

BİR OTOMOTİV YAN SANAYİ FİRMASINDA TEK MODELLİ VE KARIŞIK MODELLİ MONTAJ HATTI Dengeleme Problemi

A. Yurdun ORBAK*, Tülin GÜNDÜZ CENGİZ, İlkyay ULUSOY, H. Kurtuluş AKGÖZ, Merve KİRİŞ, Galip İRİCE

Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Görükle, 16059, Bursa
*orbak@uludag.edu.tr

Geliş Tarihi: 6 Ağustos 2009; Kabul Ediliş Tarihi: 31 Mart 2011
Bu makale 2 kez düzeltilmek üzere 44 gün yazarlarda kalmıştır.

ÖZET

Günümüzde yatırım maliyeti yüksek olan sistemlerde düşük kapasite kullanımı ve verimsiz çalışmanın maliyeti oldukça yüksektir. Bu nedenle montaj hatlarının zaman, yer, konum vb. kısıtlar altında verimli ve düzenli bir şekilde çalışabilmesi için montaj hatlarının tasarımındaki ana amaçlardan biri, her istasyona dengeli miktarda iş dağıtımını yapılabilmesidir. Bu çalışmada, otomotiv yan sanayisinde üretim yapan bir firmanın, tek modellenli ve karışık modellenli iki montaj hattının dengeleme problemi ele alınmıştır. Tek modellenli montaj hattında öncelik diyagramları oluşturulmuş ve Hoffman yöntemine göre hat dengeleme problemi incelenmiştir. Karışık modellenli montaj hattında ise sıralanmış pozisyon ağırlıkları yöntemi kullanılarak hat dengelemesi yapılmıştır. C# programlama diliyle algoritma yazılmış ve kutu içi malzeme miktarları optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Her iki hattın etkinliği incelenmiş ve elde edilen iyileştirmeler belirtilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Hat dengeleme, pozisyon ağırlığı, Hoffman sezgisel algoritması, Thomopoulos algoritması

SINGLE AND MIXED MODEL ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM OF AN AUTOMOTIVE PARTS SUPPLIER COMPANY

ABSTRACT

Today, the cost of low capacity usage and inefficient working is substantially high in the systems that have high investment cost. Therefore one of the main purposes of assembly line design is to provide balanced work assignment for each station in order to make them work efficiently and systematically under the time, cost, and location constraints. In this study, assembly line balancing problem of two production lines of an automotive parts supplier company, one line producing for a single model and the other for mixed models, is examined. The priority diagrams of the single model assembly line have been formed and the line balancing problem has been analyzed according to Hoffman Heuristic Method. Line balancing is implemented by using Ranked Positional Weight Method for the mixed model assembly line. The algorithm is written by C# programming language and the material quantity in the boxes has been optimized. An efficiency value for each line is provided and improvements of the lines are summarized.

Keywords: Line balancing, positional weight, Hoffman heuristic algorithm, Thomopoulos algorithm

* İletişim yazarı

1. GİRİŞ

Kalite ve verimlilik artışı günümüz işletmelerinde yoğun olarak üzerinde çalışılan bir konudur. Kalite ve verimliliğin artırılabilmesi için üretimde iyileştirmelerin yapılması gerekmektedir. Bu iyileştirmelerden bir bölümü üretim hatlarının çalışma verimini artırmaya yöneliktir. “Montaj Hattı Dengeleme” bu çalışmalardan en sık karşılaşılanıdır. Montaj hattı dengeleme konusu ilk olarak Bryton tarafından ileri sürülmüş bir fikirdir (Bryton, 1954). Bu konuda literatürdeki ilk çalışma ise Salveson (1955)’a aittir (Ağpak ve Gökçen, 2005).

Literatürde hat dengeleme konusunda pek çok yöntem bulunmaktadır. Bunlardan bir kısmı tek modellenmiş montaj hatlarını ele almaktadır. Bunun nedeni montaj hatlarının en az karmaşık olanları tek modellenmiş montaj hatlarıdır (Baybars, 1986; Ghosh ve Gagnon, 1989; Erel ve Sarin, 1998; Scholl, 1995; Amen, 2000). Bunun yanı sıra birçok modelin aynı hatta üretildiği karışık modellenmiş montaj hatları daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu hatlarda modeller arasındaki farklılıklar nedeniyle hat dengeleme problemi daha karmaşık olabilmektedir. Bu alanda yapılan ilk çalışma ise Thompoulos (1967, 1970)’a aittir. Son yıllarda bu konuda yapılan çalışmalarda farklı dengeleme yöntemleri sunulmuştur: Gökçen ve Erel (1995), Ajenblit vd. (1998), Alp vd. (2001), Karabatı ve Sayın (2003) ve Xhao vd. (2004). Bunlardan Hoffmann (1963) optimal sonuca ulaşmak için dal-sınır algoritmasını sezgisel bir yöntemle birleştirmiştir. Bu makalede, otomotiv yan sanayi için yapılan çalışma kapsamında tek modellenmiş montaj hatları için geliştirilmiş Hoffman sezgisel yöntemi ve karışık modellenmiş montaj hatları için geliştirilmiş sıralanmış pozisyon ağırlıkları yöntemi, Helgeson ve Birnie (1961), kullanılarak belirlenen bu iki montaj hattında dengeleme çalışmaları yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

