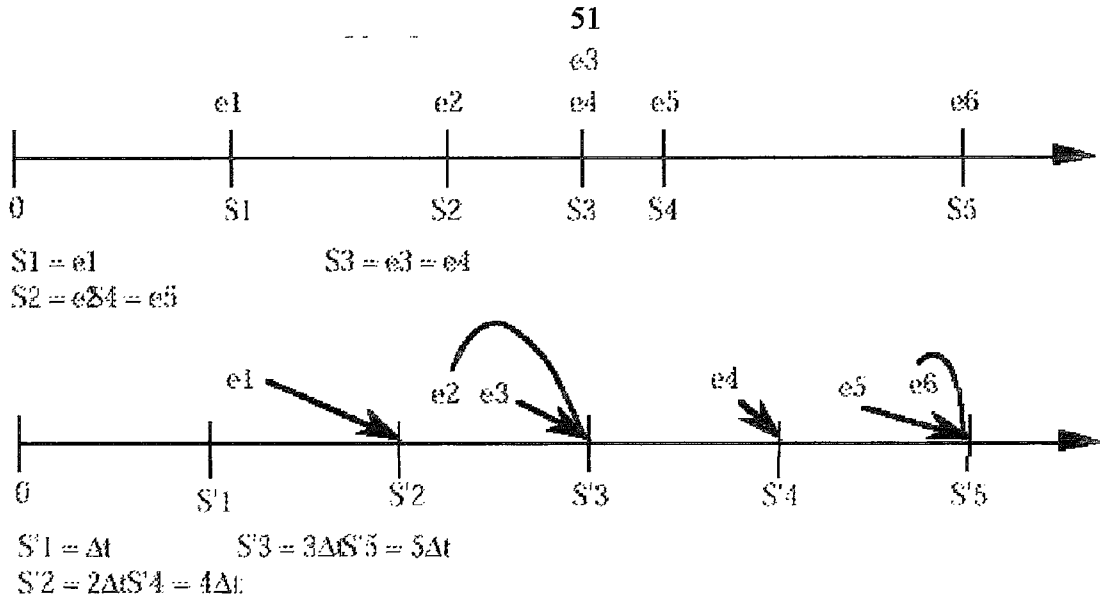
Parametreler modelin içerisindeki belirlenmiş niceliklerdir. Bunlar, belirli bir işleve göre değişen nicelikler olan değişkenler farklıdır. Örneğin, bir paketleme makinesi normal dağılımla bir çevirimi 10 saniyelik bir sapmayla 3 dakikada tamamlar. Alt sistem parametreleri sabit kalabilen paketleme zamanının ortalama ve standart sapmalarını oluştururlar. Değişken de, makinenin bir çevirimi tamamlaması ve her çevirimde

değişmesinin saniye olarak verilen sayısıdır. İşlevsel ilişkiler değişkenlerde parametreler arasında oluşurlar. Bunlar genelde eşitlemeler şeklinde ifade edilirler ve istatistiksel dağılımlar şeklindedirler. Örneğin bir paketlenme makinesi için gereken yoğunluk işlevidir:

$$f(x)=1/(2\pi) e^{-z^2/2} \quad (3.1)$$

Bu işlevsel ilişkide değişken; x parametre; z ve e sabittir. Bir sisteme benzetebilmek için büyük oranda veriye ihtiyaç vardır. Kısıtlar ise, gerekliyse benzetim alanını sınırlamak için düzenlenir. Ayrıca kısıtlar, sistem dahilinde modelci yada sistemin doğasında yer alana göre belirlenir. Değişkenin minimum yada maksimum değerleri yada mantıksal uygulamaları (bir makine arıza süresince görevini yerine getiremez) de kısıtlardır.

Süre zarfında sistemdeki durum değişikliklerinin yer aldığı noktaya olay zamanı denir. Benzetimin durum değiştirmesiyle zaman atlaması gerçekleşir. Gerçek bir sistemde olaylar eşzamanlı olarak oluşur, fakat dijital bilgisayarda olaylar sıralı şekilde gerçekleşir. Verilerin saklanması için iki mekanizma vardır: sabit artış ve sonraki olay mekanizması.



Şekil 4.1 İki tip zaman tutma mekanizması a; sonraki olay b; sabit artış mekanizması (Jones, 1992)

Bu iki veri saklama mekanizmasının tasviri şekil 4.1' de gösterilmiştir. Sonraki olay mekanizması bir sistem durumundan diğerine atlar. Olayların zaman artışlarına nasıl eşit olduğunu da belirtelim. Sabit artış mekanizması devamlı gidiş esnasında simülasyona döner. Olayların gösterge için bir sonraki sabit artışa geçmelerine rağmen zaman artışları olaylara eşit uzaklıkta ve bağlı değildir. Örneğin; $e2$ ve $e3$ değişik zamanlarda ortaya çıkmalarına rağmen, ikisi de $s3$ zamanında ortaya çıkarlar. Bir çok olay benzetim modeli bir sonraki olay zamanını atlayarak çalışır.

Zaman süresince değişiklik belirten devamlı benzetim modelleri, genelde sabit zaman atlamalı mekanizma kullanırlar.

4.4 Benzetim Evreleri

İyi bir benzetim oluşumu, interaktif ve sırasız işlemler bütünüdür. Yinede, bu işlem sırasında belirli basamaklar oluşabilir. Law& Kelton, bir benzetim modeli yaratmak üzere gereken işlemler için on tipik aşama belirlemiştir.

1. Problemi formüle et ve çalışmayı planla. Çalışma amacını belirle, sistem sınırlarını ve kullanılacak performans ölçütlerini belirle. Varsa, alternatif nesne tasarımlarını da belirle.

2. Veri topla ve bir model belirle. Modelde gelişigüzel kullanılan değişkenler için istatistiksel dağılımlar ve girdi parametrelerini hesap et. Ayrıca model için gerekli olan bilginin mantıklı dizinini oluştur.
3. Geçerli? Çalışma sırasında karar vericiler ve model kullanıcıları da dahil olmak üzere geçerli sistemdeki işlemlerle dolaylı olarak alakalı insanların dahil olması zorunludur.
4. Bir program kur ve doğrula. Daha sonra benzetim modelcisi bir benzetim dili yada yazılım paketi seçer, simülasyonu kurar ve debug eder.
5. Deneme yap. Doğrulanmış olan programı çalıştır.
6. Geçerli? Bu evre, girdi parametresinin hassasiyetini araştırır. Modelin çıktısını varolan benzer bir sistemle karşılaştırır.
7. Deneyler tasarla. İstenen bilgiyi veren bir deneyin tasarımı
8. Üretimin yapılmasını sağla. Performans verisi ve hassasiyet analizinin oluşturulmasının simülasyondaki tatbiki.
9. Çıktı verisini analiz et. 1. aşamadaki performans kriterleriyle karşılaştırılmak üzere güven aralıkları gibi istatistiksel teknikler kullanılmıştır. Analizi baz alan aksiyonlar tavsiye et.
10. Sonuçları tamamla ve belgele. Modele giden ve tavsiyeleri tamamlayan sanıları belgele.

İlk altı aşama modelin kuruluş evresi olarak belirlenirken, son altı aşama kullanım evresidir. Burada şunu da belirtmek gerekir ki, her benzetim çalışması bu evreleri kapsamayabilir, bazıları da ayrıca aşamalara sahip olabilir. Modelleme bir bilimden çok bir sanattır. Araştırma altındaki sistemin özünü belirlemek için gereken modelin geçerliliğini tehlikeye düşürmemek için çok fazla ayrıntıya girmemek gerekmektedir. Öngörülen yaklaşım düşük seviyede ayrıntıyla yavaş şekilde hazırlanmaktır. Bir makale modelin içerdiği her elemanın birebir benzerlik göstermemesi fakat çalışma için gereken amaçların belirlenmesinden sonra bunlara hizmet edebilecek kadar detaya girmek gerekmektedir.(Jones, 1992)

4.5 Benzetim Modeli Nitelikleri

Simülasyonu, sistemin davranışını anlamak veya sistemin işlemesi için gözönüne alınan değişik stratejileri değerlendirmek amacına yönelik olarak, gerçek sistem modelinin tasarlanması ve bu model ile deneylerin yürütülmesi süreci olarak tanımlamıştık. Bu tanım,

bize, iyi bir benzetim çalışmasının ve modelinin karakteristikleri ve alanı hakkında bazı önemli göstergeler vermektedir.

- Benzetim sistemin işlemleri ile ilgilidir.
- Benzetim gerçek dünya problemlerinin çözümü ile ilgilidir.
- Benzetim, sistemin denetimindeki ve sistemin davranışına ilişkin hizmetlerin yararına yöneliktir.

Şimdi kısaca bu göstergeleri açıklayalım.

Benzetim sistemin işlemi ile ilgili “sistem” belli bir işlevi yerine getirmek üzere bir araya gelmiş bulunan ve aralarında etkileşim bulunan nesnelerin kümesidir. Sistem, bir askeri silah olabilir, bir sanayi işletmesi, bir organizasyon, bir ulaşım ağı, bir hastane olabilir, bir kent veya bir insan-makine ikilisi olabilir. “İşlem”, belli bir amacı gerçekleştirmek için gerekli olan koordineli faaliyetler kümesidir. Buna göre, ilgilendiğimiz sistemler hedef veya amaç yönlüdür. Bu ise, bir sistemin modelini kurmaya çalışırken, bunun amaçları ve hedefleri ile sıkı sıkıya ilgilenmemiz zorunluluğunu göstermektedir. Uygun modelin kurulabilmesi için, sistemin ve modelin hedeflerini sürekli olarak aklımızda tutmalıyız. Benzetim, gerçek dünyanın sorunları ile ilgili olduğuna göre, elde edilen sonucun gerçek anlamda, gerçek durumu yansıttığından emin olmalıyız. Herhangi bir model, parametrelerin ve değişkenlerin uç değerlerinde irdelenmelidir. Eger anlamsız sonuçlar çıkar ise, modelden kuşku duymak ve gözden geçirmek zorunludur. Modelin yanıtlaması gereken bir soru türü de “Eğer, .. olsaydı, ne olurdu” biçimindeki sorulardır. Bu yalnızca, sorunun daha derinlemesine anlaşılmasına yardımcı olmakla kalmayacak, aynı zamanda değişik seçeneklerin de değerlendirilmesinde katkıda bulunacaktır.

Son olarak, önemli bir nokta da, türetilen bilgilerin kullanıcılarını unutmamaktır. Karar verici tarafından kullanılmayan veya kullanılabilir olmayan bir model hiç bir açıdan savunulamaz.

Yukarıdaki açıklamalardan hareketle, iyi bir benzetim modelinden neler beklendiğini şöyle sıralayabiliriz. İyi bir benzetim modeli,

- Kullanıcı tarafından kolaylıkla anlaşılmalıdır. Amaç veya hedef yönlü olmalıdır.
- Anlamsız sonuçlar vermeyecek sağlamlıkta olmalıdır.
- Kullanıcı tarafından denetimi ve işletilmesi kolay olmalıdır.
- Tam olmalıdır.
- Model değişikliği ve güncelleştirilmesi için kolaylıkla uyarlanabilir olmalıdır.

- Evrimsel olmalıdır; yani basit bir şekilde başlayıp giderek karmaşıklaşmalıdır.(Weston, 2000)

Benzetim yaklaşımı çok sayıda değişik türden probleme uygulanmaktadır. Bu problemlerin bir kısmı matematik bir kesinlik beklerken bir diğer kısmı da matematik ile ilişkisiz olabilmektedir. Benzetim bir bilim dalı olmakla birlikte, hala bir sanat niteliği taşımaktadır. Değişik bilim dallarından gelen kimselerin değişik sorunlar üzerinde benzetim uygulamalarının bir sonucu olarak tüm bu çalışmalarda geçerli olabilecek bir benzetim yöntembiliminin bulunacağını düşünebiliriz. Nitekim aşağıdaki satırlarda bu yöntembilimin adımları açıklanacaktır. Ancak bu adımlar, çalışmayı sınırlandırıcı dar bir koridor olarak değil, genel bir yönlendirici ve yol gösterici olarak algılanmalıdır.

Benzetim sürecinin adımlarını aşağıdaki gibi ele alabiliriz.

Problemin formülasyonu

- a. Çalışmanın amacı
- b. Sistem tanımı
- c. Varsayımların belirlenmesi

Benzetim deneylerinin tasarımı

- a. Matematik modelin formülasyonu
- b. Benzetim deneyi için veri derleme
- c. Örnekleme
- d. Model geçerliliği

Bilgisayar modelinin kurulması

- a. Başlangıç koşulları ve denge
- b. Zaman-akış mekanizması
- c. Proses üretme işlemleri
- d. Parametre değişiklikleri ve alternatif karar kuralları
- e. Kayıt tutma ve istatistiklerin türetilmesi
- f. Bilgisayar modelinin organizasyonu
- g. Bilgisayar modeli geçerliliği

Benzetim verilerinin analizi

- a. İstatistik testler
- b. Sonuçların yorumlanması (Erkut, 1991)

4.6 Benzetim Çalışmalarında Dikkat Edilecek Hususlar

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

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

Düşülebilecek hatalar dört ana gruba ayrılmaktadır:

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

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

1. Amaçların tam olarak tanımlanamaması

Benzetim çalışmasına başlamadan önce çalışma hedeflerinin ve amaçların açık bir şekilde tanımlanması gerekir. Projenin amacına bağlı olarak, sistemden alınacak verilerin de amaç doğrultusunda olması gerekir. Benzetim modelleri evrensel değildir ve model amaçlar tam

olarak belirlendikten sonra kurulabilir. Amaç belirlendikten sonra projede çalışacak kişiler bu konuya doğru yönlendirilmelidir. Bu arada proje, başlangıcında sistemi tanımlayan performans kriterleri tam olarak belirlenmeli ve bunun istenilen amaca uygun olup olmadığı proje personelinin de bulunduğu bir toplantıda ele alınmalıdır.

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

Genelde modelin her elemanı ile gerçek sistemin her elemanı arasında birebir bağlantı yoktur. Modelin geçerli olabilmesi için formülasyon esnasında imalat sistemini en iyi temsil edecek detayda veri seçilmelidir. Model yeterince detaylı değilse, elde edilen sonuçlar şüpheli olacaktır. Diğer durumda ise, model kurmak için çok detaylı bilgiler kullanılıyorsa, hem modelin çalışma zamanının hem de kullanılan bilgisayarın hafızasının dışına taşılabilir. Ayrıca uzmanlar ve analistler de daha fazla zaman ve çaba harcayacaklardır. Bütün gereksiz çalışmaların bir maliyeti olduğu düşünülerek bunun projenin süresine ve maliyetine olan etkisi de hesaplanmalıdır.

3. Yönetimle ortak bir alanda fikir birliği olmalıdır:

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

4. Uzmanların benzetim çalışmaları üzerine yeterli bilgiye sahip olmamaları:

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

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

1. Uygun olmayan bir yazılımın seçilmesi:

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

2. Canlandırmanın yanlış yapılması:

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

Birçok imalat sistemi bir veya daha çok rasgele değişkenlerle ifade edilebilecek kaynaklara sahiptir. Bir makinedeki işlerin işlem zamanları, montaj zamanları, arızalar arası süre, makine tamir zamanları, hazırlık zamanları vb. değerler imalat sistemlerinde rasgele değişken değerlerdir.

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

1. Dağılımların oluşturulması: Benzetim analistleri bazen modeli oluşturma sırasında ilgili dağılımları yanlış belirler ve sistemin performansını belirten rasgele değişkenlerin bazıları dikkate alınmazsa kurulacak model yanlış olacaktır.

