

Düzensiz talep koşullarında melez üretim sistemlerinin aksiyomlarla tasarımı

Şule İtr SATOĞLU*, M. Bülent DURMUŞOĞLU

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Çalışmamızda kısmî tek parça akışının uygulandığı melez üretim sistemlerinin tasarımı için Aksiyomlarla Tasarım (AD) yöntemini kullanan bir yol haritası önerilmiştir. Tek parça akışının uygulanabilmesi için parçaların hücreler arası hareketlerine neden olan istisnai operasyonlar yok edilmelidir. Çalışmamızda alternatif makineler incelenerek, geliştirilen kurallar çerçevesinde istisnai operasyonlar sistematik biçimde alternatiflere atanmaya çalışılır. Tek parça akışına yönelik tasarım algoritması çalışmanın özgün yönlerinden biridir. Çünkü istisnai operasyonları yok etmek için alternatif makineleri kullanan, fonksiyonel alandan da yararlanmaya olanak tanıyan sistematik bir yaklaşım önerilmiştir. İstisnai operasyonların yok edilmesinin ardından hücre içerisinde tek yönlü akışın sağlanması hücrelerde tek parça akışını mümkün hale getirir. Bu aşamadan sonra benzetim tekniğinden yararlanarak darboğaz kaynakları belirleme ve yok etme prosedürü uygulanır. Bu prosedür de AD'yi temel alan sistematik bir yaklaşımdır. Darboğazlar belirlenirken hücredeki hangi iş merkezinin veya iş merkezlerinin darboğaz olduğu kurallar yardımıyla belirlenir. Daha sonra iş merkezinde hangi kaynağın buna neden olduğu sistematik biçimde araştırılır. Belirlenen darboğazların yok edilmesi için de AD kullanılarak bir dizi çözüm önerilmiştir. Son olarak sistemin yerleşim planı, melez yerleşime uygun biçimde hazırlanır. Önerilen yol haritası düşünsel bir örnek üzerinde uygulanmıştır. Ayrıca istisnai operasyonları içeren sistem ile TPA algoritması uygulandıktan sonra elde edilen sistem Arena 10.0 benzetim yazılımı ile ayrı ayrı modellenmiştir. Geliştirilen algoritmanın, düşünsel örnekteki sistemin parça imalat temin süresini çarpıcı biçimde azalttığı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tek parça akışı, melez üretim sistemi tasarımı, düzensiz talep.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Şule İtr SATOĞLU. onbaslis@itu.edu.tr; Tel: (212) 293 13 00 dahili: 2670.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Düzensiz talep koşullarında melez üretim sistemlerinin aksiyomlarla tasarımı" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 23.01.2008 tarihinde dergiye ulaştırılmış, 02.05.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.11.2009 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Design of hybrid cellular manufacturing systems in erratic demand conditions using axiomatic design

Extended abstract

Today, product demands have become erratic due to increase in product variety, and competitiveness among companies. Manufacturing systems must be redesigned in order to adapt to these changes, and respond quickly to erratic demand. Lead time of the manufacturing system should be decreased in order to achieve these goals. Therefore, one-piece flow is employed during design, at this study. Moreover, as the companies produce wide range of products, these products should be in different stages of their life cycle. For instance, products that are at their birth phase must be produced in functional layout. Sample parts or prototypes are examples to these part types. However, parts with relatively stable design and high demand must be produced in cells. This results in coexistence of both cells and functional layout at the same factory. These systems are called hybrid cellular manufacturing systems (HMS). These systems are met frequently in real world. However, solution approaches that focus on erratic demand conditions and HMS design are very limited.

For these reasons, a road map for the design of HMS in erratic demand conditions using Axiomatic Design (AD) was proposed at this study. Exceptional operations causing inter-cell traffic should be eliminated, so as to implement one-piece flow. For this purpose, a one-piece flow algorithm where alternative machines are utilized is developed at this study. As technology improved, machines have become able to carry out operations of other machines, and this caused them become alternative for each other. At our one-piece flow algorithm, alternative machines are evaluated, and exceptional operations are tried to be eliminated by reassigning them to alternatives systematically. This algorithm is one of the unique components of our study, because it utilizes alternative machines both in cells and in functional layout in order to eliminate exceptional operations. After the elimination of exceptions, unidirectional flow must be established in each cell. This enhances one-piece flow in cells, and decreases production lead time of the parts. Simulation technique is used so as to check sufficiency of system capacity, and bottlenecks are identified on the basis of simulation

results. Bottleneck identification is also a rule-based approach using AD principles. Afterwards, bottlenecks must be eliminated. For this purpose, a systematic procedure is developed and pursued. In order to eliminate bottlenecks, some sequential solutions are proposed using AD. Solutions must be implemented starting from the simplest to the hardest. The hardest solution is purchasing machines.

This approach was applied on a small hypothetical example, to reflect most of the possible situations. First, part-machines matrix of the problem was clustered using Average Linkage Method, and some exceptional operations were found. The improved machine-part matrix was established, including alternative machines for each operation. Exceptional operations were tried to be eliminated by reassigning them to alternatives based on the rules. By pursuing these rules, all exceptional operations were eliminated in the problem. Afterwards, unidirectional flow in each cell was achieved by using the heuristic of Aneke and Carrie (1986). The resulting system consists of cells with one-piece flow and functional layout with batch flow, without exceptions. The sufficiency of the resources was checked by using the simulation technique. Bottlenecks were identified by evaluating the lead times and queue lengths. Addition of new machines were also tried to remove the bottlenecks. Moreover, the systems before and after the implementation of the proposed algorithm were modeled, and were compared. It is clear that the proposed algorithm decreased the production lead time of the parts produced.

Finally, the model explained above was applied at the factory of a Turkish automotive-parts manufacturer. The system was designed as a HMS where partial one-piece flow is achieved through the proposed model and the algorithm. The lead time performance of the proposed design where one-piece flow is applied within the cells was compared with that of the former design with batch flow, using simulation models. Based on simulation results, the proposed design had superior performance. Moreover, existence of bottleneck machines was analyzed using the simulation model. This analysis showed that machines were not bottleneck resources.

Keywords: One-piece flow, hybrid cellular manufacturing system design, erratic demand.

