

## Bir Otomobil Fabrikasının Şanzuman Üretim Bölümü İçin Hücresel Üretim Sistemi Önerisi

### A Cellular Manufacturing System Proposal For the Gearbox Production Unit of a Car Factory

Yrd. Doç. Dr. Öznur Öztürk

#### Öz

Artan rekabet ortamında işletmeler düşük birim maliyete ve yüksek kaliteye sahip ürünler üretmek için rekabette avantaj elde etmeye çalışmaktadırlar. Üretim işletmelerini içsel mekanizmalarını geliştirerek ve sahip oldukları ekipmanları yeniden düzenleyerek sözü edilen rekabet avantajını yakalayabilirler. Makinelerin fonksiyonlarına göre bir arada bulunduğu başka bir deyişle işlevsel yerleşimin kullanıldığı işletmelerde parçalar çeşitli işlemler için bir bölümden diğerine taşınmaktadırlar. Bu şekilde düzenlenen yerleşimde zamanın büyük bir kısmı bekleme, taşıma ve makine ayarlama için kullanılmaktadır. Grup teknolojisi anlayışı, bu anlayışın üretimde uygulanması olan hücresel üretim endüstride yapılan uygulamalardan görüldüğü üzere üretimde verimliliği artırmak amacıyla kullanılmaktadır. Hücresel üretimin amacı, parçalar arasındaki benzerlikten yararlanarak üretimde etkinliğe ulaşmak başka bir ifade ile daha az sürede, daha az maliyetle ve daha iyi nitelikte daha çok çıktı elde edebilmektir. Bu çalışma, şanzuman parçalarını üretimi yapan ve süreç yerleşimine sahip bir Otomotiv Fabrikasının Şanzuman Bölümü için hücresel üretim sistemini kurarak bu sistemin işletmeye sağladığı avantajların neler olduğunu belirlemiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Üretim Sistemleri, Hücresel Üretim Sistemi, Tavlama Benzetimi, Benzetim.

#### Abstract

In today's increasingly competitive business world, companies try to gain advantage in this competition by producing high quality products that have low unit costs. Manufacturing companies can achieve this objec-

tive by improving their inner mechanisms and reorganizing their equipment. In the business enterprises using functional layout, that is grouping manufacturing operations together on the basis of the function, parts are transferred between the units. However, in such a layout arrangement, a considerable amount of time is wasted during the transfer and machine settings operations. As the applications of cellular production in the field of industry - which is the practical application of group technology in production - clearly shows, the idea of group technology is used to increase productivity. The ultimate goal of cellular manufacturing is to achieve efficient production by exploiting the similarities among the parts, in other words to obtain more outcomes in a shorter time that have high quality and low unit cost. For the purposes of this study, a cellular production system was established for the "Gearbox Production Unit of a Car Factory" and the advantages of this application were determined accordingly.

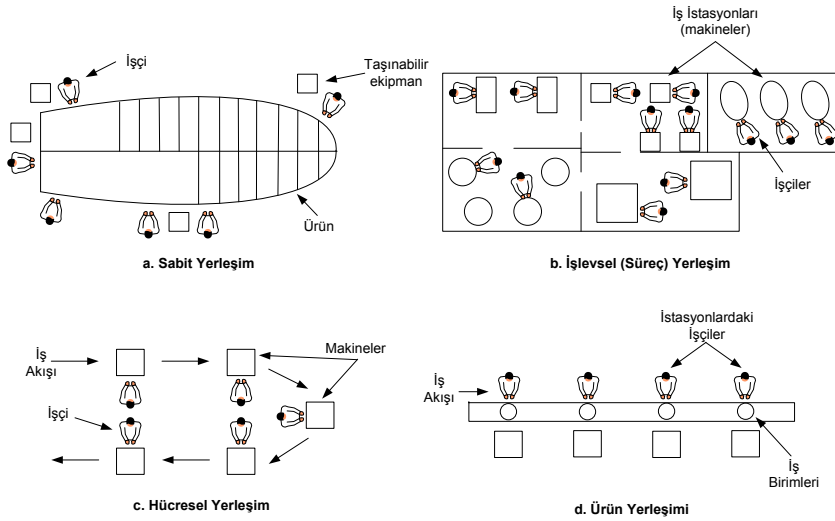
**Keywords:** Manufacturing Systems, Cellular Manufacturing System, Simulated Annealing, Simulation.

#### Giriş

Üretim, hammaddeler üzerinde fiziksel ya da kimyasal birtakım değişiklikleri gerçekleştiren enerji uygulamaları yoluyla bu hammaddeleri ürüne dönüştürme sürecidir (Hitomi, 1996, s.4). Üretim sistemi ise bir işletmenin imalat işlemlerini yerine getirmek için organize edilmiş insan, makine ve malzemelerin bir araya getirilmesidir (Hitomi, 1996, s.2). Üretim sis-

temlerini; üretim yöntemi, ürün türü ve üretim miktarı kriterlerine göre farklı biçimlerde sınıflandırmak mümkündür (Kobu, 2003, s.41). Yaptıkları üretim miktarına göre üretim sistemleri atölye tipi üretim sistemi, parti tipi üretim sistemi ve kitle üretim sistemi olarak sınıflandırılmaktadır (Groover, 2001, s.4). Değişen koşullara paralel olarak oluşturulan yeni düşünceler ışığında bu üretim sistemleri üzerinde yeni sistem yapılanmaları sonucu yalın üretim sistemi, esnek üretim sistemi ve grup teknolojisi – hücresel üretim sistemi adıyla anılan yeni üretim sistemleri alan yazında yer almıştır. Bir üretim işletmesinin uzun dö-

nem amaçları, pazardaki yerini önce korumak, sonra geliştirmek ve marka olmaktır. Günümüzde düşük birim maliyetli ve yüksek kaliteli ürünler üretim işletmeleri için rekabet avantajı olarak tanımlanmaktadır. Bu avantajın sağlanmasında üretim işletmeleri için içsel mekanizmalarının geliştirilmesi ve sahip oldukları ekipmanların (makinelere) yeniden düzenlenmesinin önemi büyüktür. Üretimin yapıldığı fabrikalarda ekipmanlar, sabit, işlevsel (süreç), hücresel ya da ürün yerleşimine göre düzenlenmektedir. Bu yerleşim türlerinin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmektedir (Groover, 2001, s.3).



Kaynak: Groover, 2001.

**Şekil 1. Fabrika Ekipman Yerleşim Türleri**

Sabit yerleşimde işçiler ve işlem ekipmanları büyük ve ağır olan ürün etrafında çalışırlar. İşlevsel (süreç) yerleşimde parçalar çeşitli işlemler için bir bölümden diğerine taşınmaktadır. Bu şekilde düzenlenen yerleşimde parçalar, zamanının büyük bir kısmını işlemler öncesinde ve sonrasında beklemeye, bölümler arasında taşınmaya ve makine ayarlamaya harcamaktadır. Bekleme, gidip gelme ve ayarlama kaybedilen zaman üretim tedarik zamanını artırmakta bunun sonucunda da düşük verimlilik oluşmaktadır. Hücresel yerleşimde benzer parça ya da ürünleri işleyebilen ekipmanlar ayarlama için önemli bir zaman kaybı olmadan birlikte gruplandırılmaktadır. Parçaların ya da ürünlerin işlenmesi ya da montajı bu hücreler

içinde gerçekleştirilmektedir. Ürün yerleşiminde ise, bir hat üzerinde yer alan iş istasyonları vardır ve parçalar bir ürünü oluşturmak için iş istasyonları arasında fiziksel olarak hareket etmektedir (Groover, 2001, s.6). Hücresel üretim, grup teknolojisi felsefesinin üretimde uygulanmasıdır. Grup teknolojisinde hücresel üretim düzenlemesi özellikle Amerika'da üretime uygulanan bir düzenleme biçimidir. İlk kez Mitrofanov ve A. P. Sokolovski tarafından 1940'lı yılların sonlarında Sovyetler Birliği'nde tanımlanmış ve ilk araştırmalar F. E. Flanders tarafından üretim ve kontrol sorunlarını gidermek için başlatılmıştır (Demir ve Gümüsoğlu, 2003, s.277).

## Hücreyel Üretim Sistemi

### Hücreyel Üretim Sistemi'nin Tanımı

Hücre, benzer hammaddelerden, parçalardan veya ürünlerden meydana gelen aile ya da aileler üzerinde çoklu ve ardışık işlemlerin yapıldığı birbirine yakın konumlandırılmış iş istasyonlarının oluşturduğu bir grup şeklinde tanımlanmaktadır. İmalat hücresi ise, ürünleri oluşturan malzemeler üzerinde fiziki işlem ve dönüşümün uygulandığı hücredir (Hyet ve Wemmerlöv, 2002, s.18). Hücreyel üretimin amacı, parçalar arasındaki benzerlikten yararlanarak üretimde etkinliğe ulaşmaktır. Başka bir ifade ile daha az sürede, daha az maliyetle ve daha iyi nitelikte daha çok çıktı elde edilebilir. Bir hücreyel üretim sisteminde hücre; parça ailelerinden ve makine gruplarından oluşmaktadır. Parçaların diğer hücrelerle minimum ilişki ile işlendiği hücreler elde edilmeye çalışılmaktadır (Adil, vd., 1996, s.1361). Üretim makinelerinin sayısı, tipleri ve kapasiteleri ile üretilen parçaların sayısı, tipleri ve her parça için üretim rota planları bilindiğinde makineler ve onlarla ilişkili parçalar hücreler oluşturmak için birlikte gruplandırılabilir. Hücre oluşturma için öncelikle parçaların ve makinelerin sayıları belirlenmektedir. Daha sonra ise parça aileleri ile makine hücreleri belirlenmekte ve parça aileleri işlenecekleri makine hücresine atanmaktadır. Hücre oluşturmada, parça ailelerinin belirlenmesi, makine hücrelerinin belirlenmesi, hücrelerin ailelere atanması ya da ailelerin hücrelere atanması gibi birbirleriyle ilişkili kararlar verilmektedir (Selim, vd., 1998, s.4).

### Hücreyel Üretim Sistemi'nin Üstün ve Zayıf Yönleri

Hücreyel üretim sistemi ile parçaların sistem içerisinde taşınması ve sistemde dolaşan parça sayısı azalmakta, üretim süresi ve makine ayarlama süresi kısalmakta böylece küçük partilerin üretiminin yapılması daha ekonomik olmaktadır. Bunun yanında, bir işçi hücre içerisinde birden fazla makineye atılarak emek tasarrufu sağlanmakta ve kalite çalışmaları kolay yürütülmektedir. Sistemdeki parça sayısındaki azalmadan dolayı, yeni makineler eklemek ve genişlemek için önemli ölçüde kullanılabilir alan kazanılmaktadır (Singh ve Rajamani, 1996, s.4-7). Hücreyel üretim sisteminin üstünlükleri yanında, parça ailelerinin belirlenmesinde ve hücreler arasındaki iş yüklemesinin dengelenmesinde yaşanan zorluklar, yeni düzenlemenin getirdiği ek maliyetler ve çalışanların eğitilmesinin zaman alması gibi nedenlerden dolayı zayıf yönleri de bulunmaktadır (Taylor ve Russell, 2006, s.224). Endüstride hücreyel üretim sistemini uygulamanın nedenleri konusunda gerçekleştirilen çok sayıda araştırma vardır. Bu araştırmalardan bir tanesi Wemmerlöv ve Johnson'ın 1996 yılında 46 işletmeye uyguladıkları ankettir. Bu 46 işletme ürünlerini üretirken hücreyel üretim sistemini kullanmaktadır ve çoğunlukla bu işletmeler metal endüstrisinde faaliyet göstermektedir. Bu işletmelerin hücreyel üretim sistemini oluşturma nedenleri ve her bir nedene verdikleri ortalama önem derecesi Tablo 1'de gösterilmektedir (Wemmerlöv ve Johnson, 1997, s.33).