2. Yanlış ihtimal dağılımının kullanılması: Genel olarak, modeli kurmak için kullanılan ihtimal dağılımları sistemin her bir kaynağının model üzerinde işlenebilmesi için gereklidir. Yani, sistemdeki belirsizlikler dağılımlar kullanılarak tahmin edilmektedir. Bununla birlikte doğru dağılımların kullanılması da önemlidir.

3. Makine bozulma zamanlarının tam olarak modellenememesi: Birçok imalat sisteminde en büyük belirsizliklerden biri de makine bozulma zamanlarıdır. Makine bozulma zamanlarının göz önüne alındığı sistemlerle alınmadığı sistemlerdeki sonuçlar oldukça farklıdır. Dolayısıyla, gerçek sistemi yansıtmak için makine bozulma zamanları da çok önemlidir.

Benzetim çalışmasının en önemli kısımlarından biri benzetim çalışmalarının tasarımı ve analizidir. Giriş ihtimal dağılımlarından elde edilen rasgele değişkenlerin benzetimde

kullanılmasıyla, benzetim sonucunda rasgele veriler elde edilir. Böylece, benzetim sonuçları yorumlanırken düşülebilecek hataları şöyle sıralayabiliriz:

1. Benzetim sonuçlarının yanlış yorumlanması.
2. Hazırlık periyodunun göz önüne alınmaması. (Yiğit, 1996)



4.7 Üretimde Benzetim

Üretimde benzetim, güçlü mikrobilgisayarların geçerliliği, benzetim modellerin animasyonu için bilgisayar grafiklerinde oluşan gelişme ve üretim sistemlerindeki esnekliğin endüstriyel öneminin artmasıyla ortaya çıkan endüstriyel teknolojinin ortaya çıkan alanlarından biridir.

Yöneylem araştırmaları yada ekonomi analizleri gibi alanlarda günümüz üretim sistemlerinin komplike hale gelmesi ve geleneksel metotların çalışmaması nedeniyle bunun önemine katkıda bulunmaktadır. Otomasyonun da devreye girmesiyle yapılan hatalar, daha maliyetli olmaktadır.(Shipsey, 2000)

Bilgisayar maliyetlerindeki artış ve animasyon ve grafik özelliklerindeki gelişme benzetimin üretim mühendisliğinde daha çekici hale gelmesini sağlamıştır.

Üretimde benzetim kullanımının bir örneği de malzeme taşınmasıdır. Nakliye işlemini beklemek, beklenen zamanın %85'ini ve fiili prosesin %10'luk kısmını içerebilir. Malzeme taşıma sisteminin simülasyonu mevcut sistemdeki boşlukların bulabilir veya yeni bir sistem geliştirilmesi gerekebilir. Benzetim bir çok malzeme taşıma sisteminin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Benzetimin üretimdeki diğer uygulamaları esnek imalat sistemleri, robotlar, yerleşim planı, envanter planlama ve montaj hatlarının dengelenmesidir.(Jones, 1992)

4.8 Benzetim ve Karar Verme Prosesi

Benzetim çalışmasının en önemli hedefi yönetsel kararların kalitesinin artırılmasına yardımcı olmaktır. Bir modelin yöneticiler için kullanılabilir olması için uygun, geçerli, kullanılabilir ve verimli maliyetli olması gerekir. Bunun anlamı modelin, problemin önem derecelerine göre, problemlerle uğraştığıdır. Sonuçlara göre yüksek önem dereceli problemler, kabul edilebilir çözümler ve modelin maliyetine göre potansiyel kar ilgi alanlarıdır. Üretimde benzetim kullanılarak belirlenen yönetim kararları şu hedefleri içerir;

- yatırım riskini en aza indirmek
- sistem kapasitesinin belirlenmesi
- farklı kontrol ve dağıtım stratejilerinin test edilmesi
- darboğazların tespiti
- ihtimal planlarının geliştirilmesi
- sistem çıktılarının optimize edilmesi / çıktı zamanlarının en aza indirilmesi

- kritik alt sistemlerin analizi

Benzetim geçmişte en son düşünülen araçtı. Bunun nedeni de çok fazla programlama ve bilgisayar işlemi gerektiren bir proses olmasıydı. U bakış açısı pazara programlaması kolay ürünler çıktıkça değişmektedir. Şu anda endüstri mühendisliği için “ilk teknik” olma özelliğindedir ve eşzamanlı mühendislik için anahtar durumundadır.(Jones, 1992)

Çizelge 4.1: Endüstride Benzetim Kullanımı(Jones, 1992)

Benzetim Kullanımı Miktarı	Mühendislik Tasarımı	Planlama	Operasyon
Alternatiflerin Değerlendirilmesi	Yüksek	Yüksek	Ortalama
Alternatiflerin Geliştirilmesi	Ortalama	Ortalama-Düşük	Ortalama-Yüksek
Bir Alternatifin Seçilmesi	Düşük	Düşük	Ortalama-Düşük

Çizelge 4.1 benzetimin kullanım alanlarını göstermektedir. Bu alanlar mühendislik tasarımı, planlama ve operasyonlar olarak kategorilere ayrılabilir. Mühendislik tasarımı sistemin nasıl olansını gerektiğinin kararı, planlama sistemin nasıl kullanılacağına dair kararları, operasyonlar da sistemin fiili kullanımı ile ilgilidir.

Bu kategorilere göre benzetim karar vericiye yardım edebilir.

- Alternatiflerin değerlendirilmesi: bu, karar vericiye alternatif sistemlerin nasıl çalışacaklarını beklendiği hakkında bilgi verir.
- Alternatiflerin geliştirilmesi: karar vericiye sunulacak alternatiflerin araştırılmasını sağlar.
- Bir alternatifin seçilmesi: benzetim, karar vericinin hangi alternatifi seçeceğine dair kriterleri kararlaştıracığı verilerin sağlanmasına yarar.

Pritsker'e göre tasarımda ve planlamada benzetim ağırlıklı olarak alternatiflerin geliştirilmesi ve değerlendirilmesi; üretimde ise alternatiflerin geliştirilmesi için kullanılır. Bir araştırmaya göre zamanlarının %25'ini yeni yerleşim planı kurmak için (planlama); %24'ünü mevcut

yerleşim düzenini geliştirmek için (operasyon); %22'sini ise demirbaş ekipman harcama dengelenmesi için harcamaktadır.

Benzetim bütün bilim alanları için çalışılacak ve problem analizinde kullanılacak bir mekanizma olmuştur ve üretim sistemlerinin planlanması ve ayarlanması için önemli bir etmen olmaya devam etmektedir. Sonuç olarak, üretim problemlerinin çözülmesi için bir kaç benzetim yazılımı geliştirilmiştir. Burada birkaç benzetim programı ve simülasyona üretimdeki bakış açısı incelenecektir. Benzetim yazılımları ikiye ayrılmıştır. Üretimde kullanılabilir benzetim yazılımları ve genel amaçlı benzetim yapılabilecek yazılımlar. Üretimde kullanılan Simulatorlar üretim sistemi içerisinde belli bir yeri olan ve çok az veya hiç programlama istemeyen benzetim dilleridir. Genel amaçlı benzetim dilleri ise üretim sistemlerinin simülasyonu için özel uygulamaların gerektiği yazılımlardır. (Jones, 1992)

4.9 Yazılım Özellikleri

Bir çok fiyat ve işlevde benzetim yazılımları vardır. Benzetim yaklaşımı ile problem çözmeye karar vermiş yöneticiler için yazılımın özellikleri benzetimin ne amaçla yapılacağına bağlıdır.

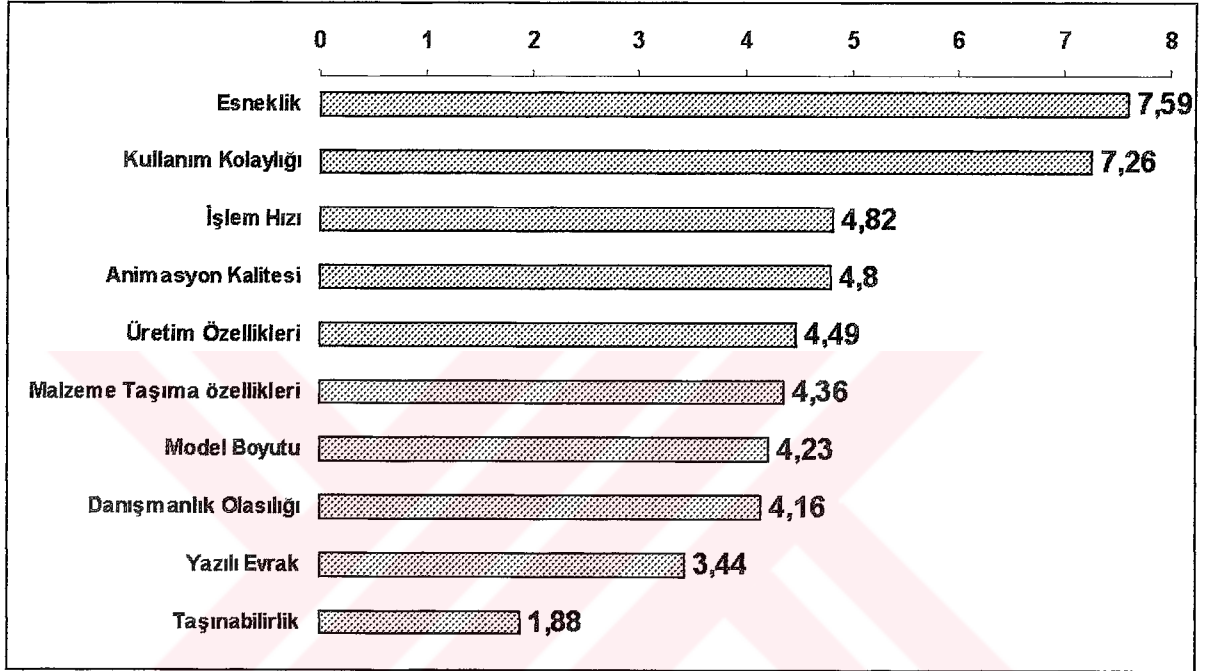
Çizelge 4.2 Amaca bağlı olarak Benzetim Çıktıları (Jones, 1992)

Benzetimin Amacı	Temel Benzetim Çıktıları
Açıklama Cihazları	Animasyon
İletişim Aracı	Animasyonlar, özetler, pasta grafikler, maliyet analizleri, tablolar ve sunumlar
Analiz Aracı	Hesaplamalar, istatistiksel işlemciler, istatistiksel grafikler, hassas özetler
Tasarım Aracı	İstatistiksel işlemciler, özet istatistiksel veriler, sıralama ve seçim prosedürleri
Zamanlama	Özet zamanlamalar, kaynak takvimleri, Gantt Şemaları
Kontrol Mekanizması	İstatistiksel işlemler
Eğitim Aracı	Animasyonlar, olay izleme, istatistiksel işlemciler, özet istatistiksel bilgiler, deneme amaçlı girdiler için çıktılar.

Aşağıdaki özellikler bu tez sırasında kullanılacak yazılımı belirlemeye yardımcı olmuştur.

- platform olarak yaygınlığı ve kullanım kolaylığından dolayı DOS tabanlı bir PC tercih edilmiştir
- modeli geliştirmekte kullanılacak elemanlar: yazılım öğrenmesi kolay ve modellerin geliştirilmesi kolay olmalıdır.
- Animasyon geliştirmekte kullanılan elemanlar: parçaların ve makinelerin animasyona uğraması daha önce belirtilen nedenlerden dolayı önemlidir. Ancak karmaşık ve gerçek dünyanın aynı bir animasyona ihtiyaç duyulmamaktadır.
- 3 boyutlu görünüm: sistemde 3 boyutlu bir grafik ara yüzüne ihtiyaç duyulmamaktadır.
- Yerleşim düzeni ile ilgili çizimlerin zamanlamaları gerçekçi olarak verilebilmesi gereklidir ancak bir CAD çizim aracına ihtiyaç duyulmamaktadır.

- Standart olasılık dağılımları: stokastik model için istatistiksel verilerin karşılığında dağılımı saptayacak ve hangi dağılıma uyduğunu belirtecek, aynı zamanda çıktılarıyla ilgili istatistiksel sonuçları göstermeye yardım edecek bir yazılım tercih edilmelidir.
- Standart raporlar: istatistiksel veya başka tipteki raporlar modelin işlenmesi için önemlidir.(Jones, 1992)



Şekil 4.2: Bir benzetim yazılımının sahip olması gereken özellikler (1-10 dereceli anket)
(Jones, 1992)

Bir çok benzetim yazılımı stokastik model için gerekli olan istatistiksel verileri işlemeye uygundur. Ancak verilerin bir dağılıma uydurulması, DOS tabanlı olması, modelin geliştirilmesi ve uygulanmasının kolay olması, raporlamanın gelişmiş olması, model geliştirme ve animasyon işlemlerinin yeterliliğinden dolayı ARENA seçilmiştir.

4.10 İletişim İçin Animasyon

Simülasyonla ilgili bir problem modeli geliştiren kişinin verimli bir şekilde iletişim kuramamasıdır. Simülasyonu gerçekleştirecek olan uzmanla benzetim sonuçlarını karar vermek için kullanan personel arasındaki boşluğu animasyon kapatabilir.

Üretim uygulamaları için animasyonlu benzetim genelde fabrikanın modelini bilgisayar temelli bir ara yüz yardımıyla gösterir. Fabrikadaki konveyör, iş istasyonları, işlemi süren

parçalar gibi elemanlar grafik olarak gösterilir ve üretimi tamamlanan parçalar da fabrikaların gerçekliğini yansıtır.

Animasyonlu görüntü farklı proseslerin bilgisayar ortamında görsel olarak denenmesine yardımcı olur. Zaman süreci hızlandırılabilir veya yavaşlatılabilir. Benzetim rassal olaylara dayandığı için benzetim ilave verilerin elde edilmesi için bir çok kez çalıştırılabilir. Yöneticiler ve diğer karar alan mekanizmalar istatistiksel verile ve bilgisayar simülasyonu hakkında daha az bilgiye sahip olduklarından dolayı animasyona uğratılmış benzetim yönetim için kullanılabilir bilgilerin elde edilmesi için yararlıdır.

Benzetim içerisindeki animasyonun 3 gruba yardımı oldukça fazladır. *Model kurucu, model kullanıcı ve karar vericiler*. Genelde bilgisayar uzmanı ve benzetim uzmanı olan model kurucu için ancak benzetim sonuçlarında ortaya çıkabilecek hata ayıklamaya yarar. Bu hatalara örnekler sıralamada veya rotalamadaki mantık hatalarıdır. Yanlış istatistikler hemen görülebilir. Animasyon ayrıca akıştaki bir takım hataları da göstermeye yardımcı olabilir.

Model kullanıcısı, yönetici, saha mühendisi, veya her gün üretimde rol alan birisi olabilir. Animasyonlu benzetim paketi model kullanıcısının benzetim modelinin hemen anlamasını ve kolayca kullanmasını sağlayacaktır. Bu işlem de model kullanıcısının modelin geliştirilmesi ve doğrulanması safhasında modelin gelişmiş bir hal almasını sağlayacaktır. Model kullanıcısının benzer işlerdeki gerçek hayattaki deneyimleri, bilgisayar ortamındaki modelin gerçekçi bir şekilde oluşturulmasına yardım eder. Animasyonlu benzetim mühendise ve operatöre sistemin kontrolü ve düzenlenmesi için değerli görsel bilgiler sağlar. Aynı zamanda bu tip benzetim modelleri hat formenlerine yeni metotların eğitilmesi için bir yardımcı olur.

