

**MONTAJ HATTI Dengelemede Geleneksel ve U Tipi Hatların
Karşılaştırılması ve Bir Uygulama Çalışması**

Kerem GÜNAY Tuğba ÇETİN Ö. Faruk BAYKOÇ

Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

ÖZET

Bu makalede Tam Zamanında Üretim felsefesi prensiplerinin hayata geçirilmesiyle birlikte ortaya çıkan U tipi üretim hatları ve geleneksel hatlar incelenmiştir. Çalışmada öncelikle U tipi montaj hatları, geleneksel montaj hatları ve bu hatların dengelenmesi hakkında genel bilgiler verilmiş, ardından hem geleneksel hem de U tipi hatlarına ilişkin dengeleme çalışması yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Uygulama Arçelik Bulaşık Makinesi İşletmesinde gerçekleştirilmiştir. Gerekli operasyonlar, süreleri ve bu operasyonların öncelik ilişkileri gözlemler yapılarak ve ilgili kişilerle görüşme yapılarak elde edilmiştir. Elde edilen bilgiler ile Scholl & Klein (1999) tarafından geliştirilen SALOME-1 ve ULINO-1 programları kullanılarak minimum istasyon sayısı ve istasyonlara atanan görev kümelerine ait bilgiler bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler : Montaj hattı dengeleme, U tipi montaj hatları ,geleneksel montaj hatları

**COMPARISON OF TRADITIONAL AND U TYPE LINES IN ASSEMBLY LINE
BALANCING AND AN APPLICATION STUDY**

ABSTRACT

In this article, traditional and U type assembly lines originated by the principles of the Just in Time philosophy are considered. Having presented the general information about U type, traditional assembly line and their balancing, an application study is presented and the results are compared.

The practical study is performed on the Arçelik dishwasher company. Operations, operation times and precedence relations are obtained by observing the system itself and talking to some workers directly. Data are then used in SALOME1 and U-LINO-1 programs which was developed by Scholl & Klein (1999) in order to find the minimum number of station and the related task assigned to stations.

Key Words : Line Balancing ,U Type Assembly Line

1.GİRİŞ

1.1 Geleneksel Montaj Hatları

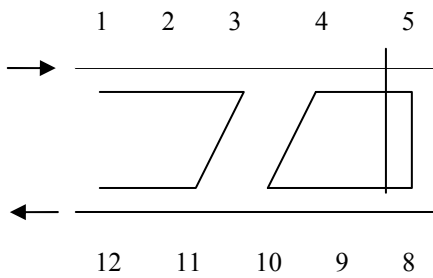
Malzemelerin bir hat boyunca işgücü yardımıyla ya da otomatik olarak transfer edilmeleri ve parça üzerindeki işlemlerin de bir hat boyunca sıralı iş istasyonlarında yapılması montaj hatlarını tanımlamaktadır.

Bir üretim montaj hattı, seri durumda iş istasyonlarından oluşur. Bu istasyonlar bir yada daha fazla makineden ya da daha fazla sayıda işçiden oluşur. Montaj hatlarındaki işçiler genellikle çeşitli aletlerle donatılmışlardır.

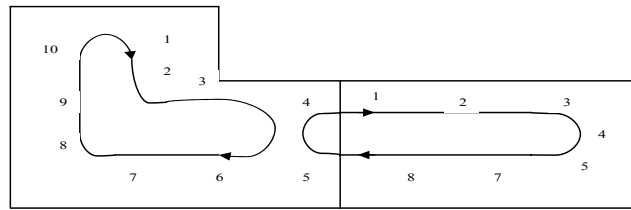
1.2.1. U Tipi Hatların İstasyon Çeşitleri

U hatlarda 3 tip istasyon kullanılır. Bunlar klasik, karşıya geçişli ve çok hatlı istasyonlardır. Geleneksel hatlardaki tüm istasyonlar klasiktir. Klasik istasyonda karşıya geçiş uzaklığı kavramı yoktur ve geri dönüş uzaklığı görev uzaklıklarının toplamına eşittir. U hatlarda çok büyük klasik istasyonlar istenmez. Çünkü bu istasyonlar iletişimi ve problem çözümünü zorlaştırırlar(5). Bu nedenle U tipi hatlarda klasik istasyonların az sayıda kullanılmasına, buna karşılık karşıya geçişli ve çok hatlı istasyonların da mümkün olduğunca fazla sayıda kullanılmasına özellikle dikkat edilmelidir.

