

KARMA MODELLİ MONTAJ HATTI Dengeleme ve İşgücü Atama Problemi İçin Yeni Bir Yaklaşım

A New Approach For Mixed Model Assembly Line Balancing And Worker Assignment Problem

Yusuf KUVVETLİ
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Rızvan EROL
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Bu çalışmada geleneksel montaj hattı dengeleme problemine ek olarak işgücü faktörünün göz önüne alındığı bir montaj hattı düşünülmüştür. Montaj hattı dengeleme ve işgücü atama problemi olarak tanımlanan problem için örnek problemler ve literatürden alınan 58 işlemlerli bir problem çözülmüştür. Karma modellenli, deterministik işlem süreli ve çevrim süresi önceden bilinen montaj hatları için, çok becerili işgücü olması durumu için problem tanımlanmıştır. Analitik çözüm yaklaşımları incelenmiş ve tamsayı programlama tekniğiyle problemler çözülmüştür. Modelin farklı koşullar altındaki davranışlarının incelenmesi için senaryo analizi yapılmıştır. Çevrim süresinin modele etkisi ve işgücü beceri grup sayısının modele etkisi senaryo analiziyle irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Karma modellenli montaj hattı dengeleme, İşgücü atama, Tamsayı Programlama.

ABSTRACT

In this study, an assembly line was considered which has workforce effect in addition to simple balancing problem. The problem which is defined as assembly line balancing and worker assignment problem, was tested two example problems and was applied a problem been in literature which has 58 operations. The problem was defined for an assembly line which has mixed model, deterministic operation times, known cycle time and multi skill workforce. Analytical approaches were investigated and the problems were solved by integer programming methods. For discovering behaviors of mathematical model were analyzed to scenario analysis under different conditions. Effect of cycle time length and workforce skill numbers were examined by scenario analysis.

Key Words: Mixed-model assembly balancing, Worker Assignment, Integer programming

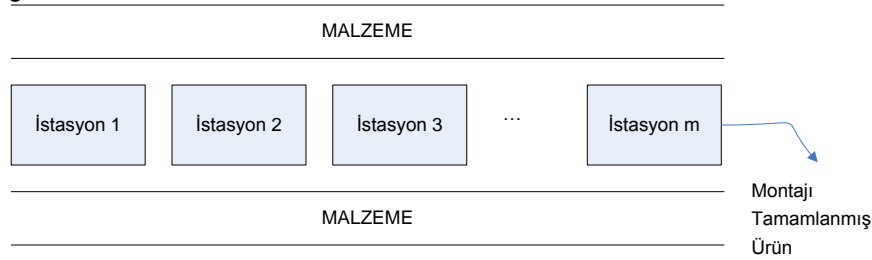
Giriş

Montaj hatları, otomotiv sanayinde Henry Ford tarafından geliştirilen ve bir ürünün her bir parçasının belirli istasyonlarda ürüne monte edilmesiyle hattın başında yarı mamul olan ürünün hattın sonunda ürün olarak fabrikadan çıktığı üretim hatlarıdır. Otomotiv ve uçak sanayi gibi parça sayısı on binlerce olan

* Yüksek Lisans Tezi-MSc. Thesis

sektörlerde düşük maliyette üretim yapmak için montaj hatlarının kullanımı kaçınılmaz olmuştur.

Montaj hattı; malzemelerin bir hat boyunca işgücü yardımıyla ya da otomatik olarak transfer edilmeleri ve parça üzerindeki işlemlerin de bir hat boyunca sıralı iş istasyonlarında yapılması olarak tanımlanabilir. Bir üretim montaj hattı, seri durumda iş istasyonlarından oluşur. Bu istasyonlar bir ya da daha fazla makine ve işçiden oluşur. (Yılmaz, 2006) Şekil 1'de örnek bir montaj hattı görülmektedir.



Şekil 1. Örnek Bir Montaj Hattı

Montaj hatları; işin yapısına göre, model sayısına göre, taşıma sistemlerine göre ve işlem zamanlarına göre sınıflandırılabilir. (Çakır, 2006)

Çalışma kapsamında; belirli yeteneklere sahip takımlardaki işgücünün bulunduğu karma modelli montaj hatları için, dengeleme ve her istasyonda çalışacak çok becerili işgücü sayısını belirlemeyi aynı anda yapan bir problem tanımlanmıştır.

