

## Kümeleme yöntemi ile oluşturulan imalat hücrelerinin performanslarının benzetim ve topsis ile değerlendirilmesi

Sena Kır<sup>1\*</sup>, Harun Reşit Yazgan<sup>2</sup>, Barış Yiğit Erolan<sup>3</sup>, Gamze Erbaş<sup>4</sup>, Betül Altuntaş<sup>5</sup>

*10.07.2014 Geliş/Received, 03.11.2014 Kabul/Accepted*

### ÖZ

İmalat işletmelerinin önemli sorunlarından birisi de siparişlerin zamanında teslimi için en uygun üretim politikasının oluşturulmasıdır. Günümüzde, firmalar yalnız üretim felsefesinin etkisi ile geleneksel üretim tipinden, hücresel imalata geçiş çalışmalarına önem vermektedirler. Bu çalışmada, filtre imalatı yapan bir fabrika için, atölye tipi üretimden hücresel üretime geçiş süreci incelenmiştir. Grup teknolojisi tekniklerinden sıralı kümeleme (ROC) ve tek bağlantılı kümeleme (SLCP) kullanılarak farklı imalat hücreleri oluşturulmuştur. Elde edilen hücreler üzerinde benzetim yöntemi kullanılarak farklı üretim politikaları denenmiş ve sonuçlar çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden TOPSIS yöntemi ile değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** grup teknolojisi, hücresel imalat, kümeleme analizi, TOPSIS

## The performance evaluation of manufacturing cells obtained with clustering method by simulation and topsis methods

### ABSTRACT

One of the major problems of manufacturing businesses is that suitable production policy should be established to meet customer expectations just in time. Nowadays, it is observed that firms pay attention to transform from a traditional to a cellular manufacturing under the influence of the lean manufacturing philosophy. In this study, a transformation process from a job shop to a cellular production was examined in a filter manufacturing factory. Rank order clustering (ROC) and single linkage clustering process (SLCP) of the group technology techniques were applied to establish two different manufacturing cells. Different production policies were tested on the manufacturing cells using a simulation approach. System performances were evaluated using the TOPSIS that is multiple criteria decision making techniques.

**Keywords:** group technology, cellular manufacturing system, clustering analysis, TOPSIS

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1\* Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya - senas@sakarya.edu.tr

2 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya - yazgan@sakarya.edu.tr

3 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya - byerolan@gmail.com

4 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya - erbasgamze@gmail.com

5 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sakarya - btlaltuntas@hotmail.com

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sanayi devriminden beri kullanılan geleneksel üretim sistemlerinden atölye tipi üretim sistemi, kullanılan genel amaçlı tezgâhlar sayesinde çok çeşitli ürünleri üretebilme esnekliğine sahiptir. Fakat tezgâhların fabrika içerisinde fonksiyonel gruplar halinde farklı yerlere yerleşiminden dolayı sınırlı alanlar oluşmakta, bunun doğal sonucu olarak da hammadde ve yarı mamullerin taşıma işlemi zorlaşmaktadır. Sonuçta üretim süresi artmakta, fazla miktarda süreç içi envanter ve verimsiz makine kullanımı ile karşılaşabilmektedir. Ayrıca imalat işlem sıralarının hemen hemen her aşamasında birbirine benzer tezgâhların yer alması, parçalara ait işlem rotalarının planlanmasını son derece zor hale getirmekte, bunun yanı sıra çizelgeleme ve kontrol bakımından sistem içerisinde çok sayıda alternatifin bulunması da söz konusu faaliyetleri zorlaştırmaktadır. Kısacası verimsizliği artmaktadır.

Akış tipi üretim sisteminin ise atölye tipi üretim sistemine göre verimliliğinin daha fazla olmasına rağmen farklı tipte ürünleri üretebilme esnekliğinin daha zayıf olduğu bilinmektedir. Üretimin yüklü miktarlarda gerçekleştirildiği bu sistemde üretim maliyetleri düşük, üretim miktarları da yüksek çıkmaktadır. Kullanılan tezgâhların ürüne özel olması ise müşteri istek ve ihtiyaçlarındaki değişimi karşılayacak yetenekte olmamasına neden olmaktadır.

Grup teknolojisi, geleneksel imalat sistemlerine ihtiyaç duydukları esneklik ve verimliliği kazandırmak üzere geliştirilen, atölye ve akış tipi üretim sistemlerinin bileşimi olan melez bir imalat teknolojisidir. Grup teknolojisi, tekrarlanan işlerdeki benzerlikleri bir araya toplayıp tasarımdan imalata, pazarlamadan satın almaya kadar üretimin her aşamasında bu benzerliklerden faydalanmayı amaçlar. Bu teknik, benzer olarak tanımlanan parçaları parça aileleri şeklinde gruplayarak, söz konusu parçaların tasarım ve imalat benzerliklerinden avantajlar elde etmeyi amaçlayan bir imalat felsefesidir. Grup teknolojisinin üretim alanındaki uygulaması olarak tanımlanan hücreli imalat ise benzer imalat gereksinimlerine göre parçaların parça aileleri olarak, bu parça ailelerinin imalat operasyonlarını gerçekleştirecek makinelerin de makine hücreleri olarak gruplandırılmasıdır.

Grup teknolojisinin üretimde uygulaması imalat hücrelerinin oluşturulmasıyla başlar. Hücre oluşturma problemindeki temel amaç, parça ailelerinin işlem görmek üzere atandıkları hücreden başka bir hücreye zor durumda kalmadıkça gönderilmemesi, yani tüm işlemlerinin atandıkları hücrelerde tamamlanacağı birbirinden bağımsız hücre oluşumlarının sağlanmasıdır.

Bugüne kadar imalat sistemlerine, en iyi hücre oluşumlarını sağlamak üzere çok sayıda model ve yaklaşım geliştirilmiştir.

Bu çalışma, filtre imalatı yapan ve geleneksel üretim sistemlerinden atölye tipi üretime sahip olan bir fabrikadaki ürünlerin grup teknolojisi yöntemlerinden ‘Sıralı Kümeleme (ROC: Rank Order Clustering)’ ve ‘Tek Bağlantılı Kümeleme (SLCP: Single Linkage Clustering Process)’ yöntemleri kullanılarak önce parça ailelerinin sonra da imalat hücrelerinin oluşturulmasını içermektedir. Bu iki yöntem ile elde edilen hücrelerin performansları, benzetim yönteminden faydalanılarak karşılaştırılmış ve çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution) yöntemi ile hücreli üretime geçiş metodunun hangi yöntemle yapılacağına şirket öncelikleri göz önüne alınarak karar verilmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI (LITERATURE REVIEW)

Bu bölümde, kendi çalışmamızda kullandığımız imalat hücresi oluşturma ile ilgili kümeleme yöntemlerinin, benzetimin ve çok ölçütlü karar verme yöntemlerinin kullanıldığı sınırlı sayıda çalışmaları ele alınmış ve bu çalışmalarda elde edilen bulgular sunulmuştur.

Güven ve diğerleri çalışmalarında üreticilerin mevcut fırsatlar içerisinde en etkili olanı seçmeyi amaçladıklarını belirtmişlerdir. Fabrika düzenlemesinin, verimliliği direkt olarak etkileyen faktörlerden bir tanesi olduğunu öne sürmüş ve fabrika düzenlemedeki herhangi bir hatanın sabit masraflarda, taşıma maliyetinde ve iş kazalarında artışa sebep olacağını savunmuşlardır. Çalışmalarında, tarım makineleri üreten bir firmanın, fabrika düzenlemesi problemi ele alınmıştır. Bu düzenlemedeki amaç, fabrikanın üretim kapasitesinden maksimum kazanç elde etmek, etkin çalışma yeri sağlamak, üretim süresi içerisindeki tıkanmalardan kaçınmak ve tezgâhlar arasında taşınan parçaların iş akışındaki gereksiz hareketlerini azaltmaktır [1].