Giriş

Günümüzde ürün çeşitliliğinin ve rekabetin artması vb. nedenler ile ürün talepleri oldukça düzensiz hale gelmiştir. Sistemin bu şartlara ayak uydurabilmesi için, talebe hızlı yanıt verecek şekilde yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Hızlı yanıt vermek için üretim sisteminin temin süresinin düşürülmesi gerekir. Bunun için çalışmamızda sistem tasarımı sırasında tek parça akışının gerçekleştirilmesine çalışılmıştır.

Parti tipi üretimin gerçekleştiği imalat sistemlerinde performansı arttırmak için tek parça akışı uygulanabilir (Miltenburg, 2001). Parti tipi akış sırasında belli büyüklükteki partinin, bir makineye diğerine geçmesi için partideki tüm parçaların ilgili işleminin tamamlanması gereklidir. Fakat Tek Parça Akışı (TPA)'nda parçalar, ilk iş merkezinde işlendikten sonra takip eden merkeze gider; ondan sonra gelen parçaları beklemez. TPA'nda parti tipi akışa göre daha kısa sürede üretimin tamamlanmasının nedeni, parçaların ardışık iş merkezlerinde birbirlerine paralel olarak işlenmesidir. Böylece beklemler azaltılır.

Bunun yanında her firmanın ürün yelpazesinin genişlemesi sonucunda çeşitli ürünler yaşam çevrimlerinin farklı aşamalarında bulunabilmektedir. Örneğin başlangıç aşamasındaki ürünler fonksiyonel alanda üretilir. Numune parçalar bu tür parçalara örnek gösterilebilir. Ürün tasarımı standart hale gelen ve talebi daha yüksek olan parçalar için imalat hücreleri kurulabilir. Bu da aynı fabrika içerisinde hem imalat hücrelerinin hem de fonksiyonel alanın bulunmasına neden olmaktadır. Bu sistemlere de Melez Üretim Sistemleri (MÜS) denir (Shambu ve Suresh, 2000). Dolayısıyla, (MÜS) pratik hayatta sıkça karşılaşılan yapılardır. Ancak bu sistemlerin tasarımı hakkında az sayıda çalışma bulunmaktadır. Ayrıca düzensiz talep koşullarına odaklanan ve bu duruma özgü değişen hızlarda üretim yapmaya olanak tanıyan çözümler sınırlıdır. MÜS tasarımı için genellikle sezgisel yöntemler geliştirilmiştir (Venkataramanaiah ve Krishnaiah, 2002; Harhalakis vd., 1996; Gravel vd., 2000; Viguer ve Pierreval, 2004). Bunun yanında doğrusal olmayan programlama (Murthy ve Srinivasan, 1995) ve doğrusal programlama (Ioannou,

2006) kullanarak MÜS tasarımı gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Ancak bu konudaki geçmiş çalışmaların tümü söz konusu tasarım probleminin belli bir kesitini çözmeye yöneliktir. Fakat bu tasarım, çok sayıda alt problemi içerdiğinden yukarıda söz edilen tekniklerle bütünsel bir tasarım elde edilemez. Bu çalışmada AD'nin tasarıma getirdiği bütünsel yaklaşım sayesinde MÜS tasarımı için bütünsel bir yol haritası önerilmiştir. Bu yüzden çalışmamızda düzensiz talep koşullarında kısmî tek parça akışının uygulandığı melez üretim sistemlerinin tasarımı için Aksiyomlarla Tasarım (AD) yöntemini kullanan bir yol haritası önerilmiştir. Tek parça akışının uygulanabilmesi için parçaların hücreler arası hareketlerine neden olan istisnai operasyonlar yok edilmelidir. Bu amaçla alternatif makinelerden yararlanılacaktır. Teknolojinin gelişmesi sayesinde bilgisayar kontrollü makineler birbirlerinin işlevlerini yerine getirebilir hale gelmiştir. Bu durumdan yararlanarak istisnai operasyonların alternatiflere atanmasına çalışılacaktır. Alternatif makineler incelenerek, geliştirilen kurallar çerçevesinde istisnai operasyonlar sistematik biçimde alternatiflere atanmaya çalışılır.

Tek parça akışına yönelik tasarım algoritması, bu çalışmanın özgün yönlerinden biridir. Çünkü istisnai operasyonları yok etmek için alternatif makineleri kullanan, fonksiyonel alandan da yararlanmaya olanak tanıyan sistematik bir yaklaşım önerilmiştir. İstisnai operasyonların yok edilmesinin ardından hücre içerisinde tek yönlü akışın sağlanması hücrelerde tek parça akışını mümkün hale getirir. Bu sayede ürünlerin temin süreleri düşer, temin süresi değişkenliği azalır. Benzetim tekniği ile tasarlanan sistemin kapasite yeterliliği kontrol edilir ve benzetim sonuçlarına dayanarak darboğazlar belirlenir. Darboğaz belirleme aşamasında da kurallara bağlı sistematik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Daha sonra belirlenen darboğazlar yok edilir. Bu amaçla darboğaz kaynakları belirleme ve yok etme prosedürü geliştirilmiştir. Bu prosedür de AD'yi temel alan sistematik bir yaklaşımdır.

Makalemizde bundan sonraki bölümler şu şekilde sıralanmıştır: Öncelikle Aksiyomlarla Tasarım (AD) yönteminden kısaca bahsedilerek, me-

lez üretim sistemleri için geliştirilen AD modeli açıklanmıştır. Ardından geliştirilen tek parça akışı algoritması açıklanmıştır. Daha sonra dünsel örnek üzerinde gerçekleştirilen aşamalar özetlenmiş ve geliştirilen algoritmanın üretim temin süresine etkisi benzetim modelleri kullanılarak incelenmiştir.