2. TEK VE KARIŞIK MODELİ MONTAJ HATTI ALGORİTMASI

Ele alınan tek modellenmiş hatta bir otomobile ait kablo ağı üretilmektedir. İşlemler dört istasyonda

yapılmaktadır. İstasyonların süreleri değişken olmakla beraber bu istasyonlardan birinin toplam işlem zamanı, belirlenen çevrim süresini aşmaktadır. Böylece bazı noktalarda gecikmeler olurken, bazı noktalarda da ara stoklar oluşmaktadır. Bu çalışmadaki amaç, işlemlerin önceliklerini bozmadan, işlemleri istasyonlara dengeli bir şekilde atamak ve ara stokları ortadan kaldırarak birebir akışa geçmektir. Bunun için, öncelik ilişkilerine önem veren Hoffman yöntemi seçilmiş ve kullanılmıştır.

Karışık modellenmiş hatta ise bir otomobilin farklı modellerine ait kablo ağı üretilmektedir. Bu modellerde işlemler modelden modele değişmekte veya aynı işlemlerin işlem süreleri farklılık gösterebilmektedir. Bazı işlemler birbirinden ayıramamakta, aynı grupta yapılması gerekmektedir. Sekiz istasyona sahip hatta üretimin daha kolay işleyebilmesi için bazı istasyonların aynı bölgede yer alması gerekmektedir. Bunun için bölgeleme ve gruplama kısıtı olan bir algoritma seçilmiştir. İşlemlerin pozisyon ağırlığı kullanılarak atama yapılması istenen algoritma, C# programında yazılmıştır. Burada kullanılan yöntem Helgeson ve Birnie (1961) tarafından geliştirilmiş ve adımları aşağıda kısaca açıklanan sıralanmış pozisyon ağırlıkları yöntemidir:

1. Atanacak olan her bir işlem için pozisyon ağırlıkları (PA) hesaplanır. Burada PA, o işlemi yapmak için gereken süreyle ondan sonraki işlemleri yapmak için gereken sürelerin toplamıdır. İşlerin sırası öncelik ilişkileri diyagramıyla belirlenir.
2. İşlemler pozisyon ağırlığı en büyük olan elemandan en küçük elemana doğru sıralanır.
3. İşlemler sırayla istasyonlara atanmaya başlanır. En büyük ağırlığı olan ve ilk sıradaki elemandan başlanır.
4. Bir işlemin atanmasından sonra istasyon çevrim süresi dolmamışsa öncelik ilişkileri kuralını ihlal etmeyen ve çevrim süresini aşmayan sonraki iş elemanı da bu istasyona atanır.
5. Üçüncü ve dördüncü adımlar tüm işlemler istasyonlara atanana kadar tekrar edilir. Burada pozisyon ağırlığı hesaplama formülü $PA_j = t_j + \sum_{i \in B_j} t_i$ şeklindedir.

Atamalar tamamlandıktan sonra daha iyi bir atama olup olmadığını araştırmak, işlemleri kendi arasında yer değiştirerek değerlendirmek amacıyla pürüzsüzleştirme algoritması kullanılmıştır (Yağmahan, 1994). İstasyona atanan işlem süreleri ve istasyon süresi arasındaki farkın minimizasyonunu yapabilmek amacıyla amaç fonksiyonu

$$\psi = \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^M |t_{mk} - t_m|$$

şeklinde yazılmalıdır (Thomopoulos, 1967). Burada M model sayısını, K istasyon sayısını ve t işlem sürelerini belirtmektedir. m ve k ise sırasıyla model ve istasyonların indisleridir. Ayrıca t_{mk} tüm istasyonlarda tüm modellerin işlem süreleri ve t_m tüm istasyonlarda tüm modellerin ortalama istasyon süreleridir.

2.1 Tek Modelli Montaj Hattı Algoritması

Tek modelli hatlar, dengelemesi daha kolay anlaşılır ve kolay sonuca ulaşılabilir hatlardır. Fazla kısıtları yoktur. Sonuca ulaşabilmek için işlem öncelikleri ve süreleri bilinmesi yeterlidir. Genelde en çok kullanılan ve iyi sonuç veren algoritma Hoffman tarafından geliştirilmiştir. Bu algoritma bilgisayar programında çalıştırılabileceği ve bu çalışmada olduğu gibi daha az işlem sayısına sahip hatlarda elle

de sonuca ulaşılabilir. Hoffman'ın adımlarını belirlediği yol Tablo 1'de verilmiştir (Oytun, 1997).

2.2 Karışık Modelli Montaj Hattı Algoritması

Karışık modelli hatlarda modeller birden fazla olduğu için daha çok tanımlama ve daha çok kısıt mevcuttur. Her işlem her modelde olmadığı için veya bazen her istasyonda eşit işlemler yapılmadığı için istasyonlar arası bölgeler oluşmaktadır. Hangi işlemin hangi bölgede yapılacağı dengeleme öncesi tanımlanmaktadır. Ayrıca bazı işlemlerin modellere özgü birlikte yapıma şartları olabilir. Bunlar da gruplama adı altında tanımlanmaktadır. Dengeleme algoritmasında atama yapılırken bu hususlar dikkate alınmaktadır. Tek modelli hatlara göre daha çok kısıt ve tanımlama mevcuttur. Algoritmanın bir bilgisayar programında çalıştırılması gerekmektedir. Thomopoulos (1967, 1970) temel alınarak hazırlanmış algoritmanın adımları Tablo 2'de görülebilir.