Başaran ve Çelikçapa imalat hücrelerinin oluşturulmasında, parçaların üretim akışlarını gösteren ve ikili verilerden oluşan makine-parça matrisini oluşturmuşlardır. Bu matriste parçalar ve makineler, satırlar ve sütunlarla temsil edilmektedir. Bu ikili matris blok-köşegen matrise dönüştürülerek makine hücreleri ve parça aileleri belirlenmektedir. Çalışmada makine-parça görünüm matrisinin elde edilmesi için blok-köşegen matris oluşturma yöntemlerinden üç tanesini uygulamışlardır. Sonuçta da iki hücreli yeni bir yerleşim düzeni önermişlerdir [2].

Özyörük ve Gürü çalışmalarında atölye tipi üretim yaparak uçak gövdesi montajını gerçekleştiren bir firmayı ele almışlardır. Bu firmada üretimin etkinliğini artırmak için ROC yöntemi kullanılarak imalat hücreleri tasarlanmıştır [3].

Öztürk parça ailelerinin oluşturulmasında parçaların tasarım özellikleri yanında sinirsel ağlarla unsur tanıma sisteminin birlikte kullanılmasıyla, parçaların imalat özelliklerini de dikkate alan bir yaklaşım önermiştir. Önerilen bu yaklaşım ile tasarım modelinden üç boyutlu parça ailelerinin oluşturulduğu ifade edilmiştir [4].

Çörekçioğlu ve Sezen gerçek bir üretim sistemindeki verimliliğin değişimini farklı bir senaryo uygulayarak gözlemlediklerini ifade etmişlerdir. Çalışmalarında, 'sistemin verimliliğini olumsuz yönde etkileyen faktörler ve olaylar problemin esasını teşkil eder' düşüncesinden yola çıkarak, bir işletmenin pres sac üretim sistemini benzetim programı ile modellemişlerdir. Mevcut sistem ve benzetimle elde ettikleri sistem arasındaki farkları değerlendirerek sistemin geliştirilmesi noktasında önerilerde bulunmuşlardır [5].

Girginer ve Şahin bir spor tesisi işletmesinde, spor aletleri kullanımı sırasında oluşan bekleme (kuyruk) problemini ele almışlardır. Çalışmalarında, mevcut sistemin işleyişini bilgisayar ortamında modelleyerek, kapasite sorununa etki eden faktörleri benzetim tekniği ile belirlediklerini ifade etmişlerdir. Ayrıca, önerdikleri benzetim modeli ile spor tesisinin mevcut kapasitesine ilave yapmadan, pazarlama stratejileriyle kuyruk probleminde çözüm getirilebileceğini savunmuşlardır [6].

Yurdakul ve İç Türkiye'de otomotiv sanayisinde faaliyet gösteren ve İstanbul Menkul Kıymetler Borsası'nda işlem görmekte olan beş büyük ölçekli otomotiv firmasının bilançoları üzerinden finansal oranları dikkate alarak, firmaların derecelendirilmesine yönelik örnek bir çalışma yapmışlardır. Yıllar itibarıyla belirli performans ölçütleri altında TOPSIS yöntemini kullanarak firmaların sıralamasını yapmışlardır. Sonrasında ise, elde edilen sıralama puanları ile firmaların hisse senedi piyasasındaki fiyatlarını mukayese etmişlerdir [7].

Özgül ve Yazgan çalışmalarında Türkiye'de işletmelerine ERP sistemlerini kurmak isteyen firmalar için bir analiz ve değerlendirme yöntemi önermişlerdir. Seçim kriterleri oluşturularak beş farklı ERP yazılım firmasından bu kriterlere verilen cevaplar alınmış ve alınan cevaplar tek tek puanlanarak karar aşamasında da çok amaçlı karar verme yöntemlerinden TOPSIS ve AHP yöntemleri kullanılarak yazılım firmalarının hangisinin en uygun olacağı kararı verilmiştir [8].

Supçiller ve Çapraz çalışmalarında tedarikçi seçimi problemini ele almışlardır. Çalışmada, çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemlerini birlikte kullanarak bir işletmeye en uygun tedarikçinin seçimi problemi incelenmiştir [9].

Demireli çalışmasında yurt çapında yaygın olarak faaliyet gösteren kamu bankalarının performanslarını çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden TOPSIS yöntemi ile belirlemiştir [10].

### 3. YÖNTEMLER (THE METHODS)

Çalışmanın bu bölümünde uygulamada kullanılan yöntemlerden kısaca bahsedilecektir. Uygulamada öncelikle makine-parça ilişkilerine göre kümeleme yapılmış, daha sonra elde edilen kümelerle ilgili karar aşamasında kullanılmak üzere benzetim yöntemiyle veri elde edilmiş ve son olarak da elde edilen verilere göre kümelerin performansları değerlendirilip en iyi olan bulunmuştur. Bu akışa göre; kullanılan yöntemler kümeleme yöntemleri, veri toplama yöntemi ve değerlendirme yöntemi olarak üçe ayrılarak anlatılmıştır.

#### 3.1. Kümeleme Yöntemleri (The Clustering Methods)

##### 3.1.1. Sıralı kümeleme (ROC) yöntemi (The rank order clustering method)

Sıralı kümeleme (ROC) yöntemi, J. R. King tarafından makine-parça gruplarının oluşturulmasında kullanılmak üzere 1980 yılında geliştirilmiştir. Bu yöntemde de üretim akış analizi yönteminde olduğu gibi parçaların rota kartlarındaki bilgiler ışığında parçaların işlem ihtiyaçlarını göstermek üzere makine-parça matrisi (0-1 matrisi) oluşturulmaktadır. Daha sonra oluşturulan bu matrise King Algoritması uygulanarak parça aileleri ve makine grupları belirlenmektedir. Algoritma aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır ve algoritmanın akış diyagramı Şekil 1'de verilmiştir.

- **Adım 1:** Parça rota kartlarının yardımıyla makine-parça ilişki matrisi oluşturulur.  $X(i,j)$  olarak tanımlanan matrisin satırlarında makineler, sütunlarında parçalar yer alır. Matris değerleri 0 ve 1'den oluşur. Eğer  $i$ . makinede  $j$ . parça işleniyorsa  $X(i,j) = 1$ , işlenmiyorsa  $X(i,j) = 0$  değerini alır.
- **Adım 2:** Makine-parça ilişki matrisinde, her satıra sağdan sola doğru, her sütuna ise aşağıdan yukarı doğru, ikili düzende pozisyon ağırlığı verilir. Pozisyon ağırlığı  $2n$  şeklinde hesaplanır.

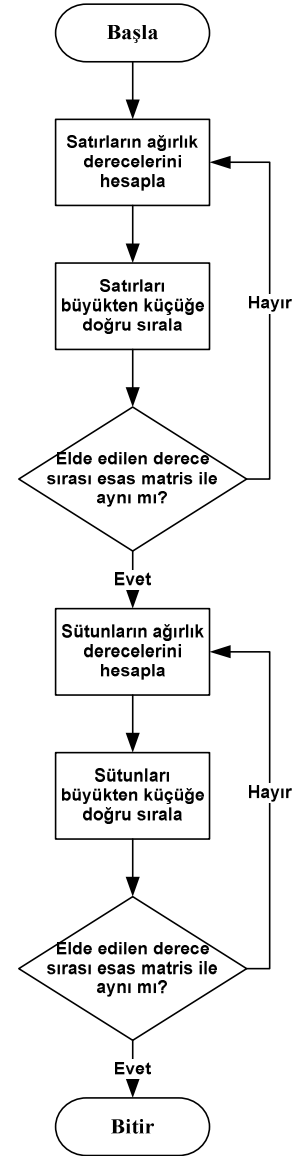
- **Adım 3:** Her satır elemanı için, sütunların pozisyon ağırlıkları ile satırın atanan değeri (0 ya da 1) çarpılarak, satır ağırlık dereceleri bulunur.
- **Adım 4:** Satırlar ağırlık derecelerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanır.
- **Adım 5:** Elde edilen düzenleme, bir önceki düzenleme ile aynı ise Adım 9'dan, değilse Adım 6'dan devam edilir.
- **Adım 6:** Her sütun elemanı için, satırların pozisyon ağırlıkları ile sütunun atanan değerleri (0 ya da 1) çarpılarak sütunun ağırlık dereceleri hesaplanır.
- **Adım 7:** Sütunlar büyüklük derecelerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanır.
- **Adım 8:** Elde edilen düzenleme, bir önceki düzenleme ile aynı ise işleme Adım 9'dan, değilse Adım 3'ten devam edilir.
- **Adım 9:** Parça aileleri ve makine hücreleri oluşturulur [11].