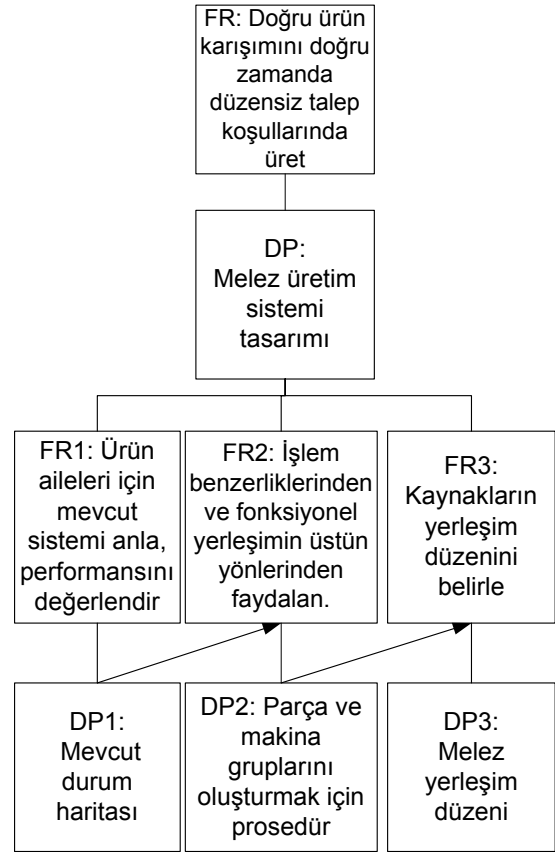
Aksiyomlarla tasarım yöntemi

Aksiyomlarla tasarımın en temel amacı tasarıma bilimsel bir altyapı oluşturup, tasarımcıyı mantıklı ve akıllı düşünce süreçleri ve araçları ile destekleyerek tasarım faaliyetlerini geliştirmektir. Ayrıca bu yöntem, tekrarlayan denemeyanılma faaliyetlerini en aza indirmek, önerilen tasarımlar arasından en iyisini seçmek ve tasarım dünyası için bilimsel bir alt yapı oluşturarak bilgisayardan mümkün olduğu kadar fazla yararlanmayı da amaçlamaktadır (Suh, 2001). Bu yöntemde kullanılan bazı terimlerin de tanımlanması gereklidir. Fonksiyonel gereksinimler (FR), fonksiyonel bilgi sahasında ilgili tasarımın bütün gereksinimlerini tanımlayan bağımsız gereksinimlerin minimum toplamı olarak tanımlanır. Tanım gereği, her bir fonksiyonel gereksinim diğerlerinden bağımsızdır. Tasarım Parametresi (DP), fonksiyonel gereksinim ile tanımlanan, tasarım süreçleri ile oluşturulan, fiziksel kavramı nitelendiren anahtar değişkenlerdir. Diğer bir deyişle fonksiyonel gereksinimler "tasarım vasıtasıyla neyi başarmak istediğimizi" belirtirken, tasarım parametreleri "fonksiyonel gereksinimleri nasıl başarabileceğimizi" belirtmektedir. Aksiyomlarla tasarım yaklaşımına göre iyi bir tasarım, iki aksiyom tarafından yönlendirilir. Bu aksiyomlar şu şekilde ifade edilirler (Suh, 1990): 1. Aksiyom (Bağımsızlık aksiyomu), fonksiyonel gereksinimlerin bağımsızlığını sağlamayı gerektirir. 2. Aksiyom (Bilgi aksiyomu), tasarımın bilgi içeriğini en aza indirmeyi zorunlu kılar. AD ile tasarım, bu aksiyomlar kabul edilerek gerçekleştirilir.

Melez üretim sistemlerinin tasarımı için aksiyomlarla tasarım modeli

Bu bölümde Düzensiz Talep Koşullarında Melez Üretim Sistemlerinin Aksiyomlarla Tasarım (AD) prensiplerine göre hazırlanan modeli açıklanacaktır. Tasarımın 'Doğru Ürün Karışımını

Doğru Zamanda Düzensiz Talep Koşullarında Üretmesi'(FR) gerekmektedir. Bunun için uygulanması gereken tasarım parametresi Melez Üretim Sistemi Tasarımı (DP)'dir. Melez Üretim Sistemi Tasarımı (DP)'nin uygulanabilmesi için daha ileri düzeyde ayrıştırma gerektiğinden fonksiyonel sahaya geri dönülüp İlgili Fonksiyonel Gereksinimin (FR) daha alt düzeyde FR'lere ayrıştırılması gerekmektedir (Suh, 2001). Şekil 1'de bu ayrıştırmadaki FR'ler ve ilgili DP'ler gösterilmiştir.



Şekil 1. AD modelinin birinci düzeyi

Şekilde oklarla gösterildiği gibi DP1, FR2'yi ve DP2, FR3'ü etkiler. Bu nedenle tasarım parametreleri DP1, DP2 ve DP3 sırasıyla uygulanmalıdır. AD modelinin birinci düzeyi için tasarım eşitliği (1)'de görülmektedir. Tasarım AD'nin bağımsızlık aksiyomunu sağlamaktadır.

$$\begin{bmatrix} FR1 \\ FR2 \\ FR3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ & X & X \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} DP1 \\ DP2 \\ DP3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Mevcut durum haritası (DP1) hakkında daha fazla ayrıştırma yapılmamıştır. Bunun detayları (Tapping vd., 2001)'de bulunabilir. Şekil 2'de "İşlem Benzerliklerinden ve 'Fonksiyonel Yerleşimin Üstün Yönlerinden Faydalanma" (FR2) gereksinimine ait ayrıştırma görülmektedir. DP21'de kullanılan Pareto Prensibi'ne göre ortaya çıkan sonuçların %80'i, faktörlerin %20'si nedeniyle meydana gelir. Metodolojide, bu ilke kullanılarak talebin %80'ini oluşturan yüksek talepli parçalar öncelikle bulunur.

Ardından parça taleplerinin düzensizliği incelenir (FR22). Talep düzensizliğini ölçmek için bilinen talep verilerine dayanarak, talebin standart sapmasının ortalamasına oranı ile bulunan Değişkenlik Katsayısı (CV) hesaplanmıştır. CV değeri arttıkça düzensizlik de artar (Friend vd., 2001).

Gelişen teknoloji sayesinde bilgisayar kontrollü tezgâhların çok çeşitli işlemleri gerçekleştirebilmeleri, makinelerin birbirlerine alternatif olmalarını sağlamıştır. Bu alternatif makineler sayesinde istisnai operasyonlar azaltılabilir. Bu nedenle 'parçaların işlenmesi için gereken makinelerin bütün alternatifleri de içerecek şekilde belirlenmesi' (FR23) ve bunun için birbirine alternatif olan makineleri de içerecek şekilde 'geliştirilmiş makine-parça matrisi'nin oluşturulması gerekmektedir (DP23). Bu aşamadan sonra, odaklanılan parçalar operasyon benzerliklerine göre gruplandırılır (FR24). Bunun için hücre oluşturma prosedürü uygulanır (DP24). Bu prosedürde yüksek ve düzenli talepli parçalar için hücreler oluşturulur. Eğer düzensiz ve düşük talepli parçaların hücrelere atanması ek istisnai operasyona yol açmıyorsa bunlar da hücrelerde üretilebilir. Aksi halde fonksiyonel alanda üretilmeleri gerekir. Hücre oluşturma prosedürü (DP24)'ne ait akış şeması Şekil 3'te gösterilmiştir.

