

Bir Mobilya Fabrikasında Hücre Tasarımı ve Hücre Etkinliğinin Belirlenmesi*Determination of Cell Design and Cell Efficiency in A Furniture Factory*Simge YOZGAT¹Ediz ATMACA²**Öz**

Günümüzde, işletmeler artan rekabete uyum sağlayabilmek ve müşterilere daha hızlı cevap verebilmek için geleneksel üretim yöntemlerinin dışına çıkmak zorunda kalmaktadır. Üretkenliği arttırmak için benzer parça ve makinelerin bir araya getirilmesi felsefesine dayanan grup teknolojisi birçok işletme tarafından yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Hücresel imalat yaklaşımında, parçalar, tasarım ve imalat açısından benzerliklerine göre gruplandırılıp parça aileleri haline getirilirken, makineler ise iş akışına göre hücrelerde gruplandırılmaktadır. Böylece, hazırlık zamanları ve ara stoklardaki yığılmalar azalarak, üretim planlama ve çizelgelemede etkinlik artışı gözlenmektedir. Bu da üretimde verimliliği sağlar. Yapılan çalışmada, hat akışı üretim sistemine sahip olan bir mobilya fabrikasının taşımalarından kaynaklanan kayıplarını önlemek ve üretimde verimliliği artırmak amacıyla hücresel imalata geçiş için bir ön hazırlık yapılmıştır. Fabrikada makine grupları, parça aileleri ve hücre oluşum problemi üzerinde durulmuştur. Grup etkinliğini sağlamayı hedefleyen bir matematiksel model yardımıyla problem çözümlenmeye çalışılmıştır. Matematiksel model sonuçlarının mevcut durum ile karşılaştırılması yapılarak, firmaya önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hücresel üretim, Makine-parça gruplaması, Grup etkinliği**ABSTRACT**

Today, businesses are forced to go beyond traditional production methods in order to be able to adapt to increasing competition and respond to customers faster. Group technology based on the philosophy of bringing together similar parts and machines to increase productivity is widely used by many businesses. In the cellular manufacturing approach, the parts are grouped according to their similarities in terms of design and manufacturing and turned into part families, while the machines are grouped into cells according to work flow. Thus, setup times and stocks in buffer stocks are reduced while efficiency increase in production planning and scheduling is observed. This also ensures the efficiency in production. In this study, a preliminary work was made for the transition to cellular manufacturing in order to prevent losses caused by the transportation of a furniture factory having a line flow production system and to increase efficiency in production. Machine groups, parts families and cell formation problem are discussed in the factory. The problem has been tried to be solved using a mathematical model which aims to provide the group efficiency. Mathematical model results were compared with the current situation and suggestions were made to the firm.

Keywords: Cellular production, Machine-parts grouping, Group efficiency

Tür: Araştırma makalesi

Gönderim tarihi: 13.03.2018

Kabul tarihi: 14.12.2018

¹ Araş.Gör., Çankaya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, simge.yozgat@gmail.com
(ORCID: 0000-0001-6171-9615)

² Doç.Dr., Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, hediz@gazi.edu.tr (ORCID: 0000-0002-0671-3939)

1. GİRİŞ

Grup teknolojisi üretimde benzer özellikler taşıyan ürünlerin bir araya getirilip gruplandırılması ile yüksek derecede ekonomik fayda sağlayan ve verimliliği artıran bir kavramdır. Grup teknolojisi, üretimde temin süresinin uzun veya belirsiz olduğu karmaşık problemlerde etkili çözüm önerisi sunan bir üretim stratejisidir. Taşımalardan ve hazırlık zamanlarından kaynaklanan kayıpların önlenmesi hedeflenerek iş kalitesinde artış ve düşük maliyetli üretim, grup teknolojisinin avantajları arasındadır. Grup teknolojisinin, üretimin her aşamasında uygulanabilme esnekliği vardır. Grup teknolojisinin atölye düzeyinde uygulanmasına ise hücreli üretim denmektedir. Hücreli üretim, üretimde işlenecek parçaların ve parçaları işleyecek makinelerin bir araya getirilmesi prensibiyle çalışır. Parçalar, parça aileleri biçiminde gruplandırılırken makineler, makine hücreleri biçiminde gruplandırılır. Böylece, tasarım ve/ya üretim açısından benzer özellik taşıyan ürünlerin bir araya getirilmesi ile üretimde israfın önüne geçilmeye çalışılır. İşletmelerde grup teknolojisine olan ihtiyaç günden güne artış göstermektedir. Değişken müşteri taleplerine uyum sağlama amacıyla artan ürün çeşitliliği, üretimde daha ekonomik araç ve yöntemlere olan ihtiyacı artırmıştır. Üretim hızındaki artışın yanı sıra daha düşük maliyetle üretimi de mümkün kılan hücreli imalat, günümüz işletmeleri için kaçınılmazdır.

