

# Dışsal rota esnekliğine sahip hücresel üretim sistemlerinin benzetim analizi

Mustafa ÖZKIRIM \*, M. Bülent DURMUŞOĞLU

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

## Özet

Hücresel üretim, parti üretimi alanında, atölye tipi üretim karşısında bir seçenek sunmaktadır ve hücresel yerleşim düzeni atölye tipi yerleşimden farklıdır. Her bir üretim hücresi kendine ait parça ailesinin üretim amacı ile fonksiyonel bakımdan farklı makinaların birbirine yakın bir şekilde yerleştirilmesi ile oluşturulur. Düşük üretim içi stoklar ile üretim yapılması ve gruplanan makina kapasitelerinin ürün grupları arasında paylaşılması sonucu makina arızaları, işgücü performansındaki dalgalanmalar, aşırı yüklenme ve özellikle ürün karışımı veya ürünlerin talebindeki değişimlerin neden olduğu yük dengesizliği gibi, beklenmedik içsel ya da dışsal etkiler karşısında hücresel üretim sistemleri hassas ve zayıf konuma düşmektedir. Özellikle ürün karışımı veya ürünlerin talebindeki değişimlerin neden olduğu hücreler arası yük dengesizliği koşulunda faaliyette bulunan hücresel üretim sistemlerinin performansı oldukça kötüleşebilir. Bu çalışmada, geliştirilen bir dışsal rota esnekliğini kullanma kuralının değişen ürün karışımı şartlarında faaliyet gösteren hücresel üretim sistemlerinde uygulanması sureti ile sistem performansının iyileştirilme olanağı incelenmektedir. Konunun karmaşıklığı, problemin boyutu ve üretimin gerçekleştirildiği çevrenin dinamik doğası nedeni ile bu çalışmanın konusu olan problemin incelenmesi için üretim benzetimi yöntemi kullanılmıştır. Benzetim sonuçlarının istatistik ve grafik analizi neticesinde çalışmada geliştirilen rota esnekliğini kullanma kuralının iş akış süresi performans ölçütünde iyileşme sağlayabildiği ve sistem performansındaki bu iyileşmenin çalışmada dikkate alınan yük dengesizliği düzeyi, işlem süresi artış yüzdesi ve hazırlık süresi artış yüzdesi faktörlerinin seviyelerine bağlı olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hücresel üretim, grup teknolojisi, esnek üretim, üretim benzetimi.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Mustafa ÖZKIRIM. ozkirimmu@itu.edu.tr; Tel: (212) 293 13 00 dahili: 2691.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Dışsal iş akışı esnekliğine sahip hücresel üretim sistemlerinde çizelgeleme" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 20.02.2006 tarihinde dergiye ulaşmış, 03.07.2006 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.12.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Simulation analysis of cellular manufacturing systems with external routing flexibility

### Extended abstract

Group technology is a manufacturing philosophy which attempts to identify and economically exploit the underlying sameness of parts and manufacturing processes. Cellular manufacturing applies group technology principles to the design and management of a manufacturing system. In other words, the main idea of cellular manufacturing concept is the formation and operation of manufacturing cells dedicated to the processing of a set of part families. A manufacturing cell can be defined as a group of functionally dissimilar machines located in close proximity to one another to produce a part family. A part family is a collection of parts which are similar in terms of shape design, or manufacturing features. Cellular manufacturing systems are proposed as an alternative to the job shop systems in batch manufacturing environment. The application of cellular manufacturing concept results in the mass production effect to the multi-product, small-lot-sized batch manufacturing. Cellular layout is the opposite of shop layout where sets of functionally similar machines placed together and dedicated to producing dissimilar parts. It should be noted that the cellular manufacturing layout involves the physical arrangement of the production facilities.

Cellular manufacturing is a well-established approach which has been proven to offer many advantages when implemented correctly. The benefits of cellular manufacturing and group technology have been well documented in published case studies, surveys, and articles by the industrial exponents of the technique and the academicians. There are numerous advantages attributed to cellular manufacturing and the main advantages are the following:

- reduced set-up time,
- reduced throughput times which give faster response and more reliable delivery,
- reduced work in progress and finished inventory level,
- improved quality,
- reduced material handling effort,
- a smaller variety of tools, jigs and fixtures,
- reduced product design variety,
- better production planning and control,
- better space utilization,
- improved operator expertise,

- improved human relations, job satisfaction, morale and communication.

There exist also some disadvantages associated with cellular manufacturing which are as follows:

- increased capital investment,
- lower machine utilization,
- reduced manufacturing flexibility.

In order to obtain a competitive advantage many firms engaged in batch production recently consider the improved manufacturing flexibility as a vitally important manufacturing objective. Cellular manufacturing, however, is aimed at stable situations in which manufacturing flexibility is reduced to some extent since the machines are dedicated to the production of part families in order to gain the improved performance of mass production. Manufacturing flexibility can be designed into cellular manufacturing systems and there are numerous types of manufacturing cells ranging from pure group technology cells to flexible cells.

The performance of cellular manufacturing systems may diminish when they operate under the unexpected workload imbalance between the cells caused specially by the changes in part mix and demand distributions. This work investigates the level of performance improvement that can be obtained by applying a decision rule developed in the work and that exploits the external routing flexibility of a cellular system experiencing workload imbalances between the cells caused by the changes in part mix and demand distributions. Because of the complexity of the matter, the size of the problem and the dynamic nature of the manufacturing environment, the manufacturing simulation approach has been chosen as the research vehicle to investigate the problem considered. The statistical and graphical analysis of the results of simulation experiments have showed that the average throughput time performance measure of a cellular system can be improved to an important degree when the proposed decision rule exploiting the external routing flexibility of the system is implemented. However, the improvement seem to be related to the level of load imbalance, the level of percentage increase in operation time and the level of percentage increase in set up time.

