

MONTAJ HATTI

DENGELEME

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat UZMEN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 3.9.1990

Tezin Savunulduğu Tarih : 21.9.1990

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Gönül YENERSOY

Diğer Jüri Üyeleri: Prof.Dr. Coşkun KÜLÜR

Doç.Dr. Nahit SERASLAN

EYLÜL 1990

T. C.
Yükseköğretim Kurumu
Dokümantasyon Merkezi

Ö N S Ö Z

İnsanoğlunun ihtiyaçları sınırsız ve kaynaklar kısıtlıdır. Bu nedenle günümüzde, bu ihtiyaçları karşılayacak ürünleri, ekonomik kaynak kullanımıyla sağlayacak çok çeşitli üretim sistemleri geliştirilmiştir. Montaj hatları da talebin yüksek olduğu mamullerin üretimi için dizayn edilen kitle üretim sistemlerinin bir alt bölümüdür.

Ancak, montaj hatlarında hat dengeleme problemi önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle hat dengeleme konusu, akademik çalışmaların odak noktası olmuş ve hat dengeleme problemlerinin çözümü için birçok matematiksel ve sezgisel yöntem geliştirilmiştir. Bunun yanı sıra karmaşık modellenmiş montaj hatları üzerine yeni çalışmalar geliştirilmiş, simülasyon tekniğinin montaj hattı dengelemede kullanımı ile birlikte daha etkin çözüm ve yaklaşımlar elde edilmiştir.

Bundan hareketle, bu tez çalışmasında montaj hattı dengeleme çalışmalarının geçtiği aşamaların rahatça gözlemlenmesini ve yine yaklaşımları tanıtmayı amaçladım. Çalışmamda bana yol gösteren ve kıymetli yardımlarını esirgemeyen hocam sayın Prof.Dr.Gönül YENERSOY'a, çalışmalarına destek olan E.C.A. Zamil Basınçlı Döküm Sanayii A.Ş. yönetici ve çalışanlarına teşekkür eder, çalışmamın yararlı olmasını dilerim.

Murat UZMEN

Ağustos, 1990

İ Ç İ N D E K İ L E R

ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	viii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 ÜRETİM VE MONTAJ HATLARI	3
2.1. Üretim	3
2.2. Üretim Tipleri	6
2.3. Montaj Hatlarının Üretimdeki yeri	9
2.4. Montaj Hattı ve Tipleri	12
BÖLÜM 3 MONTAJ HATLARI VE HAT Dengeleme	20
3.1. Hat Dengeleme Kavramı	20
3.2. Montaj Hattı Dengelemenin Amaçları, Özellikleri	22
3.3. Montaj Hattı ile ilgili Kısıtlar ve Kabuller	24
3.4. Montaj Hattı Dengelemede Temel Kavramlar...	32
3.5. Montaj Hattı Dengelemede Ön Hesaplar	38
BÖLÜM 4.MONTAJ HATTI Dengeleme YÖNTEMLERİ	43
4.1. Lineer Programlama Yöntemi	43
4.2. Dinamik Programlama Yöntemi	49
4.3. Sıralı Pozisyon Ağırlık Yöntemi	53
4.4. Kilbridge - Wester Yöntemi	60
4.5. Moodie-Young Yöntemi	65
4.6. Comsoal Yöntemi	69
4.7. Montaj Hattı Dengelemede Yeni Yaklaşımlar ..	73
BÖLÜM 5.HAT Dengeleme VE SİMÜLASYON	93
5.1. Simülasyon Kavramı	93
5.2. Simülasyon Tekniğini Kullanmanın Fayda ve Sakıncaları	97
5.3. Montaj Hattı ve Simülasyon Modelleri	99
BÖLÜM 6.UYGULAMA	106
6.1. Tanıtım	106
6.2. Tek Model Montaj Hattı	108
6.3. Karma Model Hattı	116

BÖLÜM 7.PROGRAM	122
7.1. Tanıtım	122
7.2. Veri Tabanı ve Sonuç Bilgileri Organizasyonu	123
7.3. Simülasyon Prosedürü	126
7.4. Programın Uygulanması.....	126
SONUÇLAR ve ÖNERİLER	128
KAYNAKLAR.....	132
EKLER	134
ÖZGEÇMİŞ	165



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1.	Genel bir üretim sistemi.....	4
Şekil 2.2.	Üretim yönetimi faaliyetleri.....	5
Şekil 2.3.	Kitle üretim sistemleri.....	10
Şekil 2.4.a.	Tek modellenli montaj hattı.....	15
Şekil 2.4.b.	Çok modellenli montaj hattı.....	15
Şekil 2.4.c.	Karışık modellenli montaj hattı.....	16
Şekil 2.5.a.	Fiziksel montaj hattı şekilleri.....	18
Şekil 2.5.b.	Fonksiyonel montaj hattı şekilleri....	19
Şekil 3.1.	Denge kaybı olan bir üretim hattı.....	26
Şekil 3.2.	Tam dengeli montaj hattı.....	27
Şekil 3.3.	Dört istasyonlu bir akış hattında servis ve çevrim süreleri	34
Şekil 3.4.	On elemanlı bir öncelik diyagramı.....	35
Şekil 3.5.	İstasyon sayısı ve çevrim zamanı ilişkileri.....	41
Şekil 4.1.	Onbir elemanlı montaj hattı.....	50
Şekil 4.2.	Öncelik diyagramı.....	55
Şekil 4.3.	İşlem öncelik diyagramı.....	62
Şekil 4.4.	Kilbridge - Wester yöntemiyle örnek problemin en iyi çözümü.....	64
Şekil 4.5.	Öncelik diyagramı	66
Şekil 4.6.	Ondört elemanlı montaj hattı.....	69
Şekil 4.7.	A ve B modelleri karmaşık öncelik diyagramı	80
Şekil 4.8.	Üç model Ürünün üç istasyonlu bir montaj hattına değişik oranlarda sokulması ...	85
Şekil 4.9.	C Modelinin hatta girmesiyle mamul bekleme zamanındaki artış.....	87
Şekil 4.10.	Üç istasyonlu bir montaj hattına sabit oranlı model sokulması.....	88
Şekil 5.1.	Simülasyon akış şeması.....	96
Şekil 5.2.	Simülasyon dilleri.....	97
Şekil 5.3.	İşlem süresi dağılımı	103
Şekil 6.1.	Bir nolu model öncelik diyagramı	110
Şekil 6.2.	İki nolu model öncelik diyagramı	111
Şekil 6.3.	Bir ve iki nolu modeller karmaşık öncelik diyagramı	119
Şekil 7.1.	Bilgisayar destekli simülasyon sistemi	125

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1.	Akış hatlarının sınıflandırılması.....	13
Tablo 3.1.	On elemanlı bir öncelik matrisi.....	37
Tablo 4.1.	Onbir işlemin dengesi.....	51
Tablo 4.2.	Öncelik eleman diyagramı.....	56
Tablo 4.3.	Pozisyon ağırlıkları sırasıyla elemanlar	57
Tablo 4.4.	İstasyonlara elemanların atanması.....	57
Tablo 4.5.	Başlangıç işlem atamaları 1.....	61
Tablo 4.6.	İşlem atamaları 2.....	62
Tablo 4.7.	İşlem atamaları 3.....	63
Tablo 4.8.	İşlem zamanları ve öncelikler (Liste C).	68
Tablo 4.9.	Onsekiz işlemin dengelenmesi.....	69
Tablo 4.10.	Öncelik ilişkileri (Liste A).....	70
Tablo 4.11.	Liste B.....	71
Tablo 4.12.	Problemin çözümü.....	72
Tablo 4.13.	Çiftli modelden oluşan hat kurma maliyeti.....	76
Tablo 4.14.	Yerleştirme problemi için en düşük maliyetli çözüm.....	77
Tablo 4.15.	İki modellenli montaj hattı dengeleme problemi için ön veriler.....	82
Tablo 4.16.	İki modellenli montaj hattı dengesi.....	83
Tablo 4.17.	Modellerin miktar ve çevrim zamanları...	90
Tablo 4.18.	Modellerin belirli aralıklarla hatta girmeleri	91
Tablo 6.1.	Bir No'lu model girdileri.....	112
Tablo 6.2.	İki No'lu model girdileri.....	113
Tablo 6.3.	Bir No'lu model için montaj hattı dengesi	114
Tablo 6.4.	İki No'lu model için montaj hattı dengesi	114
Tablo 6.5.	İki modellenli montaj hattı için ön veriler.....	120
Tablo 6.6.	İki modellenli montaj hattı dengesi.....	121

Ö Z E T

Montaj hatlarının dengelenmesi, talebi yüksek olan mamullerin verimli, seri ve istenen şekilde üretimini sağlamak amacıyla yapılır. Bu nedenle birçok yöntemler geliştirilmiştir. Ancak bu yöntemlerin direkt olarak incelenen sisteme uygulanması bazı sorunlar yaratır.

Günümüzde bir mamulün benzer modellerine olan talep detayına göre çok modelli veya karmaşık modelli montaj hatları geliştirme ve dengeleme konusunda akademik ve fiili çalışmalar yoğunlaşmaktadır. Ancak bu tür montaj hatlarının tercih edilmesi için maliyet faktörleri ve uygulanabilirliğin çok iyi incelenmesi gerekir.

Simülasyon yaklaşımı montaj hattı dengeleme problemine yeni boyutlar kazandırmıştır. Bu sayede geliştirilen yöntemlerin performansı, uygulanabilirliği kolayca incelenebilmekte yeni çözüm yaklaşımları edinilebilmektedir. Bunun yanında çeşitli yöntemlerle elde edilen hat dengeleme çözümleri mukayese edilebilmektedir.

Yukarıda değinilen üç sorun veya yaklaşımla hat dengeleme problemine yeni bir boyut getirmek mümkündür. Mevcut yöntemlerin montaj hatlarına uygulanabilirliğini incelemek, değişik montaj hattı yaklaşımları kullanmanın getireceği sonuçları irdelemek ve bunda simülasyon yaklaşımının getirdiği avantajlardan yararlanmak karşımıza önemli sonuçlar çıkartabilir. Bu tür çalışmalarda elde edilecek sonuçlar, bize en iyi tercih yollarını seçtirecektir.

S U M M A R Y

ASSEMBLY LINE BALANCING

Humankind must obtain all the needs he has for remainance. But these needs are endless and the sources are limited. So production is the facility , created by humankind , to get the products that they can not get from the nature.

Economists call the production as creating profits, and engineers define it as creating a difference on a physical body that increases its value, or changing a semi-product or a source to a useful product. So, the main aim of the production is, creating a profit or a product. For doing a production, production factors and sources must get together under certain conditions and by certain methods. During the production using these factors and sources, economically and more efficient is the most important problem.

Nature of this problem widely belongs to the construction of the product. Production can be called in two groups, called continious and discontinuous production. In the first group, the demand must be too much for the product and there is a non-stop production. In the second group, different kinds of products are on line and they have not much demand.

Mass production is a branch of continuous production. Flow shop also have the facilities of mass production. In this type construction of the product is no simple. If in a flow shop there is a production belonging to the human ability and facility we meet the assembly lines.

Assembly lines are commonly used to assemble consumer durable items such as cars, radios and domestic appliances interchangeable parts are assembled together at a set of sequential work stations at each of which is performed a prespecified part of the total content. The assembly is usually moved mechanically, e.g. by belt, conveyor or indexing line. Provided that parts are available and that demand for the product is adequate,

these traditional assembly lines can be highly efficient. The well defined sequence of operations minimized the need for control documentation. Manual handling is reduced. Work in progress is small and as each operator is responsible for only a limited amount of the work, training time can be reduced and semi-skilled labour used.

However, assembly lines have several disadvantages. First the stringent requirements placed on component availability make assembly lines vulnerable to disruptions by internal, and external suppliers. The short cycle work with a low skill requirement can lead to poor job satisfaction, and there may be high labour turnover and absenteeism. Thirdly, many of the mass production industries have had quality problems. In an attempt to overcome these difficulties, several organisations have increased cycle times and moved to team working whatever approach is adopted, good balancing of individual or team work is essential and helpful to all concerned and so current conditions have, if anything, increased the need for good assembly line design or re-design.

Assembly lines can be grouped as one model lines, multi-model line and mixed model lines, that designed according to the number of products and, way of producing in assembly lines the works divided to the work stations, that, from one station to the other all the processes gets completed and the product obtained.

Because of this assembly processes (work elements) must be well sequenced. This sequence belongs to the product and production technology. These factors and the precedence relationships are the data of the assembly lines.

Line balancing is an important production function because the efficiency of assembly lines is directly linked to the quality of the balance. It is a job requiring knowledge of the product, layout, processes, materials, tools, labor and rules for combining this information. In addition the engineer responsible must have an aptitude for fast accurate computing the balancing process and the subsequent evaluation of the assignment are often highly subjective and balances often have to be produced to some deadline.

It is usual to begin with the production schedule, on table of standard performance times for operations, a list of all the operations in fairly broad outline and a desk calculator. Experience and logic are

brought to bear on this information and, after considerable expenditure of time and effort , a line balance can be produced.

Each work station consists of work elements which have been previously derived from a breakdown of the assembly of a particular product. These work elements are usually defined in such a way that they are indivisible into smaller elements. Therefore no element of work will be split between operators because to do so would incur extra work in the form of handling time.

The assembly line balancing problem is basically to pack these work elements into each work station, while obeying precedence constraints on the order in which the tasks can be accomplished, in such a way that the load on each operator is evenly balanced and there is as idle time as possible.

The rudimentary knowledge necessary to balance a line consists of task times, precedence relationships, desired output rate or cycle time.

Other than for very simple products the number of possible ways in which work elements can be assigned to work stations is immense. In practice, therefore, the manual balancing process is often based on an inspection of the precedence diagram.

There are many line balancing techniques available including; enumerating all sequences, selecting a solution consistent with current company practice, deriving a solution by mathematical methods, deriving a solution by using heuristic rules, using rules which take account of the problem structure.

All of these approaches have been investigated by different workers. Enumeration is impractical except for trivial problems. Jackson used enumeration but takes account of the problem structure to restrict the number of choices and so produce a practical method for deriving hand solutions to simple lines. Held used dynamic programming to obtain optimal solutions but this is competitionally expensive. Halgeson and Birnie and Kilbridge and Wester used heuristic methods as the basis of practical computer systems Arcus used heuristic methods in conjunction with random selection procedures to produce a method which Wester showed to perform well in the comparative study of methods Salveson and Bowman improved a linear programming method for assembly lines but these methods got no chance to be used because of the long way of solving.

In addition to the operation assignment algorithms, a realistic assembly line balancing program or solving method requires to take account of the practical restrictions to handle the data effectively and to procedure results in a form and with timeliness appropriate for the practical user. The timeliness constraint may often raise a requirement for on-line processing mixed models will raise a further requirement for mixed model balancing, i.e. assigning operations of several different models in a way which is consistent with skill and facility location.

The assembly lines discussed so far have all been dedicated to the manufacture of a single product. However, in many cases one line is used to assemble more than one model of the same general product. The extreme example of this is in the automobile industry when one basic model can have thousands of combinations of customer variations, all of which have to be catered for using the same set of manufacturing facilities.

Depending on the complexity of the product and the type of variations, companies using manual techniques approach mixed model line balancing in different ways. There are three major types; bolt it afterwards method for medium sized products, method for small batches, and set it up and start approaches again.

Simulation is also a well known but a new using approach in assembly line balancing. In assembly line production simulation gained us new ways in investigating the balancing results. By the simulation method comparing the results of balancing studies get easier. Starting from this point in this study the target was determining the performance of a one model and mixed model assembly lines and comparing them by a simulation method, in a automotive industry firm.

Today assembly line production and assembly line balancing is very important in order to product high amounts of products economically and quickly.

For this reason , the aim of this study is to examine the problems of the assembly lines, to introduce basic concepts of assembly lines and balancing methods, to show the solution methods, to search about the importance of the assembly lines at production and to examine the new methods which are used at assembly lines balancing.

At the time to give a decision about establishing an assembly line, knowing the demand structure of product, determining the line design according to the place and searching the characteristics of product are the most important points.

Today, many methods which published, are improved at the subject of assembly line balancing. These methods can be examined at the two main groups. The methods in which mathematical programming like linear programming are used, give absolute results. But it is very difficult to have a result by applying these methods to assembly lines which are complex and contain many operations.

For that reason, today mathematical methods loose their importance at using in the assembly line balancing. Instead of these methods intuition methods are preferred. Although they couldn't help to get the absolute solution, it is easy to reach a result and they can be adopted easily to the studies of computer aided assembly line balancing.

Today, companies which produce similar products, begin to use assembly lines with complex models in order to minimize the costs assembly lines and to produce different products in the less amount of assembly lines. For that reason academic studies about these kinds of assembly line balancing increase.

But there is an important problem in the assembly line balancing with single model or complex model. At these methods service times are accepted as constant, and all algorithm is based on this acceptance. At reality service times can be variable or the possibility of being constant is very little.

In order to solve the problem or minimize the error ration, the standard times of operations on the line and performance of the workers have to be determined exactly.

Human factor is an important problem at the assembly lines at which the operations are made by man power. The flexibility of human behaviours can't be determined exactly so it affects the studies of assembly line balancing.

1. GİRİŞ

Günümüzde, iktisadi gelişmenin sağlanabilmesi için amaç hızlı ekonomik büyümenin gerçekleştirilebilmesidir. Ekonomik büyüme sanayi kollarının verimliliklerinin arttırılmasıyla sağlanabilir. Artan orandaki üretim faktörlerinin üretime dahil edildiği üretim sistemi kavramsal olarak bir çerçeve dahilinde belirlenmelidir.

Montaj hatları da insanoğlunun giderek artan ihtiyaçlarının karşılanması için geliştirilmiş üretim sistemleridir. Bu sistemlerin kuruluşundaki amaç, talep miktarı çok yüksek olan mamullerin en kısa sürede verimli bir şekilde, ucuz ve istenen kalitede üretilmesidir.

İlk olarak Amerika'da Ford firması tarafından 1900'lü yılların başlarında Highland ve River Rouge firmalarında kullanılan, işlerin rasyonelleşmesi, etkin malzeme aktarımı ve ikame edilebilen parçaların üretilmesi gibi önemli yenilikler getiren montaj hatları bugünkü şeklini almıştır.

Montaj hatları, kitle üretiminin önemli bir alt sistemidir. Bu tip sistemler ayrıntıda farklı olmakla beraber, temelde birbiri ardına dizilmiş iş istasyonlarından oluşurlar. Hammadde ve yarımamuller bu hat boyunca işlenir ve mamul haline getirilirler.

Kitle üretiminin bir alt sistemi olması nedeniyle montaj hatları için kitle talebinin bulunması gerekir. Buradaki kitle talebi terimi, talebin sürekliliğini de içermektedir. Ayrıca ürün yapısında montaj hattında üretilmeye uygun olması gerekir.

Montaj hatlarının belirli kısıtlar altında verimli ve düzenli bir şekilde çalışabilmesi için hattaki istasyonların çalışma sürelerinin dengelenmesi gerekir. Bu nedenle günümüzde birçok montaj hattı dengeleme yöntemleri geliştirilmiştir. Bunun yanında simülasyon teknikleri ile montaj hattı dengeleme çalışmalarında somut sonuçlar ve büyük aşamalar sağlanmış ve artık karışık modelli montaj hatlarının kullanımı yönünde çalışmalar başlatılmıştır.

Bu çalışma beş ana bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde genel olarak üretim ve üretim tipleri incelenmiş ve montaj hatlarının üretim sistemleri içindeki yeri belirtilmiştir. Bunun yanında montaj hatlarının sınıflandırılması yapılmıştır. İkinci bölümde montaj hatlarında hat dengeleme kavramı açıklanmış, hat dengelemenin amaçları, özellikleri, montaj hattının dengelenmesinde karşılaşılan kısıtlar ve yapılacak kabuller anlatılmıştır. Hat dengelemede karşılaşılan temel kavramlar açıklanmış ve böyle bir çalışmada yapılacak ön hesaplamalar formüle edilmiştir.

Montaj hattı dengeleme yöntemleri bölümünde ise, bu konuda ortaya çıkan hat dengeleme problemlerinin çözümü için geliştirilen hat dengeleme yöntemleri detaylandırılmaktadır. Montaj hattı dengeleme çalışmalarında simülasyon çalışmalarının ve simülasyon yaklaşımının anlatıldığı dördüncü bölümden sonra bir otomotiv yan sanayii kuruluşunda yapılan montaj hattı dengeleme çalışmasına yer verilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. ÜRETİM VE MONTAJ HATLARI

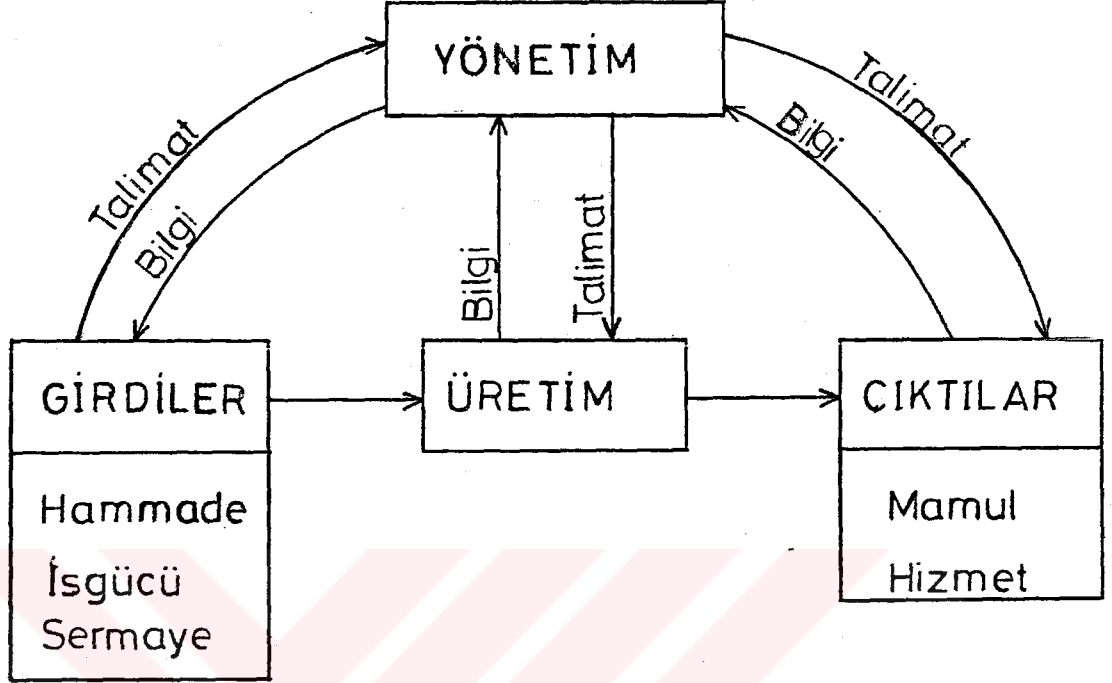
2.1. ÜRETİM

Tanım olarak üretim, ekonomistler ve mühendisler tarafından farklı biçimlerde ortaya atılır. Ekonomistler üretimi fayda yaratmak şeklinde tanımlarlar. Mühendisler ise bir fiziksel varlık üzerinde onun değerini arttıracak bir değişiklik yapmayı veya hammadde veya yarı mamulleri kullanılabilir bir mamule dönüştürmeyi üretim sayarlar [1]. Sonuç olarak üretim, temel amacı topluma değer yaratmak olan ve insan gereksinimlerinin doğa tarafından tam olarak karşılanamaması sonucu ortaya çıkan ve insanlar tarafından geliştirilen bir faaliyettir.

Üretim sonucunda ortaya bir mamul veya bir hizmet çıkarılır. Üretimin amcına ulaşabilmesi için üretim faktörleri ve kaynaklarının istenen özellikte birleştirilmesi ve kullanılması gerekir. Üretim kaynakları; hammadde, işçilik veya insan gücü kaynakları ve sermaye adı verilen üç ana bölümden oluşur.

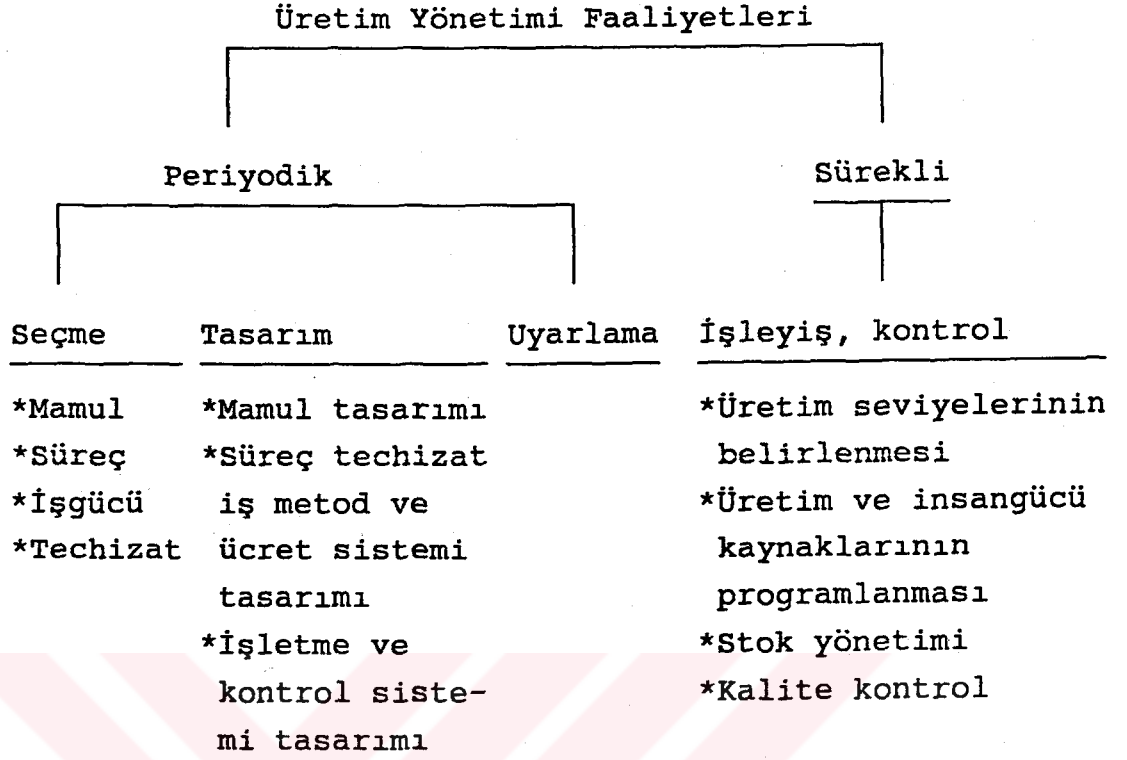
Ancak insan ihtiyaçlarının sonsuz ve kaynakların sınırlı olması nedeniyle, gelişen teknoloji, üretim sistemlerinin karmaşıklaşması ve üretim kaynaklarının verimli kullanılması ihtiyacının bir sonucu olarak yönetim unsuru da üretim kaynaklarına katılmıştır.

Genelde bir üretim sistemi, kaynakların, ürün veya hizmete dönüştürülmesi için gerekli tüm dönüşüm süreçlerini içerir. Bu sistemlerin tasarlanması, planlanması, yönetimi ve kontrolü aşağıdaki üretim süreçleri içinde gerçekleşir.



Şekil 2.1. Genel bir üretim sistemi [2]

Bir üretim işletmesine girdi olarak katılan başlıca üretim kaynakları hammadde, işçilik ve sermayedir. Üretim ile bu girdiler mamul veya hizmet haline dönüştürülür. Yönetim faktörü ise bu faaliyetlerin düzenlenmesi ve yürütülmesini sağlar. Amacı , bir işletmenin elinde bulunan malzeme, makina, insangücü kaynaklarının, istenen kalite ve sürede, en düşük maliyetle bir araya getirilmesi yani miktar, kalite, zaman, maliyet parametrelerinin optimize edilmesidir.



Şekil 2.2. Üretim yönetimi faaliyetleri [3]

Üretim planlaması ve kontrolü genel olarak bir üretim yönetimi faaliyetidir. Bu faaliyette, üretilecek ürünü belirlemek, üretim için gerekli teçhizat ihtiyacını tesbit etmek ve ürünlerin istenen kalite ve maliyetle, istenen sürede, doğru zamanlarda ve istenen sayılarda oluşumunu sağlayacak çizelgeleme, programlama çalışmalarını yapmak ana unsurlardır. Özetle, üretim planlaması ve kontrolü, üretimden sorumlu yöneticilerin kısa zamanda ve yüksek verimde hedefe ulaşması için ana yol gösteren önemli bir üretim aracıdır.

En genel anlamda üretim sistemlerinin tasarımı ile ilgili faaliyetleri içine alan ve imalat faaliyetlerinin limitlerini belirleyen bir üretim fonksiyonu olarak tanımlanan üretim planlama ve kontrol çalışmalarında amaç, gerek duyulan mal ve hizmetlerin oluşturulması için gerekli kaynakları bulmak, varlığını garanti altına

almak, kaynak kayıplarını minimuma indirmek, istenen miktarda ürünü istenen zaman ve kalitede , en iyi ve en ucuz yöntemlerle üretmek suretiyle en yüksek verimliliği sağlamaktır [3].

2.2. ÜRETİM TİPLERİ

Mevcut üretim sistemlerini günümüzde kesin hatlarla birbirinden ayırmak ve sınıflandırmak tam anlamıyla mümkün değildir. En önemli bir özellik olarak; üretim tipleri arasında yapılacak bir ayırımdan sonra, oluşturulan bu sınıflar esas alınarak, bunlara has genel kurallar ve yöntemleri geliştirme olanağının pek olmaması göze çarpar.

Üretim sistemlerini:

1. Üretim yöntemlerine göre,
2. Mamul tipine göre
3. Üretim miktarına veya akışına göre
4. Üretim iş seyrine göre,

çeşitli bakış açılarında sınıflandırmak mümkündür.

Üretimin miktarına veya akışına göre sınıflandırılması gözönüne alınarak üç ana üretim tipi ile karşılaşmak mümkündür.

2.2.1. Sürekli (Seri) Üretim

Sürekli (seri) üretim tipinde üretim akışı sürekli olarak seyreder ve üretilen mamul çeşidi oldukça azdır. Bütün sistemlerde üretilen mamule yönelik talebin en az üretim hızı kadar olması şarttır. Yani bu sistemle

üretileen mamullerinin tümü pazar buluyorsa böyle bir sistem kurmanın anlamı vardır. Zira bu türde bir üretim, pahalı ve özel amaçlı tezgahlarla gerçekleştirilir . Bu yüzden ilk yatırım maliyeti yüksektir ve üretim yalnızca mamulün özellikleri üzerine kurulduğundan, başka mamullere geçişi sağlayacak üretim esnekliği yoktur. Bu nedenle talepte meydana gelebilecek düşmelerin maliyeti çok fazladır.

Bu türde üretim sistemlerinde mamul çeşidinin az olması ve üretim hacminin büyük olması nedeniyle uzmanlaşma yüksek düzeydedir ve üretilen mamuller standartlaştırılmıştır. Mamul birim maliyeti sipariş tipine oranla düşüktür ve planlama faaliyetleri daha kolay yürütülür.

Sürekli üretimde hammadde, yarımamul ve parça gibi üretim girdileri, üretim sisteminin başlangıç noktasından girer, sistemdeki işlem birimlerinden geçer ve son ürün haline gelerek sistemden çıkarlar [4].

Sistemdeki işlem birimlerinin işletme içindeki yerleşimi mamulün göreceği proses akışına göre yapılır. Ürünün göreceği işlemlerin sırasına göre dizilen işlem birimleri bir üretim hattı oluştururlar. Bu nedenle ve üretimin özelliklerine göre transfer ve montaj hatları bu grubun içinde yer alırlar.

2.2.2. Kesikli (Parti) Üretim

Bu tür üretim sistemleri genellikle sipariş esasına göre çalışırlar ve üretilen mamul çeşidi, seri üretimdeki mamul çeşidine göre daha fazladır. Bu yüzden genel amaçlı tezgah ve iş makinalarının kullanımı tercih edilir. Ancak kullanılan makinaların kapasitelerinin

birbirinden farklı olması üretimde boşluklara neden olur ve makinalar arasındaki bekleme ve hazırlık zamanları üretim hızını önemli ölçüde düşürür.

Kesikli üretim sistemlerinde talep sürekli ve çok değişken değildir. İş makinalarının yerleşimi ise ana mamul proses akışı veya makina fonksiyonları gözönüne alınarak yapılır.

Bu tür üretimde belirli partiler belirli aralıklarla üretildiği için üretim planlama ve kontrol çalışmaları sipariş tipi üretime göre daha kolaydır. Ancak bu sistemde ortaya çıkan iki ana sorun; üretilecek mamul partilerinin büyüklükleri ve parti hacminin yani o partide üretilecek mamul adetlerinin tesbiti ve bu partilerin çizelgelenmesi, işlerin sınırlandırılmasıdır.

Gerçekte ürün çeşitliliği azaldıkça, belirli maddelere ait üretim miktarları ve belirli iş makinalarındaki işlem tekrarlılığı arttıkça yani kesikli üretim sistemi, sürekli üretim sistemine dönüştükçe üretim planlama ve kontrol faaliyetleri daha kolaylaşır. Parti üretiminde sık sık tekrarlarla büyük partilerde mamul üretimine geçildiğinde, seri üretime yaklaşılr. Diğer yanda partiler küçülür ve üretime giriş aralıkları açılırsa sipariş tipi üretim söz konusu olur. Özetle kesikli üretim sistemleri arasında sınıflandırma açısından kesin bir ayırım çizgisi yoktur.

Kesikli üretim sistemlerinde üretimin hızlandırılması amacı ile 1970'li yıllarda öncelikle S.S.C.B.'de, daha sonra ise İngiltere ve İtalya'da grup teknolojisi yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu yaklaşıma göre üretilecek maddeler partilere göre değil, maddelere ait parça ailesine göre teşkil edilir. Aralarında geometrik benzerlik bulunan ve aynı işlevi gören parçalar, bir

parça ailesini oluşturur. Değişik mamullerde yer alan aynı parça ailesine ait operasyonlar beraber yapılırken hazırlık zamanları minimuma indirilir ve üretim hızı, üretim sürekliliği yükseltilir. Ortaya çıkarıldığı dönemlerde pek ilgi görmeyen grup teknolojisi yaklaşımı, bilgisayar destekli imalat sistemlerinin geliştirilmesi ile uygulama alanı genişlemiş ve kesikli üretim sistemleri için oldukça önemli bir yaklaşım haline gelmiştir.

2.2.3. Proje (Sipariş) Tipi Üretim

Tek veya çok az sayıda üretilecek , genellikle büyük boyutlu ürünlerin üretiminde sözkonusu bir üretim tipidir. Sipariş üzerine üretime geçiş ve özel mamullerin üretimi gündemdedir. Doğal olarak işlemlerde tekrarlılık en az seviyedir. Kesikli üretim tiplerinde olduğu gibi genel amaçlı, universal iş makinalarına ihtiyaç vardır. Ancak bunun yanında değişik tezgahlarda çalışabilen esnek işçi kullanımı sözkonusudur.

Gerçekleştirilecek projelerin planlanması, optimum sürede ve en düşük maliyetle gerçekleştirilmesi ve takibi ana sorundur. Ayrıca eldeki işgücü, donatım, finansman, malzeme vb. kaynakların dengeli olarak ve optimum şekilde kullanılması önemli bir problemdir. Bu nedenle projenin planlanması ve kontrolü aşamalarında CPM ve PERT teknikleri en sık kullanılan yöntemlerdir.

2.3. MONTAJ HATLARININ ÜRETİMDEKİ YERİ

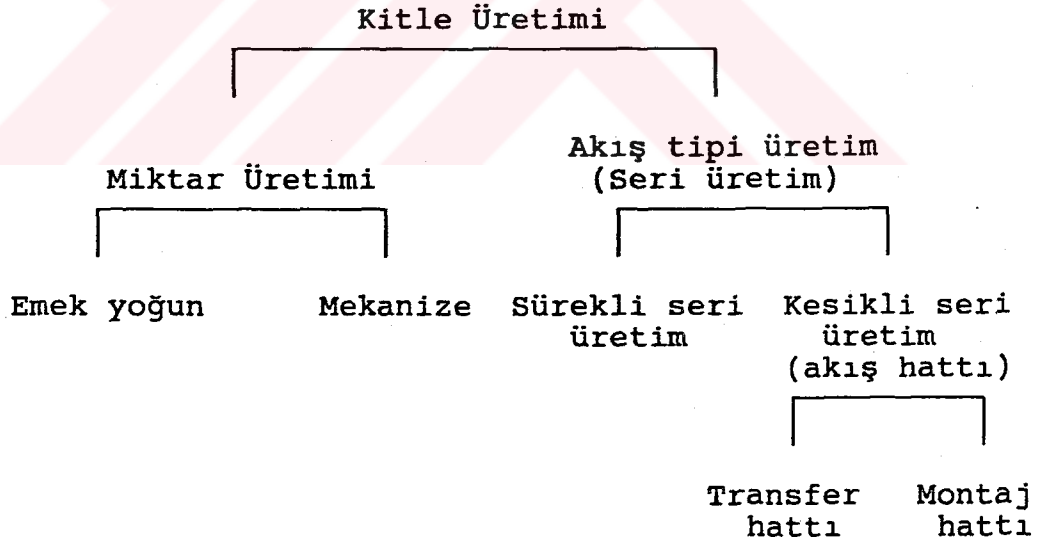
Uygulamada seri ve kesikli üretim sistemleri arasında yer alan parça üretimi, katile üretimi ve kitle üretimi ile bunların kombinasyonu olan üretim sistemleriyle karşılaşılır. 18. y.y. sonlarına doğru mekanik

üretim yöntemlerinin gelişmesine de sebep olan kitle üretim sistemlerinin doğuşu, daha sonra kitle üretiminin bir teknoloji gelişimi haline gelmesiyle sonuçlanmıştır.

Kitle üretimi terimi iki değişik üretim teknolojisini içerir. Bunlar:

- a) Miktar üretimi
- b) Akış tipi üretim

olarak karşımıza çıkarlar. Kitle üretiminde ürün yapısının karmaşıklığı arttıkça akış tipi üretim sistemlerine geçilir. Fazla karmaşık olmayan, yapısal olarak basit ürünlerin büyük miktarlardaki üretimi içinse miktar üretimi uygundur. Karmaşık ürünlerin ana özelliği ürün akışı olan değişik bir kitle üretimi teknolojisiyle üretimleri gerçekleştirilebilmektedir [4].



Şekil 2.3. Kitle üretim sistemleri [5]

Kesikli seri üretim sistemleri, diğer bir tanımlama ile akış hatları iki gruba ayrılır:

1. Transfer Hatları: Transfer aletleri ile birbirine bağlanmış otomatik imalat makina serilerinin oluşturduğu üretim hatları transfer hatları olarak adlandırılır [4]. Büyük ve karmaşık makinelerden oluşan sistemlerdir. Bu makinelerin oluşturduğu transfer hatlarında malzeme bu hat boyunca otomatik olarak transfer edilir ve parçalar otomatik olarak işlenir. Transfer hatları düz ya da devirli tiplerde olabilir.

Transfer Hatlarının özellikleri: Malzemenin bir hat boyunca otomatik olarak transferi, hat boyunca malzemenin çoğunlukla işgücüne dayalı bir şekilde işlenmesi ve transferi, parçaların otomatik olarak işlenmesi şeklinde özetlenebilir.

2. Montaj Hatları: Bu tip hatlarda malzeme çoğunlukla hat boyunca işgücüne dayalı olarak işlenir ve transfer edilir. Parça üzerindeki işlemleri de yine bir hat boyunca sıralanır [4]. Hat boyunca iş akışı düzenli hale geldikçe, normal olarak birimlerin hat üzerinde geçeceği süre azalır ve süreç işgücü minimuma indirilir. Montaj hatları büyük ölçüde ikame edilebilen parçalar kullanımına bağlıdır. Yani üretimde kullanılan yarımamul ve parçaların yeterli doğruluk standartlarında olmaları gerekir.

Bir diğer yaklaşımla seri durumda iş istasyonlarından oluşan akış hatlarında, bu istasyonlardan daha fazla makina bulunduran hatta transfer hattı, daha çok çeşitli aletlerle donatılmış işçi bulunduran hatta ise montaj hattı adı verilir.

2.4. MONTAJ HATTI VE TİPLERİ

Malzemelerin akış hattı boyunca işgücünden yararlanılarak transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin aralarındaki öncelik ilişkileri gibi kısıtlar gözönüne alınarak birleştirilmesiyle oluşturdukları, istasyonların da yine bir hat boyunca sıralanmalarıyla oluşan sisteme montaj hattı adı verilir. Toplam işgücü iş istasyonlarına öyle bağlanmıştır ki, son işleme gelinceye kadar yavaş yavaş işlemler tamamlanır ve son istasyonda hatta giren yarımamul veya parça mamul halini alır.

Kesikli seri üretim akış hatlarının bir alt sistemi olan montaj hatlarının sanayide yeri oldukça önemlidir. İşlemlerin küçük parçalara bölünebilmeleri ve istasyonlar arasında dağıtılabilme esnekliği montaj hatlarının mümkün çözümler sağlaması sonucunu doğurur.

İlk kez 20.y.y. başlarında Ford motor fabrikalarında kullanımına başlanan montaj hatları, tek tek büyük birimlerin, örneğin motor , motorlu taşıt araçları, beyaz eşya , ev aletleri gibi mamullerin büyük miktarlarda üretimi için tasarlanırlar. Bir montaj hattı kurulurken genellikle ekonomik görüşler ön planda tutulmalıdır. Böyle bir aşamada incelenmesi gereken birçok faktör vardır. Bunların içinde kullanım düzeyleri konusu ayrı bir önem taşır. Örneğin mekanik tesislerin ağırlıkta olduğu bir sistem söz konusu ise akış hattı sistem veya süreç tipi yerleşim düzeni arasında bir karar vermek gerekir. Bu durumda ekipman kullanım oranlarının analizini yapmak, seçimi bu analize dayandırmak akılcı bir yaklaşımdır.

