

MONTAJ HATTI TASARIMI VE ANALİZİ

Ders Notları

Doç. Dr.

İBRAHİM KÜÇÜKKOÇ

<http://ikucukkoc.baun.edu.tr>

EMM4208 MONTAJ HATTI TASARIMI VE ANALİZİ Ders Notları



Doç. Dr. İbrahim KÜÇÜKKOÇ

<http://ikucukkoc.baun.edu.tr>

Son Güncelleme: 12.02.2024



Ders Planı ve Değerlendirme Kriterleri Yararlanılacak Kaynaklar Üretim Sistemlerinin Gelişimi Montaj Hatlarının Tarihçesi

GENEL BAKIS

Dersin Amaci:

Endustride karsilasilan degisik tipteki montaj hatlari ile ilgili:

- Temel terminolojiyi sunmak.
- Bunlarin matematiksel olarak nasil modellenebilecegini gostermek.
- Simulasyonu, dengelenmesi ve analiz edilmesinde kullanilan yontemleri orneklerle aciklamak.

Derslik/Laboratuvar:

- 23-24 Bahar: K8205

GENEL BAKIS

▪ Dersin Web Sayfasi:

<http://ikucukkoc.baun.edu.tr/lectures/EMM4208>

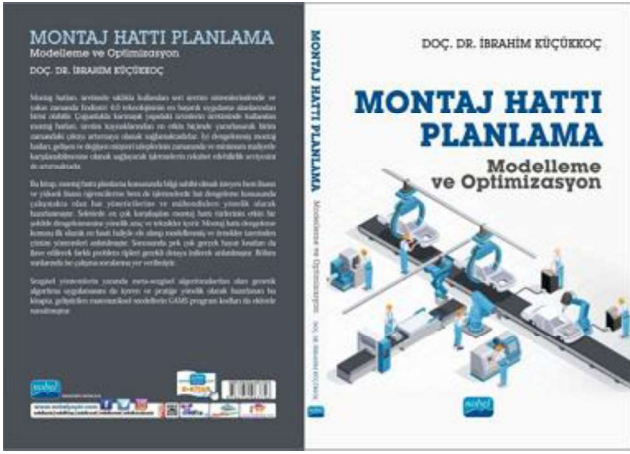
▪ Değerlendirme:

- Vize (%40) + Final (%60)
- Final sınav puanının 30 puanlık kısmı dönem içerisinde yapılacak olan projeden alınacaktır. Projeler maksimum 3 kişilik gruplar halinde yapılabilir.
- Proje sunumları final sınavından önceki haftalarda yapılacaktır.

▪ Derse Katılım:

- Derslere zamanında gelmeniz gerekmektedir.
- 5 hafta ve üzeri devamsızlık yapan öğrenciler devamsızlıktan bırakılacak ve final sınavına alınmayacaktır.
- Derste cep telefonu vb. konuyla alakasız materyallerle ilgilenilmemesi beklenmektedir

YARARLANILACAK KAYNAKLAR



Montaj Hattı Planlama Modelleme ve Optimizasyon

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

Ekim 2020, Nobel Yayınevi

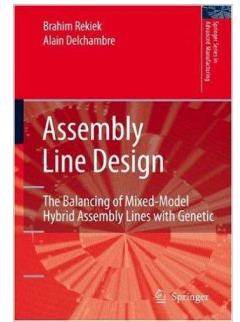
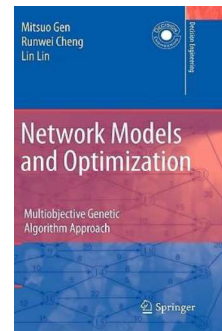
ISBN: 978-625-406-375-6.

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

5

YARARLANILACAK KAYNAKLAR

- **Assembly Line Design**
Brahim Rekiek, Alain Delchambre
<http://www.springer.com/gp/book/9781846281129>
- **Network Models and Optimization**
Mitsuo Gen, Runwei Cheng, Lin Lin
<http://link.springer.com/book/10.1007%2F978-1-84800-181-7>
- **Uretim Yonetimi (Orjinal Ismi: Operations Research)**
Krajewski, Ritzman, Malhotra (Ceviri Editoru: Semra Birgun)
<http://www.nobelyayin.com/detay.asp?u=3310>
- **MHD Ders Notlari, Doc. Dr. Yakup Kara, Selcuk Universitesi**
<http://goo.gl/Uccn8S>
- **Modelling and Solving Mixed-model Parallel Two-sided Assembly Line Problems**
Doktora Tezi, University of Exeter, Agustos 2015
İbrahim Kucukkoc
<http://hdl.handle.net/10871/18917>



Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

6

DERS PLANI

1. Ders planı, Değerlendirme Kriterleri, Yararlanılacak Kaynaklar, Üretim Sistemlerinin Gelişimi, Montaj Hatlarının Tarihçesi
2. Montaj Hattı Kavramı, Dengelemenin Önemi, Terminoloji ve Temel Hesaplamalar (Öncelik İlişkileri Diyagramı, Çevrim Zamanı, Üretim Hızı, Denge Kaybı, Hat Etkinliği), Örnekler
3. Düzgünlük İndeksi, Kuramsal Etkinlik, Sıra Kuvveti ve Esneklik Oranı, Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması
4. Özel Kısıtlar/Durumlar, Paralel İstasyonlar (Örnek), Tek Modelli Düz Montaj Hattı Dengeleme Problemi
5. Tek Modelli Diz MHD Problemi-Matematiksel Modelleme
6. En Erken ve En Geç İstasyon Hesaplamaları, Tip-I Montaj Hattı Dengeleme Adımları, MHD Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Yöntemler, "Enumeration" Metodu
7. Sezgisel Algoritmalar, En Büyük Aday Kuralı (Largest Candidate Rule - LCR), Immediate Update First Fit (IUFF)
8. Pozisyon Ağırlığı Yöntemi (Ranked Positional Weight Method -RPWM), Comsoal
9. Tek Modelli U-tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemi, Matematiksel Modelleme
10. Sırala ve Ata Yöntemi, Karışık Modelli Düz Montaj Hattı Dengeleme Problemi
11. GAMS ve Sezgisel Program Üzerinden Çözüm Uygulamaları
12. MHD Uygulama Örnekleri
13. Proje Çalışması ve Sunumu
14. Proje Çalışması ve Sunumu

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

7

URETİM SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ

- 18. ve 19. yüzyıllarda sanayinin büyük gelişme göstermesi, takım tezgahlarının ve diğer üretim elemanlarının gelişmesiyle ortaya çıkan mekanik üretim yöntemleri "**kitle üretimi (mass production)'nin**" temelini oluşturmuştur.
- Kitle üretiminin bir teknoloji olarak gelişmesiyle birlikte torna, matkap, vargel vb. üretim elemanlarının yaygın olarak kullanılması **yüksek hassaslık derecelerine sahip ürünlerin** büyük miktarlarda üretilmesini sağlamıştır.
- Bu dönemde karışık ürünler değil de, **basit tek parçalı ürünler** büyük miktarlarda üretilmiştir. Bu nedenle tek parçadan oluşan ürünlerin üretilmesi kitle üretim sürecinin ilk aşamasını oluşturur.
- Miktar açısından yapılan üretimin büyük boyutlara ulaşması sebebiyle kitle üretimi "**miktar üretim (quantity production)**" olarak nitelendirilmiştir.

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

8

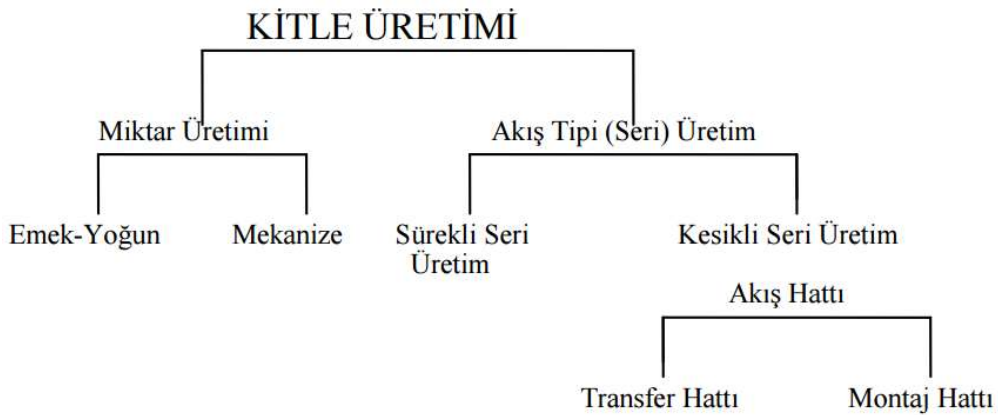
URETİM SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ

- Kitle üretim sürecinin ikinci aşamasında ise karmaşık birimlerin üretilmesine başlanmıştır. Bu dönemde ürünün, akışı olan bir üretim teknolojisiyle üretilmesi nedeniyle kitle üretimi, "**akış üretimi (flow production)**" olarak nitendirilmiştir.
- Karmaşık birimlerin üretilmeleri için en uygun sistem olan akış tipi sistemlerde tezgah ve üretim tesisleri, **üretilen ürünün yapısına bağlı olarak** değişiklik gösterir.
- Üretim, ürünün bir seri üretim tesisinden **sürekli akışıyla** gerçekleştirilir. Karmaşık birimlerin üretilmesi için, ürünün akış halinde olması ve ikame edilebilen yani **birbirlerinin yerine geçebilen parçaların kullanılması** oldukça önemlidir.

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

9

URETİM SİSTEMLERİNİN GELİŞİMİ



(Wild, 1972)

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

10

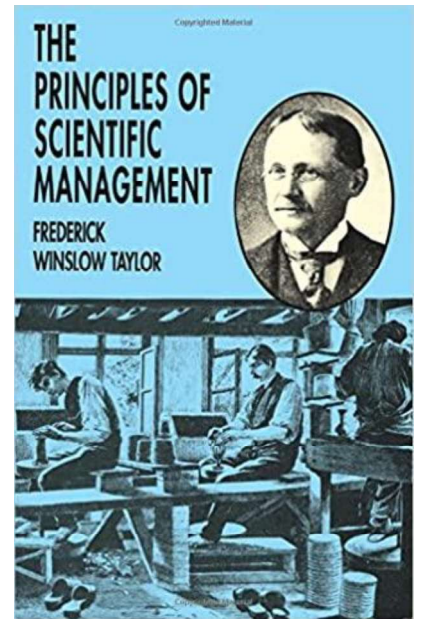
MONTAJ HATLARININ GELİSİMİ

- Eski çağlardan günümüze, montajla üretim konsepti büyük değişime uğradı. Montaj konusunda en önemli kilometre taşı ise montaj hatlarının icat edilmesi oldu. 1913 yılında, Henry Ford ve beraberindeki ekip ilk montaj hattını otomobil üretimine uyguladı.
- Ford, işçilerin etrafına yerleştirildiği “**yürüyen bant**” sistemini ilk defa bir fabrikada geliştirerek unlu model-T’yi üretti (bir seferde bir araba üretmek yerine bir seferde bir parça montajı yapıldı). O günden beri, montaj hatları, bir yandan üretim maliyetini düşürürken diğer yandan da ürünlerin üretim yönteminde reforma yol açtı.

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

11

Yürüyen bant sisteminin ilk defa uygulamaya konulduğu Ford'un ünlü Highland Park fabrikası



Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

12

MONTAJ HATLARININ GELİSİMİ

- Zamanla, “etkin” montaj hattı tasarımı konusu hem şirketler hem de akademisyenler tarafından büyük ilgi gördü.
- **Montaj hattı dengeleme** problemi, iyi bilinen bir montaj hattı tasarımı problemidir ve belirli bir amacı optimize etmek için, işlerin (tasks) iş istasyonlarına (workstations) atanmasını konu alır.

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç



*Highland Park'ta Ford'un Unlu T-Modelinin Montajı
(media.ford.com/content/fordmedia)*

13

MONTAJ HATLARININ GELİSİMİ

- Montaj hattı kurulumunun sağladığı avantajlar sayesinde Ford, 1924 yılına kadar 10 milyonuncu T-modelini üretmeyi başardı.

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç



(media.ford.com/content/fordmedia)

14

Ford tarafından 1924 yılında
yayınlanan bir reklam

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

**The
Ten-Millionth
Ford**

The 10,000,000th Ford car left the Highland Park factories of the Ford Motor Company June 4. This is a production achievement unapproached in automotive history. Tremendous volume has been the outgrowth of dependable, convenient, economical service.

Ford Motor Company
Detroit, Michigan

Standard 1245 Coupe 1225 Tourer Sedan 1290 Fordor Sedan 1685
242 prices - 4.00 tax

**SEE THE NEAREST AUTHORIZED
FORD DEALER**

The Touring Car
\$295
F. O. B. Detroit
Dismountable Rims
and Steer '95 extra



Ford Newspaper 73
800 lines—Week of June 4, 1924

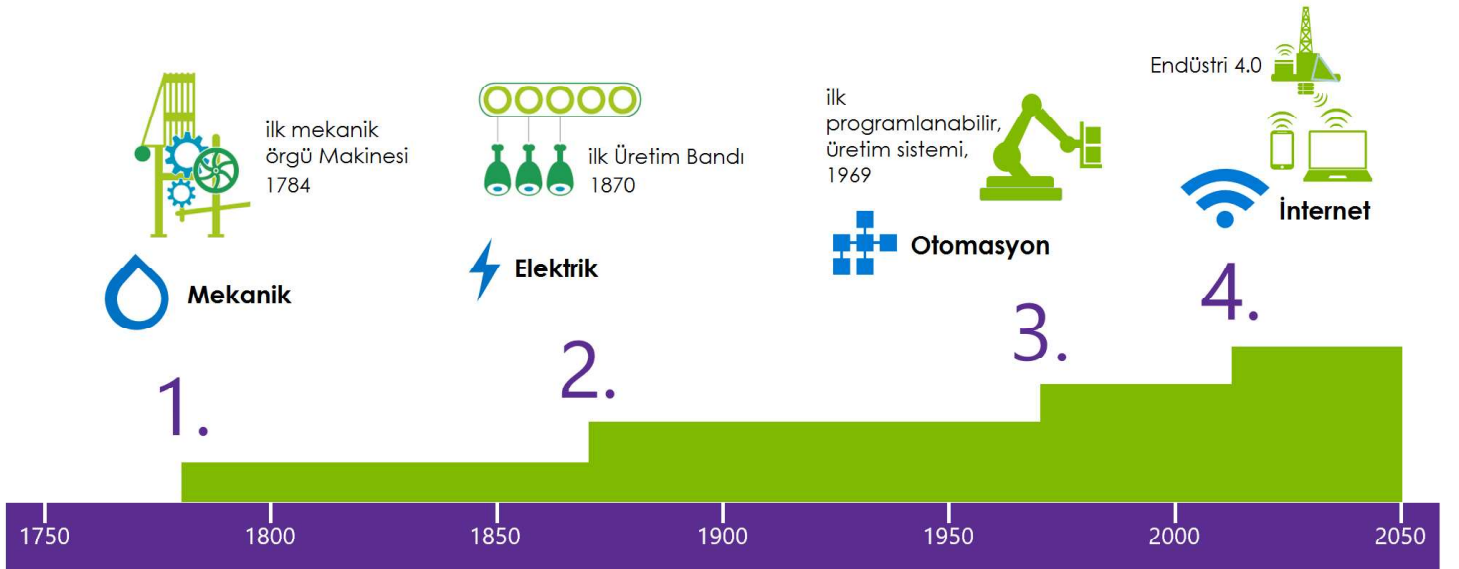
15



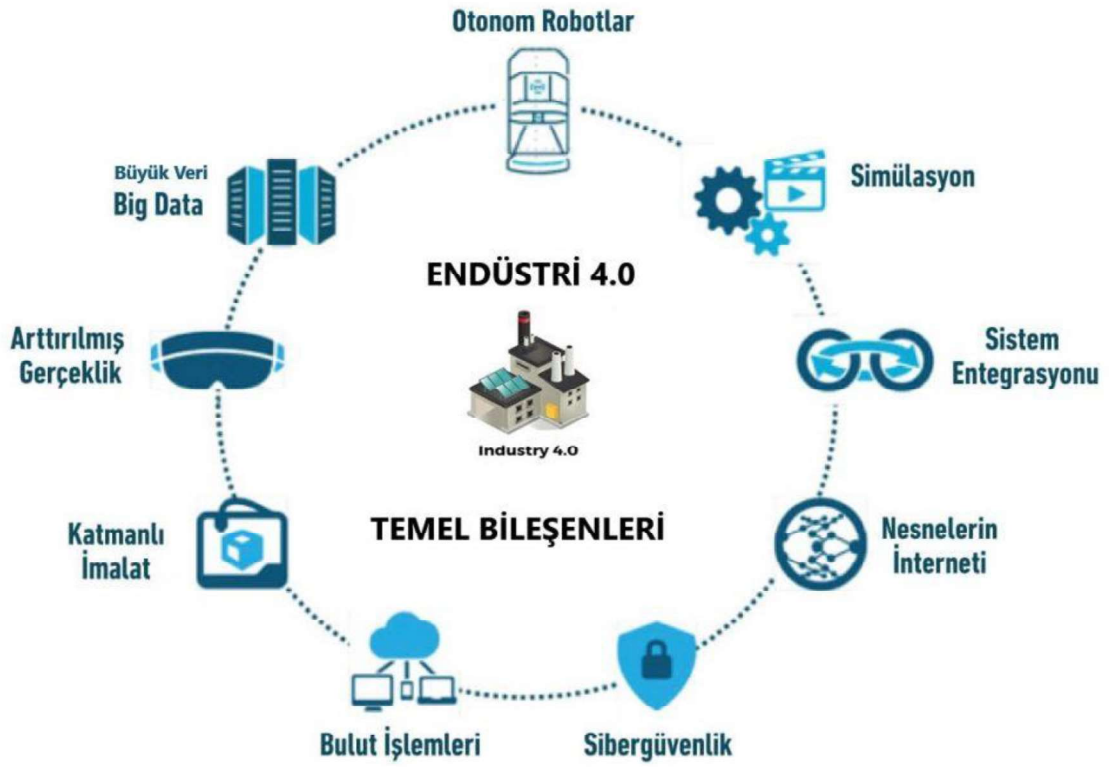
16



Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç



Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç



VIDEOLAR

- Charlie Chaplin – Modern Times:
<http://ikucukkoc.baun.edu.tr/videos/CharlieChaplin-FactoryWork.mp4>
- Ford Historic Model-T:
http://ikucukkoc.baun.edu.tr/videos/FordModelT_100YearsLater.mp4
- 100. Yilinda Ford Montaj Hatti:
http://ikucukkoc.baun.edu.tr/videos/Inside_Fords_Moving_Assembly_Line.mp4

BÖLÜM KAYNAKLARI

- Küçükkoç, İ. Montaj Hattı Planlama Modelleme ve Optimizasyon, 2020, Nobel Yayınevi, ISBN: 978-625-406-375-6
- ACAR, Nesime, “Üretim Planlaması Yöntem ve Uygulamaları”, MPM Ankara, 1989.
- Karaca, M., Montaj Hatları, SDÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 1, Sayı 1, 1996.
- Krajewski, L.J., Ritzman, L.P., Malhotra, M.K., Üretim Yönetimi 9. Baskı (Orjinal İsmi: Operations Research, Prentice Hall), Çeviri Editörü: Semra Birgun, Nobel Yayınları, <http://www.nobelyayin.com/detay.asp?u=3310>
- Kucukkoc, I., Modelling and Solving Mixed-model Parallel Two-sided Assembly Line Problems, Doktora Tezi, University of Exeter, Ağustos 2015, <http://hdl.handle.net/10871/18917>
- WILD, Rey, “Mass Production Management”, John Wiley & Sons Ltd., New York, 1972
- Fotoğraflar:
<https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/features/celebrating-the-moving-assembly-line-in-pictures.html>
<http://www.gama.com.tr/doc/image/projects/85/big/PfRkehaO.jpg>
<http://busride.com/wp-content/uploads/2012/05/web-LFE-turkey1.jpg>

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

21

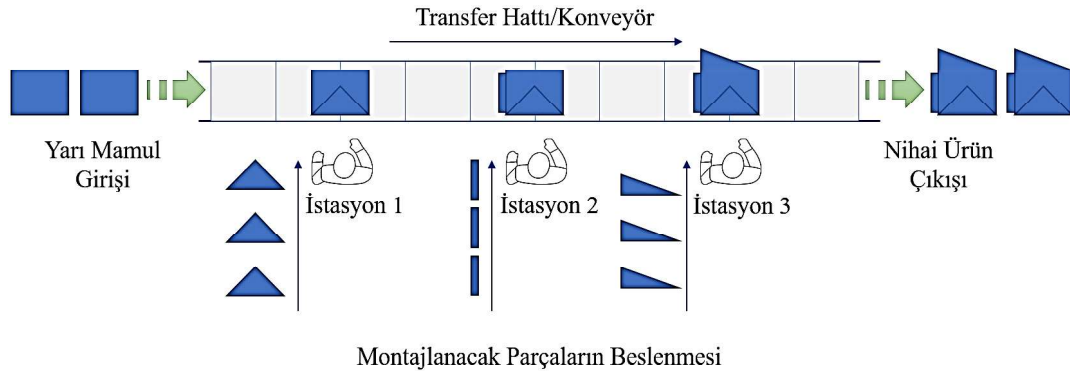


Montaj Hattı Kavramı Hat Dengelemenin Önemi Terminoloji Ve Temel Hesaplamalar



MONTAJ HATTI KAVRAMI

- **Montaj hattı**, bir malzeme tasima sistemi etrafina ardısık olarak istasyonların yerlestirildiği ve bu istasyonlarda ikame edilebilen değisik parçaların (siralı bir sekilde) hattın uzerinde akan urune eklendiği üretim surecidir.



23

MONTAJ HATTI KAVRAMI

- Montaj hattı, belirli sayıda ardısık iş istasyonunun birbirlerine **bir malzeme taşıma sistemi ile** bağlanmasıyla meydana gelir.



MONTAJ HATTI KAVRAMI

- Malzemeler istasyonlar arasında **sabit bir tasima hizıyla** hareket eder. Her **istasyonda** ürünün tamamlanmasi için gerekli olan görevlerden (islerden) **bazilari** gerçekleştirilir ve **hattin sonuna gelindiğinde ürün tamamlanmis olur.**



Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

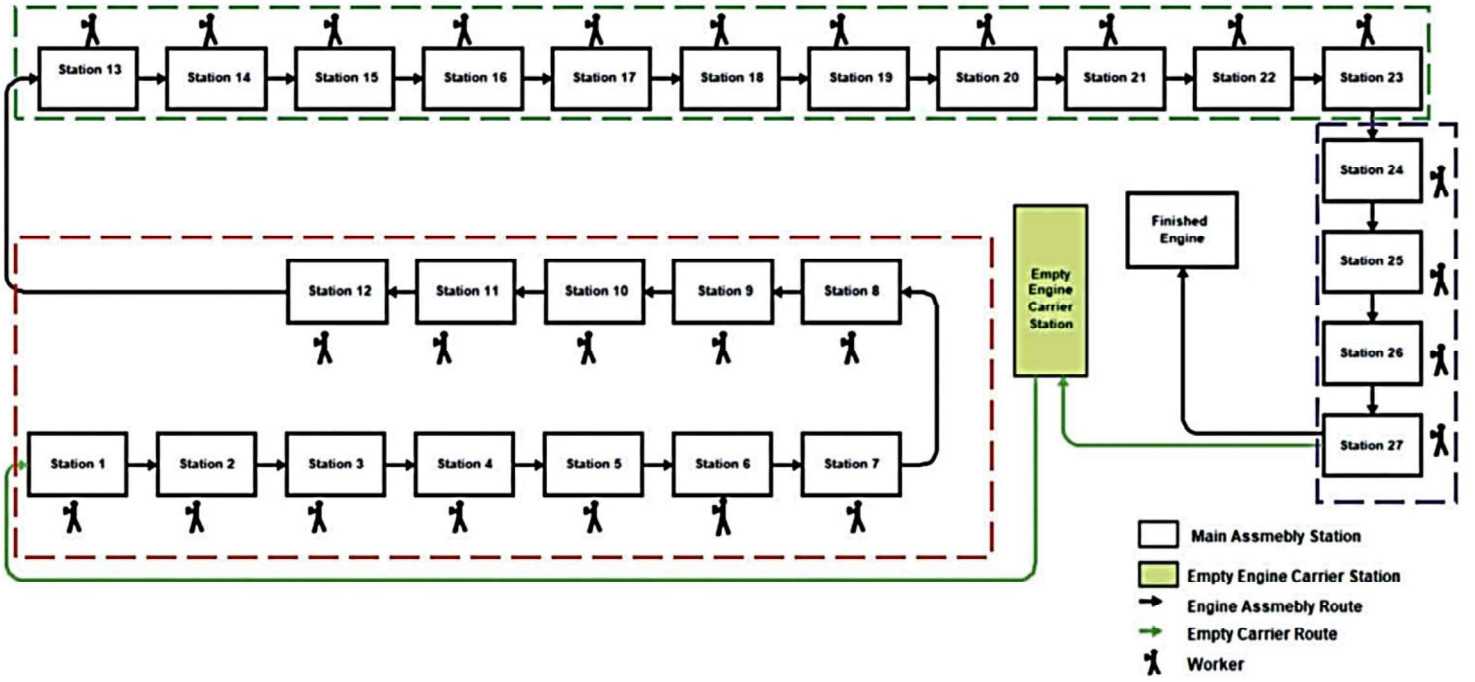
25





MONTAJ HATTI KAVRAMI





Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

29

MONTAJ HATTI KAVRAMI

- Kitle üretimi, imalat veya montaj yöntemlerinden birisiyle gerçekleştirilebilir ve imalat ve montaj hatlarının yapıları ve işlevleri açısından büyük ölçüde benzerlik gösterir:
 - İmalat hatları, ürüne göre yerleşimin tercih edildiği ve operasyonların **makinelere** kullanılarak yapıldığı, **malzemeye şekil verilen** hatlardır.
 - Montaj işlemi, ürünü oluşturan parçaların manuel olarak veya küçük el aletleri kullanılarak **sistemik olarak birleştirilmesi** işlemidir.



İmalat/Montaj Hattı?



30



Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

MONTAJ HATLARININ ENDÜSTRİDEKİ YERİ

Montaj hatları günümüzde, otomotiv, elektronik, beyaz eşya gibi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Genellikle üretim süreçlerinin son aşamaları olan montaj hatlarının performansı, üretim süreçlerinin genel performansı üzerinde önemli etkiye sahiptir.

Çok sayıda işletme, üretim süreçlerinin performansını artırmak amacıyla, montaj hatlarını kullanmakta ve diğer üretim aşamaları ve işletme dışından tedarik edecekleri malzemelerin akış hızını son montaj hattının ihtiyacına göre ayarlamaktadırlar.

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

MONTAJ HATLARININ ENDUSTRIDEKİ YERİ

- Montaj hatlari, cok yetenek gerektirmeden makineler ve/veya robotlardan da yararlanilarak karmaşik urunlerin uretiminde kullanildiđi icin kitle uretiminde en cok kollanilan metoddur.
- Yeni bir hattin tasariminin yaninda, mevcut hatlar da periyodik olarak veya uretim surecindeki/planindaki bazi deđisiklikler sonrasi yeniden dengelenmek zorundadir.

DENGELEMENİN ÖNEMİ

- Montaj hattı kurulumu uzun süreli bir karardır ve genellikle büyük yatırım gerektirir. Bu yüzden, montaj hatlarının iyi tasarlanması ve dengelenmesi üretimin etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için çok önemlidir.
- Dengeleme kararlarının uzun dönem etkilerinden dolayı, amaç fonksiyonları işletmenin stratejik hedeflerini göz ederek dikkatli bir şekilde seçilmelidir.

HEDEFLER

- Düzenli bir malzeme akışını sağlamak.
- İnsangücü ve kapasitelerinin en yüksek oranda kullanılmasını sağlamak.
- İşlemleri en kısa sürede tamamlamak.
- Hat üzerindeki iş istasyonu (workstation) sayısını enazlamak.
- Boş (idle) süreleri enazlamak.
- Boş süreleri iş istasyonları arasında düzgün (smooth) bir şekilde dağıtmak.
- Üretim maliyetlerini enküçülemek.

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

35

TERMINOLOJİ VE TEMEL HESAPLAMALAR

- Montaj hatlarının tasarlanmasında ve talep değişikliklerine göre üretim hızının tekrar ayarlanmasında ortaya çıkan en önemli problem, **montaj hattı dengeleme (MHD) problemi**dir.

- **Montaj hattı dengeleme problemi (MHD)**: Montaj hattında yerine getirilecek işlerin (görevlerin),
 - aralarındaki *öncelik ilişkileri* ihlal edilmeden,
 - belirlenen bir *çevrim zamanı* aşılmayacak ve
 - belirli bir *performans ölçütü* en iyilenecek şekilde**istasyonlara atanması** problemi.

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç






36

TERMINOLOJİ VE TEMEL HESAPLAMALAR

Görev/İs/İs Ogesi (Task): Bir montaj hattında tamamlanması gereken toplam işin, işin niteliğine göre bölünebilecek en küçük parçasıdır.

Görev/İs Süresi (Task Time): Bir görevin tamamlanabilmesi için gereken süredir.

Istasyon (Workstation): Bir veya birden fazla görevin, bir veya birden fazla işgücü tarafından yapıldığı hat üzerindeki bir iş merkezi.

	Istasyon 1	Istasyon 2	Istasyon 3	Istasyon 4	Istasyon 5
Görevler	1	2	3,6	4	5,7
Istasyon Zamani	9 	5 	10 	8 	10 

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

37

TERMINOLOJİ VE TEMEL HESAPLAMALAR

Istasyon Zamani (Workload Time): Bir istasyona atanan görevlerin görev süreleri toplamını ifade eder.

Cevrim Zamani (Cycle Time): Montaj hattındaki bir istasyona, o istasyona atanan görevlerin tamamlanabilmesi için ayrılan zamandır.

Cevrim zamanı bir montaj hattını oluşturan bütün istasyonlar için eşittir ve hattın ardı ardına iki ürün çıkışı arasında geçen süreyi ifade eder.

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

38

CEVRİM ZAMANI

$$\text{Cycle Time} = \frac{\text{Planning Period}}{\text{Production Quantity}}$$

- Uretim miktarı ve zamanına bağlı olarak çevrim zamanı (C) şöyle belirlenir:

$$C = P/D$$

(C, en büyük is zamanından daha büyük olmak kosulu ile)

P: Toplam kullanılabilir süre veya planlama donemi (time horizon or planning period)

D: Talep veya üretim miktarı (demand or production quantity)

Örnek: Haftada 5 gün, günde 8 saat mesai yapan bir firmanın önümüzdeki 4 haftaya ilişkin toplam ürün talebi 1000 adettir. Çevrim zamanı:

$$P = 4 \text{ hafta} \times 5 \text{ gün/hafta} \times 8 \text{ saat/gün} \times 60 \text{ dak./saat} = 9600 \text{ dakika}$$

$$D = 1000 \text{ adet}$$

$$C = P/D$$

$$C = 9600 \text{ dakika} / 1000 \text{ adet} = 9.6 \text{ dakika / adet}$$

olarak hesaplanır.

