

Paralel makinalarda ürün tasarımı ile iş çizelgelemenin bütünleştirilmesi

Emre ÇEVİKCAN*, M. Bülent DURMUŞOĞLU, Murat BASKAK

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

Özet

Bir üretim sisteminde temel amaç, müşteri taleplerinin zaman ve kalite boyutunda etkin bir şekilde karşılanmasıdır. Bu amacı gerçekleştirmek için üretimin büyük partiler halinde ve stok tutarak gerçekleştirilmesi daha mantıklı görünür. Ancak bu yaklaşım, üretim sistemindeki problemleri görünmez hale getirmekle beraber, uzun bekleme sürelerini içermesi nedeniyle üretim temin süresini, dolayısıyla katma değerli olmayan faaliyetlerin oranını arttırmaktadır. Bu durum neticesinde, firmaların hızlı yanıt kabiliyeti ve maliyet performansı olumsuz etkilenir. Paralel makinalarda sıraya bağımlı hazırlık sürelerine sahip işlerin çizelgelenmesini fazla üretim israfına yol açmayacak şekilde sağlayan bu çalışmada, öncelikle, işler arası sıraya bağımlı hazırlık süreleri, ürün tasarım özelliklerinden faydalanan bir matematiksel model ile belirlenmektedir. Böylece, sıraya bağımlı hazırlık süreleri bire-bir ölçüme gerek kalmadan belirlenebilmeleri ve hem güncel hem de güvenilir olmaları sağlanmıştır. Ayrıca, temin sürelerinde önemli bir yer tutan hazırlık sürelerinin düşürülmesi için sıraya bağımlı hazırlık süreleri, odaklanması önem taşıyan unsurlar arasındadır. Bu bağlamda, sıraya bağımlı hazırlık süreleri toplamını azaltmaya yönelik olarak literatürde yer alan iki sıralama algoritması seçilmiş ve tasarım özelliklerine bağlı bir sıralama algoritması tasarlanmıştır. Sıralama safhasından sonra geliştirilen İş Yükü Bazlı İş Gönderme Sistematiği ile üretim sistem karakteristiğinin çekme sistemine yakınlştırılması amaçlanmıştır. Geliştirilen metodolojinin performansını değerlendirmek üzere, gerçek bir elektrik donanımı üretim sisteminin kablo kesim-sıyırma-terminalleme sürecine odaklanılmıştır. Belirtilen süreçteki hazırlık işleri analiz edilmiş, ürün tasarım özellikleri belirlenmiştir. Gerçek üretim verileri ile sıralama yöntemlerinin karşılaştırılmasından sonra İş Yükü Bazlı İş Gönderme Sistematiği uygulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çizelgeleme, ürün tasarımı, iş yükü bazlı sipariş yönetimi, paralel makinalar.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Emre ÇEVİKCAN. cevickan@itu.edu.tr; Tel: (212) 293 13 00.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Programında tamamlanmış olan " Paralel makinalarda iş yüküne yönelik üretim kontrolü ilkesi altında ürün tasarımı ile iş çizelgelemenin bütünleştirilmesi " adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 06.01.2010 tarihinde dergiye ulaşmış, 28.01.2010 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.08.2011 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Bu makaleye "Çevikcan, E., Durmuşoğlu, M. B., Baskak, M., (2011) 'Paralel makinalarda ürün tasarımı ile iş çizelgelemenin bütünleştirilmesi', İTÜ Dergisi/D Mühendislik, 10: 2, 3-14" şeklinde atıf yapabilirsiniz.

Integrating product design and job scheduling on parallel machines

Extended abstract

To gain the ability of designing, scheduling, and manufacturing the products, which customers exactly demand, in time provides competitive advantage to companies. The above mentioned ability is provided by implementing pull system between the customer and supplier as well as manufacturing processes instead of push system. Such an approach is the reflection of being customer oriented in production. In addition, setup time constitutes an important part of production lead time. Pull systems lead to significant achievement in terms of lead time when applied in the environment of short setup times which allows production in small batches.

Scheduling problems are related to manufacturing resource planning (MRP) in the industrial context. Production managers must select an appropriate scheduling approach that will provide cost-efficient running of the production system. A scheduling approach that guarantees the cost efficient running of the factory is to minimize operational costs that include setup costs (times) which are very important in manufacturing industries.

The setup time has often been considered to be negligible or as a part of the processing time. Otherwise, setup times are considered in two types, namely sequence independent and sequence dependent setup times. Sequence independent setup time depends only on the job to be processed while sequence dependent setup time depends on both the job to be processed and the immediately preceding job.

Parallel machine problems, where each job can be processed on any of the machines but needs to be processed by only one machine, have a high level of importance in industrial scheduling because of the fact that many examples of the use of parallel machines can be found in the real world.

The measurement of sequence dependent setup times becomes inefficient in terms of cost and time in production systems where increased product variety exists. Furthermore, in such systems, it is very difficult to update measured sequence depend-

ent setup times. In this context, it is very efficient to utilize product design characteristics for the estimation of sequence dependent setup times.

What is more, it is known in practice that controlling input rate has a great impact on the system performance. In manufacturing systems, this input regulation is performed by the Order Review/Release (ORR) function. Regarded as an effective capacity management tool, ORR manages the transition of production orders from the planning system to the shop floor. In ORR, production orders, that may be generated from a requirements planning system or directly originated from customer orders, are not immediately released to the shop floor without considering any information about the system or job characteristics. These jobs are often first collected in a pre-shop pool and then released to the system according to specific conditions. In this sense, ORR procedures can be considered as the link between production planning and production control as well as the link between manufacturing strategy and day by day management. The purpose of ORR is to improve system performance by controlling the flow of production orders to the system (i.e., the timing and conditions of order release decisions). These improvements can be achieved in terms of increased flexibility, decreased work in process (WIP), improved delivery performance, and decreased congestion and manufacturing lead times.

When the relevant literature is reviewed, it is seen that there is not any scientific guiding work which not only considers product design in job scheduling, but also aims to prevent overproduction waste. In this thesis, an integrated methodology that uses product design specifications for job scheduling under the principle of Order Review/Release is developed. The proposed methodology is applied to a real wire harness industrial problem involving the cutting of cables with different colors, sizes and terminals on identical parallel machines with long sequence dependent setup times. The sequence dependent setup times are determined via a mathematical model without measurement. The scheduling objective is to minimize total sequence dependent setup time.

Keywords: Scheduling, product design, order review/release, parallel machines.

Giriş

Firmaların rekabet gücü sağlamak için müşterilerine öncelikle iyi yapılandırılmış bir üretim sistemi yapısı ile kısa teslim sürelerinde etkin bir şekilde hizmet sunabilmeleri gerekmektedir. Teslim süreleri ya ürünleri stokta tutarak ya da üretimdeki temin sürelerini düşürerek kısa tutulabilir. Artan ürün çeşitliliği, talepteki belirsizlik ve firmalarda maliyet bilincinin oluşması ile elde stok tutarak hızlı teslim sürelerinin gerçekleştirilmesi zorlaşmaktadır. Bu nedenle, Yalın Üretim düşüncesi ile üretim ortamındaki stokları, israf (Japonca: Muda) olarak görüp, etkin teslim sürelerine ulaşabilmek için üretim temin sürelerini kısaltmak gerekir.

Temin sürelerini kısaltmak için sistemi çekme yapısına yaklaştıran Yüke Yönelik İş Gönderme ilkesi oldukça etkili olmaktadır. Yüke Yönelik İş Gönderme ilkesini benimseyen İş Yüklü Bazlı Üretim Kontrolü'nde siparişi üretim ortamına göndermeden önce üretim ortamındaki iş yükü kontrol edilerek, üretim temin süreleri kısaltılmaktadır.

