

# Siparişe Dayalı Üretim İçin Ürün Gruplarının Oluşturulmasında Genetik Algoritma Tabanlı Bir Yaklaşım

**Prof. Dr. Şevkinaz GÜMÜŞOĞLU**

*Yaşar Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İZMİR*

**Blm. Uzm. Nedret ERBOY**

*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, S.B.E., Doktora Öğrencisi, MUĞLA*

**Yrd. Doç. Dr. Güzin ÖZDAĞOĞLU**

*Dokuz Eylül Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü, İZMİR*

## ÖZET

İşletmeler oluşan katı rekabet koşullarına ayak uydurmak için işletme içinde değişim süreçlerine gereksinim duymaktadırlar. Karlılıklarını arttırmak için fiyatlarda değişiklik yapmak yerine maliyetlerini düşürme ve kalite çabası üzerinde durmaktadırlar. Siparişe dayalı üretim yapan işletmelerde her müşterinin istediği ürünler farklı olmakta, bu da üretilecek ürünlerin sayısının ve çeşidinin fazla olmasına neden olmaktadır. Ürün çeşitliliği artarken bu kadar çeşitteki ürünün müşterinin istediği tarihte üretiminin tamamlanması da zorlaşmaktadır. Tüm bu zorlukları hafifletmek ve müşteri odaklı olarak üretim yapabilmek için grup teknolojisi ve hücreyel üretim gibi üretim felsefelerine yönelim olmaktadır. Ürün gruplarının oluşturulması genellikle karmaşık bir karar verme problemidir ve farklı matematiksel ve sezgisel yaklaşımlarla çözülebilir. Bu çalışmada, grup teknolojisi ve hücreyel üretimin avantajlarından yararlanmak için ürün gruplarının oluşturulmasında operasyon sürelerindeki sapmaları temel alan sezgisel bir fonksiyon tanımlanmış, en iyi çözümü elde etmek üzere genetik algoritma kullanılmıştır. Son aşamada, elde edilen ürün gruplarının imalat süreçleri için oluşturulabilecek makine hücreleri önerilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Grup Teknolojisi, Ürün Aileleri, Hücreyel İmalat, Genetik Algoritma, Tam Zamanında Üretim.

**JEL Sınıflaması:** C61, M11

## Genetic Algorithm-Based Approach for Constructing Product Groups in Make-to-Order Production Environments

### ABSTRACT

In today's production environments in which there exist a cutthroat competition and continuous changes in demands needs of customers, enterprises have started to search for solutions to make their manufacturing systems flexible and profitable to keep up with these conditions. In make-to-order systems, the ambiguity in demands, range of products, different processing time of the pieces and the number of processes they go through cause a complex flow of manufacture. Especially for make-to-order production environments, product classifications and groupings are carried out to cope with planning difficulties and to maintain the flexibility. Product and machine classifications are handled within the context of group technology and cellular manufacturing. In this study, a novel product grouping approach is presented for organizing machines and providing the flexibility for the manufacturing processes based on genetic algorithm considering total processing times. The proposed approach supports the improvement in productivity and the deficiency in lateness.

**Key Words:** Group Technology, Product Families, Cellular Manufacturing, Genetic Algorithm, Just-in-time Manufacturing.

**JEL Classification:** C61, M11

## **I. GİRİŐ**

Siparişe dayalı üretim, ürün çeşitliliğinin pazar koőullarından daha çok müşterinin isteğine bağlı olarak deđiőtđi; çok fazla sayıda ürün çeşidinin bulunduğu; müşteri odaklı yapılan üretimden ve müşteri isteklerinin sık sık deđiőmesinden dolayı esnek iőgücü, tezgah ve materyal kullanımını zorunlu kılan; üretim tahminlerinin müşteri taleplerine dayanılarak yapıldığı; uzun dönemli üretim planlarının yapılamadığı; fiyatın ve teslim süresinin müşteri ile birlikte belirlendiği üretim tipidir. Siparişe dayalı üretimde kısıtlı ürün yelpazesinin üretilmesine odaklanılmaktadır. Siparişe dayalı üretimde ilk olarak müőteriden talep gelir sonra talebin özellikleri belirlenerek üretim planlama yapılır. Siparişe dayalı üretimde bütün hammaddeler, yarı mamuller ve bileően ürünleri müşterinin siparişine göre temin edilmek zorundadır. Müşteri sipariőleri, kurum içinde yapılacak olan üretimde bileően parçaları ve hammaddelerin tedarik edilmesi aşamasında tedarik zinciri hareketlerini baőlatır ve gerekli girdiler temin edilir (Kolisch, 2001:12). Artan rekabet koőulları, firmaları, müşteri isteklerini eksiksiz yerine getirmeye zorlamaktadır. Müşterinin talep ettiği hizmet veya ürünü, istenen kalite düzeyinde, düşük maliyetle ve talep edilen zamanda teslim etmek olarak özetlenebilecek bu istekleri eksiksiz karőılamak firma açısından yerine getirilmesi güç bir koőuldur (Sağır ve Saraç, 2007:13).

Siparişe dayalı üretim, tüketicilerin kendi isteklerine göre özelleőtirilmiő ürünleri satın almalarına izin vermelidir ve dolayısıyla esnek bir yapıya sahip olmalıdır. Bugün iş çevrelerinde, müőterilerin taleplerini hızlı bir Şekilde karőılama esnekliğine sahip olan üretici firmalar geniő ürün çeşitliliği sunabilmekte ve ortaya çıkan avantajlarından yararlanmaktadır. Bu sistemlerde kullanılan tezgahlar çok iőlemlili olup bir çok farklı işlemi yapabilmektedir. Böylece her tezgaha bir işçi yerine her tezgahta çalıőabilecek işçi tipi ortaya çıkmaktadır. Bu noktada, farklı iőlevleri yerine getiren tezgah ve ekipmanları kullanıp yönetecek çalıőanların da uzmanlık düzeyinin yüksek olması gerekmektedir.

Siparişe dayalı üretim yapan firmalarda üretim planlama, stoğa dayalı çalışan firmalarınkinden daha zordur. Müőterilerin ihtiyaç ve isteklerini karőılama aşamasında talepteki miktar ve kalite yönündeki deđiőikliklerin üretime olan yansımada zorluklar yaőanır. Yüksek düzeyde imalat ara stokları, düşük tezgah ve işçi kullanımı, yüksek iş akışı, denetim güçlükleri üretim safhasında yönetimin karőılaőtıđı ana sorunlardandır (Taőkın, 2006:18-19). Bundan dolayı, gelecekteki talebi tam tahmin etmek olası değildir. Üretim planlamanın odak noktası gelen siparişlerin düzenlenmesidir ve ortalama cevap süresi, ortalama sipariş gecikmesi gibi performans ölçütleri sipariş odaklıdır (Soman vd., 2004:223). Talebin teslim süresi, sipariőin geliő süresi ile teslim süresi arasında geçen üretim süresine bağlıdır. Benzer üretim süreleri olan nihai ürünlerin hiyerarőkik planlama sistemlerinde ürün aileleri oluőturulduđu görülmektedir (Özdamar ve Yazga, 1997:30).

Siparişe dayalı ve stoğa dayalı üretim tipleri karakteristikleri açısından iki uç noktada yer almaktadır. Buradaki temel ölçütler, ürün çeşitliliği ve üretim

hacmidir. Bu iki ölçütün aldığı değerlere göre ara geçişler olabilmekte, ortak özellikleri taşıyan karma üretim tipleri uygulanabilmektedir. Ürün çeşitliliğinin fazla olduğu üretim çevrelerinde esneklik daha çok odaklanması gereken bir kavram olarak ortaya çıkmaktadır, ancak esneklik gerekliliğine karşın üretim hacmi de orta düzeye kadar artış gösteriyorsa, bu durumda, üretim ortamının ve siparişlerin planlanmasına farklı bir bakış açısıyla yaklaşmak gerekir. Böyle bir karma model, ürünler arasındaki geçişin hızlı olması aynı zamanda seri üretim gibi düzenli bir akışa sahip olmalıdır. Bu gereklilikler, ürünlerin ortak özelliklerinin belirlenerek ürün aileleri oluşturulması ve bu ürün ailelerinin belirli makine gruplarında üretilecek şekilde planlanmasıyla sağlanabilmiştir. Ortak özellikler çerçevesinde ürünlerin gruplanması yaklaşımı literatürde grup teknolojisi olarak tanımlanmıştır. Siparişe dayalı üretim yapan ve genelde fonksiyonel üretim tipi kullanan tesislerde, ürünleri makinelere atamak ve planlama yapmak tesisin boyutları büyüdükçe daha da karmaşılaşan bir karar problemi haline gelmektedir ve bu problem farklı matematiksel ve sezgisel yaklaşımlarla çözülebilir. Bu çalışmada ürün gruplarının oluşturulması için geliştirilmiş bir model önerisi sunulmaktadır.

Çalışmanın amacı, bir üretim tesisindeki makine ve ekipmanları esneklik sağlayacak şekilde organize etmek; makine - ekipman organizasyonu için siparişlerdeki parçaların toplam üretim sürelerinin benzerliklerine göre gruplandırarak ürün gruplarını oluşturmaktır. Oluşturulan ürün grupları üzerinden kurulacak üretim hücreleri için de öneriler yer almaktadır. Etkin bir üretim tipi geliştirilerek siparişlerdeki gecikmelerin azaltılması ve verimliliğin artırılması amaçlanmış ve bir model temelinde çözüm önerisi geliştirilmiştir.

Siparişlerdeki ürünlerin makinelere atamaları gerçekleştirilirken parçaların aynı ya da benzer ürünü üreten makinelere atanması hedeflenmiştir. Operasyon süreleri açısından, parça ailelerinin kendi içinde ve kendi aralarındaki sapmalarını göz önüne alan ve varyasyon katsayısına dayanan entegre bir formülle amaç fonksiyonu tanımlanmıştır. Mevcut alternatiflerin ve ortaya konulan koşulların karmaşıklık düzeyinin yüksek olması (Np-Hard) nedeniyle, tanımlanan problemin çözümünde modern sezgisel yöntemlerden biri olan genetik algoritma kullanılmış ve en iyi çözüme ulaşılmaya çalışılmıştır. Modelleme ve programlama kolaylığı nedeniyle genetik algoritma tercih edilmiştir.

