

BÜYÜK TEK MODEL MONTAJ HATLARININ Dengeleme YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI ve UYGULAMASI

Y. Doç. Dr. Hüseyin BAŞLIGIL

Yıldız Üniversitesi

Makina Fakültesi

Endüstri Bölümü

Ö Z E T

Bu makalede, uygulanabilir büyük tek-model montaj hatları tekniklerinin (MALB, ARCUS ve 10-SP) mukayesesi yapılarak en iyisi belirtilmiştir.

Bilgisayarlara kolaylıkla uygulanabilen ve çok kısa zamanda % 100'e yakın etkinlikle güvenilir sonuçlar veren sezgisel yöntemler büyük tek-model montaj hatlarını dengeleme için özellikle tercih edilmektedir.

Tekniklerin karşılaştırması MALB tekniğinin ARCUS ve 10-SP'den üstün olduğunu göstermiştir. MALB tekniğine yöneltilen tenkitler sonucunda «Geliştirilmiş MALB Tekniği» adı verilen yeni bir teknik elde edilmiş ve bu teknik OTOMOBİL endüstrisine uygulanmıştır. Uygulama sonuçları çok olumlu olmuştur.

S U M M A R Y

This paper, by comparing the applicable large single-model assembly lines (MALB, ARCUS and 10-SP), the best one has been determined.

Heuristics methods that can easily be applied to the computers and provide nearly 100 % reliable results, are preferred in balancing the large single-model assembly lines.

When these techniques compared, the MALB technique has shown a priority over ARCUS and 10-SP. In the end, the criticisms turned towards MALB techniques, a new technique called «Developed MALB Technique» has been procured and applied to automobile industry. The results of this application have been quite satisfactory.

Sezgisel «Büyük Tek-Model Montaj Hattı Dengeleme Problemleri» Çözüm Tekniklerinin Karşılaştırması (3).

Bu teknikler sırasıyla 10-SP, ARCUS ve MALB teknikleridir. Bunların dışındaki metodlar KARP, HELD ve Sharesian'nın dinamik programlama teknikleri ve diğer tekniklerdir. 40 elemanlı Mastor'un tekniğine dayalı Held tekniği (80 sıralı) ARCUS metodundan daha iyi sonuçlar verirken, yaklaşık olarak 10 kat daha büyük hesaplama zamanı harcar. Bundan dolayı en hızlı üç sezgiselin burada karşılaştırmasını vermek bizim için çok daha iyi olacaktır (8).

A) Çözüm Metodları :

a. Çözümün montaj hattı çalışmasında tek bir geçiş meydana geldiğini savunan Birnie ve Helgeson'un önerdiği «tek-geçiş» metodu. 10-SP: Bu tür 10 «tek-geçiş» esasına dayanır.

b. Arcus yukarıda belirtilen rastgele «çok geçiş» esasına dayanır (1).

c. MALB «geri-izleme» metoduna dayanır (4).

B) Mukayesede Kullanılan Montaj Hattı Değişkenleri :

Montaj hattı problemlerinde değişkenler ya montaj işinin fonksiyonu olarak ya da dengeleme şartlarının fonksiyonu olarak ortaya çıkarlar. Bu değişkenler:

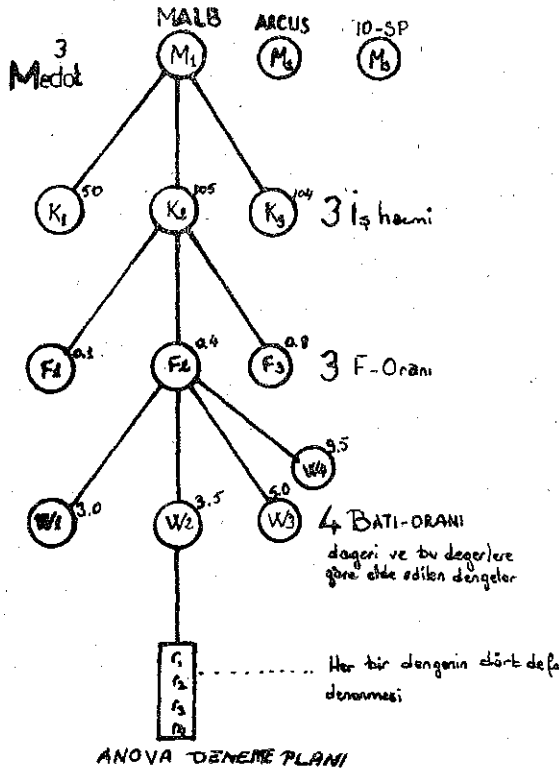
1 — K : İş büyüklüğü seviyeleri; $K_1= 50, K_2= 105, K_3= 140$
iş elemanlarının miktarıdır.

