

22055

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GRUP TEKNOLOJİSİ KÜMELENDİRME YÖNTEMLERİ VE ATAMA

YÖNTEMİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ UYGULAMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. İrfan AKKUŞ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22 Haziran 1992

Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Temmuz 1992

Tez Danışmanı : Doç. Dr. M. Bulent Durmuşoğlu

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ataç Soysal

Prof. Dr. Murat Dinçmen

TEMMUZ 1992

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖNSÖZ

İnsan, ihtiyaçlarının çoğunu doğadaki maddeleri değiştirmek süretiyle sağlar. Bu değiştirmeyi de bir takım yöntemler kullanarak çeşitli aletler yardımıyla yapar. Benim bu çalışmamda incelediğim konu da bu yöntemlerden bir tanesidir. Grup teknolojisi olarak adlandırılan bu yöntem büyük oranda iş basitleştirme ve sistem akıcılığı yaratarak zaman ve çabalardan tasarruf sağlar.

Bu tezi hazırlarken hertürlü bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım danışman hocam Doç. Dr. M. Bülent Durmuşoğlu'na teşekkür etmeyi bir ödev bilirim.

Bana bilgisayar olanaklarını sağlayan Kimya-Metalurji Fakültesi Öğretim Üyelerinden hocam Doç. Dr. D. Ali Şaşmaz'a da teşekkür etmeyi bir ödev bilirim.

Müh. İrfan Akkuş
Haziran 1992

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	5
2.1. GRUP TEKNOLOJİSİNİN ELEMANLARI	5
2.1.1. Fabrika Yerleştirmesi	5
2.1.2. Malzeme Akışının Basitleştirilmesi	8
2.2. GRUP TEKNOLOJİSİNDE HÜCRE TASARIMI İLE İLGİLİ YAKLAŞIMLAR	10
2.2.1. Üretim Akış Analizi ile Hücre Tasarımı	13
2.2.2. Hücrelerin Çalışma Düzeni	14
BÖLÜM 3. GRUP TEKNOLOJİSİNDE MODEL VE ALGORİTMALAR	20
3.1. GİRİŞ	20
3.1.1. Görsel Yöntem	20
3.1.2. Kodlama Yöntemi	21
3.2. SINIFLANDIRMA VE KODLAMANIN ÜRETİM PLANLAMADA UYGULAMASI	26
3.3. KÜME ANALİZ YÖNTEMİ	26
3.3.1. Matris Formülasyonu	28
3.3.2. Matematik Programlama Formülasyonu	60
3.3.3. Grafik Formülasyonu	67
3.4. HİYERARŞİK İLE HİYERARŞİK OLMAYAN KÜMELEN- DİRME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	75
3.5. KÜMELENDİRME YÖNTEMLERİNDE PERFORMANS ÖLÇÜLERİ	77
BÖLÜM 4. ATAMA YÖNTEMİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ UYGULAMASI	78
4.1. PROGRAM KLAVUZU	78
4.2. UYGULAMALAR	87
4.3. PROGRAM DOKÜMÜ	126
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	140
KAYNAKLAR	142
ÖZGEÇMİŞ	144

OZET

Son yıllarda miktarca azalan ve çeşitlenen müşteri istekleri, büyük partiler halinde çok sayıda mamül üreten atölye tipi işletmelerin tasarım, planlama ve üretim sorunlarının önemli boyutlara ulaşmasına yol açmıştır. Bu sorunlara köklü çözümler öneren "Grup Teknolojisi" makina imalat sanayiinde her geçen gün önem kazanmakta ve geniş uygulama alanları bulmaktadır.

Üretimde ise, grup teknolojisi (GT), üretilecek iş parçalarını ve bunlar için gerekli makinaları ortak özelliklerine göre gruplandırarak maliyetleri düşürmeyi ve aynı zamanda esnek bir üretimi amaçlar. GT bir üretim felsefesidir ve birçok problemin temelde birbirine benzer olduğunu kabul eder ve benzer problemleri bir araya toplayıp tek çözüm aramayı amaçlar. Bu suretle zaman ve çabalardan tasarruf sağlanır.

Bu çalışmanın ilk bölümünde GT hakkında genel bilgiler verilmekte ve GT üretim sisteminin, diğer üretim sistemleri arasındaki yeri belirtilmektedir. Ayrıca üretimde, bu sistemi uygulamanın faydaları ve sakıncaları sıralanmaktadır. İkinci bölümde, GT'nin elemanları hakkında bilgi verilip GT'ndeki yaklaşımlar sıralandıktan sonra hücrelerin çalışma düzenleri açıklanmaktadır. Üçüncü bölümde, GT üretim sistemi tasarımı için gerekli model ve algoritmalar tanıtılmaktadır. GT'nde hücre oluşturma yöntemlerinden hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan kümelendirme yöntemlerinin karşılaştırılması yapılmakta, daha sonra kümelendirme yöntemlerindeki performans ölçüleri hakkında bilgi verilmektedir. Son bölümde ise kümelendirme yöntemleri arasında önemli yer tutan atama yöntemi analiz edilip bu yöntem, BASIC dilinde programı yapılarak çeşitli atölye verilerine uygulanmaktadır.

ABSTRACT

GROUP TECHNOLOGY CLUSTERING METHODS AND COMPUTER AIDED APPLICATIONS OF THE ASSIGNMENT METHOD

Recently, the market demands show a clear inclination towards producing goods in smaller lots and increased varieties. For these reasons, many companies which manufacture variety of products with large lots suffer from many problems in the designing, planning and production stages for the the products manufactured. Group tehcnology (GT) production systems suggest radical solutions for these problems. GT production systems have been increasingly attracted in many countries and wide variety and successful applications are especially known in Japan and U.S.A.

GT or cellular manufacturing is an accepted solution to the problem of productivity in batch-production systems. Parts are classified into part families and machines into machine cells, based on the "sameness" or similarity of operations. This is the first step towards the implementation of a GT system. Many heuristic and non-heuristic methods are in vogue for such concurrent classification of parts and machines. In most of such approaches, the primary input data is the machine-component incidence matrix (a_{ij}) in which the columns and rows represent the parts and machines respectively. The (i,j) th element of (a_{ij}) is 1 if the j th part visits the i th machine; otherwise it is 0.

GT is a manufacturing philosophy. It emphasizes

that many problems are mainly similar and collecting the similar problems in a group and finding just one solution for them provide us time and efforts savings.

In the first chapter of thesis, GT is introduced. After the efficiency factors of a manufacturing system explained, the applications of GT manufacturing systems among the other manufacturing systems are discussed. Besides these, the advantages and disadvantages of GT are explained.

In the second chapter, the elements of GT are introduced and the one that simplifies the material flow system is widely examined. This is the layout of the production systems

The layout of the production systems is classified into three main types. They are firstly examined individually and then compared with each other by determining the similarities and differences among them. These layouts are:

- * Functional layout
- * Group layout
- * Line layout

In a functional layout, factory is divided into departments in where there are machines grouped for only one process. For example, a department for turning, a department for milling , etc.. In a group layout, factory is divided into departments in where similar parts are operated. In a line layout, factory is divided into departments in where there are machines used for just one part type.

In this chapter, the savings provided by GT are also explained. After the GT approaches are described, the production flow analysis is explained in detail, and

then the cellular manufacturing system is introduced and discussed through an example.

In the third chapter, the following two methods of solving the GT design problem are discussed.

- * Classification
- * Cluster analysis

The classification method is used to group parts into part families based on their design features. Two variations of the classification method are outlined.

- * Visual method
- * Coding method

The visual method is applicable in a case when the number of parts is rather limited. Therefore, the coding methods, which are more commonly used, are discussed. There are three basic types of coding system.

- * Monocode
- * Polycode
- * Hybrid

In a monocode system, features of each part are matched with list of features corresponding to each node of the tree, and a part code is generated. Since a monocode system has a tree structure, a digit selected at a particular node depends on the digit selected at the preceding node. To understand fully the representation of a part monocode, all its digits are required. For a given part, the length of its monocode is rather short compared to other coding systems.

In the coding methods, parts can be classified on the basis of the following features.

- * Geometric shape and complexity
- * Dimensions
- * Material features
- * Geometric shape of raw material
- * Required accuracy of the finished part

The cluster analysis approach is used to group machines into machine cells and parts into part families based on the similarity of operations. Three cluster formulations are introduced in GT.

- * Matrix formulation
- * Mathematical programming formulation
- * Graph theoretical formulation

Since the GT problem is NP complete, heuristic algorithms are most likely to be used for solving large-scale industrial problems. The results grouping lead to the physical machine layout or logical machine layout. The latter is used in case when the production content changes rather frequently. In this case GT makes the tool management and part scheduling easier and this improves the efficiency of production planning and control.

In the fourth chapter, the computer application of the assignment method is introduced. The assignment method is also mentioned in the third chapter, but there are not any examples. Here five different examples are chosen and GT cluster problems are solved by using this method. The clustering criteria is based on similarity coefficients. A similarity coefficient is defined between two machines. After all similarity coefficients are computed, these are gathered in a matrix. The obtained matrix is the starting point of this method. The assignment method problem uses the branch and bond algorithm.

The computer program written in BASIC is introduced

into seven stages.

- * Running the program
- * Entering the data
- * Computing the similarity coefficients
- * Solving the assignment problem by branch and bond algorithm
- * Determining the machine cells
- * Determining the part families
- * Determining the performace of cellular systems
- * Reporting all of them mentioned before

These all stages are discussed briefly through an example and finally the procedure of the assignment is evaluated.

BÖLÜM I

GİRİŞ:

Bir üretim sistemi tasarımında en önemli aşama, bu sistemin çekirdeğini oluşturan imalat sistemlerinin etkin olarak tasarlanmasıdır [1]. Bir imalat sisteminin etkinliği, çeşitli faktörler vasıtası ile ölçülür. Bu faktörler; bir mamülün imalatı için gerekli çevrim zamanı, çeşitli faaliyetler için müsaade edilen hazırlık zamanları, bağlanmış işletme sermayesi değeri, dağıtım performansı ve makineler ile insanların etkin kullanımı olarak sıralanabilir. Yüksek bir imalat etkinliğine de, otomasyon ve akış hattı üretim yöntemlerinin kullanımı ile ulaşılabilir.

Akış hattı üretim yöntemi, kütle üretimi endüstrilerinde yani aynı boyut ve şekilde çok sayıdaki parçaların imalatı söz konusu olduğu hallerde uygulanabilir. Oysa piyasa taleplerinin düşüklüğü ve değişkenliği, imal edilen mallarda sadece küçük parti ihtiyaçlarının karşılanması, yani parti üretiminin yapılmasını zorlamaktadır. Parti üretiminde, makineler ve diğer tesislerin herbiri ardışık partilerle değişik parçaların farklı biçimlerde işlenmesi için kullanılır.

Grup teknolojisi (GT) yöntemi, grup yerleşim düzenlemesini ve malzeme akışını basitleştirmeye dayanan parti üretimine yeni bir yaklaşım olmuştur. Kütle imalatında hat yerleştirme ile sağlanan avantajlar, parti üretiminde bu teknik ile elde edilmeye çalışılmaktadır [2].

GT, birçok problemin temelde birbirine benzer olduğundan hareketle, benzer problemleri bularak toplayan

ve böylece elde edilen gruplar için tek bir çözüm arayan bir yaklaşımdır [3]. Bu şekilde zaman ve çabalardan tasarruf sağlanır. İmalatta ise, GT parça ve imalat işlemlerinin benzerliklerine dayanarak, öncelikle parça grupları ile makina hücrelerini oluşturmaya amaçlar.

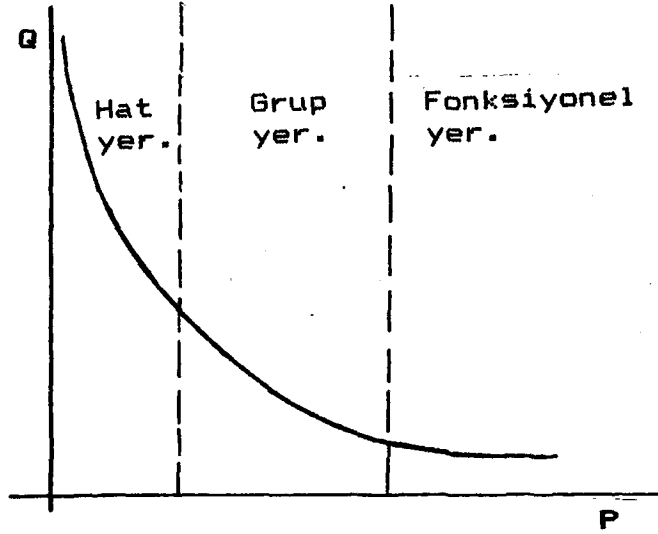
Hücresel imalat esasına dayanan GT, büyük ve orta büyüklükte parti tipi üretim yapan imalat sistemlerindeki verimlilik ile etkinlik sorununa, en çok kabul edilen çözümlerden birini sunan bir yaklaşım olarak tanınmaktadır. Bu yaklaşım çeşitli parçaların az sayıdaki miktarlarının benzer yada ortak karakteristiklere göre gruplandırılmaları şartıyla, çok daha ekonomik olarak üretilebileceği gerçeği üzerinde kurulmuştur.

GT, akış hattı ve daha çok otomotikleştirilmiş üretim sistemlerine olanak sağlayarak, bu sistemlerin üretkenliğinin artırılmasını amaçlayan partiler halindeki imalata yeni bir yaklaşımdır. Başka bir deyişle, GT'nin amacı, tüm imalat sistemini olabildiğince bağımsız alt sistemlere bölmek ve alt sistemlerin kontrol edilebilirliği ile etkinliğinin tüm sisteme yansımalarını sağlamaktır.

Q ; ürünlerin imalat miktarı, P ise ürün çeşitlerinin sayısını göstermek üzere, Q/P oranının büyük olması akış tipi atölye sisteminin uygulanması olan yerleşim düzenlemesini mümkün kılar. Klasik yaklaşımda, bunun dışındakiler sipariş tipi atölye sisteminin temel özelliği olan fonksiyonel yerleşim düzenlemesini gerekli kılar. GT ise, diğer iki atölye sistemini uç noktalara itecek orta büyüklükteki Q/P oranları için uygulanabilmektedir (Şekil 1.1)[4].

Üretimde grup veya hücrel yerleştirmenin birçok yararı vardır. Esas yararı ise, sipariş tipi atölye sistemine nazaran iş akışını basitleştirmesi ve bu arada akış tipi atölye sisteminde mevcut olmayan ürün tasarımı

ile talep esnekliğini kaybetmemesidir. Diğer yararları da aşağıda olduğu gibi sıralanabilir [5].



Sekil 1.1 : P-Q Grafiği

- 1- Küçük parti imalatının mümkün olması nedeniyle düzgün iş akışının sağlanması,
- 2- Üretim temin sürelerinin kısalması (%20-%80),
- 3- Proses içi stokların azalması (%88'e kadar),
- 4- İşçiliğin azalması (%15-%25),
- 5- Takım-tertibat maliyetinin azalması (%20-%30),
- 6- Yeniden işleme ve iskarta malzemelerinin azalması (%15-%75),
- 7- Toplam hazırlık sürelerinin kısalması (%20-%60),
- 8- Teslim sürelerinin azalması (%13-%136),
- 9- İnsan ilişkilerinin gelişmesi,
- 10- Kayıt tutulmasının azalması [6],
- 11- Malzeme taşıma maliyetlerinin düşmesi,
- 12- Üretim planlama ve kontrolünde kolaylık,
- 13- Sorumlulukların ürüne yönelik birleşmesi sonucu kalitenin artışı.

Yukarıda bahsedilen bütün bu yararlarının yanı sıra, GT'nde parça aileleri ve makina hücrelerinin oluşturulması sırasında, birçok problem ve zorluklar ortaya

çıkmaktadır. Bunlar ise;

- 1- Toplam parça ve makinaların aile ve hücrelere bölünmeleri için uygun bir yöntem biliminin benimsenememesi,
- 2- Hücre boyutlarının, ekonomik ölçülere de dikkat edilerek tespit zorunluluğu,
- 3- Miktarca az olan makinaların, özellikle kendi miktarlarından daha fazla hücrelere dağıtılması halinde bazı makinaların çok fazla, bazılarının çok az yüklenmeleri; yani makina zaman verimindeki anormal değişmeler ve ekstra makina ihtiyaçları,
- 4- Hücrelerin, mamüllerin gelecekteki talep artışlarını karşılamak için esnek tasarlanması şartı
- 5- Makina arızalarının üretimi uzun süre aksatma eğilimi,
- 6- Hücrelere ayırmak için detaylı analizlere ihtiyaç duyulması,
- 7- Makinaların yeniden düzenlenmesi maliyetinin ortaya çıkışı şeklinde sıralanabilir.

BÖLÜM II

2.1 GRUP TEKNOLOJİSİNİN ELEMANLARI

GT'nde önemli olan proses ihtisaslaşmasına göre değil, üretilecek parçalar için ihtisaslaşmaya göre bir fabrika yerleştirmesinin yapılmasıdır. GT uygulamasındaki esas amaç, fabrika içindeki malzeme akış sisteminin basitleştirilmesidir. Tüm basitleştirmeler gereksiz çeşitlerin ortadan kaldırılması ile ilgilidir ve GT özellikle gereksiz malzeme akış rotalarının ortadan kaldırılmasını sağlar. Fabrika yerleştirmesi ve malzeme akışının basitleştirilmesi olmak üzere iki ana karakteristiği vardır [6],[5].

2.1.1. Fabrika yerleştirmesi :

Bir fabrikada makinelerin yerleştirilmesi planlandığı zaman, ana problem makinelerin nasıl ayrılacağıdır. Her bir bölüm kendi formlarının denetimi altında, organizasyonel bir birim oluşturmalıdır.

Genel olarak üç fabrika yerleştirme yöntemi vardır. Bunlar,

- 1- Fonksiyonel Yerleştirme
- 2- Grup Yerleştirme
- 3- Hat Yerleştirme

Bu yerleştirme yöntemleri şekil 2.1'de görülmektedir.

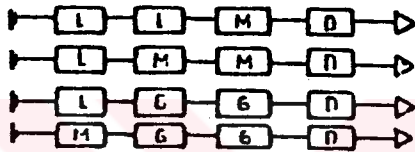
Fonksiyonel yerleştirmede fabrika, herbiri tek bir proses için gruplanmış makinelerin bulunduğu bölümlere

ayrılır. Örneğin, torna tezgahları için bir bölüm, freze tezgahları için bir bölüm, vs. oluşturulur. Bu, birçok par-
ti üretimi yapan fabrikalarda halen geleneksel bir yer-
leştirme yöntemidir.

Grup yerleştirmede fabrika, benzer parçalara ait işlemlerin yapıldığı "Grup" adı verilen bölümlere ayrılır. Basit bir örnek olarak, bir aile veya benzer dişli-
lerin üretimini tamamlamak için gerekli tüm makineleri iç-
eren bir dişli grubu verilebilir.

A: HAT YERLEŞTİRME

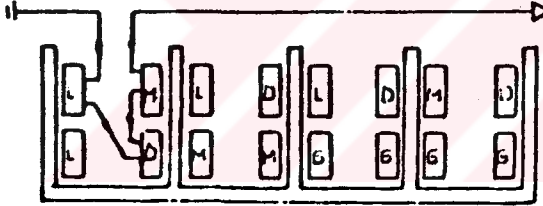
Parça spesifikasyonu parça yada aile başına bir hat



Parça yada aile başına
bir formen

B: GRUP YERLEŞTİRME

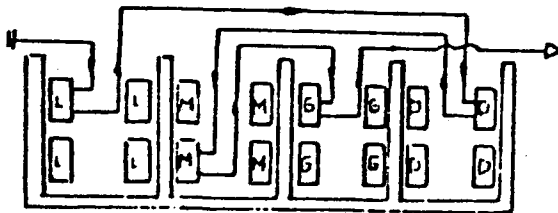
Parça spesifikasyonu prosese göre gruplanmış makineler



Aile başına bir formen
ve bir işçi takımı

C: FONKSİYONEL YERLEŞTİRME

Proses spesifikasyonu prosese göre gruplanmış makineler



Her parça bir çok forme-
ni dolaşır.

L:Torna tez. F:Freze tez. TS:Taslama tez. M:Matkap tez.

Sekil 2.1: yerleşim tipleri

Hat yerleştirmede grup yerleştirmede olduğu gibi, fabrika bir parça üzerinde gruplara bölünür. Geleneksel hat üretiminde, bu makineler grubu hat şeklinde

yerleştirilir ve herbir makina tek parça için sürekli olarak yüklenir. Günümüzde benzer parça aileleri için, hat yerleştirme sistemi kullanılmaktadır. Bu durumda, grup yerleştirmeden farklı olarak bir hat ailesindeki herbir parça aynı sıradaki makinalarda işlenmelidir. Örneğin bir torna, bir freze, bir taşlama ve bir matkaptan oluşan bir hat yerleştirmesinde, bu hat ailesinin her bir parçası önce torna, sonra freze, vs. şeklinde işlenecek demektir.

Bu değişik yerleştirme tiplerinin karakteristiklerinden bazıları tablo 2.1'de görülmektedir [2].

Tablo 2.1 : Fabrika yerleşim tiplerinin temel karakteristikleri

KARAKTERİSTİKLER	YERLEŞTİRME TIPLARI		
	FONKSİYONEL	GRUP	HAT
1-İhtisaslaşma	Prosese göre	Parça tipine göre	Parça tipine göre
2-Makinalar arasında malzeme akışı	Partiler halinde	Yaklaşık sürekli	Sürekli
3-Üretim zamanı	Uzun	Kısa	Daha kısa
4-Ara stok seviyesi	Yüksek	Düşük	Daha düşük
5-Kalite sorumluluğu	Parça başına birçok formen	Parça başına bir tek formen	Parça başına bir tek formen
6-Vaktinde dağıtım sorumluluğu	Parça başına birçok formen	Parça başına bir tek formen	Parça başına bir tek formen
7-Özel takım yatırımı	Yüksek:Parça başına her bir işlemede bir takım seti	Düşük:Takım ailesi başına bir takım seti	Yüksek:Hat başına bir takım seti
8-Bina yatırımı	Yüksek	Düşük	Daha düşük
9-Malzeme akış kontrolü	Karışık	Basit	Daha basit

Tablo 2.1'den grup ve hat yerleştirmenin benzer karakteristik taşıdıkları ve aralarında çok az bir farklılık olduğu görülmektedir. Diğer taraftan grup yerleştirme ile fonksiyonel yerleştirme arasında önemli farklar vardır.

Fonksiyonel yerleştirmeden grup yerleştirmeye geçişte malzemenin sistemdeki toplam akış süresi azalır, stoklar düşer, sorumluluk birleşir, takım maliyeti düşer, taşıma ve makina hazırlama maliyetleri düşer, kapasite artar ve malzeme kontrolü basitleşir.

Bütün bu değişiklikler birer avantajdır, fakat fonksiyonel yerleştirmeden grup yerleştirmeye geçiş, bazı dezavantajları da beraberinde getirir. Örneğin, aynı tip makinalar birden fazla gruplarda kullanıldığında kapasite dengelenmesinde problemler ortaya çıkar, makina arızalarını önlemek için koruyucu bakımın önemi ile birlikte bir grupta görevli olan formenlerden istenen ustalık seviyesi artar. Tecrübeler, grup yerleştirme ile yeni avantajların yeni dezavantajlara nazaran daha ağır bastığını göstermiştir ve iyi planlanmış bir değişiklik yapıldığı takdirde, dezavantajların isabet oranı minimize edilebilir.

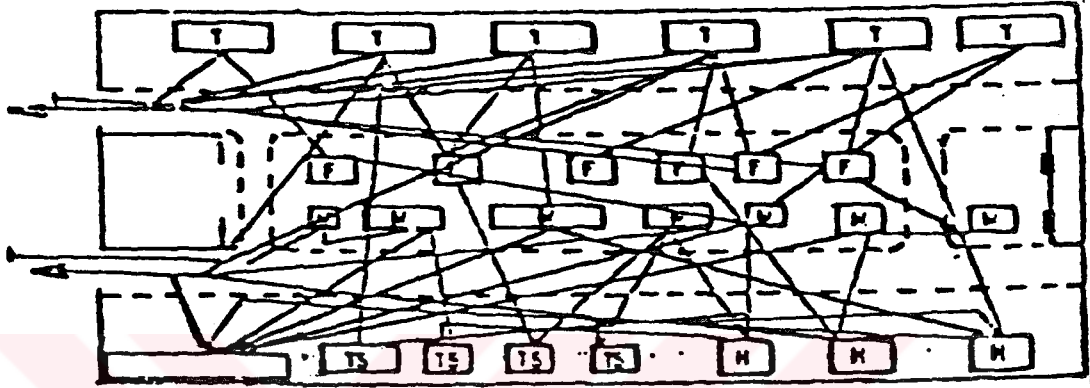
2.1.2. Malzeme Akışının Basitleştirilmesi :

Fonksiyonel yerleştirmeden grup yerleştirmeye geçişin temel avantajı, işletmedeki malzeme akış sisteminin oldukça basitleştirilmesidir. Çünkü işletmeciliğin en önemli kısmı, malzeme akışının kontrolü ile ilgilidir. Böyle basit bir akış sisteminin tümünün kontrolü çok daha kolaydır [2].

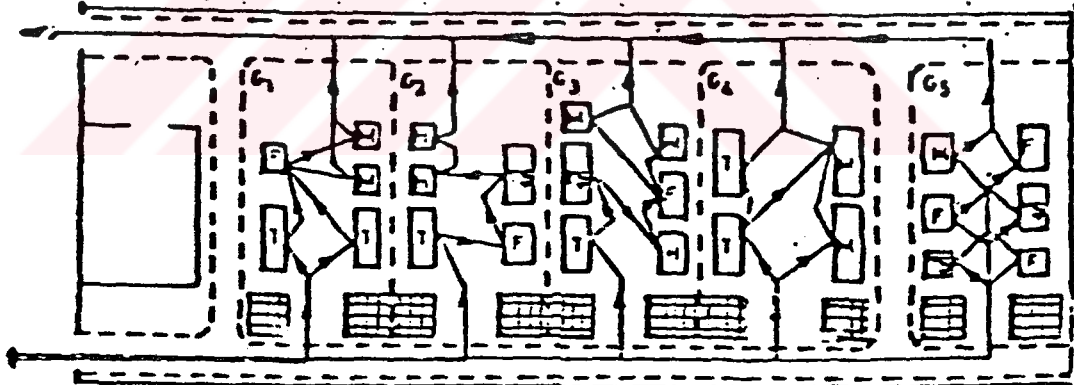
Basitleştirme derecesine bir örnek olarak şekil 2.2'deki yerleştirme gösterilebilir. Şekil 2.2'de benzer makinalar ilk önce fonksiyonel yerleştirmeye, daha sonra da grup yerleştirmeye göre düzenlenmiştir.

Grup yerleştirmenin toplam üretim zamanına etkisi şekil 2.3'de görülmektedir. Malzeme hareketlerinin ve iş sıralama işlemlerinin basitleştirilmesi, gerek taşıma ve gerekse kuyruk zamanlarını oldukça düşürmektedir.

A: Karmaşık malzeme akış sistemi



B: Basit malzeme akış sistemi

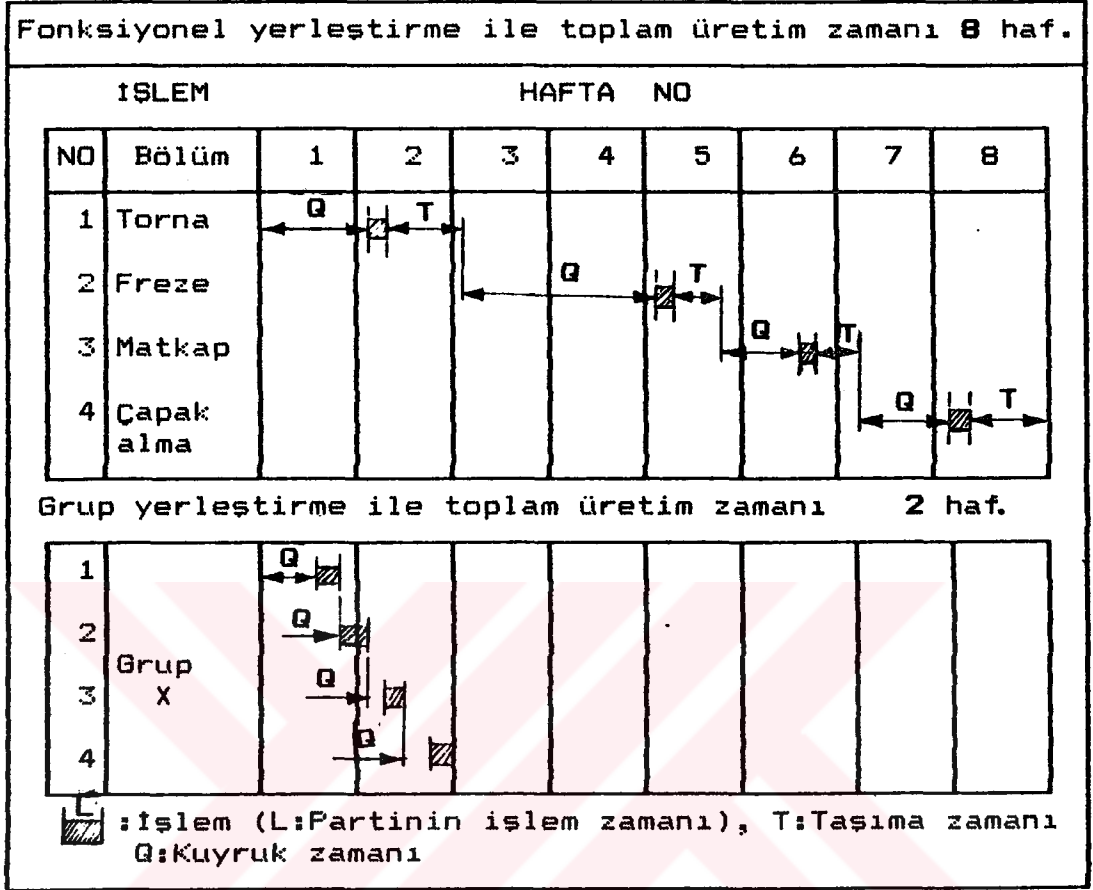


T: Torna tez. F: Freze tez. M: Matkap tez. TS: Taşlama tez.

Sekil 2.2: Fonksiyonel ve grup yerleştirme tiplerine ait karşılaştırma

Kısa üretim zamanı diğer bir avantaj olarak işletmeye üretimde stok kontrolü yerine akış kontrolünün yapılması olanakını sağlar [2]. Gerçekten grup yerleştirme,

fonksiyonel yerleştirmede ulaşılmayan veya ulaşılması çok gücü olan tasarruflara giden yolu aan bir anahtardır.



Sekil 2.3 : Grup yerleştirme ile toplam üretim zamanının bir örnek parça ile değişimi

2.2. GRUP TEKNOLOJİSİNDE HÜCRE TASARIMI İLE İLGİLİ YAKLAşIMLAR

GT'nde hücre oluşturulması için aşağıdaki yaklaşımlar ileri sürülmüştür [7].

- 1- Belli kurallara dayanmadan (Edward 1971)
- 2- Bileşik parçalar yardımı ile (Edward 1971)
- 3- Kodlama sisteminin sınıflandırılması ile (Burbridge 1979)
- 4- Akış analizi ,
 - Gruplandırma analizi ile (Burbridge 1971, Crook 1969)

- Parça akış analizi ile (El-Essawy ve Torrance 1972)
- 5- Benzerlik katsayıları kullanma yaklaşımı,
 - Gruplandırma analizi (McAuley 1972, Tarşuslugil 1971)
 - Graf teorisi yaklaşımı (Rajagopalan 1973)
 - Witten'in üç tip benzerlik kullanma yaklaşımı (De-Witte 1980)
- 6- Monte carlo simülasyon teknigini kullanarak hücre oluşturulması (Croakal ve Baldwin 1972)
- 7- Matematiksel sınıflandırma (Purcheck 1975)
- 8- İş parçası istatistikleri (Mansoor ve Konard 1975)
- 9- Derece sıralaması ile gruplandırma (King 1979, 1980, King ve Nakornchai 1982)

Yukarda listelenen yaklaşımların içinde üretim akış analizi, endüstriyel uygulama için en fazla kullanılanlardan birisidir (Burbridge 1979). Burbridge'e göre üretim akış analizi (ÜAA), makina-parça gruplandırmasına ilk sistematik yaklaşımlardan bir tanesidir. ÜAA elle yapılma yöntemlerine göre geliştirilmiştir. El-Essawy ve Torrance (1972), Mc Auley (1972), Carrie (1973), Rajagopalan (1973), De Witte (1980), King (1970,1980), King ve Nakornchai (1982) ve diğerleri GT'nde hücre oluşturulması için farklı yaklaşımlar tavsiye etmişlerdir.

