

STOKASTİK GÖREV ZAMANLI TEK MODELLİ U TİPİ MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMLERİ İÇİN BİR SEZGİSEL

Kürşad AĞPAK¹, Hadi GÖKÇEN², N. Nergiz SARAY², Suna ÖZEL²

¹ Endüstri Müh. Bölümü, Gaziantep Üniversitesi, Gaziantep

² Endüstri Müh. Bölümü, Müh. Mim. Fak., Gazi Üniversitesi, Ankara

ÖZET

Bu makalede, görev zamanlarının normal dağılımla ifade edildiği (stokastik) U tipi montaj hattı dengelenme problemi için yeni bir sezgisel prosedür önerilmiştir. Önerilen prosedür geliştirilirken, Arcus [16] tarafından geleneksel, deterministik tek modellenli hatlar için sunulan COMSOAL metodundan faydalanılmıştır. Prosedür, her bir istasyon için yönetim tarafından belirlenen güvenlik seviyesi kısıtı altında, görevlerin, istasyon sayısı en küçüklenecek şekilde atanmalarını amaçlamaktadır. Prosedür, Pascal programlama diliyle kodlanmış, değişik test problemleriyle denenmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hat dengeleme, U tipi hatlar

A HEURISTIC FOR SINGLE MODEL U-LINE ASSEMBLY LINE BALANCING WITH STOCHASTIC TASK TIME

ABSTRACT

In this paper, a new heuristic procedure for single model U-line balancing problem with stochastic task time is proposed. The proposed procedure is based on the COMSOAL method developed by Arcus [16] for traditional deterministic single model assembly lines. The aim of the procedure is to assign tasks to stations such that number of station will be minimized and probability confidence levels set by management will not exceeded for each station time.

Keywords: Line balancing, U-line

GİRİŞ

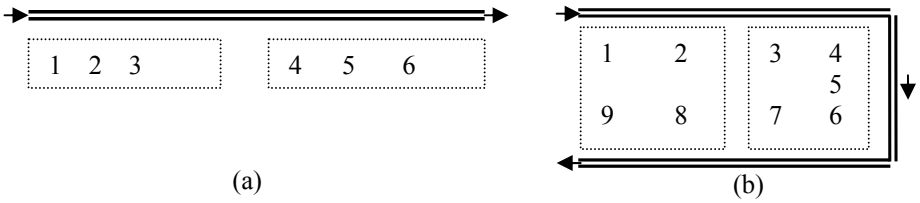
Sürekli üretim sistemlerinde, üretimin birimler halinde gerçekleştirildiği ve kitle talebin olduğu durumlarda, yüksek üretim hızıyla talebi karşılamanın en makul yolu

montaj hatlarının yapılandırılmasıdır.

Montaj hatlarında üretimin düzgün bir şekilde yapılabilmesi idealini bozan birtakım problemler ortaya çıkmaktadır. Konuyla ilgili Endüstri Mühendisliği ve Yöneylem Araştırması literatüründe karşılaşılan yüzlerce araştırmanın ortak amacı, bu tür problemlerin ortadan kaldırılmasına yönelik metotların oluşturulma çabasıdır.

Montaj işleminin yapılabilmesi için gerekli işler, bu işlerin aldıkları süreler ve aralarındaki öncelik ilişkileri verildiğinde, işlerin bir performans ölçüsü en iyilenecek şekilde sıralı iş istasyonlarına atanması, montaj hattı dengeleme problemi olarak tanımlanmaktadır.

Geleneksel hat dengeleme probleminde modellenen üretim hattı “düz” olarak organize edilmiştir. Toyota’nın JIT prensiplerinin uygulanabilmesi için üretim hattını “U” tipinde organize etmesiyle yeni bir hat tasarımı ortaya çıkmıştır. Geleneksel hatlardan farklı olarak U-tipi montaj hatlarında yerleşim U şeklinde olup, hattın giriş ve çıkışı aynı pozisyonda bulunmaktadır. Şekil 1’de iki istasyonlu bir düz hat (a) ve iki istasyonlu basit bir U hattı (b) verilmektedir.