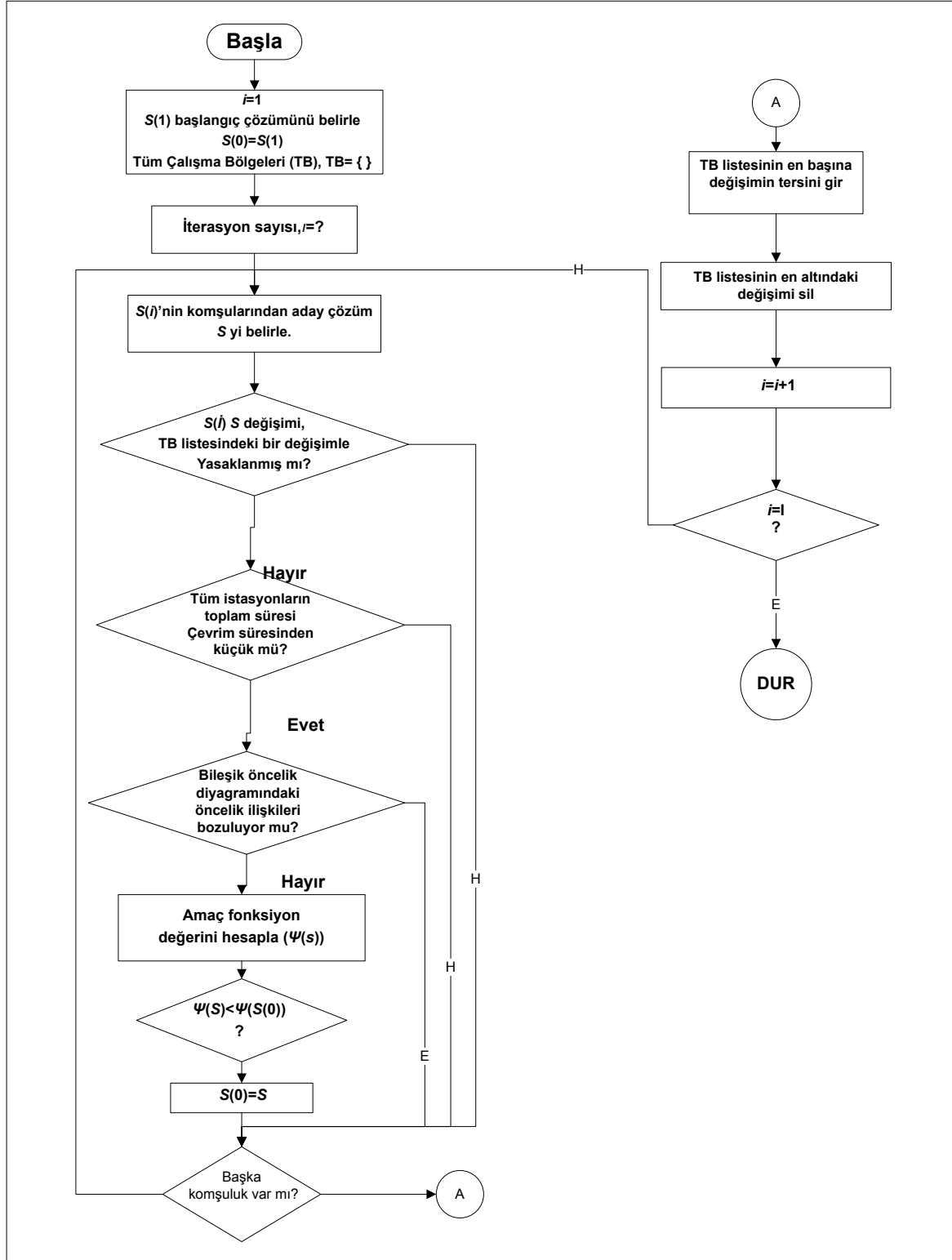
Algoritma çalıştırdıktan sonra, daha iyi bir atama olup olmadığını araştırmak ve bununla ilgili işlemlerin kendi arasında yerlerini değiştirebilmek amacıyla akışı Şekil 1'de verilen pürüzsüzleştirme algoritması kullanılmıştır (Thomopoulos, 1970).