2 — F : Öncelik ilişkisi ve dağılım seviyeleri; $F_1= 0,1$
 $F_2= 0,4$
 $F_4= 0,8$ dir.

3 — W : İstasyon başına iş elemanı sayısıdır,
Seviyeleri; $W_1= 3.0, W_2= 3.5, W_3= 5.0, W_4= 9.5$
tur.

4 — İş elemanları zamanları ve dağılımları.

Bu dört faktörün analizi, herbir faktörün sabit tutulmasına göre dört sefer denenerak yapılan montaj hattı analizleri ANOVA (Analysis of Variance) nin deneme sayısı aşağıda gösterildiği gibi 432'dir.



Karşılaştırmada herhangi bir değişkenin bir değerine göre analizinde deneme sayısı şekilde gösterilmiştir.

$$\text{Toplam deneme sayısı : } \frac{3 \times 3 \times 3 \times 4 \times 4}{108} = 432 \text{ dir.}$$

Herbir değişken için bir tane deneme yapılmış olsaydı 3 metod için toplam 108 deney yapılması gerekirdi. Her değişken için 4 deney yapıldığına göre toplam deney sayısı 432 olacaktır.

Bu denemelerin sonucunda elde edilen (ANOVA) neticeleri şunlardır:

(i) Temel etkilerin hepsi önemlidir. ($\alpha = 0.1$) için 'metodlar' ve 'çalışma büyüklüğü' etkileri kritik değerden daha küçük F değerleri vermiştir.

(ii) (metodlar x Batı Oranı) için etkileşmeler hariç, tamamen birinci dereceden etkinlik önemlidir.

$\alpha = 0.1$ 'metodlar x çalışma büyüklüğü' ve 'çalışma büyüklüğü x F-Oranı' etkileri kritik değerden daha düşük F değerleri vermiştir. Daha yüksek dereceden etkileşmeler, tekrarlarla biraya getirilmiştir.

(iii) Üç metod birbirinden önemli miktarda farklıdır. Verimlilik sırasına göre tasnif edilirlerse MALB, ARCUS ve 10-SP şeklinde sıralamak gerekir.

Deneylerde kullanılmış bütün metodlar için (144 deneme sonucunda denge gecikmeleri tablo - 3'de özetlenmiştir.

METOD	YÜZDESİ
MALB	13 %
ARCUS	2.9 %
10-SP	3.4 %

Tablo 4, yukarıda belirtilen metodlarla eide edilmiş 144 değerlemeden ikişer ikişer karşılaştırılarak herbir metodun değeri ile mukayesesini özetlemektedir.