**Tablo 1. İşletmelerin Hücreyel Üretim Sistemini Oluşturma Nedenleri**

Sıralama	Neden	Ortalama Önemlilik Derecesi
1	Üretim süresini azaltmak	4,51
2	Sistemde bulunan parça stoğunu azaltmak	4,33
3	Parça / ürün kalitesini artırmak	4,22
4	Müşteri siparişlerine cevap verme süresini azaltmak	4,22
5	Taşıma uzaklıklarını ve taşıma süresini azaltmak	4,14
6	İmalat esnekliğini artırmak	3,81
7	Birim maliyeti azaltmak	3,8
8	Üretim planlama ve kontrolünü basitleştirmek	3,62
9	Çalışanların bağlılığını artırmak / kolaylaştırmak	3,57
10	Ayarlama sürelerini azaltmak	3,43
11	Bitmiş mal stoğunu azaltmak	3,41

Not: Herbir neden 1'den 5'e kadar 5'li ölçek kullanılarak ölçülmüştür  
"1: Önemli" "5: Çok Önemli" anlamındadır.

Hücrel üretim sistemi uygulamalarının durumunu ortaya çıkartmak, ABD'deki yayınlanmış hücrel üretim sistemi uygulamalarıyla karşılaştırmak ve uygulamadaki sorunları analiz ederek geleceğe yönelik hücrel üretim sistemi stratejilerini belirlemek amacıyla Türkiye'de de bir çalışma gerçekleştirilmiştir. 2001 – 2002 yılları arasında gerçekleştirilen çalışma,

çeşitli ölçeklerdeki 44 firmayı ve toplam 207 hücreyi kapsamaktadır. Bu çalışmada, firmalar hücrel üretim sistemi projelerini bir takım teknik ve finansal kısıtlar altında gerçekleştirdiklerini ifade etmişlerdir. Bu kısıtlar ve bunlara dair oranlar aşağıda gösterilmektedir (Durmuşoğlu, vd., 2003, s.10).

Ürün / süreç parametreleri	%81
Yeni donanım / makine satın alamamak	%69
İmalat alanı	%56
Parçaların / ürünlerin tamamen bir hücre içinde tamamlanması	%56
Finansman	%50
Üretim miktarı gereksinimi	%44
İşgücü gereksinimi	%19
Üst yönetimin sabırsızlığı	%6

Ayrıca hücrelerde işlenen parçaların %32'si hücre içerisinde tamamlanamayıp, diğer bir hücreyi ziyaret etmek zorunda kalmaktadır. Sonuç olarak hücre uygulamalarında %68 oranında hücre bağımsızlığı mevcuttur. Bunun yanısıra incelenen firmalarda hücre oluşturma ile ilgili iki temel yaklaşım mevcuttur. Bunlar:

1. İlk önce ürün / parça aileleri belirlenir. Daha sonra bunların üretimi için gerekli olan donanım, makineler ve işgörenler atanır.
2. İlk önce kilit donanım / makine seçilir. İlgili donanım / makineler, kilit makinenin yanına yerleştirilir.

### Hücrel Üretim Sistemi Oluşturma Adımları

Hücrel üretim sistemini oluşturma adımları:

**Parça makine matrisinin oluşturulması:** Üretilecek parçaların üretimi için gerekli işlem bilgilerini içeren bir  $(a = \{a_{pm}\})$  parça makine matrisinde,  $a_{pm}$  p parçasının m makinesinde işlenip işlenmediğini gösterir. Eğer p parçası m makinesinde işleniyorsa 1, işlenmiyorsa 0 (ya da boşluk) değeri atanır. Aşağıda verilen örnek a parça makine matrisi, altı parça ve altı makineden oluşmaktadır. Bu parça makine matrisi parça ailesini ve makine grubunu belirlemek için çapraz blok formunda tekrar düzenlenerek aşağıdaki  $a'$  matrisi oluşturulmuştur (Adil, vd., 1996, s.1361).

Parça	Makine					
	1	2	3	4	5	6
1	1	1	1		1	
2		1		1	1	1
3		1		1		1
4	1		1		1	
5		1	1		1	
6		1		1		1

a Matrisi

Parça	Makine					
	1	3	5	2	4	6
1	1	1	1		1	
4	1	1	1			
5		1	1	1		
2			1	1	1	1
3				1	1	1
6				1	1	1

a' Matrisi

$a'$  matrisi, {(Makine:1,3,5), (Parça:1,4,5)} ve {(Makine:2,4,6), (Parça:2,3,6)} olmak üzere birbirine bağlı iki hücreden oluşmuştur. Bu bölümlenme neticesinde 1, 5 ve 2 nolu üç parçanın dışta kalan parçalar olduğu

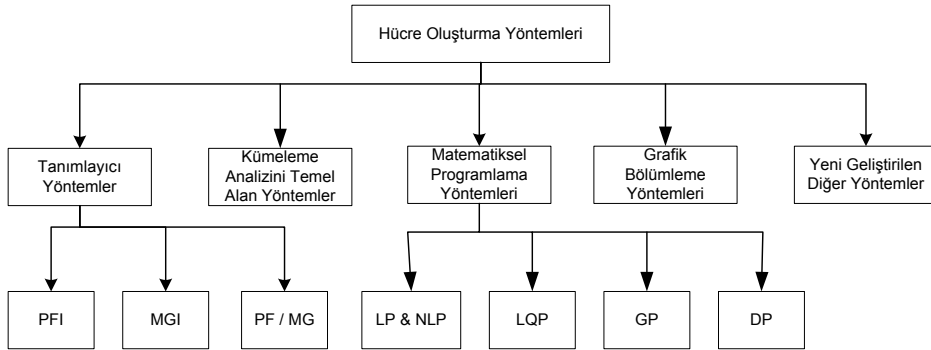
ve 1 nolu makinenin boş (sıfır) olduğu görülmüştür (Coello ve Carlos, 2005, s.509). Elde edilen bölümlenmenin kalitesi hücrelerin içerisinde yer alan "0"ların [boşların (voids)] sayısı ve hücrelerin dışında yer alan

“1”lerin [dışta kalan parçaların (exceptional parts)] sayısı az olduğunda yükselmektedir. “0”, bir hücreye atanan makinenin o hücredeki bir parçanın işlenmesi için gerekli olmadığını ifade etmektedir. Hücrelerdeki “0”ların sayıca çokluğu verimsiz geniş hücrelere neden olmaktadır. Bu da hücre içinde parçalar için ek taşıma gerektiği anlamına gelmektedir. Hücre dışında yer alan “1”ler, bir parçanın atanmış olduğu hücrede bulunmayan bir makine tarafından işlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu durumda bu parça, işlemler için farklı hücreye uğramak zorunda olduğundan, hücreler arasındaki taşıma artmakta böylece hücreler arasında daha fazla koordinasyon gerekmektedir (Adil, vd., 1996, s.1362).

**Hücre oluşturma yönteminin belirlenmesi:** Literatürde makine – parça ailelerinin belirlenmesinde, bir başka anlatımla hücre oluşturmada kullanılacak üç yaklaşım bulunmaktadır (Offodile, vd., 1994, s.197).

- Görsel inceleme; parça çeşitliliğinin düşük olduğu durumlarda kullanılan bu yaklaşımda parçaların geometrilerine göre parça aileleri oluşturulmaktadır. Görsel incelemeyi yapan kişinin uzman olması ve deneyimli olması çok önemlidir.
- Parça özelliklerinin temel alınması; parça çeşitliliği yüksek olduğunda benimsenir. Burada parçaların taşıdığı özellikleri göz önünde tutmak için parça özelliklerini dikkate alan parça kodlama ve sınıflandırma sistemleri kullanılır.
- Parça üretim sürecinin temel alınması; parçaların üretim rotalarındaki bilgilerin analiz edilmesiyle hücreler oluşturulmaktadır. Bu analiz basittir ve hızlı bir şekilde hücrelerin oluşturulmasına imkan verir.

Kullanılacak çözümlenme yöntemine göre hücre oluşturma yöntemleri, Şekil 2’de gösterildiği gibi beş başlık altında ele alınmaktadır (Selim, vd., 1998, s.7).



Kaynak: Selim, vd., 1998.

**Şekil 2. Hücre Oluşturma Yöntemlerinin Sınıflaması**

**Tanımlayıcı Yöntemler:** Parçalar ve makineler ayrı ayrı ya da eşzamanlı olarak gruplandırılmaktadır. Gruplama PFI (Part Families Identification) yönteminde, öncelikle parça ailelerinin belirlenmesi ve daha sonra bu ailelere makinelerin atanması şeklinde, MGI (Machine Groups Identification) yönteminde, öncelikle makine grupları belirlenmesi ve daha sonra bu gruplara parça ailelerinin atanması ve PF/MG (Part Families/Machine Grouping) yönteminde ise, parça aileleri ve makine grupları eşzamanlı olarak belirlenmesi ile gerçekleştirilmiş olur (Selim, vd., 1998, s.7). **Kümeleme Analizini Temel Alan Yöntemler:** Burada amaç; karmaşık veri setlerindeki yapıyı tanımlamak için nesnelere ya da onların özelliklerini

kümeler içinde gruplamaktır. Bu gruplamada sıralama-temelli kümeleme yöntemleri, hiyerarşik kümeleme yöntemleri ve hiyerarşik olmayan kümeleme yöntemleri kullanılabilir (Selim, vd., 1998, s.8). **Matematiksel Programlama Yöntemleri:** Belirli kısıtlar altında amaç fonksiyonunun en iyi değerini veren karar değişkenlerinin belirlenmesi için bir matematiksel model kurulmakta ve çözümlenmektedir (Singh ve Rajamani, 1996, s.97). Burada doğrusal ve doğrusal olmayan programlama (LP ve NLP), karesel programlama (QP), dinamik programlama (DP) ve hedef programlama (GP) kullanılabilir (Selim, vd., 1998, s.9). **Grafik Bölümleme Yöntemleri:** Parça makine matrisi grafik formülasyonu şeklinde gösterilir.

Bu grafikte makineler ve/veya parçalar düğümlerde gösterilir ve parçaların işlenmesine göre bu düğümler birleştirilir (Singh ve Rajamani, 1996, s.104). Yeni Geliştirilen Yöntemler: Hücre oluşturma problemi bir optimizasyon problemidir. Optimizasyon algoritmaları uzun bir hesaplama zamanı ile yerel bir optimal çözüm sağlarlar. Bu algoritmalar başlangıç çözüme, girdi parça makine matrisinin gruplanabilirliğine ve belirlenecek hücre sayısına duyarlıdır. Bu dezavantajları giderecek yeni yöntemler son zamanlarda ortaya çıkmıştır. Bunlar; tavlama benzetimi, genetik algoritmalar, sinir ağları, tabu araştırması ve hedef analizi yöntemleridir (Singh ve Rajamani, 1996, s.128).

bir sonuç elde edemeyebilirler. Bu nedenle optimal (en iyi) çözümleri sağlayabilen matematiksel programlama yönteminin kullanılması uygun olmaktadır. Matematiksel programlama modeli kurulduktan sonra, parça ve makinelerin sayısının az olduğu durumlarda, optimal çözüm matematiksel programlama modelinin çözülmesiyle elde edilebilmektedir. Ancak, parça ve makine sayısının çok olduğu durumlarda çözüm için uzun bilgisayar zamanı gerekmektedir. Bundan dolayı, analitik olarak çözümlenemeyen matematiksel programlama modellerini kabul edilebilir bir zaman süresinde çözmek için etkili bir sezgisel algoritma olan tavlama benzetimi yöntemi geliştirilmiştir (Singh ve Rajamani, 1996, s.108).

