

GENETİK ALGORİTMA VE BENZERLİK KATSAYISI YAKLAŞIMLARININ UYGUNLUK DEĞER ÖLÇÜSÜ İLE KARŞILAŞTIRILMASI: CAM KALIP ÖRNEĞİ

İ. Figen GÜLENC

Kocaeli Üniversitesi İ.İ.B.F.

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, geleneksel üretim sistemleriyle karşılaştırarak, hücresel üretim sistemine geçebilmek için gerekli hazırlıkları bilimsel bir çerçevede sunup, söz konusu üretim için seçilecek yöntemi farklı kümelendirme yöntemleri karşılaştırması ile belirlemeye çalışmaktır. Çalışmada yedi aşamalı bir metodoloji çerçevesinde iki ayrı kümelendirme yöntemi oluşturulmuş ve bunlar karşılaştırılmıştır. Kullanılan yöntemlerden ilki, hücresel üretimde kullanılan ilk kümelendirme yöntemlerinden olan *benzerlik katsayısıdır*. Diğer yöntem ise, son yıllarda hücresel üretimde etkinliğini kanıtlamış yöntemlerden biri olarak sıkça adından söz edilen *genetik algoritma* yöntemidir. Çalışma, teorinin ortaya koyduğu yararların saptanabilmesi için bir fabrika uygulaması ile desteklenmiştir. Uygulama esnasında, verilerin toplanıp, uygulama için hazırlanmasının ardından, parça aileleri ile makine hücrelerinin oluşturacağı kümelendirme yöntemlerini çalıştıracak bir bilgisayar programı üretilmiştir. Söz konusu iki yöntem kullanılarak oluşturulan kümeler, başlıca özellikleri ve hesaplanan *uygunluk değerleri* açısından karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar işletme tarafından seçilecek yöntemin belirlenmesinde yol gösterici niteliktedir.

ABSTRACT

This paper aims to present the necessary preparations for switching into cellular production system by comparing it with the conventional production systems within a scientific framework. It also aims to specify the cellular production technique to be selected through the comparison of various clustering methods. In the paper, two separate clustering methods are formed within a seven-staged methodology and then these two methods are compared. The first method used is the *similarity coefficient*, one of the clustering methods which were initially used in the cellular production. The other one is the so-called *genetic algorithm*, a method whose effectiveness has been proved in the cellular production during the last years. The study is supported by a plant application to

determine the benefits of applying the theory. After the collection and the preparation of the data, an original computer program is designed in order to work with the clustering methods formed by the parts families and machine cells. The clusters that are formed by the above mentioned methods are compared in their major properties and in their calculated *measure of fitness values*. The findings are such that they would guide managements in the selection of the cellular production technique.

GİRİŞ

Benzer özellikler taşıyan parçaların, benzer şekilde üretilbilmeleri nedeniyle bir araya toplandığı sistemler *hücre* olarak tanımlanmaktadır. Bir hücrede benzer parça-ailesini üretmek için çalışanların bir takım olarak bir araya getirilmesi ve benzer olmayan makinelerin gruplaşma stratejisi ise *hücresel imalat* olarak tanımlanmaktadır (Askin and Zhou, 1998:319).

Benzer özellikler taşıması nedeniyle aynı ailede yer alan parçaların aynı tezgahlar üzerinde ve aynı makineler kullanılarak üretilmesi olasıdır. Bu benzerlikler aile içindeki her bir parçanın üretimi için gerekli makinelerden oluşan üretim hücrelerini oluşturur. Dolayısıyla, üretim hücrelerinde aynı fonksiyonel özelliği taşımayan üretim araçlarının bir araya getirilmesi söz konusudur (Üreten 1999: 379).

Hücresel imalat yaklaşımının temeli, küçük bir sistemin etkin ve kontrol edilebilir olma özelliğini, büyük sisteme yansıtmaktır. Bu yansıma, büyük sistem içinde birbirinden bağımsız küçük alt sistemler oluşturma şeklinde gerçekleşir. Böylece kümeler bağımsız küçük sistemler olarak büyük sistemin karmaşıklığını çözüme yardımcı olur (Cebeci, 1994:6). Bu sistemler içindeki benzer üretim özelliğine sahip belirli parçalar grubunun, üretim prosesleri, işgücü, insan ve özellikle de makine gruplarını içeren sistemlerdir. Bu konfigürasyonun en uygun görüldüğü ortamlar orta derecede üretim hacmine ve ürün çeşidine sahip sistemlerdir.

Hücre içindeki tüm tesisler ve birimler, hücreye giren bütün parçaları kendi içinde üretecek şekilde organize edilmişlerdir. Bu açıklamaların ardından hücresel imalatın ana fikrinin, “imalat sisteminin küçük alt sistemlere bölünmesi” olduğunu söyleyebiliriz. Bu bölünmenin temel amacı ise verimlilik ve esnekliğin bir araya getirilmesi ve kontrolün karmaşıklığını azaltmaktır (Baykasoğlu and Gindy 2000:1133). Bir başka ifadeyle, tüm bu basitleştirmeler gereksiz çeşitlerin elenmesi ile ilgilidir.

Bu çalışmanın amacı, geleneksel üretim sistemleriyle karşılaştırarak, hücresel üretim sistemine geçebilmek için gerekli hazırlıkları bilimsel bir çerçevede sunup, söz konusu üretim için seçilecek yöntemi farklı kümelendirme yöntemleri karşılaştırması ile belirlemeye çalışmaktır.

İMALAT HÜCRELERİ

Bir hücresel üretim sistemi tasarlandığında, sayısız hedefler karşımıza çıkar ancak, başlıca üç temel hedeften söz edilebilir. Bunlar: (1) parçaların hücreler arası transferinin minimize edilmesi; (2) makinelerin tekrarlanma sayısının minimize edilmesi; (3) hücrelerin dönemler arası yeniden konfigürasyonunun minimize edilmesi şeklinde sıralanabilir (Wicks and Reasor 1999: 12).

Hücresel üretim sistem tasarımının temel problemi, parça ailelerinin ve makine hücrelerinin tanımlanmasıdır. Burada en iyi (optimal) bölümleri bulmak tasarımı zor hale getiren başlıca etkidir. Başka bir deyişle, 30 000 değişik parçayı, 100 değişik makinede yapan bir fabrika, üretim ailelerini ve makineleri ayrı gruplarda nasıl bölümlere ayırmalıdır? Her bir üretim ailesi yalnızca bir grup tarafından mı üretilmelidir? Bu soruların cevaplandırılması için, önce parça ailelerinin ve makine hücrelerinin tanımlanmaları gerekmektedir.