URETİM HIZI

Uretim Hızı (Production Rate): Birim zamandaki çıktı miktarıdır. Örneğin, bir hatta 1 saatte üretilen ürün miktarı üretim hızını ifade etmek için kullanılabilir.

$$PR = 1/C = D/P$$

D: Talep veya üretim miktarı

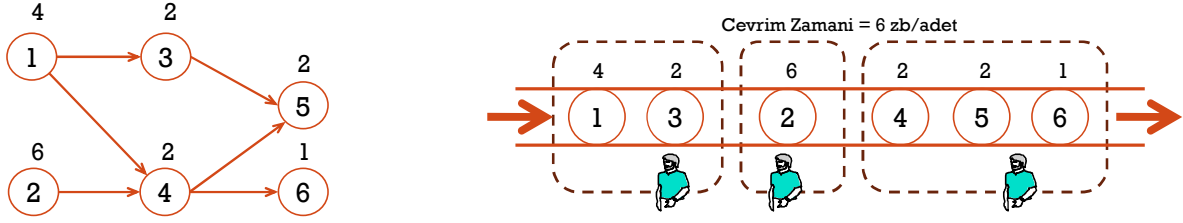
P: Toplam kullanılabilir süre veya planlama donemi

Örneğin, bir hattın:

Çevrim süresi 6 dakika/adet ise

Uretim hızı 0,167 adet/dakika (yani 10 adet/saat)'dir.

ONCELİK İLİSKİLERİ DİYAGRAMI



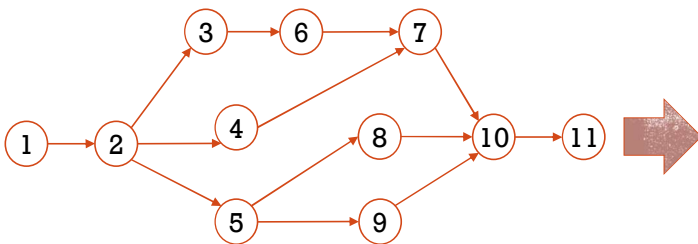
Görevler arasında teknolojik ve organizasyonel sebeplerden kaynaklanan **öncelik ilişkileri** (precedence relationships) vardır. Bu ilişkilerin ifade edildiği diyagram **öncelik ilişkileri diyagramı** (precedence relationships diagram) olarak adlandırılır. Örneğin 4 numaralı görevin başlayabilmesi için öncelikle 1 ve 2 numaralı görevlerin tamamlanmış olması gerekmektedir. Bu durumda 1 ve 2 numaralı görevler 4 numaralı görevin öncülleridir (predecessors). 4 numaralı görev ise 1 ve 2 numaralı görevlerin ardılları (successors) olarak ifade edilir.

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

41

ONCELİK İLİSKİLERİ MATRİSİ

- **Öncelik matrisi:** Bir montaj işleminde bulunan görevler arasındaki öncelik ilişkilerinin ifade edildiği, boyutu montaj işlemindeki görev sayısına eşit olan ve a_{ij} elemanlarından meydana gelen ikili (binary) bir kare matristir.
- Eğer öncelik diyagramındaki j görevi i görevini takip ediyorsa (yani ardılı ise), öncelik matrisinin a_{ij} elemanı "1" değerini, aksi durumda "0" değerini alacaktır.



		j										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
i	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1
	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
	5	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
	6	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

42

TOPLAM İŞ SÜRESİ

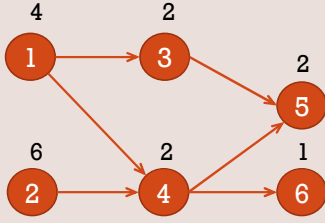
- **Toplam iş süresi (T):** Montaj hattı üzerinde üretilecek ürünün montajı için gerekli olan süre veya işi oluşturan bütün iş öğelerinin standart süreleri toplamıdır.

$$T = \sum_{i=1}^N t_i$$

N : iş öğesi sayısı

t_i : i no'lu iş öğesinin işlem süresi

Örnek:



$$T = \sum_{i=1}^N t_i$$

$$= t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6$$

$$= 4 + 6 + 2 + 2 + 2 + 1 = 17 \text{ zaman birimi}$$

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

43

MINIMUM İSTASYON SAYISI

- Teorik minimum istasyon sayısı:

$$K_{teorik} = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{C} \right\rceil$$

- Çevrim süresinin yarısından büyük süreye sahip iş öğeleri sayısı:

$$K_{olasi} = \{i\text{'lerin sayısı} \mid t_i > C/2\}$$

$$K_{min} = \max \{K_{teorik}, K_{olasi}\}$$

- Ortalama iş istasyonu süresi (\bar{C}):

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{K}$$

K : Atama sonrası bulunan istasyon sayısı

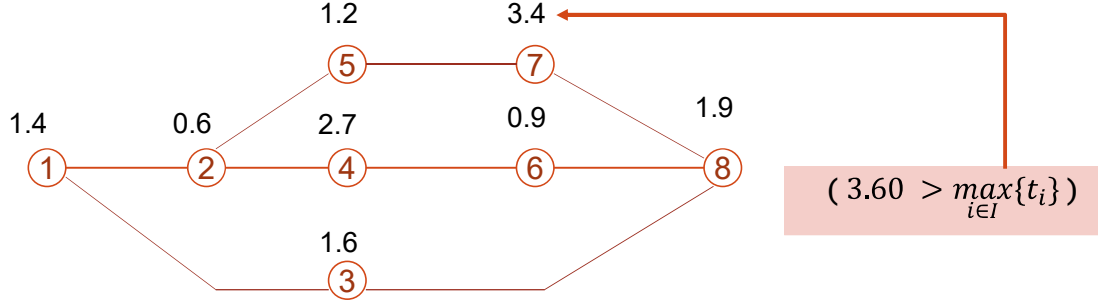
$$K \geq K_{min}, \quad C \geq \bar{C}$$

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

44

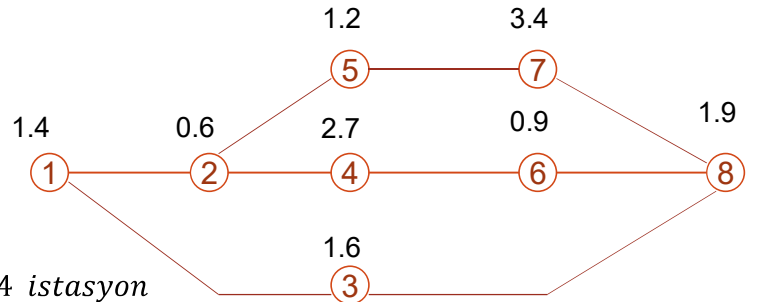
ORNEK

- Asagida oncelik iliskileri ve zamanlari (dakika cinsinden) verilen islerden olusan bir urun icin haftalik talep 650 adettir. Bir haftada toplam calisilabilir sure ise 40 saattir.



- Talebi karsilayacak minimum cevrim zamani: $C = (40 \times 60) / 650 = 3.69$ dakika/adet $\cong 3.6$ dakika/adet

ORNEK



$$K_{teorik} = \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{C} \right\rceil = \left\lceil \frac{13.7}{3.6} \right\rceil = \lceil 3.81 \rceil = 4 \text{ istasyon}$$

$$K_{olasi} = (\text{i'lerin sayısı} \mid t_i > 3.6/2) = 3 \text{ istasyon}$$

$$K_{min} = \max \{K_{teorik}, K_{olasi}\} = \max \{4, 3\} = 4 \text{ istasyon}$$

Optimum Cozum

Istasyon No	1	2	3	4	
Atanan Isler	1,2,5	4,6	7	3,8	
Istasyon Zamani	3.2	3.6	3.4	3.5	
Bos Zaman	0.4	0	0.2	0.1	Toplam 0.7

HAT ETKİNLİĞİ VE DENGE GECİKMESİ

- **Istasyon boş zamanı (Station Idle Time):** Montaj hattinin çevrim zamanı ile hatta açılan bir istasyonun istasyon zamanı arasındaki farktır.
- **Toplam boş zaman (Total Idle Time - TIT):** Montaj hattini oluşturan bütün istasyonların boş zamanlarının toplamıdır ($= K \times C - \sum_{i=1}^N t_i$).

- **Denge gecikmesi (Balancing Delay - BD):** Toplam boş zamanın, ürünün hat boyunca harcadığı zamana oranıdır. Hattin etkinliğinin bir ölçüsü olarak kullanılır.

$$BD(\%) = \frac{(K \times C - \sum_{i=1}^N t_i)}{K \times C} \times 100$$

BD: Denge gecikmesi K: İstasyon sayısı

C: Çevrim zamanı

- **Hat Etkinliği (Line Efficiency - LE):** Verimli sürenin toplam süreye oranıdır.

$$LE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{K \times C} \times 100$$

47

DENGE GECİKMESİ

- **Toplam boş zaman:**

$$TIT = K \times C - \sum_{i=1}^N t_i = 4 \times 3.6 - 13.7 = 0.7$$

- **Denge gecikmesi:**

$$BD(\%) = \frac{(K \times C - \sum_{i=1}^N t_i)}{K \times C} \times 100 = \frac{4 \times 3.6 - 13.7}{4 \times 3.6} \times 100 = \% 4.861$$

- **Hat Etkinliği:**

$$LE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{K \times C} \times 100 = \frac{13.7}{4 \times 3.6} \times 100 = \% 95.139$$

Düzlük İndeksi (Smoothness Index)

- Düzlük İndeksi (SI): Montaj hattındaki iş istasyonlarının işlem sürelerinin düzlüğünü gösterir ve şu şekilde hesaplanır:

$$SI(\%) = \frac{\sqrt{\sum (WT_{max} - WT_k)^2}}{K \times C} \times 100$$

SI : Düzlük indeksi

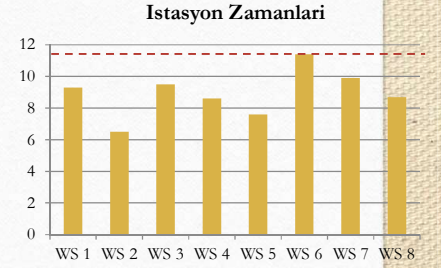
WT_{max} : İş istasyonu sürelerinin en büyüğü

WT_k : k. iş istasyonunun süresi ($WT_{max} = \max_{k=1, \dots, K} \{WT_k\}$)

K : Toplam istasyon sayısı

C : Çevrim süresi

olmak üzere;

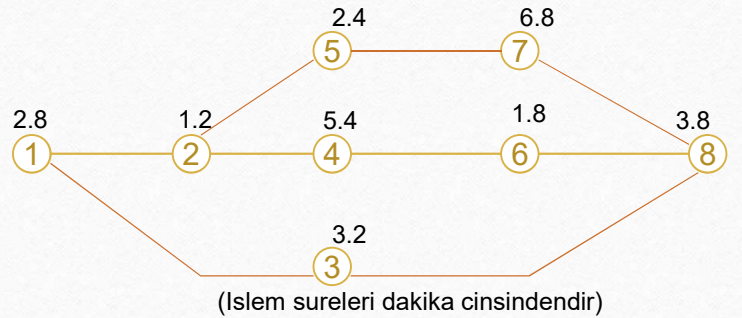


Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

51

ORNEK (SI)

- Öncelik diyagramı yanda verilen problem aşağıdaki gibi dengelenmiştir. Çevrim süresi 7.2 dakika olduğuna göre bu atama çözümünün düzlük indeksini hesaplayınız.

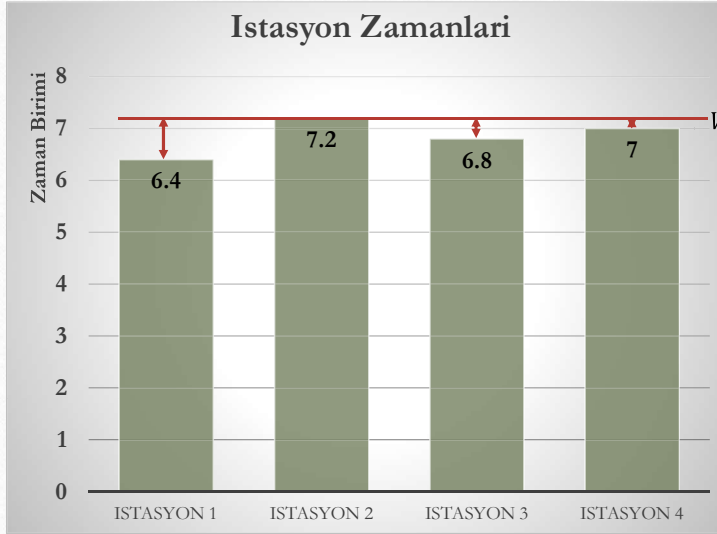


Istasyon No	1	2	3	4
Atanan İşler	1,2,5	4,6	7	3,8
Istasyon Zamani (dk)	6.4	7.2	6.8	7.0

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

52

ORNEK (SI)



$$SI(\%) = \frac{\sqrt{\sum(WT_{max} - WT_k)^2}}{K \times C} \times 100$$
$$= 3.18 (\%)$$

Kuramsal Etkinlik (TE)

- Kuramsal Etkinlik (TE):

Gerekli minimum istasyon sayısı (K_{min}) baz alınarak hesaplanan ve dengelenecek hattın sahip olabileceği maksimum etkinliği ifade etmek için kullanılır.

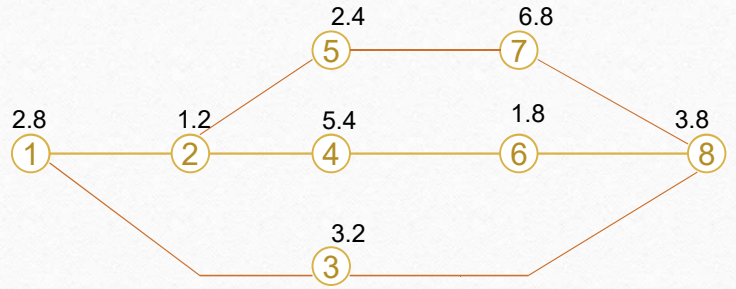
$$TE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{K_{min} \times C} \times 100$$

C : Çevrim zamanı

t_i : i görevinin işlem süresi

ORNEK (TE)

- Oncelik diyagrami yanda verilen ornek problemin cevrim zamani 7.2 dakikadir (islem sureleri dakika cinsindedir). Bu problemin kuramsal etkinligi asagidaki sekilde hesaplanir:



- $TE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{K_{min} \times C} \times 100$

- $TE(\%) = \frac{27.4}{4 \times 7.2} \times 100$

(NOT: K_{min} degerinin nasil hesaplanacagi bir oncesi derste anlatilmistir.)

ORNEK (TE)

- Bu problem asagidaki sekilde dengelenmis ise, hattin etkinlik (LE) degerini hesaplayarak kuramsal etkinlik (TE) degeri ile kiyaslayiniz.

Istasyon No	1	2	3	4
Atanan Isler	1,2,5	4,6	7	3,8
Istasyon Zamani (dk)	6.4	7.2	6.8	7.0

$$LE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{K \times C} \times 100 = 95.14$$

$$TE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{K_{min} \times C} \times 100 = 95.14$$

$$K = K_{min}$$

Montaj Hattı Dengeleme Problemlerinin Sınıflandırılması

- Amaca Gore (Tip-1, Tip-2, Tip-E, Tip-F)
- Hat Konfigurasyonuna Gore (duz, U-tipi, iki yonlu, parallel vb.)
- Urun Cesidine Gore (tek modelli, karisik modelli, cok modelli)
- Gorev Surelerinin Durumuna Gore (deterministik, stokastik)
- Hibrid Hatlar

Amaca Gore Sınıflandırma

- Dengeleme amacına göre montaj hattı dengeleme (MHD) problemi dört gruba ayrılabilir:

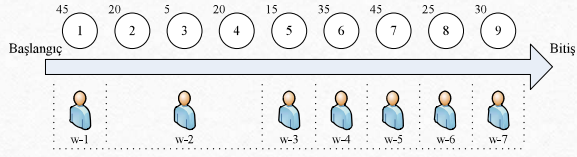
		Cevrim Zamani (C)	
		Verilen	Minimize
İstasyon Sayisi (K)	Verilen	MHD-F	MHD-2
	Minimize	MHD-1	MHD-E

- **MHD-1:** Amac, cevrim zamani (C) verilmisken istasyon sayisini (K) minimize etmektir.
- **MHD-2:** İstasyon sayisi (K) verilmisken cevrim zamanini (C) minimize etmek amaclaridir.
- **MHD-E:** K ve C birlikte minimize edilmeye calisilir (amac fonkiyonu genelde hattın etkinligini maksimize etmeye calisilir).
- **MHD-F:** Verilen K ve C degerleri icin uygun bir cozum bulunmaya calisilir.

Hat Konfigurasyonuna Gore Siniflandirma

Salveson (1955):

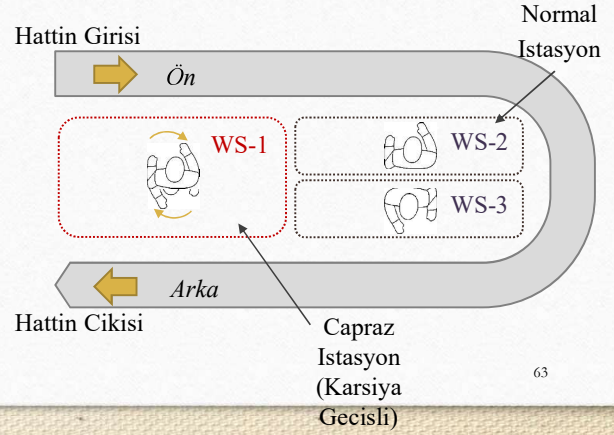
Duz Montaj Hatti (straight assembly line)



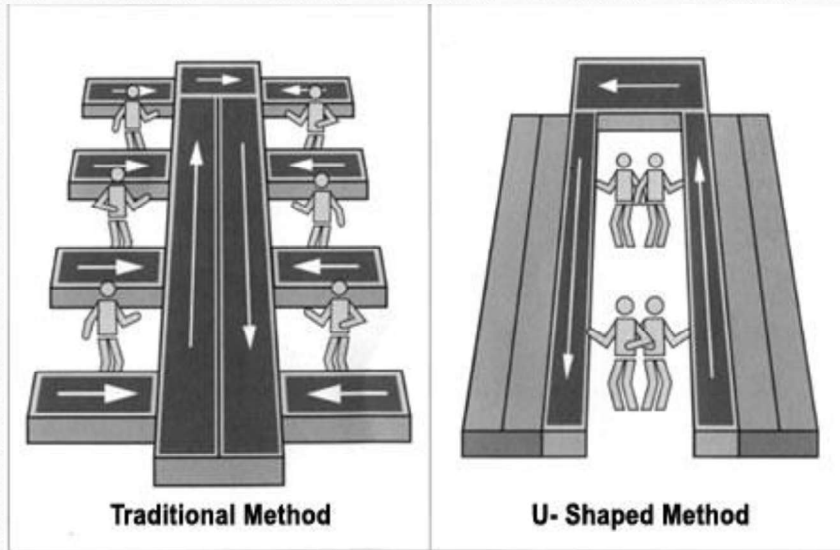
Miltenburg and Wijngaard (1994)

U-tipi Montaj Hatti (U-shaped assembly line)

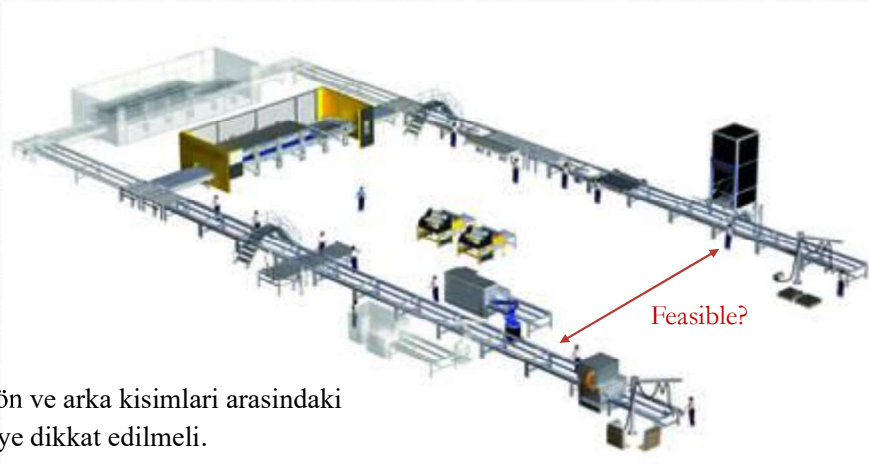
- Capraz istasyon sayesinde etkinligi yuksek hat tasarimi
- Dolayisiyla daha az atil zaman



Hat Konfigurasyonuna Gore Siniflandirma



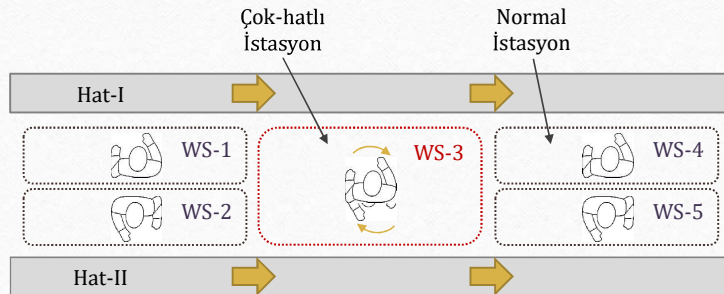
Hat Konfigurasyonuna Gore Siniflandirma



Hat Konfigurasyonuna Gore Siniflandirma

☞ Gokcen et al. (2006):

Paralel Montaj Hattı (parallel assembly line)



- Farkli çevrim sürelerine sahip olabilen hatlar
- Her bir hattın üzerinde farklı ürün üretebilme opsiyonu
- Çok hatlı istasyon sayesinde daha etkin hat tasarımı
- Çözümü açısından daha karmaşık problem

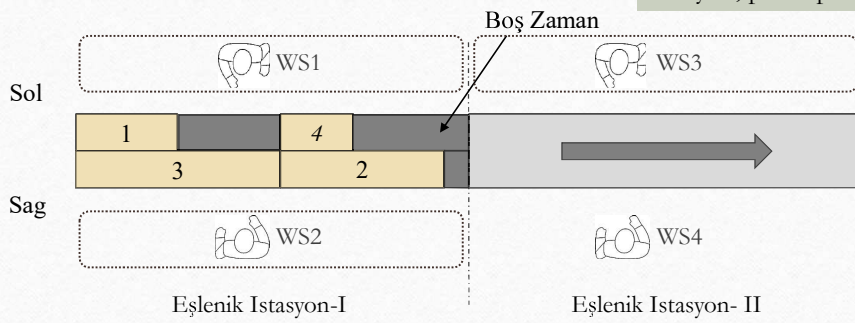


Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

Hat Konfigurasyonuna Gore Siniflandirma

Bartholdi (2003):

Cift Taraflı Hatlar (two-sided lines)



Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

68

Urun Cesidine Gore Siniflandirma

Tek-modelli (single-model) montaj hattı:

Tek bir model veya ürünün üretimine ayrılmış hatlardır



Karisik-modelli (mixed-model) montaj hattı:

İki veya daha çok benzer ürünün veya bir ürünün farklı modellerinin aynı anda ve karışık olarak üretildiği montaj hatlarıdır.



Cok-modelli (multi-model) montaj hattı:

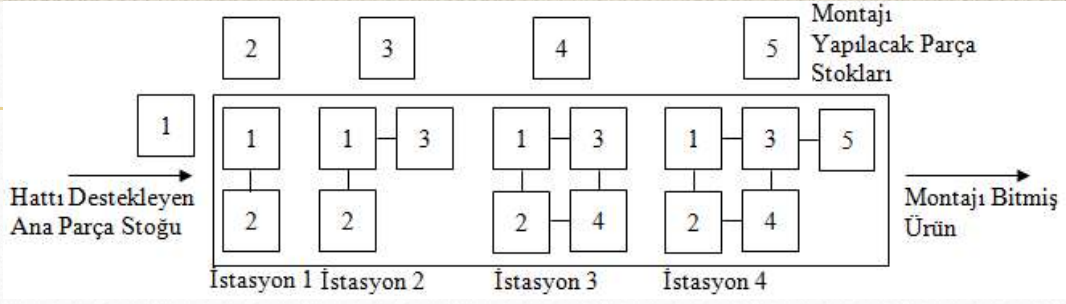
Farklı ürünler veya aynı ürünün iki ya da daha çok benzer tipinin, ayrı yığınlar halinde üretildiği montaj hatlarıdır.



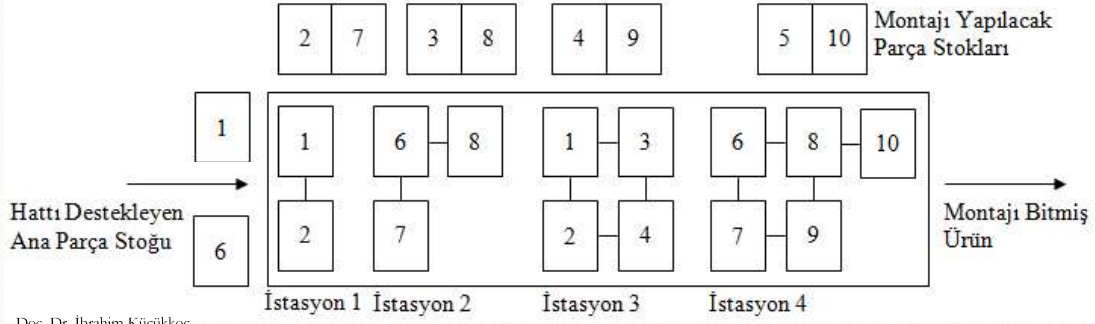
Urun Cesidine Gore Siniflandirma



Tek-modelli



Karışık-modelli

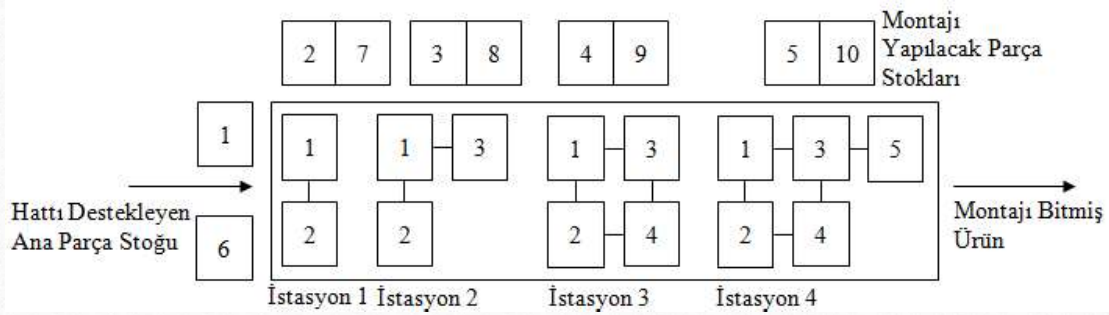


Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

71

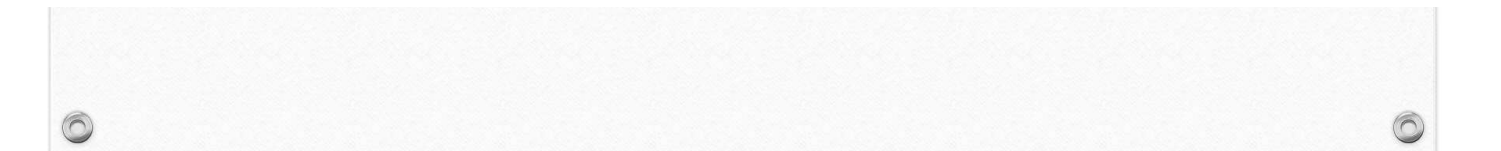
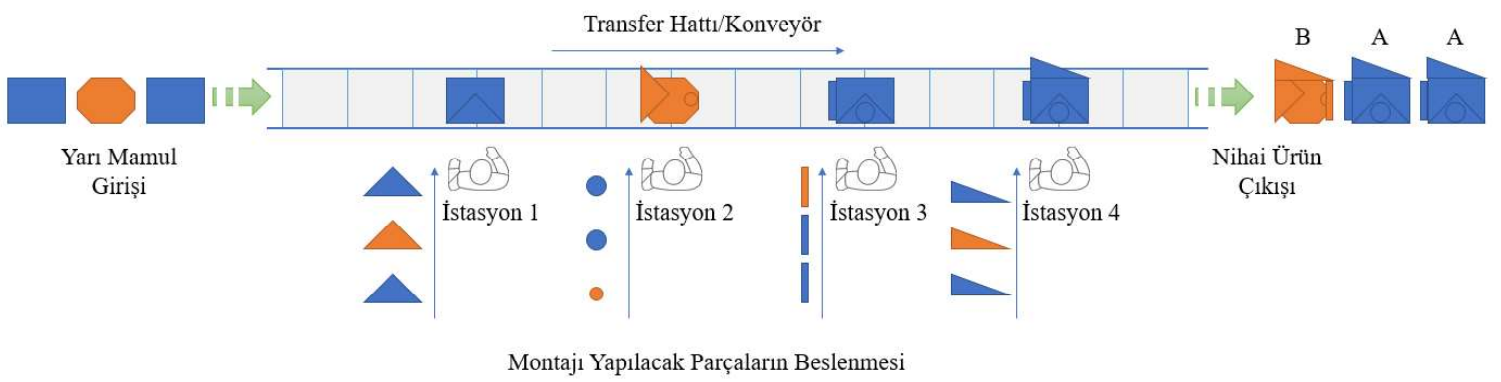
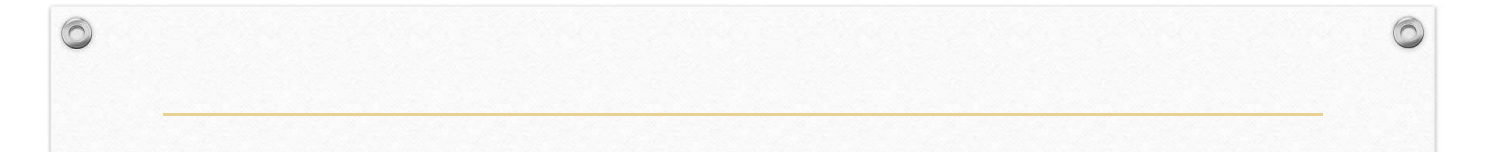
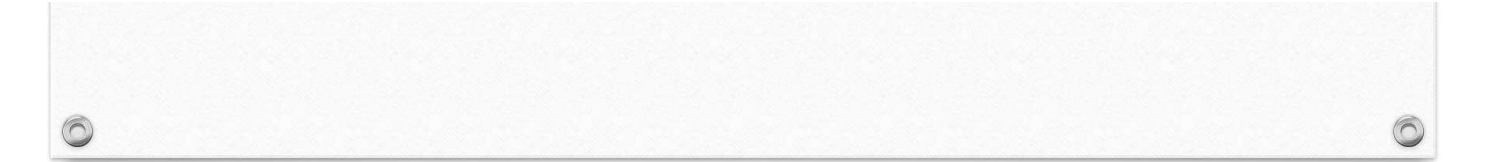
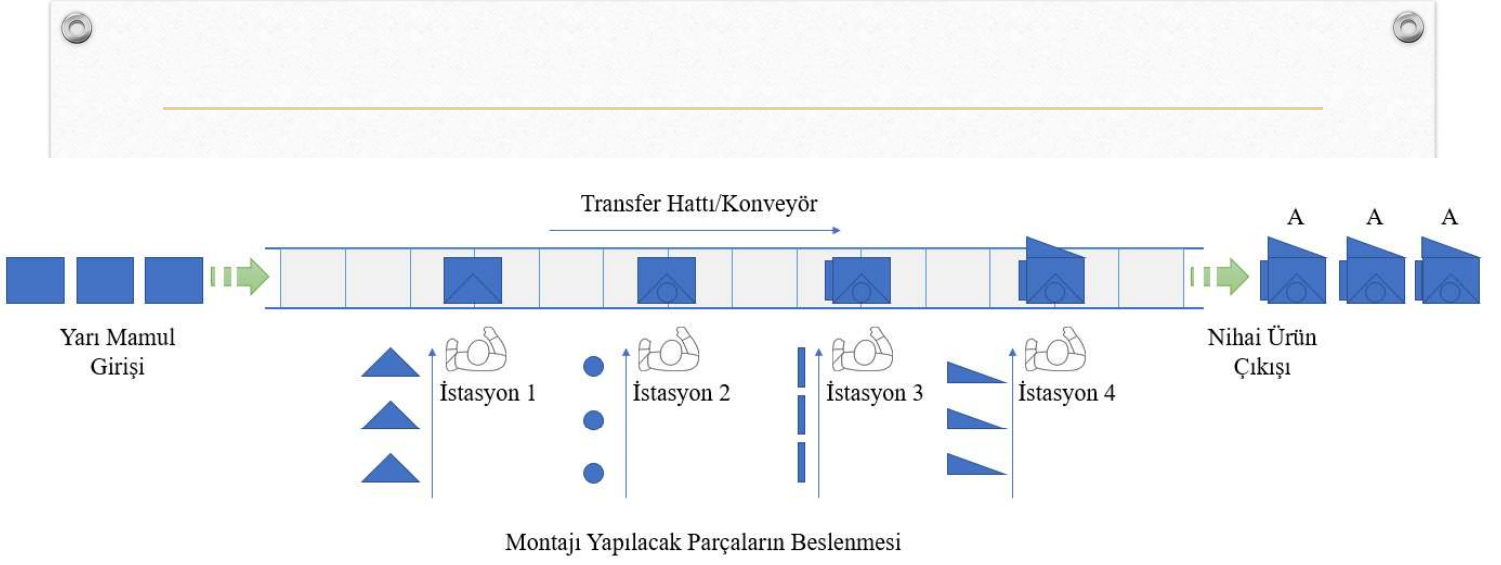
Ürün Cesidine Göre Sınıflandırma

Çok-modelli



Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

72



Gorev Surelerinin Durumuna Gore Siniflandirma

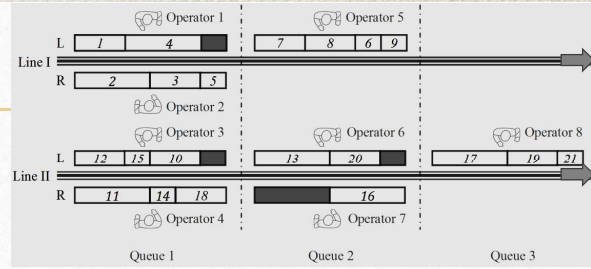
Imalat / montaj hattı dengeleme problemleri, görev sürelerinin durumuna göre **Deterministik MHD Problemi** ve **Stokastik MHD Problemi** olmak üzere ikiye ayrılır.