Hücre oluşum problemi için geçmişten günümüze birçok algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algoritmaların çözüm kalitesini ölçmek için literatürde birçok ölçüt mevcuttur. Bu ölçütlerden en temel olanları, grup verimliliği, grup etkinliği ve Grup Kapasite İndeksi (GCI) olarak verilmiştir. Grup verimliliği ilk olarak Chandrasekharan ve Rajagopalan (1989, s.1035-1052) tarafından önerilmiştir ve şu şekilde formüle edilmiştir;

$$\eta = q\eta_1 + (1 - q)\eta_2$$

- η : Grup verimliliği
- q : Makine yükünün ağırlığını ve hedef fonksiyonunda hücre içi hareketi yansıtan bir katsayı ($0 \leq q \leq 1$). Genellikle 0.5'e eşit olarak alınır, bu da makinenin yükünü en yükseğe çıkarmanın ve hücreler arası hareketi en aza indirmenin aynı derecede önemli olduğu anlamına gelir.
- η_1 : Makinelerin hücre içi yükünü gösteren bir oran (veya hücre içi birlerin, hücre içi toplam eleman sayısına oranı)
- η_2 : Parçaların hücre içi hareketi ile ters orantılı bir oran (veya hücre dışı sıfırların sayısının, hücre dışı toplam eleman sayısına oranı)

Literatürde en çok kullanılan performans ölçütlerinden biri olan grup etkinliği ilk olarak Kumar ve Chandrasekharan (1990, s. 233-243) tarafından önerilmiştir ve aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

$$\tau = \frac{n_1^{in}}{n_1 + n_0^{in}}$$

- τ : Grup etkinliği
- n_1 : Makine - parça matrisindeki toplam operasyon sayısı (1'ler)
- n_1^{in} : Hücre içi toplam operasyon sayısı (hücre içi 1'ler)
- n_0^{in} : Hücre içi toplam boşluk sayısı (hücre içi 0'lar)

Bir diğer ölçüt olan GCI, doktora tez çalışmasında Hsu ve Seifoddini (1994, s.119) tarafından önerilmiştir.

$$GCI = \frac{n_1 - n_1^{out}}{n_1}$$

n_1^{out} : İstisnai eleman sayısı (hücre dışı 1'ler)

n_1 gösterimi ise grup etkinliği hesaplamasında verildiği gibidir.

Parça sınıflandırılmasında tasarım ve üretim olmak üzere iki çeşit özellikten yararlanılmaktadır. Tasarım özelliği parçanın şekli, yapısı, boyutları ve malzemenin cinsi gibi genel özelliklerini içerir. Üretim özelliği ise işlem sırası, işlem süreleri ve parti büyüklükleri gibi özellikleri içerir. Parça sınıflandırılmasında tasarım niteliklerine dayanan yöntemler görsel kontrol, parça sınıflandırma ve kodlama sistemlerini içerir. Tasarım özelliklerinin yetersiz kaldığı durumlarda ise üretim özelliklerine bağlı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları matris oluşturma, matematiksel programlama ve graf teorisisidir. Matris yöntemleri karmaşık problemlerin çözümünde çeşitli sınırlamalar getirmektedir. Bu yüzden daha sonrasında birçok matematiksel model geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada ise parça – makine ailelerini oluşturmak üzere bir matematiksel model önerilmiştir.

Geçmişte yapılan çalışmalara bakacak olursak, Islam ve Sarker (2000, s. 699-720) parça sınıflandırılmasında matris oluşturarak yeni bir benzerlik katsayısı ölçüm yöntemi geliştirmiş ve bu yöntem birbirine bağlı hücre gruplamasında kullanılmıştır. Hücre oluşum problemlerinde kullanılmak üzere hücre üretiliminde bu benzerlik katsayısını kullanan bir matematiksel model geliştirilmiştir ve sezgisel yöntemlerle kıyaslanmıştır.