**Keywords:** Cellular manufacturing, flexible manufacturing, group technology, manufacturing simulation.

## **Giriş**

Grup teknolojisi parçalar ve bu parçaların üretimi için gerekli işlemlerin temelinde yatan benzerlikleri belirlemeye ve ekonomik olarak kullanmaya çalışan bir üretim felsefesidir. Hücresel üretim ise grup teknolojisi prensiplerinin üretim sistemi tasarımı ve yönetimine uygulanmasıdır. Diğer bir ifade ile belirli parça ailelerinin işlenmesine tahsis edilmek üzere üretim hücrelerinin oluşturulması ve yönetimi hususu hücresel üretim kavramının ana fikrini oluşturmaktadır. Üretim hücresi bir parça ailesinin üretimi amacı ile fonksiyonel bakımdan farklı makinaların birbirine yakın bir şekilde yerleştirilmesi olarak tanımlanabilir. Bir parça ailesi biçimsel tasarım veya üretim özellikleri bakımından benzer parçalardan oluşan bir parça topluluğudur. Hücresel üretim parti üretimi alanında atölye tipi üretim karşısında bir seçenek sunmaktadır. Hücresel üretim kavramının uygulanması sonucu çok ürünlü ve ufak hacimli parti üretimi üzerinde kütle üretimi etkisi sağlanır. Hücresel yerleşim, işlevsel bakımdan benzer makinaların farklı tipteki parçaları üretmek için birbirine yakın yerleştirildiği, atölye tipi yerleşime tümü ile zıt bir yapıdadır. Hücresel üretimdeki yerleşim planı üretim donanımının yeniden düzenlenmesini gerektirmektedir. Grup teknolojisi doğru olarak uygulandığı zaman çok faydalı olduğu ispatlanmış bir yaklaşımdır. Hücresel üretimin sağladığı ana faydalar: hazırlık sürelerinde kısalma, iş akış sürelerinde kısalma, üretim içi stok düzeyinde azalma, kalitede iyileşme, malzeme taşıma işlemlerinde azalma, takım ve tertibat çeşidinde azalma, ürün tasarım çeşidinde azalma, üretim planlama ve kontrolde iyileşme, işyeri alanı kullanımında iyileşme, işgören uzmanlığında iyileşme ve iş tatmini ile ilişkilerde iyileşme olarak akademisyen ve uzmanlar tarafından yayınlanan incelemeler ve makalelerde belirtilmektedir (Wemmerlov ve Hyer, 1989; Singh ve Rajamani, 1996; Askin ve Goldberg, 2002). Tüm faydalı yönlerine karşın, grup teknolojisi yaklaşımının bir uygulaması olan, hücresel üretim sistemlerinin sakıncalı yönleri; yüksek ilk yatırım maliyeti, düşük makina kullanımı ve üretim esnekliğinde azalma olmaktadır. Mosier ve Taube (1985) hücresel üretim sistemlerindeki esneklik ile verimlilik özellikleri ara-

sındaki karşıtlığı inceleyen çalışmaların yapılmasını özellikle vurgulamıştır. Wagner (1980) benzetim deneylerinden daha gerçekçi sonuçlar elde edilebilmesi amacı ile ürün karışımını etkileyen talep değişiminin modellerde dikkate alınmasının önemini belirtmiştir. Sassani (1990) zamanla değişen talep ve ürün karışımı gibi nedenlerle hücresel üretimde yük dengesizliği oluştuğunu ifade etmiştir. Kang ve Wemmerlov (1993) seçenek rotaları dikkate alan hücre tasarım yöntemleri alanındaki araştırma sayısının az olduğunu belirtmiştir. Dahel ve Smith (1993) ürün karışımındaki değişimleri karşılayabilecek derecede esnek hücresel üretim sistemlerinin tasarlanmasına ihtiyaç olduğunu ifade etmiştir. Üretim esnekliği ve hücresel üretimde rota esnekliği alanında faydalı olabilecek bazı çalışmalar ise Shafer ve Charnes (1997), Albino ve Garavelli (1998), Choi ve Kim (1998), Selim ve diğerleri (1998), Montreuil ve diğerleri (1999), Wu ve Salvendy (1999), Sofianopoulou (1999), Aiello ve Enea (2001), Mahesh ve Srinivasan (2002), Assad ve diğerleri (2003), Özçelik ve İşlier (2003) ile Chen (2003) tarafından yapılan yayınlardır.

Rekabette lider olabilmek için günümüzde birçok firma, esnekliği önemi gittikçe artan bir üretim hedefi olarak görmektedir. Hücresel üretim alanındaki yayınlar ile ilgili yukarıdaki incelemeden de anlaşıldığı gibi hücresel üretim sistemlerinin yük dengesizliği koşullarındaki davranışı ve esnekliği alanında araştırma yapılması gerekmektedir. Dolayısı ile bu çalışmada, geliştirilen bir dışsal rota esnekliğini kullanma kuralının değişen ürün karışımı ortamında faaliyet gösteren bir hücresel üretim sisteminde uygulanması sureti ile sistem performansında sağlanabilecek olan iyileşme olanağı benzetim tekniği ile analiz edilmektedir.

## **Geliştirilen benzetim modeli ve dışsal rota esnekliğini kullanma kuralının tanıtımı**

Bu çalışmada hücreler arası yük dengesizliğinin sistem performansı üzerindeki olumsuz etkilerini gidermek için kullanılacak bir karar kuralı tasarlanmıştır. Problemin boyutu, konunun kar-

maşıklığı ve üretim sistemlerinin dinamik doğası nedeni ile bu çalışmanın konusu olan problemin incelemesinde üretim benzetimi yöntemi uygulanmıştır. Geliştirilen dışsal rota esnekliğini kullanma kuralının etkinliğini belirlemek üzere bu çalışmada tasarlanan hücrenel sistem modeli ise incelemeyi gereksiz ayrıntılardan arındırmak amacı ile daha büyük bir sistemin alt sistemi olarak düşünülen ve herbiri karşılıklı olarak benzer beş adet makinalara sahip iki adet hücreden oluşmaktadır (Şekil 1). Hücreler akış tipidir ve hücre ana giriş kuyrukları ile makina kuyruklarındaki parti ve parçalarının işlenme sırası için, ilk gelen önce, kuyruk kuralı uygulanmaktadır. Partilerin hücrelere girişi ise hücre ilk makinasının boşalması durumunda hücre ana giriş kuyruğuna gönderilen çekme sinyalleri ile sağlanmaktadır (Şekil 1). Ayrıca hücreler içindeki makinalarda transfer parti büyüklüğü bir adet olan parti bindirmeli işleme uygulanmaktadır. Sistemdeki iki hücreden aşırı yüklü olan hücre uzman hücre olarak adlandırılmıştır. Daha az yüklü ve uzman hücredeki parçaları aynı veya daha düşük bir verim ile işleyebilen ve benzer makinalara sahip diğer hücre ise seçenek hücre olarak adlandırılmıştır. Uzman ve seçenek hücreler normal olarak kendi parça ailelerine ait parçaları üretebilme yeteneğine sahiptir. Yük dengesizliğini gidermek için bu çalışmada geliştirilen ve yapısı Şekil 1 ve Şekil 2'deki diyagramlarda sunulan dışsal rota esnekliğini kullanma kuralının uygulanması durumunda daha az yükü olan seçenek hücre kendi parça ailesi ile birlikte aşırı yüklü uzman hücreden seçilerek kendisine gönderilen partilerin üretimini de gerçekleştirir.

