

BİR TEKSTİL ATÖLYESİNDE HÜCRESEL İMALATA GEÇİŞ UYGULAMASI

Hatice GÜNER *^{ID}
Ali Rıza GÜNER *^{ID}

Alınma: 10.06.2021; düzeltme: 09.03.2022; kabul: 25.03.2022

Öz: Hücresel imalat, bir üretim sistemini bağımsız alt sistemlere ayıran ve alt sistemlerin hızlı ve etkin çalışma yeteneğini, tüm sisteme yansıtmayı amaçlayan bir yaklaşımdır. Bu çalışmada, günümüz rekabet ortamında değişen piyasa koşullarına çabuk uyum sağlamak ve verimliliğini artırmak isteyen hazır giyim sektöründeki işletmelere bir model oluşturması için örnek bir hücresel imalat sistemi uygulaması sunulmuştur. Bunun için, askeri kıyafet üreten bir işletmede incelemeler yapılmıştır. İşletmede dokuz çeşit mamulün üretim süreci gözlenmiş ve operasyon bilgileri toplanmıştır. Makine hücrelerini belirlemek üzere *derece sıralama ve kümeleme*, *satır ve sütun maskeleyme* ve *benzerlik katsayısı* yöntemleri analiz edilmiş ve sonuç olarak iki hücreden oluşan makine ve ürün ailesi grupları oluşturulmuştur. Önerilen hücresel yapının performansı gruplama etkinliği, makine kullanım oranı, hücreler arası akış etkinliği, hücrelerin kullanım oranı gibi açılardan değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hücresel imalat, Blok-Köşegen Matris, İstisnai Eleman, Gruplama Etkinliği

Transition to Cellular Manufacturing in A Textile Job Shop

Abstract: Cellular Manufacturing is an approach that separates a production system into independent subsystems and aims to reflect the fast and effective working ability of the subsystems to the entire system. In this study, a sample cellular manufacturing system application is presented to create a model for enterprises in the ready-to-wear industry that want to adapt quickly to changing market conditions in today's competitive environment and to increase their productivity. For this, investigations were made in an enterprise producing military clothing. The production process of nine types of products has been observed in the enterprise and operational information has been collected. The rank order clustering, row and column masking, and similarity coefficient methods were analyzed to determine the machine cells and, as a result, the machines and product families are grouped to create two cells. The performance of the proposed cellular structure was evaluated in terms of grouping efficacy, machine utilization rate, intercellular flow efficiency, and cell utilization rate.

Keywords: Cellular manufacturing, Block-Diagonal Matrix, Exceptional Element, Grouping Efficacy

* İstanbul Rumeli Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34570, İstanbul, Türkiye

İletişim Yazarı: Hatice Güner (hatice.guner@rumeli.edu.tr)

1. GİRİŞ

Türkiye, giyim sektöründe Uzakdoğu ve güneydoğu Asya'nın ucuz işgücü ile üretilen ürünlerine karşı, Avrupa pazarına yakınlığını hızlı üretim yeteneği ile destekleyerek rekabette bir avantaj olarak kullanmak durumundadır. Bu rekabet, giyim sektörünü düşük maliyette ve yüksek kalitede ürünleri üretmeye ve bu ürünleri hızlı bir şekilde teslim etmeye zorlamaktadır. Bu yüzden işletmeler, üretimlerini daha esnek, etkin ve verimli hale getirecek üretim sistemlerini seçmek zorundadır.

Belirli bir mal veya hizmet üretmek amacıyla, belirli miktar ve çeşitteki girdi üzerinde, ekonomik değer katacak işlemleri yapmak üzere, malzeme, makine, insan, metot ve çevre elemanlarıyla oluşturulan sistemlere üretim sistemleri denir. Üretim sistemlerinin çıktıları ise yarı mamul veya mamuldür. İşte bu girdi ve çıktı arasında kalan üretim sistemleri, ürettikleri çıktının cinsine, çıktıya olan talebe, sistemde yer alan üretim faktörlerinin fiziksel kısıtlarına, diğer ekonomik kısıtlara göre çeşitli şekillerde ortaya çıkar (Atamtürk, 2009). Literatürde en sık karşılaşılan şekilde üretim sistemleri 4 farklı gruba ayrılır:

(a) Sürekli tip: Yüksek hacimli düşük çeşitli ürünlerin üretimi için tezgahların bir veya birkaç hat şeklinde üretilen ürün tiplerine özgü sıralandığı, işçilerde ileri seviyede ustalık gerektirmeyen üretim sistemi.

(b) Atölye tipi: Düşük hacimli yüksek çeşitli ürünlerin üretimi için tezgahların genellikle tiplerine göre gruplandığı, işçilerde ustalık gerektiren üretim sistemi.

(c) Proje tipi: Bir projeye yönelik olarak, üretim faaliyetlerinde kullanılan makine, ekipman ürünün etrafında yer alır. Gerektiğinde işini tamamlayan makine yerine kaldırılır.

(d) Hücreli imalat: Üretim parçalarının, tasarım (şekil, boyut, tolerans vb.), ve imalat (üretim için gereken makineler, prosesler vb.) özelliklerini kullanarak parça aileleri altında toplamak ve bu ailelere dayalı olarak çeşitli makine ve malzeme iletim sistemleri ile grupların oluşturulduğu üretim sistemidir.

Farklı üretim sistemlerinin makine ve ürün çeşitleri, proses tasarımı, hazırlık süresi, proses içi stok, parti miktarı, termin süresi gibi hususlarda farklı özellikleri vardır.

1.1. Grup Teknolojisi ve Hücreli İmalat

Tüketicilerin artan ihtiyaçları ürün çeşitliliğini arttırmış ve üreticilerin bu ihtiyaçları karşılamak için her geçen gün bünyelerine kattıkları yeni ürünleri üretime almaları üretim ortamında üretim partilerinin karmaşık rotalar izlemesine, makineler arasında proses içi stokların artmasına, bazı makinelerin darboğaz oluşturup bazılarının boş kalmasına, bir partinin operasyonundan sonra kısa aralıklarla ayar yapma zorunluluğunun ortaya çıkmasına, kalitesizlik maliyetlerinin artmasına neden olmuştur. 1959 yılında S.P. Mitrofanov, "Scientific Principles of Group Technology" isimli kitabında grup teknolojisi (GT) kavramını ve geniş çeşitlilikteki parçaların tasarım ve imalat özelliklerinin kullanılarak gruplanabileceğini ortaya koymuştur (Heragu, 1994).