Parça aileleri ve makine grupları oluşturulduktan sonra meydana gelen sistemin akışındaki gecikmelerin minimize edilmesi gerekir (FR25). Bu gecikmeler, tek parça akışının uygulanmaması yani parti tipi akış nedeniyle ortaya çık-

maktadır. Bu yüzden Tek Parça Akışına Yönelik Tasarım (DP25) uygulanır.

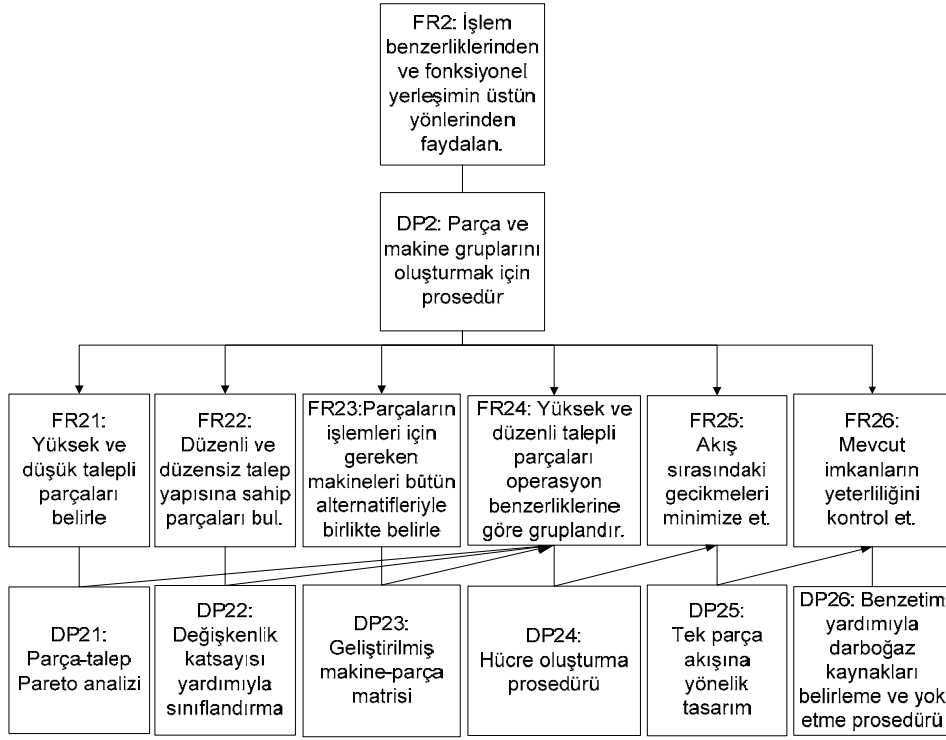
Son olarak mevcut imkanların yeterliliği kontrol edilir (FR26). Bu amaçla "benzetim yarımıyla darboğaz kaynakları belirleme ve yok etme prosedürü" (DP26) geliştirilmiştir. Bu prosedürde mevcut üretim kaynaklarının talebi karşılamakta yeterli olup olmadığı, sistemin temin süresinin ölçümü ve kuyruk uzunluklarının incelenmesi ile gerçekleştirilir. Mevcut durum haritasında hesaplanan temin süresi ile karşılaştırılarak melez sistem tasarımının performansı değerlendirilir. Ayrıca varsa darboğazları yok edecek çözümlerin bulunması amaçlanmıştır. FR2'nin ayrıştırmasına dair tasarım eşitliği (2)'de görülmektedir. Bu tasarım da bağımsızlık aksiyomunu gerçekleştirilmektedir.

$$\begin{bmatrix} FR21 \\ FR22 \\ FR23 \\ FR24 \\ FR25 \\ FR26 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & & & & \\ & X & & & & \\ & & X & & & \\ X & X & X & X & & \\ & & & X & X & \\ & & & & X & X \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} DP21 \\ DP22 \\ DP23 \\ DP24 \\ DP25 \\ DP26 \end{bmatrix} \quad (2)$$

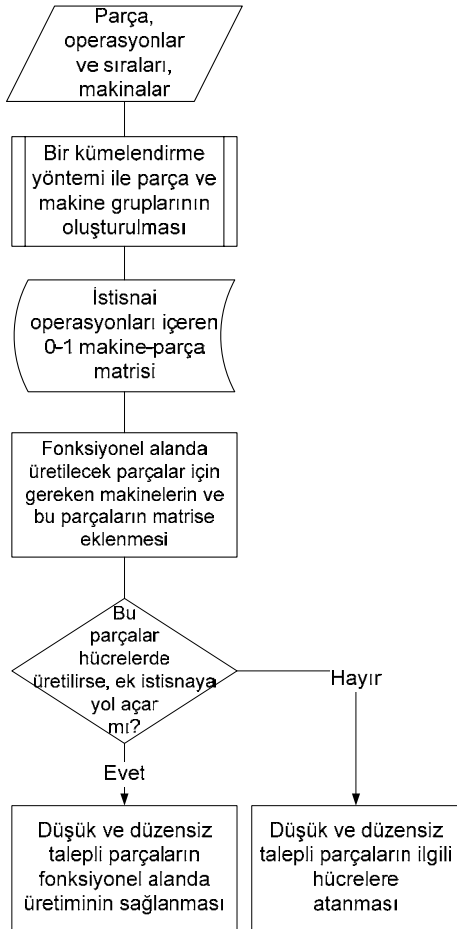
'Tek Parça Akışına Yönelik Tasarım' (DP25)'in ayrıştırması Şekil 4'te görülmektedir. Bu tasarıma ait algoritma çalışmasının *özgün* yönlerinden biridir. Çünkü istisnai operasyonları yok etmek için alternatif makineleri kullanan, fonksiyonel alandan da yararlanmaya olanak tanıyan sistematik bir yaklaşım önerilmiştir. İstisnai operasyonların yok edilmesinin ardından hücre içerisinde tek yönlü akışın sağlanması hücrelerde tek parça akışını mümkün hale getirir. Bu sayede sistemin temin süresi düşer. Bu ayrıştırmanın ayrıntıları, Tek parça akışı algoritması adlı bölümde açıklanmıştır.