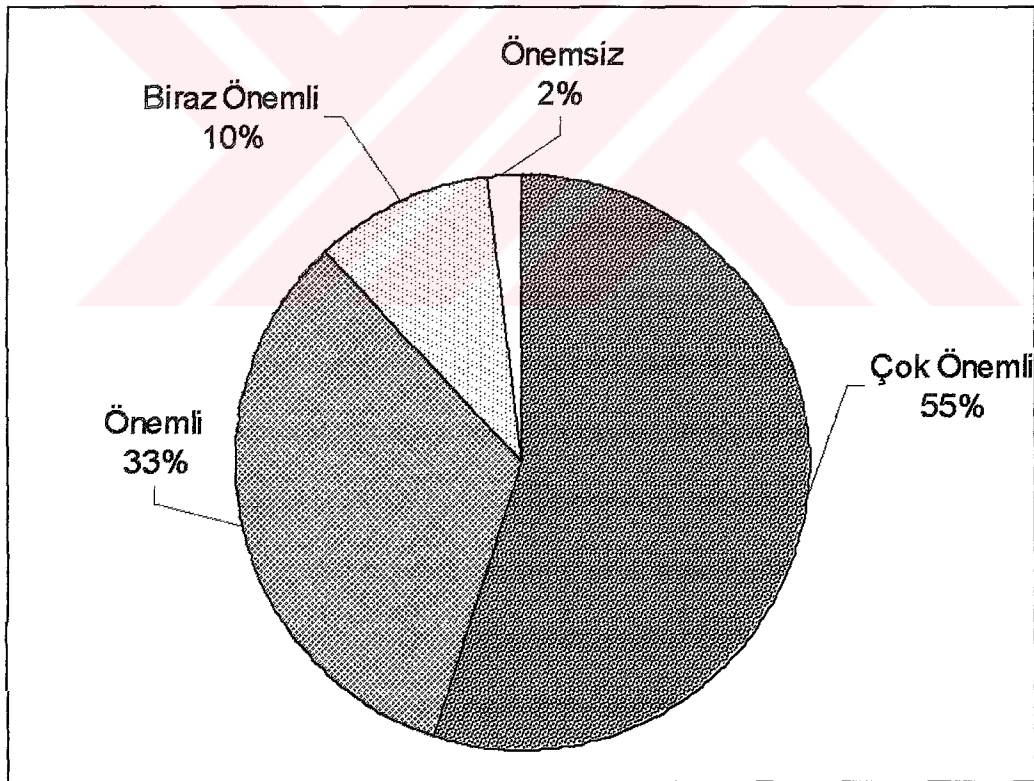
Model kullanıcısı için bir avantaj da animasyonlu durumda anlaşılması daha kolay ve kullanıcının daha çok modelin içinde yer aldığı bir benzetim gerçekleştirilmesidir. Ayrıca model bu şekilde daha kişisel hale gelebilir.(Jones, 1992)

4.11 Görsel Üretim Benzetimi Çevresinin Geliştirilmesi

Bu tez çalışmamda üretim simülasyonunun görsel bir ortamda gerçekleştirmeye çalışacağım. Bu işlem de üretim verilerinin bir benzetim yazılımına aktarılmasını ve görsel bir şekilde canlandırılmasını sağlayacağım. Grafik simülasyonunun avantajlarını ve kullanılabilecek yöntemleri önceki bölümlerde inceledim.

Ekrandaki animasyonun tam bir sistem dahilinde olması durumunda yararları artmaktadır. Bir başka deyişle yerleşim planlaması ve üretim iş istasyonları tasarımı da bu yöntemle yapılabilir. Görsel ara yüz teknolojisi bu benzetim içerisinde var olan bir basamaktır. Bu tezdeki prototip sistem belli limitleri olan bir çalışmadır.

Bu üretim simülasyonunun uygulanması için görsel ortam gerekli midir değil midir veya önceden bahsedilen yararlar bu uygulamayla elde edilebilecek midir gibi sorulara yanıt vermek gereklidir. Bu tezin üretim planlama ve analizde uygulamaların gelişimine paralel olacağını düşünüyorum.



Şekil 4.3 Animasyon Klasik İstatistiksel Yöntemlere göre ne kadar önemli? (Jones, 1992)

Görsel gerçeklik geçerlilik, kullanılabilirlik, maliyet verimliliği gibi kısıtlara benzetim tanımında verildiği gibi uygun olmalıdır.

Görsel benzetim programını desteklemek için birkaç ihtiyaç vardır. İlk olarak ayrı ayrı hesaplanabilir işlemler tanımlanmalıdır. İkinci olarak bu prosesler diğer proseslerde kullanılabilecek veriyi bir şekilde aktarmak zorundadırlar. Son olarak da diğer işlemlerden gelen verileri işleyebilir işlem gücüne sahip olmalıdır.

Bu ihtiyaçlara örnekler, parçaların iki işlem merkezi arasında katedeceği yolun süresi, parçaların hareketi, işleme tabi tutulması gibi işlemlerin animasyonlu hale getirilmesi gibi nitelikler sayılabilir.

Her bir parçanın tanımlanmış verileri girilebilir olmalıdır. Ve bu veriler de benzetim sonunda toplanabilir olmalıdır.(Jones, 1992)



5. UYGULAMA

Montaj hatlarının dengelenmesi konusunda örnek bir çalışmayı DÇD Doğalgaz ve Isı sistemleri A.Ş' nin İstanbul Ümraniye Kadosan'daki fabrikasında yaptım. Burada yapılan çalışma Katı yakıtlı kat kaloriferi imalatının belli adetlerdeki siparişinin alınması ile birlikte kapasite artırımına gidilmesi için gerekli çalışmaları içermektedir.

Bu çalışmaların nasıl yapıldığını, daha önceden bahsedilen montaj hatlarını dengelemek için gerekli olan işlemlerin nasıl gerçekleştirildiğini, üretimin hattın dengelenmesinden ve iş istasyonlarına bölünmesinden evvel nasıl gerçekleştiğini, kapasitenin nasıl tayin edildiğini, bu sistemin bilgisayar ortamına bir benzetim modeli olarak nasıl aktarıldığını bu bölümde bulabilirsiniz.

5.1 Şirket Profili

DÇD, 1959 yılında ısı sektöründe çalışmalara başlamıştır. Dört kıtada sanayide en ileri 18 ülkede lisansla üretimi yapılan İsviçre kazan teknolojisi 1965 yılında T.C. Sanayi Bakanlığı 13161 no' lu ihtira beratı ile Türkiye'ye getiren ilk firmadır.

DÇD, 1966 yılından itibaren kendi kontrolü altında İsviçre kazan teknolojisinin uygulanması için çeşitli firmalara tali lisanslar vermiştir. Teknik kadrosuyla ve makine teçhizatıyla günümüz Avrupa' sının teknoloji seviyesine ulaşmıştır.

1985 yılından itibaren ise imalatlarında kendi markası olan DÇD' yi kullanmaktadır. Kendi bünyesinde araştırma ve geliştirme faaliyetlerine önem veren firma doğalgaz konusunda da liderdir

Şirket bünyesinde 48 işçi ve 15 memur bulunmaktadır. Firma ısı sektöründe sıvı yakıtlı, gazlı, katı yakıtlı kat kaloriferleri; sıvı yakıtlı ve gazlı kazanlar imal etmektedir. Brülör, raydan, buhar jeneratörü gibi mamulleri de İtalya'dan ithal etmektedir.

Firma yukarıda sayılan imalatlar içerisinde sıvı ve gaz yakıtlı kat kaloriferini İMES sitesinde, Katı yakıtlı kat kaloriferini ise Kadosan sitesi içerisindeki fabrikalarda gerçekleştirmektedir.

Bu uygulamada firmanın katı yakıtlı kat kaloriferi üretiminde karşısına çıkan talep artışı ve bu talep artışı karşısındaki üretim artışı probleminin benzetim yolu ile çözülmesi yapılacaktır.

Firma bünyesinde 1 adet gaz altı kaynak robotu, 1 adet otomatik pafta makinesi, 1 adet testere, 1 adet gaz altı kaynak makinesi, 4 adet elektrik kaynak makinesi, aynı anda 4 adet

kazanın testinin yapılabileceği hidroforlu bir test odası, 2 adet taşlama el motoru bulunmaktadır.

Bu ekipmanlar firmanın düşük kapasite ile üretim yaptığı koşullarda yeterli olmasına karşın kapasite artırımı söz konusu olduğunda yetersiz kalmış ve yeni ekipman ilaveleri de bu tez uygulama konusu olan iş istasyonlarının ortaya konmasından sonra ilave edilmiştir.

5.2 Ürün ve Atölye Tanımı

Ürün Türkiye ekonomik şartlarında gaz ve mazot fiyatlarının yüksek olması nedeniyle teknolojik ve çevre açısından çok verimli olmamasına rağmen katı yakıt (kömür veya odun) yakmak suretiyle değişik kapasitelerde (30000kcal/saat-50000kcal/saat) ısı ihtiyacını sağlayan katı yakıtlı kat kaloriferidir. Bu tezde uygulama olarak bu bölümde üretimi anlatılacak olan ürün 30.000 kcal/saat kapasiteli katı yakıtlı kat kaloriferidir.

Ürün DÇD firmasının önceki tecrübeleri ve bu sektördeki yeni gelişmelere bağlı olarak DÇD firması mühendisleri tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen ürün iki yarım silindirik parça arasında suyun, iç kısımda katı yakıt yakılarak ısıtılması ve ısıtılan suyun evdeki radyatörler içerisinde bir pompa yardımıyla devridaim yapması prensibi ile çalışmaktadır.

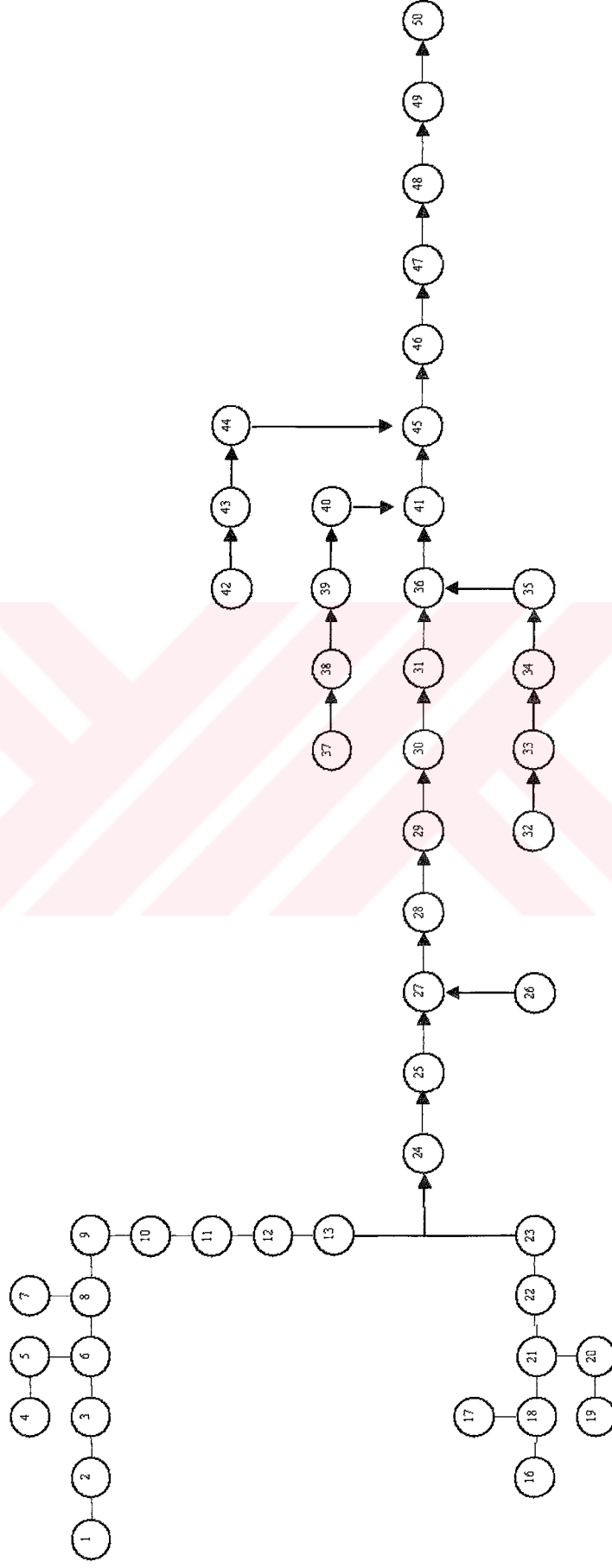
Ürünün üretilmesi sırasındaki adımlar aşağıdaki proses şeması ile belirtilmiştir.

Çizelge 5.1: Üretim akış şeması zamanlama tablosu

İşlem Numarası	İşin Tanımı	İşin Süresi
1	1640 x 1000 4 mm külhan sacı plazma kesilmesi	22 dk
2	Silindir işlemleri	12 dk
3	Külhan silindir dikiş montajı	7 dk
4	Ön ayna sacı plazma kesilmesi	24 dk
5	Arka külhan dibi kıvrımı	7 dk
6	Külhan dibi montajı	12 dk
7	1 ¼'' boru 48cm kesimi(4 adet)	2 dk
8	Boru montajı	3 dk
9	Ön ayna montajı	7 dk
10	Külhan dikiş kaynağı	17 dk
11	Külhan dibi kaynağı	13 dk
12	Boru kaynağı	15 dk
13	Ön ayna kaynağı	14 dk
14	2400 x 1200 sac plazma kesimi	28 dk
15	Silindir işlemleri	14 dk
16	Gömlek silindir montajı	9 dk
17	Arka ayna plazma kesim	13 dk
18	Gömlek arka ayna montajı	11 dk

19	2 adet 1 ¼'' x 150mm dişli, 2 adet ½'' x 150mm dişli boru kesimi	3.5 dk
20	Çıkış boruları pafta açılması	4 dk
21	Gömlek doldurma boşaltma boruları montajı	7 dk
22	Gömlek dikiş kaynağı	23 dk
23	Gömlek arka ayna kaynağı	32 dk
24	İç kazan dış kazan montajı	14 dk
25	Su geçiş sacı montajı	7 dk
26	15 adet 8mm x 110mm inşaat demiri kesimi	7 dk
27	Masura montajı	3 dk
28	Gömlek ön ayna çevre kaynağı	12 dk
29	Çıkış boruları kaynağı	7 dk
30	Su geçiş sacı kaynağı	10 dk
31	Masura ön –arka kaynağı	25 dk
32	600 x 840 saç kıvrımı	6 dk
33	Cam elyaf yuva montajı	8 dk
34	Hava geçiş sacı montajı	12 dk
35	Cam elyaf ve kapak reflektör montajı	4 dk
36	Ön alt kapak montajı	9 dk
37	600 x 840mm saç kıvrımı	6 dk
38	Cam elyaf yuva montajı	8 dk

39	Sekonder yakış borusu montajı	4 dk
40	Cam elyaf ve reflektör montajı	4 dk
41	Ön Üst kapak montajı	9 dk
42	1000 x 600mm saç kıvrımı ve kaynağı	8 dk
43	Baca borusu kaynağı	4 dk
44	Baca sızdırmazlık Elyafı montajı	6 dk
45	Baca sandığı takılması	4 dk
46	Test	28 dk
47	Boya	19 dk
48	Üst ve alt yansıma Reflektörü takılması	4 dk
49	Ambalajlama	12 dk
50	Kasalama	14 dk



Şekil 5.1 Katı Yakıtlı Kat Kaloriferi Akış Şeması

Yukarıdaki çizelge ve akış şemasında gösterildiği gibi ürün, temel olarak iki temel parçadan oluşmaktadır. Külhan ve gömlek olarak iki temel silindirik parça, kazanı oluşturmaktadır.