Şekil 1. (a) Düz hat tasarımı (b) U tipi hat tasarımı

U tipi montaj hatlarında çok fonksiyonlu işçiler görev almaktadır. Çok fonksiyonlu işçi birden çok makinayla işlem yapabilmekte ve bir çevrim zamanı içerisinde istasyondaki tüm makinaları dolaşmaktadır. İşçi, bu makinalardan birisine gittiği zaman, eğer parçanın işlemi devam ediyorsa, işlemin bitmesini beklemekte, daha sonra parçayı bir sonraki makinaya göndermektedir. Yeni parçayı boşalan makinaya yerleştirmekte, operasyonu başlatmakta ve sonraki makinaya gitmektedir. Burada işçinin çevrim zamanı, onun ilk makinaya ard arda varışları arasındaki zaman aralığı olarak tanımlanmaktadır. Bu zaman aralığı, bekleme zamanı, operasyon zamanı ve yürüme zamanını içermektedir [1].

Geleneksel hat dengeleme problemi ile U hattı dengeleme problemi arasındaki anahtar fark; geleneksel hat dengeleme probleminde, atanabilir görevler kümesindeki görevlerin (öncülleri daha önceden atanmış görevler) seçilerek ilgili istasyona atanması, U hattı dengeleme probleminde ise, atanabilir işler kümesinin öncülleri atanmış işler kümesi ile ardılları atanmış işler kümesinin birleşiminden oluşmasıdır. İstasyona atılacak işler bu kümeden seçilecektir.

U tipi montaj hatları ile ilgili küçük fakat gelişen bir literatür bulunmaktadır. U tipi hatların gelişiminde Hall [2] ve Monden [3] en bilinenleridir. Miltenburg ve Wijngaard [4], Ohno ve Nakade [1], Nakade ve arkadaşları [5], Miltenburg [6], Sparling ve Miltenburg [7], Scholl ve Klein [8], Miltenburg [9], Erel ve arkadaşları [10], Ağpak ve Gökçen [11,12]'nin konu üzerinde çalışmalarına rastlamak mümkündür.

Yukarıda tanımlanan montaj hattı dengeleme probleminde işlerin sürelerinin verilmiş oldukları ve bu sürelerin bir birimden diğerine herhangi bir değişim göstermediği varsayılmaktadır. Bu varsayım işlerin insan unsurunun da karıştığı ortamlarda yapılması durumunda geçersiz hale gelmektedir. Diğer bir deyişle, insan unsuru görev sürelerinin değişken olmasına yol açmaktadır. Söz konusu değişkenliğin sebepleri arasında yorulma, dikkatin dağılması, yetersiz nitelikteki işgücü, iş tatminsizliği, hatalı girdiler, araç-gereç bozulmaları sayılabilir. Bu durum, istasyonlara atanan işlerin aldıkları toplam sürenin istasyona verilen süreyi (çevrim zamanı) aşmasına ve dolayısıyla bazı işlerin bitirilememesine sebep olabilmektedir. Özellikle işler arasındaki öncelik ilişkileri gözönüne alındığında, bazı işlere hiç başlanmamaktadır. Bu şekilde yarım kalan veya hiç başlanmayan işlere yönelik olarak değişik hat iyileştirme politikaları geliştirilmiştir [13,19]. Tamamlanamayan bu işlerin oluşturduğu maliyet, problemin çözümünde kullanılan performans ölçütlerinin değiştirilmesini gerektirmektedir; zira bu maliyet faktörü toplam maliyetin önemli bir oranına yaklaşabilmektedir.