### 3.1.2. Tek bağlantılı kümeleme yöntemi (SLCP) (The single linkage clustering process)

Tek bağlantılı kümeleme yönteminde grupta, her bir makine çifti için hesaplanan benzerlik katsayılarını kullanan hiyerarşik bir yapı içerisinde yapılmaktadır. Benzerlik katsayısı her makine çifti için, her bir makineyi ayrı ayrı ve her iki makineyi birden ziyaret eden parça sayısı bakımından söz konusu iki makinenin ne kadar benzer olduğunu belirlemek amacıyla hesaplanmaktadır. İki makine arasındaki benzerlik katsayısı Denklem 1'deki gibi bulunur [12]:

$$S_{XY} = \frac{a}{b+c-a} \quad (1)$$

$S_{XY}$ : X ve Y makineleri arasındaki benzerlik katsayısı  
a: X ve Y makinelerinin her ikisinde birden işlem gören parça sayısı  
b: Yalnızca X makinesinde işlem gören parça sayısı  
c: Yalnızca Y makinesinde işlem gören parça sayısı

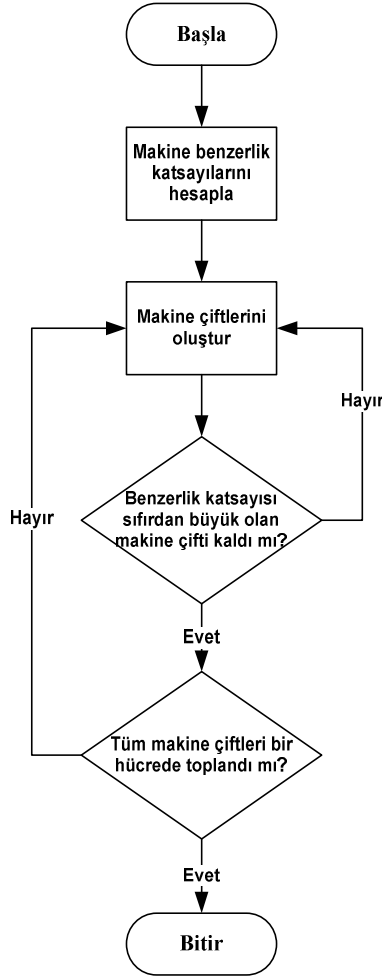


Şekil 1. Sıralı kümeleme yönteminin çalışma algoritması (The algorithm of rank order clustering)

Tek bağlantılı kümeleme algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır ve algoritmanın akışı Şekil 2'deki gibidir:

- **Adım 1:** Her makine çifti arasındaki benzerlik katsayıları hesaplanır.
- **Adım 2:** İlk makine hücrelerini oluşturmak üzere en benzer makine çifti seçilir.
- **Adım 3:** Sırayla benzerlik seviyeleri düşürülerek, makine çiftleri arasındaki benzerlik katsayılarına göre diğer makine hücreleri oluşturulur.

- **Adım 4:** Tüm makineler bir hücrede gruplanana kadar 3. adıma devam edilir.



Şekil 2. Sıralı kümeleme yönteminin çalışma algoritması (The algorithm of single linkage clustering process)

### 3.2. Benzetim Yöntemi ile Veri Toplama (Data Acquisition with Simulation Method)

Benzetim, gerçek bir sistemin bilgisayar ortamında modelini geliştirerek, sistemin davranışını anlamak veya değişik stratejileri değerlendirmek için geliştirilen bu model üzerinde denemeler yapmaktır. Bir başka tanıma göre de önerilen veya gerçek dinamik bir sistemin modellenmesi ve zaman içindeki davranışın gözlenmesi işlemidir. Bir benzetim çalışması, herhangi bir sistemin davranışının incelenmesi ve farklı parametrelerin çalışma durumuna etkilerinin araştırılması amacı ile yapılır. Benzetim çalışmalarında uygulanan iki adım; model tasarımı ve deneylerdir. Model tasarımı sistemin tüm önemli durumlarını temsil eden bir modelin

kurulmasıdır. Geçerli bir model kurulduktan sonra deneyler kısmı başlar. Benzetim genellikle mevcut olmayan veya pahalı ve zor gerçekleştirilebilecek sistemlerin denenmesine imkân sağlar. Özel amaçlı benzetim dilleri, düşük operasyon maliyetleri için yüksek hesaplama kabiliyetleri ve benzetim metodolojisindeki gelişmeler, benzetimi yönelem araştırmasında ve sistem analizinde en çok kullanılan ve kabul edilen metotlardan biri haline getirmiştir. Benzetiminin hangi şartlar altında kullanılması gerektiği birçok yazar tarafından incelenmiştir. Bunları genel olarak sınıflandırsak, benzetim aşağıdaki amaçlar için kullanılabilir [13]:

- Benzetim, karmaşık bir sistemin içyapısını veya karmaşık bir sistemdeki alt sistemi incelemek için kullanılabilir,
- Bilginin, organizasyonel ve çevresel değişikliklerin benzetimi yapılabilir ve modelin davranışı üzerinde bu değişikliklerin etkileri incelenebilir,
- Bir benzetim modelinin tasarımından elde edilen bilgiler, incelenen sistemin geliştirilmesine büyük ölçüde katkıda bulunabilir,
- Benzetim girdilerini değiştirerek ve sonuçları inceleyerek, hangi değişkenlerin daha önemli olduğu ve değişkenlerin birbirlerini nasıl etkiledikleri hakkında bilgi edinilebilir,
- Benzetim, analitik çözüm metodolojisini destekleyen bir bilgi verici araç olarak kullanılabilir,
- Benzetim, uygulamadan önce yeni tasarımlar ve politikalar deneyerek durumun ne olacağını görmek için kullanılabilir,
- Benzetim, analitik sonuçları test etmek için kullanılabilir.

### 3.3. TOPSIS Yöntemi ile Değerlendirme (The Evaluation with TOPSIS Method)

TOPSIS yöntemi çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden bir tanesidir. 1981 yılında Hwang ve Yoon tarafından geliştirilen bu tekniğin temelinde, pozitif ideal çözüme en kısa mesafe ve negatif ideal çözüme en uzak mesafedeki alternatifin seçilmesi yer almaktadır. TOPSIS yöntemi 6 adımdan oluşan bir çözüm sürecini içermektedir. Söz konusu adımlar şöyledir [14]:

- **Adım 1:** Farklı nitelik boyutlarını boyutsuz birimlere dönüştürerek nitelikler arası karşılaştırmalara olanak tanınmalıdır. Bunun için karar matrisindeki çıktılar normalize edilerek, normalize edilmiş karar matrisi elde edilir.
- **Adım 2:** Kriterlerin göreceli önemlerini gösteren ağırlıklar kümesi  $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ , karar matrisine yerleştirilir. Bu ağırlıklandırılmış matris (V), R matrisinin her sütununu karşılığı olan ağırlık değeri ile çarpılarak Denklem 2’de gösterildiği gibi elde edilir:

$$V_{m \times n} = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & v_{m2} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix}$$

$$V_{m \times n} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

- **Adım 3:** Bu adımda iki hipotetik alternatif,  $A^+$  ile  $A^-$  şöyle tanımlanır:  $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$  olmak üzere,  $A^+ = \{v_1^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+\}$ ; her kriterde en iyi değerleri alan alternatiftir. Burada  $v_j^+$  Denklem 3’e göre belirlenir.  $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-\}$  şeklinde tanımlanır. Burada  $v_j^-$  Denklem 4’e göre belirlenir:

$$v_j^+ = \begin{cases} \text{en çok}_i v_{ij}, & \text{eğer } j \text{ fayda kriteri ise} \\ \text{en az}_i v_{ij}, & \text{eğer } j \text{ maliyet kriteri ise} \end{cases} \quad (3)$$

$$v_j^- = \begin{cases} \text{en az}_i v_{ij}, & \text{eğer } j \text{ fayda kriteri ise} \\ \text{en çok}_i v_{ij}, & \text{eğer } j \text{ maliyet kriteri ise} \end{cases} \quad (4)$$