2.1. Hücre oluşturma yöntemleri

Parça seti, işlem gereksinimleri ve elde edilebilen mümkün kaynaklar veri iken, parça ailesi/makine hücresi oluşturma (formasyon) problemi, parçaların uygun bir şekilde hücrelere bölünmesinden elde edilir. Bu bölünme, sonucunda sistem, tasarım hedefine göre iyi bir performans göstermelidir. Literatürde konu ile ilgili sayısız formülasyon ve çözümleme stratejileri yer almaktadır (Wicks and Reasor 1999:11).

Konu ile ilgili ilk çalışmalardan biri, üretim akışı yaklaşımını grup teknolojisi problemlerini çözmek için Burbidge (1963) tarafından yapılmıştır. O dönemden bu yana pek çok araştırmacı parça ailesi/makine hücresi oluşturma problemiyle ilgilenmektedir. Wemmerlöv and Hyer (1986) literatürde konu ile ilgili 70'in üzerinde sınıflandırma yapılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, Joines et al. (1996) tarafından yayınlanan ve gözden geçirilip sınıflandırılan 230 adet parça ailesi/makine hücresi oluşturma metodolojisi bulunmaktadır.

Başlıca hücre oluşum teknikleri; el ile yapılan teknikler, sınıflandırma ve kodlama, istatistiksel kümeleme analizi, parça-makine ayırma matrisi, benzetim teknikleri ve matematiksel teknikler olarak sınıflandırılmaktadır.

Hücre oluşturma yöntemlerinin, algoritmaların, ayrıca bunların değerlendirilmesinde kullanılan kümelendirme ve performans kriterlerinin çok sayıda oluşu hangi yöntemin daha iyi ve uygun olacağını seçimini güçleştirir. Farklı kriterler farklı gruplandırma sonuçları üretebilmektedir. Bunlardan hangisinin seçilmesi gerektiği, parça ve makinelerin çeşitliliğine, gruplama tiplerine (parçalar, makineler veya her ikisi), sermaye ve zamanın kullanılmasına, personelin karar verebilme seviyesine ve zaman gibi pek çok faktöre dayandırılabilir. Bütün bu faktörler ve cam kalıp endüstrisinde yapılan uygulamada yer alan verilerin niteliği bu

çalışmada benzerlik katsayısı ve genetik algoritma yöntemini kullanan Joines (2000)'in sıralamaya-dayanan yaklaşımının kümelenendirme yöntemi olarak kullanılmasının ve daha sonrada birbirleriyle karşılaştırılmasının uygun olacağı varsayımını doğurmuştur.

2.2. Kümelenendirme analizi

Parça-ailesi-makine hücresi tanımlanmasında kullanılan yaklaşımlardan biri de istatistiksel kümeleme analizidir. Kümeleme analizi, veri tabanı, uzman sistemler, imalat sistemleri, kontrol mühendisliği, biyoloji gibi pek çok alanda uygulanmıştır. (Kusiak 1990). Hücresel imalatta kümeleme analizinin uygulanması, makineleri, makine hücrelerine, parçaları da, parça-ailelerine gruptandırma işlemidir. Kümelenendirme algoritmaları, hücre oluşturmada etkin bir araç olarak, kullanılmaktadır (Chu 1989: 289). İmalat hücrelerinin oluşturulmasında pek çok farklı kümelenendirme algoritması geliştirilmiş olmasına rağmen, bunlar, tasarım esaslı ve üretim esaslı olmak üzere iki grupta toplamak mümkündür. Literatürde verilmiş pek çok yöntemden hangisinin ne tür problemlerin çözümünde yardımcı olabileceğine ilişkin bilgilerin mevcut olmamasının yanı sıra, bunların birbirlerine göre avantajlı veya dezavantajlı yönlerinin de yer aldığı çalışmalara rastlanılmamıştır. Kümelenendirme analizlerinin gerçekleşmesinde esas teşkil eden kriterlerin belirlenmesi ise yine kendi içinde önem taşıyan bir konudur. Ele alınan kriterler parça/makine matrisinin kendisi olabileceği gibi, ikili kıyaslamalara dayanan benzerlik ya da benzemezlik katsayıları da olabilir. Jaccard'ın benzerlik katsayısının özellikle araştırmalarda en çok kullanılan kriter olduğu belirtilmektedir (Chu 1989: 292).

Hücre oluşturma literatüründe çok sayıda benzerlik katsayıları önerilmiştir. Jaccard benzerlik katsayısına benzeyen bir benzerlik ölçümü Choobineh (1988) tarafından sunulmuştur. Selvam ve Balasubramanian (1985) bir benzersizlik ölçüsü geliştirmişlerdir. Vakharia ve Wemmerlöv (1990) de hücreler içinde makine kümesi ve makine yüklerini hesaba katan bir benzerlik katsayısı önermişlerdir.

Cam kalıp endüstrisi için kullanılan kümelendirme yönteminde her parça çifti ve hücrelerde bunları gruplayacak özel bir eşik değeri arasında benzerlik katsayısı kullanılır. Eşik değeri iki ya da daha fazla değer birleştirildiği bir benzerlik seviyesidir. Buna göre, i ve j makineleri arasındaki S_{ij} benzerlik katsayısı ölçümü aşağıdaki gibidir (McAuley 1972: 53).

$$S_{ij} = N_{ij} / (N_i + N_j - N_{ij}) \quad (1)$$

N_i : i makinesinde işlem gören parçaların sayısı;

N_j : j makinesinde işlem gören parçaların sayısı;

N_{ij} : i ve j makinelerinin ikisinde birden işlem gören parçaların sayısı.

Bu katsayı kullanılarak her makine çifti arasındaki benzerlik katsayısı hesaplanır. Benzerlik katsayısı eşik değeri $S_{ij} =$ veya > 1 olduğunda i ve j makinelerinin aynı hücrede olacaklarını göstermektedir.

2.3. Genetik algoritma yöntemi

1960'dan bu yana, varlıkların yaşamlarını taklit ederek zor optimizasyon problemlerini çözecek güçlü algoritmalar geliştirilmiştir. Bu konuda en iyi bilinen algoritmalar, Holland (1975, 1992) tarafından geliştirilen genetik algoritmalar, Rechenberg ve Schwefel (1995) tarafından geliştirilen evrim stratejileri, Fogel et al. (1966) tarafından geliştirilen evsimsel

programlama ve Koza (1992) tarafından geliştirilen genetik programlamalardır. Stokastik araştırmalara ve optimizasyon tekniklerine çok geniş ve etkin bir biçimde uygulanabilen genetik algoritmalar belki de bugün en çok bilinen evrimsel hesaplama metotlarıdır (Gen and Cheng 2000:4). Kısacası genetik algoritmayı doğal seçime dayanan bir araştırma/optimizasyon tekniği olarak tanımlayabiliriz. Başarılı jenerasyonlar Darwin'in en uygun olanın hayatta kalması prensibine dayanarak daha iyi bireyleri geliştirir. Genetik algoritmalar (GA) ve taklitleri, doğal fenomenleri de taklit ederek, etkin stokastik araştırma algoritmaları haline gelmiş, optimizasyon problemlerinin çözülmesinde başarılı bir şekilde kullanılıp, özellikle de büyük ölçekli problemlerin çözümünde etkin olmaktadır. (Kumar et al., 1986:388)

