

# ALTERNATİF ROTALARIN VARLIĞINDA ÜRETİM HÜCRELERİNİN GENETİK ALGORİTMA KULLANILARAK OLUŞTURULMASI

Tuğba SARAÇ, Feriştah ÖZÇELİK

*Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü*

## ÖZET

Hücre oluşturma problemi, hücresel üretimin önemli, kritik ve zor bir adımıdır. Hücreleri oluştururken, genellikle parça rotalarından yararlanılmaktadır. Farklı işlemleri yapma yeteneğine sahip, yüksek kapasiteli tezgahların kullanımıyla, alternatif rotalara sahip parçaların üretimi de mümkün olabilmektedir. Alternatif rotaların dikkate alınmaması, daha başarılı hücre gruplamalarının göz ardı edilmesi anlamına gelirken, dikkate alınması ise problemin karmaşıklığını arttırmaktadır. Bu çalışmada, alternatif rotaların varolması durumunda, hücre oluşturma problemini çözmek amacıyla bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma, en iyi hücre sayısını da belirleyebilmektedir. Algoritmanın performansı literatürden alınan problemler kullanılarak test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, algoritmanın yalnızca alternatif rotaların var olduğu hücre oluşturma problemlerinde değil, genel hücre oluşturma problemlerinde de başarılı olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hücre oluşturma problemi, Grup teknolojisi, Hücresel üretim, Alternatif rotalar, Genetik algoritmalar.

## ABSTRACT

Cell formation is an important, critical and difficult step in cellular manufacturing. While forming the cells, generally the part routes are used. Introducing high capacity machines capable of performing different manufacturing operations makes it possible to manufacture parts according to several alternative part routes. By ignoring alternative routes, one may miss possibly more effective manufacturing cell groupings. On the other hand, considering alternative routes increases the complexity of the problem. In this study, we developed a genetic algorithm to solve the cell formation problem with alternative routes. The algorithm is also capable of determining the number of cells. Computational experiments are conducted to verify the performance of the algorithm. Throughout the computational experiments, we verified that the genetic algorithm is effective not only for cell formation problems with alternative routes but also for general cell formation problems.

**Keywords:** Cell formation problem, Group technology, Cellular manufacturing, Alternative routes, Genetic algorithms.

## GİRİŞ

Giderek ağırlaşan rekabet koşullarında firmaların ayakta kalabilmeleri ancak ürünlerini müşteri istekleri doğrultusunda ve ekonomik olarak üretebilmeleri ve zamanında teslim edebilmeleri ile mümkündür. Yüksek düzeyde ve sürekli talebi olan ürünlerin imalatında son derece ekonomik ve hızlı olabilmeyi sağlayan seri üretim farklı yapıdaki taleplere aynı avantajlarla cevap verememektedir. Orta düzeyde talebe ve ürün çeşitliliğine sahip firmaların hem farklı talepleri hızlı bir şekilde karşılayabilme hem de ekonomik üretim yapabilme gereksinimlerine cevap verebilmek üzere Esnek Üretim Sistemleri (EÜS) yaklaşımı doğmuştur. EÜS, merkezi bir bilgisayar tarafından kontrol edilen, malzeme taşımalarının otomatik olarak yapıldığı ve nümerik kontrollü tezgahlardan oluşan sistemlerdir (Askin ve Standridge, 1993). Bu sistemlerin kurulmasında önemli adımlardan birisi de üretim hücrelerinin oluşturulmasıdır.

Bir hücrenin tasarımı sırasında, tasarımcıların en çok dikkate aldığı ölçütlerden bir tanesi de parça rotalarıdır (işlem sıralarıdır). Durmuşoğlu ve diğerleri, (2003) yaptıkları saha analizi sonucunda tasarım sırasında rotaları göz önüne alan firmaların oranını %81 olarak tespit etmiştir. Aynı parçanın üretiminde tek bir rota olmayıp, farklı tezgah ve işlem sıralarının kullanımı ile alternatif rotalar oluşabilmekte (rotalama esnekliği) ve bu esneklik, hücre tasarım kararlarının etkinliğini arttırabilmektedir. Durmuşoğlu ve diğerleri, (2003) hücresele üretime geçildikten sonra parça rotalarında değişiklik olup olmadığını araştırmışlardır. Yazarlar uygulamada, farklı işlem sırası ve/veya farklı tezgah kullanımları ile sıkça karşılaşılabileceğini belirtmişlerdir. Alternatif rotaların varlığı üretim hücrelerinin aralarındaki taşımaları azaltacak şekilde oluşturulmasını kolaylaştırırken problemin karmaşıklığını da arttırmaktadır.

Hücre oluşturma problemleri NP-tam (King ve Nakornchai, 1982) olduğundan genellikle analitik yöntemler yerine hızlı ve iyi çözümler türetebilen

sezgisel yaklaşımlar ve yapay zeka teknikleri tercih edilmektedir. Uygulama alanları günden güne artan genetik algoritmalar (GA) en çok tercih edilen yapay zeka tekniklerinden birisidir. Holland (1975) tarafından geliştirilen GA, Darwin'in evrim teorisini taklit eder. Tek bir noktadan değil rassal olarak türetilmiş olan bir grup çözüm ile çok noktadan arama yaptığı için yerel en iyilere takılma riski oldukça düşüktür. En iyi çözüm garanti edilemese de hızlı bir şekilde en iyiye çok yakın çözümlere ulaşabilmektedir. Bu çalışmada alternatif rotaların varlığı durumunda hücre oluşturma probleminin çözümü amacıyla bir GA geliştirilmiştir.

Makalenin izleyen bölümünde hücresele üretim ve alternatif rotaların hücre oluşumuna etkileri konusu ele alınmış, üçüncü bölümde problemin matematiksel modeli verilmiş ve dördüncü bölümde de incelenen problemin çözümü için önerilen GA tanımlanmıştır. Geliştirilen GA'nın etkinliği beşinci bölümde literatürden alınan test problemleri kullanılarak gösterilmiştir. Çalışmanın son bölümünde sonuç ve öneriler tartışılmıştır.

## HÜCRESEL ÜRETİM VE ALTERNATİF ROTALAR

Hücresele üretim (HÜ) üretim tesisini farklı özellikteki parçaları üretebilecek şekilde küçük gruplara bölerek çalışma mantığına dayanır (Askin ve Standridge, 1993) ve parça ailelerini belirledikten sonra her parça ailesini ayrı bir üretim hücresinde imal ederek hücreler arası taşımayı en aza indirmeyi amaçlar (İşlier, 2001).

HÜ, parçaların tezgahlar arasındaki taşıma uzaklıklarını kısaltmanın ötesinde de yararlar sağlamaktadır. Hücresele üretimle hazırlık maliyetleri azalacağından, bu maliyetleri daha çok parçaya yaymak için büyük partiler oluşturulmasına da gerek kalmamaktadır. Bu sayede akış süreleri kısaltmakta, süreç içi stoklar azalmakta ve bunları elde tutma maliyeti ile birlikte yerden de tasarruf sağlanmakta,

teslimat daha erken yapılabilmektedir. Sistemin daha dar bir alana sığması yanında, belli işler ve parça ailelerinde uzmanlaşılması ile ürün kalitesi de artmaktadır (İşler, 1996). Hücresel üretime geçişin önemli aşamalarından birisi, üretim hücrelerinin oluşturulmasıdır.

