

## **HÜCRE OLUŞTURMA YÖNTEMLERİNE İLİŞKİN BİR DEĞERLENDİRME**

Ezgi AKTAR DEMİRTAŞ<sup>1</sup>

**ÖZET** : Günümüzde işletmelerin varlıklarını sürdürebilmeleri, yüksek kalitedeki ürünleri düşük maliyetle müşteriye sunabilmelerine bağlıdır. Bu amaca ulaşabilmek için yaygın olarak kullanılan yaklaşımlardan biri de hücreesel üretimdir. Hücreesel üretim sistemlerinin tasarımındaki en önemli adım ise hücre oluşturma aşamasıdır. Bu makalede; hücre oluşturma yöntemlerine ilişkin son yıllardaki gelişmelerden bahsedilerek geleceğe yönelik çalışmaların nasıl olması gerektiği konusunda ipuçları verilmiştir. Ayrıca, uygulamada karşılaşılan sorunlar ele alınarak, teorik çalışmaların niçin yetersiz kaldığı üzerinde durulmuştur.

**ANAHTAR KELİMELER** : Hücreesel Üretim, Çok Ölçütlü Hücre Tasarımı, Yumuşak Hesaplama Yöntemleri.

## **AN EVALUATION FOR CELL FORMATION METHODS**

**ABSTRACT** : Today's manufacturing industry is facing strong competition in providing high quality and low cost products to ever demanding consumers. Cellular manufacturing is one of the widely used approaches to improve manufacturing productivity to achieve this purpose. The most important step for cellular manufacturing system design is cell formation. In this paper, recent studies in cell formation are mentioned and the hints are given about studies directed to the future. Finally, by considering the problems encountered in applications, it is emphasized that why theoretical studies are insufficient in practice.

**KEYWORDS** : Cellular Manufacturing, Multi-criteria Cell Design, Soft Computing-based Approaches.

---

<sup>1</sup>Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü,  
Bademlik Kampüsü, 26010, ESKİŞEHİR

## ***1. GİRİŞ***

Son yıllarda artan rekabet ortamında, ürün ömrü kısalmışken ürün çeşitliliği hızla artmaktadır. Böylesi bir rekabet ortamında işletmelerin performanslarını arttırabilmeleri; kısa sürede yüksek çeşitlilik gösteren kaliteli ürünler üreterek bu ürünleri rekabetçi fiyatlarla satabilmeleri ile mümkün hale gelmektedir [1]. Bu amaca hizmet eden hücreli üretim uygulamalarının giderek yaygınlaştığını ve başarılı sonuçlar elde edildiğini yurtiçinde ve dünyada yayınlanan bir çok alan çalışması da göstermektedir [2-5].

Da Silveira [2] hücreli üretime geçişin mantıksal bir çerçevede bütünleştirilmesi amacıyla üç evreden oluşan bir yöntem geliştirmiştir. İlk evre; örgütü tanıyarak amaç ve kısıtların belirlendiği ve yeni yerleşim için gerekli ortamın sağlandığı hazırlık aşamasıdır. Tanımlama evresinde en uygun hücre oluşturma yöntemi seçilerek veri toplanır. Hücreler oluşturularak her hücredeki makina sayıları ve üretim hacmi belirlenir. Parça-makina ailelerinin yanısıra; parça karakteristikleri, alternatif rotalar, takım ve kolaylıklara ait bilgiler derlenerek hücre tasarımı tamamlanır. Son aşama olan kurma evresinde ise, planlama sonrası makina ve çalışanlar yeniden düzenlenir, geri bildirim alınarak gerekli düzeltmeler yapılır. Hücre tasarımının yapıldığı tanımlama aşaması projenin en teknik kısmını oluşturur. Hücre tasarımı oldukça karmaşıktır. Bugüne kadar hücre tasarımı amacıyla bir çok yöntem geliştirilerek uygulamaların kullanımına sunulmuştur. Parça ve tezgah çeşitliliği, maliyet, süre gibi faktörler yöntem seçimine yön vermektedir. Ancak bilinen yöntemlerin her durumda yeterli olmaması da, sürekli olarak yeni yöntemlerin geliştirilmesine yol açmaktadır. Bu sebeple çalışmanın ikinci ve üçüncü bölümünde, problemin çok amaçlı yapısı tartışılarak yapay zekaya dayanan yeni teknikler ele alınmıştır. Sonuç ve öneriler bölümünde ise araştırmacıların deneyim ve bilgi birikimine dayanarak başarılı bir geçiş için sunmuş oldukları öneriler sıralanmış, HÜ'de çok ölçütlü yapı, yumuşak hesaplama yöntemleri gibi yeni eğilimler ele alınarak geleceğe yönelik çalışmaların nasıl olması gerektiği konusunda ipuçları verilmiştir.