El-Essawy ve Torrance (1972) GT'nde makina-parça hücrelerinin oluşturulması için, parça akış analizini önermişlerdir. Bu çalışma daha sonra akış analizinde kullanılacak parçaların detaylı incelenmesini kapsar. Bu daha çok parçaları düşünmek tipinde ve hücrelerin yargıya dayalı olarak oluşturulmasına dayanan bir çalışmadır.

Carrie (1973)'de GT'ne sayısal sınıflamanın uygulamasını teklif etmiştir. Bu, bir formülün yerine getirilmesinden ziyade bir analiz yöntemidir. Bu yaklaşımda minimum grup boyutunun ve benzerlik seviyesindeki grupların seçimi gelişmiş güzeldir.

Rojagopalan ve Batra (1975), hücresel üretim sisteminin tasarımı için graf teorisi yaklaşımını teklif etmişlerdir [7]. Bu yaklaşımda benzerlik katsayısı için eşik değerinin seçimi, belli bir kurala dayanmaz; belli bir miktar yargıya ihtiyaç gösterir.

De Witte (1980) üretim akış analizinde üç tip benzerlik katsayısının kullanılmasını ileri sürmüştür [7]. Bunlardan mutlak ilişkiyi ve karşılıklı bağımlılığı gösteren iki katsayı, hücre oluşturulmasında esas alınır. Bu benzerlik katsayısı için eşik değerinin seçimi belli bir kurala dayanmaz. Bunun yanında bu yaklaşım makinaların 1., 2., ve 3. olarak kategorilere ayrılmasına dayanır

Mc Cormick, Schwitzer ve White (1972) genel kümelendirme algoritması geliştirmişler ve buna Bağ Enerjisi Algoritması (BEA) adını vermişler [7]. BEA yöntemi, bir matriste birbirinin bitişiği olan satır ve sütun girişleri arasındaki bağ enerjisini maksimize ederek diyagonal blok şeklini araştırır.

King, derece sıralaması ile kümelendirmeyi (DSK) geliştirmiştir. DSK algoritması özellikle parça-makina gruplandırılması için tasarlanmıştır ve darboğaz makinaların problemleri ile ilgilenir. Makina-parça gruplandırmasına 3. bir yaklaşım da benzerlik katsayısına dayalı kümelendirme yöntemidir. Tek bağlantılı kümelendirme algoritması (TEKA) ile makina hücrelerinin oluşturulması Mc Auley tarafından tanımlanmıştır. Mc Auley iki makina arasındaki benzerlik katsayısını, her iki makinaya da uğrayan parçaların sayısına ilişkin bir rakama oranı olarak tanımlamıştır. Makinalar arasındaki bütün ikili benzerlik katsayılarını ihtiva eden bir benzerlik matrisi, makina hücrelerini oluşturan ve bunları dendogram denilen bir çeşit ağaç diyagramı ile gösteren kümeleme algoritmasına bir veri girişidir [7].

2.2.1. Üretim Akış Analizi ile Hücre Tasarımı :

Endüstriyel uygulamalar için en çok kullanılan yaklaşım, üretim akış analizidir. Bu konuda ilk çalışmaları Burbridge yapmıştır. Onun çalışması fabrikaya, gruba ve üretim hattına göre üretim akışının geniş bir şekilde analizini ve sentezini içerir.

Fabrika akış analizi: Fabrika akış analizi (FAA), basit ve bununla beraber etkin bir malzeme akış sistemini kurmak amacı ile, sistem içinde ele alınan işlem birimlerinin, birim veya tesis boyutunda mümkün birleştirmeleri yapma ve sonuçta ana grup denilen bölümleri oluşturma analizidir. Ana grup için örnek olarak ısıl işlemle birleştirilmiş talaşlı imalat grubu verilebilir. FAA için genellikle ağ analizi teknikleri kullanılır.

Grup analizi: Bu analizin amacı, her FAA ile elde edilen ana grup içinde, alabildiğince birbirinden bağımsız, her biri ayrı bir parça ailesini imal eden makina grupları elde etmektir. Böylece hücrel sistemlere geçiş sağlanabilir. Analiz, ana grup içine giren parça rota kartları yardımı ile parça-makina matrisinin oluşturulmasını gerektirir. Matris eleman değerleri X_{ij} ile gösterilir. i. parça j. makinadan geçiyorsa $X_{ij}=1$, geçmiyorsa $X_{ij}=0$ 'dır. Parça aynı makinadan birden fazla kez geçiyorsa, makina, matriste bir kere gösterilir. Bundan sonra, makina grupları çeşitli yöntemlerin kullanılmasıyla oluşturulabilir.

Grup-İçi düzenleme analizi: Her bulunan makina grubu içindeki tesislerin, fiziksel düzenlemeleri ile ilgili analizdir. Düzenleme, grup içinde makinaların ya fonksiyonel yada tek mamül veya çoklu-mamül hattında toplanması esaslarına göre yapılır. Düzenleme tipleri arasında uygun alanının seçimi ise, her düzenlemenin çeşitli ölçütlere göre değerlendirilmesi sonucu yapılabilir.

Takım-tertibat analizi: Herbir makinada, aynı bir takım-tertibatla işlem görecektir parça ailelerini (takım-tertibat ailelerini) bulma işlemidir. Özellikle GT'ni uygulayan bir firmada makina hazırlık zamanlarının eldesi için önemlidir.

Burbidge'nin ÜAA için yapmış olduğu yaklaşımda uygulama yönünden iki sakıncası vardır.

- 1- Hem fabrika akış analizinin, hem de grup analizinin sezgisel yöntemlere dayanmış olması,
- 2- Grup analizinde makina-parça matrisinin büyük olması durumunda, çözüme ulaşmanın her zaman mümkün olması.

Üretimde akış analizinin bu sakıncalı yönlerini ortadan kaldırmak üzere bir çok yöntem geliştirilmiştir [8]. Bunların başlıcaları;

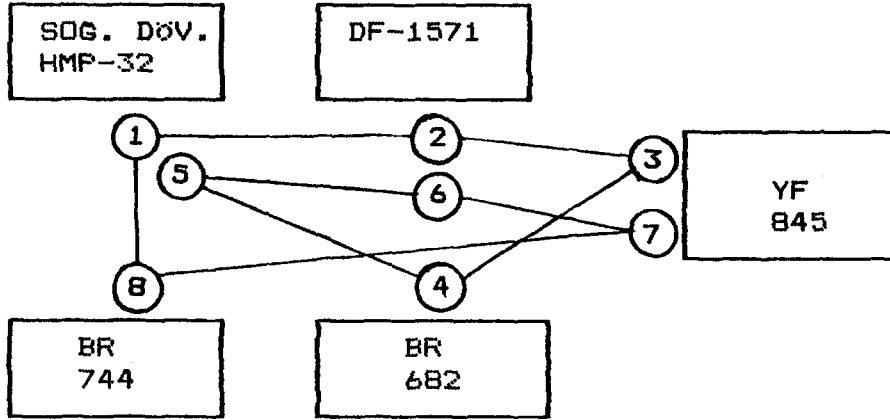
- 1- Benzerlik katsayılarını esas alan yöntemler,
 - 2- Makina-parça matrisinde diyagonal dizili gruplar oluşturan yöntemler.
- Bağ enerjisi yöntemi
 - Derece sıralamasıyla kümelenendirme yöntemi

Bu yöntemler bölüm III (GT'de Model ve Algoritmalar)'de geniş olarak incelenecektir.

2.2.2. Hücrelerin Çalışma Düzeni :

Hücreler, reklamı en çok yapılan esnek imalat sistemleri (EİS) dahil diğer imalat sistemlerinden farklılık gösteren bir çok özelliğe sahiptir. Parçalar hücre içinde teker teker bir makinadan diğerine hareket eder. Makinalar, işgören tarafından başlatılan bir işleme çevrimini tamamlama yeteneğine sahiptir. U biçimi, hücrenin başlama ve bitiş noktalarını birbirine bitişik yapar. İşgören hücre içindeki tam turunu tamamladığı her sefer,

bir parça tamamlanır. Şekil 2.4'de dört tezgahlı bir hücrenin (hücre no 143) yerleşim düzenlemesi görülmektedir. İşgören soğuk dövmeden aldığı parçayı şekildeki gibi bir rota izleyerek tezgahlarda işlenmesini sağlamaktadır [9].



Şekil 2.4 : 143 nolu hücrenin yerleşim düzeni ve işgören rotası

Şekil 2.5'den izlendiği gibi, bir parçanın tamamlanması boyunca, manuel operasyonların ve yürüme süresinin toplamı 55 saniyedir. İşgören paralel yapılan işlemlerin getirdiği avantajla gittiği makinalarda, makina üzerindeki işi tamamlamış bulunmaktadır. O halde çevrim süresi (ÇS) 55 saniyedir. Buna karşılık en uzun işleme süresi olan 70 saniye, 55'den büyüktür. Ancak 70 saniye ile ilgili iş merkezi olan 682 nolu iş merkezinin alternatif bir iş merkezi (744) vardır. Bu yüzden imalat hızı sadece ÇS'ne bağlı kalmaktadır.

Hücrede çalışan işgörenleri artırmakla hızı artırmak, hücreden çıkarmakla da azaltmak mümkün olabilmektedir (İmalat hızı esnekliği). Bir çevrim boyunca işleme süreleri toplamı $27+21+70=118$ saniyedir. Bu süre paralel işlemler yardımıyla görüldüğü gibi yarıdan fazla düşmektedir. Söz konusu dört tezgahın gerçekleştirdiği operasyonları tek başına yapabilen bir NC işleme merkezinin hücrenin yerini aldığını düşünelim. Bu durumda parça için çevrim süresi 55 saniyeden 118 saniyeye sıçrama yapar

Standart operasyonların iş programı levhası

Parça İsmi	DISK GÖBECİ	Standart Operas. İş Programı Levha.	İmalat Tarihi	S. Subat 1988	Gerekliliği günlük mikt.	524	Manuel Operas. U.L.T															
Proses	KABA FREZE İNCE FREZE			HÜCRE 143	480 dakika/ gerekli mikt.	55 San.	İşleme ---- Yürüme ~~~~~															
İş Sırası	Operasyonun İsmi	SÜRE (san.)	Operasyon süreleri (san.)																			
		Man. Mak.	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102	108	114	120
1/5	SOGUK DOVME DEN MALZEMELERİN ALINMASI	3																				
2/6	İÇ KİŞİN KABA FREZESİ	13 27																				
3/7	İÇ KİŞİN KABA FREZESİ	12 21																				
4	DIŞ VE İÇ KİŞİN İNCE FREZESİ	14 70																				
8	DIŞ VE İÇ KİŞİN İNCE FREZESİ	14 70																				

Sekil 2.5 : 143 nolu hücrede işlenen bir parçaya ait standart operasyonların iş programı levhası

Çünkü işleme operasyonlarının bir tezgahta birleşmesi paralel işlemleri engellemektedir. İmalat hızı düşmekte ve imalat hızı esnekliği kaybolmaktadır.

İş programı levhaları, işgören tarafından yapılan manuel operasyonları, makinalar tarafından gerçekleştirilen işleme operasyonları ve işgörenin makinadan makineye yürümesi ile oluşan süre harcamaları arasındaki ilişkiyi gösterir. Manuel operasyonlar arasında, makineye yükleme ve boşaltma, kalitenin kontrolü, parçadan çapak alma, tertibattan telaşları temizleme, vs. sayılabilir.

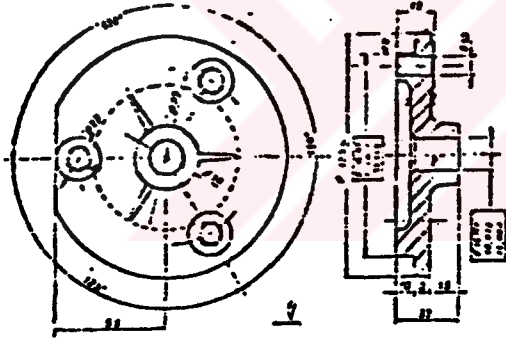
Hücredeki işgörenler çok fonksiyonludur. Her işgören, bir çeşit prosesten daha fazlasında çalışabilir. İşgören aynı zamanda muayene ve makina bakım işlerini gerçekleştirir. İşgören yine hazırlık sürelerini elimine etmek için çeşitli yollar tasarlar. Burada dikkat edilmesi gereken husus, hücrelerin sipariş tipi atölyedeki bir insan/bir makina kavramını elimine etmesi ve böylece işgücü üretkenliğini ve kullanımını artırmasıdır.

Hücrenin bir parça ailesi için kısıtlanması toplam

hazırlık süresini düşürür. Bir parça ailesi için genellikle grup tertibatları geliştirilir. Grup tertibatları maliyeti, geleneksel tertibatlara göre yüksektir. Ancak birim tertibat maliyetleri grup tertibatının atandığı parça ailesindeki parça çeşidi ve imalat sayılarına bağlı olarak daha düşük olabilmektedir. Şekil 2.6'da dört çeşit parçanın resimleri görülmektedir. Parçalar delme, kılavuz çekme ve pah kırma operasyonları açısından benzerdir. Bu parçalar için önceden geliştirilmiş tek tek tertibatlar yerine, şekil 2.7'de görülen tek bir grup tertibatı düzenlenmiştir. Böylece bir çeşit parçadan diğerine geçmek çok hızlı olur. Sadece burçların değiştirilmesi yeterlidir. Ayrıca tertibatta otomatik ve hava-hidrolik sıkma kontrol sistemi eklenmiştir.

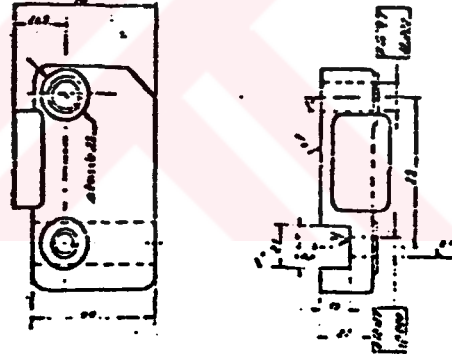
Parça A

Malzeme : Dökme demir 6.26



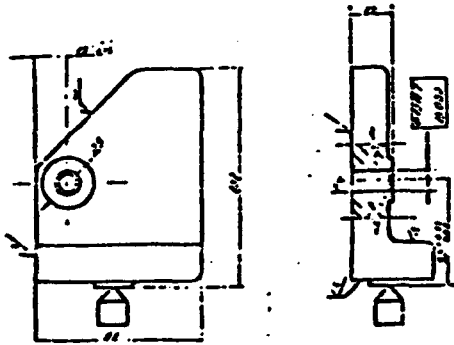
Parça C

Malzeme : Dökme demir 6.26



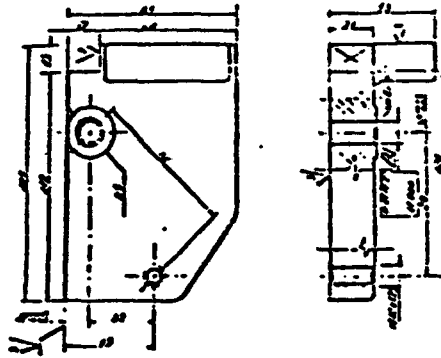
Parça B

Malzeme : Dökme demir 6.26



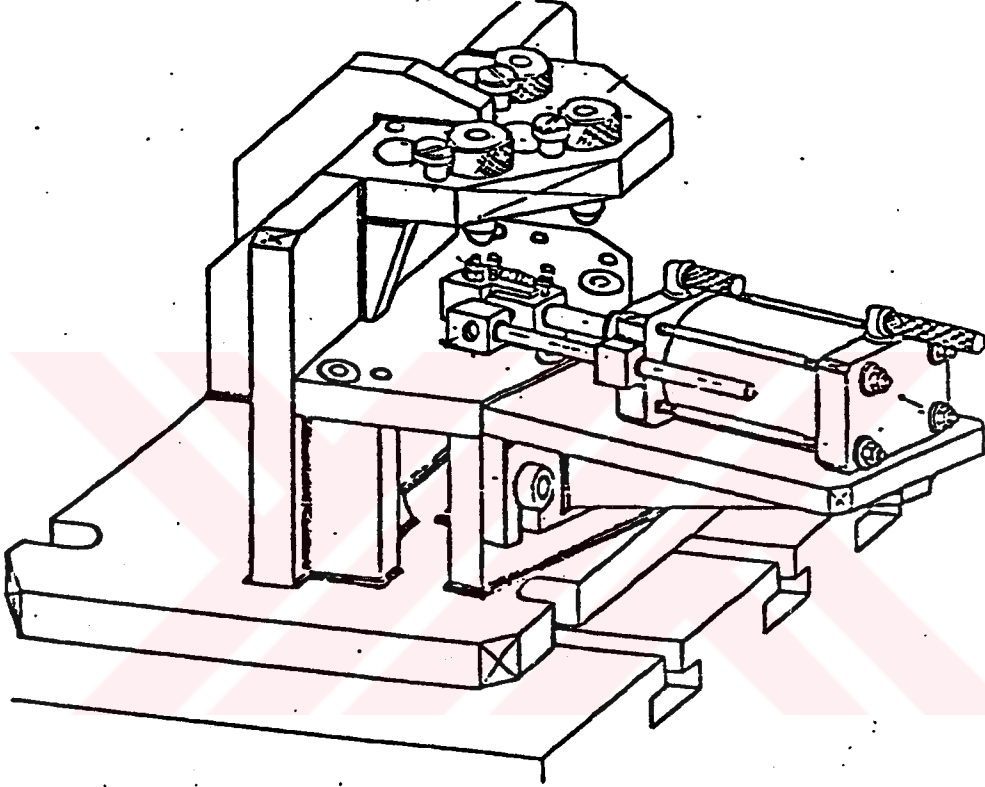
Parça D

Malzeme : Dökme demir 6.26

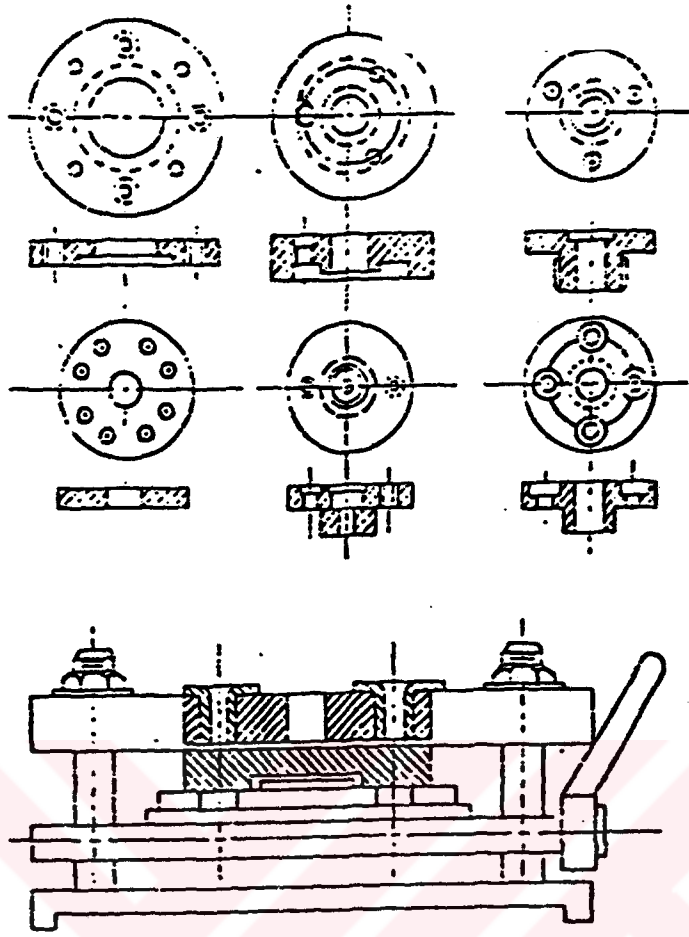


Şekil 2.6 : İmal edilecek dört çeşit parça

Sekil 2.8'de ise, altı benzer yuvarlak plakadan oluşan bir parça ailesi için hazırlanmış bir grup tertibatı görülmektedir. Her parça için ayrıca burç plakaları düzenlenmiştir. Böylece hangi parça işlenecekse, o burç plakası grup tertibatına hızlı bir şekilde adapte edilmektedir [9].



Sekil 2.7 : Dört çeşit parça için grup tertibatı



Sekil 2.8 : Yuvarlak plakalardan oluşan parça ailesi ve bunlar için burç plakaları ile grup tertibatı

BÖLÜM III

GRUP TEKNOLOJİSİNDE MODEL VE ALGORİTMALAR

3.1. GİRİŞ:

Grup teknolojisi (GT)'nin temel fikri, bir üretim sistemini alt sistemlere ayrıştırmaktır. Alt sistemlere ayrıştırmayı da bazı model ve algoritmalarla dayanarak gerçekleştirebilir. Bu bölümde GT için geliştirilen model ve algoritmalar ele alınacaktır.

GT problemini çözmek için iki temel yöntem bulunmaktadır. Bunlar;

- 1- Sınıflandırma
- 2- Küme analizi yöntemidir.

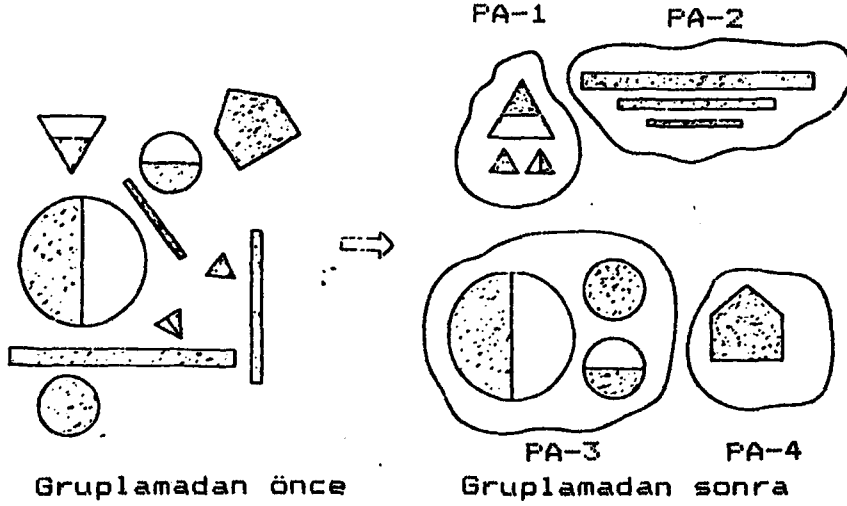
Bunlardan sınıflandırma yöntemi, parçaların tasarım özelliklerine bağlı olarak, parça aileleri şeklinde gruplandırılması için kullanılır. İki ayrı sınıflandırma yöntemi vardır [6].

- * Görsel yöntem
- * Kodlama yöntemi

3.1.1. Görsel Yöntem :

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, parçaların geometrik şekil özelliklerine göre sınıflandırıldığı bir yarı simetrik prosedürdür [6]. Bir başka deyişle bu yöntem üretim mühendisinin yeteneği sayesinde makina ve parçaların direkt gözlemi ile yapılır. Fakat bu yöntemde sınırlı sayıda parça tipi kullanılabilir [2]. Yine de bu yöntemi

kullanma, kişinin tercihine bağlıdır. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi 10 parça, bu yöntemle 4 parça ailesi şeklinde gruplandırılmıştır [6].



Şekil 3.1 : Göz kararı ile parçaların parça aileleri şeklinde gruplandırılması

3.1.2. Kodlama Yöntemi :

Kodlama yönteminde parçalar aşağıdaki özelliklere bağlı olarak sınıflandırılır [6].

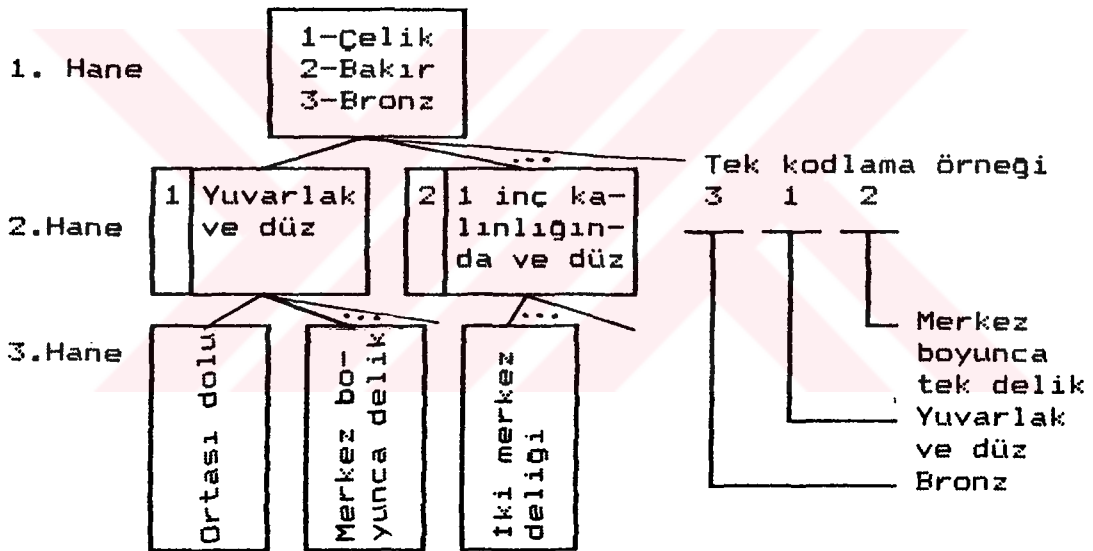
- 1- Geometrik biçim ve karmaşıklık
- 2- Boyutlar
- 3- Malzeme cinsi
- 4- Hammadde biçimi
- 5- Mamül maddenin gerekli hassasiyeti

Bir kodlama sistemi kullanılarak, her parçaya bir nümerik veya alfabetik kod verilir. Bu kodun her hanesi, parçanın bir özelliğini temsil eder. Günümüzdeki mevcut kodlama sistemleri, yukardaki beş özelliği kapsamı yönüyle farklıdır. Örneğin bir kodlama sistemi, parçanın boyutu ve biçimi ile ilgili daha fazla bilgi sağlayabilir. Oysa diğeri, parçanın daha fazla yüzey hassasiyetine önem verebilir. Üç temel kodlama sistemi vardır.

- * Tek kodlama
- * Çok kodlama
- * Karışık

Tek kodlamaya örnek, şekil 3.2'de görülmektedir. Her parçanın özellikleri ağacın her bir düğümüne uygun olan özelliklerin listesi ile eşleştirilir ve bir parça kodu türetilir. Tek kodlu sistem, bir ağaç yapısına sahip olduğu için, belirli bir düğümde seçilen bir hane önceki düğümde seçilen haneye bağlıdır. Bir parça tek kodunun gösterimini tamamen anlamak için parça tek kodunun bütün hanelerine ihtiyaç duyulur.

Tek kodlama sistemi



Sekil 3.2 : Tek kod sistemi ve tek kodlama

Verilen bir parça için, parçanın tek kodlamasının uzunluğu diğer kodlama sistemleri ile kıyaslandığında oldukça kısadır [6]. Çok kodlamada ise, her bir hanedeki bilgiler birbirinden bağımsızdır. Tek kodlama şeklinde olan fakat oluşturulmuş bu tek kodlamalar çok kodlama halinde bulunması da karışık kodlamayı meydana getirir. Tek kodlamaların oluşturulması zordur, fakat sınıflandırılmış birimlerin doğası hakkında çok derin analizlere imkan verirler. Genellikle değiştirilmesi tahmin edilmeyen

sürekli bilgiler için istenirler. Çok kodlamalar ise, genellikle zaman ile değişimi kolay olan geçici bilgiler için tercih edilirler. Örneğin maliyet ve yıllık ihtiyaç duyulan miktarlarla ilgili bilgilerin kodlanması gibi [4].

Birde kullanılan sembollerin biçimine göre kodlar sınıflandırılabilir.

- * Nümerik kodlar, hepsi numara şeklinde
- * Alfabetik kodlar, hepsi harf şeklinde
- * Alfa.nümerik kodlar, numara ve harflerin bir karışımı şeklindedir.

Nümerik kodlar, gerek okuma hatalarının daha az risk taşınması ve gerekse bilgisayarda uygulamasının daha kolay olması nedeni ile alfabetik kodlara nazaran daha fazla kullanılmaktadır. Diğer taraftan alfabetik kodlar da bir hanede daha fazla sembol bulundurma ve hatırlamayı sağlama avantajlarının önem taşıdığı yerlerde tercih edilirler. Gerçekten alfabetik kodlama ile bir haneye 23 sembol (Türkçe de) yerleştirilebilir.

Kodlar birde Üniversallige göre sınıflandırılabilir

- * Üniversal kodlar
- * İyi uyarlanmış kodlar

Üniversal kodlar, belirli bir probleme göre özel bir kodlama sistemi değildirler. Buna karşılık iyi uyarlanmış kodlar ise tam tersine özellikle bir firma ve belirli bir problemin ihtiyaçlarını karşılamak için tasarlanmış kodlardır. Üniversal kodlama uygulaması yapan bir firma, bu kodun bazı hanelerini kullanamaz. Çünkü bu kodlama ile firma için gereksiz bir çok bilgi tipi de beraberce saklanmaktadır. Diğer taraftan iyi uyarlanmış kodların tasarım ve tanıtımı pahalı ve uzun zaman alır.

Parça kodlama için bir çok sistem geliştirilmiştir.

Bu sistemlerden en önemlileri;

- * CODE,
- * SAGT ve
- * OPITZ'dir

CODE kodlama sistemi :

CODE kodlama sistemi J.G. Bergen ve A.G. Gınaovas tarafından geliştirilmiştir. Sekiz haneden oluşan kodun ilk hanesi parçanın şeklini, ikinci hanesi boyutlarını, üçüncü hanesi parçanın iç şeklini, dördüncü hanesi parçanın iç ve dış deliklerini, beşinci hanesi kesimleri, altıncı hanesi kesim derinliklerini, yedinci hanesi en büyük dış çapı ve son hanesi ise uzunluğu göstermektedir.

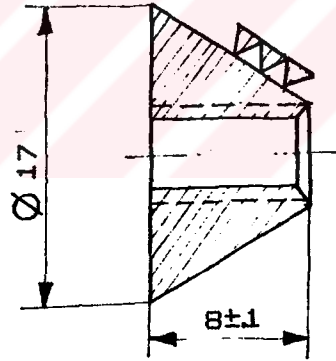
SAGT kodlama sistemi :

M.R. Abou-Zeid tarafından geliştirilmiş olan bu kodlama sisteminde, kod onsekiz haneden oluşmaktadır. İlk hane en büyük dış çapı, ikinci hane uzunluk/çap oranını, üç ile altıncı haneler arası dış şekille ilgili bilgileri yedi ve sekizinci haneler iç şekli, on üçüncü haneye kadar sırasıyla ana delikleri, dişli ve kama yuvalarını, yüzey işleme bilgilerini, hammadde cinsini ve şeklini gösteren kodlar, on dördüncüden on altıncıya kadarki haneler bitmiş boyutları ve toleransları gösterir. Son iki hane de ise Üretime ilişkin bilgiler özetlenir.

OPITZ kodlama sistemi :

Bu sistem, çok kodlama yapıdadır ve Universal bir özelliğe sahiptir. İş parçası sınıflandırma ve kodlamasına yöneliktir. Universal özelliğinden dolayı, bu sistem bir firmanın tasarım, planlama ve üretim bölümlerinin iş parçası ile ilgili farklı ihtiyaçlarını, farklı ölçütler arasında karşılayacak uzlaşık bir karaktere sahip olarak düzenlenmiştir.

