|  |
| --- |
| t.c.PAMUKKALE ünİversİtesİFen bİlİmlerİ enstİtüsüEndüstri Mühendisliği Anabilim Dalı |
|  |
| Siparişe Göre ÜRetimde Stok YÖNETİMİ |
| TEZSİZ YÜKSEK LİSANS DÖNEM PROJESİ |
| Mustafa DEMİRCİ |
| DENİZLİ, Ağustos - 2020

|  |
| --- |
| t.c.PAMUKKALE üniversitesiFen bilimleri enstitüsüEndüstri Mühendisliği Anabilim Dalı  |
|  |
| Siparişe Göre ÜRetimde Stok DEngelemesi |
|  TEZSİZ YÜKSEK LİSANS DÖNEM PROJESİ |
| Mustafa DEMİRCİ |
| DENİZLİ, Ağustos - 2020 |

 |

KABUL VE ONAY SAYFASI

|  |
| --- |
| **MUSTAFA DEMİRCİ** tarafından hazırlanan “**Siparişe Göre Üretimde Stok Yönetimi**” adlı tezsiz yüksek lisans dönem projesi danışmanlığımda hazırlanmış olup 25.08.2020 tarihinde son kontrolü yapılarak Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı tezsiz yüksek lisans dönem projesi olarak kabul edilmiştir. |
|

|  |  |
| --- | --- |
| Danışman | İmza |
| Dr. Öğr. Üyesi Semih Coşkun |   |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|   |  |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

 |
| Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun ……………. tarih ve ……………. sayılı kararıyla onaylanmıştır. |
|  Prof. Dr. Uğur YÜCELFen Bilimleri Enstitüsü Müdürü |

|  |
| --- |
|   |

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**MUSTAFA DEMİRCİ**

**İMZA**

|  |
| --- |
| ÖZET |
| Siparişe Göre ÜRetimde Stok YÖNETİMİ |
| Yüksek Lisans Tezi |
| MUSTAFA DEMİRCİ |
| PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ |
| Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı |
| (TEZ DANIŞMANI:Dr. öğr. üyesi Semih coşkun) |
| DENİZLİ, Ağustos - 2020 |
| Üretimde verimlilik, büyük yatırımlara ihtiyaç duyulmadan, üretim çizelgelemesinde yapılacak operasyonel iyileştirmeler ile arttırılabilir. Çizelgelemede yapılacak basit iyileştirmeler ile kapasite daha etkin kullanılabilir ve maliyetler düşürülebilir.Optimum parti büyüklüklerinin hesaplanıp, makinelerde mümkün olan en az ebat değişimi yapılması verimliliğin arttırılması ve kapasitesinin etkin kullanımı için sık kullanılan bir yöntemdir. Özellikle stok için üretim yapan şirketlerde kullanılır.Siparişe göre üretim yapan şirketlerde, her bir üretim siparişi (iş emri) bir müşteri siparişi üzerine açılmakta ve de stok için üretim yapılmaya izin verilmemektedir. Ürünlerin de müşteri ihtiyaçlarına göre özelleştiği sektörlerde ürünler arası hazırlık süreleri sıraya bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Bu noktada verimlilik için üretim çizelgelemesi çok önemli bir hale gelmektedir.Bu tez çalışmasında, ilişkisiz paralel makinalarda siparişlerin temin zamanına kadar tamamlanmasını dikkate alan ve ürünler (siparişler) arası sıraya bağımlı hazırlık sürelerini oluşturduğu maliyeti minimize etmeyi amaçlayan bir model kurulmuştur. Çalışma gerçek üretim ortamından elde edilen veriler üzerinde uygulanmış olup, elde edilen sonuçlar belirtilmiştir.**ANAHTAR KELİMELER:** Çizelgeleme, siparişe göre üretim, ilişkisiz paralel makine, sıraya bağımlı hazırlık süreleri. |
| **ANAHTAR KELİMELER:** |
| ABSTRACT |
| STOCK MANAGEMENT IN MAKE TO ORDER PRODUCTON |
| MSc THESIS |
| MUSTAFA DEMIRCI |
| PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE |
| IndustrIal EngIneerIng |
|  |
| (SUPERVISOR:dr. semih coşkun) |
| DENİZLİ, August 2020 |
| Productivity in production can be increased with operational improvements in production scheduling without the need for large investments. With simple improvements in scheduling, capacity can be used more efficiently and costs can be reduced.Calculating the optimum lot sizes and making as few set-up as possible on machines is a frequently used method for increasing the efficiency and efficient use of capacity. It is especially used in companies have make-to-stock system.In the companies have make-to-order system, each production order (work order) is opened on a customer order and production is not allowed for stock. In the sectors where the products are also customized according to customer needs, set-up times between the products vary depending on the order. At this point, production scheduling becomes very important for efficiency.In this thesis, a model has been established which considers the completion of orders until the due date in unrelated parallel machines and aims to minimize the cost of set-up time dependent on the order between the products (orders).The study was applied on the data obtained from the actual production environment and the results obtained were indicated.**KEYWORDS:** Scheduling, make-to-order, unrealted pararlel machine, sque depended setup time,  |
| **KEYWORDS:** |

İÇİNDEKİLER

 Sayfa

[ÖZET ii](#_Toc10656456)

[ABSTRACT ii](#_Toc10656457)

[İÇİNDEKİLER ii](#_Toc10656458)

[ŞEKİL LİSTESİ ii](#_Toc10656459)

[TABLO LİSTESİ ii](#_Toc10656460)

[ÖNSÖZ ii](#_Toc10656462)

[1. GİRİŞ 2](#_Toc10656463)

[2. LİTERATÜR TARAMASI 4](#_Toc10656475)

[3. ÜRETİM SİSTEMLERİ 8](#_Toc10656464)

[3.1 Üretim Yöntemlerine Göre Sınıflandırma: 8](#_Toc10656465)

[3.2 Mamul Cinslerine Göre Sınıflandırma: 9](#_Toc10656466)

[3.3 Üretim Miktarına veya Akışına Göre Sınıflandırma: 9](#_Toc10656467)

[3.4 Diğer Üretim Tipleri: 9](#_Toc10656468)

[3.3 Üretim Miktarına Veya Akışına Göre Sınıflandırma 10](#_Toc10656469)

[3.3.1 Kesikli Üretim 11](#_Toc10656470)

[3.3.1.1 Siparişe Göre Üretim 11](#_Toc10656471)

[3.3.1.2 Parti Üretimi 13](#_Toc10656472)

[3.3.2 Sürekli Üretim 13](#_Toc10656473)

[4. SIRAYA BAĞLI OLARAK DEĞİŞEN HAZIRLIK SÜRELERİ ve İLİŞKİSİZ PARALEL MAKİNE ÇİZELGELEME 2](#_Toc10656474)

[5. SIRAYA BAĞLI HAZIRLIK SÜRELERİNİN DEĞİŞKENLİK GÖSTERDİĞİ BİR FİRMADA UYGULAMA 2](#_Toc10656476)

[6. MATEMATİKSEL MODEL 2](#_Toc10656477)

[7. SONUÇ VE ÖNERİLER 2](#_Toc10656479)

[8. KAYNAKLAR 2](#_Toc10656480)

[9.ÖZGEÇMİŞ 2](#_Toc10656483)

ŞEKİL LİSTESİ

 Sayfa

[Şekil 1.1: Üretim Sistemleri. 3](#_Toc406577068)

[Şekil 2.1: Üretim Sistemleri. 10](#_Toc406577068)

[Şekil 2.2: Üretim Esnekliği-Birim Maliyet İlişkisi. 16](#_Toc406577069)

[Şekil 2.3: Geleneksel Üretim Sistemleri 18](#_Toc406577070)

[Şekil 5.1: Süreç Akış Şeması 23](#_Toc406577071)

[Şekil 5.2: Makine Kapasite Katsayısı Çizelgeleme Gösterimi](#_Toc406577068) 28

[Şekil 5.3: Hazırlık Süresi ve Hazırlık Maliyeti Etkileri. 2](#_Toc406577068)8

[Şekil 7.1: 1.Çizelgeleme Sonuçları (Ç1). 38](#_Toc406577069)

[Şekil 7.2: 1.Çizelgeleme Sonuçlarının Geliştirilmesi 39](#_Toc406577070)

[Şekil 7.3: 2.Çizelgeleme Sonuçları (Ç2) 39](#_Toc406577071)

[Şekil 7.4: 2.Çizelgeleme Sonuçlarının Yorumu 40](#_Toc406577071)

[Şekil 7.5: 3.Çizelgeleme Sonuçları (Ç3) 41](#_Toc406577071)

[Şekil 7.6: 1.Çizelgeleme Sonuçlarının Maliyet Yorumlaması 4](#_Toc406577071)1

[Şekil 7.7: 3.Çizelgeleme Sonuçları (Ç4) 4](#_Toc406577071)3

TABLO LİSTESİ

 Sayfa

[Tablo 2.1: Geleneksel Üretim Sistemi Özellikleri. 1](#_Toc306279072)7

[Tablo 5.1: İşler, Termin Tarihleri ve Makinelerdeki İşlem Süreleri 25](#_Toc306279073)

[Tablo 5.2: m1 için İşler Arası Geçiş Süreleri Matrisi 25](#_Toc306279073)

[Tablo 5.3: m2 için İşler Arası Geçiş Süreleri Matrisi 26](#_Toc306279073)

[Tablo 5.4: m3 için İşler Arası Geçiş Süreleri Matrisi 26](#_Toc306279073)

[Tablo 5.5: Makine Kapasite Katasayı Tablosu 27](#_Toc306279073)

[Tablo 7.1: Makine Kapasite Katsayısı Değerleri 36](#_Toc306279073)

[Tablo 7.2: İşlerin Makinelerdeki İşlem Süreleri Matrisi 37](#_Toc306279073)

[Tablo 7.3: Makineye Göre İşten İşe Geçiş Hazırlık Süresi Matrisi 37](#_Toc306279073)

[Tablo 7.4: Makineye Göre İşten İşe Geçiş Hazırlık Maliyeti Matrisi 37](#_Toc306279073)

[Tablo 7.5: Makine Kapasite Katsayısı Değişimi 39](#_Toc306279073)

[Tablo 7.6: Makineye Göre İşten İşe Geçiş Hazırlık Maliyeti Matrisi-2 4](#_Toc306279073)3

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda bana destek olan aileme, yöneticilerim Selim Öznalbant, Seçil Taşkın’a, ekip arkadaşlarım Eyüp Kandemir, Gizem Şener, Halil Oran, Mehmet Solak, Özgür Yapışkan’a, değerli hocalarım Dr. Öğr. Üyesi Semih Coşkun ve Doç. Dr. Olcay Polat’a teşekkür ediyorum.

1. GİRİŞ

Kurulan bütün şirketleri ana amacı kar elde etmektir. Bu bağlamda elde edilen kar kabaca satılan ürün ya da hizmetin satış fiyatından, bu ürün ya da hizmeti üretmek ya da sunmak için katlanılan bütün maliyetler çıkarıldığında elde kalandır. Bu kadar basit bir formülde maliyetleri sabit tutup satış fiyatını yükseltmek kendi başına karı arttırmak için yeterli görünse de rekabet koşullarının bu denli acımasız olduğu günümüzde bu pek mümkün değildir. Değişen dünya düzeni ve buna bağlı olarak dünya üzerinden yaşanan bir takım çatışmalar öncelikli olarak ekonomileri etkilemekte, zaten zorlayıcı olan piyasa şartlarını daha da zor bir hale getirmektedir. Birçok ulusal ve uluslararası şirket karını ve piyasadaki payını arttırmak bir yana, var olanı korumakta bile başarılı olamamaktadır. Yükselen hammadde, işçilik ve amortisman maliyetlerine karşılık, hem daha ucuza hem de daha yüksek kalitede ürün veya hizmet bekleyen müşteriler ve rekabetçi koşullardan dolayı arttırılamayan satış fiyatları, bir çok şirketi küçülme, iflas ve yok olma batağına sürüklemektedir. Piyasalarda küçülen, yok olan şirketlerin yeri aynı fiyata ya da ucuza aynı kalitede hizmet ya da ürün sunabilen rakipler tarafından hızlıca doldurulmaktadır. Satış fiyatlarını arttırarak pazar paylarını koruyamayan şirketler özellikle maliyetlerini azaltarak var olmaya ya da büyümeye odaklanmaktadırlar. Bu noktada ürün ya da hizmetin üretilmesi ya da sunulması sırasından sürecin en başından en sonuna kadar her bir maliyet unsuru detayları ile incelenmekte, potansiyel kazanım fırsatları araştırılmaktadır.

Onlarca farklı tedarikçiden peşin fiyata döviz ile hammadde ithal edip, yüzlerce farklı müşteriye vade ile ihracat yapan şirketlerin özellikle bu uluslararası piyasada hayatta kalabilmesi için üretim ya da hizmet maliyetlerini çok iyi bir şekilde kontrol altında tutabilmesi önem taşımaktadır. Hammadde ve/veya pazara yakın olarak ulaşım maliyetlerini azaltmak ya da daha ucuz iş gücü kaynağı bulabilmek yeni bir lokasyon yatırımına gereksinim duymaktadır. Ekonomik koşulların sürekli değiştiği piyasalarda bu denli büyük yatarımlar fırsat barındırdığı kadar risk de teşkil etmektedir. Bu sebeple şirketler ağırlıklı olarak süreçlerinin maliyetlerini iyileştirilerek ya da mamul ve yarı mamul stoklarını azaltarak maliyetlerini düşürmeyi hedeflemektedirler.