- **Adım 4:** Bu adımda alternatifler arasındaki ayırım ölçüsü için n-boyutlu Öklid uzayındaki uzaklıklar tanımlanır. Buna bağlı olarak her alternatifin ideal olandan uzaklığı Denklem 5’teki formülle hesaplanır. Benzer şekilde, her alternatifin negatif-ideal olandan uzaklığı ise Denklem 6’daki gibi hesaplanır:

$$S_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (5)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (6)$$

- **Adım 5:** Bir  $A_i$  alternatifinin  $A^+$ ’ya olan göreceli yakınlığı Denklem 7’deki gibi tanımlanır:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^+} \quad (7)$$

Burada  $0 \leq C_i^* \leq 1$  arasında yer alır. Hesaplanan  $C_i^*$  değeri ne kadar büyürse ilgili  $A_i$  alternatifinin o kadar fazla tercih edildiği söylenir. Eğer,  $A_i = A^+$  ise  $C_i^*$  değeri 1’e eşit olur. Eğer  $A_i = A^-$  ise o zaman  $C_i^* = 0$  değerini alacaktır. Kısaca, bir alternatif ideal alternatife yaklaştıkça değeri de 1’e yaklaşır.

- **Adım 6:** Karar probleminde her alternatif için ideale yakınlık ölçüsü ile hesaplanmış değerler azalan bir sıraya sokulduğunda en çok tercih edilen alternatif(ler)e ulaşılmış olacaktır [15].

#### 4. UYGULAMA (APPLICATION)

Bu bölümde önerilen sistem Sakarya’da faaliyet gösteren ve çok farklı çeşitte filtre imalatı yapan bir firmada geleneksel üretim yapan bir biriminin, hücresele imalata geçişi problemi ele alınmıştır. Grup teknolojisinde parça ailesi ve imalat hücresi oluşturma problemine ROC yöntemi ve SLCP yöntemiyle çözüm aranacak ve hücreler iki farklı teknikle oluşturulacaktır. Hücreler oluşturulduktan sonra fabrikanın hücresele düzene geçerken hangi tekniği kullanması gerektiğine, benzetim sonucu elde edilen performans değerlerine göre TOPSIS yöntemiyle karar verilecektir.

##### 4.1. ROC Yöntemi Kullanılarak İmalat Hücresi Oluşturma (Obtaining The Manufacturing Cell By Rank Order Clustering Method)

Öncelikli olarak, parçalar ile ilgili güncel veriler veri tabanından alınmıştır. İşletmede üretilen parça sayısının 2187 olduğu görülmüş ve bu parçalardan 73 adedi üretim hacmi ve dolayısıyla diğer ürünlere nispeten getirilerinin yüksek olması (toplam getirinin %80’inden fazlasını oluşturması) nedeniyle dikkate alınmıştır. Her bir işlemde kullanılan makineler ayrı ayrı yazılmış ve sütunlarda var olan işlemlerin yerini bu işlemlerin sahip olduğu makineler almıştır. ROC yöntemi uygulandıktan sonra örnek olarak ürünlerin bir kısmı Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. ROC yöntemi ile sıralama (The Ordering by Rank Order Clustering)

Ana Stok Kodu	Çapak Alma	O-kımlama	DMC	Paket	FMC	Mazak	Makine	M-kımlama	Tabanca	Sinümetik2	MOB	Titreşim	Yatay serit	OPM-sisel	OPM-skoç	Manuel-skoç	Yatay zımpara	Manuel-satine	Dikey serit	Manuel-cosmek skoç	Kalın-MOB	Tampon	Robot-12	OPM-parlak	Robot-1
101501/AU/0002072	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
101501/AU/0002071	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
101501/AU/0002964	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
101501/AU/0002940	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
101501/AU/0002965	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
101501/AU/0002968	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101501/AU/0002526	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101501/AU/0002977	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101501/AU/0002969	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101501/AU/0000617	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
101501/AU/0002455	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
101501/AU/0002370	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
101501/AU/0002597	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
101501/AU/0001723	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
101501/AU/0002070	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
101501/AU/0002069	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
101501/AU/0002954	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
101501/AU/0002939	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
101501/AU/0002956	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
101501/AU/0002576	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101501/AU/0002611	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
101501/AU/0001928	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
101501/AU/0002980	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
101501/AU/0000948	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
⋮																									
101501/AU/0002380	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Makine-parça matrisine bakılarak ürünler hücelere atanacaktır. Örneğin; dört ürüne (101501/AU/0002072, 101501/AU/0002071, 101501/AU/0002070, 101501/AU/0002069) bakılırsa DMC, Robot1 ve paket işlemleri görmektedirler. Bir hücreye bu ürünler alınıp DMC, Robot1 ve paket konulursa bu dört ürün o hücrede üretilebilir. Hücreler oluşturulurken ürünlerin ve makinelerin hücelere atanmasında sezgisel metotlardan da faydalanılır. Örneğin; 101501/AU/0000002,

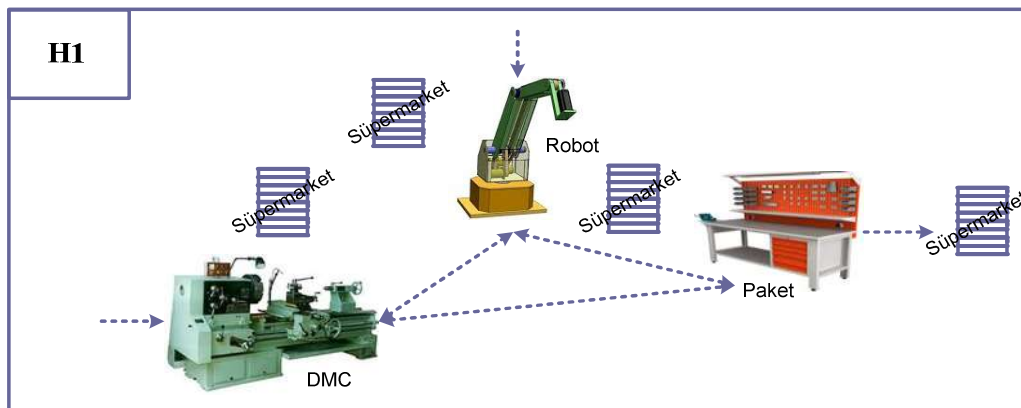
101501/AU/0002611, 101501/AU/0001928 kodlu ürünler Kalın MOB ve titreşim makinelerinde işlem görmektedir. Yalnızca bu üç ürün için makinelerin hücreye atanmasına karar verilmiştir. Bu şekilde firmanın çıkarları göz önünde bulundurularak 8 adet hücre oluşturulmuştur. Hücreler ve hücelere atanan ürünlerin ilk hali Tablo 2'deki gibidir.