Söz konusu stokastik problemin çözümü için geliştirilen Metotlar, Tip 1 ve Tip 2 olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir:

- i. Tip 1 grubundaki metotlar deterministik problem için geliştirilen metotların değiştirilmesiyle elde edilmiş ve iki temel yaklaşım kullanmışlardır: Birinci yaklaşım istasyonlardaki görev süreleri toplamının, çevrim zamanının belli bir oranını geçmemesi koşuluyla insangücü maliyetini en küçüklemekte, ikinci yaklaşım ise istasyonlara atanan işlerin verilen çevrim zamanı içinde tamamlanabilme ihtimallerinin belli bir değerden küçük olmaması koşuluyla işgücü maliyetini en küçüklemektedir.
- ii. Tip 2 grubundaki metotlar, özellikle problemin stokastik durumu için geliştirilmişlerdir ve yukarıda sözü edilen amaç fonksiyonunu en küçüklemektedir.

Geleneksel hatlar için her iki grupta bir çok algoritma geliştirilmiştir. Bu metotlar, Erel ve Sarin [14]'in çalışmalarında detaylı olarak incelenmektedir. Son dönemde ise Sarin ve ark. [15] tarafından tek modelli stokastik montaj hattı dengeleme problemi için geliştirilen DP temelli modeli bulunmaktadır.

U tipi montaj hattı dengeleme problemi için ise literatürde, yalnız görev zamanlarının stokastik olduğu durum için herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu nedenle makalede, görev zamanlarının stokastik olduğu durum için yeni bir sezgisel prosedür önerilmektedir.

SEZGİSEL PROSEDÜR

Bu çalışmada, Arcus [16] tarafından geleneksel MHD problemleri için geliştirilen ve Chrysler firmasında “0” gecikmeyle tam dengeyi sağlayan COMSOAL sezgisel metodu temel alınarak, U tipi hatlar için bir sezgisel prosedür geliştirilmiştir. COMSOAL sezgiseli, Tip 1 sınıfında bir metottur. Metot, ilk olarak deterministik sistemler için geliştirilmiştir. Arcus [16] çalışmasında geliştirilen metodun stokastik durumda uygulanabilmesi için önerilerde bulunulmuş ve çok ürünlü hatlarda görev zamanlarının binom dağılıma uyduğu durum için denemeler yapılmıştır. Bu makalede, sezgisel prosedür geliştirilmeden önce kodu oluşturulan geleneksel stokastik COMSOAL (GSC), Arcus’un [16] çalışmasında çok ürünlü sistemler için geliştirilen metodun, tek ürünlü sistemler için adaptasyonudur.

Geleneksel COMSOAL (GSC) ile stokastik prosedür (SP) arasındaki temel farklılık, istasyonlara atanacak görevlerin sırasıyla ilgilidir. GSC metodu sadece düz hatlar için uygulandığından, öncelik diyagramında ki görevler, soldan sağa doğru istasyonlar için gruplanırlar. U tipi hatlarda ise, hatların özelliklerinden dolayı öncelik diyagramının başından ve sonundan aynı anda olmak üzere, görevlerin istasyonlar için gruplandırılabilmesi sözkonusu olmaktadır. GSC yeniden düzenlenirken U tipi hatların bu özelliği algoritmaya adapte edilmiştir.

SP için varsayımlar aşağıdaki şekildedir:

- A. Her görev birden fazla istasyona atanamaz.
- B. Hattın güvenilirliği tamdır.
- C. İstasyonlar arası stok tutulmasına izin verilmemektedir.
- D. Bir görev, ancak kendisinden önceki görevler tamamlandıktan sonra başlayabilmektedir.
- E. Herhangi bir k görevinin tamamlanma zamanı, ortalaması μ , standart sapması σ olan normal dağılıma sahiptir. Her bir görevin zamanı, diğer görevlerin zamanlarından ve görev atama sıralarından bağımsızdır [17,18].

A, B, C, D varsayımları hat dengeleme literatüründeki varsayımların benzerleridir. Bu sezgisel yaklaşım, sabit yerleşim görevleri, bölgeleme kısıtları gibi bazı özel kısıtlar için genişletilebilir. Geliştirilen sezgisel prosedür aşağıda verilmiştir:

Adım 1; $x=0$, C =çevrim zamanı.