Tablo 1. Hoffman Sezgisel Algoritmasını Adımları

Adım 1	Öncelik ilişkileri matrisinde sütundaki tüm değerler toplanarak bir "kod numaraları satırı" oluşturulur.
Adım 2	Kod numaraları satırında soldan sağa doğru ilk dize seçilir.
Adım 3	İlk "0" ın bulunduğu noktaya karşı gelen iş ögesi seçilir.
Adım 4	Seçilen iş ögesinin işlem süresi kalan istasyon süresinden çıkarılır.
Adım 5	Sonuç ≥ 0 ise Adım 6'ya, sonuç ≤ 0 ise Adım 7'ye gidilir.
Adım 6	İş ögesine karşılık gelinen satır ve sütun matristen çıkarılır ve elde edilen yeni matriste yeni kod numarası satırı oluşturulur.
Adım 7	5. Adımda bulunan sonuç < 0 ise o iş istasyona atanmaz, değilse o iş, o istasyona atanır. Tüm iş ögeleri gözden geçirilinceye kadar devam edilir.
Adım 8	Kalan istasyon süresi 0'a eşitse Adım 9'a, değilse Adım 10'a gidilir.
Adım 9	İlgili istasyonun işlem ögeleri tamamlanmıştır. Bir sonraki istasyon işlemleri için Adım 2'ye dönülür.
Adım 10	Kod numarası dizisi içinde "0" değerine sahip olan öge veya ögelerde, kalan istasyon süresinden küçük veya eşit işlem süresine sahip öge yoksa yeni istasyon atamaları için Adım 1'e gidilir. Varsa önceki istasyona atama yapmayı sürdürmek amacıyla Adım 2'ye dönülür.

Tablo 2. Karışık Modelli Montaj Hattı Algoritması

Adım 1	<p>Başlangıç değerleri belirlenir.</p> <p>M = Model sayısı, $m=1, \dots, M$</p> <p>c = çevrim süresi</p> <p>J = işlem sayısı, $j=1, \dots, J$</p> <p>k = istasyon sayısı, $k=1, \dots, K$</p> <p>d_m = planlama periyodunda m modelinin talebi</p> <p>D = planlama periyodunda gerekli olan birimlerin toplam sayısı ($\sum d_m$)</p> <p>t_{jm} = m modelinin bir birimi için j işleminin işlem süresi</p> <p>t_j = her birim başına j işleminin ortalama işlem süresi ($t_j = \sum d_m t_{jm} / D$)</p> <p>$X_j$ = işleminin atanma durumu</p> <p>τ_k = k istasyonun toplam süresi</p> <p>S_k = k istasyonuna atanmış işlemler kümesi</p> <p>Y_k = k istasyonunda çevrim süresinden arta kalan süre</p> <p>W_j = işçi sayısı</p> <p>b_j = j işleminin bölge tanımı</p> <p>YB_j = j işleminin yakın bölge tanımı</p> <p>G_j = j işleminin grup tanımı ve $PA_j = t_j + \sum_{i \in B_j} t_i$</p>
Adım 2	Tüm j işlemleri için $t_j > c$ ise $W_j = \lceil t_j / c \rceil$ ve $t_j = t_j / W_j$ yapılır. Aksi hâlde $W_j = 1$ 'dir.
Adım 3	PA_j 'lar büyükten küçüğe sıralanır.
Adım 4	$k = 1$; $X_j = 0$; $j = 1, \dots, J$; $\tau_k = 0$; $S_k = \{\}$ ve $Y_k = c$
Adım 5	Sıradaki PA_j 'sı en büyük olan j işlemi seçilir.
Adım 6	Daha önce bu istasyona işlem atanmış ise Adım 7'ye aksi hâlde Adım 14'e gidilir.
Adım 7	Eğer j işlemi atanmış ise Adım 8'e gidilir, aksi hâlde Adım 13'e gidilir.
Adım 8	Eğer $Y_k > t_j$ ise Adım 9'a gidilir, aksi hâlde Adım 13'e gidilir.
Adım 9	Eğer j işleminin tüm öncelikleri atanmış ise Adım 10'a gidilir, aksi hâlde Adım 13'e gidilir.
Adım 10	j işlemi k istasyonuna ata. $\tau_k = \tau_k + t_j$; $S_k = S_k + j$; $Y_k = c - \tau_k$ ve $b_k = b_j$ hesaplamaları yapılır.
Adım 11	Eğer bu istasyon için tanımlanmış bir grup tanımı yoksa Adım 12'e gidilir.
Adım 12	j işlemi en düşük pozisyon ağırlığına sahip işlem ise Adım 13'e gidilir, aksi hâlde Adım 5'e geri dönülür.
Adım 13	Tüm işlemler atanmış ise işlem durdurulur. Aksi hâlde k istasyonu kapatılır, yeni bir istasyon açılır. $k = k + 1$ yapılır ve Adım 5'e geri dönülür.
Adım 14	Eğer j işlemi atanmış ise Adım 15'e gidilir, aksi hâlde Adım 12'ye geri dönülür.
Adım 15	Eğer $Y_k > t_j$ ise Adım 16'ya gidilir, aksi hâlde Adım 12'ye geri dönülür.
Adım 16	Eğer $b_j = b_k$ veya $YB_j = b_k$ ise Adım 17'ye gidilir, aksi hâlde Adım 12'ye geri dönülür.
Adım 17	j işleminin tüm öncelikleri atanmış ise Adım 11'e dönülür, aksi hâlde Adım 12'ye geri dönülür.
Adım 18	$G_k = G_j$ yapılır. İlk işlem ($i=1$) göz önüne alınır ve Adım 11'e geri gidilir. Aksi hâlde Adım 12'ye geri dönülür.
Adım 19	Eğer $G_i = G_k$ ise Adım 20'ye gidilir. Aksi hâlde Adım 21'e gidilir.
Adım 20	Eğer $Y_k > t_j$ ise Adım 21'e gidilir. Aksi hâlde Adım 22'ye gidilir.
Adım 21	j işlemi k istasyonuna ata. $\tau_k = \tau_k + t_j$; $S_k = S_k + j$; $Y_k = c - \tau_k$ ve $b_k = b_j$ hesaplamaları yapılır.
Adım 22	Bir sonraki işlem denir. ($i = i + 1$)
Adım 23	Tüm işlemler denenmiş ise $i=j$ yapılır ve Adım 13'e geri dönülür. Aksi hâlde Adım 19'a geri dönülür.