Sistem dokuz hane ve her hanede on pozisyonlu olarak oluşturulmuştur. Bu hanelerden dokuzu iki kısma ayrılmıştır. Birinci kısım beş haneden ibaret geometrik kodu, ikincisi ise dört haneden ibaret ek kodu oluşturur. Geometrik kod, temel olarak iş parçasının en son biçimi ile ilgili özellikleri içerir. Geometrik kodun birinci hanesi iş parçasının genel biçimini, dönümlü ve dönümlü olmayan parçaların boyutsal oranlarına göre düzenini gösterir. Diğer hanelerden ikincisi parçanın tüm veya anabıçımını, üçüncüsü iç biçimini, dördüncüsü yüzey işleme ve beşicisi ise yardımcı delikler, dişliler ve şekillendirme özelliklerini tanımlar. Mamül veya firmaların bazı özel parçalarını kodlamak üzere, ayrıca sistemin birinci hanesinde iki rakam tahsis edilmiştir. Tahsis edilen beş numaralı pozisyon özel dönümlü parçalar, dokuz numaralı pozisyon ise özel dönümlü olmayan parçalar içindir. Böylece belirli özellikleri aşan iş parçaları için, sistemin haneleri veya her hane içindeki pozisyonlar mantıksızca uzatılmamış olur.



	L/D ≤ 0.5
	Konik
	Düz delik, vida açılmış
	Yüzey işleme yok
	Yardımcı delik veya dişli yok
	D ≤ 20
	Hafif alaşımlı pirinç
	Dönümlü çubuk
	Dış yüzeyin hassasiyeti yüksek
0 7 2 0 0 0 8 1 1	

Sekil 3.3 : Bir örnek parçanın opitz'e göre kodlanması

Yukarıda bahsedilen geometrik kodların yanı sıra, ek kodlar da tam bir sınıflandırma için gereklidir. Ek kodun birinci hanesi parçanın çapı veya bir kenarının uzunluğuna göre düzenlenir. İkinci hane de malzeme mukavemetine göre yan bölümlere ugrar. Üçüncü hane ham malzemenin biçimini tanımlayan pozisyonlara sahiptir. Nihayet son hane ise parçanın yüzey hassasiyeti ile ilgilidir [4].

3.2. SINIFLANDIRMA VE KODLAMANIN ÜRETİM PLANLAMADA UYGULAMASI :

Tasarım bürosunda, daha önce benzeri veya aynısı tasarlanmış olan parçaların resimleri üzerine önceki parçaların kodunu gösteren işaretler yardımıyla üretim planlama bölümü, tasarım bürosundan gelmiş parçaların operasyon planlarını çıkarır. Söyle ki eğer parça daha önce aynen kullanılmışsa, bu parçanın koduna ait operasyon planını indeksten bulur. Parçanın üretilecek miktarı da indeksten çok farklı değilse bu plan aynen uygulanır. Benzer parçalar için gerek operasyon sıralarının ve gerekse standart zamanların doğruluğu araştırılır. Görüldüğü gibi yapılan çalışmalar basitleşmiş, bilgi sağlama basitlik ve cabukluk sağlanmıştır. Ayrıca parça ailelerini oluşturmak için hangi ölçütlerin gözönüne alınacağı, hangi kod numaralarının aile içinde toplanacağı araştırılır. Bunlardan başka tüm bu çalışmalarla makinanın uygun parça kullanım veriminde, artış sağlanabilir. Örneğin kodlama ile uzunluğun çapa oranı birden küçük, az sayıda yüzeye sahip basit profilli parçalar, toplu halde uzun kızaklı ağır bir torna tezgahı yerine basit konstrüksiyona sahip kısa kızaklı torna tezgahlarında işlenebilir. Böylece tezgahlarda, tezgaha uygun parça kullanımı, başka bir deyişle uygun parça kullanım verimi artırılır [4].

3.3. KÜME ANALİZ YÖNTEMİ :

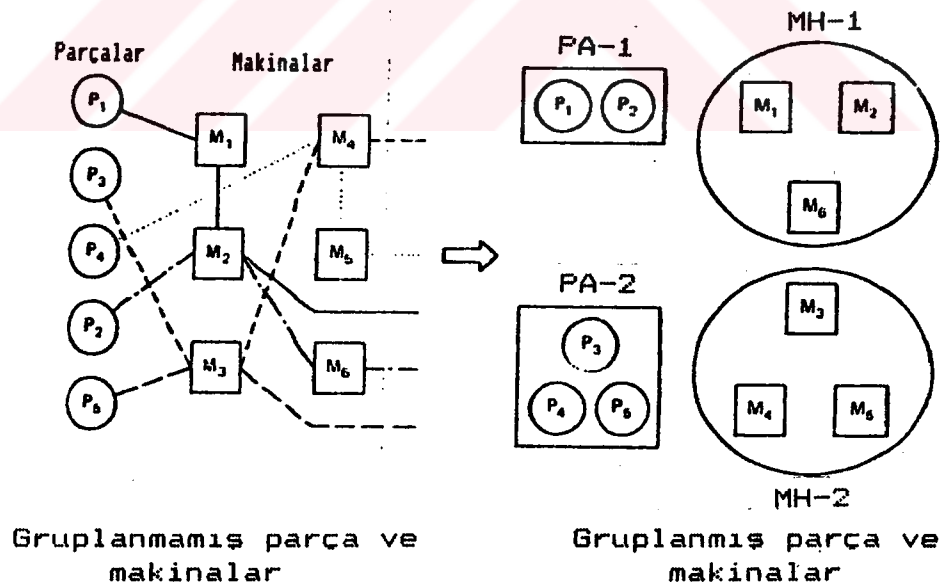
Küme analizi, nesnelerin özelliklerine bağlı olarak nesnelerin türdeş kümelerde gruplanmalarıyla ilgilidir.

Bu ise biyolojide (Everitt 1980), veri tanımda (McCormick, Schweitzer ve White 1972), tıpta (Klastorin 1982), model tanımda (Tou ve Gonzalez 1974), üretim akış analizinde (Burbidge 1971, King 1980), görev seçiminde (Nagai, Tenda ve Shingu 1980), kontrol mühendisliğinde (Siljak ve Sezer 1984), otomasyon sistemlerinde (Cheng ve Fu 1985) gibi bir çok alanda uygulanmıştır [6].

GT'nde küme analizi uygulaması, parçaları parça aileleri (PA) şeklinde ve makinaları ise makina hücreleri (MH) şeklinde gruplamaya dayanır. Bu gruplamanın sonucu ya;

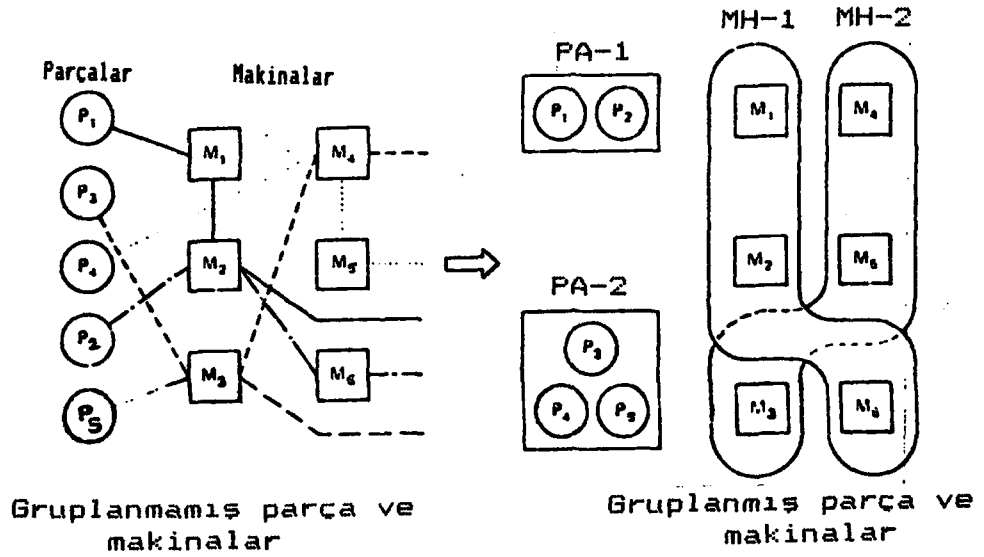
- 1- Fiziksel makina düzeni veya
- 2- Mantıksal makina düzeni ortaya çıkar.

Fiziksel makina düzeni makinaların yeniden düzenlenmesini gerektirir. Öyle ki atölye şekil 3.4'de görüldüğü gibi değiştirilir.



Şekil 3.4 : Fiziksel makina düzeni

Mantıksal makina düzeninde ise makinalar, mantıksal makina hücreleri şeklinde gruplanır ve makinaların durumu değiştirilmez (şekil 3.5'e bakın).



Sekil 3.5 : Mantıksal makina düzeni

Mantıksal gruplama, üretim içeriğinin değişmesi durumlarında uygulanabilir. Bu yüzden fiziksel makina düzeni uygulanamaz.

GT problemini modellemek için üç formülasyon kullanılır.

- * Matris formülasyonu
- * Matematiksel programlama formülasyonu
- * Grafik formülasyonu

3.3.1. Matris Formülasyonu :

Matris formülasyonunda bir makina-parça ilişki matrisi (a_{ij}) oluşturulur. Bu matris ise 0, 1 değerlerinden oluşur. 1 değeri i nolu makinanın j nolu parçasını işlemek için kullanıldığını, 0 değeri ise i nolu makinanın j nolu parçasını işlemek için kullanılmadığını gösterir. İlk makina-parça ilişki matrisi (a_{ij}) oluşturulduğunda makina ve parça kümeleri görülmeyebilir. Kümeleme algoritmaları ilk ilişki matrisinin daha uygun bir yapıya (muhtemelen diyagonal blok) dönüşmesine yol açar. Kümeleme kavramını

açıklamak için (3.1) makina-parça ilişki matrisini düşünelim.

$$a_{ij} = \begin{array}{c|ccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \hline 1 & & 1 & & 1 & 1 \\ 2 & 1 & & 1 & & \\ 3 & & 1 & & 1 & \\ 4 & 1 & & 1 & & \end{array} \quad (3.1)$$

(3.1) matrisinin satır ve sütunlarının yeniden düzenlenmesi ile (3.2) matrisi elde edilir.

$$\begin{array}{cc|ccccc} & & PA-1 & PA-2 & & & \\ & & 1 & 3 & 2 & 4 & 5 \\ MH-1 & 2 & 1 & 1 & & & \\ & 4 & 1 & 1 & & & \\ MH-2 & 1 & & & 1 & 1 & 1 \\ & 3 & & & 1 & 1 & \end{array} \quad (3.2)$$

(3.2) matrisinde iki makina hücresi $MH-1=\{2,4\}$
 $MH-2=\{1,3\}$ ve iki de parça ailesi $PA-1=\{1,3\}$ ve
 $PA-2=\{2,4,5\}$ görülebilir.

İkili ilişki matrisinin kümelenmesi, aşağıdaki iki küme sınıfları ile sonuçlanabilir.

- 1- Karşılıklı olarak ayrılabilen kümeler
- 2- Kısmen ayrılabilir kümeler

Bunu daha iyi anlayabilmek için (3.3) matrisini inceleyelim.

$$\begin{array}{cc|ccccc} & & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ MH-1 & 1 & 1 & 1 & & & 1 \\ & 2 & 1 & 1 & & & \\ MH-2 & 3 & & & 1 & 1 & 1 \\ & 4 & & & 1 & 1 & \end{array} \quad (3.3)$$

(3.3) matrisi 5 nolu parçadan dolayı iki ayrı küme şeklinde ayrılamaz. 5 nolu parça iki makina hücresi $MH-1$ ve $MH-2$ içinde yer almaktadır. (3.3) matrisinden 5 nolu

parçanın çıkarılması ile (3.3) matrisi iki ayrılabilir makina hücresi $MH-1=\{1,2\}$ ve $MH-2=\{3,4\}$, ve de iki parça ailesi $PA-1=\{1,2\}$ ve $PA-2=\{3,4\}$ ile sonuçlanır. Bu iki küme kısmen ayrılabilir kümeler olarak adlandırılır. 5 nolu istisna parçası ile uğraşmak için aşağıdaki üç faaliyetten birine başvurulur.

- 1- Parça bir makina hücresinde işlenebilir ve bir malzeme taşıma aracı kullanılarak diğer makina hücresine gönderilebilir.
- 2- Parça fonksiyonel bir tesiste işlenebilir.
- 3- Parça fason yaptırılabilir.

GT probleminin matris formülasyonunu çözmek için aşağıdaki yaklaşımlar geliştirilmiştir.

- * Benzerlik katsayısı yöntemleri
- * Sıralama esaslı algoritmalar
- * Bağ enerjisi algoritması
- * Maliyet esaslı yöntem
- * Küme tanımlama algoritması
- * Genişletilmiş küme tanıma algoritması

Benzerlik katsayısı yöntemleri :

Benzerlik katsayısı yaklaşımı ilk olarak Sokol ve Sneath (1968) tarafından geliştirilmiş ve Mc Auley (1972) bu yaklaşımı üretim akış analizi (ÜAA)'de önermiştir. Bu yöntemin temeli, her iki makina çifti arasındaki benzerliği ölçmeye ve buna göre onları sınıflandırmaya dayanır. Mc Auley iki makina arasındaki benzerlik katsayısını her iki makinaya da giden parça sayısının; hem her iki makina-ya, hem de her iki makinadan birine giden parça sayısına ilişkin bir rakama oranı olarak tanımlamıştır. Bu oranı formüle etmek için makina-makina kombinasyon matrisi kullanılır [10].

Bu kısımda üç benzerlik katsayısı yöntemi

incelenecektir. 1972'de Mc Auley tarafından tanıtılan ÜAA, i ve j nolu makinalar arasındaki benzerlik katsayısı aşağıdaki formülle hesaplar.

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n \delta_1(a_{ik}, a_{jk})}{\sum_{k=1}^n \delta_2(a_{ik}, a_{jk})}$$

Burada ;

$$\delta_1(a_{ik}, a_{jk}) = \begin{cases} 1 & a_{ik} = a_{jk} = 1 \text{ ise,} \\ 0 & \text{diğer hallerde} \end{cases}$$

$$\delta_2(a_{ik}, a_{jk}) = \begin{cases} 0 & a_{ik} = a_{jk} = 1 \text{ ise,} \\ 1 & \text{diğer hallerde} \end{cases}$$

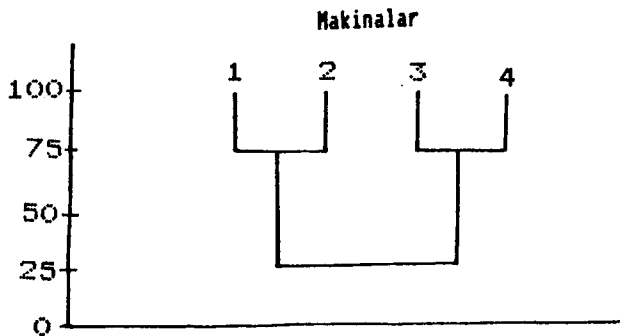
n = Parça sayısı

ÜAA yaklaşımını kullanarak GT problemini çözmek için makinaların bütün çiftleri için benzerlik katsayıları hesaplanır. Makina hücreleri, benzerlik katsayısının bir eşik değeri esas alınarak oluşturulur. ÜAA'ni göstermek için (3.4) matrisini düşünün. Benzerlik katsayıları, S_{ij} hesaplanmış ve şekil 3.6'da gösterilmiştir.

$$S_{12} = S_{34} = 2/3 = .75$$

$$S_{13} = 1/4 = .25$$

$$S_{14} = S_{23} = S_{24} = 0/5 = 0$$



Sekil 3.6 : Benzerlik katsayılarının ağaç diyagramı

Benzerlik katsayısı S_{4j} 'nin eşik değerinin %60 olduğunu farzederek, şekil 3.5'ten aşağıdaki makina hücreleri elde edilir.

$$MH-1=\{1,2\} \quad MH-2=\{3,4\}$$

ÜAA'nin dezavantajlarından biri, darboğaz makinanın artırılmasıyla sonuçlanan zincirleme problemini tanımadaki başarısızlığıdır.

Darboğaz makina, bir makina-parça ilişkisi matrisinin alt matrislere ayrışmasına müsaade etmeyen makinadır. Örneğin, (3.4) matrisindeki 3 nolu makina, matrisin iki makina hücresi ve iki parça ailesine müsaade etmez.

		Parçalar					
		1	2	3	4	5	6
Makinalar	1	1	1				
	2	1	1				
	3	1	1	1		1	1
	4			1	1	1	1
	5			1		1	1

(3.4)

(3.4) matrisinin karşılıklı olarak ikiye ayrılabilir alt matrislere ayrıştırmanın bir yolu, 3 nolu makina-dan bir adet daha satın alınmasıdır. Böylece (3.4) matrisi (3.5) matrisine dönüşür.

		Parçalar					
		1	2	3	4	5	6
Makinalar	1	1	1				
	2	1	1				
	3	1	1				
	3			1		1	1
	4			1	1	1	1
	5			1		1	1

(3.5)

(3.5) matrisinde iki makina hücresi $MH-1=\{1,2,3\}$ ve $MM-2=\{3,4,5\}$, ve parça ailesi $PA-1=\{1,2\}$ ve $PA-2=\{3,4,5,6\}$ görülebilir. Darboğaz makina tanımına benzer şekilde birde darboğaz (istisna) parça tanımlanabilir.

Seifoddini ve Wolfe 1986'da zincirleme problemini

çözmek için, ortalama hatlı kümeleme algoritmasını (OHKA) kullandılar. Yazarlar iki kümenin bütün elemanları arasındaki benzerlik katsayılarının bir ortalama değeri olarak, herhangi iki küme arasında bir benzerlik katsayısı tanımladılar. Seifoddini ve Wolfe (1986) bir çift makina kodu kullanarak, makina-parça ilişki matrisini gösterdiler. MH-i ve MH-j gibi iki makina hücresi arasındaki hücreler arası hareket (HH)'lerin toplamını aşağıdaki gibi hesapladılar.

$$H_{ij} = \sum_{k=1}^n \delta_s(V_{ik}, V_{jk})$$

Burada ;

$$V_{ik} = \begin{cases} 1 & \sum_{i \in MH-1} a_{ik} = 0 \text{ ise ,} \\ 0 & \text{diğer hallerde} \end{cases}$$

$$\delta_s(V_{ik}, V_{jk}) = \begin{cases} 1 & V_{ik} = V_{jk} = 1 \text{ ise ,} \\ 0 & \text{diğer hallerde} \end{cases}$$

$\delta_s(V_{ik}, V_{jk}) = 1$ olması halinde, k nolu parçanın makina hücreleri (MH-i ve MH-j)'nin her ikisinde işlem görmesi gerektiğini belirtir. Bu nedenle k nolu parça bir darboğaz (istisna) parçadır. Bu problem, ya k nolu parçanın iki makina hücresinden çıkarılmasıyla, yada her makina hücresine q gibi bir aynı makinanın eklenmesi ile çözümlenebilir. İki kümenin elde edildiği, (3.3) matrisinde gösterilen örneği düşünelim. Hücreler arası hareket (HH) aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$[V_{1k}] = [1, 1, 0, 0, 1]$$

$$[V_{2k}] = [0, 0, 1, 1, 1]$$

$$HH_{12} = \sum_{k=1}^5 \delta_s(V_{1k}, V_{2k}) = 0+0+0+0+1 = 1$$

Makina hücreleri MH-1 ve MH-2'nin her ikisinde de işlenmeyi gerektiren parça; $\delta(V_{15}, V_{25}) = 1$ olduğu yalnız 5 nolu parçadır.

Diğer ilginç bir benzerlik katsayısı yöntemi De Whitte tarafından incelendi (1980). De Whitte bazı makineleri, birden fazla makina hücresinde bulunma kavramını savunan bir algoritma tasarladı ve eldeki bütün makineleri üç gruba ayırdı.

- 1- Tam benzerlik ölçüsü (Absolute similarity measure)
- 2- Ortak benzerlik ölçüsü (Mutual similarity measure)
- 3- Tek benzerlik ölçüsü (Simple similarity measure)

De Whitte (1980), en iyi gruplama sonuçlarının; kümeleme işleminin başlangıcında tam ve ortak benzerlik ölçülerinin kullanılması ve daha sonra kalan atanmamış makineleri dağıtmak için, tek benzerlik ölçüsü kullanımı ile başarılabilceği sonucuna vardı.

Sıralama Esaslı Algoritmalar :

Makina-parça ilişki matrisinin satır ve sütunlarının sınıflandırılması esaslı kümeleme yöntemi bir çok yazar tarafından incelenmiştir. King (1980) derece sıralamasıyla kümeleme (DSK) algoritması geliştirdi.

DSK Algoritması :

Diyagonal dizili grupların türetilmesi amacıyla tasarlanan bu algoritma orijinal makina-parça matrisinden başlar. Bu yöntemde makina-parça matrisine ait her satır, ikili numaralama sistemine göre ağırlandırılır ve bu ağırlıkların ondalık eşdeğerleri hesaplanır. Ondalık eşdeğerlerin derece sıralarına göre satırlar yeniden düzenlenir. Daha sonra aynı işlemler sütunlar için de yapılır. Hem

satırlarda hem de sütunlarda azalan derece sırası elde edilinceye kadar yöntem devam ettirilir. Bu sonuç elde edilince işlem durdurulur ve aranan matris bulunmuş olur. Algoritma aşağıdaki adımları içerir;

Adım 1 : Makina-parça ilişki matrisinin her satırı için ikili bir ağırlık tesis edilir ve bunun ondalık değeri hesaplanır.

Adım 2 : İkili matrisin satırları, ondalık ağırlıkların azalan sırasına göre yeniden sıralanır.

Adım 3 : Önceki iki adım her sütun için tekrarlanır

Adım 4 : Her satır ve sütundaki her elemanın durumunun değişmemesine kadar önceki adımlar tekrarlanır.

Her i satırı ve j sütunu için, bir ağırlık değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Satır } i = \sum_{k=1}^n a_{ik} * 2^{(n-k)}$$

$$\text{Sütun } j = \sum_{k=1}^m a_{kj} * 2^{(n-k)}$$

DSK algoritmasıyla elde edilen son matriste, kümeler görsel olarak tanımlanır. (3.1) matrisi için DSK algoritması örnek 3.1'de uygulanmıştır.

Örnek 3.1 :

Adım 1 : Her satıra ikili bir ağırlık tesis edilir ve ondalık karşılığı hesaplanır.

Adım 2 : Ondalık ağırlıklar azalan bir sırada sılanırsa aşağıdaki ikinci matris elde edilir.

		Parçalar				
		1	2	3	4	5
		2	4	2	2	2
Makinalar	1	1		1	1	
	2	1		1		
	3		1		1	
	4	1		1		
						11
						20
						10
						20

		Parçalar				
		1	2	3	4	5
Makinalar	2	1		1		
	4	1		1		
	1		1		1	1
	3		1		1	

Adım 3 : Önceki iki adım her sütun için tekrarlanırsa aşağıdaki matris elde edilir.

		Parçalar				
		1	3	2	4	5
Makinalar	2	1	1			
	4	1	1			
	1			1	1	1
	3			1	1	

Bu matriste iki ayrılabilir küme görülebilir. Eldeki matris (3.2) matrisi ile aynıdır.

DSK algoritması, King ve Nakomchai (1982), ve Chandrasekharan ve Rajagopalan (1986) tarafından daha da genişletildi. Son makalede, Chandrasekharan ve Rajagopalan "blok ve dilimleme" yöntemi ile hiyerarşik kümeleme yöntemini birleştirerek DSK algoritmasını geliştirdiler.

Diğer ilginç sıralama esaslı algoritma, doğrudan kümeleme algoritması (DKA), Chan ve Milner (1982) tarafından geliştirildi.

Doğrudan Kümeleme Algoritması (DKA) :

Bu algoritma aşağıdaki adımlardan oluşur;

Adım 1 : Makina-parça ilişki matrisinde her satır ve sütun için toplam 1'lerin sayısı belirlenir.

Adım 2 : Toplam 1'lerin sayısına uygun şekilde, her satır artan bir sırada sıralanır.

Adım 3 : Toplam 1'lerin sayısına uygun şekilde her sütun azalan bir sırada sıralanır.

Adım 4 : Önceki adımlar her satır ve sütundaki her elemanın durumu değişmeyinceye kadar tekrarlanır.

Bu adımların sonucuna bağlı olarak, makina-parça matrisindeki bazı satır ve sütunlar uygun kümeler elde edilinceye kadar yeniden düzenlenir [6].

Bağ Enerjisi Algoritması :

Mc Cormick, Schweitzer ve White (1972), bağ enerjisi algoritması (BEA) olarak adlandırılan bir karşılıklı değişimli algoritma geliştirdiler. BEA, aşağıda tanımlandığı gibi etkinlik ölçüsünü en büyükleyerek bir diyagonal blok biçimi oluşturmayı amaçlar [6].

$$ME = 1/2 \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} (a_{i,j-1} + a_{i,j+1} + a_{i-1,j} + a_{i+1,j})$$

ME'nin hesaplanması aşağıdaki örnekte görülmektedir.

		Parçalar						Parçalar			
		1	2	3	4			1	2	3	4
Makinalar	1	1		1		Makinalar	1	1			
	2		1		1		2			1	
	3	1		1			3	1	1		1
	4		1		1		4			1	1
ME=0						ME=4					

BEA'nın Adımları :

Adım 1 : $j=1$ alınarak, keyfi olarak sütunlardan bir tanesi seçilir.

Adım 2 : Kalan $n-j$ sütunun her birini, her defasında $j+1$ hali dikkate alınarak her sütunun ME'ye katkısı hesaplanır.

ME'ye en büyük katkı sağlayan sütun, en iyi yere yerleştirilir.

j , birer artırılarak $j=n$ oluncaya kadar yukardaki adımlar tekrarlanır.

Adım 3 : Bütün sütunlar yerleştirildiğinde, yöntem satırlar için tekrarlanır.

(3.1) matrisine uygulanan BEA, örnek 3.2'de gösterilmiştir.

Örnek 3.2 :

Adım 1 : $j=1$ ve 2 nolu sütun seçilir

Adım 2 : Kalan sütunların herbirinin $j+1$ durumlarına bakılır ve daha sonra ikinci sütunun ME değerine olan katkısı hesaplanır.

Durum	$j=1$	$j+1$	ME Değeri
	2	1	0
Sütun	2	3	0
numarası	2	4	2
	2	5	1

Tablodan dört nolu sütunun $(j+1)$ 'ci sütun olacağı görülür.

Kalan stnlar için aynı işlemler tekrarlanarak aşağıdaki sütün sırası elde edilir.

Adım 3 : Satırlar içinde yukardaki adımlar tekrarlandıktan sonra aşağıdaki matris elde edilir.

		Parçalar				
		2	4	5	1	3
Makinalar	1	1	1	1		
	2	1	1			
	3				1	1
	4				1	1

Slagle, Chang ve Heller (1975), BEA ve en kısa lme yolu algoritmasına dayanarak bir kümeleme algoritması geliştirdiler. Onların düşüncesi, ilişki matrisinin herhangi iki satır veya stnunu aşağıda hesaplandığı gibi eleyen algoritmayı geliştiren Bhat ve Haupt (1976) tarafından genişletildi.

$$m_{ij} = \sum_{k=1}^n |a_{ik} - a_{jk}|$$

Bhat ve Haupt'un 1976'da geliştirdikleri algoritma, Mc Cormick, Schweitzer ve White'n 1982'de geliştirdiği algoritmaya benzer. İki algoritma arasındaki fark Mc Cormick algoritmasında A matrisindeki hesaplama elemeleri ve satır değiştirmelerinin tersine, Bhat ve Haupt algoritması $A \cdot A^T$ matrisinin satır ve stnlarını değiştirir. $[m_{ij}]$ matrisinin bir m_{ij} girişi, A matrisinin i ve j satırları arasındaki bir uzaklığı temsil ettiği görülebilir.

Maliyet Esaslı Yöntem :

Askin ve Subramanian (1987), aşağıdaki üretim maliyetlerini dikkate alan bir kümeleme algoritması geliştirdiler [6].

1- Sabit ve değişken işleme maliyeti

- 2- Hazırlık maliyeti
- 3- Üretim çevrimi envanter maliyeti
- 4- Proses içi envanter maliyeti
- 5- Malzeme taşıma maliyeti

Algoritma üç aşamadan oluşur. Birinci aşamada bir kodlama sistemi kullanılarak parçalar sınıflandırılır. İkinci aşamada üretim maliyetlerine dayalı olarak parçaların uygun bir grublamasını geliştirmek için bir çabaya girilir. Üçüncü aşamada makina hücrelerinin gerçek düzeni analiz edilir.

Küme Tanımlama Algoritması (KTA) :

Kusiak ve Chow (1987), KTA'nı geliştirmek için Jri (1968)'nin sunduğu kavramı uyguladılar. Bu algoritma, makina-parça ilişki matrisinde karşılıklı olarak ayrılabilir kümelerin varlığını kontrol etmeye müsaade ederek kümelerin ortaya çıkmalarını sağlar [6].

KTA'nın Adımları :

Adım 0: iterasyon numarası $k=1$ alınır.

Adım 1 : ilişki matrisi $A^{(k)}$ 'nin, herhangi bir i satırı seçilir ve bu satır boyunca bir yatay çizgi h_1 çizilir. ($A^{(k)}$, k iterasyondaki A matrisi şeklinde okunabilir.)

Adım 2 : h_1 yatay çizgisinin geçtiği satırda, her 1 girişi için dikey bir çizgi V_1 çizilir.

Adım 3 : Dikey çizgi V_1 'nin geçtiği sütundaki, her 1 değeri için yatay bir h_k çizgisi çizilir

Adım 4 : Adım 2 ve adım 3, $A^{(k)}$ daki 1 girişlerinin üstünden çizgi geçmeyen (en az bir kez) 1 girişi kalmayıncaya kadar tekrarlanır.

$A^{(k)}$ daki 1 girişleri üstünden iki kez geçilen bütün değerler MH-k makina hücresini ve PA-k parça ailesini oluşturur.

Adım 5 : $A^{(k)}$ ilişki matrisiniden adım 1'den adım 4'e kadar çizilen yatay ve dikey çizgilere tekabül eden bütün satır ve sütunları çıkararak $A^{(k+1)}$ matrisine dönüştürülür.

Adım 6 : Eğer $A^{(k+1)} = 0$ ise (yani matrisin bütün elemanları sıfır ise), işlem bitirilir. Aksi halde $k=k+1$ alınır ve adım 1'e gidilir.

KTA'nın A matrisinin her elemanı iki kez gözden geçirdiğini görebilirsiniz. A matrisinde $m \times n$ eleman olduğundan işlem zaman alıcıdır. Örneğin, bilgisayar temel işlemlerinin sayısı $m \times n$ dir.

GT problemini çözmek için, KTA uygulaması örnek 3.3 de gösterilmiştir.

Örnek 3.3 : Makina-parça ilişki matrisinin aşağıdaki gibi olduğunu düşünün.

$$A = \begin{array}{c|cccccccc} & \text{Parçalar} \\ & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ \hline 1 & & 1 & 1 & & 1 & & & \\ 2 & 1 & & & & & 1 & & \\ 3 & & & & 1 & & & 1 & \\ 4 & 1 & & & & & 1 & & \\ 5 & & & 1 & & 1 & & & 1 \\ 6 & & & & 1 & & & & \\ 7 & & 1 & 1 & & 1 & & 1 & \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{Makinalar} \\ (3.6) \end{array}$$

Adım 0 : iterasyon sayısı $k=1$

Adım 1 : (3.6) matrisinin birinci satırı seçilir ve yatay h_1 yatay çizgisi çizilir. 1 ve 2 adımları sonucu (3.7) matrisi elde edilir.

Adım 2 : Üç dikey çizgi V_2, V_3, V_5 çizilir. Bu üç dikey çizginin çizilmesi sonucu olarak 5 adet yeni, üstünden bir kez geçilen 1 girişleri yaratılır. Örneğin (5,3), (5,5), (7,2), (7,3) ve (7,5) değerleri üstünden bir kez geçilen değerlerdir.

Adım 3 : İki adet yatay çizgi h_6 ve h_7 , üstünden bir kez geçilen girişlerin bulunduğu satırlar boyunca çizilir.

$$A^{(1)} = \begin{array}{c|cccccccc} & \text{Parçalar} \\ & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ \hline 1 & - & - & 1 & - & 1 & - & - & - \\ 2 & 1 & | & | & | & | & 1 & & \\ 3 & & | & | & 1 & | & & 1 & \\ 4 & 1 & | & | & & | & 1 & & \\ 5 & & | & 1 & & 1 & & & 1 \\ 6 & & | & | & 1 & | & & & \\ 7 & & 1 & 1 & & 1 & & & 1 \\ & & | & | & & | & & & \\ & & V_2 & V_3 & & V_5 & & & \end{array} \quad (3.7)$$

$$\begin{array}{c|cccccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\ \hline 1 & - & - & 1 & - & 1 & - & - & - \\ 2 & 1 & | & | & | & | & 1 & & \\ 3 & & | & | & 1 & | & & 1 & \\ 4 & 1 & | & | & & | & 1 & & \\ 5 & - & - & 1 & - & 1 & - & - & - \\ 6 & & | & | & 1 & | & & & \\ 7 & - & - & 1 & - & 1 & - & - & - \\ & & | & | & & | & & & \\ & & V_2 & V_3 & & V_5 & & & \end{array} \quad (3.8)$$

Adım 4 : (3.8) matrisinin (5,8) ve (7,8) değerleri üzerinden bir kez geçildiği için (3.9) matrisinde gösterildiği gibi dikey çizgi V_8 çizilir.