Bir istasyonda birden fazla işgücünün takımlar halinde çalışabildiği montaj hatları Bukchin ve ark. (1997) tarafından dengelenmiştir. Bukchin ve Masin (2004) tarafından yapılan çalışmada geliştirilen yaklaşımın farklı amaçlar için çözülmesi sağlanmıştır. Grup çalışmasının düşünüldüğü Dimitriadis (2006) tarafından yapılan çalışmada, tek becerili işgücü olması ve her bir istasyonda grup çalışmasının olduğu montaj hatları dengelenmiştir. Song ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada da çok becerili işgücü olması durumu incelenmiştir.

Montaj hattı dengeleme ve işgücü atama problemi Miralles ve ark. (2007) tarafından tanımlanmıştır. Her bir istasyonda çalışabilen tek işgücü olması durumu ve tek ürün modeli için problem tanımlanmıştır. Problem kümeleyerek arama (Clustering Search) yaklaşımıyla Chaves ve ark. (2009) tarafından çözülmüştür. Problemden işçilerin istasyonlar arasında rotasyon yapabildiği durum Costa ve Miralles (2009) tarafından incelenmiştir. İşçilerin işleri tamamlama süresindeki değişiklikler Moreira ve Costa (2009) tarafından irdelenmiştir.

Materyal Ve Metod

Materyal

Çalışma kapsamında tanımlanan problemin test edilmesi için iki örnek problem kullanılmıştır. İlk örnek problem, Askin ve Standridge (1993) tarafından yapılan çalışmadan alınan 12 işlemlilik tek modelli bir montaj hattıdır. İkinci örnek problem, Miralles ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada verilen 18 işlemlilik tek

modelli bir montaj hattıdır. Problemlerin karma modeli olabilmesi için 4 modeli olarak kabul edilip, modellerin içereceği işlemler rastgele atanmıştır.

Çalışmada ana materyal olarak, 58 işleme ve tek modele sahip www.assembly-line-balancing.de adresinden alınan Warnecke isimli veri seti kullanılmıştır. Veri setinde bulunmaması sebebiyle veri setinin öncelik diyagramı bütünleşik öncelik diyagramı kabul edilmiştir. Buna ek olarak 3 olarak belirlenen model türü için işlemlerin gerekli olduğu model türleri değerleri rastgele olarak dağıtılmıştır.

Metod

Problemin Karakteristiği

Çalışma kapsamında montaj hattı probleminde işgücü durumu incelenmiştir. İncelenen montaj hattı aşağıdaki karakteristiklere sahip olarak tanımlanmıştır:

- i. Montaj hattı karma modelidir:* Karma modeli montaj hatları aynı anda birden fazla ürün modelinin üretilebildiği montaj hatlarıdır.
- ii. İncelenen montaj hattı düz hattır:* Montaj hattının fiziksel yerleşimine bakıldığında düz montaj hattı olduğu düşünülmüştür.
- iii. Deterministik işlem süreleri vardır:* Montaj hattı dengeleme problemlerinde genellikle işlem süreleri deterministik olarak alınır.
- iv. Çevrim süresi bilinmemektedir:* Çalışma kapsamında önceden belirlenmiş bir çevrim süresi için montaj hattı dengelenmeye çalışılacaktır.

Çalışmada göz önüne alınan işgücü faktörü için tanımlanan problemin karakteristiği aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

- i. Belirli sayıda beceri grubu bulunmaktadır:* Problemden farklı becerilere sahip bilinen sayıda işgücü takımları bulunmaktadır.
- ii. Farklı beceri grupları, farklı istasyonlarda çalışabilmektedir:* Farklı becerilere sahip işgücü aynı istasyonda çalışabilir. Bununla birlikte bir işgücü takımının üyeleri farklı istasyonlarda da çalışabilmektedir.
- iii. Her çalışan işgücü sadece bir istasyonda çalışabilmektedir:* İşçiler yalnız bir istasyona atanarak ve istasyon içi yardımlara izin verilerek çalışmaktadır.
- iv. Her çalışan işgücü sadece bir beceri için çalışabilmektedir:* Birden fazla beceriye sahip olması durumunda, işgücü sadece bir becerisi için çalışabilecektir.

Problemden Kullanılan Varsayımlar

Problemden kullanılan varsayımlar şunlardır:

- i. Her bir işçinin yapabileceği işler önceden bilinmemektedir:* Bazı uzmanlık gerektiren işler (boyama, kaynak yapma vs.) belirli işçi ya da işçi grupları tarafından yapılabileceğinden, her işçinin uzmanlık alanları göz önüne alınarak problem çözülecektir.
- ii. İşçilerin öğrenme özelliği bulunmamaktadır:* Öğrenme özelliği, bir işçinin yaptığı işi zaman içinde öğrenerek daha kısa sürede yapmasıdır.