Şekil 1. Pürüzsüzleştirme Algoritması

3. SONUÇLAR

Hat dengeleme problemlerinde amaç, hattın denge kaybını azaltmaktır. Hoffman yöntemi uygulanırken, işlemler arasındaki öncelikleri dikkate alınarak öncelik diyagramı çizilmiş, ardından (0,1) öncelik matrisi oluşturularak algoritmada belirlendiği gibi atamalar yapılmıştır. Tek modellenmiş hattın işlemleri ve ilgili veriler Ek 1-3'te görülebilir. Bu hatta 52 adet işlem olduğundan problemin çözümünde [52x52]'lik matris kullanılmıştır. Atamalar sonucunda çevrim süresinden kalan atıl zaman değerlendirilmiştir. İlk durum ve son durum arasındaki fark Şekil 2'de gözlenmektedir. İlgili yeni iş atamaları Ek 3'te verilmiştir. Şekil 2'deki üç numaralı barın mevcut durumda boş gözükmesinin sebebi Hoffman yöntemi uygulanmadan o istasyondaki işlemlerin, toplam sürelerinin belirlenen çevrim süresini aşmasıdır. Dolayısıyla atıl zaman olmamakta, yalnız daha kötü sonuçlar doğuran, istasyon süresini aşma durumu yaşanmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde atamalar sonrası çevrimdeki atıl zamanın bir ve dördüncü istasyonlarda azaldığı iki numaralı istasyonda ise ilk haline yakın düzeyde kaldığı görülmektedir.

İstasyonlara atanan işlemlerin her istasyon için ayrı ayrı işlem süreleri toplanarak toplam istasyon süreleri belirlenmiştir. Mevcut istasyon süreleri ve dengeleme çalışması yapıldıktan sonraki iş atamaları ile hesaplanan istasyon sürelerinin karşılaştırılması Şekil 3'te verilmiştir. Mevcut durumda 3. istasyonun süresi firmanın belirlediği çevrim süresinden daha fazla

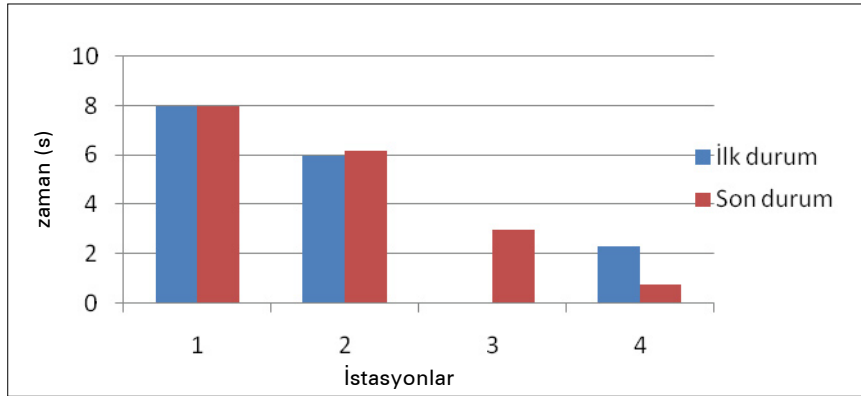
olduğu için bu hatta belirli yerlerde gecikmelere, belirli yerlerde de ara stok oluşumuna neden olmaktadır. Dengeleme çalışması yapılmasıyla atanan işlemler ile 3. istasyondaki fazla iş yükü öncelik diyagramını bozmayacak şekilde sezgisel olarak 4. istasyona atanmıştır. Bu kaydırılan işlemin teknik resimde belirtilen özelliklerine aykırı olmadığı da göz önünde bulundurulmuştur. Denge kaybı, çevrim süreleri toplamı ile işlem süreleri arasındaki farkın, çevrim süreleri toplamına olan yüzdesi olarak ifade edilir. Bu kayıp aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$e = \left[\frac{Kc - \sum t_j}{Kc} \right] \times 100$$