Adım 2; Yeni sıralamaya başla: $x=x+1$.

Adım 3; Tüm $i \in U$ için, NIP(i) ve NIS(i) ’den oluşan A listesini oluşturun.

Adım 4; Tüm $i \in A$ için, eğer NIP(i)=0 , veya NIS(i)=0, i’yi B listesine ekle.

Adım 5; Tüm $i \in B$ için, eğer $P_k \leq \alpha$, i 'yi F listesine ekle. Eğer F boş değil ise, Adım 7'ye git.

Adım 6; Yeni istasyon aç, Adım 3'e git.

Adım 7; $m = \text{card}\{F\}$ hesapla. Rassal olarak $RN \in U(1,m)$ sayısını üret. RN 'inci görevi U listesinden çıkart.

Adım 8; Eğer $x=X$ dur; Eğer bulunan istasyon sayısı bir önceki denemedekinden az ise atamaları güncelle, diğer durumlarda Adım 2'ye git.

Tanımlamalar:

U : Atanmamış görevler listesi.

X : Limit deneme sayısı

X : Deneme sayısı

$NIP(i)$: i görevinin hemen öncülleri listesi.

$NIS(i)$: i görevinin hemen ardılları listesi.

A : Görevlerin hemen öncüllerinin ve ardıllarının sayıları listesi.

B : $NIP(i)$ veya $NIS(i)$ 'si '0' olan yani öncülü veya ardılı bulunmayan görevler kümesi.

I : Görev

F : Olasılık şartını sağlayan görevler listesi.

α : İstasyon zamanının çevrim zamanını aşma olasılığı üst sınırı.

P_k : İstasyon zamanının çevrim zamanını aşma olasılığı.

μ_i : i görevinin ortalama zamanı

σ_i : i görev zamanının standart sapması

Prosedürde P_k İstasyon zamanının çevrim zamanını aşma olasılığını ifade etmektedir. P_k , daha önceki görev zamanları ile ilgili varsayımımıza dayanarak aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$P_k = 1 - F(Z_k)$$

Burada $F(Z_k)$ normal dağılım ortalaması 0, varyansı 1 olan rassal Z_k değişkeninin kümülatif yoğunluk fonksiyonudur.

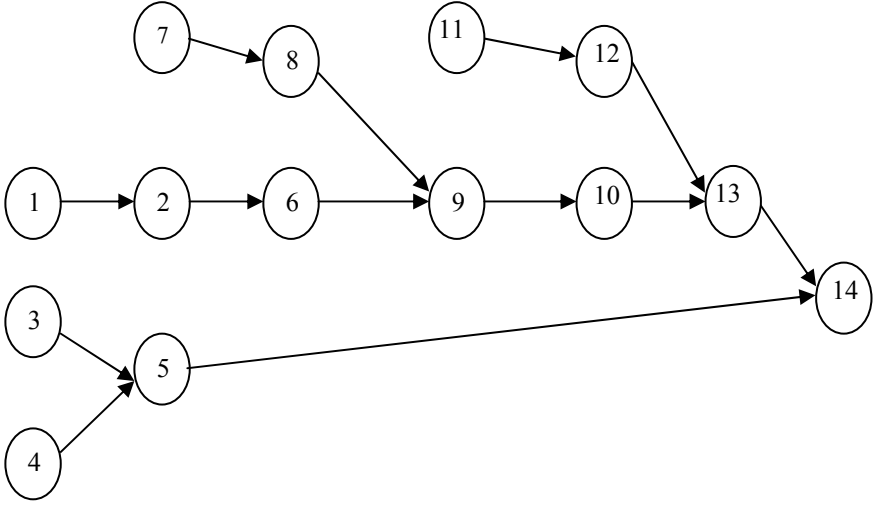
$$Z_k = \frac{(C - \sum_{i \in S_k} \mu_i)}{\sqrt{\sum_{i \in S_k} \sigma_i^2}}$$

α ise yönetici tarafından belirlenmiş olan istasyon zamanının çevrim zamanı aşma olasılığının üst sınır değeridir. Literatürde bu üst sınır değerinin 0.95 ile 0.85 arasında olması tavsiye edilmektedir.