Adil ve Rajamani (2001, s. 305-317) parçaların hücre içindeki hareket maliyetlerini en aza indiren doğrusal olmayan bir matematiksel model geliştirmiştir. Hareket maliyetlerinin hesaplanmasında, üretim miktarı, hücre büyüklüğünün hücre içi harekete etkisi, işlem sırasının etkisi ve aynı makineye çok sayıda arka arkaya olmayan ziyaretler dikkate alınmıştır. Problemin çözümü için sezgisel yöntemlere başvurulmuştur. Tavlama Benzetimi Algoritması uygulanarak sonuçlar yayımlanmış diğer sonuçlarla kıyaslanmıştır.

Adenso-Díaz vd (2001, s. 227-240) alternatif rotaların varlığında parça tipleri için makine hücrelerinin konfigürasyonlarını incelemişlerdir. Bu kapsamda, doğrusal olmayan tam sayı programlama modeli geliştirilmiştir. Modelin hedef fonksiyonu toplam taşıma maliyetlerini en azlamaya çalışmaktadır. Model, 0-1 tamsayılı değişkenlere ve çok sayıda kısıta sahip olduğu için Tabu Arama sezgisel algoritması ile

çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar, literatürde varolan Tavlama Benzetimi sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Albadawi vd (2005, s. 3-21) makine hücrelerini ve parça aileleri oluşturmak için iki aşamadan oluşan bir matematiksel model önermiştir. İlk aşamada benzerlik katsayısı yöntemi kullanılarak makine hücreleri oluşturulmuştur. İkinci aşamada tamsayı programlama modeli kullanılarak makine hücrelerine parça ailelerinin atanması sağlanmıştır.

Mahdavi vd. (2007, s. 662-670) hücresel üretim sisteminde hücre oluşumu için hücrenin kullanım oranını dikkate alan bir matematiksel model önermektedir. Amaç fonksiyonu istisnai elemanları ve hücre içi boşlukları en azlamaya çalışmaktadır. Daha yüksek performansta hücre kullanımı sağlanmıştır.

Agustín-Blas vd (2011, s. 484-495) grup teknolojisine dayanan hücre oluşum problemi için yeni bir matematiksel model önermişlerdir. Önerilen model, personelin farklı becerilerini dikkate alır ve bir hücredeki bir kaynak hakkında asgari toplam bilgi ve belirli bir personelin bir hücrenin kaynakları hakkında sahip olması gereken asgari bilgi ile ilgili iki zor kısıtı dikkate almaktadır. Böylece, elde edilen sonuçlar minimum kaliteyi garanti etmektedir. Problemi çözmek için ise hibrid gruplama genetik algoritması önerilmiştir.

Krushinsky ve Goldengorin (2012, s. 1-16) hücre oluşum problemi, iki karışık tamsayı programlama modeli ile formüle edilip bu modellerin orta ölçekli problemlerde uygulandığında optimum sonuca erişilebildiği gösterilmiştir. Modellerin verimlilikleri tartışılmıştır ve özdeş makinelerin de bu matematiksel model aracılığı ile modellenebileceği ayrıca belirtilmiştir.

Shiyas ve Pillai (2014, s.149-158) üretim hücrelerinin tasarımı için hücrelerin heterojenliği ve hücreler arası hareketler gibi çakışan iki hedefi göz önüne alan bir matematiksel model sunmuş ve analiz etmiştir. Optimizasyon paket programları ile çözdürülmüş olan model için çözüm metodolojisine dayalı bir Genetik Algoritma geliştirilmiştir. Bu model karar vericiye farklı alternatiflerden uygun bir hücre tasarımı seçme esnekliği sunmaktadır.

Rajesh vd (2017, s. 1469-1477) hücre oluşum probleminde, parçaların benzerlikleri ve farklılıkları göz önünde bulundurularak, benzerlik katsayısına dayalı hücre grupları elde etmek için yeni bir yaklaşım önermektedir. Bu yaklaşım, Derece Sıralama ve Kümeleme Analizi (ROC) gibi bazı geleneksel yaklaşımlarda var olan birçok dezavantajı ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca önerilen yöntem ile ROC yaklaşımı arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Makine kullanımı, gruplama etkinliği ve hücre verimliliği yüzdesi, performans ölçümleri olarak kullanılmıştır. Önerilen yöntem için beş saniye gibi kısa bir süre içinde herhangi bir hücre oluşum problemini çözebilecek kabiliyette olan bir Java Programı geliştirilmiştir.