Bu maliyet iyileştirmeleri kabaca mevcut süreçlere yapılan yatırımlar neticesinde kapasitelerini arttırılması, yeni teknoloji kullanımı ile daha az enerji ve iş gücü ile daha çok üretim yapılabilmesi olarak düşünülebilir. Ama bu hala, uluslararası piyasada yerli sermayesi ile mücadele eden birçok firma için ucuz bir yöntem değildir. Bu bağlamda özellikle mevcut süreçlerin daha iyi yönetilmesi ile de daha verimli hale getirilmesi de göz ardı edilemeyecek kadar önem arz etmektedir. Hammadde tedarik edilmesinden ürünün müşteriye gönderilmesine kadar geçen bütün sürecin çok iyi planlanması, çizelgelenmesi ve organize edilmesi, plansızlıktan kaynaklanabilecek birçok maliyeti ortadan kaldırabilmektedir. Stok tutma maliyetleri, verimsiz çizelgelemelerden kaynaklanan tezgah duruşları ya da gereksiz hazırlık maliyetleri bu kapsamda ortadan kaldırılabilir.

Bu noktada özellikle üretim süreçlerinin iyi çizelgelenmesi, tezgah ve işgücü verimliliklerini arttırılmasında önem arz etmektedir. Üretim süreçlerinin ya da tezgahların ne zaman hangi ürünü çalışacağının belirlenmesi, hazırlık sürelerinin minimize edilmesine imkan verebilir. Böylece birim zaman yapılacak üretim miktarının arttırılması sağlanarak, iş gücünde verimlilik sağlanabilir. Ama çok üretim yapmanın her zaman çok karlı olduğu söylenemez. Özellikle hammaddenin oldukça pahalı olduğu, üretimin tamamen siparişe bağlı olarak yapıldığı süreçlerde üretime doğru zamanda başlayıp siparişleri termin tarihine uygun şekilde tamamlamak da maliyetlerin düşürülmesi adına hayati önem taşımaktadır. Çünkü siparişlerin tamamen özel olduğu ve make-to-order üretim sistemi uygulandığı için üretim planının make-to-stock üretim gibi çizelgelenip hazırlık sürelerinin tamamen bertaraf edilmesi mümkün değildir. Bu da aynı hazırlık işleminin aynı tezgah ya da üretim hattında belli sıklıklarla tekrar tekrar yapılmasına sebep olmaktadır. Elde edilebilecek iyileştirmeler, paralel tezgahlarda üretilecek farklı siparişlerin sıraya bağlı olarak değişen hazırlık sürelerinin minimize edilerek maliyetlerini azaltmak ve kapasiteyi daha etkin kullanmak olarak düşünülebilir.



Şekil 1.1: Üretim Sistemleri

1. LİTERATÜR TARAMASI

Sıraya bağlı hazırlık süresi kavramı, bir makinedeki n. sıradaki işin hazırlık süresinin n-1. sıradaki işe göre değişiyor olması olarak tanımlanabilir. Literatürde sıraya bağlı hazırlık sürelerini dikkate alan çok sayıda makine çizelgeleme çalışması yer almaktadır. Bu çalışmaların genelinde amaç en son tamamlanacak işin tamamlanma zamanını minimize etmektir. (Arnaout,2009; Torres ve diğ. 2010; Kim ve Kim, 2011; Tan ve Narasimhan, 1997; Wang ve Wang, 1997; Kolahan ve Liang, 1998; Asano ve Ohta, 1999; Miller vd., 1999; Armentano ve Mazzini, 2000; Tan vd., 2000; Franca vd., 2001; Gagne vd., 2002; Mendes vd., 2002; Shin vd., 2002; Chang vd., 2004; Lee ve Asllani, 2004; Rabadi vd., 2004; Eren ve Guner, 2006; Gupta ve Smith, 2006)

Bu çalışmaların az bir kısmında bu problem çok amaçlı olarak değerlendirilmiştir. (Kolahan ve Liang, 1998; Lee ve Asllani, 2004; Rabadi vd., 2004; Eren ve Guner, 2006; Choobineh vd., 2006)

Kolahan ve Liang çalışmalarında yasaklı arama algoritması önermişlerdir. Bu algoritma sıra bağımlı hazırlık sürelerini dikkate alarıp, işlem sürelerin arttırılıp azaltılmasının doğrusal bir maliyete etki ettiği tam zamanında çizelgeleme problemidir. Amaç fonksiyonunda, erken bitirme, gecikme ve toplam ağırlıklı işlem zamanlarının bileşimi yer alır. (Kolahan ve Liang,1998)

Min ve Cheng’in algoritması paralel makinelerdeki toplam tamamlanma zamanını enküçüklemeyi amaçlamaktadır. (Min ve Cheng,1999)

Lee ve Asllani önerdikleri 0-1 karma tamsayılı doğrusal matematiksel model ile geciken iş sayısını minimize etmeye çalışırken bir yandan da en son tamamlanan işin tamamlanma zamanını da minimize etmeye çalışmışlardır. (Lee ve Asllani, 2004)

Rajakumar ve arkadaşları paralel makine çizelgelemesinde iş sıralarının atanması için üç farklı öncelik stratejisini karşılaştırmışlardır. Bu stratejilerden ilki rastgele çizelgeleme, ikincisi en kısa işlem süresine öncelik verme ve üçüncüsü ise en uzun işlem sürelerine öncelik vermedi. Bu üç durumu da elli adet iş, iki ile altı arasında değişen makine sayıları için ayrı ayrı çizelgelemeler yaparak yorumlamışlardır. (Rajakumar ve diğ. 2004)

Rabadi ve diğ. bir dal sınır algoritması geliştirmişlerdir. Bu algoritmanın amaç fonksiyonunda toplam erken bitirme ve toplam gecikmenin minimize edilmesi yer almaktadır. Geliştirilen yöntem 25’e kadar olan işleri kabul edilebilir bir süre içerisinde çözebilmektedir. (Rabadi ve diğ.,2004)

Eren ve Güner yaptıkları çalışmada toplam tamamlanma zamanını ve de toplam gecikmeyi minimize etmeyi amaçlamışlar ve de tamsayılı matematiksel model geliştirmişlerdir. Çözüm için önerdikleri sezgisel yöntemin sonucunu, önerdikleri ikinci çözüm olan yasaklı algortimanın başlangıç çözümü olarak kullanmışlardır. (Eren ve Güner,2006)

Choobineh ve diğ. karma tamsayılı matematiksel model geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu modelin çözümü için de çok amaçlı yasaklı arama yöntemi kullanılmıştır. Model sıraya bağlı hazırlık sürelerinin ihmal edilmediği çizelgeleme probleminde, en son tamamlanan işin tamamlanma zamanını, geciken toplam iş sayısını ve toplam gecikme zamanlarını dikkate almaktadır.(Choobineh ve diğ. 2006)

Shim ve Kim özdeş makinelerin çizelgelenmesi probleminde dal sınır algoritmasını kullanmışlardır. Toplam gecikmenin enküçüklenmesi amaçlanan çalışmada rastgele yaratılan test problemi kullanılmıştır. Algoritma 30 iş ve 5 adet makine için iyi sonuçlar vermektedir. (Shim ve Kim, 2007)

Chung ve diğerleri, karma tamsayılı bir doğrusal programlama modeli ile sınırlı tezgah kapasitesi ve üretim hedeflerinin olduğu makine çizelgele problemini ele almışlardır. (Chung ve diğerleri, 2009)

Driessel ve Moench, değişken komşu arama yöntemi ile özdeş makine çizelgeleme problemini çözmeye çalışmışlardır. Bu problemde bir takım öncelik kısıtları yer almakta ve de sıraya bağımlı hazırlık süreleri ihmal edilmemektedir. (Driessel ve Moench 2009)

Li ve diğerleri, 0-1 karma tamsayılı bir model ve bulanık mantığa dayanan bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Problemde teslim ve hazır olma zamanları belirli olan paralel makinelerin çizelgelenmesi ele alınmıştır. Amaç fonksiyonu en son işin tamamlanma zamanını ve toplam gecikmeyi enküçüklemeyi hedeflemektedir. (Li ve diğ., 2010)

Lin ve diğerleri, sıraya bağlı hazırlık süreleri olan ve işlerin hazır olma zamanlarının belirtildiği özdeş paralel makinelerin çizelgelenme probleminde, en büyük gecikmeyi minimize etmeyi amaçlamışlardır. Çözüm için öneri bir açgözlü algoritmadır. (Lin ve diğ., 2011)

Türker ve Sel bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu algoritmada amaç fonksiyonu en son işin tamamlanma zamanını minimize etmektir. Problemde sıraya bağlı hazırlık süreleri ve hazırlık işlemlerinin bulunduğu iki adet özdeş paralel makinenin çizelgelenmesi ele alınmıştır. (Türker ve Sel, 2011)

Paralel makina çizelgeleme problemleri, partiye bağlı hazırlık süreli/maliyetli (batching setup times/costs) ve partiye bağlı olmayan hazırlık süreli/maliyetli (non-batching setup times/costs) olarak sınıflandırılmıştır(Allahverdi ve diğ. 1999). Bu sınıflar kendi içlerinde sıradan bağımsız hazırlık süreli/maliyetli (sequence-independent setup) problemler ve sıraya bağımlı hazırlık süreli/maliyetli (sequence-dependent setup) problemler olarak sınıflandırılır. Allahverdi ve diğ. 2008 yılındaki literatür araştırmalarında, partiye bağlı olmayan, sıraya bağımlı hazırlık süreli paralel makina çizelgeleme problemlerini içeren 35 çalışma bir çizelgede sunulmuştur (Allahverdi ve diğ. 2008). Çalışmaların çoğunun (20 çalışma) özdeş (P) paralel makina ortamlarında yapıldığı, buna karşın özdeş olmayan (Q ve R) paralel makina çizelgeleme konusunda çalışmaların sınırlı olduğu göze çarpmaktadır. 2000’li yıllarda, büyük boyutlu problemlerin çözümünde sağladığı üstünlükler sebebiyle tavlama benzetimi, yasaklı arama ve genetik algoritmalar gibi meta-sezgisellerin kullanımında artış dikkat çekmektedir. Bunun sebebi, çizelgeleme problemlerinin çoğunun NP-zor oluşu, matematiksel optimizasyon tekniklerinin problemin boyutu arttığında makul bir sürede çözüm verememesi ve uygulamada yetersiz kalmasıdır. Son yıllarda, özdeş olmayan paralel makina çizelgeleme konusuna ilginin arttığı görülmektedir. Li and Yang toplam ağırlıklı tamamlanma zamanını enküçükleyen paralel ilgisiz makine çizelgeleme çalışmalarını model ve algoritmalar açısından incelemiştir. (Li ve diğ. 2009)

Chen ve Chen sıra bağımlı hazırlık süreli paralel ilgisiz makina (R) çizelgeleme probleminin çözümü için melez ileri sezgiseller (metaheuristics) önermiştir (Chen ve Chen 2009). Öncelik kısıtlarını da probleme dahil eden TavakkoliMoghaddam ve diğ. iki amaçlı olarak problemi ele alıp genetik algoritma ile çözüm aramıştır. (Tavakkoli-Moghaddam ve diğ. 2009)

Arnaout ve diğ. (Arnaout ve diğ. 2010) sıraya bağımlı hazırlık süreli paralel ilgisiz makina çizelgeleme probleminin çözümü için iki safhalı karınca kolonisi algoritmasını kullanırken Vallada ve Ruiz (Vallada ve Ruiz, 2011) bir genetik algoritma önermiştir. Lin ve diğ. (Lin ve diğ. 2011), Ying ve Lin (Ying ve Lin, 2012) teslim zamanı kısıtlarını ele almıştır. Hsu ve diğ. (Hsu ve diğ. 2013) yaşlanma etkileri bakım faaliyetlerini dikkate almıştır. Nadari-beni ve diğ. (Nadari-beni ve diğ. 2014) makina uygunluk kısıtlarını içeren bulanık bir model önermiştir. Bu çalışma paralel makina ortamlarının en genel hali olan paralel ilgisiz makinalar dahil olmak üzere, makina hızlarının farklılık gösterdiği işe ve makinaya bağlı olarak işlem sürelerinin matris şeklinde sisteme verildiği özdeş olmayan (non-identical) paralel makina ortamlarında sıraya bağımlı hazırlık sürelerini dikkate alarak işlerin çizelgelenmesi üzerine odaklanmıştır.

