

KARIŞIK MODELLİ BİR MONTAJ HATTINDA HAT DENGELEME ÇALIŞMALARI

Â. Yurdun B. Türker Pınar Nilay Nagihan Aylin
ORBAK ÖZALP KORKMAZ YARKIN AKTAŞ DİNÇER

*Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,
Endüstri Mühendisliği Bölümü, Görükle, 16059 Bursa*

orbak@uludag.edu.tr

tozalp@uludag.edu.tr

pnr-korkmaz@hotmail.com

ÖZET

Günümüzde müşteri isteklerinin artması ürün çeşitliliğini arttırmış, artan ürün çeşitliliği üretim hacimlerini küçültmüştür. Bu koşullarda üretim hacmi düşük olan modellere ayrı hat ve operatör tahsis etmek maliyet ve alan kayıpları anlamına gelebilmektedir. İşletmeler bu nedenle karışık modelli montaj hatlarını tercih etmektedirler. Bu bildiri otomotiv ana sanayinde bir üretim hattında karışık modelli montaj hattı dengeleme çalışmasını içermektedir. Literatürde mevcut olan atama algoritmaları bu çalışmaya doğrudan uygulanamadığından problem çözümüne iki aşamalı bir yaklaşım önerilmiştir. İlk aşamada her bir modelin ayrı ayrı gerektirdiği istasyon sayısı belirlenmektedir. Bu aşamada bulunan maksimum ve minimum istasyon sayıları ikinci aşamanın girdisi olmakta ve ikinci aşamada sabit istasyon sayısı ve gerektiğinde aşamalı olarak artan çevrim süresine göre istasyonlara işlerin ataması yapılmaktadır. Atamalar tamamlandıktan sonra istasyonlardaki operatör randımanı olası bütün istasyon sayılarına göre belirlenmektedir. Algoritmanın kodlanmasında Visual Basic programlama dili kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hat dengeleme, Karışık modelli montaj hattı

1.GİRİŞ

Montaj hatları, bir ürüne ait iş elemanlarının son ürünü elde etmek amacıyla birleştirildiği sistemlerdir. İş elemanlarının sahip olduğu önceliklerin dikkate alınma zorunluluğu ve iş elemanlarının süreleri arasındaki farklılıklar, toplam iş yükünün montaj hatlarında doğru istasyonlara, dengeli şekilde atanmasını gerektirmektedir.

Çok sayıda işlemin gerçekleştiği bir montaj hattında, işlem süreleri arasında çok küçük farkların olması durumunda bile büyük kayıplar söz konusu olur. Bir montaj hattında, işlem süresi diğer istasyonlara göre düşük olan istasyon sıradaki iş için beklerken, süresi en fazla olan istasyonda ise yığılmalar meydana gelir. Bu yığılmalar ve boş beklemlerin ortak nedeni, istasyonların işlem süreleri arasındaki farktır. Montaj hatlarının verimli bir şekilde, aksamadan çalışabilmesi için hattaki istasyonların çalışma sürelerinin birbirine yakın ya da, mümkünse eşit olacak biçimde düzenlenmesi gerekir. Yapılan bu çalışma “Montaj Hattı Dengeleme” çalışmasıdır.

Verimlilik artışı ve maliyetlerin azaltılması açısından büyük önem taşıyan montaj hattı dengeleme konusunda bugüne kadar birçok çözüm yöntemi önerilmiştir. Karışık ünlü montaj hatları daha karmaşık bir yapıya sahip olup ürünün birçok çeşidinin üretildiği hatlardır. Montaj yapılacak modeller arasındaki farklılıklar nedeniyle dengeleme problemi daha karmaşık hale gelmektedir. Karışık ünlü montaj hattı dengelemeyle ilgili ilk çalışma Thomopoulos (1967- 1970) tarafından yapılmıştır (Keskintürk ve Küçük, 2006).

Montaj hattı dengeleme fikri ilk olarak Bryton’un tezinde (1954) ortaya koyduğu bir fikir olarak karşımıza çıkmaktadır. Yayınlanmış ilk bilimsel çalışma ise Salveson’a aittir (1955). Montaj hattı dengeleme problemi oldukça geniş bir literatüre sahiptir ve Salveson’un çalışmasından sonra bu konuda pek çok çalışma yapılmıştır (Kalender ve diğerleri, 2008).