Tablo 2.1. Akış Hatlarının Sınıflandırılması [4]

Akış Hattı Tanımı	Ürün sayısı	Ürün değişimi	Birimlerin Akışı	Tezgah hazırlama ve iş dağıtımı
Grup	Alt grup			
Transfer Hattı	Tek ürün	1	Düzenli	Değişiklik gerekmez
	Çok ürün	>1	Yığınlarda düzenli	Tezgah hazırlama ve/veya kafafile değişiminde, yeniden iş dağıtımı gereklidir
Montaj Hattı	Tek ürün	1	Düzensiz(a)	Değişiklik gerekmez
	Çok ürün	>1	Düzensiz(a)	Tezgah hazırlama ve/veya kafafile değişiminde, yeniden iş dağıtımı gereklidir
	Karışık ürün	>1	Sürekli(c)	Tezgah hazırlama ve/veya kafafile değişiminde, yeniden iş dağıtımı gereklidir (b)

(a) Değişken istasyon zamanları nedeniyle, bu montaj hatlarının belirgin bir özelliğidir.

(b) Diğer bir yöntem de "grup teknolojisinde" olduğu gibi ekipman ve aletler, belirli bir üretim için sabit yerlerde ayrılabilirler.

(c) Herhangi bir zamanda, hat üzerinde, birkaç ürün tipinin bir karışımı bulunur.

Üretimde kullanılan ekipman kullanım oranı belirlenirken , çıktının standart saat değeri eldeki zamanla karşılaştırılır. Ancak böyle bir çözümle problemlerin yalnızca bir yönü ele alınmış olur. İncelenmesi gereken diğer faktörler ise, talebin sürekliliği, ekipman güvenilirliği, yatırım sermayesinin kullanımıdır.

Montaj hatlarında kullanılacak işgücünün maliyeti özel amaçlı tezgahlarda çalışacak işgücünün maliyetinden daha düşük olacaktır. Bu işgücünün eğitim gereksinimi de fazla olmayacağından, gerek işe alma ve gerekse işte yer değiştirme konusunda fazlaca sorunla karşılaşmaz. Montaj hatlarının bu avantajına rağmen, bu sistemin seçimi için gereken karar aşaması ekonomik ödünleşim tipinden daha karmaşıktır [4].

Montaj hatları iş istasyonundaki işlemlerin ve/veya bu istasyonlar arasındaki bağlantıların

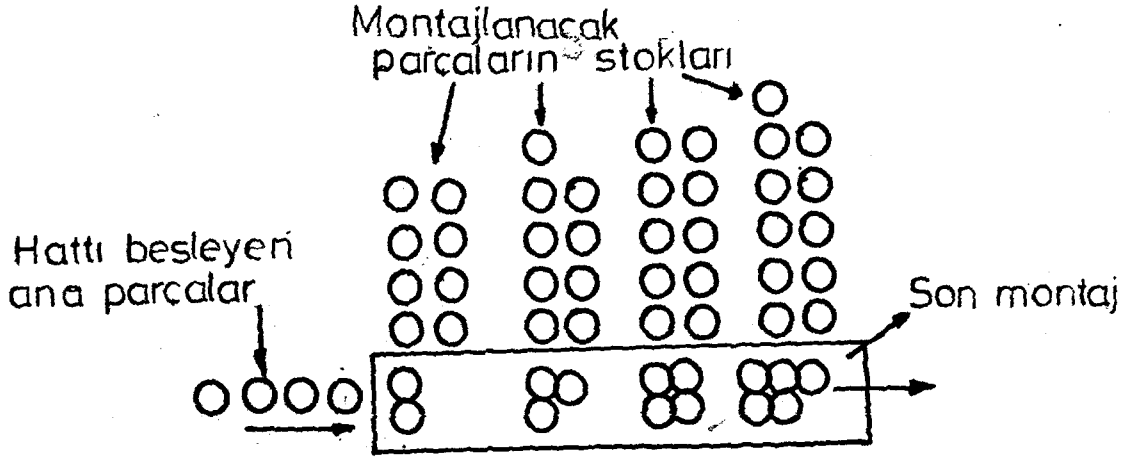
- otomatik
- yarı otomatik

olmasına bağlı olarak sınıflandırılırlar.

Montaj hatları üretilen model çeşitliliği açısından da sınıflandırılırlar. Buna göre;

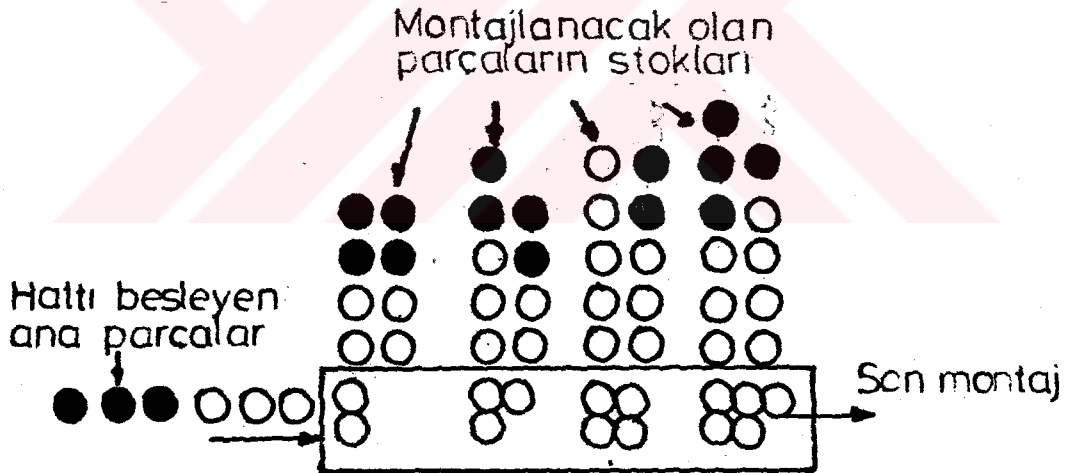
1. Tek modellenli hatlar: Tek tip ürün veya modelin üretiminde kullanılır. Bu tip hatların tasarımı oldukça basittir. Ancak başka mamullerin üretimine müsait bir esnekliğe sahip değildir.

2. Çok modellenli hatlar: Bu tür hatlarda farklı ürünler veya mamulün iki veya daha fazla benzer tipleri ayrı yığınlar halinde üretilir. Her model bu hat üzerinde ayrı bir yığın oluşturur. Çok modellenli montaj hattı



Şekil 2.4.a. Tek modelli montaj hattı [4]

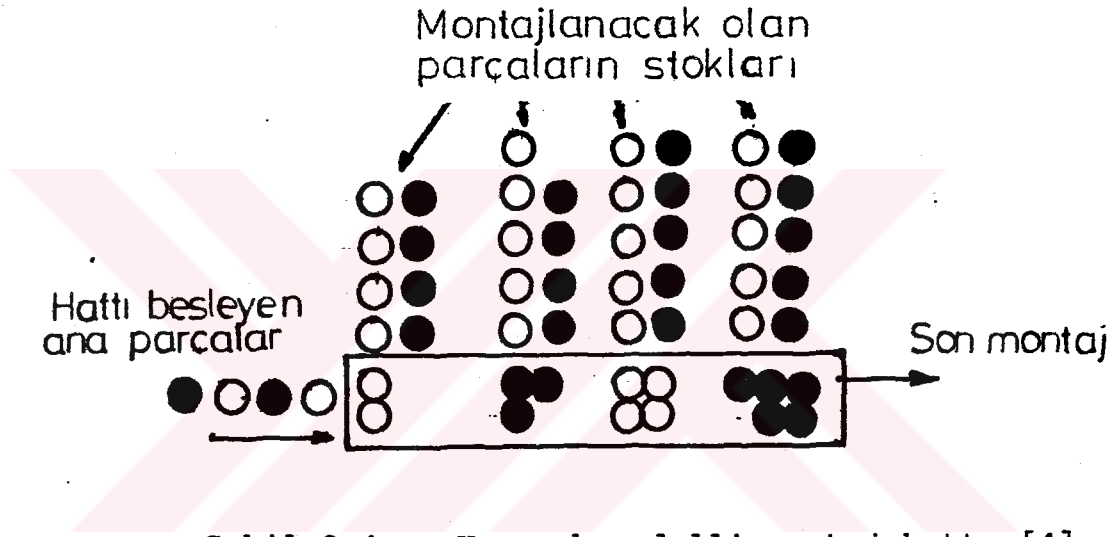
eğer yığınlar büyük ise tek modelli montaj hatlarına, küçük ise karmaşık modelli montaj hattına benzerlik gösterir.



Şekil 2.4.b. Çok modelli montaj hattı [4]

3. Karışık modelli hatlar : İki ya da daha fazla benzer ürün veya bir ürünün değişik modellerinin aynı anda ve karışık olarak üretildiği montaj hatlarıdır. Bu tür üretimde, kuramsal olarak büyük miktarlarda bitmiş

ürün stoklarına gereksinim olmayıp, çok modellenli hatların tersine, tüketicinin istekleri sürekli bir şekilde yapılan üretimle karşılanır. Karışık modellenli hatlarda gözlenen temel olumsuzluk, modellerin özelliğinden kaynaklanan farklı iş parçalarının, eşit olmayan iş akışları, boş istasyon zamanları ve yarı bitmiş ürün stoklarına neden olmasıdır. Bu tip montaj hatlarında oldukça karmaşık tasarım ve işlem sorunları söz konusudur.



Şekil 2.4.c. Karışık modellenli montaj hattı [4]

Teçhizatın ve iş istasyonlarının yerleşim biçimi, hat tipindeki üretimleri etkileyen önemli bir faktördür. Hattın bulunduğu mekan ve üretilecek mamulün özellikleri, hattın alacağı şekli belirler. Montaj hatları yatay veya dikey olarak yerleştirilebildikleri gibi düz, dairesel, oval, yılankavi, zig-zag, "U" şeklinde, random veya değişik açılı olarak da tasarlanabilirler [6].

Genel olarak üretim hatlarının yerleşiminde düz hatlar tercih edilir. Bunun nedeni düz hatların basit ve sistematik olması, kolayca yerleşim yapılabilmesi, konveyör sistemlerinin uygulanabilirliğinin artması ve

maliyetlerinin düşmesi, köşelerde meydana gelebilecek transfer zorluklarının ortadan kalkmasıdır. Ancak aşağıda verilen özel durumlarda değişik şekillerde montaj hatlarının kullanımı sözkonusu olabilir.

1. Hattın boyu çok uzunsa, mevcut mekana sığmıyorsa veya düz hat olarak yerleştirme yapıldığında boşta kalacak alanın boyutları büyükse U şekli veya dairesel hat kullanılır.

2. Bir operatör değişik işlem sıralarındaki ve aynı hat üzerindeki makinalardan birden fazlası ile çalışıyorsa yılankavi veya U şekli hat kullanılır.

3. Maliyeti yüksek bir makina birbirinden ayrık iki operasyon yaptırılması gerekiyorsa U şeklindeki hatlar tercih edilir.

4. Mevcut alan müsait değilse ve çok bitişik düzenlemeler gerektiriyorsa düz hat dışında kalan uygun bir hat tercih edilir.

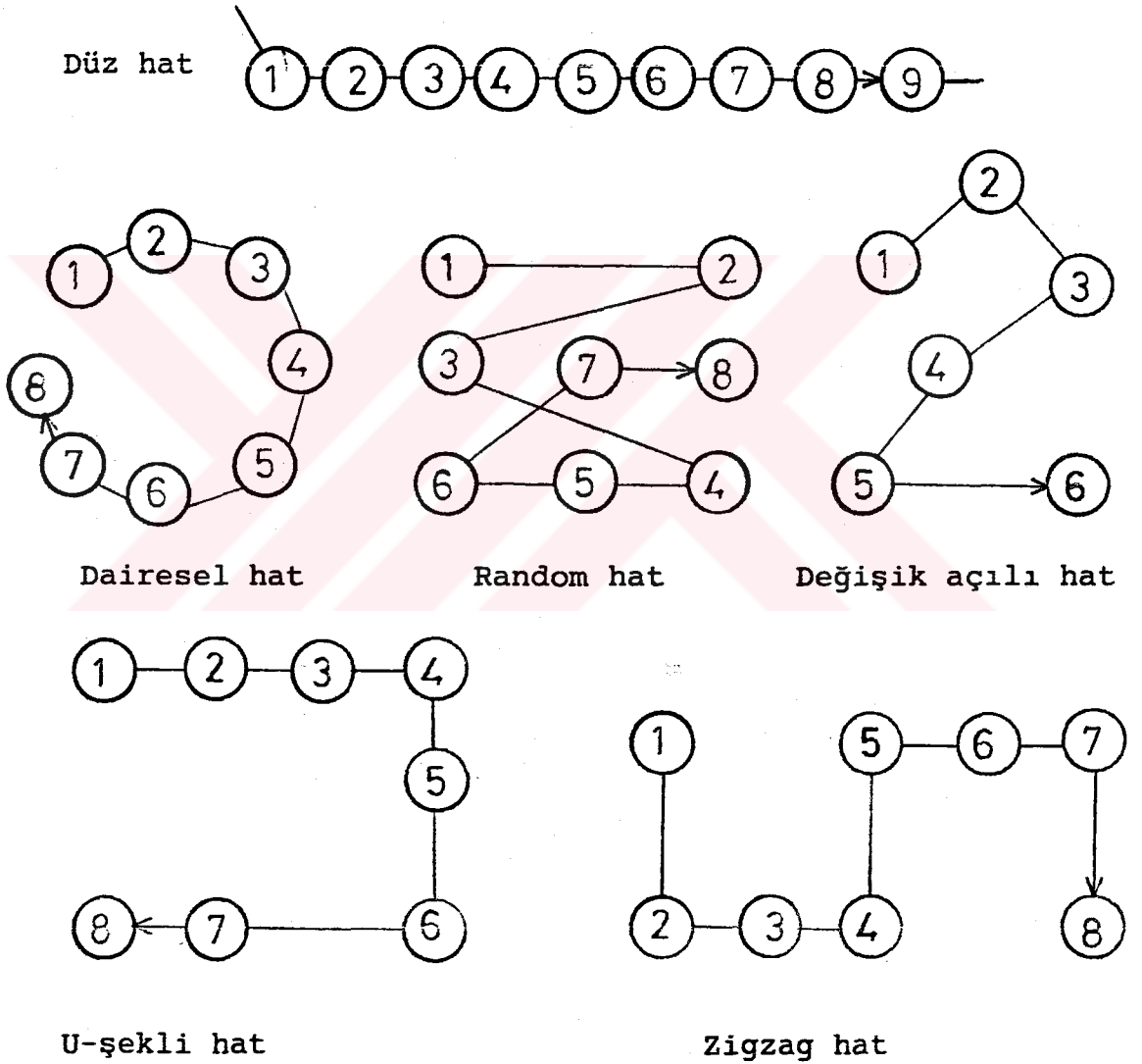
5. Elektrik, hava gibi tesisat bağlantıları birden fazla istasyona aynı kaynaktan yapılıyorsa U şekli veya yılankavi hatları kullanılır.

Şekil imajının yanısıra üretilecek mamulün özelliklerine göre seri, bileşik, paralel ve besleyici montaj hattı tipleri olmak üzere dört tip fonksiyonel montaj hattı sınıflandırması yapmak mümkündür.

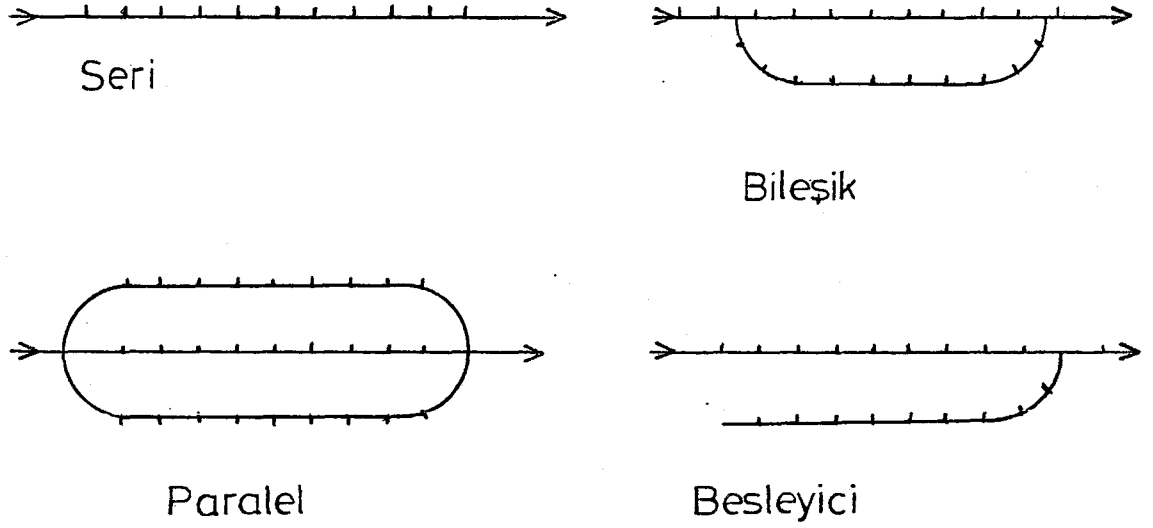
Bunun yanısıra basit montaj hatlarında hattın işleyişine göre bir sınıflandırma yapmaya gerek yoktur.

Ancak karmaşık üretim hatları hattın işleyiş özelliklerine göre iki ana sınıfta gruplandırılır [4].

1. Mekanik olmayan hatlar: Bu tür hatlarda, hat boyunca malzeme transferi için gerekli bant veya konveyörler kullanılmaz. Bu gruptaki üretim hatlarında işlemler ve hat genel olarak elle işletim söz konusudur. Uygulamada bu yöntemle işletilen montaj hatlarında istasyonlar arası güvenlik stokları oluşturulması, istasyonların boş kalma ve bloke edilmesi ihtimali azaltılır ve boş zamanlar en aza indirilir.



Şekil 2.5.a. Fiziksel montaj hattı şekilleri[6]



Şekil 2.5.b. Fonksiyonel montaj hattı şekilleri[7]

2.Hareketli bant hatları: Hat boyunca malzeme ve mamul transferlerinin hareketli bant veya konveyörlerle gerçekleştirildiği bu hatlar, kendi aralarında iki gruba ayrılırlar:

2.a. Birimler banttın alınabilir: Bu tip hatlarda tolerans zamanı çok büyük önem taşır. İş parçasının hattın alınması için gerekli zaman, tolerans zamanı olarak adlandırılıp, iş parçasının geçtiği istasyonun ve hattın uzunluğunu belirler.

2.b. Birimler bant üzerinde sabittir: Bu tip hatlarda iş akışı düzenli ve çevrim zamanı değişkendir. Hattın özelliği dolayısıyla işçiler işlerini görebilmek için yukarı ya da aşağı uzanmak veya parçalar ile birlikte hat üzerinde ilerlemek zorunda kalırlar. Bu hatlarda birimlerin istasyonlar arasında akışını sağlamak amacıyla, görsel, işitsel sinyallerden faydalanılır.

3. MONTAJ HATLARI VE HAT Dengeleme

3.1. HAT Dengeleme Kavramı

Sanayileşme, toplam işin öğelerine ayrılarak, bu parçaların ayrı ayrı işçiler tarafından yapılmasıyla daha seri ve daha ucuz üretim yapabileceği görüşünü ortaya çıkarmıştır. Bunun sonucu olarak üretim, üzerinde değişik iş istasyonlarının bulunduğu belirli bir hat üzerinden geçirilerek yapılır. Hat üzerindeki iş istasyonlarında bulunan işçiler mamul haline getirilecek yarımamul önlerinden geçerken kendilerine ait, iş öğeleriyle ilgili bir veya birkaç işi yaparlar. Bu işlem sonucunda hatta giren parça ve yarımamuller gereken tüm işler yapılmış olarak hattın sonundan mamul olarak çıkar.

Bir veya birkaç ürün için yapılacak montaj hattı üretimi planlandığında, üretim hattındaki iş istasyonlarına ait işlem sürelerinin dengelenmesi problemi ortaya çıkar. Bundaki amaç, kurulan montaj hattının verimli olarak çalışabilmesi için; üretim süresi içinde herbir montajcıya, montaj hattında çok az veya hiç boş süre bırakılmayacak şekilde işlemlerin istasyonlara dağıtılması, yani mevcut kısıtlar altında, işlem sayısının çok ve üretim hızının yüksek olması nedeni ile, iş istasyonları arasındaki işlem zamanı farkları toplamının minimum olmasıdır. Problemin bu noktasında sürekli üretim yapan sistemlerin yerleştirme düzeninin kurulmasında hat dengeleme problemi ortaya çıkar.

Mamul oluşumu sırasında, yapılması gereken işlemlerin montaj istasyonlarına kayıp zamanları minimuma indirecek şekilde atanması olayına, bir başka tanımla iş öğelerinin iş duraklarına tahsisine montaj hattı dengeleme veya daha basit olarak dengeleme adı verilir [8]. Üretim hızının arttırılması, sağlıklı bir planlama yapılması ve işletmenin ekonomik sorunlarına çözüm getirmeye yönelik olmasından dolayı montaj hattı dengeleme konusu sanayi dünyasında büyük önem taşır.

Görüldüğü gibi hat dengeleme problemleri, üretim hatlarının dizaynında ve işletmesinde her zaman ortaya çıkan bir konudur. Esasında hat dengeleme problemleri çeşitli kapasite ve üretim hızlarında çalışıldığında hatta meydana gelebilecek ve istasyonların verimliliğini etkileyecek başlıca etkenlerden olan atıl kaynak kullanımını en küçük seviyede tutmak için, optimum çözümün aranmasında ortaya çıkmıştır.

Yukarıda genel olarak açıklanan hat dengeleme konusu gerçekte üretimi yapan işletmeciler için hayati bir konu teşekkül ettirir. Kaliteli ve yüksek hızlı bir üretim düzeyi tutturmak aslında hat dengeleme çalışmalarının detaylı ve iyi bir şekilde yapılması ile sağlanır.

Günümüzde ise üretim miktarları, rekabet ve piyasa koşulları hayli arttığından, artık üretim hatlarını planlamak, bu hatlara, meydana gelen çeşitli dalgalanmalar karşısında yeterli esnekliği verebilmek için girilen çalışmalar bilgisayar desteği ile geliştirilen simülasyon programları ile hayli kolay olmaktadır.

3.2. MONTAJ HATTI Dengelemenin Amaçları, Özellikleri

Ev eşyaları, otomobil vb. gibi pek çok endüstri dalında ürünün montajı sürekli bir montaj hattı boyunca yapılır. Montajın hiçbir sorun çıkmadan gerçekleştirilebilmesi için, birçok parçanın yan montajlarla bir araya getirilmesi ve bunların üzerindeki bazı işlemlerin uygulanması gerekir. Bu işlemleri yapacak olan birimler, gerekli özelliklere sahip insangücü veya tezgahtan oluşan iş istasyonlarıdır.

Hat dengelemesinin ana özelliği, istenen üretim hızını gerçekleştirecek şekilde, işlemlerin iş istasyonlarına atanması, bu işlem yapılırken montajın eşit iş elemanlarına bölünmesi ve iş istasyonu sayısının minimumda tutulmaya çalışılmasıdır. Bu nedenle iş öğelerini gruplandırıp bir iş durağına atamak gerekir. Böylece montaj hattı dengeleme ile işlem sayısının çok ve üretim hızının yüksek olduğu sürekli üretim yapan sistemlerde iş istasyonları arası işlem zamanı farkları toplamının minimum düzeyde olmasına çalışılır. Bunun sonucunda da montaj hattı dengeleme çalışması ile boşa harcanmış kapasitenin etkin hale getirilmesi sağlanır.

Üretilen ürüne ait işgücü maliyeti yüksek ise, işgücünün kullanımında maksimum düzeye ulaşmak gerekir. Fakat makinelerin yarattığı maliyetler çok yüksek ise bu durumda amaç makina kapasitelerinden en iyi şekilde yararlanmak olacaktır. Bununla beraber yapılacak işlemlerin özelliğine bağlı olarak ideal bir dengeleme her zaman mümkün olmayabilir.

Üretim hatlarının dengelenmesinde, bazı basit makina zamanları dolayısıyla serbestlik daha az ve güçtür. Bir işlemi birkaç yan işlemle ayırmak pratik olma-

yabilir. Bu nedenle, iyi bir denge yüksek üretim hacimlerinde gerçekleşebilir.

Yukarıda da değinilen unsurlar gözönüne alınarak bir montaj hattının kurulmasında ulaşılması gereken amaçlar aşağıdaki gibidir:

1. Düzenli bir malzeme akışı sağlamak,
2. İnsangücünün verimli olarak kullanılması,
3. Makina kapasitelerini maksimum düzeyde kullanmak,
4. İşlem için minimum zaman kullanmak,
5. İşlem için minimum miktarda malzeme kullanmak
6. Boş zamanları veya dengeleme kayıplarını minimum yapmak,
7. İş istasyonu sayısını minimize etmek,
8. Denge kayıplarını iş istasyonları arasında dağıtarak yaymak,
9. Mevcut tüm kısıtları, sınırları zorlamadan sağlamak,
10. Hat dengeleme maliyetini minimumda tutmak.

Montaj hattı dengelemenin amaçları birbirleriyle çeliştiklerinden hepsini birden maksimum düzeye ulaştırmak mümkün olmayabilir. Dengelemede esas amaç, bu çelişkiler gözönüne alınarak optimum çözüme ulaşmaktır. Bu yapılırken, montaj maliyetinin de minimum olması sağlanmalıdır. Dengeleme işleminde hesaba katılan faktörler içinde maliyet etkisi olan tek değişken işgücüdür.

Pratikteki nedenlerden dolayı gerekli istasyon sayısı minimum istasyon sayısından fazla olabilir. İstasyon sayısının artışıyla beraber maliyet artışlarının olması da doğaldır. Pratikte montaj hattının ve dolayısıyla istasyon sayısının sabit olduğu dengeleme problemleri de ortaya çıkabilir. Bu durumda amaç, verilen işgücünün maksimum veriminin alınması ve dolayısıyla devir zamanının minimize edilmesi olacaktır.

Sonuç olarak montaj hattı dengelenirken verilen şartlar altında montaj hattının sürekli olarak çalışması sağlanmalıdır. Bu ise, montajın başarılabilmesi için yapılması gereken işlerin verilen zaman aralığı, yani devir zamanı içinde iş parçası üzerinde uygulanması ile mümkündür [9].

3.3. MONTAJ HATTI İLE İLGİLİ KISITLAR VE KABULLER

Bir montaj hattı dengeleme probleminde çözüm aranırken problem diğer işletme faaliyetlerinden arındırılır. Üretim kararları verilirken talep ve değişik mamul bileşimleri gibi birçok faktör gözönüne alınır. Fakat montaj hattı dengeleme probleminde bütün faaliyetlerden sonra üretilecek ürünün teknik özellikleri ve üretim teknolojisine göre çözüm aranacaktır.

Montaj işleminin yapılabilmesi için işlemlerin sıralanması gereklidir. Bu sıralama mamule ve imalat teknolojisine bağlıdır. Bizim için bunlar veri olacaktır. Diğer bir veri ise işlemler arasındaki öncelik ilişkileridir.

İş elemanlarının işlem zamanları işçiden işçiye değişecektir. Hatta aynı işçinin o işi tekrar etmesiyle de bir farklılık olacaktır.

Bu çalışmada bir işçinin işlem zamanı için sabit bir değer kullanılacaktır. Ayrıca işlere ait işlem zamanlarının toplanabilir olduğu varsayılacaktır.

Bütün bu kabullerden sonra montaj dengeleme probleminin yapısı gereği ortaya çıkan kısıtlar yine de olacaktır. Buradaki en büyük kısıt parçaların teknolojik önceliğidir. Ayrıca faaliyetlerini oluşturan işlemlerin

en küçük alt parçalara ayrıldığı ve bunların kesin sürelerinin hesapladığı varsayımdır [1].

Bazen yine imalat teknolojisine bağlı olarak, birkaç işlemin ardarda yapılması gerekmektedir. Bazı iş elemanlarının ise bitişik olmaması gerekmektedir. Bu gibi birkaç işleme kısıt getiren durumlarda alternatif çözüm sayısı ve etkinlik daha düşük olacaktır.

Montaj dengeleme problemindeki bir diğer kısıt da iş istasyonuna yüklenen iş elemanlarının işlem süreleri toplamının oluşturduğu istasyon süresinin devir süresinden büyük olmayacağıdır. Ayrıca devir süresinden fazla işlem süresine sahip işlerin bölünmesi bir zorunluluktur. Bunun sonucu montaj hattında yapılacak toplam işlem süresi artacaktır.

Devir süresi, hat sonunda beklenen mamul sayısına bağlı olarak belirlenir. Her istasyona ait süre devir süresini aşamaz. İşlem sürelerinin, yukarıdaki kısıtlar altında istasyonlarda toplanması sonucunda istasyon süreleri oluşur. Bu sürelerin devir süresine eşit olması uygulamada her zaman mümkün değildir.

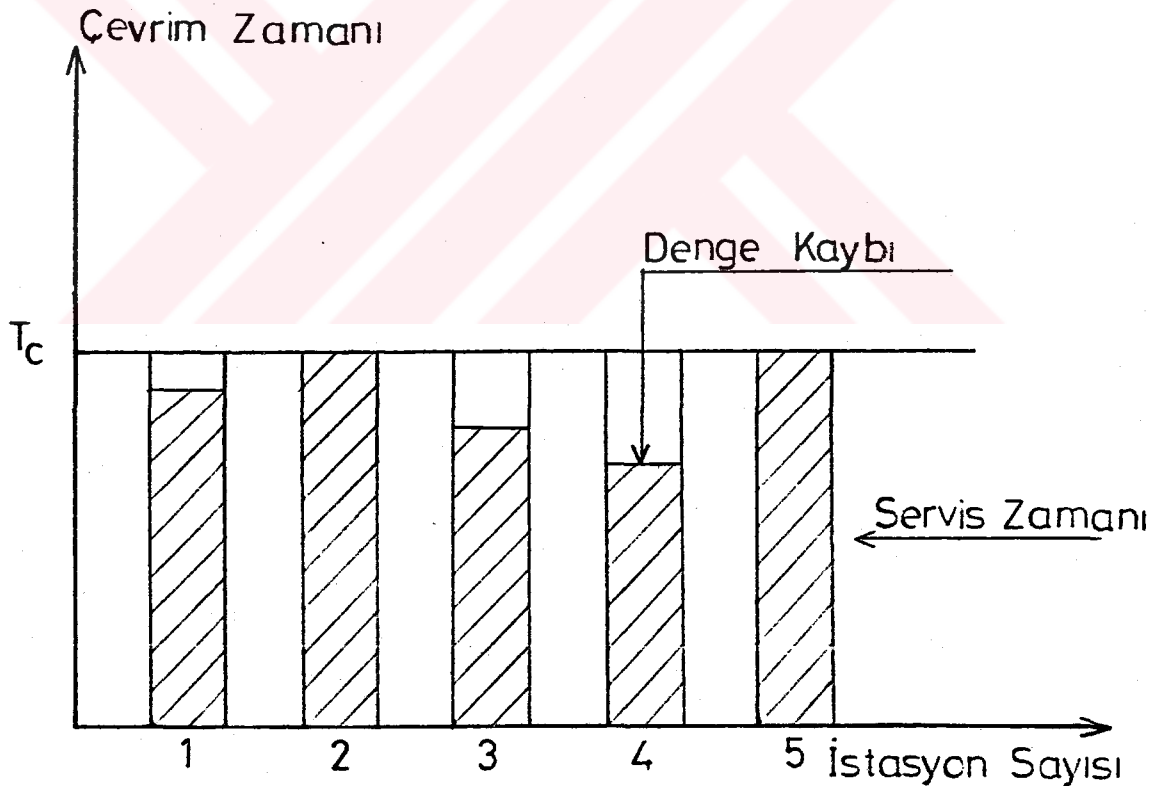
Diğer bir deyişle; bir iş istasyonunda belirlenen işlemlerin yapılabilmesi için gerekli zaman olan "servis zamanı" ile bir iş istasyonundaki işlemlerin yapılabilmesi için ayrılan zaman olan "çevrim zamanı" birbirine eşit olmamasından dolayı o istasyon için denge kaybı sözkonusudur.

Bir üretim hattı için denge kaybı, çevrim zamanları toplamı ile servis zamanları toplamı arasındaki farkın, çevrim zamanları toplamına olan yüzdesi olarak ifade edilir [4].

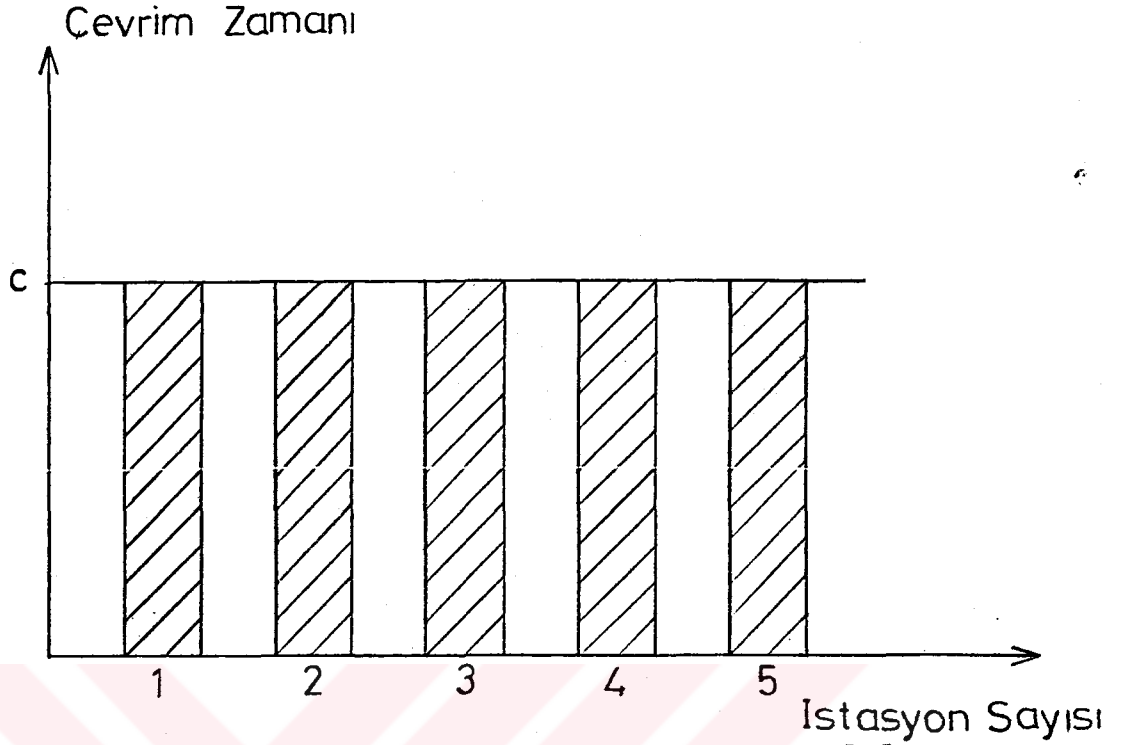
Hat dengelemesi çalışmalarında ortaya çıkan kayıp zamanlar genel olarak tam gözlenemez. Bunun nedeni, boş sürelerle işlem zamanının yayılmasıdır. Bugün için, uygulamada denge kaybını tamamen ortadan kaldırmak olası değildir. Ortalama olarak denge kayıplarının % 5 ile % 20 arasında olduğu ülkelerce tahmin edilmektedir,

Bu açıklamalar doğrultusunda, hat dengeleme çalışmalarının şu kısıtlar altında incelenmesi gerekir;

1. Verilen çevrim zamanı veya üretim hızı,
2. En küçük parçalara ayrılmış iş elemanları ve bunların standart zamanları,
3. Bölgeleme öncelik ilişkileri.



Şekil 3.1. Denge kaybı olan bir üretim hattı [5]



Şekil 3.2. Tam dengeli montaj hattı [5]

Tezgah kapasitelerinin iyi dengelenmesi için işçilerin de yükleri dengelenmelidir. Özellikle basit makinelerin yer aldığı ve işçilik maliyetlerinin yüksek olduğu sistemlerde çeşitli yöntemlerle işçilik sürelerinin dengelenmesine çalışılır. İşçilik dengesinin tam olması, üretim hattındaki her işçiyi normal çalışma süresinin tamamında çalıştırmak anlamına gelir. Bu ideal bir durumdur ve pratikte amaç buna mümkün olduğu kadar yaklaşabilecektir. İşçilik yükünün dengelenmesinde başvurulacak bazı çareler aşağıda belirtilmiştir.

1. İki veya daha fazla tezgahta bir işçi çalıştırmak: Otomatik işlem süresi uzun olan iki veya daha fazla tezgah bir işçi tarafından kontrol edilebilecek şekilde yan yana getirilebilir.

2. İki kısa işlem süresi diğerleri kadar veya daha az ise bunlar bir işçiye verilir. İşçi bir işlem ile meşgulken diğerinin yapıldığı tezgâh boş kaldığı

için bu yoldan gelen kazanç işçilik tasarrufundan büyük olmalıdır.

3. İşçinin yükünü arttırmak: İlk iki yolla dengeleme imkanı yoksa yükü az olan işçiye kontrol, çapak alma, temizleme gibi ikinci dereceden ek işler vererek vaktinin durdurulmasına çalışılır.

4. İşçileri çalışma hızlarına göre dizmek: Üretim hattı üzerindeki daha kısa süreli işlere tecrübesi az veya çalışma hızı düşük işçiler yerleştirilirler.

Üretim hatlarının dengelenmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur. Ancak seçilecek yöntem üretim hattının özelliklerine uygun olmalıdır.

Sabit bir üretim hızı bazı durumlarda hattın tüm üretim hızının, uygun herhangi bir iş istasyonunun hızına eşitlenmesi ile sağlanabilir. Bununla beraber burada iş istasyonlarının üretim hızlarının eşit veya birbirlerinin katları olması gerekir.

Bazı üretim işlemleri ayrışabilir ve sıralarında değişiklik yapılabilir. İşlemlerin elemanlarına ayrılması ve yeniden gruplanmasıyla verilen bir zaman aralığında bitirilen standart bir işlem meydana çıkarılabilir. Standart bir işlem işçiye veya işlemi toplu olarak yapan bir grup işçiye tahsis edilebilir. Üretimde dengeli bir kapasiteyi sağlamak için belirli bir sayıda standart işlemin geliştirilmesi gerekir.

Zaman açısından denge bazen işçinin hat boyunca hareket ettirilmesi ile sağlanabilir. Bu durumda işi tamamlamak için gerekli zaman işçiye ayrılmış olur. Bir iş üzerinde çalışan işçi aynı zamanda işini bitirmiş olan diğer işçilerden yardım görebilir. Bu durumda işçi

görevini tamamladıktan sonra başka bir devri başlatmak üzere tahsis edildiği ilk istasyona geri döner.

Üretim hattında dengenin sağlanmasına engel olan yavaş veya darboğaz yaratan iş istasyonları, işlem analizleri ve hareket etüdüleri yolu ile hızlandırılır. Ele alınan istasyonun detaylı bir işlem analizi özel takımların dizaynı, otomatik besleme araçlarının geliştirilmesi, özel malzeme taşıma sistemlerinin dizaynı, işçilerin dikkatli seçilmesi ve eğitimi, teşvikli ücret sisteminin kullanılması gibi çeşitli yollarla üretimin artırılmasına öncülük edilebilir.

Bir yarı mamul stoğu oluşturmak ve çalışma kapasitesinde denge sağlamak için, yavaş iş istasyonları birkaç saat fazla çalıştırılarak bir çözüme gidilebilir. Fakat bu durumda daha geniş stok alanları ve işlem içi daha büyük envanter yarattığı için dengeleme çalışmalarının amacını tam olarak gerçekleyemez [9].

Yukarıda belirtilen unsurlar ışığında montaj hattı dengelemesini etkileyen temel etmenler şöyle sıralanabilir [10]:

1. Mühendislik spesifikasyonları,
2. İşin yapılmasında izlenen metod: Bazı montaj işlerinde verilen belirli bir teknolojik sıra işin daha kolay ve daha hızlı yapılmasını sağlayabilir.
3. Kullanılan alet ve makinalar: Bazı aletlerin montaj hattının birden fazla yerinde kullanılmasına ihtiyaç duyulabilir. Böyle durumlarda aynı alet setini birden fazla operatörün kullanabileceği bir şekilde bazı istasyonları ardarda yerleştirmek gerekebilir.

4. İşyeri ve teçhizat yerleşimi,

5. Güvenlik şartları: Bazı işlerin diğer iş istasyonlarından uzakta yapılmasının zorunlu olması hat dengelemeyi etkiler.

6. Uсталık gerektiren durumlar: Bir operatöre atanan işlerin bir kısmı uсталık gerektirirken geri kalanı gerektirmiyorsa, bu durumda o hattaki kalifiye eleman sayısında bir artışı olur. Oysa uсталık isteyen işler belirli istasyonlarda toplanırsa toplam üretim maliyetlerinde belirli bir oranda azalma sağlanabilir.

Hat dengelemeyi etkileyen etmenler dışında bir de temel kısıtlardan söz etmek mümkündür. Bu temel kısıtlar şunlardır:

1. Çevrim süresini, verilmiş net üretim hedefi brüt çalışma süresi ve tolerans yüzdesi (yani kontrol edilemeyen nedenlerle kaybedilen süreler ve önceden planlanmış duruşların sürelerinin toplamının brüt çalışma süresinin yüzdesi olarak ifadesi) beraberce belirler. Bir istasyona atanan operasyonların sürelerinin toplamı çevrim süresini aşamaz.

2. Öncelik ilişkileri, montajın icerdiği operasyonların kendi aralarında sözkonusudur. Yani, bir operasyonun başlayabilmesi için diğer bazı operasyonların mutlaka bitirilmiş olması gerekebilir. İstasyonlara yapılan operasyon atamalarının bu öncelik ilişkilerini aykırı olmamaları zorunludur.