## Hücresele Üretim Sistemi Oluşturmada Kullanılacak Yönteminin Seçilmesi

### Yöntemlerin Değerlendirilmesi

Hücresele üretim sistemi oluşturmada kullanılan yöntemlere ilişkin önceki açıklamalara bakıldığında hücre oluşturma yöntemlerinin çoğu sezgiseldir; başlangıç matrisinden çok etkilenirler ve zorunlu olarak iyi

### Matematiksel Programlama Modelinin Tanıtılması

Adil, Rajamani ve Strong amaç fonksiyonu doğrusal olmayan terimler içeren, parça ve makineleri eşzamanlı olarak gruplayan bir doğrusal olmayan tam sayılı programlama modeli önermişlerdir. Modele ilişkin açıklamalar aşağıda verilmiştir (Singh ve Rajamani, 1996, s.108):

$$\text{Amaç fonksiyonu: } \text{Min}z = \sum_{pmc} w_{pm} a_{pm}^r x_{pc}^r (1 - y_{mc}) + \sum_{pmc} (1 - w_{pm}) (1 - a_{pm}^r) x_{pc}^r y_{mc}$$

$$\text{Kısıtlar: } \sum_{pc} x_{pc}^r = 1 \Rightarrow \forall p$$

$$\sum_c y_{mc} \leq N_m \Rightarrow \forall m$$

$$x_{pc}, y_{mc} \in \{0,1\} \Rightarrow \forall pmc$$

$$\text{Karar değişkenleri: } x_{pc}^r = \begin{cases} 1 & \text{eğer } p \text{ parçası } c \text{ hücresine tahsis edilmişse ve } r \text{ üretim planı seçilmişse} \\ 0 & \text{dd.} \end{cases}$$

$$y_{mc} = \begin{cases} 1 & \text{eğer makine tipi } m \text{ den bir adet } c \text{ hücresine atanmışsa} \\ 0 & \text{dd.} \end{cases}$$

**Parametreler:** A = Rotalarına göre parçaların hangi makinelerde işlem göreceğini gösteren matris.  
 $a_{pm}^r$  matris elemanı r üretim planında p parçasının m makinesinde işlenip işlenmediğini (işleniyorsa 1, işlenmiyorsa 0 değerini alır) göstermektedir.  
 $N_m$  = m tipindeki makinelerin sayısı  
 $w_{pm}$  = p parçası ve m makinesine karşılık gelen dışta kalan parçanın ağırlığını gösteren oran ( $0 \leq w_{pm} \leq 1$ )  
 $(1 - w_{pm})$  = p parçası ve m makinesine karşılık gelen boşun ağırlığını gösteren oran

**Modelde kullanılan indisler:** p: Parça (p = 1, 2, ... P)  
m: Makine tipi (m = 1, 2, ... M)  
c: Hücre (c = 1, 2, ... C)  
r: Üretim planı (r = 1, 2, ... R<sub>p</sub>)



Geliştirilen doğrusal olmayan matematiksel modelin amacı, boşlar ve dışta kalan parçaların ağırlıklı toplamının minimizasyonudur. Amaç fonksiyonunda,

$$\sum_{pmcr} w_{pm} a_{pm}^r x_{pc}^r (1 - y_{mc}) \quad \text{dışta kalan parçaların}$$

$$\text{katkısını, } \sum_{pmcr} (1 - w_{pm}) (1 - a_{pm}^r) x_{pc}^r y_{mc} \quad \text{ise boşların}$$

katkısını göstermektedir. Birinci kısıt, her parçanın hücrelerden birine atanmasını ve parça için sadece bir üretim planının seçilmesini sağlamaktadır. İkinci kısıt hücrelere atanan makinelerin sayısının kullanılabilir makinelerin toplam sayısını aşmamasını sağlamaktadır. Üçüncü kısıt ise x ve y değişkenlerinin 0, 1 tamsayı olması koşulunu sağlamaktadır. C, hücrelerin sayısının üst limiti olarak verilmektedir, ancak model uygun hücre sayısını da belirlemektedir (Adil, vd., 1996, s.1370).

### Matematiksel Programlama Modelinin

#### Çözümü - Tavlama Benzetimi

Az sayıda makine ve parça sayılı küçük problemler yukarıda tanıtilan doğrusal olmayan matematiksel programlama modeli ile çözülebilmektedir. Ancak çok sayıda makine ve parça sayılı büyük problemlerin çözümünde bu mümkün olmamaktadır. Tavlama benzetimi çok büyük çaplı problemlerin çözümlerinde, 300 parça (720 üretim rotası) ve 50 makine büyüklüğüne kadar test edilen tüm problemler için optimal çözümler bulmaktadır (Chen, vd., 1995, s.2613). Tavlama benzetimi yöntemi adını, katıların fiziksel olarak tavlama sürecine olan benzerliğinden almaktadır. Burada katı ısıtılmakta ve daha sonra atomlarının düzenli bir diziliş yapısına ulaşmasına başka bir ifade ile düzenli bir kristal kafes yapısına ulaşmasına kadar yavaş bir şekilde soğumasına izin verilmektedir. Eğer soğuma çizelgesi yeteri kadar yavaşsa, katıyı oluşturan atomların periyodik olarak düzenlenmesi anlamına gelen kristal yapı çok düzenli olmaktadır (Glover, 2002, s.288). Tavlama benzetimi optimizasyon problemlerinde, global minimumu (bütünsel enküçüğü) arama ile termodinamik davranış arasında ilişki kurmaktadır. Bir optimizasyon problemine

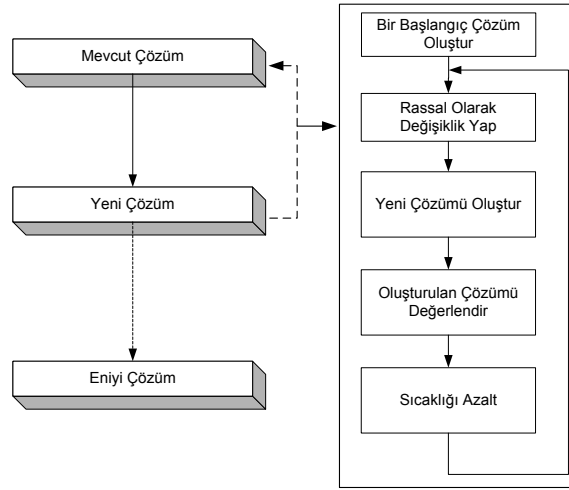
uygulanan tavlama benzetimi algoritmasının her bir iterasyonunda, iki çözüm (mevcut çözüm ve seçilen yeni çözüm) için oluşturulan amaç fonksiyonu değerleri karşılaştırılmaktadır. Gelişme gösteren çözümler her zaman kabul edilmekte, ancak gelişme göstermeyen çözümlerin bir kısmı global en iyiyi aramada yerel en iyiden kurtulmak ümidiyle kabul edilmektedir. Gelişme göstermeyen çözümlerin kabul olasılığı sıcaklık parametresine bağlı olmaktadır (Glover, 2002, s.288). Tavlama benzetimi Kirkpatrick tarafından tanıtıldıktan sonra, çok çeşitli araştırma alanlarında başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Bu çalışma alanları, üretim kontrol problemleri, bilgisayar tasarım problemleri, VLSI tasarım problemleri, veritabanı sistemi tasarım problemleri, hemşire çizelgeleme problemleri, zaman çizelgeleme problemleri, araç güzergah problemleri, atölye problemleri, yerleşim problemleri ve grafik problemleridir (Chen, vd., 1995, s.2604).

Optimizasyon problemi ile tavlama işlemi arasındaki ilişkide, katının durumları optimizasyon probleminin muhtemel çözümlerine ve bu durumların enerjileri de çözümlere ait amaç fonksiyonu değerlerine karşılık gelmektedir (Karaboğa, 2004, s.28). Fiziksel sistemlerde sıcaklık fiziksel bir anlama sahipken tavlama benzetiminde sıcaklık bir kontrol parametresidir. Tavlama süreci ve optimizasyon problemi arasındaki karşılaştırma Tablo 2'deki gibi özetlenebilir (Abduelmola, 2000, s.72).

**Tablo 2. Tavlama Süreci ve Optimizasyon Problemi Arasındaki Karşılaştırma**

Tavlama Süreci	Optimizasyon Problemi
Sıcaklık	İterasyonların sayısının kontrol edilmesinde kullanılan bir kontrol parametresi
Fiziksel sistemin durumu	Problemin çözümü
Durumun enerjisi	Amaç fonksiyonu değeri
Minimum enerji	Eniyi çözüm

Tavlama benzetimi algoritması Şekil 3'deki gibi beş adımda tanımlanabilir (Jones, 2003, s.14).



Kaynak: Jones, 2003.

Şekil 3. Tavlama Benzetimi Algoritması

Tavlama benzetiminde problemin çözümüne başlangıç bir çözümde başlanır ve bir dizi hareket (karar değişkenlerinin değerindeki değişimler) ya optimum çözüm elde edilene ya da problem geliştirilemeyerek yerel bir optimumda donmaya başlayana kadar kullanıcının tanımladığı tavlama çizelgesine göre yapılır. Yerel bir optimumda donmadan kaçınmak için, algoritma çözüm uzayında yavaş bir şekilde ilerletilir. Amaç fonksiyonu değerinin kontrollü olarak geliştirilmesi, belirli bir olasılıkla (bu olasılık amaç fonksiyonu değerinde ve mevcut ısı derecesindeki değişim sonucuna bağlıdır ve algoritma ilerlerken düşürülür)

gelişme sağlamayan hareketlerin kabul edilmesi ile başarılabilir (Chen, vd., 1995, s.2603). Kısım 3.2'de ifade edilen parça ve makineleri eşzamanlı gruplayan doğrusal olmayan matematiksel programlama modeli ile iki tip karar verilmektedir. Bunlar: makine atamaları ve parça atamaları (ya da tahsisi) kararlarıdır. Eğer makine ataması bilinirse, parça ve makineleri eşzamanlı gruplamak için doğrusal olmayan matematiksel model, parçaları makine gruplarına atayan (tahsis eden) aşağıdaki modele indirgenebilmektedir. Bu model ileride bahsedilen atama algoritması ile çözülebilmektedir (Adil, vd., 1996, s.1375).

$$\text{Amaç fonksiyonu: } \text{Min} z_1 = \sum_{pmcr} B_{pmcr} x_{pc}^r \quad (B_{pmcr} = w_{pm} a_{pm}^r (1 - Y_{mc}) + (1 - w_{pm}) (1 - a_{pm}^r) Y_{mc})$$

$$\text{Kısıtlar: } \sum_{cr} x_{pc}^r = 1 \Rightarrow \forall p, \quad x_{pc}^r \in \{0,1\}$$

Burada  $x_{pc}^r$  değişkeni bağımsız olarak her bir  $p = 1, 2, \dots, P$  için çözülebilmektedir. Her bir  $p$  parçası için bu problemin çözümlenmesinde öncelikle  $x_{pc}^{r^*} = 1$  olarak,  $B_{pc}^{r^*} = \text{Min}_{cr} \sum_m B_{pmcr}$  ve kalan  $x_{pc}^r (c \neq c^*, r \neq r^*)$  ise 0 olarak atanmaktadır.