Bu çalışmada otomotiv ana sanayinde bir üretim hattında karışık modelli montaj hattı dengeleme çalışması incelenmiştir.

2. MONTAJ HATTI DENGELEME YÖNTEMLERİ

Montaj hattı dengelemesinde kullanılan teknikleri genel olarak üç ana başlık altında incelemek mümkündür:

- Benzetim Teknikleri
- Matematiksel Programlama Yaklaşımı
- Sezgisel Yöntemler

Burada kısaca bu yöntemler açıklanacaktır.

2.1. Benzetim Teknikleri

Herhangi bir sistemin işleyişini anlamak ve olası değişiklikleri anında görerek, değerlendirebilmek için bilgisayar ortamında kullanılan çözüm teknikleridir.

2.2. Matematiksel Programlama Yaklaşımı

Montaj hatlarına ilişkin problemlerin çözümünde aşağıdaki şartların sağlanması gerekir;

- a) Herhangi bir istasyonun iş yükü çevrim zamanından büyük olamaz.
- b) İşlemlerin öncelik kısıtları sağlanmalıdır.
- c) Ürüne ait işlemler hat sonuna kadar yapılmış olmalıdır.
- d) Her bir işlem yalnız bir istasyona atanmalıdır.
- e) Amaç en düşük sayıdaki istasyon sayısına ulaşmaktır.

Bu şartlar matematiksel olarak şu şekilde ifade edilebilirler;

i. İş Yükü Kısıtı

t_i : i nolu işlemin süresi

x_{ij} : {eğer i nolu işlem, j . istasyona atanmamış ise '0'}
{eğer i nolu işlem, j . istasyona atanmış ise '1'}

$$\sum t_i x_{ij} \leq C$$

ii. İşlem Öncelik Kısıtı

$$x_{ij} \leq \sum x_{i-1,1} + x_{i-2,2} + \dots + x_{i-1,j}$$

iii. Bütün işlemlerin tamamlanması kısıtı

$$\sum x_{ij} = x_{i1} + x_{i2} + \dots + x_{in} = 1$$

iv. Bir işlemin yalnız bir istasyona atanması kısıtı

$$x_{ij} = 0 \text{ veya } x_{ij} = 1 \text{ ve } x_{ij} \geq 0$$

v. Minimum istasyon sayısı kısıtı

Optimal istasyon sayısı $n = \sum t_i / C$ formülü ile hesaplanır. Ancak pratikte istasyon sayısı bu değerden fazla gerçekleşebilir. Bu durumda olabilecek en fazla istasyon sayısının, bir üst sınır olarak belirtilmesi gerekir, örneğin $n+1$ gibi. İstasyon sayısının artmasıyla birlikte, $n+1$ 'den $n+r$ 'ye kadar olabilecek olan bu artışın getireceği bir maliyet söz konusu olur. Bu maliyet artışları a, b, \dots, m ile belirtildiğinde ve $a > b > \dots > m$ için amaç fonksiyonu şu şekilde ortaya çıkar;

$$\text{Min}Z = a \cdot x_h + b \cdot x_{h,n+1} + \dots + m \cdot x_{h,n+r}$$

Bowman tarafından ileri sürülen bu modelin çözümünde; kısıtları sağlamayan, amaç fonksiyonunu minimize edecek istasyon sayısı ve işlem/istasyon atamaları bulunabilir. Bu nedenle; bu modele benzer nitelikte matematiksel modellerin geliştirilmesine karşın, montaj hattı dengeleme problemlerine bulgusal yöntemlerle yaklaşılması daha uygun olmaktadır.

2.3. Sezgisel Yöntemler

Bu yöntemler belirli bir prosedürün izlenmesi ve birtakım varsayımların esas alınması yoluyla, montaj hattı dengeleme problemlerine bulgusal açıdan yaklaşırlar.

