

PLASTİK ENJEKSİYON MAKİNALARININ ÇİZELGELENMESİ PROBLEMİ

Tuğba SARAÇ*, Aydın SİPAHİOĞLU

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,
tsarac@ogu.edu.tr, asipahi@ogu.edu.tr

Geliş Tarihi: 10 Temmuz 2008; Kabul Ediliş Tarihi: 16 Haziran 2009
Bu makale 1 kez düzeltilmek üzere 57 gün yazarlarda kalmıştır.

ÖZET

Enjeksiyon makinalarının çizelgelenmesi problemi tek kademe paralel makine çizelgelenmesi probleminin özel bir hâlidir. Enjeksiyonla plastik parça üretiminde, koyu renkli bir parçadan sonra açık renkli bir parçanın üretimi çizelgelendiğinde ya da bazı özellikli ham maddelerin farklı yapıdaki hammaddelerden sonra kullanılması gerektiğinde hazırlık süreleri oldukça uzayabilmektedir. Öte yandan enjeksiyon makinalarında bir ürünün üretilmesi için bu ürüne ait kalıbın ilgili makinaya bağlanması gerekmektedir. Enjeksiyon makinaları üretim süresi açısından özdeş olmalarına rağmen her kalıbın farklı tonaj ve boyutlara sahip makinaların tümüne bağlanamaması nedeniyle birbirlerine tam anlamıyla alternatif değildirler. Bu çalışmada sıralamaya bağlı hazırlık sürelerinin olduğu klasik paralel makine çizelgeleme probleminden farklı olarak, makinaların kalıp kullanımları da göz önünde bulundurulmuştur. Söz konusu problemin çözümü için sırt çantası problemini temel alan bir matematiksel model önerilmiştir. Örnek problemler GAMS paket programının çözümleri kullanılarak çözülmüş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Paralel makina çizelgeleme problemi, sıralamaya bağlı hazırlık süreleri, plastik enjeksiyon makinası

PLASTIC INJECTION MACHINES SCHEDULING PROBLEM

ABSTRACT

The scheduling problem of plastic injection machines is a special case of single stage parallel machine scheduling problem. In production of plastic parts by using injection, setup times may increase considerably when a light colored part is scheduled after dark colored part or some specifically raw materials need to use after different structured raw materials. On the other hand, to produce a part in an injection machine, it is required that the mould related with product should be fixed to the relevant machine. Although, plastic injection machines are identical with respect to production time, they are not exactly alternative of each other due to the fact that each mould can not fix every injection machine having different capacity and dimensions. In this study, unlike the classical parallel machine scheduling problem with sequence dependent setup time, mould using of injection machines are also considered. In order to solve this problem, a mathematical model based on knapsack problem is proposed. Illustrative problems were solved by using the solvers of GAMS software and obtained results were compared.

Keywords: Parallel machine scheduling problem, sequence depending setup time, plastic injection machine.

* İletişim yazarı

1. GİRİŞ

Bir üretim sisteminde, temel amaç, pazarın taleplerinin zamanında karşılanmasıdır. Bu amacı gerçekleştirebilmek için üretimin eldeki stok miktarı, makinaların kapasitesi, bakım planları ve işçi verimliliği gibi üretim kısıtlarını göz önünde bulundurularak planlanması ve oluşturulan planların ortaya çıkacak beklenmedik gelişmeler karşısında sürekli güncellenmesi gerekmektedir. Üretim sisteminin çoğunlukla dinamik bir yapıya sahip olması nedeniyle atölye bazındaki problemler genellikle çok karmaşıktır. Ayrıca, bu problemlere ait kararlar, zaman kısıtı altında ele alınacağından hızlı bir çözüm de gerektirmektedir. Üretim çizelgeleme problemleri bunların bir örneğidir.

Üretim çizelgeleme, bir ürünü oluşturan iş parçalarının eldeki tek veya çok sayıda makinalarda hangi sırada ve ne zaman işleneceğinin belirlenmesidir. Üretim çizelgeleme problemleri, üretim tipine göre çok farklı biçimlerde olabilir. Çizelgeleme problemlerini işlem karmaşıklığı açısından ele alacak olursak, göz önünde bulundurulması gereken kademe sayısına göre dört farklı başlıkta incelenebilir (French, 1982):

- Tek kademe, tek makina problemi, en basit problem biçimidir. Burada bütün işler, tek makinada işlenmek üzere tek bir işlem kademesini gerektirmektedir.
- Tek kademe, paralel makina problemi, tek makina problemine benzemektedir. Her bir iş paralel makinaların birisinde işlenmek üzere yine tek bir işlem kademesini gerektirmektedir. Ancak bu problemde aynı işi yapan birden fazla makina mevcuttur.
- Çok kademe problemleri, her bir işin işlem sırasında çok kesin bir öncelik ilişkisinin bulunduğu durumlardır. Her bir iş, makinalar grubunda öncelik ilişkisine göre işlenmeyi gerektirir. Çok kademeli problemler, akış tipi ve atölye tipi olmak üzere iki şekilde incelenebilir. Akış tipi problemde, bütün işler aynı işlem sırasıyla aynı makina grubunda işlenir. Diğer bir deyişle, işlerin makinalardaki işlem sırası (teknolojik kısıt) ve öncelik ilişkisi aynıdır.
- Atölye tipi problem ise, sınıflandırmadaki en genel

ve en karmaşık olanıdır. Belli bir işe ait işlem kademeleri sayısı üzerine hiçbir kısıt yoktur. Başka bir deyişle, atölye tipi problemde her bir iş, farklı makinalarda işlenmek üzere kendine özgü bir işlem sırasına sahiptir.

Enjeksiyon makinalarının çizelgenmesi problemi (EMÇP), tek kademe paralel makina çizelgeleme problemlerine güzel bir örnektir.

Birden fazla aynı işi yapabilen makinanın varlığı paralel makinalar olarak adlandırılmaktadır. Bu tip makinaların çizelgenmesi, tek makina çizelgelemesine göre daha karmaşık bir problemdir. Paralel makina çizelgeleme problemi, gerçek hayatta çok sık var olması ve çok aşamalı daha karmaşık problemlerin de alt problemi olması sebebiyle oldukça önemlidir. Bu problemleri parçaların makinalarda işleme süreleri açısından üç gruba ayırmak mümkündür (Pinedo, 2002):

- Eğer bir parça tüm makinalarda aynı sürede üretilebiliyorsa, özdeş (*identical*),
- Tüm makinalarda aynı sürede üretilmiyor; ancak süre farklılıkları parametrik bir ilişki ile açıklanabiliyorsa düzgün (*uniform*),
- Üretim süreleri düzensiz bir şekilde farklılık gösteriyorsa ilişkisizdir (*unrelated*).

Enjeksiyon makinalarında bir ürünün üretim süresi tüm makinalar için aynı olarak kabul edilebileceğinden, bu makinaların çizelgelemesi problemi özdeştir. İki özdeş paralel makinanın olduğu ve iş gecikmelerinin enküçüklendiği bir çizelgeleme problemi NP-zordur. Makina sayısı ikiden fazla olduğunda ise bu problemin zorluğu oldukça artmaktadır (Chang vd., 2005).