**Tavlama Benzetimi Algoritması**

Tavlama benzetimi algoritmasının adımları aşağıda gösterildiği gibidir (Adil, vd., 1996, s.1376).

[0] Başlangıç

0.1. Tavlama parametrelerini tanımla.

$T_0$  : Başlangıç derecesi

$AT_{min}$  : Her derecedeki kabul edilen minimum değişme

$\alpha$  : Azaltma faktörü

$i_{max}$  : Maksimum iterasyon sayısı

$R_f$  : Son kabul oranı

0.2. Başlangıç iterasyon sayacı:  $i = 0$

0.3. Başlangıç makine atamasını oluşturun ve tahsis alt problemini çözerek parçaları atayın ( $SOL^0$  (parça aileleri ve makine grupları),  $OBJ^0$  (amaç fonksiyonu değeri) değerlerini elde edin). (**Burada atama altproblemi, ileride verilen atama algoritması ile çözülmektedir.**)

[1] 1.7. adımındaki koşullarla karşılaşılan kadar 1.1. – 1.7. adımlarındaki döngüyü yürütün.

1.1.  $\ell = 0, AT = 0$

1.2. İç döngü için başlangıç çözümü,

$$SOL_0^i = SOL^i, OBJ_0^i = OBJ^i$$

1.3. 1.3.5. adımındaki koşullarla karşılaşılan kadar 1.3.1. – 1.3.5. adımlarındaki döngüyü yürütün.

1.3.1.  $\ell = \ell + 1$

1.3.2. Makine atamalarının değiştirilmesiyle yeni bir çözüm oluşturun ve yeni makine ataması için parça tahsisini elde edin ( $SOL_i^i, OBJ_i^i$ ).

1.3.3.  $\delta = OBJ_i^i - OBJ_{i-1}^i$

1.3.4. Eğer  $\delta \geq 0$  ya da  $rassal(0,1) \leq e^{-\delta/T_i}$

ise,  $SOL_i^i, OBJ_i^i$  kabul edilir.

$AT = AT + 1$

Değilse,

Çözüm reddedilir.

$$SOL_i^i = SOL_{i-1}^i, OBJ_i^i = OBJ_{i-1}^i$$

1.3.5. Eğer aşağıdaki koşullardan birisi gerçekleşirse,

$AT \geq AT_{min}$  ya da

$\ell \geq M1 \times M1$  ( $M1 =$  makinelerin sayısı),  $Li$  (Markov zincirinin uzunluğu) =  $\ell$  olur ve döngüye son verilir ve 1.4. adımına geçilir.

Yukarıdaki koşullar sağlanmazsa; 1.3.1. adımına dönülür ve devam edilir.

1.4.  $i = i + 1$

1.5.  $SOL^i = SOL_{L_i-1}^i, OBJ^i = OBJ_{L_i-1}^{i-1}$

1.6. Soğutma derecesini azaltın,  $T_i = \alpha T_{i-1}$

1.7. Eğer aşağıdaki koşullardan birisi gerçekleşirse,

$i \geq i_{max}$  ya da

Kabul oranı ( $AT/L_i$ )  $\notin R_f$  ya da

Son 20 iterasyon için amaç değeri aynı kalmışsa,

Döngüye son verin ve 2. adıma gidin.

Yukarıdaki koşullar sağlanmazsa 1.1. adımına gidin ve devam edin.

[2] En son kabul edilen çözümü yazdırın ve algoritmayı sonlandırın.

Oluşturulan makine atamalarına parçaların tahsisi için atama algoritması kullanılır. **Atama algoritmasının adımları** aşağıda gösterildiği gibidir (Adil, vd., 1997, s.56):

[1]. Giriş

w, P, M, C ve  $\{a_{pm}\}$  matrisini oku.

[2] Başlangıç ataması

Başlangıç bir çözüm olarak, her makinenin bağımsız bir hücreye atandığını varsayalım. C (C = M+1) hücresi, hücre dışında olacak parçalar için boş kalmıştır. Örneğin makine 1, hücre 1'e atanır.

[3]. Tahsis

3.1. p = 1 den P ye kadar,

(a)  $OP_p$  = p parçası için gerekli makinelerin sayısı. Yani parça makine matrisinin p satırındaki "1" lerin sayısı.

(b) c = 1 den C ye kadar,

(i)  $NM_c$  = c hücresine atanan makinelerin sayısı

(ii)  $UP_{pc}$  = parça makine matrisinde, p satırı ile c hücresine atanan tüm makinelerin yer aldığı sütunların kesişimindeki "1" lerin sayısı.

(iii)

$$ep_{pc} = OP_p - UP_{pc} \dots vp_{pc} = NM_c - UP_{pc} \dots B_{pc} = w^* ep_{pc} + (1-w)vp_{pc}$$

(c)  $B_{pc}$  değeri minimum olan c (c\*) hücresine p parçasını ata,

3.2. Amaç fonksiyonunun değeri

$$= \sum_p B_{pc}^*$$

[4]. Bitirme. Sonuçları yazdır.

**Tavlama Benzetimi Algoritması için Parametre Değerlerinin Belirlenmesi**

Tavlama benzetiminde, parametre değerleri için çok çeşitli seçimler yapılabilmektedir. Bundan dolayı algoritmayı optimizasyon problemlerine uygulama aşamasında çeşitli seçeneklerle ilgili kararlar alınmaktadır. Bu seçenekler iki gruba ayrılabilir: probleme bağlı yani problemle ilgili özel seçenekler ve algoritmanın kendisi ile ilgili seçenekler. Bu seçenekler Tablo 3'de gösterilmektedir (Johnson, vd., 1989, s.869). Tavlama benzetiminin performansı büyük ölçüde algoritmaya ait seçeneklerde belirtilen dört parametreye bağlıdır. Bunlar:

**Tablo 3. Tavlama Benzetimini Uygulamada Gerçekleştirilecek Olan Seçenekler**

Probleme Özel Seçenekler	
1.	Çözüm nedir?
2.	Yeni çözüm nedir?
3.	Çözümün amaç fonksiyonu değeri nedir?
4.	Başlangıç çözümü nasıl belirlenir?
Algoritmaya Ait Seçenekler	
1.	Başlangıç sıcaklığı nasıl belirlenir?
2.	$\alpha$ azaltma faktörünü nasıl belirlenir?
3.	Her sıcaklıkta gerçekleştirilecek iterasyon sayısını nasıl belirlenir?
4.	Algoritmanın ne zaman duracağını nasıl biliriz?

- **Başlangıç Sıcaklık Değerinin Belirlenmesi:** Başlangıç sıcaklık değeri hemen hemen tüm değişimleri kabul edecek şekilde belirlenir başka bir ifade ile  $e^{(-\Delta F D_j / T_0)} \cong 1$  olmalıdır. Başlangıç sıcaklık değerinin seçimi için Kirkpatrick ve arkadaşları şu kuralı önermişlerdir: Başlangıç sıcaklık değerini büyük bir değer olarak seçin ve pek çok değişiklik gerçekleştirin. Eğer kabul oranı c (kabul edilen değişikliklerin önerilen değişiklik-

lere bölünmesi ile bulunur) daha önce belirlenen  $c_0$  değerinden küçükse, başlangıç sıcaklık değeri iki katına çıkarılır. Bu, süreç kabul oranı c,  $c_0$  değerini aşana kadar sürdürülür. Söz konusu kural Johnson ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir. Buna göre, başlangıç sıcaklık değeri, gerçekleştirilen rasal değişiklikler için amaç fonksiyonu değerindeki artışın ortalamasının hesaplanmasıyla belirlenebilir. Bu ifadeyi formüle edersek (VanLaarhoven ve Aarts, 1987, s.59);

$$\chi_0 = e^{(-\overline{\Delta AFD}^{(+)} / T_0)} \Rightarrow T_0 = \frac{\overline{\Delta AFD}^{(+)}}{\ln(\chi_0^{-1})} \text{ 'dir.}$$

- **Azaltma Faktörünün Seçimi:**

$T_{i+1} = \alpha T_i \rightarrow i = 0,1,2, \dots$ , sıklıkla kullanılan sıcaklık derecesini azaltma kuralıdır. Burada yer alan  $\alpha$  azaltma faktörü (0,1) aralığında sabit bir sayıdır ve 1'e yakındır. Genellikle de 0,95 ya da 0,99 kullanılır.

- **Her Sıcaklık Derecesinde Gerçekleştirilecek İterasyon Sayısının Belirlenmesi:** Her sıcaklık derecesinde gerçekleştirilecek yeni çözümlerin sayısı sistemdeki makinelerin sayısı ile büyüklük faktörü olarak adlandırılan sabit bir sayının çarpılması ile belirlenir. İterasyon sayısının artmasıyla elde edilen yeni çözüm sayısının artması sağlanır. Böylece global çözümü bulma olasılığı yükselir ancak bilgisayarın çalışma süresi de artar. Farklı büyüklük faktörlerinin etkisini belirlemek için algoritma belirlenen değerler için çalıştırılıp değişimler gözlenmektedir. Büyüklük faktörünün değerlerinin bir önceki değer iki katı olacak şekilde olduğu varsayılmaktadır. Büyüklük faktörü değerleri 1, 2, 4, 8, 16,... olarak belirlenebilmektedir (Abduelmola, 2000, s.83).

- **Durma Koşullarının Belirlenmesi:** Literatürde tavlama benzetimi algoritmasını durdurmada kullanılan çok çeşitli kriterler mevcuttur. Bunlar; amaç fonksiyonu değeri belli sayıdaki iterasyonda değişmemiş aynı kalmışsa, iterasyonların sayısı belirlenen maksimum iterasyon sayısını aşmışsa, kabul oranı verilen son kabul oranından küçükse ve tanımlanan son sıcaklık değerine ulaşılmışsa algoritma durdurulur (Singh ve Rajamani, 1996, s.131).

## Uygulama

### Araştırmanın Yapıldığı Fabrikanın ve Şanzuman Üretim Bölümünün Tanıtılması

Bu çalışmada, gerekli destek ve izin alınabildiği için bir Otomotiv fabrikası uygulama yeri olarak seçilmiştir. Fabrikada kamyon ile motor ve aktarma organları üretimi yapılmaktadır. Fabrikada üretilen ürünler cargo kamyon, 4 silindir motor, 6 silindir motor, şanzuman, arka aks ve ön düzen şeklinde sayılabilir. Belirtilen ürünlerin üretiminde; talaşlı imalat, montaj, pres, ısıl işlem, kaynak, ölçüm, kesme, puntalama,

tornalama, boring, delme, frezleme, diş açma, azdırma, raspalama, taşlama, honlama, lebleme, ovalama, sementasyon, indiksiyon, fosfatlama, kumlama, doğrultma, kaynak, lazer kaynak, sürtünme kaynağı, broş, çapak alma, çatlak kontrol ve işleme merkezleri kullanılmaktadır. Fabrikanın şanzuman bölümünde, üretim sistemlerinin yerleşim türlerinden birisi olan sürece göre yerleşim uygulanmaktadır. Bu bölümde aynı fonksiyona sahip makineler bir alanda toplanmıştır ve parçalar işlem sırasına göre bu makineler arasında taşınmaktadır. Süreç yerleşim düzeninde tesis içerisinde parçaların takip edilmesi oldukça karmaşıktır. Bu karmaşıklığa ilave olarak parçalar torna, taşlama ve azdırma bölümleri arasında uzun mesafelerde taşınmak zorunda kalmaktadır.