- iii. *İşlem süreleri birbirinden bağımsızdır:* Birbiriyle ardışık iki işlemin süresinin birbirinden bağımsız olduğu varsayılmıştır.
- iv. *Farklı modellerde işlem süreleri, aynı işlemler için her modelde aynıdır:* Farklı modeller ortak işlemlere sahip olabilmektedir.
- v. *Farklı modellerde aynı önceliğe sahip farklı işler vardır:* Bu çalışmada, modeller arasındaki farklılıkların, yapılacak işlemler arasında farklılık olabileceği varsayılmıştır.

Matematiksel Programlama Modeli

$i=1\dots n$, işlemler,
 $j=1\dots m$, istasyonlar,
 $k=1\dots l$, model türleri,
 $b=1\dots w$, beceri grupları.

Problemde n tane işlem bulunmaktadır. Atanabilecek maksimum m tane istasyon bulunmaktadır. L farklı model ve w farklı beceri grubu bulunmaktadır.

$$X_{ikj} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } k. \text{ model için } i. \text{ işlem, } j. \text{ istasyonda yapılıyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (1.)$$

$$K_j = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } j. \text{ istasyona en az bir işlem atanmışsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (2.)$$

$$L_{bj} = j. \text{ istasyona } b. \text{ beceride atanan işgücü sayısı} \quad (3.)$$

1-3 arasındaki eşitliklerde matematiksel programlama modelinde kullanılan değişkenle bulunmaktadır. 1'de verilen X değişkeni işlemlerin istasyonlara atanmasını sağlayan değişkendir. Karma modelli çalışma düşünüldüğünden hangi işlemin hangi model için hangi istasyonda yapılacağı sorusuna cevap aranmaktadır. X değişkeni sayesinde bu sorulara cevap bulunmaktadır. Problemin amacı en küçük istasyon maliyeti dolayısıyla istasyon sayısına ulaşmaktır. Bu nedenle 2'de K değişkeni tanımlanmış olup başlangıçta tanımlanan m istasyonun kullanım durumuna karar veren değişkendir. Eğer bir istasyona herhangi bir model için herhangi bir işlem atandıysa o istasyonun kullanıldığını gösterir. Her bir istasyona her bir beceri türü için ne kadar işçi atanacağı problem için ayrı bir karar değişkenidir. İşgücü maliyetini oluşturan işgücü sayısı 3.'de verilen L değişkeni ile bulunmaktadır.

$$Z_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } i. \text{ işlem } k. \text{ ürün türü için gerekliyse} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (4.)$$

$$Y_{ib} = \begin{cases} 1, & \text{Eğer } i. \text{ işlem } b. \text{ beceri grubunu gerektiriyorsa} \\ 0, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (5.)$$

$$t_i = i. \text{ işlem süresi (Zaman Birimi)} \quad (6.)$$

$$C_{istasyon} = \text{İstasyon kurma maliyeti (TL/istasyon)} \quad (7.)$$

$$C_{işgücü} = \text{Birim işgücü maliyeti (TL/kişi*ay)} \quad (8.)$$

$$P = \text{Bütünleşik öncelik matrisi} \quad (9.)$$

$$L_j^{maks} = \text{Her bir istasyonda çalışabilecek maksimum işgücü sayısı} \quad (10.)$$

$$L_b^{maks} = \text{Her beceri grubunda çalışabilecek en fazla işgücü sayısı} \quad (11.)$$

A=İşgücü beceri tablosundan elde edilen beceri grupları için atanabilecek maksimum işgücü sayısı (12.)