Montaj hattı dengeleme problemlerinin karmaşık oluşu, çözüm uzaylarının büyük oluşu ve çözüm zamanının problemin büyüklüğü ile üstsel olarak artması, bu tür problemlerin çözümünde sezgisel tekniklerin diğer tekniklere göre daha fazla kullanılmasına neden olmuştur. Gerçek hayat problemlerinde sezgisel tekniklerin kullanımı daha fazladır (Acar ve Eştaş, 1991).

Sıklıkla kullanılan bazı sezgisel hat dengeleme yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a. Kilbridge – Wester Yöntemi
- b. Moodie – Young Yöntemi
- c. Hoffman Sezgisel Yöntemi
- d. Sıralanmış Pozisyon Ağırlıkları Yöntemi
- e. Büyükten Küçüğe Sıralanmış Puanlara Göre Atama Metodu
- f. Comsoal Yöntemi

Karışık-modelli montaj hattı dengeleme problemini, tek modelli montaj hattı problemine dönüştürerek çözüm elde eden ilk çalışma Thomopoulos tarafından yapılmıştır. Karışık-modelli montaj hattı dengeleme problemi, tek-modelli montaj hattı dengeleme problemine dönüştürülmüştür. Bu dönüştürme için iki yöntem kullanılabilir (Thomopoulos, 1967):

- i) Değişik modellerin öncelik ilişkileri birleştirilerek, bir tek öncelik ilişkileri diyagramı oluşturulur.
- ii) Tüm modellerin işlem süreleri dikkate alınarak, her bir işlem için ‘ayarlanmış’ süre değeri kullanılır.

Matematiksel programlama yaklaşımı veya Thomopoulos karışık modelli montaj hattı dengeleme yönteminde önerilen modellerin ortak öncelik diyagramı ile birleştirilmesi, model sayısının ve her bir modelde yapılacak işlerin fazla sayıda olması nedeniyle uygulanamamaktadır.

3.UYGULAMA

Bu bildirideki karışık modelli montaj hattı dengeleme problemine iki aşamalı bir çözüm yöntemi düşünülmüştür. Çözüm yöntemi bir Excel uygulaması içermektedir. Aşamalar ayrıntılı olarak aşağıda açıklanmıştır:

1. Aşama:

Bu aşama sabit çevrim süresi dikkate alınarak işlerin atamasının gerçekleştirildiği aşamadır. Aynı hat üzerinde farklı modeller üretilmesine rağmen 1. aşamada iş atamaları modeller birbirinden bağımsız düşünülerek yapılmaktadır. Bunun nedeni ise, operatörün her bir çevrimde sadece tek bir model üzerinde işlem yapmasıdır. Bu aşama, eğer her bir modelin işleri kendi içinde, çevrim süresine göre dengeli olacak şekilde istasyonlara atanabilirse, hat üzerinde karışık modeller üretilse bile dengenin sağlanabileceğini kabul eder.

Bu aşamada modeller birbirinden bağımsız kabul edilerek, her bir modelin tek tek istasyonlara iş ataması yapılır ve her bir model için gerekli istasyon sayısı belirlenmiş olur.

Modeller farklı işlem sürelerine sahip olduğu için sabit çevrim süresinde eşit sayıda istasyona atanmaları mümkün değildir. Dolayısıyla 1. aşama sonunda her model için farklı sayıda istasyon sayısı belirlenecektir. Bu durumda modellerin istasyonlara atanması sonucu ilk istasyonlar dolu, hattın sonundaki istasyonların ise ilk istasyonlara göre boş kalması söz konusudur. 1. aşama sonucu elde edilen bu durumun iyileştirilmesi için 2. aşamaya gerek duyulmaktadır.

2. Aşama:

Birinci aşamada her bir model için belirlenen istasyon sayısı, ikinci aşamada girdi olarak alınmaktadır. Her model için gerekli istasyon sayısından en küçük ve en büyük olanını program bulur ve program içerisindeki ilgili değişkenlere bu değerleri atar. Örneğin 3 farklı model için sırasıyla 10-12-15 istasyon ihtiyacı hesaplandıysa program 10 ve 15 değerlerini ikinci aşama girdisi olarak alır. Hat üzerindeki istasyon sayısı, en uzun işlem süresine sahip modelin gerektirdiği istasyon sayısından daha fazla olamayacağı gibi, en kısa işlem süresine sahip modelin gerektirdiği istasyon sayısından da daha az olamaz. Amaç bu iki değer arasında mümkün olan en küçük istasyon sayısına tüm modellerin iş atamasını gerçekleştirebilmektir.