### Araştırmanın Amacı ve Önemi

Araştırmanın amacı, uygulama yapılan şanzuman bölümü için hücresel üretim sistemini tasarlamak, mevcut üretim sistemi olan sürece göre yerleşim üretim sistemi ile tasarlanan sistemi karşılaştırmak ve hücresel üretim sisteminin uygulanması durumundaki sonuçlar konusunda karar vericilere bilgi sağlamaktır.

## Yöntem

### Araştırmanın Modeli

Gerçekleştirilen araştırma, kullanılan araştırma yöntemine göre deneysel bir araştırmadır. Araştırma amacına göre ise hem mevcut durumu ortaya koyduğu için tanımlayıcı (betimleyici) araştırma, hem de mevcut ve yeni üretim sistemlerinin karşılaştırılmasına yer verdiği için açıklayıcı araştırmadır.

### Evren ve Örneklem

Araştırmanın evreni zihinde yaratılan, düşünsel, kavramsal şanzuman üretim sistemleri topluluğudur. Bu araştırma evreni türü alanyazında tanımlanmış, düşünsel araştırma evreni olarak isimlendirilmektedir. Bu evren türü deneysel araştırmaların özünü oluşturur (Çömlekçi, 2001, s. 47). Araştırmanın yapıldığı Otomotiv Fabrikası Şanzuman Üretim Sistemi araştırmanın örneklemini oluşturmaktadır.

### Veriler ve Toplanması

Araştırmada öncelikle Şanzuman bölümünde üretilen parçalara ve bu bölümde yer alan makinelere ait verilerin toplanmasıyla başlanmıştır. Bu veriler: üretilen tüm parçaların işlem sıraları ve süreleri, 1996-2005 tarihleri arasında üretilen şanzuman ünitesi

miktarları, şanzuman ünitesini oluşturan parçaların üretiminde kullanılan makinelere ait arızalararası ve arıza giderme süreleri ve şanzuman bölümünün yerleşimini gösteren ölçekli bir haritadan oluşmaktadır. Tüm bu veriler fabrikada konusunda yetkili kişilerden sağlanmıştır. Fabrikanın Şanzuman Bölümünde bir şanzuman ünitesini oluşturan 23 parçanın üre-

timi gerçekleştirilmektedir. Bir şanzuman ünitesini oluşturmak için kullanılan parçaların adları ve her parçadan kaç adet kullanılması gerektiği Tablo 4'de gösterilmiştir.

Yıllar itibarıyla üretilen şanzuman üretim miktarı ise Tablo 5'de belirtilmiştir.

**Tablo 4. Bir Şanzuman Ünitesini Oluşturan Parçalar ve Adetleri**

Parça Adı	Adet	Parça Adı	Adet	Parça Adı	Adet	Parça Adı	Adet
Ana Mil	1	Avara	1	Grup Mili 4	1	Kavrama 5	1
Ana Mil 1	1	Çıkış Flanşı	1	Grup Mili 5	1	Kavrama Geri	1
Ana Mil 2	1	Giriş Mili	1	Kavrama 1	1	Senkromeç Göbeği Küçük	1
Ana Mil 3	1	Giriş Mili Tutucusu	1	Kavrama 2	1	Senkromeç Göbeği Büyük	2
Ana Mil 5	1	Grup Mili	1	Kavrama 3	1	Senkromeç Bileziği	3
Ana Mil Geri	1	Grup Mili 3	1	Kavrama 4	1		

**Tablo 5. Yıllara Göre Şanzuman Üretim Miktarları**

Yıllar	Üretim Miktarı	Yıllar	Üretim Miktarı
1996	13.469	2001	17.503
1997	19.441	2002	13.668
1998	22.053	2003	25.215
1999	24.890	2004	35.198
2000	33.764	2005	36.000

Şanzuman bölümünde üretilen herhangi bir parçanın, üretim işlemi göreceği makine dolu ise üretim işlemi o makinenin alternatifi olan başka bir makine de gerçekleştirilmektedir. Başka bir ifade ile bazı parçalar için alternatif üretim rotaları mevcuttur. Her

parçanın alternatif üretim rota sayısı Tablo 6'da parantez içerisinde belirtilmiştir.

Şanzuman bölümünde mevcut olan makinelerin adları, sayıları ve EM numaraları Tablo 7'de verilmiştir.

**Tablo 6. Parçalara Ait Üretim Rota Sayıları**

Parça İsmi (Üretim Rota Sayısı)	Parça İsmi (Üretim Rota Sayısı)	Parça İsmi (Üretim Rota Sayısı)
Ana Mil (2)	Giriş Mili	Kavrama 3 (2)
Ana Mil 1 (8)	Giriş Mili Tutucusu	Kavrama 4 (2)
Ana Mil 2 (8)	Grup Mili	Kavrama 5
Ana Mil 3 (8)	Grup Mili 3 (2)	Kavrama Geri (2)
Ana Mil 5 (8)	Grup Mili 4 (2)	Senkromeç Bileziği (32)
Ana Mil Geri (8)	Grup Mili 5 (2)	Senkromeç Göbeği Büyük (5)
Avara (4)	Kavrama 1	Senkromeç Göbeği Küçük (5)
Çıkış Flanşı	Kavrama 2 (2)	

Tablo 7. Şanzuman Bölümünde Yer Alan Makineler

Makine Adı	Mevcut Sayısı	EM Numarası	Makine Adı	Mevcut Sayısı	EM Numarası
Duap Punta	1	93	Hoffman	2	7008, 7009
F.E. Matkap (Göbek Delme)	1	95	Forst Broş	1	7010
F.E. Matkap (Giriş Mili Delme)	1	94	Jones Shipman	1	7508
Taksan	1	533	Suphina	1	7509
Makino Max	1	545	Hurth Raspa	1	7510
Hitachi 23 R III	2	2541, 559	Nagel	1	7603
Mazak SQT 200	1	560	Interflux	1	8071
Hitachi 25/S	1	2506	Sakasan Yıkama	1	8072
Hitachi 20 S II	1	2518	Otosan Yıkama	1	8073
Hurth ZEA	1	4059	Lazer	1	8501
Hurth AEZ	1	4060	Bosch ECM	1	8502
Pfauter Raspa	1	4503	Fortuna 2	2	5025, 5021
Wera	1	4510	Hurth	2	4062, 4064
Schardt T3	1	5503	Mazak DT	3	2535, 2511, 2527
Schardt PF44	1	5505	Mazak SQT	4	2507, 2508, 2533, 2534
RZP	1	5506	Mori Seiki	4	2509, 2513, 2517, 2510
Wera	1	5525	Pfauter	3	4501, 4502, 4506
Mae Pres	1	6031	Reinecker	3	5510, 5513, 5517
Pres	1	6033	RZR	2	7601, 7602
Pres	1	6043	Taccella	3	5507, 5511, 5512
Roto Flo	1	6034			

Ana Mil, Giriş Mili ve Grup Mili parçaları 150'şerli, Ana Mil 1, Ana Mil 2, Ana Mil 3, Ana Mil Geri parçaları 24'erli, Ana Mil 5 ve Avara parçaları 56'şarlı, Grup Mili 3, Grup Mili 4, Grup Mili 5, Senkromeç Bileziği, Senkromeç Göbeği Küçük ve Senkromeç Göbeği Büyük parçaları 36'şarlı, Kavrama 1, Kavrama 2, Kavrama 3, Kavrama 4, Kavrama 5 ve Kavrama Geri parçaları 55'şerli, Çıkış Flanşı parçası 100'erli ve Giriş Mili Tutucusu parçası ise 500'erli partiler halinde makineler arasında taşınmaktadır. Parçaların makinelerdeki işlem süreleri ile ilgili bilgiler yetkili kişilerden alınmıştır.

## Çözümleme

### Şanzuman Bölümü Üretim Sisteminin Benzetim Modelinin Oluşturulması

#### Modelin Varsayımları

Şanzuman bölümü üretim sisteminin benzetim modeli, Durağan durum (Steady-state) olarak modellenmiştir. Sisteme gelen şanzuman ünitesi talepleri Tablo 5'de yer alan toplam üretim miktarları verileri yerine aynı zaman dönemine ilişkin aylık üretim miktarları verilerinden elde edilmiştir. Bir şanzumanın üretiminde farklı parçaların kullanıldığı göz önüne alınarak üretim miktarlarına göre belirlenen parçalar arası geliş süresi ve bu süreye uyan olasılık dağılımları Are-

na 9.0 yazılımında yer alan Input Analyzer programı ile belirlendi. Modelde temel zaman birimi olarak gün kullanılmıştır. Konuya ilişkin kişilerle yapılan görüşmeler sonucunda, parçaların makineler arasında işçiler tarafından partiler halinde 5-6 km/sa. hızla taşındığı bilgisi esas alınmıştır. Bu durumda taşıma süresi [taşıma uzaklığı\*UNIF(0,01-0,012)] formülü ile dakika cinsinden hesaplandı. Arızalar arası süre ve arıza giderme süreleri deterministik olarak girildi. Parçalar için işlem sırası ve süreleri de deterministik olarak saniye cinsinden girildi. Yukarıda tanımlanan girdiler temel alınarak Arena 9.0 yazılımı ile benzetim modeli oluşturulmuştur. Modelde Station-Process-Route modülleri kullanılmıştır. Parçalar Sequence modülünde tanımlanan işlem sıralarına, işlem sürelerine ve transfer sürelerine göre makinelerde işlenmektedir. Record modülü ile de parçalarla ilgili olarak transfer süresi, bekleme süresi, işlem süresi ve üretim miktarı gibi istatistikler kaydedilmiştir. Makineler için bozulma durumları ise Failure modülü kullanılarak tanımlanmış ve benzetim modeli oluşturulmuştur.

#### Modelin Çalıştırım Parametrelerinin Belirlenmesi

Oluşturulan benzetim modelini çalıştırabilmek için çalıştırım parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Benzetim modellerinde çalıştırım parametreleri; ısınma (warm-up) periyodu ve çalıştırım süresi için bir uzunluğun belirlenmesinden oluşmaktadır.

Isınma periyodu uygun uzunlukta belirlenmelidir. Bu ne çok kısa ne de çok uzun olmalıdır. Şanzuman bölümünde üretilen tüm parçalar için analiz Arena 9.0 yazılımında yer alan Output Analyzer programı ile yapılmıştır. Tüm parçalar için 5, 10, 15 ve 20'şerli hareketli ortalamalar alınmış ve elde edilen grafikler incelenmiştir. İnceleme sonucunda 20'şerli hareketli ortalamada sistemin durağan duruma geçtiği belirlenmiştir. Çalışmamızda bu süre modelin doğrulanması aşamasında yapılacak olan analizlerde kolaylık sağlaması açısından 30 gün olarak tespit edilmiştir. Buna göre model, çalışmaya başladıktan 30 gün sonra sistem ile ilgili istenen istatistikleri tutmaya başlayacaktır. Çalıştırım uzunluğu, parçaların makinelerde işlenmesi, makineler arasında taşınması gibi tüm olayların pek çok kez gerçekleşmesine fırsat verecek şekilde uzun belirlenmesi gerektiği için çalıştırım uzunluğu bir yıl olarak alınmıştır.