Tablo 2. ROC yöntemi ile kurulan hücrelerin ilk hali (The first situation of manufacturing cells which is obtained by Rank Order Clustering)

Hücre Adı	Makineler	Ürünler	
Hücre 1 / H1	DMC	101501/AU/0002072	101501/AU/0002070
	Robot 1	101501/AU/0002071	101501/AU/0002069
	Paket		
Hücre 2 / H2	DMC	101501/AU/0002964	101501/AU/0002954
	Tampon	101501/AU/0002940	101501/AU/0002939
	Robot 12	101501/AU/0002965	101501/AU/0002956
	Paket		
Hücre 3 / H3	Manuel Kumlama	101501/AU/0002968	101501/AU/0002576
	Kalın MOB	101501/AU/0002526	101501/AU/0000002
	OPM Parlak	101501/AU/0002977	101501/AU/0002611
	OPM Skoç	101501/AU/0002969	101501/AU/0001928
	OPM Sisel		
	Manuel Skoç Paket		
Hücre 4 / H4	Manuel Cosmek Skoç	101501/AU/0000617	101501/AU/0002980
	Manuel Satine	101501/AU/0002455	101501/AU/0000948
	DMC	101501/AU/0002597	101501/AU/0002499
	FMC	101501/AU/0001723	101501/AU/0001719
	Dikey Şerit		
	Yatay Zımpara Paket		
Hücre 5 / H5	Çapak Alma	101301/AU/0000449	101301/AU/0001307
	Otomatik Kumlama	101301/AU/0000566	101301/AU/0001160
	Paket	101301/AU/0002738	101301/AU/0002054
Hücre 6 / H6	Çapak Alma	101501/AU/0001138	101501/AU/0002144
	Otomatik Kumlama	101501/AU/0001140	101501/AU/0003129
	Mazak Paket	101501/AU/0002143	
Hücre 7 / H7	FMC	101501/AU/0002912	101501/AU/0002910
	Çapak Alma Paket	101501/AU/0002911	101301/AU/0000436
Hücre 8 / H8	DMC	101501/AU/0000633	101501/AU/0000641
	Otomatik Kumlama	101501/AU/0000632	101501/AU/0000639
	Çapak Alma	101501/AU/0000640	
	Sinümerik 2 Paket		

Bu hücrelerin hiç birine atanamayan parçalar, performans değerlendirme için kurulan benzetim modeli ile hücrelerin verimliliği ve gerekli uygun koşullar göz önünde bulundurularak imalat hücrelerine atanmıştır.

(Gerekli uygun koşullarla ilgili firmadaki imalat mühendisinden yardım alınmıştır.) Hücre 1/H1'e ait örnek bir benzetim modeli Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Hücre 1/ H1'e ait örnek benzetim modeli (A simulation model which belongs to the Cell H1)



Yapılan benzetim sonucu elde edilen değerler ve yeni atamalar Tablo 3'teki gibidir. Hücrelerin son halleri ise Tablo 4'teki gibidir.

Tablo 3. Revizyon sonrası yapılan yeni atamalar (New assignments after revision)

Ürün Kodu	Atanabilme Şartı	Atanabilecek Hücreler	Atama İpucu	Atanan Hücre
101501/AU/0002727	DMC işlemi görmektedir. DMC Makinesi olan hücrelere Atanabilir.	1-2-8	H8 için DMC Verimlilik = 0,19587	8
101501/AU/0002597			H2 için DMC Verimlilik = 0,78232	1
101501/AU/0000948			H1 için DMC Verimlilik = 0,73649	1
101501/AU/0002370				1
101501/AU/0002980	Bu ürün hücre 4 te işlenmekte FMC işlemi için Hücre 7' ye gönderilmektedir.	7	FMC makinası sadece Hücre 7'de olduğu için atandı.	7
101501/AU/0001166	Bu ürünler 5-6-7 veya 8 hücrelerine tabanca ilave edildikten sonra bu hücrelerden birine atanabilir.	5-6-7-8	Makine sayısı en az Hücre 7'de görüldüğü için atandı.	7
101501/AU/0001167				
101501/AU/0000753	Bu hücreler 5-6-7 veya 8 hücrelerine M-Kumlama ilave edildikten sonra bu hücrelerden birine atanabilir.	5-6-7-8	Ürün ve makine sayısı bakımından Hücre 6'ya uygun bulundu.	6
101501/AU/0000755				
101501/AU/0002529				
101501/AU/0002864				
101501/AU/0002866	Bu ürünler sadece montaj işlemi görmektedirler. Bu yüzden benzetim sonuçlarında montaj verimliliklerine bakılmıştır. Bu ürünler hücre 2'nin montaj verimliliği en düşük görüldüğü için Hücre 2' ye atanmıştır.	1-2-3-4-6-7-8	H1 için Montaj Verimlilik = 0,20528 H2 için Montaj Verimlilik = 0,14805 H3 için Montaj Verimlilik = 0,22492 H4 için Montaj Verimlilik = 0,44417 H6 için Montaj Verimlilik = 0,34437 H7 için Montaj Verimlilik = 0,49254 H8 için Montaj Verimlilik = 0,08970	2
101501/AU/0003015				
101501/AU/0001996				
101501/AU/0002243				
101501/AU/0002865				
101501/AU/0003011				
101501/AU/0002244				
101501/AU/0003013				
101501/AU/0002867				
101501/AU/0002930				
101501/AU/0002931				
101501/AU/0002380				

Tablo 4. ROC yöntemi ile kurulan hücrelerin son hali (The final situation of manufacturing cells which is obtained by Rank Order Clustering)

Hücre Adı	Makineler	Ürünler	
Hücre 1 / H1	DMC	101501/AU/0002072	101501/AU/0002070
	Robot 1	101501/AU/0002071	101501/AU/0002069
	Paket	101501/AU/0002597	101501/AU/0002370
		101501/AU/0000948	
Hücre 2 / H2	DMC Tampon Robot 12 Paket	101501/AU/0002964	101501/AU/0001996
		101501/AU/0002940	101501/AU/0002243
		101501/AU/0002965	101501/AU/0002865
		101501/AU/0002954	101501/AU/0003011
		101501/AU/0002939	101501/AU/0002244
		101501/AU/0002956	101501/AU/0003013
		101501/AU/0002864	101501/AU/0002867
		101501/AU/0002866	101501/AU/0002930

Tablo 4. ROC yöntemi ile kurulan hücrelerin son hali (devam) (The final situation of manufacturing cells which is obtained by Rank Order Clustering) (continue)

Hücre 2 / H2		101501/AU/0002656 101501/AU/0003015	101501/AU/0002931
Hücre 3 / H3	Manuel Kumlama	101501/AU/0002968	101501/AU/0002611
	Kalın MOB	101501/AU/0002526	101501/AU/0001928
	OPM Parlak	101501/AU/0002977	101501/AU/0002969
	OPM Skoç	101501/AU/0000002	101501/AU/0002576
	OPM Sisel		
Hücre 4 / H4	Manuel Skoç Paket		
	Manuel Cosmek Skoç	101501/AU/0000617	101501/AU/0002980
	Manuel Satine	101501/AU/0002455	101501/AU/0000948
	DMC	101501/AU/0002597	101501/AU/0002499
	FMC	101501/AU/0001723	101501/AU/0001719
Hücre 5 / H5	Dikey Şerit Yatay Zımpara Paket		
	Çapak Alma	101301/AU/0000449	101301/AU/0001307
	Otomatik Kumlama Paket	101301/AU/0000566 101301/AU/0002738	101301/AU/0001160 101301/AU/0002054
Hücre 6 / H6	Çapak Alma	101501/AU/0001138	101501/AU/0003129
	Otomatik Kumlama	101501/AU/0001140	101501/AU/0000753
	Mazak	101501/AU/0002143	101501/AU/0000755
	Paket	101501/AU/0002144	101501/AU/0002529
Hücre 7 / H7		101501/AU/0002912	101301/AU/0000436
	FMC	101501/AU/0002911	101501/AU/0001166
	Çapak Alma	101501/AU/0002980	101501/AU/0001167
	Paket	101501/AU/0002910	
Hücre 8 / H8		101501/AU/0000633	101501/AU/0000639
	DMC	101501/AU/0000632	101501/AU/0002727
	Otomatik Kumlama	101501/AU/0000640	101501/AU/0002380
	Çapak Alma Sinümerik 2 Paket	101501/AU/0000641	

Tablo 4'ten de görüldüğü gibi ROC yöntemi ile 73 adet üründen 71 tanesi oluşturulan sekiz imalat hücrelerine atanabilmiştir. Geriye kalan iki ürünün bu hücrelere atanması uygun değildir. Elde edilen böyle bir hücresel imalat sistemine göre, bu ürünler birden fazla hücrede işlem görmek durumundadır. Atanamayan 101301/AU/0001508 ve 101501/AU/0002738 kodlu ürünler Hücre 4/ H4 ve Hücre 5/ H5'te işlem görerek üretilebilirler.