Örneğin; t nesli için $P(t)$ genetik algoritması, bu neslin kontrollü olarak büyümesini sağlar. Her bir birey eldeki problem için potansiyel bir çözüm sunar ve onun uyumluluğunu bazı ölçümler vererek değerlendirir. Bazı bireyler genetik operasyonlar sonucunda yeni bireyler formunda stokastik transformasyona uğrar. İki çeşit transformasyon vardır; tek bir bireyde değişiklikler yaparak yeni bireyler yaratan *mutasyon* ve iki bireyden birleştirilen parçalarla yeni bireyler yaratan *çaprazlama* dır. Yeni bireyler, yavru $C(t)$ olarak adlandırılır ve değerlendirilirler. Artık yeni topluluk, aile ve yavru topluluğundan en uygun bireylerin seçilmesinden oluşacaktır. (Gen and Cheng 2000: 2)

Pek çok araştırmacı, imalat hücreleri tasarım problemine genetik algoritmayı uygulamıştır. Bu çalışmalar iki temel kategoride sınıflandırılabilir: Tamsayı programlama formüllerini doğrudan çözen genetik algoritmalar ile parça veya makine göstergelerinin en iyi dizilimini saptayan genetik algoritmalar. Hücre tasarım problemini çeşitli tamsayı programlama formüllerini, hedef fonksiyonlarını ve kısıtları tasarıma katıp/katmamak yeteneği ile çözecek

bir genetik algoritma yaklaşımı Joines et al. (1996) tarafından . Öte yandan, Venugopal and Narendran (1992), hücre içindeki toplam yük değişimi ve hücreler arası hareket hacmini minimize eden hücre oluşum probleminde, çok amaçlı tamsayı programlama formüllerini çözecek bir genetik algoritmayı kullanmışlardır. Gupta et al. (1995) ise, hücreler arası ve hücre içindeki hareketin ağırlıklı toplam sayısını minimize edecek benzer bir genetik algoritma ile probleme yaklaşmaktadır. Son olarak, Kazerooni et al. (1996) ise, üretim hacmi ve proses sırasını kapsayan, parça ve makineler için iki benzerlik katsayısı geliştirmiştir.

Cam kalıp endüstrisi için seçilen sıralamaya-dayalı gösterim yöntemi, genetik algoritmalarla çok geniş uygulama olanağı bulmaktadır. Joines (2000) toplam bağ enerjisini maksimize eden parça ve makinelerin en iyi permutasyonunu saptayacak iki farklı genetik algoritmayı birlikte kullanmış ve özel bir satır permutasyonu (π), sütun permutasyonu (ρ) veren toplam bağ enerjisini (TBE) aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (Joines 2000:25);

$$TBE(\rho, \pi) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij}(a_{i,j-1} + a_{i,j+1} + a_{i-1,j} + a_{i+1,j}); i \dots m; j \dots n \quad (2)$$

Bir pozitif eleman (yani, bir i makinesinde işlenmesi gereken bir j parçası), aynı j parçası (yani birbiri ardı sıra yer alan bir i makinesinin hem üstünde hem de altında yer alan) üzerinde işlem yapan diğer makinelerle birlikte düzenlendiğinde veya aynı i makinesinde işlem gerektiren diğer parçalar, birbiri ardı sıra gelen sütunlardaki j parçasının her iki tarafına da yerleştiğinde bağlar oluşur. Herhangi bir elemanın maksimum bağ enerjisi dördür. Diyagonaller, toplam bağ enerjisinin hesaplanmasına dahil edilmediğinden (sütunlar ve sıralar arasında bir bağımlılık yoktur), problem bir satır bağ enerjisi (SABE) ve bir sütun bağ enerjisi (SBE) olarak ikiye ayrılabilir. TBE bu ikisinin toplamına eşittir. Dolayısıyla, genelleşmeden doğan herhangi bir zarar olmaksızın, önce sıralar daha sonra sütunlar dizilebilir.

$$\max_{\pi} \text{SABE}(\pi) = \sum_{i=1}^{M+1} \sum_{j=1}^N a_{\pi(i),j} a_{\pi(i-1),m} a_j \quad (3)$$

Çözüm tekniği için makineler (satırlar) önce makine hücreleri şeklinde kümelenir daha sonra aynı yöntem sütunlar için tekrarlanır. Bu çalışmada karşılaştırma yaparken, yöntemlerin birbirleriyle uyum sağlayabilmesi açısından bu formüllerden sadece satırlar için olan kısım kullanılmıştır. Söz konusu genetik algoritma için kullanılacak genetik operatörler ise; düzgün sıralamaya-dayalı çaprazlama, kısmen değişiklik yapan çaprazlama, değiş-tokuş mutasyonu, ters mutasyon ve kaydırma mutasyonudur. Uygulama sırasında kullanılacak parametreler Tablo 3.1. de gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Uygulama Sırasında Kullanılan Parametreler

Parametre	İşlemlerin Sayısı veya Değeri
Kaydırma mutasyonu	4
Değiş tokuş mutasyonu	4
Ters mutasyon	4
Kısmen değişiklik yapan çaprazlama	4
Düzgün-sıralamaya dayalı çaprazlama	6
En iyi bireyin seçilme olasılığı, q	0.1
Nesillerin maksimum sayısı, T	10,000

2.4. Kümelenendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Uygunluk değerinin amacı gruplardaki makinelerin mümkün olan en yüksek kullanım oranına ulaşmasını sağlamaktır. Bu durum makinelerin fayda oranıyla yakından ilişkilidir. Uygunluk değerinin hesaplanması için öncelikle, aynı hücredeki makineler arasındaki parça akışının maksimum ve makineden makineye transfer edilen parça akışının bire bir olacağı

varsayılmaktadır. Yöntemin uygulanabilmesi için bütün makinelerin bir hücreye tahsis edilmesi gerekmektedir. İki yöntemde de makinelerin hepsi birer hücrede bulunmaktadır. Kullanılacak olan uygunluk değeri, bir hücre içinde bütün işlemler sırasında oluşacak üretim hacimlerinin toplamıdır (Moon et al. 1999: 137). Çıkan sonuç maksimum parça akışıyla kıyaslanır ve uygunluk değeri yüksek olan yöntemin daha etkin çalıştığı söylenebilir.

