

**HAT DENGEMEDE YENİ BİR FELSEFE
PARALEL MONTAJ HATLARININ EŞZAMANLI DENGELENMESİ**

Hadi GÖKÇEN* Kürşad AĞPAK**

*Gazi Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06750, Maltepe, Ankara, Türkiye

**Gaziantep Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü Gaziantep, Türkiye

ÖZET

Montaj hatlarındaki verimlilik artışı, kapasiteyi artıracığı ve maliyeti azaltacağı için oldukça önem arz etmektedir. Pratikte çoğu üretim sistemleri bir ya da daha fazla montaj hattından oluşmaktadır. Ürünleri bir ya da daha fazla montaj hattında üretmede iki durum söz konusudur. Birinci durum talebin yeterince yüksek olması ve tek bir hattın kapasitesinin sözkonusu talebi karşılamada yetersiz kalması ve ikinci bir hattın kurulması ihtiyacıdır. Yani, aynı ürünün birden fazla özdeş hatta üretilmesidir. İkincisi ise her bir ürün talebinin, hat kurmak için yeterli büyüklükte olması durumunda, birden fazla benzer ürünün birbirinden ayrı montaj hatlarında üretilmesidir. Hali hazırda montaj hattı literatüründe, bu tür durumlar için, her bir hat ile ilgili bağımsız dengeler oluşturulmakta ve üretim gerçekleştirilmektedir. Bu makalede, birden fazla özdeş ya da benzer hattın bulunması durumunun sözkonusu olduğu hatların dengelenmesi için yeni bir felsefe ortaya konulmakta ve bu doğrultuda yeni prosedürler önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Montaj hattı dengeleme, Paralel hatlar

**A NEW PHILOSOPHY FOR LINE BALANCING: SIMULTANEOUSLY BALANCING OF
PARALLEL ASSEMBLY LINES**

ABSTRACT

Productivity improvement in assembly lines is very important because it is able to increase capacity and reduce cost. Most manufacturing plants consist of one or more assembly lines. There are two cases to produce the products on one or more assembly lines. The first case is to produce the same product on more than one identical assembly line when the demand is high enough. The second one is to produce the different products on more than one separate assembly line when the demand is high enough for each product. In the current assembly line balancing literature, lines are balanced independently for each product. In this paper, a new philosophy for balancing the more than one identical and different assembly line is suggested and new procedures based on this philosophy are proposed.

Key Words: Assembly line balancing, Paralell lines

1. GİRİŞ

Yüksek hacimlerdeki standart ürünlerin üretilmesinde, genellikle montaj hatları kullanılmaktadır. Bir montaj hattı, ürünü oluşturmak üzere bileşenlerinin monte edildiği ve malzeme taşıma sistemi ile birbirine bağlanmış iş istasyonları dizisi olarak tanımlanmaktadır. Montaj hatlarında oluşan dengeleme problemleriyle ilgili yapılan çalışmalar 1950'li yıllarda başlamış olmakla birlikte, problemin yapısı günümüz üretim sistemlerinin tasarımıyla da uyumlu durumdadır [9]. Montaj hattı dengeleme problemi, bazı spesifik koşullar sağlanırken, hattaki boş zaman miktarı minimize edilecek şekilde görevlerin sıralı iş istasyonlarına atanmasıdır. İlk koşul, her bir iş istasyonuna atanan toplam görev zamanının, çevrim zamanına (iki ardışık ürünün hattan çıkışları

arasındaki zaman) eşit ya da ondan küçük olmalıdır. İkinci koşul ise görevlerin atanmasında ardışık işlem sıralarının takip edilmesidir.