Genetik algoritma yapısında tanımlanan çözüm önerisi, bilgisayar ortamında programlanarak farklı koşullarda ve parametre değerlerinde çalıştırılmış ve amaçlanan sapma değerleri anlamlı bir minimum değere indirilmiştir. Sipariş büyüklükleri ile birlikte hesaplanan operasyon süreleri açısından, ürün gruplarının kendi içinde ve kendi aralarındaki sapmalarını göz önüne alan ve varyasyon katsayısına dayanan entegre bir formülle amaç fonksiyonu tanımlanmıştır. Siparişe dayalı üretim yapan firmada, aynı anda gelen farklı siparişlerin zamanında üretimlerinin sağlanması için kurulan modele genetik algoritma uygulanması sonucunda, gruplar arası sapmalar minimize edilerek dört ayrı ürün grubu elde edilmiştir. Yapılan uygulamada aynı anda gelen siparişlerdeki ürünlerin aynı anda, beklemeden üretim hattında üretilebileceği

görlümüőtür. Bu çalışmada, ürün çeşitliliğinin çok fazla olduğu ancak aynı zamanda makine-ekipman olanaklarının da esnekliği sağlayacak yeterlilikte olduğu bir üretim tesisinde ortaya çıkan planlama problemi için özgün bir model önerisi yapılmıőtır. Problemin ve çözüm modelinin programlanması ile farklı koőullara göre esnekliği de sağlanarak bir karar destek sistemine temel olabilecek öneri sistemi oluşturulmuştur.

Yazının izleyen bölümlerinde, siparişe dayalı üretim sisteminde grup teknolojisinin tam zamanında üretim yapmak açısından önemi vurgulanmaktadır. Son bölümde, bu kapsamda tanımlanan ürün gruplarının oluşturulması problemine ilişkin çözüm önerisi bir model çerçevesinde sunulmakta ve uygulama sonuçları tartışılmaktadır.

## II. GRUP TEKNOLOJİSİ VE HÜCRESEL ÜRETİM

Endüstride rekabetin artması, sürekli değişim gösteren müşteri istek ve ihtiyaçlarına cevap verecek esnekliğe ve duyarlılığa sahip imalat ortamlarına gereksinimi daha belirgin hale getirmiőtir. Grup teknolojisi, firmaların tüm bu geliőmelere, rekabet koşullarına, deđiően isteklere cevap verebilmesi için geliştirilmiş bir anlayıőtır. Grup teknolojisi, ürün tasarımı ve üretimde ürünler arasındaki benzerliklerden faydalanarak, ürünleri benzerliklerine göre gruplandırmaya dayanan yeni bir üretim felsefesidir. Grup teknolojisi kavramı çok basittir; birbiri ile benzer ya da ilgili olan parçaları tanımlayarak bir araya getirmek, üretimin ve tasarımın her aşamasında benzerliklerin avantajlarından faydalanarak gruplar oluşturmaktır (Rachamadugu ve Tu, 1997:1). Grup teknolojisi müşteri taleplerini göz önüne alarak gelen siparişlere göre partiler halinde üretimi daha verimli hale getiren ve aynı zamanda iőletmenin tasarım ve üretim fonksiyonlarının bütünleőtirilmesini sağlayan bir üretim felsefesidir. Grup teknolojisi atölye tipi üretimin dizaynını ve esnek üretim sistemlerini kapsayan bir çok endüstride kullanılan bir kümeleme yaklaőımıdır (Malakooti vd., 2004:1769).

Grup teknolojisinin atölye tipi üretim yapan firmalarda uygulanması daha az makine ve iőgücü sağladığı için verimliliği arttırır. Artan rekabet koőulları ile birlikte piyasadaki ürün çeşitliliğini müőterilerin belirlediği, müőteriden gelen talepler doğrultusunda sipariş üzerine üretimin yapıldığı günümüz koşullarında, talepteki dalgalanmalara hızlı bir Şekilde cevap vererek rekabet avantajı yakalamak isteyen firmalar, grup teknolojisini kullanarak üretimde esnekliği sağlayabilmektedir. Tüm grup teknolojisi uygulamaları için önemli olan baőlıca dört önemli kavram vardır. Bu kavramlar; *ürünlerin sınıflandırılması*, *ürün ailelerinin oluşturulması*, *basitleőtirme* ve *standardizasyon* Şeklinde sıralanabilir. Grup Teknolojisi'nin işletmelere sağladığı birçok fayda vardır. Bunlar arasında, iş akışının basitleőtmesi, üretim planlama ve kontrolünün kolaylaőtması, taőıma miktarlarının azalması, üretim ii stokların azalması, hazırlık zamanlarının ve toplam üretim zamanlarının azalması sayılabilir (Groover, 1992).

Üreticilerin ayakta kalabilmeleri için her türlü maliyetlerini en aza düőtürmeleri gerekmektedir. Ürün kalitesinin müşterinin istediği Şekilde olması, ürün çeşitliliği, esneklik, teslim süresini en aza inmesi ve teslim güvenirliliğini aynı zamanda sağlamak gerçekten zordur ve bu nedenle firmalar kendilerini baskı

altında hissetmektedirler. Hücresel üretim, bu zorluklarla başa çıkmak için önerilen ve grup teknolojisine dayanan bir üretim sistemidir. Hücresel üretim sistemi, grup teknolojisinin atölye ortamına uygulanan türevi olup, parti üretim tarzında çalışan atölyelerde uygulanmaktadır (Nomden ve Zee, 2008:439).

Siparişe dayalı üretim yapan işletmelerde üretimde sürekli akışın sağlanması için işletmelerin fonksiyonel düzenlemeden grup teknolojisi yerleşim düzenine geçmeleri gerekmektedir. Hücresel üretimde, üretilen ürünler işlem benzerliklerine ve işlem gördükleri makinelere göre gruplara ayrılırlar. Makine gruplarına “hücre” adı verilir. Hücresel üretim felsefesini uygulayan bir firmada, siparişe dayalı üretimde uygulanan fonksiyonel yerleşim ve planlamadan kaynaklanan teslimat gecikmeleri, planlama karmaşıklıkları gibi sorunlar ortadan kalkabilmektedir. Oluşturulan makine hücreleri ve bu hücrelerin fabrikadaki tasarımı sayesinde tüketicilerden ya da müşteri firmalardan gelen siparişlerin tek tek üretim sürecine alınması yerine, aynı anda gelen siparişlerin aynı anda üretilmesi söz konusudur. Gelen sipariş içerisindeki ürünler üretim şekillerine ve fiziksel şekillerine göre gruplandırılır. Oluşan bu grupları üretecek makineler belirlenir ve makine hücreleri oluşturulur. Gelen siparişler içerisindeki ürünler bu makinelere atanır ve üretim bu düzende gerçekleşir. Bu düzen ürünlerin beklenen kalitede, miktarda ve tam zamanında teslim edilmesine önemli bir katkıda bulunur.

Talebe göre üretimi ifade eden tam zamanında üretim, sıfır stokla ve müşteri siparişine göre üretimi ve ürünleri ne erken ne de geç, tam zamanında teslim etmeyi amaçlayan bir düşüncedir. Tam zamanında üretim ile şirketlerin amacı son müşteri ile tedarikçiler arasındaki akışı kesintisiz ve sorunsuz bir şekilde sağlamaktır. Tam zamanında üretimin hedefi stoktan mümkün olduğu kadar kaçınmak, son ürünleri üretmek ve bunları istenilen zamanda teslim etmektir (Zapfel, 1998:701). Tam zamanında üretimi; ürün tasarımı, süreç tasarımı, personel/organizasyonel faktörler oluşturur. Ürün tasarımı ve üretiminde ürünler arasındaki benzerliklerden faydalanarak, ürünleri benzerliklerine göre gruplandırmak şirketlere birçok yönden kolaylık sağlamaktadır. Bu anlamda siparişlerin de özelliklerini gözeterek grup teknolojisi ve hücresel üretim tam zamanında üretim açısından anahtar yaklaşımlardır (Günasekaran vd., 1994:217). Üretim teçhizatı, makine grupları ya da hücrelere ayrılıp iş akışı, yeni duruma göre düzenlenmektedir (Erdem ve Gökşen, 2003:101). Grup teknolojisinin son yıllardaki en önemli uygulaması hücresel üretim sistemlerinin tasarımıdır. Üretim hücreleri benzer ürünleri işleyecek ekipmanlardan oluşan üretim birimleridir (Choi vd., 1997:765). Bu sistemde, küçük miktarlardaki sipariş seviyelerine göre ürünler belirlenmekte ve sistemi yöneten dinamik iş çevrelerinden ve kısa hazırlık zamanlarından dolayı, tam zamanında üretime yönelik avantaj kolaylıkla elde edilebilmektedir (Reynolds, 1998:90).

Üretimde, hücresel üretim algoritmaları ve grup teknolojisi modellerinden alınan destek ile tam zamanında üretim felsefesi uygulanarak başarı sağlanır. Ürün gruplarının ve hücrelerin oluşturulmasında kullanılan farklı yaklaşımlar vardır. Selim vd. (1998) bu yaklaşımların farklı başlıklarda sınıflandırılmasını

sağlayarak bütünsel bir bakış açısı altında bu yaklaőımları deđerlendirmiőtir. İlk uygulamalarda sadece ürün gruplarının, sadece makine gruplarının ya da ürün ve makine gruplarının eő zamanlı olarak tanımlandığı “tanımlayıcı modeller” kullanılmıştır. Üretim koőullarının artan karmaőıklığı daha ayrıntılı ve geliőmiő çözümlerine olan gereksinimi de arttırmıőtır. Kümeleme analizine dayanan yöntemler bu anlamda pratikte oldukça geniő bir yer kaplamaktadır (Babalı, 2007; Baőaran, 2005). Kümeleme yöntemleri ürünlerin makinelere atanması ve eő zamanlı olarak hücrelerin belirlenmesi amacıyla tercih edilmektedir. Matematiksel programlama, hücre oluşturma aşamasında, optimum çözümler arayıőları içerisinde sayısal model geliőtirmek amacıyla kullanılmaktadır (Gen ve Cheng, 2000). Doğrusal ve doğrusal olmayan programlama ve dinamik programlama yaklaőımları, farklı çalışmalarda benzer problemlerin çözümlerine önerilen modellerin geliőtirilmesinde uygulama alanı bulmuőtur (Selim vd, 1998) .

Problemler daha da karmaőıklaőtıkça, yakın optimum çözümler sağlayan tavlama benzetimi, tabu araőtırma, genetik algoritma, yapay sinir ağları gibi modern sezgisel yöntemlere dayalı evrimsel algoritmalar geliştirilmiştir (Reeves, 1995; Brown ve Sumichrast, 2001). Çalışmanın kapsamında, ürün gruplarının oluşturulmasında genetik algoritma kullanıldığından, karőılaőtırma unsuru olması açısından kuramsal çerçevede bu konudaki çalıőmalara yer verilmiştir.