CAM KALIP ÜRETİMİNDE HÜCRESEL İMALAT SİSTEMİ

Bu çalışmada cama kalıp üretiminde kullanılacak hücresel imalat teknikleri arasından özgün bir karşılaştırma yöntemi kullanılarak hangisinin daha rasyonel olacağı belirlenmeye çalışılmaktadır. Hücresel üretimi gerçekleştirmek için seçilen üretim ortamında, hücresel üretim ilkelerinin bir kısmını belirli oranda uygulamak gerekir. (Durmuşoğlu ve Nomak 2000: 14).

3.1. Şirketin Genel Özellikleri

Geliştirilen yaklaşımın gerçekçi bir biçimde uygulanabilmesi için bir endüstriyel kuruluşta uygulanması ve bu kuruluşun aşağıdaki özellikleri taşıması gerektiği düşünülmüştür: Tam zamanında üretim sistemi ve toplam kalite yönetimi felsefesini uygulayan ya da uygulama isteği olan; Hücresel imalat sisteminin önemini kavramış bir üst yönetime sahip olan; Parti üretimi veya siparişe göre üretim yapabilen; Üretim verilerini derleyecek modern bilgi işlem sistemine sahip olan; Parçalarının ve makinelerinin gruplanabilme özelliğine sahip olması; Parça ve makine sayıları, uygulamanın değerlendirilebilmesi için yeterli sayıda olan.

Cam eşya ve züccaciyenin temel girdilerinden olan cam kalıplarının üretilmesi amacıyla kurulmuş olan işletme, farklı faaliyet alanlarındaki işletmeler arasından yukarıda sayılan

özelliklere sahip olması nedeniyle seçilmiştir. Üretilen kalıplardaki benzerlikler sayesinde, ivedi siparişlere yönelik ayarlamalar için hücresel imalat yaklaşımının kullanımı uygun olacaktır. İşletme, T.Ş.C.F.A.Ş. tarafından 1970 yılında kurulmuş, 1989 yılında Holding bünyesinde kurulan, Camiş Makine ve Kalıp Sanayi A.Ş. bünyesine katılmıştır, 2001 yılı başından bu yana ise yeni yapılanma sonucu Belçika ortaklığı ile kurulan “**OMCO** Kalıp Sanayi ve Ticaret A.Ş.” adı altında üretimine devam etmektedir. İşletmedeki yönetim politikası oldukça esnektir ve acil taleplere göre iş sıraları değiştirilebilir. Bu amaç doğrultusunda elektronik ve çok amaçlı CNC tezgahları kullanılmaktadır. Ürünler temel özelliklerine göre; şişe kalıbı ve züccaciye kalıbı olarak ikiye ayrılmaktadır. İşletmedeki toplam personel sayısı 140, üretimdeki işçi sayısı ise 63’dür. Hammadde olarak GG-25 pik döküm, paslanmaz çelik ve takım çelikleri kullanılmaktadır. İşletmedeki toplam makine sayısı 90’dır ve her bir makinenin ortalama kullanım kapasitesi 5100 saat/yıldır. İşletme iki vardiya halinde haftada altı gün çalışmaktadır. (Küçük, 2001).

3.2. Uygulamada Kullanılacak Veriler

Hücresel imalat uygulamaları yıkama, ısıl işlem, kaynak, elektro erozyon, kalite kontrol gibi proses imalatlarını kümeleme içine almamaktadır. Bu işlemler bütün parçalar için hücrelerin dışında gerçekleştirilmektedir. Bu yüzden, parçalarla ilgili işlemler parça rotaları göz önüne alınarak, bu yapıya uygun bir şekilde iki temel bölüme ayrılmıştır. Bu bölümlerden ilki; yani ısıl işlem, kaynak gibi aşamalardan önceki işlemlerle ilgili gruplandırmadır. Hücreler oluşturulmadan önce parlatma ve tesviye gibi el işçiliğine dayanan işlemler, daha sonra ihtiyaç duyulan hücrelere koyulabilecekleri düşüncesiyle hesaplamalardan çıkartılmıştır. Uygulama sırasında seçilen parça çeşidi sayısı toplam yıllık üretimin %70-75’ini oluşturmaktadır. Parçaların kullanıldığı makine sayısı ise, ilk bölümdeki toplam makine

sayısıdır.Uygulamada kullanılacak parça sayısı 24, ve makine sayısı 21 dir. İşletmede makineler arası mesafe fazla değildir. Parçaların işlem sıraları birbirlerine çok benzer ve işlem süreleri birbirlerine göre değişken değildir. Tablo 3.3.'de uygulamada kullanılacak parçalar (P_1 , P_2 şeklinde numaralandırılarak), işlem gördükleri makineler (M_1 , M_2 şeklinde numaralandırılarak (Bkz.Tablo 3.2)) işlem sıraları ve parçalara ilişkin üretim hacimleri gösterilmektedir. Birim hacimleri belirlemek için en küçük üretim hacmi olan 50 (adet/yıl) "1" kabul edilmiş, üretim hacimleri buna göre 50'nin katları şeklinde düzenlemiştir. Burada amaç işlemler sırasındaki çok haneli üretim hacmi rakamlarını basitleştirmektir.

Uygulamada kullanılacak kümelenendirme yöntemlerinin birbirleriyle uyumlu bir biçimde karşılaştırılabilmeleri için sadece makineler kümelenendirilecektir. Bu makineler ve makinelere verilen numaralar Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Bu tür yöntemlerde en çok kullanılan matris türü, bu uygulamada da kullanılacak olan ve yöntemlerin başlangıcını oluşturan 0-1 tamsayı matrisidir. Bu matris parçalarla işlem gördükleri makineleri ilişkilendirmektedir (Bkz. Ek. 1).

Tablo 3.2. Makinalar

No	Makine Adı
M ₁	CNC TORNA, combi
M ₂	CNC TORNA, tarex
M ₃	CNC TORNA, mazak
M ₄	CNC TORNA, mazak
M ₅	CNC TORNA, B.Gildemaister
M ₆	MERKEZLEME TEZGAHI
M ₇	ÜNİVERSAL TORNA, kopya macar
M ₈	REVOLVER TORNA, kopya TS-5
M ₉	REVOLVER TORNA, kopya R5
M ₁₀	ÜNİVERSAL TORNA, kopya TOS
M ₁₁	ÜNİVERSAL TORNA, TOS, SN 17-B
M ₁₂	ÜNİVERSAL TORNA, kopya, TEZSAN SN50C
M ₁₃	CNC FREEZE, Deckel
M ₁₄	CNC FREEZE, Rambaudi, Versamatik
M ₁₅	CNC KOPYA FREEZE, Rambaudi
M ₁₆	SATI H FREEZE, Rouchoed
M ₁₇	ÜNİVERSAL FREEZE, Cincinnati
M ₁₈	SÜTUNLU MATKAP, Tezsan
M ₁₉	ÜÇ KAFALI MATKAP
M ₂₀	ÖZEL MATKAP ÜNİTESİ
M ₂₁	PANTOGRAF, 3 Boyutlu Deckel

