

MONTAJ HATLARININ DEĞİŞEN KOŞULLAR ALTINDA YENİDEN DENGELENMESİ

Ebru Yılmaz, Rızvan Erol

Çukurova Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 01330, Adana

Özet: Dengeli bir montaj hattında, -metod geliştirme, teknolojik yenilikler, istasyonlarda öğrenme gibi-bazı nedenlerden dolayı işlem sürelerinde değişiklikler olması hattın yeniden dengelenmesini gerektirebilir. Bu çalışmada, işlem sürelerinde değişiklik olduktan sonra denge gecikmesi belirlenen bir değeri aşıyorsa yeniden dengeleme yapılmaktadır. İncelenen montaj hattı tek modellenli, deterministik işlem süreli bir montaj hattıdır. Yeniden dengeleme için çevrim süresi, öncelik, bölgeleme, bölünmeme, taşıma, denge gecikmesi kısıtları altında, işlemlerin istasyonlar arasında taşınmasının toplam maliyetini minimum yapan bir tamsayı programlama modeli ve bu modele özgü optimum çözümü veren bir dal-sınır algoritması geliştirilmiştir. Dal-sınır algoritması çözümü hızlandıran kesme kurallarını içermektedir. Algoritmanın etkinliği farklı boyutlu örneklerle test edilmiş ve kesme kurallarının çözüm süresini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Montaj Hatları, Yeniden Dengeleme, Dal – Sınır Algoritması

ASSEMBLY LINE REBALANCING UNDER VARYING CONDITIONS

Abstract : Changes in task times in a balanced assembly line due to improvements in methods and technology and learning effects may require the line to be rebalanced. In this study, rebalancing is recommended when the balance delay exceeds a specified value after continual deterioration in line balance. Investigated assembly lines are single model lines with deterministic task times. First, the problem is formulated as an integer programming model whose objective function is to minimize the total cost of moving tasks between stations under cycle time, precedence, zoning and indivisibility constraints. Next, a special branch-and-bound algorithm using tree search is developed. This algorithm has fathoming rules aimed at reducing the solution time. Test examples in varying sizes show that these rules decrease the solution time significantly.

Keywords: Assembly Lines, Rebalancing, Branch-and-Bound Algorithm

1. Giriş

Bir montaj hattı ardarda sıralı iş istasyonlarının yerleştirilmiş biçimidir. Bir montaj faaliyeti işlemlere bölünür ve her bir işlem, montaj işinin en küçük birimidir. Her bir iş istasyonu ise, bu işlemlerin montajı için tahsis edilir ve bu şekilde parça hat üzerinde ilerleyerek en son iş istasyonuna geldiği zaman ürün tamamlanarak son ürün elde edilir (Askin ve Standridge, 1993).

Bir montaj hattında, hattın dengelenmesi, yeniden dengelenmesi, dengeleme ya da yeniden dengeleme maliyetlerinin minimum yapılması gibi çok çeşitli problemlerle karşılaşılabilir.

Hat dengeleme, montaja ait işlemlerin istasyonlara dağıtım problemidir. Eğer işlemler gruplandırıldığında, tüm istasyonların süreleri birbirlerine eşit olursa bu durumda hat mükemmel dengelenmiş olacaktır ve düzgün bir iş akışı beklenecektir. Ancak, bazı çalışma koşullarının değiştirilmesiyle işlem sürelerinde değişiklikler olabilir ve hat dengesi bozulabilir. Bu durumda montaj hattının yeniden dengelenmesine ihtiyaç duyulur. İşlem sürelerinde değişiklik meydana getirebilecek nedenlerin başlıcaları metot geliştirme, teknolojik yenilikler ve istasyonlarda öğrenmedir.