## II. ÇOK AMAÇLI MODELLERE YÖNELİŞ

Hücre tasarımı aşamasındaki en önemli problem, çelişen amaçlardır. Örneğin süreç içi stokların azaltılması ancak üretim hızının düşürülmesi ile sağlanabilmekte, esneklik düzeyi ekipman yatırımı ile yükseltilebilmektedir [6].

Geçmişten günümüze kadar, HÜ tasarımına yönelik çalışmaların çoğu, hücre içi taşımaların en küçüklenmesi gibi yalnızca tek bir ölçüte göre parça ailelerin oluşturulması ve makina gruplarının belirlenmesine izin vermektedir. Son yıllardaki tek ölçütlü modeller Tablo.1’de özetlenmiştir:

**Tablo 1.** Hücre tasarımında tek ölçütlü modeller

Ölçütler	Yapılan Çalışmalar
Hücrelerarası taşımaları en küçüklemek	[7-13]
Hücreler arası taşıma maliyetini en küçüklemek	[14]
Parça ve/veya makina benzerliklerini en büyüklemek	[15-21]
Parça-makina matrisinde blok diagonal yapıya ulaşmak	[22-26]
Hücre yüklemesindeki dengesizlikleri en küçüklemek	[27]
Hücre dışı elemanların sayısını en küçüklemek	[28-29]

Artan rekabet ortamında işletmelerin başarılarını devam ettirebilmeleri, kısa hazırlık zamanları ile kısa sürede çok çeşitli ürün üreterek bu ürünleri makul fiyatlarla satabilmelerine bağlıdır. Tüm bu ölçütleri ele alarak en iyi çözüme ulaşmak sistem tasarımcılarının arzu ettiği bir durum olmakla birlikte, çelişen amaçların varlığı çözüme ulaşmayı imkansız hale getirmektedir. Bu sebeple; son yıllarda hücre tasarım problemini, çok ölçütlü karar problemi olarak ele alan çalışmaların çoğaldığı gözlenmektedir. 1990-2004 yılları arasında yapılan çalışmalardan bazıları şu şekilde özetlenebilir:

Gupta vd. [30] hücre içi ve hücreler arası taşımaların ağırlıklı toplamını göz önünde bulunduran bir modeli genetik algoritma yardımıyla çözümlerken sonraki çalışmalarında bu iki ölçüte ek olarak hücrelerdeki iş yükleme dengesizliklerini en küçüklemeye çalışmıştır [31].

Suresh vd. [32] hücre tasarımında üç aşamalı hiyerarşik bir yaklaşım önermiştir. I. aşamada sinir ağları yardımı ile parça aileleri ve makina grupları oluşturulmakta, II. aşamada karma tamsayılı programlama kullanılarak bağımsız makinalar belirlenen hücrelere atanmaktadır. Bu aşamada, hücre bağımsızlığı ve rota esnekliğini en büyükleme ve yatırım maliyetini en küçükleme gibi çelişen amaçlar dikkate alınmıştır. III. aşamada ise birden fazla hücrede üretilen parça aileleri için 0-1 tamsayılı modelleme ile hücreler arası taşıma en küçüklemeye çalışılmıştır.

Aktürk ve Balköse [33], parçaların tasarım ve üretim özelliklerindeki farklılıklar, işlem sıralarındaki farklılıklar, yatırım maliyeti, hücrelerdeki iş yükleme dengesizliği ve toplam iş yükleme dengesizliği gibi altı amacı birden en küçüklemeye çalışmıştır. Bahsedilen altı farklı amacın önceliklendirilmesinde AHP kullanılmıştır.