Tablo 3.3. Parçalar, Üretim Hacimleri ve İşlem Gördükleri Makinalar

No	Üretim Hacmi	Birim Hacim	Proses Planı
P ₁	250	5	M ₁₆ → M ₆ → M ₈ → M ₁₅ → M ₂
P ₂	2250	45	M ₁₆ → M ₆ → M ₁ → M ₇
P ₃	200	4	M ₁₆ → M ₆ → M ₈ → M ₁₅ → M ₂
P ₄	1500	30	M ₁₆ → M ₆ → M ₇
P ₅	200	4	M ₃ → M ₄
P ₆	1000	20	M ₃ → M ₄
P ₇	700	14	M ₈ → M ₁₇ → M ₂₀ → M ₂₁ → M ₁₈ → M ₄
P ₈	3100	62	M ₂ → M ₁₇
P ₉	3450	69	M ₁₆ → M ₆ → M ₂
P ₁₀	650	13	M ₁₆ → M ₆ → M ₂ → M ₁₄ → M ₂₁
P ₁₁	2250	45	M ₁₆ → M ₆ → M ₂
P ₁₂	1750	35	M ₉
P ₁₃	2400	48	M ₈ → M ₁₈ → M ₂₀ → M ₁₇
P ₁₄	350	7	M ₈
P ₁₅	900	18	M ₈ → M ₁₀
P ₁₆	600	12	M ₉ → M ₈ → M ₁₈ → M ₁₉
P ₁₇	100	2	M ₉ → M ₈ → M ₁₁ → M ₁₇ → M ₁₉
P ₁₈	150	3	M ₉
P ₁₉	2100	42	M ₁₁ → M ₂₁
P ₂₀	2750	55	M ₅ → M ₁ → M ₁₈ → M ₁₅
P ₂₁	350	7	M ₁ → M ₁₅ → M ₁₈
P ₂₂	500	10	M ₃
P ₂₃	500	10	M ₄ → M ₁₈
P ₂₄	7200	144	M ₁₇ → M ₆ → M ₁ → M ₅ → M ₁₃ → M ₁₄ → M ₁₃
P ₂₅	300	6	M ₁₄ → M ₆ → M ₁₂ → M ₅ → M ₁
P ₂₆	1050	21	M ₄ → M ₃ → M ₂₁ → M ₁₉
P ₂₇	50	1	M ₃ → M ₂₁ → M ₁₉
P ₂₈	4200	84	M ₂
P ₂₉	1500	30	M ₈ → M ₁₈ → M ₃ → M ₁₀
P ₃₀	1400	28	M ₈ → M ₁₀ → M ₃ → M ₁₈ → M ₃
P ₃₁	450	9	M ₃ → M ₄
P ₃₂	1450	29	M ₄ → M ₁₈ → M ₂ → M ₁₈
P ₃₃	250	5	M ₁₄ → M ₆ → M ₈ → M ₃ → M ₄ → M ₁₅
P ₃₄	250	5	M ₁₄ → M ₆ → M ₈ → M ₃ → M ₄ → M ₁₅

3.3. Kümelenme yöntemlerinin uygulanması

Bu büyüklükteki bir işletme için arzu edilen en düşük hücre sayısı 3, en yüksek hücre sayısı 6 dır. Bir hücrede olması gereken en fazla makine sayısı 12, en az makine sayısı ise 4 dür.

3.3.1. Kümelenendirme analizi yönteminin uygulanması

Kümelenendirme analizi ile ilgili formüller kullanılarak sonuç matrisi elde edilmiştir (Bkz. Ek 2). Bu matrise göre parça-aileleri ve makine hücreleri üç gruba ayrılmıştır. Bunlar Tablo 3.4. de gösterildiği gibidir. Her üç grupta da bazı istisnai elemanlar bulunmaktadır, ancak bunların çoğu 2 numaralı hücrededir. Bu durumda 14,15,6 ve 17 numaralı makineler 2 numaralı hücredeki parçalar tarafından da kullanılacağı için bu parçalar ve makineler için işletme bir durum değerlendirmesi yapmak durumundadır.

Tablo 3.4. Benzerlik Katsayısı Metoduna Göre Parça-Aileleri ve Makina

Hücreleri

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

Aksi halde bu gruptaki 5 parçanın 1 numaralı hücreye gidip işlemlerini tamamlayıp geri dönmeleri gerekecektir. Burada bir maliyet analizi yaparak işletme kendisi için en iyi alternatifi seçebilir. 3 ve 1 numaralı hücreler için de istisnai elemanların durumu değerlendirilmelidir. Bu bölümde üretim hacimleri hesaba katılmadığı için makinelerin darboğaz durumları ilerdeki bölümde incelenecektir.

3.3.1. Genetik algoritma yönteminin uygulanması

Sıralamaya dayalı genetik algoritma yönteminin satırlara ilişkin formülasyonunun uygulanması sonucu oluşan sonuç matrisi Ek 3’de gösterilmektedir. Buna göre ortaya çıkan parça aileleri ve makine hücreleri Tablo 3.5. deki gibidir.

Tablo 3.5. Benzerlik Katsayısı Metoduna Göre Parça-Aileleri ve Makine

Hücreleri

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

Tablo 3.5. den de anlaşıldığı gibi üç hücre ortaya çıkmıştır. Parçaların ve makinelerin hücreler arasında dengeli bir şekilde dağıldığı söylenebilir. Ancak yine de her üç hücre içinde istisnai elemanlar söz konusudur. Bu yöntem sonucunda da6,14, 15 ve 17 numaralı makineler kendi hücreleri kadar 1 numaralı hücrede de ihtiyaç vardır. Bu yüzden bu makineler için işletme çeşitli alternatifleri hesaplamalıdır.

3.5. Kullanılan Yöntemler Arası Karşılaştırma

3.5.1. Genel Olarak iki yöntemin karşılaştırılması

Benzerlik katsayısı ve genetik algoritma yöntemlerine oluşturulan grup sayısı açısından bakarsak; genetik algoritma yöntemi birden fazla grupta gerekli ekstra makinelerin minimum

miktarlı olduğu grubu vermiştir, ancak benzerlik katsayısı yönteminde bu açıdan oluşturulan grupların sayısı tekrar gözden geçirilmelidir. Grup sayısı makinelerin faydalılık oranıyla yakından ilişkilidir. Grup sayısı arttıkça aynı makineye daha fazla grupta gereksinim duyulacaktır ki bu da işletmeye yeni makineler alınması sonucunu doğurur. Kümeleme yöntemleri arasında iyi bir kıyaslama noktası olduğu için bu açıdan bakıldığında genetik algoritmanın diğer yöntemlere göre bir üstünlüğü söz konusudur.