- **Deterministik görev süreli MHD probleminde**, görev süreleri belirli ve deterministiktir.
- **Stokastik görev süreli MHD probleminde**, görev sürelerinin, ortalaması ve standart sapması bilinen bir dağılıma uyduğu kabul edilir.

Hibrid Hatlar

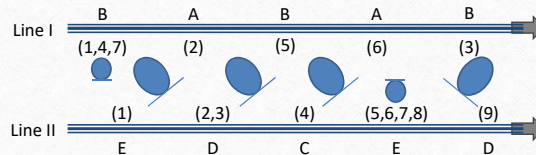
Özcan et al. (2010):

Paralel çift taraflı hatlar (parallel two-sided lines)



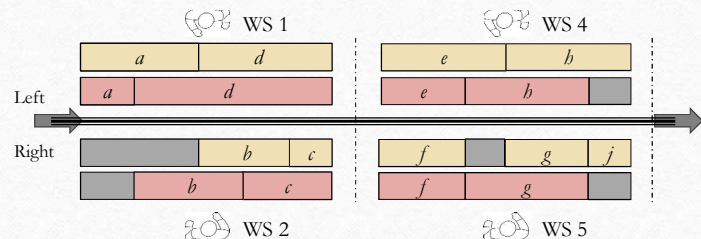
Özcan et al. (2010):

Karışık modellenli paralel hatlar (mixed-model parallel lines)



Simaria and Vilarinho (2009):

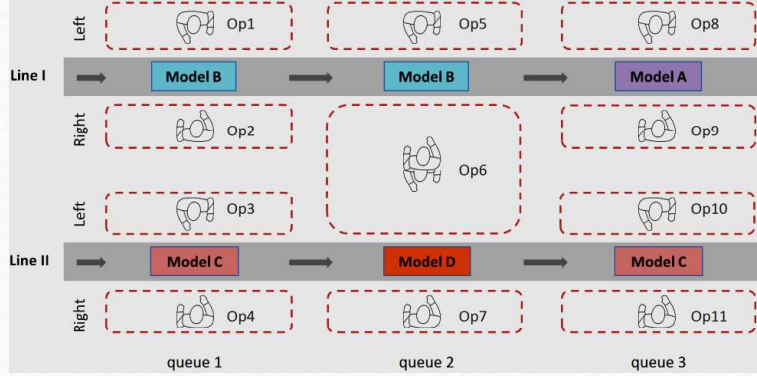
Karışık modellenli çift taraflı hatları (mixed-model two-sided lines)



Hibrid Hatlar

✎ Kucukkoc and Zhang (2014):

Karisik-modelli parallel çift taraflı montaj hatları (mixed-model parallel two-sided lines)

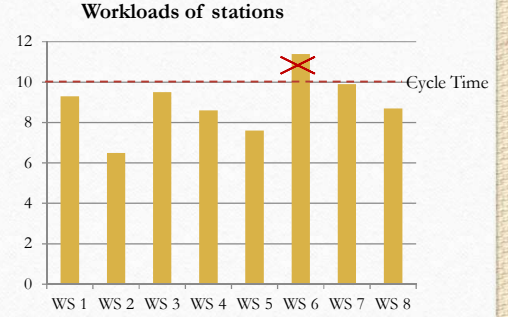


Özel Kısıtlar/Durumlar
Paralel İstasyonlar (Örnek)
Tek Modelli Düz MHD Problemi
Matematiksel Modelleme

Ozel Kisitlar/Durumlar

- Çevrim süresi
- Öncelik ilişkileri

- Konum (positional constraint) kisiti
- Maksimum istasyon yükü (maximum station workload) kisiti
- Pozitif bolgeleme (positive zoning constraints) kisiti
- Negatif bolgeleme (negative zoning constraints) kisiti
- Senkronize gorevler (synchronised tasks) kisiti
- Operatorle ilgili (operator related) kisitlar

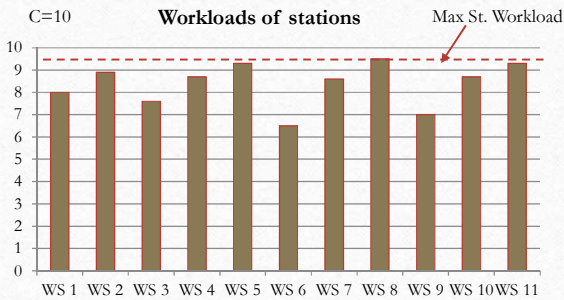


If stations are amplified by buffers, workstations can operate at an individual speed, and buffers can keep in-process inventories (Dolgui et al. 2002, Becker and Scholl 2006).

Ozel Kisitlar/Durumlar

Konum Kisiti

- Cesitli sebeplerden oturu (ozel fiziki donanim gereksinimi, agirlik vb.) tasinamayacak durumdaki alet/makinelerde gerceklestirilmesi gereken bazi gorevler, bu alet/makinelerin bulunduđu istasyonlara atanmak zorundadir.



Maksimum Istasyon Yuku Kisiti

- Cesitli nedenlerle olusabilecek gecikmeler veya performans degisikliklerinden dolayi istasyon yuklerinin belirli bir degeri asmamasi kisiti uygulanabilir. Ornegin, "herhangi bir istasyonun yuku, cevrim suresinin %95'ini asamaz" seklinde bir kisit uygulanabilir.

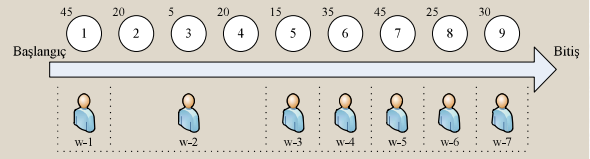
Ozel Kisitlar/Durumlar

• Pozitif Bolgeleme Kisiti

- Ayni istasyonda veya birlikte gercekleştirilmesi gereken islerin birlikte atanmasi icin uygulanan kisittir. Ornegin, tutkal ile yapistirilmesi gereken bir malzeme tutkal surulduktan sonra kisa bir surede yapistirilmak zorundadir. Bu durumda tutkalin surulmesi ve ilgili malzemenin yapistirilmesi islemleri ayni istasyonda gercekleştirilmek durumundadir.

• Negatif Bolgeleme Kisiti

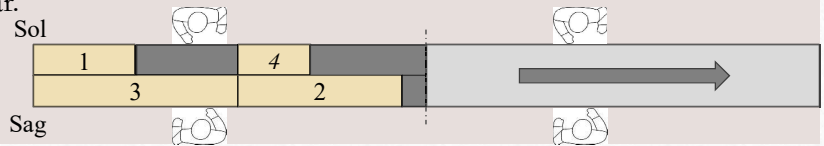
- Bir arada gercekleştirilmesi uygun olmayan veya tehlikeli olan isler ayri istasyonlarda gercekleştirilmek zorundadir. Bu durumda ilgili islerin atanmasi sirasinda negatif bolgeleme kisiti uygulanir.



Ozel Kisitlar/Durumlar

• Senkronize Gorevler Kisiti

- Cogunlukla çift taraflı montaj hatlarında karşılaşılan bir durumdur. Hattin her iki tarafında aynı anda gercekleştirilmesi gereken gorevler "senkronize gorev" olarak tanımlanir ve senkronize bir sekilde gercekleştirilebilecek bicimde eslenik istasyonlara atanmak zorundadırlar.



• Operatorle Ilgili Kisitlar

- Islerin istasyonlara atanmasinin yaninda, operatorlerin istasyonlara atanmasi da MHD problemlerinin ayri bir boyutudur. Bazi isler kalifiye isgucu gerektirdigi icin bu tur isleri gerceklestirebilecek operatorlerin bulunduđu/atandigi istasyonlara atanmak zorundadir.



Gorev Sureleri

Deterministik

- Gorevler cok kucuk ve iyi tanimlanmis
- Gorev zamanlarında olusabilecek degisim gorece kucuk

Stokastik

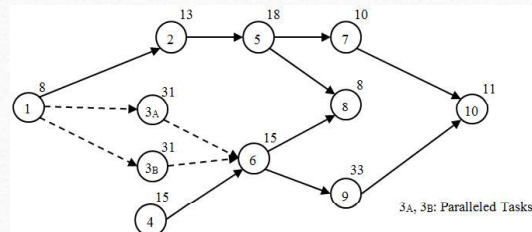
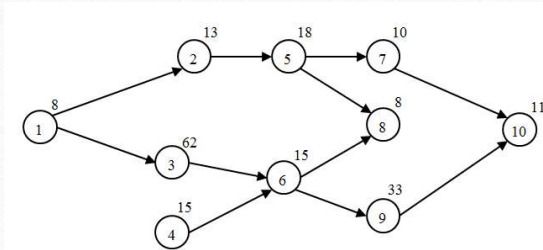
- Personel performansındaki beklenmedik degisimler
- Arizalar

Dinamik

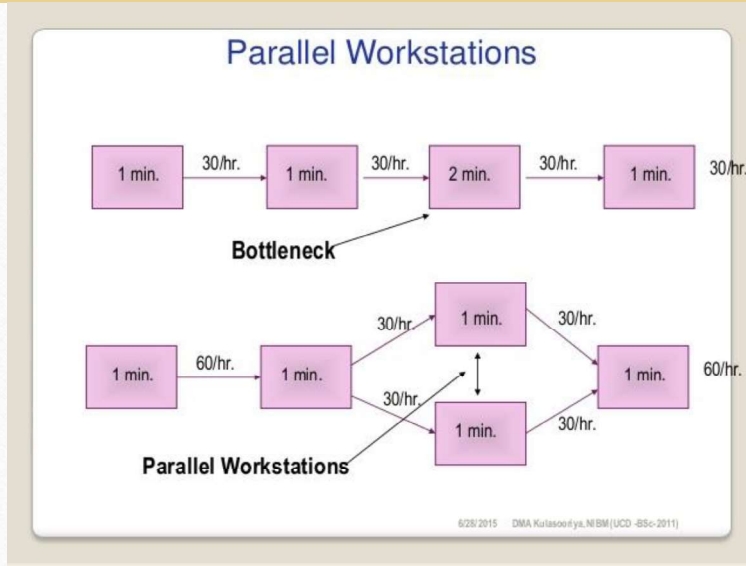
- Ogrenme etkisi (learning effect)
Zamanla azalan ve daha sonra sabit kalan gorev sureleri

Paralel Istasyonlar

- Geleneksel bir montaj hattında, cevrim zamani, hat üzerinde gerceklestirilecek en uzun islem suresine sahip isin islem suresine esit veya bundan daha buyuk olmalıdır. Bu durum dogal olarak uretim hizini sinirlendirmektedir.
- Paralel istasyonlar kurularak cevrim suresini asan isler bu istasyonlarda gerceklestirilebilir ve Boylece ilgili isin gorev suresi kurulan paralel istasyon sayisinca azaltilmis olur.

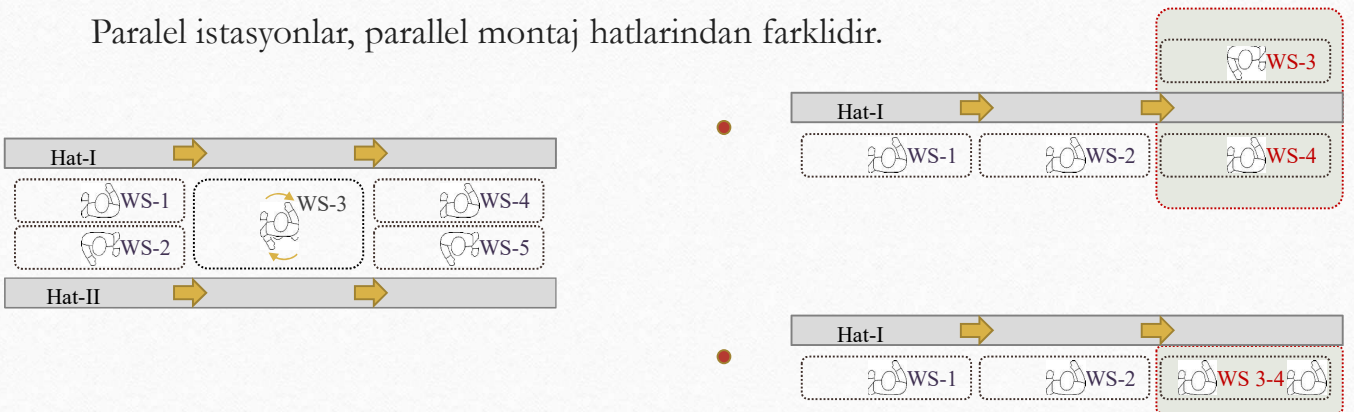


Paralel İstasyonlar



Paralel İstasyonlar

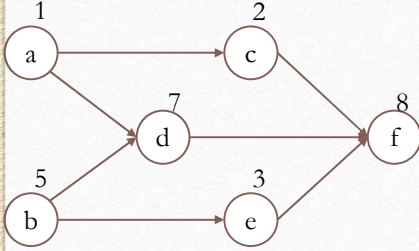
Paralel istasyonlar, paralel montaj hatlarından farklıdır.



- *Paralel istasyon oluşturmak ek maliyet getirirse de, diğer alternatifler arasında üretim hızını artıracak en düşük maliyetli metodlardan biridir.*

Paralel İstasyonlar

Ornek 4-1:



Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

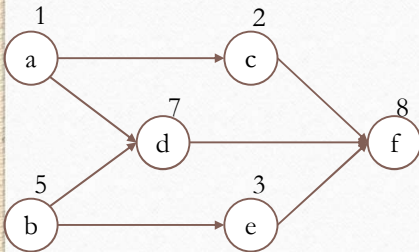
C=10 kabul edildiğinde **En Büyük Aday Kuralı'na** göre çözüm:

Example 1 - Cycle time given Solution				
Station	Task	Time (seconds)	Time left (seconds)	Ready tasks
1	b	5.	5.	a,b
	e	3.	2.	a,e
	a	1.	1.	a
2	d	7.	3.	c,d
	c	2.	1.	c
3	f	8.	2.	f
Summary Statistics				
Cycle time	10	seconds		
Time allocated (cyc*sta)	30	seconds/cycle		
Time needed (sum task)	26	seconds/unit		
Idle time (allocated-needed)	4	seconds/cycle		
Efficiency (needed/allocated)	86.66666%			
Balance Delay (1-efficiency)	13.33333%			
Min (theoretical) # of stations	3			

91

Paralel İstasyonlar

Ornek 4-1:



Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

C=10 kabul edildiğinde **En Büyük Aday Kuralı'na** göre çözüm:

92

Paralel İstasyonlar - Örnek

Eğer $C=6$ olsaydı ???

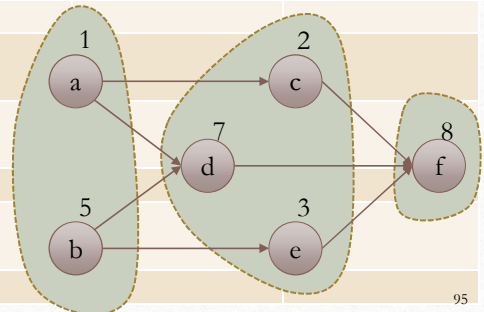
- Görüldüğü gibi d ve f görevlerinin zamanları $C=6$ dan büyük olduğu için bu görevlerin normal bir istasyonda 6 birimlik çevrim zamanında gerçekleştirilmeleri mümkün olmaz.
- Bu yüzden çevrim süresini asan i görevinin atanacağı istasyonun kapasitesi RP_i katına çıkarılır ve atama işlemi gerçekleştirilir ($RP_i = \lceil t_i/C \rceil^+$).
- Burada d ve f görevlerinin atandığı istasyonlar **cogaltılmış (replicated)** olarak kabul edilir.

$$RP_d = \lceil t_d/C \rceil^+ = \lceil 7/6 \rceil^+ = 2$$

$$RP_f = \lceil t_f/C \rceil^+ = \lceil 8/6 \rceil^+ = 2$$

Paralel İstasyonlar

Station	Task	Time (sec.)	Time Left (sec.)	Ready Tasks
1				
2				
3				
Çevrim Zamanı (C)				
Ayrılan Zaman (C*K)				
Gerekli Zaman (Görev Süreleri Toplamı)				
Bos Zaman (Ayrılan-Gerekli)				
Etkinlik (Gerekli/Ayrılan)				
Denge Gecikmesi (1-Etkinlik)				
Min. İstasyon Sayısı				

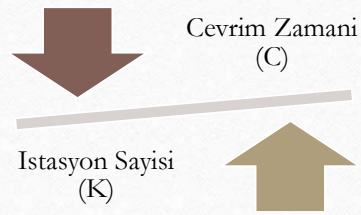


En Büyük Aday Kuralına Göre*

*Bu kural sonraki derslerde detaylı olarak anlatılacaktır.

Paralel İstasyonlar

- Çevrim zamanının düşmesi, paralel istasyon kurulumuyla birlikte hattın üretim hızını artırmıştır ($PR=1/C$).
- Buna karşılık, çevrim zamanı 10 olması durumunda gerekli istasyon sayısı 3 iken, çevrim zamanı 6 olduğunda gerekli istasyon sayısı 5 olmuştur. Bu durum üretime ekstra maliyet getirmektedir.
- Üretim hızını artırmak isteyen bir işletme, bu iki durum arasında politikaları doğrultusunda fayda-maliyet analizi yapıp kararını belirleyebilir.



Tek Modelli Düz MHD Problemi



Tek Modelli Düz MHD Problemi

- Montaj hattı dengeleme problemlerinin en yalın hali, tek modelli deterministik görev süreli düz hat dengeleme problemidir ve **basit hat dengeleme problemi** olarak bilinir.
- Problemin temel varsayımları şunlardır:
 - Montaj hattında **tek çeşit ürün büyük miktarlarda** üretilir.
 - Görev süreleri **deterministiktir** ve bilinmektedir.
 - Görevler arasındaki **öncelik ilişkileri bilinmektedir**.
 - Bir görevin tamamı **bir istasyonda** gerçekleştirilmek zorundadır.
 - Bir görevin öncülü varsa, o görevin başlayabilmesi için **bütün öncüllerinin tamamlanmış olması** gerekir.

Tek Modelli Düz MHD Problemi

- Tek modelli düz MHD probleminin temel olarak, **atama kısıtları, çevrim zamanı kısıtları** ve **öncelik ilişkileri kısıtları** olmak üzere üç çeşit kısıtı vardır.

Atama Kısıtları

- Montaj hattındaki bütün görevler istasyonlara atanmak zorundadır ve bir görev yalnızca bir istasyona atanabilir.

Çevrim Zamanı Kısıtları

- Montaj hattı üzerinde açılan her bir istasyona atanan görevlerin görev sürelerinin toplamı çevrim zamanını aşamaz.

Öncelik İlişkileri Kısıtları

- Bir görevin bir istasyona atanabilmesi için o görevin bütün öncüllerinin ya daha önceki bir istasyona ya da o görevle aynı istasyona atanmış olması gerekir.

Tek Modelli Duz MHD Problemi

Tek modelli duz MHD probleminin matematiksel modeli ise şöyledir.

Notasyon:

- i, r, s : görev
- k : istasyon
- C : çevrim zamanı
- K_{max} : maksimum istasyon sayısı
- N : toplam görev sayısı
- t_i : i görevinin tamamlanma süresi
- S : öncelik ilişkileri kümesi
- $(r, s) \in S$: Bir öncelik ilişkisi; r görevi s görevinin komşu öncülüdür
- x_{ik} : 1, i görevi k istasyonuna atanmış ise; 0, aksi halde
- z_k : 1, k istasyonu açılmış ise; 0, aksi halde

Tek Modelli Duz MHD Problemi

**Amac
Fonksiyonu**

$$\text{Minimize } \sum_{k=1}^{K_{max}} z_k \quad (1)$$

KISITLAR

$$\sum_{k=1}^{K_{max}} x_{ik} = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N t_i x_{ik} \leq C \cdot z_k \quad \forall k \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^{K_{max}} k(x_{rk} - x_{sk}) \leq 0 \quad \forall (r, s) \in S \quad (4)$$

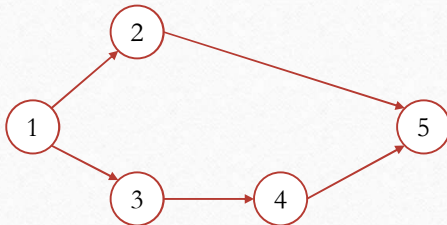
$$x_{ik}, z_k \in \{0,1\} \quad \forall i; \forall k \quad (5)$$

Tek Modelli Düz MHD Problemi

- Problemin amaç fonksiyonu **(1)**, hat boyunca açılan **istasyon sayısını minimize etmeye** yöneliktir.
- **2 numaralı kısıt**, bütün görevlerin istasyonlara atanmasını ve her görevin bir kere atanmasını sağlamaktadır.
- **3 numaralı kısıt**, açılan bir istasyondaki görevlerin görev süreleri toplamının çevrim zamanını aşmaması içindir.
- **4 numaralı kısıt** öncelik ilişkileri kısıtı olup, öncülü olan bir görevin ya öncülüyle aynı istasyona ya da öncülünden sonraki bir istasyona atanmasını sağlamaktadır.
- **5 numaralı kısıt** ise modeldeki bütün x_{ik} ve z_k değişkenlerinin ikili düzende (binary) (0–1) olduğunu ifade etmektedir.

Tek Modelli Düz MHD Problemi

- **Örnek 4-2:** Aşağıda öncelik diyagramı ve görev süreleri verilen montaj hattı dengeleme problemi için, düz hat dengeleme modelini matematiksel olarak yazalım. Çevrim zamanı 10 zaman birimi olsun. ($C = 10$)



Görev	Görev Süresi
1	3
2	6
3	4
4	5
5	1

Tek Modelli Duz MHD Problemi

$$K_{teorik} = \left\lceil \frac{\sum t_i}{c} \right\rceil = \left\lceil \frac{19}{10} \right\rceil = 2, \quad K_{olasi} = 1$$

$$K_{min} = \max\{2,1\} = 2 \quad \text{ise}$$

$$K_{max} = 3 \text{ olsun.}$$

Amac Fonksiyonu:

$$\text{Min } z_1 + z_2 + z_3$$

Tek Modelli Duz MHD Problemi

Atama Kisitlari:

$$1. \text{ gorev icin (i=1):} \quad x_{11} + x_{12} + x_{13} = 1$$

$$2. \text{ gorev icin (i=2):} \quad x_{21} + x_{22} + x_{23} = 1$$

$$3. \text{ gorev icin (i=3):} \quad x_{31} + x_{32} + x_{33} = 1$$

$$4. \text{ gorev icin (i=4):} \quad x_{41} + x_{42} + x_{43} = 1$$

$$5. \text{ gorev icin (i=5):} \quad x_{51} + x_{52} + x_{53} = 1$$

Cevrim Zamani Kisitlari:

$$1. \text{ istasyon icin (k=1):} \quad 3x_{11} + 6x_{21} + 4x_{31} + 5x_{41} + 1x_{51} \leq 10z_1$$

$$2. \text{ istasyon icin (k=2):} \quad 3x_{12} + 6x_{22} + 4x_{32} + 5x_{42} + 1x_{52} \leq 10z_2$$

$$3. \text{ istasyon icin (k=3):} \quad 3x_{13} + 6x_{23} + 4x_{33} + 5x_{43} + 1x_{53} \leq 10z_3$$

Tek Modelli Düz MHD Problemi

Oncelik Iliskileri Kisitlari:

$$S = \{(1,2), (1,3), (2,5), (3,4), (4,5)\}$$

$$(1,2) \text{ iliskisi icin: } 1(x_{11} - x_{21}) + 2(x_{12} - x_{22}) + 3(x_{13} - x_{23}) \leq 0$$

$$(1,3) \text{ iliskisi icin: } 1(x_{11} - x_{31}) + 2(x_{12} - x_{32}) + 3(x_{13} - x_{33}) \leq 0$$

$$(2,5) \text{ iliskisi icin: } 1(x_{21} - x_{51}) + 2(x_{22} - x_{52}) + 3(x_{23} - x_{53}) \leq 0$$

$$(3,4) \text{ iliskisi icin: } 1(x_{31} - x_{41}) + 2(x_{32} - x_{42}) + 3(x_{33} - x_{43}) \leq 0$$

$$(4,5) \text{ iliskisi icin: } 1(x_{41} - x_{51}) + 2(x_{42} - x_{52}) + 3(x_{43} - x_{53}) \leq 0$$

Isaret (Yön) Kisitlari:

$$x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{41}, x_{42}, x_{43}, x_{51}, x_{52}, x_{53} \in \{0,1\}$$

$$z_1, z_2, z_3 \in \{0,1\}$$

Bölüm Kaynakları

- Gen, M., Cheng, R., Lin, L., 2008. Network Models and Optimization, Springer-Verlag, London
- Kara, Y., 2004. U-tipi montaj hattı dengeleme problemleri için yeni modeller ve otomotiv yan sanayinde bir uygulama, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Kara, Y., Üretim Planlama-II Ders Notları, Selçuk Üniversitesi, Konya, <http://goo.gl/Uccn8S>.
- Kucukkoc, I., Modelling and Solving Mixed-model Parallel Two-sided Assembly Line Problems, Doktora Tezi, University of Exeter, Augustos 2015, <http://hdl.handle.net/10871/18917>.
- Kucukkoc, I., Zhang, D.Z., 2014a. Mathematical Model and Agent Based Solution Approach for the Simultaneous Balancing and Sequencing of Mixed-Model Parallel Two-Sided Assembly Lines. International Journal of Production Economics 158, 314-333, doi: <http://dx.doi.org/310.1016/j.ijpe.2014.1008.1010>.
- Kucukkoc, I., Zhang, D.Z., 2015. Type-E parallel two-sided assembly line balancing problem: Mathematical model and ant colony optimisation based approach with optimised parameters. Computers and Industrial Engineering 84, 56-69, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2014.1012.1037>.

Bölüm Kaynakları

- Miltenburg, G.J., Wijngaard, J., 1994. The U-Line Line Balancing Problem. Management Science 40, 1378-1388.
- Salveson, M.E., 1955. The assembly line balancing problem. Journal of Industrial Engineering 6, 18-25.
- Simaria, A.S., Vilarinho, P.M., 2009. 2-ANTBAL: An ant colony optimisation algorithm for balancing two-sided assembly lines. Computers & Industrial Engineering 56, 489-506.
- WILD, Rey, "Mass Production Management", John Wiley & Sons Ltd., New York, 1972
- Zhang, David Z, Manufacturing Systems, Ders Notları, University of Exeter, İngiltere.
- http://www.prenhall.com/weiss_dswin/html/balance.htm, Erisim 05.06.2015
- http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/en/themes/2013/02/SEAT_Martorell_celebrates_20th_anniversary.html, Erisim 17.03.2016
- <https://www.youtube.com/watch?v=sqNnNMLTapI>, Erisim 17.03.2016
- <http://www.pbs.org/newshour/making-sense/make-in-india-promises-manufacturing-jobs-for-millions-heres-why-it-wont-work/>, Erisim 17.03.2016



En Erken ve En Geç İstasyon Hesaplama, Tip-I MHD Adımları MHD Problemlerinin Çözümünde Kullanılan Yöntemler "Enumeration" Metodu

En Erken ve En Gec Istasyon Hesaplamalari

- Kurulan modelde degisken sayisini azaltmak ve cozum asamasini kolaylastirmak icin gorevlerin atanabilecegi en erken (earliest) ve en gec (latest) istasyon numaralari hesaplanabilir.
- Notasyon:

PR_i : i gorevinin tum oncullerinin kumesi

S_i : i gorevinin tum ardillarinin kumesi

E_i : i gorevinin atanabilecegi en erken istasyon

L_i : i gorevinin atanabilecegi en gec istasyon

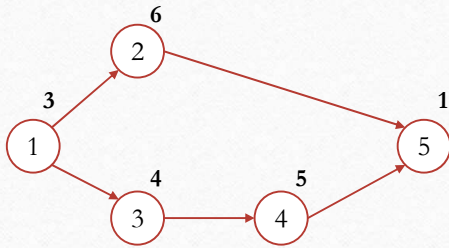
(Diger tanimlamalar onceki derslerde verilmistir)

$$E_i = \left\lceil \frac{t_i + \sum_{a \in PR_i} t_a}{C} \right\rceil^+$$

$$L_i = K_{max} + 1 - \left\lfloor \frac{t_i + \sum_{b \in S_i} t_b}{C} \right\rfloor^+$$

En Erken ve En Gec Istasyon Hesaplamalari

Ornek 5-1: Asagida oncelik diyagrami ve sureleri verilen tek modelli duz montaj hattı dengeleme problemi icin 1 ve 4 numarali gorevlerin en erken ve en gec atanabilecegi istasyonlari bulalim (Cevrim zamani 10 zaman birimi olsun, $C = 10$).