Bu iki temel kısıtın dışında kalan yan kısıtlarsa şunlardır:

1. Pozisyon (taraf) kısıtı: Pozisyonel kısıtlamalar, montajı yapılan nesnenin konumu ile operatörlerin banttaki konumu arasındaki ilişkiyi ifade etmekte kullanılan bir kavramdır. Pozisyonel kısıtlamalarla daha çok büyük ölçekli mamullerin montajında karşılaşılır. Ön ve arka konum kısıtı, işlerin bantın iki yanından birinde yapılması gerektiğinde ortaya çıkar [11]. Bu tip işler hattın karşısına geçmek güç olacağından anında iki işçi tarafından yapılırlar. Montaj hattı dengelemenin anaçları da gözönünde bulundurulacak olunursa, bandın önünde yapılan işlerle arkasında yapılan işlerin birbirlerinden ayrılmasının gerekli olduğu söylenebilir. Alt üst konum kısıtı ise, montajı yapılacak mamulün belirli istasyonlarda ters çevrilmesi, işin ürünün alt kısmında yapılması veya ürünün hattın belirli bir yerinde operatörün başının üstüne yükseltilerek yapılması durumunda ortaya çıkar. Her istasyonda yükseltme ve ters çevirme işlemlerini yapacak teçhizat bulunmadığından, bulunabilse bile bu işleri yapmak ekonomik olmayacağından, ürünün altında yapılan işlerin bir ve birkaç istasyonda toplanması daha rasyonel bir davranış biçimi olacaktır.

2. Sabit donanım kısıtı: Makinalar test araçları gibi sabit donanımlar montaj hatlarının entegre bir parçasıdır ve değiştirilemez istasyonları oluştururlar. Bu tip istasyonlardaki işler mutlaka yapılmalıdır. Sabit donanım kısıtları, iş elemanlarının değiştirilebilirliğini azaltır ve sıralamayı rijid bir hale getirirler.

3. İstasyon yükü: Montaj bandında bazı istasyonların %100 'den az olması tercih edilebilir. Özellikle ilk istasyon veya istasyonlarda bandın başında olabilecek aksamaların tüm banda etkisini azaltabilmek için bu yapılabilir.

4. Aynı istasyona atanması istenmeyen işler: Bu özelliğe sahip bir operasyon diğer bazı operasyonlarla aynı istasyona atanamaz. Örneğin aşırı fiziki güç uygulaması istenen iki operasyonun iş yükü açısından ayrı istasyonlara atanmaları istenebilir. Benzer şekilde birden fazla iş elemanı teknolojik olarak istenmediği için aynı operatöre atanmazlar veya en azından bir tampon istasyon ile birbirlerinden ayrılırlar [12].

5. Aynı istasyona atanması istenen operasyonlar: Bu özelliğe sahip istasyonların aynı veya birbirlerini takip eden istasyonlara atanması gereklidir. Böyle durumlarda bir operasyon alt grubu tek bir operasyon gibi düşünülebilir. Örnek olarak özel alet kullanımını gerektiren iki operasyonun aynı işçi tarafından yapılması ikinci bir alet ihtiyacını ortadan kaldıracağı için istenilen bir durumdur.

3.4. MONTAJ HATTI Dengelemede Temel Kavramlar

3.4.1. İş elemanı (Modül)

İşlerin temel hareketlerden veya iş parçacıklarından oluştuğu iş etüdü çalışmaları tarafından ortaya atılmıştır. İş elemanları, toplam için uygun ve pratik en küçük alt parçasıdır ve bu iş parçacıklarının bir veya birkaçı tarafından meydana gelirler. Bir diğer yaklaşımla iş elemanı; montajcılar arasında gereksiz karışıklıklara neden olmadan iki veya daha fazla işler arasında pay edilmesi olanaksız olan üretim süreci içerisinde toplam iş kapsamının, mantıksal olarak bölünmüş bir alt parçasıdır [8].

3.4.2. İş istasyonu

Belli bir sırayla yapılacak bir veya daha fazla iş elemanı bir iş istasyonu oluşturur. İş istasyonu genellikle bir işçi tarafından çalıştırılır ve fiziksel bir bölümdür. Her istasyonda bir işçinin işlem için gerekli araçlarla çalıştığı varsayılır. Kısıtlar ve amaçlar gözönüne alınır. Montaj için gerekli işlemler, montaj hattı üzerinde kurulu olan, işçilerin bu işlemleri gerçekleştirdiği iş istasyonlarında gerçekleştirilir ve bir montaj hattında yer alan istasyon sayısı dengeleme çalışması sırasında saptanan maksimum istasyon sayısını geçmemelidir.

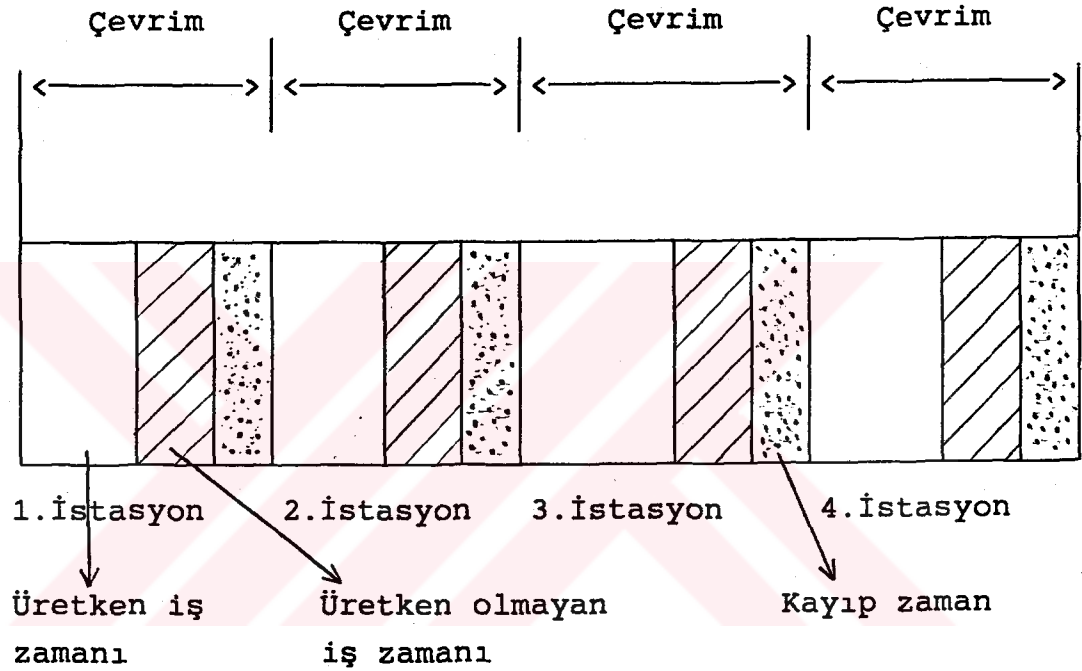
3.4.3. İstasyon zamanı

Bir iş istasyonuna atanan iş elemanlarının tamamlanması için gerekli olan, bu iş elemanlarının standart zamanları toplamı, yani istasyona gelen bir parça üzerinde o istasyonda yapılması gereken işlemin başlangıcından bitimine kadar geçen süredir. İstasyon zamanı maksimum iş elemanı süresinden küçük, çevrim zamanından büyük olamaz.

3.4.4. Çevrim zamanı

Çevrim zamanı, montaj hattında ürünün bir istasyonda kalabileceği maksimum süre veya bir iş istasyonundaki işçinin tamamlaması için gerekli süre olarak tanımlanabilir. Bir istasyonda ardışık öğeler üzerinde işin tamamlanması veya başlatılması arasında geçen zaman olduğu için gerek üretken, gerekse üretken olmayan işleri ve varsa atıl zamanı içerir.

Çevrim zamanı, iş istasyonu süresine eşit veya daha büyük olabilen, iş istasyonundaki işçinin işini tamamlayabilmesi için kullanabileceği süredir. Çevrim zamanını seçmekte ana düşünce, gerek duyulan üretim hızıdır. Maksimum çevrim zamanı işlem sürelerinin toplamı olabilir ve üç zamanın bileşimidir.



Şekil 3.3.- Dört istasyonlu bir akış hattında servis ve çevrim süreleri [5].

3.4.5. Denge kaybı

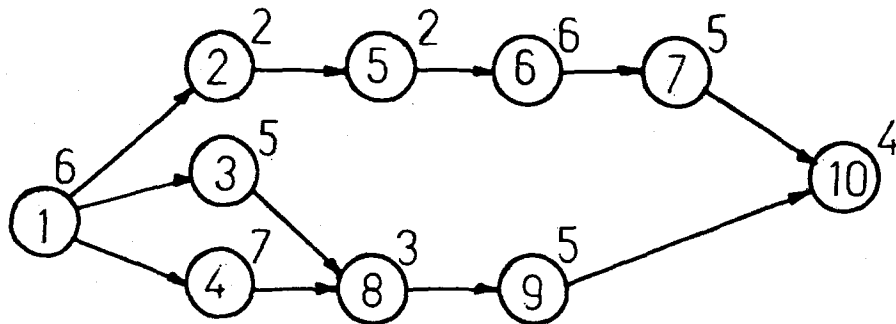
Denge kaybı operatörler veya istasyonlar arasındaki dengesiz dağılımı gösteren bir kriterdir. Her istasyonda birim üretim için ayrılan toplam zamanla, gerekli zaman arasındaki farkın montaj süresine oranıdır. Denge gecikmesini minimize etmek montaj hatlarının dengelenmesi probleminin amaçları arasında yer almaktadır.

Aynı problemin değişik montaj hattı dengeleme yöntemleriyle çözülmesi sonucunda oluşacak denge gecikmesi genelde farklı olacaktır. Bu durumda iki yöntemin elimizdeki probleme sağlayacağı performansın düzeyini ölçebilmek için kabul edilen ölçek yani istasyonlarının üretim hattında dengesiz dağılımından kaynaklanan boş süreye enge kaybı adı verilir.

3.4.6. Öncelik diyagramı

Montajın teknik özelliklerinden dolayı, bazı iş elemanlarının zorunlu olarak birbirini izlemesi gerekir. Bu özelliklerin tümü öncelik ilişkileri altında toplanır. Bu ilişkiler genellikle bir grafik ile gösterilir. Bu grafik gösterim, analitik hat dengeleme sistemlerinde öncelik ilişkilerinin belirtilmesinde çok yaygın olarak kullanılan öncelik diyagramıdır.

Bu diyagram, bir okla birbirine bağlanmış iki iş elemanından, okun uçunda bulunan iş elemanlarından daha sonra işleme alınacağını gösterir. Çemberler içindeki numaralar iş elemanı numaralarını, çemberlerin sağ üstündeki sayılar ise iş elemanının işlem zamanlarını gösterir.



Şekil 3.4. 10 elemanlı bir öncelik diyagramı

Bir öncelik diyagramında mamul üretimi oklar yönünde soldan sağa doğru ilerler. Başka bir elemanın sağında olan ve bir okla bağlanmış iş elemanı ilkinden önce yapılamaz. Bu şekilde dizayn edilen bir öncelik diyagramının temel amacı iş elemanlarını ve iş görme sıralarını tümüyle belirterek montaj hattının teknolojik önceliklerini göstermektir.

3.4.7. Öncelik matrisi

Öncelik diyagramının matris haline dönüştürülmüş şeklidir. Bu matriste aralarında doğrudan doğruya öncelik ilişkisi bulunan iş elemanları için, matriste önde gelen eleman sayılı satırla takipl eden eleman sayılı sütünün kesiştiği noktaya "1" değeri verilir. İki eleman arasında doğrudan doğruya ilişki olmaması halinde ise karşı gelen noktaya "0" değeri verilir. Yukarıda şekil.3.4. 'de öncelik diyagramı ile verilen ilişkilerin matris halinde belirtisi görülebilir.

3.4.8. Düzgünlük indeksi

Üretim hattı üzerinde bulunan iş istasyonlarının işlem sürelerinin düzgünlüğünü göstermek için kullanılan bir indekstir. Düzgünlüğünü indeksinin küçük olması hat üzerinde iyi bir dengenin sağlanmış olduğunu gösterir.

Tablo .3.1-10 elemanlı bir öncelik matrisi

İş Elemanı No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.4.9. Toplam işlem zamanı

Montaj hattı üzerinde üretilecek bir mamulün montajı için gerekli olan zaman veya işi oluşturan bütün iş elemanlarının standart zamanları toplamıdır.

3.4.10. Hat etkinliği

Montaj istasyonlarındaki etkin toplam sürenin, montaj süresine oranıdır. Montaj hatları için önemli bir performans kriteri olmakla beraber, montaj hattındaki toplam iş gücünün ne kadarlık bir yüzdekinin kullanıldığını gösterir.

3.4.11. Teorik etkinlik

Hattın belirli bir çevrim zamanından hareketle minimum istasyon sayısıyla kurulması halindeki etkinli-ğidir. Teorik etkinlik hat verimliliğinin üst sınırıdır ve iş elemanlarında yapılabilecek düzenlemelerle üst dü-zeye çıkarılabilir.

3.5. MONTAJ HATTI DENGEMEDE ÖN HESAPLAR

Çevrim zamanının tanımında da belirtildiği gibi bu kavramın birimsel özeti aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}\text{Çevrim zamanı} &= (\text{servis zamanı}) + (\text{Atıl veya kayıp zaman}) \\ &= (\text{Üretken iş zamanı}) + (\text{Üretken olmayan iş zamanı}) \\ &+ (\text{Atıl veya kayıp zaman})\end{aligned}$$

Teorik olarak çevrim zamanı gerçekleşmesi iste-nen üretim miktarlarından hesaplanabilir. Örneğin T sü-resi içine N adet mamul üretimi isteniyorsa, C devir sü-resi:

$$C = \frac{T}{N} \quad (3.1)$$

T ve N 'ye ek olarak toplam işlem zamanı veya her bir iş elemanının süresi (t_i) biliniyorsa minimum iş istasyonu sayısı (n_{min}) 'da hesaplanabilir.

$$n_{min} = \frac{N \times \sum t_i}{T} = \frac{\sum t_i}{C} \quad (3.2)$$

Gerçekte iş istasyonları sayısının tamsayı olması gerektiğinden, n_{min} , yukarıdaki formülde bulunan değerden büyük veya eşit bir tamsayı olmalıdır. Ortalama iş istasyonları süresi ($\bar{c}$), toplam işlem zamanının (Σt) iş istasyonları sayısına oranıdır.

$$\bar{c} = \frac{\Sigma t_i}{n} \quad (3.3)$$

Bu oran hemen hemen daime C 'den ufaktır ve bunun sonucu olarak belirli bir miktar boş zaman meydana gelir. İş istasyonlarında kullanılmayan bu boş süre dengeleme kaybıdır.

$$\text{Denge kaybı (\%)} = \text{BD(\%)} = \frac{C - \bar{c}}{C} \times 100 = \frac{nxC - \Sigma t_i}{nxC} \times 100 \quad (3.4)$$

Bunun yanında t_{max} maksimum istasyon süresi olarak alınırsa, bir montaj hattındaki düzgünlük indeksini verecek olan formül aşağıdaki gibidir.

$$\text{Düzgünlük endeksi (\%)} = \text{SI(\%)} = \frac{\sqrt{\Sigma (t_{max} - t_i)^2}}{nxC} \times 100 \quad (3.5)$$

Hat etkinliği ise, istasyonlardaki etkin toplam sürenin, montaj süresine oranıdır.

$$\text{Hat etkinliği (\%)} = \text{LE(\%)} = \frac{\Sigma t_i}{nxC} \times 100 \quad (3.6)$$

Montaj hatlarının optimum hızını bulmak için, istasyonlar arasındaki hızın optimal olduğu varsayılır. Bu varsayım montaj hattını hareket ettiren konveyör veya diğer transport parçalarının optimal işi destekleyecek hızda olacağını ifade etmektedir [7].

$$\begin{aligned} \text{Hattın hızı (m/h)} &= \text{Üretim hızı (parça/h)} \times \\ &\quad \text{istasyon uzunluğu (m/parça)} \\ &= \text{istasyon uzunluğu (m/parça)} \\ &\quad + \text{Dengeleme faktörü veya} \\ &\quad \text{istasyon zamanı (h/parça)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hattın uzunluğu} &= \text{istasyon uzunluğu} \times \text{istasyon sayısı} \\ &= [\text{istasyon uzunluğu} \times \text{parçanın tamam-} \\ &\quad \text{lanması için geçen süre (Hattın top-} \\ &\quad \text{lam çalışma süresi/parça)}] + [\text{Denge-} \\ &\quad \text{leme faktörü veya istasyon süresi} \\ &\quad \text{(saat/ parça)}]. \end{aligned}$$

Montaj dengeleme probleminde daha önce sayılan amaçların hepsini birden maksimum seviyeye ulaştırmak mümkün değildir. Montaj dengelemede ki amaçlar, birbirleriyle çelişen amaçlardır. Dengelemedeki esas amaç bu çelişkilerin optimal bir çözümünü bulmak olacaktır. Çelişki hat dengeleme maliyeti fonksiyonu ile açıklanabilir.

$T(n, c) =$ iş istasyonu sayısı ve çevrim zamanına göre toplam maliyet.

$m_1, m_2, m_3 =$ maliyet katsayıları

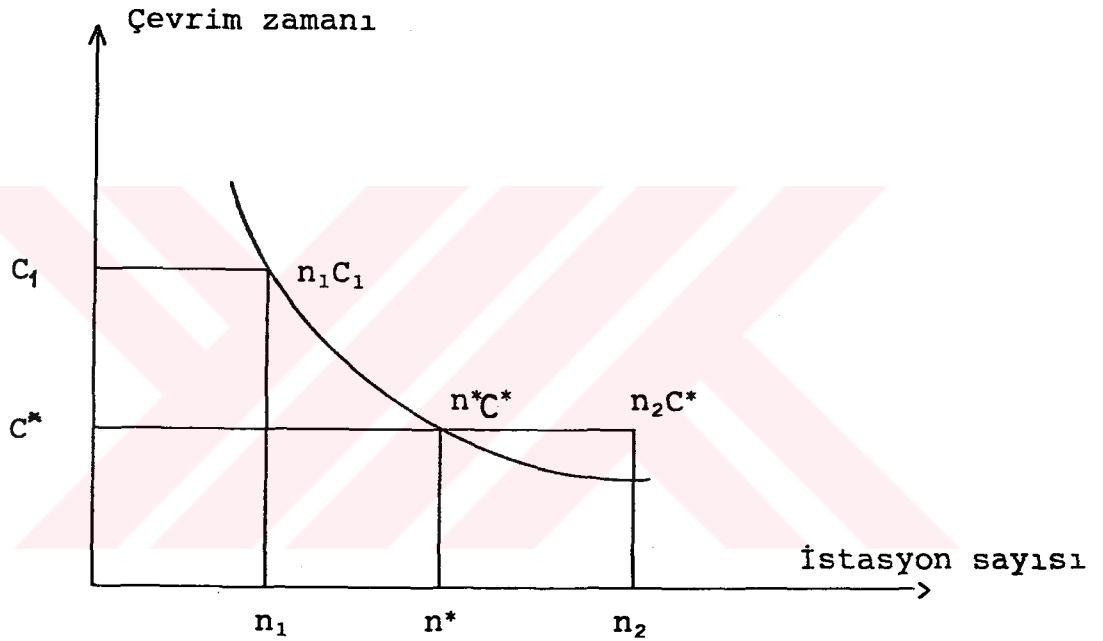
$n^* =$ en iyi istasyon sayısı

$c^* =$ en iyi istasyon çevrim zamanı

$$T(n,C)=m_1(nC - \sum t_i) + m_2(C-C^*) + m_3(n-n^*) \quad (3.7)$$

(Atıl (Düşük (Fazla
kapasite + prodüktive + insan)
maliyeti) maliyeti)

Bu maliyetlere ilişkin optimum denge hiperbolünde, en iyi istasyon zamanı C^* değerine göre n^* kadar istasyon gelmektedir. Bu şekil.3.5 'de gösterilmektedir.



Şekil.3.5 - istasyon sayısı ve çevrim zamanı ilişkileri [13].

Eğer n_2 değeri n 'den büyük olursa $n_2C^* > \sum t$ olur ve düşük kapasite ortaya çıkar. Diğer açıdan $n_1 = n_2 - 1$ olarak istasyon sayısı bulunur ise, bunun uygulanması olanaksızdır, çünkü $\sum t > n_1C^*$ olur. Yani uygun gerekli süre, toplam ayrılan süreden büyük olur. Uygun çözüm ise n_1 sayıda istasyon C_1 çevrim kullanımıdır. Böyle olunca prodüktivite maliyeti; $\frac{1}{C^*} - \frac{1}{C_1}$ olur.

Kısaca montaj hattı tasarımı ve dengelenmesi probleminin çözümü, değişik iş istasyonu sayısı ve çevrim zamanlarının karşılaştırılması ile bulunur.

Çağımızda bir çok ürünün üretiminde kullanılan montaj hatları yukarıda çelişen amaçlara optimum oranda ulaşılarak tasarlanması gereği birçok dengeleme yöntemlerinin gelişmesine yol açmıştır. Dengelemede bilgisayarların kullanılması dengeleme yöntemlerinin etkinliklerini arttırmıştır. Bu nedenle, dengeleme probleminin amaçları iyi değerlendirilmelidir.



4. MONTAJ HATTI Dengeleme Yöntemleri

4.1. Lineer Programlama Yöntemi

Montaj hattını dengeleme problemlerinin çözümünde kullanılmak üzere ilk lineer programlama modeli 1955 yılında, M.E. Salveson tarafından geliştirilmiş ve yayınlanmıştır [14]. Bu aynı zamanda montaj hatlarını dengeleme problemlerinin çözümü konusunda yapılan ilk yayındır.

Salveson'un getirdiği yaklaşımla yapılan çözümlemede öncelikle devir süresi hesaplanır. Ortaya çıkan devir sayısı, probleme ait öncelikle bütün mümkün işlem kombinasyonları yapılarak aday matris hazırlanır.

Bu matriste sütunlar aday istasyonları, yeni istasyonlara atanabilecek tüm işlem kombinasyonlarını, satırlar ise yapılması gereken işlemleri içerir. Her aday istasyon yani işlem kombinasyonunun sütunu ile çalışan işlem satırına, o işlem aday istasyonda mevcutsa 1, mevcut değilse 0 konur. Bunların yanında aday matrise, her aday istasyonun boş zamanlarını gösteren bir d_j (j :aday istasyon numarası) satırı eklenir.

İşlemler arasındaki öncelik ilişkilerini belirlemek için öncelik ilişkilerinin kısıt teşkil ettiği durumlarda d_j satırında, ilk boş zaman gösterilir. Aday matris çizildikten sonra toplam boş zamanları sıfır olan istasyonlardan veya sıfıra yakın olanlardan bir mümkün denge kurulur ve tablo halinde gösterilir.

Daha sonra boş süreler toplamı devir süresinden küçük oluncaya kadar yakınsaklık çözümü yapılır. Buradaki bazı istasyonlar kaldırılıp yerine aday matristen boş süreleri daha az olanları yerleştirilir. Böylelikle en ideal çözüm bulunur ve aday matristen alınan, geçerli çözüm sağlayan aday istasyonlar, çözüm istasyonları olur.

Salveson'un yaklaşımı, matematiksel teorinin, endüstriyel bir işlem olan montaj hatlarını dengeleme problemine uygulanmasına ait teorisi açısından faydalı olmuş bir yaklaşımdır. Ancak, önerdiği hesaplama tekniğinin uygulamaya konulabilmesi pek pratik değildir ve çok fazla işlem gerektirir. Salveson yaklaşımında önce mümkün olan bütün iş istasyonları yani işlem kombinasyonları teker, teker yayılır ve daha sonra bir lineer programlama modeli kullanarak, ihtiyaçları en iyi karşılayan iş istasyonları bileşimi seçilir. Nitekim lineer programlama son derece geniş bir matrisin tersini almayı gerektirir. Bu da gerçek problemlerde çözümü imkansız hale getirebilir. Bu yüzden Salveson yukarıda açıklanmaya çalışılan, matris inversini ortadan kaldıran yeni bir çözüm modeli önermiştir.

Ancak bir noktaya daha dikkat etmek gerekirse, Salveson'un önerdiği lineer programlama tam değildir ve kabul edilemez istasyon bileşimlerinin oluşmasına izin verebilir. Aynı zamanda, o sıralarda bilinen lineer programlama teknikleri kanıtlanabilir çözümleri oluşturmakta yetersizdir [15].

G.Dantzig, montaj hattı dengeleme problemleri için bir lineer programlama modeli önermiştir. Bu model, iş elemanlarının öncelik kısıtını da gözönüne alır ve problemin ilk halinden kolaylıkla türetilir. Model k adet iş elemanlı, 1 öncelik ilişkili ve m , maksimum

istasyon sayılı bir problem için, $kxm + 1x(m-1)$ bilinmeyenli, $k+m+1(m-1)$ denklem gerektirir. Bu ise, dengeleme çözümüne ulaşmayı oldukça zor bir olay haline getirir.

E.H.Bowman, 1960 yılında yayınlanan makalesinde montaj hatlarını dengeleme probleminin çözümü için iki adet doğrusal programlama modeli teklif eder. İlk modelde, değişkenler istasyonda bir iş elemanı üzerinde harcanan işlem süreleri olarak ele alınır [16].

t_{ij} , j istasyonunda, i iş elemanı üzerinde harcanan süreyi göstermek üzere, istasyonlardaki toplam işlem zamanının devir zamanı, C 'den küçük olma şartı :

$$\sum_{i=1}^N t_{ij} \leq C \quad j=1,2,\dots,n_{\max} \quad (4.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Her iş üzerinde mutlak gerekli zaman tutarınca işgücü harcanmış olması şartı ise

$$\sum_{i=1}^{n_{\max}} t_{ij} = T_i \quad i=1,2,\dots,N \quad (4.2)$$

işlerin bölünmezliği şartı ise herhangi bir işin bir istasyonda ya tümünün yapılması ya da hiç yapılmaması sonucunu doğuran aşağıdaki denklemler seti ile modele dahil edilir.

$$\frac{1}{T_i} \times t_{ij} + A_{ij} \times I = 1 \quad (4.3)$$

$A_{ij} \times I$ ek değişkeni, i işinin, j istasyonunda yapılması halinde 0, aksi takdirde, yani $(t_{ij}=0)$ ise 1 değerini alır. Simpleks metod, bütün değişken değerlerinin sıfıra eşit veya sıfırdan büyük olma şartını kendiliğinden sağlar.

Öncelik şartlarının sağlanması şartı, Bowman'ın ilk modelinin en karmaşık ve modele sokulması güç olan kısmıdır. Bu tahdit şartı modelde, A işinin, B işinden önce gelmesi halinde ;

$$\frac{1}{T_b} \times t_{bj} \leq \sum_{k=1}^j \frac{1}{T_a} \times t_{ak} \quad (4.4)$$

şeklindedir. Herhangi bir istasyon için, A işinin henüz işlenmemiş olması halinde eşitsizliğin sağ tarafı sıfır değerini alacak ve B işi ele alınamayacaktır. A işinin j 'inci veya daha önceki bir istasyonda işlenmiş olması haline ise, eşitsizliğin sağ tarafı 1 değerini alacağından, B işinin, j 'inci istasyonda işlenmesi mümkün olacaktır.

Minimum kılınması istenilen Bowman'ın teklif ettiği amaç fonksiyonu, minimum istasyon sayısından sonra eklenen her istasyon için amaç fonksiyonu değerinin artırılması esasına dayanır ve ;

$$Z = \sum_{j=n_{min}}^{n_{max}} j (T_{N-1,j} + t_{N,j}) \quad (4.5)$$

şeklindedir.

Burada Bowman, $n_{\max}$ değerinin nasıl elde edildiğini söylemez. En kötü halde $n_{\max}$ N olacağından, Z amaç fonksiyonunun (4.1), (4.2), (4.3), (4.4) şartları altında minimum kılınması, N^2 değişkenli, $N^2 + 3N$ adet denklemin çözümünü gerektirecektir ki, çok küçük çaplı problemler için bile pratik olarak imkansızdır.

Bowman'ın ikinci doğrusal programlama modeli, problemi tamamen değişik bir açıdan ele alır ve çok daha kullanışlıdır. Modelde, değişken olarak herhangi bir i işinin başlama zamanı (x_i) kullanılır ve öncelik şartlarının sağlanması basit olarak, A işinin, B işinden önce gelmesi halinde

$$x_a + T_a \leq x_b \quad (4.6)$$

denklemleri ile modele katılır. Öncelik diyagramına göre, bir diğerine önceleyen iş elemanı çiftleri ele alınırsa, bu düşünce yolu bir eşitsizlik takımı verecektir. Bu eşitsizlik takımı öncelik şartlarının modele korunmasını sağlar.

Aralarında öncelik şartı olmayan iş elemanlarının işlem zamanlarının birbiriyle çakışmaması, sisteme I_{k1} gibi ancak 0 veya 1 değerini alabilen bir değişken tanımlanması ile sağlanır. Aralarında öncelik şartı olmayan k ve 1 işlerinin j 'inci istasyonda aynı zamanda işlenmeleri;

$$(C_{xj} + T_k) \times I_{k1} + (x_1 - x_k) \geq T_k \quad (4.7.a)$$

$$(C_{xj} + T_1) \times (1 - I_{k1}) + (x_k - x_1) \geq T_1 \quad (4.7.b)$$

eşitsizlikleri ile modele dahildir.

Bu eşitsizlik çifti k ve l işlerinin aynı zamanda yapılmaması veya değişik istasyonlarda işlenmelerini sağlar. İstasyonların, devir zamanından fazla yüklenmemeleri şartı;

$$x_i + T_i \leq CxI_j + C, \quad x_i \geq CxI_j \quad (4.8)$$

eşitsizlik sistemi ile sağlanır.

Buradaki I_j ler tamsayılardır ve istasyon numaralarını gösterir. Bu denklem takımının sisteme katılması sonucu, her istasyona ancak devir süresi kadar toplam tahsis yapılabilir. Bu eşitsizlikler istasyonların devir süresinden fazla yüklenmemeleri şartını sağladığı gibi, aynı zamanda amaç fonksiyonunun basit olarak;

$$Z = I_j \quad \text{olmasını sağlar.}$$

E.H.Bowman'dan sonra da birkaç yazar tarafından değişik lineer programlama modelleri geliştirilmiştir. Ancak, geliştirilen bu modellerin bir çoğunun çözümü oldukça karmaşıktır ve verimli değildir. Montaj hatlarının dengelenmesinde lineer programlama modelleri, kesin optimum çözümü vermesine karşılık, çözümlerin güç olması ve uzun zaman alması nedeniyle büyük çaplı problemlerde genelde uygulama olanağı bulamazlar.

4.2. DİNAMİK PROGRAMLAMA YÖNTEMİ

1956 yılında Jackson yayınladığı makalesinde sonuna kadar götürüldüğü takdirde optimum çözüm bulunmasını sağlayan bir metod teklif eder. Kademeli sıralama ile çözüm adı verilen Jackson metodu sezgisel bir yöntemle öncelik ilişkisi ele alınarak bütün mümkün çözümler aranır. Seriler oluşturulur. Aynı olan seriler elenir.

Yöntemin temel ilkesi, çevrim zamanını aşmamak ve öncelik şartlarına uymak koşulu ile bütün işlemlerin mümkün olan bütün kombinasyonlarını aşamalı olarak belirlemektir. Daha sonra çözümü kolaylaştırmak için bazı sadeleştirmeler yapılabilir.

Bunlar şöyle özetlenebilir :

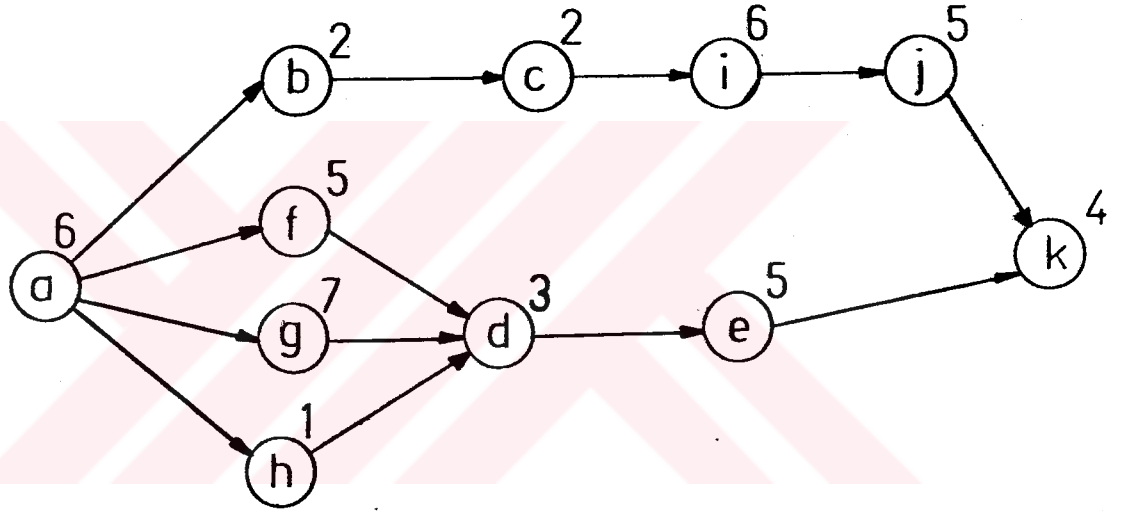
1-Aynı sistemleri diziliş sırasıyla içeren bir küme varsa bunlardan biri alınıp diğerleri elenir.

2. Çok elemanlı kümeler arasında yalnız birer elemanları farklı olanlar ve bu farklı elemanlar hemen ilerideki aynı komşu noktaya bağlanıyorsa bu farklı elemanlardan daha küçük zamanlısını içeren küme atılır.

3. Aynı aşamada bir küme, diğer bir kümenin kapsadığı tüm işleri ve bunun yanında daha fazla sayıda işlemi içeriyorsa, az sayıda işlemlili küme atılır.

İşlemlere devam edilir. Aşamalar ilerledikçe kümelerin eleman sayıları artar. Bir aşamada tüm işlemleri içeren ilk kombinasyona rastlandığı zaman en iyi çözüme ulaşılmış demektir. Ancak bu aşamada birden fazla en iyi çözüm bulunabilir.

Bu çözüm tamamen sezgiye dayanır. Öncelik diyagramı gözönüne alınarak ilk işlemden başlayarak bütün mümkün çözümler yazılır. İlk adımda seçilen çözümler seri başı olur. Adım adım her seri geliştirilir. Bu geliştirme sırasında birbirinin eşi olan veya birbirini kapsayan serilerden sadece bir tanesi bırakılır, diğerleri çözümden çıkarılır. Şimdi bu çözümü bir örnek üzerinde gösterelim.



Şekil 4.1. Onbir elemanlı montaj hattı

ADIM 1: Burada ilk (a) işlemi ile kurulabilecek, boş zamanları sıfıra yakın ve toplam işlem süresi çevrim süresini aşmayacak bütün iş istasyonları yazılır.

(a b c)

(a b h)

ADIM 2: İlk adımda kurulan istasyonlar seri başı olur ve bu adımda bunlardan seriler türetilir.

(a b c) ih

(a b h) ci (*)

(a b c) fh

(a b h) cf (*)

(a b c) gh

(a b h) cg (*)

Bu adımda birbirinin aynı elemana sahip seriler elde ettik. Bu nedenle yanına (*) işareti koyduğumuz serileri elimine edip bir sonraki adıma geçeriz.

ADIM 3: Kalan seriler seri başı olarak yazılır ve devam edilir.

(abc, ih)fj (abc,fh) gd (*) (abc,gh)fd
 (abc, ih)g (abc,fh)g (*) (abc,gh)f (*)
 (abc,fh)i (*) (abc,gh)i (*)

Kalan seriler :

(abc,ih,fj) (abc,ih,g) (abc,gh,fd)

ADIM 4:

(abc,ih,fj)gd (abc,ih,g)fd (*) (abc,gh,fd)e
 (abc,ih,g)fj (*) (abc,gh,fd)i (*)

Kalan seriler :

(abc,ih,fj,gd) (abc,gh,fd,e)

ADIM 5:

(abc,ih,fj,gd)ek (abc,gh,fd,e)i

İkinci seri başının devamında kalan işlemler istasyonda toplanamamakta ve istasyon sayısı 6 olmaktadır. Bu nedenle kendiliğinden elimine olur.

ÇÖZÜM: (abc,ih,fj,gd,ek) toplam boş süre $d_j=4$

Tablo 4.1. Onbir işlemin dengesi

İstasyon	İşlemler	Kümülatif Süre	Boş Süre
1	a,b,c	10	0
2	i,h	7	3
3	f,j	10	0
4	g,d	10	0
5	e,k	9	1

Held, Karp ve Shareshien montaj hattı dengeleme problemine dinamik bir plogramlama yaklaşımı geliştirmişlerdir. Ele aldıkları yöntem, belli bir çevrim süresi için iş istasyonlarının minimum sayısını ortaya koymaktadır. Önerdikleri yöntem şu şekilde özetlenebilir :

1- Bir işlem içeren kümeleri seç, kümede bu işlem bir başka diziye bağlı olmaksızın bir dizinin ilk işlemi olmalıdır.

2- Önceki bir işlemli kümeleri kullanarak bütün olabilir iki işlemli kümeler seçilir.

3- Toplam iş istasyonu tahsis süresi hesaplanır.

$$TAWST = (WS-1) \cdot C-TLS$$

TAWST : Toplam iş istasyonu tahsis süresi

C : Çevrim süresi

TLS : Son istasyona atanan işlemlerin süreleri toplamı

4- Bütün kümelerin en son durumu incelenir. Eğer iki veya daha fazla küme aynı duruma sahipse, toplam iş istasyonu tahsis süresi minimum olan küme seçilir.

5- Eğer toplam iş istasyonu süresi iki veya daha fazla küme için aynı anda ve kümeler birbirlerinin permütasyonu ise bir tanesi hariç diğerleri elimine edilir.

6- Herbir fizibl eleman geri alınır, kalan uygun küme kolleksiyonuna eklenir. Üçüncü basamağa dönülür ve bütün işlemleri içeren bir küme elde edilinceye kadar işleme devam edilir. Bu küme iş istasyonlarının sayısını minimize edecektir [9].

4.3. SIRALI POZİSYON AĞIRLIK YÖNTEMİ

Bu yöntem özellikle montaj hattının bölgelere ayrılmamış olduğu durumlarda uygulanabilir. Yöntemde her işleme, kendisi tahsis edildikten sonra tahsis edilebilecek işlemlerin işlem süreleri ile kendisinin işlem süresinin toplamı kadar ağırlık verilir ve işlemler ağırlıklarına göre sıralanıp en fazla ağırlığa sahip olandan başlanarak istasyonlara tahsis yapılır. Yöntem aşağıdaki safhaları içerir:

Yöntemin ilk adımı her işlem için pozisyon ağırlıklarının hesaplanmasıdır. Bir işlemin pozisyon ağırlığı, o işlemi yapmak için gerekli süre artı ondan sonraki işlemleri yapmak için gerekli olan süredir.

Yöntemde bütün işlemlerin pozisyon ağırlığı hesaplandıktan sonra azalan ağırlıklara göre işlemler sıralanır.

Tekniğin kullanılmasında bundan sonra gelen adım işlemlerin iş istasyonlarına atanmasıdır. Bunun için bütün işlemler ele alınarak atanıncaya kadar aşağıdaki adımlardan geçilir.

1- En yüksek pozisyon ağırlıklı işlemi ilk istasyona tahsis edilir.

2- İş istasyonunun kullanılmamış zamanı, çevrim süresinden tahsis edilmiş işlemlerin sürelerini çıkartarak bulunur.

3- Kalan işlemler arasında en büyük ağırlığa sahip olanı seçilir. Önceden tahsisi tamamlanmış işler listesi kontrol edilir. Eğer önceleyen işlemler tahsis

edilmiş ise öncelik şartı korunur ve bu durumda ikinci kontrole geçilir. Aksi durumda dördüncü adıma geçilir. İkinci kontrolde işlemin işlem süresi istasyonun kullanılmamış süresi ile karşılaştırılır. Eğer işlem süresi tahsis edilmemiş süreden küçük ise işlem istasyona tahsis edilir. Kullanılmamış istasyon süresi yeniden hesaplanır. Eğer işlem süresi kullanılmamış süreden büyükse dördüncü adıma geçilir.

4- Seçilen, Kontrol ve mümkünse tahsise gerekli şartlar sağlanana kadar devam edilir. Bu şartlar, bütün işlemlerin tahsis edilmesi ve hem öncelik şartını hem de tahsis edilmemiş zaman şartını sağlayan işlem kalmamasıdır. Bu iki şarttan birinin sağlanması yeterlidir.

5- Tahsis edilmemiş en yüksek ağırlıklı işlemi ikinci istasyona tahsis edip yukarıda anlatılan dört adım aynen uygulanır.

6-İşlemlerin istasyona tahsisine tahsis edilmemiş işlem kalmayınca kadar devam edilir. Bu anda montaj hattını dengeleme problemine çözüm bulunmuş olur.

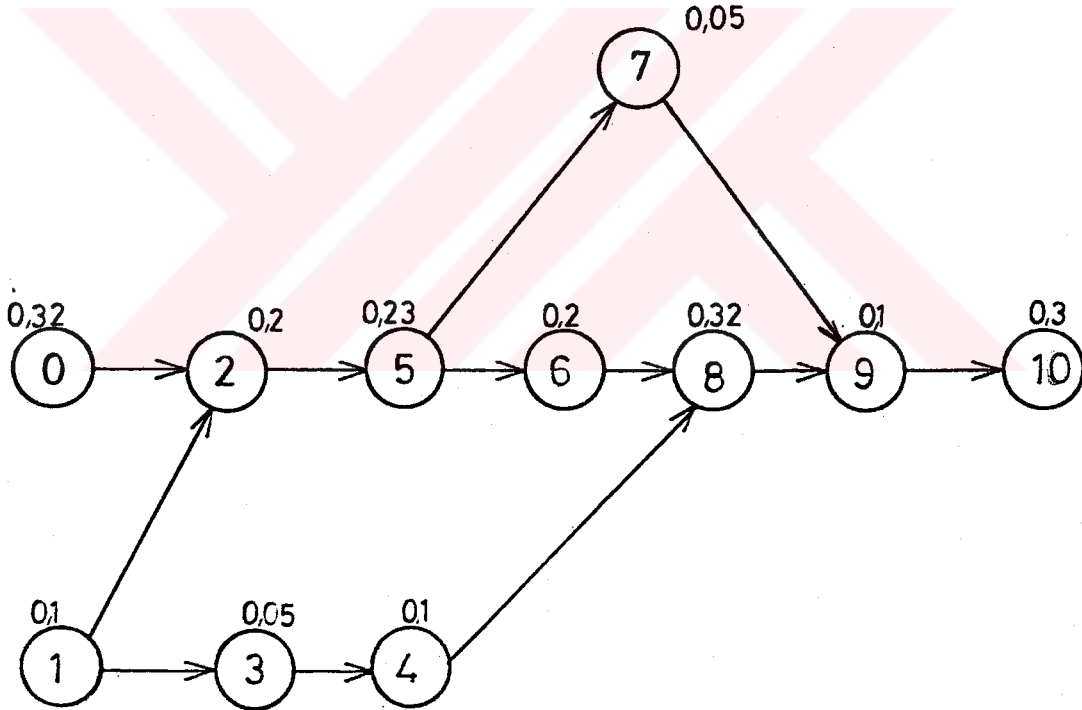
Elde edilen çözümün kontrolü verilen alternatif çözüm tekniğinin uygulanması ile elde edilir. Bu teknikte hattın sonundan başlanarak ve kurallar tersine uygulanarak "Ters Pozisyon Ağırlıkları" hesaplanır. Benzer adımların tekrarlanması ile elde edilen alternatif çözüm ilk çözüm ile karşılaştırılarak iki çözümden daha yakın olanı kullanılır.