1. ÜRETİM SİSTEMLERİ

Günümüz koşullarında pazarda rekabetin sağlanabilmesi için hem kaliteli, hem ucuz hem de kısa teslim zamanlı hizmet verilebilmesi önem taşımaktadır. Teslim sürelerini azaltmak adına stok tutmak bir seçenek olduğu gibi yine termin sürelerini azaltıcı faaliyetlerde bulunmak da bir başka seçenektir. Fakat ürün çeşidinin fazlalığı, müşteri taleplerindeki değişimin kestirilememesi ve trend göstermemesi aynı zamanda maliyetlerin de düşürülme gerekliliği elde stok tutarak teslimin hızlandırılmasını optimumdan uzaklaştırmaktadır.

Maliyetlerin ve üretim sürelerinin azaltılması için yapılan çalışmaların başında optimum parti büyüklüğü hesaplamaları ile bir tezgahta bir çeşit üründen en az ne kadar üretilmesi gerektiği tespit edilir ve o miktara ulaşılana kadar tezgahta ürün değişikliğine gidilmez. Ama bu siparişe göre üretim yapan tesisler için geçerli değildir.

Üretim sistemlerini sınıflandırılmasında literatürde birçok farklı sınıflandırma mevcuttur, genel olarak: (http://infotekas.com.tr/uretim-sistemlerinin-siniflandirilmasi.html)

* Üretim yöntemi,
* Mamul tipi,
* Mamul miktarı veya üretim akışı kriterlerine göre farklı biçimlerde sınıflandırılabilir.
	1. Üretim Yöntemlerine Göre Sınıflandırma:
* Birincil (primer) Üretim: Doğada kendiliğinden yer alan bir takım hammaddelerin işlenmek ya da başka bir sürecin girdisi olarak kullanılmak üzere çıkarılmasıdır. Petrol, bor, doğal gaz üretimleri ya da bakır, kurşun vb madenler bu kapsamda değerlendirilebilir.
* Analitik Üretim: Temel hammaddelerin bazıları daha sonra ayırıcı işlemlerle parçalanıp işlenerek çeşitli mamullere dönüştürülür. Petrolün damıtılarak türevlerinin elde edilmesi, şeker pancarından şeker üretilmesi bu kapsamda değerlendirilebilir.
* Sentetik Üretim: Doğal hammaddelerin bir takım operasyonlarla yeni maddelere dönüştürülmesidir. Çelik alaşımları, kauçuk, plastik bu kapsamda değerlendirilebilir.
* Fabrikasyon Üretim: Temel veya diğer hammaddelerin şekil verme yolu ile yeni mamuller edilmesidir. Çekme, inceltme, presleme, tornalama gibi işlemlerle üretim yapan şirketler bu kapsamda değerlendirilebilir.
* Montaj Üretim:  Birçok hammadde ya da yarı mamulün belli bir sistematik ile bir araya getirilmesiyle mamul üretme metodudur. Beyaz eşya, otomotiv gibi montaj ile üretilen ürünler bu kapsamda değerlendirilebilir.
	1. Mamul Tiplerine Göre Sınıflandırma:
* Demir – Çelik Endüstrisi
* Maden Üretimi
* Takım Aparatları /Tezgahları Üretimi
* Kimya Endüstrisi
* Elektriksel Araç – Gereç Üretimi
* Elektronik Mamuller Üretimi
* Tekstil Endüstrisi
	1. Üretim Miktarına veya Akışına Göre Sınıflandırma:
* Kesikli Üretim
* Maket to Order (Siparişe Göre Üretim)
* Parti Üretimi
* Sürekli Üretim
	1. Diğer Üretim Tipleri:
* Araştırma Üretimi
* Model ve Prototip Üretimi
* Test Modelleri Üretimi
* Pilot Üretimi
* Dizaynı Tamamlanmış Mamullerin Üretimi
* Yeni Modele Geçiş Devresi Üretimi
* Başlangıç Devresi Üretimi
* Demonstrasyon ve Gösteri Mamulleri Üretimi
* İhracat Mamulleri Üretimi
* Modifikasyon, Tamir ve İade Mamulleri Üretimi
* Geçici (Arızi ) Üretim
	1. Üretim Miktarına Veya Akışına Göre Sınıflandırma

Üretim miktarı, üretim maliyetlerine ve de üretim faaliyetlerine direkt olarak etki etmektedir. Üretimde parti büyüklüklerinin büyük ya da küçük olması; tezgah tiplerini, iç taşımaları, hammadde, yarı mamul ve mamul stoklarını, işgücünün kullanımını, tesis yerleşimini, üretim çizelgelemesi ve takibini kısacası üretim sisteminin tamamını etkilemektedir.



Şekil 2.1: Üretim Sistemleri 2 (TANRITANIR,1992)

* + 1. Kesikli Üretim
			1. Siparişe Göre Üretim

Ürün çeşitliliğinin fazla, üretim miktarının ise az oluğu ve önceden belirlenmiş olan müşteri siparişlerinin karşılanması için yapılan üretimlerdir. Bu üretim sisteminde kullanılan makineler birçok farklı ürünü üretebilir ve kolay hazırlanabilir durumdadır. Üründen ürüne değişen hazırlık ve üretim sürecinden dolayı nitelikli iş gücüne ihtiyaç duyulur. (Tanyaş ve Baskak, 2006).

Her bir tezgahın ya da makinenin misyonu özeldir, ürünler sadece kendi rotalarında yer alan makinelerde üretilebilir. Benzer kaynaklar ( makine, işgücü) gruplanarak üretim birimleri oluşturulur. (Yılmaz, 2012)

Üretim partiler halindedir, sürekli akan bir üretim söz konusu değildir. Her bir ürün kendi rotasındaki makineler takip eder. Siparişlere göre sisteme giren ürünlerin çeşitliliği fazla miktarları azdır. Müşteriler siparişleri üzerinden bir takım özelleştirmeler yapabilmektedirler. Üretim, siparişin sisteme girilmesiyle başlar. Bu siparişlerin hammaddeleri genellikle benzerdir, fakat müşteri istekleri doğrultusunda özelleşebilmektedir. Üretim tamamen siparişe göre yapıldığından nihai ürün stokları siparişlerle orantılıdır fakat ara istasyonlarda birden fazla iş gelebileceği göz önünde bulundurulduğundan yarı mamul ya da hammadde stokları yüksek seviyededir. (Yılmaz, 2012)

Uçak ve uzay sanayisi, elektrolitik bakır mamulleri endüstrisi siparişe göre üretime örnek gösterilebilir. Yarı mamul stoklarının yüksek iş akışının yavaş ve işgücü verimliliğinin düşün olması bu üretim türünde görülmektedir. Sipariş tipi üretim, talep yapısına bağlı olarak, üç şekilde gerçekleştirilir (Tanyaş ve Baskak, 2006):

Sipariş üretimi, üretim sürelerinin tasnifi açısından üç gruba ayrılabilir:

* Tek bir defa üretim yapılması.(Proje tipi olarak da adlandırılabilir, verimlilik arttırıcı çalışmalar etkisiz kalmaktadır, üretim süre ve yöntemleri standartlardan uzaktır, bu durum üretimin planlanmasını ve takibini zora sokmaktadır)
* Belli ürünlerin belli aralıklarla, çok yüksek olmayan miktarlarda sadece siparişe bağlı olarak üretilmesi
* Birçok çeşitte ürünün az miktarlarda ve belirsiz zamansallıkta sadece siparişe bağlı olarak üretilmesi (Yılmaz, 2012)

İkinci ve üçüncü uygulamada, üretimin tekrar edilmesinden kaynaklanan bir takım faydalar mevcuttur. Ürünlerin daha önce üretilmiş olması, üretim sürecinin ve üretim esnasında oluşabilecek problemlerin önceden tespit edilebilmesine imkan sunmaktadır. Benzer şekilde ürünlerin, kullanılan ilgili yazılım programında kayıtları mevcut olduğundan her bir yeni siparişte yeniden hazırlık işlemleri yapılmasına ihtiyaç duyulmaz. Siparişle beraber makinelere program, parametre, ürün ağacı, rota vb bilgiler yüklenecektir. Siparişlerin belli sıklıkla geliyor olması üretim planlaması ve kontrolünün de verimini arttıracaktır. Düzenli sıklıklarda gelmeyen siparişler ise planlama hususunda zorluklara sebebiyet verebilir. Çünkü taleplerin düzensiz olması önceki siparişlerin analizi ile talep tahmini yapılmasını zorlaştırmakta ya da yanıltıcı sonuçlara sebebiyet verebilmektedir. Bunu getirdiği bir sonuç olarak siparişe göre üretim yapan şirketler, stok için üretim yapan şirketlere göre da çevik ve esnek bir sisteme sahip olmalıdırlar. Çünkü üretim sistemi, gelebilecek yeni siparişlerle yönetilmesi zor bir hale kolayca dönüşebilmektedir. Bu yüzden sipariş için üretim yapan şirketlerin üretim süreçleri esnek olarak dizayn edilmelidir. Siparişe göre üretim, üretim sistemlerinin ürüne uygulanan stok politikasına göre sınıflandırılmasının bir sonucudur. Eğer üretim sistemi, üretim sürecine göre sınıflandırılırsa “Sipariş Tipi Atölye” olarak isimlendirilmektedir. (Yılmaz, 2012)

Sipariş tipi atölye (Job Shop) üretim metodunda da birden fazla amaca hizmet edebilen tezgahlar kullanılmaktadır. Sisteme gelen birbirinden farklı siparişler, alternatif makinelerden bekleyenlere ya da bekleyen makine yok ise çalışanların arkasından sıraya alınarak çizelgelenir. Bunun getirdiği bir fayda olarak tezgah verimlilikleri ve kullanım oranları yüksektir. Bununla birlikte iş akışının karmaşıklığı, üretim sürelerini uzunluğu, prosesler arasın ara stokların yüksek olması, süreçler arası iç taşıma miktarları ve bir takım kalite problemleri de karışımıza çıkmaktadır. (Tanyaş ve Baskak, 2006)

* + - 1. Parti Üretimi

Ürünlerin, belli miktardaki bir sipariş için ya da sürekli akan bir talebi karşılamak için partiler halinde üretilmesidir. Bu metotta karşılaşılan problemlerden birisi optimum parti büyüklüğünün hesaplanmasıdır. Özellikle paralel tezgahlarda aynı siparişin parçalarının üretirken, tezgahta ebat değiştirme maliyetini kurtaracak optimum büyüklüğü hesaplama önem arz etmektedir. Hiçbir siparişin olmadığı 5 anında 10 adet tezgahın bulunduğu bir üretim sistemine 10 parça olarak gelen bir sipariş 10 tezgahta birer adet olarak çizelgelenebilir. Bu durumda kaynak kullanılmamasından kaynaklanan bir kapasite kaybı olmayacaktır. Fakat 10 tezgahta da bu sipariş için ebat değişimi gerçekleşecektir. Diğer bir durumda da eğer teslim tarihi uygun ise 10 parça sipariş tekbir tezgahta çizelgelenebilir bu ebat değişim maliyetini minimize ederken, sistemde başka bir sipariş olmadığı durumda 9 makinenin kullanılmayan kapasitesinin kaybı olarak karışımıza çıkacaktır. Otomotiv, gıda, tekstil gibi sektörlerde kullanılmaktadır.

* + 1. Sürekli Üretim

Talebin çok yüksek olduğu buna bağlı olarak da üretim miktarlarının da oldukça yüksek olduğu üretim tipidir. Mevcut makine ve tesisler sadece belirli ürünler için dizayn edilmiştir. Ebat değişimleri uzun ve maliyetlidir İkiye ayrılır:

* Kütle üretimi,
* Akış (ve ya proses) üretimi,

Kütle üretiminde tek bir üründen büyük miktarda ve uzun üretim sürelerde üretim yapılır. Gerekli olduğu durumlarda kalıp, yerleşim düzeni vb ekipman değiştirilerek üretilen ürün tipi değiştirilebilir. Akış üretiminde ise tezgahlar ve yerleşim sadece bir tür ürün üretilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Eğer farklı bir ürün üretilmek istenirse bu çok maliyetlidir ya da mümkün olmayabilir. Petrol rafinerileri, çimento fabrikaları buna örnek gösterilebilir.