#### 4.2. SLCP Yöntemi Kullanılarak İmalat Hücresi Oluşturma (Obtaining The Manufacturing Cell By Single Linkage Clustering Process)

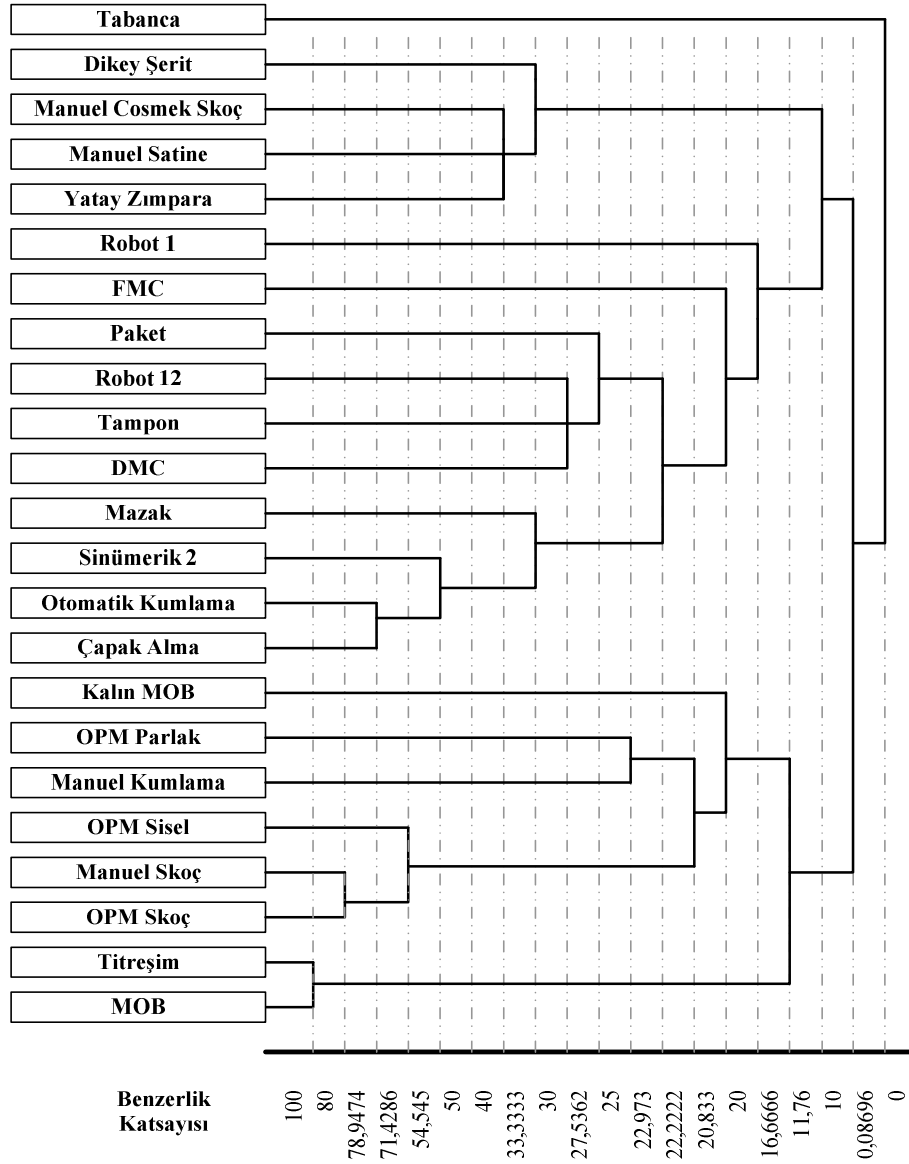
Hücre oluşturmak için önceki yöntem alternatif olarak SLCP yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, öncelikle her bir makine çifti için benzerlik katsayıları hesaplanır. Benzerlik katsayısı her bir makinede ayrı ayrı işlem görebilen parça sayısının ne kadar benzer olduğunu görebilmek için kullanılır. Benzerlik katsayısı büyük olan makineler ortak parça sayısının çok olduğunu gösterir ve bu makine çiftleri aynı hücre içerisinde

olacaklardır. Denklem 1 yardımıyla hesaplanmış olan bu benzerlik katsayıları Tablo 5'te gösterilmiştir.

Benzerlik katsayıları hesaplandıktan sonra bulunan katsayılar büyükten küçüğe doğru makine çiftleriyle birlikte sıralanır. Benzerlik katsayısı bulunan ve sıralanmış olan her bir makine ikilisi arasında yatay çizgi çizilir. Bu çizgilerin her biri birer hücreyi ifade eder ve buna dendogram adı verilir. Dendograma bakılarak hücrelere öncelikle makineler atanır. Sonra bu makineler tek tek incelenir ve makinelerde işlem göreceği olan ürünler atanır. Bu şekilde tek tek yapılan atamalar sonucu çizilen Şekil 4'teki dendogram yardımıyla 20 adet imalat hücresi ortaya çıkmıştır.

Tablo 5. Makine çiftlerinin benzerlik katsayıları (The similarity coefficients of machine pairs)

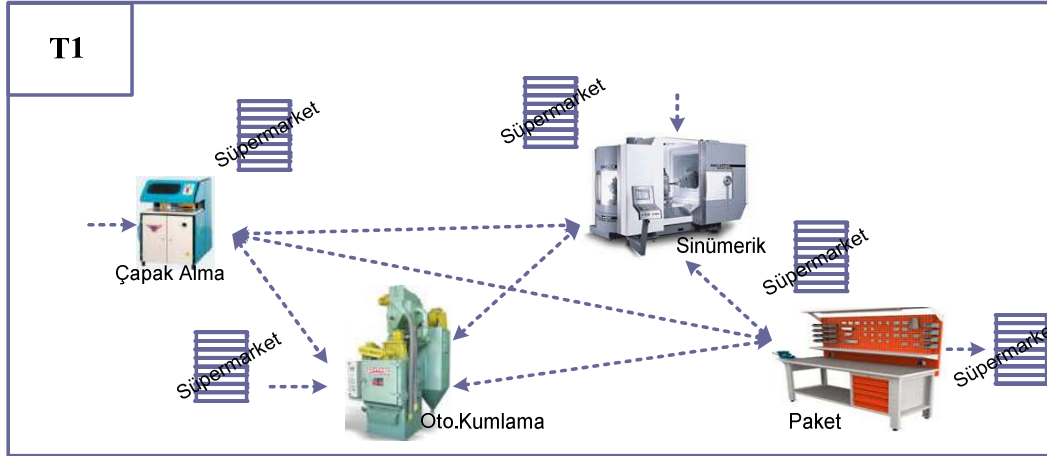
Makineler (İşlemler)	Benzerlik Katsayısı	Makineler (İşlemler)	Benzerlik Katsayısı
MOB- Titreşim	1,0000	Paket- Sinümerik2	0,0882
OPM Skoç- Manuel Skoç	0,8000	Paket- Tampon	0,0882
Çapak Alma- Otomatik Kuşlama	0,7895	Paket- Robot 12	0,0882
OPM Sisel- OPM Skoç	0,7143	Çapak Alma- Tabanca	0,0870
Otomatik Kuşlama- Sinümerik2	0,5455	DMC- Sinümerik2	0,0833
OPM Sisel- Manuel Skoç	0,5000	Çapak Alma- Man. Kuşlama	0,0800
Yatay Zımpara- Manuel Satine	0,5000	DMC- OPM Sisel	0,0800
Yatay Zımpara- Man. Cosmek Skoç	0,5000	Çapak Alma- Mazak	0,0769
Dikey Şerit- Manuel Satine	0,4000	DMC- Yatay Zımpara	0,0769
Dikey Şerit- Manuel Cosmek Skoç	0,4000	FMC- Yatay Zımpara	0,0769
Otomatik Kuşlama- Mazak	0,3333	Çapak Alma- DMC	0,0750
Manuel Satine- Man. Cosmek Skoç	0,3333	Paket- Mazak	0,0735
DMC- Tampon	0,3000	Paket- OPM Skoç	0,0735
DMC- Robot 12	0,3000	Paket- Manuel Skoç	0,0735
DMC- Paket	0,2754	FMC- Paket	0,0725
Çapak Alma- Sinümerik2	0,2609	Otomatik Kuşlama- DMC	0,0690
Manuel Kuşlama- OPM Parlak	0,2500	Otomatik Kuşlama- FMC	0,0625
Çapak Alma- Paket	0,2297	Paket- Manuel Satine	0,0588
OPM Sisel- OPM Parlak	0,2222	Paket- Manuel Cosmek Skoç	0,0588
Yatay Zımpara- Dikey Şerit	0,2222	Paket- OPM Parlak	0,0588
Çapak Alma- FMC	0,2083	Paket- Robot 1	0,0588
DMC- Robot 1	0,2000	DMC- MOB	0,0500
Manuel Skoç- Kalın MOB	0,2000	DMC- Titreşim	0,0500
Manuel Kuşlama- MOB	0,1667	Paket- Dikey Şerit	0,0441
Manuel Kuşlama- Titreşim	0,1667	DMC- Manuel Satine	0,0435
Otomatik Kuşlama- Paket	0,1449	DMC- Manuel Kuşlama	0,0400
Paket- Yatay Zımpara	0,1176	Paket- Tabanca	0,0294
FMC- Manuel Satine	0,1111	Paket- Makine	0,0147
Paket- OPM Sisel	0,1029	Paket- MOB	0,0147
DMC- Manuel Cosmek Skoç	0,0909	Paket- Titreşim	0,0147
DMC- OPM Parlak	0,0909	Paket- Yatay Şerit	0,0147
FMC- Sinümerik2	0,0909	Paket- Kalın MOB	0,0147
Paket- Manuel Kuşlama	0,0882	Diğerleri	0