Üretim temin sürelerini kısaltmak için diğer bir yol küçük partili üretim yapmaktır. Küçük boyutlu partili üretim ise, süreç içindeki çevrim stoklarını düşürür ve ürünlerin üretim temin sürelerini kısaltır. Küçük boyutlu partili üretim ise ancak hazırlık sürelerinin düşürülmesi ile mümkün olur. Çünkü, küçük partili üretim esnasında yapılacak hazırlık sayısı artacaktır. Hazırlık sürelerinin düşürülmesi için sıraya bağımlı hazırlık süreleri, odaklanması önem taşıyan unsurlar arasındadır. Diğer yandan, işleme ve sıraya bağımlı hazırlık sürelerine ait verileri güncel ve güvenilir tutma genellikle zordur (yanlış ölçüm, tempo takdiri vb.). Bu sürelere ait zaman ölçümü zaman alıcı ve maliyetli olmakla beraber, model sayısı arttıkça, ölçülecek sıraya bağımlı hazırlık süreleri sayısı çarpıcı bir şekilde artar.

Paralel makinalarda çizelgeleme problemi, hem gerçek üretim ortamlarındaki çizelgeleme uygulamalarına hem de teorik çalışmalara sıklıkla konu olmuştur. Paralel makinaların sıraya bağımlı hazırlık süreleri ortamında çizelgelenmesini konu alan çalışmalar, ilgili literatürün

önemli bir bölümünü oluşturmaktadır (Sivrikeya-Şerifoğlu ve Ulusoy, 1999; Kurz ve Askin, 2001; Yalaoui ve Chu, 2003; Saraç ve Sipahioğlu, 2008).

Ürün çeşitliliğinin yüksek olduğu üretimlerde sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin ölçümü yüksek miktarda zaman ve maliyet gerektirdiğinden, bu zamanların belirlenmesi için ürün tasarım özellikleri dikkate alınarak değişik formülasyonlar geliştirilmiştir (Ashby ve Uzsoy, 1995; Tang vd., 2000; Andres vd., 2005; Charles-Owaba ve Lambert, 1988; Durmuşoğlu, 1990).

Üretim kontrol sistemlerinin etkin kullanımına ait önem artışının etkisiyle, akademisyenlerin ve üretim yöneticilerinin İş Yüklü Bazlı Üretim Kontrolü (İng: Load Oriented Manufacturing Control) konusuna ilgisi giderek artmakta olup, literatürde bu konuyu uygulama bazında veya teorik bazda irdeleyen çalışmalar mevcuttur (Bechte, 1988; Sabuncuoğlu ve Karapınar, 1999; Hoeck, 2007; Ebadian vd., 2008).

Bu makalenin amacı, paralel makinalarda yüke yönelik iş gönderme ilkesi ile üretim temin sürelerini kısaltan, ürün tasarım özelliklerini dikkate alarak sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin azaltılmasını sağlayan, bir metodoloji kurmaktır.

Geliştirilen metodoloji

Metodoloji kapsamında, ürün tasarım özellikleri belirlendikten sonra, iş parçaları arasındaki sıraya bağımlı hazırlık süreleri hesaplanmaktadır. İş parçası sıralama problemine ise problem boyutuna göre eniyileme veya değişik özelliklerdeki sezgisel yöntemlerden biri ile çözüm getirilmektedir. Son adımda, Yüke Yönelik İş Gönderme Sistemi ile üretim ortamına gönderilecek iş listesi, fazla üretim israfına yol açmayacak şekilde oluşturulmaktadır.

Ürün tasarım özelliklerinin belirlenmesi

Ürün tasarım özellikleri belirlenirken, hazırlık süreci bölünemez en küçük parçalarına (hazırlık bileşenleri) kadar ayrılıp, daha sonra uygulamada kolaylık sağlanması açısından bu bileşenler hazırlık işlerini oluşturacak şekilde gruplanmak-

tadır. Daha sonra, hazırlık nesnelere odaklanılarak, hazırlık nesnelindeki değişimler ve ürün yapısı dikkate alınıp tasarım özellikleri belirlenmektedir.

Ürün tasarım özelliklerine bağlı sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin elde edilmesi

Ürün tasarım özellikleri ile hazırlık faaliyetleri arasındaki etkileşimden sıraya bağımlı hazırlık süreleri elde edilmektedir. Geliştirilen çizelgeleme sistematığının bu aşamasında Charles-Owaba ve Lambert (1988)'in geliştirdiği matematiksel model kullanılmaktadır.

Matematiksel programlama modelleri

Metodoloji kapsamında, küçük bir örnek uygulama sözkonusu olduğunda, çözümün eniylenmesine yönelik iki matematiksel programlama modeli geliştirilmiştir. Birinci model, makina sayısı ve vardiya süresi kısıtları altında üretim ortamına gönderilecek iş parçalarını belirlerken, ikinci model ise üretim ortamına gönderilen iş parçaları arasındaki sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin enazlanması amacını taşımaktadır.

Üretim ortamına iş gönderilmesine ait matematiksel programlama modeli

Varsayımlar

- Hazırlık süreleri sıraya bağımlı olup, belirlidir.
- İşlem süreleri belirlidir.
- Herhangi bir iş parçasının tekrarlı işlem görmesi sözkonusu değildir.
- Makinalar arasında işlem hızı açısından fark yoktur.
- Hazırlık nesnelere ihtiyaç duyulduğu anda mevcuttur.

İndisler

i: İş parçası indisi

j: Ardışık iş parçası indisi

k: Makina indisi

0: Başlangıç durumu

Parametreler

IS: İş parçası sayısı

IK = {1, ..., *IS*} → Tüm iş parçaları kümesi

IP_c = “c” planlama dönemi taleplerini oluşturan iş parçaları kümesi

T = *IK* ∪ {0}

MS: Makina sayısı

V: Vardiya süresi

α: Vardiya süresi aşım oranı $0 \leq \alpha \leq 0,5$

s_{ij}: “*i*” iş parçasından “*j*” iş parçasına geçilirken harcanan hazırlık süresi $i \in T, j \in IK, i \neq j$

t_i: “*i*” iş parçasının işlem süresi

Değişkenler

x_{ijk} = 1, eğer “*k*” makinasında “*i*” iş parçası “*j*” iş parçasından hemen önce işlem görüyorsa; aksi durumda $0 \quad i \in T, j \in IK, i \neq j \quad k=1, \dots, MS$

z_i = 1, eğer “*i*” iş parçası serbest bırakılıyorsa; aksi durumda $0 \quad i \in IK$

q_{ik} = “*k*” makinasında, “*i*” iş parçasına kadar (“*i*” iş parçası dâhil) birikimli hazırlık ve işlem süreleri $i \in IK \quad k=1, \dots, MS$

Amaç fonksiyonu

$$\text{Max} \sum_{i=1}^{IS} z_i \quad (1)$$

Amaç fonksiyonu (1), üretim ortamına gönderilen iş parçası sayısının mümkün olduğunca yüksek tutulmasına yöneliktir.