### Modelin Gerçeklenmesi

Benzetim modelinin bilgisayara doğru bir şekilde uyarlanıp uyarlanmadığı ve girdi parametrelerinin yine doğru bir şekilde ifade edilip edilmediğinin kontrolü Arena 9.0 yazılımında Trace komutu kullanılarak yapılmaktadır. Trace komutu, üretilen parçaların adım adım hangi makineye ne kadar sürede gittiğinin, ne kadar süre işlem gördüğünün takip

edilmesini sağlamaktadır. Yapılan kontrol sonucunda benzetim modelinin bilgisayara doğru bir şekilde uyarlandığı sonucuna varılmıştır.

### Modelin Doğrulanması

Kurulan benzetim modelinin gerçek sistemi temsil edip etmediği modelin doğrulanması aşamasında belirlenmeye çalışılır. Benzetim modeli ile gerçek sistem arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlenebilmesi için benzetim modelinin ve gerçek sistemin performans ölçülerinin ortalamaları arasındaki fark için güven aralığı belirlenmektedir. Eğer belirlenen güven aralığı 0 değerini içerirse, "iki sistem arasında bir fark olmadığı" istatistiksel olarak söylenebilmektedir. Çalışmamızda modelin doğrulanması için üretim miktarı performans göstergesi olarak belirlenmiştir. Benzetim modeli bir tekrarı bir yıl olmak üzere on tekrar olarak çalıştırılmıştır. Çalışma tekrarları sonucunda elde edilen her bir parçaya ait 11 aya ilişkin üretim miktarları, on tekrar için bu miktarların ortalaması ve standart sapma değerleri Tablo 8'de gösterilmektedir.

Mevcut üretim sistemi için 1996 - 2005 tarihleri arasında parçaların her biri için Ocak ayı dışında kalan 11 aya ilişkin üretim miktarlarının ortalaması ve standart sapma değerleri ise Tablo 9'da verilmiştir.

**Tablo 8. Kurulan Benzetim Modeli İçin Üretim Miktarı (11 Aylık), Ortalama ve Standart Sapma Değerleri**

Parça Adı	Tekrar										Ortalama	Standart Sapma
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
Ana Mil	18150	18150	18450	18150	18300	18150	18150	18300	18150	18300	18225,0	106,1
Ana Mil 1	18216	18240	18216	18264	18312	18096	18288	18192	18312	18192	18232,8	66,0
Ana Mil 2	18000	18048	18144	18360	18360	18216	18000	18000	18360	18360	18184,8	165,5
Ana Mil 3	18360	18360	18336	18288	18360	18000	18000	18000	18000	18360	18206,4	179,0
Ana Mil 5	18200	18256	18256	18200	18312	18312	18368	18200	18088	18312	18250,4	81,2
Ana Mil Geri	18000	18336	18360	18360	18000	18072	18336	18168	18360	18288	18228,0	153,2
Avıra	18480	18088	19320	17920	18200	18480	18368	17640	18480	17640	18261,6	494,2
Çıkış Flanş	18300	18100	18100	18300	18000	18100	18000	18300	18200	18100	18150,0	117,9
Giriş Mili	18300	18150	18300	18300	18300	18150	18300	18300	18300	18300	18270,0	63,2
Giriş Mili Tutucusu	18254	18303	18189	18154	18269	18158	18298	18244	18312	18278	18245,9	59,1
Grup Mili	18300	18300	18450	18150	18300	18150	18150	18300	18000	18150	18225,0	127,5
Grup Mili 3	18360	18360	18360	18396	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18363,6	11,4
Grup Mili 4	18360	18396	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18363,6	11,4
Grup Mili 5	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18252	18360	18360	18349,2	34,2
Kavrama 1	18315	18205	18260	18260	18205	18315	18150	18370	18260	18205	18254,5	65,8
Kavrama 2	18920	18150	18535	18535	18535	18975	18865	18150	18150	18480	18529,5	315,9
Kavrama 3	18150	18425	18425	18535	18370	18700	18150	18700	18975	18315	18474,5	259,9
Kavrama 4	18205	18150	18755	18150	18260	18150	18150	18150	18150	18975	18309,5	299,5
Kavrama 5	18260	18315	18260	18205	18260	18260	18150	18315	18205	18150	18238,0	59,1
Kavrama Geri	18645	18590	18150	18865	18150	18150	18700	18150	18150	18865	18441,5	318,7
Senkromeç Bileziği	54540	54576	54540	54540	55008	54540	54540	54540	54540	54540	54590,4	147,2
Senkromeç Göbeği Büyük	36634	36387	36569	36547	36376	36595	36542	36478	36385	36544	36505,7	93,8
Senkromeç Göbeği Küçük	18360	17820	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18360	18306,0	170,8



Güven aralığı aşağıda yer alan formüller kullanılarak hesaplanmaktadır. Formüllerde yer alan  $g_s$  indisi gerçek sistemi,  $b_m$  indisi kurulan benzetim modeli-

ni,  $\bar{Y}$  örneklem ortalamasını,  $S$  örneklem standart sapmasını,  $n$  örneklem büyüklüğünü,  $m$  ise evren ortalamasını ifade etmektedir.

$$v = \frac{\left( \frac{S_{gs}^2}{n_{gs}} + \frac{S_{bm}^2}{n_{bm}} \right)^2}{\left( \frac{S_{gs}^2}{n_{gs}} \right)^2 + \left( \frac{S_{bm}^2}{n_{bm}} \right)^2} - 2$$

serbestlik derecesinde,  $(1 - \alpha)$  güven düzeyinde; güven aralığı

$$\left( \bar{Y}_{gs} - \bar{Y}_{bm} \right) - t_{krit.değ.} \sqrt{\frac{S_{gs}^2}{n_{gs}} + \frac{S_{bm}^2}{n_{bm}}} \leq \mu_{gs} - \mu_{bm} \leq \left( \bar{Y}_{gs} - \bar{Y}_{bm} \right) + t_{krit.değ.} \sqrt{\frac{S_{gs}^2}{n_{gs}} + \frac{S_{bm}^2}{n_{bm}}}$$

Her bir parça için hesaplanan güven aralığı değerleri Tablo 10'da gösterilmektedir.

**Tablo 10. %95 Güven Düzeyinde Oluşan Güven Aralığı Değerleri**

Parça Adı	Serbestlik Derecesi	Kritik Değer	Alt Sınır	Üst Sınır
Ana Ml	9,004	2,262	-1640,6	9551,8
Ana Ml 1	9,002		-1648,1	9543,7
Ana Ml 2	9,010		-1601,2	9592,7
Ana Ml 3	9,012		-1623,0	9571,3
Ana Ml 5	9,002		-1665,8	9526,2
Ana Ml Geri	9,008		-1644,2	9549,3
Avara	9,088		-1687,9	9525,8
Çıkış Flanşı	9,005		-1565,7	9626,9
Giriş Mli	9,001		-1685,3	9506,4
Giriş Mli Tutucusu	9,001		-1661,2	9530,5
Grup Mli	9,006		-1640,9	9552,0
Grup Mli 3	9,000		-1778,7	9412,7
Grup Mli 4	9,000		-1778,7	9412,7
Grup Mli 5	9,000		-1764,4	9427,1
Kavrama 1	9,002		-1669,8	9522,0
Kavrama 2	9,036		-1949,2	9251,3
Kavrama 3	9,024		-1892,7	9304,8
Kavrama 4	9,032		-1728,7	9470,9
Kavrama 5	9,001		-1653,3	9538,4
Kavrama Geri	9,037		-1861,3	9339,4
Senkromeç Göbeği Küçük	9,010	-1722,4	9471,6	
Senkromeç Bileziği	9,001	-4836,1	28738,7	
Senkromeç Göbeği Büyük	9,001	-3336,1	19047,0	

Yukarıdaki tabloda da görüldüğü üzere bütün parçaların güven aralıkları 0 değerini kapsamaktadır. Bu sonuca göre % 95 güven düzeyinde, iki sistemden birisinin daha iyi olduğuna dair istatistiksel bir kanıt

olmadığı sonucuna varılmıştır; başka bir ifade ile kurulan benzetim modeli mevcut üretim sistemini doğru bir şekilde yansıtmaktadır.



Tavlama benzetimi algoritması için parametre değerleri aşağıda açıklandığı şekilde belirlenmiştir.

Tavlama benzetimi yönteminde başlangıç sıcaklığının seçiminde kısım 3.3.2'de ifade edilen Johnson ve arkadaşları tarafından geliştirilen formül kullanılmıştır.

Algoritmanın bir iterasyonunun sonlanmasına yol açan  $\ell \geq M \times M$  ( $M =$  makinelerin sayısı (57)) kriterine göre algoritmada bir iterasyon 3249 ( $57 \times 57$ ) kez çalıştırılarak her bir çalıştırmadan elde edilen amaç fonksiyonu değerleri yazdırılmıştır. Bu değerlere göre;

1. Denenen değişimlerin %80'inin kabul edilmesi isteniyorsa yani  $\chi_0 = 0,80$  için başlangıç sıcaklık değeri,

$$\chi_0 = e^{(-\overline{\Delta AFD}^{(+)} / T_0)} \Rightarrow \chi_0 = 0,80 \Rightarrow T_0 = \frac{\overline{\Delta AFD}^{(+)}}{\ln(\chi_0^{-1})} = \frac{699,4 / 583}{\ln(0,80^{-1})} = \frac{1,2}{0,2231} = 5,4 \cong 6$$

2. Denenen değişimlerin %90'ının kabul edilmesi isteniyorsa yani  $\chi_0 = 0,90$  için başlangıç sıcaklık değeri,

$$\chi_0 = e^{(-\overline{\Delta AFD}^{(+)} / T_0)} \Rightarrow \chi_0 = 0,90 \Rightarrow T_0 = \frac{\overline{\Delta AFD}^{(+)}}{\ln(\chi_0^{-1})} = \frac{699,4 / 583}{\ln(0,90^{-1})} = \frac{1,2}{0,1054} = 11,4 \cong 12$$

3. Denenen değişimlerin %95'inin kabul edilmesi isteniyorsa yani  $\chi_0 = 0,95$  için başlangıç sıcaklık değeri,

$$\chi_0 = e^{(-\overline{\Delta AFD}^{(+)} / T_0)} \Rightarrow \chi_0 = 0,95 \Rightarrow T_0 = \frac{\overline{\Delta AFD}^{(+)}}{\ln(\chi_0^{-1})} = \frac{699,4 / 583}{\ln(0,95^{-1})} = \frac{1,2}{0,051} = 23,4 \cong 24$$

Hemen hemen denenen tüm değişimlerin kabul edilmesi istenen bir durum olduğuna göre kabul edilme olasılığı 0,95 olarak alındı ve başlangıç sıcaklık derecesi de 24 olarak kabul edildi. Azaltma faktörünü de daha yavaş bir soğuma sağlamak için  $a=0,99$  olarak

alındı. Her sıcaklık değerinde gerçekleştirilecek iterasyon sayısının belirlenmesinde kullanılan büyüklük faktörleri sırasıyla 1, 2, 4, 8 ve 16 olarak ele alındı ve algoritma  $T_0=24$  ve  $a=0,99$  değerleri kullanılarak çalıştırıldı. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

K	1	2	4	8	16
İterasyon Sayısı	57	114	228	456	912
CPU	1,08	2,11	5,00	9,40	17,75
AFD	12	9,6	9,8	9,6	9,6

CPU: Bilgisayar hesaplama zamanı (saat).  
AFD: Amaç fonksiyonu değeri.