Üstünden bir kez geçilen değer kalmadığı için üstünden iki kez geçilen (3.9) matrisinin 1 girdilerinin hepsi;

* Makina hücresi $MH-1=\{1,5,7\}$ ve

(3.12) matrisinden;

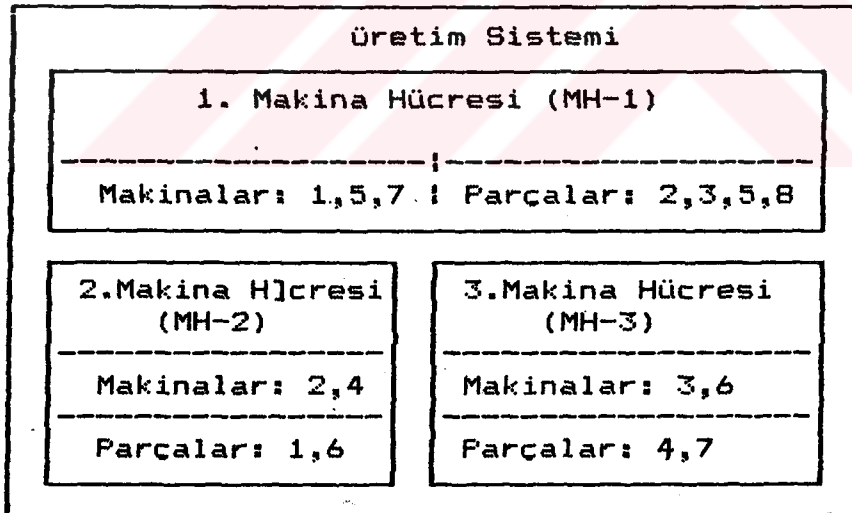
* Makina hücresi MH-3={3,6} ve

* Parça ailesi PA-3={4,7} elde edilir.

Kümelemenin sonucu (3.13) marisinde görülmektedir.

		PA-1				PA-2		PA-3	
		2	3	5	8	1	6	4	7
MH-1	1	1	1	1					
	5		1	1	1				
	7	1	1	1	1				
MH-2	2					1	1		
	4					1	1		
MH-3	3							1	1
	6							1	

(3.13) matrisine tekabül eden düzenleme şekil 3.7 de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : Örnek 3.3'ün yerleştirilmiş üretim sistemi

Tecrübeler, KTA'nın etkin olduğunu göstermiştir. Bu algoritmanın etkinliğini göstermek için $m \times n = 60 \times 80$ lik bir matrisin kümelenmesini düşünün. Geliştirilen algoritma ile kümeleri belirlemek sadece 0.06 saniye zaman alır.

Aynı matrisi Bhat ve Haupt (1976) algoritmasıyla kümelemek için 300 saniyeden daha fazla zamana ihtiyaç duyulur.

Genişletilmiş Küme Tanımlama Algoritması (GKTA) :

(3.14) makina-parça ilişki matrisini düşünün.

		Parçalar					
		1	2	3	4	5	
Makinalar	1	1		1	1		(3.14)
	2		1	1		1	
	3	1		1			
	4		1			1	

Varolan kümeleme algoritmalarının herhangi birini kullanarak (3.14) matrisi, daha uygun olan (3.15) matrisine dönüştürülebilir.

		Parçalar					
		5	2	3	1	4	
MH-1	2	1	1	1			Makinalar
	4	1	1				
MH-2	1			1	1	1	
	3			1	1		

(3.15)

(3.15) matrisi 3 nolu parçanın iki makina hücresi, MH-1 ve MH-2'de işlem görmesinden dolayı iki ayrı alt matrise ayrılamaz. (3.15) matrisinden 3 nolu parçanın çıkarılması ile (3.15) matrisi tam ayrılabilir iki makina hücresi MH-1={2,4} ve MH-2={1,3}, ve iki parça ailesi PA-1={5,2} ve PA-2={1,4} ile sonuçlanır.

İstisna parçalarla uğraşmak için GKTA geliştirildi. Bu bir üretim yöneticisinin mümkün parça ve makinaların gruplama deneyimi ile KTA'nın etkinliğinden yararlanır [6].

GKTA'nın Adımları :

Adım 0: iterasyon sayısı k=1 alınır.

Adım 1 : MH-k makina hücresinde yeralma potansiye-
li olan adaylar, kullanıcının deneyimine
bağlı olarak seçilir ($A^{(k)}$ matrisinin sa-
tırları). Bu makinalara tekabül eden $A^{(k)}$
matrisinin her satırı boyunca h_1 yatay
çizgileri çizilir. Kullanıcının deneyim-
sizliği halinde herahgi bir makina seçile-
bilir.

Adım 2 : h_1 yatay çizgilerinin üstünden geçtiği 1
girişlerine tekabül eden $A^{(k)}$ matrisindeki
her sütundan bir V_1 dikey çizgi çizilir.

Adım 3 : Adım 2'de çizilen dikey çizgilerin üstün-
den geçtiği 1 girişlerine tekabül eden
 $A^{(k)}$ matrisindeki her satır için yatay bir
çizgi çizilir. Adım 1 ve adım 3'de çizi-
len bütün yatay çizgilere tekabül eden ma-
kinalardan oluşan geçici bir makina hücre
hücresi MH'-k oluşturulur. Eger kullanı-
cının deneyimi, bazı makinaların geçici
MH'-k'de bulunmayacağını gösteriyorsa $A^{(k)}$
matrisinde buna tekabül eden yatay çizgi-
ler silinir. Bu yatay çizgilerin kaldı-
rılması MH-k makina hücresi ile sonuçlanır
 $A^{(k)}$ matrisinden, MH-k'de yer alan makina-
ların en az birinde işlem gören parçalar
(sütunlar) çıkarılır. Bu parçalar fonksi-
yonel işleme tesislerinde işlem gören par-
çaların listesine yerleştirilir. MH-k'de
bulunan makinalardan başka, herhangi bir
makina içermeyen $A^{(k)}$ matrisinde üstünden
bir kez geçilen her 1 girişi için dikey
bir V_1 çizgisi çizilir.

Adım 4 : $A^{(k)}$ 'de üstünden iki kez geçilen 1 girdi-
leri için bir makina hücresi MH-k ve par-
ça ailesi PA-k oluşturulur.

Adım 5 : MH-k ve PA-k içinde yeralan satır ve sütunlara tekabül eden, bütün satır ve sütunlar sırasıyla çıkarılarak $A^{(k)}$ ilişki matrisi $A^{(k+1)}$ matrisine dönüştürülür.

Adım 6 : Eğer $A^{(k+1)} = 0$ ise durulur, aksi halde $k=k+1$ alınır ve adım 1'e dönülür.

Görüldüğü gibi GKTA'nın hesaplama zorluğu, adım 3 den dolayı KTA'na göre biraz daha fazladır. Kümelenmiş matrisin diyagonal blok yapısına sahip olması durumlarında, GKTA'nın zaman açısından zorluğu azalır. Örneğin, bu KTA'ninkine eşittir. GKTA örnek 3.4'de uygulanmıştır.

Örnek 3.4 :

Verilen (3.16) makina-parça ilişki matrisi karşılıklı olarak ayrılabilen, makina hücreleri ve parça ailelerini belirler.

		Parçalar												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
A =	1		1	1				1					Makinalar	(3.16)
	2	1				1						1		
	3										1			
	4	1		1			1							
	5					1			1					
	6	1			1				1	1	1			
	7			1	1		1	1		1				

Kullanıcının deneyimi 1 ve 4 nolu makinaların MH-1 makina hücresinde, 3 ve 5 nolu makinaların MH-2 makina hücresinde bulunması gerektiğini gösterebilir. Deneyime dayalı diğer bir örnek daha gösterilecektir.

Adım 0 : İterasyon sayısı $k=1$

Adım 1 : Kullanıcının deneyimi 1 ve 4 nolu makinaların MH-1 makina hücresinde bulunması gerektiğini gösterdiği için (3.17)

matrisinde gösterildiği gibi h₁ ve h₂ yatay çizgileri çizilir.

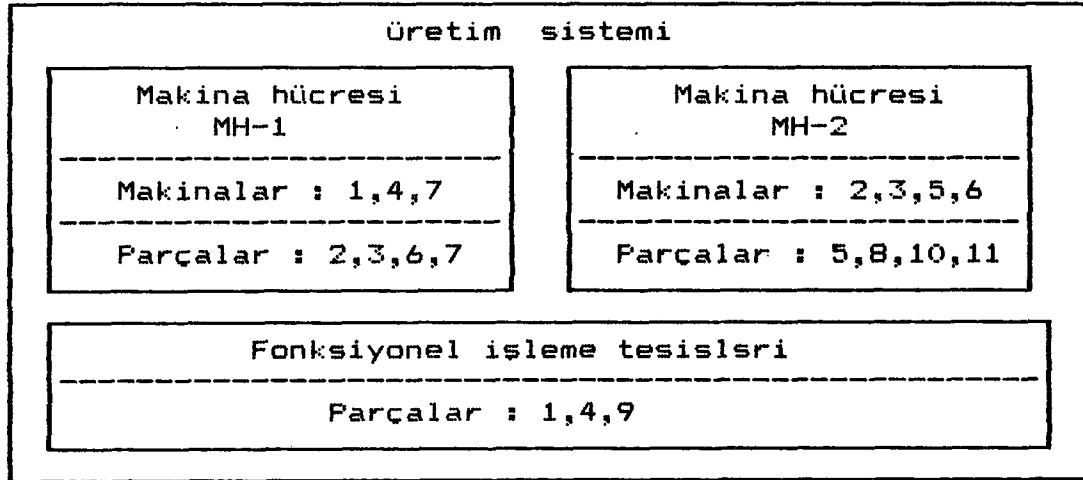
$$A^{(1)} = \begin{array}{c|cccccccccccc|c} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & \\ \hline 1 & - & - & 1 & - & - & - & - & 1 & - & - & - & h_1 \\ 2 & 1 & & & & 1 & & & & & & 1 & \\ 3 & & & & & & & & & & 1 & & \\ \hline 4 & - & 1 & - & - & 1 & - & - & - & 1 & - & - & h_4 \\ 5 & & & & & 1 & & & 1 & & & & \\ 6 & 1 & & & 1 & & & & 1 & 1 & 1 & & \\ 7 & & & 1 & 1 & & 1 & 1 & 1 & & & & \\ \hline \end{array} \quad (3.17)$$

Adım 2 : (3.17) matrisinde h₁ ve h₄ yatay çizgilerinin geçtiği 1,2,3,6 ve 7 sütunları için (3.18) matrisinde gösterildiği gibi V₁, V₂, V₃, V₆ ve V₇ olmak üzere 5 adet dikey çizgi çizilir.

$$A^{(1)} = \begin{array}{c|cccccccccccc|c} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & \\ \hline 1 & - & - & 1 & - & - & - & - & 1 & - & - & - & h_1 \\ 2 & 1 & | & | & & 1 & | & | & & & & 1 & \\ 3 & | & | & | & & & | & | & & & 1 & & \\ \hline 4 & - & 1 & - & - & 1 & - & - & - & 1 & - & - & h_4 \\ 5 & | & | & | & & 1 & | & | & 1 & & & & \\ 6 & 1 & | & | & 1 & & | & | & 1 & 1 & 1 & & \\ 7 & | & | & 1 & 1 & & 1 & 1 & & 1 & & & \\ & | & | & | & & & | & | & & & & & \\ & V_1 & V_2 & V_3 & & & V_6 & V_7 & & & & & \\ \hline \end{array} \quad (3.18)$$

Adım 3 : (3.18) matrisinde üstünden bir kez geçilen 1 girişlerine tekabül eden 2,6 ve 7 satırları boyunca yatay h₂, h₆ ve h₇ çizgileri çizilir. Bu işlemin sonucu (3.19) matrisinde gösterilmiştir.

$$A^{(1)} = \begin{array}{c|cccccccccccc|c} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 & \\ \hline 1 & - & - & 1 & - & - & - & - & 1 & - & - & - & h_1 \\ 2 & - & 1 & - & - & - & 1 & - & - & - & - & - & h_2 \\ 3 & | & | & | & & & | & | & & & 1 & & \\ \hline 4 & - & 1 & - & - & 1 & - & - & - & 1 & - & - & h_4 \\ 5 & | & | & | & & 1 & | & | & 1 & & & & \\ 6 & - & 1 & - & - & 1 & - & - & - & 1 & 1 & - & h_6 \\ 7 & - & - & - & 1 & 1 & - & - & 1 & 1 & - & - & h_7 \\ & | & | & | & & & | & | & & & & & \\ & V_1 & V_2 & V_3 & & & V_6 & V_7 & & & & & \\ \hline \end{array} \quad (3.19)$$



Sekil 3.8 : Örnek 3.4'ün yerleştirilmiş üretim sistemi

- 1- 1,4 ve 9 nolu parçalar için işlem planları öyle değiştirilebilir ki, bu parçalardan her biri varolan MH-1 veya MH-2 makina hücrelerinden birinde işlenebilir.
- 2- 1, 4 ve 9 nolu parçaların tasarımı öyle değiştirilebilir ki, ortaya çıkan işlem planları varolan MH-1 veya MH-2 makina hücrelerine uysun.
- 3- 1,4 ve 9 nolu parçalar tasarım veya işlem planında herhangi bir değişiklik olmaksızın varolan MH-1 ve MH-2 makina hücrelerinde işlenebilir. Bu yaklaşım parçaların farklı makina hücreleri (Burada MH-1 ve MH-2) arasındaki akışı, görelî olarak düşük olduğu sürece uygulanabilir.

Son olarak eğer kullanıcı elde edilen makina hücreleri ve parça ailelerinden memnun değilse, hesaplama işleminin tamamını tekrarlayabilir. GKTA'nı adım 1'de diğer makina (veya makinalarla) başlatmak, makina ve parça gruplarının bir farklı konfigürasyonu ile sonuçlanabilir.

KTA'nın devamı olan maliyet analizi algoritması da Kusiak ve Chow (1987) tarafından tanıtıldı. Maliyet

analizi algoritması bilinen fason üretim maliyetleri ile GT probleminin çözümüne olanak sağlar. İstisna parçalar fason üretim maliyetlerinin toplamı en az olacak şekilde uygun bir yolla ilişki matrisinden çıkarılırlar.

GRAFCICS :

Verilen bir makina-parça ilişki matrisi için elde edilen kesişimsiz (istisna parçalar veya darboğaz makinalar yok) makina hücreleri ve parça ailelerini düşünün. Verilen makina hücreleri ile parça ailelerini tanıma problemi, her parça en çok işlem gördüğü makina hücresine atanacağı için rahatlıkla ele alınabilir. Benzer şekilde parça aileleri bilindiğinde her makina, kendisine en çok ihtiyaç duyan parça ailesine atanacağı için makina hücreleri belirlenebilir. Sezgisel olarak birbirini izleyen makina hücresi ve parça ailesi oluşumunun bu işlemi, ilk makina hücrelerinin iyi bir seçimi ile başlayıp pratik olarak kabüllenebilir bir çözümde birleşmesi gerekir. Bu algoritmada ilk makina hücreleri ise, atama probleminin çözümü ile elde edilir (Srinivasat'et al 1990). Atama probleminde makina hücrelerini oluşturmak için makinalar üzerinde atama işlemi yapılır ve benzer makinalar bir arada gruplanır. Atama işlemi, benzerlik katsayılarının maksimumizasyonunu ölçüt alır [11].

Hiyerarşik olmayan bir algoritmada makina hücreleri ideal bir başlama noktasından elde edilirler. Verilen makina hücrelerinden yararlanarak parçaları kümelemede kullanılacak çekirdekler oluşturulur. Aynı şekilde verilen parça ailelerinden yararlanarak, makinaları kümelemede kullanılacak çekirdekler oluşturulur. Prosedürü güçlendirmek için, her makinanın maksimum işleme sahip olduğu parça-ailesi (çekirdeği)'ne atanmasını sağlayan bir kümeleme kriterine ihtiyaç duyulur ve her parça için de aynı şey sözkonusudur. Buradaki kriter ise maksimum yoğunluk kuralıdır. Maksimum yoğunluk kuralı:

Her vektör adaylar arsında maksimum 1'lere sahip olduğu çekirdeğe atanır.

Kümeleme kriteri ve atama yöntemi ile ilk çekirdeklerin oluşturulması sağlanır ve GRFICS ile diyagonal blok oluşturulur.

i ve j makinaları arasındaki benzerlik katsayısı (Kusiak 1987) aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$S_{ij} = \sum_{k=1}^n d_k \quad d_k = \begin{cases} 1 & a_{ik} = a_{jk} \text{ ise,} \\ 0 & \text{diğer hallerde} \end{cases}$$

$$(i=j)$$

$$S_{jj} = 0 \quad \forall j$$

Yukardaki eşitlik kullanılarak, makinalar için benzerlik katsayıları matrisi oluşturulur. Bu matris atama probleminin giriş matrisidir. Atamalardan alt turlar tanımlanır ve bu alt turlar makina hücrelerini belirlemede olduğu gibi, parçaları kümeleyecek çekirdekleri belirlemede de kullanılır [11].

Örneğin, 6 makinalık bir atama probleminin çözümü $X_{13} = X_{24} = X_{31} = X_{42} = X_{56} = X_{65} = 1$ ise, üç alt tur 1-3-1 2-4-2 ve 5-6-5 tanımlanabilir. Bu alt turlardan üç makina hücresi; MH-1={1,3}, MH-2={2,4} ve MH-3={5,6} elde edilir. Bu üç kümeden üç çekirdek (Parçaları kümelemek için) $S_1 = [101000]$, $S_2 = [010100]$ ve $S_3 = [000011]$ elde edilir. Burada S_1 'de MH-1'i oluşturan 1. ve 3. elemanlar 1'dir, diğer iki çekirdek için de benzer şeyler görülmektedir. Bu çekirdekler parçaları kümelendirmede kullanılır.

Benzerlik katsayıları matrisi diyagonalinin "0" olmaya zorlanması ve matrisin simetrik olması, alt turların ikili veya üçlü olma eğilimi vardır. Atama yönteminde tek turun olması ise, sadece bir grubun olduğunu gösterir ve işlem biter.

Atama işlemi ile elde edilen çekirdekler parçaları kümelemede kullanılır. Benzer şekilde parça gruplarından makinaları kümelemede kullanılacak çekirdekler oluşturulur. Tekil kümeler ise, en az bir elemanın bulunduğu çekirdeklere atanarak elimine edilir. Bu değişimli çekirdekleme ve kümeleme işlemi, eşit sayıda satır ve sütun kümeleri elde edilinceye kadar devam ettirilir. Bu eşitlik halinde çözümün uygun olabilmesi iki durumda sözkonusudur ve çözüm bir adım daha sürdürüldüğünde;

- * Elde edilen son çözümün bir önceki ile aynı Olması,
- * İstisna elemanlarının ve boşluk sayılarındaki azalmanın durması.

Bu iki durum söz konusu değilse işlem sürdürülür.

GRAFIICS Adımları :

$$E_0 = mn, B_0 = mn$$

Adım 1 : Satır vektörleri için benzerlik katsayıları matrisi hesaplanır.

Adım 2 : Toplam benzerliğin maksimizasyonu amaçlanarak, satır vektörleri için atama problemi çözülür.

Adım 3 : Çözümdeki alt turların sayısı belirlenir. Bu sayı satır kümelerinin sayısına eşit olan k_r olarak alınır.

Adım 4 : Sütunları kümelemek için satır kümelerinden çekirdekler üretilir.

Adım 5 : Tekil kümeler en az bir elemanına sahip olduğu çekirdeklere atanarak elimine edilir ve maksimum yoğunluk kuralına göre sütunlar kümelendir.

Adım 6 : Sütun kümelerinin sayısı k_c ile gösterilir
Eğer, $k_c = k_r$ ise adım 10'a gidilir.

Adım 7 : Satırları kümelemek için sütun kümelerinden çekirdekler üretilir.

Adım 8 : Maksimum yoğunluk kuralına göre satırlar kümelenir.

Adım 9 : Adım 4'ten adım 9'a kadarki adımlar küme sayıları $k_c = k_r$ oluncaya kadar tekrarlanır.

Adım 10 : Sonuç yazılır. İstisna elmanlarının sayısı E , boşlukların sayısı B ile gösterilir. Eğer $E=0$ veya $E > E_0$ veya $E = E_0$ ve $B = B_0$ ise durulur, aksi halde $E_0 = E$ ve $B_0 = B$ alınır. Eğer en son, satırlar kümelendi ise adım 4'e aksi takdirde adım 7'e gidilir.

Örnek 3.5 :

Sözkonusu algoritma Chandrasekharan ve Rajagopalan (1986) tarafından oluşturulan bir kaç istisna elemanına sahip bir aşağıdaki matrise uygulanmıştır [11].

Parçalar																
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	0
1		1	1					1	1		1	1		1	1	
2			1	1		1	1					1				1
3		1						1	1		1	1		1	1	
4			1	1		1	1			1					1	1
5	1				1	1				1	1			1	1	
6	1				1			1	1		1			1		1
7			1	1		1	1			1	1				1	1
8			1	1		1	1								1	1

Makinalar

Yukardaki matristen yararlanılarak elde edilen benzerlik katsayıları aşağıdaki matriste görülmektedir.

Makinalar								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	7	19	5	5	5	6	6
2	7	0	6	18	8	8	17	19
3	19	6	0	4	6	6	5	5
4	5	18	4	0	10	10	17	19
5	5	8	6	10	0	16	9	9
6	5	8	6	10	16	0	9	9
7	6	17	5	17	9	9	0	18
8	6	19	5	19	9	9	18	0

Makinalar

Benzerlik katsayıları matrisinin atama yöntemine göre çözümü aşağıdaki gibidir.

$$X_{13} = X_{24} = X_{31} = X_{42} = X_{56} = X_{65} = X_{78} = X_{87} = 1$$

Bu atamalardan 1 ve 3 nolu makinaların bir alt tur ve diğer makinaların da ikili alt turlar oluşturduğu rahatlıkla görülebilir. Bu çözümden dört alt tur 1-3-1, 2-4-2, 5-6-5 ve 7-8-7 elde edilir. Bu dört makina kümesinden parçaları kümelemek üzere dört çekirdek oluşturulur.

$$S_1=[10100000], S_2=[01010000], S_3=[00001100], S_4=[00000011]$$

Maksimum yoğunluk kuralına dayanarak ve bu çekirdekler kullanılarak aşağıdaki parça kümeleri elde edilir.

$$\{2,8, 9,11,13,14,16,17,19\}, \{3,4,6,7,18,20\},\{1,5,10,12,15\}$$

S_4 çekirdeği hiçbir parçayı içine almadığı için parça kümelerinin sayısı, dört çekirdek olmasına rağmen üçe düşer. Bu üç parça grubundan da satırları kümelemek üzere üç çekirdek elde edilir.

$$S_5=[01000001101011011010], S_6=[00110110000000000100] \text{ ve } S_7=[10001000000100100000]$$

Maksimum yoğunluk kuralına göre, bu çekirdekler kullanılarak üç adet makina kümesi elde edilir.

$$\{1,3\}, \{2,4,7,8\} \text{ ve } \{5,6\}$$

Şu halde uygun çözümün içinde bulunduğu eşit sayıda makina hücreleri ve parça aileleri elde edilmiş oldu. Çözümde dokuz adet istisna eleman var, hiç boşluk yok ve guplama etkinliği ise, % 95,83'tür.

En son satırlar, kümelendiğinden bu satır kümelerinden parçaları kümelemek üzere aşağıdaki çekirdekler elde edilir.

$$S_8=[10100000], S_9=[01010011] \text{ ve } S_{10}=[00000110]$$

Bu en son çekirdekler kullanılarak sütunlar kümelendir. Elde edilen parça kümeleri aşağıdadır.

{2,8,9,11,13,14,16,17,19}, {3,4,6,7,18,20} ve {1,5,10,12,15}

Eşit sayıda makina ve parça kümeleri elde edildiğinden, istisna elemanlarının ve boşlukların sayıları bir önceki çözümdekinin aynısı olduğundan işlem durdurulur. Elde edilen diyagonal blok ise aşağıdaki matriste görülmektedir.

		Makinalar																					
		0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	2	0	0	1	1	1		
		2	8	9	1	3	4	6	7	9	3	4	6	7	8	0	1	5	0	2	5		
1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1												
3		1	1	1	1	1	1	1	1	1													
2							1				1	1	1	1	1	1							
4											1	1	1	1	1	1			1				
7					1						1	1	1	1	1	1				1			
8											1	1	1	1	1	1							
5								1				1					1	1	1	1	1		
6			1														1	1	1	1	1	1	

Atama yöntemi :

Bu yöntemde benzerlik katsayılarından oluşan S_{ij} benzerlik matrisi kullanılır. Makina-makina benzerliği üzerine kurulan bu matriste, iki makina (i ve j) arasındaki

benzerlik katsayıları aşağıdaki formül ile hesaplanır [12]

$$S_{ij} = \sum_{k=1}^n d_k \quad d_k = \begin{cases} 1 & a_{ik} = a_{jk} \text{ ise,} \\ 0 & \text{diğer hallerde} \end{cases}$$

$(\forall i=j)$

$$S_{jj} = 0 \quad \forall j$$

Bu tanım Kusiak'ın (1987) tanımı ile aynıdır, fakat Mc Auley (1972) tanımından farklıdır.

Bu benzerlik katsayıları matrisi atama probleminin girişı olarak kullanılır. Gezgin satıcı problemi (GSP)'nde olduğu gibi burada da diyagonaldeki herhangi bir elemana atama yapılmaktan kaçınılır ve bu yüzden köşegen elemanları "0" olmaya zorlanır. Problem ise bir maksimizasyon problemidir. Burada da GSP'nde olduğu gibi kapalı alt çevrimler oluşur.

Atama yönteminde oluşan çevrim şu şekilde formüle edilebilir.

Eğer $X_{ij} = X_{jk} = X_{kl} = \dots = X_{pq} = X_{qi} = 1$ ise kapalı çevrimin elemanları $(i,j,k,\dots,p,q)$ 'dir. Atama yöntemi ile elde edilen bu gibi çevrimler, makina ve parçaların gruplandırmasının ana temelini teşkil eder.

Algoritmanın adımları :

Adım 1 : Makinalar arasındaki benzerlik katsayıları hesaplanır ve elde edilen katsayılardan S_{ij} matrisi oluşturulur.

Adım 2 : Oluşturulan matris atama problemine giriş olarak kullanılır ve bu problem çözülerek amaç denklemi maksimize edilir.

Adım 3 : Çözümde oluşan kapalı çevrimler belirlenir

Her kapalı çevrim bir makina grubunu oluşturur.

Adım 4 : Her gruba ugrayan parçalar listelenir.

Adım 5 : Her gruba ugrayan parçaların listeleri gözden geçirilir. Bir grubun parça ailesi başka bir grubun parça ailesinin bir alt kümesi ise bu iki grup birleştirilir. Bu işlem hiç bir grup ortaklığı kalmayınca kadar sürdürülür.

Adım 6 : Eğer parça aileleri birbirinden ayrıkسا durulur.

Adım 7 : Parça aileleri belirlenmek üzere adım 1'den adım 3'e kadarki adımlar tekrarlanır

Adım 8 : m_k : k grubundaki makinaları,
 n_t : t parça ailesindeki parçalar olmak üzere;

$$\sum_{i \in m_k} \sum_{j \in n_t} a_{ij}$$

değeri maksimum olacak şekilde t parça ailesi k makina grubuna atanır.

Adım 9 : Eğer hiç bir parça ailesinin atanmadığı herhangi t gibi bir makina grubu varsa,

$$\sum_{i \in m_k} \sum_{j \in n_t} a_{ij}$$

değeri maksimum olacak şekilde bu grup k gibi bir grupla birleştirilir.

Adım 10 : k ve t gibi iki grup birleştirildiğinde,

eğer oluşan boşlukların sayısı birleşme ile oluşan istisna elemanlarının sayısından daha fazla değilse bu iki grup ve bu grupların parça aileleri birleştirilir. Bu şekilde mümkün olan bütün birleştirmeler yapıldıktan sonra durulur.

Algoritma ile ilgili uygulamalar bölüm 4'te verileceğinden burada daha fazla detay verilmeyecektir.

3.3.2. Matematik Programlama Formülasyonu :

GT'nde geliştirilen çoğu matematik programlama modeli, i ve j parçaları arasında bir uzaklık ölçüsü d_{ij} ile ilgilenir. Uzaklık ölçüsü d_{ij} , aşağıdaki aksiyomlara uyan gerçek değerli bir fonksiyondur [6].

- * Kendi kendine dönüş halinde $d_{ii} = 0$
- * Simetri durumlarında $d_{ij} = d_{ji}$
- * Üçgen eşitsizliği $d_{iq} \leq d_{ip} + d_{pq}$

Bir makina-parça ilişki matrisi $[a_{ij}]$ için en yaygın olarak kullanılan uzaklık ölçülrei şunlardır:

1- Minkowski uzaklık ölçüsü

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^m |a_{ki} - a_{kj}|^r \right]^{1/r}$$

Burada;

- r : Pozitif bir tam sayı
- m : Makina sayısını göstermektedir.

Geniş olarak kullanılan bu ölçünün iki özel durumu ise;

- * Toplam uzaklık ölçüsü (r=1) ve

* Euclidean uzaklık ölçüsü (r=2)'dir.

2- Ağırlıklı Minkowski uzaklık ölçüsü

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^m w_k |a_{ki} - a_{kj}|^r \right]^{1/r}$$

Burada da iki özel durum vardır.

* Ağırlıklı toplam uzaklık ölçüsü (r=1)

* Ağırlıklı Euclidean uzaklık ölçüsü (r=2)

3- Hammin uzaklık ölçüsü

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^m \delta(a_{ki}, a_{kj})$$

Burada ;

$$\delta(a_{ki}, a_{kj}) = \begin{cases} 1 & a_{ki} = a_{kj} \text{ ise,} \\ 0 & \text{diğer hallerde} \end{cases}$$

Uzaklık ölçüleri benzeşmeyen ölçüler olarak da gösterilir. Bazı benzerlik ölçüleri, benzerlik katsayıları yöntemleri kısmında verildi. Bu kısımda ise aşağıdaki matematik modeller verilecek.

* P-Kenar Ortay Modeli

* Genelleştirilmiş P-Kenar Ortay Modeli

* Kuadratik Programlama Modeli

P-Kenar Ortay modeli :

P-Kenar ortay modeli, n parçayı p parça ailesi şeklinde gruplandırmak için kullanılır. P-Kenar ortay modeli için aşağıdaki değişkenler tanımlanır [6].

m : Makina sayısı

n : Parça sayısı

p : Parça ailesi sayısı

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & i \text{ parçası } j \text{ parça ailesinde ise,} \\ 0 & \text{diğer hallerde.} \end{cases}$$

P-Kenar ortay modelinin amaç fonksiyonu, herhangi iki i ve j parçaları arasındaki uzaklıkların toplamını en küçükler.

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} X_{ij} \quad (3.24)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (3.25)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{jj} = p \quad (3.26)$$

$$X_{ij} \leq X_{jj} \quad (i=1,2,\dots,n ; j=1,2,\dots,n) \quad (3.27)$$

$$X_{ij} = 0, 1 \quad (i=1,2,\dots,n ; j=1,2,\dots,n) \quad (3.28)$$

(d_{ij}) (d_{ij}) X_{ij} 'nin

(3.25) kısıtı, her parçanın bir parça ailesinde olmasını temin eder. (3.26) kısıtı gerekli parça ailesi sayısını belirler. (3.27) kısıtı i parçasının j parça ailesine, sadece j parça ailesinin oluşması halinde ait olmasını sağlar. (3.28) kısıtı ise tamsayı olmayı temin eder.

P-Kenar ortay modelinde, gerekli olan parça ailesi P'nin ilk olarak belirtildiğine dikkat edin. P-Kenar ortay modelinin uygulaması örnek 3.5'te gösterilmektedir.