### **III. SİPARİŞE GÖRE ÜRETİMDE ÜRÜN GRUPLARININ BELİRLENMESİ ÜZERİNE BİR MODEL ÖNERİŐİ**

Siparişe göre üretim yapan tesislerde planlama ve üretim esnekliğinin sağlanması, ürünlerin ve ilgili makinelerin belirli özelliklerine göre gruplanması ve üretim hücrelerinin oluşturulması ile mümkün olmaktadır. Ürün ve makine çeőtilliliğinin çok olduğu ve üretimlerin de gelen siparişlere göre organize edildiği bu tip işletmelerde söz konusu grupların oluşturulması, hem tesis planlaması hem de üretim planlaması açısından çözümlenmesi gereken bir problemdir. Bu çalışmada, tanımlanan koőullar altında ortaya çıkan bir problem modellenmekte ve ürünlerin nasıl gruplanabileceği konusunda karar desteği sağlayacak bir çözümler önerisi ortaya koyulmaktadır. Problemin çözümlerinde önerilen model, modern sezgisel yöntemlerden ve evrimsel algoritmalar içerisinde sıklıkla kullanılan genetik algoritma ile geliştirilmiştir. Bu bölümde öncelikle genetik algoritmaların temel yapısı ve iőleyiőine yer verilmektedir. İzleyen bölümde problem tanımlanmakta ve geliştirilen genetik algoritma sunulmaktadır.

#### **A. Metodoloji: Genetik Algoritmalar**

Genetik algoritma, rassal arama tekniklerini kullanarak çözümler bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına dayanan sezgisel bir arama tekniğidir (Goldberg, 1989:10). Genetik algoritma, mevcut popölasyondan genlerini çocuklarına aktaracak olan aile adı verilen bireyleri seçer. Popölasyondan seçilen aile bireyleri bir sonraki popölasyondaki çocukları üretmek için kullanır. Algoritma genel olarak yüksek uygunluk değerlerine sahip olan bireyleri seçer (Hall, 2005:25).

Evrimsel sürecine baőtılmadan önce baőtlangı popölasyonu geliőtirilmelidir. Baőtlangı popölasyonu oluşturma genetik algoritmaların ilk aőamasıdır. Baőtlangı

popülasyonu rassal olarak ya da özel bir algoritmaya göre üretilebilir (Reeves, 1995). Genetik algoritmalarda en önemli faktörlerden birisi uygunluk değeridir. Uygunluk fonksiyonu, bireyin hayatta kalma durumunu, bir başka deyişle yaşam uyumunu gösteren matematiksel bir ifadedir ve her nesil için popülasyonun içindeki her bir kromozomun uygunluk değerini hesaplamak amacıyla kullanılır. Yüksek değerler bireyin hayatta kalma olasılığının daha yüksek olduğunu belirtir.

Mevcut neslin devamı ve evrimleşmesi için kromozomlar üzerinde bazı operasyonlar uygulanır. Bu aşamada kullanılan genetik operatörlerin amacı, daha iyi özelliğe sahip yeni nesiller üretmek ve arama algoritmasının alanını genişletmektir. Genetik algoritmada üç standart operatör kullanılır. Bu operatörler yeniden üretim, çaprazlama ve mutasyondur (Korukoğlu ve İşçi, 2003:195).

Yeniden üretim operatörü, hazır topluluktan uygun olan bireylerin seçilmesi ve bunların sonraki topluluğa kopyalanarak devamlılığının sağlanmasıdır. Popülasyon uzayındaki her bir bireyin uygunlukları baz alınarak ne kadar sayıda kopyasının olacağına karar verilir. En iyi bireylerden daha fazla kopya alınır, en kötü bireylerden kopya alınmayabilir.

Çaprazlama, iki kromozomun genlerinin karşılıklı olarak değiştirilerek yeni popülasyonun oluşmasını sağlayan genetik algoritma operatörüdür. Çaprazlama işlemi genel olarak, ikili kromozomların parçalarının değiş-tokuşu şeklinde gerçekleştirilir. Farklı uygulamalarda farklı kodlama yöntemleri kullanıldığı için farklı çaprazlama yöntemleri mevcuttur. Bunlar arasında; tek noktali çaprazlama, çok noktali çaprazlama, ve üniform çaprazlama gibi çaprazlama yöntemleri vardır (Mitchell, 1996).

Mutasyon, var olan bir kromozomun genlerinin bir ya da bir kaçının yerlerini değiştirerek yeni kromozom oluşturmaktır. Yeniden ve sürekli yeni nesil üretimi sonucunda belirli bir süre sonra nesildeki kromozomlar birbirini tekrarlama konumuna gelebilir ve bunun sonucunda farklı kromozom üretimi çok azalabilir veya durabilir. Bu nedenle çözüm lokal bir bölgede kalabilir. Lokal optimum noktalarda kalmasını engellemek veya nesildeki kromozomların çeşitliliğini arttırmak için kromozomlardan bazıları mutasyona uğratılır. Her bir kromozomun popülasyon içindeki yeri mutasyon oranı olarak tanımlanan olasılıkla belirlenir. Ters mutasyon, komşu iki işi değiştirme, keyfi iki işi değiştirme, keyfi üç işi değiştirme gibi birçok mutasyon şekli vardır (Herrera vd., 1996:7).

Genetik algoritmalar, tanımlanan uygunluk değerleri, genetik operatörler ve popülasyon bireyleri ile belirlenen bir noktaya kadar çalıştırılır, bu noktaya sonlandırma kriteri denir. Algoritmanın, belirlenen nesil sayısına, zaman limitine, uygunluk fonksiyonu değerine kadar devam etmesini sağlayan bir sonlandırma kriteri seçilebilir (Reeves, 1995).

Bu çalışmada siparişe dayalı üretim ortamlarında ürünleri gruplamak üzere, esnekliği, planlamayı ve tam zamanında üretimi destekleyecek bir model önerisi geliştirilmiş ve modelin optimum/yakın optimum çözümünün elde edilmesi için genetik algoritmadan yararlanılmıştır. İzleyen bölümde bu tip işletmelerde uygulanabilecek bir grup teknolojisi modeli önerilmekte, bu öneri ve

modele iliŒkin bulgular, örnek bir iŒletme ortamından elde edilen sonuçlar üzerinden tartiŒılmaktadır.

## **B. Grup Teknolojisi ve Hücresel Üretim Sistemlerinde Genetik Algoritma Uygulamaları**

Genetik algoritma, uygulama kolaylığı ve hızlı çözüm üretmesi açısından grup teknolojisi ve hücresel üretimde ortaya çıkan karar problemlerinde sıklıkla kullanılan bir tekniktir. Genetik algoritmalar, hücreler arası taŒımının minimum olduğu hücrelerin oluŒturulmasında kullanılabilir. Bu konuda Venugopal'ın 1999'daki alıŒması, hücresel üretim konusu için uygulanmış çözüm tekniklerinin genel bir değerlendirmesini içermektedir (Brown ve Sumichrast, 2001). Plaquin ve Pierreal (2000 ), makine hücreleri oluŒturmak üzere maksimum hücre boyutlarını, birlikte ve birbirinden ayrı olarak gruplanması gereken makineleri ve hücrelerde bulunması gereken anahtar makineleri hesaba katan bir genetik algoritma modeli geliŒtirmişlerdir. Gonçalves ve Resende (2004) üretim hücreleri oluŒturmak için evrimsel algoritmayı ele almışlardır. Problem tam sayılı programlama olarak modellenmiştir ve çözüm metodolojisi olarak genetik algoritma önerilmiştir. Filho ve Tiberti (2006) makine kodlaması yerine grup kodlamasını kullanarak hücre düzenlemesi yapmışlar ve optimizasyon sürecinde genetik algoritmayı tercih etmişlerdir. İterasyonlar sonucunda algoritma grup yapısını açığa çıkarmıştır. Sharif ve arkadaşları (2008), grup teknolojisi problemlerini tanımlayarak bu problemi çözmek için literatürdeki farklı yaklaŒımları sınıflandırmışlardır. Parça parametreleri ve makineler göz önüne alınarak her bir parça için en iyi makine genetik algoritma yöntemi ile bulunmuş, daha sonra parça-makine matrisinden gruplandırmalar yapılarak hücreler oluŒurulmuŒtur. Sonuçlar diğer tekniklerle karŒılaŒtırmalı olarak tartiŒilmiştir.

Genetik algoritmalar ürün aileleri oluŒurma problemlerinde de yaygın olarak kullanılırlar. Üretimde kolaylık sağlamak için ürünler sipariŒ miktarlarına, gördükleri iŒlemlere, toplam üretim sürelerine, benzer üretim özelliklerine ve benzer geometrik yapılarına göre gruplara ayrılırlar. Bu gruplar oluŒurulurken genetik algoritmadan yararlanılabilir. Genetik algoritmalar kesin optimum bir sonuç vermeyebilirler fakat algoritmanın yapısı gereği kısa zamanda en iyi çözüme yaklaŒılır. Literatürde bu konuda yapılan birçok alıŒma bulunmaktadır. Balakrishman ve Jacob (1996) pazardaki ürün potansiyelini ölçmek için ürün ailesi tasarımında performans ölçütlerini belirlemişler ve bu performans ölçütlerini genetik algoritmada kullanmışlardır. alıŒmada ürün tasarımında genetik algoritmaların nasıl uygulanacağı üzerine, dinamik programlama ile genetik algoritmanın sonuçlarının karŒılaŒtırılması üzerine ve parametre seçimlerinde genetik algoritmanın duyarlılığı üzerine odaklanılmıştır. Tiuhonen ve diğerleri (1998) kavramsal parça, kaynak, fonksiyonlara dayalı konfigürasyonel ürün ailesi tasarımı için genetik algoritma tabanlı bir model geliŒtirerek geniŒ ürün çeŒitliliđinin yönetimi üzerinde durmuşlardır. Kota ve diğerleri (2000) ürün ailelerinde ortak özellikler, ortak ölçüler geliŒtirmişlerdir. Modeller arasında müşteri seçimlerini göz önüne almadan, değer yaratmayan değerkenleri minimize



etmeyi amaçlayan bir yaklaşım kullanılmıştır. Uddin ve Shanker (2002) her parçanın birden fazla üretim sürecinden geçtiği gruplama problemini ele aldıkları çalışmalarında, dört makine – beş parça, altı makine – on parça ve yirmi makine – yirmi parçadan oluşan üç farklı veri seti için bağımsız hücreler oluşturmak üzere bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Söz konusu algoritmanın en çarpıcı yanı, her parçaya ait birden fazla işlem rotasını dikkate almasıdır. De Weck ve diğerleri (2003) ürün ailelerindeki karlılığı maksimize ederek, zaman ve maliyeti geliştirerek ürün aileleri oluşturmuşlardır. Simpson ve D’Souza (2004) aileler içindeki ortak ürünlerin bireysel performanslarını göz önüne alarak ürün ailesi tasarımı ve ürün ailelerinin belirlenmesi için genetik algoritma yaklaşımını kullanmışlardır. Jiao ve diğerleri (2006), Genel kodlama şemasını çeşitli ürün ailesi oluşturma senaryolarına uyarlamak için geliştirmişlerdir. Kannan ve Shunmugam (2008) üç boyutlu sac levhaları bükme için üretim planları yapılırken uygun araçların ve yerlerin seçilmesinin önemi üzerinde durmuşlardır. Çalışmalarında üç boyutlu sac levhaların bükülmesinde elitist genetik algoritmayı kullanarak parça taşımalarını minimuma indirmeyi ve optimal bükme sırasını bulmayı amaçlamışlardır.