4-12 arasındaki eşitliklerde matematiksel programlama modelinde kullanılan parametreler görülmektedir. Modeller arasındaki farklılıkların işlemler olması varsayımından dolayı 4'de tanımlanan Z değerleri her bir model için hangi işlemlerin yapılacağını göstermektedir. 5'te tanımlanan Y değişkeni her işlemin ihtiyaç duyacağı beceri gereksinimlerini göstermektedir. 6'da tanımlanan işlem süresi her bir iş için deterministik olup modeller arasında değişiklik göstermemektedir. 7 ve 8'de tanımlanan maliyetler amaç fonksiyonunda kullanılacak katsayılardır. Maliyetlerle ilgili olarak tüm işgücü için birim maliyetin ortak olduğu ve tüm istasyonlar için birim maliyetin ortak olduğu söylenebilir. 9'da tanımlanan öncelik ilişkileri; tüm modellerdeki işlemlerin göz önüne alındığı bütünlük öncelik matrisinde, matris elemanları 0 veya 1 değerini almaktadır. 0 değeri bulunduğu satır ve sütun elemanı arasında öncelik bulunmadığını, 1 değeri ise, bulunduğu satırın sütun işleminden önce yapılması gerektiğini gösterir. Matris tanımlanırken öncelik diyagramındaki direkt ve dolaylı öncelikler birlikte göz önüne alınır. Her bir istasyonda alan kısıtlaması olduğundan, birbiriyle sorun yaşamadan çalışabilecek işgücü sayısı ön tanımlı olarak 10'da verilmiştir. Her bir beceri grubundan mevcut durumda atanabilecek maksimum işgücü sayısı 11'de tanımlanmıştır. 12'de verilen A bir küme olarak düşünülmüştür. A, tüm beceri grupları kombinasyonlarını ifade etmektedir. Mevcut durumda montaj hattında görev alabilecek işgücü sayıları ve işgücünün becerileri bilinmektedir. Bir işgücünün iki farklı beceri için görevlendirilmemesi adına tüm beceri gruplarının kombinasyonları için atanabilecek maksimum işgücü sayısı toplamları A kümesinde tutulmaktadır. Bu sayede eldeki işgücü miktarlarının aşılması ve aynı işçinin iki farklı beceri için atanabilir olmaması sağlanacaktır.

$$\min z = C_{istasyon} * \sum_{j=1}^m K_j + C_{işgücü} * \sum_{b=1}^w \sum_{j=1}^m L_{bj} \quad (13.)$$

$$\sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^n X_{ikj} * Z_{ik} \leq M * K_j, \quad j=1...m, \quad (14.)$$

$$\text{Her } Z_{ik}=1 \text{ için } \sum_{j=1}^m X_{ikj} * Z_{ik} = 1, \quad i=1...n, k=1...l, \quad (15.)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ikj} * Y_{ib} * Z_{ik} * t_i \leq C * L_{bj}, \quad j=1...m, k=1...l, b=1...w, \quad (16.)$$

$$\sum_{b=1}^w L_{bj} \leq L_j^{maks}, \quad j=1...m, \quad (17.)$$

$$\sum_{j=1}^m L_{bj} \leq L_b^{maks}, \quad j=1...m, \quad (18.)$$

$$\sum_{j=1}^m L_{bj} + L_{rj} \leq A_{br},$$

$$\sum_{j=1}^m L_{bj} + L_{rj} + L_{gj} \leq A_{brg},$$

...

$$\sum_{b=1}^w \sum_{j=1}^m L_{bj} \leq A_{123..w}, \quad (19.)$$

$$\sum_{j=1}^m j * X_{ikj} \leq \sum_{j=1}^m j * X_{rkj}, \quad i=1...n, r=1...n, k=1...l, \text{ her } Z_{ik}=1, Z_{rk}=1 \text{ ve her } (i,r) \in P \quad (20.)$$

Eşitlik 13'de verilen matematiksel modeldeki amaç fonksiyonu, toplam maliyetin minimize edilmesidir. Toplam maliyet, işgücü maliyetleri ile kullanılan istasyonların maliyetinin toplamı olarak tanımlanmıştır. İşgücü maliyetleri, tüm beceri grupları için tüm istasyonlarda kullanılan işgücü sayısı ile birim işgücü maliyetinin çarpımıdır. Modellemede kolaylık olması açısından işgücü maliyeti tüm

beceri grupları için eşit olarak düşünülmüştür. Kullanılan istasyonların maliyeti, bilinen çevrim süresi için kullanılan istasyon sayısının toplamı ile birim istasyon kullanma maliyetinin çarpımı ile hesaplanmaktadır. Kullanılan istasyonların maliyetinin en küçüklenmesi ile minimum istasyon sayısına ulaşılabilecektir.

14'te kullanılan istasyon sayısının hesaplanmasını sağlayan kısıt verilmiştir. Eğer bir istasyona herhangi bir ürün türü için herhangi bir iş atanmışsa o istasyon için kullanım değişkeni K , 1 değerini alarak istasyon sayısının ölçülmesini sağlayacaktır. Burada kullanılan M toplam iş zamanının 1.5 katı olarak belirlenen sayı olarak tanımlanmıştır. K değişkeninin 1 değerini alması ile M sayısı kısıtın açılmasını sağlayarak istasyona işlerin atanmasını sağlayacaktır.