Kısıtlar

$$\sum_{i \in T, i \neq j} \sum_{k=1}^{MS} x_{ijk} = z_j \quad \forall j \in IK \quad (2)$$

$$\sum_{j \in T, i \neq j} \sum_{k=1}^{MS} x_{ijk} = z_i \quad \forall i \in IK \quad (3)$$

$$\sum_{j \in T, i \neq j} \sum_{k=1}^{MS} k * x_{ijk} - \sum_{j \in T, i \neq j} \sum_{k=1}^{MS} k * x_{jik} = 0 \quad \forall i \in IK \quad (4)$$

$$z_i = 0.5 * \left(\sum_{j \in T, i \neq j} \sum_{k=1}^{MS} x_{ijk} + \sum_{p \in T, i \neq p} \sum_{k=1}^{MS} x_{pik} \right) \quad \forall i \in IK \quad (5)$$

$$\sum_{i \in IK} x_{0ik} \leq 1 \quad k=1, \dots, MS \quad (6)$$

$$q_{ik} \leq [V * (1 + \alpha)] * \sum_{j \in T, i \neq j} x_{ijk} \quad \forall i \in IK \quad k=1, \dots, MS \quad (7)$$

$$q_{ik} \leq [V^*(1+\alpha)] + (s_{0i} + t_i - [V^*(1+\alpha)]) * x_{0ik} \quad \forall i \in IK \quad k=1, \dots, MS \quad (8a)$$

$$q_{ik} \geq (s_{0i} + t_i) * \sum_{j \in T, i \neq j} x_{ijk} \quad \forall i \in IK \quad k=1, \dots, MS \quad (8b)$$

$$q_{jk} \geq q_{ik} + s_{ij} + t_j - [V^*(1+\alpha)] + [V^*(1+\alpha)] * x_{ijk} + ([V^*(1+\alpha)] - s_{ij} - t_j - s_{ji} - t_i) * x_{jik}$$

$$\forall (i, j) : i \in IK, j \in IK \wedge i \neq j \quad k=1, \dots, MS \quad (9)$$

$$z_i - z_j \geq 0 \quad \forall i, j : i \in IP_c, j \in IP_d \wedge c < d \quad (10)$$

$$x_{ijk} \in [0,1] \text{ ve tamsayı} \quad i \in T, j \in T, i \neq j \quad k=1, \dots, MS \quad (11a)$$

$$z_i \in [0,1] \text{ ve tamsayı} \quad \forall i \in IK \quad (11b)$$

$$q_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in IK \quad k=1, \dots, MS \quad (11c)$$

Kısıt (2) ve (3) üretim ortamına gönderilen bir iş parçasının sadece bir kez işlem görmesini sağlamaktadır. Kısıt (4), işlem göreceği (gönderilen) iş parçalarının başlanmış olduğu makinada bitirilmelerine yöneliktir. Kısıt (5) x_{ijk} ve z_i değişkenleri arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Kısıt (6), iş parçalarının, mevcut makina sayısını aşmayacak şekilde sıralanmasını sağlamaktadır. Bu modelde vardiya süresi aşım oranının (α) dâhil edilmesi, ilk aşamada daha fazla iş parçası gönderilmesinin sağlanıp, daha sonra uygulanacak modelde bu aşım sürelerinin, hazırlık sürelerinin azaltılması ile yok edilebileceği düşüncesine dayanmaktadır. Kısıt (7), her bir iş parçası için sözkonusu birikimli hazırlık ve işlem süresinin vardiya süresi ve aşım oranı dikkate alınarak sınırlandırmasını sağlar. Kısıt (8a) ve (8b), “ i ” iş parçasının herhangi bir makinada işlem göreceği ilk iş parçası olması durumunda birikimli işlem ve hazırlık süresini, başlangıç durumundan “ i ” iş parçasına başlanılabilmesi için gerekli hazırlık süresi ve “ i ” iş parçasının işlem süresi toplamına eşitler. Kısıt (9), “ j ” iş parçasının “ i ” iş parçasından hemen sonra işlem görmesi durumunda, birikimli işlem süresinin “ i ” iş parçasından “ j ” iş parçasına geçilebilmesi için gerekli sıraya bağımlı hazırlık süresi ve “ j ” iş parçasının işlem süresi toplamı kadar arttırılmasını sağlar.

Bu kısıt aynı zamanda makinalarda başlangıç durumundan başlamayan iş parça sıralarının oluşturulmasını önlemektedir.

İş parçalarının çizelgelenmesine ait matematiksel programlama modeli

İndisler

i : İş indisi

j : İş indisi

0 : Başlangıç durumu

Parametreler

GIS: Üretim ortamına gönderilen iş parçası sayısı

GIK = {1, ..., IS} → Üretim ortamına gönderilen iş parçaları kümesi

GT = GIK U {0}

s_{ij} : “ i ” iş parçasından “ j ” iş parçasına geçilirken harcanan hazırlık süresi $i \in GT, j \in GIK, i \neq j$

Değişkenler

y_{ij} = “ i ” iş parçası “ j ” iş parçasından hemen önce işlem görüyorsa 1; yoksa 0

$i \in GT, j \in GT, i \neq j$

u_j = Alt tur oluşumunu önlemeye yönelik değişken $j \in GT$

Amaç fonksiyonu

$$\text{Min} \sum_{i \in GT} \sum_{j \in GIK, i \neq j} s_{ij} * y_{ij} \quad (12)$$

Amaç fonksiyonu (12), sıraya bağımlı hazırlık süreleri toplamını enküçüklemektedir.

Kısıtlar

$$\sum_{i \in GT, i \neq j} y_{ij} = 1 \quad \forall j \in GT \quad (13)$$

$$\sum_{j \in GT, i \neq j} y_{ij} = 1 \quad \forall j \in GT \quad (14)$$

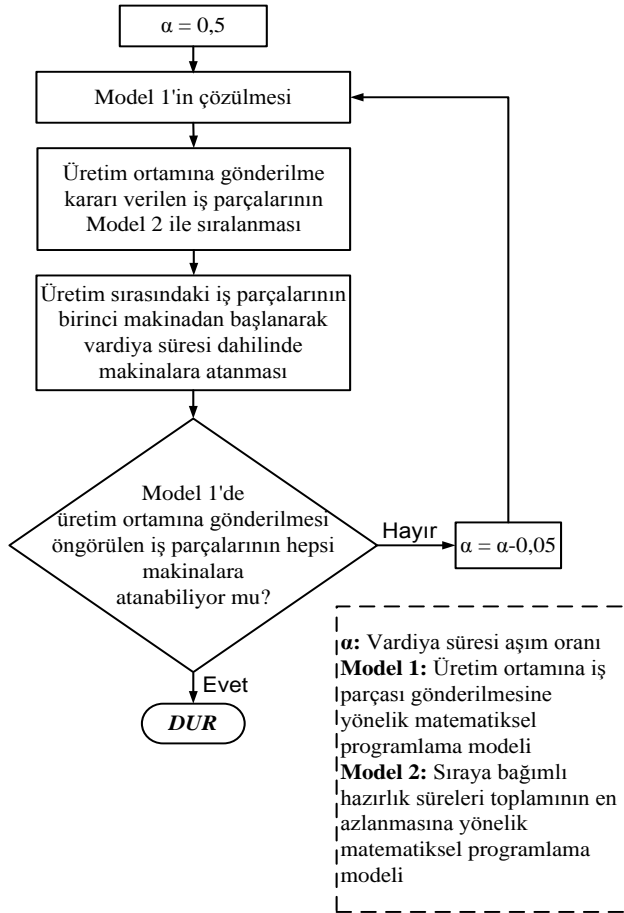
$$u_j \geq u_i + 1 - GIS * (1 - y_{ij}) \quad \forall (i, j) : i \in GT, j \in GIK \wedge i \neq j \quad (15)$$

$$y_{ij} \in [0,1] \text{ ve tamsayı} \quad i \in GT, j \in GT, i \neq j \quad (16a)$$

$$u_j \geq 0 \quad \forall j \in GT \quad (16b)$$

Kısıt (13) ve (14) her iş parçasının sadece bir kez işlem görmesini sağlamaktadır. Kısıt (15), başlangıç durumundan başlamayan alt iş parçası sıralarının oluşturulmasını önlemektedir. (16a) ve (16b) kısıtları ise modeldeki değişkenlerin alabileceği değerleri göstermektedir.