Örnek 3.5 :

(3.1) makina-parça ilişki matrisi için P=2 parça

ailesi ve onlara uygun makina hücrelerini oluşturalım.
(3.1) makina-parça ilişki matrisi için aşağıdaki uzaklık ölçüleri matrisi elde edilir (Hamming uzaklık ölçüleri).

		Parçalar					
		1	2	3	4	5	
d_{ij}	1	0	4	0	4	3	Parçalar
	2	4	0	4	0	1	
	3	0	4	0	4	3	
	4	4	0	4	0	1	
	5	3	1	3	1	0	

Yukardaki matris için P-Kenar ortay modelinin kullanılması ile $P=2$ için aşağıdaki sonuç elde edilir.

$$X_{11} = 1, X_{31} = 1, X_{22} = 1, X_{42} = 1, X_{52} = 1$$

X_{ij} 'nin tanımına uygun olarak iki parça ailesi oluşturulabilir.

$$PA-1 = \{1,3\} \text{ ve } PA-2 = \{2,4,5\}$$

Bu iki parça ailesi için (3.1) matrisi yardımı ile iki uygun makina hücresi belirlenebilir.

$$MH-1 = \{2,4\} \text{ ve } MH-2 = \{1,3\}$$

P =Kenar ortay modeli kullanılarak elde edilen çözüm ile matris formülasyonu kullanılarak elde edilen çözümle aynı olduğu görülebilir (3.2 matrisine bakın).

Genelleştirilmiş P-Kenar ortay modeli :

(3.24)-(3.28) modeli; her i parçasının, işlem planı olarak bilinen makina işletmesinin sadece bir kümesine uğrayacağı düşüncesi dikkate alınarak geliştirilmiştir. Kusiak (1987) (3.24)-(3.28) modelini geliştirerek her parça için birden fazla işlem planına müsaade edecek şekilde değiştirdi. Ayrıca her işlem planına bir de üretim maliyeti eklenir. Genelleştirilmiş P-Kenar ortay modelini

açıklamak için aşağıdaki notasyonlar kullanılır [6].

n : İşlem planlarının toplam sayısı

F_k : k nolu parça için işlem planlarının kümesi

$$\left| \begin{array}{c} l \\ U \\ k=1 \end{array} \right|$$

P : Parça (işlem) ailelerinin gereken maksimum sayısı

d_{ij} : i ve j işlem planları arasındaki uzaklık ölçüsü

c_j : j işlem planının üretim maliyeti

Bu modelin amacı, uzaklık ölçüleri ve üretim maliyetlerinin toplamını en küçükmektir.

$$\text{Min} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} X_{ij} + \sum_{j=1}^n c_j X_{jj} \quad (3.29)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{i \in F_k} \sum_{j=1}^n X_{ij} = 1 \quad (k=1,2,\dots,l) \quad (3.30)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{jj} \leq p \quad (3.31)$$

$$X_{ij} \leq X_{jj} \quad (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,n) \quad (3.32)$$

$$X_{ij} = 0, 1 \quad (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,n) \quad (3.33)$$

(3.30) kısıtı her parça (işlem planlarının kümesi) için bir işlem planı temin eder. (3.31) kısıtı parça ailelerinin üst sınırını belirler. (3.32) ve (3.33) kısıtları söylenen sıraya göre (3.24)-(3.28) modelindeki (3.27) ve (3.28) kısıtlarına tekabül eder. (3.29)-(3.33) modelinin uygulaması örnek 3.6'da gösterilmektedir.

Örnek 3.6 :

(3.34) makina-parça ilişki matrisi ve üretim maliyetlerini gösteren (3.35) vektörü kullanılarak $P=2$ parça ailesi için (3.29)-(3.33) modelini kullanarak makina hücrelerini oluşturalım.

$$[a_{ij}] = \begin{matrix} & \text{Parçalar} \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 0 & 1 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} & \left| \begin{array}{cccccccccc} & & & 1 & & 1 & 1 & & 1 & 1 & 1 \\ & 1 & 1 & 1 & & & & 1 & & & \\ 1 & & & & 1 & 1 & & & & 1 & 1 \\ 1 & 1 & & & & & 1 & 1 & 1 & & \end{array} \right. \end{matrix} \quad \text{Makinalar (3.34)}$$

Kolaylık açısından üretim maliyetleri vektörünün aşağıdaki gibi olduğunu farzedelim.

$$[C_{ij}] = [1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1] \quad (3.35)$$

Hamming uzaklıkları d_{ij} , (3.36) matrisinde gösterilmiştir.

$$[d_{ij}] = \begin{matrix} & \text{parçalar} \\ & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 0 & 1 \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \\ 11 \end{matrix} & \left| \begin{array}{cccccccccc} 0 & \infty & \infty & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 & 3 \\ \infty & 0 & \infty & 2 & 4 & 2 & 0 & 2 & 0 & 2 & 3 \\ \infty & \infty & 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 4 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 0 & \infty & 4 & 2 & 4 & 2 & 2 & 3 \\ 2 & 4 & 2 & \infty & 0 & 2 & 4 & 2 & 0 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 2 & 4 & 2 & 0 & \infty & 0 & 2 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 2 & 2 & 4 & \infty & 0 & 2 & 4 & 2 & 3 \\ 2 & 2 & 2 & 4 & 2 & 0 & 2 & 0 & \infty & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 2 & 2 & 0 & 2 & 4 & \infty & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 2 & 4 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 0 & \infty \\ 3 & 3 & 1 & 3 & 1 & 1 & 3 & 1 & 1 & \infty & 0 \end{array} \right. \end{matrix} \quad \text{Parçalar (3.36)}$$

(3.36) matrisindeki bütün ∞ değerleri, her F_k için bir işlem planının seçileceğini gösterir. Yukardaki veri için (3.29)-(3.33) modelinin uygulanması sonucu aşağıdaki sonuçlar elde edilir.

$$X_{22} = 1, X_{72} = 1, X_{55} = 1, X_{95} = 1, X_{11,5} = 1$$

Buradan;

PA-1 = {2,7} ve PA-2 = {5,9,11} elde edilir.

(3.34) matrisinden bu iki parça ailesi için iki makina hücresi elde edilir.

MH-1 = {2,4} ve MH-2 = {1,3}

Sonuç ise (3.37) matrisinde görülmektedir.

$$\begin{array}{cc|cc|cc}
 & & \text{PA-1} & & \text{PA-2} & & \\
 & & 2 & 7 & 5 & 9 & 11 \\
 \text{MH-1} & \begin{array}{c} 2 \\ 4 \end{array} & \begin{array}{c} 1 \\ 1 \end{array} & \begin{array}{c} 1 \\ 1 \end{array} & & & \\
 \text{MH-2} & \begin{array}{c} 1 \\ 3 \end{array} & & & \begin{array}{c} 1 \\ 1 \end{array} & \begin{array}{c} 1 \\ 1 \end{array} & \begin{array}{c} 1 \\ 1 \end{array}
 \end{array} \quad (3.37)$$

Kuadratik Programlama Modeli :

Kusiak, Vanneli ve Kumar (1986), kısıtlı sayıda parça aileleri ve parça boyutlarının üstesinden gelen bir GT problemi formülasyonunu geliştirdiler. Formülasyon 0-1 tamsayıli kuadratik programlama modeli yapısındadır [6].

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \sum_{l=1}^p d_{ijl} X_{il} X_{jl} \quad (3.38)$$

Kısıtlar;

$$\sum_{j=1}^p X_{ij} = 1 \quad (i=1,2,\dots,n) \quad (3.39)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = m_j \quad (j=1,2,\dots,p) \quad (3.40)$$

$$X_{ij} = 0, 1 \quad (i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,p) \quad (3.41)$$

Yukardaki modeli takiben;

m_j : j nolu parça ailesindeki parçaların sayısı
 n : toplam parça sayısı
 p : Gerekli olan parça ailelerinin sayısını ifade

eden

$$\sum_{j=1}^p m_j = n \quad \text{esitliği kullanılır.}$$

(3.39) kısıtı, her parçanın tam olarak bir parça ailesine ait olacağını gösterir. (3.40) kısıtı, j nolu parça ailesinin tam olarak m_j sayıda parça içereceğini belirtir. (3.41) kısıtı, tam sayı olmayı temin eder. Model bir "eigenvektör" esaslı algoritma ile çözülmüş.

3.3.3. Grafik Formülasyonu :

Grafik formülasyonunda ilişki matrisi $[a_{ij}]$, bir grafik ile temsil edilir. Aşağıdaki üç grafik tipi kullanılabilir [6].

- * İki yönlü grafik
- * Geçiş grafiği
- * Sınır grafiği

İki Yönlü Grafik :

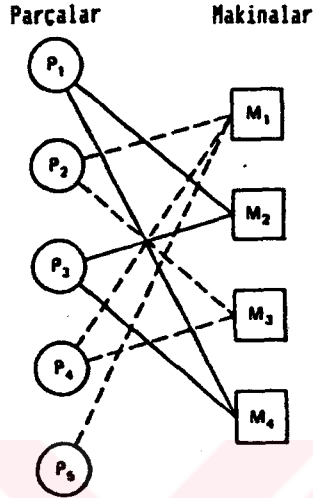
İki yönlü grafikte, düğümler kümesinin biri parçaları diğeri ise makinaları temsil eder. GT'de iki yönlü grafiklerin uygulamasını göstermek için, (3.1) ilişki matrisini temsil eden şekil 3.9'u düşünün. Şekil 3.9'deki iki yönlü grafik, şekil 3.10'da gösterildiği gibi iki ayrı iki yönlü grafiğe ayrıldığı görülebilir.

Şekil 3.10'a dayanarak aşağıdaki parça aileleri oluşturulabilir.

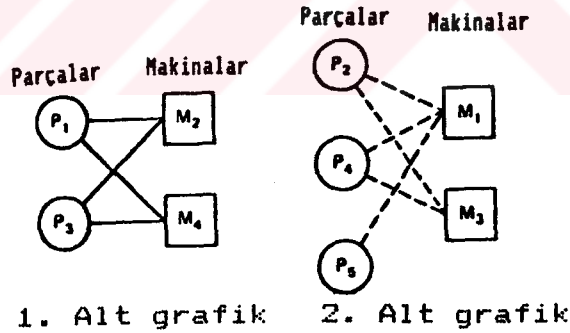
PA-1 = {1,3} ve PA-2 = {2,4,5}

Bunlara tekabül eden makina hücreleri ise,

MH-1 = {2,4} ve MH-2 = {1,3} dir.



Şekil 3.9 : (3.1) matrisine tekabül eden iki yönlü grafik

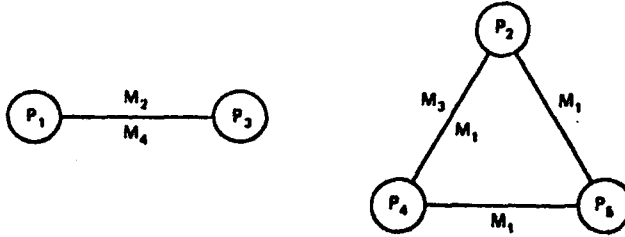


Şekil 3.10 : Şekil 3.9 için iki tane iki yönlü grafik

İki yönlü grafik ile elde edilen çözümün önceki iki yaklaşımın kullanılmasıyla elde edilen çözümlerle aynı olduğu görülmektedir.

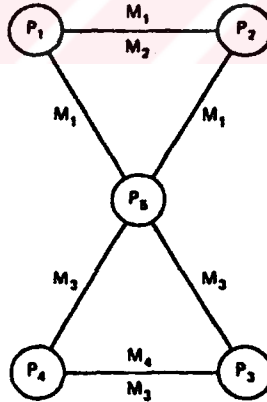
Geciş Grafiği :

Geciş grafiğinde, bir parça bir düğüm ile temsil edilir. Bir makina ise bir kenar ile temsil edilir. (3.1) ilişki matrisini temsil eden geçiş grafiği şekil 3.11'de görülmektedir [6].



Sekil 3.11 : (3.1) matrisine tekabül eden geçiş grafiği

Geciş grafiği gösterimi, istisna parçaların tespitiinde yararlıdır. Bunu görmek için şekil 3.12'de gösterilen (3.3) matrisini temsil eden geçiş grafiğine bakın. 5 nolu parça (P₅)'nin çıkarılmasıyla şekil 3.13'de gösterildiği gibi iki alt geçiş grafiğinin elde edileceği görülebilir.



Sekil 3.12 : (3.3) matrisine tekabül eden geçiş grafiği



Sekil 3.13 : Sekil 3.12'de gösterilen geçiş grafiğinden elde edilen iki alt geçiş grafiği

Sonuç olarak, aşağıdaki iki parça ailesi ve onlara tekabül eden iki makina hücresi elde edilir.

$$PA-1 = \{1,2\} \text{ ve } PA-2 = \{3,4\}$$

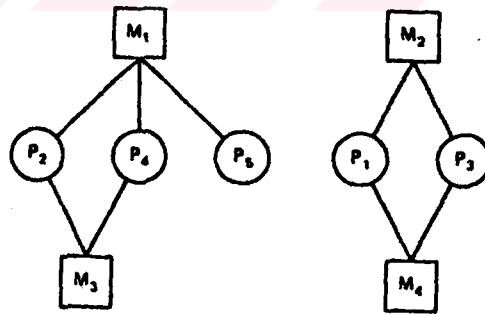
$$MH-1 = \{1,2\} \text{ ve } MH-2 = \{3,4\}$$

Sınır Grafiği :

Bir sınır grafiği, iki yönlü grafiklerin bir hiyerarşisini kapsar. Sınır grafiğinin her seviyesinde, iki yönlü grafiğin düğümleri ya makinaları yada parçaları temsil eder. (3.1) ilişki matrisine tekabül eden bir sınır grafiği şekil 3.14'te gösterilmektedir. Şekil 3.14'teki her sınır grafiği bir kümeyi temsil eder [6].

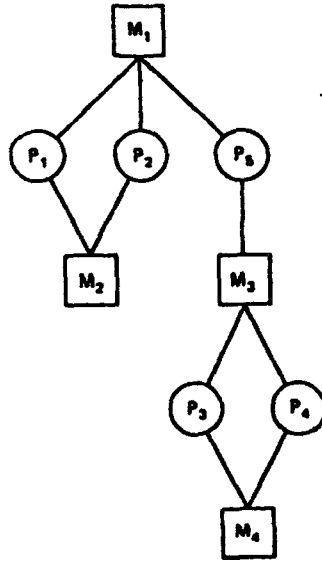
Istisna parçaların tespitinde, sınır grafiği uygulaması için (3.3) matrisini düşünelim.

(3.3) matrisinin sınır grafiği şekil 3.15'te görülmektedir. Şekil 3.15'teki sınır grafiğinden 5 nolu parça (P_5)'nin çıkarılmasıyla şekil 3.16'da gösterilen iki alt sınır grafiği elde edilir.

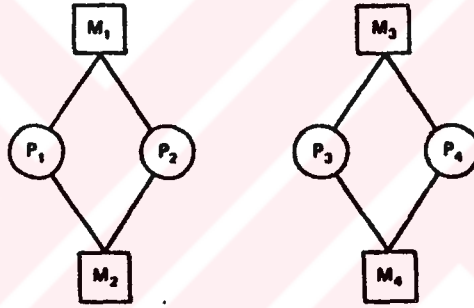


Şekil 3.14 : (3.1) matrisine tekabül eden sınır grafiği

Bir grafikte istisna parçaların veya darboğaz makinaların belirlenmesi oldukça zor bir görevdir. Bu problem üzerinde çeşitli makaleler yazılmıştır. Lee, Vogt ve Mickle (1982), istisna parçaları veya darboğaz makinaları ortaya çıkarmak için bir sezgisel algoritma geliştirdirler



Sekil 3.15 : (3.3) matrisine tekabül eden sınır grafiği



Sekil 3.16 : Sekil 3.15'ten elde edilen iki ayrı alt sınır grafiği

Yukarıda bahsedilen algoritma aşağıda verilmektedir

n : Grafikteki düğüm sayısı

k : Alt grafikteki maksimum düğüm sayısı olmak üzere,

Adım 1 : m' değeri belirlenir.

$$m' = \lceil (n-1)/k \rceil > 1$$

Adım 2 : $m = m'$ alınır ve her alt grafik için ilk m adet düğüm seçilir.

Adım 3 : Her alt grafiğin ortak düğümleri belirlenir.

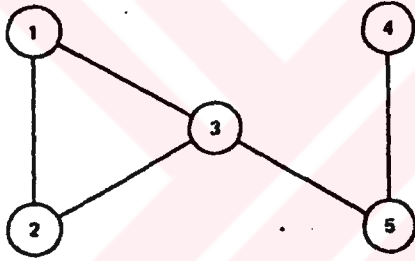
Adım 4 : Grafikten ortak olmayan düğüm çıkarılır ve bu düğüm uygun alt grafiğe eklenir.

Adım 5 : Her düğüm atanıncaya kadar adım 3 ile adım 4 tekrarlanır.

Bu algoritma örnek 3.7'de uygulanmaktadır.

Örnek 3.7 :

Sekil 3.16'daki geçiş grafiği için darboğaz düğümler belirlenir.



Sekil 3.17 : Örnek grafik

Adım 1 : $k=3$ olduğunu farzedelim.

$$m' = \lfloor (5-1)/3 \rfloor = 2$$

Adım 2 : 2 ve 5 nolu düğümler başlangıç düğümleri olarak seçilir.

Adım 3 : $C\{(A)\} = A$ grafiğindeki düğümler
 $C\{(A)\} \cap \dots \cap C\{(B)\} = A$ ile B grafiklerinin ortak düğümleri olarak alınır.

Daha sonra;

$$C\{(1)\} = \{2,3\}$$

$$C\{(2)\} = \{3,5\}$$

$$C\{(1)\} \cap C\{(2)\} = 3 \text{ (örnek } C\{(1)\} \text{ ve } C\{(2)\} \text{ nin ortak noktaları 3'tür.)}$$

Adım 4 : $C\{(1)\}$ ve $C\{(2)\}$ den 3 nolu düğüm çıkarılır. 2 ve 5 nolu düğümlerin uygun alt grafiğe eklenmesi sonucu,
 $C\{(1)\} = \{1,2\}$ ve $C\{(2)\} = \{4,5\}$ elde edilir.

Adım 5 : $C\{(1)\}$ ve $C\{(2)\}$ 'nin herhangi bir ortak noktaları kalmadığı için ve bütün düğümler atanmış olduklarından durulur.

Önceki örnekte her düğümün bir parçayı temsil ettiğine dikkat edilerek problemin çözümünün aşağıdaki gibi olduğu görülür.

PA-1 = {1,2}

PA-2 = {4,5}

Lee, Vogt ve Mickle'in algoritmalarını daha sonra Kumar ve Vannelli (1986) geliştirdi.

Bu bölümde tanıtılan GT probleminin üç farklı formülasyonunun herbirisi için aşağıdaki üç özellik öngörülmüştür.

- * Sınırlı sayıda parça aileleri (Veya makina hücreleri)
- * Her parça ailesinde sınırlı sayıda parça (Veya her makina hücresinde sınırlı sayıda makina)
- * Maliyetler (Örneğin; üretim, fason maliyeti vs.)

Bu özelliklere bağlı olarak GT probleminin her bir formülasyonu için örnek gruplama algoritmaları seçilmiştir (Tablo 3.1'e bakın).

Tablo 3.1 : GT formülasyonlarının karakteristikleri ve örnek gruplama algoritmaları

GT problemi formülasyonu	Kısıtlar		Maliyetin önemi	Örnek gruplama algoritmaları
	Parça ailelerinde sınır	Bir parça ailesindeki parçaların sayısındaki sınır		
Matris	Yok	Yok	Yok	Mc Cormick, Schweitzer, ve White(1982) Slagle, Chung ve Heller (1975), Bhat ve Haupt(1976) King (1980) Chan ve Milner (1982) Kusiak (1985)
	Yok	Yok	Var	Askin ve Subramanian (1987)
	Var	Var	Var	Kusiak ve Chow (1987)
Matematik Programlama	Var	Yok	Yok	Kusiak (1985)
	Var	Var	Yok	Kusiak Vanneli ve Kumar 1986
	Var	Yok	Var	Kusiak (1987)
Grafik teorisi	Yok	Yok	Yok	Lee, Vogt ve Mickle (1987) Vanneli ve Kumar (1986)

Geleneksel Olmayan GT Uygulaması :

GT kavramı kesme-takım yönteminde de uygulanabilir. Makina-parça ailelerine benzer şekilde takım-parça aileleri oluşturulabilir. Verilen bir zaman periyodu içinde işlenecek olan beş parçalı bir küme düşünün. Parçaların her birinin bazı takım (veya demirbaş) ihtiyacı vardır.

Parça ve takım ilişkilerinin (3.42) matrisi şeklinde olduğunu farzedelim [6].

$$\begin{array}{c|ccccc}
 & \text{Parçalar} \\
 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\
 \hline
 1 & 1 & & 1 & & \\
 2 & & 1 & & & 1 \\
 3 & & & 1 & 1 & \\
 4 & 1 & & 1 & & \\
 5 & & & & 1 & 1 \\
 6 & 1 & & & & \\
 7 & & & 1 & & \\
 8 & & 1 & & 1 & 1
 \end{array} \quad \text{Takımlar} \quad (3.42)$$

(3.42) matrisinin kümelenmesi, (3.43) matrisi ile sonuçlanır.

$$\begin{array}{c|ccccc}
 & \text{Parçalar} \\
 & 2 & 4 & 5 & 1 & 3 \\
 \hline
 2 & 1 & & 1 & & \\
 5 & & 1 & 1 & & \\
 8 & 1 & 1 & 1 & & \\
 3 & 1 & 1 & 1 & & \\
 1 & & & & 1 & 1 \\
 7 & & & & & 1 \\
 4 & & & & 1 & 1 \\
 6 & & & & & 1
 \end{array} \quad \text{Takımlar} \quad (3.43)$$

(3.43) matrisi iki takım kümesi $TK-1 = \{2,5,8,3\}$, $TK-2 = \{1,7,4,6\}$, ve iki parça ailesi $PA-1 = \{2,4,5\}$, $PA-2 = \{1,3\}$ 'den oluşmaktadır. Parçaların ve takımların kümelenmesi takım idaresini ve parça sıralamasını basitleştirir [6].

3.4. HİYERARŞİK İLE HİYERARŞİK OLMAYAN KÜMELENDİRME YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI :

Hiyerarşik yöntemlerde, algoritmanın herhangi bir aşamasında iki nokta (Satır veya sütun vektörleri) beraber gruplandığında sonuçta iyi olmayan bir kümelemeye neden olacağı görülmeye rağmen bu noktaları tekrar gözden geçirme imkanı yoktur. Bu satır ve sütun vektörlerinin oluşturduğu bazı gruplar verinin kalan kısmı için ileriki olasılıkları ciddi bir şekilde kısıtlar. Bu ise

hiyerarşik yöntemlerin esas dezavantajıdır. Hiyerarşik kümelenendirme yöntemlerinde grup sayısı ise dendogramın kesildiği yere bağlıdır. Hiyerarşik olmayan yöntemler, genelde ya veri setinin bir ilk bölünmesi yada bir kaç çekirdek noktasının seçimi ile başlar. Her iki durumda da kişi önceden küme sayısına karar vermek durumundadır. Çekirdek noktalarının (Veya verinin ilk bölünmesinin) seçimiindeki keyfilikten dolayı istenmeyen sonuçlar ortaya çıkabilir (İstenen çekirdeklerin oluşmaması ihtimali).

Genelde istenen grup sayısı, bir kümede izin verilebilir eleman sayısı vs. hususlar ilk çekirdek noktalarının mantıklı sayıda seçilmesine yol gösterir. Bu durumda dahi ilk çekirdek noktaları yerinin seçimi keyfiligini korur. Hiyerarşik olmayan klasik kümelenendirme yöntemlerinde başlangıçta seçilen keyfi çekirdek noktaları, ya yeni üyeler kümeye katıldığında yada bir iterasyon devresi sonunda sürekli olarak uygun hale getirilir. Bir uzaklık fonksiyonu (Genelde euclidean) noktalar arasındaki yakınlığı karşılaştırmak için kullanılır.

Özetlemek gerekirse çekirdek noktalarının ilk setini seçme yaklaşımı, euclidean uzaklığına dayanan kümeleme ve iterasyonun bir aşamasında çekirdekleri (Merkezleri) uygun hale getirme, hiyerarşik olmayan yöntemlerin özünü oluşturur [13].

Hiyerarşik olmayan yöntemlerde başlangıçtaki seçim oldukça serbesttir. Bu yöntemler hiyerarşik olanlara tercih edilir. Çünkü bu yöntemlerde eldeki veriden, verinin herhangi bir birimini önceki aşamalarda yapılan işlemlere bağlamaksızın istenen kümeleri elde etme imkanı vardır [14]. Dehası bu yöntemler her nokta çifti arasında benzerlik (Veya benzeşmezlik)'lerin hesaplanması veya depolanmasına gerek duymazlar ve ikili veri matrisinin aynı anda kümelenmesinin belirli ihtiyaçlarına göre değiştirebilirler [13].

3.5. KÜMELENDİRME YÖNTEMLERİNDE PERFORMANS ÖLÇÜLERİ

GT'nde uygulanan kümelendirme algoritmalarının co-
gunda, makina hücreleri ve parça aileleri oluşturulduktan
sonra gruptamanın performansı ölçülür. Performans ölçümü
için kullanılan ölçülerden bazıları şunlardır:

1- Toplu ölçüler

a) Maliyet esaslı ölçüler

- * Hücreler arası ve hücre içi hareketlerin minimum maliyeti,
- * Malzeme taşıma ve makina boş zamanlarının minimum maliyeti,
- * Proses içi stok, çevrim envanteri, hazırlıklar ve sabit makina maliyetlerinin minimum maliyeti.

b) Maliyet dışı ölçüler

- * Grup etkinliği (Ağırlıklı makinalar arası hareket ve makina kullanım oranı)
- * Ağırlıklı hücreler arası ve ikincil makina geçişleri.

2- Tek ölçüler

- * İstisnai eleman sayısı (Hücreler arası hareket)
- * Makina kullanım oranı
- * Ekstra makina sayısı
- * Basit eşleşme ölçüsü
- * Üretim hareketi korelasyon katsayısı
- * Genelleştirilmiş eşleşme ölçüsü
- * Toplam bağ enerjisi
- * Mesafe ölçüsü
- * Benzerlik toplamı
- * Bağ kuvveti toplamı
- * İşgal değeri

BÖLÜM IV

ATAMA YÖNTEMİNİN BİLGİSAYAR DESTEKLİ UYGULAMASI

4.1. PROGRAM KLAVUZU :

GT'nde benzerlik katsayılarını esas alan atama yönteminin bilgisayar destekli uygulaması için hazırlanan bu program (ATYÖ), 7 kısımdan oluşmaktadır.

- * Programın açılışı
- * Problem girişi
- * Benzerlik katsayılarının hesaplanması
- * Dal-sınır algoritması ile atama probleminin çözümü
- * Makina hücrelerinin tespiti
- * Parça ailelerinin tespiti
- * Raporlama

Programın Açılışı :

Bu kısımda programın kim tarafından yazıldığı ve ne işlem gördüğü ekrana gelmekte ve devam için "enter" tuşuna basılması istenmektedir. Sonra matrislerde satır veya sütun vektörlerinden hangisinin makina vektörlerini göstermesi isteneceği sorulmaktadır. Buradaki amaç, parça sayısının çok fazla olması halinde makinaları sütun vektörleri olarak alıp, matrislerin düzgün olmasını sağlamaktır. Daha sonra bu programla yeni problem mi çözülecek yoksa diskette kayıtlı olan problemler mi isteneceği sorulmaktadır. Kayıtlı problemler isteniyorsa "kayıtlı" yazılır aksi halde doğrudan "enter" tuşuna basılır. Eğer kayıtlı problemler istenmişse kayıtlı problemlerin listesinden sonra,

problemlerden istenenin adı istenmektedir. İstenen ad yazıldıktan sonra çözüme geçilmektedir.

Problem Girişi :

Bu kısımda öncelikle kullanıcıdan parça sayısı (P) ve makina sayısı (M) istenmektedir. P ve M girildikten sonra, girilen problemin diskette kaydedilip kaydedilmeyeceği sorulmaktadır. Eğer problem kaydedilecek ise E yazılır aksi halde herhangi bir tuşa basılır. Bundan sonra kullanıcıdan Parça/Makina esasına göre P*M adet 0-1 giriş değeri istenmektedir. Parça/makina esas deyince şu anlaşılmalıdır:

Her bir parça için sırayla işlem gördüğü makinalar için "1" ve işlem görmediği makinalar için "0" değerleri girilecek demektir. Ayrıca girişlerin doğru olarak yapılmasını sağlamak için, her parçanın bütün makinalara ait 0-1 değerleri girildikten sonra söz konusu parçanın bütün değerleri girilmiştir hatırlatması yapılmaktadır.

Örnek 4.1 :

Parça-makina ilişki matrisinin aşağıdaki gibi olduğunu düşünelim.

		Makinalar					
		1	2	3	4	5	
$A = [X_{ij}] =$	1		1	1		1	Parçalar
	2	1			1		
	3		1	1			
	4	1			1		
	5	1				1	
	6	1		1	1		
	7			1			

$X_{12} = X_{13} = X_{15} = 1$. Bu 1 nolu parçanın 2, 3 ve 5 nolu makinelerde işlem gördüğünü gösterir. Burada her beş adet değerden sonra i nolu parçaya ait bütün değerler girilmiştir hatırlatması yapılır.

Benzerlik katsayılarının hesaplanması :

Atama probleminin giriş verisini oluşturan benzerlik katsayıları aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$S_{ij} = \sum_{k=1}^n d_k \quad d_k = \begin{cases} 1 & a_{ik} = a_{jk} \text{ ise,} \\ 0 & \text{diğer hallerde} \end{cases}$$

$$(\forall i=j)$$

$$S_{jj} = 0 \quad \forall j$$

S_{ij} : i nolu makina ile j nolu makina arasındaki benzerlik değeri

$$S_{11} = 0 \quad (S_{jj} = 0 \quad j)$$

$$S_{12} = 1 \quad (X_{11} \neq X_{12}, X_{21} \neq X_{22}, X_{31} \neq X_{32}, X_{41} \neq X_{42}, X_{51} \neq X_{52}, X_{61} \neq X_{62}, X_{71} = X_{72})$$

Benzer şekilde diğer benzerlik katsayıları hesaplanırsa aşağıdaki değerler elde edilir.

$$\begin{array}{lllll} S_{13} = 1 & S_{21} = 1 & S_{31} = 1 & S_{41} = 6 & S_{51} = 3 \\ S_{14} = 6 & S_{22} = 0 & S_{32} = 5 & S_{42} = 2 & S_{52} = 5 \\ S_{15} = 3 & S_{23} = 5 & S_{33} = 0 & S_{43} = 1 & S_{53} = 3 \\ & S_{24} = 2 & S_{34} = 0 & S_{44} = 0 & S_{54} = 2 \\ & S_{25} = 5 & S_{35} = 0 & S_{45} = 2 & S_{55} = 0 \end{array}$$

Makinalar					
	1	2	3	4	5
1	0	1	1	6	3
2	1	0	5	2	5
3	1	5	0	1	3
4	6	2	1	0	2
5	3	5	3	2	0

Makinalar

Benzerlik katsayıları matrisi

Dal-sınır Algoritması ile Atama Probleminin Çözümü

Dal-sınır algoritmasındaki temel fikir şöyle

açıklanabilir. Maksimize edilecek bir amaç denklemi var, burada bu denklem P_{ij} 'dir (P_{ij} : i nolu makina j nolu makinaya atandığında elde edilecek maksimum benzerliği ifade eder.). P_{ij} değerinin hesaplanması ise şöyledir:

$$P_{ij} = X_{ij} + \begin{cases} \text{Benzerlik katsayıları matrisinde, i nolu} \\ \text{satır ve j nolu sütun kapatılır ve kalan} \\ \text{sütunların herbirinden en büyük değer} \\ \text{seçilip ilave edilir} \end{cases}$$

P_{ij} 'nin sayısına gelince;

İlk kademede 1 nolu makina yine 1 nolu makinaya atanamayacağından bu sayı (M-1)'dir. Daha sonraki kademelerde ise bu sayı, sözkonusu kademe ile aynı numaraya sahip makinaya bağlı olarak ya kalan makinaların sayısına eşit yada bir eksigi kadar olacak.