GT üretim felsefesi ile işletmeler iş akışını, planlama ve kontrol faaliyetlerini, maliyetleme tahminlerini basitleştirir; üretim esnasında taşıma faaliyetleri, stok miktarı, toplam üretim zamanı, makine hazırlık zamanını azaltır; üretim esnekliği ve verimliliğini artırır. Ayrıca oluşturulan veri bankası ile yeni ürün tasarımı ve proses planlama faaliyetleri daha hızlı yapılır. Grup teknolojisinin bu avantajlarının yanında, atölye sistemine göre daha az esneklik, bazı üretim araçları ve tezgahlara atölye tipi üretime kıyasla fazla sayıda ihtiyaç duyması, hücrelerin yaşamının üretim prosesinin değişmemesine bağlı olması, tezgâh kapasite kullanım oranının düşmesi ve ilk yatırım maliyetinin artması gibi dezavantajları vardır. Bunların yanısıra uygulama aşamasında çalışma şekillerinin değişmesi ve sorumluluğun artmasından dolayı çalışanların direnciyle de karşılaşılabilir (Atamtürk,2009). Ülker ve Başaran (2008), geleneksel iş atölyesi ortamından hücreli imalata geçiş sürecinden ve bunun faydalarından bahsetmektedir.

Wemmerlöf ve Hyer (1987) tarafından yapılan bir çalışmada hücresel imalat uygulamasına geçince karşılaşılan en büyük zorluklar; (a) insan ilişkili olarak operatör, ustabaşı ve yönetim direnci ile takım çalışmasında yetersizlikler; (b) ekipman ilişkili olarak makine arızaları ve özel takım ve alet gereksinimi; (c) operasyon ilişkili olarak yükleme, kapasite dengeleme, işgücü dengeleme, hücre çizelgeleme ve ancak basit akışlara ulaşma şeklinde sıralanmıştır.

Grup teknolojisinin uygulandığı bir atölye üretim hücrelerinden meydana gelir. Bir üretim hücresi; benzer üretim ve şekil özelliklerine sahip parçaların üretildiği küçük sistemlerdir. Üretim hücrelerinde, çeşitli sayılarda farklı cinsten makineler ve malzeme iletim elemanları bulunur. Yani benzer işi gören üretim tezgâhları farklı hücreler içerisine dağıtılır. Hücresel imalatın (Cellular Manufacturing: CM) ana motivasyonu, etkin ve kontrol edilmesi kolay olan küçük bir sistemin üstünlüklerinin büyük bir sisteme yansıtılmasıdır.

Hücresel imalata geçişte hücre tasarımından sonra çözülmesi gereken diğer konular kavramsal olarak ikiye ayrılabilir. Birincisi makine ve ekipmanların yerleşimi, malzeme akışını ilgilendiren donanımsal konular, ikincisi ise çalışanların eğitimi ve şirket kültüründe yapılacak değişiklikler gibi yönetsel konulardır. Donanımsal konular tasarım ve yatırım sorunudur. Çünkü tüm atölye ortamı yeniden düzenlenecek, bazılarında modifikasyon yapılacak, yenileri alınacak veya yerleri değiştirilecektir. Yönetsel konular ise daha fazla zaman ve üzerinde uğraş gerektiren konulardır. Operatörlerin yeniden eğitilmesi, operatörlere yeni işler verilmesi veya işlerin yeniden tanımlanması gerekebilir. Hücrelere atanmış olan operatörler (insanlı imalat hücrelerinde) ideal olarak hücredeki tüm işleri bilmelidir. Bu da operatörlerin önceki duruma göre çok işlevli olmaları demektir. Diğer taraftan yönetim kademesinde bulunan yöneticilerin iş tanımlarında değişiklikler olması kaçınılmazdır. Hücrelerin kendi kendine yönetilir olması istenen bir durumdur. Bu durumda yöneticiler rutin olan yönetsel faaliyetlerden uzaklaşarak daha çok denetleyici ve destekleyici bir rol üstlenirler.

Bu çalışmada, günümüz rekabet ortamına uyum sağlamak ve verimliliğini artırmak isteyen hazır giyim işletmelerine örnek olması açısından askeri kıyafet üreten bir işletmede hücresel imalat sistemi uygulaması sunulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde literatürde yer alan hücresel imalat uygulamaları incelenmiş, üçüncü bölümde bir tekstil atölyesinden elde edilen veriler kullanılarak ürün aileleri için hücreler oluşturulmuştur. Bunun için derece sıralama ve kümeleme (ROC), benzerlik katsayısı (SCA) ve satır ve sütun maskeleyme (RCM) yöntemleri kullanılmış, iki hücreli bir üretim sistemi uygun görülmüştür. Oluşturulan hücrelerin etkinliği Mukkatash ve diğerleri (2018)'nin geliştirdiği kapsamlı gruplama etkinliği (CGE) formülü ile test edilmiştir. Sonuç bölümünde ise kullanılan yöntemlerin genel bir değerlendirmesi yapılmıştır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

GT ve hücresel imalat yapılandırma çalışmalarında sistemdeki tüm parçalar gruplanarak parça aileleri ve daha sonra makineler gruplanarak imalat hücreleri oluşturulur. Hücresel imalat sistemlerinin tasarımının en önemli problemini tüm üretim sistemini hücrelere bölmek oluşturur. Eğer makinelerin sayısı, tipi, kapasiteleri, üretilecek parçaların tipi, sayısı ve her bir parça için rota bilgileri, ihtiyaç duydukları makine standartları biliniyorsa, hangi makineler ve onlarla ilişkili olan parçalar hücreleri biçimlendirmek için birlikte gruplandırılacağına karar verilebilir (Wu ve Salvendy, 1999).

McAuley (1972) makine çiftleri arasında ortak üretilen parçalar için benzerlik katsayısı yöntemini tanımlamaktadır. McCormick ve diğerleri (1972)'nin geliştirdiği bağ enerjisi yönteminin işlem süresi problemin büyüklüğüne bağlı olarak üssel bir şekilde artar. King (1980) makalesinde makine-ürün ailesi gruplaması yöntemlerinden benzerlik katsayısı ve bağ enerjisi yöntemlerini tanıtmakta ve bunlara alternatif olarak derece sıralama ve kümeleme (ROC) yöntemini önermektedir.