Geliştirilen dışsal rota esnekliğini kullanma kuralı Şekil 1'deki üç farklı kontrol noktasında Şekil 2'deki karar kademelerine göre yapılan kontrollere göre uygulanır. Bu üç noktadaki kontrollerin uygulanma zamanları ise kontrol noktası 1 için uzman hücre giriş kuyruğuna yeni bir partinin geldiği an, kontrol noktası 2 için seçenek hücrenin ilk makinasındaki bir partiye ait son parçanın işlenmesi sonucu partinin tümü ile bu makineden ayrıldığı an ve kontrol noktası 3 için de seçenek hücrenin son makinasındaki partiye ait son parçanın işlenmesi sonucu partinin

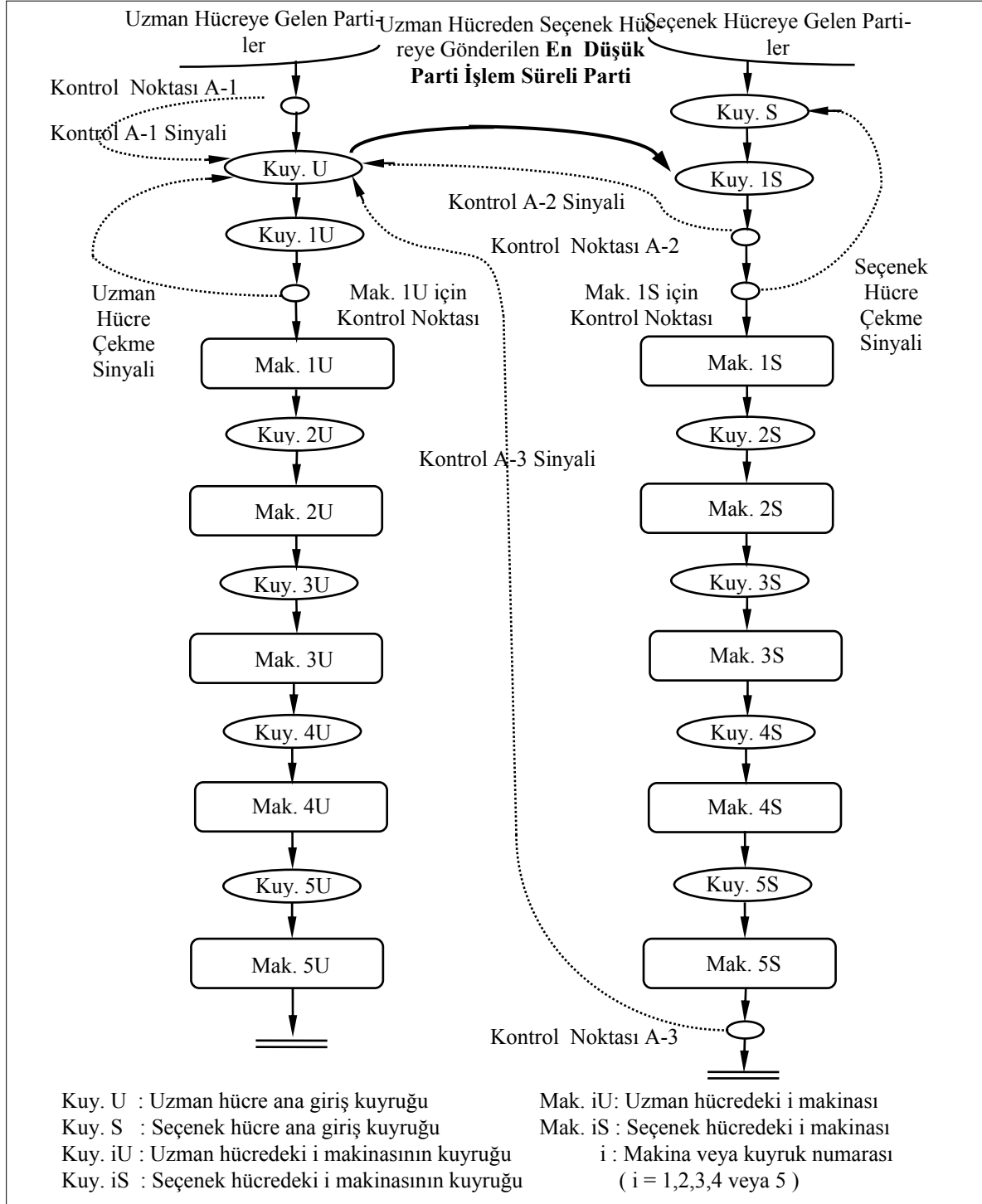
tümü ile seçenek hücreden ayrıldığı an olarak belirlenmiştir. Geliştirilen kuralın Şekil 2'deki akış diyagramından anlaşıldığı üzere kural her üç kontrol noktasında da uzman hücre ana giriş kuyruğunun dolu ve seçenek hücre ana giriş kuyruğu ile seçenek hücrenin ilk makinası ve kuyruğunun boş olması durumunda uzman hücre yükünün seçenek hücre yükünden ufak olma koşulu sağlandığı zaman uzman hücre kuyruğundaki partiler arasından en düşük parti işlem süreli partiyi seçmek için kontrol işlemini başlatır. Şekil 2'deki akış diyagramındaki hücre yükü ifadeleri herhangi bir anda hücrede bulunan partilerin parti işlem sürelerinin toplamı olarak tanımlanmıştır. Parti işlem süresi ise hücrenin sadece tek bir partiye tahsis edilmesi koşulu altında aynı partinin parti bindirmeli olarak işlenebileceği en kısa süre olarak tanımlanabilir ve aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$p_{ci} = h_{cil} + (n_i - 1) \times \max_{j \in S_{ci}} \{t_{cij}\} + \sum_{j \in S_{ci}} t_{cij} \quad (1)$$