Boctor [34], özdeş makina maliyeti ile hücreler arası taşıma maliyetini en küçükleme için birbiri ile çelişen bu iki ölçüte eşit ağırlık veren bir amaç fonksiyonu tanımlamış, iyi sonuçlar elde edebilmek için tavlama benzetimini kullanmıştır.

Ho ve Moodie [35] I. aşamada işlem sıralarındaki benzerliklere göre parça ailelerini oluşturan, II. aşamada ise karma tamsayılı programlama ile makinaları parça ailelerine tahsis eden bir yordam geliştirmiştir. Burada amaç; işlem maliyetini, özdeş makina maliyetini ve işlemin tanımlandığı hücreden farklı bir hücrede yapılması durumunda oluşacak ceza maliyetini en küçükleme olmuştur.

Rajamani vd. [36] yatırım, süreç ve taşıma maliyetlerinin ağırlıklı toplamını en küçükleme için karma tamsayılı bir modelde sınır algoritmaları yardımıyla çözümlenmiştir. Hücreler arası taşımayı en küçükleyerek özdeş makinalardaki iş yükleme dengesini en büyükleme çalışılan yordamsal bir algoritma Lee ve Chen [37] tarafından geliştirilmiştir.

Su ve Hsu [38] modellerinde üç farklı amacı ele almıştır. Birinci amaç; hücre içi ve hücreler arası taşımalar ile yatırım maliyetini, ikinci amaç hücre içi yükleme dengesizliklerini üçüncü amaç ise hücreler arası yükleme dengesizliklerini en küçükleme. Üç farklı amaç tek bir modelde bütünleştirilerek tavlama benzetimi ile çözümlenmiştir. Tavlama benzetiminin sakıncalarından biri olan uzun çözümleme süresi nedeniyle genetik algoritmaların çaprazlama ve mutasyon fonksiyonlarından da yararlanılmıştır.

Zhao ve Wu [39] makinaların gruplandırılmasında hücre içi ve hücreler arası taşıma maliyetlerini, hücre dışı eleman sayısını ve toplam hücre yükleme dengesizliğini en küçüklerken alternatif rotaları da dikkate alan bir genetik algoritma geliştirilmiştir.

Mukattash vd. [40] alternatif rotaların ve paralel makinaların olduğu durumlar için çok ölçütlü bir hücre tasarım problemi tarifleyerek tüm amaçları en iyilemeye çalışan üç sezgisel prosedür geliştirmiştir. Birinci prosedür işlem zamanlarına bağlı olarak, ikinci prosedür alternatif süreç planlarına göre, son prosedür ise paralel makinalara göre parça ataması yapmaktadır.

Cao ve Chan [41] ceza fonksiyonu ve yasaklı arama yöntemini kullanarak taşıma ve işlem maliyetlerini en küçükmeye çalışmıştır.

Güngör ve Arıkan [42] makina yatırım maliyetlerini, hücre içi ve hücreler arası yükleme dengesizliklerini ve ıskarta oranını en küçükmek için bulanık tabanlı bir algoritma oluşturmuştur. Aktürk ve Balköse'nin çalışmalarıyla kıyaslandığında performans ölçütleri açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Lozano vd. [43] hücre içi ve hücreler arası taşıma maliyetlerini en küçükmek üzere sinir ağlarını kullanmıştır.

Hücre tasarımında kullanılan yöntemlerin bazı araştırmacılar tarafından girdi yapısına, ölçütlere, çözüm yöntemlerine ve çıktı yapısına bağlı olarak sınıflandırıldığı görülmektedir [44-46]. Bu çalışmada ise son yıllarda geliştirilen çok ölçütlü modeller ölçütlere ve çözüm yöntemlerine göre sınıflandırılmıştır. Ek-A'daki modeller, amaç maksimum miktar ve minimum sapma olmak üzere ölçütler temelinde sınıflandırılmıştır. Ek-B'deki sınıflamada ise amaç minimum maliyet ve minimum miktardır.

### ***III. HÜCRE TASARIMINDA YENİ EĞİLİMLER***

Çok ölçütlü hücre tasarımında, matematiksel programlama yaygın olarak kullanılmaktadır. Matematiksel programlama yöntemlerinden hedef programlama ve ağırlıklandırma yöntemi çoğu çok ölçütlü hücre tasarım problemine uygulanabilmektedir.