Karşıya geçişli istasyon bir U hattının farklı taraflarında bulunan görevlerin iki grubunu içerir. Operatör bu iş grupları arasında hareket etmek için karşıya geçiş ve geri dönüş uzaklığı kat eder (Şekil 2). Çok hatlı istasyon ise komşu U hatlardaki işleri içerir. Bu hatlarda geri dönüş uzaklığına ek olarak iki U hattı arasındaki seyahat uzaklığı ve istasyonla atanan görevlere bağlı olarak karşıya geçiş uzaklığı da işin içine girebilir (Şekil 3)(6).



Şekil 2: Karşıya Geçişli İstasyon



Şekil 3: Çok Hatlı İstasyon

1.2.2. U Tipi Hatların Yararları

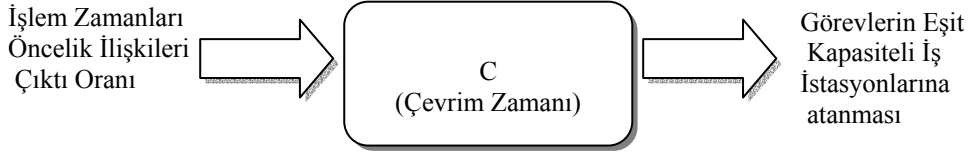
Tam zamanında üretim sisteminin hayata geçirilmesiyle istasyonların U hattı üzerinde düzenlenmesinin geleneksel konfigürasyona göre daha avantajlı olduğu anlaşılmıştır. Bunlardan birincisi de üretime esneklik kazandırmasıdır. Yani talep değişimlerine karşı üretim hızının adaptasyonunun düz hatlara göre daha kolay yapılmasıdır. Diğer avantajları ;

- 1- U hatlarında iş görenlerin birbirlerine yakın olmalarından dolayı görülebilirlik ve iletişim gelişmiştir. Hatta problemler ortaya çıktığında operatörler hızlı bir şekilde hareket edip yardımlaşarak sorunu çözebilirler.
- 2- U hatlarında çalışan operatörler pekçok operasyonu gerçekleştirebilecek şekilde beceriklidirler. Operatörler hergün belli periyotlarla hattaki farklı iş istasyonlarında çalışırlar. Bu ise operatörlere U hattındaki çıktı oranının yada çevrim zamanının değişimi gibi durumlara kolaylıkla uyum sağlamanın yanında karşılaştıkları problemlerle başa çıkabilme yeteneği kazandırır.
- 3- JIT prensiplerine göre bir U hattındaki çıktının, takip eden operasyonlarda kullanılacak oran ile eşleşecek şekilde ayarlanması gerekir. U hattındaki çıktı oranı hatta işçi ekleyerek yada çıkararak ayarlanabilir. Yeniden dengeleme geleneksel hatlarda daha zordur. Çünkü operatörlere dar kapsamlı bir eğitim verilmiştir ve çevrim zamanı bu hatlarda genellikle değiştirilemez.
- 4- Aynı veriler kullanıldığında U hattı için bulunacak istasyon sayısı geleneksel bir hat için gerekli istasyon sayısından asla fazla olamaz.

U-tipi hatların tüm bu avantajlarına rağmen, bu hatların genel karakteristiği olan karşıya geçişlerde mesafenin uzun tutulması zaman kayıplarına yol açabilmesi bakımından bir dezavantaj oluşturmaktadır.