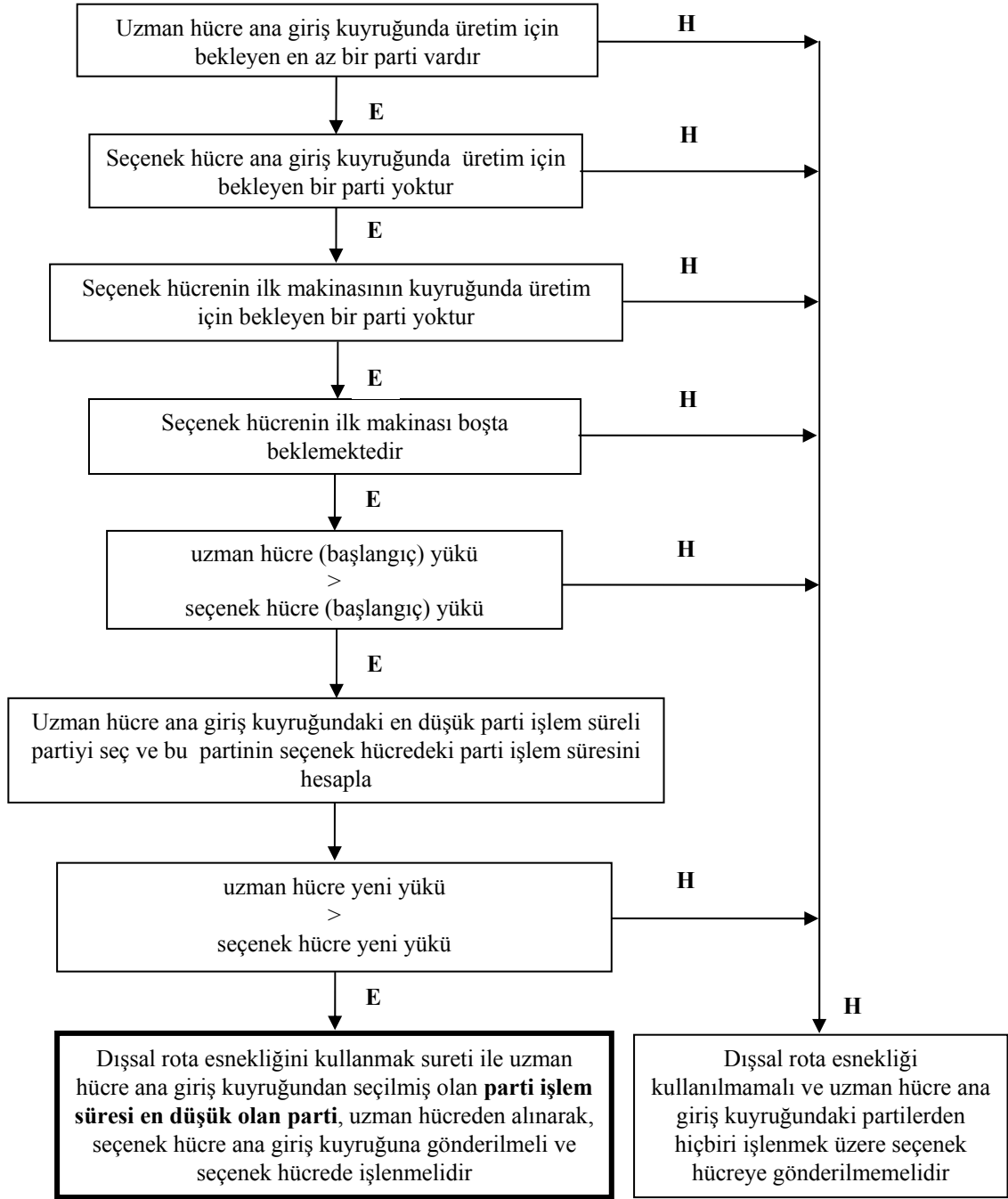
Şekil 2'deki uzman hücre yeni yükü kuralın uygulanması sonucu uzman hücre ana giriş kuyruğunda işlenmek üzere bekleyen partiler arasından seçilen en düşük parti işlem süreli partinin, parti işlem süresinin uzman hücrenin (başlangıç) yükünden çıkarılması ile hesaplanır. Seçenek hücre yeni yükü ise seçilen partinin seçenek hücredeki parti işlem süresinin seçenek hücrenin (başlangıç) yüküne eklenmesi ile elde edilir. Daha önce de belirtildiği üzere seçenek hücredeki makinalar uzman hücredeki parçaları işleyebilir. Seçenek hücre makinalarının uzman hücre partilerini işlemesi durumunda hazırlık ve işlem süreleri, bir sonraki kısımda açıklanacak olan tasarım faktör seviyelerine göre, sıfır ya da sıfırdan daha büyük değerlere sahip olan hazırlık süresi artış yüzdesi (HSAY) ve işlem süresi artış yüzdesi (İSAY) oranında artmaktadır. Dolayısı ile uzman hücreden seçilen partinin seçenek hücredeki hazırlık ve işlem süreleri uzman hücredeki hazırlık ve işlem sürelerinin sırası ile  $(1 + \text{HSAY})$  ve  $(1 + \text{İSAY})$  ile çarpılması sureti ile hesaplanacaktır. Sonuç olarak seçilen partinin seçenek hücredeki parti işlem süresi hesaplanan bu yeni hazırlık ve işlem süreleri değerlerinin 1 numaralı ifadede kullanılması ile elde

edilecektir. HSAY ile İSAY değerleri sıfır ya da sıfırdan daha büyük olduğu için seçilen partinin seçenek hücredeki parti işlem süresi uzman hücredeki parti işlem süresinden daha büyük veya uzman hücredeki parti işlem süresine eşit olur. Eğer hesaplanan yeni uzman hücre yükü seçe-

nek hücre yükünden daha fazla ise uzman hücreden seçilen en düşük parti işlem süreli parti işlenmek üzere seçenek hücreye gönderilir. Aksi halde seçilen parti ait olduğu uzman hücre ana giriş kuyruğunda kalır.



Şekil 1. Dışsal rota esnekliğini kullanma kuralı uygulaması ve benzetim modelinin grafik gösterimi



Şekil 2. Kontrol noktalarında uygulanan karar yapısının akış diyagramı

### Deney tasarım faktörleri ve seviyeleri

Çalışmada dikkate alınan faktörler ve seviyeleri yük dengesizlik seviyesi (talep dağılımı değişim düzeyi), dışsal rota esnekliğini kullanma kuralı, hazırlık süresindeki artış yüzdesi ve işlem süresindeki artış yüzdesi olmak üzere aşağıda açıklandığı gibi belirlenmiştir.

- Yük dengesizliği seviyesi (YDS): Sonuçların ortalama sistem yük değişiminden olumsuz ola-

rak etkilenmemesi için çok yüklenen uzman hücreye gelen partilerin ortalama gelişler arası süresinin azaltılması oranında az yüklenen seçenek hücre gelen partilerin ortalama gelişler arası süresinin artırılması sureti ile gittikçe artan beş farklı yük dengesizliği seviyesi Tablo 1’ de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Dolayısı ile sistem yükü düzeyi her yük dengesizlik seviyesi için sisteme gelen tüm partilere ait ortalama gelişler

arası süre olan ve model parametreleri kısmında belirlenen 1500 dakika değeri ile sabit kalmaktadır. Uzman ve seçenek hücre ortalama gelişler arası süre farkının bunların ortalaması olan ortalama sisteme gelişler arası süre değerinin 1500 dakika ile bölünmesinin yüzde şeklinde ifadesi ise Tablo 1’de görüldüğü gibi yük dengesizlik yüzdesi (YDY) olarak adlandırılır.

*Tablo 1. Yük dengesizliği seviyeleri*

Yük Dengesizliği Seviyesi (YDS)	1	2	3	4	5
Yük Dengesizlik Yüzdesi (YDY)	% 5	% 10	% 15	% 20	% 25
Uzman Hücre için Ortalama Gelişler Arası Süre (dakika)	1425	1350	1275	1200	1125
Seçenek Hücre için Ortalama Gelişler Arası Süre (dakika)	1575	1650	1725	1800	1875
Tüm Sistem için Ortalama Gelişler Arası Süre (dakika)	1500	1500	1500	1500	1500

- Dışsal rota esnekliğini kullanma kuralı: Daha önce açıklanan dışsal rota esnekliğini kullanma kuralı ve bu kuralın karşılaştırılması amacı ile hiçbir kararın uygulanmadığı baz durum olmak üzere iki seviyeye sahiptir (Tablo 2).

- İşlem süresi artış yüzdesi (İSAY): Bu faktör uzman hücre ailesine ait bir partinin parçalarının seçenek hücrede işlenmesi durumunda işlem süresindeki artış yüzdesini belirten dört seviyeye sahiptir (Tablo 2).