$K_{min} = 2$ olarak hesaplanirsa, $K_{max} = 3$ olarak kabul edilmisti.

$$E_1 = \left\lceil \frac{t_1 + \sum_{a \in PR_1} t_a}{10} \right\rceil^+ = 1$$

$$L_1 = 3 + 1 - \left\lfloor \frac{t_1 + \sum_{b \in S_1} t_b}{10} \right\rfloor^+ = 2$$

$$E_4 = \left\lceil \frac{t_4 + \sum_{a \in PR_4} t_a}{10} \right\rceil^+ = 2$$

$$L_4 = 3 + 1 - \left\lfloor \frac{t_4 + \sum_{b \in S_4} t_b}{10} \right\rfloor^+ = 3$$

En Erken ve En Gec Istasyon Hesaplamalari

Tum gorevlerin en erken ve en gec atanabilecegi istasyonlar bulunduktan sonra problemin matematiksel modeli asagidaki gibi kurulur (gereksiz karar degiskenleri modelden cikartilir):

$$\begin{aligned} E_1 &= 1 \\ E_2 &= 1 \\ E_3 &= 1 \\ E_4 &= 2 \\ E_5 &= 2 \end{aligned}$$

Elenen Karar Degiskenleri

$$\begin{aligned} x_{13} \\ x_{41} \\ x_{51} \end{aligned}$$

Amac Fonksiyonu:

$$\text{Min } z_1 + z_2 + z_3$$

Atama Kisitlari:

$$x_{11} + x_{12} = 1$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} = 1$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} = 1$$

$$x_{42} + x_{43} = 1$$

$$x_{52} + x_{53} = 1$$

Cevrim Zamani Kisitlari:

$$3x_{11} + 6x_{21} + 4x_{31} \leq 10z_1$$

$$3x_{12} + 6x_{22} + 4x_{32} + 5x_{42} + 1x_{52} \leq 10z_2$$

$$6x_{23} + 4x_{33} + 5x_{43} + 1x_{53} \leq 10z_3$$

$$\begin{aligned} L_1 &= 2 \\ L_2 &= 3 \\ L_3 &= 3 \\ L_4 &= 3 \\ L_5 &= 3 \end{aligned}$$

En Erken ve En Gec Istasyon Hesaplamalari

Oncelik Iliskileri Kisitlari:

$$(x_{11} - x_{21}) + 2(x_{12} - x_{22}) - 3x_{23} \leq 0$$

$$(x_{11} - x_{31}) + 2(x_{12} - x_{32}) - 3x_{33} \leq 0$$

$$x_{21} + 2(x_{22} - x_{52}) + 3(x_{23} - x_{53}) \leq 0$$

$$x_{31} + 2(x_{32} - x_{42}) + 3(x_{33} - x_{43}) \leq 0$$

$$2(x_{42} - x_{52}) + 3(x_{43} - x_{53}) \leq 0$$

Isaret (Yön) Kisitlari:

$$x_{11}, x_{12}, x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, x_{42}, x_{43}, x_{52}, x_{53} \in \{0,1\}$$

$$z_1, z_2, z_3 \in \{0,1\}$$

Sonuc olarak x_{ik} karar degiskenlerinin sayisi 15 ten 12 ye indi ve kisitlar sadelesti.



K_{max} degeri 3 yerine 5 alınmis olsaydi?

Tip-I MHD Adimlari

- Hat üzerinde gerçekleştirilecek işlerin bölünebilecek temel parçalara ayrılması
- İşlerin sürelerinin ve birbirleriyle olan ilişkilerinin (önceliklerinin) belirlenmesi
- Planlama periyodu ve talep miktarına göre çevrim süresinin hesaplanması
- Teorik minimum iş istasyonu sayısının belirlenmesi
- **Hat dengeleme yönteminin belirlenmesi** ve bu yöntemle göre çözüme ulaşılması
- Hat etkinliğinin ve denge kaybının hesaplanması

115

MHD Problemlerinin Cozumunde Kullanilan Yontemler

- MHD problemleriyle ilgili olarak pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler üç grupta incelenebilir.
 - Birinci grupta "kesin yöntemler (exact methods)" dediğimiz problemin en iyi (optimal) çözümünü bulan yöntemler (bunlar matematiksel programlama yöntemleridir) yer alır. Analitik bir şekilde çözüm üretir ve genellikle zaman alıcıdır. Problemin boyutu büyüdükçe çözüm süresi de aşırı şekilde artar.
 - İkinci grupta problemin yapısına özgün olarak geliştirilmiş "sezgisel algoritmalar (heuristic algorithms)" yer alır. Bu yöntemler optimal çözümü garantilememekle beraber, belirli kısıtlar altında, göreceli (nispi) olarak iyi ve geçerli çözümleri daha az bir hesaplama ile sağlamaktadırlar.

MHD Problemlerinin Cozumunde Kullanilan Yontemler

- Üçüncü grupta ise, orijinali problemin yapısından bagimsiz olarak gelistirilmis, fakat probleme uygun sekilde modifiye edilib kullanilabilen “meta-sezgisel algoritmalar (meta-heuristic algorithms)” yer alır. Meta-sezgiseller, problem yapısından bagimsiz oldugu için, baska problemlere de uygulanabilmekte ve basarili sonuclar alınabilmektedir. Programlama yapisi sezgisel algoritmalara nazaran biraz daha karmasik olmakla birlikte, baska sezgisel veya meta-sezgisel algoritmalarla birlestirilerek sezgisel algoritmalara gore daha basarili sonuclar elde etmeleri mumkundur.

MHD Problemlerinin Cozumunde Kullanilan Yontemler

- Montaj hatlarının dengelenmesi ile ilgili olarak geliştirilen optimal yöntemler çok uzun bilgi işlem zamanına gerek duyduklarından genellikle akademik araştırmalar olarak kalan ve pratikte fazla uygulama olanağı bulunmayan yöntemlerdir. Sezgisel yöntemler ise problemin bir çözümünü oldukça hızlı elde eden yöntemlerdir; optimal çözüme oldukça yakın çözümleri kısa bilgi işlem zamanlarında elde eden sezgisel yöntemler geliştirilmiştir.
- Bugün uygulamada karşılaşılan problemlerin büyük ölçekli olması (iş elemanları ve iş istasyonları sayıları açısından), sezgisel ve meta-sezgisel yöntemleri kullanım açısından daha geçerli kılmıştır. Örneğin, $N = 70$ iş elemanı ve bunlar arasında $r = 105$ öncelik ilişkisi bulunan bir üretim hattında;
$$N! / 2^r = 70! / 2^{105} = 10^{85}$$
 uygun (feasible) sıralama vardır.

MHD Problemlerinin Cozumunde Kullanilan Yontemler

Kesin Yontemler

- Matematiksel Programlama
(0-1, Tam sayili, Karisik Tam sayili, Hedef, ...)
- Dinamik Programlama
- Dal/sınır Algoritması
- ...

Sezgisel Yontemler

En Buyuk Aday Kurali
Immediate Update First Fit (IUFF)
Pozisyon Agirligi Yontemi (Helgeson
- Birnie)
COMSOAL
Sırala ve Ata (Rank and Assign)
Bolgeleme Kurali (Kilbridge and
Wester)
...

Meta-sezgisel Yontemler

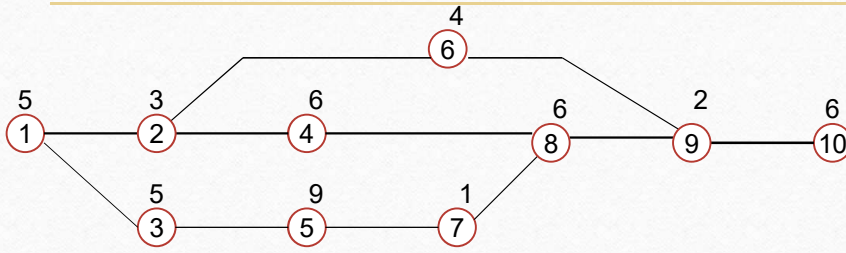
Ari Algoritmaları
Karinca Kolonisi Algoritmaları
Genetik/evrimsel Algoritmalar
Tavlama Benzetimi Tekniği
Tabu Arama Algoritması
...

“Enumeration” Metodu

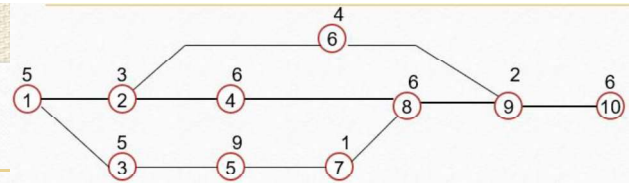
Gorev	Gorev Zamani (dakika)	Komşu Öncülleri
1	5	-
2	3	1
3	5	1
4	6	2
5	9	3
6	4	2
7	1	5
8	6	4,7
9	2	6,8
10	6	9

- Talep (D)= 240 adet
- Planlama Periyodu (P)= 40 saat

“Enumeration” Metodu



- $C = P/D = 2400 \text{ dakika} / 240 \text{ adet} = 10 \text{ dakika/adet}$
- $T = 47 \text{ dakika}$
- $K_{min} = \max\{K_{teorik}, K_{olasi}\} = \max\{[47/10]^+, 4\} = 5$
- $5 \leq K_{max} \leq 10$



Bölüm Kaynakları

- Groover, M.P. (2008), "Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing," 3rd Edition, ISBN: 0132070731. USA.
- Helgeson, W. B. and Birnie, D. P. (1961). "Assembly line balancing using the ranked positional weight technique," Journal of Industrial Engineering, 12 (6), 334-338.
- Kara, Y., Uretim Planlama-II Ders Notlari, Selcuk Universitesi, Konya, <http://goo.gl/Uccn8S>.
- Karaca, M., Montaj Hatlari, SDÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 1, Sayı 1, 1996.
- Krajewski, L.J., Ritzman, L.P., Malhotra, M.K., Uretim Yonetimi 9. Baski (Orjinal Ismi: Operations Research, Prentice Hall), Ceviri Editoru: Semra Birgun, Nobel Yayinlari, <http://www.nobelyayin.com/detay.asp?u=3310>



Sezgisel Algoritmalar



Sezgisel Algoritmalar

- Montaj hattı dengeleme problemlerinin en basit hali olan tek modelli deterministik görev süreli düz montaj hattı dengeleme probleminin NP-Hard (polinomial zamanda çözülemeyen) sınıfına girdiği bilinmektedir. Bu nedenle, hem tek modelli düz MHD problemi hem de problemin daha zor ve karmaşık diğer sınıfları için optimal çözümü garanti edecek bir sezgisel metodoloji mevcut değildir.
- Konu ile ilgilenen araştırmacılar, optimalite garanti etmese de optimale yakın çözümler üreten bir takım sezgisel algoritmalar geliştirmişlerdir. İlerleyen bölümlerde, MHD problemleri için etkili çözümler üreten bazı sezgisel yöntemler tanıtılacaktır.
- **2 Temel Yaklaşım:** Immediate Update First Fit (IUFF)
Rank and Assign (Sırala ve Ata)

Immediate Update First Fit (IUFF)

- **Immediate Update First Fit (IUFF)** yaklaşımı görevlerin tabloda verilen altı fonksiyona ilişkin değerlerini belirleyerek atanabilecek görevlere bu değerlere göre öncelik tanıyan bir yaklaşımdır. Tablodaki fonksiyonlardan hangisinin kullanıldığına bağlı olarak, $IUFF_n$ olarak kısaltılır ($n = 1, 2, \dots, 6$).

n	Fonksiyon Adı	Acıklama
1	Görev Süresi	Görevin süresi (En Büyük Aday Kuralı)
2	Pozisyon Ağırlığı	Görevin kendisinin ve tüm ardıllarının görev süreleri toplamı
3	Ters Pozisyon Ağırlığı	Görevin kendisinin ve tüm öncüllerinin görev süreleri toplamı
4	Ardıl Sayısı	Görevin ardıllarının sayısı
5	Komsu Ardıl Sayısı	Görevin komşu ardıllarının sayısı
6	Oncul Sayısı	Görevin öncüllerinin sayısı

Immediate Update First Fit (IUFF)

Tablodaki fonksiyonlardan hangisinin kullanılacağı belirlendikten sonra IUFF yöntemi şöyle çalışır:

1. Görevlerin ilgili fonksiyona ilişkin değerleri belirlenir.
2. Atanabilir görevler kümesi güncellenir (öncelik ilişkileri kısıtını sağlamak için atanabilir görevler kümesi, tüm öncülleri atanmış görevlerden oluşur).
3. Atanabilir görevler kümesindeki görevler içerisinde fonksiyon değeri en yüksek olan görev ilgili istasyona atanır (burada fonksiyon değeri en yüksek olan görev, süresinden dolayı istasyona atanamıyorsa, fonksiyon değeri en yüksek bir sonraki göreve bakılır. Atanabilir görevler kümesindeki görevlerden hiç biri bu istasyona atanamıyorsa yeni istasyon açılır ve fonksiyon değeri en yüksek olan görev atanır).
4. Tüm görevler atanmadıysa adım 2'ye gidilir. Tüm görevler atandıysa algoritma sonlandırılır.

En Büyük Aday Kuralı (Largest Candidate Rule - LCR)

En Büyük Aday Kuralı (Largest Candidate Rule - LCR) montaj hattı dengelemede kullanılan en basit yöntemlerdendir. Adımları şu şekilde özetlenebilir (Sule, 2008):

- **Adım 1:**
Görevler, görev zamanlarına göre azalan şekilde sıralanır.
Her görev için ilgili öncelikli görevler belirtilir.
- **Adım 2:**
İlk istasyonla başlanır ve kalan istasyonlar için Adım 3'te belirtildiği gibi işlemler uygulanır.
- **Adım 3:**
Görev listesinin en üstündeki görev ile başlanır ve atanmamış ilk uygun görev ilgili istasyona atanır.
Bir görev atandığı zaman, o görev, önceliği olan diğer tüm görevlerin öncelikli görevler listesinden çıkartılır.
Bir görevin uygun olabilmesi için, ya öncelikli görevlerinin olmaması ya da tüm öncelikli görevlerin tamamlanmış olması gerekir.

En Buyuk Aday Kurali (Largest Candidate Rule - LCR)

- **Adım 3 (devam):**

Bir görevin bir istasyona atanabilmesi için, görevin süresi ile o istasyona atanmış görevlerin toplam süresinin, çevrim süresini aşmaması gerekir. Eğer aşarsa atama işlemi yapılmadan diğer göreve geçilir.

Eğer atanabilecek uygun görev yoksa Adım 5'e gidilir.

- **Adım 4:**

İstasyona ataması yapılan görev, listeden silinir. Eğer listede başka atanacak görev kalmadıysa Adım 6'ya gidilir, aksi halde Adım 3'e gidilir.

- **Adım 5:**

İstasyon numarasının bir artırılması ile yeni bir istasyon oluşturulur ve Adım 3'e gidilir.

- **Adım 6:**

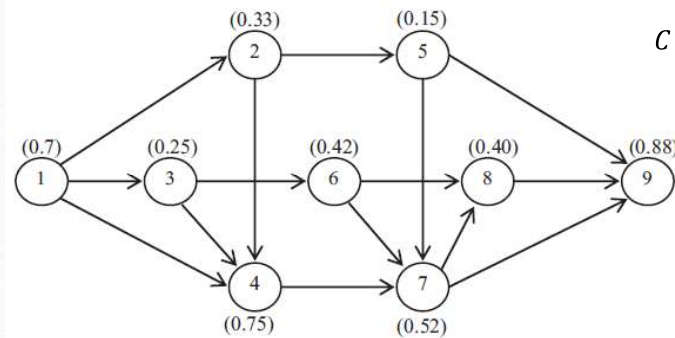
Tüm görevler atanmıştır. Mevcut istasyon numarası, gerekli toplam istasyon sayısını belirtmektedir. Hangi görevlerin hangi istasyonlarda yapılması gerektiği belirlenmiştir.

En büyük toplam zamana sahip istasyonun zamanı, çevrim zamanı olarak kabul edilir.

130

En Buyuk Aday Kurali (Largest Candidate Rule - LCR)

- **Ornek 5-2:** Öncelik ilişkileri ve görev zamanları (dakika cinsinden) izleyen şekilde verilen dokuz görevden oluşan bir ürün için 500 dakikada 526 adet talep söz konusudur. Talebi karşılayacak hat dengesini LCR metodunu kullanarak bulunuz.



$$C = 500/526 = 0.95 \text{ dakika/adet}$$

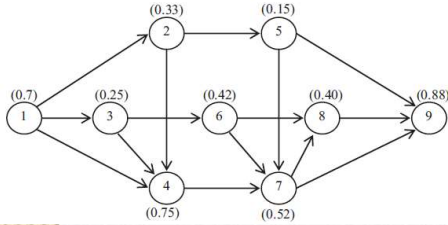
En Büyük Aday Kuralı (Largest Candidate Rule - LCR)

- Öncelikle görevler zamanlarına göre azalan şekilde sıralanır:

Görev	Görev Zamanı	Öncelikli Görev(ler)
1	0.70	-
2	0.33	1
3	0.25	1
4	0.75	1, 2, 3
5	0.15	2
6	0.42	3
7	0.52	4, 5, 6
8	0.40	6, 7
9	0.88	5, 7, 8



Görev	Görev Zamanı	Öncelikli Görev(ler)
9	0.88	5, 7, 8
4	0.75	1, 2, 3
1	0.70	-
7	0.52	4, 5, 6
6	0.42	3
8	0.40	6, 7
2	0.33	1
3	0.25	1
5	0.15	2



Görev	Görev Zamanı	Öncelikli Görev(ler)
9	0.88	5, 7, 8
4	0.75	1, 2, 3
1	0.70	-
7	0.52	4, 5, 6
6	0.42	3
8	0.40	6, 7
2	0.33	1
3	0.25	1
5	0.15	2

En Buyuk Aday Kurali (Largest Candidate Rule - LCR)

- İlk istasyonla baslanır ve görev listesinin en üstündeki atanmamış ilk uygun görev istasyona atanır:

Istasyon	Atanan Görev	Görev Zamanı (dk)	Kumulatif Zaman (dk)
1	1	0.70	0.70

- Atanan görev (#1), listeden silinir ve tüm ardıllarının “Öncelikli Görevler” listesinden çıkarılır:

Görev	Görev Zamanı	Öncelikli Görev(ler)
9	0.88	5, 7, 8
4	0.75	2, 3
1	0.70	-
7	0.52	4, 5, 6
6	0.42	3
8	0.40	6, 7
2	0.33	-
3	0.25	-
5	0.15	2

En Buyuk Aday Kurali (Largest Candidate Rule - LCR)

- Uygun görevler arasından en üstte bulunan görev açık bulunan istasyona atanır:

Istasyon	Atanan Görev	Görev Zamanı (dk)	Kumulatif Zaman (dk)
1	1	0.70	0.70
	3	0.25	0.95

- Atanan görev (#3), listeden silinir ve tüm ardıllarının “Öncelikli Görevler” listesinden çıkarılır:

Görev	Görev Zamanı	Öncelikli Görev(ler)
9	0.88	5, 7, 8
4	0.75	2
1	0.70	-
7	0.52	4, 5, 6
6	0.42	-
8	0.40	6, 7
2	0.33	-
3	0.25	-
5	0.15	2

En Buyuk Aday Kurali (Largest Candidate Rule - LCR)

- Atanabilecek uygun gorev olmadigi icin (kapasite dolulugundan dolayi) yeni bir istasyon acilir ve uygun gorevler arasindan en buyuk gorev zamanina sahip olan gorev (#6) istasyona atanir. Sonra bu gorev listeden silinerek tum ardillarinin "Oncelikli Gorevler" listesinden cikarilir:

Istasyon	Atanan Gorev	Gorev Zamani (dk)	Kumulatif Zaman (dk)
1	1	0.70	0.70
	3	0.25	0.95
2	6	0.42	0.42

Gorev	Gorev Zamani	Oncelikli Gorev(ler)
9	0.88	5, 7, 8
4	0.75	2
1	0.70	-
7	0.52	4, 5
6	0.42	-
8	0.40	7
2	0.33	-
3	0.25	-
5	0.15	2

En Buyuk Aday Kurali (Largest Candidate Rule - LCR)

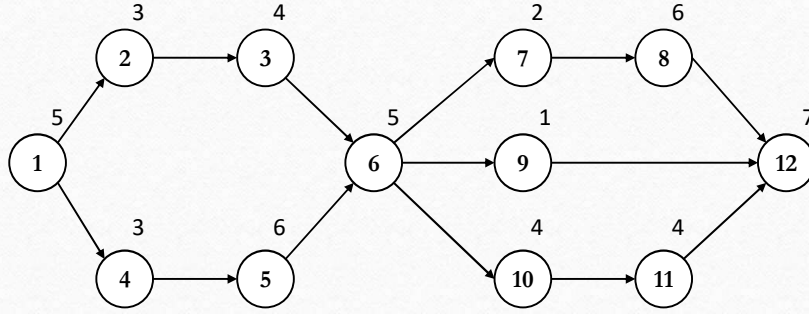
- En Büyük Aday Kuralı prosedürleri devam ettirilir ve görevler istasyonlara atanır. Sonuçta beş istasyona gerek duyulmaktadır. 1 numaralı istasyon tam kapasite ile çalışmaktadır.
- Atama işlemi sona erdiğinde oluşturulan istasyonlar ve bu istasyonlara atanan görevler şu şekildedir:

Istasyon	Atanan Görev	Görev Zamanı	Kümülatif Zaman
1	1	0.70	0.70
	3	0.25	0.95
2	6	0.42	0.42
	2	0.33	0.75
3	5	0.15	0.90
	4	0.75	0.75
4	7	0.52	0.52
	8	0.40	0.92
5	9	0.88	0.88

$$LE = \%92.63$$

Ardıl Sayısı Kuralı

- **Örnek 5-3:** Aşağıda öncelik diyagramı ve görev süreleri verilen tek modelli düz montaj hattını $C = 10$ için *IUFF*-Görevin Ardıl Sayısı yöntemini kullanarak dengeleyelim.



Ardıl Sayısı Kuralı

Her bir görev için fonksiyon değerleri şöyle olacaktır:

Görev (i)	3(i)
1	11
2	8
3	7
4	8
5	7
6	6
7	2
8	1
9	1
10	2
11	1
12	0

- Fonksiyon değerlerini belirledikten sonra atanabilir görevler kümesi (AGK) oluşturacağız ve bu küme içerisinde fonksiyon değeri en yüksek görevi seçeceğiz.
- Başlangıçta öncelik diyagramına göre atanabilir görevler kümesinde yalnızca 1 nolu görev vardır ve 1. istasyona atanır.

Ardıl Sayısı Kuralı

- 1. görev atandıktan sonra AGK, 2 ve 4. görevlerden oluşur. Bu iki görevin fonksiyon değeri eşittir ve herhangi biri seçilebilir. 2'yi seçelim. 2. görevin 1. istasyona atanması çevrim zamanı kısıtını ihlal etmez dolayısıyla atanır ve istasyonun iş yükü 8 olur.
- 2. görev de atandıktan sonra AGK'de 3 ve 4. görevler bulunur. Bunlardan en büyük fonksiyon değerine sahip görev 4'tür. 4. görevin bu istasyona atanması çevrim zamanı kısıtını ihlal edecektir. Atanabilir görevler kümesindeki diğer görev olan 3. göreve bakılır. 3. görev de süresi itibarıyla bu istasyona atanamaz. Yeni bir istasyon açılır ve en büyük fonksiyon değerine sahip 4. görev 2. istasyona atanır. Bu şekilde tüm görevler atanır.

I	II	III	IV	V	VI	VII
1, 2	4, 3	5	6, 7, 9	10, 11	8	12

141

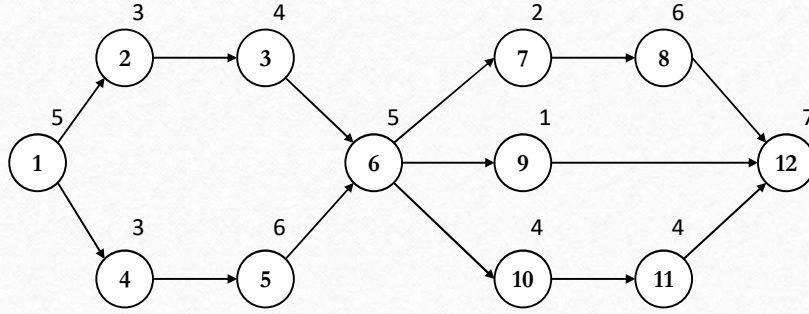
Pozisyon Ağırlığı Yöntemi (Ranked Positional Weight Method - RPWM)

Pozisyon ağırlığı yönteminin adımları şu şekildedir:

1. Öncelik diyagramı oluşturulur.
2. Her bir görev için **pozisyon ağırlığı** değeri hesaplanır (bir görevin pozisyon ağırlığı, o görevin kendi süresi ile, o görevin ardılı olan görevlerin süreleri toplamına eşittir).
3. Görevler pozisyon ağırlıklarına göre büyükten küçüğe sıralanır.
4. En yüksek pozisyon ağırlığına öncelik vererek görevler siraya göre istasyonlara atanır.
5. Sıradaki görev atandığında istasyon zamanı çevrim zamanını aşıyorsa, öncelik ilişkilerini ihlal etmediği sürece bir sonraki görev atanmaya çalışılır. Atanabilecek görev yoksa yeni bir istasyon açılır.
6. Tüm görevler istasyonlara atanıncaya kadar Adım 4 ve 5 tekrarlanır.

Pozisyon Ağırlığı Yöntemi (Ranked Positional Weight Method - RPWM)

- **Örnek 5-4:** Aynı örnek problemi $C = 10$ için pozisyon ağırlığı yöntemi ile çözelim.



Pozisyon Ağırlığı Yöntemi (Ranked Positional Weight Method - RPWM)

- Öncelikle görevlerin pozisyon ağırlıklarını belirleyip, görevleri pozisyon ağırlıklarına göre sıralayacağız.

Görev (i)	Pozisyon Ağırlığı
1	50
2	36
3	33
4	38
5	35
6	29
7	15
8	13
9	8
10	15
11	11
12	7

Sıralanır



Görev (i)	Pozisyon Ağırlığı
1	50
4	38
2	36
5	35
3	33
6	29
10	15*
7	15*
8	13
11	11
9	8
12	7

*Pozisyon Ağırlıkları eşit ise görev süresi daha büyük olana öncelik veriniz.

Pozisyon Agirligi Yontemi (Ranked Positional Weight Method - RPWM)

- Şimdi elde ettiğimiz bu siraya göre görevleri istasyonlara atayacağız. bunu yaparken sıradaki görevi atamanın, öncelik ilişkileri ve çevrim zamanı kısıtlarını ihlal edip etmediğini kontrol edeceğiz.
- Sıradaki ilk görev **1. görevdir**. 1. görev 1. istasyona atanır. Bu durumda 1. istasyonun iş yükü **5** olacaktır.
- 1. görev atandıktan sonra sıradaki görev **4. görevdir**. 4. görevin bu istasyona atanması öncelik ilişkileri ve çevrim zamanı kısıtlarını ihlal etmeyecektir. Dolayısıyla 4. görev de 1. istasyona atanır ve 1. istasyonun iş yükü **8** olur (5+3).

Pozisyon Agirligi Yontemi (Ranked Positional Weight Method - RPWM)

- Sıradaki görev **2. görevdir**. 2. görevin bu istasyona atanması istasyonun iş yükünü 11 yapacak ve çevrim zamanı kısıtı ihlal edilecektir. Bu nedenle 2. görev atanmadan önce sırada çevrim zamanı ve öncelik ilişkileri kısıtını ihlal etmeyecek bir görev olup olmadığına bakılır. Böyle bir görev olmadığı için 1. istasyona atayabileceğimiz başka görev yoktur. Yeni bir istasyon açılarak sıradaki görev olan **2. görev** yeni açılan 2. istasyona atanır. 2. istasyonun iş yükü **3** olur.
- 2. görevden sonra sıradaki görev olan **5. görev** 2. istasyona atanabilir durumdadır ve 2. istasyonun iş yükü **9** olur.
- 5. görevden sonra sırada bu istasyon için çevrim zamanı ve öncelik ilişkileri kısıtlarını ihlal etmeyen görev bulunmadığından yeni bir istasyon açılır ve sıradaki görev olan **3. görev** 3. istasyona atanır. 3. istasyonun iş yükü **4** olur.

Pozisyon Agirligi Yontemi (Ranked Positional Weight Method - RPWM)

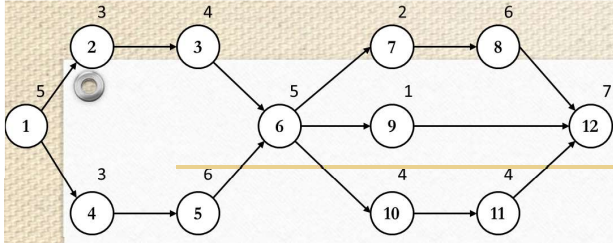
- Siradaki görev olan **6. görev** bu istasyona atanabilir ve 3. istasyonun iş yükü **9** olur.
- 6. görevden sonra gelen 10. görevin atanması çevrim zamanı kısıtını ihlal edecektir. bu nedenle sırada ilerlenerek diğer görevler kontrol edilir ve **9. görevin** hem öncelik ilişkileri kısıtını ihlal etmediği hem de istasyonun iş yükünü **10** yaparak çevrim zamanı kısıtını ihlal etmediği görülür. Bu nedenle 6. görevden sonra **9. görev** 3. istasyona atanır. Bu şekilde devam edilerek tüm görevlerin istasyonlara atanması sağlanır.
- **Atama sonucu şu şekilde olacaktır:**

	I	II	III	IV	V	VI
Atanan Gorev(ler)	1,4	2,5	3,6,9	10,7,11	8	12
Istasyon Zamani	8	9	10	10	6	7

147

Pozisyon Agirligi Yontemi (Ranked Positional Weight Method - RPWM)

- Pozisyon ağırlığı yönteminde, tüm görevleri pozisyon ağırlıklarına göre sıralamadan şöyle bir yöntem de izlenebilir:
 - Öncelik diyagramı üzerinden ilerlenerek, **öncülü olmayan veya tüm öncülleri atanmış** görevler belirlenir. Bu görevler, öncelik ilişkileri kısıtına göre atanabilecek durumda olan görevlerdir.
 - Belirlenen bu atanabilir görevler arasından **en büyük pozisyon ağırlığına sahip görev** seçilir ve istasyona atanmaya çalışılır. Çevrim zamanı aşıyorsa atanabilir görevler arasından *bir sonraki en büyük pozisyon ağırlığına sahip görev* atanmaya çalışılır.
 - Atanabilir görevler arasında çevrim zamanı kısıtını sağlayan görev olmaması durumunda **yeni bir istasyon** açılır ve en büyük pozisyon ağırlıklı görev yeni istasyona atanır. Bir görev atandıktan sonra öncelik ilişkilerine bağlı olarak atanabilir görevler kümesi güncellenir.



Pozisyon Ağırlığı Yöntemi (Ranked Positional Weight Method - RPWM)

Örnek 5-5: Yanda öncelik diyagramı ve görevlere ait işlem süreleri verilen tek modelli düz montaj hattı dengeleme probleminin çözümünü $C=21$ zaman birimi kısıtı altında RPW yöntemiyle bulunuz.