**Kesikli ve Sürekli Üretim Tiplerinin Özellikleri**

Üretim miktarına veya akışına göre yapılan sınıflandırmada; sipariş, parti ve sürekli üretim olmak üzere üç tip tanımlamıştık. Bunlardan ilk ikisinde, tanımlarından da anlaşılacağı üzere, aynı mamulün belirli veya belirsiz aralıklarda üretilmesi söz konusudur. Bu açıdan üretim tiplerini kesikli ve sürekli olarak iki ana grupta toplamak mümkündür. İki grup arasındaki farklar şöyle özetlenebilir: (http://infotekas.com.tr/uretim-sistemlerinin-siniflandirilmasi.html)

* Üretim miktarları olarak ele aldığımızda, kesikli üretimde ürün çeşitliliği fazla üretim miktarları azdır. Eğer aynı ürüne gelen talep belli bir seviyeyi aşarsa tesis içerisinde sürekli sadece bu ürün üreten ayrı hatlar kurulabilir.
* Tezgah ve ekipman bakımından kesikli üretimde ürün tipi değişebildiğinden tezgahlar da çok amaçlı kullanılabilir olmalıdır. Bu tür tezgahlar üniversal tezgahlar olarak adlandırılır. Üniversal tezgahlarda üretilebilir ürün çeşitliliği fazla olmasına karşın, verim ve hız düşük seviyededir. Sürekli üretim tipinde ise özel tezgahlar kullanıldığından hız ve verimlilik yüksek seviyededir.
* Tesis yerleşiminde tezgahların fabrika içindeki yerleşim düzeni, ürünün mamul oluşumunda izleyeceği rotaya göre yapılır. Kesikli üretimde, sürece göre tesis yerleşimi gerçekleştirilebilir. Benzer işleri yapan tezgahlar aynı lokasyonda toplanıp bir iş atölyesi oluşturulur. Sürekli üretim tipinde ise hammadeden mamul oluşturulana kadar süreçte yer alan tezgahlar üretim hattı üzerinde sıralanarak yerleştirilir. Kesikli üretimde ürün iş atölyelerini gezerken, sürekli üretimde hat üzerinden aktığı düşünülebilir.
* İş yükü dengesi olarak ele aldığımızda, üretim sistemlerinde ürünün sürekli değişmesi, ne kadar üretileceğinin sipariş kesinleşene kadar bilinmemesi üretim planlamasını zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda kesikli üretimde iş yükü dengesini kurulması çok kolay değildir. Denge sağlanmaya çalışılırken bazı kaynakların bekliyor olmasıyla karşılaşılabilmektedir. Fakat sürekli üretim tipinde üretim programının hazırlanmasında daha ileriye dönük daha çok veri olduğundan programlar iş yükünün tezgahlara dağıtılabilmesi daha mümkündür.
* İşgücü niteliği olarak düşünüldüğünde ürünün değişim sıklığının fazla olması operatörün inisiyatif kullanmasını gerektiren durumları arttırmakta, süreç ve ürün hakkında daha fazla bilgi sahibi olmasını gerektirmektedir. Kesikli üretimde kalifiye operatör kullanmak gereklilik arz eder. Sürekli üretimde iş gücünün tamamının kalifiye olmasına ihtiyaç yoktur. Önceden ayrıntılı olarak talimatlandırılmış, basit ve rutin olan bu işler için vasıfsız iş gücü yeterli olmaktadır.
* İş emirlerinin hazırlanması olarak ele alındığında kesikli üretim, sürekli üretime göre daha karmaşık bir hazırlık gerektirir. Her bir üretim için ayrı bir iş emri hazırlanıyor olması, olası bir makine arızası, beklenmeyen duruş ya da siparişin revize edilmesi durumunda tüm tezgahlardaki iş emirlerinin etkilemesi muhtemeldir. Ayrıca bu iş emirlerinin takibi ve kontrolü de ciddi bir problem teşkil eder. Sürekli üretimde üretim miktarları büyük olduğundan iş emirlerinin sayısı ve yönetilmesi kesikli üretime göre daha kolaydır.
* Hammadde, yarı mamul ve mamul stoklarının durumu sürekli üretimde daha stabil kesikli üretimde daha değişkendir. Kesikli üretim tipinde ürün değişimi sık olduğundan, tezgahların duruşlarını azaltmak adına sıradaki işlerin de yarı mamul ya da hammadde stoklarının tutulmasına ihtiyaç vardır. Bu stok seviyelerini yükseltme ve tezgah grupların arasındaki stok seviyelerini farklılaştırabilmektedir. Sürekli üretim tipinde üretim hızı belirli olduğundan ne zaman ne kadar üretim ve tüketim yapılabileceğinin önceden hesaplanması daha kolaydır. Bu durum daha yönetilebilir bir süreç olarak düşünülebilir.
* İç taşıma faaliyetleri olarak değerlendirildiğinde kesikli üretimde sürekli üretime göre daha karmaşık bir sistem söz konusudur. Ürünün cinsi, büyüklüğü, rotası ve sıklığı değişkenlik gösterdiğinden kesikli üretimde taşımaların üniversal taşıma aygıtlarıyla yapılması beklenen bir durumdur. Taşımalar daha düzensiz ve karmaşıktır, taşıma işlemlerine bağlı gecikmeler ya da tezgah beklemeleri olabilir. Taşıma esnasında yarı mamul ya da mamulün zarar görme olasılığı daha yüksektir. Düzensizlik iş kazalarını da beraberinde getirebilmektedir. Sürekli üretimde ise miktar, rota ve değişkenlik sabit ya da yönetilebilir olduğundan taşıma işlemleri de buna bağlı olarak düzenlidir. Taşıma işlemleri için özel olarak tasarlanan araçlar kullanılır. Raylı sistemler ya da askılı sistemler gibi.
* Bakım ve arıza faaliyetleri olarak ele alındığında, bakım planları ve operasyonları sürekli üretimde azami önem taşımaktadır. Düzenli yapılan bakım faaliyetleri bakım sürelerini ve arıza oranlarını azaltır. Bu durumda herhangi bir duruş anında alternatif hattı bulunmayan ya da sınırlı sayıda bulunan sürekli üretim sistemlerinin planlı ve plansız duruşlarını azaltmada büyük önem taşımaktadır. Kesikli üretimde ise bakım ya da arıza sebebiyle duruşa geçen bir tezgahın iş yükü başka tezgahlara dağıtılarak problem daha düşük maliyetlerle çözülebilir.
* Üretim kapasitesi kesikli üretimde esnek, sürekli üretimde ise genel olarak sabittir. Kesikli üretimde fazla mesai yeni tezgah alınımı ile mevcut kapasite arttırılabilir. Sürekli üretimde ise bir sürece yeni tezgah alınımının bütün sürece olumlu bir etkisi yoktur, hatta zarar bile verebilir, üretim hattında tıkanmalara fazla stoklara ya da beklemelere sebep olabilir. Kapasiteyi arttırabilmek için bütün üretim sürecini içine alan geniş kapsamlı yatırımlar yapılması gerekir. (<http://infotekas.com.tr/uretim-sistemlerinin-siniflandirilmasi.html>)



Şekil 2.2: Üretim Esnekliği-Birim Maliyet İlişkisi (Geleneksel Üretimden Esnek
Üretime Karşılaştırmalı Bir inceleme Dr. Yılmaz Gökşen)

Tablo 2.1: Geleneksel Üretim Sistemi Özellikleri (Geleneksel Üretimden Esnek üretime Karşılaştırmalı Bir inceleme Dr. Yılmaz Gökşen)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Özellikler** | **Atölye Tipi Üretim** | **Akış Tipi Üretim** | **Proje Tipi Üretim** | **Sürekli** **Üretim** |
| **Tezgah Tipleri** | Esnek, genel amaçlı | Özel amaçlı, tek işlevli | Genel amaçlı, hareketli |   |
| **Proses Tasarımı** | Fonksiyonel, süreç tipi | Ürün temelli iş akışı | Proje tipi veya sabitlenmiş İş akışı | Ürün temelli iş akışı |
| **Hazırlık Zamanları** | Uzun, değişken | Uzun | Değişken | Çok uzun |
| **Çalışanlar** | Tek ya da çok işlevli | Tek işlevli, az yetenekli | Tek işlevli, yetenekli | Çok az sayıda çalışan |
| **Stoklar** | Çeşitlilik için yüksek stok miktarı | Tampon stoklama için yüksek stok miktarı | Değişken | Düşük süreç içi stok |
| **Parti Büyüklükleri** | Küçük-orta | Büyük miktarlar | Küçük miktarlar | Uygulanmaz |
| **Her Birim İçin Üretim Zamanı** | Uzun, değişken | Kısa, sabit | Uzun, değişken | Kısa, sabit |



Şekil 2.3:Geleneksel Üretim Sistemleri (Tanyaş ve Baskak, 2006)

1. SIRAYA BAĞLI OLARAK DEĞİŞEN HAZIRLIK SÜRELERİ ve İLİŞKİSİZ PARALEL MAKİNE ÇİZELGELEME

İşlem süreleri ve hazırlık sürelerinin ayrı olarak ele alındığı çalışmalarda, hazırlık süresini durumu sıraya bağlı ya da sıradan bağımsız olarak ayrıştırılır. Bu bağlamda sıradan bağımsız hazırlık süresi sadece işlem gören işe bağlıyken, sıraya bağlı hazırlık süresi hem işlem gören işe hem de bu işten hemen önce işlem görmüş olan işe bağlıdır. (Cevikcan, 2010)

Uzun yıllar boyunca sıralama ve çizelgeleme problemleri üzerine çalışmalar yapılmış, bu çalışmaların bir kısmında hazırlık süreleri işlem sürelerine dahil edilmiş bazılarında ise dikkate alınmamıştır. Bu ihmal hazırlık sürelerinin ayrıntılı bir şekilde ele alınması gereken çözüm kalitesini istenilen kalitede uzaklaştırmaktadır. (Allahverdi ve diğ. 1999)

Artan rekabet koşulları, üretim esnasındaki kayıpların tamamen ortadan kaldırılma çabası, çizelgeleme problemlerinde hazırlık sürelerinin dikkate alınmasına sebep olmuştur. Böylelikle hazırlık sürelerini dikkate alan çizelgeleme problemleri yakın zamanda araştırmacıların sıkça tercih ettiği alternatifler arasına girmiştir. Yeni yatırımlar ve teknolojik gelişim ile aynı tezgah, makine ya da kaynakta birden farklı ürün üretebilme esnekliğine sahip olmaya başlayan şirketler için hazırlık sürelerinin durumu da önem kazanmıştır. Hazırlık süreleri üretim süreçleri içerisinde maliyet arttırıcı aktiviteler olarak göze çarpmaktadır. (Naderi ve diğ. 2010.)

Liu ve Chang (Liu, Chang, 2000) çizelgeleme esnasında eğer hazırlık süreleri dikkate alınmazsa, kaynak kapasitelerinin %20’sinden fazlasının atıl olacağını belirtmişlerdir. Hazırlık sürelerine göre literatürdeki problemler ikiye ayrılmaktadır:-

* Sıraya bağlı olmayan hazırlık süreleri.(Sadece ve sadece işlem görülen işe bağlıdır.)
* Sıraya bağımlı hazırlık süreleri. (Hem işlem gören işe hem de bu işten hemen önce işlem görmüş olan işe bağlıdır.) (Allahverdi ve diğ. 1999)

Otomotiv, kimya, tıbbi malzeme vb. üretimlerinde, kalıp ya da aparat değiştirme, temizlik gibi hazırlık işlemleri aynı tezgahtaki öncül işlere bağlıdır. (Naderi ve diğ. 2009) Bazı sektörlerde hazırlık zamanlarının sıraya bağlı olarak değiştiğini net bir biçimde söyleyebiliriz.

Üretim çizelgeleme, bir ürünü oluşturan iş parçalarının eldeki tek veya çok sayıda makinada hangi sırada ve ne zaman işleneceğinin belirlenmesidir. Çizelgelemede maliyetleri enküçüklemeyi amaçlayan bir yaklaşım, sürecin toplam maliyetini azaltırken, toplam maliyetin bir kalemi olan hazırlık maliyetlerini de aşağıya çekmeyi sağlayacaktır. (Cevikcan, 2010)

Üretim tipi göz önüne alındığında üretim çizelgeleme problemleri farklılık göstermektedir. Bu problemler kademe ve komplekslik durumları ile beraber dörde ayrılmaktadır:

* **Tek kademe, tek makina problemi**

Problemlerin en ilkel halidir. Tüm işler, tek bir makinde, tek kademe işlenecek şekildedir

* **Tek kademe, paralel makina problemi**

Tek makina probleminin bir benzeridir. İşlerin paralel makinelerde tek bir kademede işleneceği varsayılmaktadır. Bu problemlerde makine sayısı birden fazladır ve bu makineler aynı işleri yapabilmektedir.

* **Çok kademe problemleri**

İşlerin öncelik sonralık ilişkilerine sahip olduğu durumdur. Bu bağlamda herhangi bir iş makinelerde öncelik ilişkisine göre işlenmektedir.Çok kademeli problemler akış tipi ve atölye tipi olarak ikiye ayrılabilir. Akış tipi problemde, tüm işler aynı işlem sırasıyla aynı makina grubunda işlenir. Yani işler aynı işlem sırası ve öncelik ilişkisine sahiptir.

* + **Atölye tipi problem**

Bu kapsam ele alınanlar arasında en genel ve en karmaşık olanıdır. İşin çok sayıda kademesi olabilir. Her bir iş, farklı makinalarda işlenmek üzere kendine özgü bir işlem sırasına sahiptir.

Aynı işi yapabilen birden fazla makine, paralel makineler olarak isimlendirilir. Paralel makinelerin çizelgelenmesi, tek bir makinenin çizelgelemesine göre daha karmaşık bir problemdir. Gerçek hayatta problemlerin genel olarak paralel makina çizelgelemesine benzemesi ve de çok aşamalı daha karmaşık problemlerin de alt problemi olması paralel makine problemlerinin önemini arttırmaktadır. Bu problemler ürünlerin makinalardaki işlem sürelerine göre üç gruba ayrılabilir. (Pinedo, 2002):

• **Özdeş makineler**

Tüm makinelerde aynı ürün aynı sürede üretilebiliyorsa bu makineler özdeştir. (identical)

• **Düzgün**

Tüm makinalarda aynı sürede üretilemiyor; fakat süre farklılıkları parametrik bir ilişki ile açıklanabiliyorsa makineler düzgündür. (uniform)

• **İlişkisiz**

Üretim süreleri düzensiz bir şekilde farklılık gösteriyorsa ilişkisizdir (unrelated).