*Tablo 2. Faktörler ve seviyeleri*

FAKTÖRLER	SEVİYELER				
Dışsal Rota Esnekliğini Kullanma Kuralları	Önerilen Kural	Baz Durum	-	-	-
Yük Dengesizliği Seviyesi (YDS)	1	2	3	4	5
İşlem Süresi Artış Yüzdesi (İSAY)	% 0	% 250	% 500	% 750	-
Hazırlık Süresi Artış Yüzdesi (HSAY)	% 0	% 200	% 400	% 600	-

- Hazırlık süresi artış yüzdesi (HSAY): Bu faktör uzman hücre ailesine ait bir partinin seçenek hücrede işlenmesi durumunda hazırlık süresindeki artış yüzdesini belirten dört seviyeye sahiptir (Tablo 2).

Yukarıda açıklanan dört faktör ve seviyeleri Tablo 2’de toplu olarak sunulmaktadır.

### Modelin parametreleri

Modele ait parametreler M. B. Durmuşoğlu tarafından gerçekleştirilen ŞİŞECAM Holding Camış Makina ve Kalıp Sanayii A.Ş. Cam Kalıbı Atelyesi’nin aşamalı olarak hücresel üretime dönüşümü projesi kapsamında derlenen üretim verilerinden faydalanmak sureti ile belirlenmiştir (Durmuşoğlu ve Nomak, 2005; Nomak ve Durmuşoğlu, 2003; Durmuşoğlu ve Nomak, 2000; Akhun, 1997). Bu çalışmadaki hücresel sistem modelinin parametreleri aşağıda tanıtılmaktadır.

- Parti hacmi dağılımı: Sipariş kayıtlarından alınan örneğe göre cam kalıbı üretim parti hacmine ait kesikli olasılık dağılım fonksiyonu Tablo 3’te görülmektedir.

*Tablo 3. Parti hacmi dağılımı*

Parti Hacmi (parça adedi)	10	11	20	22	24	30
Olasılık	0.068	0.072	0.073	0.222	0.303	0.061
Parti Hacmi (parça adedi)	32	44	46	48	62	68
Olasılık	0.055	0.048	0.027	0.042	0.012	0.017

- Parti gelişleri arasındaki sürelerin dağılımı: İş emirlerinin sıklığını ifade eden bu parametre için ortalaması 1500 dakika olan üstel dağılımın uygun olduğu belirlenmiştir.

- Parça işlem sürelerinin dağılımı: İşlem süreleri için ortalaması 33 dakika ve değişim katsayısı 0.1 olan normal dağılımın kullanılabileceği belirlenmiştir.

- Hazırlık sürelerinin dağılımı: Hazırlık süreleri için ortalaması 150 dakika ve standart sapması 46.5 dakika olan simetrik ve ölçekli beta dağılımının uygun olduğu belirlenmiştir.

## Sonuçların analiz ve yorumu

Sonuçlar benzetim modellerinin, herbiri başlangıç yanlılığı etkisinin yok olduğu 50.000 dakikalık budama noktasından sonra bitirilen 600 adet partiden oluşan, 20 kez tekrarlı koşumları süresince kaydedilen ortalama iş akış süresi (OİAS) gibi sistem performans ölçütü değerlerinin uygun şekilde derlenmesi sureti ile elde edilmiştir. Benzetim modelleri Tablo 2'deki faktör seviyelerinin oluşturduğu 85 ( $=5 \times 4 \times 4 + 5$ ) adet kombinasyonun her biri için koşulmuştur. Benzetim koşumlarından elde edilen dışsal rota esnekliğini kullanma kuralı ile baz duruma ait OİAS değerleri ise grafik olarak ve ayrıca Minitab (Ryan vd., 2005; Carver, 2004) yazılımı kullanılarak eşleştirilmiş t testi ile istatistik olarak karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir.

Bu çalışmada geliştirilen dışsal rota esnekliğini kullanma kuralının uygulanması durumundaki ortalama iş akış süresi performans ölçütünün YDS değerlerine göre değişimi HSAY ve İSAY faktörlerinin farklı seviyeleri için toplu olarak Şekil 3 ile 6 arasındaki grafiklerde sunulmuştur. Bu grafiklerdeki koyu kalın çizgiler baz duruma ait OİAS performans ölçütü değerlerinin YDS değerlerine göre değişimini temsil etmektedir. Grafiklerden kolayca anlaşıldığı üzere dışsal rota esnekliğini kullanma kuralı uygulamasının sağladığı OİAS değerleri ve baz duruma ait OİAS değerleri YDS değerlerinin artması ile birlikte dikkate değer bir şekilde artmaktadır. Ayrıca geliştirilen kural için gözlenen OİAS değerlerinin bir kısmı baz durumun OİAS değerlerinden daha büyük olmakla birlikte baz durumu OİAS değerine oldukça yakındır. Bir diğer genel eğilim de geliştirilen kural için İSAY ve/veya HSAY değerlerinin artması ile birlikte OİAS değerlerinin artmasıdır. Ayrıca kuralın uygulanması sonucu sağlanan OİAS değerinin İSAY değerlerine olan duyarlılığı HSAY değerlerine olan duyarlılığına göre daha fazladır ve bu eğilim hücresele üretim koşullarında hazırlık süresinin parti işlem süresine oranının oldukça ufak olması nedeni ile gözlenmesi beklenen bir olgudur.

Önerilen kuralı baz durum ile karşılaştırmak üzere yapılan 80 adet eşleştirilmiş t testinin 34

adedi için kuralın uygulanması sonucunda gerçekleşen OİAS değerlerinin baz duruma sağlanan OİAS değerlerine göre daha kısa olduğu % 97.5 güven düzeyi ile saptanmıştır. Bu istatistiksel sonuç grafiklerdeki eğilimler ile büyük ölçüde uyumaktadır. Önerilen kuralın sağladığı bu düşük ortalama iş akış süreleri baz durumuna göre bir iyileşmedir. İstatistik analizden de anlaşıldığı gibi hücreler arası yük dengesizliği durumunda çalışmada geliştirilen dışsal rota esnekliğini kullanma kuralı uygulamasının baz duruma göre ortalama iş akış süresi performans ölçütü değerlerinde sağladığı azalmanın (iyileşmenin) etki alanı her YDS değeri için İSAY ve HSAY değerlerinin genelde düşük ve orta düzeyde olduğu oldukça geniş bir kombinasyon alanında olanaklı olabilmektedir. Yük dengesizlik seviyesi arttıkça daha belirgin hale gelen bu iyileşmenin elde edildiği İSAY ile HSAY değerlerinin oluşturduğu kombinasyon adedi artmaktadır.