Literatürde montaj hatlarının yeniden dengelenmesi ile ilgili çalışmalar çok azdır. Dar – El ve Rubinovitz (1991), öğrenme teorisi kullanılarak bir montaj hattı dengeleme algoritması sunmuşlardır. Öğrenme sonucunda işlemlerde sık sık değişiklikler olması nedeniyle geliştirilen bu algoritma, yeniden dengelemede de kullanılabilir. Miltenburg (1998), U – hatlarının dengelenmesi ve yeniden dengelenmesi çalışması yapmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Problemin Formülasyonu

Bu çalışmada incelenen montaj hattı tek modellenli ve deterministik işlem süreli bir montaj hattıdır. İşlem sürelerinde değişiklik meydana geldikten sonra denge gecikmesi belirlenen bir değeri aşıyorsa

yeniden dengeleme yapılmaktadır. Yeniden dengeleme taşınabilir işlemlerin başka istasyonlara taşınması şeklinde yapılmaktadır. İşlemlerin taşınması sonucunda da taşıma maliyeti oluşmaktadır.

Yeniden dengeleme için geliştirilen model, tamsayılı programlama modelidir. Bu çalışmada, hattın yeniden dengelenebilmesi için çeşitli kısıtlar gözönünde bulundurularak işlemlerin taşıma maliyetini en küçüklemeyi amaçlayan bir dal – sınır algoritması geliştirilmiştir.

Notasyon:

Modelde temel karar değişkeni (x_{ik}), ikili tamsayılı değişken olup aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & i. \text{ işlem } k. \text{ istasyona taşınırsa} & i = 1, \dots, N \\ 0, & \text{aksi halde} & k = 1, \dots, K \end{cases} \quad (1)$$

N ve K sırasıyla işlem sayısı ve istasyon sayısıdır.

Çalışmada kullanılan parametreler ise aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

t'_i : Süre değişimlerinden sonra i . işlemin süresi

C' : Yeniden dengeleme çevrim süresi

$P = \{(y, z) : y. \text{ işlem } z. \text{ işlemden hemen önce gelen işlem}\}$

Y : Aynı istasyonda bulunması gereken işlemlerin kümesi

Z : Aynı istasyonda bulunması istenmeyen işlemlerin kümesi

A_i : i . işlemin taşınabileceği istasyonların kümesi

G : Kabul edilebilen en kötü denge gecikmesi değeri

K : Dallandırma esnasındaki mevcut istasyon sayısı

K_{\min} : Optimum istasyon sayısı için alt sınır (minimum istasyon sayısı)

$K_{\text{üst}}$: Optimum istasyon sayısı için üst sınır (kabul edilebilen en kötü denge gecikmesine karşı gelen istasyon sayısı)

K_{opt} : Yeniden dengeleme sonucunda elde edilen optimum istasyon sayısı

D_{opt} : Yeniden dengeleme sonucunda elde edilen optimum denge gecikmesi

S_i : i . işlemden sonra gelen işlemlerin kümesi

U_i : i . işlemin taşınabileceği en geç istasyon numarası

C_{ik} : i . işlemin k . istasyona taşınmasının maliyeti

$TC_{\text{üst}}$: Optimum toplam taşıma maliyeti için üst sınır

TC_{opt} : Optimum toplam taşıma maliyeti

Amaç Fonksiyon:

Yeniden dengelemede amaç fonksiyon işlemlerin toplam taşıma maliyetinin en küçüklenmesi olup aşağıdaki formülle ifade edilmektedir:

$$TC_{\text{opt}} = \min \left\{ \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K C_{ik} * x_{ik} \right\} \quad (2)$$

Kısıtlar:

Bu çalışmada, yeniden dengeleme sırasında göz önünde tutulan kısıtlar şunlardır: Çevrim süresi kısıtı, işlemler arasındaki öncelik kısıtı, bölgeleme kısıtları (aynı istasyonda bulundurulması gereken işlemler veya aynı istasyonda bulundurulması istenmeyen işlemler için), her bir işlem için bölünmeme kısıtı, işlemlerin taşınması kısıtı ve denge gecikmesi kısıtıdır.

2.2. Geliştirilen Yeniden Dengeleme Dal – Sınır Algoritması

Bu çalışmada, yeniden dengeleme için optimum çözümü veren spesifik bir dal – sınır algoritması ve de bu algoritmanın hızlı çalışabilmesi için de kesme kuralları geliştirilmiştir. Geliştirilen bu algorithmada, kısıtlardan veya kesme kurallarından dolayı bir dal kesildikten sonra bir önceki düğüme geri dönülerek yeni bir dallandırma yapılır. Bu şekilde ağaç yapısında sadece olurlu dalların oluşturulması sağlanır.