Şekil 1'deki sistematığe göre, vardiya süresi aşım oranına 0.5 değeri verilerek iş parçası gönderme modeli çözülmektedir. Üretim ortamına gönderilmesi öngörülen iş parçaları, hazırlık süresi toplamının en azlanmasına yönelik model ile sıralanmaktadır. Bu iş parçaları sıra ile vardiya süresinin aşılana kadar birinci makinaya yüklenmektedir. Daha sonra ikinci ve daha sonraki makinalara vardiya süresini aşmayacak şekilde iş parçası yüklenmesi sıra dâhilinde gerçekleştirilir. Bu yükleme anlayışı ile her bir makinede boş kapasite kalması yerine, son makinedeki kapasite boşluğu kalması tercih edilmiştir.



Şekil 1. Matematiksel programlama modellerinin çözüm sistematığı

Bunun nedeni ise bu şekildeki bir yüklemenin işgören transferine daha uygun olmasıdır. Mevcut makina sayısı, vardiya süresi ve vardiya süresi aşım oranı değerleri ile makinalara atanmayan iş parçaları varsa vardiya süresi aşım oranı kademeli olarak düşürülerek birinci modelde gönderilmesi öngörülen iş parçalarının hepsinin ikinci modeldeki sıra ile makinalara yüklenmesi sağlanır.

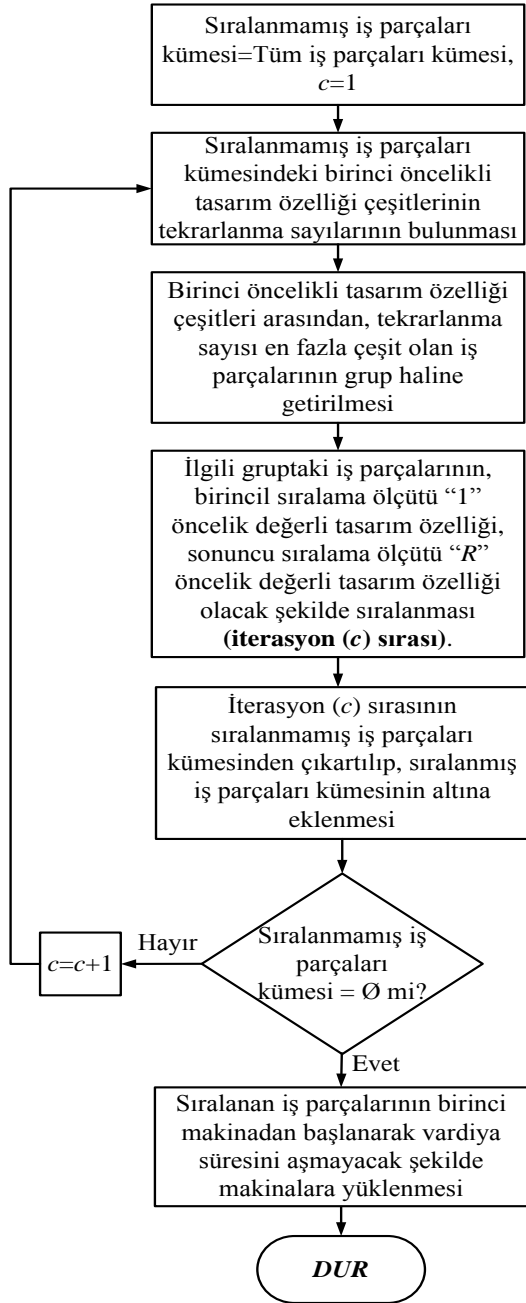
Sıralama algoritmaları

Bu aşamada ele alınan üretim sisteminde sözkonusu planlama dönemine ait işler, sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin toplamının azaltılması amacı ile sezgisel yöntemler kullanılarak sıralanır. Çalışma kapsamına alınan sıralama algoritmaları aşağıda açıklanacaktır.

Tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması

Sıralama adımında ürün tasarım özelliklerinin dikkate alınması durumunda öncelikle iş parçalarının sıralanması esnasında odaklanılacak tasarım özellikleri belirlenmelidir Bunun için, bütün ürün tasarım özellikleri ile hazırlık işleri arasındaki etkileşim incelenir. Geliştirilen sistematikte her bir tasarım özelliği, üzerine etkili olduğu hazırlık işlerinin sürelerinin toplamdaki payı oranında öneme sahip olmaktadır. Daha sonra tasarım özellikleri ve etki oranları incelenerek "Pareto Analizi" yaklaşımı ile iş parçası sıralama safhasında dikkate alınacak tasarım özellikleri ortaya çıkmaktadır.

Tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritmasında, bir önceki safhada tüm tasarım özellikleri arasından belirlenen tasarım özelliklerine göre sıralama işlemi uygulanır. Sıralama esnasında, hazırlık faaliyetlerinin süreleri toplamının azaltılmasına en yüksek etkiyi sağlayan tasarım özelliğinin en yüksek miktardaki çeşidini sağlayan iş parçaları gruplandıktan sonra, bu iş parçası grubu, dikkate alınan ve öncelikleri belirlenmiş diğer tasarım özelliklerindeki benzerliklerine göre sıralanmaktadır. Algoritma, bütün iş parçalarının sıralanmasına kadar devam eder. Algoritma adımları Şekil 2'deki gibidir.



Şekil 2. Tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması

“Hazırlık süresi tasarrufu odaklı gelecek en iyi” sıralama algoritması

Bu sıralama algoritmasında, sıraya bağımlı hazırlık süreli işlerin sıralama problemi ile yapısal benzerlik gösteren Gezgin Satıcı Problemi’nde (İngilizce: Traveling Salesman Problem) kullanılan en yaygın algoritmalarından biri olan “En Yakın Komşu” algoritmasına (İngilizce: Nearest Neighbour Algorithm) hazırlık tasarruf değerleri