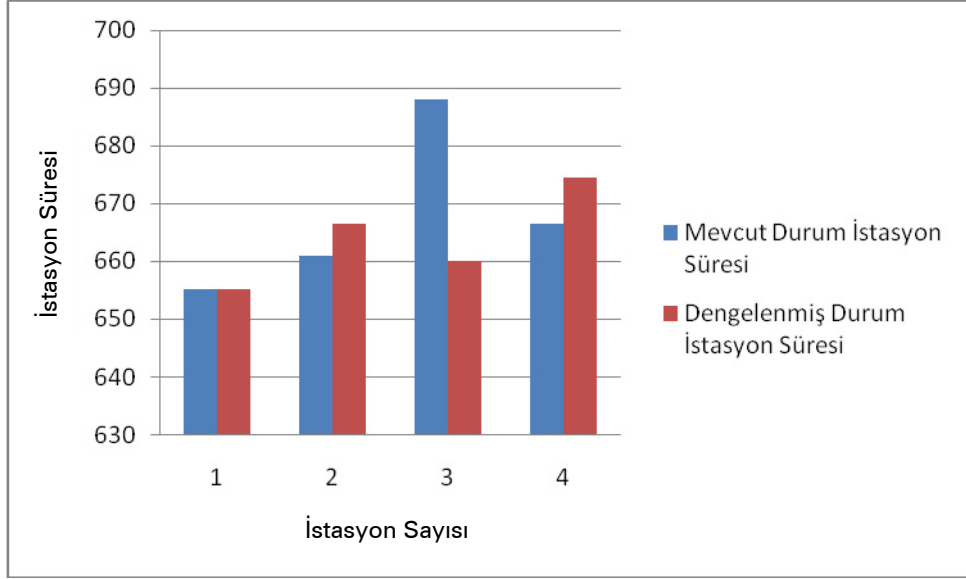
Burada c çevrim zamanı, $\sum t_j$ hattın toplam işlem süresi ve e denge kaybıdır.

Bu formül kullanılarak hattın dengesizliği hesaplanmıştır. Sonuçlar, mevcut durumdaki dengesizlikle karşılaştırılmış ve istasyon sayısı değişmediğinden, dengesizlikte de bir değişiklik olmamıştır. Sadece iş yüklerinin istasyonlar üzerindeki dengeli dağılımı sağlanmış ve çevrim süresini aşan 3. istasyondan kaynaklı sorunlar giderilmiştir.

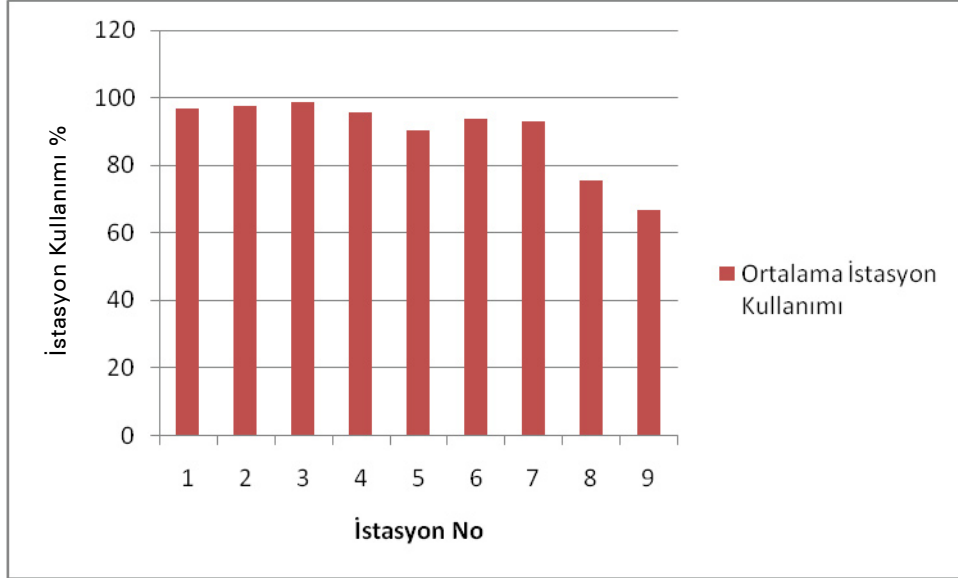
Karışık modellenmiş montaj hattı dengeleme probleminde ise, atama işlemlerinin sonucunda elde edilen istasyon kullanım yüzdeleri Şekil 4'te verilmektedir. İlk yedi istasyonda kullanım yüzdeleri yüksektir; fakat son iki istasyonda düşmüştür. Bunun nedeni algoritmanın çalışması sırasında verilen çevrim süresi boyutunda işlemlerin ortalama



Şekil 2. Atamalar Sonucunda Çevrim Süresinden Kalan Atıl Zaman Değerlendirmesi



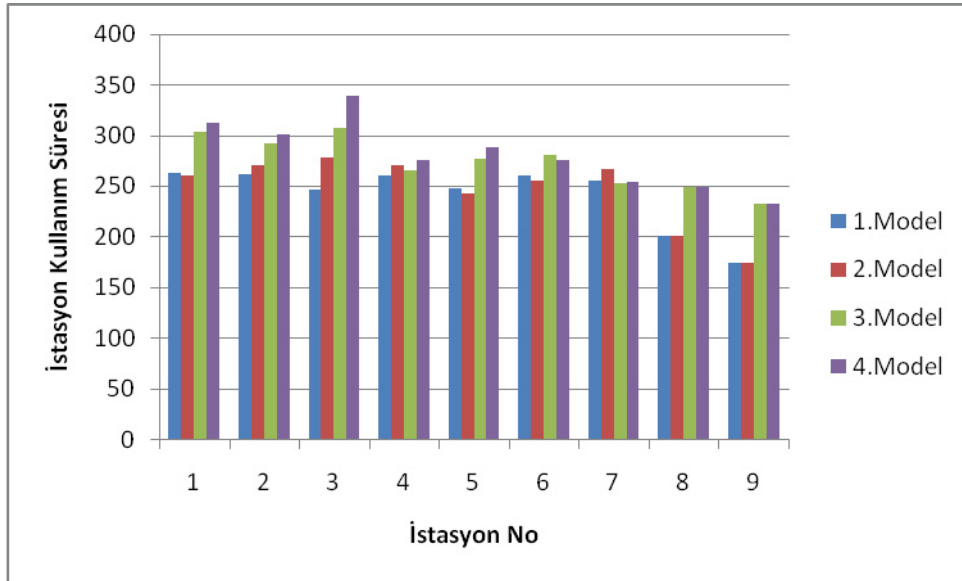
Şekil 3. Atamalar Sonucunda Oluşan İstasyon Süreleri