Yeniden dengeleme sonunda oluşan optimum istasyon sayısı, minimum istasyon sayısından daha az olamaz. Aşağıda çevrim süresi kısıtı dışında hiçbir kısıtın dikkate alınmadığı minimum istasyon sayısı bağıntısı verilmektedir:

$$K_{\min} = \left\lceil \sum_{i=1}^N t'_i / C' \right\rceil \quad (3)$$

Diğer kısıtların varlığı K_{\min} değerinin artmasına yol açabilir.

2.2.1. Kesme Kuralları

Bu çalışma için geliştirilen kesme kuralları şunlardır:

Kural 1: İşlemin Taşınabileceği En Geç İstasyon: Bir işlemin taşınabileceği istasyon için üst sınır, belirlenen denge gecikmesini aşmayacak en geç istasyon numarasını ifade etmektedir. i . işlemin taşınabileceği en geç istasyon aşağıdaki formülle bulunur:

$$U_i = K_{\text{üst}} - \left\lfloor \frac{t'_i + \sum_{j \in S_i} t'_j}{C'} \right\rfloor \quad (4)$$

Kural 2: Daha Önce Bulunan Dal Serisine Benzer Bir Dal Serisinin Oluşmasının Engellenmesi: Bu kural yardımıyla, keşfedilmiş bir istasyonun en fazla bir kez düzenlenmesi sağlanır ve daha önceki kısmi çözüme benzer bir kısmi çözüm oluşması engellenir.

Kural 3: Denge Gecikmesi Limiti: Kabul edilen en kötü denge gecikmesini aşan dalların dallandırılması durdurulur. Yeniden dengeleme sonunda $D_{\text{opt}} \leq G$ olmalıdır.

Kural 4: Optimum Toplam Taşıma Maliyeti İçin Üst Sınırın Bulunması: Eldeki en iyi tam çözüm, toplam taşıma maliyeti üst sınırını ifade etmektedir. Kümülatif taşıma maliyetinin bu üst sınırı aştığı dallarda, daha iyi bir tam çözüm elde edilemeyeceğine karar verilerek hesaplama durdurulur.

Geliştirilen yeniden dengeleme dal – sınır algoritmasının etkinliği farklı boyutlardaki örnek problemlerle test edilmiş ve optimum çözüme ulaşılmıştır. Ayrıca, kesme kurallarının çözüm süresini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür.

3. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma algoritmanın hızı açısından kesme kurallarının önemini de göstermektedir. Çünkü, kesme kuralları dalların elimine edilmesini hızlandırmaktadır. Ayrıca, bu çalışmada, yeniden dengelemede hedefler, toplam taşıma maliyetinin en küçüklenmesi ve denge gecikmesi için belirlenen değerin aşılmamasıdır. Ancak, kısıtlar nedeniyle bir miktar denge gecikmesi bulunması kaçınılmazdır. Ayrıca, bu iki hedef birbirlerine zıt olabilmektedir. Çünkü, denge gecikmesinin azaltılmaya çalışılması istasyon sayısının azaltılmasını gerektirir. Bu durumda taşınması gereken işlemlerin sayısı artabilir ve doğal olarak taşıma maliyeti artabilir.

Geliştirilen dal-sınır algoritmasının daha da hızlı çalışabilmesi için yeni kesme kuralları geliştirilebilir. Bu çalışmada, tek modelli, deterministik işlem süreli bir montaj hattı incelenmiştir. Karma modelli montaj hatlarının yeniden dengelenmesi için de işlem sürelerinin deterministik ya da stokastik olması durumlarına göre modeller geliştirilebilir.

Kaynaklar

Askin, R., G., ve Standridge, C., R., *Modeling and Analysis of Manufacturing Systems*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 461 sayfa, 1993.

Dar-El, E., M., ve Rubinovitz, J., Using Learning Theory in Assembly Lines for New Products. *International Journal of Production Economics*, 25, 103-109, 1991.

Miltenburg, J., Balancing U – Lines in a Multiple U – Line Facility. *European Journal of Operational Research*, 109, 1-23, 1998.