Bu çalışmada ise, ürün çeşitliliğinin fazla olduğu siparişe dayalı üretim yapan işletmelere, ürün gruplarının oluşturulması aşamasında karar desteği sağlayacak bir model önerisi geliştirilmiştir. Özellikle CNC tezgâhlarının yaygınlaştığı ve bu anlamda çok işlevli çalışma karakteristiklerinin artmakta olduğu bu tip atölye ortamlarında, aynı tezgâhlarda çok farklı işlemler gerçekleştirilebilmekte olup, bu kapsamda yapılan üretim planlama sürecindeki en büyük sorunlardan biri operasyon süreleridir. Bu veriden yola çıkılarak operasyon sürelerine göre bir gruplandırmanın yapılabileceği düşünülmüş ve izleyen bölümde sunulan model geliştirilmiştir.

### **C. Önerilen Modelin Çalışma Yapısı**

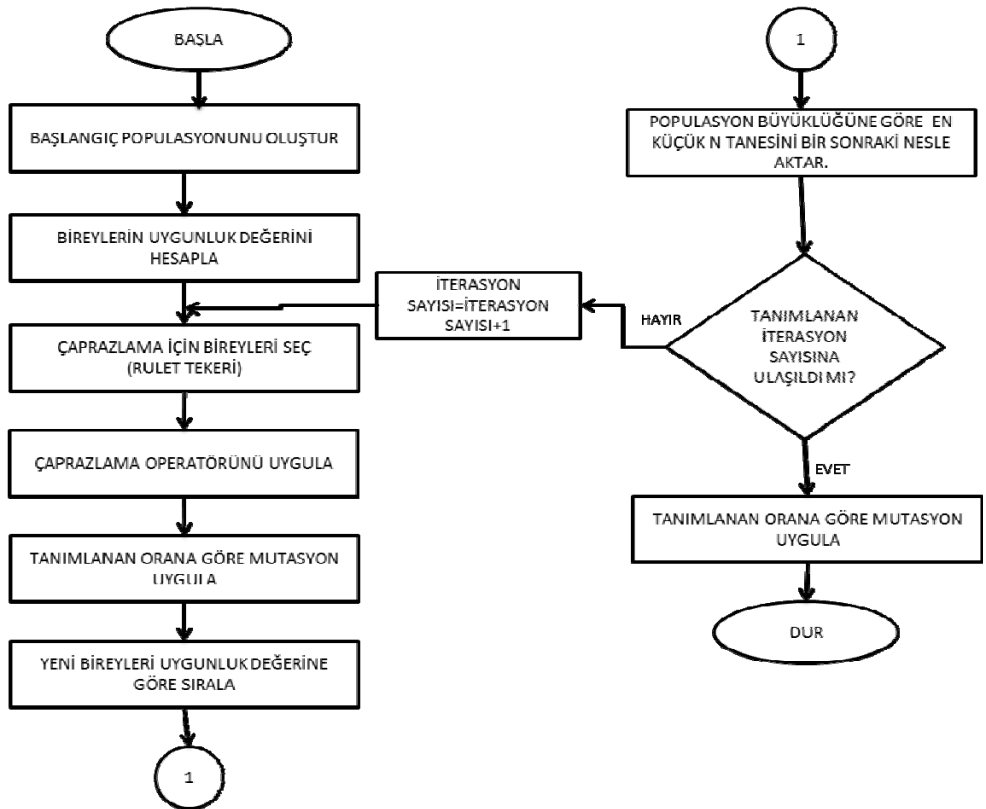
Siparişe dayalı üretim tipinde, farklı ürünler için farklı düzeylerde talepler gelmektedir. Ürün yelpazesinde bulunan ürünlerin belirlenen özellikleri gözetilerek bir grup ya da ürün ailesi oluşturulursa, bu yapının hem planlama, hem hazırlık süreleri, hem de zamanında teslimat anlamında kolaylık ve avantaj sağlayacağı, konu ile ilgili geçmiş çalışmalarda da belirtilmiştir. Bu çalışmada model önerisine konu olan problem, siparişe dayalı üretim ortamında, üretim hacimlerinin orta büyüklükte olması nedeniyle, siparişlerin planlanması problemi. Tanımlanan problemin ilk çözüm basamağı, sipariş büyüklükleri göz önüne alınarak ürünler ve dolayısıyla makineler arasında gruplandırma yapılması kararıdır. İkinci basamak ise bu gruplamanın hangi kriterlere göre ve nasıl yapılacağıdır. Ürün gruplarının oluşturulmasında, ürün bileşenleri ve gördükleri ortak işlemler açısından ortak özelliklerin bulunması kısıtı bulunmaktadır. Bu anlamda ortaklıkların bulunmadığı ortamlarda, benzer problemlere çözüm getirebilmesi açısından, önerilen modelde toplam operasyon sürelerini temel alan bir sezgisel kriter belirlenmiştir. Bu sezgisel kriter, ürünlerin toplam operasyon sürelerinin grup içinde ve gruplar arasındaki görece sapmalarının birlikte ele alınmasına dayanmaktadır. Bu kriter, optimizasyon sürecinde kullanılan genetik

algoritmada uygunluk fonksiyonuna karşılık gelmektedir. Önerilen modelin mevcut durumdaki kısıtı, grup sayısının başlangıçta belirlenmesidir. Ancak, önerilen algoritma, bilgisayar programına aktarıldığından, farklı grup sayılarının test edilmesi kolaylıkla yapılabilmektedir. Modelin temel çalışma prensiplerini gösteren akış şeması Şekil 1’de sunulmaktadır.

Şekil 1’ de verilen model akış şemasının ilk aşaması başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıdır. Popülasyon bireylerini tanımlayan kodlama Eşitlik (1)’de gösterilmektedir. Bu kodlamaya göre popülasyondaki her bir birey,  $(k \times i)$  boyutunda bir matris içinde ikili sayı sistemine göre tanımlanmaktadır.

$$P_{ki} = \begin{cases} 1, & \text{k. ürün i. grupta yer alıyorsa} \\ 0, & \text{k. ürün i. grupta yer almıyorsa} \end{cases} ; \quad (1)$$

$P(k,i)$  = ürün – grup matrisi değerleri



Şekil 1. Uygulanan Genetik Algoritma

Özellikle siparişe dayalı üretim yapan işletmelerde, ürün gruplarının oluşturulması sürecindeki engellerden en önemlisi, ürünlerin operasyon süreleri arasındaki farklılıklardır. Bu durum göz önüne alınarak, amaç ya da uygunluk fonksiyonu, oluşturulacak rastgele ürün gruplarındaki ürünler için hesaplanan toplam operasyon sürelerinin göreceli sapma değeri olarak tanımlanmıştır. Bu

amaçla, ürün bazında operasyon sürelerinin varyasyon katsayısı hesaplanmakta ve gruplar arasındaki görece sapma değerleri de aynı şekilde hesaplanarak, elde edilen bu son ifade amaç fonksiyonu olarak kullanılmaktadır. Aşağıda amaç fonksiyonundan ve kısıtlardan oluşan sipariş sürelerine göre ürün ailesi oluşturma problemine ilişkin model görülmektedir. Amaç fonksiyonu için geliştirilen matematiksel ifade, Eşitlik (2)'de sunulmaktadır.

$$Cv_f = f(x) = \frac{\sigma(Cv_1, Cv_2, \dots, Cv_n)}{\mu(Cv_1, Cv_2, \dots, Cv_n)} \quad (2)$$

$Cv_f$ : Bireyin görece sapma değeri.

$n$ : ürün grubu sayısı.

$j$ : grup için atanan sıra numarası. ( $j=1,2, \dots, n$ )

Önerilen çözüm modelinde tanımlanan amaç (uygunluk) fonksiyonu minimize edilmektedir. Böylece, üretim için oluşturulacak grupların kendi içinde ve gruplar arasındaki görece sapmaları en aza indirilerek dengeli gruplar elde edilebilecektir. Eşitlik (2)'de yer alan varyasyon değerlerinin hesaplanması için grup içindeki varyasyon hesaplamaları gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan matematiksel formül Eşitlik (3)'de verilmektedir.

$$Cv_i = \frac{\sigma_i}{\mu_i} \quad (i=1,2,3,\dots,m) \quad (3)$$

$i$ : grup sayısı.

$\sigma_i$ :  $i$ . grup içindeki ürünlerin toplam operasyon sürelerinin standart sapması .

$\mu_i$ :  $i$ . grup içindeki ürünlerin operasyon sürelerinin ortalaması.

Toplam operasyon sürelerinin ve bu sürelerle ait grup ortalaması ve standart sapmaları Eşitlik (4),(5),(6)'te sunulmaktadır.

$$\sum_{i=1}^P W_{ik} = S_{ik} \times \sum_{j=1}^M t_{ikj} \quad (4)$$

$$\mu_i = \left( \sum_{k=1}^N W_{ik} \right) / N \quad (5)$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (W_{ik} - \mu_i)^2}{N}} \quad (6)$$

$j$ : kullanılan makine sayısı.

$k$ : grup içerisindeki ürün sayısı.

$S_{ik}$ :  $i$ . grup içindeki  $k$ . ürününün sipariş miktarı .

$t_{ikj}$ :  $i$ . grup içindeki  $k$ . ürünün  $j$ . makinedeki işlem süresi.

$W_{ik}$ :  $i$ . grup içerisinde yer alan  $k$ . ürünün toplam üretim süresi

$N$ :  $i$ . grup içerisindeki (1) ile kodlanmış ürün sayısı.

Rassal olarak belirlenen popölasyon büyüklüğü ile oluşturulan ürün – grup matrislerinden başlangıç popölasyonu oluőturulduktan sonra, popölasyon içinde çaprazlama operatörü alıőtırılmakta ve bu amaçla bir eőleőtirme politikası belirlenmektedir. Bu alıőmada Şekil 1’de de ifade edildiği gibi rulet tekeri yöntemi uygulanmaktadır. Algoritmada iyi bireyler korunarak bir sonraki nesle aktarılmak istenmektedir; başka bir deyişle uygunluk değerü yüksek olan bireylerin bir sonraki nesle iyi bireyler aktarmaları sağlanmaktadır.

Rulet tekerleği ile çaprazlanacak olan bireylerin seçilmesinden sonra, çaprazlama operatörünün tanımlanması aşaması gelmektedir. Çaprazlama operatörü farklı yapıya sahip yeni nesiller oluşturmak için kullanılmıştır. Önerilen algoritmada, problemin ve kodlama sisteminin yapısına uygun olarak çok noktalı çaprazlama yöntemi kullanılmaktadır. Çok noktalı çaprazlama yöntemi uygulanırken tesadüfi olarak birden fazla çaprazlama noktası belirlenmektedir. Bu noktalara kadar olan kısım birinci ebeveynden, kalan kısım da ikinci ebeveynden alınmaktadır. Birinci ebeveynden alınmayan genler ikinci ebeveynde tespit edilir ve aynı sırada çocuğa kopyalanmakta ve bu Şekilde aprazlama işlemi tamamlanmaktadır.