Külhan, içerisinde katı yakıtın yandığı ve bu yanmadan doğan ısıyı suya geçirmek için yapılan sactan oluşmuş kısımdır. Gömlek ise külhan sacı ile suyun tamamını kapatan ve suyun gömlek sacı ile külhan sacı arasında kalmasını ve ısınmasını sağlayan sac parçasıdır.

Ön ve arka aynalar kazanın ayakta durmasını ve gömlek ile külhanın birbiri arasında kazanın her yerine eşit mesafede kalmasını sağlayan parçalardır. Ön ayna dibi külhanın açıkta kalan arka yüzüne, arka ayna ise gömleğin açıkta kalan arka yüzünü kapatmak için kullanılmaktadır.

Boru kaynakları külhanın iç yüzeyine ısı transferini sağlayacak yüzey oluşturması açısından kaynatılmaktadır. Masura; külhanın içerideki yüksek ısıdan, gömleğin de içerisindeki basınçlı sudan dolayı deforme olmasını engellemek için, kazanın basınca en fazla maruz kalacak ve direnci en az olan, düz satırlarında gömlek ile külhan arasında kaynatılan 8mm eninde demir parçalarıdır.

Yukarıdaki çizelgede bahsedilen zamanlamalar örnek olarak alınan 8 adet verinin ortalamasını oluşturmaktadır. Gerçek hayata benzeyen bir model kurabilmek için böyle bir yöntem kullanılmayacaktır. Veriler bu çizelgede yaklaşık olarak fikir verebilmesi için örnek olarak verilmiştir. Gerçek hayattaki modellerde bütün zamanlar değişkenlik gösterdiklerinden dolayı uygulamada kullanılan zamanlar bu çizelgedeki rakamlar değil uygulama verileri ile ilgili çizelgede verilecek olan istatistiksel dağılıma göre kullanılacaktır.

Yukarıda belirtilen akış şemasındaki koyu renkle gösterilen hücreler firma bünyesinde olmayan ekipmanlar tarafından yapılması gerekli olan işlemleri ifade eder. Bu işlemler simülasyon modeli içerisinde yer almayacak ve bu parçaların hazır oldukları varsayılacaktır.

5.3 Hat Dengeleme Yapılmadan Mevcut Koşullar

Daha önceki bölümde detaylı bir şekilde açıklaması ve üretim akış şeması verilen katı yakıtlı kat kaloriferinin üretilmesi sırasında artan talep dolayısıyla kapasite artırımı neticesinde yapılan iş istasyonlarına bölünmesi ve montaj hattının dengelenmesi işleminden evvelki durum bu bölümde açıklanacaktır.

Katı yakıtlı kat kaloriferinin üretim adedi 1 adet/gündü. Üretim sipariş üzerine gerçekleşmekte ve bir formen ve 3 yardımcı eleman tarafından gerçekleştirilmekteydi. Katı

yakıtlı kat kaloriferinin bitmiş hali yaklaşık olarak 250 kg/adet'tir. Dolayısıyla katı yakıtlı kat kaloriferi üzerinde işlemler yapıldıkça ağırlığından dolayı ve kazan üzerinde yaklaşık tüm yönlerde kaynak işlemi olduğundan işlem zamanlarında taşıma, yer ve yön değiştirme gibi işlemler çok büyük zaman kaybettirmektedir.

Kazanların TSE normlarına göre % 100 test edilmeleri gerekmektedir ve üretilen her kazan yine TSE normlarında belirtilmiş zamanlara göre çalışma basıncının belirli bir katı kadar basınç altında test edilmeleri gerekmektedir.

Kazan kaynağı sadece basit bir birleştirme işlemi değil, aynı zamanda basınç altında sızdırmazlık sağlaması zorunlu bir işlem olduğundan kalifiye eleman ve nitelikli ekipman çok önemli bir konudur.

Kaynak işlemi formenlerin tercihlerine göre elektrik kaynağı ile yapılmaktaydı. Bunun nedeni ağır olan kazanın çok fazla hareket ettirilmeden kaynağı yapan kişinin konum değiştirmesi ile kaynak yapılabilecek olan ekipmanın gaz altı değil elektrik kaynağı olmasıydı.

Elektrik kaynağı, gerek elektrot değiştirilmesi, gerek elektrot curufunun temizlenmesi gibi konularda zaman kaybına yol açmakta ve kaynak kalitesinin de düşmesine yol açmaktaydı.

Sipariş üzerine üretim yapılmasından dolayı firma katı yakıtlı kat kaloriferine sadece ürün yelpazesinde bulunması dolayısıyla fazla önem vermemektedir. Tez uygulamasında anlatmaya çalıştığım problem firmanın fason olarak katı yakıtlı kat kaloriferini üretme teklifi geldiğinde başladı.

Belirtilen katı yakıtlı kat kaloriferinin 16 adet/gün üretilmesi kararlaştırıldı. Bu adet tamamen kat kaloriferini talep eden firmanın Pazar araştırması sonucu elde ettiği rakamlardır. Bu rakam sadece 30.000 kcal/saat kapasiteli kat kaloriferi için geçerlidir ve uygulama sadece bu tip kat kaloriferi için yapılacaktır.

Günde 16 adet üretilmesi gereken kat kaloriferi için şu işlemler yapılabilir:

1 günde çalışılan toplam dakika= 8 saat X 60 dakika = 480 dakika

Çevrim zamanı = 480 dakika / 16 adet/gün = 30 dakika

1 günde 4 kişi tarafından mesai ile 1 adet üretilen kazan için günde 16 adet üretmek çok ciddi çalışmayı gerektirmiştir.(üretim zamanı = 553.5 dk)

Önceki bölümde belirtilen zamanlar kalifiye bir işçinin bu işlemleri gerçekleştirdiği sırada zaman etüdü yapılarak elde edilmiştir.

Problem temel hatlarıyla bu şekildedir. Bu problemin çözümü ise akış şemasındaki bütün işleri kalifiye bir kişinin yapması değil, işin istasyonlara bölünerek bir montaj hattı kurulması idi.

5.4 Öncelik Matrisine Göre İşlemlerin İstasyonlara Atanması

Sistem bu haliyle modelleştirildiğinde istenen sonuçlar alınamayacaktır. Bu sebeple, firma içerisinde ekipman yetersizliğinden dolayı dışarıya yaptırılan parçalara ilave olarak bazı parçaların da dışarıya fason olarak yaptırılması gerekmiştir. Bir sonraki çizelge ve akış şeması, gerçek modelin yapıldığı ve iş istasyonlarının belirlendiği sistemi anlatmaktadır.

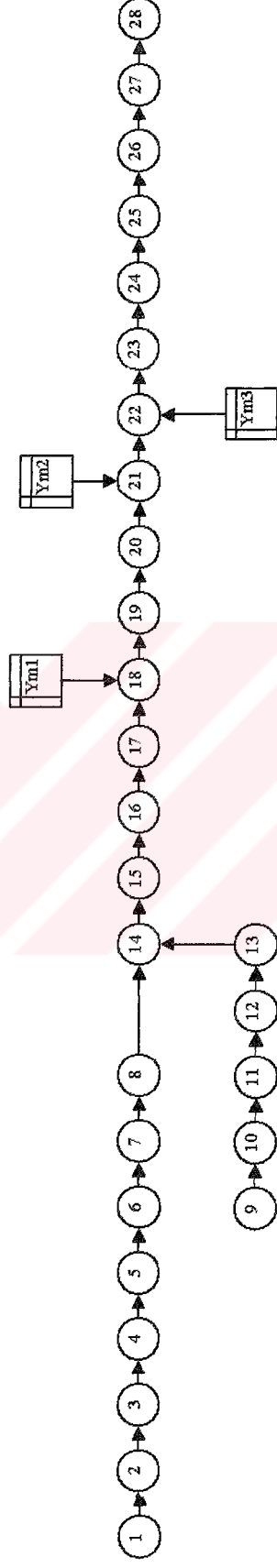
Bu akış şemasında ilk akış şemasında yer alan ancak üretilmesi montaj hattında yer kısıdından dolayı mümkün olmayan bazı parçalar da çıkarılmış durumdadır. Çıkarılan ürünlerin üretimi firmanın başka bir atölyesinde üretilecek ve montaj hattına hazır olarak gelmesi sağlanacaktır.

Bu işlemlerin çıkarılmasından sonra firma tarafından yapılan işlemler şu şekildedir.

Çizelge 5.2 Firma tarafından yapılan işlemler

İşlem Numarası	İşlem Tanımı	Zamanlama
1	Külhan silindir dikiş montajı	7 dk
2	Külhan dibi montajı	12 dk
3	Boru montajı	3 dk
4	Ön ayna montajı	7 dk
5	Külhan dikiş kaynağı	17 dk
6	Külhan dibi kaynağı	13 dk
7	Boru kaynağı	15 dk
8	Ön ayna kaynağı	14 dk
9	Gömlek silindir montajı	9 dk
10	Gömlek arka ayna montajı	11 dk

11	Gömlek doldurma boşaltma boruları montajı	7 dk
12	Gömlek dikiş kaynağı	23 dk
13	Gömlek arka ayna kaynağı	32 dk
14	İç kazan dış kazan montajı	14 dk
15	Su geçiş sacı montajı	7 dk
16	Masura montajı	3 dk
17	Gömlek ön ayna çevre kaynağı	12 dk
18	Çıkış boruları kaynağı	7 dk
19	Su geçiş sacı kaynağı	10 dk
20	Masura ön –arka kaynağı	25 dk
21	Ön alt kapak montajı	9 dk
22	Ön Üst kapak montajı	9 dk
23	Baca sandığı takılması	4 dk
24	Test	28 dk
25	Boya	29 dk
26	Üst ve alt yansıma Reflektörü takılması	4 dk
27	Ambalajlama	12 dk
28	Kasalama	14 dk
TOPLAM		347 dk



Şekil 5.2 Benzetimi yapılacak işlemler akış şeması

Firmanın bulunduğu kapalı alanın bütün işlemleri tek bir yerde yapılmasına müsaade etmeyecek kadar küçük olduğundan dolayı iş istasyonlarında yapılacak işlemler yukarıdaki akış şemasında belirtildiği şekildedir.

Diğer işlemler firmanın İMES sanayi sitesindeki yerinde gerçekleştirilecektir.

İşin istasyonlara bölünmesi sırasında modelin karşılaştırılması için ARENA simülasyon programı kullanılmıştır. Bu yöntemi kullanmanın en büyük faydası gerçek hayatta olan olayları bilgisayar ortamına taşımayı sağlamasıdır.

Gerçek hayattakinin benzeri veriler zaman etüdü yardımıyla alındığında bilgisayar modelinin de gerçek hayattakine benzer veriler verebilmesi için toplanan veriler bir istatistiksel dağılıma uydurulmuştur.

Çizelgede verilen zamanlar daha önce bahsedilen olasılık dağılımı olarak belirtilmiştir. İlk çizelge, bu işlemlerin olasılık dağılımına uydurulması sırasında kullanılan örnek verileri, dağılım fonksiyonunu ve bu fonksiyonun verilen verilere uygunluğunu test etmeye yarayan hata kare değerleridir. Bu hata kare değerleri, örnek verilerin seçilen istatistiksel dağılıma uygunluk durumuna göre çeşitli rakamlar almaktadır. Hata kare değeri, en fazla 0,5 değerine kadar değerler olabilmektedir. 0,5 değerini aşan dağılımlar, verilen örnek verilerin böyle bir olasılık dağılımına sahip olamayacağını ifade eder.

Bir sonraki çizelge kat kaloriferi için öncelik matrisini içermektedir.

Çizelge 5.3 Kat Kaloriferi için Öncelik Matrisi

[illegible]

Yukarıdaki öncelik matrisine göre işlemleri istasyonlara atamaya başlayacağız. Bu işlem için önce kod numarası 0 olan ilk değeri birinci istasyona atayacağız. Birinci istasyonun kalan zamanı $30 \text{ dk} - 7 \text{ dak} = 23 \text{ dak.}$ dir. bu işlem çıkarıldıktan sonraki matris şu şekildedir.

Çizelge 5.4 İkinci atama için öncelik matrisi

[illegible]

Bu öncelik matrisine göre bir sonraki eleman olan 2. işlem ilk istasyona atanabilir. Kalan süre $23-12=11$ dakikadır.

Atama işlemleri bu şekilde devam ettiğinde aşağıdaki atama tablosu meydana çıkacaktır.

Çizelge 5.5 Öncelik Matrisine göre işlemlerin istasyonlara atanması

İstasyon Numarası	İstasyonda yapılan işlemler	Süre	Toplam Süresi
1	1. Külhan silindir dikiş montajı 2. Külhan dibi montajı 3. Boru montajı 4. Ön ayna montajı	7 dk 12 dk 3 dk 7 dk	29 dk
2	5. Külhan dikiş kaynağı 6. Külhan dibi kaynağı	17 dk 13 dk	30 dk
3	7. Boru kaynağı 8. Ön ayna kaynağı	15 dk 14 dk	29 dk
4	9. Gömlek silindir montajı 10. Gömlek arka ayna montajı 11. Gömlek doldurma boşaltma boruları montajı	9 dk 11 dk 7 dk	27 dk
5	12. Gömlek dikiş kaynağı	23 dk	23 dk
6	13. Gömlek arka ayna kaynağı	32 dk	-
7	14. İç-Dış Kazan Montajı 15. Su geçiş sacı montajı 16. Masura montajı	14 dk 7 dk 3 dk	24 dk
8	17. Gömlek ön ayna çevre kaynağı 18. Çıkış boruları kaynağı 19. Su geçiş sacı kaynağı	12 dk 7 dk 10 dk	29 dk
9	20. Masura ön – arka kaynağı	25 dk	25 dk
10	21. Ön alt kapak montajı 22. Ön üst kapak montajı 23. Baca sandığı takılması	9 dk 9 dk 4 dk	22 dk
11	24. Test	28 dk	28 dk
12	25. Boya	29 dk	29 dk
13	26. Üst ve Alt yansıma reflektörü takılması 27. Ambalajlama 28. Kasalama	4 dk 12 dk 14 dk	30 dk