Hücre tasarım problemlerinin NP-tam sınıfında yer alması, gerçek uygulamalarda en iyi ya da en iyiye yakın sonuçlar veren yordamların kullanımını ön plana çıkarır. Bu sebeple son yıllarda analitik çözümü bulunamayan veya zor olan modellerin çözümü

için, klasik yöntemler dışında sinir ağları, bulanık mantık ve genetik algoritmalar gibi yumuşak hesaplama teknikleri kullanılmaya başlamıştır. Son beş yılda yapılan çalışmalar bu düşünceyi doğrular niteliktedir:

Kutub Uddin ve Shanker [11] alternatif rotaların varlığı altında hücreler arası taşımayı en küçükmek üzere genetik algoritmaları kullanmıştır. İşler'in [60] geliştirdiği genetik algoritma, yasaklı arama yönteminden dört kat daha hızlı çalışıp, %32 daha iyi sonuç elde etmiştir. Tavlama benzetimine göre üstünlüğü, çözüm kalitesi açısından %15-%30, hız açısından ise 10-197 kat olmuştur. Çoğu durumda genetik algoritmaların, hız ve çözüm kalitesi açısından yasaklı arama ve tavlama benzetimine göre üstünlük sağlaması genetik algoritmaların gerçek hayat problemlerinde de kullanılabilceğini göstermektedir [60].

Guerrero vd. [15] parça-makina benzerliğini en büyükmek için kendi kendine organize olabilen sinir ağlarını (self-organizing neural network) kullanmış, önerdikleri çalışmayı literatürdeki problemlerle test etmişlerdir. Özellikle kısıtlı ve çok amaçlı parça-makina gruplama problemlerinde sinir ağları, parça ve süreç özelliklerinin sayısallaştırılmasında ise bulanık mantık kullanımı giderek önem kazanmaktadır [42-43]. Geleneksel yöntemlerin bulanık versiyonu konusundaki çalışmaların arttığından da söz etmek mümkündür [46].

Son yıllardaki potansiyel uygulama alanlarından biri de Yasaklı Arama yöntemidir. Ancak yasaklı arama yönteminin büyük boyutlu problemlerde literatürdeki bazı tavlama benzetimi algoritmalarına üstünlük sağlayamadığı gözlenmiştir [14]. Alternatif rotaların, özdeş makinaların ve makina kapasite kısıtlarının olduğu durumlarda tavlama benzetimi daha etkili olabilmektedir [9,13]. İkinci bölümdeki çok ölçütlü modeller Tablo.2'de çözüm yöntemlerine göre sınıflandırılmıştır:

**Tablo 2.** Çözüm Yöntemlerine Göre Modellerin Sınıflandırılması

ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ	REFERANSLAR
Kısıt Yöntemi	[53]
Ağırlıklandırma Yöntemi	[34], [36], [37], [48], [49], [51], [54], [56], [57], [58], [59],
Hedef Programlama	[32], [47], [50], [55]
Sinir Ağları	[32], [43]
Bulanık Mantık	[32], [42]
Yordamlar	[33], [35], [37], [49], [50], [53], [55], [56], [59],
AHP	[33], [42]
Genetik Algoritmalar	[30], [31], [39], [52]
Tavlama Benzetimi	[34]
Yasaklı Arama	[41]

#### **IV. SONUÇ VE ÖNERİLER**

Son 30 yılda hücresele üretim konusunda bir çok akademik çalışma yapılmış ancak bu çalışmaların dayandığı kabuller pratikte uygulanabilirliklerini zorlaştırmıştır. Hücre oluşturma yöntemlerine ilişkin çalışmalar incelendiğinde izleyen sonuçlara ulaşılmıştır.

➤ Geliştirilen yöntemin pratikte uygulanabilir olması için; problemin çok ölçütlü yapıda olduğu unutulmamalı ve hücre içi başarıyı değerlendirecek yeni ölçütler geliştirilmelidir. Yaygın olarak kullanılan yöntemler ağırlıklandırma yöntemi ile hedef programlamadır. Birden fazla ölçütün ağırlıklandırma yöntemi ile tek bir amaç fonksiyonunda birleştirilmesi en iyilemede sakınca yaratabilmektedir. Bu nedenle gelecekteki çalışmalar, baskın olmayan çözümleri çok daha kısa sürede bulabilen yöntemlere yönelik olacaktır. Bu sebeple son yıllarda analitik çözümü bulunamayan veya zor olan modellerin çözümü için, klasik yöntemler dışında sinir ağları, yasaklı arama, tavlama benzetimi, bulanık mantık ve genetik algoritmalar gibi teknikleri kullanılmaya başlanmıştır.