Şekil 1’de verilen mutasyon aőamasının amacı, aynı tür kromozomların kendini tekrarlamaması için bir sonraki nesile aktarılmak üzere bireyler üzerinde değişiklik yapmaktır. Tesadüfi olarak mutasyon noktaları belirlenmekte ve bu noktalardaki 1 değerleri 0 ya da 0 değerleri 1 yapılmaktadır. Kromozomların aőırı bozulma ihtimaline karşın ilgili nesildeki en iyi uygunluk değerine sahip kromozom, yeni nesile doğrudan aktarılmaktadır. Mutasyon iőleminin her uygulanıőından sonra uygunluk değerleri hesaplanmakta ve bir önceki uygunluk değerinden yüksek değere sahip olan bireyler çözüme alınmamaktadır. Bu çalışmada, her beş çaprazlama sonunda bir mutasyon uygulanacak Şekilde bir sıklık tanımlanmaktadır.

Popölasyon içinde çaprazlama ve mutasyon operatörlerinin çalıőtırılması ve yeni bireylerin oluőturulmasından sonraki aşamada, yeni popölasyondaki hangi bireylerin yola devam edeceğinin, başka bir deyişle, hangilerinin bir sonraki nesile aktarılacağının belirlenmesi gerekmektedir. Bu aşamada, bireylerin uygunluk değerü hesaplanmakta ve çözüm sonrasında bu değerü minimum olması amaçlanmaktadır. Genetik algoritmanın temelinde iyi olan bireylerin çözümde çıkması istenmektedir. Bu amaca hizmet edeceği düőünülen sıralı seçim yöntemi tercih edilmektedir. Bu yönteme göre, çaprazlama ve mutasyon sonucu oluşan bireylerin uygunluk değerleri hesaplanmakta ve bireylerin uygunluk değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır. En düşük uygunluk değerine sahip olan ilk 20 birey bir sonraki nesle aktarılmaktadır. Yirmi sayısı genelde kullanılan bir değerdir. Ancak farklı değerler de analiz edilerek, sonuçlar değerlendirilmektedir.

Her aşamada tanımlanan operatörler uygulanmakta, yeni bir nesil elde edilmekte ve daha iyi bir çözüme doğru evrimsel süreç çalıőtırılmaktadır. Algoritma yeni nesiller üretmeye devam ederken, kaynak ve zaman kısıtları göz önüne alınarak bir sonlandırma yapılmalıdır. Algoritmanın örnek veri setleriyle

test edilmesinin sonucunda 2500 iterasyonda çok iyi sonuçlar alındığı gözlemlenmiş ve bu değer sonlandırma kriteri olarak modele eklenmiştir.

Bu çalışmada önerilen genetik algoritma ve çözüm modeli metal işleme sektöründe faaliyet gösteren bir işletmede uygulanmıştır. İzleyen bölümde, bu işletme örneğinin uygulama kısıtları sunulmakta ve bulgular tartışılmaktadır.

#### **D. Metal İşleme Sektöründen bir Uygulama Örneği**

Metal sektöründe sac şekillendirme üstüne faaliyet gösteren firmada yapılan uygulamanın temel amacı, gelen siparişlerdeki ürünleri toplam operasyon sürelerinin benzerliklerine (düşük görelî sapmalarına) göre gruplandırarak ürün aileleri oluşturmak ve bu ürün ailelerini aynı üretim hücrelerinde ya da hattında üretmektir. Bu yaklaşımla, üretim süresi bakımından farklılık gösteren ürünler, beraber aynı üretim hattına girmeyecek ve buna bağlı üretkenlik kaybı yaşanması önlenmiş olacaktır. Siparişlerdeki ürünlerin toplam operasyon sürelerine göre gruplandırılmasıyla, üretimde bu süreler arasındaki farklılıklar nedeniyle meydana gelen dengesizlikler minimize edilecek aynı zamanda grup teknolojisinin getirdiği avantajlardan da yararlanılmış olacaktır. İşletmedeki bu değişim ile tam zamanında üretim yaparak, ürünleri müşteriye zamanında teslim etme fırsatı yaratılmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmada ürün ailelerini oluşturmak için geliştirilen modelin temelinde, karmaşık karar verme problemlerinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden olan genetik algoritma kullanılmaktadır.

Uygulama sürecinde, belirli paketler halinde gelen iki sipariş ele alınmaktadır. Söz konusu metal işleme fabrikasının kesim, büküm, kaynak, boyama, montaj ve paketleme bölümleri bulunmaktadır. Bu bölümler punch, giyotin, plazma, abkant, kaynak, boya gibi çok fonksiyonlu CNC tezgâhlarından oluşmaktadır. Seçilen sipariş paketlerinin içinde toplam 28 farklı ürün bulunmaktadır. Tüm ürünler için paketleme ortak istasyondur. İşletmede makineler arası mesafe fazla değildir. Parçaların işlem sıraları birbirlerine benzer değildir. Tablo 1’de uygulamada kullanılacak ürünler (P1, P2 şeklinde numaralandırılarak), ve her bir üründen ne kadar sipariş edildiği gösterilmektedir. Seçilen bu ürünler için dört grup ya da dört hücre oluşturulması öngörülmektedir.

Bu çalışmada, önerilen model, 20 bireyden oluşan başlangıç popülasyonu üzerinde uygulanmaktadır. Her bir birey, genetik algoritmadaki kromozomlara karşılık gelmektedir ve bu modeldeki kromozomlar ürün – grup matrisleridir. Matriste (1) değeri ile kodlanan konum, ürünün o grup içerisinde yer aldığını, (0) ile gösterilen konum ise ürünün o grupta yer almadığını göstermektedir. Başlangıç popülasyonunda yer alan herhangi bir kromozoma ait matris yapısı Tablo 2’de gösterilmektedir. Kullanılan makine tipleri genelde benzer oldukları için ürünlerin farklı makinelerde işleme süreleri arasında anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Sapmalar sipariş büyüklükleri üzerinde yoğunlaşmaktadır.

**Tablo 1. Uygulamada Kullanılacak Parçaların Sipariş Miktarları**

Parça Kodu	Sipariş Kodu	Sipariş Miktarı
P1	6810-01 ALT ŐASE YAN SACI	5
P2	6810-02 ALT ŐASE SACI	5
P3	6810-03 ALT ŐASE YAN SACI	5
P4	6810-04 ALT ŐASE YAN SACI	5
P5	6810-11 KÖŐE DİKME - ÖN / ARKA SAĞ	9
P6	6810-14 ÜŐT KAPAK	3
P7	6810-15 ARKA KAPAK	3
P8	6810-16 İ PANJUR	3
P9	6810-21 ÇERÇEVE	3
P10	6810-37 PARÇA YAPIMI	3
P11	6810-43 ELEKTRİK PANOSU SACI	3
P12	6810-45 DAVLUMBAZ	3
P13	6810-47	3
P14	6810-60	3
P15	6810-66 PARÇA YAPIMI	6
P16	7757-19 KARTER AYAKLARI PARÇA YAPIMI	50
P17	7757-30 PARÇA YAPIMI	10
P18	7813-12 KELEPÇE	50
P19	ESR.01.315.000.063	20
P20	ESR.01.056.000.095	20
P21	ESR.01.088.000.045	5
P22	ESR.02.107.000.062	5
P23	ESR.02.107.000.059	20
P24	ESR.02.212.000.016	30
P25	ESR.02.033.000.030	30
P26	ESR.01.055.000.007	30
P27	ESR.01.088.000.010	20
P28	ESR.02.33.00.031	20

Toplam operasyon süreleri, sipariş listesindeki bir ürüne ait tüm siparişler için o ürünün tüm makinelerde gördüğü operasyon süreleri toplamıdır.

**Tablo 2. Ürün- Grup Matrisi (Örnek Kromozom Yapısı)**

KROMOZOM					Toplam Süresi	operasyon
	Grup1	Grup2	Grup3	Grup4		
P1	0	0	1	0		575
P2	0	0	0	1		535
P3	0	0	1	0		240
P4	1	0	0	0		270
P5	1	0	0	0		1197
P6	0	1	0	0		768
P7	1	0	0	0		1221
P8	0	0	0	1		870
P9	0	0	1	0		354
P10	0	1	0	0		180
P11	1	0	0	0		204
P12	0	0	0	1		1800
P13	0	0	1	0		258
P14	0	1	0	0		555
P15	0	0	0	1		1428
P16	1	0	0	0		3000
P17	0	1	0	0		530
P18	0	0	1	0		17250
P19	0	0	1	0		3600
P20	0	0	1	0		4200
P21	0	1	0	0		275
P22	0	1	0	0		3900
P23	1	0	0	0		14400
P24	0	0	0	1		14400
P25	0	1	0	0		7650
P26	1	0	0	0		9000
P27	0	0	1	0		9400
P28	0	0	0	1		3500

Tablo 2’de sunulan toplam operasyon süreleri, sipariş listesindeki bir ürüne ait tüm siparişler için o ürünün tüm makinelerde gördüğü operasyon süreleri toplamıdır. Tablo 2’deki yapıya sahip ve rastgele üretilen 20 birey ile algoritma çalıştırılmakta; her popülasyonda rulet tekeri seçimi ile çaprazlanacak bireyler belirlenerek çok noktalı çaprazlama operatörü çalıştırılmakta ve algoritmada tanımlanan sıklıklara uygun olarak mutasyon yapılmaktadır. Her bir aşamada, en iyi 20 birey bir sonraki nesile aktarılmaktadır. Tanımlanan iterasyon sayısı tamamlandığında, en iyi yaklaşık optimum çözüme ulaşılmaktadır.

Önerilen genetik algoritmanın çalıőtırılması sırasında kullanılan parametre ve yöntemler Tablo 3'te özetlenmiőtir.

**Tablo 3. Önerilen Genetik Algoritmada Kullanılan Parametreler**

Başlangıç Popülasyon Sayısı	20
Tekrar (İterasyon) Sayısı	2500
Çaprazlanacak Bireylerin Seçimi	Rulet Tekerı Yöntemi
Çaprazlama Operatörü	ok Noktalı aprazlama
Mutasyon Operatörü	Her 5 çaprazlamada bir rassal dört iş değiştirme
Seçim	Sıralı Seçim

Algoritmayı programlamak için nesne tabanlı programlama dili olan Microsoft Visual Studio C# 2.0 dili kullanılmıştır. Algoritma 1.86 GHz ve 512 MB RAM özelliklerine sahip olan bilgisayarda çalıőtırılmıőtır. Akış sırasında, algoritmanın çalıőtırıldıđı bilgisayar programında farklı denemeler yapılmıőtır.