Her kademe sonunda hesaplanan P_{ij} değerleri içinde en büyük değere sahip olanı seçilir buradaki i nolu makina j nolu makinaya atanır. Her atama işleminden sonra atanmış olan i nolu makinaya ait satır ve j nolu makinaya ait sütun, benzerlik katsayıları matrisinden silinir. Kalan matris üzerinde bütün makinalar atanıncaya kadar aynı işlemler yapılır. Bu işlemler aşağıda yapılmaktadır.

1. Kademe :

$$P_{21} = X_{21} + \begin{cases} \text{2 nolu satır ve 1 nolu sütun kapatı-} \\ \text{larak her sütundaki en büyük değer} \\ \text{ilave edilir.} \end{cases}$$

$$P_{21} = 1+5+3+6+3 = 18$$

$$P_{31} = 1+5+5+6+5 = 22$$

$$P_{41} = 6+5+5+6+5 = 27^{**}$$

$$P_{51} = 3+5+5+6+5 = 24$$

P_{41} en büyük değere sahip olduğundan 4 nolu makina 1 nolu makinaya atanır ve benzerlik katsayıları matrisinden 4 nolu satır ile 1 nolu sütun silinir.

2. Kademe :

Makinalar					
	2	3	4	5	
1	1	1	6	3	Makinalar
2	0	5	2	5	
3	5	0	1	3	
5	5	3	2	0	
					$P_{12} = 1+5+2+5 = 13$
					$P_{32} = 5+5+6+5 = 21$
					$P_{52} = 5+5+6+5 = 21^{**}$

5 nolu makina 2 nolu makinaya atanır ve 5 nolu satır ile 2 nolu sütun silinir.

Not 1 : Bu kademedeki görüldüğü gibi iki adet eşit değer ($P_{32}=P_{52}$) var. Bunlardan hangisinin seçileceği sorusu akla gelebilir. P_{32} ve P_{52} değerlerinden istenilen keyfi olarak seçilebilir. Bu seçim sonucu etkilemeyecek. Çünkü eşit değerleri teşkil eden makinalar, sonuçta zaten aynı hücrede yeralacaklar. Yani şu anda 5, 2 ve 3 nolu makinaların sonuçta aynı hücrede olacakları görülmektedir. Programda ise eşit değerler içinde sıralamada sonuncu olan değer seçilmektedir.

3. Kademe :

	3	4	5	
1	1	6	3	
2	5	2	5	
3	0	1	3	
				$P_{13} = 1+2+5 = 8$
				$P_{23} = 5+6+3 = 14$

2 nolu makina 3 nolu makinaya atanır ve 2 nolu satır ile 3 nolu sütun silinir.

4. Kademe :

	5	
3	3	
		$P_{35} = 3$

Son makinalar da birbirine atanarak atama işlemi tamamlanmış olur.

Not 2 : Programda satır ve sütun silme işlemi,

söz konusu satır ve sütunlara tekabül eden benzerlik katsayıları (S_{ij}) sıfırlanarak gerçekleştirilmektedir.

Makina Hücrelerinin Tespiti :

Makina hücrelerinin tespiti, atama probleminin çözümünden yararlanarak yapılır. Her kademe sonunda elde edilen en büyük P_{ij} değerleri alınır. Bundan sonraki işlem ise gezgin satıcı mantığına dayanır. Gezgin satıcı mantığı ise, başladığı noktaya tekrar dönmek şartıyla n şehri ziyaret eden bir satıcının, toplam mesafeyi minimize edecek yolun seçimidir. Satıcının başladığı noktaya tekrar dönmesi bir turu oluşturur. Burada ise başlanan makinaya tekrar dönüş bir hücreyi oluşturur.

1. Kademe sonunda seçilen değer P_{41} 'dir.
2. Kademe sonunda seçilen değer P_{52} 'dir.
3. Kademe sonunda seçilen değer P_{23} 'dir.
4. Kademe sonunda seçilen değer P_{14} 'dir.
5. Kademe sonunda seçilen değer P_{35} 'dir.

P_{41} ile başlanır. 4 nolu makina 1 nolu makinaya atanmış O halde 1 nolu makinanın hangi makinaya atandığını bulmak gerekir. Yani P_{1j} değeri bulunmalıdır. Bu ise P_{14} dir. Yani 1 nolu makina da 4 nolu makinaya atanmış durumdadır. O halde tur tamamlanmıştır, çünkü başlanan noktaya tekrar dönmüştür. Bu da bir makina hücrelerini oluşturur. Benzer şekilde P_{52} 'den başlanıp işlemler sürdürülür. Sonuç olarak aşağıdaki makina hücreleri elde edilir.

$$MH-1 = \{1,4\} \text{ ve } MH-2 = \{2,3,5\}$$

Parça Ailelerinin Tespiti :

Önce her parçanın her bir makina hücrelerinde işlem gördüğü makinaların sayısı tespit edilir. Sonra her parça, en fazla makina sayısına sahip olduğu makina hücrelerine atanır. Bu durumda bir parça birden fazla makina

hücrelerinde işlem görüyor olabilir. Bu parçalar istisna parçalar olarak isimlendirilir. Benzer şekilde farklı makina hücrelerindeki parçaların işlem gördüğü makinalar da darboğaz makinalar olarak isimlendirilir. Bu olaya ise hücreler arası akış denir. Hücreler arası akışı önlemenin üç yolu vardır.

- 1- İstisna parçalar işlem dışı bırakılarak (Fason yaptırılarak),
- 2- Darboğaz makinalardan birer adet daha alınarak,
- 3- Akışın olduğu hücreler birleştirilerek.

Bu programda ise 3. yol uygulanmaktadır. İşlem ilk makina hücrelerinin oluşumu ve etkinlik hesabından sonra, en fazla hücreler arası akışa sahip olan hücreler ile başlar. Kullanıcının istegine bağlı olarak, bütün hücreler arasındaki akış sıfır oluncaya kadar işlem devam eder.

Her makina hücrelerinde işlem gördüğü makina sayısı		
Parça no	MH-1	MH-2
1	0	3
2	2	0
3	0	2
4	2	0
5	1	1
6	2	1
7	0	1

Tablo 4.1 : Her parçanın her bir makina hücrelerinde işlem gördüğü makina sayısı

Tablo 4.1'den aşağıdaki paça aileleri elde edilir.

$$PA-1 = \{2,4,6\} \text{ ve } PA-2 = \{1,3,5,7\}$$

Not 3 : Programda farklı makina hücrelerinde eşit sayıda işlem gördüğü makinaya sahip olan parçalar, sıralamada en son olan parça ailesinde yer almaktadır (örnek 5 nolu parça).

Eldeki verilerden, 5 ve 6 nolu parçaların istisna parçalar ve 5 ile 3 nolu makinalar da darboğaz makinalar olduğu görülmektedir. Bu durum diyagonal blokta daha net görülebilir.

Raporlama :

Önceki kısımlarda elde edilen makina hücreleri ve parça ailelerinden yararlanarak diyagonal blok oluşturulur. Arkasından toplu sonuçlar verilip etkinlik analizi yapılır. Bundan sonra ise kullanıcının isteğine bağlı olarak hücreler arası akış sıfır olucaya kadar aralarında akış olan hücreler birleştirilir. Her iki hücrenin birleştirilmesinden sonra tekrar diyagonal blok ve toplu sonuçlar verilir, etkinlik analizi yapılır. Etkinlik analizinden sonra kullanıcıya sorularak birleştirmelere devam edilip edilmeyeceği belirlenir.

		Parçalar						
		2	4	6	1	3	5	7
1		1	1	1			1	
4		1	1	1				
2					1	1		
3				1	1	1		1
5					1		1	

Makinalar

T O P L U S O N U Ç L A R

Grup no	Makinalar	Parçalar
1	1,4	2,4,6
2	2,3,5	1,3,5,7

Bu çalışmada uygulanan algoritma sonucu ortaya

çıkan gruptamanın performansının ölçülmesi için "Grup Etkinliği Hesabı" yönteminden yararlanılmıştır. Etkinlik analizinde kullanılan formül ise şöyledir:

$$\eta = q\eta_1 + (1-q)\eta_2$$

$$\eta_1 = \frac{ED}{n \sum_{i=1}^n M_i P_i}$$

$$\eta_2 = 1 - \frac{EO}{MS \times PS - \sum_{i=1}^n M_i P_i}$$

ED : Diyagonal bloklardaki 1'lerin sayısı

EO : Diyagonal dışındaki 1'lerin sayısı

M_i : i nolu makina hücresindeki makina tipi sayısı

P_i : i nolu parça ailesindeki parça tipi sayısı

MS : Makina sayısı

PS : Parça sayısı

n : Diyagonal blok sayısı

q : Ağırlık faktörü (0 < q < 1)

örnek 4.1 için etkinlik analizi :

$$ED = 13 \quad EO = 2$$

$$\sum M_i \cdot P_i = 2 \cdot 3 + 3 \cdot 4 = 18$$

$$\eta_1 = 13/18$$

$$\eta_2 = 1 - [2 / (5 \cdot 7 - 18)] = 1 - 2/17 = 15/17$$

$$\eta = q \cdot (13/18) + (1-q) \cdot (15/17)$$

q\	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
η	0.87	0.85	0.83	0.82	0.80	0.79	0.77	0.75	0.74

4.2. UYGULAMALAR

ÖRNEK PROBLEM-1[11].

M\P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1			1	1					1	1		1		1	1		1	1		1
2				1	1		1	1						1				1		1
3			1						1	1		1		1	1		1	1		1
4				1	1		1	1			1							1		1
5		1				1	1				1		1			1		1		
6		1				1				1	1		1			1				1
7				1	1		1	1				1	1					1		1
8				1	1		1	1										1		1

0-1 Makina-parça giriş matrisi

M\M	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	7	19	5	5	5	6	6
2	7	0	6	18	8	8	17	19
3	19	6	0	4	6	6	5	5
4	5	18	4	0	10	10	17	19
5	5	8	6	10	0	16	9	9
6	5	8	6	10	16	0	9	9
7	6	17	5	17	9	9	0	18
8	6	19	5	19	9	9	18	0

Makina-makina benzerlik
katsayıları matrisi

ATAMA PROBLEMİNİN DAL-SINIR
ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜLMESİ

P(2 1)= 133
P(3 1)= 145
P(4 1)= 131
P(5 1)= 125
P(6 1)= 125
P(7 1)= 132
P(8 1)= 129

3 .MAKINA 1 .MAKINAYA ATANDI.

P(1 2)= 101
P(4 2)= 125
P(5 2)= 109
P(6 2)= 109
P(7 2)= 124
P(8 2)= 124

4 .MAKINA 2 .MAKINAYA ATANDI.

P(1 3)= 107
P(2 3)= 93
P(5 3)= 87
P(6 3)= 87
P(7 3)= 93
P(8 3)= 91

1 .MAKINA 3 .MAKINAYA ATANDI.

P(2 4)= 86
P(5 4)= 72
P(6 4)= 72
P(7 4)= 86
P(8 4)= 87

8 .MAKINA 4 .MAKINAYA ATANDI.

P(2 5)= 51
P(6 5)= 68
P(7 5)= 61

6 .MAKINA 5 .MAKINAYA ATANDI.

P(2 6)= 35
P(5 6)= 52
P(7 6)= 45

5 .MAKINA 6 .MAKINAYA ATANDI.

P(2 7)= 35
2 .MAKINA 7 .MAKINAYA ATANDI.

P(7 8)= 18
7 .MAKINA 8 .MAKINAYA ATANDI.

ATAMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ İLE ELDE EDİLEN
MAKİNA HÜCRELERİ ve PARÇA AİLELERİ :

1 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 1 =(3 - 1 - 3)

2 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 2 =(4 - 2 - 7 - 8 - 4)

3 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 3 =(6 - 5 - 6)

- 1 .PARÇA 3 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 2 .PARÇA 1 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 3 .PARÇA 2 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 4 .PARÇA 2 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 5 .PARÇA 3 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 6 .PARÇA 2 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 7 .PARÇA 2 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 8 .PARÇA 1 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 9 .PARÇA 1 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 10 .PARÇA 3 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 11 .PARÇA 1 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 12 .PARÇA 3 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 13 .PARÇA 1 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 14 .PARÇA 1 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 15 .PARÇA 3 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 16 .PARÇA 1 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 17 .PARÇA 1 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 18 .PARÇA 2 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 19 .PARÇA 1 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 20 .PARÇA 2 .MAKİNA AİLESİNDEDİR

1 .PARÇA AİLESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 1 =(2 - 8 - 9 - 11 - 13 - 14 - 16 - 17 - 19 -)

2 .PARÇA AİLESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 2 =(3 - 4 - 6 - 7 - 18 - 20 -)

3 .PARÇA AİLESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 3 =(1 - 5 - 10 - 12 - 15 -)

DIYAGONAL BLOĞUN OLUŞTURULMASI

M\P 0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 1 2 0 0 1 1 1
2 8 9 1 3 4 6 7 9 3 4 6 7 8 0 1 5 0 2 5

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1									
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1										
2					1					1	1	1	1	1	1				
4										1	1	1	1	1	1		1		
7			1							1	1	1	1	1	1			1	
8										1	1	1	1	1	1				
5						1				1					1	1	1	1	1
6		1													1	1	1	1	1

T O P L U S O N U Ç L A R

GRUP NO	MAKİNALAR	PARÇALAR
1	1 3	2 8 9 11 13 14 16 17 19
2	2 4 7 8	3 4 6 7 18 20
3	5 6	1 5 10 12 15

E T K İ N L İ K A N A L İ Z İ

PARÇA SAYISI.....= 20
MAKİNA SAYISI.....= 8
DIYAGONAL BLOK SAYISI.....= 3
DIYAGONALLERDEKİ 1'lerin SAYISI.....= 52
DIYAGONALLER DISINDAKİ 1'lerin SAYISI= 9
DIYAGONALLERDEKİ BOŞLUKLARIN SAYISI..= 0
*** q=0.10.....ETKİNLİK=% 92.50 ***
*** q=0.20.....ETKİNLİK=% 93.33 ***
*** q=0.30.....ETKİNLİK=% 94.17 ***
*** q=0.40.....ETKİNLİK=% 95.00 ***
*** q=0.50.....ETKİNLİK=% 95.83 ***
*** q=0.60.....ETKİNLİK=% 96.67 ***
*** q=0.70.....ETKİNLİK=% 97.50 ***
*** q=0.80.....ETKİNLİK=% 98.33 ***
*** q=0.90.....ETKİNLİK=% 99.17 ***

ÖRNEK PROBLEM-2 [12].

M\P 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

1	1			1			1												
2		1	1		1			1		1									
3		1	1		1			1		1									
4	1			1			1												
5												1	1	1		1	1		1
6	1			1			1												
7						1			1	1	1				1			1	
8						1			1	1	1				1			1	
9												1	1	1		1	1		1
10						1			1	1	1				1			1	

0-1 Makina-parça giriş matrisi

M\M	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	12	12	20	11	20	11	11	11	11
2	12	0	20	12	9	12	9	9	9	9
3	12	20	0	12	9	12	9	9	9	9
4	20	12	12	0	11	20	11	11	11	11
5	11	9	9	11	0	11	8	8	20	8
6	20	12	12	20	11	0	11	11	11	11
7	11	9	9	11	8	11	0	20	8	20
8	11	9	9	11	8	11	20	0	8	20
9	11	9	9	11	20	11	8	8	0	8
10	11	9	9	11	8	11	20	20	8	0

Makina-makina benzerlik
katsayıları matrisi

ATAMA PROBLEMİNİN DAL-SINIR
ALGORİTMASI İLE ÇÖZÜLMESİ

P(2 1)= 184
P(3 1)= 184
P(4 1)= 200
P(5 1)= 182
P(6 1)= 200
P(7 1)= 191
P(8 1)= 191
P(9 1)= 182
P(10 1)= 191

6 .MAKINA 1 .MAKINAYA ATANDI.

P(1 2)= 164
P(3 2)= 180
P(4 2)= 172
P(5 2)= 160
P(7 2)= 169
P(8 2)= 169
P(9 2)= 160
P(10 2)= 169

3 .MAKINA 2 .MAKINAYA ATANDI.

P(1 3)= 144
P(2 3)= 160
P(4 3)= 152
P(5 3)= 140
P(7 3)= 149
P(8 3)= 149
P(9 3)= 140
P(10 3)= 149

2 .MAKINA 3 .MAKINAYA ATANDI.

P(1 4)= 140
P(5 4)= 122
P(7 4)= 131
P(8 4)= 131
P(9 4)= 122
P(10 4)= 131

1 .MAKINA 4 .MAKINAYA ATANDI.

P(4 5)= 102
P(7 5)= 108
P(8 5)= 108
P(9 5)= 120
P(10 5)= 108

9 .MAKINA 5 .MAKINAYA ATANDI.

P(4 6)= 100
P(5 6)= 82
P(7 6)= 91
P(8 6)= 91
P(10 6)= 91

4 .MAKINA 6 .MAKINAYA ATANDI.

$P(5 \ 7) = 56$
 $P(8 \ 7) = 80$
 $P(10 \ 7) = 80$
10 .MAKINA 7 .MAKINAYA ATANDI.

$P(5 \ 8) = 36$
 $P(7 \ 8) = 60$
7 .MAKINA 8 .MAKINAYA ATANDI.

$P(5 \ 9) = 40$
 $P(8 \ 9) = 16$
5 .MAKINA 9 .MAKINAYA ATANDI.

$P(8 \ 10) = 20$
8 .MAKINA 10 .MAKINAYA ATANDI.



ATAMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ İLE ELDE EDİLEN
MAKİNA HÜCRELERİ ve PARÇA AİLELERİ :

1 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 1 =(6 - 1 - 4 - 6)

2 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 2 =(3 - 2 - 3)

3 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 3 =(9 - 5 - 9)

4 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 4 =(10 - 7 - 8 - 10)

- 1 .PARÇA 1 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 2 .PARÇA 2 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 3 .PARÇA 2 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 4 .PARÇA 1 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 5 .PARÇA 2 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 6 .PARÇA 4 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 7 .PARÇA 1 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 8 .PARÇA 2 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 9 .PARÇA 4 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 10 .PARÇA 2 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 11 .PARÇA 4 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 12 .PARÇA 4 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 13 .PARÇA 3 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 14 .PARÇA 3 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 15 .PARÇA 3 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 16 .PARÇA 4 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 17 .PARÇA 3 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 18 .PARÇA 3 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 19 .PARÇA 4 .MAKİNA AİLESİNDEDİR
- 20 .PARÇA 3 .MAKİNA AİLESİNDEDİR

1 .PARÇA AİLSESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 1 =(1 - 4 - 7 -)

2 .PARÇA AİLSESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 2 =(2 - 3 - 5 - 8 - 10 -)

3 .PARÇA AİLSESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 3 =(13 - 14 - 15 - 17 - 18 - 20 -)

4 .PARÇA AİLSESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 4 =(6 - 9 - 11 - 12 - 16 - 19 -)

DİYAGONAL BLOĞUN OLUŞTURULMASI

M\P 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 2 0 0 1 1 1 1
1 4 7 2 3 5 8 0 3 4 5 7 8 0 6 9 1 2 6 9

1	1	1	1																
4	1	1	1																
6	1	1	1																
2				1	1	1	1	1											
3				1	1	1	1	1											
5									1	1	1	1	1	1					
9									1	1	1	1	1	1					
7															1	1	1	1	1
8															1	1	1	1	1
10															1	1	1	1	1

TOPLU SONUÇLAR

GRUP NO	MAKİNALAR	PARÇALAR
1	1 4 6	1 4 7
2	2 3	2 3 5 8 10
3	5 9	13 14 15 17 18 20
4	7 8 10	6 9 11 12 16 19

ETKİNLİK ANALİZİ

PARÇA SAYISI.....= 20
MAKİNA SAYISI.....= 10
DİYAGONAL BLOK SAYISI.....= 4
DİYAGONALLERDEKİ 1'lerin SAYISI.....= 49
DİYAGONALLER DISINDAKİ 1'lerin SAYISI= 0
DİYAGONALLERDEKİ BOŞLUKLARIN SAYISI..= 0
*** q=0.10.....ETKİNLİK=%100.00 ***
*** q=0.20.....ETKİNLİK=%100.00 ***
*** q=0.30.....ETKİNLİK=%100.00 ***
*** q=0.40.....ETKİNLİK=%100.00 ***
*** q=0.50.....ETKİNLİK=%100.00 ***
*** q=0.60.....ETKİNLİK=%100.00 ***
*** q=0.70.....ETKİNLİK=%100.00 ***
*** q=0.80.....ETKİNLİK=%100.00 ***
*** q=0.90.....ETKİNLİK=%100.00 ***

ÖRNEK PROBLEM-S[12]

P\M 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6

1		1														
2				1			1 1			1 1						
3					1							1				
4	1 1 1 1					1 1				1						
5	1							1						1		
6				1				1				1		1		1
7	1			1		1 1			1 1							1
8				1				1				1		1		1
9	1		1				1		1							
10		1										1				
11				1				1 1		1 1			1			
12	1					1 1			1 1							
13			1									1				
14				1				1					1		1	
15				1				1					1		1	
16		1														
17													1			
18	1 1		1			1 1		1 1	1	1	1					
19							1		1		1					
20		1									1 1					
21				1				1					1			
22	1		1			1 1				1						
23			1		1		1							1		
24				1				1							1	
25		1			1 1		1							1		
26			1					1						1 1		
27		1		1			1					1 1 1				
28		1				1 1										
29		1		1						1			1			
30	1		1		1				1		1		1			

0-1 Parça-makina giriş matrisi

DIYAGONAL BLOĞUN OLUŞTURULMASI

P\M 0 0 0 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1
1 4 8 2 3 3 9 5 0 6 5 7 1 2 4 6

4	1	1	1	1		1				1		1			
9	1	1	1								1				
22	1	1	1							1		1			
1				1											
10				1	1										
16				1											
20				1	1								1		
13					1	1									
28		1				1	1								
3					1			1							
11							1	1			1		1		
21							1	1					1		
24							1	1						1	
26							1	1		1				1	
5	1								1						
23					1	1			1	1					
25					1	1			1	1	1				
29					1	1			1	1					
2		1	1								1	1	1		
7	1	1	1								1	1	1		1
12	1		1								1	1	1		
18	1	1	1	1				1			1	1	1		
19						1							1		
30	1	1			1					1	1	1			
6							1	1						1	1
8							1	1						1	1
14							1	1						1	1
15							1	1						1	1
17														1	
27					1	1			1	1				1	1

T O P L U S O N U Ç L A R

GRUP NO	MAKİNALAR	PARÇALAR
1	1 4 8	4 9 22
2	2 13	1 10 16 20
3	3 9	13 28
4	5 10	3 11 21 24 26
5	6 15	5 23 25 29
6	7 11 12	2 7 12 18 19 30
7	14 16	6 8 14 15 17 27

E T K İ N L İ K A N A L İ Z İ

PARÇA SAYISI.....= 30
MAKİNA SAYISI.....= 16
DİYAGONAL BLOK SAYISI.....= 7
DİYAGONALLERDEKİ 1'lerin SAYISI.....= 60
DİYAGONALLER DISINDAKİ 1'lerin SAYISI= 56
DİYAGONALLERDEKİ BOŞLUKLARIN SAYISI..= 9
*** q=0.10.....ETKİNLİK=% 86.43 ***
*** q=0.20.....ETKİNLİK=% 86.49 ***
*** q=0.30.....ETKİNLİK=% 86.55 ***
*** q=0.40.....ETKİNLİK=% 86.61 ***
*** q=0.50.....ETKİNLİK=% 86.67 ***
*** q=0.60.....ETKİNLİK=% 86.72 ***
*** q=0.70.....ETKİNLİK=% 86.78 ***
*** q=0.80.....ETKİNLİK=% 86.84 ***
*** q=0.90.....ETKİNLİK=% 86.90 ***

6 .Makina Hücresinin 1 .Makina Hücresi
ile Birleştirilmesinin Sonucu Aşağıdadır:

DIYAGONAL BLOĞUN OLUŞTURULMASI

P\M 0 1 0 0 0 1 0 1 0 0 0 0 1 1 1 1
2 3 3 9 5 0 6 5 1 4 7 8 1 2 4 6

1	1														
10	1	1													
16	1														
20	1	1											1		
13		1	1												
28			1	1						1					
3		1			1										
11					1	1					1		1		
21					1	1							1		
24					1	1								1	
26					1	1		1						1	
5				1			1	1							
23			1	1			1	1							
25			1	1			1	1		1					
29		1	1				1	1							
2									1	1	1	1	1		
4	1		1						1	1	1	1	1	1	
7									1	1	1	1	1	1	1
9									1	1		1	1		
12									1		1	1	1	1	
18	1				1				1	1	1	1	1	1	
19			1											1	
22									1	1	1	1		1	
30		1					1	1	1	1	1		1		
6					1	1								1	1
8					1	1								1	1
14					1	1								1	1
15					1	1								1	1
17														1	
27			1	1			1	1						1	1

T O P L U S O N U Ç L A R

GRUP NO	MAKİNALAR	PARÇALAR
1	2 13	1 10 16 20
2	3 9	13 28
3	5 10	3 11 21 24 26
4	6 15	5 23 25 29
5	1 4 7 8 11 12	2 4 7 9 12 18 19 22 30
6	14 16	6 8 14 15 17 27

E T K İ N L İ K A N A L İ Z İ

PARÇA SAYISI.....= 30
 MAKİNA SAYISI.....= 16
 DİYAGONAL BLOK SAYISI.....= 6
 DİYAGONALLERDEKİ 1'lerin SAYISI.....= 77
 DİYAGONALLER DISINDAKİ 1'lerin SAYISI= 39
 DİYAGONALLERDEKİ BOŞLUKLARIN SAYISI..= 19
 *** q=0.10.....ETKİNLİK=% 88.88 ***
 *** q=0.20.....ETKİNLİK=% 87.92 ***
 *** q=0.30.....ETKİNLİK=% 86.95 ***
 *** q=0.40.....ETKİNLİK=% 85.99 ***
 *** q=0.50.....ETKİNLİK=% 85.03 ***
 *** q=0.60.....ETKİNLİK=% 84.06 ***
 *** q=0.70.....ETKİNLİK=% 83.10 ***
 *** q=0.80.....ETKİNLİK=% 82.14 ***
 *** q=0.90.....ETKİNLİK=% 81.17 ***

6 .Makina Hücresinin 3 .Makina Hücresi
ile Birleştirilmesinin Sonucu Aşağıdadır:

DIYAGONAL BLOĞUN OLUŞTURULMASI

P\M 0 1 0 0 0 1 0 0 0 0 1 1 0 1 1 1
2 3 3 9 6 5 1 4 7 8 1 2 5 0 4 6

1	1														
10	1	1													
16	1														
20	1	1										1			
13		1	1												
28			1	1						1					
5				1		1	1								
23			1	1	1	1									
25			1	1	1	1			1						
29		1	1		1	1									
2							1	1	1	1	1				
4	1		1				1	1	1	1		1			
7							1	1	1	1	1	1			1
9							1	1		1	1				
12							1		1	1	1	1			
18	1						1	1	1	1	1	1		1	
19			1									1			
22							1	1	1	1		1			
30		1				1	1	1	1		1				
3		1													
6											1				
8											1	1	1	1	
11											1	1	1		
14											1	1	1	1	
15											1	1	1	1	
17												1			
21											1	1	1		
24											1	1		1	
26					1						1	1		1	
27		1	1	1	1								1	1	

TOPLU SONUÇLAR

GRUP NO	MAKİNALAR	PARÇALAR
1	2 13	1 10 16 20
2	3 9	13 28
3	6 15	5 23 25 29
4	1 4 7 8 11 12	2 4 7 9 12 18 19 22 30
5	5 10 14 16	3 6 8 11 14 15 17 21 24 26 27

ETKİNLİK ANALİZİ

PARÇA SAYISI.....= 30
MAKİNA SAYISI.....= 16
DİYAGONAL BLOK SAYISI.....= 5
DİYAGONALLERDEKİ 1'lerin SAYISI.....= 89
DİYAGONALLER DISINDAKİ 1'lerin SAYISI= 27
DİYAGONALLERDEKİ BOŞLUKLARIN SAYISI..= 29
*** q=0.10.....ETKİNLİK=% 90.83 ***
*** q=0.20.....ETKİNLİK=% 89.12 ***
*** q=0.30.....ETKİNLİK=% 87.41 ***
*** q=0.40.....ETKİNLİK=% 85.69 ***
*** q=0.50.....ETKİNLİK=% 83.98 ***
*** q=0.60.....ETKİNLİK=% 82.27 ***
*** q=0.70.....ETKİNLİK=% 80.56 ***
*** q=0.80.....ETKİNLİK=% 78.85 ***
*** q=0.90.....ETKİNLİK=% 77.14 ***

T O P L U S O N U Ç L A R

GRUP NO	MAKİNALAR	PARÇALAR
1	2 13	1 10 16 20
2	3 6 9 15	5 13 23 25 28 29
3	1 4 7 8 11 12	2 4 7 9 12 18 19 22 30
4	5 10 14 16	3 6 8 11 14 15 17 21 24 26 27

E T K İ N L İ K A N A L İ Z İ

PARÇA SAYISI.....= 30
 MAKİNA SAYISI.....= 16
 DİYAGONAL BLOK SAYISI.....= 4
 DİYAGONALLERDEKİ 1'lerin SAYISI.....= 95
 DİYAGONALLER DISINDAKİ 1'lerin SAYISI= 21
 DİYAGONALLERDEKİ BOŞLUKLARIN SAYISI..= 35
 *** q=0.10.....ETKİNLİK=% 91.91 ***
 *** q=0.20.....ETKİNLİK=% 89.82 ***
 *** q=0.30.....ETKİNLİK=% 87.72 ***
 *** q=0.40.....ETKİNLİK=% 85.63 ***
 *** q=0.50.....ETKİNLİK=% 83.54 ***
 *** q=0.60.....ETKİNLİK=% 81.45 ***
 *** q=0.70.....ETKİNLİK=% 79.35 ***
 *** q=0.80.....ETKİNLİK=% 77.26 ***
 *** q=0.90.....ETKİNLİK=% 75.17 ***

4 .Makina Hücresinin 2 .Makina Hücresi
ile Birleştirilmesinin Sonucu Aşağıdadır:

DIYAGONAL BLOĞUN OLUŞTURULMASI

P\M 0 1 0 0 0 0 1 1 0 0 0 0 1 1 1 1
2 3 1 4 7 8 1 2 3 5 6 9 0 4 5 6

1	1															
10	1	1														
16	1															
20	1	1														
2				1	1	1	1	1	1							
4	1		1	1	1	1	1		1	1						
7			1	1	1	1	1	1							1	
9			1	1		1	1									
12			1		1	1	1	1								
18	1		1	1	1	1	1	1				1				
19									1							
22			1	1	1	1		1								
30		1	1	1	1		1							1		
3		1							1							
5			1							1				1		
6									1		1	1		1		
8									1		1	1		1		
11						1			1		1	1				
13		1						1								
14									1		1	1		1		
15									1		1	1		1		
17												1				
21									1		1	1				
23									1		1	1		1		
24									1			1			1	
25				1					1		1	1		1		
26									1			1		1	1	
27									1		1	1		1	1	1
28					1				1		1					
29		1							1		1			1		

TOPLU SONUÇLAR

GRUP NO	MAKİNALAR	PARÇALAR
1	2 13	1 10 16 20
2	1 4 7 8 11 12	2 4 7 9 12 18 19 22 30
3	3 5 6 9 10 14 16	3 5 6 8 11 13 14 15 17 21 15 23 24 25 26 27 28 29

ETKİNLİK ANALİZİ

PARÇA SAYISI.....= 30
MAKİNA SAYISI.....= 16
DİYAGONAL BLOK SAYISI.....= 3
DİYAGONALLERDEKİ 1'lerin SAYISI.....= 100
DİYAGONALLER DISINDAKİ 1'lerin SAYISI= 16
DİYAGONALLERDEKİ BOŞLUKLARIN SAYISI..= 98
*** q=0.10.....ETKİNLİK=% 89.94 ***
*** q=0.20.....ETKİNLİK=% 85.56 ***
*** q=0.30.....ETKİNLİK=% 81.18 ***
*** q=0.40.....ETKİNLİK=% 76.80 ***
*** q=0.50.....ETKİNLİK=% 72.42 ***
*** q=0.60.....ETKİNLİK=% 68.03 ***
*** q=0.70.....ETKİNLİK=% 63.65 ***
*** q=0.80.....ETKİNLİK=% 59.27 ***
*** q=0.90.....ETKİNLİK=% 54.89 ***

ÖRNEK PROBLEM-4[4].