Eşitlik 15'te verilen kısıt, her tür ve her iş için gerekli olan tüm işlerin mutlaka ve yalnızca bir istasyona atanmasını sağlayan kısıttır.

Eşitlik 16'da verilen kısıt, her bir beceri grubu, ürün türü ve istasyon için atanacak tüm işlerin çevrim süresi ile istasyona atanacak işgücü sayısını geçmemesini sağlayan kısıttır.

Eşitlik 17'de verilen kısıt, her bir istasyonda birbirleriyle uyum içerisinde aynı anda çalışabilecek maksimum işgücü sayısını belirleyen kısıttır.

Eşitlik 18'de her bir beceri grubu için, işgücü beceri çizelgesinden elde edilen maksimum değer kadar atama yapılabilmesini sağlayan kısıt verilmiştir.

Eşitlik 19'da verilen kısıtın amacı, tüm beceri gruplarının kombinasyonları için atanabilecek işçi sayılarının toplamının beceri çizelgesinden elde edilen toplamları geçmemesini sağlamaktır. Aynı anda birden fazla beceriye sahip olan işgücü olması durumunda bu işgücü yalnızca bir beceri grubu için çalışabilecektir. Bu kısıt ile işgücü beceri tablosundaki kesişimler göz önüne alınarak işgücünün aynı anda birden fazla beceri için atanmaması sağlanmıştır.

Eşitlik 20'de verilen kısıt, eğer i ve r işleri arasında öncelik ilişkisi var ise öncelikli işin diğer işten daha önce atanmasını sağlayan kısıttır.

Ek Kısıtlamalar:

Gerçek uygulamalar düşünüldüğünde, her işlemin belirli istasyonlarda yapılabileceği görülmektedir. Bu durum; işlemin belirli istasyonlarda yapılabilecek teçhizata ihtiyaç duyması, işlemler arasındaki öncelik ilişkileri gibi nedenlerden kaynaklanabilmektedir. Bu nedenle çözüm yaklaşımında işlem sayısının çok fazla olması durumunda, problemin çözümünü basitleştirmek için gereksiz sayılabilecek değişkenler elimine edilmiştir.

Araştırma Bulguları Ve Tartışma

Matematiksel Programlama Modelinin Çözümü

Oluşturulan matematiksel programlama modeli için parametreler ve sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

12 işlem süreli test problemi için 4 beceri sayısı ve 4 model olması durumu düşünülmüştür. 3 istasyonun, 5 işgücünün kullanılması ve 325 toplam maliyet değeriyle bulunan optimum çözüm değeri için hat verimi değerleri yaklaşık %80 olarak hesaplanmıştır. Model 4 için işlem sayısının az olması nedeniyle verim değeri %70'e yakın olarak hesaplanmıştır. 18 işlem süreli test problemi için 4

beceri sayısı ve 4 model olması durumu düşünülmüştür. 5 istasyonun, 9 işgücünün kullanılması ve 545 toplam maliyet değeriyle bulunan optimum çözüm değeri için hat verimi değerleri yaklaşık %70 olarak hesaplanmıştır. İşlem sayısındaki artış modeller arasında verim değerlerinin yaklaşmasında faydalı olmuştur. 58 işlem süreli problem için 4 beceri sayısı ve 3 model olması durumu düşünülmüştür. 9 istasyonun, 27 işgücünün kullanılması ve 720 toplam maliyet değeriyle bulunan optimum çözüm değeri için hat verimi değerleri yaklaşık %85 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Farklı problemler için parametreler ve sonuçlar

	<i>Askin ve Standridge (1993)</i>	<i>Miralles ve ark. (2007)</i>	<i>Warnacke</i>
<i>İşlem Sayısı</i>	12	18	58
<i>Çevrim Süresi</i>	46	200	53
<i>Beceri Sayısı</i>	4	4	4
<i>Model Sayısı</i>	4	4	3
<i>Amaç Fonksiyonu</i>	325	545	720
<i>Kullanılan İstasyon Sayısı</i>	3	5	9
<i>Kullanılan İşgücü Sayısı</i>	5	9	27
<i>Model 1 için Hat Verimi</i>	0.79	0.70	0.84
<i>Model 2 için Hat Verimi</i>	0.81	0.72	0.86
<i>Model 3 için Hat Verimi</i>	0.81	0.73	0.85
<i>Model 4 için Hat Verimi</i>	0.67	0.74	-