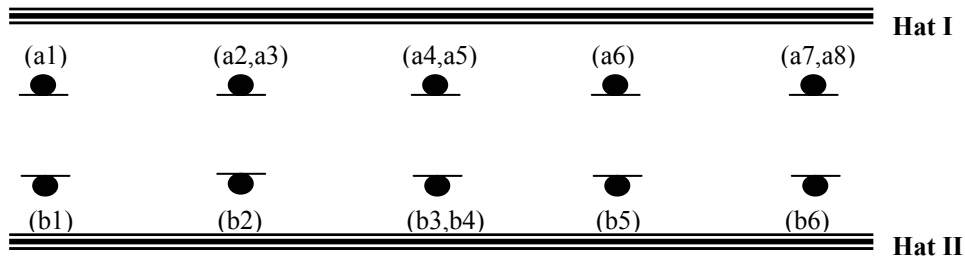
Montaj hattına ilişkin çalışmalar iki genel grup şeklinde sınıflandırılabilir. Bunlar; geleneksel montaj hatları (tek ve çok/karışık ürünlü) ve U tipi montaj hatlarıdır (tek ve çok/karışık ürünlü). Montaj hattı dengeleme konusundaki literatür oldukça kapsamlıdır. Geleneksel montaj hattı dengeleme için, [1, 3, 2] çalışmalarına bakılabilir. U tipi hat dengeleme için ise, [8, 15, 11, 10, 6, 12, 7, 4] çalışmalarına başvurulabilir

Pratikte çoğu üretim sistemleri bir ya da daha fazla montaj hattından oluşmaktadır. Ürünleri bir ya da daha fazla montaj hattında üretmede iki durum söz konusudur. Birinci durum talebin yeterince yüksek olması ve tek bir hattın kapasitesinin sözkonusu talebi karşılamada yetersiz kalması ve ikinci bir hattın kurulması ihtiyacıdır. Yani, aynı ürünün birden fazla özdeş hatta üretilmesidir. İkincisi ise her bir ürün talebinin, hat kurmak için yeterli büyüklükte olması durumunda, birden fazla benzer ürünü birbirinden ayrı montaj hatlarında üretilmesidir. Hali hazırda montaj hattı literatüründe, bu tür durumlar için, her bir hat ile ilgili bağımsız dengeler oluşturulmakta ve üretim gerçekleştirilmektedir. Bu makalede, birden fazla özdeş ya da benzer hattın bulunması durumunun sözkonusu olduğu hatların dengelenmesi için yeni bir felsefe ortaya konulmakta ve bu doğrultuda yeni prosedürler önerilmektedir.

2. HAT DENGEMEDE YENİ BİR FELSEFE

Sanayide paralel hatların aynı yada farklı ürünleri aynı zamanda bağımsızca üretmeleri çok sık rastlanan bir olaydır. Montaj hattı dengeleme literatüründe de şu ana kadar yapılan yüzlerce çalışmanın tamamı, kurulan bir montaj hattında bir ürünün ya da birden fazla farklı ürünün aynı hatta üretilmesi ve bu durum temel olmakla birlikte bununla ilgili değişik durumları yansıtmaktadır. Yani bunlar, tek bir montaj hattı temelli çalışmalardır. Tek bir montaj hattının talebi karşılamaması durumunda ise kaç tane özdeş paralel hattın kurulması üzerine çok kısıtlı olmakla birlikte bazı çalışmalar bulunmaktadır (bkz. [14, 13]). Ancak bu çalışmalarda da kurulacak paralel hatların dengesi bağımsız olarak ayrı ayrı yapılmaktadır. Sunulan felsefe, paralel hatların bağımsız olarak değil, eş zamanlı dengelenmesini öngörmekte ve operatör kullanımını artırarak hattın etkinliğini yükseltmektedir.