Üretim hücrelerinin oluşturulması, tezgah gruplarının ve parça ailelerinin belirlenmesi anlamına gelir (Adil vd. 1996). Bu aşamada hücreler arası taşımayı en küçükleyebilmek için mümkün olduğunca *hücre dışı eleman* olmamasına ve kapasite kullanımının düşmemesi açısından da hücre içinde *kullanılmayan eleman* kalmamasına çalışılmalıdır. Alternatif rotalar genellikle problemin karmaşıklığını arttırmaları sebebiyle, üretim hücresi oluşturma konulu yayınların önemli bir bölümünde ele alınmamışlardır. Oysa, amacı iyileştirebilecek daha etkin çözümlerin elde edilebilmesine olanak tanırlar (Zhao ve Zhiming, 2000). Bir parçanın alternatif rotalara sahip olabilmesi ya işlem göreceği tezgahlardan birden fazla sayıda mevcut olması ya da parçanın farklı tezgahlarda işlenerek üretilebilir olması ile mümkündür. Alternatif rotaların ele alınması durumunda kullanılmayan ve hücre dışı elemanların nasıl azaltılabileceği aşağıdaki örnekte görülmektedir (Adil ve diğerleri, 1996).

**Tablo 1.** Alternatif rotaların ele alınmadığı durum

	tezgah						tezgah					
	1	2	3	4	5	6	1	3	5	2	4	6
1	1	1	1		1		1	1	1	1		1
2		1		1	1	1	4	1	1	1		
3		1		1		1	5		1	1		1
4	1			1			2			1	1	1
5		1	1		1		3				1	1
6		1		1		1	6				1	1

Altı tezgah ve altı parçadan oluşan küçük bir üretim sistemini ele alalım. Tablo 1’de bu boyuttaki bir sistem için örnek rota bilgilerini kullanarak oluşturulmuş parça-tezgah matrisi ve bu matris yardımıyla oluşturulmuş hücreler yer almaktadır.

Kolaylıkla görülebileceği gibi sistemin üç hücre dışı ve bir de kullanılmayan elemanı mevcuttur.

Beşinci parçanın alternatif rotası olduğunu varsayalım. Tablo 2’de görülebileceği gibi hücre oluşturma aşamasında beşinci parça için alternatif plan devreye alınarak hücre dışı eleman sayısı ikiye düşürülmüştür.

**Tablo 2.** Alternatif rotaların ele alındığı durum

	tezgah						tezgah					
	1	2	3	4	5	6	1	3	5	2	4	6
1	1	1	1		1		1	1	1	1		1
2		1		1	1	1	4	1	1	1		
3		1		1		1	5 <sub>2</sub>		1	1		
4	1			1			2			1	1	1
5 <sub>1</sub>		1	1		1		3				1	1
5 <sub>2</sub>			1		1		6				1	1
6		1		1		1						

Son olarak, ikinci tezgahdan iki adet olması durumunu ele alalım. Bu, ikinci tezgahın her iki üretim hücresinin de elemanı olabileceği anlamına gelmektedir. Tablo 3’te açıkça görülebileceği gibi yeni düzenleme sonunda hücre dışı eleman sayısı bir ve kullanılmayan eleman sayısı ise ikidir.

**Tablo 3:** Aynı tezgahdan birden fazla olması durumu

	tezgah						tezgah						
	1	3	5	2	2	4	6	1	3	5	2	4	6
1	1	1	1	1	1			1	1	1	1		
4	1	1	1					4	1	1	1		
5		1	1	1				5		1	1	1	
2				1				2			1	1	1
3								3				1	1
6								6				1	1

Hücre oluşturma problemlerinde alternatif rotaların olduğu durumu dikkate alan ilk çalışma Kusiak’a (1987) aittir. Yazar, hücreleri tasarlamak için bir tamsayı programlama modeli (genelleştirilmiş p-medyan modeli) geliştirmiştir.

Nagi ve diğerleri (1990) toplam hücreler arası hareketin enküçüklenmesi amacıyla rota seçimi için bir doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Yazarlar, rota seçimi ve hücre oluşturma problemlerini ardışık olarak çözen bir yöntem önermişlerdir.

Kasilingam ve Lashkari (1991) alternatif rotaların varlığı durumunda tezgah-parça gruplaması yapmak amacıyla doğrusal olmayan 0-1 tamsayılı programlama modeli kurmuşlardır.

Adil ve diğerleri (1996), hem aynı tezgahtan birden fazla olması hem de bazı parçaların farklı tezgahlarda işlenebilir olması durumlarında parça-tezgah ataması yapmak üzere doğrusal olmayan tamsayılı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu modeli doğrusallaştırarak küçük problemlere çözüm üretmişler ancak karşılaşılan çözüm zorluğu nedeniyle büyük boyutlu problemlerin çözümünde geliştirdikleri tavlama benzetimi algoritmasını kullanmışlardır. Modelin amacı, kullanıcının hücre dışı ve kullanılmayan elemanlara atadığı ağırlıkları kullanarak en küçük ağırlıklandırılmış toplama sahip parça-tezgah atamasını yapmaktır. Model en iyi hücre sayısını da kendisi belirlemektedir.

Joines ve diğerleri (1996), alternatif rotaların olduğu hücre oluşturma probleminin tamsayılı programlama modelini kurmuş ve modeli genetik algoritma kullanarak çözmüşlerdir.

Hwang ve Ree (1996), alternatif rotaların varlığı durumunda hücre oluşturma problemi için iki-aşamalı bir yöntem önermiştir. İlk aşamada rota seçimi problemi çözülmekte, ikinci aşamada ise ilk aşamadaki sonuçları dikkate alarak p-medyan problemiyle parça aileleri oluşturulmaktadır.

Won ve Kim (1997), hücreleri oluşturmak için genelleştirilmiş tezgah benzerlik katsayısını dikkate almış ve çok kriterli-kümelendirme algoritmasını kullanmıştır.

Sarker ve Li (1997) alternatif rotaların varlığı durumunda rota seçimi ve hücre oluşturma problemlerini eşzamanlı olarak çözmek amacıyla bir

karma tamsayılı model geliştirmişlerdir. Bu modelin avantajlarından birisi, tezgah kapasiteleri, parça talepleri, hücre sayısı ve bir hücredeki tezgah sayısı gibi bazı üretim kısıtlarının modele dahil edilmesidir.

Lozano ve diğerleri (1999), alternatif rotaları gözönünde bulundurarak, tezgah ve hücre kullanım oranlarını dengelerken taşıma ve elde tutma maliyetlerini en küçükleyecek çok periyotlu bir doğrusal model geliştirmişlerdir. Model her parçanın hangi miktarının, hangi alternatif rotayı kullanarak, hangi planlama döneminde üretileceğini belirler. İlgili matematiksel model için hücre sayısı bir parametredir.

Sofianopoulou (1999), aynı tezgahtan birden fazla olması ya da bir parçanın alternatif rotasının olması durumlarında parça ailelerini oluşturabilen bir tamsayılı model geliştirmiştir. Amaç, hücreler arası taşımaların enküçüklenmesidir. Problemin çözümünde kullanılmak üzere tavlama benzetimi algoritması geliştirilmiştir.