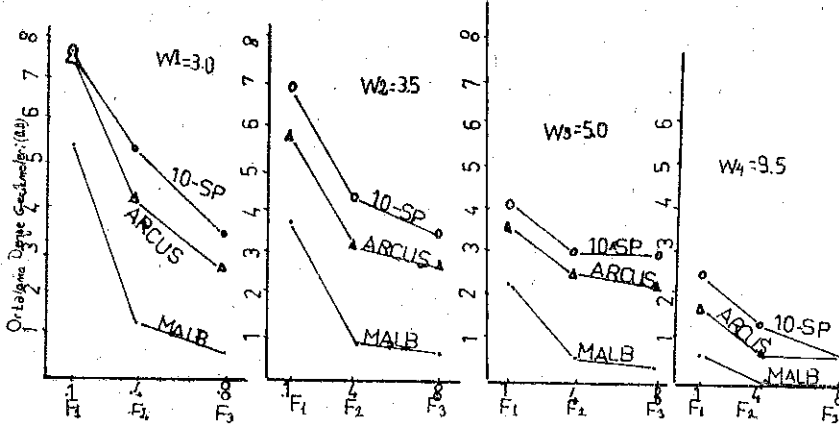
Metod üstünlükleri - tablo 4				
Metodların Karşılaştırması	Üstünlük	Sayı		Toplam Sayı
		Eşitlik	Kayıp Hâl	
(a) ve (b)	a, b den üstün	a eşit b	a, b den üstün değil	
MALB ve ARCUS	132	12	—	144
MALB ve 10-SP	142	2	—	144
ARCUS ve 10-SP	102	36	6	144

Tablodan anlaşıldığına göre, MALB tekniği ARCUS ve 10-SP den daha üstün en iyilemeleri vermiştir.

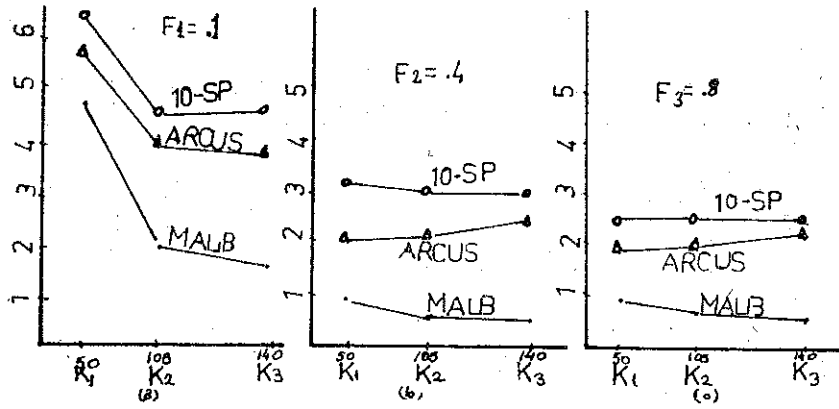
Şekillerde gösterildiği gibi (5, 6, 7 şekilleri) sırasıyla denge gecikmesi değerleri ile F-Oranı arasında ve montaj hacmi ile Batı-Oranının denge gecikmesi ile ilişkilerini gösterir.

Bütün grafiklerde üç metod için sınıflandırılmış düzen korunmaktadır. MALB, deneylerin % 40'ından fazlasında belli en iyileme çözümleri elde etmede daha etkili olduğunu ispatlamıştır ($C(N) = C(N)_{min}$) iken belki daha fazla en iyileme optimal çözümleri elde etme olanağı vardır. Fakat $C(N) > C(N)_{min}$ iken optimalliği geçerli kılma yolu yoktur. ARCUS metodu 10-SP'den daha uyumludur. Fakat bütün grafiklerden elde edilmiş eğriler birbirine benzemektedir (9).

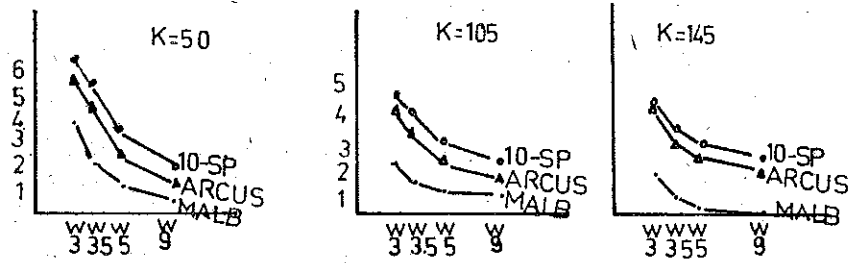
Şekil - 5 (a), (b), (c) ve (d) Batı-Oranının 4 seviyesinde F-Oranının değişim durumunu gösterir. Denge gecikmesi değerleri 11 gözletmenin ortalaması olarak alınmış değerlerdir. Üç metodun hepsinde dengeleme etkinliği F-Oranı 0.1'den — 0.4'e giderken göze çarpan bir düzelmenin varlığına işaret eder.