Çözüm Süresi ve Hesaplama Karmaşıklığı Analizi

Geliştirilen tamsayılı programlama yaklaşımının çözüm süresi ve hesaplama karmaşıklığı, modelde kullanılan değişkenlerin ve kısıtların sayısına bağlı olarak değişmektedir. Değişken ve kısıt sayısı arttıkça modelin çözüm süresi de artmaktadır. Buna göre modelin çözüm süresini etkileyecek değişkenlerin ve kısıtların indislere bağlı olarak değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2'de görülen değişken sayıları için hesaplama karmaşıklığı analizi sonucunda $j(ik+1)$ formülünden hesaplanacak ikili değişken ve ib formülünden hesaplanacak tamsayı değişkenin bulunduğu görülmektedir. Bu sayı işlem süresi, model sayısı, istasyon sayısına ve beceri sayısına bağlı olduğundan dolayı indislerin yüksek değerler alması durumunda değişken sayısı hızla artacaktır. Kısıt sayısı için hesaplama karmaşıklığı analizi sonucunda $j(kb+2)+b(b+1)+ik(i+1)$ formülünden hesaplanacak kısıt sayısı bulunmaktadır. İndislerdeki değerlerdeki değişim kısıt sayısını hızla arttıracaktır.

Örneğin işlem sayısının 100, potansiyel istasyon sayısının 25, model sayısının 6 ve beceri sayısının 5 olduğu durumda değişken sayısı 15525, kısıt sayısı 61430 olarak hesaplanmaktadır. Bu durum büyük boyutlu problemlerin çözüm süresinin uzamasına neden olmaktadır.

Çizelge 2. Hesaplama karmaşıklığı analizi

Değişkenler	i	j	k	b	Toplam Değişken Sayısı
X	i	j	k		ijk
K		j			j
<i>Toplam İkili Değişken</i>					<i>j(ik+1)</i>
L	i			b	ib
<i>Toplam Tamsayı Değişken</i>					<i>ib</i>
Kısıtlar	i	j	k	b	Toplam Kısıt Sayısı
İstasyon sayısı kısıtı		j			j
Her işin bir istasyona atanması kısıtı	i		k		ik
Çevrim süresi kısıtı		j	k	b	jk b
Maksimum işgücü toplamı kısıtı		j			J
Maksimum beceri toplamı kısıtı				b	B
Beceri grup kombinasyonlarının toplamı kısıtı				b ²	b ²
Öncelik ilişkisi kısıtı	i ²		k		i ² k
<i>Toplam kısıt sayısı</i>					<i>j(kb+2)+b(b+1)+ik(i+1)</i>

Senaryo Analizlerinin Yapılması

Senaryo 1- Çevrim Süresinin Modele Etkisi

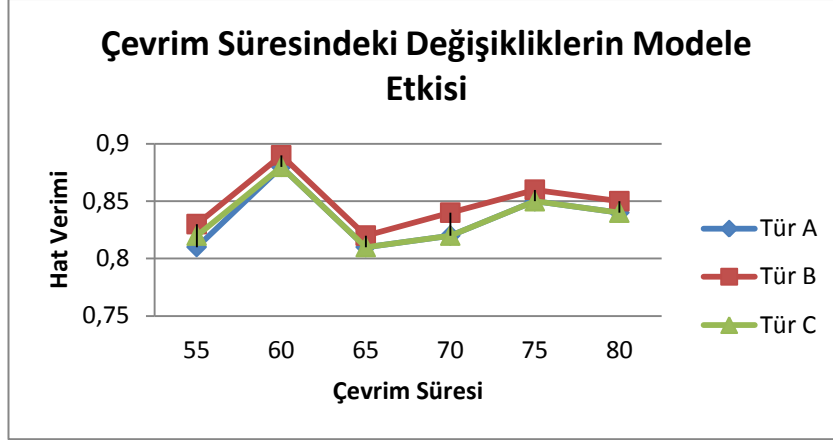
Çalışma kapsamında mevcut durumda 58 işlem için çözülen Montaj Hattı Dengeleme ve İşgücü Atama Problemi için modelin farklı koşullarda vereceği sonuçlar incelenmiştir.

İstasyon sayısının en küçük olması istenen Tip-1 MHD problemi için çevrim süresi sabit olarak modele girilmektedir. Çevrim süresinin eldeki tüm işlerin görev zamanlarından büyük olması gerekir. Bu sayede, tüm işlemler bölünmeden tek bir istasyonda yapılabilir. Çevrim süresi mevcut durumda en büyük görev zamanı olan 53 değeri için çözülmüştür. Çevrim süresi için 55, 60, 65, 70, 75 ve 80 değerleri için kurulan matematiksel model yeniden çözüldüğünde elde edilen amaç fonksiyonu Çizelge 3'de verilmiştir. Artan çevrim süresi sonucunda toplam maliyetin azalmaktadır.