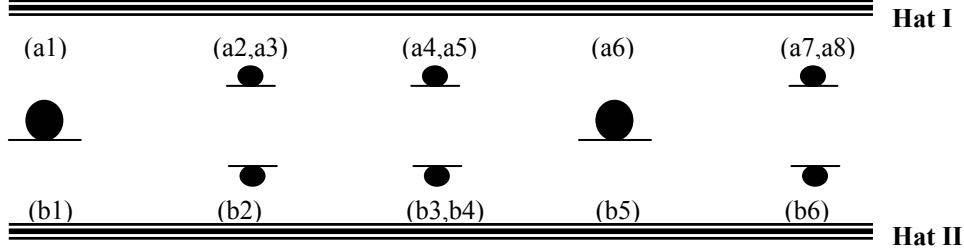
Şimdi, sunulan yeni felsefenin, probleme yaklaşma sistematliğini şematik olarak ifade etmeye çalışalım. Bu yeni felsefeyi temel alan prosedürler ve onlarla ilgili sayısal örnekler, sonraki bölümlerde detaylı olarak verilecektir. Şimdi, birisi 8 görevli, diğeri de 6 görevli iki benzer ürünün olduğu, her ikisinin de 5 adet istasyon gerektirdiği ve bu dengelerde istasyon boş beklemelerinin bulunduğunu varsayalım. Hatlara ilişkin bağımsız dengeler (istasyonlara görev atamaları) şekil 1’de görülmektedir. Parantes içerisindeki rakamlar görevleri, ● sembolü ise, istasyondaki operatörü göstermektedir. Bağımsız dengeden kasıt, bir hattın kaynaklarını, diğer hattan bağımsız düşündürmektir. Başka bir ifadeyle, herhangi bir istasyonda boş bekleyen bir operatörün, başka hatla bir ilgisinin olmayacağıdır. Yani, paralel hatlar bakımından geleneksel diyebileceğimiz bu yaklaşımda, müsait olsalar dahi hatlar arasında operatör transferleri (operatör esnekliği), başka bir hatta ait görevlerin diğer hat operatörünce yapılarak bu boş sürelerin eliminasyonu gibi durumlar sözkonusu dahi olamamaktadır. (Hat 1’in 1. istasyondaki operatörü, sadece Hat 1’e ait a1 nolu görevi yapabilecektir.)



Şekil 1. Geleneksel Paralel Hat Dengeleri

Halbuki, hatların bağımsız dengesinden ziyade, operatör yürümelerine uygun olarak tasarlanabilecek olan paralel hatların eş zamanlı dengelenmesi, yani, herhangi bir hattaki operatör boş zamanlarını, diğer hatta kullanarak azaltma ve dolayısıyla operatör kullanım oranlarını artırma, buna bağlı olarak kaynak

minimizasyonunu sağlama (hatlarda kullanılan toplam operatör sayısını azaltma) ve nihayet hatların etkinliğinin artırılması mümkün olabilecektir. Şekil 2’de, sunulan yeni felsefe gereği, hatların bağımsız olarak değil de kaynakların ortak kullanımı bakımından aynı anda, ortaklaşa dengelenmesi durumu görülmektedir.



Şekil 2. Paralel Hatların Eşzamanlı Dengeleri

Yalnız burada birtakım koşullara riayet edilmesi gerekmektedir. Bunlar, hatlarda üretilecek ürünlerin, her bir montaj hattında monte edilebilir esneklikte olması, her hattın her istasyonunda çalışan operatörlerin çok yönlü olması (esnek işçiler), İki paralel montaj hattı arasındaki uzaklığın yeterince yakın olması (Bir başka deyişle sistemin performansında operatörün yürüme zamanlarının etkisinin olmaması) ve herhangi bir hattın k istasyonunda çalışan bir operatörün, diğer hattın sadece k-1 ve/veya k istasyonunda çalışabilir olmasıdır. .

Şekil 2’de, hat 1’deki a1 görevini yapacak olan operatör, aynı zamanda hat 2’deki b1 görevini de yapabilecektir. Daha önceki bağımsız hat dengelerinde iki operatörle gerçekleştirilebilen a1 ve b1 görevleri, eşzamanlı dengelemede tek bir operatörle yapılabilmekte olup, bu durumda dahi bir operatör tasarrufu sağlanabilmektedir. Benzer durum, hatlardaki 4. istasyonda da görülmektedir.

Montaj hattı literatürüne zenginlik, yeni bir perspektif katacak olan ve felsefe olarak ifade edilen durum, bu konuda daha önce yapılan herhangi bir çalışmanın temel alınması, onun iyileştirilmesi, ya da ortaya konulan bir görüşün ispatlanması gibi bir amaç taşımamaktadır. Literatüre yepyeni çalışma sahaları, ufuklar açacak yeni bir felsefe niteliğinde olmakla birlikte, bu konuyla ilgili, bu makale temel alınmak kaydıyla çok sayıda araştırmaların yapılacağı ümit edilmekte ve beklenmektedir.

Bu makalede, ortaya atılan yeni felsefeye ilaveten, bu felsefeyi temel alan iki adet de prosedür önerilmektedir. Pasif durum ve aktif durum olarak isimlendirilen bu yeni iki prosedürle paralel hatlı montaj sisteminde gerçekleştirilen verimlilik artışı sayısal örneklerle detaylı olarak verilecektir.