Bu yöntem 1950'li yıllarda Helgerson ve Birnie tarafından General Electric Company'de geliştirilmiştir [17]. Diğer yöntemlere göre daha çabuk ve iyi çözümler veren, hızlı fakat yaklaşık yöntemdir. Her iş elemanına, kendisinden sonra gelen elemanların toplam süresinin

büyüklüğüne göre, ağırlık verilir. Burada amaç pozisyon ağırlığı büyük olana öncelik vermektir. Yöntemi şu örnekle açıklayalım:

11 işlemden oluşan bir mamulün öncelik diyagramı şekil 4.2.'deki gibi olsun. İşlem süreleri standart zamanı saat olarak verilmiştir.

1.ADIM : Her iş elemanının kendi işlem süresi ve kendinden sonra yapılacak işlemlerin sürelerinin toplanmasıyla ağırlıklar hesaplanır.



Şekil 4.2. Öncelik diyagramı [3]

Tablo 4.2. Öncelikli eleman diyagramı

Eleman No	Eleman Süresi(h)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Pozisyon Ağırlığı
0	0,32			1			+	+	+	+	+	+	1,72
1	0,1			1	1	+	+	+	+	+	+	+	1,65
2	0,2						1	+	+	+	+	+	1,40
3	0,05					1				+	+	+	0,87
4	0,1									1	+	+	0,82
5	0,23							1	1	+	+	+	1,20
6	0,2									1	+	+	0,92
7	0,05										1	+	0,45
8	0,32										1	+	0,72
9	0,1											1	0,40
10	0,3												0,30

2.ADİM: İ elemanları pozisyon ağırlıklarına göre büyükten küçüğe doğru sıralanır. Her elemandan önce yapılması gereken elemanlar belirtilir.

3. ADİM: Çevrim zamanı belirlenir; örneğimizde $C=0.55$ saniye alınmıştır.

4.ADİM: Yeniden sıralanan iş elemanları iş istasyonlarına atanır. Bir istasyona atanan iş elemanlarının sürelerin toplamı çevrim zamanını aşamaz. Atama yapılırken öncelik koşullarına dikkat edilmelidir. Eğer yukarıdaki iki kısıt bir işlem tarafından sağlanamıyorsa

Tablo 4.3. Pozisyon ağırlıkları sırasıyla elemanlar

Eleman No.	İşlem Zamanı	Pozisyon Ağırlığı	Öncelikli Elemanlar
0	0.32	1.72	-
1	0.10	1.65	-
2	0.20	1.40	0
5	0.23	1.20	2
6	0.20	0.92	5
3	0.05	0.87	1
4	0.10	0.82	3
8	0.22	0.72	4.6
7	0.05	0.45	5
9	0.10	0.40	7.8
10	0.30	0.30	9

bu eleman geçilir. Pozisyon ağırlığı daha az olan elemana geçilir. Bu işlemler bütün iş elemanlarına uygulanır. Sonuç tablo 4.4.'deki gibidir. Boş süre için istasyon süreleri ile çevrim zamanı farkı alınır.

Tablo 4.4. İstasyonlara elemanların atanması

İstasyonlar	İş elemanları	t_i	Boş süre
- 1 -	0,1,3	0.47	0.08
- 2 -	2,5,4	0.53	0.02
- 3 -	6,8	0.52	0.03
- 4 -	7,9,10	0.45	0.10

5.ADIM: Maksimum olanaklı etkinlik hesaplanır.

t_i = i iş elemanının işlem süresi,

C = Çevrim zamanı

n = Minimum istasyon sayısı iken;

$$n = \frac{\sum t_i}{C} \quad (4.9)$$

$$e = \frac{\sum t_i}{n \times C} \quad (4.10)$$

"e" maksimum etkinlik hesaplanır. Örneğimizde ;

$$n = \frac{0.197}{0.55} = 3.58 = 4$$

$$e = \frac{0.197}{4 \times 0.55} = 0.895$$

6.ADIM: Elde edilen olanaklı dengenin etkinliği bulunur.

m = Elde edilen istasyon sayısı iken;

"E" olanaklı denge etkinliği ve % denge kaybı bulur.

$$E = \frac{\sum t_i}{m \times C} \quad (4.11)$$

$$\% \text{ Denge kaybı} = \frac{nxC-t_1}{nxC} \times 100 \quad (4.12)$$

Örneğimizde;

$$E = \frac{0.197}{4 \times 0.55} = 0.895$$

$$\% \text{ Denge kaybı} = \frac{4 \times 0.55 - 0.197}{4 \times 0.55 \times 100} = 10.4$$

7.ADIM: Eğer $E < e$ ise, bazı elemanların yeniden düzenlenmesi gerekir. Bunu yaparken önce fazla süreli istasyonalar ele alınmalıdır.

Örneğimizde maximum etkinlik sağlanmıştır.

SPA yöntemi ile önce verilen çevrim zamanı için, gerekli minimum istasyon sayısı bulunmakta, sonradan aynı istasyon sayısını koruyarak, denge kaybını en aza indirmek için çevrim zamanı uygun şekilde kısaltılmaktadır.

SPA yönteminin bazı durumlarda eleştirilmesi mümkündür. Bütün bulgusal yöntemlerin verimliliği dene-
nerek veya simülasyon yolu ile bulunabilir. SPA'nın bir sakıncası ağırlıkların işlemlerin ilk atama sırasını ve diğer kısıtları bozmadan daha yüksek verimler elde etmek mümkündür. Bunun için istasyonları oluşturan işler önce yüksek pozisyon ağırlıkları olanları, hem de süresi en fazla olanlara yer verilerek yapılabilir. Böylece SPA ile bulunan bir çözümü yeniden geriye dönüp, inceleyerek geliştirmek mümkündür.

4.4. KILBRIDGE - WESTER YÖNTEMİ

Bu yöntem 1962 yılında, Kilbridge ve Wester tarafından geliştirilmiştir [18]. Bu yöntemin uygulanması için gerekli olan bilgiler; işlemler ve işlem süreleri, işlemler arası öncelik ilişkileri, teknolojik ve bölgeleme kısıtları ile arzu edilen çevrim zamanıdır.

Bu yöntem, ilk başlatılacak işlemlerin ilk kolona ve bunları izleyen işlemlerin diğer kolonlara atanması olarak özetlenebilir. Toplam kolon sayısı istasyon sayısının üst sınırını verir. Kolonlar içinde kalan işlemler, kendi aralarında yer değiştirebilir ve her işlem bulunduğu kolonun sağına kaydırılabilir. Bu transferler sonucunda en sayıda iş istasyonu ve en düşük denge kaybı elde edilmeye çalışılır.

9 iş elemanı olan bir üretim hattında işlerin öncelik ilişkileri ve işlem süreleri şekil 4.3.'de verilmiştir.

Çevrim zamanı, $C=16$ olduğuna göre hat dengelemesi aşağıdaki tablo 4,5 'deki gibi olur.

Tablodaki toplam zaman kolonu göz önüne alınarak istasyon zamanı $C = 16$ 'yu en yakın olan toplam zaman bulur. Bu değer 1. ve 2. istasyonların toplamı olan 22' dir. Kolon 1'deki işler 8 zaman bitirildiği ve kendilerinden önce yapılması gereken iş olmadığı için birinci istasyona atanırlar.

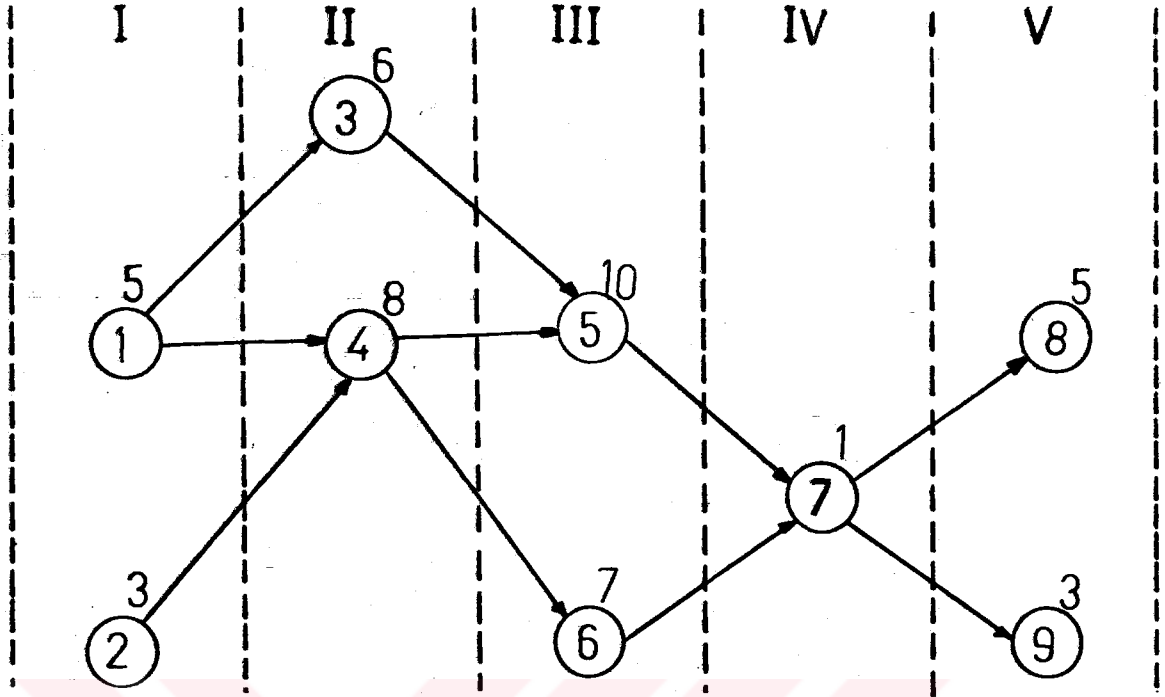
Bu durumda 1. istasyonda $C-8=16-8=8$ zaman birimi boş kalır. Kolon 2'de işlem zamanı 8'e yakın iş elemanı olup olmadığına bakılır. 4'cü iş elemanı uygundur.

Tablo.4.5. Başlangıç işlem atamaları -1:

Tablo Kolon No.	İşlem No.	Servis Zamanı	Toplam Zamanı
1	1 2	8	8
2	3 4	14	22
3	5 6	17	39
4	7	1	40
5	8 9	8	48

Böylece Kolon 1'deki 1 ve 2 nolu işler ile kolon 2'deki 4 nolu iş 1.nci istasyona alınır. Bu durum taplo 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.5'de toplam zaman kolonu $2 \times 16 = 32$ değerine en yakın toplamı bulmak amacıyla taranır. Kolon 3 için toplam zaman 39'dur. 3 No'lu işin 2.istasyona atanması ile $C-6 = 16-6 = 10$ zaman birimi boş kalır. Bu durumda 3. kolon, 10 zaman birimine en yakın işlem zamanı olan iş elemanları için taranır. 5 No'lu iş seçilerek 2. istasyona atanır. Bu aşamada tablo 4.7 hazırlanır.



Şekil 4.3. İşlem öncelik diyagramı

Tablo 4.6. İşlem Atamaları - 2:

Kolon No.	İşlem No.	İşlem Süresi	Servis Zamanı	Toplam Zaman
I	1	5	1. İstasyon	
	2	3		
II	4	8	16	16
	3	6	6	22 atanmış işler
III	5	10	17	39
	6	7		
IV	7	1	1	40
V	8	5	8	48
	9	3		

Tablo 4.7. İşlem Atamaları - 3

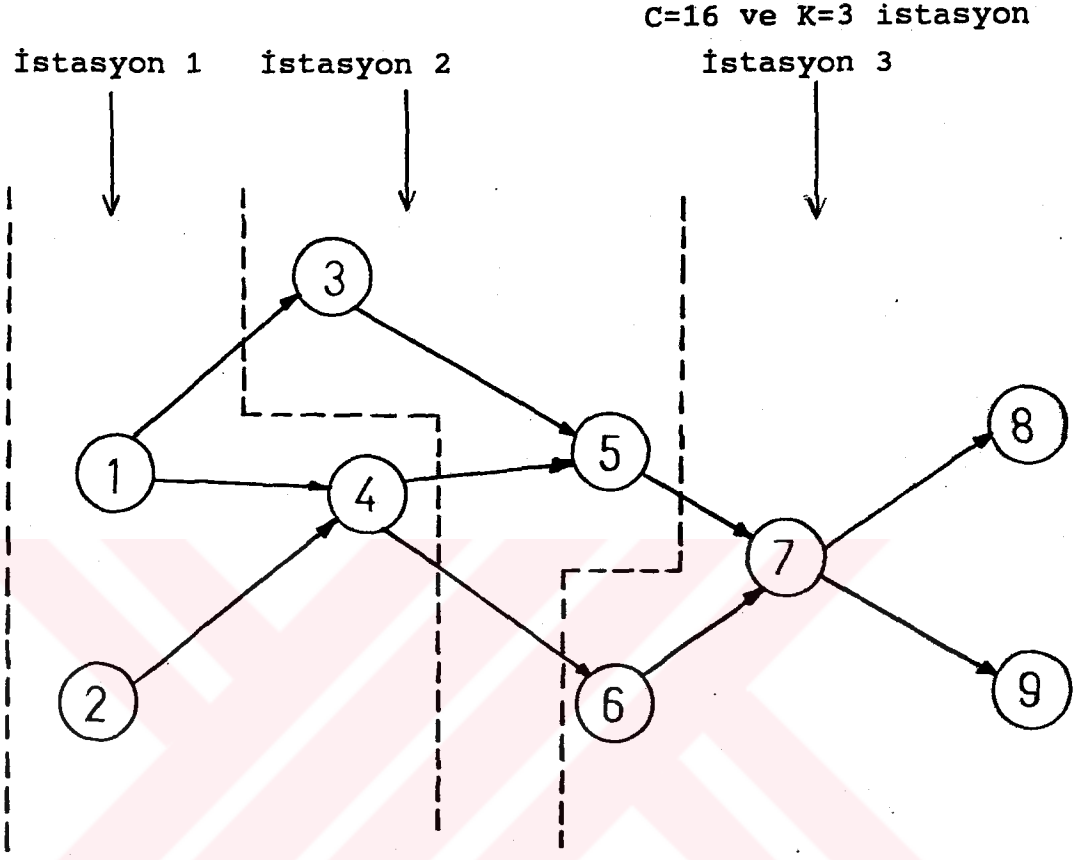
Kolon No.	İş Elemanı	İşlem Süresi	Servis Zamanı	Toplam Zamanı	
I	1	5			
	2	3	16	16	1. İstasyon
II	4	8			
	3	6			
III	5	10	16	32	2. İstasyon
	6	7			
IV	7	1	8	40	Atanmış
V	9	3	8	48	işler

3.İstasyona atama yapmak için önceki aşamalarda açıklanan işlemler tekrarlanır. Bütün atamaların son hali Şekil.4.4 'de verilmiştir.

Bu yöntemin uygulamasında şu noktalara dikkat edilmelidir :

1. Çözümler tek değildir. Bir istasyona alınan işlemler arasında sıralama yapılabilir. Bu hat yöneticisine iş akışıyla ilgili değişiklik yapma esnekliği verir.

2. Olanaklı olduğu durumlarda en uzun süreli işlerin ilk önce atanması yararlıdır. Bu kısa süreli işlerin daha rahat başka istasyonlara kaydırılmasını, çevrim zamanını aşmadan sağlar.



Şekil 4.4. Kilbridge ve Wester yöntemiyle örnek problemin en iyi çözümü

3. İstenen sıkıştırma süresinin iş istasyonundaki optimum süreye uymasını sağlamak için elemanlar seçilirken kolonlar arasında sıra değiştirme kullanılır. Yatay (sağa doğru) atamalar montaj hattı istasyonları boyunca iş elemanlarının yayılmasına yardım eder, böylelikle elemanlar sıkıştırma çözümü için en iyi sonuç verdikleri yerde kullanılabilirler.

4. Genelde çözümler tek değildir. Dağıtımları yapıldıktan sonra öncelik diyagramının bir kolonuna ait bir istasyona atanmış elemanlar genellikle kolon içerisinde sıra değiştirebilirler.

Uzun süreye gerek duyulan elemanların en uygun yerleştirmesi mümkünse ilk sırada yer almalarıyla sağlanır. Bundan dolayı süresi 20 olan bir eleman ile süresi 10 olan iki elemanın yerleştirilmesi (yerinin belirlenmesi) arasında bir seçim yapılacak ise öncelik uzun süreli elemanıdır. Aynı süreye gerek duyulan elemanların yerleştirmesi hattın sonundaki işlerliği kolaylaştırmak için sonraya bırakılır.

6. Elemanların sağa doğru atanmasında yapılabilen en iyi atama elemanı, diğer iş elemanlarının dikkate alınan eş istasyonuna en iyi şekilde yerleştirilebilmelerini sağlayabilmek için gerektiği kadar sağa doğru yapılandırmaktır.

4.5. MOODIE - YOUNG YÖNTEMİ

Moodie - Young, hem işlem zamanlarının değişken olduğu hem de sabit olduğu durumlarda işlem yapma olanağı sağlayan bu yöntemi geliştirmişlerdir.

Çok kullanılan yöntemlerden birisidir. Öncelik diyagramından hareketle, her elemandan önce ve sonra gelen elemanları oluşturan matris oluşturulur. Verilen çevrim zamanından hareketle, bu iki matristen yararlanarak istasyonlara atama yapılır. Bu yöntem ilk çözümü, daha iyi bir aşamaya getirme imkanını verir.

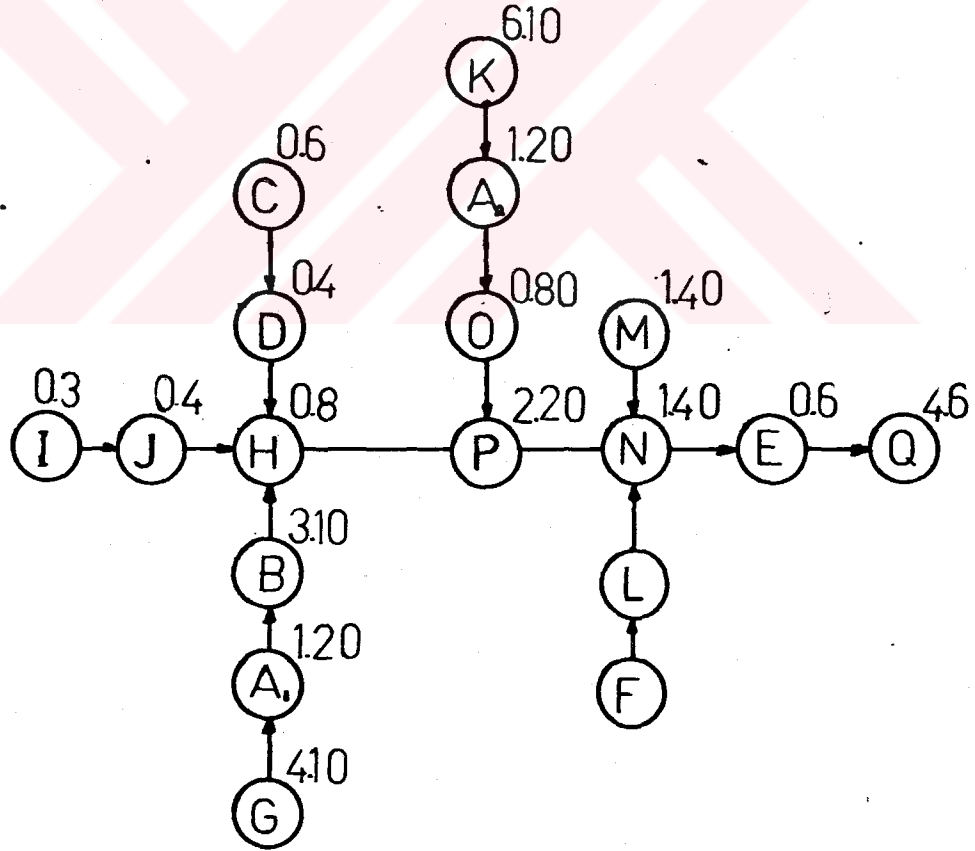
ST_{max} : Maksimum istasyon süresi

ST_{min} : Minimum istasyon süresi

$$HEDEF = \frac{ST_{max} - ST_{min}}{2} \quad (4.13)$$

ST_{max} 'ın olduğu istasyondan 2 x HEDEF'den küçük süreli elemanlar öncelik ilişkisini bozmadan, minimum süreli istasyonlara aktarılmaya çalışılır. Bu sayede, çevrim zamanı düşürülür ve aynı zamanda kat verimliliği yükseltilmiş olur.

Moodie - Young ile dengeleme genellikle optimum denge sağladığı gibi, aynı zamanda değişebilir zaman verilerinin dahil edilmesine ve bilgisayar ile çözümüne imkan verir. Yöntemi bir örnekle inceleyelim. Bir mamule ait işlemler ve standart zamanları ve öncelik ilişkileri Şekil.4.5 'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Öncelik diyagramı

Görüldüğü gibi bu mamulün montajı için gerekli toplam standart zaman 31.30 dakikadır. Saatte 9 adet mamulün üretimi planlanıyor. Buna göre ;

1. İşlemleri uygun biçimde gruplayarak montaj hattını oluşturan iş istasyonları tesbit edilir.

2. İstasyonların iş yüklerini, kayıplar minimum olacak şekilde dengelenmeye çalışılır.

İşlemlerin öncelik sıraları Şekil.4.5 'deki gibidir. Diyagramda A işlemi iki bölüme ayrılarak (A1,A2) gösterilmiştir. İşlemlerin herbirinin kendisinden önceki ve sonraki işlemler ve süreler tablo 4.8.'de verilmiştir. Bu tablo gruplama yapmak için yapılacak araştırmada kullanılır. Bir işlemden önce başka işlem bulunmaması halinde ikinci sütuna (-) konur. Başlangıçta aynı işaretleler sondaki sütuna konur. Böylece (-) taşıyan işlemler "elverişli" olarak nitelendirilirler. Gruplama için daha sonra tablo üzerinde şu işlemler yapılır:

1. Elverişli işlemler arasında en uzun olanı seçilir. Örnekte bu "K" 'dir .

2. "K" seçildiğine göre ondan sonraki işlem olan "A2" elverişli hale gelir. Bu kontrol sütununa (-) yazılır.

3. Yeni durumda elverişli işlemler arasında, K ile C arasındaki farkı kapatacak en uygun işlem zamanı olan işlem alınır. Örnekte bu "I" 'dır.

4. "I" 'dan bir sonraki işlem "J" olduğundan, "J" 'nin hizasında (-) yazılır.

5. "K" ve "J" işlemlerinin zamanları toplamını "C" 'ye eşitliyecek işlem olmadığından 1.istasyon tamamdır.

6. Tüm işlemler 2,3,4.... istasyonları için tekrarlanır.

Bu şekilde saptanan grupların belirlediği iş istasyonları ve kayıp süreler Tablo 4.9'daki gibidir. İş istasyonlarının kümülatif işlem süreleri ile "C" arasındaki farkların toplamı 2.07 dakikadır. Bulunan bu çözümün mümkün çözümler arasında en iyisi olup olmadığı yöntemin teorisine inilmeden söylenemez. Çok sayıda işlem-den oluşan karmaşık bir montaj hattının dengelenmesi için bu tekniğin bilgisayar yardımıyla kullanılması gerekmektedir.

Tablo 4.8. İşlemlerin zamanları ve öncelikleri (Liste C)

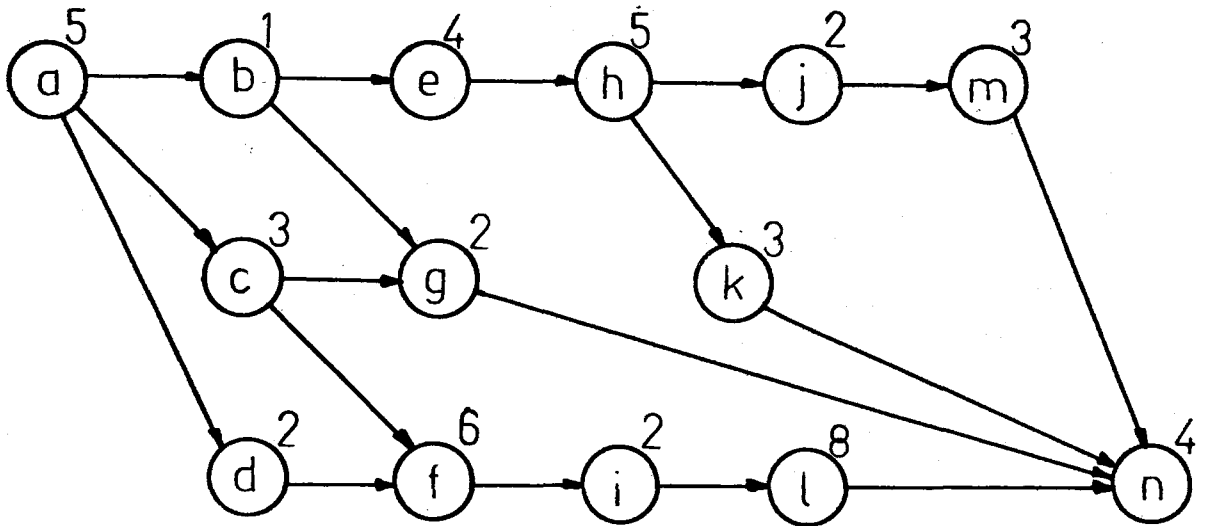
İşlemler (i)	Bir Önceki İşlem	Bir Sonraki İşlem	İşlem Süresi	Kontrol Sütunu
A ₁	C	B	1.20	
A ₂	K	O	1.20	
B	A ₁	H	3.10	
C	-	D	0.60	-
D	C	H	0.40	
E	N	Q	0.60	
F	-	L	1.80	-
G	-	A ₁	1.10	-
H	D,J,B	P	0.80	
I	-	J	0.30	-
J	I	H	0.40	
K	-	A ₂	6.10	-
L	F	N	2.30	
M	-	N	1.40	-
N	M,P,L	E	1.40	
O	A ₂	P	1.80	
P	H,Q	N	2.20	
Q	E	-	4.60	

Tablo 4.9. Onsekiz işlemin dengelenmesi.,

İstasyon	İşlemler	Kümülatif	
		Süre	Boş Süre
1	K,I	6.40	0.27
2	F,L,M,G	6.60	0.07
3	A,B,A ₂ ,C,D	6.50	0.17
4	O,J,H,P,N	6.60	0.07
5	E,Q	5.20	1.47

4.6. COMSOAL YÖNTEMİ

Montaj dengeleme yöntemlerinden biri olan Comsoal (Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines) 1965 yılında A.L. Arcus tarafından geliştirilmiştir [19]. Yöntemi aşağıda verilen 14 elemanlı bir montaj işlemi üzerinde açıklayalım.



Şekil 4.6. 14 Elemanlı montaj hattı

Çevrim zamanı $C = 10$

Adımlar :

1. Bütün iş elemanlarını içeren bir tablo oluşturulur. (Tablo.4.10)

Bu listenin birinci sütunu iş elemanlarını, ikinci sütunu kendisinden bir sonraki iş elemanlarını, üçüncü sütunu ise kendisinden bir önceki iş elemanlarının sayısını gösterir.

Tablo 4.10. Öncelik ilişkileri (Liste A)

İş Elemanı	Bir Sonraki İşler	Bir Önceki İşlerin Sayısı
a	bcd	0
b	eg	1
c	gf	1
d	f	1
e	h	1
f	i	2
g	n	2
h	jk	1
i	l	1
j	m	1
k	n	1
l	n	1
m	n	1
n	-	4

2. Kendisinden önce iş elemanı gelmeyen işlerden (Tablo.4.10 'da üçüncü sütunda 0 değerine sahip olan işler) yeni bir tablo oluşturur (Tablo.4.11)

Tablo 4.11. (Liste B)

Kendinden önce iş elemanı gelmeyen işler

a

3. Liste B 'den bir eleman rastgele olarak seçilir. Bu elemanların seçilme probabiliteleri eşit olabilir veya bazı kurallara uygun olarak saptanabilir. Seçilen bu elemanı iş istasyonuna atanır. Eğer istasyon süresi aşılyorsa, atama yeni bir istasyona yapılır.

4. Seçilen elemanı takip eden bir sonraki elemanların, bir önceki işlerin sayısını veren değerinden (Tablo.4.10 'da üçüncü sütun) 1 çıkar ve 0 değerine sahip olan elemanlar Tablo.4.11 'den çıkarılır.

3 ve 4. adımlar, bütün iş elemanları istasyonlara atanıncaya kadar tekrarlanır. Sonuç olarak rastgele üretilmiş uygun bir çözüm elde edilir. Aşağıdaki çözüm bu yöntemin uygulanmasıyla elde edilmiştir.

Başlangıçta tablo.4.11 'deki tek eleman a olduğundan dolayı, a, 1. istasyona atanır.

a'nın bir istasyona atanmasından dolayı b,c ve d elemanlarının bir önceki iş sayısı 1 azaltılır ve 0 değerine ulaştıklarında tablo.4.11 'den çıkarılır.

1. İstasyona a atandıktan sonra kalan boş süre 5 dir. Eğer tablo 4.11 'de kalan istasyon süresinden büyük eleman süresine sahip eleman varsa bunun seçilme probabilesi sıfırdır.

Tablo 4.12. Problemin Çözümü

İstasyon No.	İş Elemanı No.	Eleman Süresi	İstasyon Süresi	Atıl Süre
1	a	5	8	2
	b	1		
	d	2		
2	c	3	9	1
	f	6		
3	e	4	8	2
	g	2		
	i	2		
4	h	5	10	0
	k	3		
	j	2		
5	l	8	8	2
6	m	3	7	3
	n	4		

Burada böyle bir durum olmadığından b, c ve d eşit seçilme probabilitelerine sahiptir. b tesadüfi olarak seçilir.

Bu durumda e ve g'nin numaraları bir eksiltir, ve tablo 4.11'e ilave edilir ve b çıkarılır. Tablo 4.11 c,d ve e iş elemanlarına sahiptir. Bu elemanların süreleri kalan istasyon süresinden (4) ufak olduğundan seçilme probabiliteleri eşittir. Bunlar arasından biri (d) tesadüfi olarak seçilir.

Bu basit prosedür bütün elemanları içeren bir sıralama yapılana kadar tekrarlanır. Elemanlar bundan sonra istasyonlara 1,2,3 vb. atanacaklardır. Her istasyonun çevrim zamanı başka hiçbir eleman yerleştirilemeyecek kadar kısaltıldığında, bir sonraki eleman bir sonraki istasyona dahil edilecektir. Dengelemede kullanılan istasyon sayısı belirlenmiş ve önceki en iyi dengeleme ile kıyaslanmıştır. Yeni dengelemenin daha iyi olan yönü, öncekine göre kompüterde saklanabilir olması dolayısıyla olası çözümleri içeren oldukça geniş bir çözüm seti oluşturarak, iyi bir montaj hattı dengelemesinde başarılı olma olasılığını yükseltmesidir.

Arcus bu esas prosedürü B listesinden hareketle içinde istasyonlardaki zamanı aşmayan süreli elemanların bulunduğu bir C listesi oluşturup, iş elemanları tesadüfi olarak bu listeden seçmeye başlayarak geliştirdi. Daha sonraki gelişme tamamen tesadüfi seçimin yapıldığı C listesinden elemanları seçmek için birbirine bağlı veya ağırlıklı örnekleme prosedürünün kullanılmasıyla gerçekleşir.

Arcus aynı zamanda çözüm tamamlanmadan ortaya çıkan boş istasyon zamanı bir önceki çözümdeki boş istasyon zamanını aşarsa işlemin tamamlanmadan durdurulmasını da sağlamıştır.

4.7. MONTAJ HATTI DENGELEMEDE YENİ YAKLAŞIMLAR

Yapılarına baktığımız zaman pratikte kullanılan montaj hatlarının oldukça farklı olduğunu görürüz. Örneğin tek bir montaj hattı üzerindeki hızlar değişik olabilir. Bu nedenle hattın dengelenmesi için daha farklı yöntemler gerekecektir. Akla ilk gelen pratik yaklaşım,

ara stoklar ile çevrim süresinin durumunu dengelemektedir. Bu konuda yapılmış teorik çalışmalara rastlanmamaktadır. Bu çalışmalarda stokastik dengeleme modelleri geliştirilmiştir.

Üretilen mamul sayısının artması, sadece montaj hattının tasarımı bakımından değil, aynı zamanda yönetim problemleri bakımından da zor durumlar yaratır. Birden fazla modeli olan mamulün montaj imalatı böyle oldukça güç bir yönetim sorunudur. Eğer bir firma birden fazla modeli olan bir mamulü bir tek montaj hattından yararlanarak yapmak isterse, bunun için iki çeşit çözüm önerilebilir. Modelleri sıra ile aynı hatta yapılır veya hat aynı anda değişik model veya üretilecek ürün için kullanılabilir (karışık modellenli hat).

Akış hattı tekniklerinin kullanımı başta ürün çeşidinin az olduğu veya olmadığı üretimlerde söz konusudur, ancak ürün çeşidindeki herhangi bir artış sadece daha karmaşık düzenlemelere ve işletme problemlerine sebep olmakla kalmaz aynı zamanda kaçınılmaz surette operasyon (üretim) verimini azaltır. Müşteri talebini ve diğer firmalarla rekabeti arttırmak bir firmanın rasyonalize üretimini sınırlar ve sonuç olarak da örneğin motorlu araç montaj hatları basit ve standart ürünlerin ayrı ayrı üretimlerine bölünmüştür ki buna benzer durum bir çok sanayi kolunda söz konusudur. Karma model veya karma model hatları bundan dolayı kullanılmalı ve buna göre belirlenmelidir.

4.7.1. Karma Model Hattı

Belirli bir zaman aralığında bir model parti halinde üretilir. Arkadan diğer modellere geçilir. Modeller birbirine hiçbir şekilde karıştırılmazlar. Bu çeşit

bir planlamada aşağıdaki ana karakterlerin verilmesi gereklidir.

1. Hat nasıl dengelenecektir?
2. Üretim partilerinin hacmi ne olacaktır?
3. Partiler hangi sıra ile yapılacaktır?

Çok modelin aynı hatta sıra ile yapımının tasarımı, çok sayıda modelin aynı hatta birlikte yapımından daha kolay bir problemdir. Hat, ayrı ayrı mamuller için veya aynı mamulün çeşitli modelleri için tasarlanabilir. Tasarım, önceliğı olan model için hazırlanabilir, diğersleri için gerekli düzeltmeler yapılır.

Çeşitli modellerden oluşan bu partilerin optimum imalat sırasının belirlenmesi pek doğal olarak montaj hattının üretime hazırlanması maliyeti ile ilgilidir.

Model üretim için hattı (diyagramı) oluşturmak, karma model üretimler için akış hattı oluşturmaktan daha kolaydır. Karma modelde birkaç değişik ürün veya aynı ürünün değişik çeşitleri olabilir, ama her iki durumda da değişik modeller veya ürünler için aynı olmamakla beraber benzer üretim işlemleri gereklidir ; zaten aynı işlemler söz konusu olsaydı aynı montaj hattı üzerinde üretilebilirlerdi.

Uygulamada hat bir model için kurulur, sonra ilk kurulan hatta ikinci bir modelin istenen miktarının üretilebilmesi için ayarlamalar yapılır ve böylece devam ederek tam modellere göre ayarlamalar sırasıyla yapılır. Bundan dolayı problemi 1,2 ve 3 kararlarına göre önceden tasarlanmış şekliyle ayrı ayrı montaj hatlarının birleştirilerek hattın oluşturulması şeklinde düşünülebilir.

Değişik modellerin miktarları için optimum üretim sıralaması açıkça görüleceği gibi montaj hattı kurma maliyetinden etkilenir. Hat kurmanın toplam maliyeti, makina ve teçhizatın değiştirilmesi bunların tekrar yerleştirilmesi ve makina-emek boş süreleri diğer maliyetleri içerir ve önceki modellerin yapısından etkilenir. Bundan dolayı problem verilmiş bir periyodik zaman için model miktarlarına göre sıralama önemsiz olacaktır.

Çoğunlukla miktar sıralama probleminin çözümlenebilmesini sağlayan cazip ve kolay bir teknikte doğrusal programlama tekniğinin uygulanmasıdır. Tablo 4.13 'de ki matris model çiftleriyle oluşturulan hat kurma maliyetini gösterir.

Tablo 4.13. Çiftli modelden oluşan hat kurma maliyeti

İzleyen Model				
Maliyet	A	B	C	D
A	0	100	150	80
B	50	0	100	75
C	80	40	0	110
D	115	100	60	0

Matrisdeki sayılar öncelikli bir modelin üretim için uygun bir montaj hattını, değiştirerek izleyen model içinde uygun hale getirmenin maliyetidir. Matrisin köşegeni 0 değerini alır, çünkü bu sıralama hiçbir hat kurma değişikliği içermez. Köşegen üzerindeki elemanlar hat kurma maliyetinin en düşük olduğu noktayı belirlemek istememize rağmen üzerlerine çok yüksek değerlerde maliyetler eklenerek de olsa çözüm için dikkate alınmazlar.

Bu yerleştirme probleminin cözümü tablo 4.14 de gösterilmiştir. Cözüme göre minimum hat kurma maliyeti için, D modeli A modelini, A modeli B modelini, B modeli C modelini ve C modelide D modelini izlemelidir.

Tablo 4.14. Yerleştirme problemi için en düşük maliyetli cözüm.

İzleyen Model				
Maliyet	A	B	C	D
A	920	20	70	0*
B	0*	950	50	25
C	40	0*	960	70
D	55	40	0*	940

4.7.2. Karışık Model Hattı

Bu durumda ise modeller karıştırılır. Öyle karıştırılırki karıştırma oranı ile belirli bir zaman süresi içinde her bir modele olan talep miktarı karşılana-bilir hale gelir. Bu tür modellerin uygulanması günümüzde özellikle otomobil üreten kuruluşlarda sıkça görülebilir.

Bu çeşit üretimin planlanmasında ise aşağıdaki kararların verilmesi söz konusu olabilir.

1. Hat nasıl dengelenecektir?
2. Modeller hangi sıra ile devreye girecektir?

Bu tip üretim modelinin avantajı, teorik olarak mamul stokuna fazla gereksinim olmadan üretimin düzgün bir akış çerçevesinde yönlendirilmesidir. En önemli dezavantajı ise modellerin benzer işlemler içermelerinden ötürü ortaya çıkan, düzensiz iş akışı dolayısıyla boş istasyon zamanları ve/veya istasyon önlerinde yarımamul birikimlerdir. Şüphesiz olarak bu tip hat dengeleme en karmaşık dizaynları ve işlem problemlerini içerir. Gerçekten de bu tür problemlerin bazıları öyle karmaşıktır ki; bunları çözebilmek için bilinen analitik teknikler bile yetersiz kalmaktadır. Çözümü sağlayabilecek teknikler ise henüz geliştirilememiştir.

Belirli araştırmalar yapılmış olmasına rağmen bu tür tekniklerin geliştirilebilmesi için daha tatmin edici işletme tekniklerine gereksinim duyulmaktadır. Bu konuda yapabildiğimiz durumu çözümü bilinen problemlerdeki şekile benzeterек, bu durumda önerilmiş çözümleri kısaca açıklamakla yol gösterici olmaktır. Hem hat dengeleme hem de model sıralama problemlerine aynı anda çözüm bulmak zor olmaktadır. Hattı dengelerken model sıralaması yapmaya çalışma durumu karmaşıklaştırmaktadır. Bazı firmalar kendi özel üretimleri için hat dengeleme ve sıralama problemlerini çözümleyebilecek bilgisayar programları geliştirmişlerdir, ancak bunlardan hiçbirisi genel anlamda kullanıma elverişli değildir.

Karmaşık model montaj hatları için hat dengeleme birçok basit model için dengeleme problemi olarak dekka-te alınabilir. Şöyleki her model ayrı ayrı değerlendirilir ve işlemler istasyon arasında mümkün olduğu kadar eşit dağıtılırsa problem karmaşıklıktan kurtulur ve çözüm elde etme olasılığı artar. Benzer iki ürün olan A ve B nin montajı için kurulmuş bir hattı düşünelim. A modelinin iş elemanları istasyonlara en uygun şekilde atanmış ve dolayısıyla A'nın yapıldığı süreç içinde denge

kaybı minimize edilmiş yani en düşük noktaya indirilmiş olsun. Benzer olarak, B modelinin iş elemanları da B'nin montajı sırasında denge kaybını minimize edecek şekilde iş istasyonlarına atanmış olsun. Ürünlerin zencezir yapıya sahip olmaları, dolayısıyla montajlarının benzer işlemler içermeleri bu tür sistemlerin genel olarak uygulanabilir ve verimli olmalarını sağlar. Ayrıca bu tür hatta çalışan işçiler birbirine benzediğinden her iki modelin üretimi içinde çalışabilirler. Diğer taraftan temel yapıları benzemeyen farklı iki model ürünün montajı için, birbirinden bağımsız ve farklı iş elemanları ve hat dengeleme çözümleri gerekmektedir. Örneğin; farklı iş oluşuna sahip olabilir, değişik işlemler içerebilir, vb. Dolayısıyla iş elemanlarının iş istasyonlarına atanmalarında değişik çözümler gerektirir.