Çizelge 3. Amaç fonksiyonu değerleri

Çevrim Süresi	55	60	65	70	75	80
Amaç Fonksiyonu Değeri	720	630	630	610	540	530

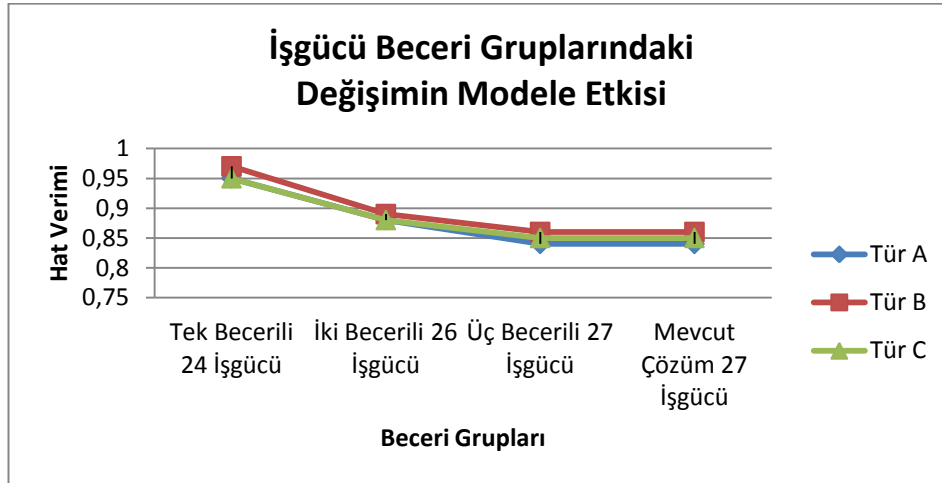
Çevrim süresindeki değişiklik hat verimini olumlu olarak etkilemekle birlikte çevrim süresindeki artışın devam etmesi Şekil 2'de görüldüğü gibi hat veriminde azalışa neden olmaktadır.



Şekil 2. Çevrim süresindeki değişikliğin hat verimine etkisi

Senaryo 2- İşgücü Beceri Gruplarındaki Değişikliklerin Modele Etkisi

Problemlerle kullanılan işlemler ile işgücü becerileri arasındaki ilişkinin modele olan etkisi incelenmiştir. Becerilerdeki değişkenlik istasyonlara fazla işgücü atamasına yol açabileceği düşünülmüş ve tek becerili, iki becerili ve üç becerili işgücü olması durumunda modeldeki değişkenlik incelenmiştir. Beceri grup sayısındaki değişimin amaç fonksiyonu ve hat verimine etkinse bakıldığında, Şekil 3'de görüldüğü gibi beceri sayısı arttıkça hat verimi azalmaktadır. Azalan hat verimine ek olarak toplam maliyette artan beceri grup sayısı birlikte artmaktadır.



Şekil 3. İşgücü beceri alternatiflerinin karşılaştırması

Sonuç Ve Öneriler

Çalışma kapsamında oluşturulan tamsayılı programlama yöntemiyle geliştirilen matematiksel model ILOG OPL STUDIO programıyla modellenmiş ve çözülmüştür. Yapılan çalışmadan elde edilen genel sonuçlar şunlardır:

- i. Montaj hattı dengeleme problemine ek olarak işgücü faktörü düşünülerek dengeleme yapılan Montaj Hattı Dengeleme ve İşgücü Atama Problemi (MHDİAP) düşünülmüştür.
- ii. Karma modeli, çevrim süresi bilinen ve deterministik işlem sürelerine sahip bir montaj hattı düşünülmüştür.
- iii. Çok becerili ve bir istasyonda birden fazla kişinin çalışabildiği işgücü koşulları göz önüne alınmıştır.
- iv. 58 işleme sahip bir montaj hattı için geliştirilen model çözülmüştür. İşgücündeki değişkenliğin çok olduğu ve uzmanlık gerektiren montaj hatlarında geliştirilen yaklaşımın uygulanmasının hattın dengelenmesinde fayda sağlayacağı görülmüştür.
- v. İki senaryo analiziyle modelin farklı durumlardaki davranışları gözden geçirilmiştir. Buna göre ilk senaryoda çevrim süresinin beş farklı değerleri için modelin tepkileri incelenmiştir. İkinci senaryoda işlerin beceri gereksinimleri göz önüne alınmıştır. Mevcut durumda 4 beceri grubu için çözülen model; 1,2 ve 3 beceri grubunun olması durumu düşünülerek yeniden çözülmüştür. Senaryo analizinde toplam maliyet ve hat verimi değerleri göz önüne alınarak anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