Üretim çizelgeleme ve paralel makina çizelgeleme problemleri hakkında ayrıntılı bilgilere Pinedo (2002)'nin çizelgeleme kitabından ve Zhu ve Wilhelm (2006) ve Allahverdi vd. (2008) tarafından yapılan, sıraya bağımlı hazırlık zamanının söz konusu olduğu çizelgeleme problemlerini ele alan yakın tarihli yayın taramalarından erişmek mümkündür.

Literatürde, sıralamaya bağlı hazırlık zamanlarını göz önünde bulunduran paralel makine çizelgelemesi problemi üzerine yapılmış pek çok çalışma

mevcuttur (Allahverdi vd., 2008). Ancak, enjeksiyon makinalarının çizelgelenmesi probleminde klasik paralel makine çizelgeleme problemlerinden farklı olarak, işlerin makinalara atanmalarının yanı sıra ilgili ürünlerin kalıplarının da makinalara atanması söz konusudur. Bu özel yapı, aynı kalıbı kullanan işlerin aynı anda farklı makinalara atanamaması gibi birçok özel durumun da göz önünde bulundurulmasını gerekli kılmaktadır. Ayrıca teknik kısıtlar nedeniyle bazı işlerin atanamayacağı ya da atanmasının çok tercih edilmediği makinalar söz konusudur. Literatürde enjeksiyon makinalarının çizelgelenmesi problemini ele alan az sayıda çalışmaya erişilmiştir. Tanev vd. (2004), plastik enjeksiyon fabrikasında müşteri siparişlerinin sıralanması problemini esnek atölye çizelgeleme problemi olarak ele almışlardır. Problemin amacı geciken iş sayısını, işlem süresinin varyansını, kalıp değişikliklerini azaltacak ve makina verimliliğini artıracak şekilde işlerin çizelgelenmesidir. Problemin çözümü için internet tabanlı bir çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Veriler birbirleri ile ilişkili veri tabanlarında tutulmaktadır ve problemin çözümü için melez bir Genetik Algoritma (GA) geliştirilmiştir. Dört makinanın var olduğu bir işletmenin 50, 100, 200 ve 400 siparişlik çizelgelerini oluşturmuşlardır. Dastidar ve Nagi (2005), bir plastik enjeksiyon fabrikasında, çizelgeleme problemini çok parçalı, çok sayıda ve farklı kapasitelere sahip kaynakların var olduğu, hazırlık zamanlarının ve maliyetlerinin sıraya bağımlı olduğu bir paralel makina çizelgeleme problemi olarak ele almışlardır. Amaç, stok tutma, sonradan karşılama ve hazırlık zamanı maliyetlerini enküçükleyecek şekilde müşteri taleplerini karşılamaktır. Yazarlar ele alınan problem için karma tamsayılı, doğrusal bir model önermişlerdir. Standart çözücülerin makul sürelerde çözemediği bu problem için iki aşamalı ve iş merkezi bazında bir ayrıştırma yaklaşımı geliştirmişlerdir.

Bu çalışmada, enjeksiyon makinalarının çizelgelenmesi problemi için bir Karesel Çoklu Sırt Çantası Problemi (KÇSÇP) modeli önerilmiştir. Önerilen modelde amaç, işlerin müşteriye geç teslimini önleyecek ve mümkün olduğunca benzer işlerin aynı makinalara atanmasıyla dolaylı olarak hazırlık zamanlarını azaltacak şekilde işlerin makinalara

atanmasıdır. Önerilen modelin katkıları şöyle açıklanabilir: Yeni model ile Tanev vd. (2004) ele aldığından çok daha fazla makina ve kalıp içeren problemlerin çözülebildiği gösterilmiştir. Ele alınan problem Dastidar ve Nagi (2005)'ninkinden farklı olarak farklı iş merkezleri ve kalıp dışında, birden fazla paylaşılması gereken kaynak içermemektedir. Sözgelimi, Dastidar ve Nagi (2005)'nin yaklaşımında sistemdeki bazı makinalar ham maddeleri ortak bir otomatik sistemi kullanarak çektiklerinden, bu makinalara aynı anda ham madde yüklenmesi mümkün olamamaktadır. Oysa Türkiye'deki plastik üretimi yapan işletmelerin pek çoğunda makinalara ham maddeler elle yüklenmektedir. Önerilen yaklaşımda sistemdeki her makinaya birbirinden bağımsız olarak, gerekiyorsa aynı anda ham madde yüklemesi yapılabildiği varsayılmış ve bu tipteki problemlere daha uygun bir yapı tanımlanmıştır. Ayrıca yine bu iki çalışmadan farklı olarak önerilen model, teknik kısıtlara ek olarak, kullanıcının işlerin bazı makinalara öncelikle atanması ile ilgili tercihlerini de göz önünde bulundurabilmektedir. Bu da modelin gerçek hayatta kullanılabilirliğini artırmaktadır. Bu çerçevede, çalışmanın ikinci bölümünde problemin tanımı yapılmış ve anlaşılabilirliği sağlamak için bir örnek problem türetilmiştir. Üçüncü bölümde önerilen matematiksel model tanıtılmış, dördüncü bölümde ise örnek problem çözümleri verilmiştir. Beşinci ve son bölümde ise elde edilen sonuçlar tartışılmış ve gelecek çalışmalara yönelik öneriler sunulmuştur.

2. PROBLEMİN TANIMI

Plastik malzeme üretim yöntemlerinden birisi enjeksiyondur. Enjeksiyonla üretilen plastik parçaların dünya çapında çok geniş bir pazarı vardır. Bu nedenle oldukça önemli bir sektördür.

Enjeksiyon yönteminde belli bir sıcaklığa getirilerek eritilmiş plastik, belirli bir basınçla kalıba enjekte edilir. Bir süre soğuması için bekletildikten sonra kalıp açılır ve parça alınır. Bu üretimin gerçekleştirilmesini sağlayan enjeksiyon makinası, enjeksiyon grubu ve mengene grubu olmak üzere iki ana gruptan oluşur. Enjeksiyon grubunda ham madde haznesi yer alır. Bu

grup, ham maddenin ısıtılıp eritilmesi ve uygun basınç ve hızda kalıba enjekte edilmesi görevini yerine getirir. Mengene grubu ise kalıbın bağlandığı ve kapanıp açılmasının sağlandığı hareketli bölümdür. Mengene bölümünün üzerinde hareket ettiği silindirler arasındaki mesafeye kolon aralığı denir. Enjeksiyon makinasının ana bölümleri Şekil 1’de görülmektedir.