Geliştirilen SP, Pascal programlama diliyle de kodlanmıştır¹. Geliştirilen sezgiselin davranışları ve performansı, değişik test problemleriyle denenmiş ve sonuçlar detaylı olarak analiz edilmiştir.

ÖRNEK PROBLEM

14 görevli problem Rauf ve Tsui [19]'den alınmıştır. Öncelik ilişkileriyle ilgili veriler Tablo 1 de, verilere karşılık gelen öncelik diyagramı Şekil 2'de verilmektedir. Tablo 2, örnek probleme ilişkin görev zaman verilerini göstermektedir.



Şekil 2. 14 görevli test problemi için öncelik diyagramı

Çevrim zamanı 40, tamamlanmama olasılığı sınır değeri 0.02 olarak belirlenmiş ve birinci istasyon için atamalar işlem sıralarıyla birlikte örnek olarak gösterilmiştir. İlk adımda hemen öncülü veya ardılı olmayan görevler belirlenir. Problem için bu görevler 1, 3, 4, 7, 11,14. Bu görevlerin tümü ilk istasyona atanabilir. Bunlar arasından rassal seçim yapılarak, 14 görevinin seçildiği kabul edilmiştir. Birinci istasyon için tamamlanmama olasılığı

$$P_1 = 1 - F(Z_1) = 1 - F\left(\frac{40-13}{5.3}\right) = 1 - F(5.09) = 1 - 1 = 0$$

değerini alır. Bu değer sınır değerinden küçüktür. Yeniden öncelik ilişkileri 1 görevinin atandığı durum için düzenlenmiş ve aday işler 1, 3, 4, 5, 7, 11, 13 olarak

¹ Programın kaynak kodu yazarlardan sağlanabilir.

Tablo 1. Öncelik verileri

Görev No	Hemen öncülleri
1	0
2	1
3	0
4	0
5	3 – 4
6	2
7	0
8	7
9	6 – 8
10	9
11	0
12	11
13	10 – 12
14	5 – 13

Tablo 2. Ortalama görev zamanları ve varyansları

Görev No	Görev Zamanı	
	Ortalama	Varyans
1	7	0.36
2	25	19.36
3	12	15.21
4	6	2.89
5	11	1.69
6	13	4.84
7	16	5.29
8	11	6.25
9	6	8.41
10	12	1.69
11	19	5.29
12	13	6.79
13	9	3.61
14	13	28.09

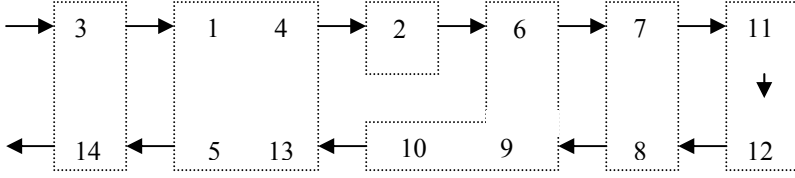
belirlenmiştir. Burada da rassal olarak 3 görevi seçilmiştir. Yeni atamayla istasyonun tamamlanmama olasılığı aşağıdaki şekilde değişmiştir:

$$P_1 = 1 - F(Z_1) = 1 - F\left(\frac{40 - 25}{6.58}\right) = 1 - F(2.28) = 1 - 0.988 = 0.012$$

3 nolu görev atandığında, istasyon tamamlanmama olasılığı sınır değerine yaklaşmıştır. Bu nedenle yeni atama için yeni istasyon açılması gerekmektedir. Bu şekilde tüm görevler istasyonlara atanana kadar bu işlem devam etmektedir. 14 görevin atanmasıyla oluşan denge istasyon tamamlanmama olasılıklarıyla birlikte Tablo 3'te verilmekte ve U tipi hat tasarımı da şematik olarak Şekil 3'te verilmektedir.