Şekil — 5; Sabit (WEST-Ratio) Batı Oranlarına göre F Oranı değeri üzerinden denge gevşemelerinin kıyası.



Şekil — 6; Sabit F Oranlarına göre çalışma durumu ile denge gecikmeleri kıyası.



Şekil — 7; Sabit iş büyüklüğüne göre istasyon başına iş elemanı ile denge gecikmesi kıyası.

Şekil — 6 (a), (b) ve (c) F-Oranının $\hat{\alpha}$ seviyesindeki montaj çalışma büyüklüğü ile etkileşimini gösterir. Her grafikte çizilmiş nokta 16 gözlemin ortalamasıdır. Bunlar Batı-Oranı sonuçlarından alınmışlardır. «Metodlar x İş büyüklüğü» etkisi, İş hacmiyle artan ARCUS ve 10-SP eğrilerinin değerinden daha iyi neticeler veren MALB'in başarısını şekil - 6 (a) ve (b) de açık olarak gösterilmiştir.

Şekil - 7 (a), (b) ve (c) üç montaj çalışması büyüklüğünde işleyen Batı-Oranının etkisini gösterir. Her grafikte çizilmiş nokta 12 gözlemin ortalamasıdır. «Metod x çalışma hacmi» etkisi, iş hacmi arttıkça MALB'in etkinliği her üç grafikte gözlenir.

Bu grafiklerde görüldüğü gibi üç metodun etkinlik sırası daha önce verilen etkinlik sırasındadır.

MALB, deneylerin % 40'ından fazlasında belli en iyileme çözümlerini etkin bir şekilde vermiştir. $C(N) = O(N)_{\min}$ şeklinde bulunan bu en iyileme çözümler $C(N) > C(N)_{\min}$ iken en iyilemeliği gerekli kılacak hiçbir geçerli yol yoktur.

ARCUS, 10-SP'dan daha iyi sonuçlar vermiştir. Bütün grafiklerdeki eğriler oldukça birbirine benzerdir. Bununla beraber aralarında hiçbir etkileşim yoktur.

Hesaplama Zamanlarının Karşılaştırması :

Karşılaştırılan metodlar için ortalama ve maksimum hesaplama zamanları aşağıdaki tabloda sunulmuştur.

TABLO 5 IBM 7040/7044 de göre			
FAKTÖR	MALB (sec)	ARCUS (sec)	10-SP (sec)
Maximum hesaplama zamanı	96.7	375.6	60.3
Ortalama hesaplama zamanı	19.7	137.5	14.4

Tablo - 5'deki sonuçlar ortalama ve maksimum zamanları gösteren değerlerdir. Uygun sezgiselin seçiminde hesaplama zamanları önemsizdir. Görüldüğü gibi, ARCUS, MALB veya 10-SP'den çözüm için daha uzun süre gerektirir.

Dengelemede dikkat edilecek en önemli husus, denge etkinliği ile hesaplama zamanı arasındaki maliyet konusudur. Bu önemli husus ARCUS yöntemini azda olsa etkiler.

Geliştirilmiş MALB Tekniği: (5)

MALB tekniğinin yapısı gereği Ağaç - 1 adını verdiğimiz düşünüş fonksiyonu sadece 4 kademe ve «batı oranının» 3-12 arasında oluşuna göre tertip edilmiştir. Ayrıca istasyonlara genişlemelerin birinci dalda iki adet, ikinci ve üçüncü dallarda ise bir tane olacağı kurala bağlanmıştır. Dallanmalar (NULL-SET) boş takımdan başlayarak üç adet olarak sınırlanmıştır.