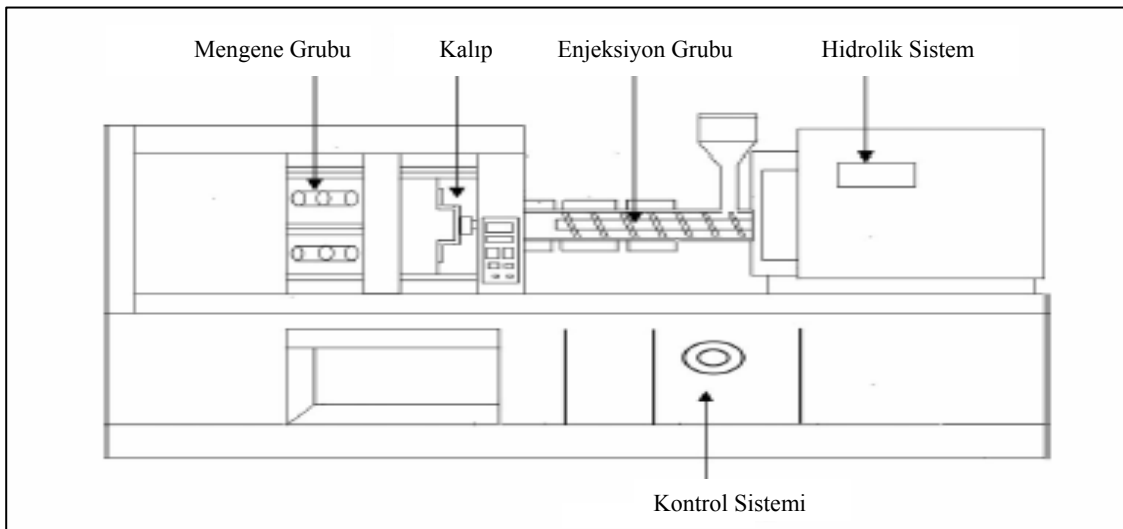
Bir kalıbın, enjeksiyon makinasına bağlanabilmesi için kalıp en ve boyunun makinanın kolon aralığından küçük olması gereklidir. Mengene bölümünün kapatabildiği en küçük ve en büyük aralığa ise sırasıyla enk., enb. kapama aralığı denir. Yine bir kalıbın enjeksiyon makinasına bağlanabilmesi için kalıbın derinliğinin kapama aralığı ile uyumlu olması gereklidir. Sonuç olarak; bir kalıp, sadece teknik kısıtları sağlayan makinalara bağlanabilmektedir.

Plastik parça üretimi, enjeksiyon makinalarında, kalıbın makinaya bağlanması, plastik ham maddesinin ve gerekiyorsa boyanın ham madde haznesine uygun miktarlarda konması ve makinanın uygun ısı ve basınç ayarlarına getirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Üretilen plastik parça, boyama, serigrafik baskı, gruplama gibi ek bir işlem görmeyecekse, üretim tek bir aşamadan oluşur, enjeksiyon makinasından çıkan ürün nihai üründür. Ek işlem gerektiren parçalar, enjeksiyon makinasında çizelgenirken müşterinin istediği tarih

değil, ek işlemin gerektirdiği süre kadar öne çekilmiş tarih dikkate alınmalıdır.

Plastik parça üretimi yapan işletmeler genellikle yan sanayi konumundadırlar. Bu da ana sanayi programına uymayı her türlü miktar ve ürün cinsi yönlü talep değişikliklerine hızlı bir şekilde adapte olmayı gerektirmektedir. Bu nedenle planlama yapılırken tüm taleplerin göz önünde bulundurulması, ancak kısa periyotlu çizelgeler üretilmesi esnekliği artıracaktır. Parçaların zamanında üretilmemesi ise, ana sanayinin üretiminin durması anlamına geleceğinden bedeli çok ağırdır. Çoğunlukla ana sanayiler üretimin durdurulduğu süreleri yan sanayiye belli oranda faturalandırılmaktadır, ancak daha önemlisi her duruş ana sanayinin güvenini sarsacağından gelecekte mevcut işlerin rakip firmalara kaydırılması riskini de artırmaktadır.

Toplam olarak aylık makina doluluk oranları incelendiğinde, çoğunlukla bu oranın %100’ü aşmadığı görülmeye rağmen, taleplerin genellikle ayın belirli dönemlerinde ve belli özellikteki makina gruplarına yoğunlaşması, gecikmesiz bir üretimi gerçekleştirebilecek çizelgelerin hazırlanabilmesini oldukça güçleştirmektedir. Öte yandan çoğu kez bir ürünün aylık talebinin tek bir parti olarak bir kerede üretilmesi tüm ürünlerin zamanında üretilmesi



Şekil 1: Enjeksiyon Makinasının Şematik Gösterimi

gerekliliği nedeniyle mümkün olamamaktadır. İlgili ürünün enjeksiyon kalıbının makinadan sökülüp, yeniden aynı ya da farklı makineye bağlanması ise her seferinde yeni bir hazırlık zamanı gerektirmekte ve toplam üretim süresini artırmaktadır.

Bir diğer önemli konu da, birbirine benzemeyen ürünlerin aynı makinalarda üretilmesinin hazırlık zamanlarını oldukça artırabilmesidir. Sözelimi siyah renkli bir üründen beyaz renkli bir ürünün üretimine geçilebilmesi ham madde kazanlarının ve ocaklarının tamamen boşaltılmasını gerektirdiğinden bazen hazırlık zamanı bir vardiyalık süreye kadar uzayabilmektedir. Bazı ham maddeler şeffaf özellikte olduklarından öncesinde farklı yapıda bir ham madde kullanıldıysa, hazırlık zamanları yine normalin çok ötesinde uzayabilmektedir.

İşletmelerde çoğunlukla farklı tonajlara sahip enjeksiyon makinaları ve bu makinalara bağlanmak üzere farklı enjeksiyon kalıpları mevcuttur. Bir ürünün üç karakteristik özelliği vardır: kalıp, ham madde ve renk. İki ürünün aynı olabilmesi ancak bu üç özelliğinin de aynı olması ile mümkündür. Bu nedenle ürün çeşidi çoğu kez kalıp sayısından fazladır. Genellikle bir kalıp tek bir ham madde cinsi ile çalışmaktadır. Temelde aynı çalışma prensibine sahip olsalar da, bir ürünün tüm makinalarda üretilebilmesi teknik olarak mümkün değildir. Bir kalıbın bir enjeksiyon makinasına bağlanabilmesi için;

- Makinanın kolon arası ile kalıbın boyutları uyumlu olmalıdır,
- Kalıbın eni, bağlanacağı enjeksiyon makinasının en küçük kalıp aralığından büyük, en büyük kalıp aralığından küçük olmalıdır,
- Eğer kalıbın özel bir maçası varsa, enjeksiyon makinasının bu maça programını desteklemesi gerekmektedir.

Bu teknik kısıtlar dışında, gramajına göre her ürünün üretilmesi için uygun olacak bir makina tonajı vardır. Farklı tonaj ve teknik özelliklere sahip makinalar, bazı ürünler için birbirinin alternatifi ola-

bilirken, bazı ürünler için alternatif olamamaktadır. Bu nedenle problemi alt ürün gruplarına bölmek ve bu grupta yer alan ürünlerin tümünü üretebilecek birbirlerine tamamen alternatif olarak kabul edilebilecek makina gruplarına ayırarak çözmek zordur.