➤ Literatürde bazı yöntemler etkinlik ve çözüm kalitesi açısından karşılaştırılsa da [61] bu yöntemlerin gücü ve sınırlarına ilişkin net bilgi sunulamamaktadır. Gerçek hayat problemlerinin çözümünde bulanık mantık, sinir ağları ve genetik algoritmalar gibi yaklaşımlar yaygınlaşmakla birlikte bu yöntemler klasik yöntemlerle karşılaştırılarak hücre tasarım problemleri için pratikte kullanılabilecek güçlü modeller geliştirilmelidir.

- Çoğu durumda genetik algoritmaların, hız ve çözüm kalitesi açısından yasaklı arama ve tavlama benzetimine göre üstünlük sağlaması genetik algoritmaların gerçek hayat problemlerinde de kullanılabileceğini göstermektedir.
- Özellikle kısıtlı ve çok amaçlı parça-makina gruplama problemlerinde sinir ağı, parça ve süreç özelliklerinin sayısallaştırılmasında ise bulanık mantık kullanımı giderek önem kazanmaktadır. Geleneksel yöntemlerin bulanık versiyonu konusundaki çalışmaların arttığından da söz etmek mümkündür. Hücre oluşturmada oldukça elverişli bir yöntem olan bulanık modellerin öğrenme yeteneği yoktur. Ancak bulanık modellerle sinir ağı birleştirilerek oluşturulacak hibrit yapıya öğrenme ve hafıza yeteneği yüklenebilir.
- Son yıllardaki potansiyel uygulama alanlarından biri de Yasaklı Arama yöntemidir. Ancak yasaklı arama yönteminin büyük boyutlu problemlerde literatürdeki bazı tavlama benzetimi algoritmalarına üstünlük sağlayamadığı gözlenmiştir.
- Şu ana kadar yapılan çalışmalar genellikle parça ve makina olmak üzere hücresel üretimin iki boyutuyla sınırlandırılmıştır. Ancak son yıllarda çok boyutlu hücresel üretim problemlerini çözebilen algoritmalar geliştirilmektedir. Böylece parça ve makinaların dışında üst yönetim ve deneyimi dikkate alarak operatör atamalarının yapılabilmesine olanak sağlanmaktadır [62-63].





AMAÇLAR	Minumum Maliyet							Minimum Miktar						
	Özdeş makina	İşlem maliyeti	Dış Yapım	Hücreler arası taşıma	Hücre içi taşıma	Boş alan kullanımı	Makina tahsisi	Özdeş makina	Hücreler arası taşıma	Hücre içi taşıma	Hücre yükleme dengesizliği	Fab. yükleme dengesizliği	Parça farklılıkları	Fire
<b>ÖLÇÜTLER</b>														
<b>REFERANSLAR</b>														
Sankaran ve Kasilingam [48]		*					*							
Wei ve Gaither [49]			*	*						*	*			
Shafer vd. [51]	*		*	*										
Venugopal ve Narendran [52]								*		*				
Dahel ve Smith [53]								*						
Logendran [54]								*	*					
Sankaran ve Kasilingam [56]		*		*	*	*								
Ferreira [57]				*			*	*						
Vakharia ve Kaku [58]				*			*	*						
Gupta vd. [30]								*	*					
Suresh vd. [32]								*	*					
Aktürk ve Balköse [33]										*	*	*	*	*
Boctor [34]	*			*										
Gupta vd. [31]								*	*	*				
Ho ve Moodie [35]	*	*		*										
Rajamani vd. [36]	*	*		*										
Lee ve Chen [37]								*	*		*			
Su ve Hsu [38]	*			*	*					*	*			
Zhao ve Wu [39]				*	*					*				
Cao ve Chen [41]				*	*		*							
Güngör ve Arıkan [42]										*	*	*	*	*
Lozano vd. [43]								*	*					