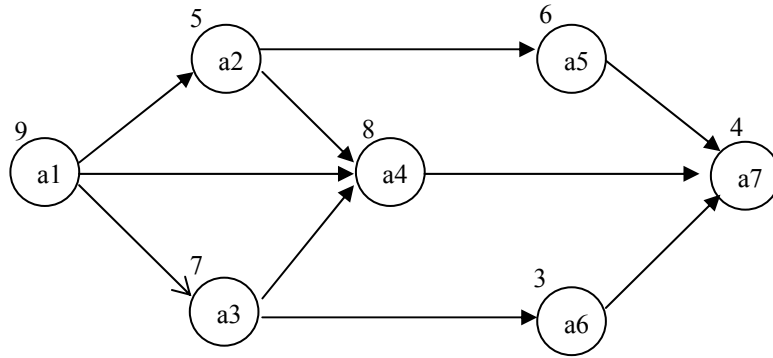
3. PASIF DURUM PROSEDÜRÜ

Bu durumda, talebi karşılamak üzere aynı ürünün üretilmesi amacıyla kurulan talepleri eşit, özdeş iki montaj hattı bulunmaktadır (uygulamada bu durum için daha fazla paralel hat tercih edilmemektedir). Pasif durumda aynı ürünler iki montaj hattında aynı çevrim zamanında monte edilirler. Önerilen prosedür, hat dengelendikten sonra boş bekleme zamanı, çevrim zamanının yarısına eşit yada daha az olan istasyon(lar) bulunması durumunda uygulanabilmektedir. Pasif durum prosedürüne ait adımlar aşağıda verilmektedir.

1. Hattı herhangi bir montaj hattı dengeleme metoduyla dengele.
2. Her hattaki iş istasyonlarının boş bekleme zamanını hesapla.
3. Boş bekleme zamanı, çevrim zamanının yarısı yada daha azı olan k. İş istasyonunu bul ve diğer hattın k. İş istasyonunun görevlerini ilgili operatöre ata ve bu işlemleri bütün iş istasyonları için tekrarla.

Pasif Durum İçin Sayısal Örnek

7 görevden oluşan ve tek bir ürüne ait öncelik diyagramı şekil 3’de verilmektedir. Düğümün içerisindeki sayılar görevleri, düğümleri bağlayan oklar öncelik ilişkilerini ve düğümlerin yanındaki sayılar ise görev zamanlarını göstermektedir.



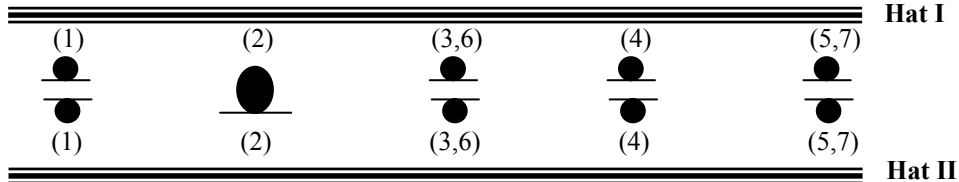
Şekil 3. 7 Görevli Öncelik Diyagramı

Bu örnek için çevrim zamanı 10 olarak belirlenmiştir. Pasif prosedürün uygulanmasındaki ilk iş, hattın herhangi bir hat dengeleme yöntemiyle dengelenmesidir. Bu örnekte, dengeleme amaçlı kullanılan yöntem, Helgeson ve Birnie (1961) tarafından geliştirilen sıralanmış pozisyon ağırlık yöntemidir (RPWT). Yöntemle yapılan dengeleme sonrasında, görevlerin iş istasyon atamaları Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. İş İstasyon Atamaları

İş istasyonu	Görevler	İş Zamanları	İstasyon	Boş Zamanlar
1	a1	9		1
2	a2	5		5
3	a3,a6	10		0
4	a4	8		2
5	a5,a7	10		0