Grupların büyüklüğü yani boyutu açısından bakıldığında; benzerlik katsayısına dayalı yöntemde 2 numaralı hücrede parçaların büyük bir kısmının yığıldığı, 1 numaralı hücreye göre de makine sayısının daha az olduğu görülmektedir (Karşılaştırma için; Bkz. Tablo 3.4). 2 numaralı hücredeki yığılma, bu hücredeki üretim sürelerini ve proses envanterini artırarak karışıklığa ve yer sorununa sebep olur. Genetik algoritmaya göre yapılan düzenlemede ise parçalar ve makineler oluşturulan üç hücre içine homojen bir biçimde dağılmıştır (Bkz. Tablo 3.5). Bu şekilde dağılımın işletme için yer, işçilerin uzmanlaşması, hücreler içindeki karışıklığın önlenmesi, darboğazların azalması, kapasite dengesinin sağlanması, hücre içindeki üretim sürelerinin ve proses içi envanterin azalması gibi teknik avantajlarının yanında, çalışanların sayısının belirlenmesi için de önemli bir sosyolojik avantaj getirdiğini söyleyebiliriz. Dolayısıyla, grup büyüklüğü açısından da genetik algoritma yöntemi diğer yöntemlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Bir parçanın üretim miktarı göreceli olarak az ise makine parça matrisine alınması daha iyi olabilir. Çünkü bir parçadan ne kadar çok üretiliyorsa taşıma maliyeti ve diğer maliyetler o kadar yüksektir, dolayısıyla çok miktarda üretilen parçaların tüm operasyonlarının aynı hücrede gerçekleştirilmesine özen gösterilir. Her iki yöntem bu yönden kıyaslanacak olursa; benzerlik katsayısı yönteminde, üretim hacmi yüksek olan 8,9,13,11,24,28 numaralı

parçaların (Bkz. Tablo 3.4.) 1 ve 2 numaralı hücrelerde toplandığı, 3 numaralı hücrenin ise parça sayısı ve üretim hacmi bakımından oldukça düşük kaldığı görülmektedir. Bu durum üretim sırasında 2 numaralı hücrede yığılmalar olmasına ve işlem yoğunluğu olan makinelerde darboğazlar oluşmasına neden olacaktır. (Bkz. Ek 2.). Genetik algoritma yönteminde de 2 numaralı hücrenin üretim hacimlerinin yüksekliği ve makinelerin işlem yoğunluğu yine darboğazlara neden olabilir (Bkz. Ek.3).

Darboğaz makineler açısından iki kümeleme yöntemi karşılaştırıldığında ise, her iki kümeleme yönteminde de 6 numaralı makinenin, genetik algoritma yönteminde buna ilave olarak 2 numaralı makinenin de darboğaz oluşturması söz konusudur. Darboğazlar ya yeni makine ilavesiyle ya her istisnai eleman için yeni makine ilavesi ve daha sonra bu makinelerin yeniden düzenlenmesi ile ya da darboğaz makineleri önce ortadan kaldırıp kümelendirmeden sonra ilave etmek gibi çeşitli alternatiflerle işletme tarafından göz önünde bulundurulabilir. Bu açıdan iki yöntemin de birbirlerine bir üstünlüğünden bahsedilemez çünkü benzerlik katsayısı yöntemindeki 2 numaralı makinenin 1 numaralı hücreden gelecek istisnai elemanlar ile darboğaz oluşturması da söz konusudur.

İstisnai parçalar yüzünden meydana gelen hücreler arası transfer açısından hücre performansı her iki yöntemde de ölçüldüğünde ise, ikisinde de istisnai parçaların hücreler arası transfer sayısının birbirine yakın ancak çok sayıda olduğu görülmektedir. İstisnai parçalar için; parçaların yeniden tasarlanarak aynı hücre içinde işlenmesi, yeni makineler satın alınması, istisnai parçalar kümesi oluşturulması, fason yaptırılması, hücreler arası harekete izin verilmesi gibi alternatiflerden işletme kendisine uygun olanı seçebilir. Bu açıdan yöntemlerden birinin diğerine göre bir avantajı söz konusu değildir.

3.5.2. Uygunluk değeri kullanılarak iki yöntemin karşılaştırılması

Tablo 3.4'deki verilerle kullanılan uygunluk yönteminin sonuçları Ek 4'de gösterilmektedir. Burada daha önceden de söylendiği gibi makineler arasındaki parça transferinin bire bir olduğu kabul edilmiştir. Tablo hazırlanırken iki makine arasında karşılıklı bütün işlemlerle oluşan parça miktarlarının toplamı birbirlerine karşılık gelen satır ve sütunlara yazılmıştır.

Örneğin; 2. makine ile 6. makine arasındaki akış hacmi;

9.parçanın üretiminden; $M_6 \rightarrow M_2 : 69$; 10.parçanın üretiminden; $M_6 \rightarrow M_2 : 13$;
11.parçanın üretiminden; $M_6 \rightarrow M_2 : 45$: Toplam : 127 ; şeklinde M_2 ile M_6 'nın kesiştiği kutuya yazılır.

Ek 4. deki makineler arasındaki toplam parça akışı oluşturulduktan sonra, her hücre içindeki makinelerin birbirleriyle ilişkilerine karşılık gelen değerler toplanarak hücre akış değerleri oluşturulur.

Örneğin, benzerlik katsayısına göre oluşturulan iki numaralı makine hücresini ele alalım:

makineler: 4,8,21,3,20,10

4 numaralı makinenin 8, 21, 3, 20, 10 numaralı makinelere karşılık gelen Ek 4. deki parça hacmi değerleri sırasıyla; $0 + 0 + 64 + 0 + 0$ şeklindedir

Sonra bu işlem 8 numaralı makine için tekrarlanır; $21, 3, 20, 10 \rightarrow 0 + 10 + 0 + 46$ Daha sonra 21, 3 20 ve 10 numaralı makineler için aynı işlemler yapılır ve çıkan toplam hücre akış değeri olarak belirlenir. Bütün hücrelerin akış değerleri toplamı uygunluk değerini vermektedir. Hücre sayısı, oluşturulan grup sayısını, hücre boyutu ise hücreler arasında en fazla makineye sahip hücredeki makinelerin sayısını göstermektedir. Bu şekilde iki kümeleme yöntemi için oluşturulan değerler Tablo 3.6. ve Tablo 3.7 de gösterilmektedir.