Geliştirilmiş MALB tekniğinde ise,

1 — Ağaç-1'in kademe sayısı 4 değil, 2'den başlayarak uygulama esnasında 13'e kadar değişebilen bir yapıya kavuşturulmuştur.

2 — İstasyonlara genişlemelerin aşağıdaki kısıtlamalara uymak şartı ile,

a — Öncelik kısıtlaması,

b — (Devir zamanı gevşeme) ile devir zamanı arasına düşme kısıtlaması,
her dalda iki tane olabileceği kuralıdır.

3 — Dallanma sayısı 3 değil, (NULL-SET) den itibaren 4 olarak alınmıştır.

5 istasyonlu hale tekabül eden istasyon tahsisleri seçildikten sonra Ağaç-I'den çıkılır ve Ağaç-II'ye girerek dengenin

% 90'nin üzerinde verim etkinliği sağlanması için istasyonlar arasında gevşemenin sınırlandırılması sezgisine önem verilir.

Uygulama, OTO-YOL AŞ'nin 11 istasyonlu hali için 540 dakika/gün'lük çalışma süresini kapsayacak şekilde yapılmış ve geliştirilmiş MALB tekniği uygulanmıştır.

U Y G U L A M A

Bilgi :

Uygulama FIAT otobüs, kamyon ve treyler yapan OTO-YOL AŞ'nin Kartal'daki Fabrikasında şasi hattı üzerinde yapılmıştır. 50 iş elemanını içeren hat uzunluğu günde 540 dakika çalışarak 9 ½ adet/gün karoser yapmaktadır. Bu duruma göre, devir zamanı 56,84* dakikadır.

Aşağıdaki elemanları kapsayan hattın yapısı mekaniktir. Bazı kısımlarında çengel, bazı kısımlarında ray ve bazı kısımlarında da kayan masa kullanılan hattın, sürekli hat haline getirilmesi şimdilik kaydıyla düşünülmemektedir. Şasi hattının önemi otobüs ve kamyonun en önemli kısmını teşkil etmesinden gelmektedir. Bu hatta meydana gelecek bir üretim artışı otobüs ve kamyon üretimini ve firma kârlılığını doğrudan etkileyecektir.

(*) Virgöl'den sonraki kısımlar yüzde üzerinden ifade edilmiştir.

Şasi Bantı İş Elemanları

İş Eleman Süreleri (dak.)