**Ek-B Ölçütlere  
Göre Modellerin  
Sınıflandırılması  
(minimum.maliyet  
-miktar)**

## ***KAYNAKLAR***

- [1] Seifoddini, H. ve Tjahjana, B., "Part-family formation for cellular manufacturing: a case study at Harnischfeger", *International Journal of Production Research*, 37, 14, pp. 3263-3273, 1999.
- [2] Da Silveira, G., "A methodology of implementation of cellular manufacturing", *International Journal of Production Research*, 37, 2, pp. 467-479, 1999.
- [3] Wemmerlöv, U., Hyer, N., "Cellular manufacturing in the US industry: a survey of users", *International Journal of Production Research*, 27, 9, pp. 1511-1530, 1989.
- [4] Wemmerlöv, U., Hyer, N., "Cellular manufacturing at 46 user plants: implementation experiences and performance improvements", *International Journal of Production Research*, 35,1, pp. 29-49, 1997.
- [5] Durmuşoğlu, M.B., Onbaşı, Ş., "A Field Study on Measuring The Lean Maturity Level in Manufacturing Firms in Turkey", 2<sup>nd</sup> International Conference on "Responsive Manufacturing", Haziran 2002, Gaziantep, Bildiri kitabı, pp. 61-66.
- [6] Atalay, N., Birbil, D., Demir, N., Yıldırım, Ş., "Kobi'lerin Esnek Üretim Sistemleri Yönünden İrdelenmesi ve Bir Uygulama", Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara, 1998.
- [7] Klincewicks, J.G., Rajan, A., "Using GRASP to solve the component grouping problem", *Naval Research Logistics*, 41, pp. 893-912, 1994.
- [8] Joines, J.A., Culbreth, C.T., King, R.E., "Manufacturing cell design: an integer programming model employing genetic algorithms", *IIE Transactions*, 28, pp. 69-85, 1996.
- [9] Xambre, A.R., Vilarinho, P.M., "A simulated annealing approach for manufacturing cell formation with multiple identical machines", *European Journal of Operational Research*, 151, pp.434-446, 2003.
- [10] Lozano, S., Dobado, D., Larraneta, J., Onieva, L., "Modified fuzzy C-means algorithm for cellular manufacturing", *Fuzzy Sets and Systems*, 126, pp.23-32, 2002.
- [11] Kutub Uddin, M., Shanker, K., "Grouping of parts and machines in presence of alternative process routes by genetic algorithm", *International Journal of Production Economics*, 76, pp.219-228, 2002.

- [12] Plaquin, M., Pierreval, H., "Cell formation using evolutionary algorithms with certain constraints", *International Journal of Production Economics*, 64, pp.267-278, 2000.
- [13] Caux, C., Bruniaux, R., Pierreval, H., "Cell formation with alternative process plans and machine capacity constraints: A new combined approach", *International Journal of Production Economics*, 64, pp.279-284, 2000.
- [14] Adenso-Diaz, B., Lozano, S., Racero, J., Guerrero, F., "Machine cell formation in generalized group technology", *Computers and Industrial Engineering*, 41, pp.227-240, 2001.
- [15] Guerrero, F., Lozano, S., Smith, K., Canca, D., Kwok, T., "Manufacturing cell formation using a new self-organizing neural network", *Computers and Industrial Engineering*, 42, pp.377-382, 2002.
- [16] Kuo, R.J., Chi, S.C., Teng, P.W., "Generalized part family formation through fuzzy self-organizing feature map neural network", *Computers and Industrial Engineering*, 40, pp.79-100, 2001.
- [17] Kao, Y., Moon, Y.B., "A Unified group technology implementation using the backpropagation learning rule of neural networks", *Computers and Industrial Engineering*, 20, pp. 425-437, 1991.
- [18] Kaparthi, S., Suresh, N.C., "A neural network system for shape-based classification and coding of rotational parts", *International Journal of Production Research*, 29, pp. 1771-1784, 1991.
- [19] Askin, R.G., Cresswell, S.H., Goldberg, J.B., Vakharia, A., "A Hamiltonion path approach to reordering the part machine matrix for cellular manufacturing", *International Journal of Production Research*, 29, pp. 1081-1100, 1991.
- [20] Lee, H., Garcia-Diaz, A., "A network flow approach to solve clustering problems in group technology", *International Journal of Production Research*, 31, pp. 603-612, 1993.
- [21] Kusiak, A., Boe, W.J., Cheng, C.H., "Designing cellular manufacturing systems: branch and bound and A\* approaches", *IIE Transactions*, 25, pp. 46-56, 1993.
- [22] Kaparthi, S., Suresh, N.C., "Machine-component cell formation in group technology: a neural network approach", *International Journal of Production Research*, 30, pp. 1353-1367, 1992.