2. MONTAJ HATLARINDA DENGELEME

Montaj hattı dengeleme ya da daha genel bir deyişle hat dengeleme, fabrika tasarımı sırasında ortaya çıkar. Montaj hattı dengelenmesi fabrikaların üretim planlama ve kontrol çalışmalarında önemli yeri olan bir kavramdır.



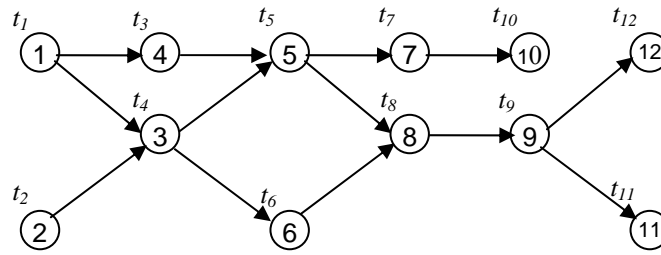
Şekil 4: Bir Montaj Hattı Dengeleme Sistemi

Montaj hattı dengeleme problemi montaj işleminin yapılabilmesi için gerekli işler, bu işlerin süreleri ve işler arasındaki öncelik ilişkileri verildiğinde bir performans ölçütünü en iyileyecek şekilde sıralı iş istasyonlarına atanması şeklinde tanımlanabilir (Şekil 4). Böyle bir problem basit montaj hattı dengeleme problemi olarak bilinir (SALBP).

Aşağıda SALBP' ye ilişkin bilgiler verilmektedir(7).

- 1- Tek bir ürün çok büyük miktarlarda üretilmektedir. Her j görevi ($j=1, \dots, n$) deterministik operasyon zamanına (t_j) sahiptir. Tüm operasyonların toplam zamanı t_{sum} ile gösterilir.
- 2- Görevler, öncelik diyagramındaki öncelik ilişkileri dikkate alınarak kısmen (parçalı olarak) sıralanmıştır. Ok (i,j)'nin anlamı i görevi yapıldıktan sonra j görevine başlanabileceğidir. Şekil 5 de $n=12$ görevli bir öncelik diyagramını göstermektedir. (görevlerin üzerindeki rakamlar (t_j) operasyon zamanlarını gösterir).
- 3- Her bir görev yalnız ve yalnız bir istasyona atanır. S_k istasyonuna $k=1, \dots, m$ atanan görev kümeleri istasyon yükleri olarak adlandırılır ve istasyonlar hat boyunca ardışık olarak numaralandırılır.
- 4- K istasyonuna atanan görevlerin toplam operasyon zamanı $t(S_k)$ olarak adlandırılır ve istasyon zamanı çevrim zamanından büyük olamaz.

$$t(S_k) = \sum_{j \in S_k} t_j \leq C \quad k=1,2,\dots,m \quad (1)$$



Şekil 5: 12 Görevli Öncelik Diyagramı

- 5- Atamalarda öncelik ilişkileri dikkate alınmak zorundadır. Bir j görevi k istasyonuna atandığı zaman, j görevinin öncülü olan her i görevinin bir istasyona ($1, \dots, k$) atanmış olması gereklidir.
- 6- Amaç, hat etkinliğinin en büyüklenmesidir. Hat etkinliği (e) şöyle hesaplanır;

$$e = t_{sum} / (m * C) * 100\%$$

SALBP nin versiyonları şunlardır (7);

SALBP-1 : Çevrim zamanı C verilir, istasyon sayısı m minimize edilir.

SALBP-2 : İstasyon sayısı m verilir çevrim zamanı C minimize edilir.

Basit montaj hattı dengeleme problemi (SALBP) ile ilgili yapılan çok sayıda çalışmaya rağmen, bu problem pek çok dezavantajı olan klasik bir problem olarak tanımlanmıştır. Bu dezavantajlardan bazıları;

- Monoton ve sıkıcı işler
- Düşük düzeyde beceriye sahip operatörler
- Üretim sisteminin duyarlılık ve kararlılığının hatalara ve talep değişim oranlarıyla ilgili olması

Geleneksel hat dengeleme problemi iş istasyonlarının üretim hattı üzerinde ardışık bir şekilde düzenlendiğini kabul eder. Denge, öncelik diyagramı dikkate alınarak iş gruplarının istasyonlara ileriye doğru (ya da geriye doğru) atanmasıdır. U hattı dengeleme problemi geleneksel hatların dengelenmesine göre çok daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Çünkü bu hatlarda öncelik diyagramı esas alınarak görevler ileriye doğru, geriye doğru ya da her iki yönde de aynı anda hareket edebilecek şekilde gruplandırılabilirler.