Sonuçlar incelendiğinde en iyi amaç fonksiyonu değeri olan 9,6'nın 2, 4 ve 5 büyüklük faktörü değerlerinde gerçekleştiği görüldü. Bu büyüklük faktörlerindeki bilgisayar hesaplama zamanlarına bakıldığında ise en iyi bilgisayar hesaplama zamanının 2,1 saat ile büyüklük faktörü 2 değerinde olduğu belirlendi. Bu durumda büyüklük faktörü 2 olarak alındı. Her

sıcaklık derecesinde gerçekleştirilecek yeni çözümlerin sayısı sistemdeki makinelerin sayısı ile büyüklük faktörünün çarpımı olan 114 ( $57 \times 2$ ) olarak belirlendi. Yukarıdaki sonuçlara göre tavlama benzetimi algoritmasının belirlenen parametre değerleri Tablo 11'de topluca verilmiştir.

**Tablo 11. Tavlama Benzetimi Algoritmasının Parametre Değerleri**

Başlangıç Sıcaklık Derecesi $T_0$ :	24
Azaltma Faktörü a:	0,99
Her Sıcaklık Derecesinde Gerçekleştirilecek İterasyon Sayısı:	114
Durma Koşulları:	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ İterasyonların sayısı belirlenen maksimum iterasyon sayısını (1140) aşmışsa,</li> <li>▪ Kabul oranı verilen son kabul oranından (0,01) küçükse,</li> <li>▪ Amaç fonksiyonu değeri belli sayıdaki iterasyonda (son 20 iterasyon) değişmemiş aynı kalmışsa.</li> </ul>

Algoritma belirlenen parametrelere göre çalıştırılmış ve elde edilen çözüme göre hücrelerde üretilecek parçalar, bu parçaların üretim rotaları ve üretimde kullanılacak EM numaralarına göre makine atamaları oluşturulmuştur. Algoritma sonucunda boşta kalan yani hiçbir hücreye atanmayan makineler bulunmaktadır. Bu makineler parçaların hücre içinde işlenmek üzere çok beklememeleri için alternatif üretim rotala-

rında kullanılma durumlarına göre uygun hücrelere atanmıştır. Boşta kalan makinelerin ataması yapıldıktan sonra elde edilen sonuç Tablo 12'de gösterilmiştir.

Makine sayısı kısıtı nedeniyle işlem görmek üzere başka bir hücreye gitmesi gereken parçalar ve gittikleri hücreler ise Tablo 13'de olduğu gibi gerçekleşmiştir.

**Tablo 12. Makinelerin Hücrelere Atanması**

Hücre	Parça Ailesi		EM Numaralarına Göre Makine Grupları
	Parça Adı	Üretim Rotası	
1	Ana Mil 1	2	4503, 5525, 6033, 7508, 8501, 5025, 5021, 2535, 2511, 4501, 5513, 5517, 7602, 7510
	Ana Mil 2	2	
	Ana Mil 3	2	
	Ana Mil 5	3	
	Ana Mil Geri	2	
	Avara	2	
2	Senkromeç Göbeği (Büyük)	2	94, 7010, 8502, 7008, 2509
	Senkromeç Göbeği (Küçük)	2	
3	Kavrama 1	1	4510, 559, 2507, 2508
	Kavrama 2	1	
	Kavrama 3	1	
	Kavrama 4	1	
	Kavrama 5	1	
	Kavrama Geri	1	
4	Giriş Mili Tutucusu	1	2517
5	Ana Mil	2	93, 95, 560, 2506, 4060, 5506, 6031, 6034, 6043, 7509, 2541, 2534, 4506, 5510, 5505, 7601, 5511, 5507, 5512
	Giriş Mili	1	
	Grup Mili	1	
6	Çıkış Flanşı	1	545, 5503, 533, 7009, 4062, 4064, 2533, 2518, 2513, 2510
	Senkromeç Bileziği	22	
7	Grup Mili 3	1	4059, 7603, 2527, 4502
	Grup Mili 4	1	
	Grup Mili 5	1	

Tablo 13. Dışta Kalan Parçaların Gittikleri Hücreler

Hücre	Parça Adı	Gittiği Hücre	Gittiği Hücrede İşlem Gördüğü Makine EM Numarası
1	Avara	4	2517
5	Giriş Mili	1	6033, 8501
6	Senkromeç Bileziği	2	8502

Parça aileleri ve makine grupları yukarıda açıklandığı gibi belirlendikten sonra hücrelerde yer alan makineler işledikleri parçaların üretim rotalarına göre yerleştirilmiştir. 4. Hücrede yer alan giriş mili tutucusu parçası haricindeki tüm parçalar, EM No 8072 Sakasan Yıkama, EM No 8073 Otosan Yıkama ve EM No 8071 Interflux Çatlak Kontrol makinelerinde işlem gördükleri için bu makineler tüm hücrelere yakın olacak bir şekilde yerleştirilmiştir ve makineler arasındaki uzaklıklar ölçülmüştür.

#### Tasarlanan Hücresel Üretim Sisteminin Benzetim Modelinin Oluşturulması

Tasarlanan hücresel üretim sisteminin benzetim modeli oluşturulurken kullanılan veriler kısım 4.3.3. de verilen ve aynı zamanda mevcut sistemin benzetim modeli oluşturulurken de kullanılan verilerdir. Tasarlanan hücresel üretim sisteminde makineler arasındaki uzaklıkları belirleyebilmek için öncelikle ölçekli bir harita üzerinde tavlama benzetimine göre oluşturulan makine grupları yerleştirilmiştir. Bu işlemin ardından makineler arasındaki uzaklıklar tarafımızdan metre cinsinden yine harita üzerinden ölçülmüştür. Tasarlanan hücresel üretim sisteminin benzetim modelinin varsayımları kısım 4.4.1.1. de belirtilen mevcut üretim sisteminin benzetim modelinin varsayımları ile aynıdır. Sadece makineler arasındaki uzaklıklar tasarlanan üretim sistemine göre değiştirilmiştir. Mevcut üretim sisteminin benzetim modeli ile tasarlanan hücresel üretim sisteminin benzetim modelleri aynı çalıştırma parametreleri ile çalıştırılacaktır. Modelin gerçekleşmesi Arena 9.0 yazılımında Trace komutu kullanılarak yapılmıştır. Yapılan kontrol sonucunda benzetim modelinin bilgisayara doğru bir şekilde uyarlandığı belirlenmiştir.

#### Şanzuman Bölümü Üretim Sistemi ve Tasarlanan Hücresel Üretim Sisteminin Karşılaştırılması

Öncelikle iki sistemin karşılaştırılmasında kurulan benzetim modellerinin kaç tekrar çalıştırılacağı belirlenmesi gerekmektedir. İki sistemin benzetim modelleri, ısınma periyodu bir ay ve her tekrar bir

yıl olmak üzere 40 tekrar çalıştırılmıştır. Araştırmada bağımsız değişken üretim sistemi değişkenidir. Üretim sistemi bağımsız değişkeninin iki grubu vardır. Bunlar; mevcut üretim sistemi ve önerilecek üretim sistemidir. Araştırmadaki bağımlı değişkenler ise; parçalar için ortalama transfer süresi, parçaların üretim miktarı ve parçaların üretim süresi olmak üzere üç tanedir. Bu durumda veriler, tek yönlü manova kullanılarak test edilmiştir. Şanzuman bölümü üretim sistemi ve tasarlanan sistemde parçalar için ortalama transfer süresi, parçaların üretim miktarı ve parçaların üretim süresi değerleri SPSS paket programında girilmiş ve varyans analizi yapılmıştır. Varyans analizinde, bağımsız değişkenimiz iki grupta ve örneklem sayıları eşit olduğundan Box's testi göz ardı edilmiş ve Hotelling's T<sup>2</sup> test istatistiği dikkate alınmıştır (Feld, 2005, s.599). Şanzuman bölümü üretim sistemi ve tasarlanan sistemle üretilen parçalar için ortalama transfer süresi, parçaların üretim miktarı ve parçaların üretim süresi performans göstergeleri arasında farklılık yoktur  $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$  istatistiksel hipotezi, farklılık vardır  $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$  araştırma hipotezine karşı test edilmiştir. Anlamlılık düzeyi  $\alpha = 0,05$  olarak belirlenmiştir. Parça türleri itibarıyla elde edilen Hotelling's T<sup>2</sup> test istatistiği ve olasılık değerleri Tablo 14'de yer almaktadır.

Tablo 14 incelendiğinde tüm parçalar için Hotelling's T<sup>2</sup> test istatistiği ( $p < 0,05$ ) anlamlı sonuçlar vermiştir. Başka bir deyişle, üretim sisteminin parçaların transfer süresi, üretim süresi ve üretim miktarları üzerinde etkisi vardır. Ancak bu etkinin içeriği net değildir. Bu test sonucu bize üretim sisteminin parçaların transfer süresi üzerinde mi, üretim süresi üzerinde mi yoksa üretim miktarları üzerinde mi etkisi olduğunu söylememektedir. Etkinin içeriğini belirlemek için MANOVA analizi içinde yer alan tek değişkenli testlerin uygulanması gerekmektedir. SPSS paket programından alınan bu testin sonuçları Tablo 15'de gösterilmektedir. Burada parçalar bazında, üretim sisteminin hangi performans göstergelerini etkilediği ( $p < 0,05$ ) koyu renk hücrelerle ifade edilmiştir.