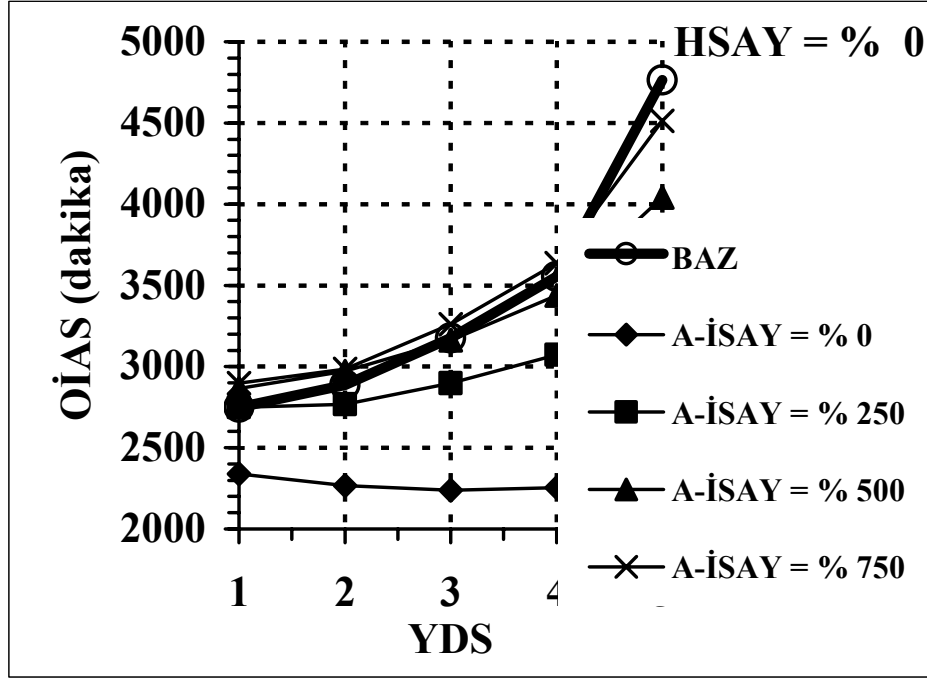
Bu çalışmada geliştirilen dışsal rota esnekliğini kullanma kuralı için YDS, İSAY ve HSAY değerlerinin oluşturduğu 80 adet kombinasyona göre koşulan benzetim modellerinden elde edilen ortalama sistem kullanım oranı (OSKO) değerleri arasındaki en düşük değer YDS = % 5, İSAY = % 0 ile HSAY = % 0 için 0.67 ve en yüksek değer ise YDS = % 25, İSAY = % 250 ile HSAY = % 600 için 0.80 olmaktadır. Baz duruma ait tek tasarım faktörü olan YDS değerlerine göre sağlanan en düşük OSKO değeri YDS = % 5 için 0.67 ve en yüksek OSKO değeri de YDS = % 25 için 0.71 olmaktadır. Burada özellikle vurgulanması gereken bir husus ise yukarıda sunulan en düşük ve en yüksek ortalama sistem kullanım oranı değerlerinin üretim dinamiği çerçevesinde ortalama iş akış süresi performans ölçütü değerleri ile uyumlu olmasıdır.

Sonuçların yukarıdaki grafik ve istatistik analizi neticesinde yük dengesizliği arttıkça geliştirilen dışsal rota esnekliğinin kullanma kuralının yük dengesini daha etkin olarak sağlama yeteneğine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Sonuç olarak geliştirilen dışsal rota esnekliğinin kullanma kuralı, yük dengesizliği durumunda, aşırı yüklü uzman hücre ana giriş kuyruğundaki partiler ara-

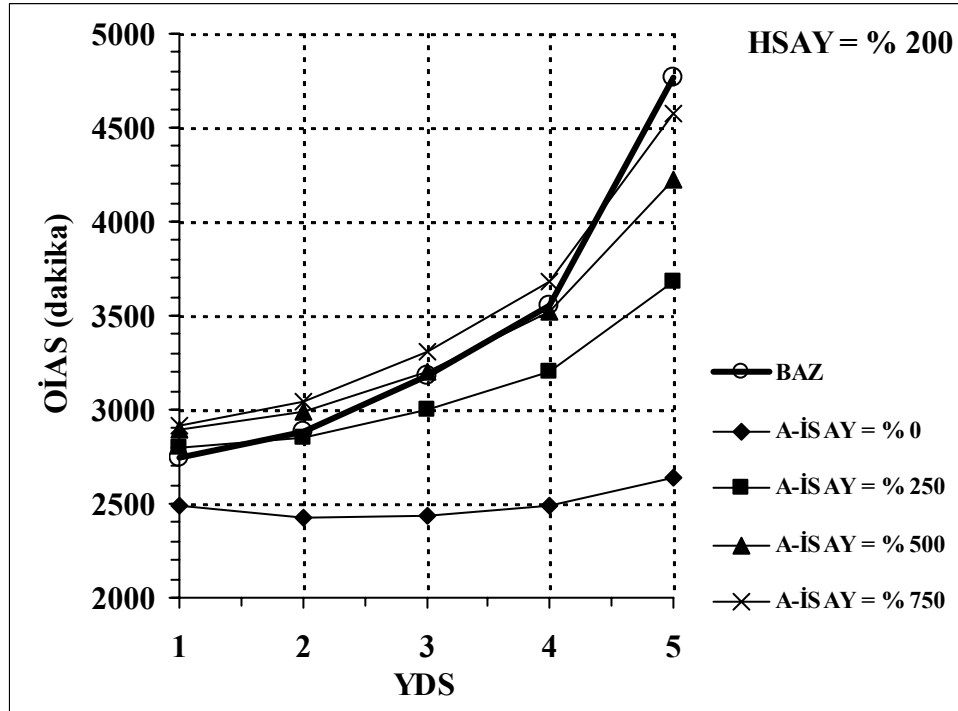


sından en düşük parti işlem süresine sahip partiyi seçerek daha az yüklü seçenек hücrede üretilmesini, yeni seçenек hücre yükünün yeni uzman hücre yükünden daha düşük olması koşulu

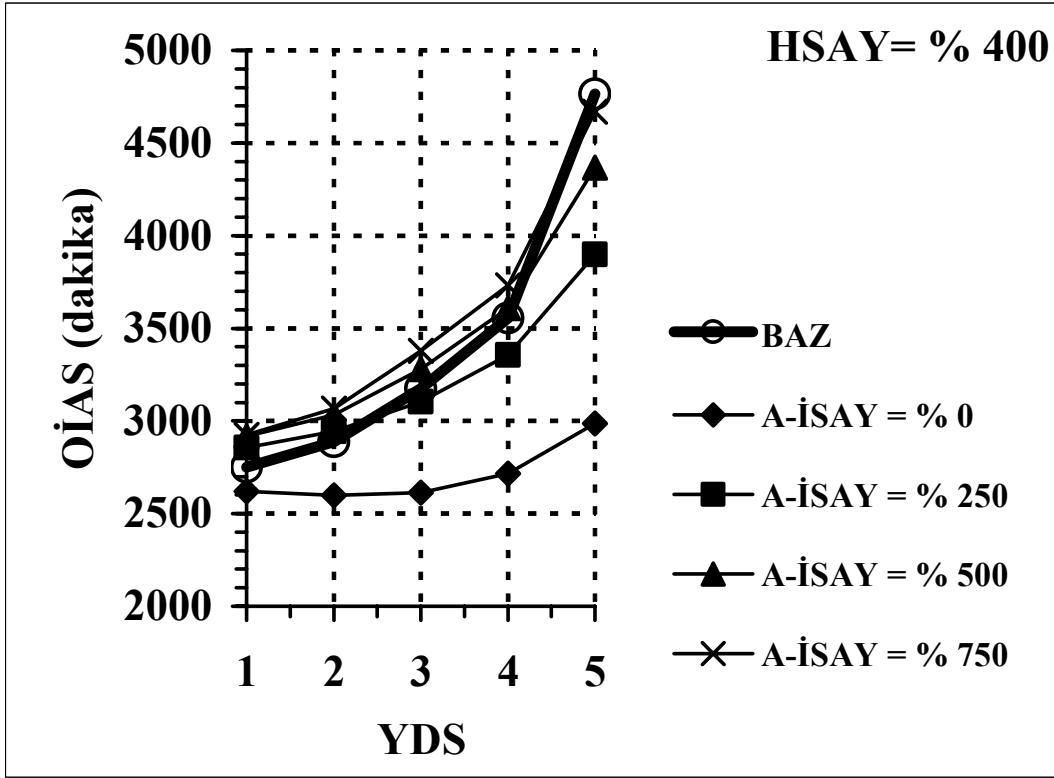
ile, sağlayarak hücreler arasındaki yük dağılımını dengelediği için sistem ortalama iş akış süresi performans ölçütü değerini oldukça iyileştirmektedir.