Mevcut çalışmaya ek olarak gelecek çalışmalar için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

- i. Farklı amaçlar için problem yeniden çözülebilir. Örneğin sabit istasyon sayısı için çevrim süresini en küçükleyecek şekilde problem çözülebilir.
- ii. Problem çok amaçlı olarak maliyeti minimize etmeye ve verimi maksimize etmeye yönelik olarak yeniden tasarlanabilir.
- iii. Problem farklı montaj hatlarında uygulanabilir. Bu sayede işgücü beceri gereksinimi yüksek olan montaj hatları ile düşük olan montaj hatları karşılaştırılarak anlamlı sonuçlar elde edilebilir.
- iv. Beceri grup sayısının ve işlem sayısının çok yüksek olduğu montaj hatları için uygulamalar yapılarak modelin vereceği tepkiler incelenebilir.
- v. İşlem zamanlarının stokastik veya bulanık olarak tanımlandığı bir montaj hattı için problemin çözümü bulunabilir. Bu sayede problemin gerçek sanayi uygulamalarına yakınlığı sağlanmış olacaktır.
- vi. Montaj hattı dengeleme çalışmaları hatta veya üründe meydana gelecek yeni bir değişiklik olması durumunda yeniden tekrarlanmalıdır.
- vii. Yüksek işlem sayılı problemlerin çözümü için sezgisel bir yaklaşım geliştirilerek çözüm süresi hızlandırılabilir ve problemin gerçek sanayi uygulamalarına karşı daha hızlı çözüm geliştirmesi sağlanabilir. Bu sayede bir karar destek sistemi tasarlanabilir ve hat tasarımından sorumlu uzmanın karar vermesi kolaylaştırılabilir.

Kaynaklar

- ASKİN R.G. ve STANDRIDGE C.R., 1993, Modelling and Analysis of Manufacturing Systems, John Wiley & Sons Inc., sf 40-42.
- BUKCHİN J., DAREL E. ve RUBINOVITZ J., 1997, Team-Oriented Assembly System Design: A New Approach, Int. J. Production Economics 51 (1997) 47-57.
- BUKCHİN J. ve MASIN M., 2004, Multi-Objected Design of Team Oriented Assembly Systems, European Journal Of Operational Research 156 (2004) 326-352.
- CHAVES A.A., LORENA L.A.N, MIRALLES C., 2009, Hybrid Metaheuristic for the Assembly Line Worker Assignment and Balancing Problem, M.J. Blesa et al. (Eds.): HM 2009, LNCS 5818, pp. 1–14, 2009.
- COSTA A.M. VE MIRALLES C., 2009, Job Rotation in assembly lines employing disabled workers, Int. J. Production Economics 120 (2009) 625–632
- ÇAKIR B., 2006, Stokastik İşlem Zamanlı Montaj Hattı Dengeleme İçin Tavlama Benzetimi Algoritması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- DIMITRIADIS S.G., 2006, Assembly line balancing and group working : A heuristic procedure for workers' groups operating on the same product and Workstation, Computers & Operational Research 33 (2006) 2757-2774
- MIRALLES C., GARCÍA J.P., ANDRES C. ve CARDOS M., 2007, Branch and Bound Procedures for solving the Assembly Line Worker Assignment and Balancing Problem. Application to Sheltered Work Centres for Disabled., Discrete Applied Mathematics (special issue of CO 2004 Conference,Lancaster).
- MOREIRA M.C. DE O., COSTA A.M., 2009, A minimalist yet efficient tabu search algorithm for balancing assembly lines with disabled workers, XLI SBPO 2009 - Pesquisa Operacional na Gestão do Conhecimento
- SONG B.L., WONG W.K., FAN J.T. VE CHAN S.F., 2006, A recursive operator allocation approach for assembly line-balancing optimization problem with the consideration of operator efficiency, Computers & Industrial Engineering 51 (2006) 585-608
- YILMAZ M.M., 2006, Bulanık Operasyon Zamanlı Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Problemi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- www.assembly-line-balancing.de