Yan sanayi konumundaki pek çok işletmenin ilk ve en önemli amacı müşterisinin istediği tüm ürünleri zamanında teslim edebilmektir. Bu nedenle kimi zaman aynı kalıbın gün içinde birden fazla kere sökülüp bağlanmasına zorunlu kalındığı durumlar yaşanabilmektedir. Öte yandan hazırlık zamanlarının olabildiğince azaltılması bir diğer amaçtır. Bu ise birbirine benzeyen ürünlerin aynı makinalara atanmasıyla, müşteri siparişlerinin mümkün olduğunca az kalıp, renk ve ham madde değişikliği yaparak üretilmesi ile sağlanabilecektir. Hazırlık zamanının düşürülmesi, bu sürenin üretime kazandırılmasının yanı sıra, ayar sırasında oluşan fire miktarının da düşürülmesi anlamına gelecektir. Yine üretim için kullanılacak sürenin artması işlerin zamanında yetiştirilmesi olasılığını da dolaylı olarak artıracaktır. Tüm bu sayılanların başarılması ise ele alınan kapsama giren işletmeler için küçümsenmeyecek bir kazanç anlamına gelmektedir.

Enjeksiyon makinalarını çizelgeleme probleminin aslında ne kadar karmaşık bir problem olduğunu görmek ve geliştirilen matematiksel modelin anlaşılabilirliğini sağlamak için aşağıda verilen örnek problem tasarlanmıştır. Örnekte iki adet enjeksiyon makinası olan bir plastik işletmesi olduğu varsayılmıştır. Bu işletme dört farklı kalıp, üç farklı renk, üç farklı ham madde kullanmakta ve beş çeşit ürün üretebilmektedir. Örnek problem için ürünlerin hangi kalıp, ham madde ve renk ile üretilmesi gerektiğini gösteren ana ürün tablosu, Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1'de her farklı kalıp, renk ve hammadde cinsi bir rakamla ifade edilmiştir. Sözelimi birinci satırda 1. ürünün, 1. tip kalıbı ve 3. tip ham maddeyi kullanarak 1. renkten üretilmesi gerektiği görülmektedir.

Tablo 1: Örnek Problem İçin Ana Ürün Tablosu

ürün no	kalıp	renk	ham.
1	1	1	3
2	2	2	2
3	3	3	1
4	4	2	2
5	4	1	1

Kalıpların makinalara bağlanması sırasında gereken kalıp bağlama sürelerinin Tablo 2'de verildiği gibi olduğu kabul edilmiştir.

Tablo 2: Örnek Problem İçin Kalıp Bağlama Süreleri

kalıp	1	2	3	4
kalıp bağlama süresi (saat)	0,66	1,33	1	1

Müşteriler tarafından talep edilmiş yedi sipariş olduğu varsayılmıştır. Bu siparişlerin hangi üründen ne kadar ve ne zaman talep edildiğini gösteren sipariş listesi de Tablo 3'te verildiği gibidir.

Tablo 3: Örnek Problem İçin Sipariş Listesi

sip.no	ürün	kalıp	renk	ham.	kalan gün	talep (sa.)
1	1	1	1	3	0	15
2	2	2	2	2	1	8
3	3	3	3	1	2	11
4	4	4	2	2	1	7
5	5	4	1	1	3	6
6	5	4	1	1	1	20
7	3	3	3	1	5	14

Aynı ürüne ait farklı tarihli siparişler farklı sipariş olarak kabul edilmiştir. Sözelimi Tablo 3'te görüldüğü gibi 5. ve 6. siparişlerin ikisi de 5. ürüne aittir. Ancak sipariş tarihlerine kalan gün sırasıyla üç ve bir gündür. Tablonun son sütununda müşteri talepleri adet olarak değil, bu adetleri üretebilmek için gereken makine saati cinsinden verilmiştir. Bu nedenle bu sütun aynı zamanda talep edilen ilgili ürünün üretim süresine de karşı gelmektedir.

Örnek problem için r . kalıbın k . makinaya

atanmasının tercih edilme düzeyi olan ve $[0,1]$ aralığında değer alan ψ_{rk} parametresinin değerleri izleyen şekilde varsayılmıştır.

$$\psi_{rk} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ ,5 & 1 \end{bmatrix} \cdot \text{Burada görüldüğü gibi 1. kalıbın 2.}$$

makinaya atanması hiç tercih edilmemektedir. 4. kalıp için de 2. makina 1. ye kıyasla önceliklidir.

Makinaların kullandıkları işletme kaynakları (elektrik, işçilik vb.) göz önünde bulundurularak bir makinenin saatlik maliyeti 15 avro/saat olarak kabul edilmiştir. 30 saatlik planlama periyodu için müşteri taleplerini gecikmesiz üretecek ve mümkün olduğunca az hazırlık zamanı gerektirecek çizelgenin hazırlanması istenmektedir.

3. ÖNERİLEN MATEMATİKSEL MODEL

Alternatif makinaların çizelgelenmesi problemi, hem işlerin makinalara yüklenmesi ve hem de sıralanmasını gerektirir. Hazırlık zamanlarının farklı sıralamalar için değişiklik gösterdiği ve bu nedenle göz önünde bulundurulması gereken sistemlerde, hem toplam hazırlık zamanını küçültecek, hem de müşteri taleplerini zamanında karşılayabilecek en iyi çözümün bulunabilmesi için tüm olası sıralamaların gözden geçirilmesi gereklidir. Yükleme ve sıralama problemlerini bütünlük olarak ele alan bu yaklaşım, problemin zorluğunu artırmakta ve büyük boyutlarda çözümünü güçleştirmektedir. Öte yandan, problemi basitleştirmek amacıyla önce işlerin makinalara yüklenmesi ve sonra her makinanın iş sırasının belirlenmesi şeklinde iki aşamalı olarak ele alınması ise her zaman bütünlük olarak çözülmesi ile aynı anlama gelmeyecektir. İşte bu noktada hem sıralama ve yükleme problemlerini birlikte ele alabilecek ve hem de gerçek hayatta karşılaşılabilecek boyuttaki problemlere çözüm sağlayabilecek bir matematiksel model amaçlanmıştır. Bu çalışmada, parametre ve

karar değişkenlerine uygun anlamlar yükleyerek, genelleştirilmiş karesel çoklu sırt çantası probleminin, enjeksiyon makinalarının çizelgelenmesinde kullanılması önerilmektedir.

Aşağıda problemin varsayımları ve modelinin karar değişkeni ve parametreleri verilmiştir.

Kümeler

$J = \{j | j=1, \dots, n\}$ Sipariş (iş) dizin kümesi $i, j \in J$

$K = \{k | k=1, \dots, m\}$ Makina dizin kümesi

$R = \{r | r=1, \dots, h\}$ Kalıp dizin kümesi

Karar değişkenleri

x_{jk} : Eğer j . iş k . makinaya atandı ise 1, diğer durumda 0 değerini alır.

y_{rk} : Eğer r . kalıp k . makinaya en az bir kez atandı ise 1, diğer durumda 0 değerini alır.