Bu aşamada toplam işlem süresi az olan bir modelin işlerinin, bu model için gereken istasyon sayısından daha fazla istasyona atanması istasyonlarda atıl sürenin oluşmasına neden olur. Öte yandan toplam işlem süresi fazla olan bir modelin işlerini ise, gereken istasyon sayısından daha az sayıda istasyona atanmaya çalışmak (belli çevrim süresinde), bir istasyona çevrim süresinden daha fazla iş atanması demektir, bu durum da hattın durmasına neden olur.

Ancak bu aşama bazı varsayımlarla desteklenmektedir. Bu varsayımlar hat üzerinde istasyonlara destek olan operatörlerin varlığına ve açık istasyon yapısına dayanmaktadır.

Fazla iş yükünün olduğu istasyonlarda, operatörün işini yetiştiremediği durumda hatta bulunan destek operatörler istasyona yardımcı olur ve bant duruşlarını engeller. İstasyon yapısının açık istasyon olması ise operatörün az iş yükünün olduğu modelde işini tamamladıktan sonra, bir önceki istasyona geçerek gelen yeni işine başlayabilmesine olanak sağlar. Böylece bant üzerinde iş yükü farklı modeller arasında denge sağlanmış olur.

İkinci aşamada program bir modele ait işleri önce minimum istasyon sayısına(*min*) atamaya çalışır. İstasyon sayısı sabit olduğu için işlerin atanmaması durumunda çevrim süresini tüm işler atanıncaya kadar arttırır. İşleri atadıktan sonra istasyonların iş yüklerini kaydeder istasyon sayısını bir arttırır ve işleri bu kez *min*+1 sayıda istasyona atar iş yükü dağılımları tekrar kaydedilir. Bu işlemler maksimum istasyon sayısına kadar tekrarlanır.

Burada amaç, olası tüm istasyon sayıları için iş atamalarının nasıl olabileceğini, bu atamalar sonucunda istasyonların performans değerlerinin ve operatör randımanlarının durumunu farklı istasyon sayılarında görebilmek ve değerlendirme yaparak en iyi olan değeri seçebilmektir. En iyi değer, farklı modellerin iş atamalarının aynı hat üzerinde dengeli yapıldığı, yüksek operatör veriminin sağlandığı tüm modeller için uygun bir istasyon sayısını ve iş atamasını belirtmektedir.

Program Girdileri

Programın birinci aşamasında girdiler çevrim süresi ve modelde tanımlanmış her bir işin işlem süresidir. İşin tanımı yapılırken iş en küçük birime ayrılmıştır. Fakat bazı işlerin birbirinden ayrı olarak farklı istasyonlara atanması mümkün değildir. Bunu önlemek için iş tanımları Excel'e girilirken atanabilecek iş grupları oluşturulmuştur. Örneğin bir parçanın takılıp sıkılması söz konusu ise "parçanın alınması", "parçanın yerine yerleştirilmesi" ve "parçanın sıkılması" ayrılamayacak bir iş grubudur. Bu yüzden bu işlerin atanması birlikte yapılmalıdır. Yine aynı şekilde bir sıkma tabancasının alınıp sıkma işleminin yapılması ve tabancanın yerine bırakılması ayrılamayacak bir iş grubudur.

Program Algoritması

1. Her bir model için işlerin tanımı yap, işlem sürelerini ve öncülleri gir.
2. Atanmamış ilk işi seç.
3. a. Seçilen iş için süresi yeterli istasyon bul, Adım 4'e git.
b. Uygun istasyon bulunamazsa istasyon aç, Adım 4'e git.
4. Atama yapılacak istasyona kadar atanmış işlerde atanacak işin öncüllerini ara.
5. a. Öncüller atanmış ise işi istasyona ata, Adım 2'ye dön.
b. Öncüller atanmamış ise işi atamadan Adım 6'ya git.
6. En son atanmaya çalışılan işin bir altındaki işi seç, Adım 3'e git.