Durmuşoğlu ve Nomak (2000), bir cam kalıbı atölyesinde hücresel imalata geçiş projesinde Nagi ve diğerleri (1990) ile Liao (1994) tarafından geliştirilen modelleri kullanmıştır. Nagi ve

diğerlerinin (1990) geliştirdiği modelde hücreler arası trafiği en küçükleyen rota, doğrusal programlama ile hesaplanmış ve hücre grupları bu şekilde oluşturulmuştur. Liao (1994) ise hücre oluşturma problemini iki aşamada çözmektedir: İlk aşamada işlem maliyetleri 0-1 tamsayılı programlama ile en küçüklenmiş, elde edilen parça rotaları sinir ağı modeline girilerek hücreler arası trafiği azaltan en uygun hücre yapıları oluşturulmaya çalışılmıştır.

Başaran ve Çelikçapa (2009), bir iş atölyesinden hücreli imalata geçiş sürecinde kullanılan makine hücreleri ve parça aileleri oluşturma yöntemlerinden derece sıralama ve kümeleme (ROC), benzerlik katsayısı (SCA) ve bulanık c-ortalamları (FCM) yöntemlerini bir vinç atölyesinde test etmiş ve en az darboğaz makine ROC yöntemi ile bulunmuştur. Ancak ROC’da üretilen iki hücrenin yoğunlukları arasında dengesizlik olduğundan (biri çok yoğun, diğeri çok küçük) hücre oluşumunda FCM yöntemi tercih edilmiştir. Makalede hücreler içi optimal düzenin sağlanmasına ve maliyetlere yer verilmemiştir.

Amruthnath ve Gupta (2016) mevcut derece sıralama ve kümeleme yönteminde değişiklik yaparak iş yüklerinin oluşturulan hücrelere dengeli bir şekilde dağılımını sağlamayı amaçlamıştır. Çalışmada her bir ürüne çevrim süreleri ve üretim hacimleri dikkate alınarak ağırlıklar yüklenmiştir. Geliştirilen algoritma ile darboğazlar en küçüklenirken hücrelerdeki makinelerin kullanım oranları da dengelenmektedir.

Öztürk (2013), şanzıman parçaları üreten süreç yerleşimine sahip bir Otomotiv Fabrikasında hücreli üretim sistemini kurmanın işletmeye sunacağı avantajları değerlendirmektedir. Geliştirilen doğrusal olmayan matematiksel modelin amaç fonksiyonunu hücre içindeki boşlukların (“0”lar) ve istisnai elemanların (blok-köşegen matris dışında kalan “1”ler) ağırlıklı toplamının minimizasyonu olarak belirlemiştir. Ancak problemin büyüklüğünden dolayı çözümünde tavlama benzetimi kullanılmıştır.

Yozgat ve Atmaca (2018), mevsimsel talep değişiklikleri yaşayan akış tipi üretim sistemine sahip bir mobilya fabrikasının üretim verimliliğini artırmak için hücreli imalata geçilmesini önermektedir. Çalışmada makine-ürün ailesi grup etkinliğini en büyükmeyi hedefleyen bir ikili tamsayılı programlama modeli kullanılmıştır.

Cömert ve diğerleri (2016), alüminyum ve paslanmaz çelikten profil, aksesuar ve komponent üretimi yapan bir fabrikada makine-parça kümelerini oluşturmak için k-ortalamları ve genetik algoritma kullanmış, amaç fonksiyonunu taşıma maliyetleri en küçükleyecek şekilde belirlemiştir. Çalışmada genetik algoritma performansının daha yüksek olduğu görülmüştür.

Güçlü (2006) atölye tipi üretim yapan bir traktör fabrikasının hücrelerini derece sıralama ve kümeleme yöntemini kullanarak oluşturmuştur. Ters yönde parça taşımalarını en aza indirmek için hücre içi makine yerleşimini Hollier-2 yöntemini kullanarak yapmıştır.

Günümüze kadar geliştirilen hücre oluşturma yöntemlerini özetleyecek olursak, Derece Sıralama ve Kümeleme Algoritması (ROC), Satır ve Sütun Maskeleye, Benzerlik Katsayısı, Matematiksel Programlama, Bağ Enerjisi, k-medyan olarak sıralanabilir. Sayılan yöntemlerle çözülemeyen büyük çaplı problemleri çözmek için genetik algoritma, bulanık kümeleme, sinir ağları, tavlama benzetimi (ör: Cömert ve diğerleri, 2016; Başaran ve Çelikçapa, 2009; Durmuşoğlu ve Nomak, 2000; Öztürk, 2013) gibi çözüm yöntemleri kullanılmıştır.

2.1. Derece Sıralama ve Kümeleme (ROC) Yöntemi

Hücre oluşturma uygulamalarında en çok kullanılan yöntemlerden derece sıralama ve kümeleme (ROC) algoritması King (1980) tarafından geliştirilmiştir. Derece sıralama ve kümeleme algoritması aşağıdaki gibi çalışır.

Adım 1: n parça sayısı, m makine sayısı olmak üzere n*m boyutunda makine-parça ilişkisini gösteren ikili b_{ij} matrisi oluşturulur.

Adım 2: Her satırın $\sum_{i=1}^m b_{ij} * 2^{m-j}$ işlemi ile derecesi hesaplanır.

Adım 3: Hesaplanan satır derecesine göre satırlar azalan şekilde sıralanır.

Adım 4: Her sütunun $\sum_{j=1}^n b_{ij} * 2^{n-i}$ işlemi ile derecesi hesaplanır.

Adım 5: Hesaplanan sütun derecesine göre sütunlar azalan şekilde sıralanır.

Adım 6: Adım 3 ve 5 sıralamalarında farklılık varsa Adım 2'ye dönlür. Farklılık olmadığına ise algoritma durdurulur.

Köşegen üzerinde oluşan bloklar hücreleri oluşturur.

2.2. Satır ve Sütun Maskeleye (RCM) Yöntemi

Iri (1968) tarafından geliştirilen yöntemde uygulanan algoritmanın adımları şöyledir:

Adım 1: Başlangıç matrisindeki ilk satırın üzerine yatay bir çizgi çizilir.

Adım 2: Çizginin geçtiği her "1" girdisinin ait olduğu sütuna dikey çizgiler çizilir.

Adım 3: Bu yatay ve dikey çizgilerin üzerinde bulunan her "1" girdisi üzerinden mutlaka yatay ve dikey olmak üzere iki çizgi geçecek şekilde çizgiler çizilir. Bu çizgilere karşılık gelen makineler ve parçalar hücre oluşturmak için belirlenirler.