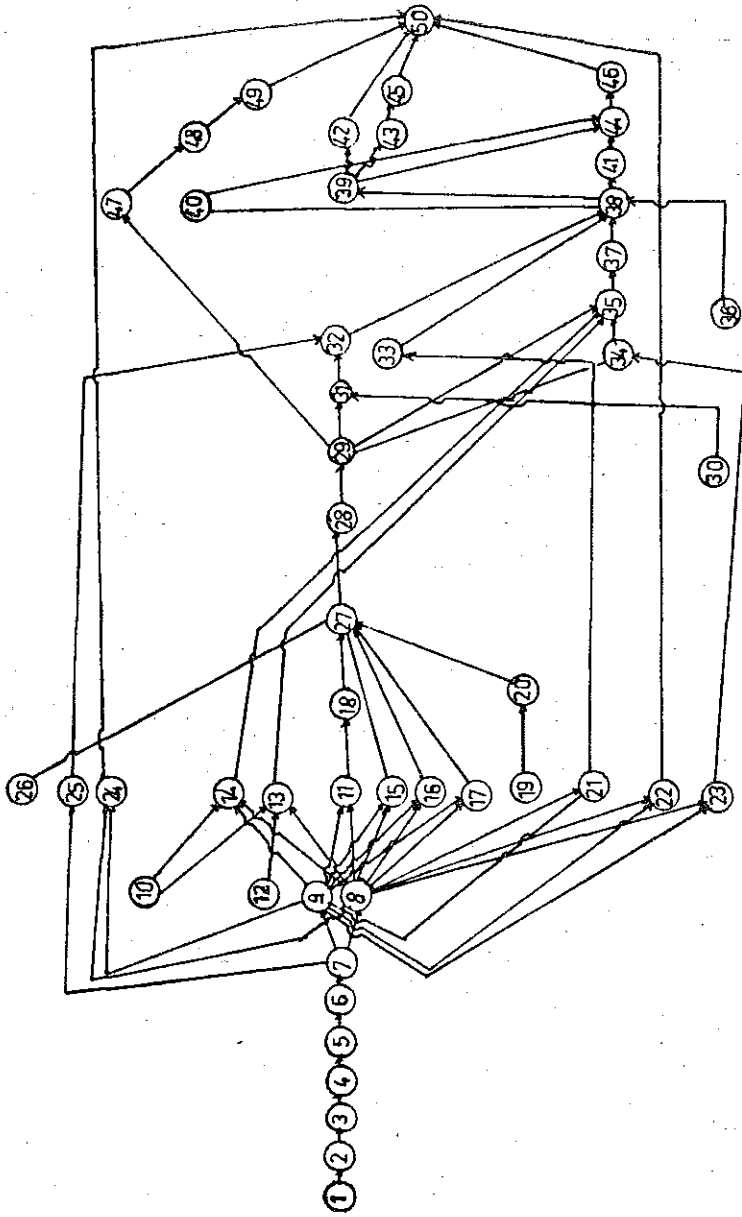
1. Şasi getirme	3.85
2. Şasi ön bindirme	11.30
3. Şasi arka bindirme	13.60
4. Şasi ön bağlama	9.22
5. Şasi arka bağlama	5.10
6. Şasi arka civataları sıkma	12.00
7. Şasi ön civataları sıkma	5.84
8. Sağ makas U civatalarını sıkma	18.65
9. Sol makas U civatalarını sıkma	18.65
10. Arka amortisör açma	1.95
11. Mazot deposu ve hortumlarını takma	24.09
12. Ön amortisör açma	2.56
13. Ön amortisör ve kulağı takma	11.04
14. Arka amortisör takma	5.35
15. Motor kulağı takma	6.00
16. Şanzıman arka bağlantısı takma	6.50
17. Hava filtresi takma	11.37
18. Fren boru ve hortumları takma	9.80
19. Direksiyon kutusu hazırlama	10.33
20. Direksiyon kutusu takma	16.80
21. El fren teli ve egzoz askı broketi takma	14.05
22. Şasi arka takozu takma	4.09
23. Şaft arka parçası takma	3.67
24. Stepne taşıyıcı ve stop lambası bağlantı kolu takma	8.98
25. Şasi numarası vurma	5.62
26. Motor getirme	5.89
27. Motor hazırlama	10.19
28. Motor bindirme	7.02
29. Motor bağlama	11.67
30. Radyatör hazırlama	9.07
31. Radyatör takma	19.32
32. Numara vurma ve numaraları deftere yazma	4.41
33. Egzoz bağlama	10.57

Şasi Bantı İş Elemanları

İş Eleman Süreleri (dak.)

34. Şaftı motora bağlama	11.53
35. Yağ ve mazot koyma, gres basma	10.09
36. Kabin hazırlama	18.70
37. Kabin bindirme öncesi şasi hazırlık	12.88
38. Kabin bindirme ve bağlantıları yapma	11.62
39. Kabin takozlarını sıkma	4.34
40. Sağ fren rekorunu sıkma	1.»1
41. Sol fren rekorunu sıkma	2.80
42. El freni bağlama	19.12
43. Gaz çubuğu sabitleştirme	4.93
44. Kabin iç bağlantıları yapma	16.54
45. Tampon bağlama	2.78
46. Fren havasını alma	8.56
47. Lastikleri getirme	7.00
48. Lastikleri takma	9.61
49. Lastikleri sıkma	5.30
50. Arabayı itme	9.44

Bu elemanların öncelik durumlarını gösteren öncelik diyagramı şu şekildedir:



OTO-YOL AŞ ŞASE MONTAJ HATTININ ÖNCELİK DİYAGRAMI

Kademe sayısı 2-13 arasında değişirken, dal sayısı (4) olduğu zaman elde edeceğim birinci istasyon tahsisleri: (5)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	11
1	2	3	4	5	6	7	8	19
1	2	3	4	5	6	7	20	17
1	2	3	4	5	6	7	20	18
1	2	3	4	5	6	16	15	26
1	2	3	4	5	27	28	29	10
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—

Alt sıra tahsisleri, tahsis edilecek eleman kalmayınca kadar devam edecek (devir zamanı + gevşeme değeri ve devir zamanı ile öncelik kısıtlamaları) sonucunda sadece 1'inci istasyon tahsisi olarak ilk alt sıra alınacaktır (6). Bu alt sıra;

$$S_1(1) = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \text{ sağlanır.}$$

İkinci istasyon tahsisi, 9'uncu kademede $S_1(3)$ in elemanları silindikten sonra örnek ağaçta geri kalan elemanların oluşturduğu ağaçtan çekilen ikinci istasyon tahsisleri içinden en uygunu;

$$11, 19, 20, 17, 18, 16, 15, 26, 27 \text{ dir.}$$

Üçüncü istasyon tahsislerine geçilirse;

$$S_1(3) = 28, 29, 10, 23, 12, 13, 14, 21, 34, 30, 31 \text{ ile,}$$

$$S_1(3) = 28, 29, 10, 23, 12, 14, 21, 34, 30, 36 \text{ bulunur.}$$

Dördüncü istasyon tahsisleri;

$$S_1(4) = 25, 31, 35, 37, 33, 32, 38, 39, 41, 40, 44$$

$$S_1(4) = 25, 31, 35, 37, 33, 32, 38, 39, 41, 24, 43$$

Beşinci istasyon tahsisleri;

$$S_1(5) = 40, 44, 47, 42, 48, 46, 49, 22, 45, 50$$

şeklinde olacaktır.

Böyle bir şase bandında devir zamanı 98.33 dakika olarak alındığında 5 istasyonlu bir bant için birinci ağaçtan elde edilen istasyon tahsislerin yukarıda belirtildiği gibi olacaktır.

Bu seçimde;

Birinci istasyon tahsisi olarak, işlem zamanı 98.33 dakika olan $S_1(1)$ alındı. Çünkü devir zamanımız 96.80 dakika birinci istasyona ayrılan gevşeme 2 dakika toplam müsaade edilen zaman 98.80 dakikadır. Bundan dolayı birinci istasyona tahsisine müsaade edebileceğim alt takım tahsislerini 96.80 - 98.80 arasındaki alt sıralar olacaktır. Bu amacıma uygun alt sıralar birinci istasyon tahsislerini oluşturacaktır. Sırası ile, R.P.W. sırasında bu alt sıralar çıkarılacak geri kalan iş elemanları içinden ikinci istasyon tahsisleri R.P.W. sıralamasından ağaç-1 dönüşüm operatörü aracılığı ile kısıtlamalara uygun olarak aranacak, tahsisler bulununca bu iş elemanları silinerek üçüncü istasyon tahsisleri yapılacak ve 4'cü, 5'ci ... istasyon tahsisleri şeklinde olay devam edecektir.

Bu şekilde 1, 2, 3, 4 ve 5'inci istasyon tahsisleri yapıldığında gevşemenin $C(N)$: Devir zamanının bazı istasyonlarda arttığını ve başlangıçta müsaade edilen gevşeme zamanından daha fazla gevşeme kullanıldığını görüyoruz. Bunu önlemek ve gevşemeyi istasyonlara eşit dağıtmak için «istasyonlar arasındaki gevşemenin dağıtımını sağlayan Ağaç-2» dönüşümü denebilir. Bu esnada, istasyon tahsisleri içindeki iş elemanlarının birbiri ile direk transferi veya nakli yapılarak devir zamanı veya devir zamanı + müsaade edilen gevşeme değerine yukarıda belirtildiği gibi inilmeye çalışılır.