Tablo 1'deki atamalar, her iki hat için de geçerlidir. Bu da iki hatta toplam 10 iş istasyonunun bulunması gerektiği anlamındadır. Hatların verimliliği sırasıyla %84 ve %84 olmuştur. (Hat etkinliği= $e=1-(\text{Toplam boş zaman}/K.C)$). Toplam boş zaman= $TIT=\sum_{k=1}^K (C - S_k)$. Burada K ve S_k sırasıyla iş istasyon sayısı ve k iş istasyonunun zamanını göstermektedir). Tablo 1'de görüldüğü gibi 2. istasyonun boş bekleme zamanı olan 5, çevrim zamanının yarısına eşittir. Bu nedenle 1. hattın ikinci iş istasyonuna atanan operatör, aynı zamanda ikinci hattın ikinci iş istasyonuna da atanabilecektir. Böylece hatların verimliliği sırasıyla %94 ve %92,5 olarak elde edilecektir. Pasif durum prosedürü sonucunda elde edilen yeni durum operatör atamaları şekil 4'de verilmektedir.



Şekil 4. Yeni Durum Operatör Atamaları

Pasif durum için gerekli istasyon sayısı 9 olarak belirlenmiştir. Yani bir iş istasyonundan (operatör) tasarruf edilmiştir. Aynı zamanda da hatların verimlilikleri de sırasıyla %10 ve %9 artmış durumdadır.

4. AKTİF DURUM PROSEDÜRÜ

Bu prosedürün uygulanması için, her bir hatta dengelenen ürünlerin birbirinden farklı ya da benzer ürünler olması gereklidir. Önerilen prosedürdeki görev atama mantığı, tek model hatların dengelenmesi için geliştirilen RPWT yöntemine benzerdir. Bu prosedür için izlenmesi gereken adımlar aşağıdadır;

1. İki montaj hattındaki (L1,L2) her bir ürüne ait görevlerin pozisyon ağırlıkları hesaplanır ($PW(i) = t_i + \sum_{j \in S(i)} t(j)$, S(i), i görevinin ardıllarının setidir).

2. L1 ve L2 hatları için görevler pozisyon ağırlıklarına göre büyükten küçüğe sıralanır.

3. Görev atamalarına, baz montaj hattı kabul ettiğimiz L1 hattındaki, pozisyon ağırlıklarına göre büyükten küçüğe sıralanmış görevlerden başlanır. L1 hattının k. İş istasyonuna (L1(k)) görev ataması yapılırken, L1 hattının çevrim zamanı L1(C) geçilmemelidir.

a. Eğer L1 hattındaki k istasyonunun boş bekleme zamanı sıfır ise, L1(k) kapatılır ve L1(k+1) istasyonu açılır. L2 hattındaki uygun görevler, L2(C) çevrim zamanını aşmayacak şekilde L2 hattının aynı seviyesine atanırlar.

a1) Eğer L2(dk) sıfıra eşitse, L2(k) kapatılır.

a2) Eğer L2(dk) sıfırdan büyükse, L1 hattından L2(k)'ye atanacak görevler araştırılır. L1'den L2(k)'ye atanacak görevler L1(k+1) seviyesindeki görevler arasından seçilmelidir. L1'nin pozisyon ağırlıklı sırası ve öncelik ilişkileri dikkate alınmalıdır. L1'den L2(k)'ye atanacak görevlerin zamanlarının toplamı L2(dk)'ye eşit yada ondan küçük olmalıdır. Daha sonra, L2(k) kapatılır

b. Eğer L1(dk) sıfırdan büyükse, L2 hattından L1(k)'ye atanacak uygun görevler seçilmelidir. Burada L2'nin pozisyon ağırlıklı sırası ve öncelik ilişkileri dikkate alınmalıdır. L2'den L1(k)'ye atanacak görevlerin zamanlarının toplamı L1(dk)'ye eşit yada ondan küçük olmalıdır.