Yukarıdaki durumu ele alalım A ve B modellerinin montajı aynı hat üzerinde yapılacaktır. A modeli daha önce şekil 4.2. de değindiğimiz hattın ürünü ve B modelinde farklı olmasına rağmen A modeli ile benzer birçok iş elemanını gerektiren bir ürün olsun.

Her iki modelin iş elemanları arasındaki öncelik ilişkileri Şekil 4.7. de gösterilmiştir.

İş elemanları

Model A (200 adet/hafta) 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10

Model B (100 adet/hafta) 1,2,3,4,5,7,8,11,12,

13,14,15,16,17

Görüldüğü gibi 1., 3., 4., 7., 8. ve 9. elemanlar her iki model montajından ortak olarak içerdikleri iş elemanlarıdır.

Bu şekilde düzenlenmiş olan montaj hattında denge kaybı % 5.1'dir. 0., 5., 8., ve 10. elemanların işlem süreleri (Haftalık iş istasyonlarının haftalık işlem sürelerinden büyüktür. Dolayısıyla iş istasyonlarının birleştirilebilmesi için böyle bir denge kaybına katlanmak gerekmektedir.

Tablodaki değerle haftalık üretim için kurulan hattın iyi bir şekilde dengelendiğini ve böyle bir hat içinde % 5.1 değerindeki denge kaybının elde edilebilecek en iyi sonuç olduğunu göstermektedir.

Ancak bu tekniğin, başarılı sonuç verdiğini unutmamak gerekir. Modelleri tek tek hatta sokmak yerine partiler halinde soktuğumuzda verim oranı düşer. Örneğin A modeli parti halinde montaja girdiğinde 1, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15. istasyonların işlem kapasitesini dolduracaktır.

Aynı şekilde B modelinin de parti halinde hatta sokulması (montaja alınması) 2, 3, 4, 5, 6, 7, 13 ve 14. istasyonların kapasitesinin çoğunu dolduracaktır.

Model A ve Model B sadece istasyonlar arası tampon stoklar oluşabilecek şekilde dengelenmiş bir hat üzerinde birlikte üretilebilirler. Özellikle bu koşul sağlandığında Tablo 4.16 daki verimli bir deyişle bu "birleşik" hat dengeleme tekniği;

1) Partiler halinde olmayan ama birlikte üretilen modeller ve

2) Farklı iş elemanları içeren ve benzer işlemlerin ayrı istasyonlara veya istasyon gruplarına atanmalarının istendiği hat dengeleme problemlerinin çözümü için faydalıdır.

Tablo 4.15. İki modelli montaj hattı dengeleme problemi için ön veriler.

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)
İş Elemanı		Eleman İşleme		Toplam	Haftalık İşlem Süresi	Pozisyon Ağırlığı
İş Elemanı No.	İşlem Süresi (saat)	Alma A	Sayısı B		(saat) -569	(Toplam Sürelere göre)
0	0.32	200	0	200	64	411
1	0.10	200	100	300	30	463
2	0.10	200	0	300	40	347
3	0.05	200	100	300	15	292
4	0.1	200	100	300	30	277
5	0.23	200	0	200	46	307
6	0.2	200	0	200	40	246
7	0.05	200	100	300	15	125
8	0.32	200	100	300	96	206
9	0.1	200	100	300	30	110
10	0.3	200	0	200	60	60
11	0.1	0	100	100	10	167
12	0.15	0	100	100	15	157
13	0.17	0	100	100	17	142
14	0.08	0	100	100	8	61
15	0.07	0	100	100	7	53
16	0.13	0	100	100	13	46
17	0.20	0	100	100	20	20
18	0.13	0	100	100	13	13

Tablo 4.16. İki modellenli montaj hattı dengesi

İstasyon No.	İş Elemanı No.	Haftalık İşlem Süresi (saat)	Haftalık Süre İçin (40) Saat Boş İstasyon Zamanı
1	1	30	10
	11	10	0
2 ve 3	0	64	16
	3	15	1
4	2	40	0
5 ve 6	5	46	34
	4	30	4
7	6	40	0
8,9 ve 10	8	96	24
	12	15	9
	14	8	1
11	13	17	23
	7	15	8
	15	7	1
12	9	30	10
13 ve 14	10	60	20
	16	13	7
15	17	20	20
	18	13	7

Karışık modellenli montaj hatlarının verimli olabilecek şekilde dizaynı ve işlenmesi şu iki problemin çözümüne bağlıdır. Bunlar konunun başında da belirtildiği gibi;

- 1) Hat dengeleme problemi ve
- 2) Model sıralama problemidir.

Genel olarak hala yeterli derecede tatminkar bir çözümü bulunamamış olan ikinci problem, modelin hatta nereden sokulacağı ve sırasıyla hangi modelin hatta gireceği ve hat boyunca gideceğidir. Böyle bir sıralamanın amacı montaj hattının en verimli şekilde işlenmesini sağlamaktır. Hattın en verimli şekilde işlenmesi ise boş istasyon zamanının minimuma indirilmesi ve hat boyunca yığılmaların en düşük noktada tutulmasına bağlıdır (mamul bekleme).

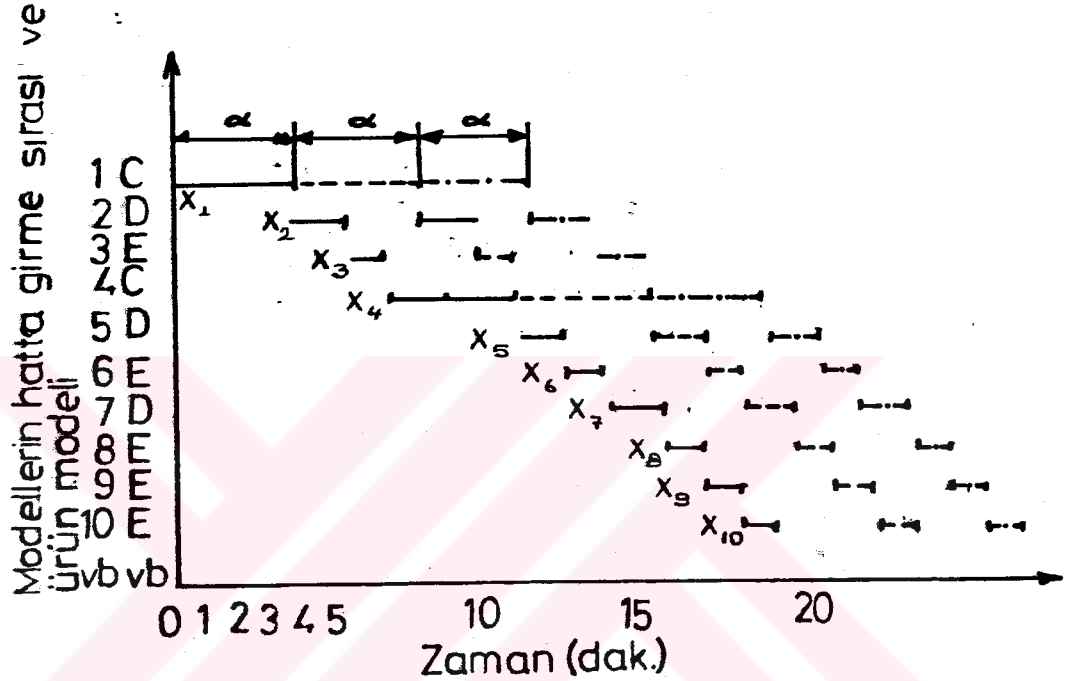
Modellerin hatta girdikleri (girecekleri) noktanın belirlenmesinde kullanılan teknikler

- 1) Değişken oran tekniği ve
- 2) Sabit oran tekniğidir.

Değişken oran tekniğine göre değişik miktarlarda hatta sokulan modeller için ilk hatta giren modelin istasyon çevrim zamanı bunu izleyen modelin işleme alınma anından başlayarak hat boyunca içerdiği toplam işlem süresine eşittir. Örneğin; C, D ve E modellerinin iş istasyonları çevrim zamanı sırasıyla 4, 2 ve 1 dakika olarak hesaplanmıştır. Değişken oran tekniğine göre modellerin montaj için hatta girme durumlara Şekil 4.8'de gösterildiği gibi düşünülebilir.

Şekilden de açıkça görülebildiği gibi herhangi bir birimin montajı için işe başlanan istasyonla bunu

izleyen istasyonlar arasındaki zaman (α) en uzun çevrim zamanına eşittir. Buradan da daha kısa istasyon çevrim zamanlı modellerin montajı sırasında önemli miktardaki mamulün beklediği sonucuna varılır.



- x_i = i modelinin hatta girme zamanı
 = i modelini izleyen istasyonda işe başlama zamanı
 α = Birinci istasyondaki iş
 = İkinci istasyondaki iş
 = Üçüncü istasyondaki iş

Şekil 4.8. Üç model ürünün üç istasyonlu bir montaj hattına değişik oranlarla sokulması

Mamul bekleme süresini minimuma indirmek için model sıralama tekniğiyle, istasyondaki boş kalan zamanın çevrim zamanı ile olan bağıntısını dikkate alarak bekleme sürelerini istasyonlara eşit şekilde dağıtmaya çalışmak kaydıyla sonuç alınabilir.

Bekleme süresi hatta öncelikle kısa çevrim zamanlı modellerin alınması ile kısaltılabilir. Ama bu uygulama sadece modelin toplam miktarının tamamının üretimi mümkünse başarılı sonuç verir. Örnek olarak Şekil 4.9 da görüldüğü gibi C, D ve E modellerinin montafının yapıldığı bir hatta bekleme süresini düşük tutmak ancak C modelinin hatta alınması gereken noktaya kadar mümkündür.

Uygulamada değişken oran tekniği hat üzerinde birbirleriyle bağlantılı işlemlerin birbirlerine göre ayarlanarak düzenlemeleri gereken yerlerde önemli dezavantajlara sahiptir.

Örneğin hat boyunca hatta belirli noktalardan malzeme sürülmesi veya değer bir / birkaç hattın söz konusu hatla birleşmesi durumunda tekniğin uygulanması güçleşir. Böyle durumlarda bağıntılı işlemler dikkatle incelenerek planlanmalı ve değişken oranlar ayarlanarak kontrol altında tutulmalıdır. Genelde sabit oran tekniği daha tercih edilebilir bir tekniktir. Bu tekniğe göre birimler hatta düzenli aralıklarla (y) sokulur.

Şekil 4.10'da açıkça görüldüğü gibi birimlerin sabit-oran tekniğine göre hatta alınma zamanları (y) hatta kendisinden önce alınmış olan birim veya modelin zamanından (c) büyük olamaz. Aksi takdirde boş istasyon-süreleri ortaya çıkar ki bu istenmeyen bir durumdur.

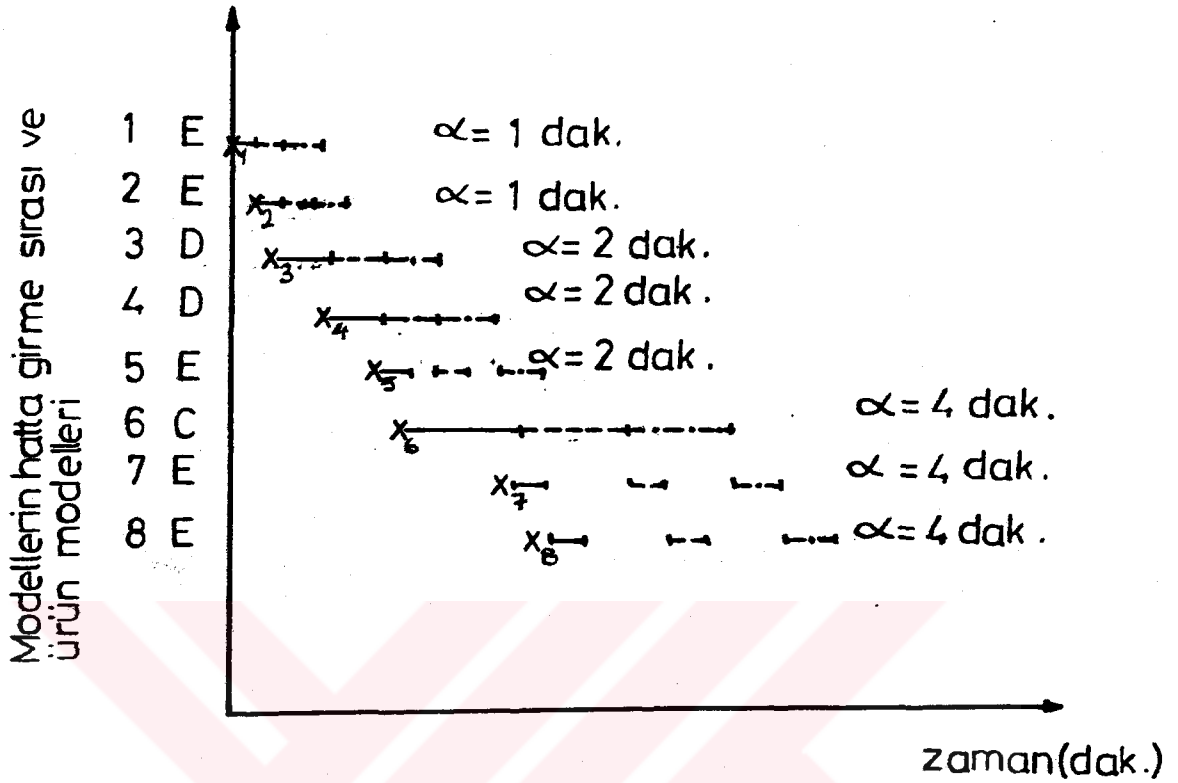
$$y \leq C_1$$

Benzer olarak;

$$2y \leq C_1 + C_2 \quad (4.15.a)$$

$$3y \leq C_1 + C_2 + C_3 \quad (4.15.b)$$

$$4y \leq C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \quad (4.15.c)$$



Şekil 4.9. C modelinin hatta girmesiyle mamul bekleme zamanındaki artış

$$m_y \leq C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_m \text{ dir.} \quad (4.15)$$

Buradan hareketle koşullar yeniden aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$Y < C_1$$

$$Y < \frac{C_1 + C_2}{2} \quad (4.16.a)$$

$$Y < \frac{C_1 + C_2 + C_3}{3} \quad (4.16.b)$$

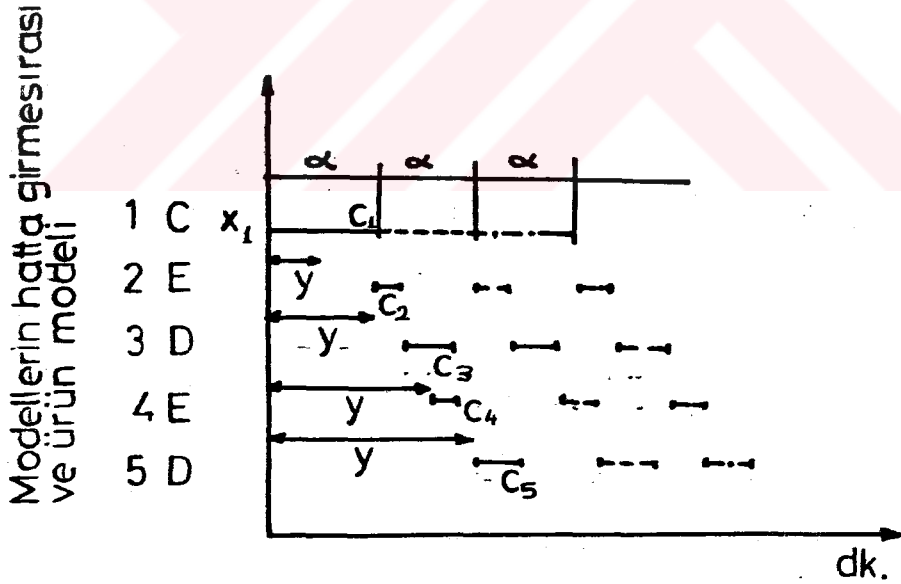
$$Y < \frac{C_1+C_2+C_3+C_4}{4} \quad (4.16.c)$$

$$Y_m < \frac{C_1+C_2+C_3+\dots+C_m}{m} \quad (4.16)$$

Eğer boş istasyon süreleri istenmiyorsa tüm eşitlikler sağlanmalıdır.

Aynı zamanda Şekil 4.10. da şunu da görebilmekteyiz. Bir istasyondaki birimin işe başlama zamanı (α), en uzun istasyon çevrim zamanına eşit olduğundan optimum değerindedir.

$$\alpha_{\text{optimum}} = C_{\text{maksimum}}$$



Şekil 4.10. - Üç istasyonlu montaj hattına sabit oranlı model sokulması (birim).

(Y) 'nin optimum değeri ise;

N_j = J model için gereken miktar

C_j = J model için çevrim zamanı

$$Y_{\text{optimum}} = \frac{\sum N_j C_j}{\sum N_j} \text{ 'dir} \quad (4.17)$$

Hat üzerindeki boş istasyon zamanlarına ve iş yığılmalarını önlemek için her birimin hatta alınmasında şu koşulun sağlanması gerekmektedir.

$$0 \leq \left(\sum_{h=1} C_h \right) - iy \leq \alpha - Y \quad (4.18)$$

C_h : Çevrim zamanı

Genel olarak aynı anda hem boş istasyon zamanlarını hem de iş yığılmalarını önlemek imkansızdır.

Ancak modeller dikkatle sıralanır ve yukarıdaki koşul şimdi belirteceğimiz koşulla birlikte gerçekleştirilebilirse sonuç alınabilir. Doğru bir sıralama yapılabilmesi için hatta giren her birim girdiği nokta incelemeye değerlendirilmelidir. Örneğin boş istasyon zamanının kalmasını önlemek ve iş yığılmalarını minimuma indirmek için, modellerin / birimlerin hatta girdiği her noktada, başka ve deyişle her i.adımda aşağıdaki k değerinin minimum olduğu nokta hesaplanmalıdır.

$$k = (C_h - iy) \quad (4.19)$$

Yukarıda değinilen durumları bir örnekle de açıklamak mümkündür: A, B ve C bir hat üzerinde birlikte

üretilen 3 ayrı model mamuldür. Belirli bir periyoda göre verilmiş gerekli miktarlar ve çevrim zamanları aşağıdaki Tablo 4.17'deki gibidir.

Tablo 4.17. Modellerin miktar ve çevrim zamanları

Model j	İstenen Miktarlar N_j	Model Çevrim Zamanı C_j
A	60	0.5
B	110	0.6
C	55	0.8

Tablo 4.17'deki verilere göre:

$$Y = \frac{\sum N_j C_j}{\sum N_j} = \frac{30+66+44}{60+110+55} = 0.62$$

Birimler hatta düzenli aralıklarla (i.y) sokulmalıdır. Bu düzenli aralığın (sürenin) çevrim zamanları toplamına eşit değilse bile mümkün olduğu kadar yakın bir değerde olması çözümün verimli olmasını sağlar.

Sonucun belirtildiği Tablo 4.18'de de görüldüğü gibi optimum model sıralaması arka arkaya tekrarlanan C-A-B-B-B sırasına göre yapılmıştır. Ancak bu sıralama hattın sonuna kadar devam etmeyecektir. B modelinin tüm birimlerinin montajı bittiğinde (110 adet), C modelinden 37, A modelinden ise 36 adet üretilmiş olacak ve hatta

bu iki model kalacaktır. 55 adet C modeli üretimi tamamlandığında ise A modelinden hatta girecek olan 6 adet daha A modeli birimi kalacaktır.

Tablo 4.18'de görüldüğü gibi (a) kolonunda $[a-y]$ ($=0.18$) değerinden büyük bir değer olması halinde iş istasyonu ya da işçi ya birimle ilgili montajı daha çabuk yapmak için zorlanacak, ya da birim bir sonraki istasyona işlemi tamamlanmamış olarak geçecektir. Bundan dolayı, karışık modellerde bu gibi sorunların ortaya çıkmasını önlemek için modeller montaj olanakları ile talep edilen birim miktarları birarada incelenerek yapılan bir sıralamaya göre alınır.

Tablo 4.18. Modellerin belirli aralıklarla hatta girmeleri

Birim i	i.y	Model	Çevrim Zamanı	i $\sum_{h=1} C_h$	(a) i $(\sum_{h=1} C_h) - iy$
1	0.62	C	0.8	0.8	0.18
2	1.24	A	0.5	1.3	0.06
3	1.86	B	0.6	1.9	0.04
4	2.48	B	0.6	2.5	0.02
5	3.10	B	0.6	3.1	0.00
6	3.72	C	0.8	3.9	0.18
7	4.34	A	0.5	4.4	0.06
8	4.96	B	0.6	5.0	0.04
9	5.58	B	0.6	5.6	0.02
10	6.20	B	0.6	6.2	0.00
11	6.82	C	0.8	7.0	0.18
12	7.44	A	0.5	7.5	0.06
13	8.06	B	0.6	8.1	0.04
14	8.68	B	0.6	8.7	0.02
15	9.30	B	0.6	9.3	0.00
16	9.92	C	0.8	10.1	0.18
17	10.54	A	0.5	10.6	0.06
18	11.16	B	0.6	11.2	0.04
19	11.78	B	0.6	11.8	0.02
20	12.40	B	0.6	12.4	0.00
21	13.02	C	0.8	13.2	0.18
22	13.64	A	0.5	13.7	0.06

Modellerin hatta giriş sırasının, dengeleme esnasında elemanların tahsisi ve üretimin etkinliğine çok önemli etkisi vardır. Bu etki iki şekilde gerçekleşir. Birincisi, elemanların ağırlık ve sırası, elemanların model listesinde olma sıklıklarına göre belirlenmektedir. İkinci olarak, en etkin istasyon tahsisi seçildiğinde, ortalama kayıp veya kullanılmayan zaman, tahmini model listesinde elemanların görünme sıklığının bir fonksiyonu olacaktır. bu yüzden montaj hattı tahmini bir model giriş sırasıyla dengelendiğinde, gerçek piyasa koşullarında talebin değişiminden dolayı farklı model sıralamasıyla karşılaşılabilir. Buda hat verimliliğinin düşmesine sebep olabilecektir.

Denge gecikmesinin yükselmesi ile hatta daha az iş elemanına sahip modeller daha etkin hale gelecektir. Buna karşın daha çok iş elemanına sahip modellerin hat dengesine ve verimliliğine etkisi azalır. Görüleceği gibi model giriş sırasının hat verimliliğine etkisi değişim derecesi ve modellerin iş elemanı sayısı olmak üzere iki açıdan olur.

5. HAT DENGELEME VE SİMÜLASYON

5.1. SİMÜLASYON KAVRAMI

Simülasyon, gerçek bir sistemin modelini tasarlama süreci ve sistemin işlemesi için sistemin davranışlarını anlamak veya değişik stratejileri değerlendirmek amacı ile bu model üzerinde de denemeler yapmaktadır. Model kurma ve modelin analitik olarak kullanımı, simülasyon sürecini oluşturur [20]. Aşağıdaki koşullardan bir veya bir kaçını bulduğunda simülasyon yapılmalıdır [21].

1. Problemin tam bir matematik formülasyonu mevcut değildir veya matematik modelin analitik yöntemlerle çözümü henüz bulunamamıştır. Çoğu bekleme hattı (kuyruk) modelleri bu grupta yer alır.

2. Analitik yöntemler çözüm için elverişlidir, ancak matematik yöntemler çok karmaşıktır.

3. Analitik çözümler vardır ve kullanılabilir, ama problem üzerinde çalışanlarda bu bilgiler yoktur.

4. Belirli parametrelerin tahmin edilmesi için simülasyona baş vurulduğu gözlenmiştir.

5. Deneme yapma açısından simülasyon tekyol olabilir.

6. Sistemin veya süreçlerin davranış karakteristiklerini ortaya koymak zaman gerektirebilir.

İleri düzeyde bulunan ülkelerde yapılan araştırmalar simülasyonun en fazla kullanılan teknikler arasında olduğunu göstermektedir. Başarılı simülasyon modellerinin geliştirilmesi pahalı, zaman alıcı ve hüner gerektirir.

Gerçek sistemlerin davranışlarını araştırmak için kullanılan simülasyon çalışmalarının aşamaları aşağıda verilmiştir [21] :

1. Sistem tanımı : Sistemin sınırlarını, kısıtlarını ve etkinlik ölçüsünü belirleme aşamasıdır.

2. Modeli formüle etme : Sistemi soyutlamak veya indirgemek için mantıksal bir akış diyagramına aktarma işlemidir.

3. Veri derleme : Modelin gerektirdiği verileri tanımlama ve onları kullanabilecek ölçülere indirgeme aşamasıdır.

4. Modelin dönüştürülmesi : Simülasyon yapılacağı bilgisayarın diline modelin tercüme edilmesidir.

5. Modelin geçerliliğini araştırma : Modelin güven seviyesini kabul edebilir hale getirme ve gerçek sistem hakkında modelden yorum yapma aşamasıdır.

6. Stratejik planlama : İstenilen bilgiyi sağlayacak olan bir denemenin tasarımıdır.

7. Taktik planlama : Tasarımı yapılan denemede tanımlanan koşullara ait testlerin nasıl yapılacağının belirlenmesidir.

8. Deneme : İstenilen veriler ile simülasyonu gerçekleştirme ve duyarlılık analizlerini yapma aşamasıdır.

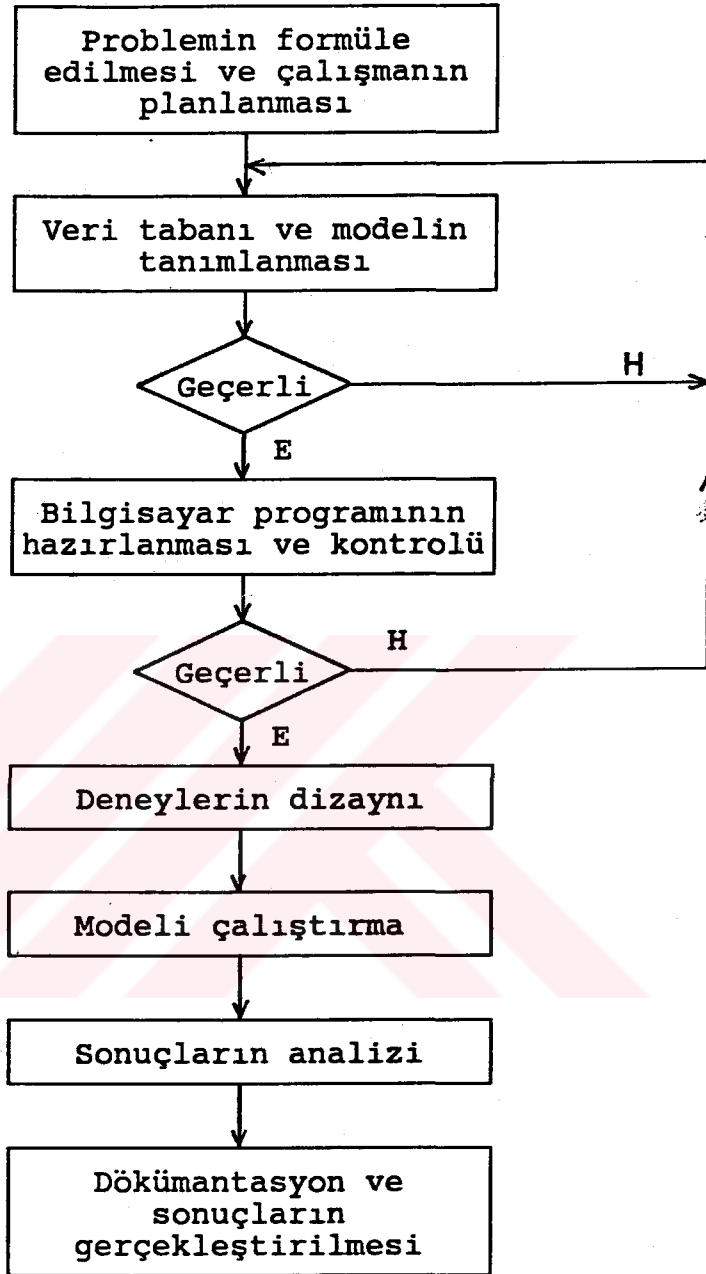
9. Yorum : Simülasyon sonuçlarından çıkarımda bulunma aşamasıdır.

10. Uygulama : Modeli ve sonuçlarını kullanıma koymaktır.

11. Belgeleme : Proje faaliyetlerini raporlama ve modeli, kullanımını dökümanete etme aşamasıdır.

Modelin geçerliliği aşamasında, model reddedilirse tekrar modelin formüle edilmesi aşamasına dönülür. Bu nedenle simülasyon çalışmalarında daima geriye dönüş (feedback) mümkündür. Modelin geçerliliği ve sonuçların güvenilirliği açısından bu şarttır. Bir sistem simülasyon çalışmasının mantıksal akış şeması şekil 5.1. de verilmiştir.

Günümüzde, montaj hattı ve diğer üretim sistemlerinin planlanması, dizaynı ve incelenmesi aşamalarından kullanılmak üzere, özel amaçlı ve yüksek seviyeli simülasyon dilleri geliştirilmiştir. FORTRAN gibi genel amaçlı programlama dili kullanılması, tüm ayrıntıların programlanması için aşırı kapsamlı bir simülasyona neden olmaktadır. Buna rağmen GPSS, SIMSCRIPT, SIMPAC, DYNAMO ve GASP gibi genel simülasyon dilleri kolayca kullanılabilir. Bu özel diller, bilgisayar simülasyon modellerinde gerekli ayrıntıların çoğunda programcayı serbest bırakır veya ona yardımcı olur. Genel amaçlı simülasyon dillerinin sınıflandırılması şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Simülasyon akış şeması

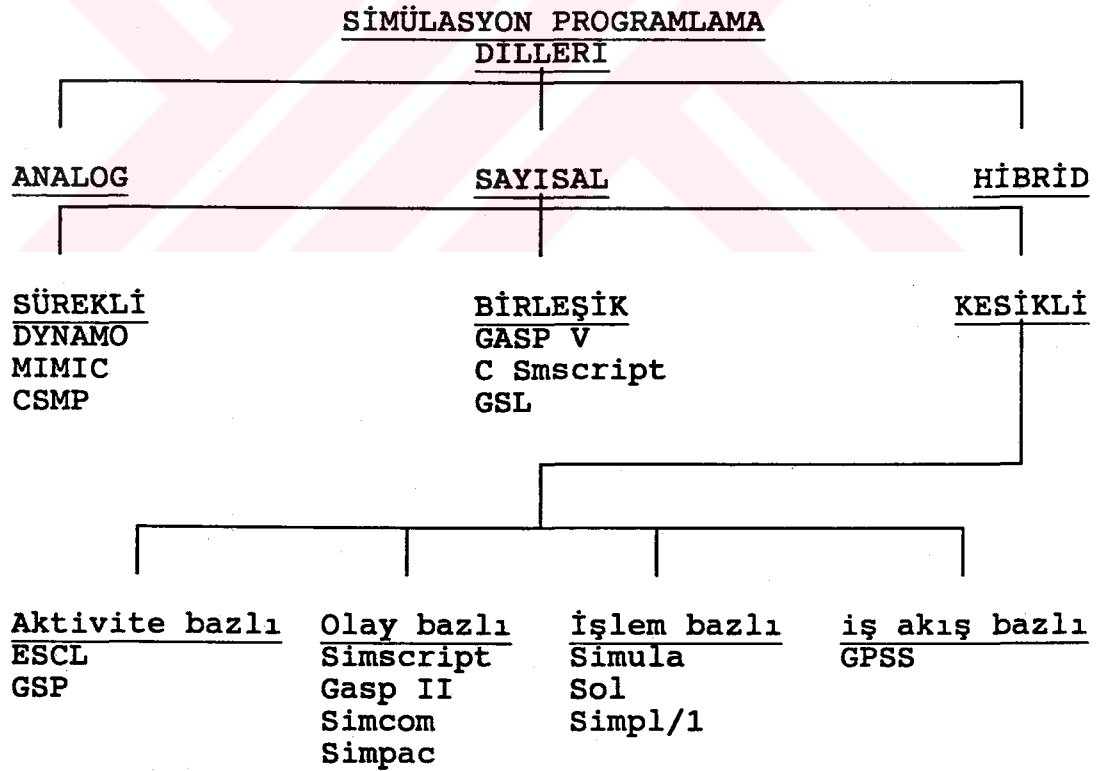
Simülasyonda, gerçek bir sistemin modeli kurularak, modelin zaman içinde çalıştırılması ve bu model üzerinde denemeler yapılması amaçlanır. Denemelerle gerçek bir sistemden önce, model çalıştırılarak, gerçek sistemin yapısındaki değişimler izlenir. Bu nedenle problemin tam bir matematik formülasyonunun veya

çözümünün bulunamadığı, analitik yöntemlerle çözümünün bulunabildiği fakat çok karmaşık olduğu, bazı parametrelerin tahmin edilmesine ek olarak parametrelerin gerçek sistemdeki değişiminin izlenmesi istenildiği durumlarda simülasyon kullanılır.

5.2. SİMÜLASYON TEKNİĞİNİ KULLANMANIN FAYDA VE SAKINCALARI

Simülasyonun Faydaları :

1. Simülasyon modeli kurulduktan sonra, farklı durumların analiz için istenildiği kadar kullanılabilir.



Şekil 5.2. Simülasyon dilleri

2. Simülasyon yöntemleri, sistem verilerinin detaylı olmadığı durumlarda elverişlidir.

3. Simülasyon modeli üzerinde daha sonra yapılacak analiz için veri, çoğu kez gerçek hayatta olduğundan daha ucuz elde edilir.

4. Simülasyon, bir sistemdeki dahili karmaşık etkileşimleri (interactions) etüd etme ve bunlar üzerinde deney yapma olanağını sağlar.

5. Simüle edilen sistemin ayrıntılı gözlemi, (-ki sistemi simüle ederken yapılması gerekli işlemlerden biridir.-) daha iyi anlaşılmasını, daha önce görülmemiş eksikliklerin giderilebilmesini, daha etkin fiziksel ve operasyonel sistemin kurulmasını sağlayabilir.

6. Simülasyon, değişik koşullar altında sistemin nasıl olacağı hakkında çok az veya hiçbir veriye sahip olmadığımız yeni durumlar üzerinde deney yapma amacıyla kullanılabilir.

7. Simülasyon analitik çözümlerin doğruluğunu gerçeklemek üzere kullanılabilir.

8. Simülasyon analistleri daha genel düşünmeye zorlar.

9. Simülasyon ile dinamik sistemlerin gerçek zamanı, daraltılmış veya genişletilmiş süre içinde incelenebilir.

Simülasyonun sakıncaları :

1. Bir sistemin bilgisayar simülasyonunu kurmak ve geçerli olduğunu ispatlamanın maliyeti çok yüksektir.

Genel olarak herbir sistem için ayrı bir program yazma gereği vardır. Simülasyon dilleri bu mahsurları bir dereceye kadar ortadan kaldırmıştır.

2. Kurulan bir simülasyon programının bilgisayarda çalıştırılması çok zaman alabilir Bunun ise maliyeti yüksektir.

3. Araştırmacılar simülasyon tekniğini öğrendikten sonra onu analitik yöntemlerin daha uygun olduğu durumlarda da kullanma eğilimindedirler.

4. Makina ve diğer arızalar, sisteme etki eden önceden belirlenemeyen çeşitli dış etki ve bozucu faktörlerden dolayı incelenen sistemin yapısı deterministin olmaktan çıkar ve stokastik olma eğilimi baş gösterir. Bu nedenle simülasyon çıkış analizinde, olayların incelenmesinde ve güvenilirlik sınırlarını belirlemede uzmanlık gerekir.

5.3. MONTAJ HATTI VE SİMÜLASYON MODELLERİ

Bu bölümde, motaj hatları için kurulmuş olan simülasyon modelinin karakteristikleri ele alınacaktır. Simülasyon çalışmalarının en önemli aşaması modelin kurulmasıdır. Kurulan modelin geçerlilik testlerinden olumlu netice alındıktan sonra diğer ileri aşamalara geçmek mümkündür. Bazı simülasyon çalışmalarında, modelleme için harcanan zaman tüm çalışmanın önemli bir kısmını işgal edebilmektedir.

Modeller, çeşitli varsayımlar sebebiyle sistemleri gerçek durumlarından soyutlar. Çok karmaşık modelleri çözmek imkansız olduğu gibi, aşırı basitleştirilmiş modellerle elde edilecek sonuçlar sağlıklı olmayacaktır.

Bu noktada geçerli olan kriter-amaçlarımıza uygun hassaslıkta modelin kurulması olmalıdır.

Montaj hattı sistemin bileşenleri şunlardır; istasyonlar, yarımamul stok alanları, işlenmekte olan modeller, istasyonlarda çalışan işçiler, taşıyıcılar v.b. elemanları. Model içinde bu elemanların hepsinin öngörülmesi, modelin karmaşıklığını arttırır. Bu durumda çözüm zorlaşır, hatta imkansızlaşır. Bu noktadan yola çıkarak, modelin kapsamına, iş istasyonları, modelin istasyonlar arasında taşınması, işlenmesi, montajı ve ayrıca arıza, bekleme, istasyonların boş beklemeleri dahil edilir. İstasyonların yerlerinin değiştirilmesi, taşıma hızlarının değiştirilmesi (taşıma yöntemi değişikliği) imkanı sağlanır. İş istasyonları, ürün montajının kademeli olarak gerçekleştirildiği bölümler olarak tanımlanır ve sayı bakımından bir kısıtlama getirilmez.

Modelin istasyonlarda akışında, ilk istasyondan itibaren, ana gövdeye parçalar monte edilir veya gerektiğinde ek işlemler yapılarak son montaj istasyonunda tamamlanmış model hattı terkeder. Modelin hatta girişinde iki alternatif yol gözönüne alınır. Birinci alternatif ilk istasyon boşaldığı an, yeni bir modelin hatta verilmesi, ikinci alternatif yol ise, her çevrim zamanı sonunda yeni modelin hatta girmesidir. İkinci durumda, yine de ilk istasyonun boş olup olmadığının kontrolü yapılır.

İstasyonlararası taşıma süreleri ve maliyetleri modelde dikkate alınır. Her istasyonun, bir önceki istasyonla olan mesafesi istasyon bilgileri dosyasına kaydedilir. Herbir iki istasyon çifti arasındaki taşımanın hızı değişkendir. Sözü edilen hız, taşıma metoduna bağlıdır. Taşıma süresi, taşıma hızı ile mesafenin çarpımına eşittir. Modelde taşıma maliyeti kavramı, birim

uzunluktaki maliyet olarak kabul edilir. İstasyonlararası mesafeler değiştirilerek, mümkün çözümlerin etkinliği test edilir.

Modelin istasyonlar arası akışı sırasında herhangi bir ara istasyonda işlem tamamlandığında, bir sonraki istasyon boşalmışsa, diğer istasyona geçilir. Aksi halde, bir sonraki istasyonda işlem tamamlanıncaya kadar ürün o istasyonda bekletilir. Tersi durumda ise, istasyonun boş beklemesi söz konusu olur. İş istasyonlarına üretim süreci boyunca yarımamul ve iş parçası sevkiyatı olacaktır. Bu sevkiyatın istasyonları besleyecek ve aşırı stoklar oluşturmayacak düzeyde olması gerekir.

İstasyonların yerleşimi konusunda, belirli bir kısıtlama getirilmemiştir. Ancak bir hat boyunca dizilmiş iş istasyonlarına sahip montaj hatları model için daha uygundur. İstasyonların konumu taşıma süreleri ve maliyetlerini etkileyecektir. Model, istasyonlararası mesafeleri, maximum hat uzunluğu kısıtı altında değiştirmek imkanı vermektedir.

Ana gövdeye monte edilecek iş parçalarının iş istasyonlarına sevk hızı aşırı düzeyde stok oluşturmaya-
cak veya gecikmelere sebep olmayacak düzeyde olmalıdır. Kurulan modelde yeterli stok alanlarının olduğu ve yarımamul sevkiyatının çalışmasını etkilemediği kabul edilir.

İstasyonlar arasında ürünün taşınmasında değişik taşıma sistemleri olabileceği gibi, aynı taşıma sistemi tüm hatta kullanılabilir. Aynı sistem uygulansabile istasyonlararası taşıma hızları farklılık gösterebilir. Sabit hat hızına sahip, konveyör sistemleri, hat çevrim zamanının bitiminde veya sürekli olarak tüm hat olarak hareket ederler. Bu tür taşıma sistemine sahip hatlarda, düzgünlük indeksinin çok küçük olması gerekir.

Simülasyon modeli kurulurken, mümkün olduğu kadar genel amaçlı olmasına özen gösterilir. Modelde kısıtların belirlenmesi kullanıcıya bırakılmıştır. Birçok bakımdan kurulacak montaj sistemine esneklikler getirilmiştir. İstasyon sayısı, iş elemanı sayısı, hat uzunluğunda bir üst sınır yoktur. Ancak kullanıcı, başlangıç çalışma koşullarını belirlerken, kendi istediği kısıtları koyabilir. Bu kısıtlar simülasyonun ileri aşamalarında değiştirilebilir.

Simülasyon modelinin veri tabanı, başlangıç koşulları, model ve iş istasyonları bilgilerinden oluşmaktadır. Bu bilgiler ekran biriminden etkileşimli oluşmakta ve dosyalara kaydedilmektedir. Bu sayede, simülasyon modeline esneklik kazandırılmış olmaktadır.