Zhao ve Zhiming (2000), alternatif rotalar mevcutken, parçaların hücre içi ve dışı taşımalarından doğan maliyetin en küçüklenmesi, hücre yüklemelerindeki toplam değişimin en küçüklenmesi ve hücre dışı elemanların en küçüklenmesi amaçlarını gerçekleştirecek şekilde hücrelere tezgah ataması yapacak bir GA geliştirmişlerdir. Burada geliştirilen GA en iyi hücre sayısını belirlememektedir. Bu nedenle hücre sayısı başka bir yöntemle önceden belirlenmelidir.

Chan ve diğerleri (2004), alternatif rotaların olduğu hücre oluşturma problemi için, hücre dışı ve kullanılmayan eleman sayısını en küçükleyen ayrıca bazı tezgahların kesinlikle aynı hücrede yer alması ya da kesinlikle farklı hücrelerde olması kısıtlarını da ele alan bir matematiksel model kurmuştur. Bu model genetik algoritma yardımıyla çözülmüştür.

Üretim hücresi oluşturma konulu çalışmalar içinde az sayıda çalışmanın alternatif rotaları ele almış olması dikkat çekicidir. Kümelendirme problemlerinde

çözüm gücünü yaşanması ve alternatif rotaların da göz önünde bulundurulmasıyla problemin karmaşıklığının artması sebebiyle çözüm yöntemi olarak genellikle sezgisel ve yapay zeka tekniklerinden yararlanılmıştır. Yine çalışmaların az bir bölümünde en iyi hücre sayısı da araştırılmaktadır. Bu noktadan hareketle bu makalede alternatif rotaların var olması durumunda en iyi hücre sayısını belirlemek ve bu hücrelere parça-tezgah ataması yapmak üzere bir GA geliştirilmiştir.

### PROBLEMİN MODELLENMESİ

Adil ve diğerlerinin (1996) önerdiği doğrusal olmayan matematiksel model temel alınarak aşağıdaki model oluşturulmuştur.

İndisler:

$p$ : parça ( $p=1,2, \dots, P$ )

$t$ : tezgah tipi ( $t=1,2, \dots, T$ )

$h$ : hücre ( $h=1,2, \dots, H$ ),  $H \in [1, T]$  (hücre sayısı en fazla, tezgah sayısı kadar olabilir)

$r$ : rota ( $r=1,2, \dots, R_p$ )

parametreler:

$$a_{ptr} = \begin{cases} 1 & p \text{ parçasının } r \text{ alternatif rotasında } t \text{ tezgahı kullanılıyor} \\ 0 & \text{d.d} \end{cases}$$

$N_t = t$  tipi tezgah sayısı

$w_1 =$  amaç fonksiyonunda hücre dışı eleman sayısı teriminin ağırlığı

$w_2 =$  amaç fonksiyonunda kullanılmayan eleman sayısı teriminin ağırlığı

karar değişkenleri:

$$x_{phr} = \begin{cases} 1 & p \text{ parçası } r \text{ rotası ile } h \text{ hücresine atandı} \\ 0 & \text{d.d} \end{cases}$$

$$y_{th} = \begin{cases} 1 & t \text{ tezgahı } h \text{ hücresine atandı} \\ 0 & \text{d.d} \end{cases}$$

$$\sum_r \sum_h x_{phr} = 1 \quad \forall p \quad (1)$$

$$\sum_h y_{th} \leq N_t \quad \forall t \quad (2)$$

$$x_{phr}, y_{th} \in \{0,1\} \quad \forall pthr \quad (3)$$

$$\text{enk } z = w_1 \sum_p \sum_t \sum_h \sum_r a_{ptr} x_{phr} (1 - y_{th}) + w_2 \sum_p \sum_t \sum_h \sum_r (1 - a_{ptr}) x_{phr} y_{th} \quad (4)$$

Burada kısıt (1), her parçanın mutlaka bir hücreye atanmasını ve alternatif planlardan sadece birisinin seçilmesini garanti etmektedir. Kısıt (2), bir tezgahın hücrelere en fazla kopya sayısı kadar atanabilmesine izin vermektedir. Kısıt (3) karar değişkenlerinin tümünün 0,1 tamsayı değişken olduğunu göstermektedir. Modelin amaç fonksiyonu (4) numaralı eşitlikte verilmiştir. Burada ilk terim hücre dışı ve ikinci terim de kullanılmayan eleman sayısını göstermektedir. Amaç, bu ağırlıklandırılmış toplamın en küçüklenmesi olarak belirlenmiştir.

### GELİŞTİRİLEN GENETİK ALGORİTMA

Bu bölümde öncelikle genetik algoritmalar konusuna kısa bir giriş yapıldıktan sonra geliştirilen genetik algoritma (ALTROT\_GA) tanıtılmaktadır.

#### Genetik Algoritmalar

Genetik algoritmalar, rassal arama esaslı yöntemlerdir. Biyolojideki evrim sürecini taklit eden GA, ilk defa Holland (1975) tarafından önerilmiştir. Bilinen eniyileme yöntemleri ile çözülemeyen ya da çözüm zamanı problemin büyüklüğü ile üstel artan problemlerde kullanılan GA en iyi ya da en iyiye yakın çözüm vermektedir. Başlangıçta doğrusal olmayan eniyileme problemlerine uygulanan GA sonraları gezgin satıcı, karesel atama, yerleşim, çizelgeleme, tasarım gibi kombinatorik eniyileme problemlerinde başarıyla uygulanmıştır (Dengiz ve Altıparmak, 1998).

GA, diğer geleneksel yöntemlerden, karakteristik olarak dört özelliği ile farklıdır (Goldberg, 1989):

- i) GA parametrelerle değil, onların kodları ile çalışır.
- ii) GA tek bir noktadan değil, bir noktalar topluluğu üzerinden arama yapar.
- iii) GA türevleri ya da diğer yardımcı bilgileri değil, amaç fonksiyonu (uyum fonksiyonu) bilgisini kullanır.
- iv) GA aramayı deterministik kurallarla değil, olasılıklı geçiş kuralları ile yapar.

GA doğal seçim mekanizmasını taklit edip, en iyi çözüme ulaşmaya çalışan bir arama tekniğidir. GA'da birey bir çözümü temsil eder ve toplumun bir elemanıdır. Toplum da, tüm olurlu çözümleri içeren çözüm uzayının bir alt kümesidir. Bireyler, kalıtım bilgilerini taşıyan ve çözüm elemanlarını temsil eden karakter dizilerinden (kromozom) oluşurlar. Toplumu oluşturan bireyler, kopyalama-çaprazlama-mutasyon gibi işlemler geçirerek bir sonraki kuşağı türetirler. Uyum gücü yüksek olan bireylerin kopyalanma ve iyi niteliklerini gelecek kuşaklara aktarma şansları yüksektir. GA'nın temel teoremi, uyum gücü yüksek olan kromozom parçalarının (schemata) hızla çoğalacağını ortaya koymaktır. Tatmin edici bir çözüm bulmak amacıyla, denge durumuna ulaşmaya (daha fazla ilerleme olmadığı görülünceye) kadar genetik işlemlere devam edilir (İşlier, 1997).

Bir GA'nın adımları aşağıdaki şekilde olabilir (İşlier, 1995):

0. Uyum fonksiyonunu kur, kromozomdaki bilgiyi kodla, parametreleri belirle.
1. İlk topluluğu belirle.
2. Yeni bireyin uyum fonksiyonunu hesapla.
3. Uyum ile orantılı seçilme şansı ver.
4. Bu şansa bağlı olarak bir çift birey seç. (KOPYALAMA).