- [23] Kaparthy, S., Suresh, N.C., Cervený, R.P., "An improved neural network leader algorithm for part-machine grouping in group technology", *European Journal of Operational Research*, 69, pp. 342-356, 1993.
- [24] Suresh, N.C., Kaparthy, S., "Performance of fuzzy ART neural network for group technology cell formation", *International Journal of Production Research*, 32, pp. 1693-1713, 1994.
- [25] Mukopadhyay, S.K., Sarkar, P., Panda, R.P., "Machine-component grouping in cellular manufacturing by dimensional scaling", *International Journal of Production Research*, 32, pp. 457-477, 1994.
- [26] Chen, C.Y., Irani, S.A., "Cluster first sequence last heuristics for generating block diagonal forms for a machine-part matrix", *International Journal of Production Research*, 31, pp. 2623-2647, 1993.
- [27] Venugopal, V. And Narendran, T.T., "Cell formation in manufacturing systems through simulated annealing: An experimental evaluation", *European Journal of Operational Research*, 63, pp. 409-422, 1992.
- [28] Song, S., Hitomi, K., "GT cell formation for minimising the intercell parts flow", *International Journal of Production Research*, 30, pp. 2737-2753, 1992.
- [29] Amirahmadi, F., Coobineh, F., "Identifying the composition of a cellular manufacturing system", *International Journal of Production Research*, 34, pp. 2471-2488, 1996.
- [30] Gupta, Y., Gupta, M., Kumar, A., Sundaram, C., "Minimizing total intercell and intracell moves in cellular manufacturing: a genetic algorithm approach", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 8, pp. 92-101, 1995.
- [31] Gupta, Y., Gupta, M., Kumar, A., Sundaram, C., "A genetic algorithm-based approach to cell composition and layout design problems", *International Journal of Production Research*, 34, 2, pp. 447-482, 1996.
- [32] Suresh, N.C., Slomp, J., Kaparthy, S., "The capacitated cell formation problem: a new hierarchical methodology", *International Journal of Production Research*, 33, 6, pp. 1761-1784, 1995.
- [33] Aktürk, M.S., Balköse, H.O., "Part-machine grouping using a multi-objective cluster analysis", *International Journal of Production Research*, 34, 8, pp. 2299-2315, 1996.

- [34] Boctor, F.F., "The minimum cost, machine-part cell formation problem", *International Journal of Production Research*, 34, 4, pp. 1045-1063, 1996.
- [35] Ho, Y.C., Moodie, C.L., "Solving cell formation problems in a manufacturing environment with flexible processing and routing capabilities", *International Journal of Production Research*, 34, 10, pp. 2901-2923, 1996.
- [36] Rajamani, D., Singh, N. Ve Aneja, Y.P., "Design of cellular manufacturing systems", *International Journal of Production Research*, 34, 7, pp. 1917-1928, 1996.
- [37] Lee, S.D., Chen, Y.L., "A weighted approach for cellular manufacturing design: minimizing intercell movement and balancing workload among duplicated machines", *International Journal of Production Research*, 35, 4, pp. 1125-1146, 1997.
- [38] Su, C.T., Hsu, C.M., "Multi-objective machine-part cell formation through parallel simulated annealing", *International Journal of Production Research*, 36, 8, pp. 2185-2207, 1998.
- [39] Zhao, C.W., Wu, Z.M., "A genetic algorithm for manufacturing cell formation with multiple routes and multiple objectives", *International Journal of Production Research*, 38, 2, pp. 385-395, 2000.
- [40] Mukattash, A.M., Adil M.B., Tahboub K.K., "Heuristic approaches for part assignment in cell formation", *Computers and Industrial Engineering*, 42, 2-4, pp. 329-341, 2002.
- [41] Cao, D., Chen, M., "Using penalty function and Tabu search to solve cell formation problems with fixed cell cost", *Computers and Operations Research*, 31, pp.21-37, 2004.
- [42] Güngör, Z., Arıkan, F., "Application of fuzzy decision making in part-machine grouping", *International Journal of Production Economics*, 63, pp.181-193, 2000.
- [43] Lozano, S., Canca, D., Guerrero, F., Garcia, J.M., "Machine grouping using sequence-based similarity coefficients and neural networks", *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 17, pp.399-404, 2001.
- [44] Mansouri, S.A., Hussein, S.M. ve Newman, S.T., "A review of the modern approaches to multi-criteria cell design", *International Journal of Production Research*, 38, 5, pp. 1201-1218, 2000.