Adım 4: Üzerinde hiç çizgi olmayan herhangi bir satır seçilir. Böyle bir satır yoksa algoritma durdurulur. Varsa, bu satırın üzerine yatay bir çizgi çizilir ve Adım 2'ye gidilir.

2.3. Benzerlik Katsayısı (SCA) Yöntemi

McAuley (1972) tarafından geliştirilen yöntemde farklı iki makine arasındaki karşılıklı parça akışı kullanılarak ilişkinin benzerlik değeri ölçülür ve hesaplanan katsayılara göre makine hücreleri oluşturulur.

$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n a_{ki}a_{kj}}{\sum_{k=1}^n (a_{ki}+a_{kj}-a_{ki}a_{kj})}$ eşitliği kullanılarak benzerlik katsayıları hesaplanır. Burada a_{ki} değeri şuna eşittir:

$a_{ki} = \begin{cases} 1; & k \text{ parçası (makinesi), } i \text{ makinesinde (parçasını) işlem görüyorsa (işliyors)} \\ 0; & k \text{ parçası (makinesi), } i \text{ makinesinde (parçasını) işlem görmüyorsa (işlemiyors)} \end{cases}$

Adım 1: S_{ij} formülü kullanılarak her parça çifti için bir benzerlik katsayısı hesaplanır.

Adım 2: Bir "baraj S_{ij} değeri" belirlenir. Bu değer için genelde en yüksek değer alınır.

Adım 3: S_{ij} değeri, baraj değerden daha büyük veya eşit olan parça çiftleri birleştirilerek parça kümeleri oluşturulur.

Adım 4: "Parça kümeleri ile parça kümeleri" ve "parça kümeleri ile henüz herhangi bir kümeye dahil olmayan parçalar" arasındaki benzerlik katsayılarının aritmetik ortalaması alınır.

Adım 5: Herhangi bir kümeye dahil olmayan parça kalmayınca kadar adım 3, 4 ve 5 tekrarlanır.

Adım 6: Oluşan yeni kümelerin ve küme içi elemanlarının sırasına göre parça-makine görünüm matrisi yeniden düzenlenir.

Adım 7: Eğer adım 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 makinelerine göre de tekrarlandıysa algoritma durdurulur.

Benzerlik katsayısı yöntemi kullanılarak oluşturulan parça aileleri seçilme sırasına göre sütunlara, aynı şekilde makinelerde satırlara yazılır. Köşegen üzerinde oluşan bloklar hücreleri oluşturur.

3. ÖRNEK ÇALIŞMA

Uygulama, askeri giyim ürünleri üreten bir fabrikada gerçekleştirilmiştir. Firmada, yüksek miktarlarda sipariş alınması, özel ve genel amaçlı makinelerin kullanılması, kalifiye olmayan işgücü ile üretim yapılması, termin sürelerinin uzun olması gibi durumlar söz konusudur. Firma, geniş ürün çeşidini makinelerin atölye tipi yerleştirildiği bir üretim sistemi ile üretmektedir.

Uygulamanın hedefi parça ailelerinin belirlenmesi ve üretilen ürünlerin son hallerini alıncaya kadar gördükleri işlemleri dikkate alan parça-makine hücre gruplarını oluşturarak verimliliğin artırılması olarak belirlenmiştir. Hücrelere atanacak parça ve makinelerin belirlenmesi için fabrikadaki üretim süreci incelenmiş, operasyonlar tanımlanmış, montaj aşamaları gözlenmiş ve

operasyonların işlem gördüğü makineler belirlenmiştir. Uygulama için ele alınan ürünler 9 grupta toplanmış olup, Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Ürün grupları ve kodları

Kodu:	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Ürün:	Harici şapka	Kayık kep	Eğitim elb. ceket	Eğt. elb. pantolon	Eğt. elb. şapka	Harici elb. Pantolon	Har. elb. ceket	Rüzgâr ceketi	Takviyeli gocuk

Ürünlerin her birinde farklı beden çeşitleri vardır, aynı zamanda farklı kumaşlar da söz konusu olabilmektedir. Gruplanan ürünlerden örnek olarak eğitim elbise şapkasının üretim aşamaları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Eğitim elbise şapkasının üretim aşamaları

Ana işlem	Sıra	Alt işlem	Makine
Tepe Hazırlığı	1	Yan parçalara tela yapıştırılması	Tela pres mak.
	2	Ön parçalara tela yapıştırılması	Tela pres mak.
	3	Yan parçaların birleştirilmesi	Düz dikiş mak.
	4	Yan parça çift iğne yapılması	Zincir çift iğne mak.
	5	Yan parça ile ön parçanın birleştirilmesi	Düz dikiş mak.
	6	Yan parça ile ön parçaya çift iğne yapılması	Zincir çift iğne mak.
	7	Ara işlerin toplanması-kesme düzeltme	Makas ile
	8	Tepe ortanın birleştirilmesi	Düz dikiş mak.
	9	Tepe ortaya çift iğne yapılması	Zincir çift iğne mak.
	10	Ön parçaya kokart takılması	Düz dikiş mak.
Siper Hazırlığı	1	Siper üst dikişin yapılması	Düz dikiş mak.
	2	Siper tulumunun çıkartılması	Düz dikiş mak.
	3	Plastik siperlerin takılması	El ile
	4	Fazla parçaların dikişle birlikte kestirilmesi	Bıçaklı düz dikiş mak.
	5	Alın kısmına ter bandı takılması	Düz dikiş mak.
Montaj	1	Siper ve tepenin birleştirilmesi	Düz dikiş mak.
	2	Apara yardımı ile arka biyesinin çekilmesi	Düz çift iğne mak.
	3	Ayar tokası takılması ve gazi dikişi çekilmesi	Düz dikiş mak.
K. K.	1	Kalite kontrolü ve ürünün depoya teslimi	El ile

Firmada bazıları özel amaçlı (örneğin, sadece harici elbise pantolonlarında kullanılan biye makinesi gibi), bazıları da ürünlerin birçok aşamasında tekrar tekrar kullanılan genel amaçlı (örneğin, düz dikiş makinesi gibi) 33 çeşit tekstil makinesi tespit edilmiştir. Bu makinelerden yalnızca bir üründe kullanılan özel amaçlı makineler, her durumda ürün ile aynı hücreye girmesi gerekeceğinden ve bütün ürünlerde kullanılan düz dikiş makinesi her hücrede ve birden fazla bulunması gerektiğinden dolayı işlemlerde gereksiz adımların ve karmaşıklığın oluşmasını engellemek amacıyla listeden çıkarılmış, sonuçta makine sayısı 18’e inmiştir.