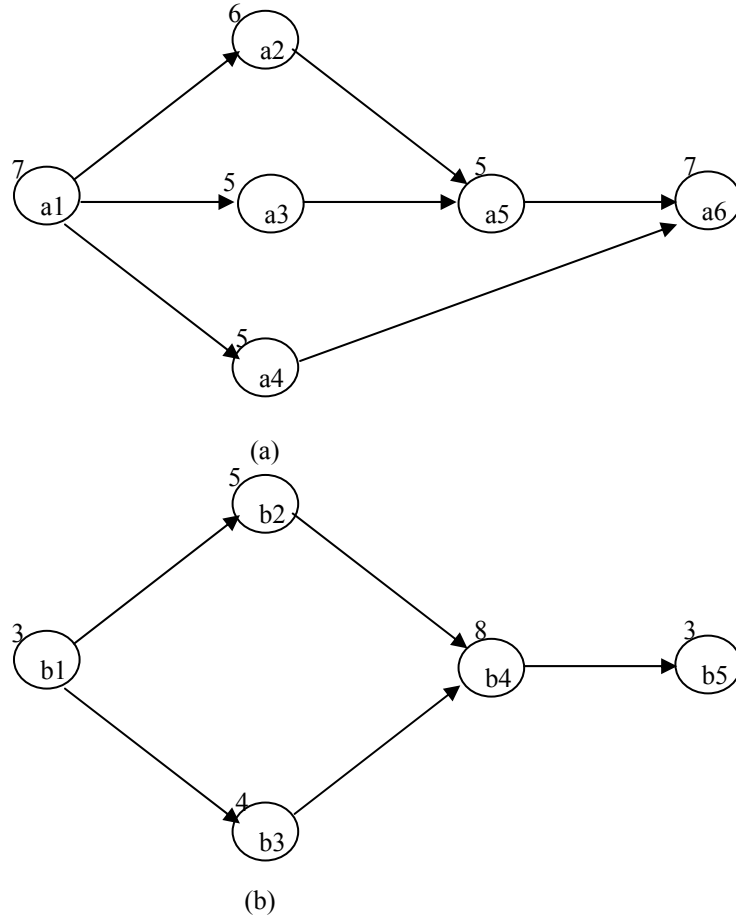
4. L1 ve L2'deki bütün görevler atanana kadar Adım 3 tekrarlanır.

5. Bu kez, L2 baz hat olarak kabul edilir. (Bunun anlamı, L1 ve L2'nin adım 3 boyunca yer değiştirmesidir.) ve adım 3- 4 tekrar edilir.

6. Baz hattın L1 veya L2 durumlarına göre elde edilen iki denge arasından yüksek hat etkinliğine ve daha az iş istasyonuna sahip olan seçilir. Bu denge paralel hatların ortak dengesi olarak kabul edilir.

Şekil 5'te iki farklı ürüne ait öncelik diyagramları verilmiştir. Birinci ürünün çevrim zamanı 10, ikinci ürünün ise 8 olarak belirlenmiştir. İki ürün bağımsız olarak (geleneksel) dengelendiğinde istasyonlara atanan görevler, Tablo 2' de verilmektedir

İki hat için gerekli istasyon sayısı 9, hatların verimliliği ise sırasıyla %70 ve %72 olarak belirlenmiştir. Aktif durum için önerilen prosedürün uygulanmasında yapılacak ilk iş, L1 ve L2 hatlarındaki her bir görevin pozisyon ağırlığının belirlenmesidir. Bu durum tablo 3'te verilmektedir.

Aktif Durum İçin Sayısal Örnek

Şekil 5. Öncelik Diyagramları a) ürün 1 için (montaj hattı 1) b) ürün 2 için (montaj hattı 2)

Tablo 2. İki Hattın İş İstasyon Atamaları

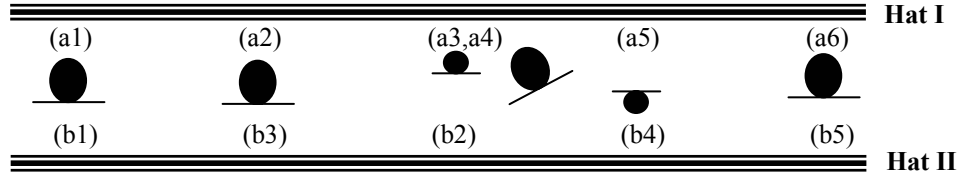
İş İstasyonu	Hat I		Hat II	
	Görevler	Boş zaman	Görevler	Boş zaman
1	a1	3	b1,b2	0
2	a2	4	b3	4
3	a3,a4	0	b4	0
4	a5	5	b5	5
5	a6	3	-	-

Görev atamaları L1 baz montaj hat kabul edilerek yapılır. L1(1) istasyonuna, ağırlığı en büyük olan 1 görevi atanır. 1. görevin zamanı 7 dir. $L1(C)=10$ olduğundan, $L1(d1)=10-7=3$ olarak belirlenir. Yani artan zaman 3 tür. L1 hattında 3 zamanına uyan hiçbir görev bulunmadığı için, L2 hattı üzerindeki görevler araştırılır. L2(1) görevi hem en yüksek ağırlığa sahip hem de L1(d1) değerine uygun olduğundan, L2 hattındaki 1. görev L1(1) istasyonuna atanır. L1(1) kapatıldıktan sonra L1(2) açılır.