- [45] Venugopal, V., "Soft-computing-based approaches to the group technology problem: a state-of-art-review", *International Journal of Production Research*, 37,14, pp. 3335-3357, 1999.
- [46] Selim, H.M., Askin, R.G., Vakharia, A.J., "Cell formation in group technology: review, evaluation and directions for future research", *Computers and Industrial Engineering*, 34, 1, pp. 3-20, 1998.
- [47] Sankaran, S., "Multiple objective decision making approach to cell formation: a goal programming model", *Mathematical and Computer Modeling*, 13, 9, pp. 71-81, 1990.
- [48] Sankaran, S., Kasilingam, R.G., "An integrated approach to cell formation and part routing in group technology manufacturing systems", *Engineering Optimization*, 16, pp.235-245, 1990.
- [49] Wei, J.C., Gaither, N., "A capacity constrained multiobjective cell formation method", *Journal of Manufacturing Systems*, 9, pp. 222-232, 1990.
- [50] Shafer, S.M., Rogers, D.F., "A goal programming approach to the cell formation problem", *Journal of Operations Management*, 10, 1, pp. 28-43, 1991.
- [51] Shafer, S.M., Kern, G.M., Wei, J.C., "A mathematical programming approach for dealing with exceptional elements in cellular manufacturing", *International Journal of Production Research*, 30, pp. 1029-1036, 1992.
- [52] Venugopal, V., Narendran, T.T., "A genetic algorithm approach to the machine-component grouping problem with multiple objectives", *Computers and Industrial Engineering*, 22, 4, pp. 469-480, 1992.
- [53] Dahel, N.E., Smith, S.B., "Designing flexibility into cellular manufacturing systems", *International Journal of Production Research*, 31, pp. 933-945, 1993.
- [54] Logendran, R., "A binary integer programming approach for simultaneous machine-part grouping in cellular manufacturing systems", *Computers and Industrial Engineering*, 24, 3, pp. 329-336, 1993.
- [55] Min, H., Shin, D., "Simultaneous formation of machine and human cells in group technology: a multiple objective approach", *International Journal of Production Research*, 31, pp. 2307-2318, 1993.

- [56] Sankaran, S., Kasilingam, R.G., “On cell size and machine requirements planning in group technology”, *European Journal of Operational Research*, 69, 3, pp. 373-383, 1993.
- [57] Ferreira, J.F., Riberio, C., Paradin, B., “A methodology for cellular manufacturing design”, *International Journal of Production Research*, 31, pp. 235-250, 1993.
- [58] Vakharia, A.J., Kaku, B.K., “An investigation of the impact of demand changes on a cellular manufacturing system”, *Decision Sciences*, 24, pp. 909-930, 1993.
- [59] Liang, M., Taboun, S.M., “Converting functional manufacturing systems into focused machine cells-a bicriterion approach”, *International Journal of Production Research*, 33, pp. 2147-2161, 1996,
- [60] İşlier, A., “Üretim Hücrelerinin Bir Genetik Algoritma Kullanılarak Oluşturulması”, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2, 1, ss. 137-157, 2001.
- [61] Asokan, P., Prabhakaran, G., kumar, G.S., “Machine-cell grouping in cellular manufacturing systems using non-traditional optimization techniques-a comparative study”, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 18, pp.140-147, 2001.
- [62] Ming-Liang, L., “The algorithm for integrating all incidence matrices in multi-dimensional group technology”, *International Journal of Production Economics*, 86, pp.121-131, 2003.
- [63] Chakravorty, S.S., Douglas, N.H., “Implications of cell design implementation: A case study and analysis”, *European Journal of Operational Research*, 152, pp.602-614, 2004.