U tipi hatlarda görevler, U şeklinin etrafında düzenlenmiştir ve hattın bir segmentinden diğerine uzanan istasyonlar organize edilmiştir(8). Her iki hatta da görevlerin istasyonlara atanmasında operatörün ihtiyaç duyduğu zaman göz önüne alınır. Bu ise geleneksel hatta görev uzaklıklarının toplamının iki katına U hattında ise görev uzaklıklarıyla birlikte geri dönüş ve karşıya geçiş uzaklıklarının toplamına eşittir.

U tipi montaj hattı problemi (UALBP), öncelik kısıtlarıyla ilgili olarak SALBP' nin geliştirilmiş halidir. Bu yüzden üç problem versiyonu daha tanımlamak mümkündür(7).

UALBP-1 : Çevrim zamanı C verilir, istasyon sayısı m minimize edilir.

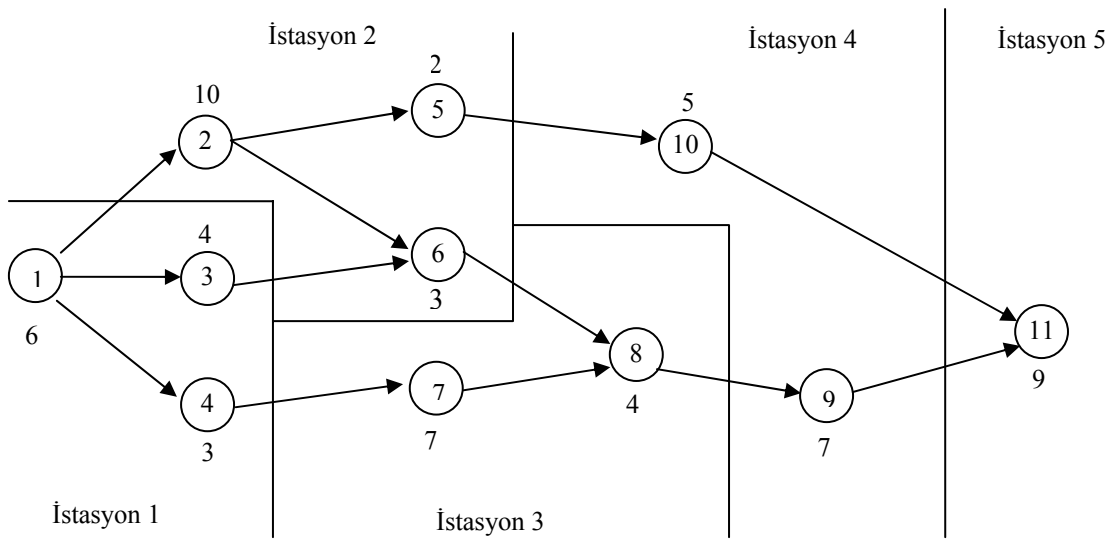
UALBP-2 : İstasyon sayısı m verilir, çevrim zamanı C minimize edilir.

UALBP-E : C ve m, birer değişken iken hat etkinliği e maksimize edilir.