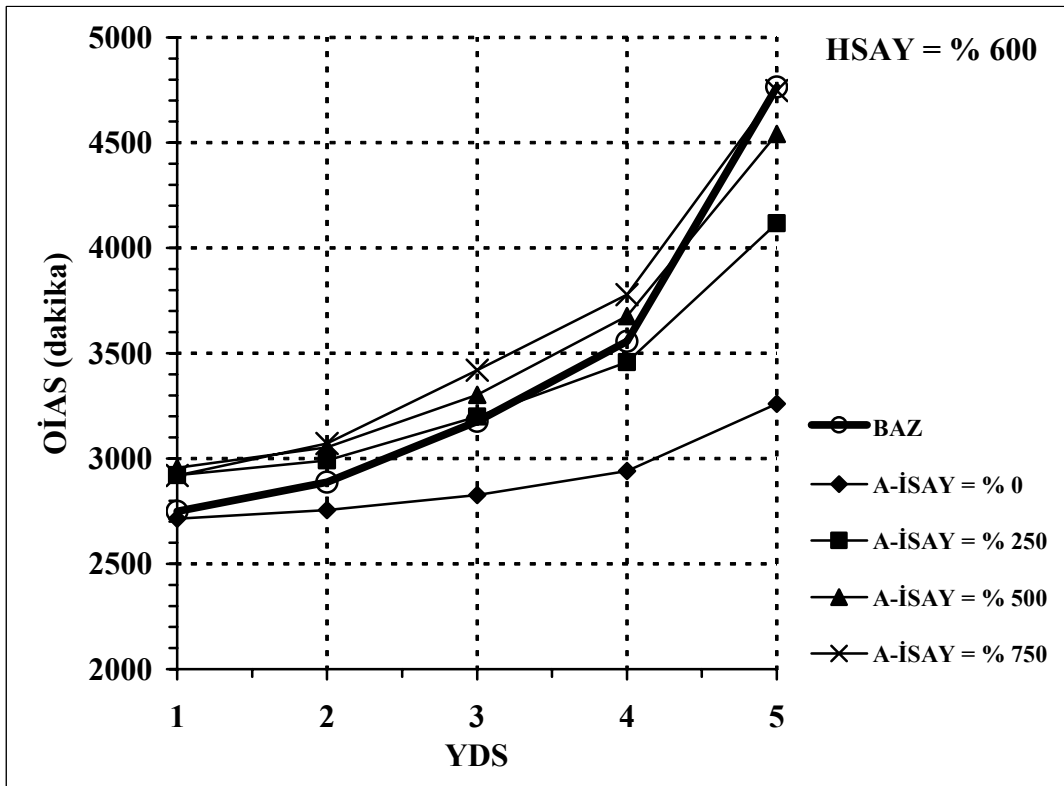
Şekil 3. HSAY = % 0 ile değişik İSAY değerleri için OİAS değerlerinin YDS ile değişimi



Şekil 4. HSAY = % 200 ile değişik İSAY değerleri için OİAS değerlerinin YDS ile değişimi



Şekil 5. HSAY = % 400 ile değişik İSAY değerleri için OİAS değerlerinin YDS ile değişimi



Şekil 6. HSAY = % 600 ile değişik İSAY değerleri için OİAS değerlerinin YDS ile değişimi

## **Sonuç ve öneriler**

Geniş anlamı ile esneklik, bir sistemin değişen koşullara etkin bir şekilde cevap verebilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Günümüz rekabetçi ve dinamik ortamında faaliyet gösteren firmalar için üretim esnekliğine sahip olmak hayati derecede önemlidir. Bir hücresel sistemin başarılı olabilmesi için talep dağılımındaki dalgalanmalar karşısında yeterince esnek davranabilmesi ve ürün karışımının değişken olduğu üretim ortamlarına uyum sağlayabilmesi gereklidir. Dolayısı ile bu çalışma talep dağılımı veya ürün karışımı değişimi etkisindeki rota esnekliğine sahip hücresel üretim sistemlerinde seçenek rotaları kullanan çizelgelemenin uygulanması durumunda elde edilen sistem performansı ile aynı koşullar altında seçenek rotaları dikkate almadan çizelgelenen hücresel üretim sistemlerinin performansını ayrıklı olaylara dayalı benzetim tekniğini kullanarak karşılaştırmakta ve incelemektedir.

Çalışmada geliştirilen dışsal rota esnekliğini kullanma kuralı, tasarımı gereği, uzman hücre giriş kuyruğundaki partiler arasından seçilen en düşük parti işlem süresine sahip partinin seçenek hücrede üretilmesi durumundaki yeni seçenek hücre yükünün yeni uzman hücre yükünden daha düşük olmasını dikkate alarak yük dağılımının dengelenmesini gözetten bir kuraldır. Rota esnekliğini kullanmak üzere tasarlanan bu kuralın OİAS performans ölçütünü iyileştirebilme yeteneğini baz durum ile karşılaştırılabilirlik amacı ile geliştirilen benzetim modellerinin, çalışmada tanımlanan YDS, İSAY ve HSAY faktörleri seviyelerinin oluşturduğu tüm kombinasyonları için, koşulması sureti ile elde edilen sonuçların grafik ve istatistik analizi yapılmıştır. Sonuç olarak dışsal rota esnekliği kuralının uygulanması sureti ile OİAS performans ölçütünde baz duruma göre sağlanan iyileşme YDS, İSAY ve HSAY değerlerinin oluşturduğu oldukça geniş bir kombinasyon alanında olanaklı olmaktadır. Önerilen kural tarafından yük dengesizliği koşulunda faaliyet gösteren bir hücresel sisteminin OİAS performans ölçütünde sağlanan iyileşme HSAY ve İSAY seviyelerinin orta ve nispeten düşük olduğu değerler bölgesinde bulunmaktadır ve YDS değerinin artması ile birlikte gittikçe daha yüksek HSAY ve İSAY seviyeleri

için OİAS değerinin azaltılabilmesi (iyileştirilebilmesi) olanaklı olmaktadır.