5. Bunları rassal kırılma noktasına göre ÇAPRAZLA.
6. Mutasyonun sırası gelmediyse 8'e atla.
7. Rassal bir noktadan MUTASYON uygula.
8. Yeterli sayıda kuşak yetiştirildiyse DUR. Aksi halde 2'ye DÖN.

### **Kromozom Yapısı**

Tasarlanan kromozom dört bölümden oluşmaktadır. Kromozomun ilk geni hücre sayısını göstermektedir. Hücre sayısı en fazla, tezgah sayısı kadar olabilir. Bu gen 0-1 aralığında değer alabilir ve aldığı değer kapsandığı aralığa bakılarak hücre sayısı belirlenir.

Kromozomun ikinci bölümünde, alternatif rotası mevcut olan parçaların hangi rotayı kullandıkları bilgisi saklanır. Birden fazla rotası olan her parça için bir gen tariflenmiştir. Bu genler 0 ile 1 arasında değer alırlar. Her parçanın kaç alternatif rotası varsa 0-1 aralığı o kadar bölüme ayrılır. Genin değerinin isabet ettiği aralık hangi alternatif rotayı kullanacağını belirler.

İzleyen tezgah sayısı kadar gen, kromozomun üçüncü bölümünü oluşturur. Bu genlerin sırası tezgahları temsil etmektedir. Hücre sayısı değişken olduğu için genlerin değerleri 0-1 aralığında tasarlanmış, böylece her tezgahın hangi hücrede yer alacağı bilgisi basit bir hesaplama ile elde edilebilir olmuştur. Yapılacak işlem, öncelikle 0-1 aralığını ilk gende yer alan hücre sayısına bölmektir. Daha sonra tezgahı temsil eden genin değerinin kaçınca aralığa isabet ettiğine bakılarak tezgahın atanacağı hücre belirlenir.

Kromozomun son bölümünü ise benzer şekilde parçaları temsil eden genler oluşturur. Kromozomun yapısı aşağıda bir örnek üzerinde gösterilmiştir.

Örnek Kromozom : 6 parça, 6 tezgah tipi ve 5'inci parçanın alternatif rotasının mevcut olduğu bir durum için bir çözüme karşı gelen örnek kromozom Şekil 1'de verilmiştir.



tezgahlar								parçalar					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
0.3	0.2	0.2	0.8	0.3	0.5	0.7	0.1	0.4	0.5	0.8	0.2	0.1	0.3

tezgahlar								parçalar					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
0.3	0.2	0.2	0.8	0.3	0.5	0.7	0.1	0.4	0.5	0.8	0.2	0.1	0.3

Şekil 1. Örnek bir kromozom

Şekil 1’de verilen kromozomun birinci geni hücre sayısına karşı gelmektedir. Ele alınan örnekte 6 tezgah olduğu için hücre sayısı 1 ile 6 arasında bir değer alabilecektir. Öyleyse  $[0, 1)$  aralığı 6’ya bölünür ve izleyen aralık değerleri elde edilir.

$[0, 0.1667)$	1 hücre
$[0.1667, 0.3334)$	2 hücre
$[0.3334, 0.5001)$	3 hücre
$[0.5001, 0.6667)$	4 hücre
$[0.6667, 0.8335)$	5 hücre
$[0.8335, 1)$	6 hücre

Birinci gende yer alan 0.3 değeri  $[0.1667, 0.3334)$  aralığında yer aldığından oluşturulacak hücre sayısı ikidir.

Ele alınan örnekte yalnızca bir parçanın alternatif rotası mevcut olduğundan kromozomun ikinci bölümü tek bir genden oluşmaktadır. Bu genin değeri  $[0, 0.5)$  aralığında ise birinci rota  $[0.5, 1)$  aralığında ise ikinci rota seçilmelidir. 0.2 değeri ilk aralıkta yer aldığından birinci alternatif rota seçilmelidir.

Kromozomun üçüncü bölümü tezgahların, dördüncü bölümü ise parçaların hangi hücrelere atandığını göstermektedir. Örnek kromozom için birinci bölümde hücre sayısı iki olarak belirlendiğinden kromozomun üçüncü ve dördüncü bölümlerinde

yer alan genlerin değerleri  $[0, 0.5)$  aralığında ise ilgili parça ya da tezgah birinci hücreye,  $[0.5, 1)$  aralığında ise ikinci hücreye atanmalıdır. Buna göre örnek kromozomda 1, 3 ve 6’ncı tezgahlar ile 1, 4, 5 ve 6’ncı parçalar birinci hücreye diğerleri ikinci hücreye atanmışlardır.

### Kısıtların ele alınması ve başlangıç popülasyonun türetilmesi

Kromozomun yapısı, matematiksel modeldeki kısıtları sağlayacak şekilde tasarlandığından, problem kısıtsız hale dönüşmüştür. Bu sayede ALTROT\_GA’ın her aşamada uygun çözüm üretmesi garanti edilmiştir. ALTROT\_GA’nın bu özelliği, başlangıç popülasyonun rassal olarak türetilmesine ve klasik genetik operatörlerin kullanılmasına olanak tanımıştır.

### Genetik Operatörler

ALTROT\_GA, turnuva, rulet çemberi, stokastik artan olmak üzere üç farklı seçim stratejisi ve tek noktalı, iki noktalı ve çok noktalı olmak üzere üç farklı çaprazlama operatörünü kullanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu genetik operatörler aşağıda ana hatları ile verilmiştir.

### Seçim yöntemleri

GA üç farklı seçim yönteminden herhangi birisini kullanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Seçim mekanizmasında dikkate alınacak uyum değerleri, geliştirilen matematiksel modelin amaç fonksiyonu (4) kullanılarak hesaplanır.

**Rulet çemberi seçim yöntemi:** Rulet çemberi en basit seçim yöntemidir. Bu yöntemde bir çemberin kromozom sayısı kadar eşit parçaya bölüdüğü varsayılır. Çemberdeki  $i$ . aralık  $i$ . kromozomu temsil etmektedir. Her çevrimde bir rassal sayı üretilir. Rassal sayının isabet ettiği aralık hangi kromozomu temsil ediyorsa o kromozom yeni nesile aktarılır. Yeni nesilde yer alacak kromozomlar, çemberin popülasyon büyüklüğü kadar çevrilmesi ile elde edilir.

**Stokastik artan seçim yöntemi:** Bu yöntemde kromozomların uyum değerleri dikkate alınarak yeni nesilde yer alması beklenen kopya sayıları hesaplanır. Hesaplanan sayının tamsayı kısmı kadar kromozom yeni nesile aktarılır. Popülasyon büyüklüğü istenen sayının altında ise, kopya sayılarının kesirli kısımları, toplamları 1.0 edecek şekilde ayarlanır. Bu ayarlanmış sayılar olasılık olarak kullanılarak popülasyonu tamamlamaya yetecek kadar kromozom seçilir.

**Turnuva seçim yöntemi:** Bu yöntemde, popülasyondan, rassal olarak bir grup kromozom seçilir. Bu grup içindeki en iyi uyum değerine sahip kromozom, yeni nesile aktarılır. Popülasyon büyüklüğüne ulaşıncaya kadar, bu işleme devam edilir. Genellikle grup büyüklüğü ikidir. (Altıparmak ve Dengiz, 1998).