P\M 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0

1	1		1				1	1								1				
2		1		1								1	1					1		
3	1		1				1	1								1				
4										1	1			1	1				1	
5			1				1	1								1				
6										1	1			1	1					
7		1		1									1							
8					1	1			1	1										1
9										1	1			1	1			1		
10		1											1				1			
11										1	1			1	1			1		
12		1		1								1	1							
13		1		1								1	1				1			
14					1	1			1	1										1
15			1				1	1								1				
16					1	1			1											
17			1				1	1								1				
18		1										1					1			
19					1			1	1											1
20	1						1	1								1				
21										1	1			1	1			1		
22					1			1	1											1
23	1					1	1									1				1
24		1		1								1	1				1			
25	1						1									1				
26					1			1	1											1
27		1		1								1								
28									1				1	1				1		
29			1					1								1				
30										1				1						
31			1	1									1				1			
32										1									1	
33											1									
34					1	1														
35										1										

0-1 Parça-makina giriş matrisi

ATAMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ İLE ELDE EDİLEN
MAKİNA HÜCRELERİ ve PARÇA AİLELERİ :

1 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 1 =(7 - 1 - 8 - 17 - 3 - 7)

2 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 2 =(14 - 2 - 18 - 14)

3 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 3 =(13 - 4 - 13)

4 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 4 =(6 - 5 - 20 - 9 - 10 - 6)

5 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 5 =(19 - 11 - 15 - 16 - 12 - 19)

1 .PARÇA AİLSESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 1 =(1 - 3 - 5 - 15 - 17 - 20 - 23 - 25 - 29 -)

2 .PARÇA AİLSESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 2 =(2 - 7 - 10 - 13 - 18 - 24 - 27 - 31 -)

3 .PARÇA AİLSESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 3 =(12 -)

4 .PARÇA AİLSESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 4 =(8 - 14 - 16 - 19 - 22 - 26 - 34 -)

5 .PARÇA AİLSESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 5 =(4 - 6 - 9 - 11 - 21 - 28 - 30 - 32 - 33 - 35 -)

DIYAGONAL BLOĞUN OLUŞTURULMASI

P\M 0 0 0 0 1 0 1 1 0 1 0 0 0 1 2 1 1 1 1 1
1 3 7 8 7 2 4 8 4 3 5 6 9 0 0 1 2 5 6 9

1	1	1	1	1	1														
3	1	1	1	1	1														
5		1	1	1	1														
15		1	1	1	1														
17		1	1	1	1														
20	1		1	1	1														
23	1		1	1	1									1					
25	1			1	1														
29		1		1	1														
2						1	1	1	1	1									
7						1	1		1										
10						1	1	1											
13						1	1	1	1	1									
18						1	1	1											
24						1	1	1	1	1									
27						1	1		1										
31	1					1	1	1											
12						1	1		1	1									
8											1	1	1	1	1				
14											1	1	1	1	1				
16											1	1		1					
19												1	1	1	1				
22												1	1	1					
26												1	1	1	1				
34												1	1						
4															1	1	1	1	1
6															1	1	1	1	
9															1	1	1	1	1
11															1	1	1	1	1
21															1	1	1	1	1
28															1		1	1	1
30															1		1		
32															1				1
33																1			
35																1			

TOPLU SONUÇLAR

GRUP NO	MAKİNALAR	PARÇALAR
1	1 3 7 8 17	1 3 5 15 17 20 23 25 29
2	2 14 18	2 7 10 13 18 24 27 31
3	4 13	12
4	5 6 9 10 20	8 14 16 19 22 26 34
5	11 12 15 16 19	4 6 9 11 21 28 30 32 33 35

ETKİNLİK ANALİZİ

PARÇA SAYISI.....= 35
MAKİNA SAYISI.....= 20
DİYAGONAL BLOK SAYISI.....= 5
DİYAGONALLERDEKİ 1'lerin SAYISI.....= 120
DİYAGONALLER DISINDAKİ 1'lerin SAYISI= 12
DİYAGONALLERDEKİ BOŞLUKLARIN SAYISI..= 36
*** q=0.10.....ETKİNLİK=% 95.71 ***
*** q=0.20.....ETKİNLİK=% 93.62 ***
*** q=0.30.....ETKİNLİK=% 91.53 ***
*** q=0.40.....ETKİNLİK=% 89.45 ***
*** q=0.50.....ETKİNLİK=% 87.36 ***
*** q=0.60.....ETKİNLİK=% 85.27 ***
*** q=0.70.....ETKİNLİK=% 83.18 ***
*** q=0.80.....ETKİNLİK=% 81.10 ***
*** q=0.90.....ETKİNLİK=% 79.01 ***

2 .Makina Hücresinin 3 .Makina Hücresi
ile Birleştirilmesinin Sonucu Aşağıdadır:

DIYAGONAL BLOĞUN OLUŞTURULMASI

P\M 0 0 0 0 1 0 0 1 1 1 0 0 0 1 2 1 1 1 1 1
1 3 7 8 7 2 4 3 4 8 5 6 9 0 0 1 2 5 6 9

1	1	1	1	1															
3	1	1	1	1	1														
5		1	1	1	1														
15		1	1	1	1														
17		1	1	1	1														
20	1		1	1	1														
23	1		1	1	1										1				
25	1			1	1														
29		1		1	1														
2						1	1	1	1	1									
7						1	1		1										
10						1			1	1									
12						1	1	1	1										
13						1	1	1	1	1									
18						1			1	1									
24						1	1	1	1	1									
27						1	1		1										
31		1				1			1	1									
8										1	1	1	1	1					
14										1	1	1	1	1					
16										1	1		1						
19											1	1	1	1					
22											1	1	1						
26											1	1	1	1					
34										1	1								
4														1	1	1	1	1	
6														1	1	1	1		
9														1	1	1	1	1	
11														1	1	1	1	1	
21														1	1	1	1	1	
28														1		1	1	1	
30														1		1			
32														1				1	
33															1				
35															1				

TOPLU SONUÇLAR

GRUP NO	MAKİNALAR	PARÇALAR
1	1 3 7 8 17	1 3 5 15 17 20 23 25 29
2	2 4 13 14 18	2 7 10 12 13 18 24 27 31
3	5 6 9 10 20	8 14 16 19 22 26 34
4	11 12 15 16 19	4 6 9 11 21 28 30 32 33 35

ETKİNLİK ANALİZİ

PARÇA SAYISI.....= 35
 MAKİNA SAYISI.....= 20
 DİYAGONAL BLOK SAYISI.....= 4
 DİYAGONALLERDEKİ 1'lerin SAYISI.....= 130
 DİYAGONALLER DISINDAKİ 1'lerin SAYISI= 2
 DİYAGONALLERDEKİ BOŞLUKLARIN SAYISI..= 45
 *** q=0.10.....ETKİNLİK=% 97.09 ***
 *** q=0.20.....ETKİNLİK=% 94.55 ***
 *** q=0.30.....ETKİNLİK=% 92.02 ***
 *** q=0.40.....ETKİNLİK=% 89.49 ***
 *** q=0.50.....ETKİNLİK=% 86.95 ***
 *** q=0.60.....ETKİNLİK=% 84.42 ***
 *** q=0.70.....ETKİNLİK=% 81.89 ***
 *** q=0.80.....ETKİNLİK=% 79.35 ***
 *** q=0.90.....ETKİNLİK=% 76.82 ***

ÖRNEK PROBLEM-5[11].

P\M 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2
1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4

1															1								1	1
2							1													1				1
3										1		1								1		1		
4								1			1								1					
5					1			1							1				1					
6				1					1	1														
7																	1					1		
8				1											1									1
9	1									1									1		1			
10				1	1						1										1			
11					1										1				1		1			
12			1		1					1									1		1			1
13			1				1												1				1	
14				1										1	1				1					
15				1																	1			
16							1							1	1								1	
17	1														1				1		1			
18															1					1				
19	1				1														1		1			
20										1		1							1					
21					1																		1	
22			1			1						1	1											
23				1								1												
24				1								1		1										
25							1								1						1			
26						1		1		1						1	1							
27												1				1				1	1			
28				1			1																	
29																			1					
30							1		1											1			1	
31	1																		1					
32								1											1				1	1
33	1	1								1											1			
34				1							1													1
35						1									1						1			
36																			1		1			1
37																			1	1				
38					1		1			1														
39									1	1									1					
40		1									1										1			

0-1 Parça-makina giriş matrisi

ATAMA PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ İLE ELDE EDİLEN
MAKİNA HÜCRELERİ ve PARÇA AİLELERİ :

1 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 1 =(21 - 1 - 21)

2 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 2 =(19 - 2 - 19)

3 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 3 =(11 - 3 - 11)

4 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 4 =(14 - 4 - 14)

5 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 5 =(13 - 5 - 9 - 10 - 17 - 20 - 23 - 13)

6 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 6 =(22 - 6 - 8 - 22)

7 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 7 =(24 - 7 - 24)

8 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 8 =(18 - 12 - 18)

9 .MAKİNA HÜCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ

MK- 9 =(16 - 15 - 16)

1 .PARÇA AİLESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 1 =(9 - 33 -)

2 .PARÇA AİLESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 2 =(13 - 14 - 40 -)

3 .PARÇA AİLSESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 3 =(15 - 23 -)

4 .PARÇA AİLSESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 4 =(8 - 11 -)

5 .PARÇA AİLSESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 5 =(3 - 6 - 12 - 17 - 20 - 21 - 29 - 31 - 35 -)

6 .PARÇA AİLSESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 6 =(7 - 10 - 16 - 30 - 38 -)

7 .PARÇA AİLSESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 7 =(2 - 25 - 28 - 32 - 34 -)

8 .PARÇA AİLSESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 8 =(4 - 18 - 22 - 24 - 27 -)

9 .PARÇA AİLSESİNDEKİ PARÇALARIN LİSTESİ

PK- 9 =(1 - 5 - 19 - 26 - 36 - 37 - 39 -)

DIYAGONAL BLOĞUN OLUŞTURULMASI

P\M 0 2 0 1 0 1 0 1 0 0 1 1 1 2 2 0 0 2 0 2 1 1 1 1
1 1 2 9 3 1 4 4 5 9 0 3 7 0 3 6 8 2 7 4 2 8 5 6

9	1	1	1							1													
33	1	1	1						1														
13			1	1									1			1							
14			1	1				1														1	
40			1	1					1														
15				1	1								1										
23				1	1																		
8					1	1											1						
11					1	1							1								1		
3		1				1					1			1									
6							1	1	1														
12				1			1	1		1		1	1										
17	1									1	1												
20									1		1									1			
21					1								1										
29											1												
31	1										1	1											
35			1				1			1													
7											1				1								
10		1			1			1					1										
16						1				1				1	1								
30													1	1	1					1			
38					1								1	1									
2											1					1	1						
25						1					1						1						
28					1												1						
32													1				1	1				1	
34				1										1			1						
4														1				1	1				
18																		1	1				
22			1		1			1										1					
24				1					1									1					
27					1													1	1	1			
1		1														1				1			
5						1								1					1	1			
19	1									1			1		1						1		
26							1						1	1						1	1		
36			1									1									1		
37																					1	1	
39								1							1							1	

TOPLU SONUÇLAR

GRUP NO	MAKİNALAR	PARÇALAR
1	1 21	9 33
2	2 19	13 14 40
3	3 11	15 23
4	4 14	8 11
5	5 9 10 13 17 20 23	3 6 12 17 20 21 29 31 35
6	6 8 22	7 10 16 30 38
7	7 24	2 25 28 32 34
8	12 18	4 18 22 24 27
9	15 16	1 5 19 26 36 37 39

ETKİNLİK ANALİZİ

PARÇA SAYISI.....	= 40
MAKİNA SAYISI.....	= 24
DİYAGONAL BLOK SAYISI.....	= 9
DİYAGONALLERDEKİ 1'lerin SAYISI.....	= 71
DİYAGONALLER DISINDAKİ 1'lerin SAYISI.....	= 60
DİYAGONALLERDEKİ BOŞLUKLARIN SAYISI.....	= 59
*** q=0.10.....	ETKİNLİK=% 88.96 ***
*** q=0.20.....	ETKİNLİK=% 85.14 ***
*** q=0.30.....	ETKİNLİK=% 81.32 ***
*** q=0.40.....	ETKİNLİK=% 77.51 ***
*** q=0.50.....	ETKİNLİK=% 73.69 ***
*** q=0.60.....	ETKİNLİK=% 69.88 ***
*** q=0.70.....	ETKİNLİK=% 66.06 ***
*** q=0.80.....	ETKİNLİK=% 62.25 ***
*** q=0.90.....	ETKİNLİK=% 58.43 ***

9 .Makina Hücresinin 6 .Makina Hücresi
ile Birleştirilmesinin Sonucu Aşağıdadır:

DIYAGONAL BLOĞUN OLUŞTURULMASI

P\M 0 2 0 1 0 1 0 1 0 0 1 1 1 2 2 0 2 1 1 0 0 1 1 2
1 1 2 9 3 1 4 4 5 9 0 3 7 0 3 7 4 2 8 6 8 5 6 2

9	1	1	1							1													
33	1	1	1						1														
13			1	1									1	1									
14			1	1				1													1		
40			1	1					1														
15					1	1							1										
23					1	1																	
8							1	1							1								
11							1	1					1				1						
3		1				1					1			1									
6								1	1	1													
12				1				1	1		1		1	1									
17	1										1	1	1										
20										1		1					1						
21						1									1								
29												1											
31	1											1	1										
35			1					1			1												
2												1		1	1								
25							1					1			1								
28						1								1									
32														1	1	1						1	
34				1											1								
4																1	1			1			
18																1	1						
22			1			1			1							1							
24				1						1						1							
27				1												1	1				1		
1		1																		1		1	
5								1									1		1	1			
7											1											1	
10		1				1		1									1						
16							1				1							1				1	
19	1											1						1			1		
26									1									1	1	1	1		
30																	1	1	1			1	
36				1										1								1	
37																					1	1	
38						1												1	1				
39									1											1		1	

T O P L U S O N U Ç L A R

GRUP NO	MAKİNALAR	PARÇALAR
1	1 21	9 33
2	2 19	13 14 40
3	3 11	15 23
4	4 14	8 11
5	5 9 10 13 17 20 23	3 6 12 17 20 21 29 31 35
6	7 24	2 25 28 32 34
7	12 18	4 18 22 24 27
8	6 8 15 16 22	1 5 7 10 16 19 26 30 36 37 38 39

E T K İ N L İ K A N A L İ Z İ

PARÇA SAYISI.....= 40
MAKİNA SAYISI.....= 24
DİYAGONAL BLOK SAYISI.....= 8
DİYAGONALLERDEKİ 1'lerin SAYISI.....= 77
DİYAGONALLER DISINDAKİ 1'lerin SAYISI= 54
DİYAGONALLERDEKİ BOŞLUKLARIN SAYISI..= 84
*** q=0.10.....ETKİNLİK=% 88.70 ***
*** q=0.20.....ETKİNLİK=% 84.16 ***
*** q=0.30.....ETKİNLİK=% 79.62 ***
*** q=0.40.....ETKİNLİK=% 75.08 ***
*** q=0.50.....ETKİNLİK=% 70.53 ***
*** q=0.60.....ETKİNLİK=% 65.99 ***
*** q=0.70.....ETKİNLİK=% 61.45 ***
*** q=0.80.....ETKİNLİK=% 56.91 ***
*** q=0.90.....ETKİNLİK=% 52.37 ***

T O P L U S O N U Ç L A R

GRUP NO	MAKİNALAR	PARÇALAR
1	1 21	9 33
2	2 19	13 14 40
3	3 11	15 23
4	4 14	8 11
5	7 24	2 25 28 32 34
6	12 18	4 18 22 24 27
7	5 6 8 9 10 13 15	1 3 5 6 7 10 12 16 17 19
	16 17 20 22 23	20 21 26 29 30 31 35 36 37
		38 39

E T K İ N L İ K A N A L İ Z İ

PARÇA SAYISI.....= 40
MAKİNA SAYISI.....= 24
DİYAGONAL BLOK SAYISI.....= 7
DİYAGONALLERDEKİ 1'lerin SAYISI.....= 85
DİYAGONALLER DISINDAKİ 1'lerin SAYISI= 46
DİYAGONALLERDEKİ BOŞLUKLARIN SAYISI..= 205
*** q=0.10.....ETKİNLİK=% 86.75 ***
*** q=0.20.....ETKİNLİK=% 80.37 ***
*** q=0.30.....ETKİNLİK=% 73.99 ***
*** q=0.40.....ETKİNLİK=% 67.60 ***
*** q=0.50.....ETKİNLİK=% 61.22 ***
*** q=0.60.....ETKİNLİK=% 54.84 ***
*** q=0.70.....ETKİNLİK=% 48.46 ***
*** q=0.80.....ETKİNLİK=% 42.08 ***
*** q=0.90.....ETKİNLİK=% 35.69 ***

T O P L U S O N U Ç L A R

GRUP NO	MAKİNALAR	PARÇALAR
1	2 19	13 14 40
2	3 11	15 23
3	4 14	8 11
4	7 24	2 25 28 32 34
5	12 18	4 18 22 24 27
6	1 5 6 8 9 10 13 15	1 3 5 6 7 9 10 12 16 17 19 20
	16 17 20 21 22 23	21 26 29 30 31 33 35 36 37 38
		39

E T K İ N L İ K A N A L İ Z İ

PARÇA SAYISI.....= 40
MAKİNA SAYISI.....= 24
DİYAGONAL BLOK SAYISI.....= 6
DİYAGONALLERDEKİ 1'lerin SAYISI.....= 93
DİYAGONALLER DISINDAKİ 1'lerin SAYISI= 38
DİYAGONALLERDEKİ BOŞLUKLARIN SAYISI..= 263
*** q=0.10.....ETKİNLİK=% 86.95 ***
*** q=0.20.....ETKİNLİK=% 80.19 ***
*** q=0.30.....ETKİNLİK=% 73.43 ***
*** q=0.40.....ETKİNLİK=% 66.67 ***
*** q=0.50.....ETKİNLİK=% 59.92 ***
*** q=0.60.....ETKİNLİK=% 53.16 ***
*** q=0.70.....ETKİNLİK=% 46.40 ***
*** q=0.80.....ETKİNLİK=% 39.64 ***
*** q=0.90.....ETKİNLİK=% 32.88 ***

6 .Makina Hücresinin 1 .Makina Hücresi
ile Birleştirilmesinin Sonucu Aşağıdadır:

DİYAGONAL BLOĞUN OLUŞTURULMASI

P\M 0 1 0 1 0 2 1 1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2
3 1 4 4 7 4 2 8 1 2 5 6 8 9 0 3 5 6 7 9 0 1 2 3

15	1	1																					1
23	1	1																					
8			1	1		1																	
11			1	1			1															1	
2					1	1																1	
25				1	1																	1	
28			1		1																		
32					1	1										1							1
34	1					1						1											
4							1	1				1											
18							1	1															
22		1					1			1	1												
24	1						1					1											
27							1	1						1			1						
1														1						1	1		
3		1												1						1		1	
5							1			1		1			1								
6										1			1	1									
7																1					1		
9							1					1					1			1			
10		1								1	1								1				
12	1									1			1		1				1			1	
13				1						1								1				1	
14					1					1						1			1				
16					1							1			1						1		
17							1					1				1							
19							1			1					1			1					
20						1						1				1							
21		1																				1	
26										1	1		1		1	1							
29																	1						
30						1				1	1											1	
31							1										1		1				
33							1	1				1								1			
35								1						1				1					
36																1		1				1	
37															1	1							
38		1								1	1												
39										1	1					1							
40								1				1						1					

T O P L U S O N U Ç L A R

GRUP NO	MAKİNALAR	PARÇALAR
1	3 11	15 23
2	4 14	8 11
3	7 24	2 25 28 32 34
4	12 18	4 18 22 24 27
5	1 2 5 6 8 9 10	1 3 5 6 7 9 10 12 13 14 16
	13 15 16 17 19	17 19 20 21 26 29 30 31 33
	20 21 22 23	35 36 37 38 39 40

E T K İ N L İ K A N A L İ Z İ

PARÇA SAYISI.....= 40
MAKİNA SAYISI.....= 24
DİYAGONAL BLOK SAYISI.....= 5
DİYAGONALLERDEKİ 1'lerin SAYISI.....= 100
DİYAGONALLER DISINDAKİ 1'lerin SAYISI= 31
DİYAGONALLERDEKİ BOŞLUKLARIN SAYISI..= 344
*** q=0.10.....ETKİNLİK=% 86.85 ***
*** q=0.20.....ETKİNLİK=% 79.70 ***
*** q=0.30.....ETKİNLİK=% 72.55 ***
*** q=0.40.....ETKİNLİK=% 65.40 ***
*** q=0.50.....ETKİNLİK=% 58.26 ***
*** q=0.60.....ETKİNLİK=% 51.11 ***
*** q=0.70.....ETKİNLİK=% 43.96 ***
*** q=0.80.....ETKİNLİK=% 36.82 ***
*** q=0.90.....ETKİNLİK=% 29.67 ***

4.3. PROGRAM DOKUMU

```

10 CLS
20 'PROGRAMDAKI DIZILER ve HARFLERIN ANLAMI
30 'P=FEL PARCA SAYISI
40 'M=MAKINA SAYISI
50 'SO=MATRISTEKI YATAY CIZGININ UZUNLUGU
60 'NA=MAKINA HUCRELERININ SAYISI
70 'DU=PARCCA AILELERININ SAYISI
80 'A(I,J),AK(I,J)=P\M,M\P'YE GIRIS MATRISI DIZILERI
90 'S(I,J)=BENZERLIK KATSAYILARI DIZISI
100 'P(J,I)=ATAMA YONTEMINDEKI
110 'MAKINA ATAMA DEGERLERI
120 'X(Y),K(Y)=ATANMIS MAKINALARIN DIZILERI
130 'G(V)=ATANMIS MAKINALARIN ATANMA SIRASINA
140 'GORE SIRALAMA DIZISI
150 'L(V)=ATANMIS MAKINALARIN ATAMA SIRASINA
160 'GORE KUCUKTEN BUYUGE DOGRU SIRALANMIS
170 'MAKINALAR DIZISI
180 'SL(D,Y)=ATANMIS PARCALARIN DIZISI
190 'SEL(L)=KUCUKTEN BUYUGE DOGRU SIRALANMIS
200 'PARCALRIN DIZISI
210 'MK1%(I),MK2%(I),MK3%(I),MK4%(I)=MATRISLERDE ONDAN
220 'BUYUK SAYILARI UST USTE YAZDIRMAYI SAGLAYAN DIZILER.
230 LOCATE 5,15
240 PRINT STRING$(47,205)
250 LOCATE 7,14
260 PRINT "    BU PROGRAM KIMYA MUHENDISI ve ENDUSTRI
270 LOCATE 8,14
280 PRINT "    MUHENDISLIGINDE YUKSEK YAPAN IRFAN AKKUS
290 LOCATE 9,14
300 PRINT "    TARAFINDAN YUKSEK LISANS PROGRAMININ BIR
310 LOCATE 10,14
320 PRINT "    ALT CALISMASI OLARAK YAZILMISTIR.
330 LOCATE 11,14
340 PRINT "    BU PROGRAM GRUP TEKNOLOJISINDE ATAMA
350 LOCATE 12,14
360 PRINT "    YONTEMINE GORE MAKINA ve PARCALARIN
370 LOCATE 13,14
380 PRINT "    KUMELENDIRILMESINI YAPMAKTADIR.
390 LOCATE 14,15
400 PRINT STRING$(47,205)
410 LOCATE 5,14:PRINT CHR$(201)
420 LOCATE 5,61:PRINT CHR$(187)
430 LOCATE 14,14:PRINT CHR$(200)
440 LOCATE 14,61:PRINT CHR$(188)
450 FOR I=1 TO 8
460 LOCATE I+5,14:PRINT CHR$(186)
470 NEXT I
480 FOR I=1 TO 8
490 LOCATE I+5,61:PRINT CHR$(186)
500 NEXT I
510 COLOR 0,7:LOCATE 22,14
520 INPUT "Devam etmek icin enter tusuna basin",T
530 COLOR 7,0
540 DIM A(40,40),S(40,40),P(40,40),B(40,40)
550 DIM X(60),K(60),G(60),SEL(60),AK(40,40)
560 DIM SL(40,40),YP(50),YK(50),L(50)
570 DIM MK1%(50),MK2%(50),EH(15),PE(15)

```

```
580 DIM MK3%(40),MK4%(40),D(15),F(15)
590 CLS
600 LOCATE 10,15:PRINT STRING$(47,205)
610 LOCATE 12,18
620 PRINT "MATRISLERDE SATIRLAR MI MAKINA VEKTORLERI"
630 LOCATE 15,15:PRINT STRING$(47,205)
640 LOCATE 10,14:PRINT CHR$(201)
650 LOCATE 10,61:PRINT CHR$(187)
660 LOCATE 15,14:PRINT CHR$(200)
670 LOCATE 15,61:PRINT CHR$(188)
680 FOR I=1 TO 4
690 LOCATE 10+I,14:PRINT CHR$(186)
700 NEXT I
710 FOR I=1 TO 4
720 LOCATE 10+I,61:PRINT CHR$(186)
730 NEXT I
740 LOCATE 13,18:
750 INPUT "OLSUN, YOKSA SUTUNLAR MI (SA/SU)?",B$
760 CLS
770 LOCATE 5,15:PRINT STRING$(49,205)
780 LOCATE 7,14
790 PRINT "YENI PROBLEM MI GIRECEKSINIZ, YOKSA KAYITLI
800 LOCATE 9,14
810 PRINT "PROBLEMLERİ MI GORMEK İSTERSİNİZ(YENİ/KAYITLI)
820 LOCATE 13,15
830 PRINT STRING$(49,205)
840 LOCATE 5,14:PRINT CHR$(201)
850 LOCATE 5,64:PRINT CHR$(187)
860 LOCATE 13,14:PRINT CHR$(200)
870 LOCATE 13,64:PRINT CHR$(188)
880 FOR I=1 TO 7
890 LOCATE 5+I,14
900 PRINT CHR$(186):NEXT I
910 FOR I=1 TO 7
920 LOCATE 5+I,64
930 PRINT CHR$(186):NEXT I
940 LOCATE 12,25:COLOR 0,7:INPUT "SEÇİMİNİZİ GİRİNİZ :",A$
950 COLOR 7,0
960 PRINT
970 IF A$="KAYITLI" OR A$="kayitli" THEN 1390
980 LOCATE 14,19:COLOR 0,7:INPUT "PARÇA SAYINIZI GİRİN =",P
990 LOCATE 15,19:INPUT "MAKİNA SAYINIZI GİRİN=",M:COLOR 7,0
1000 LOCATE ,16:COLOR 0,7
1010 INPUT "YENİ PROBLEMİ HAFİZAYA ALMAK İSTER MİSİN(E/H)";Y$
1020 COLOR 7,0
1030 PRINT
1040 LOCATE 20,14:PRINT STRING$(50,205)
1050 LOCATE 17,14:PRINT STRING$(50,205)
1060 LOCATE 18,17
1070 PRINT "ŞİMDİ Parça\Makina ESASINA GÖRE P*M ADET 0-1"
1080 LOCATE 19,17
1090 PRINT "GİRİŞ MATRİSİNİN DEĞERLERİNİ GİRMENİZ GEREKİR."
1100 LOCATE 20,14:PRINT CHR$(200)
1110 LOCATE 17,14:PRINT CHR$(201)
1120 LOCATE 20,64:PRINT CHR$(188)
1130 LOCATE 17,64:PRINT CHR$(187)
1140 FOR I=1 TO 2
```

```

1150 LOCATE 17+I,14:PRINT CHR$(186)
1160 NEXT I
1170 FOR I=1 TO 2
1180 LOCATE 17+I,64
1190 PRINT CHR$(186)
1200 NEXT I
1210 FOR I=1 TO P
1220 FOR J=1 TO M
1230 INPUT A(I,J)
1240 AK(J,I)=A(I,J)
1250 NEXT J
1260 PRINT I". Parca icin butun degerler girilmistir."
1270 NEXT I
1280 IF Y$="E" OR Y$="e" THEN 1290 ELSE 1590
1290 OPEN "A",#1,"MATRIS.DAT"
1300 INPUT "PROBLEMIN ADI=",PROB$
1310 PRINT #1,PROB$;" ";
1320 PRINT #1,P;" ";M;" ";
1330 FOR I=1 TO P
1340 FOR J=1 TO M
1350 PRINT #1,A(I,J);" ";
1360 NEXT J,I
1370 CLOSE 1
1380 GOTO 1590
1390 OPEN "I",#1,"MATRIS.DAT"
1400 IF EOF(1) THEN 1520
1410 INPUT #1,PROB$,P,M
1420 I=0:J=0
1430 FOR I=1 TO P
1440 FOR J=1 TO M
1450 INPUT #1,A(I,J)
1460 AK(J,I)=A(I,J)
1470 NEXT J,I
1480 IF AD$=PROB$ THEN CLOSE:GOTO 1590
1490 LOCATE ,16
1500 COLOR 0,7:PRINT " "PROB$ " ":COLOR 7,0
1510 GOTO 1400
1520 LOCATE ,16
1530 COLOR 0,7
1540 CLOSE:PRINT " YUKARDAKI PROBLEMLRDEN HANGISINI "
1550 LOCATE ,16
1560 INPUT " ISTIYORSANIZ ADINI YAZIN: ",AD$
1570 COLOR 7,0
1580 GOTO 1390
1590 FEL=P
1600 FOR I=1 TO M
1610 DE=(I/10):LU=INT(DE)
1620 RU=((DE-LU)*10)
1630 MK1%(I)=LU
1640 MK2%(I)=RU
1650 NEXT I
1660 FOR I=1 TO FEL
1670 DE=(I/10):LU=INT(DE)
1680 RU=((DE-LU)*10)
1690 MK3%(I)=LU
1700 MK4%(I)=RU
1710 NEXT I