 Bu bağlamda, yapılan tez çalışmasının amacı,

 • İlişkisiz paralel makinalarda siparişlerin temin zamanına kadar tamamlanmasını dikkate alan,

• Ürünler (siparişler) arası sıraya bağımlı hazırlık sürelerini oluşturduğu maliyeti minimize etmeyi amaçlayan bir model kurulmasıdır

1. SIRAYA BAĞLI HAZIRLIK SÜRELERİNİN DEĞİŞKENLİK GÖSTERDİĞİ BİR FİRMADA UYGULAMA

Bu tez çalışması kapsamında metal sektöründe üretim yapan ABC şirketinin üretim süreçlerinden bir tanesi ele alınmıştır. Şirket 7/24 kesintisiz üretim yapmaktadır.

Siparişe göre üretim yapan ve her bir ürünün ve de yarı mamullerinin reçetesinde (ürün ağacında) belirtilen miktarlar kadar üretildiği ABC şirketinin süreç akışı şekil 5.1’de gösterildiği gibidir. Ürünlerin hammaddesi aynı olmasına rağmen teknik özellikleri birbirinden farklı olduğundan rotaları birbirinden farklı olabilmektedir. Ürünlerin özelliklerine bağlı olarak her bir süreç nihai süreç de olabilir aynı zaman başka bir sürece girdi de hazırlayabilir. Müşteriler rotası A-B-C-D olan bir ürünü de sipariş etmekte aynı zamanda A-B olan bir ürünü sipariş edip C-D sürecini kendi imkanları ile de tamamlayabilmektedir. Bu müşterinin kendi siparişleri, kendi üretim kapasitesi, ekonomik koşulları ile alakalı bir durum olduğu kadar, ABC şirketinin süreçlerinin kapasitesine de bağlıdır. Eğer ABC şirketinin süreçlerindeki kapasite yetersizliğinden dolayı siparişin termini ile bir tarihe verilirse müşteri siparişi sadece A-B süreçlerinin kapsayacak şekilde geçebilir. Bu durum şirket için fırsat kaybı olarak değerlendirilir. Çünkü A-B-C-D’yi kendi bünyesinde tamamlarsa ticaretin ekonomik getirisi çok daha fazla olmaktadır. Özellikle süreç C-D’nin karlılığı oldukça fazladır. Bu bağlamda süreçlerin verimli hale getirilip, kapasitenin etkili kullanılması çok önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında süreç C ele alınacaktır.

 Ürünlerin özelliklerinin birbirinden tamamen farklı olması sebebiyle siparişe göre üretim (make-to-order) yapılmaktadır. Her bir sipariş için bir termin tarihi (siparişin tamamlanması gereken zaman) bulunmakta ve bu tarihe uyum çok büyük önem arz etmektedir. Bu termin tarihi belirlenirken makinelerin bakım planları, resmi tatiller, ürün ağacına göre rotasında yer alan süreçlerin kapasitesi ve doluluğu gibi birçok kısıt göz önüne alınmaktadır. Birbirinden bağımsız binlerce sipariş, çizelgelendikleri makinelerde öncelik sonralık ilişkisine girerek hazırlık sürelerini ve maliyetleri etkilemektedir. Özellikle süreç C’de makinelerin özdeş ve ilişkisiz olması ve de ürünlerin bu makinelerde üretim ve hazırlık sürelerinin birbirinden farklı olması, bu süreçte yapılan çizelgelemelerin önemini arttırmaktadır. Çünkü bu süreçte bir ürünün bir makinedeki üretim süresi sıraya bağımlı olmasa da, hazırlık süreleri sıraya bağımlı durumdadır.



Şekil 5.1: Süreç Akış Şeması

Şekil 5.1’de gösterildiği gibi Süreç C, Süreç A ve Süreç B ‘nin müşterisi ve de Süreç D’nin tedarikçisi durumundadır. Ayrıca her bir süreç ürünü yapısına ve rotasına bağlı olarak nihai üretim süreci de olabilmektedir. Bu süreç akışı ürünün reçetesindeki rotasına bağlı olarak şemada belirtilen alternatifler şeklinde değişkenlik gösterebilmektedir. Fakat her bir ürün sadece bir rotaya sahiptir. Farklı ürünler aynı rotaya sahip olabilmektedir. Süreçlerin üretim hızları, makinelerin üretim kabiliyetleri, yarı mamüllerin teknil özellikleri tamamen birbirinden farklıdır. Süreç C’deki her bir makine Süreç D’de yaklaşık 7 makineyi beslemektedir.

Sipariş kompozisyonuna bağlı olarak Süreç C ya da Süreç D şirket için darboğaz olabilmektedir. Makine sayıları göz önüne alındığında Süreç C’nin darboğaz olması termin sürecinin yönetilmesi adına daha büyük problemlere sebebiyet vermektedir. Bu sebeple Süreç C’nin darboğaz olamaması için çok verimli çizelgelenmesi ve duruş sürelerinin en aza indirilmesi önem arz etmektedir.

 Süreç C’de makinelerin durma sebepleri aşağıdaki gibi gösterilebilir:

* Sipariş olmaması,
* Bakım duruşları,
* Arıza meydana gelmesi,
* Ürünler arasında geçişlerdeki hazırlık süreleri,

Bakım duruşları hem siparişlerin hem de makinelerin durumları göz önüne alınarak önceden planlanmaktadır. Yeni terminlenen siparişler de bakım duruşları dikkate alınarak terminlenmektedir. Bu sebeple siparişlerin gecikmesine ya da kapasite kaybına sebep olamamaktadır. Arıza durumlarında eğer gecikmeye sebep olacak bir durum söz konusu ise bu gecikmenin Süreç D’de telafi edilip edilemeyeceğine bakılır. Edilemediği görülen siparişler için Satış Departmanı’na bilgi verilir, eğer durumdan etkilenen bir den fazla sipariş varsa önceliklendirme satış tarafından yapılır. Bu önceliklendirmelerde sıraya bağlı hazırlık sürelerinin yaratacağı verimsizlik de Satış’a bildirilir. Yapılan düzenli ve önceliyi bakım faaliyetleri ile arıza kaynaklı duruşların en aza indirilmesi amaçlanmakta, gelişen teknolojiye uyum ve yatırımlar ile makinelerin arıza duruş sürelerinin hedeflenen değerlerin altında kalmasına çaba gösterilmektedir. Ayrıca makinelerin arızaya geçiş zamanları, parça değişim süreleri Bakım Departmanı tarafından takip edilerek makinelerin mümkün olduğundan çalışılabilir tutulmasına gayret gösterilmektedir.

Bakım Departmanının gerçekleştirdiği makine revizyon kararları (uzun duruşlar gerektiren çok detaylı bakım operasyonları) Üretim, Satış, Satın Alma, Lojistik, Bakım Departmanlarının ortak kararına göre planlanmaktadır. Değiştirilecek parçaların tedarik süresi, Bakım ekibinin iş gücünün revizyona ayrılabilmesi, kapasitenin bu duruşa uygun olması ve siparişlerin bundan etkilenmemesi gibi birçok değişkenin aynı anda sağlanıyor olması gerekmektedir. Yatırım kararları da bu karara ek olarak yönetimin onayı ile gerçekleşmektedir. Kısacası bakım faaliyetlerinin planlanması ya da makinelere yapılacak yatırım kararlarının alınması anlık olarak Üretim Planlama Departmanı’nın tek başına alabileceği kararlar değildir. Bu sebeple süreçlerde ya da makinelerde yapılacak iyileştirmeler ile elde edilecek verimlilik orta vadeli olan, birçok departmanın ortak çalışmasına ihtiyaç duyan ve de maliyet içeren operasyonlardır.

Çizelgelemeler ile hazırlık sürelerinin en aza indirilebilmesi ise Üretim Planlama Departmanı tarafından ürünlerin rotalarına sadık kalınarak yapılabilecek iyileştirmelerden biridir.

**Problemin Tanımı:**

Mevcut problem bir örnek üzerinden açıklanmıştır.

* i: işler,
* m: makineler,

Süreç C’ye ait olan m1, m2 ve m3 makinelerine 4 adet işin farklı sıralar ile çizelgelendiğinde ortaya çıkan verimlilik ya da verimsizlik durumu açıkça görülebilir.

m1, m2 ve m3 ilişkisiz makinelerdir. Bu makinelerde işlerin üretim süreleri Tablo 5.1’de tanımlanmıştır. Yine bu tabloda her işin için belirlenmiş termin tarihleri de mevcuttur.

Tablo 5.1: İşler, Termin Tarihleri ve Makinelerdeki İşlem Süreleri

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | **İşlem süreleri (sa)** |
| **İş** | **Termin Tarihi** | **m1** | **m2** | **m3** |
| **1** | *10.02.2019* | *10* | *8* | *6* |
| **2** | *11.02.2019* | *12* | *10* | *8* |
| **3** | *12.02.2019* | *4* | *2* | *3* |
| **4** | *10.02.2019* | *7* | *7* | *4* |

Bu makinelerde hazırlık süreleri sıraya bağlı olarak değişmektedir. Her bir makinede işler arasında geçişte belirlenmiş hazırlık süreleri de Tablo 5.2, 5.3 ve 5.4’de gösterilmiştir.

Tablo 5.2: m1 için İşler Arası Geçiş Süreleri Matrisi

|  |  |
| --- | --- |
| **m1'de** | **İşler Arası Geçiş Süreleri(sa)** |
| **İş** | **1** | **2** | **3** | **4** |
| **1** | *0* | *1* | *4* | *2* |
| **2** | *5* | *0* | *7* | *1* |
| **3** | *4* | *2* | *0* | *4* |
| **4** | *3* | *4* | *2* | *0* |

Tablo 5.3: m2 için İşler Arası Geçiş Süreleri Matrisi

|  |  |
| --- | --- |
| **m2'de** | **İşler Arası Geçiş Süreleri(sa)** |
| **İş** | **1** | **2** | **3** | **4** |
| **1** | *0* | *3* | *8* | *3* |
| **2** | *5* | *0* | *6* | *1* |
| **3** | *7* | *2* | *0* | *4* |
| **4** | *3* | *4* | *4* | *0* |

Tablo 5.4: m3 için İşler Arası Geçiş Süreleri Matrisi

|  |  |
| --- | --- |
| **m3’de** | **İşler Arası Geçiş Süreleri(sa)** |
| **İş** | **1** | **2** | **3** | **4** |
| **1** | *0* | *2* | *1* | *1* |
| **2** | *3* | *0* | *4* | *1* |
| **3** | *2* | *2* | *0* | *3* |
| **4** | 3 | 2 | 1 | 0 |

Her makine için bir kapasite katsayısı tanımlanmıştır. Bu katsayı modelin işleri atarken hangi makineyi kullanması gerektiğini belirlemesinde kilit rol oynamaktadır. Bu katsayıları Tablo 5.5’de gösterilmiştir.

Süreç C’de her bir m makinesinin kol sayısı vardır ve bu süreçte üretilen her bir i işinin de kol sayısı vardır. Bir örnek üzerinden açıklamak gerekirse 30 kollu m1 makinesi ve 22 kollu m2 makinelerinde çalışacak olan 10 kollu i işini çizelgelemeye çalıştığımızı durumda. Makinelerdeki hız aynı olduğu durumda bile m1 makinesinde 10+10+10 m2 makinesinde 10+10 olarak işlem görecek i işini model m1 makinesine çizelgelemeye zorlayacaktır. Çünkü birim zamanda daha çok üretim gerçekleşecek. Bu ve buna benzer siparişlerin eğer termin ile ilgili bir kısıtı da yoksa siparişler m1 makinesine çizelgelenirken m2 makinesi model tarafından tercih edilmeyecektir. Bu durumda yapılan çizelgelemede bazı makineler boş kalabilir ya da az sayıda iş ile çizelgelenip işlerini erken bitirip bekleme durumuna geçebilir. Bu istenen bir durum değildir. Herhangi bir t anında eğer makineleri çalıştıracak operatör, yeterli hammadde ve enerji sağlanabiliyorsa; bu koşulların olduğu durumda eğer müşteri siparişi de varsa makinelerin çalıştırılması kapasite kaybedilmemesi için önem arz etmektedir. Çünkü t anında yapılan çizelgeleme esnasında sistemde n adet iş bulup bu işler m adet makineye çizelgeleniyorken, t+1 zamanın satış yeni bir sipariş girişi yapabilir, bu durumda bir dahaki çizelgelemeye dahil edilecek yeni sipariş(ler) olduğu için bir dahaki çizelgelemeye kadar tüm makinelerin çalışıyor durumda tutulması ( yani iş işe meşgul olması) da kapasite kaybedilmemesi için dikkat edilmesi gereken bir durumdur. Bu bağlamda işlerin makinelere dengeli dağıtılması adına makinelerin üretim kabiliyetlerinin bir özeti olarak (hız, kol sayısı vb diğer etmenler) makine kapasite katsayısı tablosu oluşturulmuştur.