### Çaprazlama Operatörleri

GA üç farklı çaprazlama operatöründen herhangi birisini kullanabilecek şekilde tasarlanmıştır.

**Tek noktalı çaprazlama operatörü:** Tek noktalı çaprazlamada, örneğin (0.3 0.2 **0.2 0.8 0.3 0.4 0.7**) ve (0.1 0.4 **0.5 0.8 0.2 0.1 0.3**) dizileriyle gösterilen kromozomların belirlenen

çaprazlama noktasından sonra gelen ve koyu rakamlarla gösterilen genleri değiştirilmekte ve (0.3 0.2 **0.5 0.8 0.2 0.1 0.3**) ve (0.1 0.4 **0.2 0.8 0.3 0.4 0.7**) dizileriyle gösterilen iki yeni kromozom elde edilmektedir.

**İki noktalı çaprazlama operatörü:** İki noktalı çaprazlamada, örneğin (0.3 0.2 **0.2 0.8 0.3** 0.4 0.7) ve (0.1 0.4 **0.5 0.8 0.2** 0.1 0.3) dizileriyle gösterilen kromozomların iki çaprazlama noktası arasında kalan ve koyu rakamlarla gösterilen genleri değiştirilmekte ve (0.3 0.2 **0.5 0.8 0.2** 0.4 0.7) ve (0.1 0.4 **0.2 0.8 0.3** 0.1 0.3) dizileriyle gösterilen iki yeni kromozom elde edilmektedir.

**Çok noktalı çaprazlama operatörü:** Bu operatörde, her gen için rassal sayı üretilir. Rassal sayı 0.5'in altında ise çaprazlanmak üzere seçilmiş iki kromozomun ilgili genleri sabit kalır, 0.5'in üzerinde ise yer değiştirir. Örneğin rassal sayı dizisi (0.6 0.4 0.1 0.8 0.9 0.2 0.6) iken (**0.3** 0.2 0.2 **0.8 0.3** 0.4 **0.7**) ve (**0.1** 0.4 0.5 **0.8 0.2** 0.1 **0.3**) dizileriyle gösterilen kromozomların koyu rakamlarla gösterilen genleri değiştirilmekte ve (**0.1** 0.2 0.2 **0.8 0.2** 0.4 **0.3**) ve (**0.3** 0.4 0.5 **0.8 0.3** 0.1 **0.7**) dizileriyle gösterilen iki yeni kromozom elde edilmektedir.

### Mutasyon

Kromozomdaki tüm genler 0-1 aralığındadır. Bu nedenle mutasyon işlemi rassal olarak seçilen genlerin değerlerinin yeni üretilen rassal sayılar ile değiştirilmesi şeklinde yapılır. Örneğin, (0.3 0.2 0.2 0.8 0.3 0.4 0.7) kromozomunda koyu ile gösterilmiş olan 6. gen mutasyon yapılmak üzere seçilmiş olsun, bu durumda yeni bir rassal sayı (0.9) üretilir ve (0.3 0.2 0.2 0.8 0.3 **0.9** 0.7) dizisi ile gösterilen yeni kromozom elde edilmiş olur.

### Durma Kriteri

ALTROT\_GA için iki farklı durma kriteri bir arada kullanılmaktadır. Hem algoritmanın üretebileceği en fazla nesil sayısına hem de iyileşmenin yaşanmadığı en fazla nesil sayısına sınırlama getirilmiştir. Eğer



çözüm sürekli iyileşiyorsa, algoritma en fazla nesil sayısına ulaşıncaya kadar çalışmaktadır. Ancak izin verilen nesil sayısı boyunca çözümde iyileşme görülmezse, en fazla nesil sayısına ulaşılması beklenmeden algoritma sonlandırılır. Çalışmada, en fazla nesil sayısı 1000 ve iyileşmenin yaşanmadığı en fazla nesil sayısı 200 olarak ele alınmıştır.

## DENEYSEL SONUÇLAR

Hücre oluşturma problemleri için kullanılan algoritmaları karşılaştırabilmek için bazı performans ölçütlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Literatürde bu amaçla geliştirilmiş ölçütler mevcuttur. Bu ölçütlerden grupta verimliliği (grouping efficiency) ve grupta etkinliği (grouping efficacy), uygulamadaki ve grupları oluşturmadaki kolaylığı nedeniyle en çok kullanılan iki ölçüttür. Grupta verimliliği ölçütünün, kötü bir grupta ile iyiyi ayırt edebilme yeteneğinin zayıflığı nedeniyle, Kumar ve Chandrasekharan (1990) daha başarılı bir ölçüt olan grupta etkinliği ölçütünü önermişlerdir. Grupta etkinliği literatürde gruptandırmanın kalitesini ifade etmek için standart bir ölçüt olarak düşünülmektedir (Gonçalves ve Resende, 2004). Bu nedenle ALTROT\_GA'nın performansını ölçmek amacıyla grupta etkinliği ölçütü seçilmiştir. Grupta etkinliği aşağıdaki şekilde hesaplanır (Gonçalves and Resende, 2004).

Grupta etkinliği 1'e yaklaştıkça, daha iyi gruplar elde edilmektedir.

$$\mu = \frac{N_1 - N_1^d}{N_1 + N_0^i}$$

$N_1$  : Çözüm matrisindeki toplam operasyon sayısı (toplam 1 sayısı)

$N_1^d$  : Hücre dışı eleman sayısı

$N_0^i$  : Kullanılmayan eleman sayısı

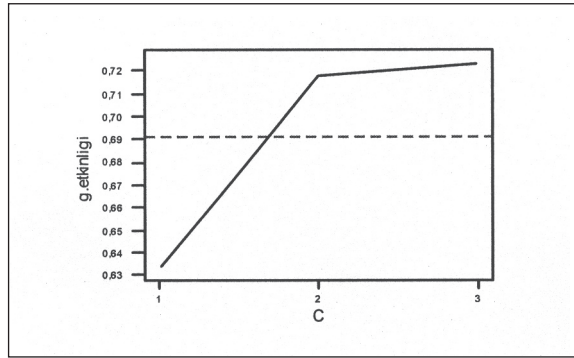
## Genetik Algoritma Parametrelerinin Belirlenmesi

GA'nın performansı, büyük ölçüde popülasyon büyüklüğü, çaprazlama oranı ve mutasyon oranı gibi parametrelere dayandığından bu parametreler için uygun değerlerin seçilmesi, oldukça kritiktir (Anagun ve Saraç, 2006). GA parametrelerinin, ilgilenilen probleme bağımlı olması nedeniyle, her problem tipi için, deneysel olarak belirlenmesi gerekmektedir (Grefenstette, 1986). Bu çalışmada, ALTROT\_GA için uygun genetik operatörlerin ve parametrelerin belirlenmesi amacıyla deney tasarımı yapılmıştır. ALTROT\_GA'nın performansını önemli ölçüde etkileyebilecek beş faktör seçilmiştir: (A) popülasyon büyüklüğü, (B) çaprazlama oranı, (C) mutasyon oranı, (D) çaprazlama operatörü, (E) seçim yöntemi. Yapılan literatür taraması sonucunda, popülasyon büyüklüğü için (30, 50), çaprazlama oranı için (0.60, 0.75, 0.90), mutasyon oranı için (0.001, 0.005, 0.01), çaprazlama operatörü için (tek noktalı, iki noktalı, çok noktalı) ve seçim yöntemi için (rulet, stokastik artan, turnuva) olmak üzere A faktörü için iki, diğer faktörler için üçer düzey belirlenmiştir.  $2 \times 3^4$  tam faktörlü deney tasarımı yapılmıştır. Problem etkisini dikkate alarak açıklanamayan hatayı azaltmak amacıyla problem bazında bloklama yapılmıştır. Deneyler, seçilen küçük (Adil vd. P2, 1996), orta (Won ve Kim Pa, 1997) ve büyük (Nagi vd., 1990) boyutlu üç problem üzerinde birer kez yinelenmiştir. Varyans Analizi Tablosu Tablo 4'te verilmiştir.