Parametreler

q_{ij} : i . ve j . işin aynı makinaya atanmış olmasının sağlayacağı katkı

p_j : j . işin önceliği (*müşteriye teslim edilmesi gereken tarih yaklaşmış olan iş yüksek önceliğe sahiptir*)

ψ_{rk} : r . kalıbın k . makinaya atanmasının tercih edilme düzeyi, $[0,1]$

σ_{rk} : Eğer r . kalıp k . makinaya bağlanabiliyorsa 1, diğer durumda 0 değerini alır.

p_{jk} : j . işin k . makinadaki önceliği, $p_{jk} = p_j \times \sum_{(r | \sigma_{rk}=1, r \in R)} t_{rj} \psi_{rk}$

c_k : k . makinanın kapasitesi

w_j : j . işin harcayacağı kapasite

t_{rj} : Eğer j . iş r . kalıpla üretiliyorsa 1, diğer durumda 0 değerini alır.

ε_{jk} : Eğer j . iş k . makinaya atanabiliyorsa 1, diğer durumda 0 değerini alır. $\varepsilon_{jk} = \sum_{k \in K} \sigma_{rk} t_{rj}$

U : büyük pozitif bir sayı

s_r : r . kalıbın makinaya bağlanma süresi

δ_r : r . kalıbın kopya sayısı

Varsayımlar

1 Her siparişin kapasiteden harcayacağı miktarlar tüm makinaların kapasitelerinden küçüktür.

$$\text{enb}_j \{w_j\} \leq \text{enk}_k \{c_k\} \quad j \in J, k \in K$$

Eğer herhangi bir makinanın kapasitesini aşan bir sipariş varsa, bu sipariş kapasiteleri aşmayacak parçalara bölünerek farklı sipariş numarası verilir.

2 Planlama periyodu, bir ya da en fazla iki gündür. Çizelgeye alınmış bir iş, planlama periyodu içinde tamamlanacağından, o gün terminli bir iş çizelgeye alındıysa, gecikme olmayacaktır. Dolayısıyla iş gecikmeleri, planlama periyodu içinde tamamlanması gereken işler çizelgeye alındı/alınmadı şeklinde izlenebilecektir.

3 Problemin çözümü ile planlama periyodu içinde hangi makinalarda hangi işlerin üretileceği bilgisi türetilmektedir. Atanan işlerin sıralamasının belirlenmesi, planlama periyodunun kısa olması nedeniyle bir makinaya az sayıda iş çizelgelenebileceğinden ve iş gecikmesi riski olmadan sıralamayı değiştirebilme esnekliği olduğundan çok kritik değildir. Bu koşullar altında bir makinaya atanmış işlerin en az hazırlık zamanı gerektirecek şekilde elle sıralanmasının mümkün olduğu varsayılmıştır.

4 Hazırlık sürelerini kapasiteden düşerken, benzer işler benzer makinalara atanacağından, renk ve hammadde için gerekecek hazırlık sürelerinin kalıp değiştirme süresi içinde tamamlanacağı varsayılmıştır.

Bu tanımlara göre önerilen model şöyle verilebilir:

EMÇP

$$\sum_{(j|\varepsilon_{jk}>0, j \in J)} w_j x_{jk} + \sum_{(r|\sigma_{rk}>0, r \in R)} s_r y_{rk} \leq c_k, \quad \forall k \in K \quad (1)$$

$$\sum_{(k|\varepsilon_{jk}>0, k \in K)} x_{jk} \leq 1, \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{(j|\varepsilon_{jk}>0, j \in J)} t_{rj} x_{jk} \leq U y_{rk} \quad \forall (r, k | \sigma_{rk} > 0) \in R, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{(k|\sigma_{rk}>0, k \in K)} y_{rk} \leq \delta_r \quad \forall r \in R \quad (4)$$

$$x_{jk} \in \{0,1\}, \quad \forall (j, k | \varepsilon_{jk} > 0) j \in J, k \in K \quad (5)$$

$$y_{rk} \in \{0,1\}, \quad \forall (r, k | \sigma_{rk} > 0) r \in R, k \in K \quad (6)$$

k.a.,

$$\text{enb } z = \sum_{(j|\varepsilon_{jk}>0, j \in J)} \sum_{k \in K} p_{jk} x_{jk} + \sum_{(i|\varepsilon_{ik}>0, i \in J), i < n} \sum_{(j|\varepsilon_{jk}>0, j \in J), j > i} \sum_{k \in K} q_{ij} x_{ik} x_{jk} \quad (7)$$

Modeldeki (1) numaralı kısıt, bir tezgâha atanan işlerin harcayacağı kapasitelerin ve kalıp bağlama sürelerinin toplamının o tezgâhın kapasitesini aşmamasını sağlamaktadır.

(2) numaralı kısıt j . işin en fazla bir makinaya atanmasını garanti etmektedir.

(3) numaralı kısıt y_{rk} karar değişkeninin r . kalıp k . makinaya bir ya da birden fazla kere atandıysa 1, hiç atanmadıysa 0 değerini almasını garanti etmektedir.

(4) numaralı kısıt r . kalıbın en fazla kopya sayısı (δ_r) kadar tezgâha atanmasını sağlamaktadır.

(5) numaralı kısıt j . işin k . makinaya atanıp atanmadığını gösteren x_{jk} karar değişkenlerinin sırasıyla atandı ve atanmadı anlamlarına gelen 0 ya da 1 değerlerini almasını garanti etmektedir.

(6) kısıt r . kalıbın k . makinaya atanıp atanmadığını gösteren y_{rk} karar değişkenlerinin sırasıyla atandı

ve atanmadı anlamlarına gelen 0 ya da 1 değerini almasını sağlamaktadır.

Amaç ise, ilgili planlama periyodunda öncelikle müşterinin istediği teslim tarihi yaklaşmış olan işlerin çizelgeye alınmasını sağlamak (yani dolaylı olarak iş gecikmelerini önlemek) ve benzer işlerin aynı tezgâha atanmalarını (ve böylece hazırlık için harcanan zamanların azalmasını) sağlamaktır.

Model bu haliyle yaklaşık olarak $(n+h) \times m$ adet 0-1 tamsayı karar değişkeni ve $m + n + h \times (1+m)$ adet kısıttan oluşacaktır. Üstelik amaç fonksiyonu kareli yapıdadır. Bu da modelin büyük boyutlu problemler için kısa sürede çözülemeyebileceği anlamına gelir.

Modeldeki parametre değerlerinin nasıl belirleneceği doğrudan çözüm kalitesini etkileyeceği için çok önemlidir. Özellikle p_{jk} ve q_{ij} parametrelerinin nasıl belirleneceğine dair bir yaklaşım geliştirilmesi gerekmektedir. Bunun için izleyen bölümde maliyet hesabına dayalı bir yaklaşım önerilmiştir.