Tablo 5.5: Makine Kapasite Katsayısı Tablosu

|  |  |
| --- | --- |
| **Makine** | **Makine Kapasite Katsayısı** |
| **m1** | *10* |
| **m2** | *12* |
| **m3** | *18* |

Bu bilgiler doğrultusunda m1 makinesinde 1-2-3-4 sırasıyla üretilecek siparişlerin hazırlık zamanları toplamı, yine m1 makinesinde ama farklı bir sıralama ile üretildiğindeki hazırlık zamanları toplamına eşit olmayabilir. Yine benzer şekilde m1 makinesinde 1-2-3-4 sırasıyla üretilecek siparişlerin hazırlık zamanları toplamı, m2 makinesinde aynı sırada üretilmesindeki hazırlık zamanları toplamına eşit olmayabilir. Üretim ve hazırlık (geçiş) sürelerine göre 3 makinede 4 iş için olası iş sıralamaları içerisinden toplam üretim süresini en kısa hale getirecek seçeneği belirlenmesi ihtiyacı vardır. Kurulacak modelde bu ihtiyacı karşılamaya yöneliktir.

Bu verilerden yola çıkarak siparişler 1-2-3-4 sıralaması ile m3’e çizelgelendiğinde:

* Toplam üretim süresi: 21 saat,
* Toplam hazırlık süresi: 9 saat,
* m3’ün makine kapasite katsayısı: 18,
* Amaç fonksiyonuna göre toplam üretim süresi;

 (21+ 9 (üretim + hazırlık süreleri)) x 18 (makine kapasite katsayısı) = 540sa,

1-2-3-4 sıralaması ile m1’e çizelgelendiğinde:

* Toplam üretim süresi: 31 saat,
* Toplam hazırlık süresi: 12 saat,
* m3’ün makine kapasite katsayısı: 10,
* (31 + 12 (üretim + hazırlık süreleri))) x 10 (makine kapasite katsayısı) = 430sa,

Şekil 5.2: Makine Kapasite Katsayısı Çizelgeleme Gösterimi



Yapılan hesaplamada sadece toplam üretim süreleri ve hazırlık süreleri dikkate alındığında siparişin m3’e çizelgelenmesi daha uygun görülmektedir. Şekil 5.2’de de görsel olarak durum ifade edilmiştir. Fakat işin içine makine kapasite katsayısı girdiğinde ortaya çıkan sonuç m1’e çizelgelenmesinin daha uygun olacağı yönündedir. Termin tarihine yetiştiği sürece, işi daha çok tercih edilen makinelere kaydırılmasının sağlanmasını da bu katsayı ile gerçekleşmektedir.

Problemi çözmek için yaklaşım geliştirirken dikkat edilmesi gereken bir konu da hazırlık maliyetleridir. Eğer, hazırlık sürelerini tamamen ortadan kaldırmak için hazırlık maliyetleri çok yükseltilmiş olursa bu apayrı bir problem oluşturur.

Şekil 5.3: Hazırlık Süresi ve Hazırlık Maliyeti Etkileri



Bir örnek ile açıklamak gerekirse, Şekil 5.3’de de gösterildiği üzere i işinden j işine geçiş için m1’deki hazırlık süresi 3br m2’deki hazırlık süresi 5 br olduğu bir durumda; eğer, m1’deki bu hazırlık maliyeti 3 br m2’deki hazırlık maliyeti 1br ise modelin bunu da dikkate alması gerekmektedir. Çünkü genel olarak insan gücü ile yapılan ebat değişim işlemleri uzun sürmekteyken, forklift yardımı ile yapılan ebat değişim süreleri daha kısa sürmektedir. Ama bütün makinelerin sürekli forklift ile ebat değişimi yapıyor olması ciddi bir maliyet oluşturur. Bu bağlamda modelin forklift yardımı ile yapılacak ebat değişimlerini bir araya toplaması ve böylelikle maliyeti de kontrol altında tutmaya zorlaması gerekmektedir.

1. MATEMATİKSEL MODEL

Makine katsayılarını, sıraya bağımlı hazırlık sürelerini ve makine uygunluk kısıtlarını içeren ve özdeş paralel makinelerdeki çizelgeleme problemlerinde kullanılmak üzere karma tamsayılı matematiksel model geliştirilmiştir. Bu modeldeki amaç fonksiyonu, En büyük tamamlanma zamanını enküçükleme ve ebat değişim maliyetlerini de azaltmaktır. Böylece siparişlerin çizelgeleme ufkunda en kısa sürede tamamlanması sağlanacak. Bununiçin de en kısa üretim ve hazırlık sürelerini tercih etmeye zorlanacak. Ayıca ebat değişim sürelerini azaltırken, ebat değiştirme maliyetlerini de korunması sağlanarak. Zamandan elde edilen karın, işçilik ve taşıma maliyeti olarak geri dönmesinin önüne geçilecektir.

Bu çalışmada kurulan matematiksel model için Sıra Bağımlı Hazırlık Süreli İki Ölçütlü Tek Makine Çizelgeleme Problemi İçin Sezgisel Bir Çözüm Yöntemi (Özçelik, Saraç 2009) çalışmasındaki matematiksel model esas alınmıştır.

Özçelik ve Saraç’ın çalışmalarında sıraya bağımlı hazırlık sürelerini esas alıyor olmaları ve son işin tamamlanma zamanını en küçüklüyor olması mevcut çalışma için örnek alınmasında belirleyici unsur olmuştur. Sıraya bağlı hazırlık süreleri mevcut problem için ciddi bir verimsizlik oluşturmaktadır ayrıca son işin tamamlanma zamanını enküçüklemek, modeli çizelgelenen işlerin makinelere eşit dağıtmaya zorlamaktadır. Kapasitenin verimli kullanılması için modelin bunu karşılaması beklenmektedir.

Esas alınan çalışmadaki modele göre, ele alınan problemde tek makinada işlem görecek n tane iş (j=1, 2, . . . ,n) sıfırıncı zamanda işlem için hazırdır. pj, j işinin işlem süresini dj, j işinin teslim zamanını göstermektedir. Başlangıç hazırlık süresi (hj) ilk işin tamamlanma zamanına eklenerek sıra bağımlı hazırlık süreleri de k. (k > 1) sıradaki işin tamamlanma zamanına eklenmektedir. İşler tek makine üzerinde kesintisiz olarak işlem görmekte olup, makine üzerinde birim zamanda sadece tek bir işin işlemi yapılabilmektedir. Bir iş, teslim zamanından sonra biterse o iş gecikmiş olmaktadır. Amaç son işin tamamlanma zamanının (Cmax) ve toplam gecikmenin (ΣT) en aza indirilmesidir. Bu problem literatürde (1/sij /Cmax,ΣT) olarak gösterilmektedir.

**Kümeler:**

n∈ N={1,2,3,…, /N/} işlerin kümesi / makinelerdeki sıraların kümesi

**İndisler:**

 i veya j ∈ N iş indisleri,

k∈ N sıra indisi,

**Parametreler:**

n: iş sayısı

pj : j işinin işlem süresi

dj : j işinin işlem süresi

hj : ilk sıradaki işin (j) sıra bağımlı hazırlık süresi (başlangıç hazırlık süresi)

Sij : i işi j işinden önce sıralandığında j işinin sıra bağımlı hazırlık süresi

M : çok büyük bir pozitif tamsayı

**Karar değişkenleri:**

Yjk : j işi k. sıraya atanırsa 1; diğer durumda 0

Zijk : j işi k. sıraya atanır ve i işinden hemen sonra yapılacaksa 1, diğer durumda 0

Cj : j. işinin tamamlanma zamanı

Cmax : Son işin (sıralamada n. sıradaki işin) tamamlanma zamanı

Tj : j işinin gecikmesi Tj = enb{Cj-dj , 0}

**Amaç Fonksiyonları:**

Min F1= Cmax  (1)

Min F2= $\sum\_{j=1}^{n}\left(T\_{j}\right)$ (2)

**Kısıtlar:**

Cj + M \* (1- Yjk ) ≥ hj + pj ∀ j, k =1, j,k ∈ N (3)

Cj - Cj + M \* (1- Zijk ) ≥ Sij + Pj ∀ i ≠j, k >1, i,j k ∈ N (4)

1 + Zijk ≥ Yjk-1 + Yjk  ∀ i ≠j, k >1, i,j k ∈ N (5)

$\sum\_{j\in N }^{}Y\_{jk}=1$ ∀ k ∈ N (6)

$\sum\_{k\in N }^{}Y\_{jk}=1$ ∀ j ∈ N (7)

Tj ≥ Cj - dj ∀ j ∈ N (8)

Cmax ≥ Cmi ∀ i ≠j, k =n ∈ N (9)

Yjk ∈ {1, 0} ∀ j, k ∈ N (10)

Zijk ∈ {1, 0} ∀ i ≠j, k ∈ N (11)

Cj ≥ 0 ∀ j ∈ N (12)

Cmax ≥ 0 (13)

Tj ≥ 0 ∀ j ∈ N (14)

Örnek alınan modelde, (1) ve (2) amaç fonksiyonlarını göstermektedir. Amaç (1) son işin tamamlanma zamanını ve amaç (2) toplam gecikmeyi en aza indirmektedir. Kısıt (3) ilk işin ve kısıt (4) k. (k>1) sıradaki işin tamamlanma zamanını belirlemektedir. Kısıt (5) Zijk karar değişkeninin 1 veya 0 değerini almasını sağlamaktadır. Kısıt (6) ve (7) sırasıyla her konuma yalnızca bir işin atanmasını ve bir işin yalnızca bir konuma atanmasını sağlamaktadır. Kısıt (8) j işinin gecikmesini ve kısıt (9) son işin tamamlanma zamanını belirlemektedir. Kısıt (10) - (14) karar değişkenlerine ait işaret kısıtlarıdır.

Örnek alınan yukarındaki modelin mevcut çalışmadaki problemi bir çok yönden ele almış olmasına rağmen, istenileni tam olarak karşılamadığı görülmektedir. Öncelikli olarak problemimiz birden fazla makinenin çizelgelenmesini içermektedir. Bu sebeple model bu kapsamda revize edilmiştir. Ayrıca problemin çözümünde literatüre katkı sağlayacak birkaç özgün kısıt eklenmiştir. Bu kısıtlardan birisi makine kapasite katsayısıdır. Problem tanımında detaylı olarak belirtildiği gibi bu katsayı ile modelin çözüm esnasında üretim kapasitesini etkin kullandırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca, yine üretim verimliliğini arttırmak için hazırlık sürelerinin enküçüklerken hazırlık maliyetlerinin çok yükselmesini önlemek amacıyla setup maliyetleri de eklenmiştir.

Modelde kabul edilen varsayımlar aşağıda belirtilmiştir:

* İşlerin tamamı ilk anda (t=0) üretilmeye hazırdır.
* Her iş bir bütündür.
* Bütün işlerin önceliği aynıdır.
* Aynı iş iki farklı makinede işlenemez.
* İş, başladıktan sonra makinede başka bir işe başlanmadan önce tamamlanır.
* İş iptali söz konusu değildir.
* Herhangi bir t anında, bir makine en fazla bir adet işi üretiyor olabilir.
* Çalışılan süre boyunca bütün makinelere iş çizelgelenebilir.
* Çizelgeleme dışında makineler bakıma alınamaz,
* İşlerin işlem zamanları ve hazırlık süreleri belirlidir ve işlem süreleri makinelere göre farklılık gösterebilir.
* İşlem süreleri süreç sırasına bağlı değildir ama hazırlık süreleri makinelere bir önceki işe bağlıdır.

Küme ve indisler aşağıda gösterilmiştir:

**Kümeler:**

n ∈ N={1,2,3,…, /N/} işlerin kümesi / makinelerdeki sıraların kümesi

m ∈ M={1,2,3,…, /M/} makinelerin kümesi

**İndisler:**

*j* ve *i* ∈ N işleri belirten indislerdir.

*m* ∈ M makineleri belirten indistir.

Bu problemin parametre ve karar değişkenleri aşağıda gösterilmiştir:

**Parametreler:**

*Pmj*: m. makinede j. işin işlem süresi.

*Sji*: *j*. işten sonra *i*. işe geçiş için ebat değişim süresi, (sıraya bağımlı hazırlık süresi).

*Vji*: *j*. işten sonra *i*. işe geçiş için ebat değişim maliyeti.

*Km*: *m*. makinenin makine kapasite katsayısı.

*B* : Çok büyük bir sayı

*Cj*: *j* işinin başlangıç zamanı

*a* : 1000;

*r* : 1;

**Karar değişkenleri:**

*Zjm* : Eğer *j* işi *m* makinesine atanıyorsa 1, diğer durumda 0.

*Yji* : Eğer *j* işi *i* işinden hemen önce yapılacaksa 1, diğer durumda 0.

*Xmin* : Toplam tamamlanma zamanı

**Amaç Fonksiyonu:**

Min = *Xmin* (15a)

 (15a) nolu kısıt amaç fonksiyonlarını göstermektedir ve amaç toplam tamamlanma zamanını enküçüklemektedır..