**Tablo 14. Parçalar İçin Hotelling's  $T^2$  Test İstatistiği Değerleri**

Parça Adı	Hotelling's $T^2$	
	Değer	Sig.
Ana Mil	24380,802	0,000
Ana Mil 1	37017,511	0,000
Ana Mil 1 Kavrama 1	6137,805	0,000
Ana Mil 2	2183,267	0,000
Ana Mil 2 Kavrama 2	134359,816	0,000
Ana Mil 3	1982,275	0,000
Ana Mil 3 Kavrama 3	149382,826	0,000
Ana Mil 5	3211,350	0,000
Ana Mil 5 Kavrama 5	4273,044	0,000
Ana Mil Geri	1598,013	0,000
Ana Mil Geri Kavrama Geri	114538,674	0,000
Avara	1309,57	0,000
Çıkış Flaşı	14703,166	0,000
Giriş Mili	1160,67	0,000
Giriş Mili Kavrama 4	13761,543	0,000
Giriş Mili Tutucusu	5478,048	0,000
Grup Mili	791,309	0,000
Grup Mili 3	782,876	0,000
Grup Mili 4	1340,951	0,000
Grup Mili 5	626,839	0,000
Grup Mili 345	72493,336	0,000
Kavrama 1	12665,936	0,000
Kavrama 2	21,603	0,000
Kavrama 3	16,639	0,000
Kavrama 4	16,947	0,000
Kavrama 5	17640,911	0,000
Kavrama Geri	19,775	0,000
Senkromeç Bileziği	34479,061	0,000
Senkromeç Bileziği Geri	13077,089	0,000
Senkromeç Göbeği Büyük	1740,043	0,000
Senkromeç Göbeği Küçük	3293,524	0,000



Tablo 15. Parçalar İçin Üretim Sistemi Değişkeninin Bağımlı Değişkenlere Etkisi

Parça Adı	Üretim Sistemi Değişkeninin Bağımlı Değişkenlere Etkisi (Sig.)		
	Transfer Süresi	Üretim Süresi	Üretim Miktarı
Ana Mil	0,000	0,026	0,000
Ana Mil 1	0,000	0,000	0,000
Ana Mil 1 Kavrama 1	0,000	0,090	0,000
Ana Mil 2	0,000	0,745	0,000
Ana Mil 2 Kavrama 2	0,000	-	0,000
Ana Mil 3	0,000	0,507	0,000
Ana Mil 3 Kavrama 3	0,000	-	0,000
Ana Mil 5	0,000	0,000	0,000
Ana Mil 5 Kavrama 5	0,000	0,865	0,000
Ana Mil Geri	0,000	0,486	0,000
Ana Mil Geri Kavrama Geri	0,000	-	0,000
Avara	0,000	0,340	0,027
Çıkış Flanşı	0,000	0,000	0,000
Giriş Mili	0,000	0,741	0,000
Giriş Mili Kavrama 4	0,000	-	0,000
Giriş Mili Tutucusu	0,000	-	-
Grup Mili	0,000	0,000	0,000
Grup Mili 3	0,000	0,033	0,355
Grup Mili 4	0,000	0,276	1,000
Grup Mili 5	0,000	0,621	0,351
Grup Mili 345	0,000	-	0,000
Kavrama 1	0,000	-	1,000
Kavrama 2	0,000	0,391	0,097
Kavrama 3	0,000	0,371	0,029
Kavrama 4	0,000	0,000	0,145
Kavrama 5	0,000	-	0,916
Kavrama Geri	0,000	0,707	0,951
Senkromeç Bileziği	0,000	0,919	0,646
Senkromeç Bileziği Geri	0,000	-	0,226
Senkromeç Göbeği Büyük	0,000	0,598	0,320
Senkromeç Göbeği Küçük	0,000	0,367	0,156

## Sonuç

Hücrel üretim amacını, parçalar arasındaki benzerlikten yararlanarak üretimde etkinliğe ulaşmaktır. Diğer bir deyişle daha az sürede, daha az maliyetle ve daha iyi nitelikte daha çok çıktı elde edebilmektedir. Hücrel üretim sisteminde hücre; parça ailelerinden ve makine gruplarından oluşmaktadır. Parçaların diğer hücrelerle minimum ilişki ile işlendiği hücreler elde edilmeye çalışılmaktadır. Hücrel üretim sistemi ile parçaların sistem içerisinde taşınması ve sistemde dolaşan parça sayısı azalmakta, makine ayarlama süresi ve üretim süresi kısalmakta böylece küçük partilerin üretiminin yapılması daha ekonomik olmaktadır. Bunun yanında, bir işçi hücre içerisinde

birden fazla makineye atanarak emek tasarrufu sağlanmakta ve kalite çalışmaları kolay yürütülmektedir. Sistemdeki parça sayısındaki azalmadan dolayı, yeni makineler eklemek ve genişlemek için önemli ölçüde kullanılabilir alan kazanılmaktadır.

“Bir Otomobil Fabrikasının Şanzuman Üretim Bölümü İçin Hücrel Üretim Sistemi Önerisi” isimli bu çalışmada şanzuman parçaları üretimi yapan ve süreç yerleşimine sahip bir işletme ele alınmıştır. Bu işletmede süreç yerleşimi değil de hücrel üretim sistemi uygulanmış olsaydı işletmenin ne gibi avantajlar elde edebileceği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla öncelikle tavlama benzetimi yöntemiyle hücrel üre-

tim sistemi kurulmuştur. İşletmenin hücresel üretim sisteminin avantajlarına sahip olup olamayacağı her iki sistemin de benzetim modellerinin oluşturularak Arena 9.0 yazılımında çalıştırılması ve elde edilen verilerin analiz edilerek karşılaştırılması yapılmıştır.

Benzetim modellerinin çıktıları olan verilerin kullanılmasyla yapılan analiz sonuçları incelendiğinde önerilecek olan hücresel üretim sistemi tüm parçalar için transfer süresi açısından farklılık yaratmıştır. Verilere bakıldığında bu fark daha düşük bir transfer süresinin elde edildiği yönündedir. Ancak önerilecek hücresel üretim sistemi bazı parçalar için üretim süresi ve üretim miktarı açısından bir fark yaratmamıştır. Bunun nedenlerini aşağıdaki gibi açıklayabiliriz:

- Öncelikle hücresel üretim sisteminde parçaların izleyecekleri üretim rota planı sayısı azalmıştır. Örneğin mevcut üretim sisteminde bir parçanın bir işlemi için gidebileceği üç makine olması halinde, parça bu makinelerden uygun olan herhangi birisinde işlem görebilmekteydi. Tasarlanan hücresel üretim sisteminde ise parça sadece atanmış olduğu hücredeki makinede işlem görebilmektedir. Yani hücreler arasında taşınma olmadığından parça kendi hücreesindeki makinede işlem görmek için beklemek zorunda kalmaktadır ki bu da bazı makinelerdeki parça başına ortalama bekleme süresinin daha yüksek çıkmasına neden olmaktadır. Bu da üretim süresini ve üretim miktarını etkilemektedir.
- Bir başka neden ise transfer süresinin kısalması ile parçaların çok kısa sürede işlem görecekları makinelere gelmesi ve burada beklemek durumunda kalmalarıdır.

Yukarıda ifade edilen olumsuzlukların giderilmesi için bir öneri beklemenin yüksek olduğu hücrelerde parçaların bekleme süresini azaltmak için hücreye ek makine satın alınmasıdır. Bir diğer öneri ise, hücresel üretim sisteminde esneklik özelliğine sahip hücreler oluşturularak başka bir deyişle hücrelerde yer alan makinelerin birbirlerine otomatik malzeme taşıma sistemi ile bağlanması yoluyla parçalar için üretim süresinin düşürülmesidir. Böylelikle taşıma ile ilgili problemler en aza indirilerek sürat ve verimlilik artırılabilir. Bu sayede de daha fazla üretim yapılması mümkün olacaktır.

Tasarlanan hücresel üretim sisteminde, hücrelerde yer alan makineler arasında otomatik malzeme taşıma sisteminin kurulması ya da bazı hücrelere ek makine alınması yönünde yapılan önerilerin uygulanması durumunda elde edilecek sonuçların neler olacağı, bu çalışmada oluşturulan benzetim modellerinde yapılacak değişikliklerle araştırılabilir. Bunun yanı sıra, çalışmada kurulan benzetim modelleri aynı talep düzeyinde çalıştırılmıştır. İleriki çalışmalarda önerilen değişiklikler doğrultusunda elde edilen sistem tasarımları üzerinde farklı talep düzeylerinin etkileri de yine kurulan benzetim modelleri ile incelenebilir ve sistem tasarımları karşılaştırılabilir.

## Kaynakça

- Abduelmola, Abduelghani I. (2000). *Modeling of Cellular Manufacturing Systems With Productivity Consideration: A Simulated Annealing Algorithm*. Yayınlanmamış Doktora Tezi, University of Windsor.
- Adil, G. K., D. Rajamani ve D. Strong. (1996). Cell Formation Considering Alternate Routeings. *International Journal of Production Research*. 34 (5): 1361-1380.
- Adil, G. K., D. Rajamani ve D. Strong. (1997). Assignment Allocation and Simulated Annealing Algorithms For Cell Formation. *IIE Transactions*. 29: 53-67.
- Chen, C. L., N. A. Cotruvo ve W. Baek. (1995). A Simulated Annealing Solution to The Cell Formation Problem. *International Journal of Production Research*. 33 (9): 2601-2614.
- Coello, Coello ve A. Carlos. (2005). *Applications of Multi - Objective Evolutionary Algorithms*. World Scientific Publishing Company: NJ.
- Çömlekçi, Necla. (2001). *Bilimsel Araştırma Yöntemi ve İstatistiksel Anlamlılık Snamaları*. Bilim Teknik Yayınevi: Eskişehir.
- Demir, M. Hulûsi ve Şevkinaz Gümüşoğlu. (2003). *Üretim Yönetimi (İşlemler Yönetimi)*. Beta Basım Yayım Dağıtım A. Ş.: İstanbul, Genişletilmiş 6. Bası.

- Durmuşoğlu, M. Bülent, Osman Kulak ve H. Hakan Balcı. (2003). Türkiye'de Hücreli Üretim Uygulamalarının Analizi ve Değerlendirilmesi. *Endüstri Mühendisliği*. (2): 10.
- Field, Andy. (2005). *Discovering Statistics Using SPSS*. Sage Publications Ltd.: London.
- Glover, Fred. (2002). *Handbook of Metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers: NJ, USA.
- Groover, Mikell P. (2001). *Automation, Production Systems, and Computer - Integrated Manufacturing*. Prentice - Hall, Inc.: NJ.
- Hitomi, Katsundo. (1996). *Manufacturing Systems Engineering - A Unified Approach to Manufacturing Technology, Production Management and Industrial Economics*. Taylor & Francis Ltd.: Great Britain, Second Edition.
- Hyer, Nancy ve Urban Wemmerlöv. (2002). *Reorganizing The Factory Competing Through Cellular Manufacturing*. Productivity Press: USA.
- Johnson, David S. ve diğerleri. (1989). Optimization by Simulated Annealing: An Experimental Evaluation; Part I, Graph Partitioning. *Operations Research*. 37 (6): 865-892.
- Jones, M. Tim. (2003). *AI Application Programming*. Charles River Media: USA.
- Kobu, Bülent. (2003). *Üretim Yönetimi*. Avcıol Basım Yayın: İstanbul, Onbirinci Baskı.
- Karaboğa, Derviş. (2004). *Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları*. Atlas - Nobel Yayınları: Ankara.
- Offodile, O. Felix, Abraham Mehrez ve John Grznar. (1994). Cellular Manufacturing: A Taxonomic Review Framework. *Journal of Manufacturing*. 13 (3): 196-220.
- Selim, M. Hassan, Ronald G. Aksin ve Asoo J. Vakharia. (1998). Cell Formation in Group Technology: Review, Evaluation and Directions For Future Research. *Computers and Industrial Engineering*. 34 (1): 3-20.
- Singh, Nanua ve Divakar Rajamani. (1996). *Cellular Manufacturing Systems: Design, Planning and Control*. Chapman & Hall: London.
- Taylor III, Bernard W. ve Roberta S. Russell. (2006). *Operations Management Quality and Competitiveness in a Global Environment*. John Wiley and Sons, Inc.: United States of America.
- Van Laarhoven, P. J. M. ve E. H. L. Aarts. (1987). *Simulated Annealing: Theory and Applications*. D. Riedel Publishing Company: Netherlands.
- Wemmerlöv, Urban ve Danny J. Johnson. (1997). Cellular Manufacturing at 46 User Plants: Implementation Experiences and Performance Improvements. *International Journal of Production Research*. 35 (1): 29-49.