İncelenen üretim süreci sonucu parçaların işlem gördüğü makineler belirlenmiştir. Parça bir makinede işlem görüyorsa “1” ile, görmüyorsa “0” ile işaretlenmiş ve oluşan parça-makine matrisi Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Parça-Makine 0-1 Matrisi

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
M1	1	1	0	0	1	1	1	1	0
M2	0	0	1	1	0	0	1	1	1
M3	1	0	0	0	0	0	0	0	1
M4	0	0	0	0	0	1	1	0	0
M5	0	0	1	1	0	1	0	1	0
M6	0	0	1	1	1	0	0	1	0
M7	1	0	1	0	0	1	1	1	0
M8	1	0	0	0	0	0	1	0	0
M9	0	0	1	0	1	0	0	0	0
M10	0	0	0	1	0	0	0	1	1
M11	0	0	1	0	1	0	0	1	0
M12	0	0	1	0	0	0	0	1	0
M13	0	0	1	1	0	1	0	1	0
M14	0	0	1	0	0	0	0	1	0
M15	0	0	1	1	0	0	0	1	0
M16	0	0	1	1	0	0	0	1	1
M17	0	0	0	1	0	1	1	0	0
M18	0	0	1	0	0	1	1	1	0

3.1. Hücrelerin Oluşturulması

0-1 parça-makine matrisine kümeleme teknikleri uygulandığında köşegen üzerinde hücreler oluşur. Köşegen üzerindeki bu hücre gruplarına blok-köşegen matris denir. Blok-köşegen matris dışında kalan “1”lere istisnai eleman, bunlara karşılık gelen makine ve parçalara ise darboğaz makine ve darboğaz parça denir. Parçaların hücreler arası hareketlerinin temel kaynağı istisnai elemanlardır. Hücre oluşturmanın amaçlarından bir tanesi de malzeme taşıma maliyetlerini düşürmektir. Burbidge (1977), istisnai parçaların hücre dışında üretilmelerini ortadan kaldırmak için üretim metotlarının değiştirilmesi, ürünlerin yeniden tasarlanması, yahut parçaların dışarıdan satın alınmasını önermiştir.

Çalışmada fabrikadaki mevcut makine bilgileri kullanılarak hücreler oluşturulmuştur; bunun için ROC, RCM ve SCA kümeleme yöntemleri sırasıyla Tablo 3’te verilen parça-makine matrisinde uygulanmış ve sonuçları devam eden bölümlerde verilmiştir.

3.1.1. Derece Sıralama ve Kümeleme (ROC) Yönteminin Uygulanması

Bölüm 2.1’de verilen derece sıralama ve kümeleme yönteminin (ROC) adımları Tablo 3’e uygulandığında ilk olarak Tablo 4’te verilen iki hücreli yerleşim düzeni elde edilmiştir. Bu haliyle istisnai eleman sayısı 20, darboğaz parça sayısı 7 (P2, P3, P4, P5, P6, P8 ve P9), darboğaz makine sayısı 15 (M4, M8 ve M9 haricindeki makineler) adettir.

Hücreleme yöntemlerinden sonra hücre içi boşluğun giderilmesi için satır ve sütun işlemleri yapılabilir. Bu amaçla, M2 satırı “1” olan elemanlar 2. hücrenin içine girecek şekilde aşağıya, M5 satırının üzerine kaydırılmış, P8 sütunu ise P2’nin sağına kaydırılmıştır. Sonuç olarak Tablo 5’te gösterilen blok-köşegen matrisi elde edilmiştir. Bu düzenleme ile istisnai eleman sayısı 13’e, darboğaz parça sayısı 7’ye ve darboğaz makine sayısı 11’e düşmüştür (Tablo 5).

Tablo 4. ROC Yöntemi Sonucu

	P1	P7	P8	P6	P5	P2	P3	P9	P4
M1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
M7	1	1	1	1	0	0	1	0	0
M8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
M3	1	0	0	0	0	0	0	1	0
M18	0	1	1	1	0	0	1	0	0
M2	0	1	1	0	0	0	1	1	1
M17	0	1	0	1	0	0	0	0	1
M4	0	1	0	1	0	0	0	0	0
M5	0	0	1	1	0	0	1	0	1
M13	0	0	1	1	0	0	1	0	1
M6	0	0	1	0	1	0	1	0	1
M11	0	0	1	0	1	0	1	0	0
M16	0	0	1	0	0	0	1	1	1
M15	0	0	1	0	0	0	1	0	1
M12	0	0	1	0	0	0	1	0	0
M14	0	0	1	0	0	0	1	0	0
M10	0	0	1	0	0	0	0	1	1
M9	0	0	0	0	1	0	1	0	0

Tablo 5. ROC Yönteminin Boşluklar Giderilmiş Hali

	P1	P7	P6	P5	P2	P3	P8	P4	P9
M1	1	1	1	1	1	0	1	0	0
M7	1	1	1	0	0	1	1	0	0
M8	1	1	0	0	0	0	0	0	0
M18	0	1	1	0	0	1	1	0	0
M17	0	1	1	0	0	0	0	1	0
M4	0	1	1	0	0	0	0	0	0
M9	0	0	0	1	0	1	0	0	0
M3	1	0	0	0	0	0	0	0	1
M2	0	1	0	0	0	1	1	1	1
M5	0	0	1	0	0	1	1	1	0
M13	0	0	1	0	0	1	1	1	0
M6	0	0	0	1	0	1	1	1	0
M11	0	0	0	1	0	1	1	0	0
M16	0	0	0	0	0	1	1	1	1
M15	0	0	0	0	0	1	1	1	0
M12	0	0	0	0	0	1	1	0	0
M14	0	0	0	0	0	1	1	0	0
M10	0	0	0	0	0	0	1	1	1

3.1.2. Satır ve Sütun Maskeleye (RCM) Yönteminin Uygulanması

RCM yöntemine göre yatay ve dikey çizgilerin üzerinde bulunan her "1" girdisinden mutlaka yatay ve dikey olmak üzere iki çizgi geçecek şekilde çizgiler çizilmelidir. Mevcut haliyle RCM yöntemi bu problemi çözmeye uygun değildir, çünkü standart RCM yöntemi uygulandığında bütün parça ve makineler tek bir hücrede toplanır. Bu sebeple, algoritmada bazı düzenlemeler yapılmıştır. Problemin çözüm şekli aşağıdaki paragrafta özetlenmiştir.