Tablo 3. 14 görevli test problemi için U line dengesi (çevrim zamanı 40, tamamlanmama olasılığı 0.02)

İstasyon No	Atanan Görevler	İst. Ort. Zamanı	İst. Stn. Sapması	P (ST>CT)
1	14, 3	25	6.58	0.012
2	5, 1, 4, 13	33	2.92	0.008
3	2	25	4.40	0.000
4	6, 10, 9	31	3.86	0.010
5	7, 8	27	3.39	0.000
6	11, 12	32	3.47	0.011



Şekil 3. 14 görevli test problemi için U line dizaynı (çevrim zamanı 40, tamamlanmama olasılığı 0.02)

HESAPLAMA SONUÇLARI

Prosedür iki farklı seçim kriterine bağlı olarak test problemleriyle çözülmüştür. Bunlardan birincisinde, istasyonlara atanacak görevlerin seçilmesinde (adım 7) rassal seçim metodu kullanılmış, ikincisinde ise istasyona atanacak aday görevler içerisinde istasyonun çevrim zamanını aşma olasılığını en küçük yapan görev seçilmiştir.

SP in performansı, 2 farklı test problemi üzerinde farklı çevrim zamanı ve olasılıklar için analiz edilmiş ve GSC sonuçlarıyla mukayese edilmiştir. SP ile her bir problemin çözümündeki amaç, belirlenen istasyon zamanının çevrim zamanını aşma olasılığı sınırı içinde mümkün olan en az istasyonla montaj hattının dengelenmesidir. Prosedür çözüm yaparken 500 deneme ile sınırlandırılmıştır. Tablo 4'te, seçim kriterlerini de içeren deneme sonuçları verilmektedir. 14 görevli problem, önceki bölümde örnek olarak incelenen problemdir. Diğer 11 görevli problem ise literatürde Jackson problemi olarak bilinmektedir.

Tablo 4. Deneme sonuçları ((1) Rassal seçim kriteri; (2) en küçük seçim kriteri

P _c	Görev Say. (Çev. Zam.)	SP İst. Say.		GSC İst. Say.	
		(1)	(2)	(1)	(2)
0.98	14 (39)	6	7	7	7
0.98	14 (40)	6	7	7	7
0.95	14 (35)	7	7	7	9
0.98	11 (11)	5	6	5	7
0.95	11 (10)	5	7	6	7

Tablo 4'ten görüleceği üzere SP (1), 5 problemin 3'ünde bir istasyon, SP (2) ise 5 problemin 1'inde bir istasyon 1'inde 2 istasyon tasarrufla U tipi hat dengesi elde etmiştir. Tüm bu sonuçlar da dikkat edilmesi gereken diğer bir özellikte, aynı istasyon zamanının, çevrim zamanını aşma olasılığı içerisinde bulunmuş olmasıdır. Alınan olasılıklar aynı zamanda hiç gecikmeye izin vermeyecek olan 1 seviyesine de çok yakın değerlerdir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Geliştirilen prosedür, stokastik hat dengelemenin iki önemli maliyet unsurundan biri olan görevlerin tamamlanmama maliyetini sabit tutarken diğer önemli maliyette, işgücü maliyetinde, iyileştirme sağlamıştır. Çalışmada önerilen prosedür, stokastik U tipi montaj hattı dengeleme problemi için görev zamanlarının normal dağılımla ifade edildiği varsayımı altında dengelemeye yönelik ilk yaklaşımdır. Dolayısıyla bu yaklaşımın, bu konuda ileride yapılacak olan çalışmalara ışık tutacağı ve bir temel oluşturacağı düşünülmekte olup, çalışmanın devamı olarak aşağıdaki farklı araştırmalara odaklanılması düşünülmektedir.