Çizelge 5.6: İşlem Numaralarına göre Örnek Veriler ve Dağılımları

İşlemler	Örnek Veriler	İstatistiksel Dağılım	Hata Kare
Külhan silindiri dikiş montajı	7,6,8,6,5,7,5,5,9,6	Norm (6,88;1,19)	0.044
Külhan dibi montajı	14,11,12,11.5,10.5,13,12,11	Norm (11.9;1.08)	0.024
Boru montajı	2,4,3,3,3,3,5,3,5,	Norm (3.06;0.58)	0.018
Ön Ayna montajı	7,7,8,9,6,7.5,9,6	Norm (7.44;1.1)	0.048
Külhan dikiş kaynağı	15,14,19,21,17,18,16,17	Norm (17.1;2.09)	0.025
Külhan dibi kaynağı	11,10,15,14,14,14,13.5,14	Norm (13.2;1.62)	0.205
Boru kaynağı	15,16,17,16,14,13.5,14,15	Norm (15.1;1.13)	0.003
Ön ayna kaynağı	14,15,17,15,13,14.5,16,13	Norm (14.7;1.3)	0.014
Gömlek silindir montajı	8,11,9,9,9,10,10,8	Norm (9.25;0.96)	0.008
Gömlek arka ayna montajı	12,11,10,10,9.5,12,13,11	Norm (11.1;1.13)	0.003
Gömlek doldurma boşaltma boruları montajı	8,6,5,7,8,6,6,9	Norm (6.88;1.27)	0.053
Gömlek dikiş kaynağı	25,21,20,19,24,24,23,24	Norm (22.5;2.06)	0.098
Gömlek arka ayna kaynağı	33,35,32,33,31,34,33,33	Norm (31.5;1.73)	0.052
İç kazan-Dış kazan montajı	14,17,15,13,15,13,16,14.5	Norm (14.4;1.3)	0.014
Su geçiş sacı montajı	7,9,8,7,7,7,5,9	Norm (7.39;0.82)	0.168
Masura montajı	2,3,3,3,3,5,3,4	Norm (3.25;0.82)	0.077
Gömlek ön ayna çevre kaynağı	12,11,14,13,10,10,12,13	Norm (11.9;1.36)	0.034
Çıkış borusu kaynağı	6,8,9,6,7,6,6,10	Norm (7.25;1.48)	0.133
Su geçiş sacı kaynağı	12,12,9,9.5,10,9,9,11	Norm (10.2;1.22)	0.187

Ön-Arka masura kaynağı	22,24,28,28,25,27,27,26	Norm (25.4;1.96)	0.047
Kapak ve Baca sandığı takılması	28,24,35,22,24,20,32,28	Norm(22.4;3.84)	0.114
Test	18,19,20,18,17,19,18,19	Norm (18.5;0.86)	0
Boya	28,29,32,30,29,29,28,27	Norm (29;1.41)	0.039
Reflektör takılması, Ambalaj ve Kasalama	28,29,32,30,29,29,28,27	Norm(29;1.41)	0.041

5.5 Girdi Dağılımlarını Oluşturmak

Mevcut verileri bir dağılıma uydurmaya karar verilmesi durumunda Input Analyzer kullanılmalıdır. Veriler ya kullanıcı tarafından seçilen bir dağılıma veya Arena'nın seçtiği bir dağılıma uydurulur. Input Analyzer veriye bir dağılım uydurduğu zaman dağılımın parametrelerini ve dağılımın verilere ne kadar uyduğunu belirtir. Dağılımlar kendi aralarında sürekli ve ayırık olarak ayrılırlar. Arena' nın desteklediği sürekli dağılımlar üssel, üçgensel, normal, uniform Beta, Erlang, Weibull, Gamma, Lognormal dağılımlardır. Bunlar sürekli'dir çünkü herhangi bir reel sayı değerine dönüştürülebilir. Simülasyonda genelde bir zaman beklemesini tarif ederler. Poisson dağılımı ayırık bir dağılımdır. Sadece tam sayı değerli miktarları kabul ederler. Bu dağılım gelişleri ve aralarında süre bulunan gruplamaları yaparken kullanılır.

Input Analyzer yukarıdaki her türlü dağılımı veriye atıyabilir. Ancak bunu yaparken verilerin oluşturduğu histogramdan elde edilen şeklin dağılımın şekline uygunluğu değerlendirilmelidir.

Arena' nın Input Analyzer kısmında verilere dağılım atamak için şu adımları izlenmelidir:

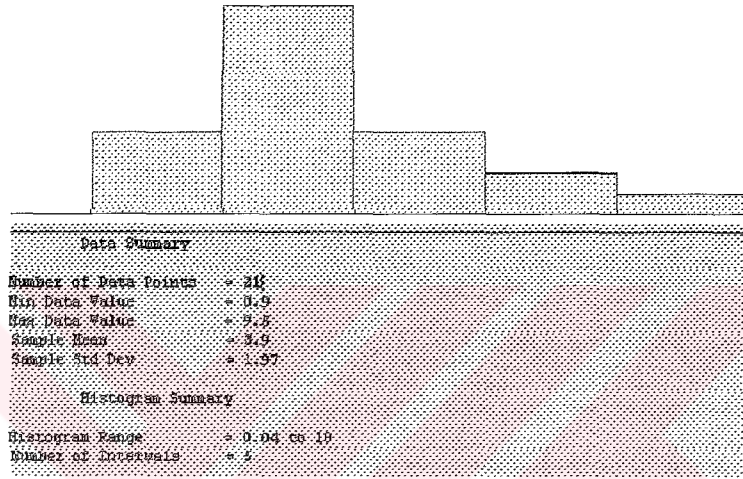
- Veri değerleri içeren text dosyası yaratılmalıdır.
- Input Analyzer kısmında bu verilere bir ya da daha fazla dağılım atanmalıdır.
- Dağılım seçilmelidir.
- Input Analyzer' daki dağılım Arena içindeki modele uygulanmalıdır.

Veri dosyası hazırlamak için verileri içeren sıradan bir ASCII dosyası yapmak yeterlidir. Herhangi bir text editörü, kelime işlemci veya ayrı bir program kullanılabilir. Bağımsız veriler aralarında en az bir boşluk kalacak şekilde dizilmelidir. Veriler istenen herhangi formatta yazılabilir. Verilerin satırlara ne şekilde dağılacığı çok önemli değildir. Veriler için önemli

olan verilerin bulunması ve aralarında en az bir boşluk olmasıdır. Bir ASCII dosyası oluşturduktan sonra bunun uzantısı .dst olarak değiştirilmelidir. Verilerin herhangi bir sıra takip etmeleri gerekli değildir.

Yapılan bu veri dosyasına bir dağılım atamak için Input Analyzer kullanılmalıdır. Tools/ Input Analyzer komutuyla Input Analyzer açılır.

File/New komutuyla yeni bir dosya açılır. File/Data File/Use Existing menü seçeneğinden biraz evvel oluşturulan veri dosyası bu pencereye ilave edilir.



Şekil 5.3 Verilerin dağılımı

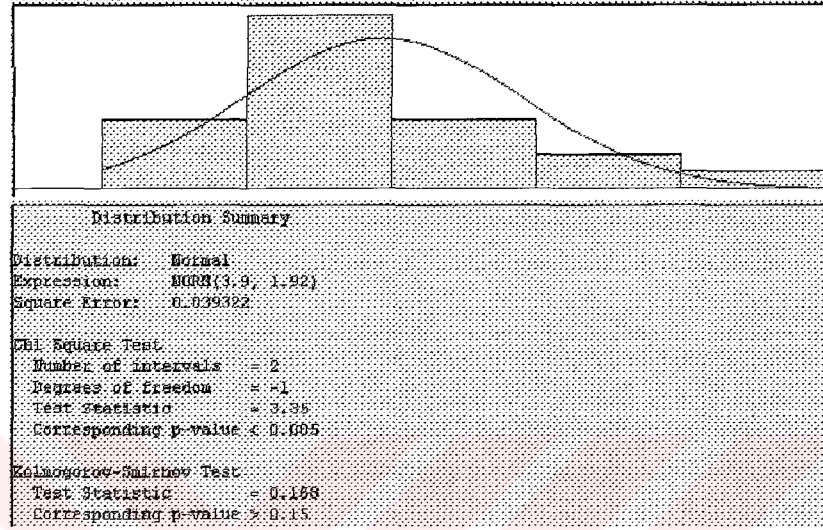
Input Analyzer dosyayı yukarıdaki şekilde gösterir. Veriden oluşan bir histogram üst kısımda, veri karakteristiğinin bir özeti de alt kısımda görülür. Bu ekrandaki boyut ortadaki bölüm çubuğuyla ayarlanabilir.

Input Analyzer' ın Fit menüsü veriye bağımsız olasılık dağılımları atama seçeneklerini içerir. Bir dağılım atadıktan sonra o dağılımın ağırlık eğrisi histogram üzerinde gözükür ve aynı dağılım ile ilgili karakteristik özellikler alt kısımda belirtilir.

Veri ile ilgili yapılması gereken tam açıklama Arena içinde mevcuttur. Bu bilgi istenirse kopyala-yapıştır tekniği ile başka yerlere de taşınabilir. Aşağıdaki şekil den.dst adlı veri dosyasının Normal dağılıma uyması gösterilmiştir. Şekilde de gözüktüğü gibi normal dağılım bu dosyayı çok iyi temsil edememiştir.

Modelde kullanılan verinin hangi dağılıma en iyi şekilde uyduğu görülmek isteniyorsa Fit/All menü seçeneği seçilmelidir. Bu işlem otomatik olarak mümkün olan bütün dağılımlara veriyi uydurarak bir sonuç çıkaracak ve minimum kare hatası değerlerini gösterecektir. Bu değerler verinin belirtilen dağılıma ne kadar uygun olup olmadığını temsil eder.

Veriler fit all seçeneği ile ayıklanırsa en uygun dağılımı Input Analyzer verecektir.



Şekil 5.4 Normal dağılıma uydurulmuş veriler

Dağılımın veriyi ne kadar temsil ettiği ki-kare ve Kolmogorov Smirnov testlerinden de anlaşılabilir. Corresponding p-value kısmında verilen değer her zaman için 0 ile 1 arasındadır. Dağılımlar için büyük p değerine sahip dağılımlar daha iyi dağılımı göstermektedir. Bu değer 0.05' den daha küçük olursa o zaman dağılım iyi şekilde uymuyordur. Bu değerler mutlaka kesinlik katmamaktadır ancak bir belge ve kanıt niteliği taşımaktadır.

Verilerin kullanılacağı yerler de oldukça önemlidir. Mesela bir işlem modülü için kullanılan veriler genelde Normal veya Triangular dağılıma uydurulur. Normal dağılım kısa zamanlarda yüksek değerler vermesine rağmen, uzun süreli simülasyonlarda iki dağılım da aynı sonuçları vermektedir.

5.6 Model'in Kurulması

Olasılık dağılımları ve işlemler tamamlandıktan sonra model Arena yardımıyla kurulabilir. Bu bölümde modelin simülasyonunun gerçekleştirilmesi için gerekli tüm bilgilere sahibiz. Şimdi Arena kullanarak işlemleri birleştirecek ve birer istasyon oluşturacağız. Bu istasyonlardaki boş zamanları, darboğazları, ve varsa başka istatistiksel kısıtları Arena yardımıyla göreceğiz.

Modelin kurulması için önce işlemler çevrim süresine göre ve akış şeması dahilinde aşağıdaki gibi istasyonlara ayrıldı. Bu istasyonların kurulması birbirini takip eden işlerin istasyon toplam zamanlarının, çevrim süresi içerisinde olması gerekliliğine göre kurulmuştur.

Bu modelin çıktılarına göre iyileştirme işlemi yapılacaktır.

Sistem, tüm işlemlerin zamanlarına ve çevrim süresi kısıtına göre incelendiğinde ilk olarak aşağıdaki çizelgede zamanlamaları verilen 13 adet istasyona bölünmüştür. Bu istasyonların zamanlamaları ve bu işlemlerin birleştirildiğinde alınan veriler çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge üzerinde işlem numarası Çizelge 5.4 üzerindeki işlem numaralarıdır. İstasyon numaraları ilk işlemin gerçekleştiği istasyondan, son işlemin gerçekleştiği istasyona kadar sıralandırılmıştır. Örnek zamanlar, işlem no sütununda belirtilen işlem numaralarına sahip işlemlerin tamamı için alınmış verilerdir. Dağılım ise daha önce anlatılan Arena yazılımının Input Analyzer bölümü ile bulunmuş; istasyonlardaki simülasyon sırasında kullanılacak girdi dağılımını göstermektedir. Çizelgedeki atamalar önceki öncelik matris atamalarına göredir.

Çizelge 5.7 Benzetimde kullanılan veriler (Örnek zamanlar yuvarlanmıştır)

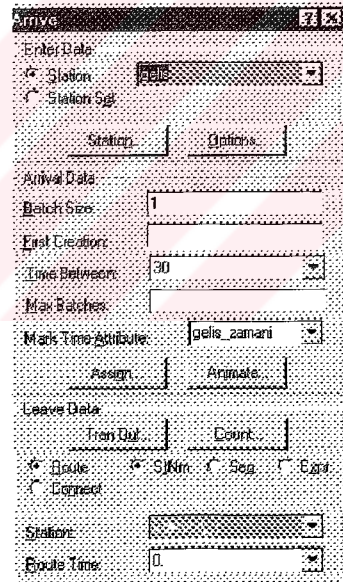
İşlem No	İstasyon No	Örnek Zamanlar	Dağılım
1 – 4	1	30,28,31,30,27,30.5,33,28	Norm(29.7;1.82)
5 – 6	2	26,24,31,32,29.5,31,29,28	Norm(28.8;2.55)
7 – 8	3	29,31,34,31,27,28,30,28	Norm(29.8;2.11)
9 – 11	4	28,28,24,26,26.5,28,29,28	Norm(27.2;1.5)
12	5	25,21,20,19,24,24,23,24	Norm(22.5;2.06)
13	6	35,37,32,33,31,34,31,33	Norm(33.5;1.73)
14 – 16	7	23,29,26,23,25,25,24,27.5	Norm(25.3;1.98)
17 – 19	8	30,31,32,28.5,27,25,27,34	Norm(29.3;2.79)
20	9	23,24,28,28,25,27,27,26	Norm(25.9;1.96)
21 – 23	10	24,22,22,25,26,25,27,24	Norm(24.4;1.65)
24	11	28,29,35,22,24,29,32,28	Norm(28.4;3.84)

25	12	18,19,20,18,17,19,18,19	Norm(18.5;0.86)
26 – 28	13	28,29,32,30,29,29,28,27	Norm(29;1.41)

Arena programı ile yapılan ilk simülasyon için öncelikle parçaların simülasyon yazılımında yaratılmaları gerekmektedir. Sistem içerisinde işlem görecektir olan parçalar Arena içerisindeki *Arrive* modülü ile yaratılırlar. Burada sistemde parçalar belli bir olasılık dağılımı olarak veya belirli zaman aralığında olmak üzere iki şekilde yaratılabilir. Uygulama bölümünün başında anlatıldığı gibi sistemden istenen günde 16 adet kat kaloriferi olduğundan sistem içerisine yaratılacak olan parçalar için çevrim zamanı kadar süre ayrılmıştır.

Simülasyon başlangıcında sisteme parça gelişleri 30 dakikada bir olmak üzere ayarlanmıştır.

İlk olarak Arrive modülünün ilk kısmı olan Enter Data kısmındaki istasyon adı kısmı



Şekil 5.5: Arrive modülü

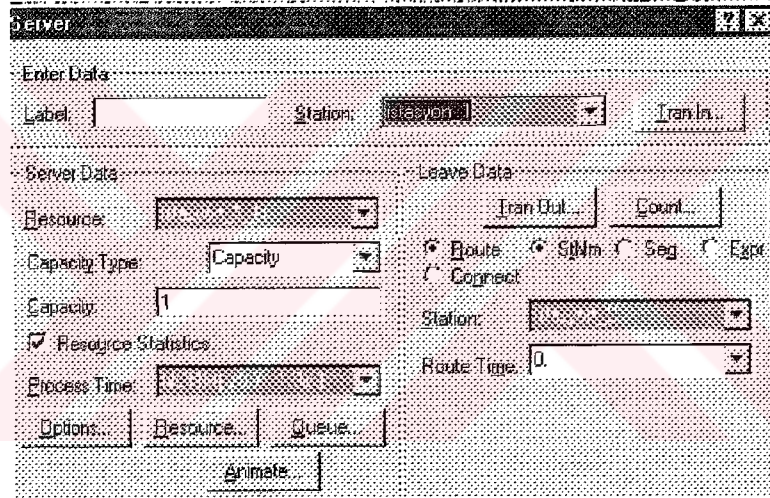
değiştirilir. Burada verilen isim bu istasyonun bundan sonra Arena içinde nasıl çağırılacağını belirler. Varsayılan olarak gelen istasyon ismi Arrive 1'dir. Bunu Gelisler olarak değiştireceğiz. İstasyon ismi verirken dikkat edilmesi gereken nokta Türkçe karakter kullanmamak ve noktalama işareti bulundurmamaktır.