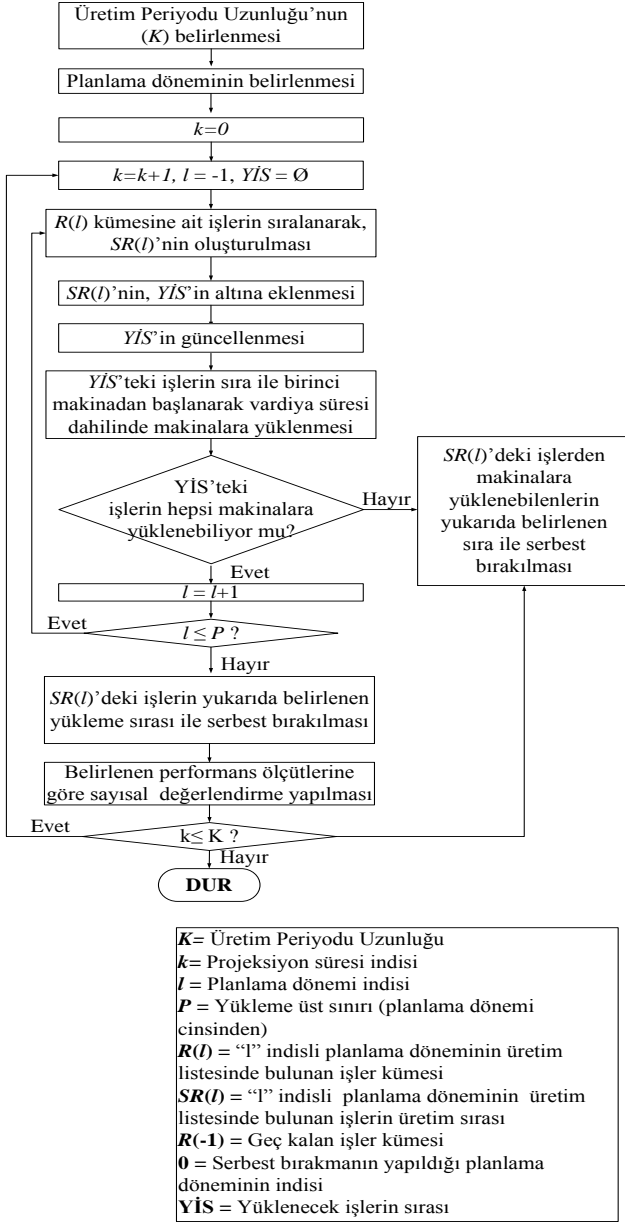
dahil edilmiştir. Algoritma kapsamında, öncelikle her bir (i,j) iş parçası çifti için hazırlık süresi tasarruf değeri hesaplanır. Hazırlık süresi tasarruf değeri, i ve j iş parçalarının ardışık olarak sıralanması durumunda bu iş parçalarının benzerlikleri dolayısıyla hazırlık sürelerinden sağlanacak kazancın süre cinsinden eşdeğeridir. İşler arası hazırlık tasarruf değerleri hesaplandıktan sonra, her bir adımda, bir pozisyona iş parçası getirilerek iş sırası elde edilir. Herhangi bir pozisyona getirilecek iş parçası belirlenirken, bir önceki pozisyondaki işten sonra en yüksek tasarrufu sağlayacak iş parçası bulunur ve sıraya eklenir.

“En ucuz ekleme” sıralama algoritması

Tez çalışması kapsamındaki sıralama yöntemi alternatiflerinden biri de Gezgin Satıcı Problemi’nde etkin sonuç veren “En Ucuz Ekleme” (İngilizce: Cheapest Insertion Algorithm) sıralama algoritmasıdır (Hassin ve Keinan, 2007). Bu algoritmada, hazırlık tasarrufuna dayanan sıralama algoritmasında olduğu gibi her bir adımda bir pozisyona bir iş parçası atanır. Ancak, bu algoritmada, iş parçası sıralama, pozisyon açısından ardışık olarak ilerlemez. Herhangi bir adımda, bir önceki adımda elde edilen alt sıradaki her bir ardışık iş çifti arasına henüz sıralanmamış işler teker teker getirilerek toplam hazırlık süresindeki artış hesaplanır. Daha sonra, en düşük hazırlık süresi artışının sağlandığı ekleme faaliyeti gerçekleştirilir. Sıralama süreci, tüm iş parçaları sıralanıncaya kadar devam eder.

Yüke yönelik iş gönderme listesi’nin oluşturulması

Yüke Yönelik İş Gönderme Listesi’nin oluşturulması sürecinde planlama dönemlerine ait işlerin sıra ile çizelgelenmesi ve mevcut makina sayısı ve çalışma süresini dikkate alarak üretim ortamına gönderilmesi gerçekleştirilir. Bu çalışmada, iş göndermenin iş sıralamadan sonra gerçekleştirilmesinin nedeni, hazırlık sürelerinin sıraya bağımlı yapıda olması, dolayısıyla kapasite içerisinde hazırlık süreleri toplamının değişkenlik göstermesidir. Geliştirilen iş gönderme sistematığı, Şekil 3’te sunulmuştur.



Şekil 3. İş gönderme sistematığı

Bir otomotiv kablo takımı üreticisinde uygulama

Yukarıdaki bölümlerde anlatılan çizelgeleme sistematığı, gerçek bir kablo takımı üretim ortamının Kesme-Sıyırma-Terminalleme (KST) Bölümü'nde uygulanacaktır. Bu bölümde rulo halindeki kabloyu uygun boyda kesme, kesilen parçanın uçlarındaki PVC'yi sıyırma ve uç(lar)ına terminal takma işlerini otomatik olarak yapan 8 adet KST makinası mevcuttur.

Sıralanacak tüm kablolardan bazılarının tasarım özellikleri, toplam hazırlık sürelerini düşürme

amaçlı olarak uç çevrilmesi ile yeniden düzenlenmektedir. Kabloların simetrik bir ürün olmasından yararlanılarak gerçekleştirilen bu aşamada, kabloların bazılarının terminal, kalıp ve uç açma boyları ters çevrilir. Böylece en fazla süreyi alan kalıp ve terminal ile ilgili hazırlık süreleri, her bir uça bulunabilecek maksimum aynı tipteki terminal düzenlemesi ile azaltılmış olmaktadır.

Daha sonra, matematiksel model ile sıraya bağımlı hazırlık süreleri belirlenmiştir. KST makinelerindeki herhangi bir kablonun birim işlem süresi ise kesit ve uzunluğuna göre değişen kesim süresi ile terminallenme süresinin toplamı şeklinde belirlenmektedir.

Kabloların çizelgelemesi

KST makinelerindeki parti miktarı ortalama 150 adet civarında olup bu miktar kablo kesimi için çok küçüktür. Bu nedenle KST makinelerinde hazırlık faaliyet ve süreleri oldukça fazladır. Ayrıca hazırlık sürelerinin sıraya bağımlı yapıda olması nedeni ile etkin kablo sıralarının elde edilmesi kapasite kullanımı açısından yüksek öneme sahiptir. Bu bağlamda, KST makineleri önünde kabloların çizelgelemesindeki (sıralanmasındaki) esas amaç, kablodan kabloya geçişte yapılan hazırlık süreleri toplamını enazlatmaktır. Uygulama esnasında üç adet sezgisel yöntem kullanılarak kablo sıraları elde edilmiştir. Kullanılan sezgisel yöntemler aşağıda belirtilmiştir:

- Hazırlık Süresi Tasarrufu Odaklı Gelecek En İyi" sıralama algoritması (HSTOGEİ)
- "En Ucuz Ekleme" sıralama algoritması (EUE)
- Kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması (KTÖBSA)

Kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması

Söz konusu yöntem, diğer iki sezgiselin aksine, matematiksel model ile bulunan hazırlık sürelerini esas almamakla birlikte, hazırlık faaliyetlerinin analizi neticesinde kalıp, terminal, kablo kesidi ve kablo tipini esas alan bir sezgisel olmaktadır. Ancak yöntem sonucu elde edilen sıradaki her bir kablo için gösterilen hazırlık süre-

leri, matematiksel model sonucu elde edilmiş olan hazırlık sürelerini kullanmaktadır.

Sıralama algoritmalarının karşılaştırılması

Yukarıda belirtilen algoritmalar, değişen talep miktarlarına sahip gerçek üretim verileri kullanılarak karşılaştırılmaktadır.