Bulgular özetlenirse, yapılan denemeler sonucunda yazılan programın 20 adet başlangıç bireyi ile 2500 defa çalıőtırılması sonucu en iyi uygunluk değerine ulaőılmıőtır. Bu deneme toplam 3 dakika 18 saniye sürmüő ve uygunluk değerı 0.000986524429332587 olarak bulunmuőtur. Durdurma kriteri olarak gruplar arası sapma değerı 0.001 olarak belirlenmiştir. Bu uygunluk değerinin en iyi olarak alınmasının nedeni belirlenen durdurma kriterinin altında elde edilen en iyi değer olmasıdır. En iyi çözüm olarak tanımlanan çözüm matrisine göre oluşan ürün grupları Tablo 4'te verilmiştir. Bu uygunluk değerinin, hem gruplar içinde hem de gruplar arasındaki görelı sapsmaları yansıttığı düşünülürse, çok dengeli bir gruplama ortaya çıktığı net olarak söylenebilmektedir.

İş akışının basit olması, kuyrukta bekleme süresinin azalması, hammadde ve yarı mamul tedarik süresinin kısılmasıyla toplam üretim zamanı azalacaktır. Ürün ailelerinin oluőturulmasından sonra elde edilen ürün – makine matrisine göre, birinci grupta yer alan P1, P2, P8, P21, P24, P25 ürünleri baskı (punch) ve lazerde kesim, abkantta büküm, boya ve kaynak ve montaj iőlemlerini görmektedir. İkinci grupta yer alan P4, P6, P14, P15, P16, P17, P18, P22, P26 ürünleri baskı, lazer ve plazmada kesim, abkantta büküm, boya ve kaynak iőlemlerini görmektedir. Üçüncü grupta yer alan P3, P11, P13, P19, P27 ürünleri baskı, lazerde ve giyotinde kesim, abkantta büküm ve boya iőlemlerini görmektedir. Dördüncü grupta yer alan P5, P7, P9, P10, P12, P20, P23, P28 ürünleri punch makinesinde kesim, abkantta büküm, lazerde kesim, boya, kaynak ve montajda işlem görmektedir. Firma makine bakımından sıkıntı yaőamamakta, elinde birçok makineden birden fazla bulunmaktadır. Ayrıca firmada iki adet montaj atölyesi, üç adet kumlama tesisi bulunmaktadır.



**Tablo 4. Genetik algoritma sonucu oluşan ürün aileleri**

Grup No	Parça Ailesi
Grup 1	P1, P2, P8, P21, P24, P25
Grup 2	P4, P6, P14, P15, P16, P17, P18, P22, P26
Grup 3	P3, P11, P13, P19, P27
Grup 4	P5, P7, P9, P10, P12, P20, P23, P28

Bu çalışmanın temel amacı ürün gruplarının oluşturulmasıdır; bu doğrultuda geliştirilen modelin literatüre yapacağı potansiyel katkı, sipariş büyüklükleri ve işlem süreleri üzerinden tanımlanan uygunluk fonksiyonu olmakla birlikte, iki boyutlu kodlama yapısı kullanımı ile pekçok benzer çalışmadan farklılık göstermektedir.

Genetik algoritma ile oluşturulan ürün gruplarına göre, ürün ailelerinin işlem gördüğü ürün – makine matrisi Tablo 5’te gösterilmiştir. Bu tabloya göre birinci grupta yer alan P1, P2, P8, P21, P24, P25 ürünlerini üretmek için baskı, abkant, lazer, kaynak makinelerinden oluşan bir makine hücresi oluşturulabilir. İkinci grupta yer alan P4, P6, P14, P15, P16, P17, P18, P22, P26 ürünlerini üretmek için ise baskı, abkant, lazer, kaynak ve plazma’dan oluşan makine hücresi kurulabilir. Üçüncü grupta yer alan P3, P11, P13, P19, P27 ürünlerini üretmek için punch, abkant, lazer, giyotinden oluşan makine hücresi kurulabilir. Dördüncü grupta yer alan P5, P7, P9, P10, P12, P20, P23, P28 ürünlerini üretmek için ise punch, abkant, lazer, kaynaktan oluşan bir makine hücresi oluşturulabilir.

Çalışmanın temel amacı ürün gruplarının oluşturulmasıdır; bu doğrultuda geliştirilen modelin literatüre yapacağı potansiyel katkı, sipariş büyüklükleri ve işlem süreleri üzerinden tanımlanan uygunluk fonksiyonu olmakla birlikte, iki boyutlu kodlama yapısı kullanımı ile pekçok benzer çalışmadan farklılık göstermektedir. Geliştirilen modelin sonuçlarına ek olarak, firmanın yetkililerine yön göstermesi açısından, üretim ortamındaki makine parkı ve ürün grupları eşleştirilmiş ve olası hücreler manuel olarak Tablo 5’te düzenlenmiştir.

Tablo 5’te görülen ürün-makine ya da ürün-atölye atamalarına göre, boya ve montaj bölümleri ortak işlem alanı olarak kullanılacak olup, birinci ve dördüncü grupta üretilecek olan ürünler montaj atölyesine gönderilecek şekilde bir yerleşim planı yapılabilir. Tüm gruplarda boyama işleminden geçecek olan ürünler ise direk boya bölümüne aktarılarak üretim akışı planlanabilir.

Birden fazla gelen siparişteki üretilecek olan ürünlerin operasyon sürelerine göre gruplara ayrılmasıyla firmanın siparişlere cevap verme süresi hızlanacaktır. Böylelikle müşteri talepleri, müşterinin istediği tarihte ve istediği şekilde karşılanmış olacaktır. Rekabetin hızla arttığı piyasalarda müşteri odaklı olarak çalışan firmaların üstünlüğü göz ardı edilememektedir. Buna bağlı olarak müşteri memnuniyeti siparişlerin hızlı ve kaliteli bir şekilde üretilmesi ile doğru orantılı olacaktır.

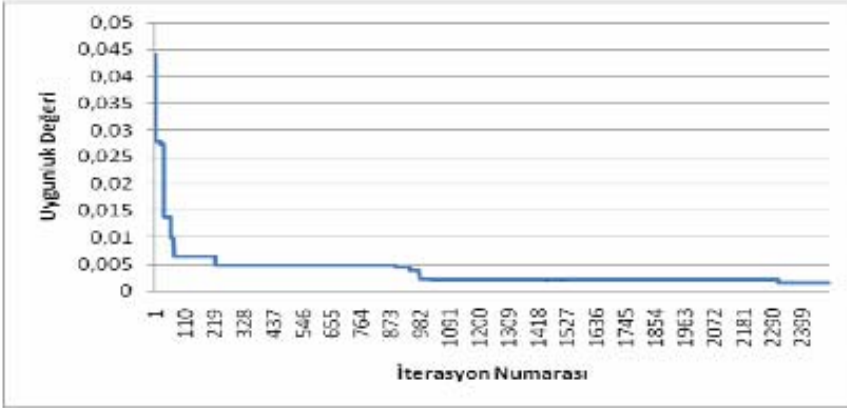
**Tablo 5. Ürün-Makine Matrisi**

		Punch	Abkant	Lazer	Boya	Kaynak	Montaj	Punch	Abkant	Lazer	Boya	Kaynak	Plazma	Punch	Abkant	Lazer	Boya	Giyotin	Punch	Abkant	Lazer	Boya	Kaynak	Montaj		
GRUP 1	P1	1	1	0	0	0	0																			
	P2	1	1	0	0	0	0																			
	P8	1	1	0	0	0	0																			
	P21	0	1	1	1	0	1																			
	P24	0	0	1	1	1	0																			
	P25	0	0	1	1	1	0																			
GRUP 2	P4							1	1	0	0	0	0													
	P6							1	1	0	0	0	0													
	P14							1	1	0	0	0	0													
	P15							1	0	0	0	0	0													
	P16							0	1	0	0	0	0	1												
	P17							1	0	0	0	0	0	0												
	P18							1	1	0	0	0	0	0												
	P22						0	0	1	1	1	0														
	P26						0	1	1	0	0	0	0													
GRUP 3	P3													1	1	0	0	0								
	P11													1	1	0	0	0								
	P13													0	1	0	0	1								
	P19													0	1	1	1	0								
		P27												0	1	1	1	0								
GRUP 4	P5																		1	1	0	0	0	0	0	
	P7																		1	1	0	0	0	0	0	
	P9																		1	1	0	0	0	0	0	
	P10																		1	1	0	0	0	0	0	
	P12																		1	1	0	0	0	0	0	
	P20																		0	0	1	1	0	0	0	
	P23																		0	0	1	1	1	1	1	
		P28																	0	0	1	1	1	1	0	

### E. Algoritma Sonuçlarının Analizi

Önerilen sezgisel uygunluk fonksiyonu üzerinden kurgulanan genetik algoritma, geliştirilen bilgisayar programı aracılığı ile farklı iterasyon ve başlangıç popülasyon sayıları ile çalıştırılarak uygunluk fonksiyonunun değerleri izlenmiştir. Bölüm 4/D’de sunulan çözüm değeri, bu izlemeler sonucunda elde edilen en iyi sonuca işaret etmektedir. Bu bağlamda, karşılaştırmalı sonuçlara yer verilmesi amacıyla, gerçekleştirilen diğer denemeler özetlenerek Tablo 6’da sunulmaktadır.

Yapılan denemeler sırasında, uygunluk fonksiyonundaki değişimin örüntüsünü göstermek amacıyla, denemelerden biri örnek alınarak Şekil 2’deki grafik oluşturulmuştur. Örnek olarak aldığımız 20 birey sayısı ve 2500 iterasyon sonucu, en iyi uygunluk değeri 0.00158654506100208 olarak bulunmuş ve bu denemedeki uygunluk değerlerinin değişimini gösteren grafik aşağıda verilmiştir.



**Şekil 2. Uygunluk Değeri Örnek Değişim Grafiği**

Denemeler genel olarak benzer örüntüleri izlemektedir. İlk 100 iterasyonda hızlı bir eğilimle azalmakta, genel olarak 200'ü aşkın iterasyonların başında hesaplanan uygunluk değeriyle bir süre lokal bir optimum değerinde kalmakta, gelinen bu lokal değerden 1000. İterasyona yaklaşıldığı noktalarda kurtularak tekrar düşme eğilimine girmekte ve farklı bir lokal optimum değerine geçmektedir. 2000 iterasyon tamamlandıktan sonra algoritma, daha küçük basamaklarla ifade edilen bir değere ulaşmakta ve bu şekilde sifıra yakınsamaktadır.