Tablo 3.6. Benzerlik Katsayısına Makinaların Uygunluk Değerleri

Hücre sayısı = 3	
Hücre boyutu = 12	Hücre akış değeri
Hücre 1: 1,5,7,12,13,14,15,16,6,17,18,2	1677
Hücre 2: 4,8,21,3,20,10	315
Hücre 3: 19,9,11	38
Uygunluk değeri: 2030	
Maksimum parça akışı: 2534	

Tablo 3.7. Genetik Algoritmaya Göre Makinaların Uygunluk Değerleri

Hücre sayısı = 3	
Hücre boyutu = 8	Hücre akış değeri
Hücre 1: 1,5,3,4,18,12,10	537
Hücre 2: 13,14,16,17,6,15,2,7	984
Hücre 3: 21,20,8,9,11,19	139
Uygunluk değeri: 1660	
Maksimum parça akışı: 2534	

Uygunluk değerleri açısından iki yöntemi karşılaştırdığımızda, benzerlik katsayısı yönteminin uygunluk değerinin yüksek ve toplam parça akışına yakın olmasını, makinelerin mümkün olan en yüksek kullanım oranına ulaştığının bir göstergesi olarak yorumlayabiliriz. Ancak bu durum 2 numaralı hücrenin büyüklüğünden kaynaklanmaktadır (Bkz. Tablo 3.6). 3 numaralı hücrenin uygunluk değerinin çok düşük olması bu yöntemdeki hücreler arasındaki dengesizliğin açık bir göstergesidir. Genetik algoritma yönteminde ise uygunluk değeri

beklenen düzeydedir, ancak 3 numaralı hücredeki değerin biraz daha yüksek olması öngörülebilir. Her iki yöntemde de yüksek makine kullanım oranları dolayısıyla makine faydalılıkları yüksektir. Ancak sadece uygunluk değeri açısından düşünülürse benzerlik katsayısı yöntemi genetik algoritma yöntemine tercih edilebilir.

Genel olarak iki kümelendirme yöntemi arasında karşılaştırılan ölçütler çerçevesinde ise genetik algoritma yönteminin seçilmesinin işletme açısından daha uygun bir alternatif olduğu görülmektedir. Ancak benzerlik katsayısı ile oluşturulan hücrelerin grup sayıları ve grup büyüklüğü açısından yeniden gözden geçirilerek yeni hücreler oluşturulması da işletme açısından düşünülecek bir alternatiftir.

SONUÇ

Bu çalışmanın amacı, hücresel imalat sistemini kullanmak isteyen bir işletmenin kümelendirme yöntemini seçerken hangi kriterleri kullanması gerektiği ve kullanılacak yöntemler arasında karşılaştırma yaparken hangi faktörlerin önemli rol oynadığının ortaya koyulmasıdır. Bu amaçlar doğrultusunda öncelikle işletmeye hücresel imalat istemine geçerken işletmeyle ilgili hangi gerçeklerin nasıl elde edileceği, hücrelerin oluşturulması için önerilen kümelendirme yöntemlerinden hangisinin değerlendirileceği, alternatif çözümler arasından işletmeye en uygun çözüm veya çözümlerin seçilmesi konularında yardım edilmiştir.

Yapılan çalışmada ortaya çıkan sonuçlar aşağıdaki gibidir:

İşletme, hücresel imalat sisteminin getireceği;

1. Hazırlık sürelerinin düşüklüğü ve temin sürelerinin belli olmasından dolayı etkin bir planlama yapma olanağı bulur;
2. İşçilerin uzmanlaşma olanakları sonucu sağlayacağı kalite artışı ve iş geliştirme avantajlarına sahip olunabilir;
3. Kapasitenin artırılabilme olanağı ortaya çıkmıştır;
4. Parça taşıma zamanı ve taşıma maliyetlerinin düşmesi, üretim süresi ve proses içi envanterin azalması ve her parçanın üretim maliyetinin kolaylıkla bulunabilmesinden doğan maliyeti kontrol altına alma ve parça başı maliyetleri tespit etme olanağı bulunabilir;
5. Ayrıca parça rotalarının sabit olmasından dolayı giderlerin sabit olması ile makinelerin hücreler içinde yakın yerleştirilmesinden doğacak işçilik giderlerinin azalması avantajından da haberdar edilir.

İşletmeye sağladığı avantajlarla, hücresel imalatın sürekli gelişmeye uygun bir ortam sağladığı ancak ürün karışımına yanıt verecek uygun bir yöntem bulunmadığı sürece hücresel imalatın etkinliğinin azalması ve kapasite dengesizliğinin oluşması ile makinelerde kuyrukların meydana gelmesi ve siparişin yetersizliği ile makine kullanım oranının düşmesi gibi sakıncalar ortaya konmuştur.

İşletmenin kümelenme yöntemi seçerken nelere dikkat etmesi gerektiği, performans ölçütlerine göre en iyi yöntemin ne gibi özellikler taşıması gerektiği görülebilir.

Klasik kümelenme yöntemlerinden biri ile modern yöntemlerden birinin karşılaştırılması yapılmış, yöntemlerin kendisinin değil verilerin yapısı gereği işletmeye uygunluğunun daha önemli olduğu anlaşılabilmektedir.

Kullanılan yöntemlerden biri olan benzerlik katsayısı yönteminin işletme için; grupların boyutu, gruplardaki üretim hacimlerinin yüksekliği açılarından yetersiz kaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Hücre boyutlarının büyümesinin hücre içindeki işlemleri güçleştirdiği ve karmaşıklaştırdığı görülmektedir.

Sıralamaya dayalı genetik algoritma yönteminin işletme için; grup sayıları, grup büyüklüğü, üretim hacimlerinin gruplar arası dağılımları açısından benzerlik katsayısına göre daha iyi sonuçlar vermesi bu yöntemin avantajlı yönlerinin işletmeye tanıtılmasında rol oynamaktadır.

Darboğaz makineler ve hücreler arası transferler açısından iki yöntemin birbirleriyle yapılan karşılaştırılmasında herhangi bir yöntemin üstünlüğünün ortaya çıkmaması bu kriterler açısından işletmenin bir seçim yapamayacağını ortaya koyulmaktadır.

Uygunluk değerinin makinelerin yüksek kullanımının bir göstergesi olacağı ispatlanmıştır. Makinelerin yüksek kullanımının kümeleme yöntemlerinin karşılaştırılmasında önemli bir kriter olduğu gösterilmektedir.

Uygunluk değeri ile iki yöntemin birbirleriyle karşılaştırılmasında benzerlik katsayısı yönteminin işletme açısından daha iyi bir alternatif olduğu gösterilmiştir. İşletme için uygun alternatif olarak sıralamaya dayalı genetik algoritmanın oluşturduğu kümeleme yöntemi önerilmiştir. Ancak, benzerlik katsayısı yöntemi de grup sayıları ve grup boyutları gözden geçirilerek işletmeye uygulanabilir. Bu durumda uygunluk değerlerinin daha yüksek olacağı açık bir şekilde görülmektedir.