3.1 Model Parametrelerinin Belirlenmesi İçin Bir Yöntem

Bir matematiksel model gerçek sistemi ne kadar iyi temsil ederse etsin, kaliteli çözümler türetebilmesi ancak parametrelerin belirlenmesindeki başarıya bağlıdır. Önerilen modelin, i . ve j . işin aynı makinaya atanmasının sağlayacağı katkı olarak tanımlanan q_{ij} parametresi ve işlerin önceliklerini gösteren p_{jk} parametresinin belirlenmesi kritiktir. Bu parametrelerinin belirlenmesine yönelik olarak toplam maliyet hesabı yaklaşımı geliştirilmiştir. EMÇP için önerilen modelde i ve j iş (sipariş) kümesinin dizinleri olarak kullanılmıştır. Bir iş, belirli bir ürünün belirli tarihte ve adetteki siparişi anlamına gelmektedir. Ancak matrislerin iş bazında hazırlanması, matematiksel modeli gerçek hayatta kullanırken, her çözüm için tüm parametre matrislerinin yeniden hazırlanmasını gerektirecektir. Bu da modelin kullanımını zorlaştıracaktır. Bu nedenle, parametrelerin hesaplanmasında, çok sık değişiklik göstermemesi sebebiyle ürün bazında belirlenecek ve daha sonra siparişlerin hangi ürüne ait olduğunu gösteren bir parametre yardımıyla sipariş bazına dönüştürülecektir. $F = \{f | f=1, \dots, w\}$ ürün dizin kümesi ve $f, g \in F$, iken ürünle sipariş ilişkisini kurmak amacıyla φ_{ff} parametresi izleyen şekilde tanımlanmıştır.

φ_{ff} : Eğer j . iş f . ürüne ait ise 1, diğer durumda 0 değerini alır.

Bu parametre yardımıyla, q_{fg} parametre matrisi, q_{ij} ($= \varphi_{ff} * q_{fg}$) matrisine dönüştürülebilecektir. Son olarak, ham madde ve renk değişiklikleri küçük makinalarda ham madde haznelerinin büyüklüğü ile doğru orantılı olarak daha hızlı olmaktadır. Bu nedenle, bu süreler büyük makinalar ve küçük makinalar için tonajlarına uygun oranlarda kısaltılmıştır.

3.2 Toplam Maliyet Hesabı Yaklaşımı

Bu yaklaşımda q_{ij} ve p_{jk} parametrelerinin değerlerini belirlemek için öncelikle, birlikte seçilen ürünlerin neden olacağı ayar sürelerinin firmaya ne kadar maliyeti olduğu hesaplanmıştır. Daha sonra, hesaplanan bu değerleri kazanç yapılı hâle dönüştürebilmek

için, tüm hesaplanan ayar maliyetleri, oluşabilecek en kötü maliyet değerinden çıkarılmış ve en kötü maliyet değerine göre ne kadar kazançlı olduğu şeklinde yorumlanmıştır. q_{ijk} ve p_{jk} parametrelerinin belirlenmesi üç adımdan oluşmaktadır.

1. Ürün bazında q_{fg} parametrelerinin belirlenmesi
2. Bu parametrelerin sipariş bazına (p_{ij}) dönüştürülmesi.
3. p_{jk} parametresinin hesaplanması

Aşağıda bu adımlar ayrıntıları ile açıklanmıştır.

1. Ürün bazında, q_{fg} parametrelerinin belirlenmesi.

Enjeksiyon makinalarıyla, plastik parça üretimi sürecinde, ayar sürelerini etkileyen kalıp, ham madde ve renk olmak üzere üç ürün karakteristiği vardır. Bu karakteristikleri gösteren dizin kümeleri aşağıdaki şekilde tariflenmiştir.

$R = \{r | r=1, \dots, h\}$ Kalıp dizin kümesi

$\Pi = \{\pi | \pi=1, \dots, l\}$ Renk dizin kümesi

$\Lambda = \{\lambda | \lambda=1, \dots, o\}$ Ham madde dizin kümesi

İki ürünün birbiri ile ne kadar çok ortak karakteristiği varsa, hazırlık süresi o oranda kısalacaktır, ve bu iki ürünün aynı makinaya atanması o oranda hazırlık maliyetlerini düşürecektir. Hazırlık sürelerinin maliyetini hesaplamak için öncelikle, bir makinanın üretimde kullanılmadan bekletilmesinin maliyeti (kullanılmayan işçilik, elektrik ve işletme genel giderlerinden pay) belirlenmelidir. Örnek olarak türetilen problemde bir makinanın saatlik maliyeti (MSM) 15 avro/saat olarak kabul edilmiştir. İzleyen kesimde her bir ürün karakteristiğinin rolü incelenmiştir.

Kalıp Karakteristiği

Bir ürünün atandığı makinada üretilecek ürünlerden birisi ile ortak kalıp kullanması durumu dışında, kalıp bağlama süresi birlikte atandığı ürünlerden etkilenmemektedir. Yani, kalıp karakteristiği açısından bakılması gereken tek önemli nokta, birlikte seçildiği ürünle aynı kalıbı kullanıp kullanmadığıdır. Eğer f . ve g . ürünler için ortak kalıp kullanılıyorsa kalıp ayar süresi sıfır, kullanılmıyorsa, f . ya da g . kalıbın

bağlama süresine eşit olacaktır. Ürünlerin hangi sırada üretileceği kesin belirli olmadığından bu süre ilgili kalıplardan bağımsız olarak, tüm kalıpların ayar sürelerinin ortalaması (*KASO*) ya da enbüyük ayar süresi (*EBAS*) olarak alınabilir. Çünkü burada önemli olan kalıp değişikliği var ya da yok bilgisidir ve modelin mümkün olduğunca az kalıp değişikliği gerektiren çözümler üretebilmesi istenmektedir.

Örnek problemde kalıp bağlama süreleri sırasıyla 40, 80, 60, 60 dakika olarak kabul edilmiştir. Bu durumda $KASO = 1$ saattir.

Renk Karakteristiği

Birlikte aynı makinaya atanan iki ürün aynı renge sahiplerse renk değişikliği için gereken ayar süresi sıfır olacaktır. Ancak bir renk değişikliği gerekiyorsa ayar süresi ham madde haznesinin boşaltılması ve makina içinde kalmış olan renkli ham maddenin tamamen değişebilmesi için geçecek sürelerin toplamı olarak hesaplanabilecektir. Örnek problem için bu süreler Tablo 4'te, $(1-2)_R$ gösterimi 1. ve 2. renklerin aynı makinaya atandıklarında oluşacak kötümser ayar süresini göstermek üzere verilmiştir.

Ham madde karakteristiği

Birlikte aynı makinaya atanan iki ürün aynı ham maddeye sahiplerse ham madde değişikliği için gereken ayar süresi sıfır olacaktır. Ancak bir ham madde değişikliği gerekiyorsa ayar süresi, ham madde haznesinin boşaltılması ve makina içinde kalmış olan farklı yapıdaki ham maddenin tamamen değişebilmesi için geçmesi gereken sürelerin toplamı olarak hesaplanabilecektir. Örnek problem için bu süreler Tablo 4'te $(1-2)_H$ gösterimi, 1. ve 2. tip ham maddelerin aynı makinaya atandıklarında oluşturacakları kötümser ayar süresini göstermek üzere, verilmiştir.

Ham madde ve renk değişikliğinde yapılması gereken işlemler ortak olduğundan hem ham madde, hem renk değişikliği olduğu durumlarda toplam ayar süresi ham madde ve renk ayar sürelerinin toplamı kadar değil en uzununu hangisi ise o kadar olacaktır.

Tüm bu bilgiler ışığında, *f* ürünü ile *g* ürünü aynı makinaya birlikte atandıklarında oluşabilecek kötümser ayar maliyeti ($maliyet_{fg}$) aşağıdaki (8) nolu, q_{fg} parametresi de (9) nolu formülasyon ile hesaplanabilir.