Arrival Data bu istasyona gelişlerin zaman aralığı ve cinsi ile ilgili bilgilerin verildiği kısımdır. Gelişler arası süre olarak 30 dakika belirlendiğinden bu değer Time Between kısmına verilir.

Her parça ile ilgili istatistik tutulabilmesi için parçaların geliş anlarının işaretlenmesi gerekmektedir. Bu işlem de Mark time Attribute seçeneğine istenilen zaman ifadesi yazılarak sağlanır. Bu kısımda buraya “gelis_zamani” ifadesi yazılacaktır. Böylece Gelis zamanı ifadesinin altında her parçanın yaratıldıkları an bilgisi tutulacak ve simülasyon sonrası parçalarla ilgili istatistiksel bilgi toplama işlemi sağlanacaktır.

30 dakikada bir yaratılan parçalar, ilk olarak birinci istasyonda işlem göreceklidir. Buradan bir sonraki istasyona gideceğini belirtmek için *Arrive* modülü içerisinde Leave Data bölümü içerisindeki Station kısmına bir sonraki istasyon olan İstasyon 1 değeri girilmiştir.

Birinci istasyonda Norm(29.7;1.82) olasılık dağılımına göre işlem gören parçalar bir sonraki istasyona gönderilecektir.

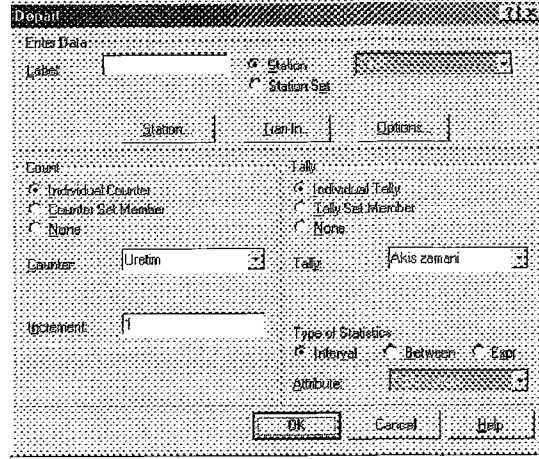


Şekil 5.6: Server Modülü

Server modülü içerisinde Station kısmına istasyonun adı, Process Time kısmına ise işlem süresi yazılacaktır. İlk istasyondaki işlem süresi Norm(29.7;1.82) olduğundan dolayı bu değer Process Time kısmına girilmiştir. Leave Data bölümündeki İstasyon kısmından bu istasyonu terk eden parçaların gidecekleri istasyon tanımı yapılacaktır. Bu sebeple buraya da İstasyon 2 değeri girilmiştir.

Kat kaloriferinin imalatı 13 temel işlem yapan istasyondan oluşmakta idi. Bu sebeple Çizelge 4.3'e uygun olarak bu 13 istasyon için gerekli olan Server modülleri yaratılmıştır.

Her bir istasyonda Çizelge 4.3'de verilen zamanlamalara uygun olarak işlem gören parçalar, sistemi *Depart* modülü ile terk etmektedirler.



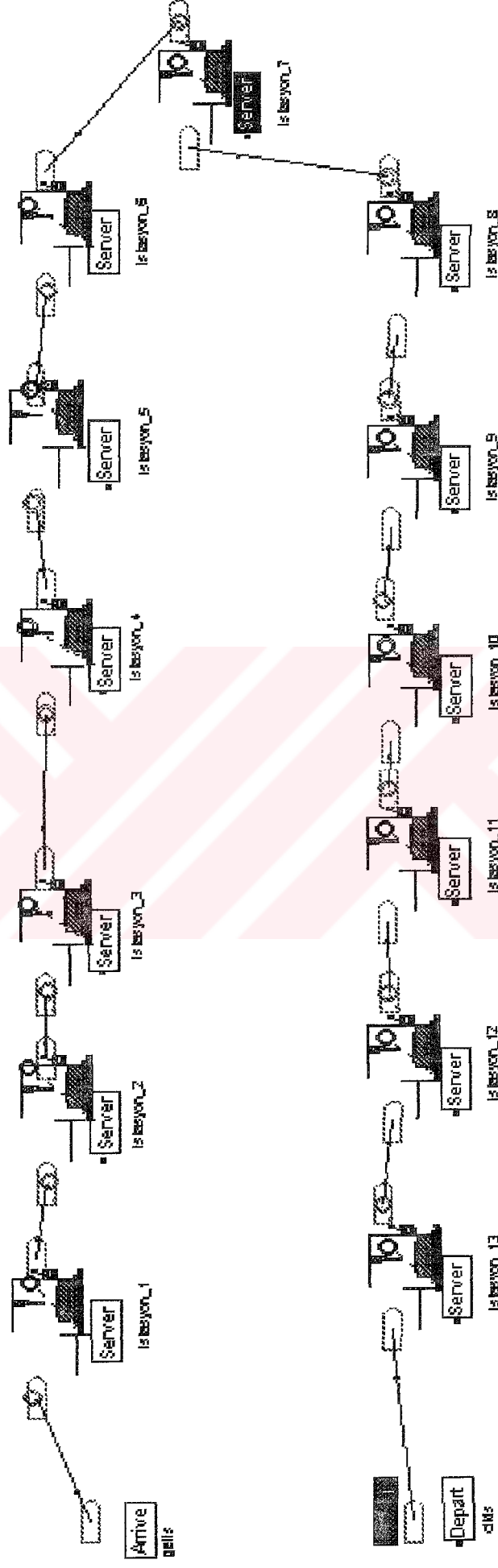
Şekil 5.7: Depart modülü

Depart modülünün adı Station kısmına yazılmıştır. Kaç tane parçanın sistemi terk ettiğini ayarlamak için Individual Counter seçeneği seçilmiştir. İstatistiksel bilgilerin alınması için de Individual Tally seçeneği seçilip alt kısımda her parçanın işaretlendiği *geliş_zamani* seçeneği seçilmiştir.

Her bir parça bütün istasyonları sırayla dolaştığından dolayı her bir modülün bağlantılarını tamamlamak için *Route* seçeneği kullanılacaktır.

Route seçeneği ile tüm modüller birbirine bağlanmıştır. Böylece parçaların animasyonu sağlanmıştır.

Aşağıdaki ekran çıktıları verilen zamanlamalar ve istasyon adetleri için yapılan ilk simülasyonu içermektedir. Bu şekillerde simülasyon arayüzü, sistemin çalıştığı andaki ekran çıktısı ve sistemin çalıştığı süre sonucundaki istatistiksel veriler bulunmaktadır.



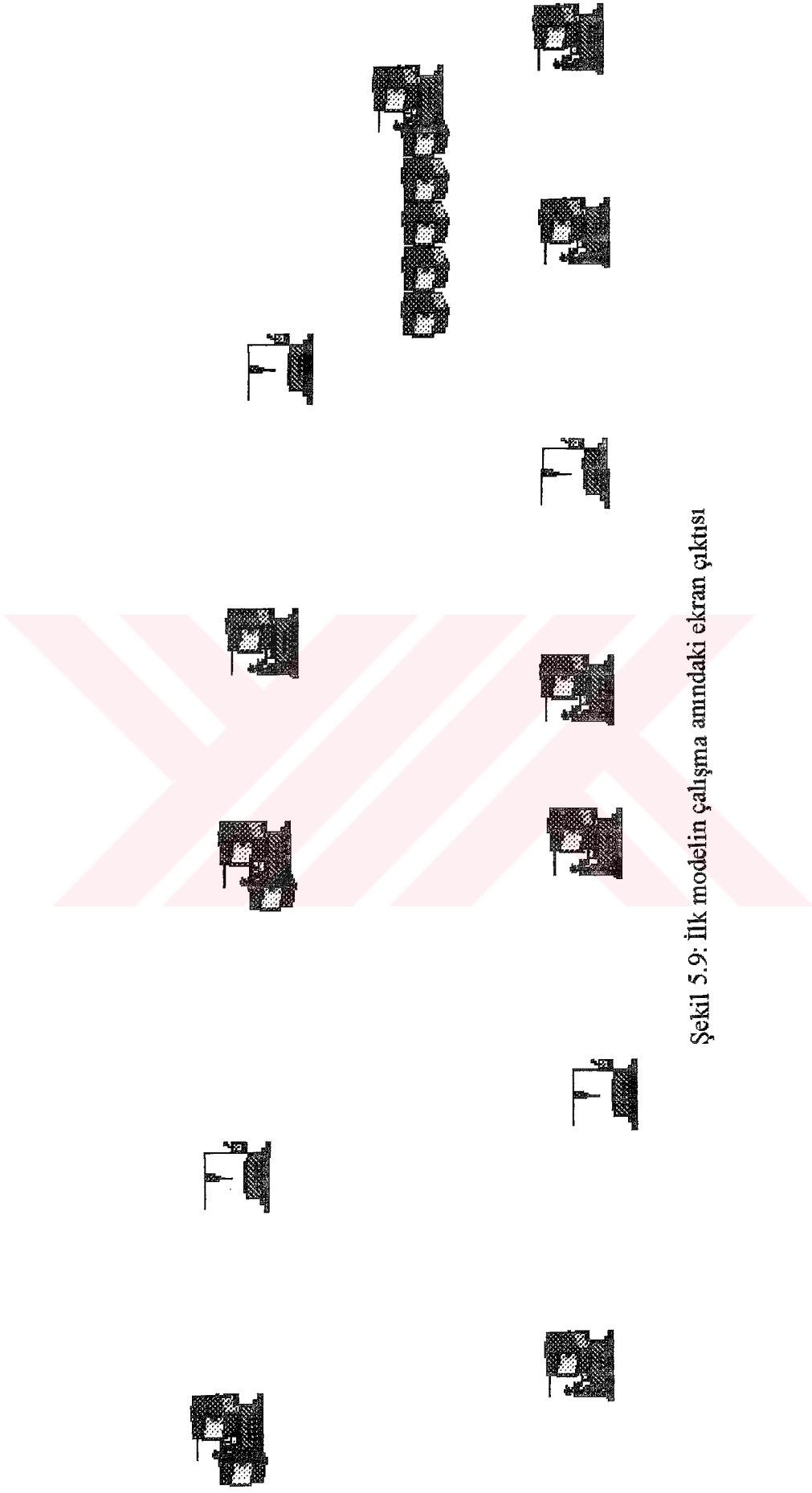
Şekil 5.8: Benzetim Arayüzü

Bir önceki sayfadaki simülasyon arayüzü Arena programı ile hazırlanan ve daha önce anlatılan Server, Arrive Depart ve Route modüllerinin kullanılması sonucu oluşturulan istasyonların Arena programı içerisindeki görünümünü vermektedir.

Sistem çalıştırıldığı zaman parçalar Arrive modülünde yaratıldıkları anda İstasyon 1 Server modülüne gideceklerdir. Her parça sırasıyla tüm istasyonlardan geçecek ve Server modüllerinde belirtilen zamanlamalar kadar işleme tabi tutulacaklardır. İstasyonlarda oluşabilecek olan kuyruklar, her bir modülün yan tarafında kuyruk için ayrılmış bölümde gerçekleşecektir.

Bir parça işleyen Server modülünün şekli değişecektir. Bu sayede ekran görüntüsünden o modülde işlem yapılıp yapılmadığı veya bekle yapılıp yapılmadığı belli olacaktır.

Bir sonraki ekran çıktısı simülasyonun çalıştırıldığı anda oluşan parça transferlerini işlem yapan veya boş bekleyen istasyonları ve oluşabilecek kuyrukları gösteren ekran çıktısıdır.



Şekil 5.9: İlk modelin çalışma anındaki ekran görüntüsü

Simülasyon sonuçlarının güvenilir olması için simülasyon her bir periyot 480 dakika (Net çalışma toplam dakikası) olmak üzere 30 kere çalıştırılmıştır. Böylece simülasyonun en temel ilkelerinden biri olan rassallık yardımıyla gerçeğe yakın modeller ve sonuçlar alınmaya çalışılmıştır.

Bu sonuçlardan bir kısmı sonraki sayfalarda düzenlenmiş olarak gösterilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde anlaşılaçağı üzere sistemden istenilen günlük 16 adet bitmiş mamul sağlanamamaktadır. Bunun nedeni incelendiğinde 6 numaralı istasyondaki sonuçlar dikkat çekmektedir.

İstasyon 6'daki kaynak yoğunluğu 1 olarak gözükmektedir. Yani bütün simülasyon boyunca bu kaynak % 100 veya daha fazla çalışmış durumdadır. Simülasyon sonuçlarından birkaç tanesi verilmiştir ve bu sonuçlara göre 7. günde 6. istasyon önünde bekleyen parça sayısı 9, 30. günde ise 47 adettir. Yani 7. güne kadar 6. istasyon önünde 6. istasyonun yapamayacağı kadar yük vardır.

Bu yük 30. gün sonunda 47 olmakta ve aynı zamanda 6. istasyondan sonraki istasyonların meşguliyet oranlarını düşürmektedir.

Kısaca 6. istasyonun yapabileceğinden fazla yükü bulunmakta ve bu yük hem istenen günlük çıktı adedini yakalamaya mani olmakta hem de sonraki istasyonlardaki kaynakların daha az çalışmasına yol açmaktadır.

Sonraki sayfadaki sonuçlara göre 7. gün sonunda sadece o gün üretilen parça sayısı 14'tür.