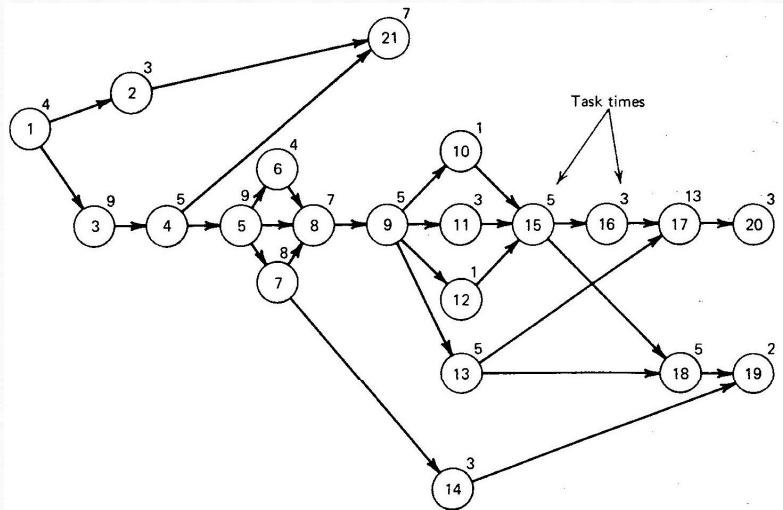


FIGURE 9.13 Line-balancing precedence network. (Reprinted with permission from *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 16, No. 1, Jan - Feb. 1965, p. 25. Copyright © Institute of Industrial Engineers, Inc., 25 Technology Park / Atlanta, Norcross, GA 30095.)

Pozisyon Agirligi Yontemi (Ranked Positional Weight Method - RPWM)

Oncelikle tum gorevlerin pozisyon agirliklari hesaplanir.

Task	Positional Weight	Task	Ranked Positional Weight
1	105	1	105
2	10	3	98
3	98	4	89
4	89	5	77
5	77	7	64
6	57	6	57
7	64	8	53
8	53	9	46
9	46	11	34
10	32	12	32
11	34	10	32
12	32	15	31
13	28	13	28
14	5	16	19
15	31	17	16
16	19	2	10
17	16	18	7
18	7	21	7
19	2	14	5
20	3	20	3
21	7	19	2

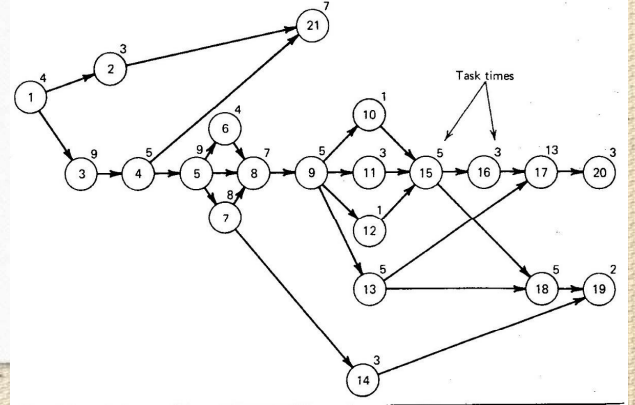
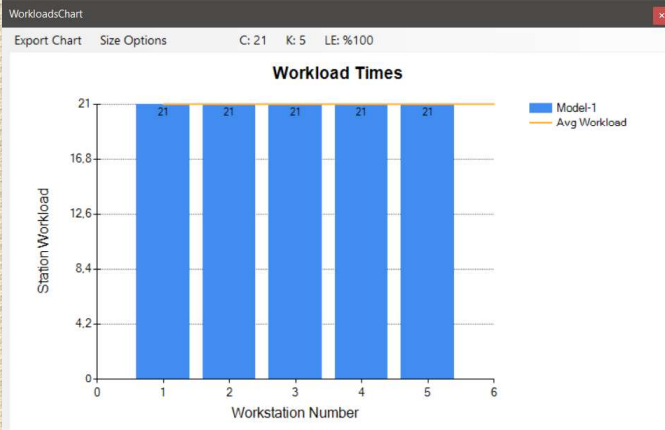
TABLE 9.9 Line Balancing for Network Given in Figure 9.13 (Cycle Time = 21)

Station No.	Task	Task Time	Cumulative Station Time	Comments
1	1	4	4	
	3	9	13	
	4	5	18	
	2	3	21	Cycle time achieved. Task 2 is next task after 4 that can be assigned.
2	5	9	9	
	7	8	17	
	6	4	21	
3	8	7	7	
	9	5	12	
	11	3	15	
	12	1	16	
	10	1	17	
4	14	3	20	Next smallest task time is 2, which will force station time greater than the cycle time.
	15	5	5	
	13	5	10	
	16	3	13	
5	21	7	20	
	17	13	13	
	18	5	18	
6	20	3	21	
	19	2	2	

Problemin Matematiksel Modelle Elde Edilmiş Optimum Çözümü

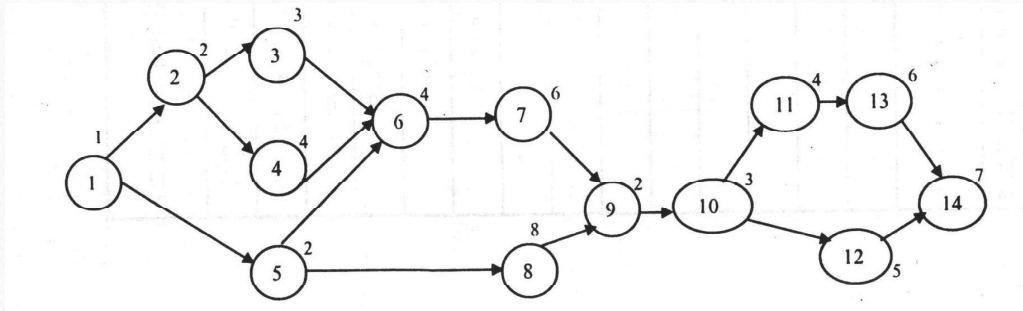
İst No	1	2	3	4	5
Atanan Görevler	1,2,3,4	5,6,7	8,9,10,13,14	11,12,15,18,21	16,17,19,20
İstasyon Yükü	21	21	21	21	21

Line Balancer



Pozisyon Ağırlığı Yöntemi (Ranked Positional Weight Method - RPWM)

- **Ornek 5-6:** Aşağıda öncelik diyagramı ve görev süreleri verilen tek modellenmiş düz montaj hattı dengeleme problemini RPW yöntemini kullanarak çözünüz (cevrim zamanı 8 zaman birimi olsun).



Pozisyon Ağırlığı Yöntemi (Ranked Positional Weight Method - RPWM)

İş Ögesi	İşlem Süresi (dk.)	Öncül Öge(ler)
1	1	-
2	2	1
3	3	2
4	4	2
5	2	1
6	4	3-4-5
7	6	6
8	8	5
9	2	7-8
10	3	9
11	4	10
12	5	10
13	6	11
14	7	12-13

156

Pozisyon Ağırlığı Yöntemi (Ranked Positional Weight Method - RPWM)

- Dengeleme Sonuçları

İstasyon Numarası	İş Ögesi No	Konum Ağırlığı	Öncül Öge/Ögeler	İşlem Süresi	Birikimli İşlem Süresi (X)	Âtl Süre (C-X)
1	1	57	-	1	1	7
	5	47	1	2	3	5
	2	46	1	2	5	3
	3	40	2	3	8	0
2	4	41	2	4	4	4
	6	37	3-4-5	4	8	0
3	8	35	5	8	8	0
4	7	33	6	6	6	2
	9	27	7-8	2	8	0
5	10	25	9	3	3	5
	11	17	10	4	7	1
6	13	13	11	6	6	2
7	12	12	10	5	5	3
8	14	7	12-13	7	7	1

Bu montaj hattı için kuramsal etkinlik ve gerçek etkinlik (hat etkinliği) değerlerini hesaplayalım:

$$TE (\%) = \left[\frac{\sum_{i=1}^N t_i}{(n_{enaz} * C)} \right] * 100 = \left[\frac{57}{(8 * 8)} \right] * 100 = \% 89,07$$

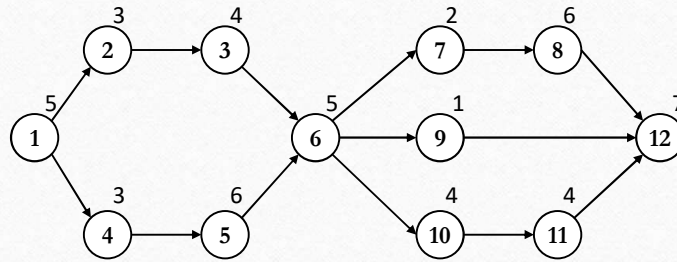
$$LE (\%) = \left[\frac{\sum_{i=1}^N t_i}{(n * C)} \right] * 100 = \left[\frac{57}{(8 * 8)} \right] * 100 = \% 89,07$$

Sırala ve Ata (Rank and Assign) Yaklaşımı

- Rank and Assign (Sırala ve Ata) yaklaşımı IUFF yaklaşımına çok benzer. IUFF’de öncelik diyagramı üzerinden ilerlenerek, atanabilir görev kümesi oluşturuluyor ve bu küme içerisinde, seçilen fonksiyon değeri en yüksek olan görev atanmaya çalışılıyordu.
- Rank and Assign yaklaşımında ise yine IUFF’deki altı fonksiyondan biri seçilerek, tüm görevler fonksiyon değerlerine göre büyükten küçüğe sıralanır ve elde edilen bu sıra üzerinden atama gerçekleştirilir.
- Sıradaki bir görevin öncelik ilişkileri ve çevrim süresi kısıtlarını ihlal edip etmediği kontrol edilir. Öncelik ilişkileri kısıtını ihlal ediyorsa sıradaki bir sonraki göreve bakılır.
- **Cevrim zamanı kısıtını ihlal ediyorsa yeni bir istasyon açılır** ve atamaya devam edilir. IUFF Pozisyon ağırlığındaki gibi **çevrim zamanına uygun görev bulunmaya çalışılmaz.**

Sırala ve Ata (Rank and Assign) Yaklaşımı

- Aşağıda öncelik diyagramı ve süreleri verilen **TMD MHD** problemini **C = 10** için en fazla ardıl sayısı kuralını kullanarak Rank and Assign yaklaşımıyla dengeleyelim.



(Kara, 2015)

Sırala ve Ata (Rank and Assign) Yöntemi

- Görevler ardıl sayısına göre sıralanır:

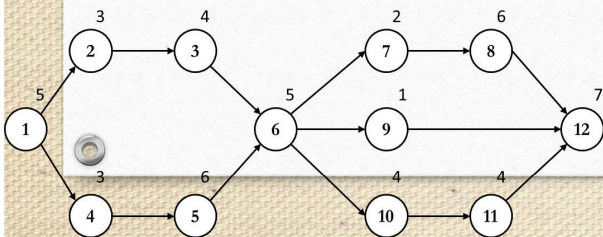
Görev (i)	Ardıl Sayısı
1	11
2	8
4	8
5	7
3	7
6	6
10	2
7	2
8	1
11	1
9	1
12	0

- Görevler bu sıraya bağlı olarak atandığında elde edilen sonuç aşağıdaki gibi olacaktır:

	I	II	III	IV	V	VI
Atanan Görev(ler)	1, 2	4,5	3,6	10,7	8,11	9,12
İstasyon Zamani	8	9	9	6	10	8

Görev (i) Ardıl Sayısı

1	11
2	8
4	8
5	7
3	7
6	6
10	2
7	2
8	1
11	1
9	1
12	0



COMSOAL

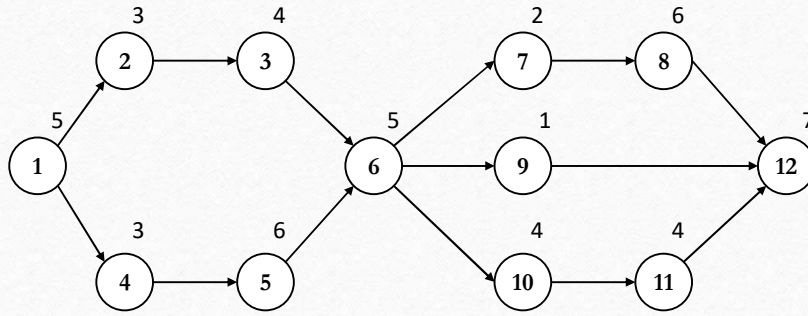
- **Comsoal (computer method for sequencing operations for assembly lines)** metodu, öncelik diyagramına göre oluşturulan atanabilir görevler arasından **rastgele** seçim yaparak görevleri istasyonlara atamayı ve bu işlemi defalarca tekrar ederek bu tekrarlar arasından en iyi çözümü kabul etmeyi esas alan bir yöntemdir.
- Bir montaj hattı dengeleme problemi için, daha önce bahsedilen sezgisel yöntemlerden herhangi biri kullanılarak elle çözüm bulmak mümkündür. Ancak Comsoal metodu bilgisayar yardımıyla **birbirinden farklı olabilecek** çözümler elde edilmesini sağlayan bir metottur.
- Comsoal metodunda, öncelik diyagramı üzerinden ilerlenerek öncülü olmayan veya tüm öncülleri atanmış görevlerden oluşan bir atanabilir görevler kümesi belirlenir. Daha sonra bu atanabilir görevler kümesindeki görevlerden birisi rastsal olarak seçilerek bir listeye kaydedilir.

COMSOAL

- Tüm görevler listeye kaydedildikten sonra, listedeki siraya göre görevler istasyonlara atanır. Sıradaki görev mevcut istasyona atandığında çevrim zamanı aşıyorsa yeni bir istasyon açılır ve o görev yeni açılan istasyona atanır. Bu şekilde listedeki tüm görevlerin istasyonlara atanması sağlanır.
- Comsoal metodunda buraya kadar anlatılan tüm işlemler bir denemeye (iterasyon) karşılık gelir. Tüm bu işlemler, karar verici tarafından belirlenecek deneme sayısı kadar tekrar edilir ve her bir denemede bulunan sonuç o ana kadar bulunan en iyi sonuçla karşılaştırılır. Daha iyiyse en iyi sonuç olarak kabul edilir. Böylece belirlenen deneme sayısı kadar çözüm içerisinde en iyisi bulunmuş olur.

COMSOAL

- Aynı örnek problem için Comsoal mantığıyla atanabilir görevler arasından rastgele seçim yaparak bir görev listesi oluşturalım ve bu listeyi $C = 10$ için istasyonlara atayalım.

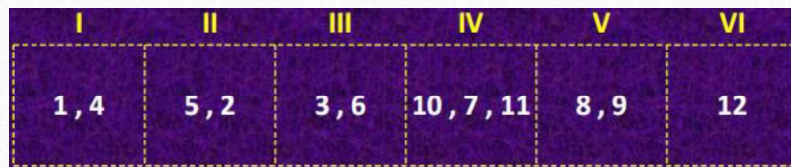


COMSOAL

- Öncelik diyagramı üzerinden ilerleyerek, öncülü olmayan veya tüm öncülleri atanmış görevlerden oluşturacağımız atanabilir görevler kümeleri arasından rastgele seçim yaparak elde edeceğimiz bir görev listesi şöyle olabilir:

1, 4, 5, 2, 3, 6, 10, 7, 11, 8, 9, 12

- Bu görev listesinin aynı sırayla istasyonlara atanmış hali ise şöyle olacaktır:



Bölüm Kaynakları

- Groover, M.P. (2008), "Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing," 3rd Edition, ISBN: 0132070731. USA.
- Helgeson, W. B. and Birnie, D. P. (1961). "Assembly line balancing using the ranked positional weight technique," Journal of Industrial Engineering, 12 (6), 334-338.
- Kara, Y., Uretim Planlama-II Ders Notlari, Selcuk Universitesi, Konya, <http://goo.gl/Uccn8S>.
- Karaca, M., Montaj Hatlari, SDÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 1, Sayı 1, 1996.
- Krajewski, L.J., Ritzman, L.P., Malhotra, M.K., Uretim Yonetimi 9. Baski (Orjinal Ismi: Operations Research, Prentice Hall), Ceviri Editoru: Semra Birgun, Nobel Yayinlari, <http://www.nobelyayin.com/detay.asp?u=3310>



Tek Modelli U-tipi MHD Problemi

TMU Montaj Hattı Dengeleme Problemi

- TMU problemleri, TMD problemlerinin üzerine inşa edilmiştir. TMD problemleri için kullanılan **atama ve çevrim zamanı** kısıtları, TMU probleminde de **aynen geçerlidir**. Yalnızca **öncelik ilişkileri kısıtı**, U-tipi montaj hatlarının özel yapısından dolayı farklılık göstermektedir.
- U-tipi montaj hatlarında hattın **girişiyle çıkışının aynı** yönde olması sebebiyle hat içerisinde çalışan bir işçi, hattın hem başlangıç hem de bitiş tarafındaki görevleri yerine getirebilecektir.

TMU Montaj Hattı Dengeleme Problemi

- Buna bağlı olarak, TMU problemi için öncelik ilişkileri kısıtı aşağıdaki gibi ifade edilebilir:
*Bir görevin bir istasyona atanabilmesi için; o görevin **bütün öncüllerinin veya bütün ardıllarının** daha önce oluşturulan istasyonlara veya üzerinde atama yapılmakta olan istasyona atanmış olması gerekir.*
- TMU problemlerini TMD problemlerinden ayıran en önemli özellik yukarıda belirtilen **öncelik ilişkileri kısıtidir**.
- Düz hat dengelemede, bir istasyona yalnızca, öncülü olmayan veya bütün öncülleri daha önceki istasyonlara atanmış görevler atanabileceken; U-tipi MHD'de, bir istasyona hem öncülü olmayan görevler hem de ardılı olmayan görevler atanabilecektir.

TMU Montaj Hattı Dengeleme Problemi

- Dolayısıyla herhangi bir istasyon için, o istasyona atanabilecek görevlerin oluşturacağı küme U-tipi montaj hatlarında, düz montaj hatlarına göre daha geniş olacaktır.
- Bunun sonucu olarak bir montaj hattını U-tipi olarak dengelemek, aynı hattı düz olarak dengelemeye göre daha fazla dengeleme esnekliği sağlamakta ve açılacak istasyon sayısı **daha az olabilmektedir**.
- TMU probleminin, bahsi geçen öncelik ilişkilerine yönelik özel durumu dışında tüm varsayımları ve kısıtları TMD hat dengeleme problemi ile aynıdır.

Tip-1 TMU: Matematiksel Model

Tip-1 TMU probleminin matematiksel modeli şöyledir:

Notasyon:

- i, r, s : görev
- k : istasyon
- C : çevrim zamanı
- K_{max} : maksimum istasyon sayısı
- N : toplam görev sayısı
- t_i : i görevinin tamamlanma süresi
- S : öncelik ilişkileri kümesi
- $(r, s) \in S$: Bir öncelik ilişkisi; r görevi s görevinin komşu öncülüdür
- x_{ik} : 1, i görevi k istasyonunun ön tarafına atanmış ise; 0, aksi halde
- w_{ik} : 1, i görevi k istasyonunun arka tarafına atanmış ise; 0, aksi halde
- z_k : 1, k istasyonu açılmış ise; 0, aksi halde

Tip-1 TMU: Matematiksel Model

Amac
Fonksiyonu

$$\text{Minimize } \sum_{k=1}^{K_{max}} z_k \quad (1)$$

KISITLAR

$$\sum_{k=1}^{K_{max}} (x_{ik} + w_{ik}) = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N t_i (x_{ik} + w_{ik}) \leq C \cdot z_k \quad \forall k \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^{K_{max}} (K_{max} - k + 1) (x_{rk} - x_{sk}) \geq 0 \quad \forall (r, s) \in S \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^{K_{max}} (K_{max} - k + 1) (w_{sk} - w_{rk}) \geq 0 \quad \forall (r, s) \in S \quad (5)$$

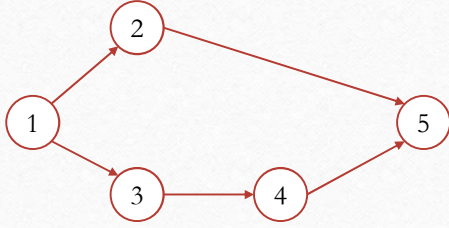
$$x_{ik}, w_{ik}, z_k \in \{0,1\} \quad \forall i; \forall k \quad (6)$$

Tip-1 TMU: Matematiksel Model

- Problemin amaç fonksiyonu, düz hat dengelemede olduğu gibi hat boyunca açılan **istasyon sayısını minimize etmeye** yöneliktir (**tip-1** MHD problemi).
- **2 numaralı kisit**, bütün görevlerin istasyonlara atanmasını ve her görevin, hattın ya ön ya da arka tarafına olmak üzere bir kere atanmasını sağlamaktadır.
- **3 numaralı kisit**, açılan bir istasyona, hattın ön ve arka tarafından atanmış tüm görevlerin görev süreleri toplamının çevrim zamanını aşmaması içindir.
- **4 ve 5 numaralı kisitler** öncelik ilişkileri kisitleri olup, 4 numaralı kisit öncülü olan bir görevin ya öncülüyle aynı istasyona ya da öncülünden sonraki bir istasyona atanmasını sağlamaktadır. 5 numaralı kisit ise ardılı olan bir görevin ya ardılıyla aynı istasyona ya da ardılından sonraki bir istasyona atanmasını sağlamaktadır.
- **6 numaralı kisit** ise modeldeki bütün x_{ik} , w_{ik} ve z_k değişkenlerinin ikili düzende (binary) (0–1) olduğunu ifade etmektedir.

Tip-1 TMU: Matematiksel Model - Örnek

- **Örnek 4-2:** Aşağıda öncelik diyagramı ve görev süreleri verilen montaj hattı dengeleme problemi için, tek modellenli U-tipi (TMU) hat dengeleme modelini matematiksel olarak yazalım. Çevrim zamanı 10 zaman birimi olsun. ($C = 10$)



Görev	Görev Süresi
1	3
2	6
3	4
4	5
5	1

Tip-1 TMU: Matematiksel Model Örnek

$$K_{teorik} = \left\lceil \frac{\sum t_i}{C} \right\rceil = \left\lceil \frac{19}{10} \right\rceil = 2, K_{olasi} = 1$$

$$K_{min} = \max\{2,1\} = 2 \quad \text{ise } K_{max} = 3 \text{ olsun.}$$

Amac Fonksiyonu: $\text{Min } z_1 + z_2 + z_3$

Atama Kısıtları:

1. görev için (i=1):	$x_{11} + w_{11} + x_{12} + w_{12} + x_{13} + w_{13} = 1$
2. görev için (i=2):	$x_{21} + w_{21} + x_{22} + w_{22} + x_{23} + w_{23} = 1$
3. görev için (i=3):	$x_{31} + w_{31} + x_{32} + w_{32} + x_{33} + w_{33} = 1$
4. görev için (i=4):	$x_{41} + w_{41} + x_{42} + w_{42} + x_{43} + w_{43} = 1$
5. görev için (i=5):	$x_{51} + w_{51} + x_{52} + w_{52} + x_{53} + w_{53} = 1$

Tip-1 TMU: Matematiksel Model Örnek

Cevrim Zamani Kisitlari:

1. istasyon icin (k=1): $3(x_{11} + w_{11}) + 6(x_{21} + w_{21}) + 4(x_{31} + w_{31}) + 5(x_{41} + w_{41}) + 1(x_{51} + w_{51}) \leq 10z_1$
2. istasyon icin (k=2): $3(x_{12} + w_{12}) + 6(x_{22} + w_{22}) + 4(x_{32} + w_{32}) + 5(x_{42} + w_{42}) + 1(x_{52} + w_{52}) \leq 10z_2$
3. istasyon icin (k=3): $3(x_{13} + w_{13}) + 6(x_{23} + w_{23}) + 4(x_{33} + w_{33}) + 5(x_{43} + w_{43}) + 1(x_{53} + w_{53}) \leq 10z_3$

Oncelik Iliskileri Kisitlari:

$S = \{(1,2), (1,3), (2,5), (3,4), (4,5)\}$ icin

$$\sum_{k=1}^{K_{max}} (K_{max} - k + 1)(x_{rk} - x_{sk}) \geq 0 \quad \forall (r, s) \in S$$

$$3(x_{11} - x_{21}) + 2(x_{12} - x_{22}) + 1(x_{13} - x_{23}) \geq 0$$

$$3(x_{11} - x_{31}) + 2(x_{12} - x_{32}) + 1(x_{13} - x_{33}) \geq 0$$

$$3(x_{21} - x_{51}) + 2(x_{22} - x_{52}) + 1(x_{23} - x_{53}) \geq 0$$

$$3(x_{31} - x_{41}) + 2(x_{32} - x_{42}) + 1(x_{33} - x_{43}) \geq 0$$

$$3(x_{41} - x_{51}) + 2(x_{42} - x_{52}) + 1(x_{43} - x_{53}) \geq 0$$

$$\sum_{k=1}^{K_{max}} (K_{max} - k + 1)(w_{sk} - w_{rk}) \geq 0 \quad \forall (r, s) \in S$$

$$3(w_{21} - w_{11}) + 2(w_{22} - w_{12}) + 1(w_{23} - w_{13}) \geq 0$$

$$3(w_{31} - w_{11}) + 2(w_{32} - w_{12}) + 1(w_{33} - w_{13}) \geq 0$$

$$3(w_{51} - w_{21}) + 2(w_{52} - w_{22}) + 1(w_{53} - w_{23}) \geq 0$$

$$3(w_{41} - w_{31}) + 2(w_{42} - w_{32}) + 1(w_{43} - w_{33}) \geq 0$$

$$3(w_{51} - w_{41}) + 2(w_{52} - w_{42}) + 1(w_{53} - w_{43}) \geq 0$$

Isaret (Yön) Kisitlari:

$$x_{11}, x_{12}, x_{13}, \dots, x_{52}, x_{53} \in \{0,1\}$$

$$w_{11}, w_{12}, w_{13}, \dots, w_{52}, w_{53} \in \{0,1\}$$

$$z_1, z_2, z_3 \in \{0,1\}$$

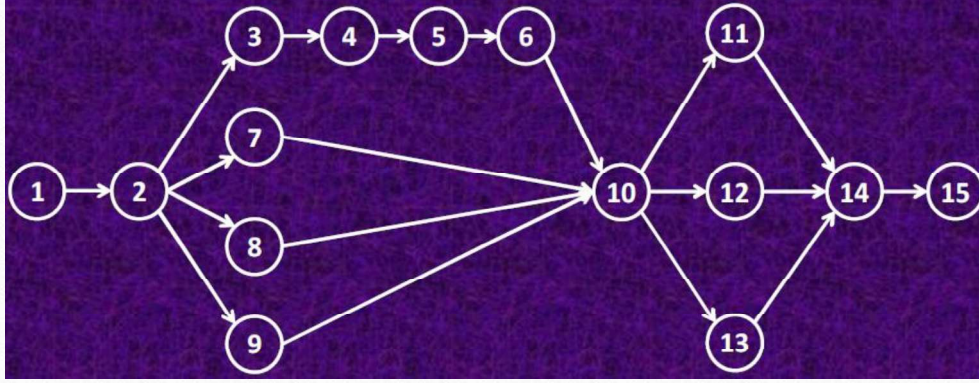
Tip-1 TMU: Örnek 1

- Asagida oncelik iliskileri ve sureleri verilen bilgisayar montajina ait islerin dengelenmesini inceleyelim.

GÖREV	GÖREV SÜRESİ (SN)	KOMŞU ÖNCÜL GÖREVLER	GÖREV TANIMI
1	50	-	KASA KAPAKLARININ AÇILARAK İÇİNDEKİ PARÇALARIN BOŞALTILMASI
2	15	1	KASADAN ANA KART PLATFORMUNUN SÖKÜLMESİ
3	30	2	ANA KARTIN PLATFORM ÜZERİNE TAKILMASI
4	15	3	ANA KART ÜZERİNE CPU'NUN TAKILMASI
5	10	4	CPU ÜZERİNE FANIN TAKILMASI
6	5	5	RAM TAKILMASI
7	60	2	SABİT SÜRÜCÜNÜN (HARD DİSK) TAKILMASI
8	70	2	DİSKET SÜRÜCÜNÜN (FLOPPY) TAKILMASI
9	70	2	CD SÜRÜCÜNÜN TAKILMASI
10	25	6,7,8,9	ANA KART PLATFORMUNUN KASAYA TAKILMASI
11	60	10	GÜÇ KABLOLARININ (ANA KART, SÜRÜCÜLER VE CPU FANI) TAKILMASI
12	60	10	LED KABLOLARININ ANA KARTA TAKILMASI
13	120	10	SÜRÜCÜLERİN DATA KABLOLARININ TAKILMASI
14	120	11,12,13	DONANIM TESTİ (ÖN TEST)
15	70	14	KASA KAPAKLARININ TAKILMASI

Tip-1 TMU: Örnek 1

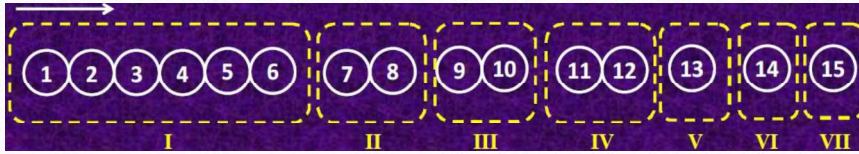
- Görevler arasındaki öncelik ilişkilerini gösteren diyagram aşağıdaki gibi olacaktır:



(Kara, 2015)

Tip-1 TMU: Örnek 1

- Bu montaj işlemine ait görevler çevrim zamanı 140 sn olacak şekilde **duz bir hat üzerinde (TMD)** dengelenirse elde edilen optimal hat dengesi aşağıdaki gibi olacaktır:



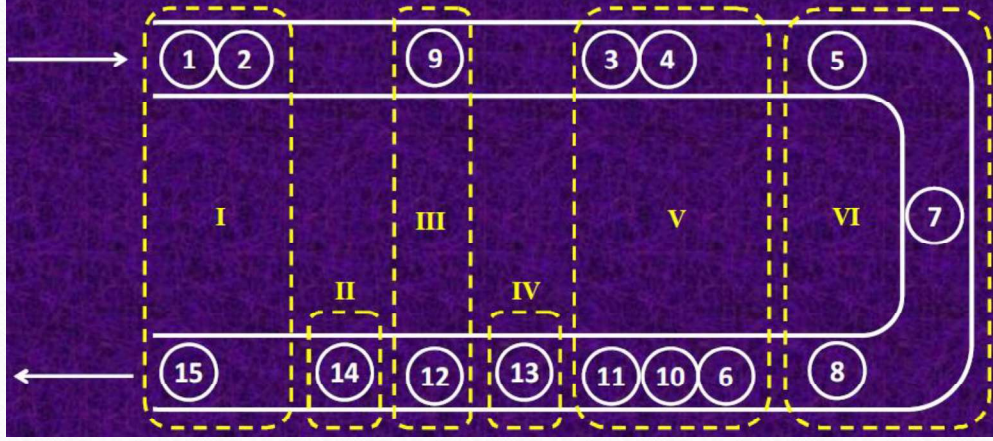
- Probleme ilişkin göstergeler ise şöyle olacaktır:

	İSTASYON						
	1	2	3	4	5	6	7
ÇEVİRİM ZAMANI	140	140	140	140	140	140	140
İSTASYON ZAMANI	125	130	95	120	120	120	70
İSTASYON BOŞ ZAMANI	15	10	45	20	20	20	70

(Kara, 2015)

Tip-1 TMU: Örnek 1

- Bilgisayar montajı örneğini aynı verilerle **U – tipi olarak** dengelersek karşımıza çıkan optimal çözüm 6 istasyonlu ve şu şekildedir:



(Kara, 2015)

183

Tip-1 TMU: Örnek 1

- Dengeleme sonucu, istasyon zamanı, istasyon boş zamanı ve toplam boş zaman verileri ise şöyle ortaya çıkmıştır:

	İSTASYON					
	1	2	3	4	5	6
ÇEVİRİM ZAMANI	140	140	140	140	140	140
İSTASYON ZAMANI	135	120	130	120	135	140
İSTASYON BOŞ ZAMANI	5	20	10	20	5	0

(Kara, 2015)

Tip-1 TMU: Örnek 1

- Bilgisayar montajı örneği, **C = 140** için düz ve U – tipi olarak dengelendiğinde, **U – tipi dengelemenin** istasyon sayısı ve toplam boş zaman açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bunun yanında, genel olarak U – tipi hat dengelemenin düz hat dengelemeye göre avantajlarını şöyle sıralayabiliriz:
 - İşçiler birbirlerine yakın bir şekilde çalıştıkları için aralarındaki iletişim ve etkileşim daha fazla olmaktadır. Ortaya çıkan her türlü problemde işçiler kolaylıkla birbirlerine yardım edebilirler.
 - İşçiler hattın çeşitli istasyonlarında çalıştıkları için kısa sürede çok fonksiyonlu işçi haline gelmektedirler. Böylece talepte meydana gelen değişimlere kolayca uyum sağlanabildiği gibi işçiler de ortaya çıkabilecek farklı problemleri çözme yeteneği kazanmaktadırlar. Çok fonksiyonlu işçiler farklı süreçler ve operasyonlar arası ilişkileri daha iyi kavrayarak iyileştirme çalışmalarına da daha fazla katkı yapabilmektedirler.