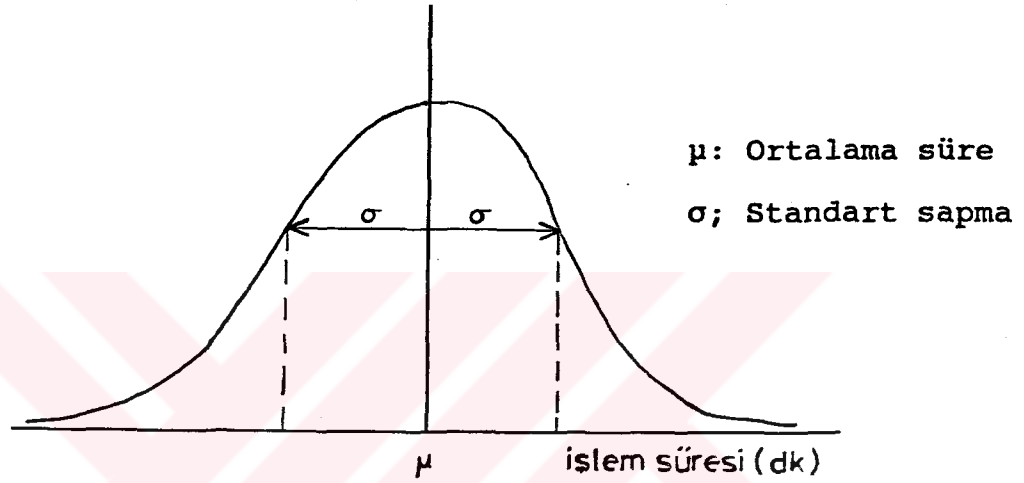
Başlangıç koşulları, modelin diğer bilgilerine baz ve temel oluşturur. Maximum istasyon sayısı, maximum hat uzunluğu, ürünün hatta girişinde seçilen alternatif, arıza durumunun dikkate alınıp alınmaması, güvenlik düzeyi, çevrim zamanı simülasyonun başlangıç koşullarıdır. Maximum istasyon sayısı kurulacak istasyon sayısını kısıtlar. İstasyonlararası uzaklıkların toplamı hat uzunluğu limitini aşmamalıdır. İstasyonlara yapılan iş elemanları atanmaları, güvenlik düzeyi kısıtına uymalıdır.

Simülasyon esnasında, arıza durumlarının dikkate alınıp alınmayacağı önceden belirtilir. Arızaların hat verimliliğini düşürücü, denge kaybını arttırıcı etkisi olacağı muhakkaktır. Arızalarla ilgili yeterli veri olmaması bizi arızaları ihmal etmeye zorlayabilir.

İş elemanlarına ait bilgiler, ürün modelleri dosyasının içeriğini oluşturur. Her yeni, ürün modeli için, yeni bir dosyanın yaratılması gerekir. İş elemanlarına ait ortalama iş süreleri, varyansları ve önceki

iş elemanları dosyanın bir kaydı olacaktır. Modelde işlem sürelerinin normal dağılıma uyduğu kabul edilir.

Teknolojik, bölge ve diğer kısıtlar, öncelik diyagramının yapısını belirleyen faktörlerdir. İstasyonlara yapılan atamalar ve elemanların pozisyon ağırlıkları, bu diyagramdan hareketle belirlenir.



Şekil 5.3. İşlem süresi dağılımı

Bir istasyona atanmış olan iş elemanlarının ortalama sürelerinin ve varyanslarının toplamı, istasyon işlem süresinin ortalaması ve varyansı olacaktır. Normal dağılıma uyan rassal değişkenlerin toplamının da normal dağılıma uyması bunun çıkış noktasıdır. Matematiksel olarak ifade edersek ;

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$: normal dağılıma uyan rassal değişkenler,

μx_i : i. rassal değişken,

$\text{Var}(x_i)$: i. rassal değişkenin varyansı,

$x = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_N$ ise

$\mu x = \mu x_1 + \mu x_2 + \mu x_3 + \dots + \mu x_N$

$\text{Var}(x) : \text{Var}(x_1) + \text{Var}(x_2) + \dots + \text{Var}(x_N)$ olur.

Güvenlik düzeyi olarak genelde % 50, % 75, % 90, % 95, % 99 alınır. Seçilen güvenlik düzeyinin, istasyonlara yapılan atamalara sınırlayıcı etkisi vardır. Güvenlik düzeyi anlam olarak, çevrim zamanı süresi içinde işlemlerin tamamlanma ihtimali olarak ifade edilebilir. Bu tür hat dengelemeye, probabilistik hat dengeleme denir.

İstasyonlara yapılan atamaların güvenlik düzeyi testi aşağıdaki aşamalardan oluşur.

1. Seçilen güvenlik düzeyine, standart normal dağılıma karşı gelen z (standart normal değişken) bulunur.

Güvenlik düzeyi

z

% 50

0.0

% 75

0.608

% 90

1.209

% 95

1.605

% 99

2.303

2. T_c : Çevrim zamanı (dk).

μ : İstasyon ortalama süresi (dk).

σ : İşlem süresinin standart sapması,

$$z_g = \frac{T_c - \mu}{\sigma} \quad \text{hesaplanır} \quad (5.1)$$

3. Eğer $z_g \geq z$ güvenlik düzeyi sağlanır. Aksi halde güvenlik düzeyi aşılmış olur.

İstasyonun ortalama süresi ve varyansından hareketle her yeni işlenecek ürün için, rassal işlem süreleri üretilir. Üretilen süreler, t üretilen süre olmak üzere, $\mu - 2\sigma \leq t \leq \mu + 2\sigma$ aralığı için kalmaktadır. Normal dağılıma uygun süre üretilmesi şu şekildedir.

$0 \leq R_i \leq 1$ R_i : rassal sayı

$$z = \left(\sum_{i=1}^{12} R_i \right) - 6 \text{ bulunur.} \quad (5.2)$$

Bu yöntemle elde edilen z değerleri standart normal dağılıma uyar.

$$t = \mu + z\sigma \text{ bağıntısıyla süre üretilir.} \quad (5.3)$$

(5.3) Bağıntısından da görüleceği gibi σ 'sı sıfır olan istasyonlarda işlem süresi sabit kalacaktır.

6. UYGULAMA

6.1. TANITIM

Çalışmanın bu bölümünde, otomotiv yan sanayii olarak çalışan bir işletmede üretilen iki ana mamulün seri ve verimli olarak imal edilebilmesi için gerekli montaj hattı dengeleme çalışmaları yer almaktadır.

Mamullerini, ana otomotiv sanayii kuruluşlarına mamul olarak ve piyasa ihtiyacı için yedek parça olarak üreten işletmede artan otomotiv sanayi üretimi ve yüksek piyasa yedek parça talebi nedeniyle kapasite yetersizliği ve terminlerin zamanında karşılanamama sorunu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle üretim kapasitesinin arttırılması açısından montaj hattı kurma ve dengeleme çalışmalarının önemli katkısı olacağı öngörülmektedir.

Bu çalışmada ele alınan mamuller (modeller) mevcut üretimin miktar olarak önemli bölümünü kapsamaktadır. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de de görüleceği gibi montaj aşamasında yer alan işlemlerinin çoğu her iki mamulde de ortaktır. Sonuç olarak her iki mamulünde aynı hat üzerinde üretilmesi hat kurma maliyetleri ve verimli çalışma açısından önemli faydalar sağlayacaktır.

İşlem benzerlikleri ve ortak işlemlerin çokluğu nedeniyle hattın değişik mamuller için hazırlanması kolay ve hazırlık maliyeti düşük olacaktır. Böylelikle mamullerin aynı montaj hattı üzerinde partiler halinde üretilmesi sonucu sabit maliyetler düşecektir.

Montaj hattının kurulması ve işlemler bölünerek, istasyon sayısı arttırılarak, metod etüdü çalışmaları yapılarak veya bunlar gibi üretim hızını arttırıcı çalışmalarla kapasite yeterli hale gelebilecektir. Ancak gerek imalatının durmaması açısından ana sanayi kuruluşlarının talebinin zamanında karşılanabilmesi ve piyasa talebinin termini içinde üretilip satılabilmesi, müşteri kaybı ve pazar payının düşmesinin önlenmesi açısından çok önemlidir.

Mevcut terminlerin zamanında karşılanabilmesi için bu durumda mamul üretim ve sevkiyat periyodlarının daralması gerekecektir. Bu da değişik mamul partilerinin hatta daha sık girmesi ve üretilecek belli mamul partilerinin miktarlarının azalması durumunu ortaya koymaktadır. Değişik partilerin hatta daha sık olarak girmesi, montaj hattı hazırlama ve montaj öncesi hazırlık çalışması maliyetlerini arttırmaktadır.

Bu nedenle bu çalışmada modellerin hatta çok daha küçük miktarlarda girmesi ve bir karmaşık model hattı kurulmasının terminlerin karşılanması, hattın daha verimli olarak çalışması açısından getireceği yararlar olup olmayacağı incelenecektir.

İncelenen mamullerin üretildiği işletmede montaj imalatı, diğer yan sanayilerde fason olarak üretilen parçaların temini, kalite kontrolü, hatta sokulması ve bu parçaların hat üzerinde montajı, kontrolü ve ambalajlanması şeklinde gerçekleştirilmektedir. Üretim programı günlük teslimatlarda ve bunu belirleyen siparişlere göre oluşturulmaktadır. Bu nedenle hatta meydana gelecek arıza ve aksamalar termin programını önemli ölçüde aksatmaktadır. Üretilen mamullerin bir kısmı, ana sanayi kuruluşlarında montaj hattına sokulmakta, kalanı ise satış şirketi vasıtasıyla bayilere ve piyasaya yedek parça olarak sunulmaktadır.

6.2. TEK MODEL MONTAJ HATTI

Mamullerin montaj hattına yüksek miktarlı partiler halinde girmesi öngörülerek hattın her mamul için tek mamul montaj hattı olarak değerlendirilmesi mümkündür. Her iki mamul için de montaj hattı dengelemesi yapılırken hatta herhangi bir aksama olmayacağı öngörülmüştür. Her iş elemanına ait taşıma süreleri, işlem sürelerine dahil edilmiştir. Montaj hattı dengeleme çalışması her iki mamul için ayrı ayrı sıralı pozisyon ağırlığı yöntemine göre yapılmıştır.

İş elemanlarına ait işlem süreleri iş ve metod etüdü çalışmaları sonucu tespit edilmiş ve elde edilen değerlere göre ortalama işlem süreleri ve varyansları tespit edilmiştir. Elde edilen ortalama süre ve varyans değerlerinin bu çalışma boyunca normal dağılıma uyacağı varsayılmıştır. Her iki incelenecek model için 23 iş elemanı mevcuttur. Bu iş elemanlarının 18 adedi ortaktır. Diğer 5 iş elemanının değişkenliği model konstrüksiyon ve performans özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Çevrim süresi olarak ise hat üzerinde üretilecek tüm değişik tipteki modellere olan toplam tahmini ortalama talep gözönüne alınarak 44.5 sn tespit edilmiştir.

Her iki modelin montaj hattı üzerindeki akışının dengelenmesi için aşağıdaki aşamalar gerçekleştirilir.

Her iş elemanının işlem zamanı ve kendinden sonraki iş elemanlarının işlem zamanlarının toplamı olan pozisyon ağırlıkları bulunur.

İş elemanları tanımlanır ve pozisyon ağırlıkları dikkate alınarak bu elemanlar büyükten küçüğe doğru sıralanır. Ayrıca her iş elemanından önce yapılması gereken işler belirtilir ve öncelik diyagramı oluşturulur.

Pozisyon ağırlıklarına göre sıralanmış olan iş elemanları öncelik ilişkileri ve çevrim zamanı gözönüne alınarak iş istasyonlarına atanır. Kurulan denge ve yapılan iş atamalarına göre performans kriterleri tespit edilir.

Yapılan hesaplamalar ve değerlendirmeler sonucu tespit edilen verilerle modellere ait öncelik diyagramları Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de, işlem tanımları, varyanslar, işlem zamanları, pozisyon ağırlıkları ve öncelikli elemanlar Tablo 6.1 ve Tablo 6.2'de yer almaktadır. İstasyonlar, istasyonlara atanan işler, bu işlerin toplam süre ve toplam varyansları ve boş süreler Tablo 6.3 ve Tablo 6.4'de verilmiştir.

Bu işlemler sonucu elde edilen performans kriterleri aşağıdaki gibidir.

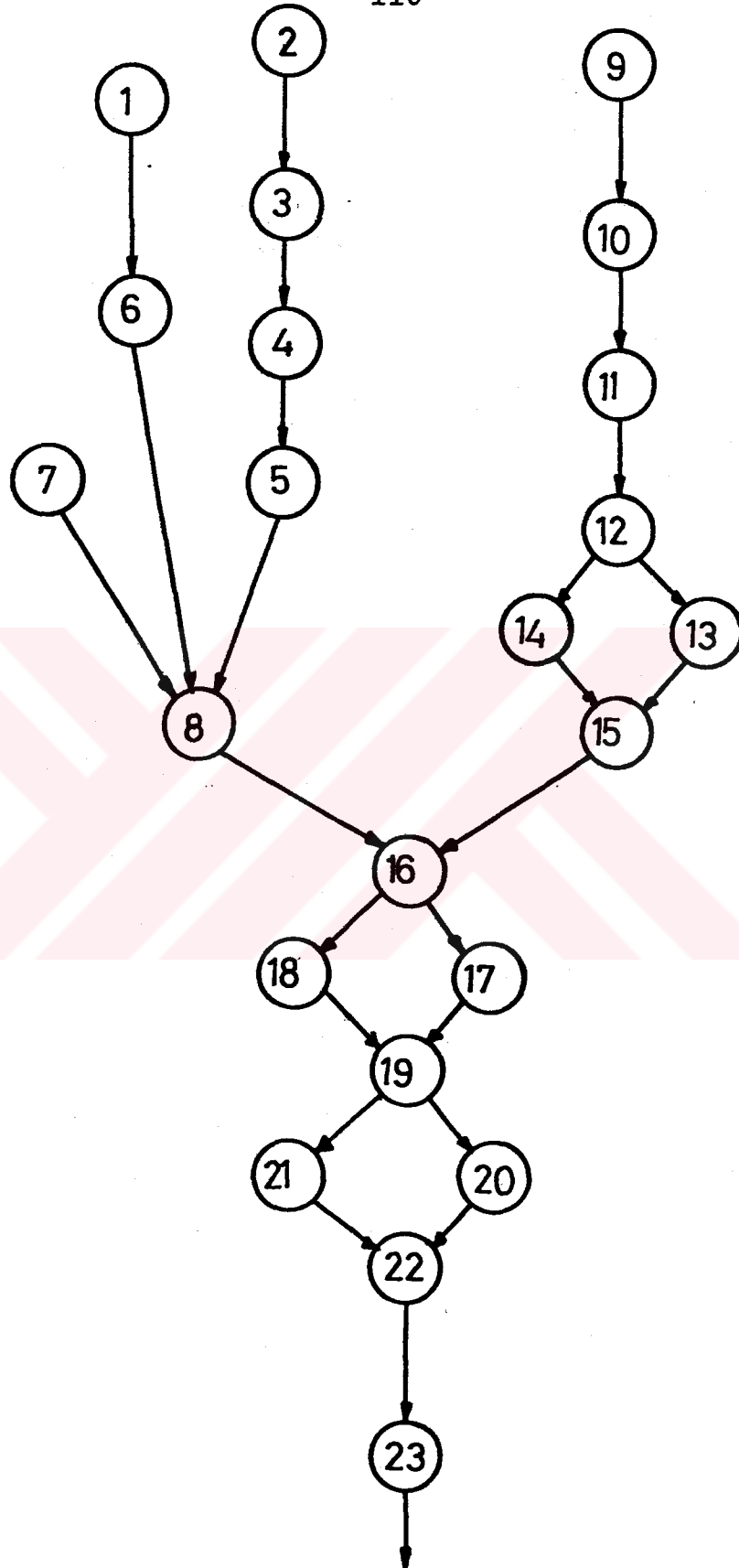
- t_i = iş elemanlarının işlem zamanı
- t_{max} = maksimum işlem zamanı
- c = çevrim zamanı
- n = istasyon sayısı

1. Minimum istasyon sayısı:

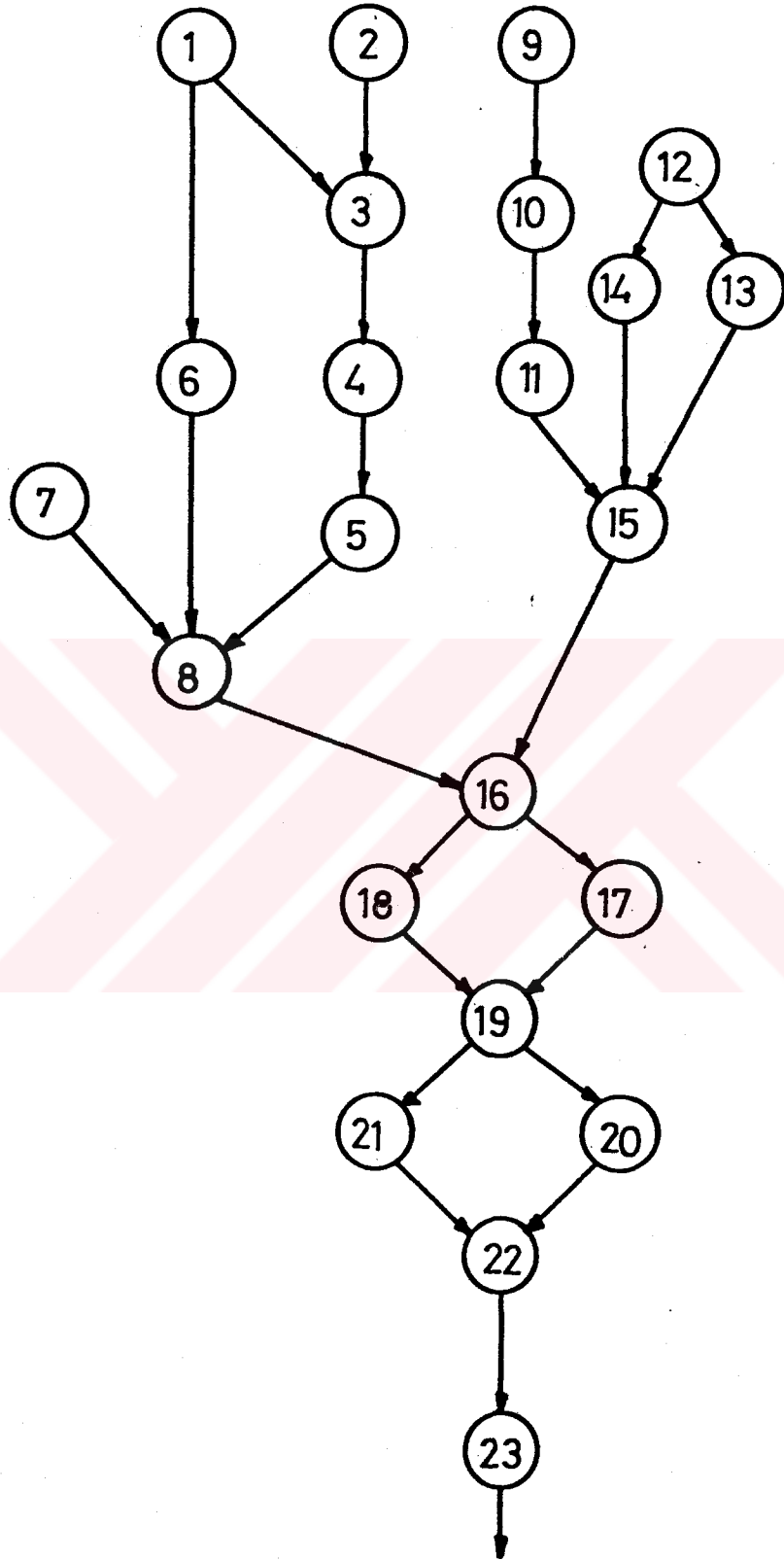
$$n_{min} = \frac{\sum t_i}{c} \quad (6.1)$$

$$1 \text{ no'lu model: } n_{min} = \frac{374.5}{44.5} = 8.41 \approx 9$$

$$2 \text{ no'lu model: } n_{min} = \frac{368.5}{44.5} = 8.28 \approx 9$$



Şekil 6.1. 1 no'lu model öncelik diyagramı



Şekil 6.2. 2 no'lu model öncelik diyagramı

Tablo 6.1. 1 no'lu model girdileri

İşlem No	İşlem Tanımı	Var-yans	İşlem Zamanı (sn)	Pozisyon Ağırlığı	Önce-likli Eleman
1	Diş çekme	0.78	13	236.5	-
2	Delik delme	2,24	19	236	-
3	Levy kolu aramontaj	3.98	25	217	1-2
4	Levy kolu çakma	0.42	9.5	192	3
5	A.Pb küre çakma	1.30	17	182.5	4
6	Zımpara	0.32	6.5	172	1
7	Mambren grubu montajı	2.83	25.5	191	-
8	Mambren grubu takma	4.20	18	165.5	5-6-7
9	Süba dövmeye	0.27	4.5	241	-
10	Süba aramontaj	4.60	27	236.5	9
11	Süba çakma	1.32	16.5	209.5	10
12	A. Hortumucu çakma	0.98	11	193	11
13	B. Hortumucu çakma	0.99	11.5	173	12
14	B.Pb küre çakma	0.81	9	170.5	12
15	Kapak takma	2.10	14	161.5	13-14
16	Grup montajı	3.38	22	147.5	8-15
17	A. Sızdırmazlık testi	7.22	24.5	109.5	16
18	B. Sızdırmazlık testi	3.52	16	101	16
19	Performans testi	1.22	30.5	85	17-18
20	Tarih markalama	0.48	6	46.5	19
21	Yüzey zımpara	0.77	8	48.5	19
22	Temizleme	2.15	10.5	40.5	20-21
23	Ambalaj	2.50	30	30	22

Tablo 6.2. 2 no'lu model girdileri

İşlem No	İşlem Tanımı	Var-yans	İşlem Zamanı (sn)	Pozis-yon Ağırlığı	Önceliklikli Eleman
1	Diş çekme	0.78	13	236.5	-
2	Delik delme	2.24	19	236	-
3	Levye kolu aramontaj	3.98	25	217	1-2
4	Levye kolu çakma	0.42	9.5	192	3
5	A.Pb küre çakma	1.30	17	182.5	4
6	Zımpara	0.32	6.5	172	1
7	Mambren grubu montajı	2.83	25.5	191	-
8	Mambren grubu takma	4.20	18	165.5	5-6-7
9	Sübap dövme	0.27	4.5	200.5	-
10	Sübap aramontaj	4.60	27	196	9
11	Sübap çakma	1.45	8	169	10
12	A. Hortumucu çakma	0.98	11.5	195.5	-
13	B. Hortumucu çakma	0.95	11	172	12
14	C Hortumucu çakma	1.03	12	173	12
15	Klape Hamili montajı	1.78	13.5	161	11-13-14
16	Grup montajı	3.38	22	147.5	8-15
17	A. Sızdırmazlık testi	7.22	24.5	109.5	16
18	B. Sızdırmazlık testi	3.52	16	101	16
19	Performans testi	1.22	30.5	85	17-18
20	Tarih markalama	0.48	6	46.5	19
21	Yüzey zımpara	0.77	8	48.5	19
22	Temizleme	2.15	10.5	40.5	20-21
23	Ambalaj	2.50	30	30	22

Tablo 6.3. 1 no'lu model için montaj hattı dengesi

İstasyon No	İş Elemanları	Toplam Süre	Toplam Varyans	Boş Süre
1	9-1-10	44.5	5.65	-
2	2-3	44	6.22	0.5
3	11-12-4-6	43.5	3.04	1
4	7-5	42.5	4.13	2
5	13-14-8	38.5	6	6
6	15-16	36	5.48	8.5
7	17-18	40.5	10.74	4
8	19-21-20	44.5	2.47	-
9	22-23	40.5	4.65	4

Tablo 6.4. 2 No'lu Model için Montaj Hattı Dengesi

İstasyon No	İş Elemanları	Toplam Süre	Toplam Varyans	Boş Süre
1	1-2-9-6	43	3.61	1.5
2	3-12	36.5	4.96	8
3	10-4-11	44.5	6.47	-
4	7-5	42.5	4.13	2
5	14-13-8	41	6.18	3.5
6	15-16	35.5	5.16	9
7	17-18	40.5	10.74	4
8	19-21-20	44.5	2.47	-
9	22-23	40.5	4.65	4

2. Maksimum etkinlik:

$$e = \frac{\sum t_i}{n_{\min} \times c} \quad (6.2)$$

$$1 \text{ no'lu model: } e = \frac{374.5}{9 \times 44.5} = 0.935$$

$$2 \text{ no'lu model: } e = \frac{368.5}{9 \times 44.5} = 0.92$$

3. Düzgünlük indeksi:

$$SI(\%) = \frac{\sqrt{\sum (t_{\max} - t_i)}}{n \times c} \times 100 \quad (6.3)$$

$$1 \text{ no'lu model: } SI(\%) = \frac{\sqrt{327}}{9 \times 44.5} \times 100 = \%4.51$$

$$2 \text{ no'lu model: } SI(\%) = \frac{\sqrt{333}}{9 \times 44.5} \times 100 = \%4.55$$

4. Hat verimliliği:

$$E(\%) = \frac{\sum t_i}{n \times c} \times 100 \quad (6.4)$$

$$1 \text{ no'lu model: } E(\%) = \frac{374.5}{9 \times 44.5} \times 100 = \%93.5$$

$$2 \text{ no'lu model: } E(\%) = \frac{368.5}{9 \times 44.5} \times 100 = \%92$$

5. Denge kaybı oranı:

$$DK(\%) = \frac{nxc - \sum t_i}{nxc} \times 100 = 100 - E(\%) \quad (6.5)$$

1 no'lu model: $DK(\%) = 100 - 93.5 = \%6.5$

2 no'lu model: $DK(\%) = 100 - 92 = \%8$

6.3. KARMA MODEL HATTI

Karma model hattı incelenirken yukarıda incelenen 2 modelin üretilecek miktarlarına bağlı olarak küçük miktarlarda hatta girmesi ve montaj hattında aynı anda iki modelin de işlem görebilmesi öngörülmektedir.

Montaj hattı dengelenmesi için haftalık üretilecek miktarlar gözönüne alınmıştır. Hat dengeleme çalışması yapılırken iş elemanının haftalık toplam çalışma süresine göre çözüme ulaşılmıştır. Bu durumda çevrim zamanı kriteri yerine haftalık toplam çalışma saati (40 saat) söz konusudur. Buradan hareketle elde edilen hat dengesini birim işlem zamanlarına indirgemek mümkündür.

Dengeleme çalışmaları sırasında hatta herhangi bir aksama olmayacağı öngörülmüştür ve hat dengelemesi toplam süreler üzerinden sıralı pozisyon ağırlığı yöntemine göre yapılmıştır. Her iki modelde de 23 iş elemanı bulunması ve 18 iş elemanının ortak olması işlemin verimliliği açısından önemli bir avantajdır.

İki modelin montaj hattı üzerinde aynı anda işlenmesi amacı güdülerek oluşturulan karma model hattının dengelenmesi için aşağıdaki aşamalar gerçekleştirilir.

Her iş elemanının işlem zamanları haftalık üretim miktarları ile çarpılarak haftalık süreleri bulunur. Bu süreler gözönüne alınarak ve iş elemanının kendinden sonraki iş elemanlarının haftalık süreleri toplanarak pozisyon ağırlıkları bulunur.

Her iki model ortak bir model olarak düşünülüp öncelik diyagramı çizilir ve öncelik ilişkileri belirtilir.

Pozisyon ağırlıklarına göre sıralanmış olan iş elemanları öncelik ilişkileri ve çevrim zamanı gözönüne alınarak iş istasyonlarına atanır.

Elde edilen hat dengesine göre performans kriterleri tespit edilir. Elimizdeki mevcut modellerin birleştirilmesi ile oluşan karmaşık öncelik diyagramı Şekil 6.3'de verilmiştir. Her iki mamülünde 44.5 sn çevrim süresi olduğu gözönüne alınarak haftada 3235 adet model imalatı planlanmaktadır. Bu miktarın 1941 adetinin 1 no'lu, 1294 adetinin 2 no'lu model olması öngörülmektedir. Bu rakamlar baz alınarak birim işlem sürelerine göre tespit edilmiş iş elemanlarına ait haftalık işlem süreleri ve pozisyon ağırlıkları Tablo 6.5'de görülmektedir. Bu kümüle değerlere göre hat dengelemesi yapılmış ve ortaya Tablo 6.6'daki durum çıkmıştır.

Haftalık kümülatif (verilen adetler üzerinden) süreler üzerinden yapılan hesaplarla performans kriterleri aşağıdaki gibi oluşmaktadır:

$$\text{Minimum istasyon sayısı: } n_{\min} = \frac{334.37}{40} = 8.35 = 9$$

$$\text{Maksimum etkinlik : } e = \frac{334.37}{9 \times 40} = 0.93$$

$$\text{Düzgünlük endeksi} : SI(\%) = \frac{\sqrt{433.19}}{9 \times 40} \times 100 = 85.78$$

$$\text{Hat verimliliği} : E(\%) = \frac{334.37}{9 \times 40} \times 100 = 93$$

$$\text{Denge kaybı oranı} : DK(\%) = 100 - 93 = 7$$

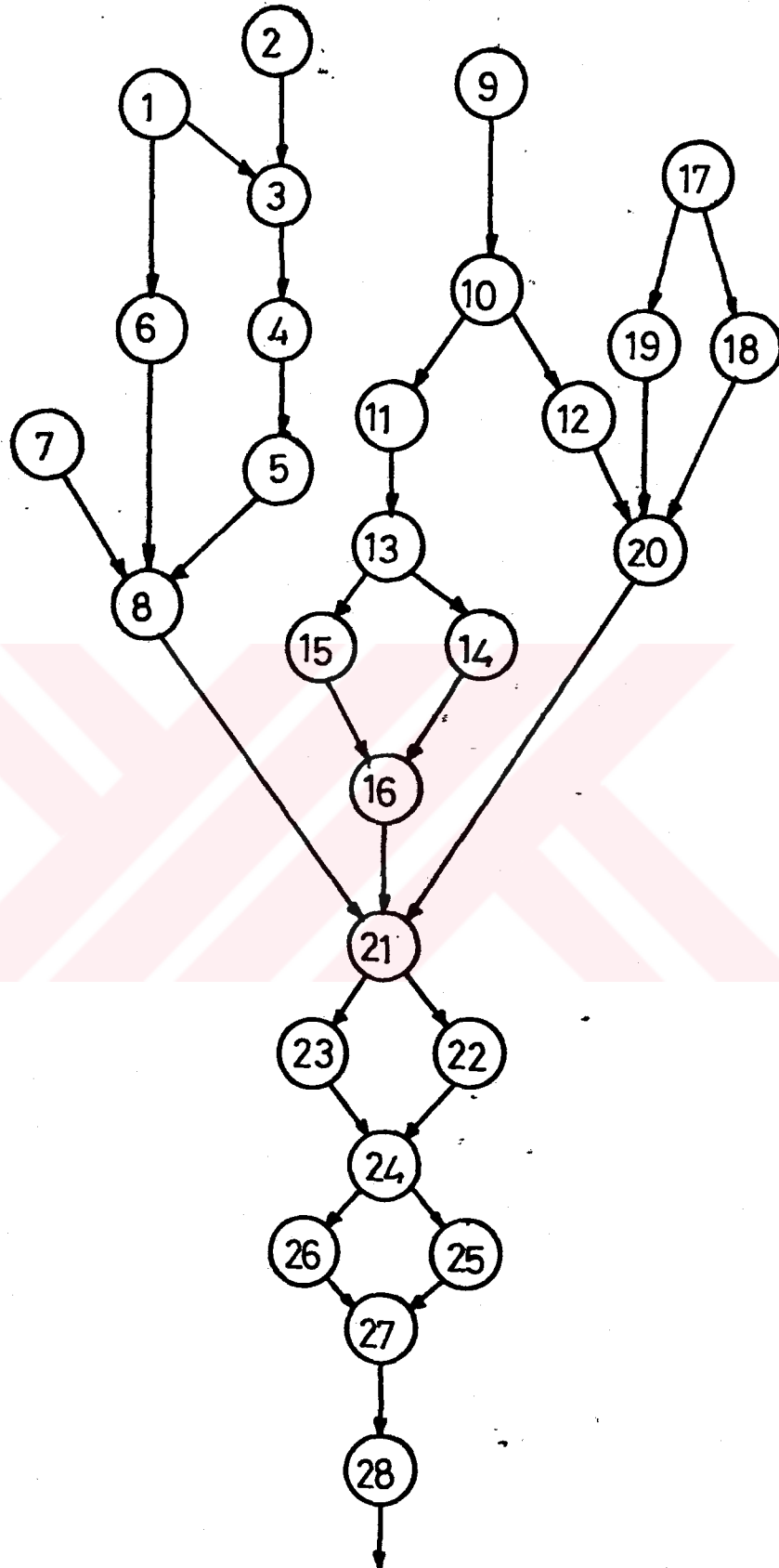
Yukarıdaki ve hat dengeleme sırasında yapılan tüm işlemler ve incelemeler, sonucun sağlıklı olması açısından sn cinsinden değerlerle yapılmış ve bulunan değerler sonuca saat cinsinden yansıtılmıştır.

Performans kriterlerinden de görüleceği gibi oluşturulan hattın verimliliği oldukça yüksek ve istasyon sayısı uygundur. Bu durumda hattın verimli olarak çalışması sağlanabilecektir.

Görüleceği gibi mamul bekleme sürelerinin fazla olduğu istasyonlarda yarımamul stoklarının bulunması halinde oluşturulan karmaşık montaj hattı verimli şekilde çalışabilecektir. Ancak bu çalışmada herhangi bir yarımamul (istasyonlararası) stoğu öngörülmediğinden hattaki bekleme sürelerini minimize etmek gerekmektedir.

Daha Öncede (4. Bölüm) belirtildiği gibi modellerin hatta giriş sıralamasının hat verimliliğine etkisi büyüktür. Bu çalışmada performansa olumlu etkisinin daha fazla olduğu savunulan sabit oran tekniği, model giriş düzeni belirlemede kullanılmıştır.

Hattı oluşturan her iki mamulün de çevrim zamanının aynı (44.5 sn) olmasından dolayı modellerin hatta giriş zamanının optimum olarak 44.5 sn olması gerekecektir. Ancak burada yapılan hat giriş sıralaması çalışmalarında her iki istasyonunda ilk operasyon süreleri olan 43 sn'nin optimum sonucu vereceği öngörülmüştür.



Şekil 6.3. 1 ve 2 no'lu modeller karmaşık öncelik diyagramı

Tablo 6.5. İki modelli montaj hattı için ön veriler

İş Elemanı No	İşlem Süresi (sn)	İşleme Alınma Sayısı		Haftalık İşlem Süresi (saat)	Pozisyon Ağırlığı (Toplam süreler göre)
		1	2		
1	13	1941	1294	11.68	212.52
2	19	1941	1294	17.07	212.07
3	25	1941	1294	22.46	195
4	9.5	1941	1294	8.53	172.53
5	17	1941	1294	15.27	164
6	6.5	1941	1294	5.84	154.56
7	25.5	1941	1294	22.91	171.63
8	18	1941	1294	16.17	148.72
9	4.5	1941	1294	4.04	202
10	27	1941	1294	24.26	201.55
11	16.5	1941		8.89	165.97
12	8		1294	2.87	140.27
13	11	1941		5.93	160.04
14	11.5	1941		6.2	149.26
15	9	1941		4.85	147.91
16	14	1941		7.55	140.09
17	11.5		1294	4.13	149.80
18	11		1294	3.95	141.35
19	12		1294	4.31	141.75
20	13.5		1294	4.85	137.40
21	22	1941	1294	19.77	132.54
22	24.5	1941	1294	22.01	98.40
23	16	1941	1294	14.38	90.76
24	30.5	1941	1294	27.41	76.38
25	6	1941	1294	5.39	41.78
26	8	1941	1294	7.19	43.58
27	10.5	1941	1294	9.43	36.39
28	30	1941	1294	26.95	26.96

Tablo 6.6. İki modelli montaj hattı dengesi

İstasyon No	İş Elemanı No	Haftalık İşlem Süresi (saat)	Haftalık süre için (40 saat) boş istasyon zamanı
1	1-2-9-6	38.64	1.36
2	10-11-13	39.09	0.91
3	3-4-17-15	39.99	0.01
4	7-5	38.19	1.81
5	14-8-19-18-12-20	38.37	1.63
6	16-21	27.32	12.68
7	22-23	36.39	3.61
8	24-26-25	39.99	0.01
9	27-28	36.39	3.61

Hatta giriş sıralamasını belirleyen kriterlerin her iki modelde de yaklaşık veya aynı olması nedeniyle deneme metodunun daha verimli olacağı görülmektedir. Ancak toplam montaj zamanı daha düşük olan 2 no'lu modelin her çevrim grubunun en az ilk eleman olarak alınması çıkış noktası olarak kabul edilmiştir. Sonucun daha reel olması açısından yapılan simülasyon çalışması sonucunda optimum sıra şu şekildedir: 03-04-03-04-03 veya 04-03-04-03-03

7. PROGRAM

7.1. TANITIM

Montaj hattı dengeleme çalışmalarının sabit olan ortalama işlem sürelerine göre yapılmasının, dengelenen montaj hattının pratiğe uygulanmasında tespit edilen teorik sonuçları sağlamayabileceği daha önce belirtilmiştir. İş istasyonlarında gerçekleştirilen işler o iş istasyonunda çalışan işçinin çalışma hızına bağlı olduğundan, işlem süreleri değişkenlik gösterebilir.

Bu nedenle kurulan montaj hatlarının ne gibi sonuçlar sağlayabileceğini görmek açısından yapılacak simülasyon çalışmalarının büyük önemi vardır. Buradan hareketle 6. bölümde dengeleme yapılmış olan montaj hatlarının pratiğe uygulandığında elde edilecek sonuçları değerlendirmek amacıyla bu çalışmada bir simülasyon paketi oluşturulmuştur.

Simülasyon paketi yapılırken, programlama dili olarak BASIC dili seçilmiştir. BASIC programlama dili, sahip olduğu pratik kullanım imkanı, editör kullanım kolaylığı açısından halen geçerliliğini koruyan bir dildir. Ancak değişken yapısının karmaşıklığı programın uzun olmasına neden olmaktadır.

Simülasyon amacıyla geliştirilmiş diller modelin kurulması ve çalıştırılmasında bazı kısıtlamalara sebep olabilmektedir. Bu nedenle BASIC dili ile yapılmış olan bu simülasyon paketi modelin çalıştırılmasında esneklik sağlamaktadır. Ancak simülasyon dillerinde hazır

prosedürlerin bulunması programın daha kısa olmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada hazırlanan programda, üç ana bölüm yer almaktadır. Birinci ve ikinci bölümler, simülasyonun çalışmasına girdi olarak verilecek bilgileri içeren veri tabanı oluşturma bölümleridir. Model bilgileri bölümünde model tanımları, modele ait iş elemanlarının varyans, işlem süresi, önceki eleman gibi bilgilerin dosyalanmasını sağlar. İstasyon bilgileri bölümü ise hat dengeleme çalışması yapılmış ve istasyonlara atanmış işlerin ve bu istasyonlara ait toplam süre ve varyansların saklanması prosedürünü içerir. Üçüncü bölüm ise mevcut veri tabanında ve verilen hat yapısına göre simülasyon prosedürünün gerçekleştirilmesi ve elde edilen performans kriterlerinin dosyalanmasını sağlar. Bu üç ana bölümün ve prosedürlerin birbirleriyle olan ilişkileri Şekil 7.1'de verilmiştir.

7.2. VERİ TABANI VE SONUÇ BİLGİLERİ ORGANİZASYONU

Oluşturulan simülasyon paketinde 2 adet veri izleme amacıyla geliştirilen 4 adet veri dosyası ve 1 adet sonuç dosyası mevcuttur. Dosyaların yapısı şu şekildedir.