Çizelge 5.8: İlk Modelin 7. gündeki sonuçları

ARENA Simulation Results
Koray Cengiz - License #9400000
Summary for Replication 7 of 30

Project: İlk Durum
Analyst: Koray Cengiz

Run execution date : 14/ 6/2002
Model revision date: 14/ 6/2002

Replication ended at time : 3360.0
 Statistics were cleared at time : 2880.0
 Statistics accumulated for time : 480.0

Kuyruk Değişkenleri

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
istasyon_1_Kaynak kuyruk zamanı	74.935	(Insuf)	23.962	14.495	16
istasyon_10_Kaynak kuyruk zamanı	.01023	(Insuf)	.00000	.14326	14
istasyon_11_Kaynak kuyruk zamanı	18.575	(Insuf)	.00000	14.017	15
istasyon_12_Kaynak kuyruk zamanı	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	15
istasyon_13_Kaynak kuyruk zamanı	10.751	(Insuf)	.00000	56.490	15
istasyon_2_Kaynak kuyruk zamanı	30.774	(Insuf)	.00000	72.723	16
istasyon_3_Kaynak kuyruk zamanı	26.862	(Insuf)	.22034	10.439	16
istasyon_4_Kaynak kuyruk zamanı	.56305	(Insuf)	.00000	40.357	16
istasyon_5_Kaynak kuyruk zamanı	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	16
istasyon_6_Kaynak kuyruk zamanı	292.12	(Insuf)	267.68	316.54	15
istasyon_7_Kaynak kuyruk zamanı	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	15
istasyon_8_Kaynak kuyruk zamanı	.09618	(Insuf)	.00000	11.268	15
istasyon_9_Kaynak kuyruk zamanı	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	14
cikis_Adedi	650.76	(Insuf)	633.16	668.50	15

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
istasyon_1_Doluluğu	10.000	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_10_Doluluğu	.74201	(Insuf)	.00000	10.000	.00000
istasyon_11_Doluluğu	.90626	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_12_Doluluğu	.54847	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_13_Doluluğu	.90561	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_2_Doluluğu	.98137	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_3_Doluluğu	10.000	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_4_Doluluğu	.93620	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_5_Doluluğu	.79021	(Insuf)	.00000	10.000	.00000
istasyon_6_Doluluğu	10.000	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_7_Doluluğu	.73801	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_8_Doluluğu	.87510	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_9_Doluluğu	.80250	(Insuf)	.00000	10.000	10.000

COUNTERS

Identifier	Adet	Limit
cikis_Adedi	14	Infinite

Çizelge 5.9: İlk Modelin 30. gündeki sonuçları

ARENA Simulation Results
Koray Cengiz - License #9400000
Summary for Replication 30 of 30

Project: İlk Durum
Analyst: Koray Cengiz

Run execution date : 14/ 6/2002
Model revision date: 14/ 6/2002

Replication ended at time : 14400.0
 Statistics were cleared at time : 13920.0
 Statistics accumulated for time : 480.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
istasyon_1_Kaynak kuyruk zamanı	11.620	(Insuf)	82.750	17.594	16
istasyon_10_Kaynak Kuyruk zamanı	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	15
istasyon_11_Kaynak Kuyruk zamanı	.03787	(Insuf)	.00000	.56805	15
istasyon_12_Kaynak Kuyruk zamanı	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	15
istasyon_13_Kaynak Kuyruk zamanı	.69190	(Insuf)	.00000	36.895	15
istasyon_2_Kaynak kuyruk zamanı	16.152	(Insuf)	.00000	57.934	16
istasyon_3_Kaynak kuyruk zamanı	39.564	(Insuf)	31.846	46.440	16
istasyon_4_Kaynak kuyruk zamanı	.40669	(Insuf)	.00000	39.307	16
istasyon_5_Kaynak kuyruk zamanı	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	16
istasyon_6_Kaynak kuyruk zamanı	1431.8	(Insuf)	1419.5	1438.3	14
istasyon_7_Kaynak kuyruk zamanı	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	14
istasyon_8_Kaynak kuyruk zamanı	.41122	(Insuf)	.00000	49.147	15
istasyon_9_Kaynak kuyruk zamanı	.12768	(Insuf)	.00000	.96593	15
cikis_Ta	1794.3	(Insuf)	1771.0	1817.3	15

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
istasyon_1_Doluluğu	10.000	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_10_Doluluğu	.74722	(Insuf)	.00000	10.000	.00000
istasyon_11_Doluluğu	.86664	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_12_Doluluğu	.58255	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_13_Doluluğu	.87830	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_2_Doluluğu	.96466	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_3_Doluluğu	10.000	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_4_Doluluğu	.90947	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_5_Doluluğu	.74694	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_6_Doluluğu	10.000	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_7_Doluluğu	.75225	(Insuf)	.00000	10.000	.00000
istasyon_8_Doluluğu	.82428	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_9_Doluluğu	.76885	(Insuf)	.00000	10.000	10.000

COUNTERS

Identifier	Adet	Limit
cikis_Adedi	14	Infinite

Sonuçlardan da görülebileceği gibi üretimi talep edilen günde 16 adetlik kapasite mevcut şekilde yapılamamaktadır. Bu kapasitenin yakalanamamasındaki en büyük neden 6. istasyondaki işlem süresinin fazla olmasıdır. Bu da sonraki istasyonlara parça sağlayamayacak kadar kuyruk oluşmasına, sonraki istasyonların boş kalmalarına yol açmaktadır.

Bu problemin çözümlenmesi için gerekli olan çözüm yöntemlerinden biri kullanılmıştır. Bu yöntem Benzetim yöntemidir. Benzetim yönteminde sonuç çeşitli alternatiflerin değerlendirilmesi ile ortaya çıktığından birden fazla sonuç bulunabilir.

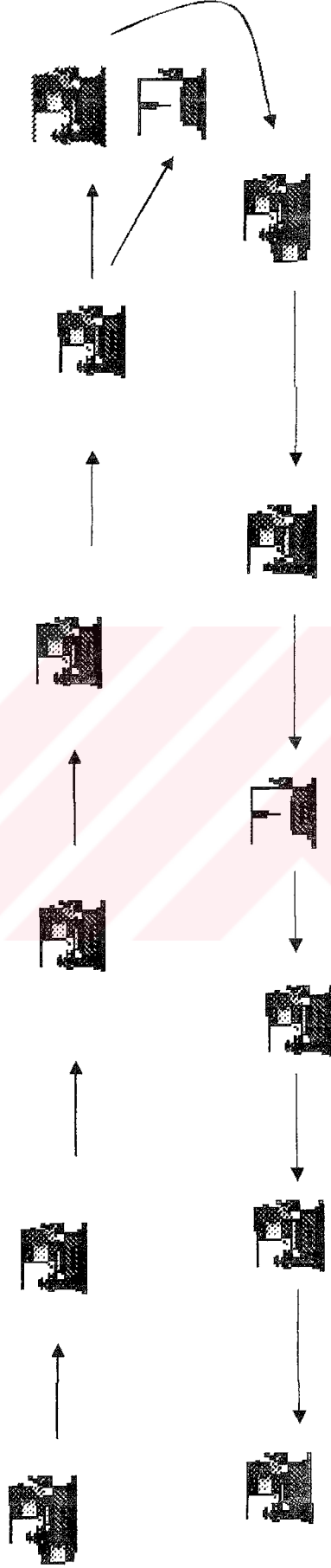
Öncelikle yapılacak olan işlem istasyonun iş yükünün azaltılmasıdır. İstasyondaki iş yükünün azaltılması mümkün değildir. 6. istasyona verilen iş sadece tek bir kişinin yapması gereken bir kaynak işidir. Bu işlemin parçalara ayrılması da kaynağın kalitesinin düzgün olması bakımından mümkün değildir. Bu sebeple bir başka yöntem olan işlemlerin birleştirilmesi kullanılacaktır.

İstatistik sonuçlar incelendiğinde, 5. istasyondaki kaynak meşguliyet oranı % 72' dir. Bu da bir istasyon için düşük bir meşguliyet oranıdır. Bir sonraki simülasyon denemesi 5. ve 6. istasyonlardaki işlemlerin birleştirilmesi ve tek bir istasyon olarak bu işin 60 dakikalık çevrim zamanı içerisinde yapılıp yapılamayacağının denenmesi olacaktır.

Bir sonraki simülasyon arayüzü, daha önceki arayüze oldukça benzemektedir. Ancak farklı olan kısım; ikinci simülasyon modelinde 5. ve 6. istasyonlardaki işlemler birleştirilmiş ve bu birleştirilmiş istasyondan iki tane kullanılmıştır.

Birleştirme işlemi sırasındaki istatistiksel dağılım işlemlerin birleştirilip denenmesinden sonra ortaya çıkan verilerin yeniden ölçülerek dağılıma uydurulması ile uygulamaya konulmaktadır.

Sistemin çıktıları incelendiğinde istenilen neticeye varıldığı görülecektir. Sonraki sayfalarda bu çıktılarda iki tanesi görüntülenmektedir.



Şekil 5.10: Son modelin sistem çalıştırıldığındaki görüntüsü

Çizelge 5.10: Son Modelin 7. gündeki sonuçları

ARENA Simulation Results
Koray Cengiz - License #9400000
Summary for Replication 7 of 30

Project: Son Model
Analyst: Koray Cengiz

Run execution date : 29/ 5/2002
Model revision date: 14/ 6/2002

Replication ended at time : 3360.0
 Statistics were cleared at time : 2880.0
 Statistics accumulated for time : 480.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
istasyon_1_Kaynak kuyruk zamanı	19.756	(Insuf)	.00000	53.425	15
istasyon_10_Kaynak Kuyruk zamanı	.13676	(Insuf)	.00000	21.880	16
istasyon_11_Kaynak Kuyruk zamanı	15.427	(Insuf)	.00000	85.404	16
istasyon_12_Kaynak Kuyruk zamanı	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	16
istasyon_13_Kaynak Kuyruk zamanı	55.421	(Insuf)	.00000	16.141	16
istasyon_2_Kaynak kuyruk zamanı	32.818	(Insuf)	.00000	99.382	16
istasyon_3_Kaynak kuyruk zamanı	12.575	(Insuf)	72.835	21.635	16
istasyon_4_Kaynak kuyruk zamanı	.33802	(Insuf)	.00000	22.253	16
istasyon_6_Kaynak kuyruk zamanı	13.047	(Insuf)	.00000	68.255	16
istasyon_7_Kaynak kuyruk zamanı	11.615	(Insuf)	.00000	12.680	16
istasyon_8_Kaynak kuyruk zamanı	10.230	(Insuf)	31.748	18.395	16
istasyon_9_Kaynak kuyruk zamanı	.24077	(Insuf)	.00000	38.523	16
cikis_Ta	391.93	(Insuf)	387.53	397.62	16

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
istasyon_1_Doluluğu	.99456	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_10_Doluluğu	.79613	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_11_Doluluğu	.92559	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_12_Doluluğu	.62738	(Insuf)	.00000	10.000	.00000
istasyon_13_Doluluğu	.97314	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_2_Doluluğu	.97740	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_3_Doluluğu	10.000	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_4_Doluluğu	.90559	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_6_Doluluğu	18.924	(Insuf)	10.000	20.000	20.000
istasyon_7_Doluluğu	.85471	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_8_Doluluğu	10.000	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_9_Doluluğu	.84579	(Insuf)	.00000	10.000	10.000

COUNTERS

Identifier	Adet	Limit
cikis_C	16	Infinite

Çizelge 5.11: Son Modelin 30. gündeki sonuçları

ARENA Simulation Results
Koray Cengiz - License #9400000
Summary for Replication 30 of 30

Project: Son Model
Analyst: Koray Cengiz

Run execution date : 29/ 5/2002
Model revision date: 14/ 6/2002

Replication ended at time : 14400.0
Statistics were cleared at time: 13920.0
Statistics accumulated for time: 480.0

TALLY VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Observations
istasyon_1_Kaynak kuyruk zamanı	72.860	(Insuf)	46.995	10.409	16
istasyon_10_Kaynak Kuyruk zamanı	.00588	(Insuf)	.00000	.09989	17
istasyon_11_Kaynak Kuyruk zamanı	63.921	(Insuf)	.00000	14.791	17
istasyon_12_Kaynak Kuyruk zamanı	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	17
istasyon_13_Kaynak Kuyruk zamanı	78.873	(Insuf)	.00000	18.978	17
istasyon_2_Kaynak kuyruk zamanı	12.635	(Insuf)	.00000	68.431	16
istasyon_3_Kaynak kuyruk zamanı	21.530	(Insuf)	.00000	75.119	16
istasyon_4_Kaynak kuyruk zamanı	.22394	(Insuf)	.00000	18.392	16
istasyon_6_Kaynak kuyruk zamanı	14.779	(Insuf)	.00000	59.728	16
istasyon_7_Kaynak kuyruk zamanı	12.964	(Insuf)	.00000	10.809	15
istasyon_8_Kaynak kuyruk zamanı	70.607	(Insuf)	.00000	20.246	16
istasyon_9_Kaynak kuyruk zamanı	.39467	(Insuf)	.00000	36.008	16
cikis_Ta	390.40	(Insuf)	380.83	396.62	17

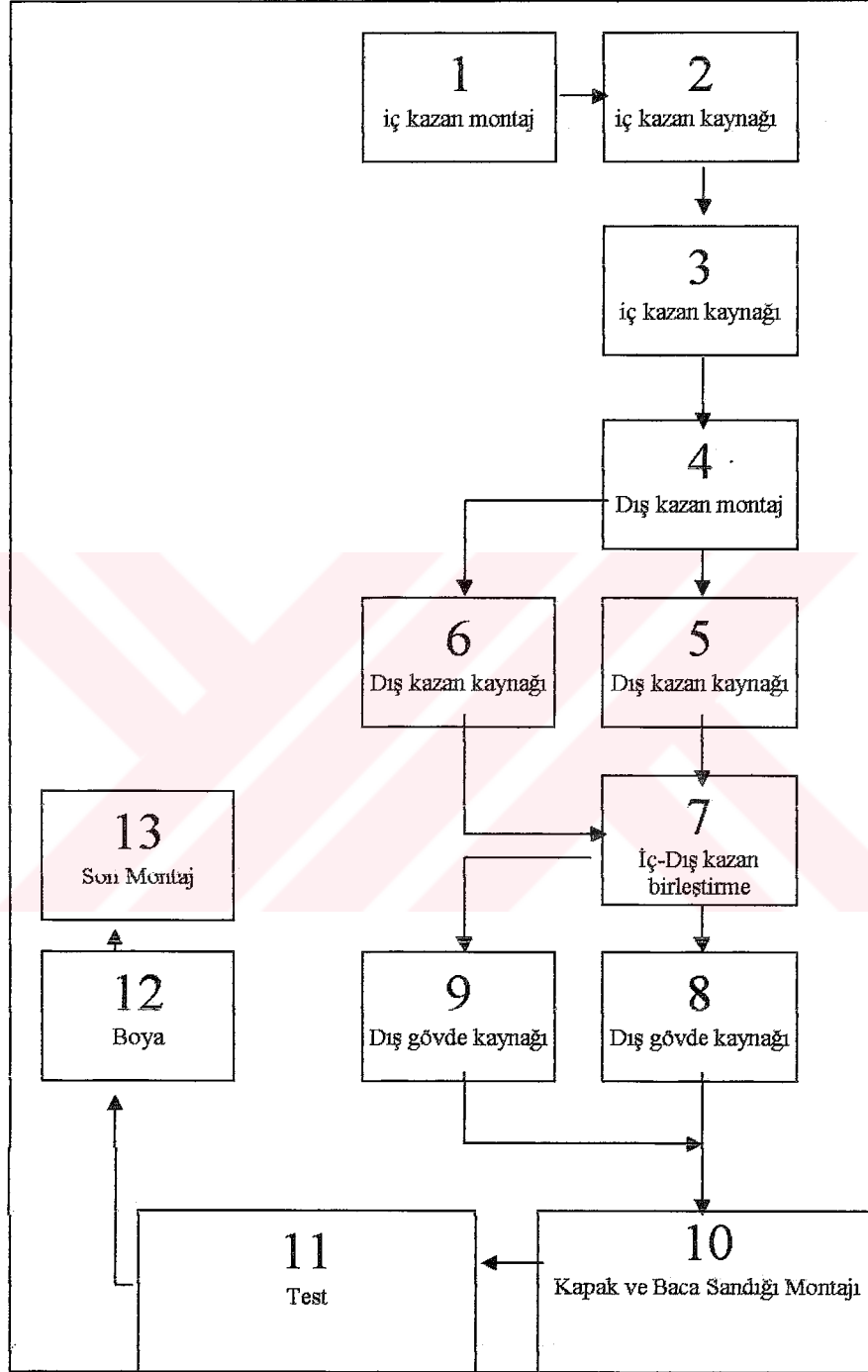
DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	Average	Half Width	Minimum	Maximum	Final Value
# in istasyon_1_R_Q	.24287	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
# in istasyon_10_R_Q	2,08E+00	(Insuf)	.00000	10.000	.00000
# in istasyon_11_R_Q	.22018	(Insuf)	.00000	10.000	.00000
# in istasyon_12_R_Q	.00000	(Insuf)	.00000	.00000	.00000
# in istasyon_13_R_Q	.25360	(Insuf)	.00000	10.000	.00000
# in istasyon_2_R_Q	.04212	(Insuf)	.00000	10.000	.00000
# in istasyon_3_R_Q	.07177	(Insuf)	.00000	10.000	.00000
# in istasyon_4_R_Q	.00746	(Insuf)	.00000	10.000	.00000
# in istasyon_6_R_Q	.05130	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
# in istasyon_7_R_Q	.04051	(Insuf)	.00000	10.000	.00000
# in istasyon_8_R_Q	.22047	(Insuf)	.00000	10.000	.00000
# in istasyon_9_R_Q	.01316	(Insuf)	.00000	10.000	.00000
istasyon_1_Doluluğu	10.000	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_10_Doluluğu	.81621	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_11_Doluluğu	.99190	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_12_Doluluğu	.62900	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_13_Doluluğu	.99969	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_2_Doluluğu	.96538	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_3_Doluluğu	.96936	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_4_Doluluğu	.90652	(Insuf)	.00000	10.000	.00000
istasyon_6_Doluluğu	18.787	(Insuf)	10.000	20.000	20.000
istasyon_7_Doluluğu	.84897	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_8_Doluluğu	.97620	(Insuf)	.00000	10.000	10.000
istasyon_9_Doluluğu	.86890	(Insuf)	.00000	10.000	.00000

COUNTERS

Identifier	Adet	Limit
cikis_C	17	Infinite

Tüm istasyonlardaki işlemler yukarıda bahsedildiği gibi dengelendikten sonra yerleşim planı bir sonraki şekilde gibidir.