Tip-1 TMU: Örnek 1

- Talepte meydana gelen değişimlere bağlı olarak U-tipi montaj hattının tamamlanması gereken ürün miktarı, çok fonksiyonlu işçilerin hatta eklenip çıkarılmasıyla kolayca ayarlanabilir. Düz montaj hatlarında hattın çıktısı çalışma saatleri ile ayarlanır.
 - Aynı miktarda çıktı elde etmek için U-tipi montaj hatlarında ihtiyaç duyulan istasyon sayısı düz montaj hatlarında ihtiyaç duyulan istasyon sayısına eşit veya bundan daha az olmaktadır, hiçbir zaman fazla olamaz.
 - U-tipi montaj hatları, yukarıda belirtilen üstünlüklerinin yanı sıra düşük stok seviyeleri, basit malzeme taşıma, basit üretim planlama ve kontrol, yüksek kalite, ekip çalışması gibi çok sayıda avantaj da sağlamaktadır.

Tip-1 TMU: Sezgisel Cozum

- Su ana kadar bahsedilen sezgisel algoritmalar yalnızca TMD problemi için acıklanmıştır.
- Bir **TMU problemi** bu sezgisel algoritmalarından biriyle çözmek istenirse, algoritmada küçük uyarlamalar yapılarak TMU probleminin çözümüne uygun hale getirilmesi gerekir.
- Örneğin, **pozisyon ağırlığı** yöntemini düşünelim. TMD problemi için en büyük pozisyon ağırlığına sahip görevin atanmasının amacı, kendisinden sonra yapılması gereken görevlerin süresi en uzun olan görevi önceki istasyonlara atamak ve böylece istasyon sayısını azaltmaktır.
- Ancak, TMU probleminde öncelik diyagramı üzerinden gidilirse, öncülü olmayan veya öncülleri atanmış görevlerin yani sıra, ardılı olmayan veya ardilları atanmış görevlerin atanabilmesi de söz konusu olacaktır.

Tip-1 TMU: Sezgisel Cozum

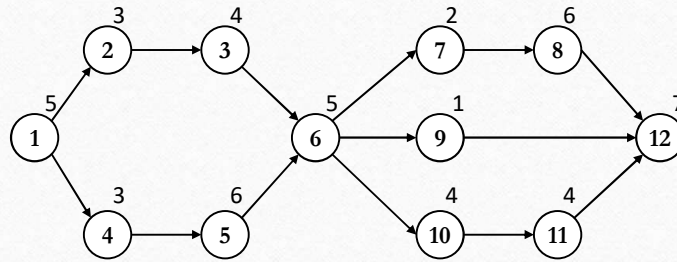
- Öncelik diyagramına göre ardılı olmayan bir görev, öncelik diyagramının en sonunda yer alan görevdir. Dolayısıyla, pozisyon ağırlığı kullanarak dengeleme yapacağımızda, kendisi ve kendisinden sonra yapılması gereken görevlerin süreleri toplamına eşit olan pozisyon ağırlığı bu görev için birşey ifade etmeyecektir.
- Ardılı olmayan bir görevin pozisyon ağırlığı yalnızca kendi görev süresine eşit olacak ve diğer pozisyon ağırlıklarına göre oldukça küçük bir değer olacaktır. Bu durumda alternatifler arasından bu görevin seçilme ihtimali ortadan kalkacaktır.
- Buradan anlaşıldığı üzere, TMU probleminin yapısına bağlı olarak öncelik diyagramı üzerinden **hem ileriye doğru hem de geriye doğru** ilerleme imkanı bulunmakta ancak **geriye doğru ilerlerken** görevlerin seçilmesi sürecinde, ileriye doğru ilerlerken kullanılan seçme kriterinden **farklı bir kritere** ihtiyaç duyulmaktadır.

Tip-1 TMU: Sezgisel Cozum

- Bahsedilen bu kriter, pozisyon ağırlığı yöntemi için **ters pozisyon ağırlığı**'dir. **Ters pozisyon ağırlığı, pozisyon ağırlığının tersine, bir görevin kendi süresi ile tüm öncüllerinin görev süreleri toplamına eşittir.**
- TMU problemi pozisyon ağırlığı yöntemiyle dengelenirken, öncelik diyagramının hem ön hem de arka tarafından atanabilecek görevler karşımıza çıkacaktır.
- Atanabilir görevler kümesi bu iki kümenin birleşiminden oluşur ve bu görevler arasından seçim yaparken, öncelik diyagramının ön tarafından gelen görevler için pozisyon ağırlığı, arka tarafından gelen görevler için ters pozisyon ağırlığı değerleri dikkate alınır ve bu değerler arasından en büyük değere sahip görev seçilir.
- Bunu örnek üzerinden görelim.

Tip-1 TMU: Örnek 2

- Aşağıda öncelik diyagramı ve süreleri verilen problemi $C = 10$ için pozisyon ağırlığı yöntemi ile **U – tipi** hat yerleşiminde dengeleyelim.



(Kara, 2015)

Tip-1 TMU: Örnek 2

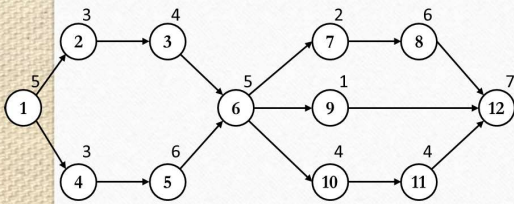
- Öncelikle görevlerin pozisyon ağırlıklarını ve ters pozisyon ağırlıklarını belirleyelim.

Görev (i)	Pozisyon Ağırlığı	Ters Pozisyon Ağırlığı
1	50	5
2	36	8
3	33	12
4	38	8
5	35	14
6	29	26
7	15	28
8	13	34
9	8	27
10	15	30
11	11	34
12	7	50

(Kara, 2015)

192

Görev (i)	Pozisyon Ağırlığı	Ters Pozisyon Ağırlığı
1	50	5
2	36	8
3	33	12
4	38	8
5	35	14
6	29	26
7	15	28
8	13	34
9	8	27
10	15	30
11	11	34
12	7	50



(Kara, 2015)

193

Tip-1 TMU: Örnek 2

- Şimdi algoritmayı adım adım işletelim.

ATANABİLİR GÖREVLER	PA	TPA	ÖNC. DİY. KONUMU
1	50	5	ÖN
12	7	50	ARKA

- 1. görev için **PA**, 12. görev için **TPA** değerlerine bakıyoruz. Her ikisi de 50 olduğu için herhangi birini seçebiliriz. **1. görevi** seçelim ve 1. istasyona hattın **ön tarafına** atayalım.



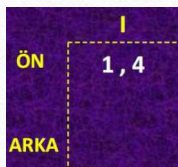
(Kara, 2015)

195

Tip-1 TMU: Örnek 2

ATANABİLİR GÖREVLER	PA	TPA	ÖNC. DİY. KONUMU
2	36	8	ÖN
4	38	8	ÖN
12	7	50	ARKA

- Normal ve ters PA'lar arasında en yüksek değer 50 ile 12. göreve aittir. Ancak 12. görev çevrim zamanı kısıtı nedeniyle 1. istasyona atanamaz. Bir sonraki en yüksek değer **4. göreve** aittir ve bu görev 1. istasyona hattın **ön tarafından** atanır.



196

Tip-1 TMU: Örnek 2

ATANABİLİR GÖREVLER	PA	TPA	ÖNC. DİY. KONUMU
2	36	8	ÖN
5	35	14	ÖN
12	7	50	ARKA

- Atanabilir görevler arasında çevrim zamanı kısıtını ihlal etmeden 1. İstasyona atanabilecek görev yoktur. Yeni bir istasyon açılır ve en yüksek PA değerine sahip **12. Görev** hattın **arka tarafına** atanır.

	I	II
ÖN	1, 4	
ARKA		12

197

Tip-1 TMU: Örnek 2

ATANABİLİR GÖREVLER	PA	TPA	ÖNC. DİY. KONUMU
2	36	8	ÖN
5	35	14	ÖN
8	13	34	ARKA
9	8	27	ARKA
11	11	34	ARKA

- En yüksek PA değerine sahip görev 36 ile **2. görevdir**. Çevrim zamanı kısıtını ihlal etmediği için 2. istasyonun **ön tarafına** atanır.

	I	II
ÖN	1, 4	2
ARKA		12

198

Tip-1 TMU: Örnek 2

ATANABİLİR GÖREVLER	PA	TPA	ÖNC. DİY. KONUMU
3	33	12	ÖN
5	35	14	ÖN
8	13	34	ARKA
9	8	27	ARKA
11	11	34	ARKA

- Atanabilir görevler arasında çevrim zamanı kısıtı nedeniyle bu istasyona atanabilecek görev yoktur. 3. istasyon açılır ve 5. görev hattın **ön tarafına** atanır.

	I	II	III
ÖN	1, 4	2	5
ARKA		12	

199

Tip-1 TMU: Örnek 2

ATANABİLİR GÖREVLER	PA	TPA	ÖNC. DİY. KONUMU
3	33	12	ÖN
8	13	34	ARKA
9	8	27	ARKA
11	11	34	ARKA

- Atanabilir görevler arasında en yüksek PA değerine sahip görevler 8 ve 11'dir. 8. görev çevrim zamanı kısıtını sağlamadığı için **11. görev** seçilir ve hattın **arka tarafına** atanır.

	I	II	III
ÖN	1, 4	2	5
ARKA		12	11

200

Tip-1 TMU: Örnek 2

ATANABİLİR GÖREVLER	PA	TPA	ÖNC. DİY. KONUMU
3	33	12	ÖN
8	13	34	ARKA
9	8	27	ARKA
10	15	30	ARKA

- Atanabilir görevler arasında çevrim zamanı kısıtı nedeniyle bu istasyona atanabilecek görev yoktur. 4. istasyon açılır ve **8. görev** hattın **arka tarafına** atanır.

	I	II	III	IV
ÖN	1, 4	2	5	
ARKA		12	11	8

201

Tip-1 TMU: Örnek 2

ATANABİLİR GÖREVLER	PA	TPA	ÖNC. DİY. KONUMU
3	33	12	ÖN
7	15	28	ARKA
9	8	27	ARKA
10	15	30	ARKA

- En yüksek PA değerine sahip görev **3. görevdir** ve 4. istasyona hattın **ön tarafına** atanır.

	I	II	III	IV
ÖN	1, 4	2	5	3
ARKA		12	11	8

202

Tip-1 TMU: Örnek 2

ATANABİLİR GÖREVLER	PA	TPA	ÖNC. DİY. KONUMU
6	29	26	ÖN
7	15	28	ARKA
9	8	27	ARKA
10	15	30	ARKA

- Atanabilir görevler arasında çevrim zamanı kısıtı nedeniyle bu istasyona atanabilecek görev yoktur. 5. istasyon açılır ve **10. görev** hattın **arka tarafına** atanır.

	I	II	III	IV	V
ÖN	1, 4	2	5	3	
ARKA		12	11	8	10

203

Tip-1 TMU: Örnek 2

ATANABİLİR GÖREVLER	PA	TPA	ÖNC. DİY. KONUMU
6	29	26	ÖN
7	15	28	ARKA
9	8	27	ARKA

- Atanabilir görevler arasında en yüksek PA değerine sahip görev 29 ile **6. görevdir** ve hattın **ön tarafına** atanır.

	I	II	III	IV	V
ÖN	1, 4	2	5	3	6
ARKA		12	11	8	10

Tip-1 TMU: Örnek 2

ATANABİLİR GÖREVLER	PA	TPA	ÖNC. DİY. KONUMU
7	15	28	ÖN – ARKA
9	8	27	ÖN – ARKA

- Atanabilir görevler arasında en yüksek PA değerine sahip görev olan 7. görev çevrim zamanı kısıtı nedeniyle bu istasyona atanamaz. Diğer görev olan 9. görev ise bu istasyona hattın hem ön hem arka tarafına atanabilir. Biz **arkaya** atayalım.

	I	II	III	IV	V
ÖN	1, 4	2	5	3	6
ARKA		12	11	8	10, 9

Tip-1 TMU: Örnek 2

ATANABİLİR GÖREVLER	PA	TPA	ÖNC. DİY. KONUMU
7	15	28	ÖN – ARKA

- Geriye kalan 7. görev ise çevrim zamanı kısıtı nedeniyle bu istasyona atanamaz ve 6. istasyon açılarak bu istasyona atanır.

	I	II	III	IV	V	VI
ÖN	1, 4	2	5	3	6	7
ARKA		12	11	8	10, 9	

İst.	Atanabilir	Atanan	Ön/Arka	İst Zamanı	Boş Zaman
1	1,12	1	Ön	5	5
	2,4,12	4	Ön	8	2
2	2,5,12	12	Arka	7	3
	2,5,8,9,11	2	Ön	10	0
3	3,5,8,9,11	5	Ön	6	4
	3,8,9,11	11	Arka	10	0
4	3,8,9,10	8	Arka	6	4
	3,7,9,10	3	Ön	10	0
5	6,7,9,10	10	Arka	4	6
	6,7,9	6	Ön	9	1
	7,9	9	Arka	10	0
6	7	7	Ön	2	8

Bölüm Kaynakları

- Kara, Y., 2015. Üretim Planlama-II Ders Notları, Selçuk Üniversitesi, Konya, <http://goo.gl/Uccn8S>.
- Kara, Y., 2004. "U-tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Yeni Modeller ve Otomotiv Yan Sanayinde Bir Uygulama", Yayınlanmamış Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Urban, T.L., 1998. "Optimal Balancing of U-shaped Assembly Lines". Management Science 44: 5, 738-741.

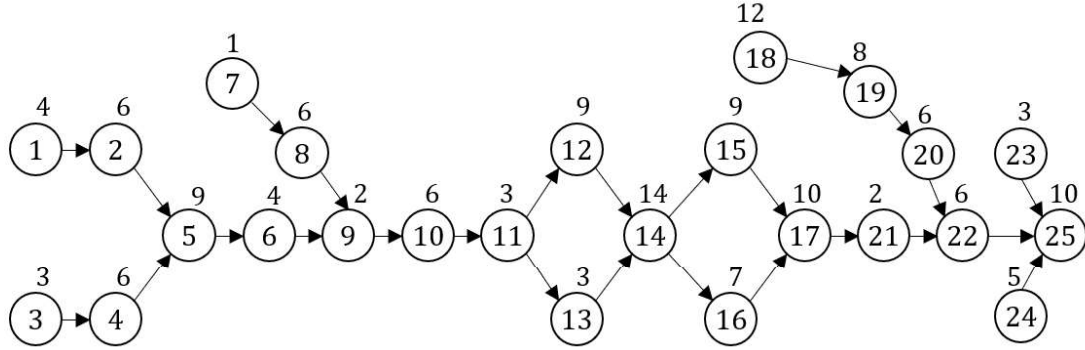
Problem #1:

U-tipi bir montaj hattında bir ürünün üretimi için yapılması gereken 13 farklı iş ögesi vardır. Bu ürünün yılda 72.000 adet üretilmesi istenmektedir. İşletme yılda 300 gün üretimde bulunmaktadır. Her gün 3 vardiya halinde çalışılmakta olup her vardiya 8 saattir.

Montaj hattındaki iş ögelerine ilişkin standart işlem süreleri ve komşu ardılları yandaki tabloda verilmiştir.

Görev	Süre (dk)	Komşu Ardıl(lar)
1	3	3
2	1	4
3	2	5
4	1	7
5	4	7
6	5	7
7	3	8,9,10
8	6	11
9	4	11,12
10	2	12
11	3	13
12	3	13
13	1	-

ÖDEV-1: U tipi MHD problemini $C=16$ için GAMS'te çözerek optimum sonucu elde ediniz.



ÖDEV-2: Aynı U-tipi MHD problemi için $C= 14-22$ aralığında optimum LE değerini veren çevrim zamanını belirleyiniz.

Çözümler Teams->Ödevler sekmesinden gönderilecektir.

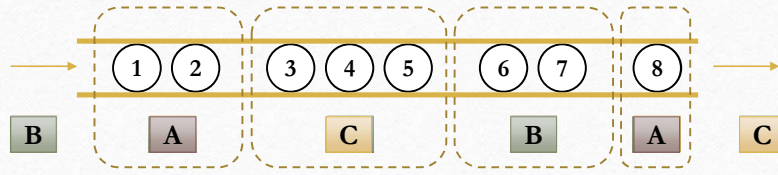
211



Karışık Modelli Düz Montaj Hattı Dengeleme Problemi

KMD

- Farklı ürünlerin veya aynı ürünün farklı modellerinin aynı hat üzerinde üretildiği veya montajının gerçekleştirildiği üretim tarzı **çok modellenli (multi-model) veya karışık modellenli (mixed-model) üretim** olarak adlandırılır.
- Çok modellenli üretimde çeşitli modeller aynı hat üzerinde **partiler halinde** üretilir.
- Karışık modellenli üretimde ise hattaki parti büyüklüğü bir adede kadar düşebilmektedir.



KMD

- Karışık modellenli üretimin başarısı “**karışık modellenli hat dengeleme**” ve “**model sıralama**” olarak adlandırılan iki önemli problemin etkili çözümlerine bağlıdır.
- **Karışık modellenli montaj hattı dengeleme** probleminin (**KMD**) tek modellenli montaj hattı dengeleme probleminden farkı, hatta üretilen model çeşidinin birden fazla olması nedeniyle, görevlerin, **görev sürelerinin** ve **öncelik ilişkilerinin** modeller arasında farklılık göstermesidir.
- **Model sıralama problemi** ise, montaj hattında üretilen çeşitli modellerin **hangi sırada** üretileceklerinin belirlenmesi ile ilgilidir.

KMD

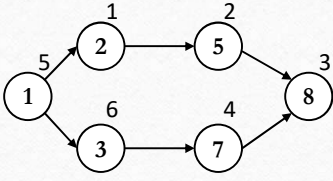
- Bugüne kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde, karışık modelli montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümünde izlenen genel yaklaşım “Birleştirilmiş (combined) öncelik ilişkileri diyagramı” kullanımından yanadır.

KMD

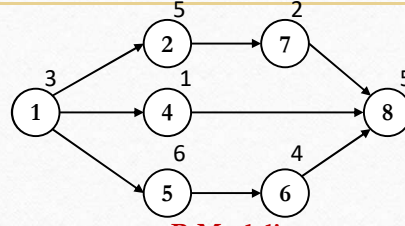
Birleştirilmiş Öncelik Diyagramı Yöntemi:

- Birden fazla sayıdaki modele ait öncelik diyagramlarını temsil eden ortak bir öncelik diyagramıdır. Bu yaklaşım, problemin çözümünü etkileyen değişken sayısını önemli derecede düşürmektedir.
- Fakat burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta, farklı modellerdeki öncelik ilişkileri arasında herhangi bir uyumsuzluğun olmaması gerektiğidir. Baska bir deyişle, eğer bir modelde 2 numaralı görevin 1 numaralı görevden sonra yapılması gerekiyorsa, diğer bütün modellerde de 2 numaralı görevin 1 numaralı görevden sonra yapılması gerekir.

KMD

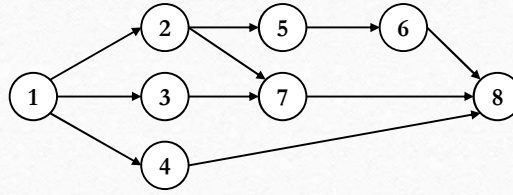


A Modeli



B Modeli

- Örneğin, yukarıda verilen A ve B gibi iki farklı modele ait öncelik diyagramları için geçerli olan birleştirilmiş öncelik diyagramı şu şekildedir:



**Birleştirilmiş
Öncelik Diyagramı**

KMD

Ürün Karmasının Belirlenmesi:

- Bir m modelinin talebinin karşılanabilmesi için ürün karması içerisinde kaç defa yer alacağı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir:

$$MP_m = \frac{D_m}{gcd}$$
$$gcd = EBOB\{D_{m \in M}\}$$

- burada D_m terimi m modelinin talebini temsil eder ve gcd ise model taleplerinin en büyük ortak bölenidir. Ürün karması içerisinde her bir modelin kaç defa temsil edileceği ise aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$MPS = \{MP_1, MP_2, \dots, MP_{m \in M}\}$$

KMD

- Bunu da bir örnek vererek açıklayalım. A, B ve C modellerinin üretildiği karışık modelli bir hat düşünelim. Bu modellere ait günlük talepler sırasıyla $D_A=50$ adet, $D_B=30$ adet, $D_C=20$ adet ve günlük net çalışma süresi 480 dakika kabul edilsin. Bu durumda ürün karması içinde yer alacak A, B ve C modellerinin sayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$gcd = EBOB\{D_A, D_B, D_C\} = EBOB\{50, 30, 20\} = 10$$

$$MP_A = \frac{D_A}{gcd} = \frac{50}{10} = 5, MP_B = \frac{D_B}{gcd} = \frac{30}{10} = 3, MP_C = \frac{D_C}{gcd} = \frac{20}{10} = 2$$

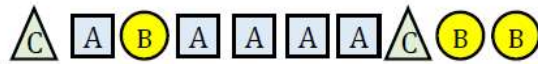
- Bu durumda ürün karması içerisinde A modelinin 5 kez, B modelinin 3 kez, C modelinin 2 kez temsil edilmesi gerekmektedir:

$$MPS = \{MP_A, MP_B, MP_C\} = \{5, 3, 2\}.$$

$$\begin{aligned} D_A &= 50 \text{ adet} \\ D_B &= 30 \text{ adet} \\ D_C &= 20 \text{ adet} \\ P &= 480 \text{ dk} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Çevrim Zamanı:} \\ 480/100=4.8 \text{ dk/adet} \end{aligned}$$

Elde edilen ürün karmasını sağlayacak örnek model sıralamaları



Belirlenen üretim sırası günde 10 kez tekrarlanır

KMD

Ayarlanmış Görev Süreleri:

- Farklı modellerde ortak olan görevlerin zamanlarının ağırlıklı ortalamalarının hesaplanması suretiyle problemin dönüştürüldüğü yöntemler ise **ayarlanmış görev süreleri** yöntemleri olarak adlandırılır.
- 24 saatlik (1440 dak.) bir üretim dönemi için yukarıda öncelik diyagramları verilen A ve B modellerinin taleplerinin sırasıyla 120 adet ve 60 adet olduğunu ve model sırasının “AAB” şeklinde olduğunu düşünelim.
- Bu durumda, belirlenen 1440 dakikalık üretim dönemi için çevrim zamanı;
 $C = 1440 \text{ dakika} / (120+60) \text{ adet} = \mathbf{8 \text{ dakika/adet}}$ olarak hesaplanır.

KMD

- Herhangi bir görev için ağırlıklı ortalama görev süresi, üretim döneminde o görev için harcanan toplam sürenin toplam üretim miktarına oranıdır.
- Bir görevin (i) ağırlıklı ortalama görev süresi (wt_i) şu şekilde bulunur:

$$wt_i = \frac{\sum_{j \in M} t_{ij} D_j}{\sum_{j \in M} D_j}$$

D_j : j modelinin talebi ($j \in M$)

t_{ij} : j modeline ait i görevini gerçekleştirmek için gereken süre

KMD

- Bu örnek için ağırlıklı ortalama görev süreleri aşağıda görüldüğü gibi hesaplanır:

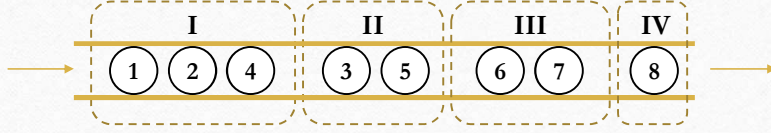
Görev (i)	Görev Süreleri		
	Model A (t_{iA})	Model B (t_{iB})	Ağırlıklı Ortalama (wt_i)
1	5	3	$(120 \times 5 + 60 \times 3) / 180 = 4.33$
2	1	5	$(120 \times 1 + 60 \times 5) / 180 = 2.33$
3	6	0	$(120 \times 6 + 60 \times 0) / 180 = 4.00$
4	0	1	$(120 \times 0 + 60 \times 1) / 180 = 0.33$
5	2	6	$(120 \times 2 + 60 \times 6) / 180 = 3.33$
6	0	4	$(120 \times 0 + 60 \times 4) / 180 = 1.33$
7	4	2	$(120 \times 4 + 60 \times 2) / 180 = 3.33$
8	3	5	$(120 \times 3 + 60 \times 5) / 180 = 3.66$

KMD

- Karışık modelli montaj hattı dengeleme problemleri, birleştirilmiş öncelik diyagramı ve ağırlıklı ortalama görev süreleri ile tek modelli montaj hattı dengeleme problemine dönüştürülmüş olur.
- Karışık modelli problem tek modelli montaj hattı dengeleme problemine dönüştürüldükten sonra herhangi bir yöntemle çözülebilir. Fakat dengelemede ağırlıklı ortalama görev sürelerinin kullanılması, dengeleme sonrasında **gerçek görev süreleri dikkate alındığında** bazı istasyonların iş yüklerinin **çevrim zamanını aşması** durumunun ortaya çıkmasına sebep olabilmektedir.
- Düz montaj hatlarında bu durumu ortadan kaldırmak için **düzgünleştirme algoritmaları** kullanılmaktadır.

KMD

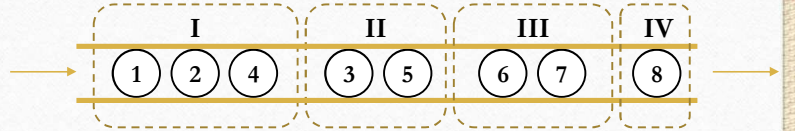
- Yukarıdaki örnek problem, birleştirilmiş öncelik diyagramı ve ağırlıklı ortalama görev süreleri ile, 8 dakikalık çevrim zamanı için düz montaj hattı olarak dengelendiğinde ortaya çıkan optimal hat dengesi 4 istasyondan oluşmaktadır ve şöyledir:



KMD

Bu montaj hattında herhangi bir çevrimde bir istasyonda sadece bir modelin üretimi söz konusudur.

Farklı modeller için bu dört istasyonun iş yükleri tabloda verilmiştir.



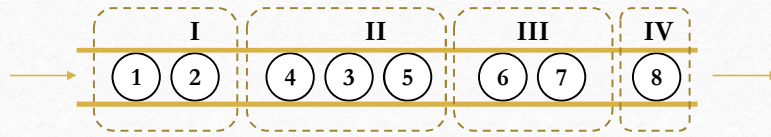
1. Çevrim: A için İş Yüğü				
2. Çevrim: A için İş Yüğü				
3. Çevrim: B için İş Yüğü				

Tabloda görüldüğü gibi, birinci istasyonda B modelinin üretimi söz konusu olduğunda istasyon yükü **8 dakikalık çevrim zamanını aşmaktadır.**

KMD

- Ayarlanmış görev süreleri kullanılarak dengelenmiş montaj hatlarında, elde edilen optimal istasyon sayısı değiştirilmeden ardışık iş istasyonları arasında bazı görev değişiklikleri yapmak suretiyle (**düzenleştirme**) çevrim zamanını aşan iş yükleri en aza indirilmeye çalışılabilir.
- Bu örnekte 1. istasyonda yer alan 4 numaralı görev 2. istasyona kaydırılırsa hem öncelik ilişkileri ihlal edilmemiş hem de gerçek görev süreleri göz önüne alındığında tüm istasyonlar için çevrim zamanı kısıtı sağlanmış olacaktır.

KMD



						Toplam Zaman	Boş Zaman
1. Çevrim:	A	icin Is Yuku					
2. Çevrim:	A	icin Is Yuku					
3. Çevrim:	B	icin Is Yuku					

Tüm modeller ve istasyonlar için çevrim zamanı kısıtı sağlandı.

$$WLE(\%) = \frac{\text{Kullanılan Etkin Zaman Toplamı}}{\text{Ayrılan Zaman}} \times 100 = \dots$$

VEYA

$$WLE(\%) = \frac{\text{Ağırlıklı Görev Süreleri Toplamı}}{K \times C} \times 100 = \dots$$

$$WBD(\%) = 100 - WLE(\%) = \dots$$

KMD-Matematiksel Model

- Ayarlanmış görev süreleri kullanılarak dengeleme yapılması durumunda, değişken ve kısıt sayısında önemli bir azalma olurken, dengeleme işleminden sonra bir takım düzgünleştirme işlemlerine ihtiyaç duyulduğu belirtilmişti.
- Ancak bazı durumlarda, öncelik ilişkileri ve çevrim zamanı kısıtları nedeniyle düzgünleştirme işlemi yapılamayacak çözümlerle karşılaşılacaktır.
- Bu durumda gerçek görev süreleri göz önüne alındığında çevrim zamanı kısıtı sağlanmamış olacaktır. Hem bu durumun üstesinden gelmek hem de düzgünleştirme işlemine ihtiyaç duymamak için, KMD problemini, değişken ve kısıt sayısının artmasına göz yumarak bir takım matematiksel modeller yardımıyla çözmek mümkündür.
- Bu modellerden birini inceleyelim.

KMD

- KMD problemi için kullanılan bu modelde, öncelik ilişkilerini yine **birleştirilmiş öncelik diyagramı** üzerinden sağlarken, görev süreleri için **gerçek görev sürelerini** kullanacağız.
- Modelin varsayımları şöyledir:
 - Görevlerin her bir model için görev süreleri bellidir ve bilinmektedir. Ortak görevler farklı modellerde farklı görev sürelerine sahip olabilir.
 - Her bir model için görevlerin aralarındaki öncelik ilişkileri bilinmektedir.
 - İstasyonlar arası ara stoklara izin verilmemektedir.
 - Farklı modellerdeki ortak görevler aynı istasyona atanmak zorundadır.