Program işleri atamaya ilk işten başlar. Her istasyon için o istasyondaki toplam iş yükünü tutan bir değişken vardır. Bir iş atanmaya çalışıldığında işin süresi ile o istasyona daha önce atanmış iş süreleri toplamı toplanır ve istasyonun toplam iş yükü ile çevrim süresi karşılaştırılır. Eğer toplam iş yükü çevrim süresinden fazla oluyorsa, söz konusu işin ataması o istasyona yapılamaz ve diğer istasyona geçilir. Program her bir istasyonu atladığında o istasyona kadar atanan işleri 'atanan işler kümesine' ekler. Bulduğu istasyonda daha önce atanmış işler varsa, bu işleri de bu kümeye ekler. Eğer bulunduğu istasyonda toplam iş yükü işi atamaya müsait ise (toplam iş yükü \leq çevrim süresi ise), ikinci adım işin öncüllerinin atanıp atanmadığının kontrolünün yapılmasıdır. İşin öncülleri, o istasyona kadar 'atanan işler kümesine' eklenen işlerle karşılaştırılır. Eğer öncüller bu küme içinde bulunabilirse (işin öncülleri, bu işten önce atandıysa) işin ataması bulunulan istasyona yapılır. Öncülleri henüz atanmamış ise, bir sonraki istasyona geçilir. Son istasyona gelindiğinde iş hala atanamadıysa (istasyonun toplam iş yükü, çevrim süresi için yeterli gelmiyorsa) yeni istasyon açılır.

4. SONUÇ

Programın ikinci aşamasının sonucu, tüm modellerin ayrı ayrı, minimum istasyon sayısından maksimum istasyon sayısına kadar istasyonlara nasıl atanabileceğini göstermektedir. Her bir model için hesaplanan bu değerler her bir istasyonun toplam iş yükünü, her bir istasyonda çalışan operatörün randımanını ifade edecek şekilde bir araya getirilmelidir. Hat üzerinde üretilen modellerin üretim yüzdeleri birbirinden farklıdır. Tüm işlerin bir araya getirilip ortak randıman hesaplanmasında bu yüzdeler önemlidir. Her operatör için doğru randıman değeri bu değerlerle doğru olarak hesaplanabilir.

İşlerin ayrı ayrı iş atamalarının yapılmasından sonra üretim yüzdeleri her bir modelin istasyon yükü değeriyle çarpılır ve ortalama istasyon yükü hesabı yapılır. Model üretim yüzdeleri değişken olduğu için atamalar yapıldıktan sonra yüzdelerle çarpılmış atama kısmı yüzdelerden bağımsız ele alınmıştır.

Sonuçların yorumlanması kısmında karar vermeyi kolaylaştırması için görsel öğelerden yararlanılacaktır. Görsel öğelerin de yardımıyla 2. Aşamanın sonunda alternatif istasyon sayılarında ve farklı model üretim yüzdelerinde hangi istasyonda ne kadar iş yükü olacağı, istasyonlarda çalışan operatörlerin randımanlarının ne olacağı kolayca elde edilebilecek ve karşılaştırma yapılabilecektir. Böylelikle istasyon sayısı kararı daha hızlı ve daha doğru verilebilecek, randımanların mümkün olduğunda yüksek olması sağlanabilecektir.

5. KAYNAKÇA

Acar, N. ve Eştaş, S., 1991. *Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları*, Milli Prodüktivite Merkezi Yayınları, Ankara.

Kalender, F.Y., Yılmaz, M. M., ve Türkbey, O., 2008. *Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Bir Yaklaşım*, Journal of Faculty of Engineering and Architecture, Gazi University Vol. 23, No. 1, pp. 129-138.

Keskintürk, T. ve Küçük, B., 2006. *Karışık Modelli Montaj Hatlarının Genetik Algoritma Kullanılarak Dengelenmesi*, Yönetim, Yıl: 17, Sayı: 53, pp. 52-63.

Thomopoulos, N. T., 1967. *Line Balancing-Sequencing for Mixed-Model Assembly*. Management Science, Vol. 14 No: 2, pp. B59-75.