Şekil 4. Tek bağlantılı kümeleme (SLCP) yöntemi dendogramı (Single Link Clustering Process Dendogram)

Bu hücreler incelendiğinde birleştirme ve çıkarma yapılabileceği saptanmıştır. Örneğin; ROC yönteminde olduğu gibi MOB ve Titreşime sadece bir ürün girdiği için dendogramda gösterilen sol üst köşedeki ilk yatay çizginin (yani hücrenin) yapılmasına gerek görülmemiştir. Hücre 3'teki ürünlerin aynısının Hücre 8'de yapılabildiği görülmüş bu yüzden Hücre 3 kurulmamıştır. Hücre 4'te ise sadece Çapak Alma ve OPM Sisel bulunduğu için kuruluma gerek görülmemiştir. Bu aşamada da benzetim yöntemi kullanılarak hücre sayısı azaltılmış ve toplamda yedi imalat hücresi oluşturulmuştur. Hücre 1/ T1'e ait örnek bir benzetim modeli Şekil 5'te görülmektedir.

Yapılan benzetim çalışmalarının neticelerine bakılarak SLCP ile oluşturulan hücrelerde işlem görece ürünlerin son halleri Tablo 6'da gösterilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi SLCP yöntemi ile 73 adet ürünün tamamı oluşturulan yedi imalat hücresine atanabilmiştir.



Şekil 5. Hücre 1/ T1'e ait örnek benzetim modeli (A simulation model which belongs to the Cell T1)

Tablo 6. Tek bağlantılı kümeleme yöntemi sonucunda elde edilen hücrelerin son hali (The final situation of manufacturing cells which is obtained by Single Linkage Clustering Process)

Hücre Adı	Makineler	Ürünler
Hücre 1/ T1	Çapak Alma	101501/AU/0000640
	Otomatik Kumlama	101501/AU/0000641
	Paket	101501/AU/0000639
	Sinümerik2	
Hücre 2/ T2	Manuel Kumlama	101501/AU/0002611
	OPM Sisel	101501/AU/0001928
	OPM Skoç	101501/AU/0000002
	OPM Parlak	101501/AU/0002968
	Manuel Skoç	101501/AU/0002526
	Kalın MOB	
	Paket	
Hücre 3/ T3		101501/AU/0001138
	Çapak Alma	101501/AU/0001140
	Otomatik Kumlama	101501/AU/0002143
	Paket	101501/AU/0002144
	Mazak	101301/AU/0001307
		101301/AU/0002738
Hücre 4/ T4		101501/AU/0002964
		101501/AU/0002940
		101501/AU/0002965
	DMC	101501/AU/0002954
	Paket	101501/AU/0002939
	Tampon	101501/AU/0002727
	Robot 12	101501/AU/0002956
		101501/AU/0002864
		101501/AU/0002866
		101501/AU/0002656
	101501/AU/0003015	
	101501/AU/0001996	
	101501/AU/0002243	
	101501/AU/0002865	
	101501/AU/0003011	
	101501/AU/0002244	
	101501/AU/0003013	
	101501/AU/0002867	
	101501/AU/0002930	
	101501/AU/0002931	

Tablo 6. Tek bağlantılı kümeleme yöntemi sonucunda elde edilen hücrelerin son hali (devam) (The final situation of manufacturing cells which is obtained by Single Linkage Clustering Process) (continue)

Hücre 5/ T5	Çapak Alma	101501/AU/0002912	101301/AU/0000436
	DMC	101501/AU/0002911	101301/AU/0001508
	FMC	101501/AU/0002910	101501/AU/0002738
	Paket	101501/AU/0001166	101501/AU/0002980
		101501/AU/0001167	
Hücre 6/ T6	Paket	101501/AU/0002499	101501/AU/0000617
	Yatay Zımpara	101501/AU/0001719	101501/AU/0002455
	Dikey Şerit	101501/AU/0001723	
	Manuel Satine		
	Manuel Cosmek Skoç		
Hücre7/ T7	Çapak Alma	101501/AU/0002072	101501/AU/0000632
	Otomatik Kumlama	101501/AU/0002071	101501/AU/0002370
	DMC	101501/AU/0002070	101501/AU/0002597
	FMC	101501/AU/0002069	101501/AU/0002980
	Paket	101501/AU/0000633	101501/AU/0000948
	Sinümerik2	101501/AU/0002597	
	Yatay Zımpara	101501/AU/0000948	
	Manuel Satin		
	Manuel Cosmek Skoç		
	Robot 1		

### 4.3. Yöntemlerin Performanslarının Değerlendirilmesi (Evaluating the Performances of the Methods)

#### 4.3.1. Benzetim yöntemi ile veri elde etme (Obtaining data by the method of simulation)

Bu çalışmadan ele alınan, SLCP ve ROC yöntemlerinin sistem performansı üzerinde nasıl bir etki ettiğini ölçmek amacıyla her iki yöntemle edilen imalat hücreleri için birer benzetim modeli hazırlanmıştır. Örnek benzetim modelleri Şekil 3 ve Şekil 5'te görülmektedir.

#### 4.3.2. TOPSIS yöntemi ile performans değerlendirme (Evaluating the performance by topsis method)

Sistem performansını ölçmek için, verimlilik, işlem görmeyi bekleyen ürün sayısı, işlem görmek için ortalama bekleme süresi, çevrim süresi, toplam işlem gören ürün sayısı, fazla makine sayısından oluşan kriterler ve bu kriterlerin ağırlıkları firma yetkilileri ile Tablo 7'deki gibi belirlenmiştir. Kriterlerden bir kısmı en çok olması istenirken (verimlilik vb.) diğerlerinin en az olması (çevrim süresi vb.) istenilmektedir.

Benzetim sonucunda elde edilen veriler Tablo 8'deki karar matrisinde görülmektedir. Firmadan alınan ürünlere ait standart zamanlar ve satış rakamları doğrultusunda, oluşturulan tüm hücrelerin performans

değerlerinin görülebilmesi amacı ile hücrelerin her biri için bir haftalık süreyi kapsayacak şekilde benzetim modeli oluşturulmuştur. Elde edilen bu verilere TOPSIS yöntemi kullanılarak her iki yöntemin sistem performansını nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Tablo 7. Performans kriterlerinin ağırlıkları (The weights of the performance criteria)

Kodlama	Performans Kriterleri	Ağırlıkları
1	Verimlilik	0,15
2	İşlem görmeyi bekleyen ortalama ürün sayısı	0,10
3	İşlem görmek için ortalama bekleme süresi	0,05
4	Çevrim süresi	0,30
5	Toplam işlem gören ürün sayısı	0,20
6	Fazla makine sayısı	0,20

Tablo 8. Karar matrisi (The decision matrix)

Yöntemler/Kriter Kodları	1	2	3	4	5	6
SLCP	0,4030284	0,867867	1,941488	15,78060	7412	12
ROC	0,4703850	5,562109	10,57822	9,274039	8957	6

Elde edilen veriler standart hale dönüştürüldüğünde, Tablo 9'daki değerlere ulaşılır.