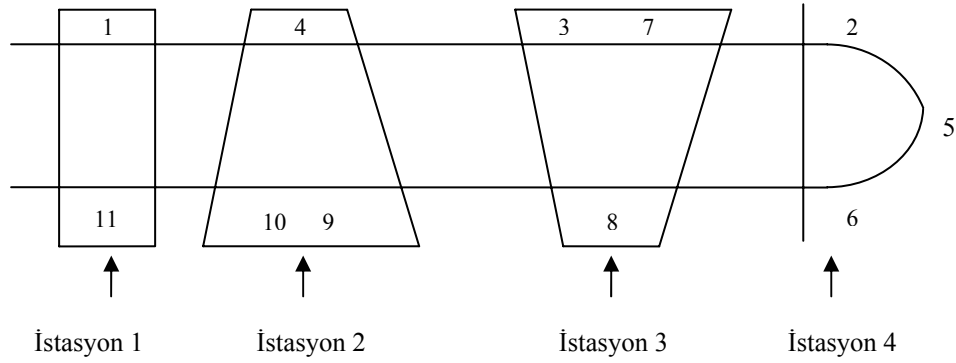
U tipi hatlarda görevlerin istasyonlara atanmasında hattın geometrisinden yararlanılarak geri dönüş ve karşıya geçiş uzaklıklar mümkün olduğunca küçük tutulur. Bunun sonucu olarak toplam seyahat uzaklığı dolayısıyla da seyahat zamanı bu tip hatlarda daha azdır.

3. GELENEKSEL VE U TİPİ MONTAJ HATTI DENGELERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Geleneksel hat dengeleme probleminde modellenen üretim hattı "geleneksel" olarak organize edilmiştir. Öncelik diyagramındaki ilk görevden başlamak ve diyagram boyunca görevleri istasyonlarda gruplamak suretiyle denge oluşturulur. Aşağıda bir problemin geleneksel ve U tipi hat olarak dengeleme sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 6: SALBP Hat Dengeleme



Şekil 7: U Tipi Hat Dengeleme

Her bir istasyon için ayrılan süre 15 olduğundan U hattı dengelemede istasyonlardaki boş zaman “0” dır. U tipi dengeleme sonucunda 5 istasyonla yapılmış olan denge 4 istasyona indirilmiştir. Sonuçta görülebileceği gibi U tipi dengelemede işçilerin doluluk oranı hemen hemen aynıdır. Ayrıca istasyonlardaki boş beklemler sıfıra çok yakındır. Geleneksel hatta ise doluluk oranlarındaki farklılıklar dolayısıyla bazı noktalarda darboğazlar oluşmaktadır

4. UYGULAMA ÇALIŞMASI

Uygulama çalışması Arçelik Bulaşık makinesi işletmesinde üretilen Smart modeli için yapılmıştır. Uygulama çalışması yalnızca ana montaj bandı üzerindeki istasyonlar göz önüne alınarak yapılmıştır. Yapılan çalışmada bandın mevcut durumu incelenmiş ve bant hakkında bilgi toplanmıştır. Smart marka model için operasyon tanımları incelenmiş ve aralarındaki öncelik ilişkileri tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu elde edilen veriler SALOME-1 ve ULINO-1 programlarında kullanılarak elde edilen sonuçlar mevcut durum ile kıyaslanmıştır. Toplam olarak 228 operasyon bulunduğundan Tablo 1 de sadece 9 operasyon ve öncelik ilişkileri gösterilmiştir. Bantın mevcut durumu;
Hedeflenen üretim : 500 adet/gün,
Gerçekleşen üretim : 300-400 adet/gün
Çevrim zamanı (c): 51,6 sn,
Hat etkinliği (e): %86,09,
Boş zaman : %13,91
Ana istasyon sayısı (m): 26

Tablo 1: Operasyon Tanımları ve Öncelikleri

Opr. No	Kod	Operasyon Tanımı	Opr. Süresi	Öncüller
1	10	İç Gövdeyi Palete Yerleştir	13,00	
2	20	Sağ Ayak Sacını 3 Adet Vida İle Çerçeveye Sabitle	14,60	1
3	30	Sol Ayak Sacını 3 Adet Vida İle Çerçeveye Sabitle	14,60	1
4	40	Gövdenin Su Cebi Tarafındaki Sacı El Aparatı İle Bük	4,50	1
5	50	Arka Ayak Plastik Destek Parçasını Sağ Çerçeveye Tak	3,50	1
6	60	Arka Ayak Plastik Destek Parçasını Sol Çerçeveye Tak	3,50	1
7	70	Motor Askı Sacını 2 Adet Vida İle Çerçeveye Sabitle	12,50	1
8	80	Sağ Arka Ayak Destek Parçasına 1 Adet Ayarlı Ayak Tak	3,80	5
9	90	Sol Arka Ayak Destek Parçasına 1 Adet Ayarlı Ayak Tak	3,80	6