1. Model bilgileri izleme dosyası. (18 Byte)

Dosya tipi: random (her model bir kayıt oluşturur)

Erişim anahtarı: Model no

Dosya içeriği (Kayıt deseni):

MNO: Model numarası, 2 Byte

YER: Model eleman grubu yeri, 4 Byte

MIS: Model tanımı, 10 Byte

MEA: Model eleman adedi, 2 Byte

2. Model bilgileri dosyası. (24 Byte)

Dosya tipi: random (her iş elemanı bir kayıt oluşturur)

Erişim anahtarı: Eleman no

Dosya içeriği (Kayıt deseni):

ENO: İş elemanı numarası, 2 Byte

ESU: İş elemanı ortalama işlem süresi, 5 Byte

EVA: İş elemanı işlem süresi varyansı, 5 Byte

OEL: İş elemanından önce gelen işler, 12 Byte

3. İstasyon bilgileri izleme dosyası. (10 Byte)

Dosya tipi: random (her hat bir kayıt oluşturur)

Erişim anahtarı: Montaj hattı no

Dosya içeriği (Kayıt deseni):

HNO: Hat numarası, 2 Byte

MUH: İstasyon grubu yeri, 4 Byte

MOD: Model numarası, 2 Byte

MIA: İstasyon adedi, 2 Byte

4. İstasyon bilgileri dosyası. (26 Byte)

Dosya tipi: random (her iş istasyonu bir kayıt oluşturur)

Erişim anahtarı: İstasyon no

Dosya içeriği (Kayıt deseni):

İnU: İstasyon numarası, 2 Byte

ISU: İstasyon toplam işlem süresi, 6 Byte

IVA: İstasyon toplam varyans, 6 Byte

IEL: İstasyona ait iş elemanları, 12 Byte

5. Simülasyon sonuç dosyası. (87 Byte)

Dosya tipi: random (her sonuç bir kayıt oluşturur)

Erişim anahtarı: Sonuç dosyası no

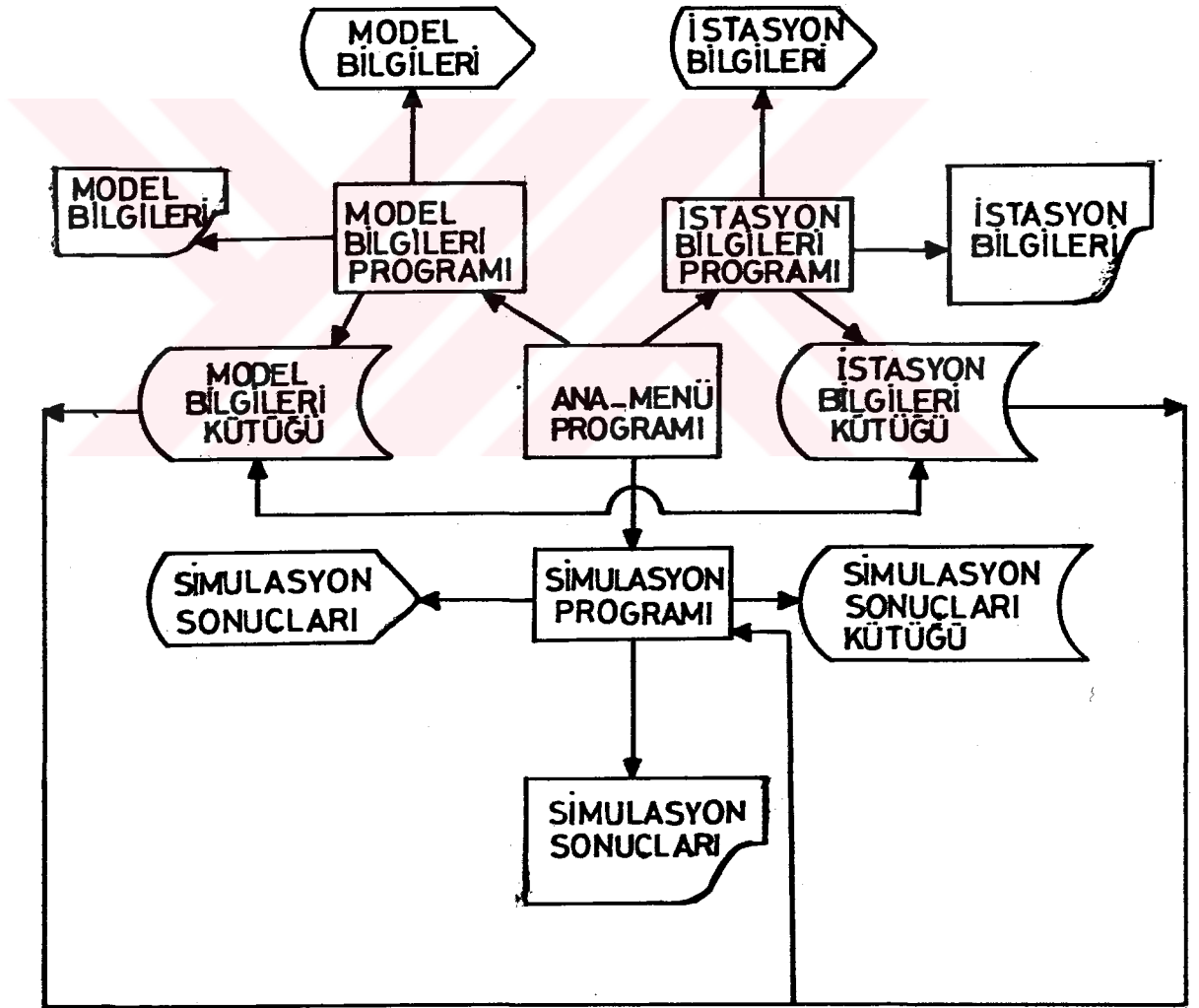
Dosya içeriği (Kayıt deseni):

GEL: Model geçiş sırası, 20 Byte

MDL: Model numaraları, 10 Byte

PHC: Parti hacmi, 3 Byte

OHV: Hat verimliliği ortalaması, 5 Byte
 VHV: Hat verimliliği standart sapması, 5 Byte
 ODI: Düzgünlük indeksi ortalaması, 5 Byte
 VDI: Düzgünlük indeksi standart sapması, 5 Byte
 OMB: Makina boş zamanı ortalaması, 6 Byte
 VMB: Makina boş zamanı standart sapması, 6 Byte
 OGS: Gecikme süresi ortalaması, 6 Byte
 VGS: Gecikme süresi standart sapması, 6 Byte
 OGK: Gecikme kaybı oranı ortalaması, 5 Byte
 VGK: Gecikme kaybı oranı standart sapması, 5 Byte



Şekil 7.1. Bilgisayar destekli simülasyon sistemi

7.3. SİMÜLASYON PROSEDÜRÜ

Simülasyon paketindeki, simülasyon alt programı istasyonlara ait işlem süreleri ve varyansları girdi olarak alır. Programın işleyişi sırasında istasyonlara ait taşıma süreleri yok kabul edilmiş, hatta çalışan elemanların hat üzerindeki modelleri işleme alma süreleri ise işlem sürelerine katılmıştır.

İşyeri organizasyonu açısından modelin düz bir hat üzerinde ilerlediği varsayılmış ve belli bir mukayeseye engel olmaması açısından arıza süreleri üretilmiştir. Bunun yanında hatlar arasında yarımamul stok alanları detaylandırılmamıştır.

İşlem sürelerinin normal dağılıma uygun olduğu savunularak tesadüfi işlem süreleri bu dağılıma göre üretilmiştir. Tesadüfi normal değişkenlerin üretimi merkezi limit teoremine uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon programı işlevini tek mamullü ve karmaşık montaj hatları için ayrı alt gruplarda yerine getirmekte ve sonuçta hat verimliliği, düzgünlük indeksi, makina boş zamanı, gecikme süresi ve gecikme kaybı oranı ortalama ve varyansları çıktı olarak alınmakta ve dosyalanmaktadır.

7.4. PROGRAMIN UYGULANMASI

Programın sonuç aşamasında 1 ve 2 no'lu modellerin tek modellenli montaj hattında tesadüfi işlem süreleri ile çalıştırılması ve sonuçların değerlendirilmesi, performans kriterlerinin saptanması gerçekleştirilmiştir.

Diğer yandan iki modellenli karmaşık montaj hattının çeşitli sabit hatta giriş düzeninde çalıştırılması ve bu prosedür sonucu hesaplanan performans kriterlerinin elde edilmesi programın bir diğer aşamasıdır.

Her iki yöntemle elde edilen hat dengelemesinin değerlendirilmesi amacıyla çalıştırılan programın listesi ve çıktıları ekler bölümünde yer almaktadır.



SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Günümüzde, özellikle talep rakamları özelliklerine göre yüksek olan mamullerin verimli, ekonomik ve seri şekilde üretilebilmesi için, montaj hattı üretimi ve buna bağlı olarak montaj hattı dengelemesi büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle bu çalışmada montaj hatlarının sorunlarının incelenmesi, montaj hatları ile ilgili temel kavramların, dengeleme ve çözüm yöntemlerinin tanıtılması ve irdelenmesi, yeni hat dengeleme yaklaşımlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda aşağıda ana başlıklarıyla verilen sonuçlara varılmıştır.

Montaj hattı kurma kararı aşamasında üretilecek mamulün talep yapısının bilinmesi, (sağlıklı bir çalışma için talep yapısının değişken olmaması gerekmektedir) üretilecek mamulün özelliklerinin iyi irdelenmesi ve kurulacak hattın mamulün özelliğine ve mekan şartlarına göre dizaynının olurluğunun araştırılması gerekir.

Montaj hattı dengeleme konusunda günümüzde birçok yöntemler geliştirilmiş durumdadır. Bu yöntemler iki ana grupta toplanırlar. Matematiksel programlama yöntemleri, kesin sonuç veren, ancak karmaşık veya çok işlemlili montaj hatlarına uygulandığında sonuca ulaşmanın zor olduğu yöntemlerdir. Bu nedenle kesin çözüm tam olarak sağlamayabilmekle beraber sonuca ulaşmayı kolaylaştıran ve bilgisayar destekli hat dengeleme çalışmalarına kolaylıkla uyum sağlayan sezgisel yöntemler daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Günümüzde, montaj teknolojisinde ortaya çıkan yeni ihtiyaçlar doğrultusunda, aynı hatta birden fazla mamulü aynı anda üretmeye yönelik karışık montaj hatları

gibi yeni yaklaşımlar akademik çalışmaların odağı haline gelmektedir. Ancak halen çok modellenli (karışık) montaj hatlarının çözümü konusunda kesin sonuç veren belirli algoritma veya yöntemler geliştirilmemiş, sadece bu tür hatların performansını etkileyecek bazı parametrik ve deneysel görüşler ortaya atılmıştır.

Bu çalışmada, tek modellenli ve çok modellenli montaj hatları üzerinde yapılan araştırma ve çözümleme sonucunda şu sonuçlara varılmıştır; karışık modellenli montaj hatlarından faydalanılması için üretilecek modeller benzerlik taşımali ve fazla ek işlem gerektirmeden aynı hat üzerinde üretilebilmelidir. Dengeleme sırasında hatta girecek modellerin sıralanması büyük önem taşır. Sabit oran tekniğinin bu aşamada daha olumlu sonuçlar verdiği görülmektedir. Talep yapısının değişken olması hat dengeleme sırasında kabul edilen imalat rakamlarını etkisiz kılacağından ve hatta giriş sıralamasını bozacağından hattın verimsiz olarak çalışmasına neden olacaktır. Model giriş sıralaması yapılırken belirli tezler öne sürülmesine rağmen belirli çevrim sayılarında ve değişken sıralı simülasyon çalışmaları yapılması en güvenli sonucu verecektir. Karışık modellenli montaj hatları, özellikle hat verimliliği düşük tek modellenli hatların daha verimli çalışmasını sağlamakla beraber boş zamanı fazla olan istasyonlarda ana yarımamul stokları bulunması hattın daha da verimli olması sonucunu ortaya çıkaracaktır. Daha düşük çevrim süreli veya daha az işlem sayılı modellerin bu tür hatlarda verimliliğe daha çok etkisi olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle özellikle bu tür modellerin daha iyi dengelenmesi ve her çevrimde ilk olarak alınması daha olumlu bir yaklaşımdır.

Karışık montaj hatlarının işlerliğinin de irdelendiği bu çalışma sonucunda iki benzer model üzerinde yapılan incelemede yukarıdaki ana detaylar göze çarpmış-

tır. Çalışmada bu yaklaşımın hat verimini olumlu etkileyebileceği, ancak yukarıda da belirtilen koşulların sağlanması gerektiği görülmüştür. Tek modellenli hat dengesinin veriminin yüksek olması bu gerçeği tam olarak ortaya koymakla beraber, karışık modellenli hatlarla termin sorununun ortadan kalkacağı, kısa periyodlarla mal sevkiyatının gerçekleştirilebileceği ve hat hazırlama maliyetlerinin, ortadan kalkacağı görülmektedir. Ancak yine de karmaşık modellenli hatların getireceği sabit maliyetlerde gözönünde tutulmalıdır.

Bunun yanında gerek tek gerekse çok modellenli montaj hattı dengelemesinde işlem zamanlarının sabit kabul edilmesi pratikte karşımıza önemli sorunlar çıkarmaktadır. Nitekim uygulamada işlem zamanı genel olarak başta insan olmak üzere çeşitli faktörlere bağlı olduğundan değişkenlik arz etmektedir. Bu nedenle dengelenen hattın sınanması, uygulamada doğacak sorunların elimine edilmesi açısından simülasyon çalışması hat dengelemenin ayrılmaz bir parçası olmalıdır.

Bu çalışmada yapılan simülasyon işlemi sonucunda da değişken sürelerin performansa etkisi açıkça görülmüştür. Özellikle varyansları yüksek olan işlemlerin sürelerinin esnekliğinden dolayı hat dengesini ve verimini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu sorunun ortadan kaldırılması için simülasyon çalışması yapıp elde edilecek sonuçlara göre tedbir alınması ve üretimin işlem süresini etkileyici faktörlerden uzaklaşması için otomatizasyon, metod etüdü vb. çalışmalar yapılması gereklidir.

Sonuç olarak bu çalışma, hareket noktasına ulaşmak açısından incelenen modellerin özelliğinden dolayı tam etkili olmamakla beraber, yeni bir yaklaşımın belirli şartlar sağlandığında ne derece etkili olabileceğinin veya başka deyişle hangi şartlar altında hangi tür yak-

laşımların kullanılabileceğinin görülmesi, simülasyonun teori ve pratik arasındaki köprüyü nasıl kolaylıkla sağladığının görülmesi ve montaj hattı dengeleme konusunda detaylı bir araştırmayı içermesi açısından oldukça faydalı olmuştur.



KAYNAKLAR

- [1] KOBU, Bülent- "Üretim Planlama Yönetim ve Uygulamaları", İ.T.Ü. İşletme Fakültesi Yayınları, No.181, İstanbul, 1987.
- [2] KARAYALÇIN, İ. İlhami- "Endüstri Mühendisliği ve Üretim Yönetimi El Kitabı II", Çağlayan Basımevi, İstanbul, 1986.
- [3] ACAR, Nesime- "Üretim Planlama Yönetim ve Uygulamaları", MPM Yayınları, No.230, Ankara, 1983.
- [4] ACAR, Nesime-ESTAŞ, Semra- "Kesikli Seri Üretim sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları" MPM Yayınları, No.309, Ankara, 1986.
- [5] WILD, R.- "Production and Operations Management", Holt, Rinehart and Winston Inc., G. Britain, 1973.
- [6] MAYNARD, H.B.- "Industrial Engineering Handbook", McGrawHill Company, New York, 1969.
- [8] MIZE, H.J.-WHITE, R.C.-BROOKS, H.G.- "Üretim Planlama ve Kontrol", Çev: TORAMAN, Ayhan-GÖZLÜ, Sıtkı, İ.T.Ü. Yayınları, No.1924, İstanbul, 1984.
- [9] CANDAN, Ümit- "Montaj Hatlarını Dengeleme Yöntemleri", İ.Ü. İşletme Fakültesi Dergisi, Cilt.4, Sayı 2, 1975.
- [10] HEDGE B.K.-COPEN, M.R.-BALACHANDRA, R.- "Production Management, Text and Cases", Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi, 1972.
- [11] KILBRIDGE, M.D.-WESTER, L.A.- "A Review of Analytical Systems of Line Balancing", Operations Research, Vol.10, No.5, 1962.
- [12] BUXEY, G.M.- "Assembly Line Balancing with Multiple Stations", Management Science, Vol.10, No.6, 1974.
- [13] WILD, R.- "Mass Production Management", John Wiley and Sons, Bradford, 1971.

- [14] SALVESON, M.E.- "The Assembly Line Balancing Problem", Journal of Industrial Engineering, Vol.6, No.3, 1955.
- [15] TONGE, F.- "A Heuristic Program for Assembly Line Balancing", Prentice Hall Inc., New York, 1961.
- [16] BOWMAN, E.H.- "Assembly Line Balancing by Linear Programming", Operations Research, Vol.18, No.3, 1960.
- [17] HALGESON, W.B.-BIRNIE, D.P.- "Assembly Line Balancing, Using the Ranked Positional Weight Technique", Journal of Industrial Engineering, Vol.12, No.6, 1961.
- [18] KILBRIDGE, M.D.-WESTER, L.A.- "A Heuristic Method for Assembly Line Balancing", Journal of Industrial Engineering, Vol.12, No.4, 1962.
- [19] ARCUS, A.L.- "COMSOAL, A Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines", Int. Journal of Production Research, Vol.4, No.4, 1966.
- [20] HALAÇ, Osman- "İşletmelerde Simülasyon Teknikleri", İ.Ü. İşletme Fakültesi Yayınları, No.130, İstanbul, 1982.
- [21] SHANNON, R.E.- "Systems Simulation", The Art Science, 1971.

EKLER

- Ek 1. Bilgisayar Programı Listesi
- Ek 2. Program Verileri
- Ek 3. Program Çıktıları



```

10 REM #####
20 REM ##### MONTAJ HATTI SIMULASYON PROGRAMI #####
30 REM #####
40 KEY OFF:CLS:COLOR 14,0
50 LOCATE 9,1:PRINT STRING$(79,"*"):FOR II=0 TO 5000:NEXT
60 LOCATE 13,24:PRINT "MONTAJ HATTI SIMULASYONU":FOR II=0 TO 5000:NEXT
70 LOCATE 16,24:PRINT "HAZIRLAYAN:MURAT UZMEN":FOR II=0 TO 5000:NEXT
80 LOCATE 20,1:PRINT STRING$(79,"*"):FOR II=0 TO 5000:NEXT
90 DIM
ELEMANZ(50),SUR(10,100),VAR(10,100),BOZ(50),TMS(100),MBZ(100),TES(100),TGS(100),HCZ(100),IGZ(100),ETS(50)
,HVR(100),DIN(100),SKD(100),PLAZ(5),HAT$(5),LIN$(5),URU$(10),ADEZ(10) 100 COLOR 7,0:GOTO 250
150 REM #####CERCEVE-1#####
160 CLS:COLOR 14,0
170 LOCATE 1,1:PRINT CHR$(218);STRING$(78,196);CHR$(191)
180 FOR II=2 TO 19:LOCATE II,1:PRINT CHR$(179):LOCATE II,80:PRINT CHR$(179):NEXT II
190 LOCATE 22,1:PRINT STRING$(80,196)
200 LOCATE 20,1:PRINT CHR$(192);STRING$(78,196);CHR$(217)
210 COLOR 7,0:RETURN
250 REM ##### ANA MENU #####
260 GOSUB 150
270 LOCATE 4,33:PRINT "ANA MENU"
275 LOCATE 6,2:PRINT STRING$(78,196)
280 LOCATE 10,30:PRINT "1.MODEL BILGILERI"
290 LOCATE 12,30:PRINT "2.ISTASYON BILGILERI"
300 LOCATE 14,30:PRINT "3.SIMULASYON"
310 LOCATE 16,30:PRINT "4.CIKIS"
320 LOCATE 21,30:PRINT "SECENEGINIZ ....."
325 AA$=INKEY$:IF AA$="" THEN 325
327 AA$=VAL(AA$)
330 ON AA$ GOTO 400,3700,7400,11200
340 LOCATE 21,30:PRINT "SECENEGINIZ YANLIS ":FOR II=0 TO 5000:NEXT:GOTO 250
350 REM ##### BASLIK #####
360 CLS:LOCATE 1,1:PRINT CHR$(218);STRING$(78,196);CHR$(191)
365 FOR II=2 TO 5:LOCATE II,1:PRINT CHR$(179):LOCATE II,80:PRINT CHR$(179):NEXT II
370 LOCATE 6,1:PRINT CHR$(192);STRING$(78,196);CHR$(217)
380 RETURN
400 REM##### MODEL BILGILERI #####
410 GOSUB 350
420 LOCATE 4,32:PRINT "MODEL BILGILERI"
430 LOCATE 11,28:INPUT "MODEL NUMARASI (1-99):";MON$
440 IF MON$="" THEN 470
450 ODNZ=VAL(MON$)
455 IF ODNZ>99 OR ODNZ<1 THEN 470
460 GOTO 510
470 LOCATE 20,23:PRINT "MODEL NUMARASI YANLIS GIRILMISTIR"
480 LOCATE 22,25:INPUT "DEVAM EDECEK MISINIZ?(E):";AB$
490 IF AB$="E" OR AB$="e" THEN 400
500 GOTO 250
510 GOSUB 970
520 FOR Z=1 TO LOF(1)/18
530 GET #1,Z
540 IFIZ=CVI(MEA$)

```

```

550 IF IFIZ=0 THEN 580
570 IF LEFT$(MNO$,LEN(MON$))=MON$ THEN 950
580 NEXT Z
590 LOCATE 18,22:PRINT MON$;" NUMARALI MODEL ICIN KAYIT YOKTUR"
600 LOCATE 20,26:INPUT "KAYIT ACILACAK MI?(E):";AC$
610 IF AC$="E" OR AC$="e" THEN 630
620 CLOSE #1:GOTO 480
630 GOSUB 350
640 LOCATE 4,32:PRINT "MODEL BILGILERI"
650 LOCATE 10,28:PRINT "MODEL NUMARASI: ";MON$
660 LOCATE 12,28:INPUT "MODEL ADI (MAX10):";MOA$
670 IF MOA$="" THEN 660
680 IF LEN(MOA$)<11 THEN 710
690 LOCATE 21,23:PRINT "MODEL ADI MAX10 KARAKTER OLABILIR";FOR II=0 TO 5000:NEXT
700 LOCATE 12,46:PRINT " ":GOTO 660
710 LOCATE 14,28:INPUT "IS ELEMANI ADEDI (1-50):";MICZ
720 MIA$=STR$(MICZ):IF MIA$="" THEN 750
730 IF MICZ>50 OR MICZ<1 THEN 750
740 GOTO 770
750 LOCATE 21,22:PRINT "IS ELEMANI ADEDI YANLIS GIRILMISTIR";FOR II=0 TO 5000:NEXT
760 LOCATE 14,52:PRINT " ":GOTO 710
770 LSET MNO$=MON$
780 AD=Z-1
790 YHAZ=AD*50
800 LSET YER$=MKI$(YHAZ)
810 LSET MIS$=MOA$
820 LSET MEA$=MKI$(MICZ)
830 PUT #1,7:CLOSE #1
840 GOSUB 1010
850 ELNZ=0:EANZ=YHAZ:RKM=0:RKM$=STR$(RKM)
860 FOR A=1 TO MICZ
870 ELNZ=ELNZ+1:EANZ=EANZ+1
880 LSET END$=MKI$(ELNZ)
890 LSET ESU$=MKS$(RKM)
900 LSET EVA$=MKS$(RKM)
910 LSET DEL$=RKM$
920 PUT #2,EANZ
930 NEXT A
940 CLOSE #2:GOTO 1050
950 YHAZ=CVI(YER$):MOA$=MIS$:MICZ=IFIZ:CLOSE #1:GOTO 1050
970 REM **** DOSYA 1 ****
980 OPEN "R",#1,"MKAYIT.DAT",18
990 FIELD #1,2 AS MNO$,4 AS YER$,10 AS MIS$,2 AS MEA$
1000 RETURN
1010 REM **** DOSYA 2 ****
1020 OPEN "R",#2,"MODEL.DAT",24
1030 FIELD #2,2 AS END$,5 AS ESU$,5 AS EVA$,12 AS DEL$
1040 RETURN
1050 REM ***** MODEL BILGILERI MENUSU *****
1060 GOSUB 150
1070 LOCATE 4,29:PRINT "MODEL BILGILERI MENUSU"
1075 LOCATE 6,2:PRINT STRING$(78,196)

```

```

1080 LOCATE 10,36:PRINT "1.GIRIS"
1090 LOCATE 12,36:PRINT "2.LISTE"
1100 LOCATE 14,36:PRINT "3.SILME"
1110 LOCATE 16,36:PRINT "4.EKLEME"
1120 LOCATE 18,36:PRINT "5.ANA MENU"
1130 LOCATE 21,30:PRINT "SECENEGINIZ..... "
1135 AE$=INKEY$:IF AE$="" THEN 1135
1137 AEZ=VAL(AE$)
1140 ON AEZ GOTO 1200,2200,3000,3300,250
1150 LOCATE 21,30:PRINT "SECENEGINIZ YANLIS " :FOR II=0 TO 5000:NEXT:GOTO 1050
1200 REM ***** MODEL-GIRIS*****
1210 GOSUB 350
1220 LOCATE 4,34:PRINT "MODEL-GIRIS"
1230 LOCATE 8,25:PRINT "IS ELEMANI NUMARASI (1-";MICZ;"): "
1240 LOCATE 8,53:INPUT;IN0Z
1250 EMN$=STR$(IN0Z):IF EMN$="" THEN 1290
1270 IF IN0Z>MICZ OR IN0Z<1 THEN 1290
1280 GOTO 1340
1290 LOCATE 19,21:PRINT "IS ELEMANI NUMARASI YANLIS GIRILMISTIR"
1300 LOCATE 21,26:INPUT "DEVAM EDECEK MISINIZ?(E):";AF$
1310 IF AF$="E" OR AF$="e" THEN 1200
1320 GOTO 1050
1340 AGZ=YHAZ+IN0Z
1350 GOSUB 1010
1360 GET #2,AGZ
1370 LOCATE 10,10:PRINT STRING$(61,"-")
1380 LOCATE 11,12:PRINT "EL.NO":LOCATE 11,22:PRINT "1.ORT.SURE[sn]"
1390 LOCATE 11,40:PRINT "2.VARYANS[sn]":LOCATE 11,55:PRINT "3.ONCEK1 ELEMAN"
1400 LOCATE 12,10:PRINT STRING$(61,"-")
1410 ELS=CVS(ESU$):ELV=CVS(EVA$):ONE$=DEL$
1420 LOCATE 14,14:PRINT IN0Z:LOCATE 14,26:PRINT ELS
1430 LOCATE 14,44:PRINT ELV:LOCATE 14,58:PRINT ONE$
1435 LOCATE 16,10:PRINT STRING$(61,"-")
1440 LOCATE 19,27:INPUT "GIRMEK ISTEDIGINIZ HANE:";MHZ
1450 ON MHZ GOTO 1470,1530,1590
1460 LOCATE 21,30:PRINT "SECIMINIZ HATALIDIR":FOR II=0 TO 5000:NEXT
1465 LOCATE 19,51:PRINT " " :GOTO 1440
1470 LOCATE 14,25:PRINT " " :LOCATE 14,25:INPUT EES
1480 EES$=STR$(EES):IF EES$="" THEN 1470
1490 IF LEN(EES$)<6 THEN 1520
1500 LOCATE 21,21:PRINT "ELEMAN SURESI MAX 5 KARAKTER OLABILIR":FOR II=0 TO 5000:NEXT
1510 GOTO 1470
1520 LSET ESU$=MKS$(EES):PUT #2,AGZ:AH=1:GOTO 1720
1530 LOCATE 14,43:PRINT " " :LOCATE 14,43:INPUT EEV
1540 EEV$=STR$(EEV):IF EEV$="" THEN 1530
1550 IF LEN(EEV$)<6 THEN 1580
1560 LOCATE 21,20:PRINT "ELEMAN VARYANSI MAX 5 KARAKTER OLABILIR":FOR II=0 TO 5000:NEXT
1570 GOTO 1530
1580 LSET EVA$=MKS$(EEV):PUT #2,AGZ:AH=2:GOTO 1720
1590 LOCATE 14,57:PRINT " " :LOCATE 14,57:INPUT OCE$
1600 IF OCE$="" THEN 1590
1610 IF LEN(OCE$)<13 THEN 1640

```

```

1620 LOCATE 21,19:PRINT "ONCEKI ELEMANLAR MAX 11 KARAKTER OLABILIR":FOR II=0 TO 5000:NEXT
1630 GOTO 1590
1640 LSET DEL%=OCE%:PUT #2,AGZ
1650 LOCATE 21,18:INPUT "GIRMEK ISTEDIGINIZ BASKA HANE VAR MI?(E):";AI%
1660 LOCATE 21,18:PRINT "
1670 IF AI%="E" OR AI%="e" THEN 1440
1680 CLOSE #2:GOTO 1300
1720 GOSUB 2100
1730 H=1:ZA=LOF(3)/10
1740 FOR X=H TO ZA
1750 GET #3,X
1760 OLDZ=CVI(MIA%)
1770 IF OLDZ=0 THEN 1800
1790 IF LEFT$(COD%,LEN(MON%))=MON% THEN 1820
1800 NEXT X
1810 CLOSE #3:GOTO 1650
1820 OCAZ=CVI(MUH%)
1825 CLOSE #3
1830 GOSUB 2150
1840 FOR Y=1 TO OLDZ
1850 OCAZ=OCAZ+1
1860 GET #4,OCAZ
1870 YKS%=IEL%:YKM=VAL(YKS%):IF YKM=0 THEN 1913
1875 AK=1
1880 FOR P=1 TO LEN(YKS%)/2
1890 ALP%=MID$(YKS%,AK,2):ALPZ=VAL(ALP%)
1900 IF INOZ=ALPZ THEN 1930
1905 AK=AK+3
1910 NEXT P
1913 NEXT Y
1915 H=X-1:IF X<ZA THEN 1740
1920 CLOSE #4:GOTO 1650
1930 IF AH=1 THEN 1950
1940 GOTO 2010
1950 NAV=CVS(ISU%)
1960 NAV=NAV-ELS
1970 MIL=NAV+EES
1980 LSET ISU%=MKS%(MIL):PUT #4,OCAZ
1985 H=X-1:IF X<ZA THEN 1740
1990 CLOSE #4:GOTO 1650
2010 LBM=CVS(IVA%)
2020 LBM=LBM-ELV
2030 LDM=LBM+EEV
2040 LSET IVA%=MKS%(LDM):PUT #4,OCAZ
2045 H=X-1:IF X<ZA THEN 1740
2050 CLOSE #4:GOTO 1650
2100 REM **** DOSYA 3 ****
2110 OPEN "R",#3,"IKAYIT.DAT",10
2120 FIELD #3,2 AS HNO%,4 AS MUH%,2 AS COD%,2 AS MIA%
2130 RETURN
2150 REM **** DOSYA 4 ****
2160 OPEN "R", 4,"ISTAS.DAT",26

```

```

2170 FIELD #4,2 AS INU$,6 AS ISU$,6 AS IVA$,12 AS IEL$
2180 RETURN
2200 REM ***** MODEL-LISTE *****
2210 GOSUB 1010
2220 YANZ=YHAZ:A=10:EMSZ=1
2230 FOR R=1 TO MICZ
2240 YANZ=YANZ+1
2250 ELEMNZ(R)=YANZ
2260 NEXT R
2270 GOSUB 150
2280 LOCATE 3,34:PRINT "MODEL-LISTE"
2285 LOCATE 5,2:PRINT STRING$(78,196)
2290 LOCATE 6,8:PRINT "MODEL NO:";MON$
2300 LOCATE 6,28:PRINT "ELEMEN ADEDI:";MICZ
2310 LOCATE 6,52:PRINT "MODEL ADI:";MOA$
2320 LOCATE 8,14:PRINT "EL.NO":LOCATE 8,23:PRINT "ORT.SURE[sn]"
2330 LOCATE 8,39:PRINT "VARYANS[sn]":LOCATE 8,55:PRINT "ONCEKI ELEMEN"
2340 LOCATE 9,10:PRINT STRING$(61,196)
2350 FOR AP=8 TO 18
2360 LOCATE AP,9:PRINT CHR$(179):LOCATE AP,71:PRINT CHR$(179)
2370 NEXT AP
2380 FOR AR=10 TO 18
2390 LOCATE AR,21:PRINT CHR$(179):LOCATE AR,37:PRINT CHR$(179)
2400 LOCATE AR,52:PRINT CHR$(179)
2410 NEXT AR
2413 LOCATE 8,21:PRINT CHR$(179):LOCATE 8,37:PRINT CHR$(179):LOCATE 8,52:PRINT CHR$(179)
2415 LOCATE 7,9:PRINT CHR$(218);STRING$(61,196);CHR$(191)
2417 LOCATE 19,9:PRINT CHR$(192);STRING$(61,196);CHR$(217)
2420 FOR CCCZ=EMSZ TO MICZ
2430 GET #2,ELEMNZ(CCCZ)
2440 ERK=CVS(ESU$):ECA=CVS(EVA$):OBE$=DEL$
2450 LOCATE A,16:PRINT CCCZ:LOCATE A,26:PRINT ERK
2460 LOCATE A,42:PRINT ECA:LOCATE A,57:PRINT OBE$
2470 A=A+1:IF A>18 THEN 2540
2480 NEXT CCCZ
2520 CLS:LOCATE 21,9:PRINT "MODEL BILGILERI MENUSUNE DONMEK ICIN BIR TUSA BASINIZ"
2530 IF INKEY$="" THEN 2530
2535 CLOSE #1:GOTO 1050
2540 LOCATE 21,24:PRINT "DEVAM ETMEK ICIN BIR TUSA BASINIZ"
2550 ZA$=INKEY$:IF ZA$="" THEN 2550
2560 A=10:EMSZ=EMSZ+9:GOTO 2270
2900 REM**** CERCEVE-2 ****
2910 CLS:LOCATE 1,1:PRINT CHR$(218);STRING$(78,196);CHR$(191)
2920 FOR II=2 TO 21:LOCATE II,1:PRINT CHR$(179):LOCATE II,80:PRINT CHR$(179):NEXT II
2930 LOCATE 6,2:PRINT STRING$(78,196)
2940 LOCATE 22,1:PRINT CHR$(192);STRING$(78,196);CHR$(217)
2950 RETURN
3000 REM ***** MODEL-SILME *****
3010 GOSUB 350
3020 LOCATE 4,34:PRINT "MODEL-SILME"
3030 LOCATE 13,19:PRINT "SON KALACAK IS ELEMANI NUMARASI (0-";MICZ;"):"
3040 LOCATE 13,60:INPUT LMOZ

```

```

3050 EAO$=STR$(LMOZ):IF EAO$="" THEN 3090
3070 IF LMOZ>MICZ OR LMOZ<0 THEN 3090
3080 GOTO 3130
3090 LOCATE 20,21:PRINT "IS ELEMANI NUMARASI YANLIS GIRILMISTIR"
3100 LOCATE 22,26:INPUT "DEVAM EDECEK MISINIZ?(E):";AV$
3110 IF AV$="E" OR AV$="e" THEN 3000
3120 GOTO 1050
3130 LOCATE 20,30:INPUT "EMIN MISINIZ?(E):";AY$
3140 IF AY$="E" OR AY$="e" THEN 3160
3150 GOTO 3100
3160 GOSUB 970
3170 LSET MEA$=MKI$(LMOZ)
3171 LSET YER$=MKI$(YHAZ)
3172 LSET MIS$=MOA$
3173 LSET MNO$=MON$
3180 PUT #1,Z
3190 MICZ=LMOZ:CLOSE #1:GOTO 1050
3300 REM ***** MODEL-EKLEME *****
3310 GOSUB 350
3320 LOCATE 4,34:PRINT "MODEL-EKLEME"
3330 LOCATE 13,24:PRINT "YENI IS ELEMANI ADEDI (";MICZ;"-50): "
3340 LOCATE 13,55:INPUT YEAZ
3350 YEL$=STR$(YEAZ):IF YEL$="" THEN 3390
3370 IF YEAZ<MICZ OR YEAZ>50 THEN 3390
3380 GOTO 3430
3390 LOCATE 20,22:PRINT "IS ELEMANI ADEDI YANLIS GIRILMISTIR"
3400 LOCATE 22,26:INPUT "DEVAM EDECEK MISINIZ?(E):";AZ$
3410 IF AZ$="E" OR AZ$="e" THEN 3300
3420 GOTO 1050
3430 YEEZ=YHAZ+MICZ:BMSZ=MICZ:ARKZ=YEAZ-MICZ:SIR=0:SIR$=STR$(SIR)
3440 GOSUB 1010
3450 FOR F=1 TO ARKZ
3460 YEEZ=YEEZ+1:BMSZ=BMSZ+1
3470 LSET END$=MKI$(BMSZ)
3480 LSET ESU$=MKS$(SIR)
3490 LSET EVA$=MKS$(SIR)
3500 LSET DEL$=SIR$
3510 PUT #2,YEEZ
3520 NEXT F
3525 CLOSE #2:GOSUB 970
3530 LSET MEA$=MKI$(YEAZ)
3531 LSET MNO$=MON$
3532 LSET YER$=MKI$(YHAZ)
3533 LSET MIS$=MOA$
3540 PUT #1,Z
3550 MICZ=YEAZ:CLOSE #1:GOTO 1050
3700 REM ***** ISTASYON BILGILERI *****
3710 GOSUB 350
3720 LOCATE 4,31:PRINT "ISTASYON BILGILERI"
3730 LOCATE 11,26:INPUT "MONTAJ HATTI NUMARASI (1-99):";MUS$
3740 IF MUS$="" THEN 3770
3750 YMYZ=VAL(MUS$):IF YMYZ>99 OR YMYZ<1 THEN 3770

```



```

3760 GOTO 3810
3770 LOCATE 20,24:PRINT "HAT NUMARASI YANLIS GIRILMISTIR"
3780 LOCATE 22,26:INPUT "DEVAM EDECEK MISINIZ?(E):";BA$
3790 IF BA$="E" OR BA$="e" THEN 3700
3800 GOTO 250
3810 GOSUB 2100
3820 FOR X=1 TO LOF(3)/10
3830 GET #3,X
3840 ABCZ=CVI(MIA$)
3850 IF ABCZ=0 THEN 3880
3870 IF LEFT$(HND$,LEN(MUS$))=MUS$ THEN 4400
3880 NEXT X
3890 LOCATE 18,23:PRINT MUS$;" NUMARALI HAT ICIN KAYIT YOKTUR"
3900 LOCATE 20,27:INPUT "KAYIT ACILACAK MI?(E):";BB$
3910 IF BB$="E" OR BB$="e" THEN 3930
3920 CLOSE #3:GOTO 3780
3930 GOSUB 350
3940 LOCATE 4,31:PRINT "ISTASYON BILGILERI"
3950 LOCATE 10,26:PRINT "MONTAJ HATTI NUMARASI: ";MUS$
3960 LOCATE 12,26:INPUT "MODEL NUMARASI (1-99):";SIP$
3970 IF SIP$="" THEN 4000
3980 SRKZ=VAL(SIP$):IF SRKZ<1 OR SRKZ>99 THEN 4000
3990 GOTO 4040
4000 LOCATE 20,23:PRINT "MODEL NUMARASI YANLIS GIRILMISTIR"
4010 LOCATE 22,26:INPUT "DEVAM EDECEK MISINIZ?(E):";BC$
4020 IF BC$="E" OR BC$="e" THEN 3930
4030 CLOSE #3:GOTO 250
4040 GOSUB 970
4050 FOR Z=1 TO LOF(1)/18
4060 GET #1,Z
4070 SUDZ=CVI(MEA$)
4080 IF SUDZ=0 THEN 4110
4100 IF LEFT$(MND$,LEN(SIP$))=SIP$ THEN 4150
4110 NEXT Z
4120 CLOSE #1
4130 LOCATE 20,22:PRINT SIP$;" NUMARALI MODEL ICIN KAYIT YOKTUR":GOTO 4010
4150 HITZ=CVI(YER$):CLOSE #1
4160 LOCATE 14,26:INPUT "ISTASYON ADEDI (1-50):";MDRZ
4180 IF MDRZ>50 OR MDRZ<1 THEN 4200
4190 GOTO 4220
4200 LOCATE 20,23:PRINT "ISTASYON ADEDI YANLIS GIRILMISTIR":FOR II=0 TO 5000:NEXT
4210 LOCATE 14,48:PRINT " ":GOTO 4160
4220 LSET HND$=MUS$
4230 BD=X-1
4240 YILZ=BD*50
4250 LSET MUH$=MKI$(YILZ)
4260 LSET COD$=SIP$
4270 LSET MIA$=MKI$(MDRZ)
4280 PUT #3,X:CLOSE #3
4290 GOSUB 2150
4300 ELBZ=0:YDLZ=YILZ:SAY=0:SAY$=STR$(SAY)
4310 FOR Y=1 TO MDRZ

```

```

4320 ELBZ=ELBZ+1:YOLZ=YOLZ+1
4330 LSET INU$=MKI$(ELBZ)
4340 LSET ISU$=MKS$(SAY)
4350 LSET IVA$=MKS$(SAY)
4360 LSET IEL$=SAY$
4370 PUT #4,YOLZ
4380 NEXT Y
4390 CLOSE #4:GOTO 4600
4400 YILZ=CVI(MUH$):MDRZ=ABZ:SIP$=COD$:CLOSE #3
4600 REM ***** ISTASYON BILGILERI MENUSU *****
4610 GOSUB 150
4620 LOCATE 4,28:PRINT "ISTASYON BILGILERI MENUSU"
4625 LOCATE 6,2:PRINT STRING$(78,196)
4630 LOCATE 10,36:PRINT "1.GIRIS"
4640 LOCATE 12,36:PRINT "2.LISTE"
4650 LOCATE 14,36:PRINT "3.SILME"
4660 LOCATE 16,36:PRINT "4.EKLEME"
4665 LOCATE 18,36:PRINT "5.ANA MENU"
4670 LOCATE 21,30:PRINT "SECENEGINIZ....."
4675 BE$=INKEY$:IF BE$="" THEN 4675
4677 BEZ=VAL(BE$)
4680 ON BEZ GOTO 4800,5800,6600,6900,250
4690 LOCATE 21,30:PRINT "SECENEGINIZ YANLIS " :FOR II=0 TO 5000:NEXT:GOTO 460
4800 REM ***** ISTASYON-GIRIS *****
4810 GOSUB 350
4820 LOCATE 4,33:PRINT "ISTASYON-GIRIS"
4830 LOCATE 12,27:PRINT "ISTASYON NUMARASI (1-";MDRZ;"): "
4840 LOCATE 12,52:INPUT KARZ
4850 KAL$=STR$(KARZ):IF KAL$="" THEN 4880
4860 IF KARZ>MDRZ OR KARZ<1 THEN 4880
4870 GOTO 4920
4880 LOCATE 20,22:PRINT "ISTASYON NUMARASI YANLIS GIRILMISTIR"
4890 LOCATE 22,26:INPUT "DEVAM EDECEK MISINIZ?(E)";BF$
4900 IF BF$="E" OR BF$="e" THEN 4800
4910 GOTO 4600
4920 BGZ=YILZ+KARZ
4940 GOSUB 2150
4950 GET #4,BGZ
4980 RCY$=IEL$:RCFZ=VAL(RCY$)
4990 IF RCFZ=0 THEN 5110
5020 LOCATE 14,27:PRINT "ISTASYONA AIT IS ELEMENLARI:" :LOCATE 14,55:PRINT RCY$
5030 GOTO 5120
5110 LOCATE 14,26:PRINT "ISTASYONA AIT IS ELEMANI YOKTUR"
5120 LOCATE 16,27:PRINT "YENI IS ELEMANI GRUBU:"
5130 KIR=0:KOR=0:BP=1:OA=1
5135 LOCATE 16,49:INPUT YDG$
5140 IF YDG$="" THEN 5190
5145 IF LEN(YDG$)<3 THEN 5180
5150 FOR V=1 TO LEN(YDG$)/3
5155 ZDG$=MID$(YDG$,BP,2)
5160 DKMZ=VAL(ZDG$):IF DKMZ<1 OR DKMZ>MDRZ THEN 5190
5165 BP=BP+4