Kong vd (2018, s. 77-88) hücre oluşum probleminde, yeni benzerlik katsayısı ölçütlerine sahip iki-modlu modülerlik tabanlı parça ve makinelerin kümelenmesi

yöntemini önermiştir. Parçaların makinelerden geçiş sıklığı bilgisi dahilinde, parçaların sıra sayılarını gösteren makine - parça matrisi kullanılmıştır. Bu yöntem ile parça ve makinelerin modülerliği en üst düzeye çıkarılarak optimal bir kümeleme seviyesi hesaplanabilmektedir.

Literatürde bahsi geçen performans ölçüm yöntemlerinden biri olan grup etkinliğini hedef fonksiyonunda en büyükleyen, Bychkov ve Batsyn (2018, s.112-120) tarafından geliştirilen bir tamsayı kesirli programlama modeli hücre oluşumu problemi için önerilmiştir. Doğrusal olmayan bu model Dinkelbach yaklaşımı kullanılarak doğrusallaştırılmış ve karışık tamsayılı doğrusal programlama modeline dönüştürülmüştür. Özellikle bu çalışma, yapılan çalışmaya yeni bir bakış açısı kazandıran önemli sonuçlara sahiptir. Bahsi geçen tamsayı kesirli programlama modeli, bu çalışmanın uygulama aşamasında kullanılmıştır. Optimal makine - parça gruplaması bulunarak hücreyel imalat sisteminin uygulanabilirliği üzerinde durulmuştur.

2. UYGULAMA

Hücre tasarımı ve etkinliğinin belirlenmesi için uygulama yeri olarak Ankara'da hizmet vermekte olan bir mobilya fabrikası seçilmiştir. Burada farklı üretim süreçleriyle üçyüzden fazla ürün üretilmektedir. Firma akış tipi üretim sistemine sahiptir. Talep tahminleri, planlama, satış ve pazarlama birimlerinin ortaklaşa bilgi alışverişi sonucu gerçekleştirilmektedir. Bu tahminlerden yola çıkılarak talebi yüksek olan ürünler için düşük miktarda stoka üretim yapılmaktadır. Mobilya sektörünün doğasından kaynaklı mevsimsel trende sahip olan talep miktarlarında ise değişiklikler gözlemlenmektedir. Bu da üretim hatlarında kargaşaya neden olmaktadır.

İşletmede üretim; Makine Hattı 1, Makine Hattı 2 ve Temizlik – Montaj Hattı olmak üzere 3 farklı üretim hattı üzerinde gerçekleştirilmektedir. Tüm ürünler üretimin son aşaması olarak Temizlik – Montaj hattından geçmek zorundadır. Fakat bazı ürünler Makine Hattı 1'den direkt olarak Temizlik – Montaj hattına geçerken bazıları ise Makine Hattı 1 daha sonra Makine Hattı 2 ve son olarak Temizlik – Montaj hattından geçerler. İşletmede halihazırda benzer işleri yapan makineler bir araya getirilmiştir. Fabrika çalışanları tarafından taşımalarından kaynaklanan kayıpların en azlanması ve üretim verimliliğinin artırılması hedeflenmektedir.

2.1. İşletme Uygulaması

2.1.1. Problemin Tanımı ve Mevcut Durum

İşletmenin mevcut durumu incelendiğinde, bir makine – parça gruplaması bulunmamaktadır. Öncelikle siparişi yaklaşan ürünlerin üretimi yapılarak, parçalar makinelerde düzensiz olarak işleme alınmaktadır. Bu nedenle parçaların işlem sırası bilinmemektedir. Belirlenmiş bir gruplama algoritmasından yararlanılmamaktadır. Parçalar, makinelere literatürde kullanılan hiçbir tekniğe ve analize dayanmadan atanmaktadır. Bu yüzden üretim hattında beklemeler ve yığılmalar çok fazla ve bu durum siparişte gecikmelere yol açmaktadır. Bunun çözümünde ise işletmenin izlediği analitik bir yapı yoktur. İşletme bu mevcut durumundan kurtulmak amacıyla yeni bir üretim sistemine geçiş yapmayı düşünmektedir. Bu nedenle işletme, üretimde etkinlik