Tablo 2: Salome-1 Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar

İstasyon	Operasyonlar
1	1,17,18,19,20,21,22,29,44,45,46
2	2,7,12,23,24,25,36
3	3,13,14,15,16,26,27,28,31,40,41,42
4	5,6,32,43,47,50,51,52,53
5	4,8,9,10,11,33,39,48,49,55,56,57
6	30,34,35,54,65,67,68,69,70,73,74,88,149,180
7	58
8	76,83,84,95,103,104,105,106,113,114,115,116,117
9	77,78,90,99,118,119
10	59,60,61,62,63,64,71,91,92,96,97,98,100,109,127
11	72,102,107,108,110,111,112,125,128,129
12	37,66,75,86,87,101,126,134,179,182
13	79,80,81,85,89,93,94,120,122,132,150,151
14	121,124,130,131,133,135,139,140
15	82,123,136,137,138,141,142,143,144,145,146,147,148,152,153,154
16	155,156
17	38,158,159,160,161,162,163,164,166,172,174,177,183,184
18	165,167,168,169,173,175,176,178,181,185,186,187,188,189,191,218
19	192,194,195,199,210
20	171,196,197,198,200,201,202,203
21	190,193,204,205,206,207,208,209
22	211,212,213,214,215,216,219,222,223,224,225
23	170,217,220,221,226,227,228

Toplam etkinlik oranı (e) : 0,97329 (%97,3),

Boş zaman : 0,02671 (%2,7)

Bulunan istasyon sayısı (m) : 23,

İhtiyaç duyulan operatör sayısı : 23

Tablo 3: Ulino-1 Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar

İstasyon	Operasyonlar
1	1,2,3,38,44
2	7,12,17,29,45,46,53,179,180
3	5,6,13,14,15,16,26,31,32,40,65,67,68,69,70
4	18,19,20,21,22,23,24,25,27,41,42,43,66,149,228
5	36,52,220,227
6	37,47,48,50,51,182,206,219,221
7	4,11,28,39,49,55,57,163,166,171,178,181,226
8	8,9,10,33,34,35,54,56,73,76,170,176,222,223
9	204,205,209,212,213,215,217,224
10	30,75,88,151,190,193,202,203,207,208,211,214
11	155
12	64,83,84,90,95,99,210,216
13	71,91,92,103,198,201
14	61,76,77,78,96,97,98,197,200
15	59,60,79,80,104,105,106,107,108,109,110,111,112,114,122,125
16	113,115,116,117,118,119,124,169,195,196
17	100,173,175,186,187,188,189,191,192,194,199
18	62,63,127,128,129,130,131,132,133,135,137,165,167,168,184,185,218,
19	72,82,138,139,140,161
20	85,86,87,101,102,121,126,134,141,183
21	93,94,120,143,144,145,146,147,148,158,159,162,164,172,177
22	81,89,123,136,142,150,152,153,154,156,160,174
23	58

Toplam etkinlik oranı (e) : 0,97329 (%97,3),

Boş zaman : 0,02671 (%2,7)

Bulunan istasyon sayısı(m) : 23,

İhtiyaç duyulan operatör sayısı : 23

5.SONUÇ

Arçelik Bulaşık Makinesi İşletmesi JIT üretim prensiplerini uygulayan bir firma olmakla birlikte montaj hattı JIT in gerektirdiği U tipinde olmayıp geleneksel hat biçimindedir. Sistemde üç montaj hattı bulunmaktadır fakat ikisi faaliyettedir. Uygulama değerine göre daha düşük kapasitesi olan Montaj-1 bandında yapılmıştır.