FR251'e ait ayrıştırma için tasarım eşitliği de (3)'te sunulmuştur. Bu eşitlik de bağımsızlık aksiyomunu gerçekleştirmektedir.

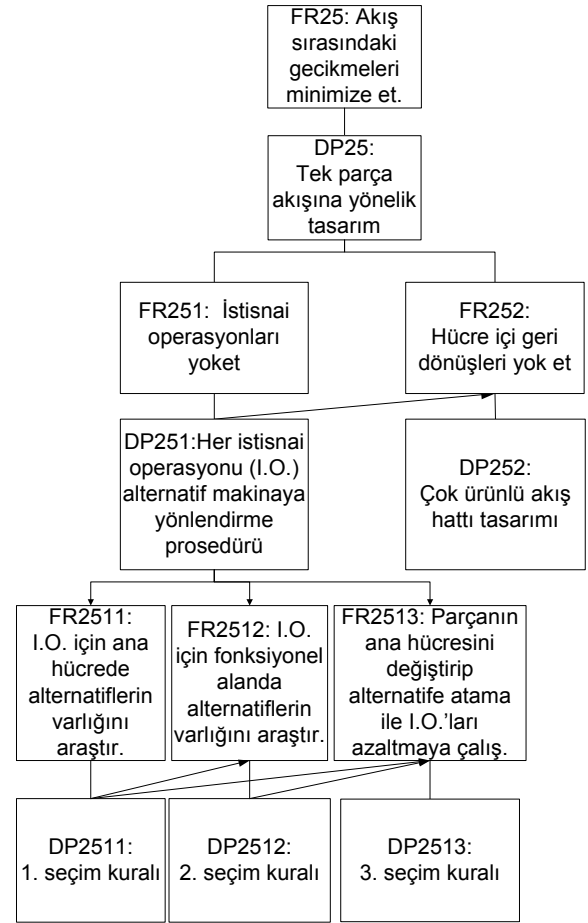
$$\begin{bmatrix} FR2511 \\ FR2512 \\ FR2513 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & \\ X & X & \\ X & X & X \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} DP2511 \\ DP2512 \\ DP2513 \end{bmatrix} \quad (3)$$



Şekil 2. FR2'nin ayrıştırılması

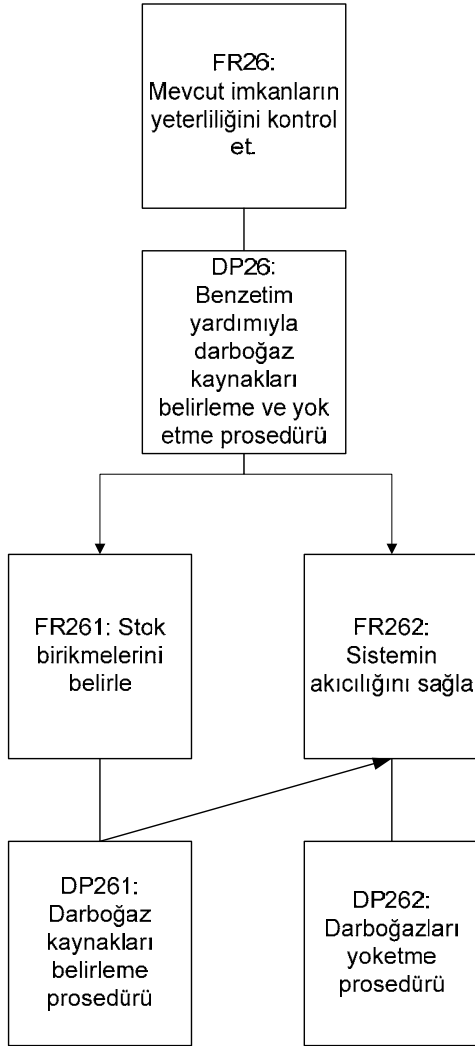


Şekil 3. Hücre oluşturma prosedürüne ait akış şeması



Şekil 4. FR25'in ayrıştırılması

Mevcut imkânların yeterliliğini kontrol etmek için önce stok birikmelerini belirlemek (FR261), ardından sistemin akıcılığını sağlamak (FR262) gerekir. Bu gereksinimleri yerine getirmek için sırasıyla darboğaz kaynakları belirleme (DP261) ve yok etme (DP262) prosedürleri gerçekleştirilmelidir. Şekil 5'te, sözü edilen ayrıştırma görülmektedir.



Şekil 5. FR26'nın ayrıştırılması

Darboğaz kaynakları belirleme prosedüründe (DP261) Chen ve diğerleri (2001)'nin geliştirdiği; AD'yi temel alan ve kurallar çerçevesinde hücrelerdeki darboğazları belirlemeye çalışan yaklaşımından yararlanılmıştır. Ayrıntılar, ilgili çalışmada mevcuttur. Bir sonraki aşama, belirlenen darboğazların yok edilmesidir (DP262). Burada en basitten en zora doğru darboğazları yok etmek için denenmesi gereken çözümler

sıralanmıştır. Bu çözümler soldan sağa doğru, sıra ile uygulanmalıdır. Bu sıra ilişkisi şekildedir oklardan da anlaşılmaktadır. Şekil 6'da darboğazları yok etme prosedürünün ayrıştırılması gösterilmiştir. (4) nolu tasarım eşitliğinde söz konusu ayrıştırmanın bağımsızlık aksiyomunu sağladığı görülmektedir.