```

```
1720 CLS:SAY=0:HES=0
1730 IF B$="SU" OR B$="su" THEN 2060
1740 PRINT
1750 PRINT "GIRIS MATRISI DEGERLERININ SIRALANMASI"
1760 PRINT
1770 PRINT "M\P ";
1780 FOR K=1 TO FEL
1790 PRINT STR$(MK3%(K));
1800 NEXT K:PRINT
1810 PRINT TAB(5);
1820 FOR K=1 TO FEL
1830 PRINT STR$(MK4%(K));
1840 NEXT K:PRINT
1850 PRINT TAB(4)CHR$(218);
1860 FOR I=1 TO P*2
1870 PRINT CHR$(196);
1880 NEXT I:PRINT CHR$(191)
1890 FOR I=1 TO M
1900 FOR J=1 TO P
1910 IF J=1 AND I>=10 THEN PRINT STR$(I);CHR$(179);
1920 IF J=1 AND I<10 THEN PRINT STR$(I);" "CHR$(179);
1930 OS=AK(I,J)
1940 IF OS=1 THEN SAY=SAY+1
1950 IF OS=0 THEN PRINT " ";:GOTO 1970
1960 PRINT STR$((OS));
1970 NEXT J:PRINT CHR$(179)
1980 NEXT I
1990 PRINT TAB(4)CHR$(192);
2000 FOR I=1 TO P*2
2010 PRINT CHR$(196);
2020 NEXT I:PRINT CHR$(217)
2030 PRINT
2040 PRINT "0-1 Makina-parca giris matrisi"
2050 GOTO 2360
2060 PRINT "GIRIS MATRISI DEGERLERININ SIRALANMASI"
2070 PRINT
2080 PRINT "P\M ";
2090 FOR K=1 TO M
2100 PRINT STR$(MK1%(K));
2110 NEXT K:PRINT
2120 PRINT TAB(5);
2130 FOR K=1 TO M
2140 PRINT STR$(MK2%(K));
2150 NEXT K:PRINT
2160 PRINT TAB(4)CHR$(218);
2170 FOR I=1 TO M*2
2180 PRINT CHR$(196);
2190 NEXT I:PRINT CHR$(191)
2200 FOR I=1 TO FEL
2210 FOR J=1 TO M
2220 IF J=1 AND I>=10 THEN PRINT STR$(I);CHR$(179);
2230 IF J=1 AND I<10 THEN PRINT STR$(I);" "CHR$(179);
2240 OS=A(I,J)
2250 IF OS=1 THEN SAY=SAY+1
2260 IF OS=0 THEN PRINT " ";:GOTO 2280
2270 PRINT STR$((OS));
2280 NEXT J:PRINT CHR$(179)
```

```
2290 NEXT I
2300 PRINT TAB(4)CHR$(192);
2310 FOR I=1 TO M*2
2320 PRINT CHR$(196);
2330 NEXT I:PRINT CHR$(217)
2340 PRINT
2350 PRINT "0-1 Parca-makina giris matrisi"
2360 CLS:NEY=SAY
2370 PRINT
2380 '*****
2390 '* BENZERLIK KATSAYILARININ TEK TEK HESAPLANMASI *
2400 '*****
2410 LOCATE 10,11:PRINT STRING$(50,205)
2420 LOCATE 12,22:PRINT "LUTFEN BEKLEYIN BENZERLIK"
2430 LOCATE 13,22:PRINT "KATSAYILARI HESAPLANIYOR."
2440 LOCATE 15,11:PRINT STRING$(50,205)
2450 LOCATE 10,10:PRINT CHR$(201):LOCATE 10,61
2460 PRINT CHR$(187):LOCATE 15,10
2470 PRINT CHR$(200):LOCATE 15,61:PRINT CHR$(188)
2480 FOR I=1 TO 4:LOCATE 10+I,10:PRINT CHR$(186)
2490 NEXT I
2500 FOR I=1 TO 4
2510 LOCATE 10+I,61:PRINT CHR$(186)
2520 NEXT I
2530 PRINT
2540 FOR I=1 TO M
2550 FOR J=1 TO M
2560 S(I,J)=0
2570 FOR K=1 TO P
2580 IF I=J THEN 2600
2590 IF A(K,I)=A(K,J) THEN S(I,J)=S(I,J)+1
2600 NEXT K,J,I
2610 PRINT "BENZERLIK KATSAYILARI MATRISINI"
2620 INPUT "BASTIRMAK ISTIYOR MUSUNUZ(E/H)?",H$
2630 IF H$="E" OR H$="e" THEN 2640 ELSE 3130
2640 IF M>14 OR FEL>25 THEN 2950
2650 PRINT :CLS
2660 PRINT "BENZERLIK KATSAYILARININ SIRALANMASI"
2670 SO=5*M+6
2680 FOR I=1 TO SO
2690 PRINT CHR$(196);
2700 NEXT I:PRINT
2710 PRINT CHR$(179);
2720 PRINT " M\M";
2730 PRINT CHR$(179);
2740 FOR I=1 TO M
2750 IF I>=10 THEN PRINT I;CHR$(179);: GOTO 2770
2760 PRINT I;" "CHR$(179);
2770 NEXT I:PRINT
2780 FOR J=1 TO SO
2790 PRINT CHR$(196);
2800 NEXT J:PRINT
2810 FOR I=1 TO M
2820 PRINT CHR$(179);
2830 FOR J=1 TO M
2840 IF J=1 AND I>=10 THEN PRINT I;CHR$(179);
2850 IF J=1 AND I<=9 THEN PRINT I;" "CHR$(179);
```

```
2860 OS=S(I,J)
2870 IF OS>=10 THEN PRINT OS;CHR$(179);:GOTO 2890
2880 PRINT OS;" "CHR$(179);
2890 NEXT J:PRINT
2900 FOR K=1 TO SO
2910 PRINT CHR$(196);
2920 NEXT K:PRINT
2930 NEXT I
2940 GOTO 3110
2950 PRINT
2960 PRINT "BENZERLIK KATSAYILARININ SIRALANMASI"
2970 PRINT "M/M ";
2980 FOR K=1 TO M
2990 IF K>=10 THEN PRINT K;:GOTO 3010
3000 PRINT K;" ";
3010 NEXT K:PRINT
3020 FOR I=1 TO M
3030 FOR J=1 TO M
3040 IF J=1 AND I>=10 THEN PRINT I;" ";
3050 IF J=1 AND I<10 THEN PRINT I;" ";
3060 OS=S(I,J)
3070 IF OS>=10 THEN PRINT OS;:GOTO 3090
3080 PRINT OS;" ";
3090 NEXT J:PRINT
3100 NEXT I
3110 PRINT "Makina-makina benzerlik"
3120 PRINT "katsayilari matrisi"
3130 PRINT
3140 PRINT " ATAMA PROBLEMİNİN DAL-SINIR "
3150 PRINT " ALGORİTMA Sİ İLE ÇÖZÜLMESİ "
3160 PRINT STRING$(32,196)
3170 I=0
3180 I=I+1:BUYUK=0:E=0
3190 FOR J=1 TO M
3200 IF J=I THEN 3360
3210 FOR N=1 TO M
3220 IF X(N)=J THEN 3360
3230 NEXT N
3240 L=1 :TOP=0
3250 FOR K=1 TO M
3260 IF L=I THEN L=L+1
3270 IF K=J THEN 3300
3280 IF EB>S(K,L) THEN 3300
3290 EB=S(K,L)
3300 NEXT K
3310 TOP=TOP+EB
3320 EB=0
3330 IF L<M THEN L=L+1 :GOTO 3250
3340 P(J,I)=S(J,I)+P(J,I)+TOP
3350 PRINT "P(";J;I;")=";P(J,I)
3360 NEXT J
3370 Y=Y+1
3380 FOR Z=1 TO M
3390 IF Y=Z THEN 3420
3400 IF BUYUK>P(Z,Y) THEN 3420
3410 BUYUK=P(Z,Y):F=Z:X(Y)=Z:E=Y:K(Y)=E
3420 NEXT Z
```

```
3430 PRINT X(Y)".MAKINA";K(Y)".MAKINAYA ATANDI."
3440 PRINT
3450 FOR D=1 TO M
3460 FOR N=1 TO M
3470 IF D=F OR N=E THEN S(D,N)=0
3480 NEXT N,D
3490 IF I<M THEN GOTO 3180
3500 PRINT " ATAMA PROBLEMİNİN COZUMU İLE ELDE EDİLEN
3510 PRINT " MAKİNA HUCRELERİ ve PARÇA AİLELERİ
3520 PRINT STRING$(43,196)
3530 V=1:P=1:NA=1:SAYAC=0
3540 PRINT NA".MAKİNA HUCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ"
3550 PRINT
3560 PRINT "MK-";NA;"=(";
3570 SAYAC=SAYAC+1
3580 G(V)=X(P);L(V)=X(P)
3590 V=V+1;G(V)=K(P);L(V)=K(P)
3600 PRINT X(P);"-";K(P);
3610 X(P)=0
3620 W=1
3630 FOR I=1 TO M
3640 IF K(P)<>X(I) THEN 3700
3650 PRINT "-";K(I);
3660 V=V+1;G(V)=K(I);L(V)=K(I)
3670 X(I)=0:P=I:I=1
3680 W=W+1
3690 IF W=M THEN 3890
3700 NEXT I
3710 FOR Z=1 TO V-1
3720 FOR S=1 TO V-1
3730 IF S<=Z THEN 3760
3740 IF L(Z)<L(S) THEN 3760
3750 SWAP L(Z),L(S)
3760 NEXT S
3770 NEXT Z
3780 FOR J=1 TO FEL
3790 FOR I=1 TO V-1
3800 Z=L(I)
3810 IF A(J,Z)=0 THEN 3830
3820 TOP=TOP+1
3830 NEXT I
3840 B(J,NA)=TOP
3850 TOP=0:IR=0
3860 NEXT J
3870 PRINT ")"
3880 L(V)=0:PI=V+1
3890 NA=NA+1
3900 PRINT
3910 PRINT NA".MAKİNA HUCRESİNDEKİ MAKİNALARIN LİSTESİ"
3920 PRINT
3930 PRINT "MK-";NA;"=(";
3940 SAYAC=SAYAC+1
3950 V=V+1
3960 FOR J=1 TO M
3970 IF X(J)=0 THEN 4010
3980 PRINT X(J);"-";K(J);
3990 G(V)=X(J);L(V)=X(J);V=V+1;G(V)=K(J);L(V)=K(J)
```

```

4000 X(J)=0:GOTO 4030
4010 NEXT J
4020 PRINT ")"
4030 SE=1
4040 FOR K=1 TO M
4050 IF K(J)<>X(K) THEN 4110
4060 PRINT "-";K(K);
4070 V=V+1:G(V)=K(K):L(V)=K(K)
4080 X(K)=0:J=K:K=1
4090 SE=SE+1
4100 IF SE=M THEN 4420
4110 NEXT K
4120 FOR I=PI TO V-1
4130 FOR J=PI TO V-1
4140 IF J<=I THEN 4170
4150 IF L(I)<L(J) THEN 4170
4160 SWAP L(I),L(J)
4170 NEXT J
4180 NEXT I
4190 FOR I=1 TO FEL
4200 FOR J=PI TO V-1
4210 Z=L(J)
4220 IF A(I,Z)=0 THEN 4240
4230 TOP=TOP+1
4240 NEXT J
4250 B(I,NA)=TOP
4260 TOP=0
4270 NEXT I
4280 L(V)=0:PI=V+1
4290 PRINT")"
4300 PRINT
4310 SON=V-SAYAC
4320 IF SON<M THEN 3890
4330 REM MAKINALARIN YENIDEN DUZENLENMESI
4340 FOR I=1 TO V
4350 IF L(I)=0 THEN IR=IR+1:EH(IR)=LE:GOTO 4380
4360 LE=LE+1
4370 L(LE)=L(I)
4380 NEXT I
4390 PRINT
4400 PRINT "KUMELNMIS MAKINALARIN YENIDEN SIRALANMASI"
4410 PRINT
4420 FOR D=1 TO V-NA
4430 IF D=V-NA THEN 4450
4440 PRINT L(D);"-";:GOTO 4460
4450 PRINT L(D)
4460 NEXT D
4470 PRINT
4480 FOR C=1 TO FEL
4490 FOR AN=1 TO NA
4500 IF BSAYI>B(C,AN) THEN 4520
4510 BSAYI=B(C,AN):FI=C:EI=AN :GOTO 4530
4520 IF AN=NA AND BSAYI=B(C,AN) THEN BSAYI=B(C,AN)
4530 NEXT AN
4540 BSAYI=0
4550 IF FI<10 THEN 4570
4560 PRINT FI".PARCA";EI".MAKINA AILESINDEDIR":GOTO 4580

```

```
4570 PRINT FI".PARCA";EI".MAKINA AILESINDEDIR"
4580 YP(C)=FI:YK(C)=EI
4590 NEXT C:KA=0
4600 DU=DU+1
4610 PRINT
4620 PRINT DU".PARCA AILSESINDEKI PARCALARIN LISTESI"
4630 PRINT
4640 PRINT "PK-";DU;"=( ";
4650 FOR I=1 TO FEL
4660 IF YK(I)<>DU THEN 4700
4670 YEK=YEK+1
4680 SL(DU,YEK)=I
4690 PRINT SL(DU,YEK)"-";
4700 NEXT I
4710 PRINT ")"
4720 PRINT
4730 IF DU< NA THEN 4600
4740 LE=0:FE=1
4750 FOR I=1 TO NA
4760 FOR J=1 TO FEL
4770 IF SL(I,J)=0 THEN 4800
4780 LE=LE+1
4790 SEL(LE)=SL(I,J)
4800 NEXT J
4810 KA=KA+1:PE(KA)=LE
4820 FOR K=FE TO LE
4830 FOR Y=FE TO LE
4840 IF Y<=K THEN 4870
4850 IF SEL(K)<SEL(Y) THEN 4870
4860 SWAP SEL(K),SEL(Y)
4870 NEXT Y
4880 NEXT K
4890 FE=LE+1
4900 NEXT I
4910 FOR I=1 TO FEL
4920 DE=SEL(I)/10
4930 LU=INT(DE)
4940 RU=(DE-LU)*10
4950 MK3%(I)=LU
4960 MK4%(I)=RU:NEXT I
4970 FOR I=1 TO M
4980 DE=L(I)/10
4990 LU=INT(DE)
5000 RU=(DE-LU)*10
5010 MK1%(I)=LU
5020 MK2%(I)=RU:NEXT I
5030 *****
5040 *** R A P O R L A M A ***
5050 *****
5060 IF B$="SU" OR B$="su" THEN 5360
5070 PRINT
5080 PRINT "DiYAGONAL BLOĞUN OLUŞTURULMASI"
5090 PRINT
5100 PRINT "M\ P ";
5110 FOR K=1 TO FEL
5120 PRINT STR$(MK3%(K));
5130 NEXT K:PRINT
```

```

5140 PRINT TAB(5);
5150 FOR K=1 TO FEL
5160 PRINT STR$(MK4%(K));
5170 NEXT K:PRINT
5180 PRINT TAB(4)CHR$(218);
5190 FOR I=1 TO FEL*2
5200 PRINT CHR$(196);
5210 NEXT I:PRINT CHR$(191)
5220 FOR I=1 TO M
5230 FOR J=1 TO FEL
5240 IF J=1 AND L(I)>=10 THEN PRINT STR$(L(I));CHR$(179);
5250 IF J=1 AND L(I)<10 THEN PRINT STR$(L(I));" "CHR$(179);
5260 F=SEL(J):D=L(I):OS=AK(D,F)
5270 IF OS=0 THEN PRINT " "":GOTO 5290
5280 PRINT STR$((OS));
5290 NEXT J:PRINT CHR$(179)
5300 NEXT I
5310 PRINT TAB(4)CHR$(192);
5320 FOR I=1 TO FEL*2
5330 PRINT CHR$(196);
5340 NEXT I:PRINT CHR$(217)
5350 GOTO 5650
5360 PRINT
5370 PRINT "DIYAGONAL BLOĞUN OLUŞTURULMASI"
5380 PRINT
5390 PRINT "P\M ";
5400 FOR K=1 TO M
5410 PRINT STR$(MK1%(K));
5420 NEXT K:PRINT
5430 PRINT TAB(5);
5440 FOR K=1 TO M
5450 PRINT STR$(MK2%(K));
5460 NEXT K:PRINT
5470 PRINT TAB(4)CHR$(218);
5480 FOR I=1 TO M*2
5490 PRINT CHR$(196);
5500 NEXT I:PRINT CHR$(191)
5510 FOR I=1 TO FEL
5520 FOR J=1 TO M
5530 IF J=1 AND SEL(I)>=10 THEN PRINT STR$(SEL(I));CHR$(179);
5540 IF J=1 AND SEL(I)<10 THEN PRINT STR$(SEL(I));" "CHR$(179);
5550 D=SEL(I):F=L(J):OS=A(D,F)
5560 IF OS=1 THEN SAY=SAY+1
5570 IF OS=0 THEN PRINT " "":GOTO 5590
5580 PRINT STR$((OS));
5590 NEXT J:PRINT CHR$(179)
5600 NEXT I
5610 PRINT TAB(4)CHR$(192);
5620 FOR I=1 TO M*2
5630 PRINT CHR$(196);
5640 NEXT I:PRINT CHR$(217)
5650 PRINT
5660 PRINT TAB(12)"T O P L U S O N U C L A R"
5670 PRINT
5680 BK=0:IS=1:IY=1:FR=0:R=0
5690 PRINT TAB(3)"GRUP NO    MAKINALAR    PARCALAR"
5700 PRINT TAB(2);:PRINT STRING$(50,196)

```

```
5710 BK=BK+1
5720 PRINT TAB(5);
5730 IF BK>=10 THEN PRINT BK;" ";:GOTO 5750
5740 PRINT BK;" ";
5750 FOR I=IS TO EH(BK)
5760 PRINT STR$(L(I));
5770 R=R+1
5780 IF L(I)>=10 THEN FR=FR+1
5790 NEXT I:GE=10-(R+FR)
5800 FOR I=1 TO FR
5810 PRINT " ";
5820 NEXT I
5830 FOR I=1 TO GE
5840 PRINT " ";
5850 NEXT I
5860 FOR J=IY TO PE(BK)
5870 PRINT STR$(SEL(J));
5880 NEXT J:PRINT
5890 IS=EH(BK)+1:IY=PE(BK)+1:R=0:FR=0
5900 IF BK<NA THEN 5710
5910 PRINT TAB(2);:PRINT STRING$(50,196)
5920 '*****
5930 '** ETKINLIK HESABI **
5940 '*****
5950 'NEY=SAY:GIRIS MATRISINDEKI TOPLAM 1'lerin TOPLAM
5960 'SAYISI ;CE=SAY-HES :DIYAGONAL BLOK DISINDAKI
5970 ' 1'lerin TOPLAM SAYISI;BOS:COZUMDEKI
5980 'BOSLUKLARIN SAYISINI GOSTERIR.
5990 'HES:DIYAGONALLERDEKI 1'lerin SAYISI
6000 'q:AGIRLIK FAKTORU
6010 PE(0)=0:EH(0)=0
6020 S=0:T=0:AD=S*T:HES=0:BOS=0
6030 IS=1:IY=1:KK=0
6040 KK=KK+1
6050 FOR I=IS TO PE(KK)
6060 FOR J=IY TO EH(KK)
6070 D=SEL(I):F=L(J)
6080 OS=A(D,F)
6090 IF OS=1 THEN HES=HES+1
6100 IF OS=0 THEN BOS=BOS+1
6110 NEXT J,I
6120 EF=(PE(KK)-PE(KK-1))*(EH(KK)-EH(KK-1))
6130 AD=AD+EF
6140 IF KK=NA THEN 6170
6150 IS=PE(KK)+1:IY=EH(KK)+1
6160 GOTO 6040
6170 E1=HES/AD
6180 E2=1-((NEY-HES)/(M*FEL-AD))
6190 PRINT :CE=NEY-HES
6200 PRINT TAB(10)"E T K I N L I K   A N A L I Z I"
6210 PRINT STRING$(50,196)
6220 PRINT "PARCA SAYISI.....=";FEL
6230 PRINT "MAKINA SAYISI.....=";M
6240 PRINT "DIYAGONAL BLOK SAYISI.....=";NA
6250 PRINT "DIYAGONALLERDEKI 1'lerin SAYISI.....=";HES
6260 PRINT "DIYAGONALLER DISINDAKI 1'lerin SAYISI=";CE
6270 PRINT "DIYAGONALLERDEKI BOSLUKLARIN SAYISI...=";BOS
```

```
6280 F1$="###.##":F2$="#.##"
6290 FOR Q=.1 TO 1 STEP .1
6300 E=(Q*E1+(1-Q)*E2)*100
6310 PRINT "*** q=";
6320 PRINT USING F2$;Q;
6330 PRINT ".....ETKINLIK=%";
6340 PRINT USING F1$;E;
6350 PRINT " ***"
6360 NEXT Q
6370 PRINT STRING$(50,196)
6390 COLOR 0,7
6400 LOCATE ,14
6410 PRINT " ARALAINDA AKIS OLAN HUCRELERI      "
6420 LOCATE ,14
6430 PRINT " BIRLESTIRMEK SURETIYLE DAHA      "
6440 LOCATE ,14
6450 INPUT " AZ SAYIDA HUCRE ISTERMISINIZ(E/H)";I$
6460 COLOR 7,0
6470 IF I$="E" OR I$="e" THEN 6480 ELSE 7620
6480 FOR I=1 TO FEL
6490 FOR J=1 TO M
6500 SL(I,J)=0:SL(J,I)=0
6510 NEXT J,I
6520 FOR I=1 TO FEL
6530 YP(I)=0:YK(I)=0:X(I)=0:K(I)=0
6540 G(I)=0:NEXT I
6550 CLS
6560 COLOR 0,7:LOCATE 11,14
6570 PRINT " LUTFEN BEKLEYIN ISTEGINIZ "
6580 LOCATE 12,14
6590 PRINT " ICRA EDILMEKTEDIR.          "
6600 COLOR 7,0
6610 IS=1:IY=1:K=0:LI=0
6620 L=1:U=0:S=0:EL=0:KY=0
6630 K=K+1:TOP=0:EB=0
6640 FOR I=IS TO PE(K)
6650 FOR J=IY TO EH(L)
6660 D=SEL(I):F=L(J)
6670 OS=A(D,F)
6680 IF OS=1 THEN TOP=TOP+1
6690 NEXT J,I
6700 SL(K,L)=TOP:TOP=0
6710 IY=EH(L)+1:L=L+1
6720 IF L<NA THEN IS=KY:GOTO 6640
6730 IS=PE(K)+1:S=S+1:L=1:IY=1:KY=PE(K)+1
6740 IF K<NA THEN 6630
6750 FOR I=1 TO NA
6760 FOR J=1 TO NA
6770 IF I=J THEN 6800
6780 IF EB>SL(I,J) THEN 6800
6790 EB=SL(I,J):N=I:R=J
6800 NEXT J,I
6810 IF EB=0 THEN 7530
6820 PRINT
6830 PRINT N".Makina Hucresi";R".Makina"
6840 PRINT "Hucresi Ile Birlestirildi"
```

```
6850 PRINT
6860 PRINT "LUTFEN BEKLEMEYE DEVAM EDIN"
6870 IS=1:IY=1:EL=0:I=0
6880 I=I+1
6890 IF I=N THEN 6970
6900 IF I=R THEN IS=PE(R)+1:GOTO 7130
6910 FOR J=IS TO PE(I)
6920 U=U+1:YP(U)=SEL(J)
6930 NEXT J
6940 IS=PE(I)+1
6950 EL=EL+1:D(EL)=U
6960 IF I<NA THEN 6880 ELSE 7140
6970 IL=PE(N-1)+1:IR=PE(R-1)+1
6980 IK=U+1
6990 FOR Q=IL TO PE(N)
7000 U=U+1:YP(U)=SEL(Q)
7010 NEXT Q
7020 FOR Q=IR TO PE(R)
7030 U=U+1:YP(U)=SEL(Q)
7040 NEXT Q
7050 EL=EL+1:D(EL)=U
7060 IS=PE(N)+1
7070 FOR Q=IK TO U
7080 FOR Z=IK TO U
7090 IF Z<=Q THEN 7120
7100 IF YP(Q)<YP(Z) THEN 7120
7110 SWAP YP(Q),YP(Z)
7120 NEXT Z,Q
7130 IF I<NA THEN 6880
7140 EL=0:I=0:IK=0
7150 I=I+1
7160 IF I=N THEN 7240
7170 IF I=R THEN IY=EH(R)+1:GOTO 7400
7180 FOR J=IY TO EH(I)
7190 LI=LI+1:X(LI)=L(J)
7200 NEXT J
7210 IY=EH(I)+1
7220 EL=EL+1:F(EL)=LI
7230 IF I<NA THEN 7150 ELSE 7410
7240 IL=EH(N-1)+1:IR=EH(R-1)+1
7250 IK=LI+1
7260 FOR Q=IL TO EH(N)
7270 LI=LI+1:X(LI)=L(Q)
7280 NEXT Q
7290 FOR Q=IR TO EH(R)
7300 LI=LI+1:X(LI)=L(Q)
7310 NEXT Q
7320 FOR Q=IK TO LI
7330 FOR Z=IK TO LI
7340 IF Z<=Q THEN 7370
7350 IF X(Q)<X(Z) THEN 7370
7360 SWAP X(Q),X(Z)
7370 NEXT Z,Q
7380 EL=EL+1:F(EL)=LI
7390 IY=EH(N)+1
7400 IF I<NA THEN 7150
7410 NA=EL
```

```
7420 FOR I=1 TO NA
7430 PE(I)=D(I):D(I)=0
7440 EH(I)=F(I):F(I)=0
7450 NEXT I
7460 FOR I=1 TO M
7470 L(I)=X(I):X(I)=0
7480 NEXT I:PRINT
7490 FOR I=1 TO FEL
7500 SEL(I)=YP(I):YP(I)=0
7510 NEXT I
7520 GOTO 4910
7530 CLS:COLOR 0,7
7540 LOCATE 11,14
7550 PRINT " HUCRELER ARASI AKIS OLMADIGINDAN "
7560 LOCATE 12,14
7570 PRINT " BIRLESTIRME YAPILAMAZ "
7580 COLOR 7,0
7590 COLOR 0,7:LOCATE 22,14
7600 INPUT " Devam etmek icin enter tusuna basin ";W
7610 COLOR 7,0
7620 CLS
7630 LOCATE 5,15
7640 PRINT STRING$(47,205)
7650 LOCATE 7,20:COLOR 0,7
7660 PRINT " IKI DEFA UST USTE HAFIZADAN KAYITLI "
7670 LOCATE 8,20
7680 PRINT " PROBLEMLERI BURADAN CAGIRAMAZSINIZ, "
7690 LOCATE 9,20
7700 PRINT " CAGIRMAK ICIN RUN YAPMANIZ GEREKIR. "
7710 LOCATE 10,20
7720 PRINT " YENI PROBLEM GIRMEK UZERE "
7730 COLOR 7,0
7740 LOCATE 14,15:PRINT STRING$(47,205)
7750 LOCATE 5,14:PRINT CHR$(201)
7760 LOCATE 5,61:PRINT CHR$(187)
7770 LOCATE 14,14:PRINT CHR$(200)
7780 LOCATE 14,61:PRINT CHR$(188)
7790 FOR I=1 TO 8
7800 LOCATE I+5,14:PRINT CHR$(186)
7810 NEXT I
7820 FOR I=1 TO 8
7830 LOCATE I+5,61:PRINT CHR$(186)
7840 NEXT I
7850 LOCATE 11,20:COLOR 0,7
7860 INPUT " DEVAM ETMEK ISTER MISINIZ (E/H) ? ",V$
7870 COLOR 7,0
7880 IF V$="E" OR V$="e" THEN 590
7890 END
```

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Üretim, toplumun varlığı ve gelişmesi için vazgeçilmez bir elemandır. Üretim çeşitli yöntemlerle yapılabilir. Bu yöntemlerin en geçerlisi, en ekonomik ve en yararlı olanıdır.

Hücreyel imalat esasına dayanan grup teknolojisi üretim yöntemi, son yıllarda en çok dikkat çeken yöntemlerden birisi olmuştur. Üretim temin süresinin azalması, proses içi stokların azalması, işçiliğin azalması, tekrar işleme ve iskarta malzemesinin azalması, hazırlık süresinin azalması, malzeme taşıma maliyetinin azalması, insan ilişkilerinin gelişmesi, gibi önemli faydaları olan bu yöntem parti tipi üretim yapan imalat sistemlerindeki verimlilik ile etkinlik sorununa en çok kabul edilen çözümlerden birini sunan bir yaklaşım olarak tanınmaktadır. Bununla beraber bu yöntemin uygulanması esnasında birtakım zorluklarla da karşılaşmaktadır. Bunların başlıcaları; makina hücreleri ve parça ailelerinin oluşturulması için uygun bir yöntem biliminin benimsenememesi, ekstra makina ihtiyaçları, hücrelerin esnek tasarlanma şartı, hücrelere ayırmak için detaylı analizlere ihtiyaç duyulması olarak sıralanabilir.

Makina hücreleri ve parça ailelerinin oluşturulması için çok sayıda hiyerarşik ve hiyerarşik olmayan yöntemler kullanılmaktadır. Yeni bir üretim anlayışı olması dolayısıyla ile bu yöntemlere her geçen gün yenileri eklenmektedir.

GT üretim yöntemine göre yerleştirilecek bir imalat sistemi için gruptama yöntemi seçilmeden önce, GT probleminin çok iyi tanımlanması ve herbir gruptama yöntemi özelliklerinin bilinmesinde fayda vardır.

Bu tezde incelenen model ve algoritmalarından biri olan atama yöntemi algoritması, atama probleminin çözümüne dayanmaktadır. Atama probleminin çözümü de yine birçok yöntemle yapılabilir. Bu tezde, çözüm dal-sınır algoritması ile yapılmıştır. İyi yapılı bir makina-parça ilişki matrisi sözkonusu ise, bu algoritma ile atama probleminin çözümü, istenen makina hücreleri ve parça aileleri ile sonuçlanır. Matrisin iyi yapılı olmaması halinde bir kaç işlem daha gerekmektedir. Bu işlemler ise aralarında akış olan hücrelerin, aralarında en fazla akış olanlardan başlanarak birleştirilmesinden ibarettir.

Atama yöntemi son yıllarda ortaya çıkmış ve birçok yazara göre iyi bir performans göstermiştir. Bu nedenlerden dolayı bu yöntem incelenmiş, bilgisayar programı hazırlanmış ve değişik örneklere uygulanarak test edilmiştir.

Gelecek uygulamalar, yeni yeni yöntemlerin mevcut yöntemlere eklenmesi değil, aralarında mevcut imalat sistemine en uygun olanının seçimi üzerinde odaklaşacağı kanısındayım.

KAYNAKLAR

- [1] DURMUŞOĞLU, B., Üretim Sistemleri Tasarımında Grup Teknolojisi Yaklaşımı, Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, 19-21 Eylül 1984, ODTÜ, Ankara
- [2] DURMUŞOĞLU, B., Grup Teknolojisi Üretim Yöntemi, Sanayi Mühendisliği Dergisi, Sayı 6, Nisan 1983
- [3] DURMUŞOĞLU, B., Sipariş Üretiminde Üretim Planlama Semineri, 26-27 Mayıs 1988, Gebze/Kocaeli
- [4] ALTUNTERİM, B., Grup Teknolojisinde Benzerlik Katsayılarının Bilgisayar Destekli Uygulaması, End. Müh. Projesi, İ.T.Ü., 1991
- [5] ÇATAY, B., Grup Teknolojisi ve MACE Yönteminin Bilgisayar Destekli Uygulaması, End. Müh. Projesi, İ.T.Ü., 1992
- [6] KUSİAK, A., Intelligent Manufacturing Systems, Böl. 8, Prentice Hall, 1990
- [7] WAGHODEKAR, P.H. ve SAHU, S., Machine-Cell Formation In Group Technology, Int. J. Prod. Res., 22, 6, S: 937-948, 1984
- [8] DURMUŞOĞLU, B., Grup Teknolojisi İmalat Sistemi ve Bu Sistemin Tasarımına Yönelik Yeni Bir Metod Doktora Tezi, İ.T.Ü., 1986
- [9] DURMUŞOĞLU, B., Hücresel İmalat Sistemlerinin Çalışma Düzeni ve Özellikleri, Türkiye Sanayi Sevk ve İdare Enstitüsü'nün Üretim Planlama ve Stok Kontrol Sistemleri Semineri, 8-9 Aralık 1988
- [10] ALTUNTERİM, B., Geleneksel Bir İmalat Sistemi ile Grup Teknolojisi İmalat Sisteminin Karşılaştırılması, Bitirme Ödevi, İ.T.Ü., 1991

- [11] SRINIVASAN, G. ve NARENDRAN, T.T., GRAFiCS
A-Nonhierarchical Clustering Algorithm For
Group Technology, Int. J. Prod. Res., Vol:
29, No: 3, S: 463-478, 1991

- [12] SRINIVSAN, G., NARENDRAN, T.T. ve MAHADEVAN, B., An
Assignment Model For The Part-Families
Problem In Group Technology, Int. J. Prod.
Res., Vol: 28, No: 1, S: 145-152, 1990

- [13] CHANDRASEKHARAN, M.P. ve RAJAGOPALAN, R., ZODiAK-An
Algorithm For Concurrent Formation Of
Part-Families And Machine-Cells, Int. J.
Prod. Res., Vol: 25, No: 6, S: 835-850,
1987

- [14] CHANDRASEKHARAN, M.P. ve RAJAGOPALAN, R., An Ideal
Seed Non-Hierarchical Clustering Algorithm
For Cellular Manufacturing, Int. J. Prod.
Res., Vol: 24, No: 2, S: 451-464, 1986

BIYOGRAFI

İrfan Akkuş 1963'te Diyarbakır'da doğdu. İlkokulu doğduğu yerde tamamladıktan sonra, yakın çevrede ortaokulun bulunmaması nedeni ile eğitimine üç yıl ara vermek zorunda kaldı. 1979'da Tarsus'a yerleştikten sonra eğitimine tekrar devam etti. 1982'de Tarsus Cengiz Töpel Lisesi Ortaokulunu bitirdi. Tarsus Teknik Lisesi kimya bölümü üçüncü sınıfta okurken Üniversite sınavını kazandı ve dışardan fark derslerini vererek 1985'te Tarsus Endüstri Meslek Lisesi'ni bitirdi. 1989'da İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi kimya mühendisliği bölümünden dördüncü olarak mezun mezun oldu ve aynı yıl Colorado Üniversitesi/U.S.A. kimya mühendisliği asistanlık bursunu kazandı, ancak TOEFL (Test Of English As A Foreign Language)'dan istenen puanı alamadı ve bu şansını kullanamadı. 1989-90 eğitim yılında İ.T.Ü.'de hazırlık ve British Council'de İngilizce kurslarına devam ettikten sonra, İ.T.Ü. Endüstri Mühendisliği yüksek lisans programına başladı. Bekar ve İngilizce bilmektedir.