```

```

5170 NEXT V
5175 GOTO 5200
5180 DKMZ=VAL(YDG$):IF DKMZ<1 OR DKMZ>MDRZ THEN 5190
5185 GOTO 5245
5190 LOCATE 20,20:PRINT "IS ELEMANI MUMARALARI YANLIS GIRILMISTIR":FOR II=0 TO 5000:NEXT
5195 LOCATE 16,49:PRINT "
5200 GOSUB 1010
5205 FOR V=1 TO LEN(YDG$)/3
5207 ZDG$=MID$(YDG$,OA,2):DKMZ=VAL(ZDG$)
5210 BSZ=HITZ+DKMZ
5215 GET #2,BSZ
5220 BMA=CVS(ESU$):BAA=CVS(EVA$)
5225 KIR=KIR+BMA:KOR=KOR+BAA
5230 OA=OA+1
5235 NEXT V
5240 GOTO 5270
5245 GOSUB 1010
5250 DKMZ=VAL(YDG$)
5255 BSZ=HITZ+DKMZ
5260 GET #2,BSZ
5265 KIR=CVS(ESU$):KOR=CVS(EVA$)
5270 LSET ISU$=MKS$(KIR)
5275 LSET IVA$=MKS$(KOR)
5280 LSET IEL$=YDG$
5285 PUT #4,BGZ:CLOSE #4:CLOSE #2
5400 LOCATE 20,16:INPUT "YENI ISTASYON DURUMUNU GORMEK ISTER MISINIZ?(E): ";BU$
5410 IF BU$="E" OR BU$="e" THEN 5460
5420 GOTO 4890
5450 LOCATE 16,BN:PRINT "-":GOTO 5150
5460 GOSUB 150
5470 LOCATE 3,32:PRINT "ISTASYON NO=";KARZ
5475 LOCATE 5,2:PRINT STRING$(78,196)
5480 LOCATE 8,14:PRINT "EL.NO":LOCATE 8,23:PRINT "ORT.SURE[sn]"
5490 LOCATE 8,39:PRINT "VARYANS[sn]":LOCATE 8,55:PRINT "ONCEKI ELEMEN"
5500 LOCATE 9,10:PRINT STRING$(61,196):LOCATE 17,10:PRINT STRING$(61,196)
5510 FOR BY=8 TO 18
5520 LOCATE BY,9:PRINT CHR$(179):LOCATE BY,71:PRINT CHR$(179)
5530 NEXT BY
5540 FOR BZ=10 TO 18
5550 LOCATE BZ,21:PRINT CHR$(179):LOCATE BZ,37:PRINT CHR$(179)
5560 LOCATE BZ,52:PRINT CHR$(179)
5570 NEXT BZ
5580 LOCATE 7,9:PRINT CHR$(218);STRING$(61,196);CHR$(191)
5590 LOCATE 19,9:PRINT CHR$(192);STRING$(61,196);CHR$(217)
5595 GOSUB 2150
5600 GET #4,BGZ
5610 DOR$=IEL$
5615 IF LEN(DOR$)<3 THEN 5775
5620 CA=10:CB=1:ZZ=LEN(DOR$)/3
5625 GOSUB 1010
5630 FOR C=1 TO ZZ
5640 CC$=MID$(DOR$,CB,2)

```

```

5650 CDZ=VAL(CC%):CEZ=HITZ+CDZ
5660 GET #2,CEZ
5670 KOF=CVS(ESU%):KOL=CVS(EVA%):GEZ$=DEL$
5680 LOCATE CA,16:PRINT CC$:LOCATE CA,26:PRINT KOF
5690 LOCATE CA,42:PRINT KOL:LOCATE CA,57:PRINT GEZ$
5700 CB=CB+3:CA=CA+1
5710 NEXT C
5715 CLOSE #2
5720 LOCATE 18,11:PRINT "TOPLAM:"
5730 LOCATE 19,26:PRINT KIR:LOCATE 19,42:PRINT KOR
5740 CLOSE #2:CLOSE #4
5750 LOCATE 22,27:PRINT "DEVAM EDECEK MISINIZ?(E):"
5755 CE$=INKEY$:IF CE$="" THEN 5755
5760 IF CE$="E" OR CE$="e" THEN 4800
5770 GOTO 4600
5775 CC%=IEL$
5780 CDZ=VAL(CC%):CEZ=HITZ+CDZ
5785 LOCATE 10,16:PRINT CC$:LOCATE 10,26:PRINT KIR
5790 LOCATE 10,42:PRINT KOR:LOCATE 10,55:GEZ$
5795 GOTO 5720
5800 REM ***** ISTASYON-LISTE *****
5810 GOSUB 2150
5820 MTFZ=YILZ:E=10:OHSZ=1:L=1
5830 FOR R=1 TO MDRZ
5840 MTFZ=MTFZ+1
5850 ELEMENZ(R)=MTFZ
5860 NEXT R
5870 GOSUB 150
5880 LOCATE 3,33:PRINT "ISTASYON-LISTE"
5885 LOCATE 5,2:PRINT STRING$(78,196)
5890 LOCATE 6,10:PRINT "MONTAJ HATTI NO: ";MUS$
5900 LOCATE 6,35:PRINT "MODEL NO: ";SIP$
5910 LOCATE 6,52:PRINT "ISTASYON ADEDI: ";MDRZ
5920 LOCATE 8,14:PRINT "IST.NO":LOCATE 8,23:PRINT "TOP.SURE[sn]"
5930 LOCATE 8,39:PRINT "TOP.VARYANS[sn]":LOCATE 8,55:PRINT "IS ELEMENLARI"
5940 LOCATE 9,10:PRINT STRING$(61,196)
5950 LOCATE 7,9:PRINT CHR$(218);STRING$(61,196);CHR$(191)
5960 FOR CF=8 TO 18
5970 LOCATE CF,9:PRINT CHR$(179):LOCATE CF,71:PRINT CHR$(179)
5980 NEXT CF
5990 FOR CG=10 TO 18
6000 LOCATE CG,21:PRINT CHR$(179):LOCATE CG,37:PRINT CHR$(179)
6010 LOCATE CG,52:PRINT CHR$(179)
6020 NEXT CG
6030 LOCATE 19,9:PRINT CHR$(192);STRING$(61,196);CHR$(217)
6040 FOR YYYZ=OHSZ TO MDRZ
6050 GET #4,ELEMENZ(YYYZ)
6060 RSM=CVS(ISU%):LRS=CVS(IVA%):ABT%=IEL$
6070 LOCATE E,16:PRINT YYYZ:LOCATE E,26:PRINT RSM
6080 LOCATE E,44:PRINT LRS:LOCATE E,57:PRINT ABT$
6090 E=E+1:IF E>18 THEN 6155
6100 NEXT YYYZ

```

```

6140 CLS:LOCATE 21,12:PRINT "ISTASYON BILGILERI MENUSUNE DONMEK ICIN BIR TUSA BASINIZ"
6150 IF INKEY$="" THEN 6150
6153 CLOSE #3:GOTO 4600
6155 IF MDRZ<=L19 THEN 6110
6160 LOCATE 21,24:PRINT "DEVAM ETMEK ICIN BIR TUSA BASINIZ"
6170 IF INKEY$="" THEN 6170
6180 E=10:L=L+1:OHSZ=OHSZ+9:GOTO 5870
6600 REM ##### ISTASYON-SILME #####
6610 GOSUB 350
6620 LOCATE 4,32:PRINT "ISTASYON-SILME"
6630 LOCATE 13,20:PRINT "SON KALACAK ISTASYON NUMARASI (0-";MDRZ;"): "
6640 LOCATE 13,58:INPUT NAVZ
6650 VLT$=STR$(NAVZ):IF VLT$="" THEN 6680
6660 IF NAVZ>MDRZ OR NAVZ<0 THEN 6680
6670 GOTO 6720
6680 LOCATE 20,22:PRINT "ISTASYON NUMARASI YANLIS GIRILMISTIR"
6690 LOCATE 22,26:INPUT "DEVAM EDECEK MISINIZ?(E):";CK$
6700 IF CK$="E" OR CK$="e" THEN 6600
6710 GOTO 4600
6720 LOCATE 20,30:INPUT "EMIN MISINIZ?(E):";CL$
6730 IF CL$="E" OR CL$="e" THEN 6750
6740 GOTO 6690
6750 GOSUB 2150
6760 LSET MIA$=MKI$(NAVZ)
6761 LSET HND$=MUS$
6762 LSET MUH$=MKI$(YILZ)
6763 LSET COD$=SIP$
6770 PUT #3,Z
6780 MDRZ=NAVZ:CLOSE #3:GOTO 4600
6900 REM ##### ISTASYON-EKLEME #####
6910 GOSUB 350
6920 LOCATE 4,32:PRINT "ISTASYON-EKLEME"
6930 LOCATE 13,25:PRINT "YENI ISTASYON ADEDI (";MDRZ;"-50): "
6940 LOCATE 13,54:INPUT ALKZ
6950 ZML$=STR$(ALKZ):IF ZML$="" THEN 6980
6960 IF ALKZ<MDRZ OR ALKZ>50 THEN 6980
6970 GOTO 7020
6980 LOCATE 20,23:PRINT "ISTASYON ADEDI YANLIS GIRILMISTIR"
6990 LOCATE 22,27:INPUT "DEVAM EDECEK MISINIZ?(E):";CM$
7000 IF CM$="E" OR CM$="e" THEN 6900
7010 GOTO 4600
7020 TUMZ=YILZ+MDRZ:FVDZ=MDRZ:FLPZ=ALKZ-MDRZ:SFI=0:SFI$=STR$(SFI)
7030 GOSUB 2150
7040 FOR P=1 TO FLPZ
7050 TUMZ=TUMZ+1:FVDZ=FVDZ+1
7060 LSET INU$=MKI$(FVDZ)
7070 LSET ISU$=MKS$(SFI)
7080 LSET IVA$=MKS$(SFI)
7090 LSET IEL$=SFI$
7100 PUT #4,TUMZ
7110 NEXT P
7120 GOSUB 2100

```

```

7130 LSET MIA%=MKI$(ALKZ)
7131 LSET HND%=MUS%
7132 LSET COD%=SIP%
7140 PUT #3,X
7150 MDRZ=ALKZ:CLOSE #3:CLOSE #4:GOTO 4600
7290 FOR I=1 TO CVRZ
7400 REM ##### SIMULASYON MENUSU #####
7410 GOSUB 150
7420 LOCATE 4,31:PRINT "SIMULASYON MENUSU"
7430 LOCATE 10,31:PRINT "1.TEK MODEL HATTI"
7435 LOCATE 6,2:PRINT STRING$(7B,196)
7440 LOCATE 12,31:PRINT "2.COK MODEL HATTI"
7450 LOCATE 14,31:PRINT "3.RAPORLAR"
7460 LOCATE 16,31:PRINT "4.ANA MENU"
7470 LOCATE 21,30:PRINT "SECNEGINIZ....."
7475 DA%=INKEY$:IF DA%="" THEN 7475
7477 DAZ=VAL(DA%)
7480 ON DAZ GOTO 7500,8800,10100,250
7490 LOCATE 21,30:PRINT "SECNEGINIZ YANLIS ";FOR II=0 TO 5000:NEXT:GOTO 7400
7500 REM ##### TEK MODEL HATTI #####
7510 GOSUB 350
7520 LOCATE 4,26:PRINT "TEK MODEL HATTI SIMULASYONU"
7530 LOCATE 11,25:INPUT "MONTAJ HATTI NUMARASI (1-99): ";PAT%
7540 IF PAT%="" THEN 7570
7550 STFZ=VAL(PAT%):IF STFZ<1 OR STFZ>99 THEN 7570
7560 GOTO 7610
7570 LOCATE 20,24:PRINT "HAT NUMARASI YANLIS GIRILMISTIR"
7580 LOCATE 22,27:INPUT "DEVAM EDECEK MISINIZ?(E):";DB%
7590 IF DB%="E" OR DB%="e" THEN 7500
7600 GOTO 7400
7610 GOSUB 2100
7620 FOR X=1 TO LDF(3)/10
7630 GET #3,X
7640 MDRZ=CVI(MIA%)
7650 IF MDRZ=0 THEN 7680
7670 IF LEFT$(HND$,LEN(PAT%))=PAT% THEN 7720
7680 NEXT X
7690 LOCATE 20,23:PRINT PAT%;" NUMARALI HAT ICIN KAYIT YOKTUR"
7700 CLOSE #3:GOTO 7580
7720 YASZ=CVI(MUH%):SOR%=COD%
7725 P=1:RENZ=YASZ
7730 CLOSE #3
7740 GOSUB 2150
7750 FOR J=1 TO MDRZ
7760 RENZ=RENZ+1
7770 GET #4,RENZ
7780 SUR(P,J)=CVS(ISU%):VAR(P,J)=CVS(IVA%):BOZ(J)=0
7790 NEXT J
7800 CLOSE #4
7810 LOCATE 13,25:INPUT "CEVRIM SAYISI (1-99):";CVRZ
7820 CEV%=STR$(CVRZ):IF CEV%="" THEN 7840
7830 IF CVRZ<1 OR CVRZ>99 THEN 7840

```

```

7835 GOTO 7915
7840 LOCATE 20,24:PRINT "CEVRIM SAYISI YANLIS GIRILMISTIR"
7850 LOCATE 22,26:INPUT "DEVAM EDECEK MISINIZ?(E):";DC$
7860 IF DC$="E" OR DC$="e" THEN 7880
7870 GOTO 7400
7880 GOSUB 350
7890 LOCATE 4,26:PRINT "TEK MODEL HATTI SIMULASYONU"
7900 LOCATE 11,25:PRINT "MONTAJ HATTI NUMARASI:";PAT$
7910 GOTO 7810
7915 LOCATE 20,30:PRINT "----LUTFEN BEKLEYIN----"
7920 FOR I=1 TO CVRZ
7925 GOSUB 7930
7927 GOTO 8330
7930 TMS(I)=0:MBZ(I)=0:TES(I)=0:TGS(I)=0
7940 IF I=1 THEN 7960
7950 GIZ=BOZ(I):HGZ=BOZ(I):GOTO 7970
7960 GIZ=0:HGZ=0
7970 FOR J=1 TO MORZ
7980 FARK=GIZ-BOZ(J)
7990 IF FARK=0 THEN 8030
8000 IF FARK>0 THEN 8020
8010 IGZ(J)=BOZ(J):TGS(I)=TGS(I)+FARK:GOTO 8040
8020 IGZ(J)=GIZ:MBZ(I)=MBZ(I)+FARK:GOTO 8040
8030 IGZ(J)=GIZ
8040 IF SUR(P,J)=0 THEN 8060
8050 GOTO 8090
8060 TIS=0:GOTO 8170
8090 DD=0
8100 FOR M=1 TO 12
8110 DE=RND:DD=DD+DE
8120 NEXT M
8130 DF=DD-6
8140 DG=SUR(P,J)+VAR(P,J):DH=SUR(P,J)-VAR(P,J)
8150 ' IF DR=DG OR DR<=DH THEN 8040
8160 TIS=SUR(P,J)+DF*SQR(VAR(P,J))
8170 BOZ(J)=IGZ(J)+TIS
8180 TES(I)=TES(I)+TIS
8190 ETS(J)=TIS:GIZ=BOZ(J):HCZ(I)=BOZ(J)
8200 NEXT J
8210 TMS(I)=HCZ(I)-HGZ
8220 HVR(I)=(TES(I)/TMS(I))*100
8230 ENB=0:TFA=0
8240 FOR J=1 TO MORZ
8250 IF ETS(J)<ENB THEN 8270
8260 ENB=ETS(J)
8270 NEXT J
8280 FOR J=1 TO MORZ
8290 TFA=TFA+(ENB-ETS(J))
8300 NEXT J
8310 DIN(I)=(TFA/(ENB*MORZ))*100
8320 GKD(I)=(TGS(I)/TMS(I))*100
8325 RETURN

```

```

8330 NEXT I
8335 GOSUB 8340
8337 GOTO 8497
8340 CAS=0:CEU=0:CAR=0:CUN=0:CEY=0:CIZ=0
8350 FOR I=1 TO CVRZ
8360 CAS=CAS+MBZ(I):CEU=CEU+TGS(I):CIZ=CIZ+TMS(I)
8370 CAR=CAR+HVR(I):CUN=CUN+DIN(I):CEY=CEY+GKO(I)
8380 NEXT I
8390 ZAS=CAS/CVRZ:ZEU=CEU/CVRZ:ZIZ=CIZ/CVRZ
8400 ZAR=CAR/CVRZ:ZUN=CUN/CVRZ:ZEY=CEY/CVRZ
8410 FAS=0:FEU=0:FAR=0:FUN=0:FEY=0:FIZ=0
8420 FOR I=1 TO CVRZ
8430 FAS=FAS+(MBZ(I)-ZAS)^2:FEU=FEU+(TGS(I)-ZEU)^2
8440 FAR=FAR+(HVR(I)-ZAR)^2:FUN=FUN+(DIN(I)-ZUN)^2
8450 FEY=FEY+(GKO(I)-ZEY)^2:FIZ=FIZ+(TMS(I)-ZIZ)^2
8460 NEXT I
8470 NAS=SQR(FAS/CVRZ):NEU=SQR(FEU/CVRZ)
8480 NAR=SQR(FAR/CVRZ):NUN=SQR(FUN/CVRZ)
8490 NEY=SQR(FEY/CVRZ):NIZ=SQR(FIZ/CVRZ)
8495 RETURN
8497 GOSUB 150
8500 GOSUB 10450
8510 LOCATE 22,18:PRINT "SONUCLARIN DOSYALANMASINI ISTER MISINIZ?(E):"
8520 DI$=INKEY$:IF DI$="" THEN 8520
8530 IF DI$="E" OR DI$="e" THEN 8580
8540 LOCATE 22,18:PRINT "          DEVAM EDECEK MISINIZ?(E):"
8550 DJ$=INKEY$:IF DJ$="" THEN 8550
8560 IF DJ$="E" OR DJ$="e" THEN 7500
8570 GOTO 7400
8580 GOSUB 10000
8590 DKZZ=LOF(5)/88
8600 DKZZ=DKZZ+1
8610 LSET SNO$=MKI$(DKZZ):LSET MDL$=SOR$
8620 LSET GEL$=SOR$:LSET PHC$=MKI$(CVRZ)
8630 GOSUB 8650
8640 GOTO 8540
8650 LSET OMB$=MKS$(ZAS):LSET VMB$=MKS$(NAS)
8660 LSET OGS$=MKS$(ZEV):LSET VGS$=MKS$(NEU)
8670 LSET OHV$=MKS$(ZAR):LSET VHV$=MKS$(NAR)
8680 LSET ODI$=MKS$(ZUN):LSET VDI$=MKS$(NUN)
8690 LSET ODK$=MKS$(ZEY):LSET VKK$=MKS$(NEY)
8700 PUT #5,DKZZ
8705 CLOSE #5
8710 LOCATE 21,16:PRINT "SONUCLAR"
8713 LOCATE 21,25:PRINT DKZZ;"NO'LU RAPOR DOSYASINA KAYDEDILMISTIR":FOR II=0 TO 5000:NEXT II
8720 RETURN
8800 REM ***** COK MODEL HATTI *****
8810 GOSUB 350
8820 LOCATE 4,26:PRINT "COK MODEL HATTI SIMULASYONU"
8830 LOCATE 11,24:INPUT "MONTAJ HATTI NUMARALARI (1-99):";HCN$
8840 IF HCN$="" THEN 8945
8850 GOSUB 2100

```



```

8855 GTHZ=LEN(HCN$)/3:GTHZ=GTHZ+1
8860 IF GTHZ<2 THEN 8970
8865 IA=1:IB=1
8870 FOR DN=1 TO GTHZ
8875 ZCN$=MID$(HCN$,IA,2)
8880 ABFZ=VAL(ZCN$):IF ABFZ<1 OR ABFZ>99 THEN 8945
8885 FOR X=1 TO LOF(3)/10
8890 GET #3,X
8895 LEGZ=CVI(MIA$)
8900 IF LEGZ=0 THEN 8915
8910 IF LEFT$(HNO$,LEN(ZCN$))=ZCN$ THEN 8925
8915 NEXT X
8920 CLOSE #3:GOTO 8980
8925 HAT$(DN)=COD$:LIN$(DN)=ZCN$:PLAZ(DN)=CVI(MUH$):ADEZ(DN)=LEGZ
8930 IA=IA+4
8935 NEXT DN
8940 CLOSE #3:GOTO 8990
8945 LOCATE 19,22:PRINT "YANLIS GIRILMIS IS ELEMANI MEVCUTTUR":FOR II=0 TO 5000:NEXT
8950 LOCATE 21,52:PRINT " "
8955 LOCATE 21,26:INPUT "DEVAM EDECEK MISINIZ?(E):";DR$
8960 IF DR$="E" OR DR$="e" THEN 7400
8965 GOTO 8800
8970 LOCATE 19,24:PRINT "BU BOLUMDE TEK MODELLE CALISILMAZ":FOR II=0 TO 5000:NEXT
8975 GOTO 8950
8980 LOCATE 19,24:PRINT "KAYIT EDILMEMIS HATLAR MEVCUTTUR":FOR II=0 TO 5000:NEXT
8985 GOTO 8950
8990 LOCATE 13,24:INPUT "HAT GELIS SIRASI:";KAS$
8995 IF KAS$="" THEN 9023
8997 ZTHZ=LEN(KAS$)/3:ZTHZ=ZTHZ+1
9000 IF ZTHZ<2 THEN 8970
9003 P=1
9010 SAAZ=VAL(SAA$):IF SAAZ<1 OR SAAZ>99 THEN 8945
9015 FOR DT=1 TO ZTHZ
9020 FOR DN=1 TO 6THZ
9023 LOCATE 13,40:PRINT " "
9025 IF LEFT$(LIN$(DN),LEN(SAA$))=SAA$ THEN 9040
9030 NEXT DN
9040 EBZ=PLAZ(DN):URU$(DT)=HAT$(DN):MORZ=ADEZ(DN)
9045 GOSUB 2150
9050 FOR J=1 TO MORZ
9055 EBZ=EBZ+1
9060 GET #4,EBZ
9065 SUR(P,J)=CVS(ISU$):VAR(P,J)=CVS(IVA$):BOZ(J)=0
9070 P=P+1
9080 NEXT DT
9085 GOTO 8980
9090 CLOSE #4
9430 LOCATE 23,13:PRINT "HER ELEMEN SIRASI ICIN BIR CEVRIM SAYISI GIRILECEKTIR"
9440 BOZ$=STR$(BOZZ):IF BOZ$="" THEN 9470
9450 IF BOZZ<1 OR BOZZ>99 THEN 9470
9460 GOTO 9490
9470 LOCATE 21,24:PRINT "CEVRIM SAYISI YANLIS GIRILMISTIR":FOR II=0 TO 8000:NEXT

```

```

9480 LOCATE 15,52:PRINT " ":GOTO 9420
9490 LOCATE 19,30:PRINT "----LUTFEN BEKLEYIN----"
9500 CVRZ=GOZZ+DVZ:I=0
9600 FOR K=1 TO GOZZ
9610 P=0
9620 FOR L=1 TO DVZ
9630 P=P+1:I=I+1
9640 GOSUB 7930
9650 NEXT L
9660 NEXT K
9670 GOSUB 8340
9680 GOSUB 150
9690 GOSUB 10450
9700 LOCATE 22,18:PRINT "SONUCLARIN DOSYALANMASINI ISTER MISINIZ?(E):"
9710 FA%=INKEY$:IF FA%="" THEN 9710
9720 IF FA%="E" OR FA%="e" THEN 9770
9730 LOCATE 21,18:PRINT " DEVAM EDECEK MISINIZ?(E):"
9740 FB%=INKEY$:IF FB%="" THEN 9740
9750 IF FB%="E" OR FB%="e" THEN 8800
9760 GOTO 7400
9770 GOSUB 10000
9780 FBJZ=LDF(5)/88
9790 FBJZ=FBJZ+1:DKZZ=FBJZ
9800 LSET SNO%=MKI$(DKZZ)
9810 LSET MDL%=HCN$
9820 LSET GEL%=KAS$
9830 PAT%=HCN
9920 LSET PHC%=MKI$(CVRZ)
9930 GOSUB 8650
9940 GOTO 9730
10000 REM ***** DOSYA 5 *****
10010 OPEN "R",#5,"SONUC.DAT",100
10020 FIELD #5,2 AS SNO$,10 AS MDL$,20 AS GEL$,2 AS PHC$,5 AS OHV$,5 AS VHV$,5 AS ODI$,5 AS VDI$,6 AS
OMB$,6 AS VMB$,6 AS OGS$,6 AS VGS$,5 AS O GK$,5 AS VGK$,6 AS OMS$,6 AS VMS$ 10030 RETURN
10100 REM ***** SIMULASYON SONUC RAPORU *****
10105 GOSUB 350
10110 LOCATE 4,28:PRINT "SIMULASYON SONUC RAPORU"
10120 LOCATE 13,25:INPUT "SONUC DOSYASI NUMARASI (1-99):";ABKZ
10140 IF ABKZ<1 OR ABKZ>99 THEN 10160
10150 GOSUB 10000
10155 GOTO 10210
10160 LOCATE 20,24:PRINT "DOSYA NUMARASI YANLIS GIRILMISTIR"
10170 LOCATE 22,27:INPUT "DEVAM EDECEK MISINIZ?(E):";GA$
10180 IF GA%="E" OR GA%="e" THEN 10100
10190 GOTO 7400
10210 FOR A=1 TO LDF(5)/100
10220 GET #5,A
10230 BAMZ=CVI$(SNO$)
10240 IF ABKZ=BAMZ THEN 10280
10250 NEXT A
10260 LOCATE 20,24:PRINT ABKZ;"NUMARALI DOSYA ICIN KAYIT YOKTUR"
10270 GOTO 10170

```

```

10380 BAK$=MDL$:RDM$=GEL$
10390 ZAS=CVS(OMB$):NAS=CVS(VMB$):ZAR=CVS(OHV$):NAR=CVS(VHV$)
10400 ZEU=CVS(OGS$):NEU=CVS(VGS$):ZUN=CVS(ODI$):NUN=CVS(VDI$)
10410 ZEY=CVS(OGK$):NEY=CVS(VGK$):ZEZ=CVS(OMS$):NIZ=CVS(VMS$)
10415 CVRZ=CVI(PHC$):CLOSE #5
10420 GOSUB 150
10430 GOSUB 10450
10440 GOTO 10850
10450 LOCATE 4,30:PRINT "SIMULASYON SONUCLARI"
10455 LOCATE 5,2:PRINT STRING$(78,196)
10460 LOCATE 7,30:INPUT "MODEL NUMARASI:";BAK$
10470 LOCATE 8,30:INPUT "MODEL GELIS SIRASI:";RDM$
10480 LOCATE 9,30:PRINT "PARTI HACMI: ";CVRZ
10490 GF=46:GG=51
10600 LOCATE 10,10:PRINT CHR$(218);STRING$(59,196);CHR$(191)
10610 FOR GJ=11 TO 18
10620 LOCATE GJ,10:PRINT CHR$(179):LOCATE GJ,70:PRINT CHR$(179)
10630 NEXT GJ
10640 FOR GK=13 TO 18
10650 LOCATE GK,39:PRINT CHR$(179):LOCATE GK,54:PRINT CHR$(179)
10660 NEXT GK
10670 LOCATE 12,11:PRINT STRING$(59,196)
10680 LOCATE 19,10:PRINT CHR$(192);STRING$(59,196);CHR$(217)
10685 LOCATE 11,39:PRINT CHR$(179):LOCATE 11,54:PRINT CHR$(179)
10690 LOCATE 11,11:PRINT "PERFORMANS KRITERLERI"
10700 LOCATE 13,11:PRINT "HAT VERIMLILIGI[Z]"
10710 LOCATE 14,11:PRINT "DUZGUNLUK INDEKSI[Z]"
10720 LOCATE 15,11:PRINT "TOPLAM MONTAJ SURESI[sn]"
10730 LOCATE 16,11:PRINT "ISTASYON BOS ZAMANI[sn]"
10740 LOCATE 17,11:PRINT "TOPLAM GECIKME SURESI[sn]"
10750 LOCATE 18,11:PRINT "GECIKME KAYBI ORANI[Z]"
10760 LOCATE 11,43:PRINT "ORTALAMA"
10770 LOCATE 11,58:PRINT "S.SAPMA"
10780 LOCATE 13,44:PRINT ZAR:LOCATE 13,57:PRINT NAR
10790 LOCATE 14,44:PRINT ZUN:LOCATE 14,57:PRINT NUN
10800 LOCATE 15,44:PRINT ZIZ:LOCATE 15,57:PRINT NIZ
10810 LOCATE 16,44:PRINT ZAS:LOCATE 16,57:PRINT NAS
10820 LOCATE 17,44:PRINT ZEU:LOCATE 17,57:PRINT NEU
10830 LOCATE 18,44:PRINT ZEY:LOCATE 18,57:PRINT NEY
10840 RETURN
10880 LOCATE 21,13:PRINT "          DEVAM EDECEK MISINIZ?(E):
10890 GM$=INKEY$:IF GM$="" THEN 10890
10900 IF GM$="E" OR GM$="e" THEN 10100
11000 GOTO 7400
11200 REM ***** CIKIS *****
11210 CLS:SYSTEM

```

MODEL-LISTE

MODEL NO:01

ELEMEN ADEDI: 23

MODEL ADI:SSS

EL.NO	ORT.SURE[sn]	VARYANS[sn]	ONCEKI ELEMEN
1	13	.78	-
2	19	2.24	-
3	25	3.98	1-2
4	9.5	.42	3
5	17	1.3	4
6	6.5	.32	1
7	25.5	2.83	-
8	18	4.2	5-6-7
9	4.5	.27	-
10	27	4.6	9
11	16.5	1.32	10

MODEL-LISTE

MODEL NO:01

ELEMEN ADEDI: 23

MODEL ADI:SSS

EL.NO	ORT.SURE[sn]	VARYANS[sn]	ONCEKI ELEMEN
12	11	.98	11
13	11.5	.99	12
14	9	.81	12
15	14	2.1	13-14
16	22	3.38	8-15
17	24.5	7.22	16
18	16	3.52	16
19	30.5	1.22	17-18
20	6	.48	19
21	8	.77	19
22	10.5	2.15	20-21

MODEL-LISTE

MODEL NO:01

ELEMEN ADEDI: 23

MODEL ADI:SSS

EL.NO	ORT.SURE[sn]	VARYANS[sn]	ONCEKI ELEMEN
23	30	2.5	22

MODEL-LISTE

MODEL NO:02

ELEMEN ADEDI: 23

MODEL ADI:DDD

EL.NO	ORT.SURE[sn]	VARYANS[sn]	ONCEKI ELEMEN
1	13	.78	-
2	19	2.24	-
3	25	3.98	1-2
4	9.5	.42	3
5	17	1.3	4
6	6.5	.32	1
7	25.5	2.83	-
8	18	4.2	5-6-7
9	4.5	.27	-
10	27	4.6	9
11	8	1.45	10

MODEL-LISTE

MODEL NO:02

ELEMAN ADEDI: 23

MODEL ADI:DDD

EL.NO	ORT.SURE[sn]	VARYANS[sn]	ONCEKI ELEMAN
12	11.5	.98	-
13	11	.95	12
14	12	1.03	12
15	13.5	1.78	11-13-14
16	22	3.38	8-15
17	24.5	7.22	16
18	16	3.52	16
19	30.5	1.22	17-18
20	6	.48	19
21	8	.77	19
22	10.5	2.15	20-21

MODEL-LISTE

MODEL NO:02

ELEMAN ADEDI: 23

MODEL ADI:DDD

EL.NO	ORT.SURE[sn]	VARYANS[sn]	ONCEKI ELEMAN
23	30	2.5	22

MODEL-LISTE

MODEL NO:03

ELEMAN ADEDI: 28

MODEL ADI:SSS+DDD

EL.NO	ORT.SURE[sn]	VARYANS[sn]	ONCEKI ELEMAN
1	13	.78	-
2	19	2.24	-
3	25	3.98	1-2
4	9.5	.42	3
5	17	1.3	4
6	6.5	.32	1
7	25.5	2.83	-
8	18	4.2	5-6-7
9	4.5	.27	-
10	27	4.6	9
11	16.5	1.32	10

MODEL-LISTE

MODEL NO:03

ELEMAN ADEDI: 28

MODEL ADI:SSS+DDD

EL.NO	ORT.SURE[sn]	VARYANS[sn]	ONCEKI ELEMAN
12	8	1.45	10
13	11	.98	11
14	11.5	.99	13
15	9	.81	13
16	14	2.1	14-15
17	11.5	.98	-
18	11	.95	17
19	12	1.03	17
20	13.5	1.78	12-18-19
21	22	3.38	8-16-20
22	24.5	7.22	21

MODEL-LISTE			
MODEL NO:03		ELEMAN ADEDİ: 28	MODEL ADI:SSS+DDD
EL.NO	ORT.SURE[sn]	VARYANS[sn]	ONCEKI ELEMAN
23	16	3.52	21
24	30.5	1.22	22-23
25	6	.48	24
26	8	.77	24
27	10.5	2.15	25-26
28	30	2.5	27

İSTASYON-LİSTE

MONTAJ HATTI NO:01

MODEL NO:01

İSTASYON ADEDİ: 9

İST.NO	TOP.SURE[sn]	TOP.VARYANS[sn]	İS ELEMANLARI
1	44.5	5.65	09-01-10
2	44	6.22	02-03-
3	43.5	3.04	11-12-04-06
4	42.5	4.13	07-05
5	38.5	6	13-14-08
6	36	5.48	15-16
7	40.5	10.74	17-18
8	44.5	2.47	19-21-20
9	40.5	4.65	22-23

İSTASYON-LİSTE

MONTAJ HATTI NO:02

MODEL NO:02

İSTASYON ADEDİ: 9

İST.NO	TOP.SURE[sn]	TOP.VARYANS[sn]	İS ELEMANLARI
1	43	3.61	01-02-09-06
2	36.5	4.96	03-12
3	44.5	6.47	10-04-11
4	42.5	4.13	07-05
5	41	6.18	14-13-08
6	35.5	5.16	15-16
7	40.5	10.74	17-18
8	44.5	2.47	19-21-20
9	40.5	4.65	22-23

ISTASYON-LISTE

MONTAJ HATTI NO:03

MODEL NO:01

ISTASYON ADEDİ: 9

IST.NO	TOP.SURE[sn]	TOP.VARYANS[sn]	IS ELEMENLARI
1	43	3.61	01-02-09-06
2	54.5	6.9	10-11-12
3	43.5	5.21	03-04-14
4	42.5	4.13	07-05
5	29.5	5.19	13-08
6	36	5.48	15-16
7	40.5	10.74	17-18
8	44.5	2.47	19-21-20
9	40.5	4.65	22-23

ISTASYON-LISTE

MONTAJ HATTI NO:04

MODEL NO:02

ISTASYON ADEDİ: 9

IST.NO	TOP.SURE[sn]	TOP.VARYANS[sn]	IS ELEMENLARI
1	43	3.61	01-02-09-06
2	27	4.6	10
3	46	5.38	03-04-12
4	42.5	4.13	07-05
5	62.5	9.41	08-14-13-11-15
6	22	3.38	16
7	40.5	10.74	17-18
8	44.5	2.47	19-21-20
9	40.5	4.65	22-23

SINULASYON SONUCLARI

MODEL NUMARASI:01
 MODEL GELIS SIRASI:01
 PARTI HACMI: 50

PERFORMANS KRITERLERI	ORTALAMA	S.SAPMA
HAT VERIMLILIGI[%]	94.40325	2.823132
DUZGUNLUK INDEKSI[%]	9.899342	2.072445
TOPLAN MONTAJ SURESI[sn]	397.9907	5.596765
ISTASYON BOS ZAMANI[sn]	55.66164	216.1669
TOPLAN GECIKME SURESI[sn]	22.50606	11.79714
GEÇİKME KAYBI ORANI[%]	5.596765	2.823131

SINULASYON SONUCLARI

MODEL NUMARASI:01
 MODEL GELIS SIRASI:01
 PARTI HACMI: 99

PERFORMANS KRITERLERI	ORTALAMA	S.SAPMA
HAT VERIMLILIGI[%]	93.2789	4.386493
DUZGUNLUK INDEKSI[%]	9.809401	2.089391
TOPLAN MONTAJ SURESI[sn]	401.9183	6.721091
ISTASYON BOS ZAMANI[sn]	42.41107	153.8348
TOPLAN GECIKME SURESI[sn]	27.77012	18.89612
GEÇİKME KAYBI ORANI[%]	6.721091	4.386488

SİMULASYON SONUÇLARI

MODEL NUMARASI:02
 MODEL GELİŞ SIRASI:02
 PARTİ HACMİ: 50

PERFORMANS KRİTERLERİ	ORTALAMA	S.SAPMA
HAT VERİMLİLİĞİ[%]	88.43254	5.409562
DÜZGÜNLÜK İNDEKSİ[%]	11.229	2.378959
TOPLAM MONTAJ SÜRESİ[sn]	416.8662	11.56746
İSTASYON BOS ZAMANI[sn]	61.66832	208.4276
TOPLAM GECİKME SÜRESİ[sn]	49.49037	25.06573
GEÇİKME KAYBI ORANI[%]	11.56746	5.40956

SİMULASYON SONUÇLARI

MODEL NUMARASI:02
 MODEL GELİŞ SIRASI:02
 PARTİ HACMİ: 99

PERFORMANS KRİTERLERİ	ORTALAMA	S.SAPMA
HAT VERİMLİLİĞİ[%]	78.88702	9.090338
DÜZGÜNLÜK İNDEKSİ[%]	11.21473	2.32744
TOPLAM MONTAJ SÜRESİ[sn]	472.5838	21.11299
İSTASYON BOS ZAMANI[sn]	44.32902	148.6552
TOPLAM GECİKME SÜRESİ[sn]	104.3205	52.03141
GEÇİKME KAYBI ORANI[%]	21.11299	9.090336

SİMULASYON SONUÇLARI

MODEL NUMARASI:03-04
 MODEL GELİŞİRİSİ:04-03-03-03-04
 PARTİ HACMİ: 50

PERFORMANS KRİTERLERİ	ORTALAMA	S.SAPMA
HAT VERİMLİLİĞİ[%]	80.00556	6.457132
DÜZGÜNLÜK İNDEKSİ[%]	27.39921	6.26059
TOPLAM MONTAJ SÜRESİ[sn]	466.4875	19.99445
İSTASYON BOS ZAMANI[sn]	64.53388	204.4998
TOPLAM GECİKME SÜRESİ[sn]	95.30473	33.58807
GEÇİME KAYBI ORANI[%]	19.39445	6.457129

SİMULASYON SONUÇLARI

MODEL NUMARASI:03-04
 MODEL GELİŞİRİSİ:04-04-03-03-03
 PARTİ HACMİ: 50

PERFORMANS KRİTERLERİ	ORTALAMA	S.SAPMA
HAT VERİMLİLİĞİ[%]	79.44942	6.06618
DÜZGÜNLÜK İNDEKSİ[%]	27.64797	5.908585
TOPLAM MONTAJ SÜRESİ[sn]	471.3545	20.55058
İSTASYON BOS ZAMANI[sn]	62.1398	288.3249
TOPLAM GECİKME SÜRESİ[sn]	98.74902	32.55188
GEÇİME KAYBI ORANI[%]	20.55058	6.066177

SIMULASYON SONUCLARI

MODEL NUMARASI:03-04
 MODEL GELIS SIRASI:03-04-03-04-03
 PARTI HACMI: 50

PERFORMANS KRITERLERI	ORTALAMA	S.SAPMA
HAT VERIMLILIGI[%]	83.00606	5.43032
DUZGUNLUK INDEKSI[%]	28.34779	5.838036
TOPLAN MONTAJ SURESI[sn]	448.7292	16.99394
ISTASYON BOS ZAMANI[sn]	61.3392	212.3407
TOPLAN GECIKME SURESI[sn]	77.71535	27.93117
GEÇİKME KAYBI ORANI[%]	16.99394	5.430322

SIMULASYON SONUCLARI

MODEL NUMARASI:03-04
 MODEL GELIS SIRASI:03-03-04-03-04
 PARTI HACMI: 50

PERFORMANS KRITERLERI	ORTALAMA	S.SAPMA
HAT VERIMLILIGI[%]	79.83241	6.496326
DUZGUNLUK INDEKSI[%]	28.13977	6.137299
TOPLAN MONTAJ SURESI[sn]	470.2837	20.1676
ISTASYON BOS ZAMANI[sn]	60.49568	220.2899
TOPLAN GECIKME SURESI[sn]	97.08658	36.57002
GEÇİKME KAYBI ORANI[%]	20.1676	6.496328

SINULASYON SONUCLARI

MODEL NUMARASI:03-04
 MODEL GELIS SIRASI:03-03-03-04-04
 PARTI HACMI: 50

PERFORMANS KRITERLERI	ORTALAMA	S.SAPNA
HAT VERIMLILIGI[%]	78.46477	7.000149
DUZGUNLUK INDEKSI[%]	28.49325	6.286244
TOPLAM MONTAJ SURESI[sn]	476.6545	21.53523
ISTASYON BOS ZAMANI[sn]	64.93156	220.2954
TOPLAM GECIKME SURESI[sn]	105.3051	39.14571
GEÇİME KAYBI ORANI[%]	21.53523	7.000152

SINULASYON SONUCLARI

MODEL NUMARASI:03-04
 MODEL GELIS SIRASI:03-04-03-03-04
 PARTI HACMI: 50

PERFORMANS KRITERLERI	ORTALAMA	S.SAPNA
HAT VERIMLILIGI[%]	31.91606	6.446351
DUZGUNLUK INDEKSI[%]	27.07428	6.233331
TOPLAM MONTAJ SURESI[sn]	456.3925	18.08392
ISTASYON BOS ZAMANI[sn]	58.55006	211.1266
TOPLAM GECIKME SURESI[sn]	84.59396	34.10775
GEÇİME KAYBI ORANI[%]	18.08392	6.446354

SİMULASYON SONUÇLARI

MODEL NUMARASI:03-04
 MODEL GELİŞ SIRASI:03-04-04-03-03
 PARTİ HACMİ: 50

PERFORMANS KRİTERLERİ	ORTALAMA	S.SAPMA
HAT VERİMLİLİĞİ[%]	78.65125	5.571919
DÜZGÜNLÜK İNDEKSİ[%]	27.9367	6.156667
TOPLAM MONTAJ SÜRESİ[sn]	476.0527	21.34874
İSTASYON BOS ZAMANI[sn]	62.34059	220.7572
TOPLAM GECİKME SÜRESİ[sn]	103.259	31.04603
GEÇİKME KAYBI ORANI[%]	21.34874	5.571922

SİMULASYON SONUÇLARI

MODEL NUMARASI:03-04
 MODEL GELİŞ SIRASI:04-03-04-03-03
 PARTİ HACMİ: 50

PERFORMANS KRİTERLERİ	ORTALAMA	S.SAPMA
HAT VERİMLİLİĞİ[%]	82.38873	6.896825
DÜZGÜNLÜK İNDEKSİ[%]	27.05167	6.054384
TOPLAM MONTAJ SÜRESİ[sn]	453.1242	17.61126
İSTASYON BOS ZAMANI[sn]	62.63025	198.9944
TOPLAM GECİKME SÜRESİ[sn]	82.22459	35.3157
GEÇİKME KAYBI ORANI[%]	17.61126	6.896825