Tablo 9. Standartlaştırılmış karar matrisi (The standardized decision matrix)

Yöntemler/Kriter Kodları	1	2	3	4	5	6
SLCP	0,6506437	0,154167	0,180521	0,862141	0,637533	0,894427
ROC	0,7593832	0,988045	0,983571	0,506668	0,770423	0,447214

Standartlaştırılmış veriler ve ağırlıkları dikkate alındığında, ağırlıklandırılmış standart karar matrisi değerlerine ulaşılır. Değerler Tablo 10'daki gibidir.

Tablo 10. Ağırlıklı standart karar matrisi (The weighted standard decision matrix)

Yöntemler/Kriter Kodları	1	2	3	4	5	6
SLCP	0,0975966	0,015417	0,009026	0,258642	0,127507	0,178885
ROC	0,1139075	0,098804	0,049179	0,152001	0,154085	0,089443

TOPSIS yöntemi uygulandığında, ideal değerler ve sonuç değerleri sırasıyla Tablo 11 ve Tablo 12'deki gibi bulunur.

Tablo 11. İdeal (A\*) ve negatif İdeal (A<sup>-</sup>) çözümlerin oluşturulması (Calculating the ideal and negative ideal solutions)

Kriter Kodları	1	2	3	4	5	6
A*	0,113907	0,015417	0,009026	0,152001	0,154085	0,089443
A <sup>-</sup>	0,097597	0,098804	0,049179	0,258642	0,127507	0,178885

Tablo 12. Ayırım ölçülerinin hesaplanması (Calculating the relative closeness)

Yöntemler	S*	S <sup>-</sup>	C*
SLCP	0,1426356	0,092551	0,393522
ROC	0,0925514	0,142636	0,606478

TOPSIS işlemleri sonrasında ise çıkan sonuçlara göre, C\* değeri 1'e yakın olan ROC yönteminin, SLCP yöntemine göre firma açısından daha iyi olduğu görülmektedir. Buna göre işletmenin imalat hücrelerini oluştururken ROC yöntemini kullanmasının diğerine göre, belirlenen performans kriterleri açısından daha avantajlı olduğu söylenebilir.

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, mevcut durumda atölye tipi ile üretim yapan bir firmanın hücresele üretime geçiş süreci ele alınmıştır. Atölye tipi üretimden hücresele üretime geçerken, imalat hücrelerinin nasıl oluşturulacağı önemli bir sorundur. İmalat hücrelerinin oluşturulmasıyla ilgili literatürde birçok farklı teknik önerilmektedir. Bu tekniklerin genel anlamda birbirlerine göre üstünlükleri yoktur. İncelemeler genellikle örnek olay tabanlı yapılmıştır. Çalışmada ele alınan uygulama örneğinde imalat hücrelerinin oluşturulması için ürün sayısının fazla olmasından dolayı kümeleme analizini

uygulamanın uygun olduğuna karar verilmiştir. Buna istinaden, öncelikli olarak, kümeleme problemi ele alınmış ve bunun için de literatürde bulunan yöntemlerden ROC ve SLCP kümeleme yöntemleri seçilmiştir. Bu yöntemler ile ayrı ayrı hücreler oluşturulmuş, her hücre için parça ve makinelere karar verilmiştir. Bundan sonraki aşama, imalat hücrelerinin performanslarının karşılaştırılarak hangi yöntemin daha iyi olduğunun belirlenmesidir. Önerilen hücrelerin benzetim modelleri kurularak performans ölçümü için gerekli olan imalat verileri elde edilmiştir. Sistem performanslarını karşılaştırmak için de TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. TOPSIS sonucu elde edilen ayırım ölçülerine göre ROC yöntemiyle elde edilen sonucun yaklaşık 0,61, yani 1'e daha yakın çıkması, belirlenen kriterlere göre bu yöntemle elde edilen hücrelerin performansının daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. Sonuçta, ele alınan işletmenin imalat hücrelerini oluştururken ROC kümeleme yöntemini kullanılmasının daha faydalı olacağı önerisi firmaya sunulmuştur.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Y. Güven, B. Kayışoğlu, E. Tanrıtanır ve B. Yılmaz, "Tarım Alet ve Makineleri Üreten Örnek Bir Fabrikada Hücresel imalat Sistemi ile Grup Teknolojisinin Bilgisayar Destekli Uygulaması", *Tarım Bilimleri Dergisi*, 10(27), 2004.
- [2] B. Başaran ve F. O. Çelikçapa, "Bir Vinç Atölyesinde İkili Verilere Dayalı Hücre Oluşturma Yöntemleriyle Hücrelerin Oluşturulması", *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32, 135-151, 2009.
- [3] B. Özyörük, "Uçak Gövdesi Montaj Alanı İçin Hücre Tasarımı ve Hücre Etkinliğinin Belirlenmesi", *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Dergisi*, 3(4), 306-614, 2010.
- [4] N. Öztürk, "Sinirsel Ağlar ile Parça Ailelerinin Oluşturulması", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 8(1), 2003.
- [5] S. Çörekçioğlu ve B. Sezen, "Üretim Etkinliğinin Arttırılmasında Simülasyon Yaklaşımı ve Üretim Atölyesinde Uygulama", *Kafkas Üniversitesi İİBF Dergisi*, 1(2), 2011.
- [6] N. Girginer ve B. Şahin, "Spor Tesislerinde Kuyruk Problemine Bir Benzetim Uygulaması", *Spor Bilimleri Dergisi*, 18, 13-30, 2007.
- [7] M. Yurdakul ve Y. T. İç, "Türk Otomotiv Firmalarının Performans Ölçümü ve Analizine Yönelik Topsis Yöntemini Kullanan Bir Örnek Çalışma", *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18(1), 2003.
- [8] Ö. Ö. Özgül ve H. Yazgan, "Bir İşletme için TOPSİS ve AHP Yöntemleri ile ERP Yazılımının Seçimi", 26. Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Konferansı, 2006.
- [9] A. A. Supçiller ve O. Çapraz, "AHP-TOPSIS Yöntemine Dayalı Tedarikçi Seçimi Uygulaması", *Ekonometri ve İstatistik*, 13, 2011.
- [10] E. Demireli, "Topsis Çok Kriterli Karar Verme Sistemi: Türkiye'deki Kamu Bankaları Üzerine Bir Uygulama", *Girişimcilik ve Kalkınma Dergisi*, 5, 101-112, 2010.
- [11] B. Özyörük ve G. Gürü, "Uçak Gövdesi Montaj Alanı İçin Hücre Tasarımı ve Hücre Etkinliğinin Belirlenmesi", *Türk Bilim Araştırma Vakfı Dergisi*, 3(4), 306-314, 2010.
- [12] D. D. Bedworth, M. R. Henderson ve P. M. Wolfe, "Computer Integrated Design and Manufacturing", Singapore: McGraw-Hill, 1991.
- [13] J. Banks, J. S. Carson, B. L. Nelson ve D. M. Nicol, "Discrete-Event System Simulation", New Jersey: Prentice Hall, 1984.
- [14] H. Uygurtürk ve T. Korkmaz, "Finansal Performansın TOPSIS Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi İle Belirlenmesi: Ana Metal Sanayi İşletmeleri Üzerine Bir Uygulama", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7(2), 2012.
- [15] Y. Çınar, "Çok Kriterli Karar Verme ve Bankaların Mali Performanslarının Değerlendirilmesi Örneği", Ankara: Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme ABD, 2004.