KMD

Notasyon:

- i, r, s : görev
- k : istasyon
- j : model (urun)
- C : çevrim zamanı
- K_{max} : maksimum istasyon sayısı
- N : toplam görev sayısı
- J : Model sayısı
- t_{ij} : i görevinin j modeli için tamamlanma süresi
- S : öncelik ilişkileri kümesi
- $(r, s) \in S$: Bir öncelik ilişkisi; r görevi s görevinin komşu öncülüdür
- x_{ik} : 1, i görevi k istasyonuna atanmış ise; 0, aksi halde
- z_k : 1, k istasyonu açılmış ise; 0, aksi halde

KMD

**Amac
Fonksiyonu**

$$\text{Minimize } \sum_{k=1}^{K_{max}} z_k \quad (1)$$

KISITLAR

$$\sum_{k=1}^{K_{max}} x_{ik} = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N t_{ij} x_{ik} \leq C \cdot z_k \quad \forall k, \forall j \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^{K_{max}} k(x_{rk} - x_{sk}) \leq 0 \quad \forall (r, s) \in S \quad (4)$$

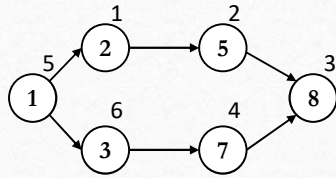
$$x_{ik}, z_k \in \{0,1\} \quad \forall i; \forall k \quad (5)$$

KMD

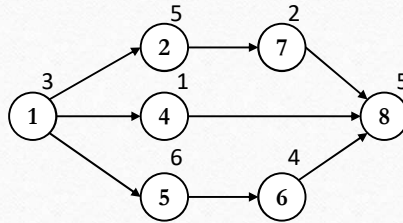
- Problemin amaç fonksiyonu **(1)**, hat boyunca açılan **istasyon sayisini minimize etmeye** yöneliktir.
- **2 numarali kisit**, bütün görevlerin istasyonlara atanmasini ve her görevin bir kere atanmasini sağlamaktadır.
- **3 numarali kisit**, açılan bir istasyondaki görevlerin görev süreleri toplamının her model için o modelin çevrim zamanını aşmaması içindir.
- **4 numarali kisit** birleştirilmiş öncelik diyagramına göre, öncülü olan bir görevin ya öncülüyle aynı istasyona ya da öncülünden sonraki bir istasyona atanmasını sağlamaktadır.
- **5 numarali kisit** ise modeldeki bütün x_{ik} ve z_k değişkenlerinin ikili düzende (binary) (0–1) olduğunu ifade etmektedir.

KMD

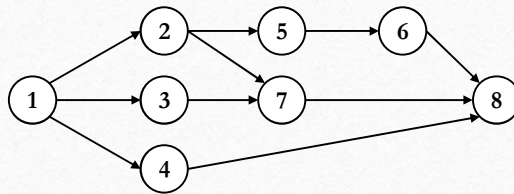
- **Ornek:** Daha önce verilen 2 modelli örnek problem için $C=15$ kabul ederek açık matematiksel modeli kuralım.



A Modeli



B Modeli



**Birleştirilmiş
Öncelik Diyagramı**

KMD

- A modeli için $K_{min} = \max \left\{ \left[\frac{21}{15} \right]^+ 0, \right\} = 2$
 - B modeli için $K_{min} = \max \left\{ \left[\frac{26}{15} \right]^+ 0, \right\} = 2$
- Bu durumda $K_{max} = 3$ olsun

Amac Fonksiyonu:

$$\text{Minimize } z_1 + z_2 + z_3$$

KMD

Atama Kısıtları:

- | | |
|----------------------|--------------------------------|
| 1. görev için (i=1): | $x_{11} + x_{12} + x_{13} = 1$ |
| 2. görev için (i=2): | $x_{21} + x_{22} + x_{23} = 1$ |
| 3. görev için (i=3): | $x_{31} + x_{32} + x_{33} = 1$ |
| 4. görev için (i=4): | $x_{41} + x_{42} + x_{43} = 1$ |
| 5. görev için (i=5): | $x_{51} + x_{52} + x_{53} = 1$ |
| 6. görev için (i=6): | $x_{61} + x_{62} + x_{63} = 1$ |
| 7. görev için (i=7): | $x_{71} + x_{72} + x_{73} = 1$ |
| 8. görev için (i=8): | $x_{81} + x_{82} + x_{83} = 1$ |

KMD

Cevrim Zamani Kisitlari:

A Modeli Icin

1. istasyon icin (k=1): $5x_{11} + 1x_{21} + 6x_{31} + 2x_{51} + 4x_{71} + 3x_{81} \leq 15z_1$

2. istasyon icin (k=2): $5x_{12} + 1x_{22} + 6x_{32} + 2x_{52} + 4x_{72} + 3x_{82} \leq 15z_2$

3. istasyon icin (k=3): $5x_{12} + 1x_{22} + 6x_{32} + 2x_{52} + 4x_{72} + 3x_{82} \leq 15z_3$

B Modeli Icin

1. istasyon icin (k=1): $3x_{11} + 5x_{21} + 1x_{41} + 6x_{51} + 4x_{61} + 2x_{71} + 5x_{81} \leq 15z_1$

2. istasyon icin (k=2): $3x_{12} + 5x_{22} + 1x_{42} + 6x_{52} + 4x_{62} + 2x_{72} + 5x_{82} \leq 15z_2$

3. istasyon icin (k=3): $3x_{13} + 5x_{23} + 1x_{43} + 6x_{53} + 4x_{63} + 2x_{73} + 5x_{83} \leq 15z_3$

KMD

Oncelik Iliskileri Kisitlari:

$$S = \{(1,2), (1,3), (1,4), (2,5), (2,7), (3,7), (4,8), (5,6), (6,8), (7,8)\}$$

(1,2) iliskisi icin: $1(x_{11} - x_{21}) + 2(x_{12} - x_{22}) + 3(x_{13} - x_{23}) \leq 0$

(1,3) iliskisi icin: $1(x_{11} - x_{31}) + 2(x_{12} - x_{32}) + 3(x_{13} - x_{33}) \leq 0$

(1,4) iliskisi icin: $1(x_{11} - x_{41}) + 2(x_{12} - x_{42}) + 3(x_{13} - x_{43}) \leq 0$

(2,5) iliskisi icin: $1(x_{21} - x_{51}) + 2(x_{22} - x_{52}) + 3(x_{23} - x_{53}) \leq 0$

(2,7) iliskisi icin: $1(x_{21} - x_{71}) + 2(x_{22} - x_{72}) + 3(x_{23} - x_{73}) \leq 0$

(3,7) iliskisi icin: $1(x_{31} - x_{71}) + 2(x_{32} - x_{72}) + 3(x_{33} - x_{73}) \leq 0$

(4,8) iliskisi icin: $1(x_{41} - x_{81}) + 2(x_{42} - x_{82}) + 3(x_{43} - x_{83}) \leq 0$

(5,6) iliskisi icin: $1(x_{51} - x_{61}) + 2(x_{52} - x_{62}) + 3(x_{53} - x_{63}) \leq 0$

(6,8) iliskisi icin: $1(x_{61} - x_{81}) + 2(x_{62} - x_{82}) + 3(x_{63} - x_{83}) \leq 0$

(7,8) iliskisi icin: $1(x_{71} - x_{81}) + 2(x_{72} - x_{82}) + 3(x_{73} - x_{83}) \leq 0$

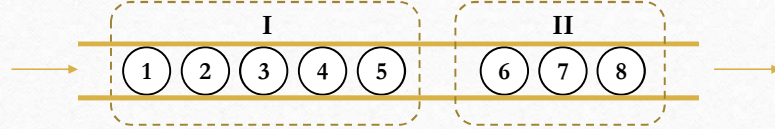
KMD

Isaret (Yön) Kısıtlari:

$$x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{31}, x_{32}, x_{33}, \dots, x_{81}, x_{82}, x_{83} \in \{0,1\}$$

$$z_1, z_2, z_3 \in \{0,1\}$$

Modelin çözümlmesi sonucu elde edilecek optimal hat dengesi şöyle olacaktır:



1. Cevrim:	A için Is Yuku	14 (=5+1+6+0+2)	7 (=0+4+3)
2. Cevrim:	A için Is Yuku	14 (=5+1+6+0+2)	7 (=0+4+3)
3. Cevrim:	B için Is Yuku	15 (=3+5+0+1+6)	11 (=4+2+5)

WLE(%) ve
WBD(%)
değerlerini
hesaplayınız.

Bölüm Kaynakları

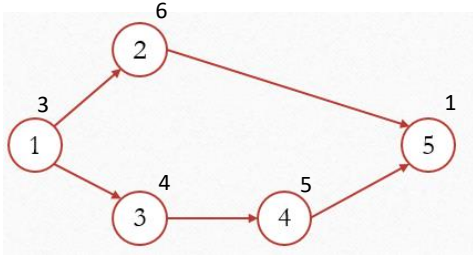
- Kara, Y., 2015. Üretim Planlama-II Ders Notları, Selçuk Üniversitesi, Konya, <http://goo.gl/Uccn8S>.
- Kara, Y., 2004. "U-tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Yeni Modeller ve Otomotiv Yan Sanayiinde Bir Uygulama", Yayınlanmamış Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- ACAR, Nesime, "Üretim Planlaması Yöntem ve Uygulamaları", MPM Ankara, 1989.
- Karaca, M., Montaj Hatları, SDÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt 1, Sayı 1, 1996.
- Krajewski, L.J., Ritzman, L.P., Malhotra, M.K., Üretim Yönetimi 9. Baskı (Orjinal İsmi: Operations Research, Prentice Hall), Çeviri Editörü: Semra Birgun, Nobel Yayınları, <http://www.nobelyayin.com/detay.asp?u=3310>
- Kucukkoc, I., Modelling and Solving Mixed-model Parallel Two-sided Assembly Line Problems, Doktora Tezi, University of Exeter, Ağustos 2015, <http://hdl.handle.net/10871/18917>

EMM4208 Montaj Hattı Tasarımı ve Analizi Dersi Uygulaması

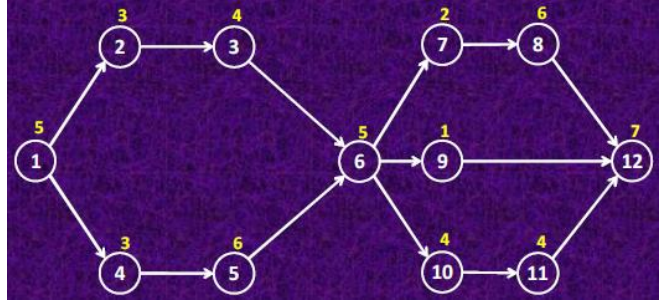
Aşağıda öncelik ilişkileri diyagramı ve görev süreleri verilen problemleri:

1. İlk dört problemi ayrı ayrı, matematiksel olarak modelleyip GAMS programı yardımıyla optimum çözümlerini bulunuz.
2. Tek modellenli düz montaj hattı dengeleme problemlerini (ilk üç problem), yeniden, "Sezgiseller-İK v1.1" programındaki değişik sezgisel uygulamaları kullanarak çözünüz ve elde ettiğiniz sonuçları 1. Adımda GAMS'ten elde ettiğiniz optimum çözümlerle karşılaştırınız.
3. Bir önceki adımda sezgisel tekniklerle çözdüğünüz problemler için çevrim zamanlarını sistemik bir şekilde artırarak ya da azaltarak hat etkinliğinin nasıl değiştiğini gözlemleyiniz.
4. Problem #5 için, üç veya dört istasyonlu çözüm veren ve hat etkinliğini maksimize eden optimal çevrim zamanını bulunuz.

Problem #1: Tek modellenli düz montaj hattı dengeleme problemi (C=10)

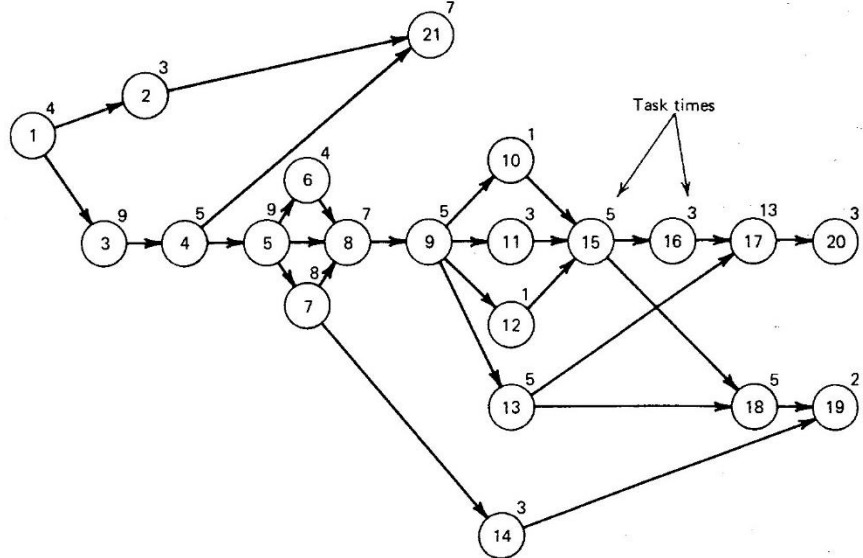


Problem #2: Tek modellenli düz montaj hattı dengeleme problemi (C=10)



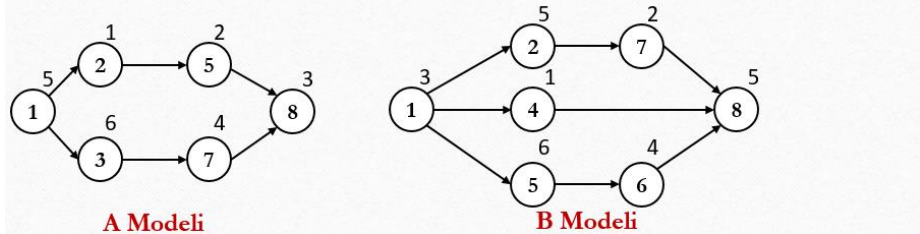
Problem #3:

Tek modellenli düz montaj hattı dengeleme problemi (C=15)



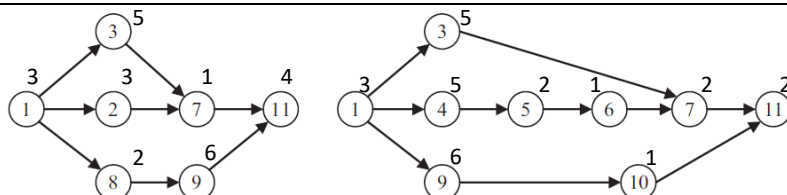
Problem #4:

Karışık modellenli düz montaj hattı dengeleme problemi, C=15 (birleştirilmiş öncelik ilişkileri diyagramı kullanılacaktır)



Problem #5:

Karışık modellenli düz montaj hattı dengeleme problemi (C=?)



08.03.2018

Yrd. Doç. Dr. İbrahim Kucukkoc

Adı-Soyadı:

Numarası:

 NÖ İÖ

Soru	1 (15P)	2 (30P)	3 (30P)	4 (25P)	Toplam
Puan					

NOT: Lütfen soruları iyi okuyunuz ve cevaplarınızı okunaklı yazınız. Başarılar.

Yrd. Doç. Dr. İbrahim KÜÇÜKKOÇ

SORULAR

1 – Montaj hatları, amaca göre nasıl sınıflandırılmaktadır? İsim olarak belirtiniz ve açıklayınız.

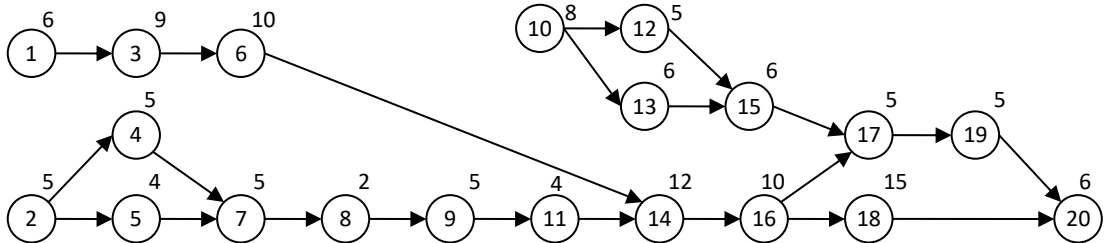
2 – Aşağıdaki tabloda bir iş makinesi üretimi yapılan montaj hattının bir kısmına ait görevler, dakika cinsinden süreler ve öncelik ilişkileri verilmiştir. İş makinesine ait haftalık talep 200 adettir ve haftalık çalışma süresi 2400 dk'dır.

- Tablodaki verilere göre öncelik ilişkileri diyagramını çiziniz.
- Minimum istasyon sayısını hesaplayınız.
- 0-1 doğrusal programlama modelini geliştiriniz ($K_{max} = K_{min}$ alınız).
- 4 ve 6 numaralı işlerin atanabileceği en erken ve en geç istasyonları hesaplayınız.

Görev	Süre (dk)	Komşu Öncüller
1	3	-
2	8	-
3	4	2
4	7	1, 3
5	5	4
6	2	4
7	6	6

3 – Aşağıda öncelik ilişkileri diyagramı ve dakika cinsinden görev süreleri verilen tek modelli düz (TMD) montaj hattı dengeleme problemini ele alarak, C=27 dakika için;

- Pozisyon ağırlığı yöntemi ile çözünüz.
- Elde ettiğiniz çözümün performans kriterlerini (özellikle hat etkinliği ve düzgünlük indeksi) hesaplayınız ve yorumlayınız.



4 – Aşağıda düz bir montaj hattı dengeleme problemine ait öncelik ilişkileri diyagramı ve görev süreleri (dk) verilmiştir. Aynı problemin matematiksel modelinin GAMS'te CPLEX çözücüsü ile çözümü sonucu elde edilen rapor da verilmektedir. Bu rapora göre tabloda istenen bilgileri doldurunuz.

Türkiye Cumhuriyeti, Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
Montaj Hattı Tasarımı ve Analizi Dersi ÖRNEK Dönem Sonu Sınavı Soruları

Adı-Soyadı:

Numarası:

NÖ İÖ

Soru	1 (30P)	2 (35P)	3 (35P)	Toplam
Puan				

NOT: Lütfen soruları iyi okuyunuz ve cevaplarınızı okunaklı yazınız. Başarılar.

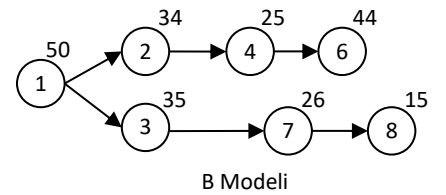
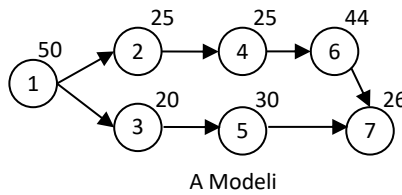
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim KÜÇÜKKOÇ

SORULAR

1) Yaptığınız proje konusunda aşağıdaki soruları ayrılan boşlukları kullanarak cevaplandırınız:

- Çalışmayı nerede (hangi işletmenin hangi atölyesinde/bölümünde) yaptınız?
- Proje arkadaşlarınızın isimleri nelerdir?
- Nasıl bir problem tespit ettiniz ve ne şekilde bir çözüm geliştirdiniz?
- Yaptığınız çalışma ile hat üzerinde nasıl bir kazanım elde ettiniz?

2) Öncelik ilişkileri ve saniye cinsinden görev süreleri yanda verilen “karışık modelli düz” montaj hattı dengeleme problemi için;



a) Birleştirilmiş öncelik ilişkileri diyagramını çiziniz ve $C=85$ sn için tip-I montaj hattı dengeleme probleminin 0-1 karışık tam sayılı programını geliştiriniz ($K_{max} = K_{min}$ alınınız).

b) Problem için aşağıdaki gibi bir çözüm geliştirilmiş olsaydı istasyon yükleri ve hattın ağırlıklı etkinliği ne olurdu? Hesaplayınız ve tablodaki boşlukları doldurunuz.

NOT: A ve B modellerinin talepleri birbirine eşit olarak kabul edilmelidir, $D_A = D_B$.

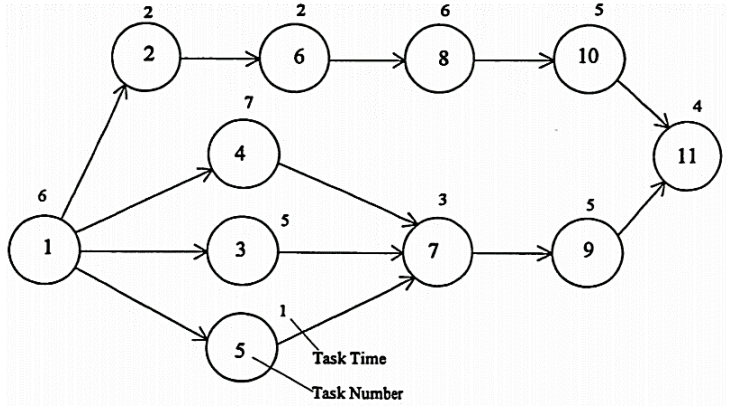
İstasyon No	Atanan Görevler	İstasyon Yükü (Model A)	İstasyon Yükü (Model B)	Ağırlıklı Hat Etkinliği:
1	1,2		
2	3,4,5			Toplam Ağırlıklı Boş Zaman:
3	6,7,8		

3) Bir firma, bisiklet montaj süreci için U-tipi montaj hattı tasarlamak istemektedir.

Bisiklet üretim hattına ait görevlerin öncelik ilişkileri diyagramı yanda verilmektedir. Görev süreleri "zaman birimi" cinsinden olup görevlerin yanında verilmektedir.

C=10 zaman birimi için pozisyon ağırlığı (PA) ve ters pozisyon ağırlığı (TPA) yöntemlerini kullanarak U-tipi montaj hattını tasarlayınız ve elde ettiğiniz çözümün performansını/kalitesini ölçerek yorumlayınız.

NOT: Atama sırasında fonksiyon ağırlığı eşit olan ve atanabilecek birden fazla görev olması durumunda görev süresi en büyük olan adayı atayınız.

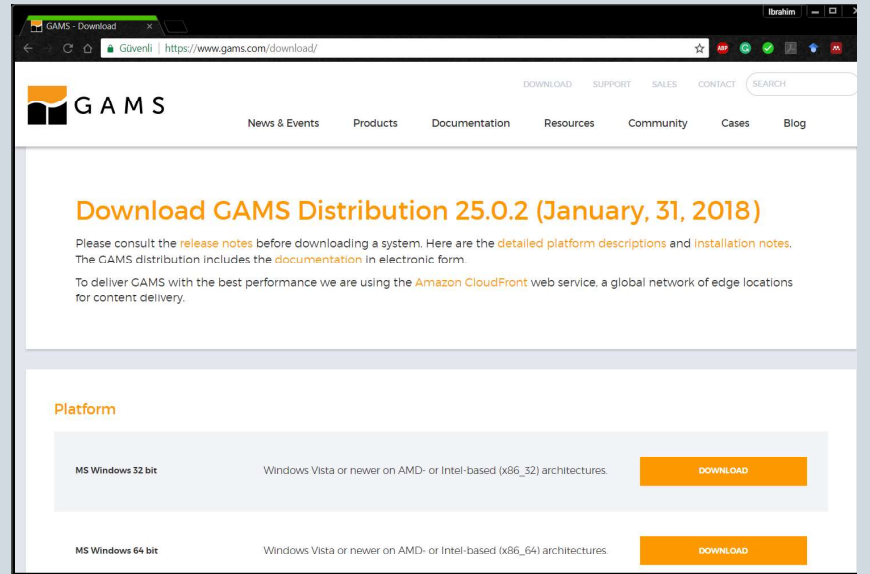


GAMS Kurulumu ve Temel Özellikleri GAMS ile Modellemeye Giriş, Örnek Problemler

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç
<http://ikucukkoc.baun.edu.tr>
ikucukkoc@balikesir.edu.tr

GAMS Programının İndirilmesi:

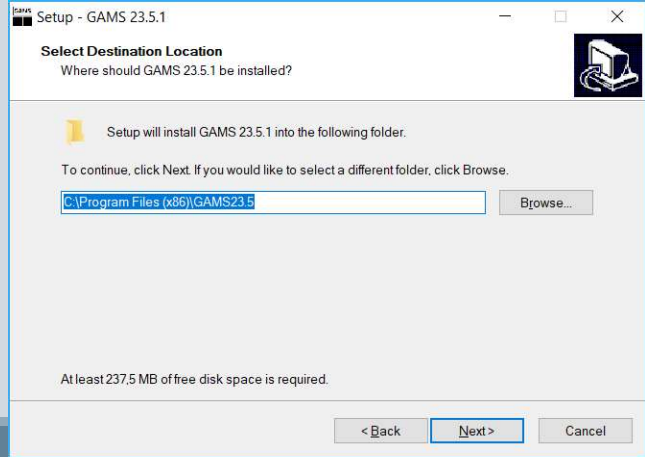
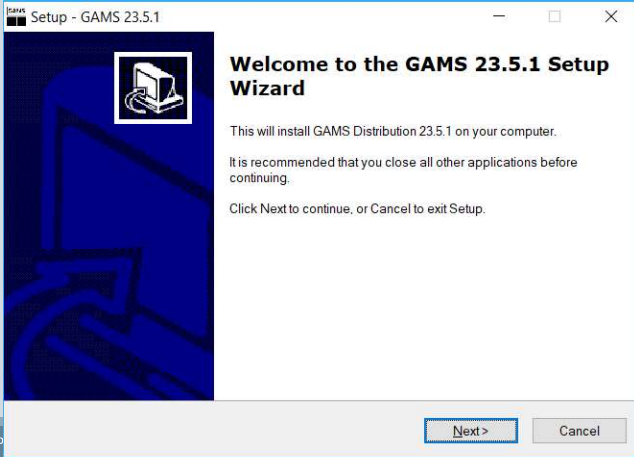
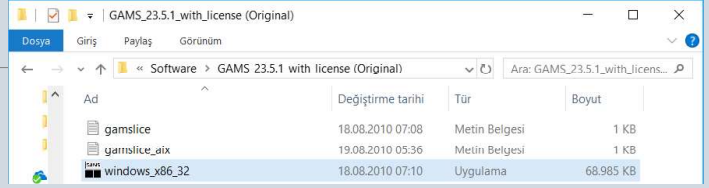
<https://www.gams.com/download>



Yukarıda görüldüğü gibi programın deneme sürümünü ücretsiz olarak indirerek kullanabilirsiniz. Ayrıca satın alma olanakları da mevcuttur.

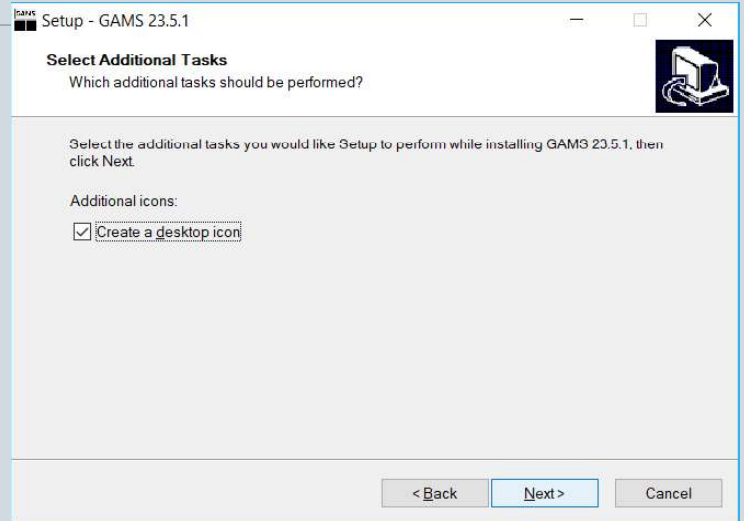
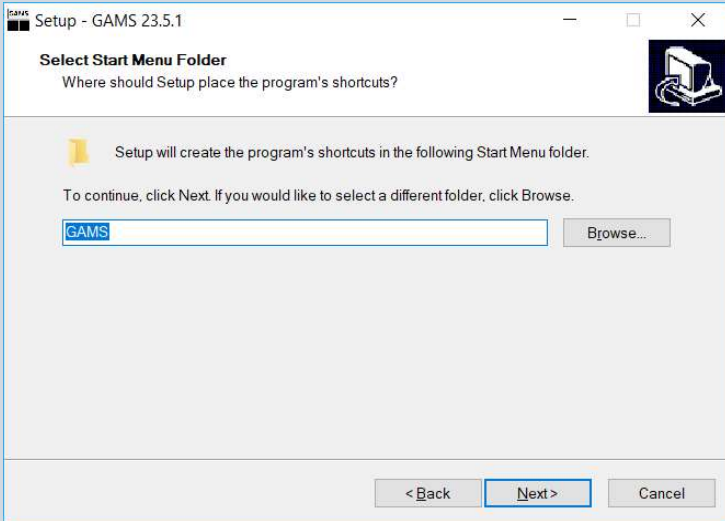
GAMS Kurulumu

İndirilen kurulum dosyası tıkla-çalıştır yapılarak basitçe kurulur.