Tablo 3. İki Hattaki Görevlerin Pozisyon Ağırlık (PW) değerleri

Görevler	L1 hattındaki görevlerin PW si	Görevler	L2 hattındaki görevlerin PW si
a1	35	b1	23
a2	18	b2	16
a3	17	b3	15
a4	12	b4	11
a5	12	b5	3
a6	7	-	

Benzer uygulama ile L1'deki 2. görev ve L2'deki 3. görev L1(2)'ye atanır ve L1(2) kapatılır. L1(3)'e atanan görevler L1 hattındaki 3 ve 4 no'lu görevlerdir, yani, L1(3)'e L2 hattından görev atanmasına gerek yoktur. L1 hattındaki 5 görevi L1(4) istasyonuna atanır ve kapatılmadan önce, L2 hattının k-1 (3. seviye) seviyesindeki 2. görevi de L1 (4) e atanır. Böylece L2 deki görevler, L2(4) e atanır ve ilgili istasyon kapatılır. Bu durum şekil 6'da verilmektedir.



Şekil 6. Operatör Atamaları

Aktif durum için önerilen prosedür sonucunda, gerekli iş istasyonu sayısı 6'dır. Yani, iki hat için toplam gerekli istasyon sayısı 9'dan 6'ya düşmüştür. Hatların etkinlik değerlerinde ise, birinci hat için %30, ikinci hat için %28'lik bir iyileşme sağlanmıştır. L2 hattı baz hat kabul edildiğinde ve aynı prosedür uygulandığında elde edilen sonuçlar tablo 2'deki ile aynıdır. (gerekli istasyon sayısı 9). Bu durumda şekil 6'da verilen 6 istasyonlu çözüm tercih edilecektir. Bu yeni durum için işçilerin istasyonlara atanması tablo 4'te verilmektedir.

Table 4. İş İstasyonu/Operatör Görev Atamaları

İş istasyonu/ Operatör	Hat 1 için Görevler	Hat 2 için Görevler	Operatör Boş Zamanı
1	a1	b1	0
2	a2	b3	0
3	a3,a4	-	0
4	a5	b2	0
5	-	b4	0
6	a6	b5	0

Tablo 4'te görüldüğü gibi her iki hat içinde işçi boş bekleme bu örnek için sıfırdır. Bu, hatların %100 etkinlikte çalıştıkları anlamındadır. Bu denge, aynı zamanda da bu problem için kusursuz (tam denge) yi vermektedir.

5. ÜÇLÜ PARALEL HAT DURUMU

Uygulamada, üç paralel özdeş montaj hatlarının aynı tesiste bulunması fazla karşılaşılan bir durum değildir. Dolayısıyla iki paralel hat için önerilen pasif prosedürün 3 paralel hat olması durumunda kullanımı sözkonusu değildir. Ancak farklı ya da benzer ürünler için ikiden fazla hattın aynı tesiste kurulması sözkonusu olabilmektedir. Yeni yaklaşımların uygulanabilmesi için hatların birbirine yakın olma zorunluluğundan dolayı 3 ten fazla paralel hattın yan yana kurulması, saha problemi, malzeme depolama

problemi vb birtakım problemleri de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle sunulan yeni felsefe doğrultusunda, iki hat için geliştirilen aktif durum prosedürünün, üç paralel hattın olması durumuna göre modifiye edilmesi fayda sağlayacaktır. Üç paralel hattın olması durumunda, yine bağımsız olarak dengelenecek hatlardan ziyade, hatların eşzamanlı dengelenmesinin getireceği faydalar kaçınılmazdır. Bu durumda, 1. ve 3. hattın istasyonlarında çalışan operatörlerin, orta hat denilen 2. hattaki istasyonlardaki mümkün görevleri yapabilme yetenek ve esnekliğine sahip olmaları, bu faydaları ortaya çıkaracaktır. Aynı zamanda bu 3 hatlı durumda, 3 farklı hattın yerleşimlerinin nasıl olduğunun belirlenmesi de önem taşımaktadır. Bunun için de, her bir hattın, sırayla baz hat olarak dikkate alınması ve neticede elde edilen en iyi denge, en iyi hat tasarımı olarak sunulması gerekmektedir.