İşletmenin amaçlarının gerçekleşmesi için mümkün çok sayıda alternatif arasından en iyi kümelendirme yöntemini seçmesinin hem gerekli hem de zaman alıcı ve güç bir faaliyet olduğu açıktır.

Çeşitli endüstriyel uygulamalar ve bu çalışmada yapılan uygulama, düzenleme alanında, bazı hücrelerin ideale yakın oluştuğunu ancak her hücrenin aynı nitelikte olmadığını ortaya koymuştur.

Bütün bu bulgular göstermiştir ki; geleceğin imalat sistemleri olarak kabul edilen hücresel imalat sistemlerinin oluşturulması sırasında kümeleme yöntemleri arasında alternatifler oluşturulması ve karşılaştırılmaları yapılması işletme açısından en etkin yöntemin seçilmesinde önemli bir rol oynayacak ve daha sonra oluşacak maliyet, süre, envanter, iş geliştirme gibi kayıpları ortadan kaldıracaktır.

KAYNAKÇA

1. ASKIN, R.G. and ZHOU, M., "Formation of Independent Flow-Line Cells Based on Operation Requirement and Machine Capabilities", IIE Transactions, Vol.30, 1998, pp.319-329.
2. BAYKASOĞLU, Adil, GINDY, Nabil, N.Z., "Multiple Objective Capability Based Approach to Form Part-Machine Groups For Cellular Manufacturing Applications", International Journal of Production Research, V.38, Iss.5, 2000, s.1133.
3. BURBIDGE, J.L., "Production Flow Analysis", Production Engineer, Vol. 42, 1963, pp.742-752.
4. CEBECİ, Ufuk, Hücresel İmalatın Başlangıç Aşamaları İçin Uzman Sistem Yaklaşımı, Doktora Tezi, İTÜ, 1994.
5. CHOUBINEH, F., "A Framework for the Design of Cellular Manufacturing Systems", International Journal of Production Research, Vol.26, 1988, pp.1161-1172.
6. CHU, C.H., "Cluster Analysis in Manufacturing Cellular Formation", International Journal of Management Science, 1989, Vol.17, No:3, pp.289-295.
7. DURMUŞOĞLU, M.B. ve NOMAK, A., "Bir Cam Kalıbı Üretim Sisteminde GT Hücrelerinin Tasarımı ve Uygulanması", Endüstri Mühendisliği Dergisi, 2000, Cilt 11, Sayı 2, s.13-23.
8. FOGEL, L., OWENS, A. and WALSH, M., Artificial Intelligence Through Simulated Evolution, Wiley, New York, 1966.

9. ERKUT, Haluk ve BASKAK, Murat, Stratejiden Uygulamaya Tesis Tasarımı, 2.Baskı, İrfan Yayınları, İstanbul, 1997.
10. GEN, M. and CHENG, R., "Genetic Algorithms and Engineering Optimization", John Wiley & Sons, Inc., 2000.
11. GUPTA, Y.P., GUPTA M.C., KUMAR, A. and SUNDARAM, C., "Minimizing Total Intercell and Intracell Moves in Cellular Manufacturing: A Genetic Algorithm Approach", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol.8, 2, 1995, pp.92-101.
12. HOLLAND, J., Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor, MI, 1975; MIT Press, Cambridge, MA, 1992.
13. KAZEROONI, M., LUONG, L. and ABHARY, K., "Cell Formation Using Genetic Algorithms", International Journal of Factory Automation and Information Management, 3, 3ve4, 1996, pp.283-301.
14. KUSIAK, A., Intelligent Manufacturing Systems, Prentice Hall Eaglewood, Cliffs, New Jersey, 1990.
15. KÜÇÜK, Hakan A., Omco Kalıp Sanayi ve Ticaret A.Ş., Engineering Chief, Görüşme, 12.12.2001.
16. MOON, C., GEN, M. and SUER, G., "A Genetic Algorithm-Based Model for Minimizing Additional Capital Investment in Manufacturing Cell Design", Eng. Valuation and Cost Analysis, Vol.2, 1999, pp.133-142.
17. JOINES, J.A., KING, R.E. and CULBRETH, C.T., "A Comprehensive Review of Production Oriented Cell Formation Techniques", International Journal of Factory Automation and Information Management, Vol.3, 1996, pp.225-265.
18. JOINES, Jeffrey A., "Genetic Algorithms and their Applications to Cellular Manufacturing", Department of Industrial Engineering, North Carolina State University, mimeo, March, 2000.
19. KOZA, J.R., Genetic Programming, MIT Press, Cambridge, 1992.
20. KUMAR, K.R., KUSIAK, A., VANNELLI, A., Grouping of Parts and Components in Flexible Manufacturing Systems, European Journal of Operational Research, 24,1986, 387-397.
21. SCHWEFEL, H., Evolution and Optimum Seeking, Wiley, New York, 1995.
22. SELVAM, R.P. and BALASUBRAMANIAN, K.N., "Algorithmic Grouping of Operation Sequences", Engineering Costs and Production Economics, Vol.9., 1985, pp.125-134.
23. ÜRETEN, Sevinç, Üretim/İşlemler Yönetimi Stratejik Kararlar ve Karar Modelleri, 2.Baskı, Başar Ofset, Ankara, 1999.

24. VAKHARIA, A.J. and WEMMERLÖV, U., “Designing a Cellular Manufacturing System: A Materials Flow Approach Based on Operations Sequences”, IIE Transactions, Vol.22, 1990, pp.84-97.
25. VENUGOPAL, V. and NARENDRAN, T.T., “A Genetic Algorithm Approach to the Machine Component Grouping Problem With Multiple Objectives”, Computers and Industrial Engineering, 22, 4, 1992, pp.469-480.
26. WEMMERLÖV, U. and HYER, N.L., “Procedures for Part Family/Machine Group Identification Problem in Cellular Manufacturing”, Journal of Operations Management, Vol.6, No:2, 1986, pp.125-147.
27. WICKS, Elin M., REASOR, Roderick J., Designing Cellular Manufacturing Systems with Dynamic Part Populations, IIE Transactions, V.31, No: 1, 1999, 11-20.

Ek 1. Başlangıç Matrisi

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34			
	1		1																		1	1			1	1												
M	2	1		1					1	1	1	1																1				1						
	3					1	1																1				1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	
A	4					1	1	1																1			1					1	1	1	1	1	1	
	5																					1				1	1											
K	6	1	1	1	1					1	1	1														1	1								1	1		
	7		1		1																																	
İ	8	1		1					1						1	1	1	1	1											1	1				1	1		
	9													1																								
N	10															1														1	1							
	11																																					
E	12																										1											
	13																									1												
L	14											1														1	1									1	1	
	15	1		1																							1	1								1	1	
E	16	1	1	1	1						1	1	1																									
	17								1	1																												
R	18								1																												1	
	19																																					
	20								1																													
	21								1			1																										