Öncelikle operasyon tanımları incelenmiş ve gerekli düzeltmeler yapılmıştır. Firmada hiçbir model için öncelik diyagramı bulunmadığından bu operasyonlar arasında öncelik ilişkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

Elde edilen veriler ışığında montaj bandı SALOME-1 programı ile dengelenmiştir. Buna göre 26 ana istasyon ile %86,09 hat etkinliği ile çalışan montaj bandının 23 ana istasyon ile %97,3 hat etkinliği ile çalışabileceği bulunmuştur. Çevrim zamanının 51,6 saniye (500 Tempo) olarak göz önünde tutulduğunda elde edilen teorik minimum istasyon sayısının 22,3 olduğu göz önüne alınırsa elde edilen sonucun çok iyi bir sonuç olduğu daha net görülür.

Arçelik'te JIT in gerektirdiği U tipi montaj hattının kullanımı sonucu elde edilebilecek etkinliği görebilmek için aynı veriler ile ULINO-1 programında tekrardan dengeleme yapılmıştır. 500 tempo için elde edilen sonuçlar SALOME-1 programı ile aynı istasyon sayısı ve etkinlik oranını vermiştir. U tipi hatların "Aynı veriler kullanıldığında U hattı için bulunacak istasyon sayısı geleneksel bir hat için gerekli istasyon sayısından asla fazla olamaz. Eşit ya da daha az olmalıdır" özelliği dikkate alındığında çıkan sonuç tabiidir.

U tipi hatların geleneksel hatlardan daha etkin olduğunu görebilmek için 500 tempo için çalışan montaj bandı için aynı veriler ışığında farklı tempolar sonucunda SALOME-1 ve ULINO-1 programlarında elde edilen sonuçlar şöyledir ;

Tempo	Çevrim Zamanı	Min İstasyon	SALOME-1		ULINO-1	
			İstasyon	Etkinlik	İstasyon	Etkinlik
300	86	15	16	%89	15	%95
500	51,6	23	23	%97	23	%97
700	37	31	33	%92	31	%98

Her iki hat tipi için yapılan dengeleme sonuçlarına bakıldığında U tipi hattın teorik olan minimum istasyon sayısı kadar istasyon ve daha yüksek etkinlik yüzdelerine sahip olması geleneksel montaj hatlarından daha avantajlı olduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- 1- Gökçen ,H., ve Ağpak ,K. , "U Tipi Montaj Hatlarının Dengelenmesi İçin Bir Sezgisel Metod", **Endüstri Mühendisliği Dergisi**, Cilt 12, Sayı 2, 23-32, 2001.
- 2- Haktanırlar ,B., "Arçelik Montaj Hattı Dengeleme Çalışması", Bitirme Ödevi , **Gazi Üniversitesi**, Haziran 1999.
- 3- Miltenburg ,J., "Balancing U-lines in A Multiple U-line Facility", **European Journal of Operations Research**, Cilt 109, Sayı 1, 1-23, 1998.
- 4- Miltenburg ,J.,Wijngaard, J.,"The U-line Line Balancing Problem", **Management Science**, Cilt 40, Sayı 10,1378-1388, 1994
- 5- Miltenburg ,J., "U-shaped Production Lines: A Review of Theory and Practice", **International Journal of Production Economics**, Cilt 70, Sayı 201-214, 2001.
- 6- Monden ,Y., "Toyota Production System" **Industrial Engineering and Management Pres**, Georgia, 1983.
- 7- Nakade ,K.,Ohno,K.,Shanthikumar,J.G.,"Bounds and Approximations for Cycle Times of a U-shaped Production Line",**Operations Research Letters**, Cilt 21, Sayı 191-200,1997.
- 8- Scholl ,A., Klein ,R.,"Optimally Balancing U-shaped JIT Assembly Lines" ,**International Journal of Production Research** , Cilt 37, Sayı 4,721-736,1999.