Karşılaştırmaya kablo takımı üretim ortamında uygulanmış üretim sıraları da dâhil edilmiştir. Performans değerlendirmesi için ise paralel makinalarda sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin enazlanması problemi için Yalaoui ve Chu (2003) tarafından ortaya konulan alt limit değerleri kullanılacaktır. Alt limitin hesaplanması aşağıdaki şekilde gerçekleştirilmektedir:

N : İş sayısı, M : Makina sayısı, s_{ij} : “ i ” işinden “ j ” işine geçilirken harcanan hazırlık süresi, AL : Alt limit,

(h_1, h_2, \dots, h_N) , $s_{0h_1} \leq s_{0h_2} \leq \dots \leq s_{0h_N}$ olacak şekilde $(1, 2, \dots, N)$ 'in bir permütasyonu olmak üzere ve

$$S_{*j} = \min_{1 \leq i \leq N} (s_{ij}) \quad j=1, \dots, N \quad (17)$$

eşitliğinde,

(j_1, j_2, \dots, j_N) , $S_{*j_1} \leq S_{*j_2} \leq \dots \leq S_{*j_N}$ olacak şekilde $(1, 2, \dots, N)$ 'in bir permütasyonu olmak üzere

$$AL = \sum_{i=1}^M s_{0h_i} + \sum_{k=1}^{N-M} S_{*j_k} \quad (18)$$

Önceki bölümlerde anlatılan sezgisellerin kablo çizelgeleme probleminde uygulanmasına yönelik olarak bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılımın arayüzü Microsoft Visual Basic 2008 Express Edition, arka yüzü ise Java JDK 1.6 programlama dillerinde hazırlanmıştır. Söz konusu karşılaştırma, 1.86 Ghz Intel(R) Core(TM) Duo işlemci ve 1024 MB belleğe sahip bir bilgisayarda yapılmıştır. Çalışma süresi 525 dakika olarak belirlenmiştir. Karşılaştırma dâhilinde kesim adedi bazında günlük talep, Tablo 1’de belirtilen derecelendirme ile değerlendirilmiştir.

45 günlük üretim verilerinin dikkate alındığı performans karşılaştırmasına, yukarıda bahsi geçen üç sezgisel yöntem ek olarak KST Bö-

lümünün mevcut durumu (MD) dâhil edilmiştir. İlgili performans karşılaştırma bilgileri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Kesim adedine bağlı talep dereceleri

Talep Derecesi	Kesim Adedi
Düşük	0-40000
Orta	40001-70000
Yüksek	70001 ve üzeri

KTÖBSA her bir talep düzeyinde en düşük hazırlık süresi ortalamasına ulaşmıştır. Üç adet sezgisel yöntem ile mevcut durum arasındaki fark talep düzeyi ile doğru orantılı bir eğilim göstermiştir. HSTOGEİ ile EUE arasında düşük talep değerlerinde belirgin bir fark görülmez iken bu fark, artan talep ile belirgin hale gelmiştir. Talep ve sıralama yöntemi bağımsız değişkenlerinin hazırlık süresi bağımlı değişkeni üzerindeki etkisini irdelemek amacı ile SPSS 13.0 ile çift yönlü ANOVA testi yapılmıştır. KTÖBSA ile diğer yöntemler ve mevcut durum arasında hazırlık süresi yönünden anlamlı bir fark olduğu belirlenmiştir ($p < 0,05$). Ancak, diğer sıralama yöntemlerinin kendi aralarında ve mevcut durumla hazırlık süresi bağımsız değişkeni açısından 0,05 güven düzeyinde önemli bir fark bulunmamaktadır ($p > 0,05$). 45 günlük toplam hazırlık süreleri dikkate alındığında en iyi sonucu KTÖBSA vermiştir. Bu süre zarfında, toplam hazırlık süresindeki mevcut duruma göre kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması %6,81, HSTOGEİ %2,52, EUE %3,47 azalma sağlamıştır.

KST makinaları için yüke yönelik iş gönderme listesi’nin oluşturulması

Geliştirilen metodoloji kapsamında uygun sıralama yöntemi seçildikten sonra Yüke Yönelik İş Gönderme Listesi oluşturulmaktadır. KST Bölümü’nde uygun planlama dönemi bir gün olarak belirlenmiştir. KST makinalarındaki Yüke Yönelik İş Gönderme Listeleri, aşağıda açıklanan üç performans ölçütüne göre değerlendirilecektir:

- **İşgören Transferine Uygun Süre:** KST Bölümü’nde boşta bulunan işgörenin bir başka ürün ailesine ait hücreye geçici transferi