ve verimliliği artıran bir sistem önerisi beklemektedir. İşletmenin bu gibi sorunlarını çözmek için mevcut üretim sistemi araştırılarak, işletmeye yeni bir üretim sistemi önerilmesi amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Hücresel üretime bakıldığında, sistemin imalat esnekliği, kalite ve iş tatmininin artması ve maliyetlerin düşmesini sağlayarak, malzemelerin taşınması ve hazırlık zamanlarından kaynaklı dezavantajları yok edecek şekilde bir iyileştirme getirmesi beklenmektedir. Bu amaçla işletmeye hücresel üretime geçiş aşamasında küçük bir yapı üzerinde uygulama çalışması yapılarak, hücresel üretim sisteminin tüm sisteme uygulanabilirliği hakkında bir fikir sağlanmıştır. Bu kapsamda ele alınan problem, hücresel imalat ile grup teknolojisine geçiş aşamasında olan işletme için bir sistem geliştirilmesi ve bu amaçla makine ve parçaların uygun görülen sayı kadar imalat hücresine atanması problemidir. Tüm ürün tiplerinin son aşama olarak Temizlik – Montaj hattından geçmesinden dolayı bu hatta yer alan makineler dikkate alınmamıştır.

2.2. Model Uygulaması

2.2.1. Problemin Çözümünde İzlenen Yol

İşletmeden alınan geribildirim neticesinde hücresel üretim sistemi uygulanması önerilmiştir. Problemin çözümünde izlenen yolda işletme etkinliği ve verimlilik artışı üzerinde durulmaktadır. Bu amaçla grup etkinliğini sağlayacak olan yeni bir öneri üzerinde durulmuştur. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde işletmenin problemine en yakın olarak çözüm getirebilecek olan Bychkov ve Batsyn (2018, s.112-120) tarafından önerilen matematiksel modelin işletmedeki problemin çözülmesi için uygun olduğuna karar verilmiştir. Model grup etkinliğini en büyükmeyi hedefleyen bir tamsayı kesirli programlama modelidir.

Modelde Kullanılan;

Notasyonlar;

i : makineler ($i = 1, 2, \dots, m$)

j : parçalar ($j = 1, 2, \dots, p$)

k : hücreler ($k = 1, 2, \dots, c$)

Her üretim hücresi en az bir makine ve bir parça içermek zorunda olduğundan $c = \min\{m, p\}$ olarak alınmıştır.

Parametreler;

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ parçası } i \text{ makinesinde işlem görüyorsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Karar Değişkenleri;

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } i \text{ makinesi } k \text{ hücresine atanmışsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

$$y_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{eğer } j \text{ parçası } k \text{ hücresine atanmışsa} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases}$$

Matematiksel Model;

Amaç Fonksiyonu:

$$Max z = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^c a_{ij} x_{ik} y_{jk}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^p a_{ij} + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^c (1 - a_{ij}) x_{ik} y_{jk}} \quad (2.1)$$

Kısıtlayıcılar:

$$\sum_{k=1}^c x_{ik} = 1 \quad i = 1, \dots, m \quad (2.2)$$

$$\sum_{k=1}^c y_{jk} = 1 \quad j = 1, \dots, p \quad (2.3)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} \leq m \times \sum_{j=1}^p y_{jk} \quad k = 1, \dots, c \quad (2.4)$$

$$\sum_{j=1}^p y_{jk} \leq p \times \sum_{i=1}^m x_{ik} \quad k = 1, \dots, c \quad (2.5)$$

Amaç fonksiyonu (2.1) grup etkinliği ölçümünü en büyükmeyi hedeflemektedir. Eş. (2.2), (2.3) her bir makine ve parçanın sadece bir üretim hücresine atanacağını garanti eder. Eşitsizlik (2.4)'e göre belirli bir hücreye atanan toplam makine sayısı (bu toplam m'den büyük değildir), o hücrenin atanan m ile çarpılmış toplam parça sayısını geçemez. Takip eden eşitsizlik (2.5) ise ilgili hücreye atanacak toplam parça sayısı kısıtını göstermektedir.

2.2.2. Model Çözüm Sonuçları

İşletmenin tüm ürünlerinin 2017 yılı satış miktarları incelenmiştir. İşletmenin satışını yaptığı ürünler içerisinde en çok satışı yapılan ürün temel alınarak hücresele üretim uygulaması yapılmıştır. Bu amaçla tüm sistemde hücresele üretim uygulanabilirliğinden önce küçük bir yapıda etkinlik sağlanarak, sonrasında bunun tüm sisteme uygulanabilirliği üzerinde durulmuştur. İlgili ürünün üretiminde kullanılan parça ve makine verilerine bakıldığında, ürünün toplam 11 adet parçadan oluştuğu gözlemlenmiştir. Üretiminde ise toplam 8 farklı makine kullanılmaktadır. Maliyeti

düşürmek amacıyla ürünü oluşturan 11 parçanın ilgili 4 parçası dışarıdan fason olarak temin edilebilmektedir. Üretimde kullanılan makinelerden bir tanesinde ise sadece bahsi geçen parçaların işlemleri gerçekleştirilmektedir. Dolayısıyla problemin boyutu, 11 parça ve 8 makineden, 7 parça ve 7 makine olarak yeniden düzenlenmiştir.