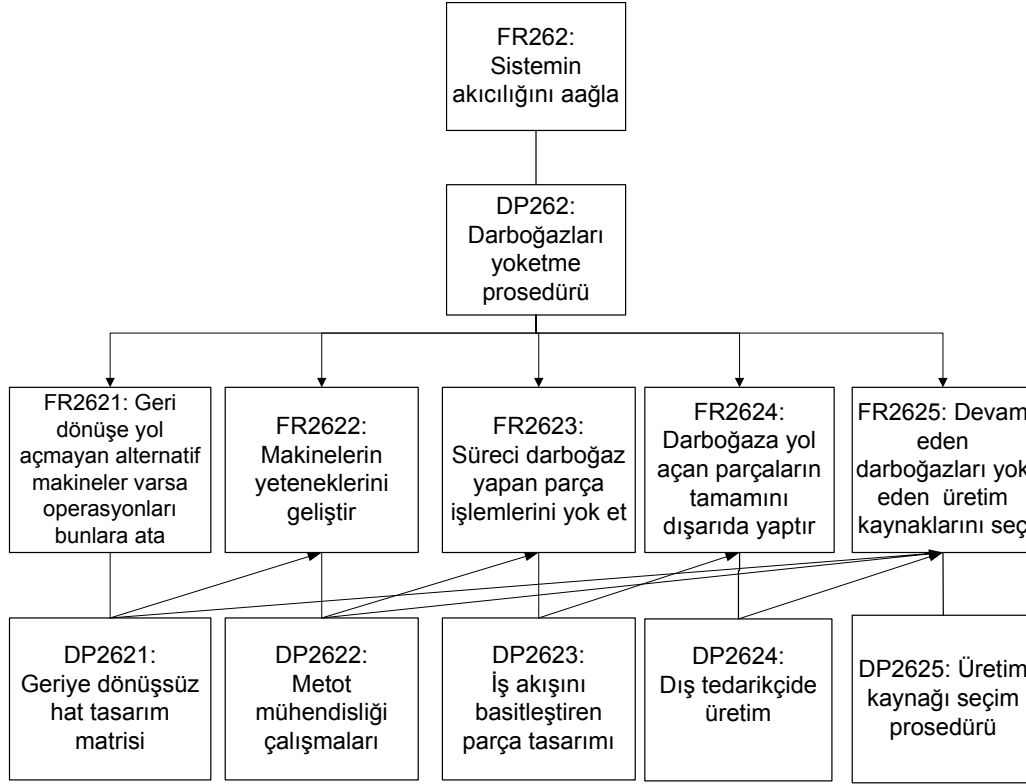
$$\begin{bmatrix} FR2621 \\ FR2622 \\ FR2623 \\ FR2624 \\ FR2625 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X & & & & \\ X & X & & & \\ & X & X & & \\ & & X & X & \\ X & X & & X & X \end{bmatrix} \begin{bmatrix} FR2621 \\ FR2622 \\ FR2623 \\ FR2624 \\ FR2625 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Son olarak kaynakların yerleşim düzeninin yapılması gereklidir. Bunun için sırasıyla, birbirine bağlı hücreler arası mesafeyi azaltmak ve fonksiyonel alandaki makineleri yerleştirmek gereklidir.

Tek parça akışı algoritması

Bu başlık altında Tek parça akışına yönelik tasarım (DP25)'de belirtilen Tek Parça Akışı Algoritması açıklanmaktadır. Şekil 7'de, sezgisel yöntemin (algoritma) özet akış şeması görülmektedir. Sezgisel yöntem, şu şekilde çalışmaktadır: Öncelikle parçalar, operasyonlar, operasyon sıraları ve makineleri içeren veriler toplanır. Bir kümelendirme yöntemi ile parçama-kine grupları oluşturularak, başlangıç çözümü elde edilir. Burada, seçilen kümelendirme yönteminin performansına çok önem verilmemektedir. Çünkü başlangıç çözümündeki istisnai operasyonlar, geliştirilen algoritma ile azaltılmaktadır. Algoritmada, tüm operasyonlar listelenir ve bir adet operasyon ele alınıp, listeden çıkarılır.

Operasyonun istisnai operasyon (İ.O.) olup, olmadığına bakılır. Eğer İ.O. ise parçanın ana hücresindeki alternatif makinelerin varlığı araştırılır. Eğer mevcutsa, 1. Seçim Kuralı'nın adımları uygulanır ve operasyon, hücredeki en düşük işlem süreli alternatif makineye atanır. Daha sonra, fonksiyonel alandaki alternatif makinelerin varlığı araştırılır. Eğer alternatif varsa, 2. Seçim Kuralı'nın adımları uygulanarak, gerekli şartlar sağlandığı takdirde fonksiyonel alandaki