Tablo 2. Performans karşılaştırma tablosu

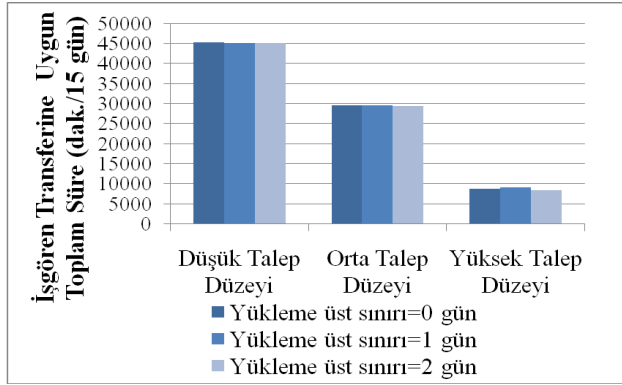
Tarih	Talep Düzeyi	Kesim Adedi	Toplam Hazırlık Süresi				Çözüm Süresi (sn.)				Alt Sınırdan Sapma (%)				En İyi Sezgisel Çözümünden Sapma (%)			
			HSTOGEİ	EUE	KTÖBSA	MD	HSTOGEİ	EUE	KTÖBSA	MD	HSTOGEİ	EUE	KTÖBSA	MD	HSTOGEİ	EUE	KTÖBSA	MD
01/12/2009	Düşük	33750	532,12	518,78	497,35	555,72	0,61	1,00	0,51	0,52	76,20	71,78	64,69	84,02	6,99	4,31	0,00	11,74
13/1/2009	Düşük	13554	602,51	593,20	578,24	607,46	0,39	0,51	0,31	0,30	15,53	13,74	10,87	16,48	4,20	2,59	0,00	5,05
14/1/2009	Düşük	26566	396,29	421,86	360,61	381,83	0,31	0,36	0,25	0,27	65,33	76,00	50,45	59,30	9,89	16,98	0,00	5,88
15/1/2009	Düşük	29276	276,77	268,20	246,97	258,99	0,28	0,28	0,23	0,23	42,15	37,75	26,85	33,02	12,06	8,59	0,00	4,87
16/1/2009	Düşük	31500	442,91	452,48	418,13	456,56	0,41	0,52	0,33	0,31	58,84	62,28	49,96	63,74	5,93	8,22	0,00	9,19
26/1/2009	Düşük	37672	292,32	292,16	254,59	276,99	0,41	0,53	0,34	0,33	73,01	72,92	50,68	63,94	14,82	14,76	0,00	8,80
27/1/2009	Düşük	33234	578,90	548,24	530,36	539,23	0,50	0,81	0,42	0,39	50,10	42,15	37,51	39,81	9,15	3,37	0,00	1,67
02/02/2009	Düşük	35540	580,91	580,14	553,11	527,50	0,45	0,41	0,33	0,30	13,08	12,93	7,67	2,68	10,13	9,98	4,85	0,00
03/02/2009	Düşük	34764	400,02	421,70	418,79	450,59	0,47	0,66	0,64	0,36	16,80	21,61	22,28	31,57	0,00	5,42	4,69	12,64
04/02/2009	Düşük	31706	601,18	605,64	539,82	577,95	0,39	0,50	0,33	0,33	33,33	34,32	19,72	28,18	11,37	12,19	0,00	7,06
05/02/2009	Düşük	29519	740,49	734,64	693,16	679,49	0,53	0,90	0,45	0,45	29,99	28,96	21,68	19,28	8,98	8,12	2,01	0,00
06/02/2009	Düşük	22002	359,34	354,63	334,33	310,48	0,27	0,28	0,22	0,22	21,19	19,60	12,75	4,71	15,74	14,22	7,68	0,00
16/2/2009	Düşük	15698	286,39	271,20	247,99	310,90	0,34	0,31	0,23	0,28	73,30	64,11	50,06	88,13	15,49	9,36	0,00	25,37
17/2/2009	Düşük	23147	326,89	321,04	275,67	425,70	0,23	0,25	0,22	0,20	27,67	25,39	7,66	66,26	18,58	16,46	0,00	54,43
18/2/2009	Düşük	31940	757,56	766,30	721,41	725,24	0,50	0,76	0,42	0,42	25,92	27,38	19,91	20,55	5,01	6,22	0,00	0,53
25/2/2009	Orta	55970	583,68	574,56	566,91	625,33	0,50	0,76	0,53	0,39	55,14	52,72	50,69	66,22	2,96	1,35	0,00	10,31
26/2/2009	Orta	51135	398,23	383,84	360,99	350,53	0,50	0,64	0,41	0,81	95,85	88,78	77,54	72,39	13,61	9,50	2,98	0,00
09/03/2009	Orta	66110	522,39	503,98	567,14	603,32	0,84	1,98	0,94	0,73	50,84	45,52	63,76	74,20	3,65	0,00	12,53	19,71
10/03/2009	Orta	61616	840,99	820,56	772,98	901,60	1,05	3,12	0,84	0,84	80,43	76,05	65,84	93,43	8,80	6,16	0,00	16,64
11/03/2009	Orta	56160	731,14	680,34	660,58	754,73	0,58	0,95	0,50	0,47	55,81	44,99	40,78	60,84	10,68	2,99	0,00	14,25
12/03/2009	Orta	63892	779,71	780,10	722,49	765,48	0,64	1,26	0,55	0,53	52,81	52,89	41,60	50,02	7,92	7,97	0,00	5,95
13/3/2009	Orta	49642	1326,55	1343,40	1297,41	1326,63	0,95	2,42	0,89	0,80	19,06	20,57	16,44	19,06	2,25	3,55	0,00	2,25
13/4/2009	Yüksek	72431	1019,37	1042,78	998,62	1118,42	1,15	3,62	0,91	0,91	38,37	41,55	35,55	51,81	2,08	4,42	0,00	12,00
14/4/2009	Yüksek	89476	1101,69	1082,46	1041,55	1085,75	1,47	4,56	1,12	1,16	44,30	41,78	36,42	42,21	5,77	3,93	0,00	4,24
15/4/2009	Yüksek	72057	920,60	951,05	858,57	1013,75	0,73	1,36	0,59	0,59	47,19	52,06	38,31	62,09	7,23	10,77	0,00	18,08
16/4/2009	Yüksek	85177	685,08	671,91	655,69	692,09	0,86	2,09	0,69	0,70	62,08	58,97	55,13	63,74	4,48	2,47	0,00	5,55
17/4/2009	Yüksek	88453	2207,95	2172,77	2123,85	2265,54	4,49	28,24	3,45	3,40	56,43	53,94	50,47	60,51	3,96	2,30	0,00	6,67
25/5/2009	Yüksek	93944	1311,22	1303,28	1287,60	1282,50	1,81	6,57	1,45	1,42	62,04	61,06	59,13	58,50	2,24	1,62	0,40	0,00
26/5/2009	Yüksek	83239	2097,85	2055,44	2047,66	2383,89	2,95	15,29	2,28	2,26	19,36	16,94	16,50	35,63	2,45	0,38	0,00	16,42
27/5/2009	Yüksek	88169	642,14	607,60	624,87	701,19	0,58	1,00	0,47	0,45	54,93	46,60	50,77	69,18	5,68	0,00	2,84	15,40
28/5/2009	Yüksek	96682	1091,35	1077,86	1055,35	1093,22	1,25	3,96	0,97	0,95	24,18	22,65	20,09	24,40	3,41	2,13	0,00	3,59
29/5/2009	Yüksek	84688	1198,84	1183,86	1184,70	1183,19	1,19	3,04	0,97	0,94	29,94	28,32	28,41	28,24	1,32	0,06	0,13	0,00
15/6/2009	Yüksek	79353	730,15	730,26	690,01	801,03	0,86	2,25	0,72	0,70	76,14	76,16	66,45	93,24	5,82	5,83	0,00	16,09
16/6/2009	Yüksek	84863	713,01	709,33	694,24	709,85	0,72	1,59	0,59	0,61	64,20	63,35	59,88	63,47	2,70	2,17	0,00	2,25
17/6/2009	Yüksek	85389	1139,84	1140,18	1163,73	1335,93	1,69	6,72	1,31	1,31	60,59	60,64	63,95	88,21	0,00	0,03	2,10	17,20
18/6/2009	Yüksek	86425	1616,66	1610,88	1559,51	1634,93	1,92	6,57	1,53	1,39	36,16	35,67	31,35	37,70	3,66	3,29	0,00	4,84
19/6/2009	Yüksek	82562	849,83	841,94	796,97	818,46	0,81	1,64	0,76	0,70	23,09	21,95	15,44	18,55	6,63	5,64	0,00	2,70
13/7/2009	Orta	54912	701,81	747,22	689,61	748,70	0,53	0,78	0,44	0,42	34,73	43,45	32,39	43,73	1,77	8,35	0,00	8,57
14/7/2009	Orta	45606	964,66	979,99	921,08	1004,01	0,62	1,17	0,52	0,52	17,73	19,60	12,41	22,54	4,73	6,39	0,00	9,00
15/7/2009	Orta	51242	749,06	720,82	687,76	804,41	0,66	1,19	0,55	0,53	55,03	49,18	42,34	66,48	8,91	4,81	0,00	16,96
16/7/2009	Orta	40550	354,41	344,70	312,72	332,62	0,36	0,42	0,22	0,30	67,65	63,06	47,93	57,34	13,33	10,23	0,00	6,36
17/7/2009	Orta	47181	409,37	418,76	415,99	402,40	0,58	1,11	0,48	0,47	55,37	58,93	57,88	52,72	1,73	4,07	3,38	0,00
20/7/2009	Orta	64455	831,28	805,31	819,63	893,22	0,69	1,53	0,56	0,56	72,80	67,40	70,38	85,68	3,22	0,00	1,78	10,92
21/7/2009	Orta	63164	903,22	843,49	855,38	833,51	0,56	1,47	0,61	0,59	35,70	26,72	28,51	25,22	8,36	1,20	2,62	0,00
22/7/2009	Orta	56683	1192,51	1160,36	1110,51	1163,05	0,84	1,76	0,70	0,69	21,51	18,23	13,15	18,51	7,38	4,49	0,00	4,73
		Ortalama	795,31	787,54	760,32	815,86	0,85	2,60	0,71	0,69	46,49	44,90	38,72	49,50	6,78	5,71	1,07	8,84

E. Çavkan, ve diğerleri

mümkün olduğundan bu süre dikkate alınacaktır.

- **Fazla Üretim Miktarı:** Yüke Yönelik İş Gönderme Listesi'nde ihtiyaç duyulan günden önce yapılan üretim miktarıdır. Yapılan çalışmada bu miktar (üretim miktarı*erken bitirme gün sayısı) olarak hesaplanmaktadır.
- **Gecikme Miktarı:** İhtiyaç duyulan zamanda bitirilemeyen ürün miktarıdır.