Mevcut durumda işletmede 2 farklı imalat hücresi mevcuttur. İlgili ürünün üretiminde kullanılan üretim hatlarında bulunan makineler aşağıda Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: Mevcut Durumda Üretim Hatlarında Bulunan Makineler

	Makine Hattı 1	Makine Hattı 2
Makine	1 – 2 – 3 – 4	5 – 6 – 7

Tablo 1’de görülmek üzere 1, 2, 3, 4 numaralı makineler Makine Hattı 1’de yer alırken, 5, 6, 7 numaralı makineler Makine Hattı 2’de yer almaktadır. Grup etkinliği ölçütü en büyütlenerek makine – parça atamalarının gerçekleştirilebilmesi için öncelikle işletmeden alınan ürünün rota bilgisi düzenlenerek ürünün matematiksel modelde üretim akış bilgisini parametre olarak alan makine – parça matrisi aşağıda Tablo 2’de verildiği şekilde düzenlenmiştir.

Tablo 2: Üretim Akış Matrisi

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1	1	0	1	1	0
2	0	0	0	1	0	0	1
3	0	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1
5	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	1

Tablo 2’deki matriste satırlar makineleri, sütunlar ise ilgili ürünün üretiminde kullanılan parçaları göstermektedir. Parça ve makine isimleri işletme içi gizlilikten dolayı verilmemiştir. Matematiksel model bu veriler doğrultusunda GAMS 22.6 paket programı yardımıyla BARON çözücüsü kullanılarak çözülmüştür. Model giriş sayfası Ek-1’de verilmiştir. Model çıktılarına göre optimum sonucu gösteren makine – parça – hücre atamaları aşağıda Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3: Makine – Parça – Hücre Atamaları

	Hücre 1	Hücre 2
Makine	1 – 3 – 4	2 – 5 – 6 – 7
Parça	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6	7

Tablo 3’de görülmek üzere optimal hücre sayısı 2 olarak belirlenmiştir. Birinci hücre 1, 3, 4 numaralı makinelerden ve 1, 2, 3, 4, 5, 6 numaralı parçalardan oluşmaktadır. İkinci hücre ise 2, 5, 6, 7 numaralı makinelerden ve 7 numaralı parçadan oluşmaktadır. Optimal makine – parça – hücre atamalarının bulunduğu model çözüm sayfasını Ek-2’de verilmiştir.

Matematiksel model sonuçlarından hareketle hücre gruplaması aşağıda Tablo 4’de gösterildiği gibidir.

Tablo 4: Optimal Hücre Gruplaması

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1	1	0	1	1	0
3	0	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1
2	0	0	0	1	0	0	1
5	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	1

Hedef fonksiyon değeri olan grup etkinliği ölçümü;

$$\tau = \frac{19}{22 + 3} = 0.76$$

Hedef fonksiyon değerinin bulunduğu model çözüm sayfası Ek-3’de verilmiştir. Matematiksel model sonuçlarına göre mevcut durumda olan 2 imalat hücresi sayısında bir değişiklik olmadığı ve sadece mevcut makine düzeninde Makine Hattı 1’de bulunan 2 numaralı makinenin Makine Hattı 2’ye taşınması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumda hücre içi etkinliğin sağlandığı gözlemlenmiştir.

Literatürde bahsi geçen diğer performans ölçütleri aşağıda belirtilen şekilde hesaplanmıştır.

Grup verimliliği;

$$\eta = 0.5 \times \left(\frac{19}{22}\right) + 0.5 \times \left(\frac{24}{27}\right) \cong 0.88$$

Grup Kapasite İndeksi;

$$GCI = \frac{22 - 3}{22} \cong 0.86$$

Üretim hacminin ve rota bilgisinin eş zamanlı olarak dikkate alınması neticesinde farklı performans ölçütleri ile de etkinliğin sağlandığı gözlenmiştir. Önerilen hücresele üretim sistemi ile işletmeye üretimde etkinlik ve verimliliğin sağlanması kapsamında optimal bir çözüm önerisinde bulunulmuştur.