Şekil 6. Darboğaz kaynakları yok etme prosedürünün ayrıştırılması

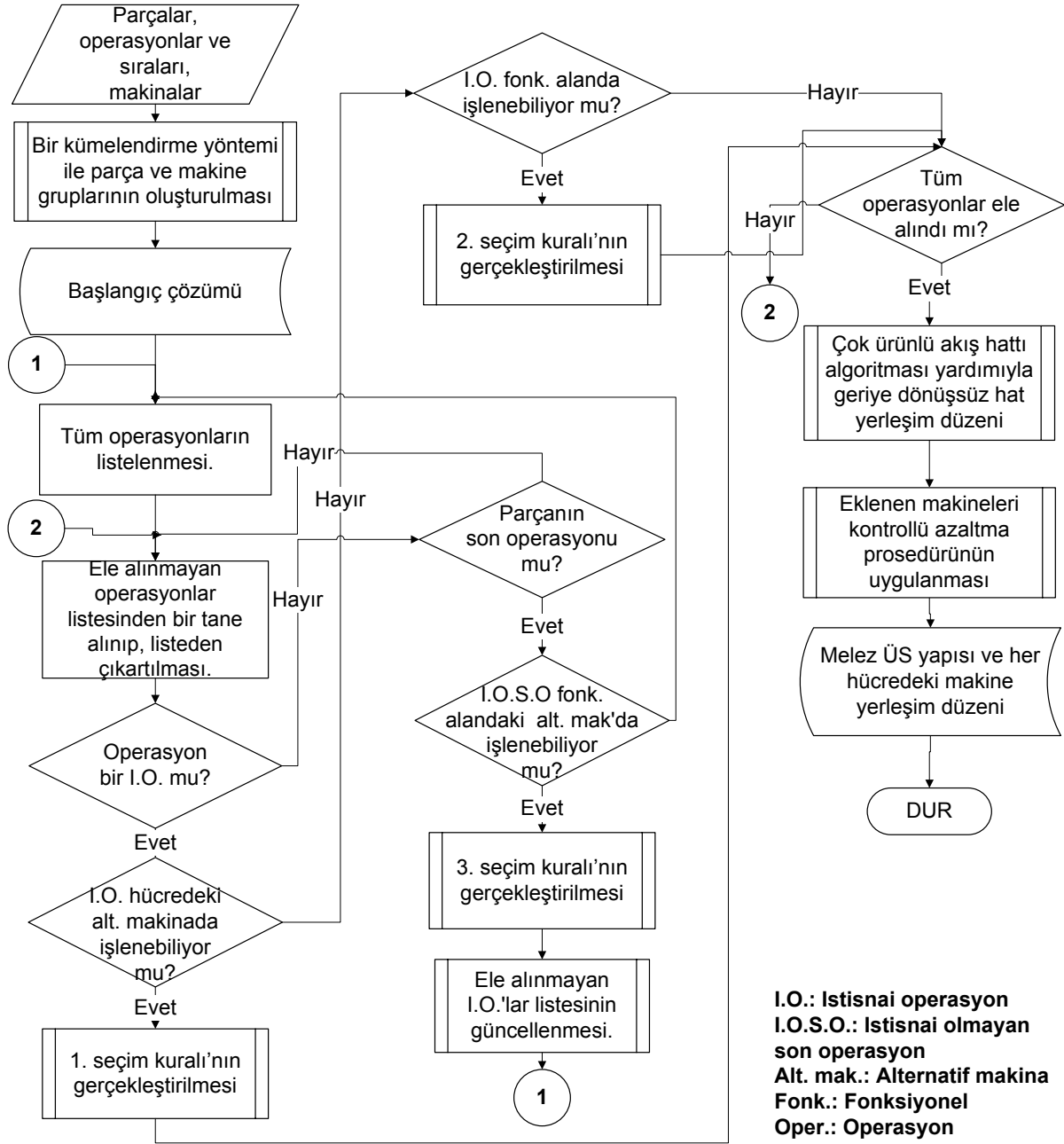
uygun alternatifte yeniden atama yapılır. Bu kural uygulanırken, operasyonun parçanın son operasyonu olması, değilse bunu takip eden operasyonların da fonksiyonel alana atanabilmesi istenir. Bunun nedeni, hücredeki tek parça akışını bozan, hücre ve fonksiyonel alan arasındaki gidiş-gelişleri engellemektir. Eğer operasyon bir İ.O. değilse, ilgili parçanın son operasyonu olup, olmadığına bakılır. Son operasyon ise fonksiyonel alandaki bir alternatif makinede işlenip işlenemeyeceği incelenir. İşlenebiliyorsa 3. Seçim Kuralı uygulanarak İ.O. sayısı azaltılmaya çalışılır. Eğer bu kuraldaki gerekli koşullar sağlanıyorsa ele alınmayan İ.O.'lar listesi, bu operasyon çıkartılarak güncellenir ve Şekil 7'de görülen (1) noktasına dönülüp tüm operasyonlar listelenir. Çünkü bazı operasyonlar istisnai olmaktan çıkıp diğerleri istisna haline gelebilir.

1., 2. ve 3. kurallar uygulandıktan sonra tüm operasyonların ele alınıp alınmadığı kontrol edilir. Ele alındıysa, Çok Ürünlü Akış Hattı Algoritması kullanılarak her hücre, geriye dönüşsüz hat yerleşim düzenine uygun biçimde tasarlanır. Çok Ürünlü Akış Hattı Algoritması, Aneke ve

Carrie'nin geliştirdiği yönteme (1986) dayanmaktadır. Ayrıca Çok Ürünlü Akış Hattı Algoritması'nda eklenen makineler, Eklenen Makineleri Azaltma Prosedürü kullanılarak hücre içi alternatiflere atama yoluyla akış yönünü bozmayacak şekilde azaltılmaya çalışılır. Son olarak Melez Hücresel Üretim Sistemi yapısı ve her hücredeki yerleşim düzeni elde edilir.

Düşünsel örnek üzerinde uygulama

Bir düşünsel örnek üzerinde çalışmanın amacı, gerçekte oluşabilecek pek çok durumu sergileyebilmektir. MÜS'nin hücrelerini tasarlamak amacıyla düzenli ve yüksek talepli parçalar için oluşturulan makine-parça matrisine bir kümelenme yöntemi uygulamak gerekmektedir. Bu amaçla Ortalama Bağlantı Yöntemi (Seifoddini, 1989) kullanılmıştır. SPSS® yazılımı kullanılarak başlangıçtaki makine-parça matrisi kümelendirilmiştir. Seçilen kümelenme yöntemi uygulanarak elde edilen başlangıç çözümüne operasyonların sıraları (1, 2, 3 vb.) yazılmış olup; operasyonlar için alternatif makineler parantez içerisinde belirtilmiştir. Tablo 1'de görülen matris böylece elde edilen geliştirilmiş makine-parça



Şekil 7. Tek parça akışı algoritması özet akış şeması

matrisidir. Başlangıç çözümü sonucunda sekiz adet istisnai operasyon ortaya çıkmıştır. İstisnai operasyonları yok etmek amacıyla ilgili operasyonlar için alternatif makinelerin varlığı araştırılmıştır.

FR251-DP251’de anlatıldığı şekilde bu operasyonlar öncelikle mümkünse ilgili parçanın ana hücresine, değilse fonksiyonel alandaki alternatif atama yolu ile yok edilmeye çalışılmıştır. Tablo 2’deki matris yeniden atamalar sonucun-

da elde edilmiştir. Bu matriste 7 nolu parçanın 1 nolu operasyonu, parçanın ana hücresinde bulunan 14 nolu alternatif makineye atanmış, böylece bir istisnai operasyon yok edilmiştir (DP251). 17 nolu parçanın son operasyonu fonksiyonel alandaki alternatif atamaya atanmış olup, parça 2. hücreden 1. hücreye atanınca istisnai operasyon sayısı bir azaltılmıştır (DP253). 19 nolu parçanın son operasyonu fonksiyonel alandaki 6 nolu makineye atanarak, istisna olmaktan kurtarılmıştır (DP252). Yeniden atamalar sonucunda yok