Tablo 6’da RCM algoritmasının ilk adımları gösterilmiştir. Tablodaki çizgilerin devamındaki rakamlar maskeleye sırasını göstermektedir. İlk olarak P1 sütunu seçilmiş, daha sonra P1 sütununda “1” olan satırların üzeri çizilmiştir. Daha sonra, her satırda “1” olan sütunların üzeri çizilmiştir. P2, P5, P6, P7 sütunları seçilmiş; P3, P8 ve P9 sütunları dışta bırakılmıştır. Dikkat edilirse P3 ve P8 ürünlerinin gördüğü işlemler arasında büyük benzerlik vardır. Eğer bunlar ikinci ürün ailesi olarak gruplanırsa P4 ve P9’u ikinci ürün ailesi grubuna dahil etmek mantıklı olur; çünkü bunların benzerlik oranı bu gruba daha fazladır. İkinci hücre için P3 sütunu maskelenerek bu sütunda “1” olan satırlara bakılır. Bu satırlardan makine kullanım oranı ikinci hücrede yüksek olanlar seçilir. Bunlar M2, M5, M6, M11-M16 makineleri ikinci hücreye yerleştirilir. Böyle bir yaklaşımla ROC yönteminin iyileştirilmiş hali (Tablo 5) ile aynı sonuç elde edilmiştir.

Tablo 6. RCM Yönteminin Adımları

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	
M1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	
M2	0	0	1	1	0	0	1	1	1	2
M3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
M4	0	0	0	0	0	1	1	0	0	3
M5	0	0	1	1	0	1	0	1	0	
M6	0	0	1	1	1	0	0	1	0	
M7	1	0	1	0	0	1	1	1	0	
M8	1	0	0	0	0	0	1	0	0	4
M9	0	0	1	0	1	0	0	0	0	5
M10	0	0	0	1	0	0	0	1	1	
M11	0	0	1	0	1	0	0	1	0	
M12	0	0	1	0	0	0	0	1	0	
M13	0	0	1	1	0	1	0	1	0	
M14	0	0	1	0	0	0	0	1	0	
M15	0	0	1	1	0	0	0	1	0	
M16	0	0	1	1	0	0	0	1	1	
M17	0	0	0	1	0	1	1	0	0	
M18	0	0	1	0	0	1	1	1	0	
	1	6			7	8	9			

3.1.3. Benzerlik Katsayısı (SCA) Yönteminin Uygulanması

Tablo 7 ve Tablo 8’de SCA yöntemi ile parça ve makineler arasındaki benzerlik katsayılarını gösteren tablolar verilmiştir. Tablo 8 için algoritma adımlarına devam edilirse tek bir hücre oluşacaktır. Ancak, parça ve makineleri bu tablolarda verilen sırayla parça-makine matrisinde sıralayıp iki hücre oluşturmak istediğimizde Tablo 5’le aynı sonucu elde ederiz.

Tablo 7. Parça Benzerlik Katsayıları

	P1, P6, P7	P2, P5	P3, P4, P8, P9
P1, P6, P7		0.109	0.118
P2, P5			0.108
P3, P4, P8, P9			

Tablo 8. Makine Benzerlik Katsayıları

	M2, M16, M10, M7, M18, M5, M6, M11, M13, M15, M12, M14, M3, M1	M4, M17, M8	M9
M2, M16, M10, M7, M18, M5, M6, M11, M13, M15, M12, M14, M3, M1		0.30	0.25
M4, M17, M8			0.17
M9			

Sonuç olarak, ROC, RCM ve SCA yöntemleri arasında en iyi sonucu veren ROC yöntemidir diyebiliriz. Ancak, en ideal sonuç boşluklar giderildikten sonraki haliyle Tablo 5'te elde edilmiştir. RCM ve SCA ise bu problemi çözmeye iyi sonuç vermeseler de yapılan düzenlemelerle ROC yönteminin iyileştirilmiş haliyle aynı sonuç elde edilmiştir.

Hangi makinelerin hangi hücrede yer alacağı ve hangi ürün ailelerinin hangi hücrede üretileceği belirlendikten sonraki işlem makinelerin hücre içerisindeki yerleşimidir. Bundan sonraki işlem makinelerin hücre içerisindeki yerleşimidir. Makine yerleşimi sürekli akışı sağlayacak şekilde, hücrede üretilecek ürünlerin üretim akışı yönünde olmalıdır. Bu dizilim, ters yönde parça taşımalarını ve hücreler arası parça taşıma maliyetlerini en küçükleyecek şekilde yapılır.

3.2. Hücre Gruplama Etkinliğinin Ölçümü

Hücre oluşturmada amaç hücre içi boşlukların ve istisnai elemanların azlığıdır. Ayrıca, iş yükü hücreler arasında dengeli bir şekilde dağıtılmalıdır. Hücre gruplama etkinliğini ölçmek için birçok teknik geliştirilmiştir. Çalışmada Mukkash ve diğerleri (2018)'nin geliştirdiği, kusurları indirgenmiş bir performans ölçütü olan ve hücrelerin bireysel performansını da ölçen "Kapsamlı Gruplama Etkinliği" (CGE) formülü kullanılmıştır. m , matristeki toplam parça sayısı; n , matristeki toplam makine sayısı; m_j, j hücrede üretilen parça sayısı; n_j, j hücredeki makine sayısı; v_j, j hücredeki boşluk sayısı; e_j, j hücre dışında kalan istisnai elemanların sayısı; k_j, j hücredeki işlem sayısı ve p , toplam hücre sayısını vermek üzere CGE şu şekilde hesaplanır:

$$CGE = \sum_{j=1}^p \frac{k_j}{k_j + v_j + e_j} \frac{B_j}{B} \quad (1)$$

Yukarıdaki formülde, $B_j = n_j \times m_j$ ve $B = \sum_{j=1}^p B_j$ şeklinde hesaplanır.