3. SONUÇ

Hücresele üretim grup teknolojisinin bir uygulaması olarak ortaya çıkmıştır. Ürün tasarımında ve talepteki değişikliklere cevap vermek için genellikle üretim sistemlerinin yeniden yapılandırılması gereken günümüzün üretim gereksinimlerini karşılamak için bir ortam sağlar. Hücresele üretim, basitleştirilmiş malzeme akışları, daha hızlı iş hacmi, azaltılmış kurulum süreleri, azaltılmış envanter, atölye zemininde daha iyi kontrol ve daha düşük hurda oranlarının avantajlarını sunmaktadır.

Yapılan çalışmada, siparişe ve stoka göre üretim yapan mobilya üreticisi bir firmanın taşımalarından kaynaklanan kayıplarını önlemek ve üretimde verimliliği artırmak amacıyla hücresele imalat sisteminin uygulanabilirliği üzerinde durulmuştur. Öncelikle firmanın mevcut üretim süreci detaylı olarak incelenmiştir. Süreç incelendiğinde, firmanın yalnızca siparişi yaklaşan ürünlerin üretimini gerçekleştirdiği ve bu ürünler için üretim sıraları belirlenirken herhangi bir analitik yaklaşımdan yararlanılmadığı görülmüştür. Ürün ve alt parçaların işlem sıralarının net olarak oluşturulmaması, parçaların makinelerde düzensiz olarak işleme alınmasına neden olmakta, bu ise üretim hattında beklemler, yığılmalar ve siparişte gecikmeler yaşanmasına sebep olmaktadır. Firmada taşıma, yığılma ve beklemlerden kaynaklanan problemlerin çözümünde, literatürde yer alan bir matematiksel modelden yararlanılarak, parçaların imalat hücrelerine ataması yapılmıştır. Firmanın ürün çeşitliliğinin fazla olmasından dolayı en çok satılan ürün için rotalar dikkate alınarak hücre yapısı oluşturulmaya çalışılmıştır.

Çözüm sonuçları değerlendirildiğinde, işletmede tek bir ürün seçildiği durumda bile %76 etkinlik oranıyla bir iyileştirme sağlandığı gözlenmiştir. Ayrıca önerilen sistem ile yaklaşık %88'lik bir oranla grup verimliliği sağlanmıştır. Benzer yaklaşımın tüm sisteme uygulandığında elde edilecek başarının daha da iyi olacağı düşünülmektedir. Bu nedenle işletmeye hücresele üretime geçmesi yönünde bir öneri getirilmiştir. İleriki çalışmalarda, kurulum, taşıma ve işletmenin diğer maliyet bilgileri de dikkate alınarak, çalışmada önerilen hücresele imalat sistemine geçişte, mevcut ve önerilen sistem üzerinden bir yatırım değerlendirmesi yapılması sağlanabilir.

Yapılan çalışmada, siparişe ve stoka göre üretim yapan mobilya üreticisi bir firmanın taşımalarından kaynaklanan kayıplarını önlemek ve üretimde verimliliği artırmak amacıyla hücreli imalat sisteminin uygulanabilirliği üzerinde durulmuştur.

KAYNAKLAR

- Chandrasekharan, M. P., & Rajagopalan, R. (1989). GROUPABILITY: an analysis of the properties of binary data matrices for group technology. *The International Journal of Production Research*, 27(6), 1035-1052.
- Suresh Kumar, C., & Chandrasekharan, M. P. (1990). Grouping efficacy: a quantitative criterion for goodness of block diagonal forms of binary matrices in group technology. *International Journal of Production Research*, 28(2), 233-243.
- Seifoddini, H., & Hsu, C. P. (1994). Comparative study of similarity coefficients and clustering algorithms in cellular manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 13(2), 119.
- Islam, K. M. S., & Sarker, B. R. (2000). A similarity coefficient measure and machine-parts grouping in cellular manufacturing systems. *International journal of production research*, 38(3), 699-720.
- Adil, G. K., & Rajamani, D. (2001). The trade-off between intracell and intercell moves in group technology cell formation. *Journal of Manufacturing Systems*, 19(5), 305-317.
- Adenso-Díaz, B., Lozano, S., Racero, J., & Guerrero, F. (2001). Machine cell formation in generalized group technology. *Computers & Industrial Engineering*, 41(2), 227-240.
- Albadawi, Z., Bashir, H. A., & Chen, M. (2005). A mathematical approach for the formation of manufacturing cells. *Computers & Industrial Engineering*, 48(1), 3-21.
- Mahdavi, I., Javadi, B., Fallah-Alipour, K., & Slomp, J. (2007). Designing a new mathematical model for cellular manufacturing system based on cell utilization. *Applied Mathematics and Computation*, 190(1), 662-670.
- Agustín-Blas, L. E., Salcedo-Sanz, S., Ortiz-García, E. G., Portilla-Figueras, A., Pérez-Bellido, Á. M., & Jiménez-Fernández, S. (2011). Team formation based on group technology: A hybrid grouping genetic algorithm approach. *Computers & Operations Research*, 38(2), 484-495.
- Krushinsky, D., & Goldengorin, B. (2012). An exact model for cell formation in group technology. *Computational Management Science*, 1-16.