**Tablo 6. Farklı Kombinasyonlarda Elde Edilen Minimum Uygunluk Değerleri**

Populasyondaki Birey Sayısı	İterasyon Sayısı	Uygunluk Değeri
20	100	0.011159362
	500	0.00269118
	1000	0.005597571
	1500	0.002129779
	2000	0.002851822
	2500	0,001586545
50	100	0.013398517
	500	0.003203717
	1000	0.003921585
	1500	0.002881975
	2000	0.003847822
	2500	0.003291163
100	100	0.008184973
	500	0.003675241
	1000	0.006050488
	1500	0.002941334
	2000	0.003021929
	2500	0.004426405

#### IV. KARŒILAŒTIRMALI ANALİZLER

Bu alıŒmada geliŒtirilen genetik algoritma ve bu algoritmanın bünyesinde kullanılan uygunluk fonksiyonu yapısının performansını karŒılaŒtırmalı olarak değerlendirmek amacıyla, literatürde yayımlanmış olan hücresele üretim modellerinden biri seçilerek algoritmaya adapte edilmiştir.

İŒlier (2001) hücresele üretim ve grup teknolojisi kavramlarını geniŒ bir yelpazede incelemiŒ ve literatürdeki bulgular ile kendi uygulama sonuçlarını karŒılaŒtırmalı olarak analiz etmiştir. İlgili alıŒmada, hücrelerin oluŒturulması, tezgâh atamaları ile birlikte ele alınmış ve amaç fonksiyonlarının bileŒenleri olarak hücreleŒme derecesinin en büyükleme; aŒılan veya kullanılmayan tezgâh kapasitelerinin en küçükleme; hücrelere atanamayan tezgâhlara verilen ağırlığın en küçükleme; oluŒturulan hücreler dıŒında iŒlenmek zorunda kalınan parçalara verilen ağırlığın en küçükleme tanımlanmıştır.

Bu alıŒmanın temel konusu, tezgâh atamalarında esneklik olanağına sahip sipariŒe dayalı üretim ortamları olduğundan, İŒlier (2001) adlı alıŒmada tanımlanan problem, bu alıŒmada geliŒtirilen modele göre adapte edilmiş, eksik veriler için rasgele değerler türetilmiştir. Örneğin, İŒlier (2001)'in alıŒmasında sipariŒ miktarları göz önüne alınmadığından, bu kapsamda veri sunulmamıştır. Dolayısıyla sipariŒ büyüklükleri için bu alıŒmada ele alınan minimum ve maksimum sipariŒ büyüklükleri arasında üniform dağılıma uygun olarak rasgele sipariŒ miktarları türetilmiştir. Tablo 7'de İŒlier (2001)'de ele alınan ürünlerin bir birimine iliŒkin operasyonlar ve süreleri sunulurken, bu ürünler için türetilen sipariŒ miktarları ve toplam operasyon süresi Tablo 8'de düzenlenmiştir.

İŒlier (2001)'in alıŒmasından alınan kodlama yapısı, bu alıŒmada geliŒtirilen matris kodlama yapısına dönüŒtürülmüş ve türetilen rasgele sipariŒ miktarlarıyla adapte edilen ürün gruplama problemi için geliŒtirilen algoritmaya veri olarak kullanılmıştır. Tablo 9 matris tipi kromozoma çevirilen ve baŒlangı kromozomu olarak kullanılan rasgele bir çözüm alternatifini göstermektedir.

20 kromozomdan oluŒan baŒlangı popülasyonu ile bu alıŒmada Bölüm 4/C'de sunulan genetik algoritma modeli 2500 iterasyon için alıŒtırılmış ve elde edilen sonuçlar İŒlier (2001)'de sunulan iki farklı çözüm bulgusuyla karŒılaŒtırmalı olarak Tablo 10 ve Tablo 11'de sunulmuŒtur. KarŒılaŒtırmalarda gruplamalar, üç ve dört hücre (grup) olması koŒullarında ayrı ayrı ele alınmıştır.

**Tablo 7. Ürünlere İliŒkin Birim Operasyon Süreleri**

Ürünler	İŒlem Süreleri						BİRİM OPERASYON SÜRESİ
	1. İŒlem	2. İŒlem	3. İŒlem	4. İŒlem	5. İŒlem	6. İŒlem	
1	2	6	1	8	1	5	23
2	6	3	4	5	7	-	25
3	2	3	3	9	6	-	23
4	2	8	3	5	4	-	22
5	6	1	7	-	-	-	14

6	6	7	1	9	-	-	23
7	9	7	-	-	-	-	16
8	10	3	10	-	-	-	23
9	1	3	2	9	7	-	22
10	10	4	2	1	8	-	25
11	4	1	2	6	9	7	29
12	2	6	5	4	-	-	17
13	3	5	4	10	-	-	22
14	2	3	9	6	-	-	20
15	1	3	4	-	-	-	8
16	8	6	5	1	2	-	22
17	2	2	4	5	-	-	13
18	1	4	3	-	-	-	8
19	5	4	1	6	4	-	20
20	3	4	5	-	-	-	12

Tablo 8. Ürünlerin Sipariş Miktarı ve Toplam Operasyon Süresileri

Ürünler	Sipariş Miktarları (adet)	Toplam Operasyon Süresi
1	23	529
2	44	1100
3	4	92
4	26	572
5	21	294
6	44	1012
7	22	352
8	39	897
9	10	220
10	36	900
11	5	145
12	11	187
13	24	528
14	25	500
15	4	32
16	5	110
17	42	546
18	34	272
19	38	760
20	41	492

İşler (2001)'de temel amaç tezgâh atamalarına dayalı, sipariş büyüklüklerinden bağımsız bir gruplama ortaya koymaktır. Dolayısıyla çözümler

birbirinden farklılık göstermektedir. Bu noktada, tezgâh kullanımlarının esnek olduğu ya da temel kısıtı oluşturmadığı üretim ortamlarında, sipariş büyüklüklerinin ve buna bağlı toplam operasyon sürelerindeki sapmaları minimize eden bir gruplama modeli, çok daha dengeli sonuçlar vermektedir.

**Tablo 9. Başlangıç Kromozomu Olarak Kullanılan Çözüm Alternatifi**

	1. Grup	2. Grup	3. Grup	4. Grup	Toplam Operasyon Süreleri
P1	0	1	0	0	529
P2	0	0	0	1	1100
P3	1	0	0	0	92
P4	0	0	0	1	572
P5	0	0	1	0	294
P6	1	0	0	0	1012
P7	0	0	1	0	352
P8	0	1	0	0	897
P9	1	0	0	0	220
P10	0	0	1	0	900
P11	0	1	0	0	145
P12	0	0	0	1	187
P13	1	0	0	0	528
P14	0	0	1	0	500
P15	1	0	0	0	32
P16	0	0	0	1	110
P17	0	1	0	0	546
P18	1	0	0	0	272
P19	0	0	1	0	760
P20	0	0	0	1	492

**Tablo 10. Dört Grup için Elde Edilen Sonuçlar**

	Bu çalışmada sunulan modele ilişkin çözüm*	İşlier (2001) 1. Çözüm	İşlier (2001) 2. Çözüm
1. Grup	P4, P10, P11, P16, P19	P7, P9, P11, P15, P17, P18, P19	P5, P17
2. Grup	P2, P12, P20	P4, P8, P10	P1, P2, P6, P7, P9, P11, P13, P14, P15, P16, P18, P19, P20
3. Grup	P1, P5, P6, P9, P13, P15, P17	P1, P2, P3, P5, P6, P12, P13, P14, P16, P20	P3, P4, P8, P10, P12
4. Grup	P3, P7, P8, P14, P18		

\* $F(x) = 0,000487882043965193$  (bu çalışmadaki algoritmaya ilişkin en iyi uygunluk değeri)

**Tablo 11. Üç Grup için Elde Edilen Sonuçlar**

	<b>Bu çalışmada sunulan modele ilişkin çözüm*</b>	<b>İşler (2001) 1. Çözüm</b>	<b>İşler (2001) 2. Çözüm</b>
1.Grup	P5, P6, P13, P15, P19	P7, P9, P11, P15, P17, P18, P19	P5, P17
2.Grup	P2, P4, P7, P9, P11, P14	P4, P8, P10	P1, P2, P6, P7, P9, P11, P13, P14, P15, P16, P18, P19, P20
3.Grup	P1, P3, P8, P10, P12, P16, P17, P18, P20	P1, P2, P3, P5, P6, P12, P13, P14, P16, P20	P3, P4, P8, P10, P12

\* $F(x) = 0,000771707031262832$  (bu çalışmadaki algoritmaya ilişkin en iyi uygunluk değeri)

Bu bölümde ele alınan karşılaştırmalarda asıl vurgulanmak istenen hangi modelin daha iyi olduğu değil, problemdeki kısıtın sipariş büyüklükleri olması durumunda, bu çalışmada önerilen algoritmanın atıf yapılan çalışmadaki problemin çözümünde de kullanılabileceği ve bu koşullarda çok daha dengeli hücreler elde edileceğinin ortaya konabilmesidir.

## V. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Artan rekabet koşullarında ürün çeşitliliği de artmış ve üretim süreçleri karmaşık bir hal almıştır. Grup teknolojisi, üretime konu olacak ürün tasarım ve / veya imalat özelliklerine göre benzer olarak nitelendiren ve üretim sürecinde bu benzerliklerden fayda edinmeyi amaçladığı için özellikle çeşitliliğin arttığı fakat çok yüksek partilerin üretilmediği imalat ortamlarında tercih edilen bir yaklaşım olmuştur. Bu çalışmada, sipariş büyüklüğünün orta düzeyde, ürün çeşitliliğinin yüksek olduğu üretim ortamlarında yerleşim ve üretim akışının planlanmasına veri sağlayacak ürün gruplarının oluşturulması bir karar problemi olarak ele alınmış, bu noktada genetik algoritma tabanlı bir model önerisi geliştirilmiştir. Modelin uygulanması aşamasında gerekli sipariş bilgileri, örnek ürünler, operasyon süreleri gibi bilgiler, metal işleme üzerine üretim yapan bir işletmeden örnek olarak alınmıştır. Ürünlerin toplam operasyon sürelerinin grup içindeki ve gruplar arasındaki sapmalarını minimize etmeyi amaçlayan genetik algoritma geliştirilmiştir.

Matris yapısında özgün bir kromozom yapısı oluşturulmuş; seçim mekanizmasında rulet tekeri yöntemi, çaprazlamada çok noktalı çaprazlama uygulanmıştır. Çaprazlama sonrasında belirli sayıda birey için rassal mutasyon uygulanmıştır. Visual Studio C# 2.0 ile programlanan genetik algoritma, farklı iterasyon ve popülasyon sayıları ile çalıştırılarak %0.001'den daha da az seviyelere düşürülebilen anlamlı değerler elde edilmiştir.

Siparişe dayalı üretim yapan ve tam zamanında üretim felsefesini uygulayan ya da uygulamak isteyen, üretim sistemlerini grup teknolojisi ve hücreli imalat sistemi ile tanıştırmayı amaçlayan işletmelere zaman, kalite, müşteri memnuniyeti ve fabrika içi düzenlemede, yeniden yapılanmalarda temel teşkil edebileceği düşünülmektedir. Bu çalışma kapsamında, ürün aileleri oluşturmak için kullanılan genetik algoritma temelli bir yaklaşım önerilmiştir. Diğer yöntemlere göre kısa sürede etkin sonuçlar üretebilen, ürettiği sonuç ve sağladığı faydaları kolaylıkla anlaşılabilir yorumlanabilen bir yaklaşımdır.