Min = a \* *Xmin + r \** ($\sum\_{m}^{}Z\_{jm}\*V\_{ji}$) ∀ *j*,*i* ∈ N ∀ *m* ∈ M (15b)

(15b) nolu kısıt ise toplam zamanı enküçüklerken, aynı zamanda da hazırlık maliyetlerini kontrol altında tutmayı amaçlamaktadır.

**Kısıtlar:**

*Cj* + *Pm*j \* *Zjm* \* *Km* $\leq $ *Xmin* ∀ *j* ∈ N ∀ *m* ∈ M (17)

Kısıt (17) j. İşin başlangıç zamanı ve eğer m. makineye çizelgelenmiş ise m. makinedeki üretim süresinin makine katsayısı ile çarpımının toplam tamamlanma zamanında küçük kalmasını sağlamaktadır.

**Atama kısıtları:**

$\sum\_{m}^{}Z\_{jm}=1$ ∀ *j* ∈ N ∀ *m* ∈ M (18)

Kısıt (18) *j* işinin yalnızca bir makinede çizelgelenmesini sağlamaktadır.

$\sum\_{j}^{}Y\_{ji}+Y\_{ij}$ $\leq $1 ∀ *j ≠i* *i,j* **∈**  N (19)

Kısıt (19) *j* işinden sonra tekrar *j* işini çizelgelenmesini engellemektedir.

*Cj+ P1*j\* *Zj1\* K1+ Sji\* Yji* $\leq $ *Ci + B* \* (1- *Yji*) ∀ *i,j* **∈**  N (20)

*Cj+ P2*j\* *Zj2\* K2+ Sji\* Yji* $\leq $ *Ci + B* \* (1- *Yji*) ∀ *i,j* **∈**  N (21)

*Cj+ P3*j\* *Zj3\* K3+ Sji\* Yji* $\leq $ *Ci + B* \* (1- *Yji*) ∀ *i,j* **∈**  N (22)

Kısıt (20),(21),(22) sırasıyla 1, 2 ve 3. makineler için *j*’den sonra *i* işi sıralandığı durumda *j* işinin tamamlanma zamanının (başlangıç zaman + üretim zamanı + *j*’den *i*’ye geçiş (hazırlık) zamanı) *i* işinin başlangıç zamanından önce olmasını sağlamaktadır.

*Zjm + Zim* $\leq $ *1+ Yji + Yij* ∀ *i, j* **∈**  N (23)

Kısıt (23) *i* ve *j* işleri *m* makinesine çizelgelendiği durumda ya j önce ya i önce gelmelidir. Tekrarı önleyen kısıt

*Cj*  ≥ 0 ∀ *j* ∈ N (24)

Kısıt (24) *j* işinin başlangıcının sıfırdan büyük olmasını sağlamaktadır

*Zjm*  ∈ {1, 0} ∀ *i* ∈ N *m* ∈ M (25)

*Yji* ∈ {1, 0} ∀ *i, j* ∈ N (26)

*Yij* ∈ {1, 0} ∀ *i, j* ∈ N (27)

*Xmin* ≥ 0 (28)

Kısıt (25), (26), (27) ve (28) karar değişkenlerine ait işaret kısıtlarıdır.

1. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ilişkisiz paralel makinalarda ürünler (siparişler) arası sıraya bağımlı hazırlık sürelerini oluşturduğu maliyeti minimize etmeyi amaçlayan, bu bağlamda makine kapasite katsayılarını, hazırlık maliyetlerini ve sıraya bağımlı hazırlık sürelerini dikkate alan bir model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin amacı makinedeki işlem süresi ve ebat değişim süresinin toplamı olan toplam üretim süresini enküçüklemektir. Aynı zamanda maliyetleri de kontrol altında tutmaktır.

Çalışmada konu edinilen problem, amaç fonksiyonunda yapılabilecek iyileştirmeler ile daha kapsamlı hale çevrilebilir. Fiili durumda yaygın olarak karşılaşılan bu problemi çözmek için çok sayıda amaç fonksiyonu kullanılarak çizelgeleme yapılması, modelin daha kullanışlı hale getirmesinde beklenen bir durumdur. Ayrıca bu modele termin kısıtı da eklenerek model daha katı bir hale getirilebilir.

Makine sayısının 20’den fazla olduğu, sipariş sayısının da 100’den fazla olduğu durum gerçekteki probleme daha yakındır fakat bu kapsamdaki bir veri grubu için modelin etkin sonuçlar vermesi pek mümkün görünmemektedir. Ayrıca makine ve siparişlerden kaynaklı çok fazla kısıtın eklenebileceği gerçek problemlerde kısa zamanda çok etkin çözümler için genetik algoritmaların daha iyi sonuçlar vermesi muhtemeldir.

Oluşturulan model IBM ILOG CPLEX Optimization Studio ile çözülmüştür. Modelin duyarlılığını ve sonuçların tutarlılığı göstermek adına bir takım uygulamalar yapıldı. Yapılan uygulamalarda 12 adet iş ve 3 makine içeren bir örnek ele alındı. Bu işlerin üretim süreleri (Tablo 7.2), hazırlık süreleri (Tablo 7.3), hazırlık maliyetleri (Tablo 7.4), makinelerin kapasite katsayısı matrisleri (Tablo 7.1) modelde veri olarak kullanıldı.

Tablo 7.1 Makine Kapasite Katsayısı Değerleri

|  |  |
| --- | --- |
|  | **Kapasite Katsayısı** |
| **Makine 1** | 1 |
| **Makine 2** | 1 |
| **Makine 3** | 1 |

Tablo 7.2 İşlerin Makinelerdeki İşlem Süreleri Matrisi

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|   | **iş1** | **iş2** | **iş3** | **iş4** | **iş5** | **iş6** | **iş7** | **iş8** | **iş9** | **iş10** | **iş11** | **iş12** |
| **Makine 1** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **Makine 2** | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| **Makine 3** | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |

Tablo 7.3 Makineye Göre İşten İşe Geçiş Hazırlık Süresi Matrisi

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Makine1** | **iş1** | **iş2** | **iş3** | **iş4** | **iş5** | **iş6** | **iş7** | **iş8** | **iş9** | **iş10** | **iş11** | **iş12** |
| **iş1** | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **iş2** | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **iş3** | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **iş4** | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **iş5** | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **iş6** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **iş7** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **iş8** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| **iş9** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| **iş10** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| **iş11** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| **iş12** | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

Tablo 7.4 Makineye Göre İşten İşe Geçiş Hazırlık Maliyeti Matrisi

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Makine1** | **iş1** | **iş2** | **iş3** | **iş4** | **iş5** | **iş6** | **iş7** | **iş8** | **iş9** | **iş10** | **iş11** | **iş12** |
| **iş1** | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **iş2** | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **iş3** | 10 | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **iş4** | 10 | 10 | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **iş5** | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **iş6** | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **iş7** | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **iş8** | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **iş9** | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 |
| **iş10** | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 5 | 5 |
| **iş11** | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 5 |
| **iş12** | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 |

Yapılan çizelgelemede toplam sürenin (üretim + ebat değişimi) enküçüklenmesi amaçlanmaktadır. Bu sürenin enküçüklenmesi demek çizelgeleme ufkundaki siparişlerin tamamının en kısa sürede tamamlanması anlamına gelmektedir. Yani en son tamamlanan işin tamamlanma zamanının enküçüklenmesi.

Modeli bu veriler ile çözdüğümüzde karşımıza çıkan sonuçlar Şekil 7.1’de gösterilmiştir.

Şekil 7.1: 1.Çizelgeleme Sonuçları (Ç1)



Bu sonuçlara göre işler mümkün olan en kısa süre olan 19br zamanda tamamlanmıştır. Mevcut problemin daha iyi bir çözümü mümkün değildir. Fakat bu çözümde toplam çizelgeleme tamamlanana kadar makine2 ve makine3’te 9+9 toplam 18 br zaman bekleme gerçekleşmektedir. Bu bekleme kapasite kaybı anlamına gelmektedir. Çünkü siparişe göre üretim yapan bir şirkette t anında yapılan çizelgelemeye mevcut siparişler dahil olurken t+1 anında yapılacak yeni bir çizelgelemeye sisteme t ile t+1 arasında gelmiş olan siparişler dahil olacaktır. Bu zaman zarfında sipariş olmadığı için kapanacak makinelerin makine-saat cinsinden kapasiteleri sipariş olduğu durumda kullanılamayacağı için t zamanından t+1 zamanında kadar geçen sürede boş kalan makineler kapasite kaybı olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca boş kalan makine demek boşa çıkan iş gücü anlamına gelmekte, makinelerin sipariş yoktan kapatılıp tekrar açılıyor olmaları da fazladan maliyet oluşturmaktadır.

Ç1 (Çizelgeleme1)’de işlerin özellikle m1 makinesi toplanıyor olmasının temel sebebi bu makinin üretim hızının diğer makinelere göre çok daha yüksek olmasıdır. Bunun sebebi makinenin yeni olması ya da mevcut işlerin üretimine çok uygun olması olabilir. Fakat her durumda kapasitenin etkin kullanılması adına işlerin makinelere homojen dağıtılıyor olması önem arz etmektedir. Şekil 7.2’de gösterildiği üzere eğer son iş olan iş10 m1 makinesi yerine m2 makinesine çizelgelenmiş olsa ve iş9 da

Şekil 7.2: 1.Çizelgeleme Sonuçlarının Geliştirilmesi.



m3 makinesine çizelgelenmiş olsa m1 ve m2 makinelerini duruş süreleri bertaraf edilebilir gibi görülmektedir.

Bu kapsamda kapasite kayıplarının önüne geçmek adına modeldeki “kapasite katsayısı” devreye sokularak model tekrar çözüldü. Tablo 7.5’te de gösterildiği gibi m1 makinesinin kapasite katsayısı 2 katına çıkarıldı. Diğer bütün koşullar aynı tutularak model tekrar çalıştırıldı.

Tablo 7.5: Makine Kapasite Katsayısı Değişimi

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|   | **Kapasite Katsayısı** |  |   | **Kapasite Katsayısı** |  |
| **Makine 1** | 1 |  | **Makine 1** | 2 |
| **Makine 2** | 1 | **Makine 2** | 1 |
| **Makine 3** | 1 |  | **Makine 3** | 1 |

Çözüm sonuçları Şekil 7.3’de gösterilmiştir. Ç1’den farklı olarak Ç2’deki çözüm süresi beklendiği üzere 23br zamana yükselmiştir. m2 ve m3 makinelerindeki duruş zamanları 18br’den toplam 4br’e düşürülmüş olarak görülmektedir.

Şekil 7.3: 2.Çizelgeleme Sonuçları (Ç2)



Fakat m1 kapasite katsayısı ile çarpılarak çizelgelendiği için tamamlanma zamanı 23br zaman olarak görülse de aslında 23’te değil 16br zamanda işlerini tamamlamış olacaktır. Burumda toplam duruş Şekil 7.4’te de gösterildiği üzere18br’den 6br’e inmiş olacak ve %66,7’lik bir iyileşme mümkün olacak. Bu, modele eklenmiş olan makine kapasite kısıtının yarattığı bir farktır. Bu kısıtlar şirketin kullandığı çizelgeleme programlarında da etkin olarak kullanılmaktadır.

Şekil 7.4: 2.Çizelgeleme Sonuçlarının Yorumu



Diğer bir önemli nokta da zaman minimizasyonu yaparken maliyetlerin de kontrol altında tutulması gerekliliğidir. Bu kapsamda model hazırlık maliyetlerini de dikkate alması için hazırlık süreleri matrisi yerine Tablo 7.4’te gösterilen hazırlık maliyetleri matrisi kullanılarak çözülmüş ve Ç3 çözümü elde edilmiştir. Bu matris *j* işinden sonra çizelgelenecek *i* işini seçerken hazırlık maliyetini dikkate almaktadır. Tablo 7.4 incelendiğinde modelin her zaman *j*. işten sonra tabloda kendisinden daha sonra yer alan işe geçiş yapmaya zorlanması bekleniyor.

1. iş için : 2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12

2. iş için : 3-4-5-6-7-8-9-10-11-12

3. iş için : 4-5-6-7-8-9-10-11-12

4. iş için : 5-6-7-8-9-10-11-12

5. iş için : 6-7-8-9-10-11-12

6. iş için : 7-8-9-10-11-12

7. iş için : 8-9-10-11-12

8. iş için : 9-10-11-12

9. iş için :10-11-12

10. iş için :11-12

11. iş için :12

Ç3 çözümünün sonuçları Şekil 7.5’te gösterilmiştir. Sonuçlara göre model hazırlık maliyetlerini minimize edecek şekilde iş atamalarını gerçekleştirmiştir.

Şekil 7.5: 3.Çizelgeleme Sonuçları (Ç3)



M1 makinesinde çizelgeleme sırası 1-4-7-8-9-11 olarak gerçekleşmiştir. Benzer şekilde diğer makinelerde de işler artan sıra ile çizelgelenmiş. Model maliyeti arttırıcı hiçbir iş ataması yapmamıştır. Tamamlanma zamanı 40br zaman olarak hesaplanmış olsa da maliye açısından ele alındığında ciddi bir kazanç söz konunu. Ç1 çözümünün sonuçlarının maliyet olarak yorumu Şekil 7.6’da gösterilmiştir.