Şekil 4. İstasyon Kullanım Yüzdeleri

süreleri ve önceliklerine bakarak atama yaparken istasyonlara atama yapmasıdır. İlk istasyonlardaki kullanım yüzdeleri yüksek olmuştur. Bununla birlikte, önceliklerin tam olarak karşılanamaması dolayısıyla son istasyonlardaki dağılımlar dengesizlik göstermiştir.

Tek bir modele indirgenerek yapılan istasyonlara iş atamaları sonucunun her bir model için ayrı ayrı yorumlanmasıyla model bazında istasyon dağılım grafiği çizilmiş ve Şekil 5'te verilmiştir. Bu şekilde, her bir modelin istasyonlarda geçirdiği süreler görülmektedir. Ortak bir süre üzerinden yapılan



Şekil 5. Model Bazında İstasyon Dağılım Grafiği

atama sonuçlarının modele indirildiğinde istasyon sürelerinde aşma olabileceği görülmektedir. Bu alınan talep aralığında işlem süreleri; yükleri daha fazla olan modellerin daha fazla talep almasından kaynaklanmaktadır. Bu darboğazlar birinci, ikinci ve üçüncü istasyonlarda görülmektedir. Oluşan bu durumun giderilmesi sekizinci ve dokuzuncu istasyonlardaki işçilerin boş kalan zamanlarında birinci ve ikinci istasyondaki çalışanlara yedek aparat yapmasıyla dengelenmeye çalışılmıştır. O aparatı yapması için geçen süre istasyon süresinden indirilerek istasyonun daha dengeli çalışması sağlanmıştır.

Dengelemelerin gerçekleştirilmesi, montaj hatlarındaki bütün sorunların çözüldüğü anlamına gelmez. Montajda üretim sistemini etkileyen tüm etmenlerin bir arada değerlendirilmesi, montaj hatlarını daha verimli düzeye çıkarabilmektedir. O yüzden üretimi etkileyen tüm işlemler iyice araştırılmalı ve onların da çözümü için yöntemler araştırılmalıdır.

Bu çalışmadaki amaç, montaj hatlarının, tek modelli, karışık modelli veya çok modelli olmak üzere bütün çeşitlerini dengelemek, atıl zamanlarını en aza indirmektir. Burada gerçek bir firmanın tek ve karışık modelli montaj hattı problemi incelenmiş ve problem

literatürdeki algoritmaların firmaya uyarlanmasıyla çözülmüştür. Ayrıca geliştirilen sezgisel yöntemler bilgisayar programlarıyla sonuçlandırılmıştır. Bu çalışmanın devamı olarak gelecekte firmada montaj hatlarının kurulması ve tasarımı da literatürdeki modeller incelenerek iyileştirilmelidir.

KAYNAKÇA

1. Ağpak, K., Gökçen, H. 2005. "Assembly Line Balancing: Two Resource Constrained Cases," *International Journal of Production Economics*, 96, 129-140.
2. Alp, A., Çerçioğlu, H., Tokaylı, M. A., Dengiz, B. 2001. "Stokastik Montaj Hattı Dengeleme: Bir Tavlama Benzetimi Algoritması," *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 12(3-4), 32-51.
3. Amen, M. 2000. "Heuristic Methods for Cost-oriented Assembly Line Balancing: A Survey," *International Journal of Production Economics*, 68, 1-14.
4. Baybars, İ. 1986. "A Survey of Exact Algorithms for The Simple Assembly Line Balancing Problem," *Management Science*, 32(8), 909-932.
5. Bryton, B. 1954. "Balancing of a Continuous Production Line," M.S. Thesis, Northwestern University, Evanston, IL.
6. Erel, E., Sarin, S.C. 1998. "A Survey of The Assembly Line Balancing Procedures," *Production Planning & Control* 9 (5), 414-434.
7. Ghosh, S., Gagnon, R. J. 1989. "A Comprehensive Literature Review and Analysis of the Design, Balancing