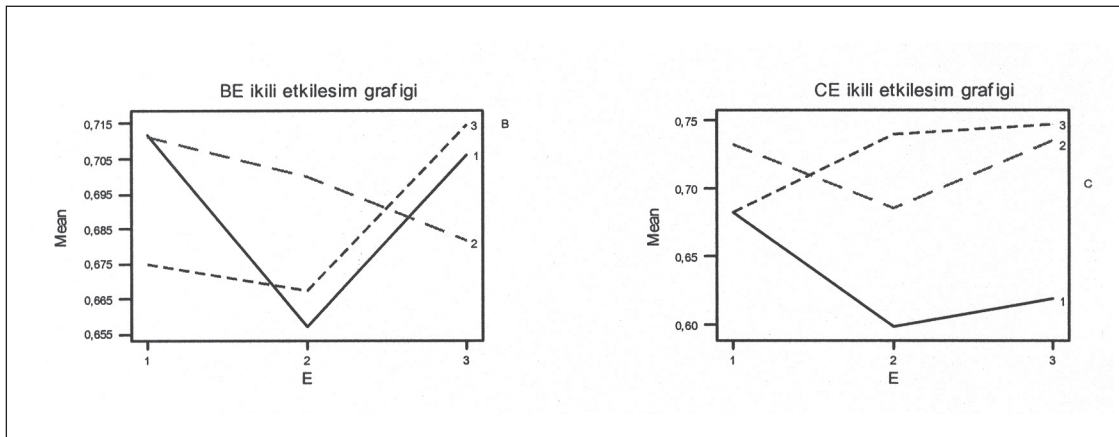
%5 anlam düzeyinde, C faktörü, BE ve CE ikili etkileşimleri kritiktir. Faktör düzeylerini belirlemek amacıyla, C faktörü için ana etkiler grafiği (Şekil 2), BE ve CE etkileşimleri için ikili etkileşim grafikleri (Şekil 3) çizilmiştir. Amacımız enbüyükleme olduğu için, grafiklerden mutasyon oranı 0.01, seçim yöntemi turnuva ve çaprazlama oranı 0.90 olarak belirlenmiştir.

**Tablo 4:** Varyans Analizi Tablosu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Blok	2	3,11931	3,11931	1,55966	122,07	0,000
A	1	0,02942	0,02942	0,02942	2,30	0,130
B	2	0,01140	0,01140	0,00570	0,45	0,640
C	2	0,80350	0,80350	0,40175	31,44	0,000
D	2	0,01537	0,01537	0,00768	0,60	0,549
E	2	0,06929	0,06929	0,03465	2,71	0,068
A*B	2	0,01593	0,01593	0,00796	0,62	0,537
A*C	2	0,04486	0,04486	0,02243	1,76	0,174
A*D	2	0,00175	0,00175	0,00087	0,07	0,934
A*E	2	0,00032	0,00032	0,00016	0,01	0,988
B*C	4	0,04824	0,04824	0,01206	0,94	0,438
B*D	4	0,00789	0,00789	0,00197	0,15	0,961
B*E	4	0,12210	0,12210	0,03052	2,39	0,050
C*D	4	0,02203	0,02203	0,00551	0,43	0,786
C*E	4	0,34959	0,34959	0,08740	6,84	0,000
D*E	4	0,00355	0,00355	0,00089	0,07	0,991
Error	442	5,64746	5,64746	0,01278		
Total	485	10,31199				



**Şekil 2:** C faktörü için ana etkiler grafiği



**Şekil 3:** BE ve CE ikili etkileşim grafiği

Bu çalışmada çözülen tüm test problemleri için deney tasarımı sonucunda elde edilen parametre değerleri kullanılmıştır. Kritik olmayan faktörlerden popülasyon büyüklüğü için 50 değeri ve çaprazlama operatörü için de iki noktalı operatör kullanılmıştır.

### Genel Hücre Oluşturma Problemi

Bu çalışmada alternatif rotası olan parçalar için hücre oluşturma problemi ele alınmış olmasına rağmen, algoritmanın etkinliği alternatif rotaların dikkate alınmadığı, genel hücre oluşturma problemleri üzerinde de test edilmiştir.

ALTROT\_GA'nın performansını test etmek amacıyla King ve Nakornchai'den (1982) alınan 16 tezgah - 43 parça problemi çözülmüştür. Elde edilen 5 hücreli çözüm Şekil 4'de ve literatürde daha önce elde edilmiş diğer çözümlerle karşılaştırmalar Tablo 5'de verilmiştir. Bu problem daha önce Joins vd. (1996) ve Chan ve diğerleri, (2004) tarafından hücre dışı elemanların ağırlığı 0.7 ve kullanılmayan elemanların ağırlığı 0.3 alınarak çözülmüştür. Karşılaştırma yapabilmek amacıyla aynı ağırlıklar kullanılmıştır. Hücre dışı eleman sayısı (#hd) 28 kullanılmayan eleman sayısı (#ke) 53 ve gruplama etkinliği de 0.547486 olarak elde edilmiştir. Bu sonucun her iki yazar tarafından da elde edilen 4 çözümden daha iyi olduğu Tablo 5'de görülmektedir. Tablo 5'in her bir satırında yer alan değerlerden en iyi olanı koyu olarak gösterilmiştir. ALTROT\_GA ile, her iki amaç için de karşılaştırılan yöntemlerden daha iyi sonuç elde edilmiştir. Çözüme 2.80GHz. hızlı Pentium 4 bilgisayarda 734 saniyede ulaşılmıştır.

### Alternatif Rotaların Varlığı Durumunda Hücre Oluşturma Problemi

Alternatif rotaların varlığı, aynı tezgahtan birden fazla sayıda mevcut olması ya da bazı parçaların farklı tezgahlarda işlenerek üretilebilir olması ile mümkündür. Bu bölümde, ALTROT\_GA'nın performansı her iki durum için de ayrı başlıklar altında incelenmiştir. İlgili test problemleri, amaç fonksiyonundaki, hücre dışı eleman sayısı ve kullanılmayan eleman sayısı terimlerinin eşit ağırlıkta olduğu ( $w_1 = w_2$ ) varsayımı altında çözülmüştür.