Şekil 5.11: Montaj Hattı Yerleşim Planı

Bu uygulama çalışmasından sonra firmada günde 16 adet katı yakıtlı kat kaloriferi imalatı sağlanmış durumdadır. Bir sonraki çizelgede istasyon numaraları, istasyonların isimleri, bu istasyonda yapılan işlemler ve istasyonda çalışan kişi sayısı ile ilgili bilgiler bulunabilir.

Çizelge 5.12: Üretim hattındaki son durum

İSTASYON NO	İSTASYON İSMİ	İSTASYONDA YAPILAN İŞLEMLER	İŞ YÜKLEMESİ	BOŞ ZAMAN	ÇALIŞAN KİŞİ SAYISI
1	İç kazan Montaj	Külhan silindir dikiş montajı Külhan dibi montajı Boru montajı Ön ayna montajı	29 dk	1 dk	2
2	İç kazan kaynağı	Külhan dikiş kaynağı Külhan dibi kaynağı	30 dk	0 dk	1
3	İç kazan kaynağı	Boru kaynağı Ön ayna kaynağı	29 dk	1 dk	1
4	Dış Kazan montaj	Gömlek silindir montajı Gömlek arka ayna montajı Gömlek doldurma boşaltma boruları montajı	27 dk	3 dk	2
5	Dış Kazan Kaynağı	Gömlek dikiş kaynağı Gömlek arka ayna kaynağı	27,5 dk	5 dk	1
6	Dış Kazan Kaynağı	Gömlek dikiş kaynağı Gömlek arka ayna kaynağı	27,5 dk	5 dk	1
7	İç-Dış Kazan Birleştirme	İç-Dış Kazan Montajı Su geçiş sacı montajı Masura montajı	24 dk	6 dk	2
8	Dış Gövde Kaynağı – 1	Gömlek ön ayna çevre kaynağı Çıkış boruları kaynağı Su geçiş sacı kaynağı	29 dk	1 dk	1
9	Dış Gövde Kaynağı – 2	Masura ön – arka kaynağı	25 dk	5 dk	1
10	Kapak – Baca Sandığı Montajı	Ön alt kapak montajı Ön üst kapak montajı Baca sandığı takılması	22 dk	8 dk	2
11	Test	Test	28 dk	2 dk	1
12	Boya	Boya	29 dk	1 dk	1
13	Son Montaj	Üst ve Alt yansıma reflektörü takılması Ambalajlama Kasalama	30 dk	0	1

Toplam 13 istasyon ve 16 kişi ile çözülen montaj hattı problemi için gerekli olan bazı özel ekipmanlar da yapılmıştır.

Bu ekipmanlar içerisinde kazanın ağırlığından dolayı kaldırma indirme işleminin çok olduğu istasyonların üst kısımlarında seraskar vinçler bulunmaktadır. Kaynak işleminde kaliteyi ve verimi arttıran gazaltı kaynak makinaları alınmıştır.

5.7 Montaj Hattının Dengelenmesinden Sonraki Sonuçlar

Çizelge 5.12’de de görülebildiği gibi her bir istasyonda yüksek verimlilik oranı yakalanmıştır. Çizelgede verilen rakamlar simülasyon sonucunda elde edilmemiştir. Bu rakamlar zaman etüdü yöntemiyle bulunmuş değerlerdir. Simülasyon sonucuna göre verimlilik analizi yaparsak, her bir istasyon doluluk oranını, boş kalma oranını, verimliliğini bir sonraki çizelgede özetleyebiliriz.

Çizelge 5.13 Montaj Hattı Dengelenmesinden sonraki Sonuçlar

İstasyon Numarası	İstasyon Adı	Doluluk Oranı	Boş Kalma Oranı
1	İç kazan Montaj	100%	0
2	İç kazan kaynağı	96%	4%
3	İç kazan kaynağı	97%	3%
4	Dış Kazan montaj	90%	10%
5	Dış Kazan Kaynağı	93%	7%
6	Dış Kazan Kaynağı	94%	6%
7	İç-Dış Kazan Birleştirme	84%	16%
8	Dış Gövde Kaynağı – 1	97%	3%
9	Dış Gövde Kaynağı – 2	86%	14%
10	Kapak – Baca Sandığı Montajı	81%	19%
11	Test	99%	1%
12	Boya	62%	38%
13	Son Montaj	99%	1%

Montaj Hattının dengelenmesi sırasında işlemlerin birleştirilmesi gereğinden bahsedilmişti. İşlem birleştirildikten sonra aynı çevrim zamanında yetişmeyen işlemler için aynı istasyondan bir tane daha eklemek gerekli oldu. Böylece sistemde aynı istasyondan iki tane kurulmuştur. Bu işleme paralel hat oluşumu denmektedir.

Paralel hat oluşumunun birkaç tane nedeni olabilir. Bunlar çevrim zamanını aşan görevlerin olması, yer konum kısıtı, kaynak kısıtları gibi sebepler olabilir. Bu uygulama çalışmasında paralel hat oluşumunun nedeni bir prosesin görev süresinin, çevrim zamanından da büyük olmasıdır. Bir önceki istasyonla işlemlerin birleştirilmesi neticesinde bir önceki istasyondaki kayna da bir sonraki istasyondaki kaynakla aynı işi yapacaktır.

Aynı işi yaptıklarından, paralel istasyonlardan önceki istasyondan buraya işlenmek üzere gelen parçalar, öncelikle hangi istasyon boş ise, o istasyona geçecektir. Bu istasyonlar için çevrim süresi 60 dakikadır. Ancak iki istasyon da aynı işi yaptığından 60 dakikalık çevrim zamanı içerisinde iki adet parça çıkaracaklardır.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hat dengeleme problemleri piyasa ihtiyaçlarının değişmesi, üretim oranında bir iyileştirme yapılması veya yerleşim planını değiştiren herhangi bir sebep yüzünden karşılaşılabılır bir problemdir. Günümüz rekabetçi piyasasında mal veya hizmet satışı rekabet dolayısıyla oldukça zorlaşmıştır. Böyle bir ortamda en düşük maliyet ile rekabet edebilir bir ürün sunmak firmaların temel hedefi haline gelmiştir.

Üretim ile ilgili sorunlardan bir tanesi de üretim kapasitesi ile ilgilidir. Bir firmada kapasite artışı çok büyük maliyetlere yol açmaktadır. Satılan ürünün piyasada tutulması ve talep edilir edilir hale gelmesi yeterli kapasite ile çalışmayan firmalar için bir kabus da olabilir.

Firma üretim kapasitesini stok miktarı yükselmeyecek ve fazla maliyet arttırmayacak ve aynı zamanda da pazara sunum sırasında gecikme yaşamayacak şekilde ayarlamalıdır.

Kapasite ayarlandıktan sonra bir montaj hattının dengelenmesi için gerekli olan çevrim zamanı bilgisi elde edilmiş olur. Montaj hatları bir ürünün üretilmesi sırasında işlemlerin birbirini takip eden iş istasyonlarına bölünmesi olarak tanımlanabilir. Her bir iş istasyonu kendi işini en fazla çevrim zamanı içerisinde bitirmek zorundadır.

Montaj hatları sadece üretilen parça sayısını garanti etmekle kalmaz aynı zamanda işgücü açısından da faydaları vardır.

Bir iş istasyonunda çalışan kişi her gün kaç tane parça üretmesi gerektiğini bilir, her gün yapacağı iş üzerinde uzmanlaşma sağlanmış olur. Bu da kalite açısından olumlu bir gelişme olacaktır. Çalışan kişiler önündeki belirsizlik kaldırılmış olur.

Üretim seviyesi ne olursa olsun firmalar çevrim süresini azaltmaya boş zamanları en aza indirmeye, böylece üretim maliyetlerini en aza indirmeye çalışmaktadırlar. Firma verimliliği üzerinde kalite, stk seviyesi, üretim zamanları, işçilerin verimliliği, teçhizat kalitesi ve maliyeti gibi pek çok konu etki etmektedir. Bütün bunlar sürekli olarak değişimin yaşandığı bugünkü üretim sektöründe yeniden düzenlemelere yol açmaktadır. Bu düzenlemeler var oldukça hat dengelenmesi de üretim sektöründe var olmaya devam edecektir.

Hatların dengelenmesi bu kadar çok etkiye bağlı iken denge sonucunun da çok yönlü olması firma önündeki alternatifleri çoğaltmaya yarayacaktır. Firma sunulan alternatiflerden kendisi için uygun olanı seçmek isteyecektir.

Birden fazla çözüm yöntemi elde etmesi veya bunlarda bir tanesini seçmeye çalışması için çoğu yönetici dengelenmiş yeni hattı denemek iseyecek ve sonuçlarını görmek isteyecektir. Benzetim yaklaşımı ile bu etkilerin hepsi yapılabilir.

Hat dengeleme problemi ile karşılaşıldığında sorun benzetim yaklaşımı ile çözülmeye çalışırsa, firma, problemin nedenini açıkca görebilir. Bu problemin çözümü için ise alternatif sayısı modeli yapan kişinin düşünebildiği her türlü çözüm olabilir.

Firma yetkilisi modeli kuran kişinin örnek modelini izleyerek sonuçlarına bakabilir ve alternatifler arasından en verimli olanı seçme şansına sahip olur. Animasyon desteği ile yapılan benzetim modelleri insanların modelcinin istediği şekilde düşünmesine yardımcı olacak, değişime ayak uydurmayı firma genelinde yaygınlaştıracaktır.

Montaj hatlarının benzetim yaklaşımı ile çözülmesinde literatürde de bir çok örneği bulunmaktadır. H A. ElMaraghy, I B Abdallah, W H. ElMaraghy; F T.S. Chan , A M.Smith; M Johnsson, S Peltonen, TLeipälä, O Nevalainen yayımladıkları makalelerle benzetim yaklaşımı ile hat dengeleme problemlerini çözmüşlerdir.

Bu tez çalışmasında uygulama olarak D.Ç.D Doğalgaz A.Ş. firmasında katı yakıtlı kat kaloriferi imalatına yönelik bir hat dengeleme çalışması benzetim yaklaşımı ile yapılmıştır.

Bu çalışma sonucunda gerekli kapasite sağlanmıştır. Hat genelinde % 91'lik bir doluluk oranı sağlanmıştır. Firma bu sonuçları uygulamaya geçmiş ve bu değişim sırasındaki tepkiler animasyonlu benzetim yaklaşımıyla en aza indirilmiştir.

KAYNAKLAR

- Chase, R., Aquilano, N., Jacobs, R., (1998), Production & Operations Management Manufacturing & Services, Irwin McGraw Hill, Boston, 383-392
- Erel, E., Sabuncuoğlu, I., Aksu, B. A., (2001), "Balancing of U-Type, Assembly Systems Using Simulated Annealing", International Journal of Production Research, Taylor & Francis Ltd., 3004 – 3015
- Erkut, H., (1992), Yönetimde Simülasyon Yaklaşımı, İstanbul
- Evans, J. R. (1993), Applied Production and Operations Management, West Publishing, New York, 301-330
- Gökçen, H., Erel, E., (1996-3), "Karışık Ürünlü Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Bir Sezgisel Yöntem", MPM Verimlilik Dergisi, 131 – 140
- Jones, K. C., (1992), Manufacturing Simulation Using Virtual Reality, Master's Thesis, Master of Science in Engineering with concentration in Industrial Engineering University of Washington
- Kobu, B., (1999), Üretim Yönetimi, Alfa Yayınları, İstanbul
- Leung C. P. H., Fun S. F. N., (1999), "A Study of the effect of time variations for assembly line balancing in the clothing industry", International Journal of Clothing Science and Technology, Vol 11 No. 4, 181 – 188
- Ma, X., (1997), "Finding the best possible solution to simple assembly line balancing problems", Production Instn Mechanical Engineers, Vol 211 Part B, 53 – 61
- Monks, J. G., (1996), (Schaum's Theory & Problems) Operations Management, London, 104 – 115
- Oflaz, A., (2001), Üretim Hattı Dengeleme Teknikleri, Bitirme Projesi, YTÜ
- Render, B., Heizer, J., (1996), Production & Operations Management, Practce Hall, New Jersey, 419 – 424
- Sadowski, R. P., Sadowski, D. A., Kelton, W. D., (1988), Simulation with Arena, McGraw Hill, Boston, USA
- Shipsey, J., (2000), "Simulation Applications in Demand Forecasting", Repetitive Manufacturing SIG Newsletter
- Tuna, G., (2001), Montaj Hattı Dengeleme, Bitirme Tezi, YTÜ
- Uslu, S., (2001), Montaj Hattı Dengeleme, Bitirme Tezi, YTÜ
- Wen, C., Cyuan, C., (1998), "The Application of a Tabu Search Metaheuristic to the Assembly Line Balancing Problem", Annals of Operations Research, 77, 209 – 227
- Weston, T., (2000), A simulation of shop Flor Line Balancing and JIT Employing TOC Principles Colorado State University,

Yiğit, V., (1996), “Esnek İmalat Sistemleri ve Simülasyonla bir Uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, İstanbul

İNTERNET KAYNAKLARI

[1] <http://www.sbaer.uca.edu/docs/proceedingsII/98dsi1448.html>



ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi 27.01.1977
Doğum Yeri Ankara
Lise 1988 – 1995
Lisans 1995 – 1999
Yüksek Lisans 1999 –

Kadıköy Anadolu Lisesi
YTÜ Endüstri Müh. Bölümü
YTÜ Endüstri Müh. Bölümü

Çalıştığı Kurumlar

1996 – 1999
1999 – 2001
2001 –

Executrain Eğitim Merkezi
D.Ç.D. Doğalgaz Isı Sistemleri A.Ş
Netron Bilgi İletişim Teknolojileri