Hücre verimliliği çok düşük olduğu durumda hücre boyutu üç gösterge ile kontrol edilebilir (Mukkash ve diğerleri, 2018). Bu üç göstergedeki (i) *seyreklik endeksi*, $\alpha_j = \frac{B_j}{B}$ formülü ile hesaplanır ve üretim sistemlerinin yeniden yapılandırılması, makine tahsisi veya parça ataması yoluyla hücre boyutunu kontrol etmemize yardımcı olur. (ii) *Etkinlik endeksi*, $\tau_j = \frac{k_j}{k_j + v_j + e_j}$ şeklinde hesaplanır. Etkinlik endeksini bilmek hücrelerdeki boşlukları, istisnaları ve işlem sayısını bilmemize yardımcı olur. (iii) *Hücre verimlilik endeksi* ise hücre boyutunun etkisini, çözülen matrisin seyrekliğini ve hücre içindeki işlemlerin sayısını dikkate alır ve seyreklik ile etkinlik endekslerinin çarpımı sonucu elde edilir: $\alpha_j \tau_j = \frac{B_j}{B} \frac{k_j}{k_j + v_j + e_j}$.

Kapsamlı gruplama etkinliği ile elde edilecek diğer önemli ölçüler ise şu şekilde sıralanabilir. Hücre içi boşluk ve istisnai elemanların sayısının hücredeki işlem sayısına bölünmesi ile edilen hücre göstergesi, $\beta_j = \frac{v_j + e_j}{k_j}$, kötü yapılandırılmış hücre ile mükemmel yapılandırılmış hücreyi ayırt etmemizi sağlar. Hücre içinde farklı ürünlerin üretilebilmesinin

ölçütü ise “esneklik”tir. Esnekliği ölçmek için ortalama esneklik göstergesi $AMF_j = \frac{1}{p} \frac{k_j}{B}$ kullanılır. Hücrelerdeki iş yoğunluğu, hücre kullanım oranı ile hesaplanır ve $CU_j = \frac{k_j}{B_j}$ ile hesaplanır. Tüm hücrelerin ortalama kullanım oranı, makine kullanım oranı olarak adlandırılır ve $MU = \frac{\sum_j^p k_j}{B}$ formülü ile hesaplanır. Son olarak, hücreler arası akış etkinliği ile hücrelerin birbirinden bağımsızlığı tespit edilir ve $ICM = \frac{\sum_j^p k_j}{\sum_j^p (k_j + e_j)}$ formülü ile hesaplanır.

Tablo 9 ve Tablo 10’da Tablo 5’de oluşturulan hücrelerin performans değerleri verilmiştir.

Tablo 9. Gruplanan Hücrelerin Performans Değerleri

j	Hücre Boyutu (B _j)	Seyreklik Endeksi (α _j)	k _j	v _j	e _j	Etkinlik Endeksi (τ _j)	Verimlilik Endeksi	Hücre Kullanımı (CU _j)	Hücre Göstergesi (β _j)	Ortalama Esneklik Ölçüsü (AMF _j)
1	40	0.5	18	22	5	%40.0	%20.0	%45.0	1.500	0.113
2	40	0.5	29	11	8	%60.4	%30.2	%72.5	0.655	0.181

Tablo 10. Sistem verimliliği ve makine kullanım oranı

Makine Kullanımı (MU)	%58.8
Kapsamlı Gruplama Etkinliği (CGE)	%50.2
Hücreler Arası Akış Etkinliği (ICM)	%78.33

Yöntemlerin kapsamlı gruplama etkinliği %50.2, önerilen sistemdeki makine kullanım oranı %58.8’dir. Hücreler arası parça akışı istenmeyen bir durum olsa da kaçınılmazdır. Önerilen hücresel yapının akış etkinliği %78.33 olarak bulunmuştur. Arzu edilen hücrelerin kullanım oranının birbirine yakın değerler olması olsa da, bu değerler sırasıyla %45 ve %72.5 olarak bulunmuştur. Hücresel imalat için önemli bir performans göstergesi olan esneklik ölçütünün yanında hücrelerin seyreklik, etkinlik, verimlilik gibi diğer değerleri de hesaplanmıştır.

3.3. Önerilen Hücresel Üretim ile Mevcut Atölye Tipi Üretimin Karşılaştırılması

Atölye tipi üretimin gruplama etkinliğini ölçerken atölyenin tek bir hücreye sahip olduğu varsayılarak Tablo 11’deki değerler elde edilmiştir. Bu değerler kullanılarak kapsamlı gruplama etkinliği %37, makine kullanım oranı ise %37 olarak bulunmuştur. Makine kullanım oranının, %90’ın altında olmak şartı ile, ve kapsamlı gruplama etkinliği ölçütlerinin her ikisinin de yüksek olması istenilen bir durumdur. Neticede hücresel imalatın daha etkin ve verimli olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 11. Atölyenin Performans Değerleri

j	Hücre Boyutu (B _j)	Seyreklik Endeksi (α _j)	k _j	v _j	e _j	Etkinlik Endeksi (τ _j)	Verimlilik Endeksi	Hücre Kullanımı (CU _j)	Hücre Göstergesi (β _j)	Ortalama Esneklik Ölçüsü (AMF _j)
1	162	1	60	102	0	%37.0	%37.0	%37.0	1.700	0.37

4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Çalışmada bir tekstil atölyesinde hücreli imalatın uygulanabilirliği test edilmiş, bunun için ROC, RCM ve SCA yöntemleri kullanılmıştır. Mevcut makine sayıları kullanılarak hücreler oluşturulmuş ve 9 çeşit ürünün üretimi için 2 üretim hücresi elde edilmiştir. ROC yöntemi ile elde edilen 2 hücreli sistemde hücre içi boşlukları ve istisnai elemanları azaltıcı bir iyileştirme uygulanmış ve en ideal hücreli yapı oluşturulmuştur. Genel amaçlı makinelerin varlığı, RCM ve SCA yöntemlerinin problem çözümünü zorlaştırmıştır. Bu sebeple yöntemlerde bazı düzenlemeler yapılmıştır. Neticede bütün yöntemler ortak bir sonuca ulaşmıştır.

Kullanılan “Kapsamlı Gruplama Etkinliği” (CGE) formülü ile hücrelerin bireysel performansı ölçülmüş, oluşturulan hücreli yapının performansı, makine kullanım oranı, hücreler arası akış etkinliği, hücrelerin kullanım oranı, esneklik gibi çeşitli açılardan değerlendirilmiştir. Hücre boyutunu ayarlamak için seyreklik, etkinlik ve verimlilik endeksleri hesaplanmıştır.

Oluşturulan hücrelerin kapsamlı gruplama etkinliği, makine kullanım oranı gibi değerleri atölye tipi üretim sonuçları ile karşılaştırıldığında hücreli üretime geçmenin firma için daha verimli olacağı sonucuna varılmıştır.