Bu mümkün olmazsa, o takdirde aynen alt takım istasyona tahsis edilir. Alt takımın mümkün olabilmesi için direkt trans-

fer veya nakil yapıldıktan sonra da yukarıda belirttiğimiz iki kısıtlamaya; 1 - Öncelik kısıtlaması, 2 - Devir zamanı + gevşeme üst sınırı ile devir zamanı alt sınırı arasına düşme kısıtlamasına uymak zorunluluğu vardır.

Alt sıraların bu işlemlerden sonra MALB tekniğinin Ağaç-2 dönüşüm faktörü ile teşekkülü tam olarak yapılmış olur.

OTO-YOL AŞ'nin şase hattında harcanan zaman 540 dakika/gün iken, 9.5 şase elde eden hat 11 istasyona sahiptir. Geliştirilmiş MALB tekniğinin uygulanması ile dengeleme yapılırsa, alt takımlar, yani istasyon tahsisleri;

- 1 ci istasyon tahsisi : 1, 2, 3, 4, 5
- 2 ci istasyon tahsisi : 6, 7, 8, 19
- 3 cü istasyon tahsisi : 9, 11
- 4 cü istasyon tahsisi: 20, 17, 18, 26
- 5 ci istasyon tahsisi: 16, 15, 27, 28, 29, 12
- 6 cı istasyon tahsisi: 10, 23, 13, 14, 21, 30
- 7 ci istasyon tahsisi: 34, 25, 31, 35
- 8 ci istasyon tahsisi: 36, 37, 33, 32
- 9 cu istasyon tahsisi: 38, 39, 41, 40, 44, 43, 45
- 10 cu istasyon tahsisi: 47, 42, 48, 46
- 11 ci istasyon tahsisi: 24, 49, 22, 50

Bu takdirde, devir zamanı 46.81, toplam harcanan zaman 515.01 dakikadır. Günlük çalışma zamanı 540 dakika/gün'dür. Buna göre, dengeleme sonucunda elde edilen toplam şase miktarı :

$$540/46.81 = 11.5/8 \text{ adet/gün şase olacaktır.}$$

$$\text{Oysa ki, bu gün üretim } 9 \cdot \frac{1}{2} \text{ adet/gün şasedir.}$$

Şase hattında dengeleme sonucunda elde edilen günlük üretim artışı :

$$11 \cdot \frac{5}{8} - 9 \cdot \frac{1}{2} = 2 \cdot \frac{1}{8} \text{ adet/gündür.}$$

Bununla beraber, istasyon sayısı arttırılabilirse, bu değerin daha da artabileceğini gösterebiliriz (5).

S O N U Ç

Büyük tek-model montaj hatlarının dengelenme teknikleri olan MALB, ARCUS ve 10-SP tekniklerinin birbiri ile mukayese si yapılmıştır. Mukayeseler sonucunda MALB tekniğinin en etkin ve güvenilir teknik olduğu, ARCUS ve 10-SP'den üstün olduğu karşılaştırmalar sonucunda ortaya çıkmıştır. Etkinlik sırası MALB, ARCUS ve 10-SP şeklindedir.

MALB tekniğine yönelttiğimiz tenkitlerin sonucunda elde ettiğim «Geliştirilmiş MALB Tekniği» ile yapılan uygulama çok olumlu sonuçlar vermiştir. Uygulamada kullanılan şase hattı tek-model olup, 50 iş elemanını içermiştir. Dengeleme sonu-

cunda % 90'nın üzerinde denge verimliliği ile $2 \frac{1}{8}$ şase artışı, aynı işçi ve aynı hatta elde edilmiştir.

Karşılaştırma ve uygulama sonuçları hat dengelemenin önemini ve yararlarını açıkça ortaya koymuştur. Büyük tek-model hatların dengelenmesinde bilgisayar kullanımı gereklidir. Makalemizdeki bütün metodlar bilgisayar kullanılarak karşılaştırmaları yapılmış ve denenmiştir.