Talep dağılımı veya ürün karışımı değişimi etkisindeki dışsal rota esnekliğine sahip hücresel üretim sistemlerinde çizelgemeyi inceleyen bu çalışma ile karmaşık ve zor bir konu olan üretim esnekliği alanındaki araştırmalara bir katkıda bulunmuştur. Hücresel üretimde esneklik alanında yapılacak olan daha sonraki çalışmalar için değişik rota esnekliği kurallarının geliştirilmesi ve sonuçlarının da bu çalışmada elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması önerilebilir. Ayrıca ağır rekabet koşulları altında faaliyet gösteren ve hücresel üretimi uygulamakta olan firmaların hızla değişen müşteri tercihleri nedeni ile talep dalgalanmaları etkisinde kalması kaçınılmazdır. Dolayısı ile hücresel üretimi uygulamayı planlayan veya uygulamakta olan firmaların dışsal rota esnekliğine özellikle önem vermesi ve yük dengesizliği durumunda oluşan performans kötüleşmesini ise bu çalışmada geliştirilen dışsal rota esnekliğini kullanma kuralına benzer taktikleri uygulayarak gidermeleri önerilebilir.

## **Semboller**

$n_i$	: $i$ partisindeki parça adedi
$p_{ci}$	: $i$ partisinin $c$ hücreesindeki parti işlem süresi
$h_{cil}$	: $i$ partisinin $c$ hücrelerinin $l$ . makinası üzerindeki hazırlık süresi
$t_{cij}$	: $i$ partisindeki bir parçanın $c$ hücrelerinin $j$ makinasında işleme süresi
$S_{ci}$	: $i$ partisinin $c$ hücreleri içinde işleneceği makinaların cümlesi
HSAY	: Hazırlık süresi artış yüzdesi (%)
İSAY	: İşlem süresi artış yüzdesi (%)
YDS	: Yük dengesizliği seviyesi
YDY	: Yük dengesizlik yüzdesi (%)
OİAS	: Ortalama iş akış süresi (dakika)
OSKO	: Ortalama sistem kullanım oranı

## **Kaynaklar**

- Aiello, G. ve Enea, M., (2001). Fuzzy Approach to the Robust Facility Layout in Uncertain Production Environments, *International Journal of Production Research*, **39**, 18, 4089-4101.
- Akhun, M., (1997). Çifte Kaynak Kısıtlı Grup Teknolojisi Üretim Sistemlerinin Bozucu Faktörlere

- Dayanıklı Tasarımı, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Albino, V. ve Garavelli, A. C., (1998). Some Effects of Flexibility and Dependability on Cellular Manufacturing System performance, *Computers and Industrial Engineering*, **35**, 3-4, 491-494.
- Askin, R. G., Goldberg, J. B., (2002). *Design and Analysis of Lean Production Systems*, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Assad, A. A., Kramer, S. B. ve Kaku, B. K., (2003). Comparing Functional and Cellular Layouts: A Simulation Study Based on Standardization, *International Journal of Production Research*, **41**, 8, 1639-1663.
- Carver, R. H., (2004). *Doing Data Analysis with Minitab 14*, Brooks/Cole, Thomson Learning Inc.
- Chen, M. C., (2003). Configuration of Cellular Manufacturing Systems Using Association Rule Induction, *International Journal of Production Research*, **41**, 2, 381-393.
- Choi, S. H. ve Kim, J. S., (1998). A Study on the Measurement of Comprehensive Flexibility in Manufacturing Systems, *Computers and Industrial Engineering*, **34**, 1, 103-118.
- Dahel, N. E. ve Smith, S. B., (1993). Designing Flexibility into Cellular Manufacturing Systems, *International Journal of Production Research*, **31**, 4, 933-945.
- Durmuşoğlu, M. B. ve Nomak, A., (2000). Bir Cam Kalıbı Üretim Sisteminde GT Hücrelerinin Tasarımı ve Uygulanması, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, **11**, 2, 13-23.
- Durmuşoğlu, M. B. ve Nomak A. (2005). GT cells design and implementation in a glass mould production system, *Computers and Industrial Engineering*, **48**, 3, 525-536.
- Kang, S. L. ve Wemmerlov, U., (1993). A Work load-Oriented Heuristic Methodolgy for Manufacturing Cell Formation Allowing Reallocation of Operations, *European Journal of Operational Research*, **69**, 292-311.
- Mahesh, O. ve Srinivasan, G., (2002). Incremental Cell Formation Considering Alternative Machines, *International Journal of Production Research*, **40**, 14, 3291-3310.
- Montreuil, B., Venkatadri, U. ve Rardin, R., L., (1999). Fractal Layout Organization for Job Shop Environment, *International Journal of Production Research*, **37**, 3, 501-521.
- Mosier, C. ve Taube, L., (1985). The Facets of Group Technology and Their Impacts on Implementations: A State-of-the-Art Survey, *OMEGA - International Journal of Management Science*, **13**, 5, 381-391.
- Nomak, A. ve Durmuşoğlu, M. B., (2003). Bir Hücreli Üretim Ortamında Üretim Planlama ve Kontrol Sistemlerinin Benzetim Analizi, *İTÜ Dergisi/d Mühendislik*, **2**, 5, 43-42.
- Özçelik, F. ve İşlier, A. A., (2003). Novel Approach to Multi-Channel Manufacturing System Design, *International Journal of Production Research*, **41**, 12, 2711-2726.
- Ryan B., Joiner, B. ve Cryer, J., (2005). *Minitab Handbook*, Brooks/Cole, Thomson Learning Inc.
- Sassani F., (1990). A Simulation Study on Performance Improvement of Group Technology Cells, *International Journal of Production Research*, **28**, 2, 293-300.
- Selim, H. M., Askin R. G. ve Vakharia A. J., (1998). Cell Formation in Group Technology: Review, Evaluation and Directions for Future Research, *Computers and Industrial Engineering*, **34**, 1, 3-20.
- Shafer, S. M. ve Charnes, J. M., (1997). Offsetting Lower Routing Flexibility in Cellular Manufacturing Due to Machine Dedication, *International Journal of Production Research*, **35**, 2, 551-567.
- Singh, N. ve Rajamani, D., (1996). *Cellular Manufacturing Systems; Design, Planning and Control*, Chapman & Hall.
- Sofianopoulou, S., (1999). Manufacturing Cells Design with Alternative Process Plans and/or Replicate Machines, *International Journal of Production Research*, **37**, 3, 707-720.
- Wagner, H. M., (1980). Research Portfolio for Inventory Management and Production Planning Systems, *Operations Research*, **28**, 3, 445-475.
- Wemmerlov, U. ve Hyer, N. L., (1989). Cellular Manufacturing in the US Industry: A Survey of Users, *International Journal of Production Research*, **27**, 9, 1511-1530.
- Wu, N. ve Salvendy, G., (1999). An Efficient Heuristic for the Design of Cellular Manufacturing Systems with Multiple Identical Machines, *International Journal of Production Research*, **37**, 15, 3519-3540.