Çalışma kapsamında Yüke Yönelik İş Gönderme Listeleri Tablo 1'de belirtilen düşük, orta ve yüksek talep düzeylerinde ve 0, 1 ve 2 günlük yükleme üst sınırı değerlerine göre oluşturulmuş olup, yukarıda bahsedilen performans ölçüt değerleri saptanmıştır. Yukarıda belirtilen İş Gönderme Listeleri, işgören transferine uygun süre bazında Şekil 4'te özetlenmiştir.

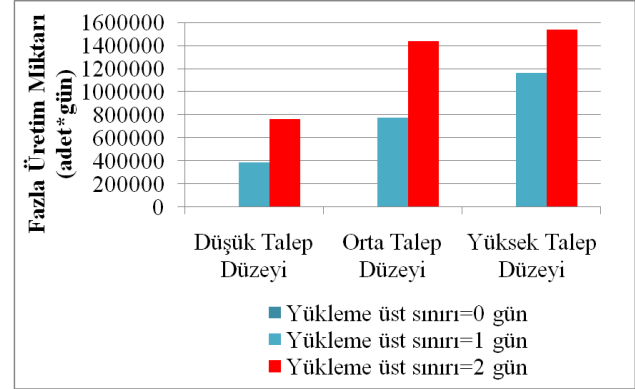


Şekil 4. İşgören transferine uygun süreler

Şekil 4'e göre, artan talep düzeyi üretim ortamında yoğunluğa neden olduğundan, işgörenin bir diğer KST hücreğine geçme imkânını azaltmaktadır. İşgören transferine uygun süre toplamı, aynı talep düzeyinde farklı yükleme üst sınırı değerlerinde belirgin bir değişim göstermemiştir. Yükleme üst sınırının artması, bir diğer deyişle fazla üretim yapmak, günler arası işgören transferine uygun süredeki değişimi arttırmaktadır. Bu durum ise, işgücü çizelgeleme açısından zorluğa neden olacaktır.

Şekil 5'e göre, ihtiyaç anında üretim mantığı taşıyan 0 günlük yükleme üst sınırı değeri tercih edildiğinde, her bir talep düzeyinde fazla üretim yapılmamıştır. Çünkü bu durum, ihtiyaç anında üretim yapma düşüncesini taşımaktadır. Ayrıca,

fazla üretim miktarı, hem artan talep düzeyi, hem de yükleme üst sınırı değerleri ile doğru orantılı olarak artmıştır.



Şekil 5. Fazla üretim miktarları

Yüksek yükleme üst sınır değerleri tercih edildiğinde, gelecek planlama dönemlerine ait talepler üretilebildiğinden gecikme olayları önlenmektedir. KST makinalarına ait uygulamada, yalnızca yüksek talep düzeyi ve 0 yükleme üst sınırı değerinde talep gün içerisinde karşılanamamış ve gecikme meydana gelmiştir (34824 adet). Bu nedenle, yüksek talep düzeyi şartlarında 1 günlük fazla üretim gecikmeyi önlemektedir. Söz konusu şartlar altında 2 günlük fazla üretime gerek olmadığı anlaşılmaktadır.

Bu sistematiğe sırası ile işgören transferine uygun süre, fazla üretim miktarı ve gecikme miktarı artan önem düzeyine sahiptir. Gecikme miktarını yok edecek en az fazla üretim miktarı aranır. İşgören transferine uygun süre işletme politikasına bağlı olarak değerlendirilir.

Sonuç ve öneriler

Yapılan çalışmada ürün tasarımı ile iş çizelgelemenin bütünleştirildiği bir sistematik sunulmuştur. Sıraya bağlı hazırlık sürelerinin bire-bir ölçüme gerek kalmadan elde edilmesi ve geliştirilen tasarım özelliklerine bağlı bir sıralama algoritmasının, iş çizelgelemesinde ürün tasarım özelliklerini kullanması çalışmaya farklılık kazandırmıştır. Söz konusu metodoloji, uygulandığı kablo takımı üretim sisteminde hazırlık sürelerinin düşürülmesi ve iş serbest bırakma yönünden önemli kolaylıklar ve faydalar sağlamıştır.

Nitekim, çalışma kapsamındaki uygulama neticesinde bu fayda, özellikle diğer sıralama yöntemlerine istatistiksel açıdan anlamlı bir üstünlük sağlayan KTÖBSA'da kendisini göstermiştir. 45 günlük gerçek üretim verileri dikkate alındığında, KTÖBSA, mevcut duruma göre %7 civarında hazırlık süresi tasarrufu sağlamıştır.

Uygulanan İş Gönderme Sistematiği kullanılarak gerçek ortamda gelecek talep tahmini dâhilinde, izlenecek strateji belirlenebilir. Bu strateji, özellikle fazla üretim ve bunun gün karşılığı olarak belirmektedir. Ayrıca, işgören transferine uygun sürenin diğer bölümler tarafından alınabilir olması, kapasite planlaması açısından önem taşımaktadır.

Kaynaklar

- Andres, C., Albarracin, J. M., Tormo, G., Vicens, E. ve Garcia-Sabater, J. P., (2005). Group technology in a hybrid flowshop environment: A case study, *European Journal of Operational Research*, **167**, 272-281.
- Ashby, J. R. ve Uzsoy, R., (1995). Scheduling and Order Release in a Single-Stage Production System, *Journal of Manufacturing Systems*, **14**, 4, 290-306.
- Bechte, W., (1988). Theory and practice of load-oriented manufacturing control, *International Journal of Production Research*, **26**, 3, 375-395.
- Charles-Owaba, O. E. ve Lambert, B. K., (1988). Sequence dependent set-up times and similarity of parts: A Mathematical Model, *IIE Transactions*, **20**, 1, 12-21.
- Durmuşoğlu, M. B., (1990). Toplam hazırlık sürelerini düşürme ve yükleme sorununun çözümüne yönelik bir yaklaşım, *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, **9**, 4-17.
- Ebadian, M., Rabbani, M., Torabi, S.A. ve Jolai, F., (2008). Hierarchical production planning and scheduling in make-to-order environments: reaching short and reliable delivery dates, *International Journal of Production Research*, **47**, 20, 5761-5789.
- Hassin, R. ve Keinan, A., (2007). Greedy heuristics with regret, with application to the cheapest insertion algorithm for the TSP, *Operations Research Letters*, **36**, 2, 243-246.
- Hoeck, M., (2007). A workload control procedure for an FMC integrated in a job shop, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, **21**, 6, 666-675.
- Kurz, M. E. ve Askin, R. G., (2001). Heuristic Scheduling of paralel machines with sequence-dependent set-up times, *International Journal of Production Research*, **39**, 16, 3747-3769.
- Sabuncuoglu, I. ve Karapınar, H. Y., (1999). Analysis of order review/release problems in production systems, *International Journal of Production Economics*, **62**, 259-279.
- Saraç, T. ve Sipahioğlu, A., (2008). Plastik enjeksiyon makinalarının çizelgelenmesi problemi. *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, **20**(2), 2-14.
- Sivrikaya-Şerifoğlu, F. ve Ulusoy, G., (1999). Paralel machine scheduling with earliness and tardiness penalties, *Computers & Operations Research*, **26**, 773-787.
- Tang, L., Liu, J., Rong, A. ve Yang, Z., (2000). A multiple traveling salesman problem model for hot rolling scheduling in Shanghai Baoshan Iron & Steel Complex, *European Journal of Operational Research*, **124**, 267-282.
- Yalaoui, F. ve Chu, C., (2003). An efficient heuristic approach for parallel machine scheduling with job splitting and sequence dependent set-up times, *IEE Transactions*, **35**, 183-190.