Tablo 4: Örnek Problem İçin Toplam Maliyet Yaklaşımı ile Hesaplanan q_{fg} Parametre Değerleri

$(f \leq g)$	kalıp			renk		hammadde		enb		q_{fg}
	(g)	$(r-r)_K$	z_{fg}	$(\pi-\pi)_R$	süre _R	$(\lambda-\lambda)_H$	süre _H	süre _{R,H}	maliyet _{fg}	
1	1	1-1	0	1-1	0	3-3	0	0	0	135
1	2	1-2	1	1-2	1	2-3	3	3	60	75
1	3	1-3	1	1-3	3	1-3	4	4	75	60
1	4	1-4	1	1-2	1	2-3	3	3	60	75
1	5	1-4	1	1-1	0	1-3	4	4	75	60
2	2	2-2	0	2-2	0	2-2	0	0	0	135
2	3	2-3	1	2-3	2	1-2	8	8	135	0
2	4	2-4	1	2-2	0	2-2	0	0	15	120
2	5	2-4	1	1-2	1	1-2	8	8	135	0
3	3	3-3	0	3-3	0	1-1	0	0	0	135
3	4	3-4	1	2-3	2	1-2	8	8	135	0
3	5	3-4	1	1-3	3	1-1	0	3	60	75
4	4	4-4	0	2-2	0	2-2	0	0	0	135
4	5	4-4	0	1-2	1	1-2	8	8	120	15
5	5	4-4	0	1-1	0	1-1	0	0	0	135

$$maliyet_{fg} = (KASO z_{fg} + enb \{ (\pi^f - \pi^g)_R, (\lambda^f - \lambda^g)_H \}) \text{ MSM} \quad (8)$$

$$q_{fg} = enb_{f,g} \{ maliyet_{fg} \} - maliyet_{fg} \quad \forall f, g \in F \quad (9)$$

(8) ve (9) formüllerini kullanarak, Örnek problem için elde edilen maliyetler ve q_{fg} değerleri Tablo 4'te verilmiştir. Burada z_{fg} parametresi f ürün ile g ürün aynı kalıpla üretiliyorsa 0 farklı kalıpla üretiliyorsa 1 değerini almaktadır. Tablonun üçüncü satırı incelenecek olursa, 1. ürün ile 3. ürün ardı ardına üretildiğinde, kalıp değişimi gerekmektedir Bu nedenle $z_{13}=1$ 'dir. Renk değişimi için üç ve ham madde değişimi içinse dört saat gerekmektedir. Bu nedenle $enb \{ (\pi^f - \pi^g)_R, (\lambda^f - \lambda^g)_H \} = 4$ 'tür. $maliyet_{fg} = (1+4) 15 = 75$ ve $q_{fg} = 135 - 75 = 60$ olarak hesaplanmıştır.

2. q_{fg} parametrelerin sipariş bazına (q_{ij}) dönüştürülmesi.

Her siparişin hangi ürünü kapsadığı bilgisini kullanarak, Örnek problem için q_{ij} parametreleri belirlenmiş ve Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: Örnek Problem İçin Toplam Maliyet Yaklaşımı ile Hesaplanan q_{ij} Parametre Değerleri

$(i < j)$	(j)	q_{ij}
1	2	101
1	3	93
1	4	101
1	5	93
1	6	93
1	7	93
2	3	61
2	4	125
2	5	61
2	6	61
2	7	61
3	4	61
3	5	101
3	6	101
3	7	135
4	5	71
4	6	71
4	7	61
5	6	135
5	7	101
6	7	101

3. p_{jk} parametresinin hesaplanması

Tasarlanan örnek problem için, müşteriyi bir saat bekletmenin maliyeti 1500 avro kabul edilmiştir. O gün üretilmesi gereken bir işi çizelgeye almamak müşteriyi 24 saat bekletmek anlamına geleceğinden müşterinin o gün için istediği işlerin önceliği 24×1500 olarak belirlenmiştir. Müşterinin istediği tarihe kaç gün kaldığına bağlı olarak öncelik değerleri bu mantıkla hesaplanarak Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6: Toplam Maliyet Yaklaşımı İçin Öncelik Tablosu

Kalan gün	Öncelik _{kalangün}
0	24×1500
1	12×1500
2	6×1500
3	3×1500
4	1×1500
5+	0

Küçük boyutlu problem için hesaplanan parametre değerlerini kullanarak problem çözülmüş ve elde edilen çözüm sonuçları izleyen bölümde tartışılmıştır.

4. ÖRNEK PROBLEM ÇÖZÜMLERİ

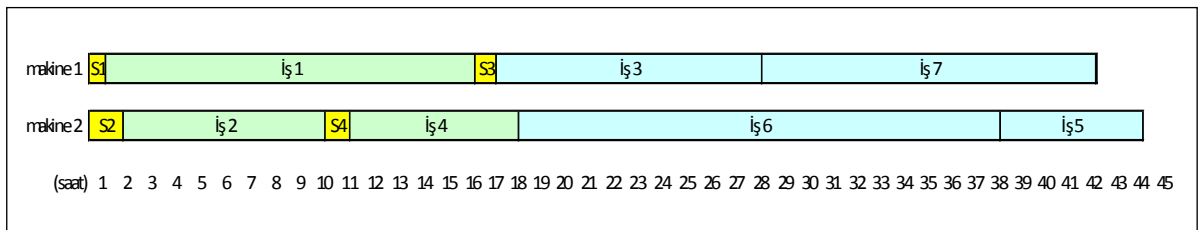
Önerilen modelin ve geliştirilen parametre tahmini yaklaşımlarının kıyaslanabilmesi için rassal olarak türetilen iki test problemi üzerinde denemeler yapılmıştır. Rassal test problemi türetilmesinin nedeni, görebildiğimiz kadarıyla literatürde ele alınan probleme tam olarak uyan test problemlerinin henüz tanımlanmamış olmasıdır. Bu amaçla, öncelikle problemi açıklamakta kullanılan yedi işli örnek problem, toplam maliyet yaklaşımı ile elde edilmiş olan parametre değerleri kullanılarak çözülmüş ve sonuçlar yorumlanmıştır. Ancak gerçek hayatta, çok daha büyük boyutlu problemlerle karşılaşılacağı açıktır. Bu nedenle 100 parça, 50 kalıp ve 10 makinanın olduğu gerçek hayat problemlerini daha iyi temsil edebilecek boyutta bir test problemi daha rassal olarak türetilmiş ve çözülmüştür. Çizelgelemenin

günlük olarak yapılması planlandığından, makina kapasiteleri 24 saat olarak belirlenmiştir. Türetilen test problemlerine ve türetme yöntemlerine www2.ogu.edu.tr/~tsarac internet adresinden erişmek mümkündür.