- Görev zamanları için diğer dağılımların etkisinin analizi,
- Farklı seçim kriterlerinin denenmesi,
- Tamamlanmama maliyetinin dikkate alınması,
- Yürüme ve bekleme zamanlarının dikkate alınması,
- Bölgeleme kısıtı türünden kısıtların dikkate alınması.

Not: Bu araştırma 2002K120250-12 nolu DPT projesi tarafından desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

1. Ohno, K., Nakade, K., "Analysis and Optimization of U-Shaped Production Line", **Journal of the Operations Research Society of Japan**, Vol. 40, No. 1, March 1997.
2. Hall, R. W., **Zero Inventories**, IRWIN, Illinois, 1983.
3. Monden, Y., **Toyota Production System**, Industrial Engineering and Management Press, Institute of Industrial Engineers, 1983.
4. Miltenburg, G. J., Wijngaard, J., "The U-Line Balancing Problem", **Management Science**, Vol. 40, No. 10, October 1994.
5. Ohno, K., Nakade, K., Shantikumar, J. G., "Bounds and Approximations for Cycle Times of a U-shaped Production Line", **Operations Research Letters**, Vol. 21, pp. 191-200, 1997.
6. Miltenburg, G. J., "Balancing U-lines in a Multiple U-line Facility", **European Journal of Operational Research**, Vol. 109, pp. 1-23, 1998.
7. Sparling, D., Miltenburg, J., "The Mixed-Model U-line Balancing Problem", **International Journal of Production Research**, Vol. 36, No. 2, pp.485-501, 1998.
8. Scholl, A., Klein, R., "ULINO: Optimally Balancing U-shaped JIT Assembly Lines", **International Journal of Production Research**, Vol. 37, No. 4, pp. 721-736, 1999.
9. Miltenburg, J., "One-piece Flow Manufacturing on U-shaped Production Lines: A Tutorial", **IIE Transactions**, Vol. 33, pp. 303-321.

10. Erel, E., Sabuncuoğlu, I. and Aksu, B. A., “ Balancing of U-type Assembly Systems Using Simulated Annealing”, **International Journal of Production Research**, Vol. 39, No. 13, pp. 3003-3015.
11. Ağpak, K., Gökçen, H., “ U Tipi Montaj Hatlarının Dengelenmesi için Bir Sezgisel Metot: Düzenlenmiş COMSOAL (U-COMSOAL)”, **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, Cilt: 12, Sayı:2, 2001.
12. Ağpak, K., Gökçen, H., “ Basit U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Programlama Yaklaşımı”, **Dokuz Eylül Üni. Müh. Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi**, Basımda.
13. Gökçen, H., Baykoç, Ö. F., “ A New Line Remedial Policy for The Paced Lines with Stochastic Task Times”, **International Journal of Production Economics**, vol. 58, pp. 191-197, 1999.
14. Erdal, E. and Sarin, S. C., “A Survey of the assembly line balancing procedures”, **Production Planning and Control**, 9 (5), 414-434, 1998.
15. Sarin, S. C., Erel, E., Dar-El, E. M., “ A Methodology for Solving Single-Model, Stochastic Assembly Line Balancing Problem”, **International Journal of Management Science-OMEGA**, 27, 525-535, 1999.
16. Arcus, A. L., “COMSOAL: A Computer Method of Sequencing Operations For Assembly Lines”, **International Journal of Production Research**, Vol. 4, No. 4, pp. 259-277, 1966.
17. Mansoor, E. M., Ben-Tuvia, S., “ Optimizing Balanced Assembly Lines”, **Journal of Insutrial Engineering**, 17, 126-132, 1966.
18. Rauf, A, Tusiü, C. L., “A New Method for Assembly Line Balancing Having Stochastic Work Elements”, **Computers and Industrial Engineering**, Vol.6, No.2 , pp. 131-148, 1982.
19. Gökçen, H, Baykoç, Ö.F., (1997), “Stokastik Görev Zamanlı Dengelenmiş Gecikmesiz Montaj Hatlarının İyileştirilmesi için Bir Model”, **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, 8(1), 3-8.