Yaklaőımın farklı bir üretim ortamındaki sonuçlarını görebilmek ve karőılaőtırma yapabilmek amacıyla, İşlier (2001)'de tanımlanan hücrenel üretim problemi bu çalışmada sunulan modelin çalıőtırılması için adapte edilmiş ve rasgele türetilen sipariş miktarları da çalıőmaya eklenerek, elde edilen sonuçlar tartiőılmıőtır.

Geliştirilen modelin sonuçlarına ek olarak, firmanın yetkililerine yön göstermesi açısından, üretim ortamındaki makina parkı ve ürün grupları eőleőtirilmıőt ve olası hücreler manuel olarak düzenlenmiştir. Hücrenel yerleőtım düzeninde göz ardı edilmemesi gereken durumlar da mevcuttur, hücreler oluőturulurken mutlaka bu riskler de ele alınmalıdır. Ürünlerin makinelerde sıra beklememesi, tüm personel ve makinelerden etkin fayda sağlanabilmesi için darboğaz yaratan makineler baőtta olmak üzere, bazı tip makinelerin birden fazla olması gerekmektedir, ancak buna bağlı olarak paralel hücrelerin oluőturulmasıyla fabrikanın kullanım alanı hayli daralabilir. Bir baőtka açıdan, makine baőtına dıőtten parça sayısının azlığından dolayı makineler kapasite altı çalıőabilir ve makinelerin yatırım maliyetleri yökselebilir. Bu noktada yönetimin vereceği karar önemlidir.

Sonuç olarak, ürün eőtitliliđinin çok fazla olduğu siparişe dayalı bir üretim tesisinde ortaya çıkan planlama problemi için öztđün bir model önerisi yapılmıőt ve anlamlı sonuçlar elde edilmiştir. Problemin ve çözüm modelinin farklı koőtullara göre esnekliği de sağlanarak bir karar destek sistemine temel olabilecek bir öneri sistemi oluşturulmuştur.

Geleneksel imalat sistemlerini hücrenel imalata dönüőtürmede ilk adım olan ürün ailelerinin oluőtumlarının ele alındığı; sonuç ve faydalarının ortaya konduğu bu alıőtmanın, kullandığı öztđün yaklaőtımla mevcut literatüre katkıda bulunacağı ve gelecekte bu yönde yapılacak olan alıőtmalara iőtık tutacağı dıőtünülmektedir.

#### KAYNAKÇA

- BABALI, E. (2007), "Grup Teknolojisinde Parça Ailesi ve İmalat Hücresi Oluşturma: Bir Örneğ İnceleme", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- BALAKRISHNAN, P.V.S. and JACOB, V.S. (1996), "Genetic Algorithms for Product Design", Management Science, Vol: 42-1, 1105-1117.
- BAŐARAN, B. (2005), "Hücrenel Üretim: Hücrelerin Oluşturulmasında Kullanılan Yöntemlerin Analizi ve Bir Vinç Atölyesinde Uygulama", Doktora Tezi.
- BROWN, C.E. and SUMICHRAS, R.T. (2001), "CF-GGA: A Grouping Genetic Algorithm For The Cell Formation Problem", International Journal of Production Research, Volume: 39 - 16, 3651-3669.
- CHOI, K., KIM, S., LEE, H., KWON, I. (1997), "An Operation Scheme for Make To Order Job Shop Production Systems", Computers Ind. Engineering, Vol:33 - 3, 765 -768.
- DE WECK, O.L., SUH, E.S. and CHANG, D. (2003), "Product Family and Platform Portfolio Optimization", ASME Design Engineering Technical Conferences, DETC03/DAC-48721, Chicago, IL.
- ERDEM, S. ve GÖKŞEN, Y. (2003), "Hücrenel Üretim Sisteminde Makine-Para Ailelerinin Oluşturulmasında Dengeli Talep-Kapasite ve Dengesiz Talep-Kapasite Durumunun Analizi", D.E.Ü. İ.İ.B.F. Dergisi Cilt:18 - 2, 99- 111.
- FEDERGRUEN, A. and KATALAN, Z. (1999), "The Impact of Adding a Make-to- Order Item to a Make-to-Stock Production System ", Management Science Vol: 45 – 7,980-994.
- FILHO, E. G. and TIBERTI, A. J. (2006), "A Group Genetic Algorithm for the Machine Cell Formation Problem", Int. J. Production Economics, Vol:102-1, 1–21.



- GEN, M. and CHENG, R. (2000), "Genetic Algorithms & Engineering Optimization", A Wiley – Interscience Publication John Wiley & Sons, INC.
- GOLDBERG, D.E. (1989), "Genetic algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison-Wesley, USA.
- GONÇALVES, J. F. and RESENDE, M. G. C. ( 2004 ), " An Evolutionary Algorithm for Manufacturing Cell Formation ", Computers & Industrial Engineering Vol: 47, 247-273.
- GROOVER, M.P.(1992), "Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing", Prentice-Hall, New Delhi, pp. 431-454.
- GUNASEKARAN, A., GOYAL, S.K., VIRTANEN, I. ve YLI-OLLI, P. (1994), " An Investigation into The Application of Group Technology in Advanced Manufacturing Systems", Int. J. Computer Integrated Manufacturing, Vol:7 - 4, 215 – 228.
- HALL, Ed. (2005), "Optimization with the Genetic Algorithm/Direct Search Toolbox", University of Virginia, [http://itc.virginia.edu/research/talks/matlab\\_gads.pdf](http://itc.virginia.edu/research/talks/matlab_gads.pdf) (01.06.2010).
- HERRERA, F., LOZANO, M. and VERDEGAY, J.L. (1996), "Tackling Real –Coded Genetic Algorithms: Operators and Tools for Behavioural Analysis", Air96text, Vol: v, 19:57.
- İŞLİER, A. (2001), "Üretim Hücrelerinin Bir Genetik Algoritma Kullanılarak Oluşturulması", Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt:2-1, 137-157.
- JIAO, J., ZHANG, Y., WANG, Y. (2006), " A Generic Genetic Algorithm for Product Family Design", Journal of Intelligent Manufacturing, Vol: 18-2, 233–247.
- KANNAN, T.R., SHUNMUGAM, M.S. (2008), " Planner for Sheet Metal Components to Obtain Optimal Bend Sequence Using a Genetic Algorithm", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol:21 - 7, 790 – 802.
- KOLISCH, R. (2001), "Make – to – Order Assembly Management", Springer12.
- KORUKOĞLU, S. ve İŞÇİ, Ö. (2003), "Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Yöneylem Araştırmasında Bir Uygulama", Yönetim ve Ekonomi Dergisi, Cilt:10 - 2, 191-208 .
- KOTA, S., SETHURAMAN, K. and MILLER, R. (2000), "A Metric for Evaluating Design Commonality in Product Families", Journal of Mechanical Design, Vol: 122-4, 403-410.
- MALAKOOTI, B. and MALAKOOTI, NR. and YANG, Z. (2004), "Integrated Group Technology, Cell Formation, Process Planning and Production Planning with Application to the emergency room", International Journal of Production Research, Vol: 42 - 9, 1796 – 1786.
- MITCHELL, M.(1996), "Introduction to Genetic Algorithms", The MIT Press, London, England, pp.166-171.
- NOMDEN, G. ve ZEE, D. J. (2008), " Virtual cellular manufacturing: Configuring routing flexibility", Int. J. Production Economics Vol: 112-1, 439–451.
- ÖZDAMAR, L. ve YAZGAÇ, T. (1997), "Capacity driven due date settings in make-to-order production systems", Int. J. Production Economics, Vol: 49-1, 29-44.
- PLAQUIN, M.F. and PIERREVAL, H. (2000), "Cell formation using evolutionary algorithms with certain Constraints", Int. J. Production Economics Vol:64, 267-278.
- RACHAMADUGU, R. and TU, Q. (1997), " Period Batch Control for Group Technology - An Improved Procedure", Computers Ind. Engng Vol. 32 - 1, 1-7.
- REEVES, C.R.(1995), "Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems", McGraw-Hill Book Company, London, 151-158.
- REYNOLDS KANTON, T. (1998), "Cellular Manufacturing & The Concept Of Total Quality", Computers Ind. Engng, Vol. 35 – 1/2, 89-92.
- SAGIR, M. ve SARAC, T. (2007) , "Hazırlık Zamanı Kaynaklı Üretim Kayıplarını Enazlayan Çok Amaçlı Bir Çizelgeleme Algoritması", Makina Mühendisleri Odası, Endüstri Mühendisliği Dergisi, Cilt: 18 - 4, 14-25.
- SELİM, H.M., ASKIN, R.G. and VAKHARIA, A.J. (1998), "Cell Formation in Group Technology: Review, Evaluation and Directions For Future Research", Computers Ind. Engng, Vol. 34 - 1, 3-20.
- SHARIF, H. H., EL-KILANY, KHALED, S. and HELALY MOSTAFA, A. (2008), "A Genetic Algorithm Approach to the Group Technology Problem", Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists, IMECS, 19-21 March, 2008, Hong Kong , Vol: II, 1755-1760.

- SIMPSON, T.W. and D’SOUZA, B. (2004), “Assessing Variable Levels of Platform Commonality Within a Product Family Using a Multiobjective Genetic Algorithm”, *Concurrent Engineering: Research and Applications*, Vol:12 – 2, 119-130.
- SOMAN, C. A., DONK, D. P. and GAALMAN, G. (2004), “ Combined Make-To-Order and Make-To-Stock in a Food Production System”, *International Journal of Production Economics*, Vol: 90-2, 223–235.
- ŐAHİN, F. and ROBINSON, Jr. (2005), “Information Sharing And Coordination in Make-To-Order Supply Chains”, *Journal of Operations Management* Vol: 23-6, 579 - 598.
- TAŐKIN, M. F. (2006), “Önleyici Bakım Politikası Altında Optimum Stok Miktarının Bulanık Mantık Yöntemiyle Belirlenmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*.
- TIIHONEN,J., LEHTONEN, T., SOININEN, T., PULKKINEN, A., SULONEN, R. and RIITAHUHTA, A. (1998), “Modeling Configurable Product Families”, *The 4th WDK Workshop on Product Structuring*, Delft Univesity of Technology, Delft, the Netherlands.
- UDDIN, M. K., SHANKE (2002), “Grouping of Parts and Machines in Presence of Alternative Process Routes by Genetic Algorithm”, *International Journal of Production Economics*, Vol:76 - 3, 219-228.
- ZAPFEL, G. (1998), “Customer-order-driven production: An economical concept for responding to demand uncertainty?”, *Int. J. Production Economics*, Vol: 56-57, 699-709.