6. SONUÇ

Bu makalede, birden fazla özdeş ya da benzer hattın bulunması durumunun sözkonusu olduğu hatların dengelenmesi için yeni bir felsefe ortaya konulmakta ve bu doğrultuda yeni prosedürler önerilmektedir. Felsefe gereği, hatların birbirine yakın olma zorunluluğundan dolayı 3 ten fazla paralel hattın yan yana kurulması, saha problemi, malzeme depolama problemi vb birtakım problemleri de beraberinde getirmektedir. Bu nedenle sunulan yeni felsefe doğrultusunda, iki hat için pasif ve aktif durum prosedürleri geliştirilmiş, sayısal problemlerle performansını incelenmiş ve bu prosedürlerin, üç paralel hattın olması durumuna göre yeniden düzenlenebileceği vurgulanmıştır. Montaj hattı literatürüne zenginlik, yeni bir perspektif katacak olan ve felsefe olarak ifade edilen durum, bu konuda daha önce yapılan herhangi bir çalışmanın temel alınması, onun iyileştirilmesi, ya da ortaya konulan bir görüşün ispatlanması gibi bir amaç taşımamaktadır. Literatüre yepyeni çalışma sahaları, ufuklar açacak yeni bir felsefe niteliğinde olmakla birlikte, bu konuyla ilgili, bu makale temel alınmak kaydıyla çok sayıda araştırmaların yapılacağı ümit edilmekte ve beklenmektedir.

KAYNAKLAR

1. Baybars, I., "A survey of exact algorithms for the simple assembly line balancing problem", **Management Science**, 32 (8), 909-932, 1986.
2. Erel, E. and S.C. Sarin, "A survey of The assembly line balancing procedures", **Production Planning and Control**, 9 (5), 414-434, 1998.
3. Ghosh, S. and J. Gagnon, "A comprehensive literature review and analysis of the design, balancing and scheduling of assembly systems", **International Journal of Production Research**, 27(4), 637-670, 1989.
4. Guerriero, F., and J. Miltenburg, "The stochastic U-line balancing problem", **Naval Research Logistics**, 50, 31-57, 2003.
5. Helgeson, W. P. and D.P. Birnie, "Assembly line balancing using the ranked positional weight technique", **Journal of Industrial Engineering**, 12(6), 384-398, 1961.
6. Miltenburg, J., "Balancing U-lines in a multiple U-line facility", **European Journal of Operational Research**, 109, 1-23, 1998.
7. Miltenburg, J., "U-shaped production lines: a review of theory and practice", **International Journal of Production Economics**, 70, 201-214.
8. Miltenburg, J., and J. Wijngaard, "The U-line balancing problem", **Management Science**, 40(10), 1378-1388, 1994.
9. Nahmias, S., **Production and Operations Analysis**, second edition, Irwin, 1993.
10. Ohno, K., and K. Nakade, "Analysis and optimization of U-shaped production line", **Journal of the Operations Research Society of Japan**, 40(1), 90-104, 1997.
11. Scholl, A. and R. Klein, "ULINO: optimally balancing U-shaped JIT assembly lines", **International Journal of Production Research**, 37(4), 721-736, 1999.
12. Sparling, D. and J. Miltenburg, "The mixed-model U-line balancing problem", **International Journal of Production Research**, 36(2), 485-501, 1998.
13. Süer, G.A., "Designing parallel assembly lines", **Computers and Industrial Engineering**, 35(3-4), 467-470, 1998.
14. Süer, G.A. and C. Dagli, "A knowledge-based system for selection of resource allocation rules and algorithms", **Handbook of Expert System Applications in Manufacturing; Structures and Rules**, (eds. A.Mital and S.Anand), Chapman and hall, 108-147, 1994.
15. Urban, T. L., "Note: optimal balancing of U-shaped assembly lines", **Management Science**, 44(5), 738-741, 1998.