Şekil 7.6: 1.Çizelgeleme Sonuçlarının Maliyet Yorumlaması



Şekil 7.6’daki kırmızı işaretli ebat değişimleri, işler arası geçiş maliyeti matrisine göre değerlendirildiğinde maliyeti yüksek ebat değişimleridir.

4 x 10 + 5x5 =25 br = 65 br maliyet oluşturmaktadır.

Ç3 çözümünde gerçekleşen toplam 9 adet ebat değişimin tamamı ise maliyeti düşük ebat değişimleridir.

 9 x 5 = 45br’lik maliyet oluşturmaktadır.

Ç1 ve Ç3 çözümleri arasında %30,8’lik maliyet iyileşmesi gerçekleşmiştir. Problemin sadece 12 adet iş ve 3 adet makine için çözüldüğü düşünüldüğünde, fiili durumda 30 makine ve 500 iş için elde edilecek maliyet getirisin oldukça yüksek olacaktır.

Yapılan çizelgelemeler neticesinde ortaya çıkan bu üç sonucu beraber değerlendirdiğimizde. Ç1’de elde edilen toplam üretim süresinin enküçüklenmesi, maliyetleri dikkate almamakta ve makine duruşlarına sebebiyet verebilmektedir. Elbette ki zaman geri dönüşü olmayan bir kaynak olmakla beraber işletmeler maliyetlerini de kontrol altında tutmak zorundadırlar. Makine duruşları ciddi bir maliyet oluşturmakla beraber Ç2 çözümünde eklenen makine kapasite katsayısı ile bu durum bertaraf edilmiştir. Bu sebeple Ç1 çözümü ve buradaki problemi çözmek adına geliştirilen Ç2 çözümü maliyetleri yeteri kadar gözetmediği için yeterli seviyede değildir.

Ç3 çözümünde de toplam maliyeti enküçüklerken hazırlık süreleri ihmal edilmiştir. Sıraya bağlı olarak değişen hazırlık sürelerin en verimli şekilde yönetiliyor olması işletme adına önem arz etmektedir. Bu kapsam Ç3 çözümü de tek başına istenilen sonucu vermemektedir.

Bu noktada hazırlık süreleri ve hazırlık maliyetlerinin etkisinin aynı anda görülebilmesi adına modelin Ç1 çözümü Ç3 çözümünün sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ç1 çözümünde model bütün siparişlere en kısa ebat değişimi yapmaya ve işleri en kısa üretim süresini bulacak makinelere atamaya zorlanıp, toplam üretim zamanı enküçüklemeye çalışılırken, Ç3 çözümünde de model üretim zamanları ile birlikte toplam maliyeti dikkate alıp aynı zamanda maliyeti de enküçüklemeye çalışmıştır.

Ç1 çözümü süreyi en küçüklemek makineleri en optimum şekilde çizelgeleyerek makine kaynağının en etkin kullanılan kaynak olarak ele alınmasını sağlamış oldu. Fakat tek başına bu süreyi enküçüklemek verimlilik getirmeyebilir. İşletmenin makine kaynağı gibi hammadde, operatör, forklift, sarf malzeme, enerji vb. kaynak ihtiyaçları da mevcuttur. Sadece ve sadece üretim süresini enküçükleyen model diğer kaynak kullanımlarını enbüyükleyerek maliyetleri çok yükseltebilir. Özellikle hazırlık işlemleri ele alındığında, bu işlemleri operatör ile yapılması düşük maliyetli ama yavaş iken, forklift yardımı ile yapılması hızlı ama maliyetli olmaktadır. İşletmenin makine başına bir adet operatörü bulunurken, makinelere atanmış bir forklifti bulunmamaktadır. Eğer tüm hazırlık işlemleri forklift ile yapılacak şekilde çizelgelenir ise bu durumda yapılan çizelgelemenin de gerisinde kalınması sebebiyle maliyetten de öteye geçen ve itibar kaybı anlamına gelen terminden sapma gibi çok daha ciddi problemlere sebebiyet verilebilir. Bu durumu yönetebilmek adına amaç fonksiyonuna eklenen 15b nolu kısıt (*a* \* toplam süre + *r* \* maliyet (a>b)) çözücüden kaynaklı bir takım sebeplerden dolayı amaç fonksiyonu içinde değil kısıtların içerisine eklenip model çözülmüştür. Modelin etkinliğinin gözlemlenmesi adına Tablo 7.6’da gösterilen makineye göre işten işe geçiş hazırlık matrisinde kırmızı işaretli maliyet değerleri 15 olarak revize edilmiştir. *a* =3 ve *r* =1 alınarak model çözülmüş, Ç4 çizelgeleme sonuçları Şekil 7.6’da gösterilmiştir.

Tablo 7.6 Makineye Göre İşten İşe Geçiş Hazırlık Maliyeti Matrisi-2

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Makine1** | **iş1** | **iş2** | **iş3** | **iş4** | **iş5** | **iş6** | **iş7** | **iş8** | **iş9** | **iş10** | **iş11** | **iş12** |
| **iş1** | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **iş2** | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **iş3** | 10 | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **iş4** | 10 | 10 | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **iş5** | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **iş6** | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **iş7** | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **iş8** | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| **iş9** | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 5 | 5 | 5 |
| **iş10** | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 0 | 5 | 5 |
| **iş11** | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 0 | 5 |
| **iş12** | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 0 |

Şekil 7.7: 3.Çizelgeleme Sonuçları (Ç4)



Ç4 çözümünde model hazırlık sürelerini ve hazırlık maliyetlerini aynı model içinde *a* ve *r* katsayıları oranında göz önüne alarak, siparişleri mümkün olan en kısa sürede tamamlamayı amaçlamaktadır.

Bu kapsamda model tüm bileşenleri dikkate alarak verimliliğin arttırılması amacıyla işletmenin çizelgeleme kalitesini iyileştirecek sonuçlar sunmaktadır.

1. KAYNAKLAR

Tanrıtanır “Üretim Sistemleri ve İmalat Sistemleri” (1992).

Allahverdi, A., Gupta, Jatinder N. D., Aldowaisan, T., “A Rewiev of Scheduling Research Involving Setup Considerations”, The International Journal of Management Science, 27, 219-239, (1999).

Allahverdi A, Gupta JND, Aldowaisan, T. “A review of scheduling research involving setup considerations”. Omega, 27(2), 219-239, (1999).

Liu, C.Y., Chang, S. C., “Scheduling Flexible Flowshops with Sequence Dependent Setup Effects”, IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 16, no. 4, (2000).

Pinedo, M. “Scheduling: Theory, Algorithms and Systems”, 14-15, (2002).

O. Alagoz, M. Azizoglu, “Rescheduling of identical parallel machines under machine eligibility constraints”, European Journal of Operational Research, 149:3, 523-532, (2003).

Güner, E., Karaca, M. E., “Tam Zamanında Üretim Sisteminde Tedarikçi İlişkileri Ve En İyi Parti Büyüklüğü Üzerine Bir Uygulama”, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 19(4), 443- 454, (2004).

Eren, T., Guner, E. “A Bicriteria Scheduling With Sequence Dependent Setup Times,” Applied Mathematics and Computation, 179, 378–385 (2006).

Allahverdi A, Ng CT, Cheng TCE, Kovalyov M. “A survey of scheduling problems with setup times or costs”. European Journal of Operational Research, 187(3), 985-1032, (2008).

Tavakkoli-Moghaddam R, Taheri F, Bazzazi M. “Design of a genetic algorithm for bi-objective unrelated parallel machines scheduling with sequence-dependent setup times and precedence constraints”. Computers & Operations Research, 36(12), 3224-3230, (2009).

Naderi, B., Zandieh, M., Fatemi Ghomi, S. M. T., “Scheduling SequenceDependent Setup Time Job Shops With Preventive Maintenance”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 43, 170-181, (2009).

Li K, Yang SL. “Non identical parallel machine scheduling research with minimizing total weighted completion times: Models, relaxations and algorithms”, Applied Mathematical Modelling, 33(4), 2145-2158, (2009).

Chen CL, Chen CL. “Hybrid metaheuristics for unrelated parallel machine scheduling with sequence-dependent setup times”. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 43(1-2), 161-169, (2009).

S. H. Chung, Y.T. Tai, W.L. Pearn, “An Effective Scheduling Approach for Maximizing Polyimide Printing Weighted Throughput in Cell Assembly Factories”, IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing, 32:3, 185-197, (2009).

R. Driessel, L. Moench, “Scheduling Jobs on Parallel Machines with Sequence Dependent Setup Times Precedence Constraints and Ready Times Using Variable Neighborhood Search”, International Conference on Computers and Industrial Engineering, Troyes, Fransa, (2009).

F.Özçelik, T. Saraç, “Sıra Bağımlı Hazırlık Süreli İki Ölçütlü Tek Makine Çizelgeleme Problemi İçin Sezgisel Bir Çözüm Yöntemi” Endüstri Mühendisliği Dergisi 22 (4), 48-57, (2019).

X. Li, Y.Farouk, A. Lionel, “A Multi Objective Meta-heuristic with A Fuzzy Logic Controller for Solving A Scheduling Problem. Computational Intelligence: Foundations and Applications”, Proceedings of the 9th International FLINS Conference, Emei, Çin, (2010).

Çevikcan E., “Paralel makinelerde iş yüküne yönelik üretim kontrolü ilkesi altında ürün tasarımı ile çizelgelemenin bütünleştirilmesi”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul, (2010).

Naderi, B., Fatemi Ghomi, S. M. T., Aminnayeri, M., “A High Performing Metaheuristic For Job Shop Scheduling With Sequence Dependent Setup Times”, Applies Soft Computing, 10, 703-710, (2010).

Arnaout JP, Rabadi G, Musa R. “A two-stage Ant Colony Optimization algorithm to minimize the makespan on unrelated parallel machines with sequence-dependent setup times”. Journal of Intelligent Manufacturing, 21(6), 693-701, (2010).

P. Arnaout, “Heuristics for the Maximization of Operating Rooms Utilization Using Simulation”, Simulation, 86:8-9, 573-583, (2010).

J. R. M. Torres, M. S. Ferrari, F. G. Solano, “Production Scheduling with Sequence Dependent Setups and Job Release Times”, Dyna-Colombia, 77:163, 260-269, (2010).

B. K. Kim, Y. D. Kim, “Heuristic algorithms for assigning and scheduling flight missions in a military aviation unit”, Computers & Industrial Engineering, 61:4,1309-1317, (2011).

Vallada E, Ruiz R. “A genetic algorithm for the unrelated parallel machine scheduling problem with sequence dependent setup times”. European Journal of Operational Research, 211(3), 612-622, (2011).

Lin SW, Lu CC, Ying KC. “Minimization of total tardiness on unrelated parallel machines with sequence- and machinedependent setup times under due date constraints”. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 53(1-4), 353-361, (2011).

S. W. Lin, Z. J. Lee, K. C. Ying, C. C. Lu, “Minimization of maximum lateness on parallel machines with sequence-dependent setup times and job release dates”, Computers & Operations Research, 38:5, 809-815, (2011).

Ying KC, Lin SW. “Unrelated parallel machine scheduling with sequence and machine-dependent setup times and due date constraints”. International Journal of Innovative Computing Information and Control, 8(5A), 3279-3297, (2012).

Yılmaz E., “Siparişe göre üretim yapan sistemlerde yalın üretim uygulamaları”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İstanbul (2012).

Hsu CJ, Ji M, Guo JY, Yang DL. “Unrelated parallel-machine scheduling problems with aging effects and deteriorating maintenance activities”. Information Sciences, 253, 163-169, (2013).

Naderi-Beni M, Ghobadian E, Ebrahimnejad S, Tavakkoli Moghaddam R. “Fuzzy bi-objective formulation for a parallel machine scheduling problem with machine eligibility restrictions and sequence-dependent setup times”. International Journal of Production Research, 52(19), 5799-5822, (2014).

A. K. Türker, Ç. Sel, “Scheduling two parallel machines with sequence-dependent setups and a single server”, Gazi University Journal of Science, 24:1, 113-123, (2011).

A. K. Türker, C. Sel, “A Hybrit Approach on Single Server Parallel Machines Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Times”, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 26:4, 731-740, (2011).

E.Akyol, T.Saraç, “Paralel Makina Çizelgeleme Problemi için bir Karma Tamsayılı Programlama Modeli: Ortak Kaynak Kullanımı”,Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 5(3), 109-126 (2017)

|  |
| --- |
| **EKLER** |

1. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa Demirci

Doğum Yeri ve Tarihi : Soma/Manisa 13.03.1989

Lisans Üniversite : Uludağ Üniversitesi

Elektronik posta : mustafademirci@hotmail.com

İletişim Adresi : Asmalıevler Mahallesi, 6661 sokak, no:4, daire 7 Pamukkale/DENİZLİ

**Yayın Listesi :**

**Konferans listesi :**