#### Aynı tezgahtan birden fazla olması durumu

Aynı tezgahtan birden fazla olması durumunda, bu tezgahlarda işlemi olan her parça için alternatif rota oluşturulmuştur. 1, 3, 5, ve 8 tezgahlarında işlem görmesi gereken bir parça olduğunu varsayalım. 5 tezgahından iki adet olması durumunda bu parça için 1, 3, 5(1), 8 ve 1, 3, 5(2), 8 şeklinde iki adet alternatif rota tanımlayarak kopya tezgahlar ele alınabilir. Kopya tezgahların ele alındığı üç literatür problemi çözülmüş ve elde edilen sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6'nın ilk sütununda ele alınan problem, ikinci sütunda problemin büyüklüğünü gösteren, tezgah sayısı (#t), parça sayısı (#p) ve toplam rota sayısı (#r) yer almaktadır. Tablonun izleyen üç sütununda ilgili problemler için, ALTROT\_GA ile elde edilen, hücre dışı eleman sayısı (#hd), kullanılmayan eleman sayısı (#ke) ve gruplama etkinliği değerleri verilmiştir. Son sütunda da karşılaştırma yaptığımız çalışmalara ait gruplama etkinlikleri bulunmaktadır. İncelenen tüm problemlerde ALTROT\_GA ile daha başarılı gruplamalar elde edildiği görülmektedir. Literatürde bu problemlerin her biri üç hücreli olarak

**Tablo 5.** 16x43 King & Nacorchai (1982) problemi için ALTROT\_GA ile diğer yöntemlerin karşılaştırılması

	Chan vd.(2004) 3 hücre	Chan vd.(2004) 4 hücre	Chan vd.(2004) 5 hücre	Joines vd.(1996) 4 hücre	<b>ALTROT_GA 5 hücre</b>
# ke	116	76	55	98	<b>53</b>
# hd	30	29	29	29	<b>28</b>
#ke + #hd	146	105	84	127	<b>81</b>
Gruplama Etkinliği	0.396694	0.480198	0.535912	0.433036	<b>0.547486</b>

	T1	T3	T14	T4	T5	T6	T8	T15	T11	T12	T13	T7	T10	T2	T9	T16
6			1			1										
7		1				1										1
17		1	1			1										
34		1				1										
35		1	1													
36	1	1														
5				1	1			1								
8					1	1	1									
9				1	1		1		1							
12						1	1						1			
14				1	1	1		1								
15						1	1									
16					1											
19				1	1	1	1	1								
21				1	1		1	1								
23				1	1	1	1									
29				1	1											
33					1	1		1								
41	1				1		1	1								
43					1	1	1	1								
3							1		1		1					
11							1			1						
20							1		1							
22										1						
24							1		1	1	1					
27							1		1	1						
30									1	1						
1						1	1					1	1			
13						1						1	1			
25												1	1			
26													1			
31							1							1		
39						1								1		
2			1			1	1							1	1	1
4															1	
10														1	1	1
18														1	1	1
28							1							1	1	
32						1								1	1	1
37						1	1							1	1	1
38							1							1	1	1
40						1								1	1	
42						1								1	1	1

Şekil 4. 16x43 King & Nacorchai (1982) problemi için elde edilen çözüm

gruplandırılmıştır. Ancak hücre sayısını kendisi sırasıyla, 5, 4 ve 5 hücreli çözümler, 261, 203 ve 247 belirleyen ALTROT\_GA ile ilgili problemler için saniyede elde edilmiştir.

**Tablo 6** . Aynı tezgahtan birden fazla olması durumunu ele alan literatür problemleri için ALTROT\_GA ile diğer yöntemlerin karşılaştırılması

Problem	# t / # p / # r	ALTROT_GA			Literatür
		# hd	# ke	Gruplama Etkinliği	Gruplama Etkinliği
Kasilingam ve Lashkari (1991)	13 / 15 / 68	13	4	<b>0.666667</b>	0.577465 <sup>(1)</sup> 0.637681 <sup>(2)</sup>
Sofianopoulou P3.1 (1999)	14 / 20 / 45	32	15	<b>0.530000</b>	0.389313 <sup>(3)</sup>
Sofianopoulou P4 (1999)	18 / 30 / 59	48	31	<b>0.462585</b>	0.355932 <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Kasilingam ve Lashkari (1991), <sup>(2)</sup> Adil vd. (1996), <sup>(3)</sup> Sofianopoulou (1999)

### **Parçaların farklı tezgahlarda işlenebilmesi durumu**

Parçaların farklı tezgahlarda işlenebilmesi durumunda, ALTROT\_GA'nın performansını incelemek amacıyla sekiz literatür problemi çözülmüş

ve elde edilen sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir. Tablo 7'nin ilk sütununda ele alınan problem, ikinci sütunda problemin büyüklüğünü gösteren, tezgah sayısı (# t), parça sayısı (# p) ve toplam rota sayısı (# r) yer almaktadır. Tablonun izleyen üç sütununda

**Tablo 7** . Parçaların farklı tezgahlarda işlenebilmesi durumunu ele alan literatür problemleri için ALTROT\_GA ile diğer yöntemlerin karşılaştırılması

Problem	# t / # p / # r	ALTROT_GA				Literatür
		# hd	# ke	Gruplama Etkinliği	Süre (sn.)	Gruplama Etkinliği
Kusiak (1987)	4 / 5 / 11	0	1	0.900000	3	0.900000 <sup>(1), (2), (3)</sup>
Adil vd. P2 (1996)	4 / 5 / 12	1	0	0.909091	3	0.909091 <sup>(1)</sup>
Moon ve Chi (1992)	6 / 6 / 13	0	3	0.833333	8	0.833333 <sup>(3)</sup>
Sankaran ve Kasilingam (1990)	6 / 10 / 20	2	8	0.722222	7	0.714 <sup>(2)</sup> 0.722222 <sup>(3)</sup>
Won ve Kim Pa (1997)	7 / 10 / 23	3	2	0.814815	52	0.814815 <sup>(3)</sup>
Won ve Kim Pb (1997)	11 / 10 / 22	3	3	0.806452	92	0.806452 <sup>(3)</sup>
Nagi vd. (1990)	20 / 20 / 51	1	16	0.795181	246	0.795181 <sup>(2), (3), (4), (5)</sup>
Won ve Kim Pc (1997)	26 / 28 / 71	18	22	0.720280	1350	0.724832 <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup>Adil vd. (1996), <sup>(2)</sup>Hwang ve Ree (1996), <sup>(3)</sup>Won ve Kim (1997), <sup>(4)</sup>Joines vd. (1996), <sup>(5)</sup>Chan vd. (2004)

ilgili problemler için, ALTROT\_GA ile elde edilen, hücre dışı eleman sayısı (# hd), kullanılmayan eleman sayısı (# ke) ve gruplama etkinliği değerleri verilmiştir. Son sütunda da karşılaştırma yaptığımız çalışmalara ait gruplama etkinlikleri bulunmaktadır. İncelenen tüm problemlerde ALTROT\_GA ile literatürde elde edilen sonuçlara ulaşılmıştır. Ancak Won ve Kim Pc (1997) problemi için literatürde 6 hücreli bir gruplama yapılmış olmasına rağmen, ALTROT\_GA ile yaklaşık aynı gruplama etkinliği değerine 7 hücreli bir gruplama ile erişilmiştir.

da artmaktadır. Bu nedenle çoğu kez gerçek hayat problemlerinin çözümünde analitik yöntemleri kullanmak mümkün olamamaktadır. Yapay zeka tekniklerinden birisi olan GA üstün yönleri ile bu tür problemlerin çözümü için oldukça etkin bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu çalışmada alternatif rotaların varlığı durumunda, hücre dışı ve kullanılmayan eleman sayılarını enküçükleyecek şekilde parça-tezgah ataması yapacak bir GA tasarlanmıştır. Algoritma, farklı genetik operatörleri kullanabilecek esnek