- and Scheduling of Assembly Systems,” International Journal of Production Research, 27, 637-670.
8. Gökçen, H., Erel, E. 1995. “Karşık Ürünlü Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Bir Sezgisel Yöntem,” Verimlilik Dergisi, 2, 131-140.
 9. Karabatı, S., Sayın, S. 2003. “Assembly Line Balancing in a Mixed-model Sequencing Environment With Synchronous Transfers,” European Journal of Operational Research 149(2), 417-429.
 10. Oytun K., 1997. “Karşık Modelli Montaj Sistemlerinin Çizelgelenmesi ve Dengelemesi,” Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
 11. Salveson, M.E. 1955. “The Assembly Line Balancing Problem,” Journal of Industrial Engineering, 6(3), 18-25.
 12. Thomopoulos, N.T. 1967. “Line Balancing-sequencing for Mixed-model Assembly,” Management Science, 14, 59-75.
 13. Thomopoulos, N.T. 1970. “Mixed-model Line Balancing With Smoothed Station Assignments,” Management Science, 16, 593-603.
 14. Yağmahan, B. 1994. “Karşık Modelli Montaj Hattı Dengeleme,” Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
 15. Scholl, A. 1995. “Balancing and Sequencing of Assembly Lines,” Physica-Verlag, Heidelberg.
 16. Ajenblit, D. A., Wainwright, R. L. 1998. “Applying Genetic Algorithms to the U-Shaped Assembly Line Balancing Problem,” IEEE, 96-101.
 17. Xhao, X., Ohno, K., Lau, H. S. 2004. “A Balancing Problem for Mixed-model Assembly Lines With a Paced Moving Conveyor,” Naval Research Logistics, 51, 446-464.
 18. Hoffmann, T. 1992. “Eureka: A Hybrid System for Assembly Line Balancing,” Management Science, 38(1), 39-47.
 19. Hoffmann, T.R. 1963. “Assembly Line Balancing With a Precedence Matrix,” Management Science, 9(4), 551-562.
 20. Helgeson, W. P., Birnie, D. P. 1961. “Assembly Line Balancing Using the Ranked Positional Weight Technique,” Journal of Industrial Engineering, 12(6), 384-398.

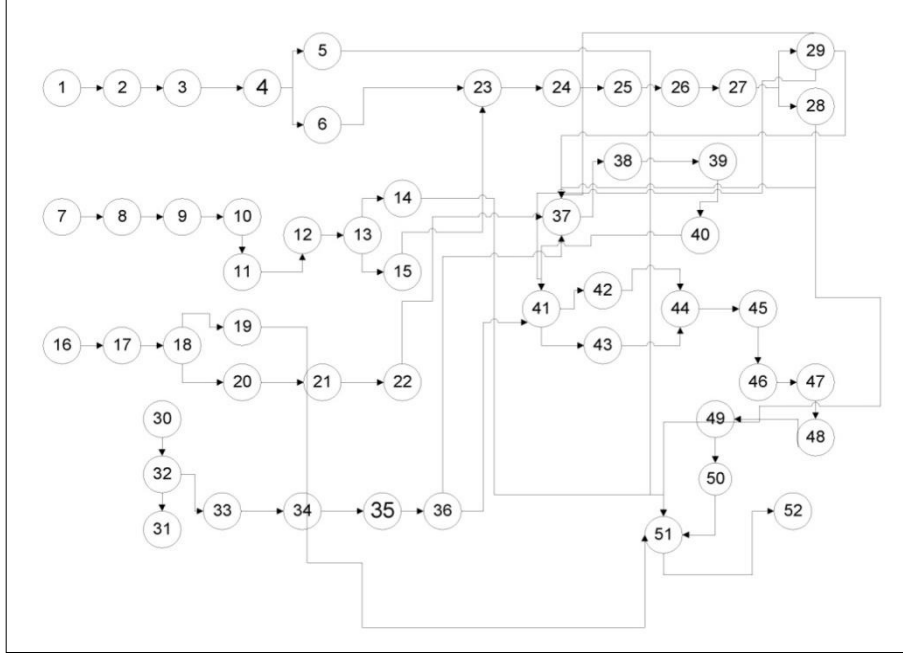
EKLER

Ek 1. İstasyonlardaki İşlem Sayıları ve İşlem Süreleri

1A		2A		3A		4A	
İşlem No	Süre (sn)	İşlem No	Süre (sn)	İşlem No	Süre (sn)	İşlem No	Süre (sn)
1	27	16	87	33	13	41	112,5
2	12	17	36	34	23	42	14
3	12	18	7	35	4	43	17
4	130	19	69	36	89	44	8
5	25	20	6	37	268	45	11
6	6	21	255	38	29	46	22
7	82	22	11,5	39	255	47	78
8	33	23	3	40	7	48	10
9	10	24	10			49	267
10	37	25	13			50	66
11	100	26	39			51	50
12	22	27	73			52	11
13	73	28	8				
14	56	29	10				
15	30	30	22				
		31	9				
		32	2				

İstasyonlarda çevrim süresi 680 saniyedir.

Ek 2. İşlemlerin Öncelik Diyagramı



Ek 3. Mevcut Durum ve Atama Sonrası Dengelenmiş İş Dağılımı

Mevcut İşlem Numara ve İstasyonları				Atama Sonrası İşlem Numara ve İstasyonları			
1A	2A	3A	4A	1A	2A	3A	4A
İşlem No	İşlem No	İşlem No	İşlem No	İşlem No	İşlem No	İşlem No	İşlem No
1	16	33	41	1	16	34	41
2	17	34	42	2	17	35	42
3	18	35	43	3	18	36	43
4	19	36	44	4	19	37	44
5	20	37	45	5	20	38	45
6	21	38	46	6	21	39	46
7	22	39	47	7	22	40	47
8	23	40	48	8	23		48
9	24		49	9	24		49
10	25		50	10	25		50
11	26		51	11	26		51
12	27		52	12	27		52
13	28			13	29		28
14	29			14	30		
15	30			15	31		
	31				32		
	32				33		