Tablo 1. Kümelenendirme sonrası geliştirilmiş makine-parça matris

		Parçalar																						
		2	4	8	10	13	22	17	7	3	11	15	16	18	14	20	19	9	6	5	12	21	1	
Makimler	1	1		1	1	1	2																	1(11)
	2	2	1		2		1	1																
	4			2	3	2																		
	17		2	3(3)	4								1(5)											
	7	3	3		5	3	3	2																
	15								3(8)	1	1		2	1	1									
	16								3(8)	4(3)	2	2	4(13)		2			3(6)			5(3)			
	14										3	3(20)	1	3	2	3								
	20								4(12)	2	4	4	2(5)		3		1(9)							
	18										5	5	3(12)	4	4	4								
	19								1(14)								2	1(12)	2	1	1			
	10																3		3	3	4			
	11																	2(5)	4(12)	2	2,3			
	9													5									4(1)	1(1),3
	5																					3(19)		2(19)
8		4																			2(14)	1	4(14)	
6	4																					2(18)	5	
13			4																			3(11)	6(8)	
3																							1(2)	
12																							4(11)	

Tablo 2. İstisnalar yok edildikten sonra elde edilen matris

		Parçalar																						
		2	4	8	10	13	22	17	7	3	11	15	16	18	14	20	19	9	6	5	12	21	1	
Makimler	1	1		1	1	1	2																	X
	2	2	1		2		1	1																
	4			2	3	2																		
	17		2	3(3)	4								X											
	7	3	3		5	3	3	2																
	15								3(8)	1	1		2	1	1									
	16								X	4(3)	2	2	4(13)		2			X			5(3)			
	14									1(19)	3	3(20)	1	3	2	3								
	20								X	2	4	4	2(5)		3		X							
	18										5	5	3(12)	4	4	4								
	19									X							2	1(12)	2	1	1			
	10																3		3	3	4			
	11																	2(5)	1(1),4(12)	2	2,3			
	9													5		1(20)							4(1)	1(1),3
	5													1(17)								3(19)		2(19)
8		4						3(16)													2(14)	1	4(14)	
6	4																3(16)					2(18)	5	
13			4																			3(11)	6(8)	
3																							1(2)	
12								4(20)															4(11)	

edilen istisnaların yerine ‘X’ işareti yazılmıştır. Böylece hangi operasyonların yeniden atandığı takip edilebilmektedir. Daha sonra, hücrelerde tek yönlü akış, Aneke ve Carrie’nin yöntemi (1986) kullanılarak sağlanmıştır. Bu yöntem sayesinde, hücrelerde tek yönde akışı sağlayacak, makine sıralaması elde edilmektedir.

İstisnai operasyonları içeren sistem ile tek parça akışı algoritması’yla elde edilen sistemin benze-

tim modelleri Arena 10.0® yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. Benzetim modellerinin kurulması ve çözümlenmesi geniş bir konu olduğundan burada anlatılmamıştır. Bu iki sistemin hücrelerinin ve fonksiyonel alanının temin süreleri arasındaki farkın % 5 hata düzeyinde, istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Fonksiyonel alana bazı operasyonlar yeniden atandığı için buradaki performans biraz düşmüştür. Ancak parti tipi akış tamamen terk edilip, hücreler-

de tek parça akışına geçiş nedeniyle hem hücrelerin hem de sistemin bütününe üretim temin süresi performansı iyileşmiştir.

Sonuçlar

Bu çalışmada düzensiz talep koşullarında melez üretim sistemlerinin aksiyomlarla tasarımı için sistematik, kavramsal bir yol haritası önerilmiştir. Geliştirilen bu metodoloji önce küçük bir örnek üzerinde denenmiştir. Benzetim ortamında parti tipi akışı olan sistem ile tek parça akışını olduğu sistemin temin süreleri ölçülmüştür. Sonuçta, tek parça akışına uygun tasarlanan sistem çok daha iyi performans göstermiştir.

Önerilen bu yol haritası, otomotiv yan sanayinde üretim yapan bir firmada darboğazların belirlenmesi ve yok edilmesi aşamasının sonuna kadar uygulanmıştır. Benzetim modellerinin sonuçları da yol haritasının ve TPA algoritmasının temin sürelerini düşürdüğünü göstermiştir. Söz konusu uygulamanın geniş olması nedeniyle başka bir makalede yayınlanması planlanmaktadır

Kaynaklar

Aneke, N.A.G. ve Carrie, A.S., (1986). A design technique for the layout of multi-product flow lines, *International Journal of Production Research*, **24**, 3, 471-481.

Chen, S.J., Chen, L.C. ve Lin, L., (2001). Knowledge-based support for simulation analysis of manufacturing cells, *Computers in Industry*, **44**, 33-49.

Friend, C.H., Swift, A.L. ve Ghobbar, A.A., (2001). A predictive cost model in lot-sizing methodology with specific reference to aircraft parts inventory: an appraisal, *Production and Inventory Management Journal*, **42**, 3, 24-33.

Gravel, M., Price, W. ve Gagne, C., (2000). An interactive tool for designing manufacturing cells

for an assembly job-shop, *International Journal of Production Research*, **38**, 2, 309-322.

Harhalakis G., Minis, T.L. ve Nagi, R., (1996). A practical method for design of hybrid-type production facilities, *International Journal of Production Research*, **34**, 4, 897-918.

Ioannou, G., (2006). Time-phased creation of hybrid manufacturing systems. *International Journal of Production Economics*, **102**, 183-198.

Miltenburg, J., (2001). One-piece flow manufacturing on U-shaped production lines: a tutorial, *IIE Transactions*, **33**, 303-321.

Murthy, V.R. ve Srinivasan, G., (1995). Fractional Cell formation in Group Technology, *International Journal of Production Research*, **33**, 5, 1323-1337.

Seifoddini, H., (1989). Single Linkage versus Average Linkage Clustering in Machine Cells Formation Applications, *Computers and Industrial Engineering*, **16**, 3, 419-426.

Shambu,G. ve Suresh, N.C., (2000). Performance of hybrid cellular manufacturing systems: a computer simulation investigation, *European Journal of Operational Research*, **120**, 436-458.

Suh, N.P., (1990). *The Principles of Design*, Oxford University Press, New York.

Suh, N. P., (2001). *axiomatic design: advances and applications*, Oxford University Press, New York.

Tapping, D., Luyster, T. ve Shuker, T., (2001). *Value stream management*, Productivity press, New York.

Venkataramanaiah, S. ve Krishnaiah, K., (2002). Hybrid heuristic for design of cellular manufacturing systems, *Production Planning & Control*, **13**, 3, 274-283.

Viguer, P. ve Pierreval, H., (2004). An approach to the design of hybrid organizations of workshops into functional layout and group technology cells, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, **17**, 2, 108-116.