	T1	T6	T9	T12	T4	T13	T15	T10	T14	T17	T18	T2	T5	T7	T16	T20	T3	T8	T11	T19
1_1		1	1	1																
2_1	1	1		1																
3_1	1	1	1	1																
4_1	1	1		1																
5_3	1		1	1												1				
18					1	1	1													
19					1	1	1													
20					1		1													
14_1								1	1	1	1									
15_1								1		1	1									
16_1								1	1		1									
17								1	1	1										
6_2												1	1	1						
7_3													1	1	1	1				
8_1												1		1	1					
9_5												1		1	1	1				
10_2												1	1	1	1					
11_2																	1	1	1	1
12_2																	1	1		1
13_2																	1	1	1	1

Şekil 5. 20x20 Nagi ve diğerleri (1990) problemi için elde edilen çözüm

Nagi vd. (1990) problemi için elde edilen 5 hücreli alternatif çözüm Şekil 5'de verilmiştir.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Oldukça önemli olmasına rağmen üretim hücresi oluşturma konulu pek çok yayının alternatif rotaları ele almamış olması dikkat çekicidir. Üretim hücresi oluşturma problemlerinin karmaşıklığı alternatif rotaların da incelendiği durumlarda daha

bir yapıda geliştirilmiştir. En başarılı operatörler ve parametre değerleri deney tasarımı yardımıyla belirlenmiştir. ALTROT\_GA literatürdeki çalışmalardan farklı olarak en iyi hücre sayısını da belirleyebilme özelliğine sahiptir. Alternatif rotaların olduğu ve olmadığı durumlarda algoritmanın etkinliğini gösterebilmek amacıyla literatürden alınan çeşitli problemler çözülmüştür. Her iki durumda da oldukça başarılı sonuçlara erişilmiştir.



Gelecekte konu ile ilgili ele alınabilecek iki noktaya dikkat çekmekte fayda vardır. Bunlardan birincisi, hücre oluşumu sırasında kapasite kısıtını da ele almanın daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamasıdır. Bu nedenle algoritmanın bu kısıtı da göz önünde bulunduracak şekilde geliştirilmesi faydalı olacaktır. Bir diğeri, gerçek hayatta çoğu kez alternatif rotalardan birisinin mutlaka seçilmesinin zorunlu olmamasıdır. Alternatif rotaların belli oranlarda birlikte kullanımına izin verecek bulanık mantığa dayalı bir yapı çözümünün kullanılabilirliğini arttıracaktır.

### KAYNAKÇA

1. Adil G.K., Rajamani D., Strong D., (1996), Cell formation considering alternate routeings, *International Journal of Production Research*, 34(5), 1361-1380.
2. Altıparmak F., Dengiz B., (1998), Genetik Algoritmalar, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 11(3), 523-541.
3. Anagun A.S. ve Saraç T., (2006), Optimization of performance of genetic algorithm for 0-1 knapsack problems using Taguchi method, *Lecture Notes of Computer Science*, 3982, 678-687.
4. Askin R., Standridge C.R., (1993), *Modeling and Analysis of Manufacturing Systems*, John Wiley&Sons, U.S.A.
5. Chan, F.T.S., Lau, K.W. and Chan, P.L.Y., (2004), A holistic approach to manufacturing cell formation: incorporation of machine flexibility and machine aggregation, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture*, 218(10), 1279-1296.
6. Dengiz B., Altıparmak F., (1998), Genetik Algoritmalara Genel Bir Giriş, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 9(3), 3-14.
7. Durmuşoğlu, M.B., Kulak, O. ve Balci, H.H., (2003), Türkiye’de hücreli üretim uygulamalarının analizi ve değerlendirilmesi, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 14(2), 2-20.
8. Goldberg, D.E., (1989), *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, Addison-Wesley, USA.
9. Gonçalves, J.F. and Resende, M.G.C., (2004), An evolutionary algorithm for manufacturing cell formation, *Computers & Industrial Engineering*, 47, 247-273.
10. Grefenstette, J. (1986), Optimization of control parameters for genetic algorithms, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 16, 122-128.
11. Holland, J., (1975), *Adaptation in natural and artificial systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor.
12. Hwang, H. and Ree, P. (1996), Routes selection for the cell formation problem with alternative part process plans, *Computers & Industrial Engineering*, 30(3), 423-431.
13. İşlier A.A., (1995), İmalat Problemlerinde Genetik Algoritmalar, *Otomasyon Dergisi*, Ocak, 94-98.
14. İşlier A.A., (1996), Hücreli Üretim Sistemi Tasarımı İçin Sezgisel Bir Yaklaşım, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 7, 3-13.
15. İşlier A.A., (1997), Tesis Planlaması, Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.
16. İşlier A.A., (2001), Üretim Hücrelerinin Bir Genetik Algoritma Kullanılarak Oluşturulması, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(1), 137-157.
17. Joines, J.A., Culbreth, C.T. and King, R.E., (1996), Manufacturing cell design: an integer programming model employing genetic algorithms, *IIE Transactions*, 28(1), 69-85.
18. Kasilingam R.G. and Lashkari R.S. (1991), Cell formation in the presence of alternate process plans in flexible manufacturing system, *Production Planning and Control*, 2(2), 135-141.
19. King, J.R. and Nakornchai, V., (1982), Machine component group formation in group technology: review and extensions, *International Journal of Production Research*, 20(2), 117-133.
20. Kumar, K.R. and Chandrasekharan, M.P. (1990), Grouping efficacy: A quantitative criterion for goodness of block diagonal forms of binary matrices in group technology, *European Journal of Operations Research*, 24, 387-397.
21. Kusiak, A. (1987), The generalized group technology concept, *International Journal of Production Research*, 25, 561-569.
22. Lozano S., Guerrero F., Eguia I., Onieva L., (1999), Cell design and loading in the presence of alternative routing, *International Journal of Production Research*, 37(14), 3289-3304.
23. Moon Y.B. and Chi S.C. (1992), Generalized part-family formation using neural network techniques, *Journal of Manufacturing Systems*, 11, 149-160.
24. Nagi, R., Harhalakis, G. and Proth, J.M., (1990), Multiple routings and capacity considerations in group technology applications, *International Journal of Production Research*, 28(12), 2243-2257.
25. Sankaran S. and Kasilingam R. (1990), An integrated approach to cell formation and part routing in group technology manufacturing system, *Engineering Optimization*, 16, 235-245.
26. Sarker B.R. and Li K. (1997), Simultaneous route selection and cell formation: A mixed-integer programming time-cost model, *Integrated Manufacturing Systems*, 8, 374-377.
27. Sofianopoulou S., (1999), Manufacturing cells design with alternative process plans and/or replicate machines, *International Journal of Production Research*, 37(3), 707-720.
28. Won, Y. and Kim, S. (1997), Multiple criteria clustering algorithm for solving the group technology problem with multiple process routings, *Computers & Industrial Engineering*, 32(1), 207-220.
29. Zhao C., Zhiming W., (2000), A genetic algorithm for manufacturing cell formation with multiple routes and multiple objectives., *International Journal of Production Research*, 38(2), 385-395.