Hücre oluşturmadan sonra yapılması gereken makinelerin hücre içerisindeki yerleşimidir. Makine yerleşimi sürekli akışı sağlayacak şekilde olmalıdır. Bu dizilim, ters yönde parça taşımalarını ve hücreler arası parça taşıma maliyetlerini en küçükleyecek şekilde yapılır. Ancak, bu konu çalışmanın kapsamı dışındadır. Daha sonraki çalışmalarda maliyet değişkenini konu alan araştırmalar yapılabilir. Ayrıca, ürün taleplerine göre üretim planlaması, makine gereksinimlerinin belirlenmesi ve hat dengeleme çalışmalarına yer verilebilir. Hücreli üretim sistemi nitelikli işgücünü gerekli kılmaktadır. Bunun için hizmet içi teorik ve uygulamalı eğitim programları düzenlenebilir ve ayrıca iş rotasyonu ile iş gören esnekliği sağlanabilir.

Hücreli imalat sistemini uygulamak isteyen hazır giyim işletmelerine bir öneri niteliği taşıyan bu çalışma, ayrıntılı üretim bilgilerinin toplanmasını gerektirmektedir. Böylece, hazır giyim üretimi esnek ve dinamik bir yapıya kavuşabilir, yurt içi pazardaki değişime ayak uydurabilir, müşteri taleplerine hızlı cevap verebilir, farklı çeşitteki ürünleri kolaylıkla üretebilir, zaman kayıplarını azaltarak üretim maliyetlerini düşürülebilir ve işletme kaynaklarını daha etkin kullanabilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Hatice Güner ve Ali Rıza Güner çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri toplama, analizi ve yorumlama, fikirselleştirme, eleştirel inceleme, son onay ve tam sorumluluk süreçlerinde katkı sağlamışlardır. Makalenin taslağı Ali Rıza Güner tarafından oluşturulmuştur.

KAYNAKLAR

1. Amruthnath, N., & Gupta, T. (2016) Modified rank order clustering algorithm approach by including manufacturing data, *IFAC-Papers OnLine*, 49(5), 138-142. doi: 10.1016/j.ifacol.2016.07.103
2. Atamtürk, A. (2009), Hücreli İmalat Sisteminde Hücre ve Yerleşim Düzeni Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

3. Başaran, B. (2005) Hücrenel üretim: Hücrelerin oluşturulmasında kullanılan yöntemlerin analizi ve bir vinç atölyesinde uygulama. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bursa.
4. Başaran, B., Çelikçapa, F. O. (2009) Bir Vinç Atölyesinde İkili Verilere Dayalı Hücre Oluşturma Yöntemleriyle Hücrelerin Oluşturulması, Erciyes üniversitesi, *İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, (32), 135-151.
5. Burbidge, J L. (1991) Production flow analysis for planning group technology, *Journal of Operations Management*, Volume 10, Issue 1. doi: 10.1016/0272-6963(91)90033-T
6. Cömert, S. E., Gökler, S. H., & Yazgan, H. R. (2016) Hücrenel İmalat Sistemlerinin K-Means Algoritması ve Genetik Algoritma ile Tasarlanması: Bir Uygulama, *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 4(3). doi: 10.21541/apjes.06335
7. Durmuşoğlu, M. B., & Nomak, A. (2000) Bir Cam Kalıbı Üretim Sisteminde GT Hücrelerinin Tasarımı ve Uygulanması, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 11(2), 13-23.
8. Durmuşoğlu, M. Bülent, Osman Kulak ve H. Hakan Balcı. (2003) Türkiye’de Hücrenel Üretim Uygulamalarının Analizi ve Değerlendirilmesi, *Endüstri Mühendisliği*. (2): 10.
9. Güçlü, K. G. (2006). Türk Traktör Fabrikasında makine yerleşiminde hücrenel imalat uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
10. Heragu, S.S. (1994) Group technology and cellular manufacturing, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-24(2). doi: 10.1109/21.281420
11. Iri, M. (1968) On the Synthesis of Loop and Cutset Matrices and Related Problems, In RAAG Memoirs, edited by K. Kondo, *Research Association of Applied Geometry*, Japan, ss. 376-410.
12. King, J.R. (1980) Machine-component grouping in production flow analysis: an approach using a rank order clustering algorithm, *International Journal of Production Research*, Vol. 18, Issue 2, 213-232. doi: 10.1080/00207548008919662
13. Liao, T. W. (1994) Design of Line-Type Cellular Manufacturing Systems for Minimum Operating and Material Handling Costs, *International Journal of Production Research*, 32, 2, s. 387-397. doi: 10.1080/00207549408956939
14. McAuley, J. (1972) Machine grouping for efficient production. *Production Engineer*, 51(2), 53-57.
15. McCormick, W. T., Schweitzer, P. J. and White, T. W. (1972) Problem decomposition and data reorganization by a clustering technique, *Operations Research*, 20(5), 993-1009. doi: 10.1287/opre.20.5.993
16. Mukattash, A., Dahmani, N., Al-Bashir, A., & Qamar, A. (2018) Comprehensive grouping efficacy: A new measure for evaluating block-diagonal forms in group technology, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 9(1), 155-172. doi: 10.5267/j.ijiec.2017.3.006
17. Nagi, R., Harhalakis, G. ve Proth, J. M. (1990) Multiple Routeings and Capacity Considerations in Group Technology Applications, *International Journal of Production Research*, 28, 12, s. 2243-2257. doi: 10.1080/00207549008942864
18. Öztürk, Ö. (2013) Bir Otomobil Fabrikasının Şanzuman Üretim Bölümü İçin Hücrenel Üretim Sistemi Önerisi, *Anadolu University Journal of Social Sciences*, 13(4).

19. Ülker, Y., Başaran, B. (2008) Bir grup teknolojisi modeli olarak hücresel imalat sistemi ve faaliyet tabanlı maliyetleme sistemiyle bütünleştirilmesi, *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (37), 152-164.
20. Wemmerlöv, U. & Hyer, N.L. (1987) Research issues in cellular manufacturing, *Journal of Production Research*, 25:3. doi: 10.1080/00207548708919850
21. Wu, N. & Salvendy, G. (1999) An efficient heuristic for the design of cellular manufacturing systems with multiple identical machines, *International Journal of Production Research*, 37:15. doi: 10.1080/002075499190167
22. Yozgat, S., & Atmaca, E. (2018). Bir Mobilya Fabrikasında Hücre Tasarımı ve Hücre Etkinliğinin Belirlenmesi. *Çukurova Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(2), 377-390.