Shiyas, C. R., & Pillai, V. M. (2014). A mathematical programming model for manufacturing cell formation to develop multiple configurations. *Journal of Manufacturing Systems*, 33(1), 149-158.

Rajesh, K. D., Krishna, M. M., Ali, M. A., & Chalapathi, P. V. (2017). A Modified Hybrid Similarity Coefficient Based Method for Solving the Cell Formation Problem in Cellular Manufacturing System. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 1469-1477.

Kong, T., Seong, K., Song, K., & Lee, K. (2018). Two-mode modularity clustering of parts and activities for cell formation problems. *Computers & Operations Research*, 100, 77-88.

Bychkov, I., & Batsyn, M. (2018). An efficient exact model for the cell formation problem with a variable number of production cells. *Computers & Operations Research*, 91, 112-120.

EKLER

EK – 1

Model Giriş Sayfası

```
sets
i makine / 1*7 /
j parca / 1*7 /
k hücre /1*7 /

table a(i,j)
$call =xls2gms r=parca_mak!a1:ab17 i=dataset.xlsx
o=pard.inc
$include pard.inc
Display a;

variable
z;
binary variable
x(i,k),
y(j,k);

equations
objective
a1(i)
a2(j)
a3(k)
a4(k);
```

EK - 2

Model Çözüm Sayfası - 1

```
**** REPORT SUMMARY :      0      NONOPT
                          0      INFEASIBLE
                          0      UNBOUNDED
                          0      ERRORS

GAMS Rev 149  x86_64/MS Windows      11/22/04 01:04:37 Page 8
General Algebraic Modeling System
Execution

----      67 VARIABLE x.L
           3          6
1          1.000
2          1.000          1.000
3          1.000
4          1.000
5          1.000          1.000
6          1.000          1.000
7          1.000          1.000

----      67 VARIABLE y.L
           3          6
1          1.000
2          1.000
3          1.000
4          1.000
5          1.000
6          1.000
7          1.000          1.000

----      67 VARIABLE z.L      =      0.760

EXECUTION TIME      =      4.703 SECONDS      3 Mb WEX226-149 Dec 19, 2007
```

EK – 3

Model Çözüm Sayfası – 2

S O L V E		S U M M A R Y	
MODEL	Simge	OBJECTIVE	z
TYPE	MINLP	DIRECTION	MAXIMIZE
SOLVER	BARON	FROM LINE	65
**** SOLVER STATUS		1 NORMAL COMPLETION	
**** MODEL STATUS		1 OPTIMAL	
**** OBJECTIVE VALUE		0.7600	
RESOURCE USAGE, LIMIT	4.670	100000000.000	
ITERATION COUNT, LIMIT	0	100000000	
EVALUATION ERRORS	0	0	
GAMS/BARON Dec 24, 2007 WIN.BA.NA 22.6 011.000.000.vis P3PC			
Branch And Reduce Optimization Navigator Nikolaos Sahinidis and Mohit Tawarmalani The Optimization Firm, LLC.			
Total time elapsed	: 000:00:05,	in seconds:	4.67
on parsing	: 000:00:00,	in seconds:	0.00
on preprocessing:	000:00:00,	in seconds:	0.02
on navigating	: 000:00:00,	in seconds:	0.03
on relaxed	: 000:00:00,	in seconds:	0.41
on local	: 000:00:00,	in seconds:	0.06
on tightening	: 000:00:00,	in seconds:	0.12
on marginals	: 000:00:00,	in seconds:	0.00
on probing	: 000:00:04,	in seconds:	4.03
Total no. of BaR iterations:	235		
Best solution found at node:	6		
Max. no. of nodes in memory:	34		
Solution	= 0.76	found at node	6
Best possible	= 0.760000001		
Absolute gap	= 9.99999971718069E-10	optca	= 1E-9
Relative gap	= 0	optcr	= 0