Test problemleri karma-tamsayı, doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılabilen GAMS/DICOPT çözücüsü ile HP6000 workstation üzerinde çözülmüştür. GAMS/DICOPT çözücüsü, konveks olmayan yapıdaki problemleri ele alabilmekte ancak eniyi çözümü garanti edememektedir (GAMS Solver Manual, DICOPT, 2009). Bu nedenle bu bölümde verilen sonuçlar belirlenen zaman sınırı içinde elde edilebilmiş eniyi değerleri göstermektedir. Bu çözümlerin problemlerin eniyi çözümleri olduğu garanti edilememektedir. Bu kapsamda, ilk olarak yedi

Tablo 7: Yedi İşli Örnek Problemin Verileri

iş.no	kalıp	Teslim zamanı (saat)	Üretim Süresi (saat)
1	1	24	15
2	2	48	8
3	3	72	11
4	4	48	7
5	4	96	6
6	4	48	20
7	3	144	14



Şekil 2. 7 İşli Problem İçin Gantt Şeması

işli problem çözülmüştür. Problemin verileri Tablo 7'de verilmiştir. Her bir makinanın kapasite değeri 45 saat olarak alındığında, $x_{1,1} = x_{2,2} = x_{3,1} = x_{4,2} = x_{5,2} = x_{6,2} = x_{7,1} = 1$ çözümünü 0,452 saniyede 10.4345 amaç fonksiyonu değeri ile elde edilmiştir. Elde edilen çözümün Gantt Şeması Şekil 2'de verilmiştir.

Yedi işli problem için elde edilen çözümde, 1. 3. ve 7. işlerin 1. makinarya, 2. 4. 5 ve 6. işlerin 2. makinarya atanması gerektiği sonucu elde edilmiştir. Dikkat edilirse, ortak kalıp kullanan işler aynı makinarya atanmış ve 4. işin 1. makinarya atanması tercih edilmiyor olmasıyla ve 1. işin 2. makinarya atanmaması özel kısıtları sağlanmıştır.

Şekil 2'den de görülebileceği gibi ortak kalıbı kullanan işler arka arkaya sıralandığından her kalıp sadece bir kez bağlanmıştır. Hiçbir işte gecikme olmamıştır.

Bu problemi makinalara tüm işlerin üretilmesine yetecek kapasite değerleri vererek bu şekilde çözmek mümkün olduğu gibi makine kapasitelerini 24 saat olarak çizelgeleme problemini günlük olarak çözmek de mümkündür. Bu ikinci yöntem bu süre zarfında yeni siparişler olursa onları da en kısa süre içinde göz önünde bulundurabilmeyi mümkün kılacaktır. Ayrıca, problemin boyutları da küçüleceğinden çözüm süresine olumlu bir yansımaları olacaktır da açıktır.

Tablo 8'de 100 işli problem için GAMS/DICOPT ile 13000 sn. (yaklaşık 3,6 saat) içinde elde edilebilen eniyi tamsayı çözümün amaç fonksiyonu değeri (z) ve çözüm süresi yer almaktadır.

Tablo 8'de görülebileceği gibi, 100 işli problem için DICOPT ile 13.000 saniye sonunda elde edilebilen eniyi amaç fonksiyonu değeri 2322,59'dur.

Tablo 8: 100 İşli Problem İçin Test Sonuçları

GAMS/DICOPT	
z	t (sn.)
2322.59	13000

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enjeksiyonla plastik parça üretimi, çok yaygın kullanılan bir üretim yöntemidir ve bu makinaların çizelgelenmesi problemi, paralel makina çizelgeleme probleminin özel bir halidir. Hem pratik hem de kuramsal açıdan önemli bir problem olan EMÇP'nin genellikle bir gün gibi kısa periyotlu olarak çözülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada klasik paralel makine probleminden farklı olarak işlerin makinalara atanabilmesi için ilgili kalıbın da aynı makinaya atanması gerektiği, işlerin ortak kalıp kullandıkları ve kalıp sayısının sınırlı olduğu durumların göz önünde bulundurulduğu EMÇP için bir ek kısıtları olan bir karesel çoklu sırt çantası modeli önerilmiştir. Önerilen modelin kullanması gereken parametrelerin değerlerinin belirlenmesine yönelik olarak da bir yaklaşım geliştirilmiştir. Önerilen modelin kullanılabilirliği yedi boyutlu küçük bir test problemi üzerinde gösterilmiştir. Gerçek hayat problemlerinin özelliklerine sahip 100 boyutlu bir örnek problem türetilerek önerilen modelin büyük boyutlu problemlerdeki başarısı araştırılmıştır. 100 işli problem için, GAMS/DICOPT ile 13.000 sn. içinde uygun bir çözüm elde edilmiştir. Bu model ve GAMS/DICOPT çözücüsünü kullanarak yaklaşık 100 sipariş, 10 makine ve 50 kalıbın olduğu işletmelerin problemlerini çözmek mümkün olabilecektir. Ancak gerçek hayatta daha büyük boyutlu problemlerle karşılaşmak mümkündür. Problemin doğası gereği çok büyük boyutlu problemleri kesin çözüm yöntemlerini kullanarak makul sürelerde çözmek mümkün değildir. Büyük boyutlu zor problemlere kısa sürede uygun bir çözüm bulabilmek için çoğu kez sezgisel yöntemler kullanılır. Nitekim 500 sipariş, 300 kalıp ve 40 makina büyüklüğündeki bir örnek problem için genetik

algoritma kullanılarak 15 dakikanın altında uygun bir çözüm bulunabileceği Saraç (2007) tarafından gösterilmiştir. Sonuç olarak, 100 işli problemlere kadar bu çalışmada önerilen yaklaşımın kullanılması, daha büyük boyutlu problemler için sezgisel yaklaşımların düşünülmesi önerilir.

KAYNAKÇA

1. Allahverdi, A., Ng, C.T., Cheng, T.C.E., Kovalyov, M.Y. 2008. "A Survey of Scheduling Problems with Setup Times or Costs ", European Journal of Operational Research, 187, 985-1032.
2. Chang, P.C., Chen, S.H., Lin, K.L. 2005. "Two Phase Sub Population Genetic Algorithm for Paralel Machine-Scheduling Problem", Expert System with Applications, 29, 705-712.
3. Dastidar, S.G., Nagi, R. 2005. "Scheduling Injection Molding Operations with Multiple Resource Constraints and Sequence Dependent Setup Times and Costs", Computers & Operations Research, 32, 2987-3005.
4. French, S. 1982. Sequencing and Scheduling: An Introduction to the Mathematics of the Job Shop, John Wiley & Sons, New York.
5. GAMS Solver Manual: DICOPT, 2009. <http://www.gams.com/dd/docs/solvers/dicopt.pdf>, Son erişim tarihi: Haziran 2009.
6. Pinedo, M. 2002. Scheduling Theory, Algorithms, and Systems, Prentice Hall, New Jersey.
7. Saraç, T. 2007. Genelleştirilmiş Karesel Çoklu Sırt Çantası Problemi İçin Melez Bir Çözüm Yaklaşımı, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
8. Tanev I.T., Uozumi T., Morotome Y. 2004. "Hybrid Evolutionary Algorithm-based Real-World Flexible Job Shop Scheduling Problem: Application Service Provider Approach", Applied Soft Computing, 5, 87-100.
9. Zhu, X., Wilhelm W.E. 2006. "Scheduling and Lot Sizing with Sequence-Dependent Setup: A Literature Review", IIE Transactions, 38, 987-1007.