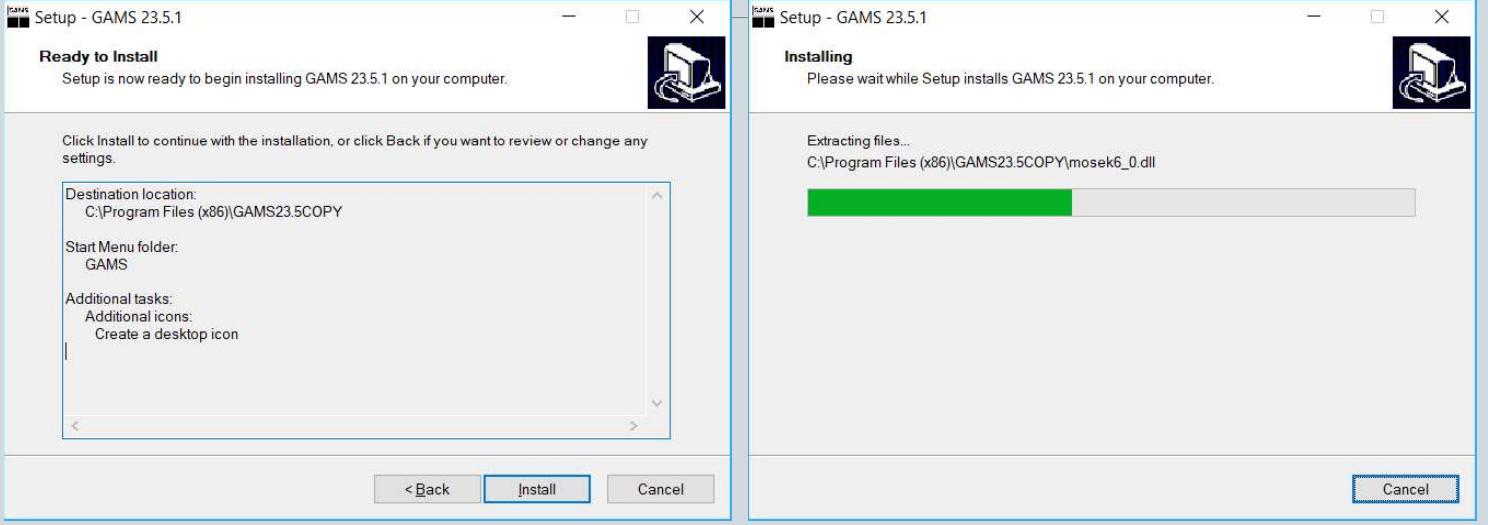


3

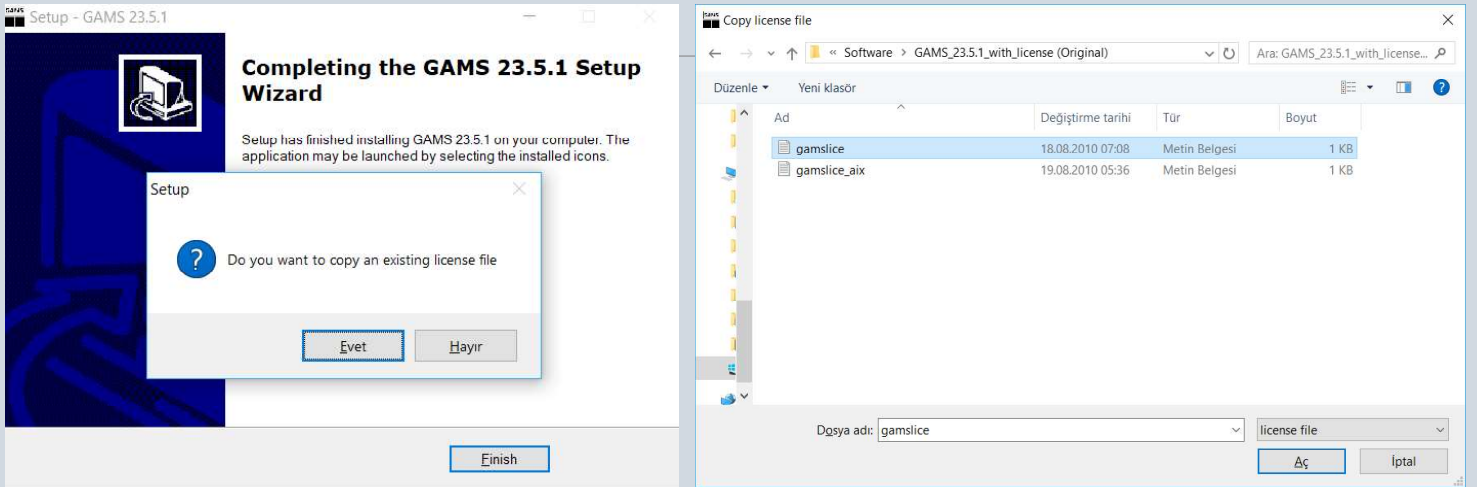
GAMS Kurulumu



GAMS Kurulumu

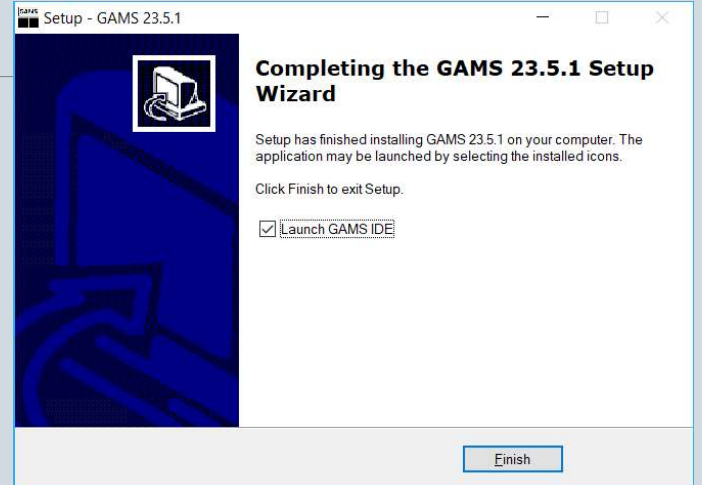
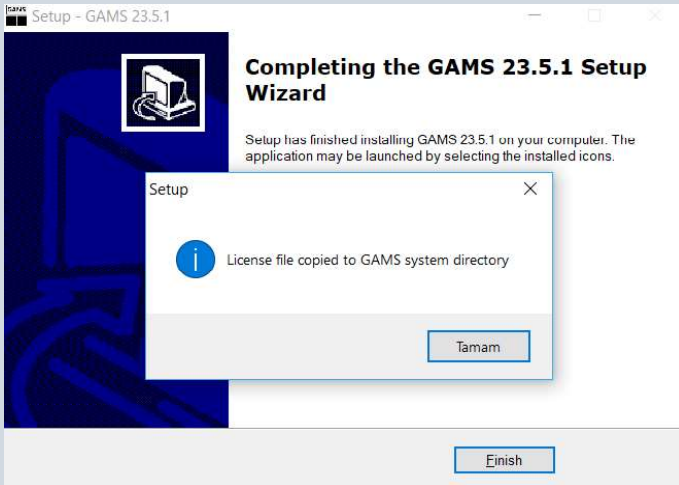


GAMS Kurulumu



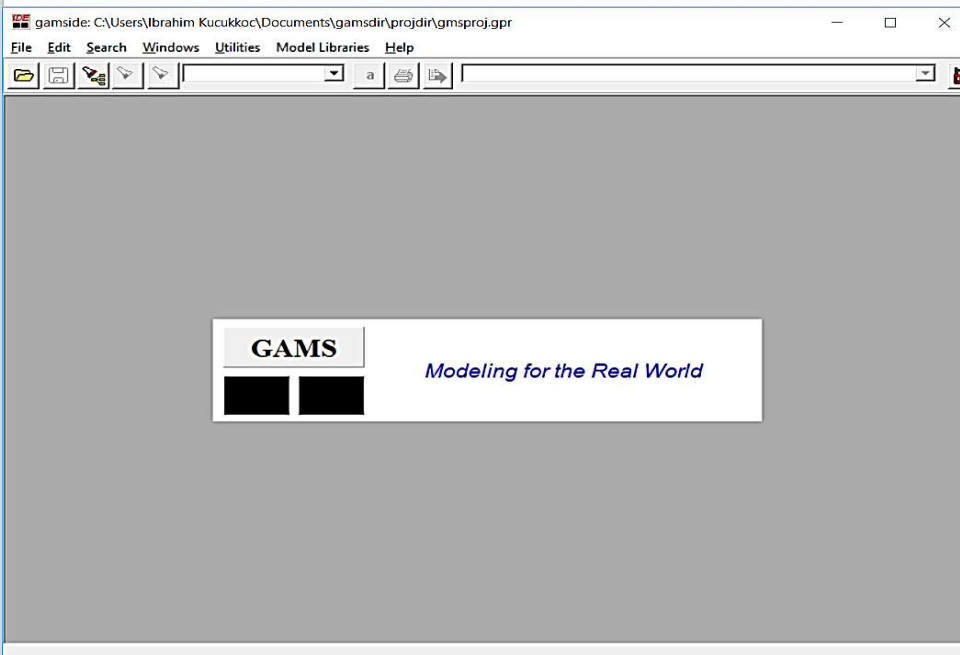
Şayet bir lisans dosyanız var ise, kurulum tamamlandıktan sonra lisans dosyasının yolu gösterilerek programın lisansı yapılmış olur.

GAMS Kurulumu



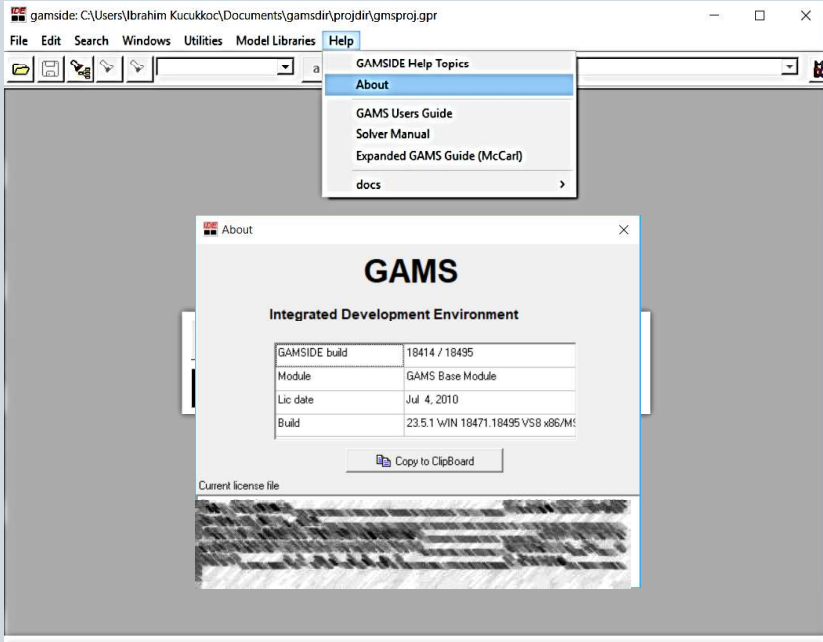
Burada gösterilen “Licence file copied to GAMS directory” mesajı, lisans dosyanızın başarılı bir şekilde yerleştirildiğini ifade etmektedir. Finish’e tıklayarak kurulumu bitirebilirsiniz.

GAMS Kurulumu



Artık GAMS, ilk modeli oluşturmak üzere kullanıma hazır hale gelmiştir.

GAMS Kurulumu

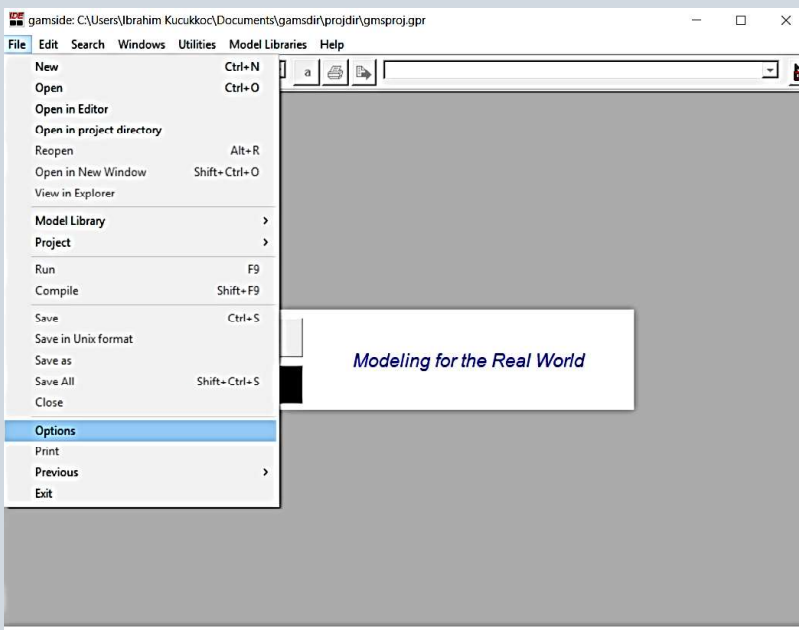


Lisansınızın yapıldığından emin olmak için, "HELP" menüsünden, "About" sekmesine tıklanarak kontrol yapılabilir.

"Current Licence File" alanında gösterilen bilgiler, ürünün lisansının yapıldığını göstermektedir.

Şayet "Current Licence File" alanı boş ise, ürün lisanslanmamış demektir.

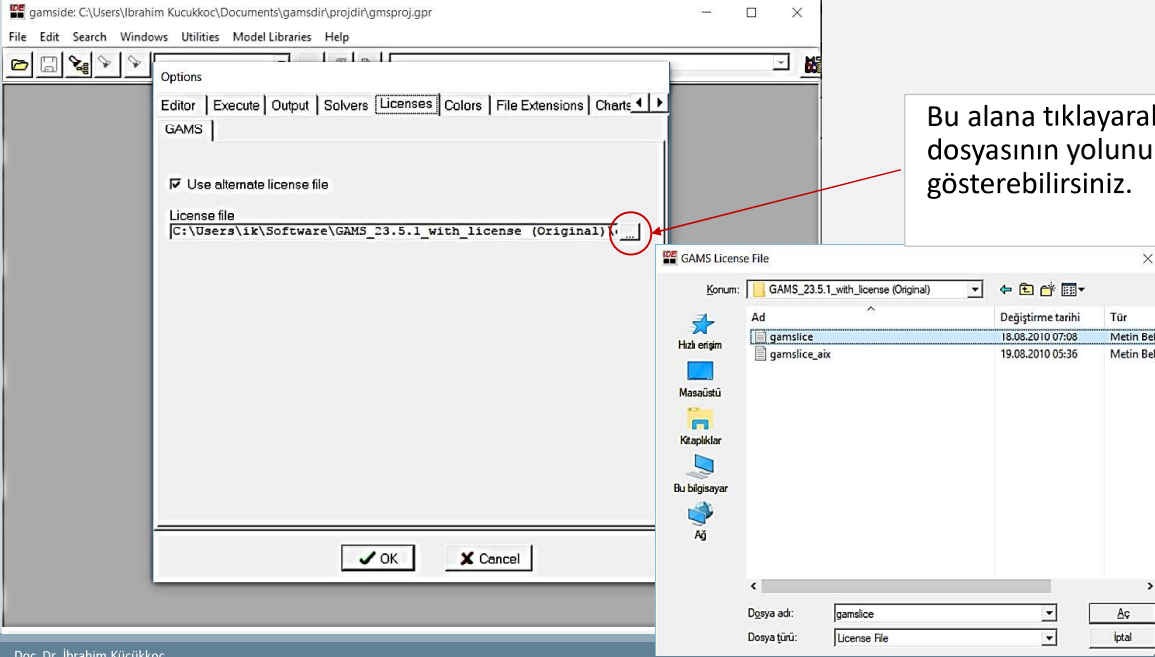
GAMS Kurulumu



Ürününüzü kurarken lisanslamayı unuttuysanız veya başka bir teknik sebeple lisanslanma başarısız olduysa,

"FILE" menüsünden "Options" yolunu izleyerek yeniden lisans dosyanızı tanıtabilirsiniz.

GAMS Kurulumu

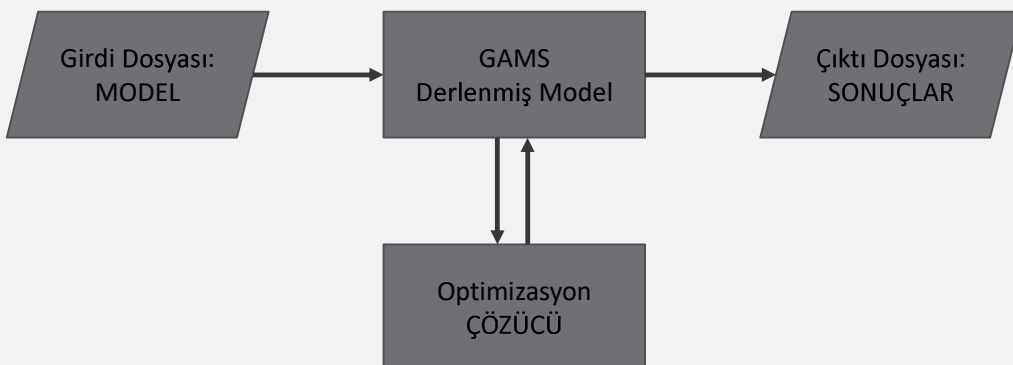


GAMS Nedir?

GAMS (The General Algebraic Modeling System) matematiksel programlama ve optimizasyon için tasarlanan yüksek seviyeli bir dildir.

Doğrusal, Doğrusal Olmayan, Karma Tamsayıli optimizasyon problemleri modellenebilir.

Büyük, karmaşık problemler modellenebilir.



GAMS – Örnek 1

Ürün 1 ve ürün 2 olmak üzere 2 farklı ürün imal eden bir firmanın aşağıdaki doğrusal programlama modelini ele aldığımızı varsayalım.

$$\text{Max } Z = 4x_1 + 5x_2$$

$$x_1 + x_2 \leq 60 \quad (\text{I. Numaralı kısıt})$$

$$x_1 - 2x_2 \leq 40 \quad (\text{II. Numaralı kısıt})$$

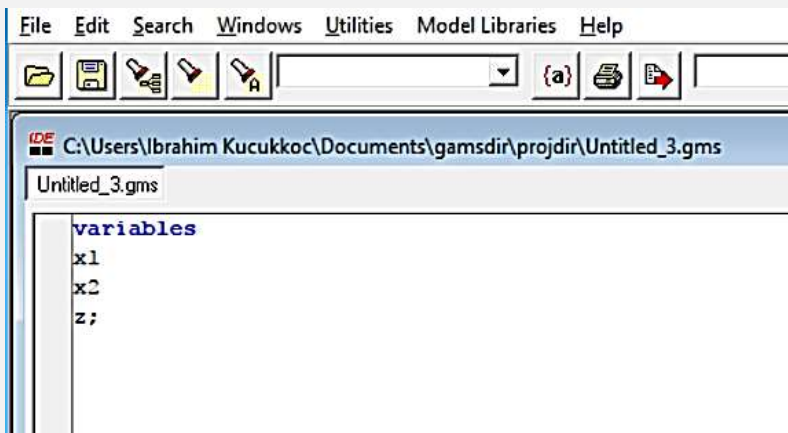
$$x_1 - x_2 \geq 0 \quad (\text{III. Numaralı kısıt})$$

$$x_2 \leq 20 \quad (\text{IV. Numaralı kısıt})$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

GAMS – Örnek 1

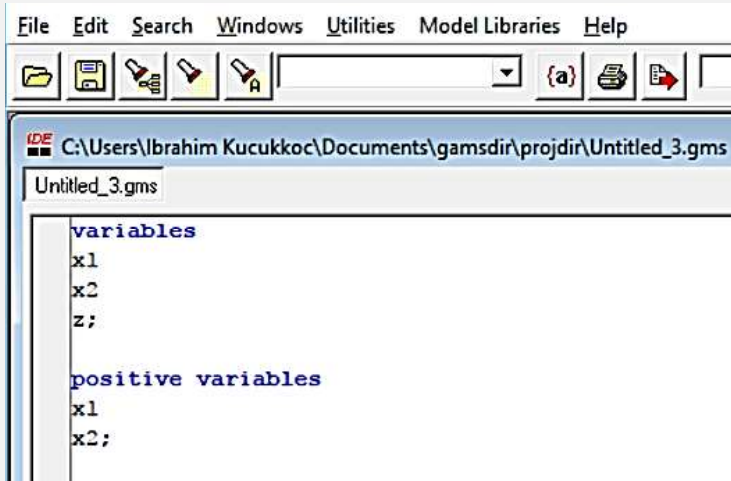
Bu modeli GAMS ile modelleyebilmek için önce değişkenlerimizi tanımlamalıyız.



```
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
[Icons] [a] [Print] [Save]
IDE C:\Users\İbrahim Kucukkoc\Documents\gamsdir\projdir\Untitled_3.gms
Untitled_3.gms
variables
x1
x2
z;
```


GAMS – Örnek 1

Tanımladığımız x_1 ve x_2 değişkenlerinin pozitif olması gereklidir.

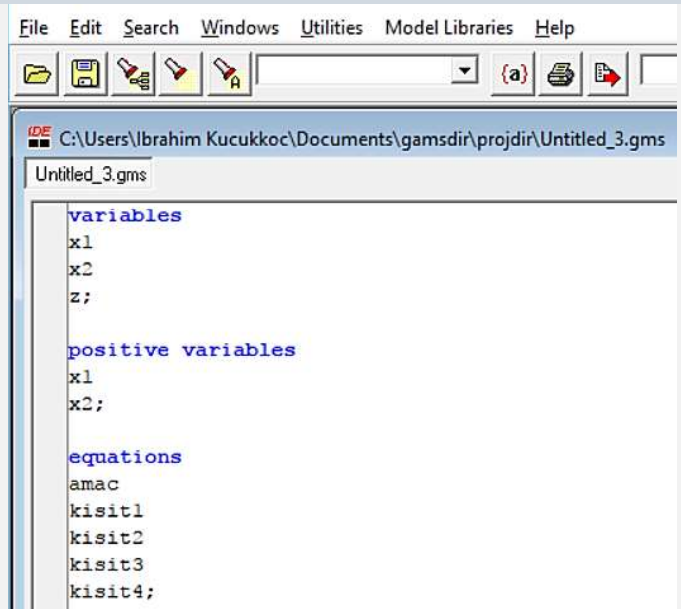


```
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
[Icons] [a] [Print] [Save]
IDE C:\Users\Ibrahim Kucukkoc\Documents\gamsdir\projdir\Untitled_3.gms
Untitled_3.gms
variables
x1
x2
z;
positive variables
x1
x2;
```

GAMS – Örnek 1

Daha sonra amaç fonksiyonu ve kısıtları tanımlarız.

Gams kullanırken dikkat etmemiz gereken husus kullanacağımız tüm denklem ve eşitsizlikleri önceden tanımlamamız gerektiğidir.



```
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
[Icons] [a] [Print] [Save]
IDE C:\Users\Ibrahim Kucukkoc\Documents\gamsdir\projdir\Untitled_3.gms
Untitled_3.gms
variables
x1
x2
z;
positive variables
x1
x2;
equations
amac
kisit1
kisit2
kisit3
kisit4;
```

GAMS – Örnek 1

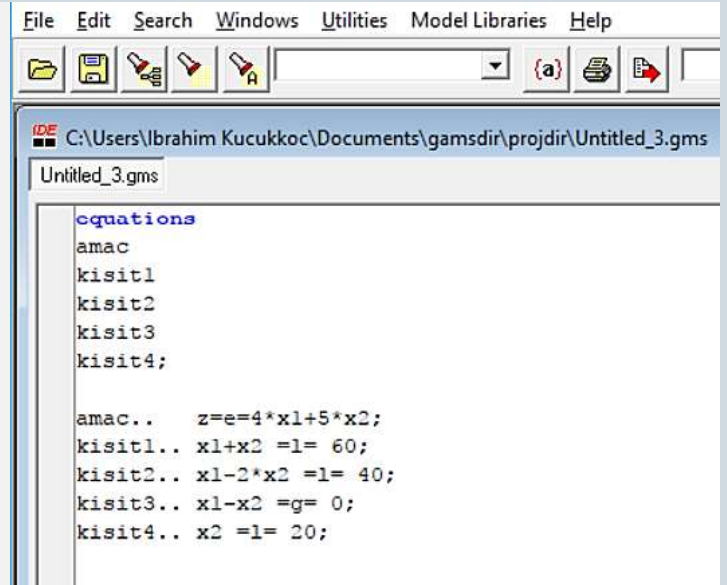
Denklem ve eşitsizlikleri tanımladıktan sonra amaç fonksiyonumuzu ve eşitsizliklerimizi yazmaya başlayabiliriz.

GAMS'de ilişkiyel operatörler aşağıdaki şekilde tanımlanır.

= için = e =

≤ için = l =

≥ için = g =



```
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
C:\Users\Ibrahim Kucukkoc\Documents\gamsdir\projdir\Untitled_3.gms
Untitled_3.gms
equations
amac
kisit1
kisit2
kisit3
kisit4;

amac.. z=e*4*x1+5*x2;
kisit1.. x1+x2 =l= 60;
kisit2.. x1-2*x2 =l= 40;
kisit3.. x1-x2 =g= 0;
kisit4.. x2 =l= 20;
```

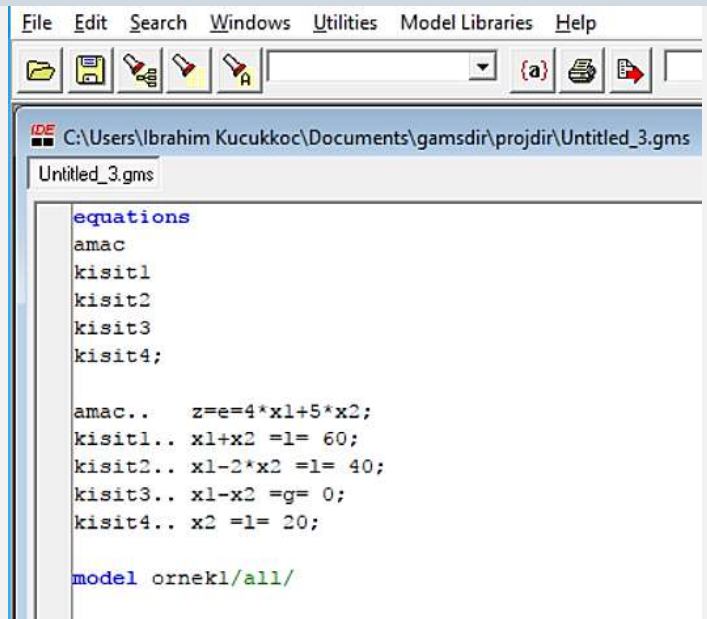
GAMS – Örnek 1

Modelimizi GAMS'de tanımladıktan sonra modelin çözümü için gerekli komutları vermemiz gereklidir.

Bunun için öncelikle modelimize bir isim vermeliyiz.

Örneğimizin adı "ornek1" olursa yandaki gibi modelimizin oluşturulması sağlanabilir.

model ornek1/all/



```
File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help
C:\Users\Ibrahim Kucukkoc\Documents\gamsdir\projdir\Untitled_3.gms
Untitled_3.gms
equations
amac
kisit1
kisit2
kisit3
kisit4;

amac.. z=e*4*x1+5*x2;
kisit1.. x1+x2 =l= 60;
kisit2.. x1-2*x2 =l= 40;
kisit3.. x1-x2 =g= 0;
kisit4.. x2 =l= 20;

model ornek1/all/
```


GAMS – Örnek 1

- Bu komut gereksiz gibi gözükse de aslında ileri seviyede, bir GAMS modeli üstünden bir çok model çalıştırmak isteyen kullanıcılar için çok kullanışlıdır.
- “/all/” ifadesindeki “/” işareti ile sınırlandırılan alana, modele dahil edilmesi istenen denklem ve kısıtlar yazılarak model sınırlandırılabilir.
- Bu özellik, aynı zamanda her fonksiyonun önce neden tanımlanması gerektiğini açıklamaktadır.
- Biz modelimizde tüm kısıtları kullanmak istediğimiz için “all” (tümü) komutunu kullanacağız.

GAMS – Örnek 1

- Son olarak modeli çözmek için “solve” komutu çağrılır.
- Bu komutun yapısı aşağıda verilen yapıya uygun olarak oluşturulmalıdır.
 1. “Solve” komutu
 2. Çözülme istenen modelin adı
 3. “using” komutu, bu komut kullanmak istediğimiz yöntemi seçim şansı sunar.

```
IDE C:\Users\Ibrahim Kucukkoc\Documents\gamsdir\projdir\Untitled_3.gms
Untitled_3.gms
equations
amac
kisit1
kisit2
kisit3
kisit4;

amac.. z=e=4*x1+5*x2;
kisit1.. x1+x2 =l= 60;
kisit2.. x1-2*x2 =l= 40;
kisit3.. x1-x2 =g= 0;
kisit4.. x2 =l= 20;

model ornek1/all/

solve ornek1 using lp maximizing z;
```

GAMS – Örnek 1

4. Çözüm yöntemi; çözüm yönteminin model yapısına uygun seçilmesi gerekmektedir. GAMS içinde bulunan bazı yöntemler şunlardır.

“lp” doğrusal programlama

“nlp” doğrusal olmayan programlama

“mip” tamsayılı programlama

“rmip” genişletilmiş tamsayılı programlama

“minlp” tamsayılı, doğrusal olmayan programlama

“rminlp” genişletilmiş tamsayılı, doğrusal olmayan programlama

“mpec” denge kısıtlı matematiksel modeller

“cns” kısıtlanmış nonlinear sistemler

GAMS – Örnek 1

5. Amacınıza göre “**minimizing**” veya “**maximizing**” komutu

6. Optimize edilmek istenen değişkenin adı (bu örnekte “**z**”)

W2Örnek1.gms

Kodun Tamamı:

variables

x1
x2
z;

positive variables

x1
x2;

equations

amac
kisit1
kisit2
kisit3
kisit4;

amac.. z=e*4*x1+5*x2;
kisit1.. x1+x2 =l= 60;
kisit2.. x1-2*x2 =l= 40;
kisit3.. x1-x2 =g= 0;
kisit4.. x2 =l= 20;

model ornek1/all/

solve ornek1 using lp maximizing z;

gamside: C:\Users\Ibrahim Kucukko\Documents\gamsdir\projdir\gmsproj.gpr

File Edit Search Windows Utilities Model Libraries Help

CAUsers\Ibrahim Kucukko\Documents\gamsdir\projdir\W1Ornek1.lst

W1Ornek1.gms Untitled_3.gms Untitled_4.gms Untitled_5.lst W1Ornek1.lst

Compilation
Equation Listing SOLVE ornek1 Using L
Equation
Column Listing SOLVE ornek1 Using L
Column
Model Statistics SOLVE ornek1 Using L
Solution Report SOLVE ornek1 Using L
SolEQU
SolVAR

S O L V E S U M M A R Y

MODEL ornek1 OBJECTIVE z
TYPE LP DIRECTION MAXIMIZE
SOLVER CPLEX FROM LINE 25

**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion
**** MODEL STATUS 1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE 260.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT 0.003 1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT 1 2000000000

IBM ILOG CPLEX Jul 4, 2010 23.5.1 WIN 18414.18495 VS8 x86/MS Windows
Cplex 12.2.0.0, GAMS Link 34

LP status(1): optimal
Optimal solution found.
Objective : 260.000000

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- EQU amac	.	.	.	1.000
---- EQU kisit1	-INF	60.000	60.000	4.000
---- EQU kisit2	-INF	.	40.000	.
---- EQU kisit3	.	20.000	+INF	.
---- EQU kisit4	-INF	20.000	20.000	1.000
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR x1	.	40.000	+INF	.
---- VAR x2	.	20.000	+INF	.
---- VAR z	-INF	260.000	+INF	.

untitled_4 | untitled_5 | w1ornek1 |

--- W1Ornek1.gms (25) 3 Mb
--- 5 rows 3 columns 10 non-zeroes
--- Executing CPLEX: elapsed 0:00:00.077

IBM ILOG CPLEX Jul 4, 2010 23.5.1 WIN 18414.18495 VS8
Cplex 12.2.0.0, GAMS Link 34

Reading data...
Starting Cplex...
Tried aggregator 1 time.
LP Presolve eliminated 2 rows and 1 columns.
Reduced LP has 3 rows, 2 columns, and 6 nonzeros.
Presolve time = 0.00 sec.

Iteration	Dual Objective	In Variable
1	I	0.000000
		x1

LP status(1): optimal

Optimal solution found.
Objective : 260.000000

--- Restarting execution
--- W1Ornek1.gms (25) 0 Mb
--- Reading solution for model ornek1
*** Status: Normal completion
--- Job W1Ornek1.gms Stop 02/07/18 19:07:42 elapsed 0:00:00

Close Open Log Summary only Update

1:1

Örnek 2

ABC firması, standart ve lüks bilgisayar olarak adlandırdığı iki tip bilgisayar üretmektedir.

Standart bilgisayarlar için normal kapasiteli, lüks bilgisayarlar içinse yüksek kapasiteli sabit disk (SD) kullanılmaktadır. Ayrıca standart bilgisayarlarda bir adet, lüks bilgisayarlarda iki adet RAM vardır.

Firma, standart bilgisayar başına \$30, lüks bilgisayar başına \$50 kar etmektedir.

Bir ayda en çok 60 adet normal kapasiteli SD, 50 adet yüksek kapasiteli SD ve 120 adet RAM kullanılabilir.

Firma, stok değerlerini aşmayacak şekilde iki tip bilgisayardan ayda kaç adet üretmesi durumunda kar maksimize edilecektir?

Firmanın aylık standart bilgisayar üretim miktarı X_s , aylık lüks bilgisayar üretimi X_l ile gösterilirse; amaç karı maksimize etmek olduğundan amaç fonksiyonu:

$$\text{Max: } 30X_s + 50X_l$$

Kısıtlar:

$$X_s \leq 60$$

$$X_l \leq 50$$

$$X_s + 2X_l \leq 120$$

$$X_s, X_l \geq 0$$

W3Ornek2.gms

```

variables
xs, xl
z;

positive variables
xs, xl;

equations
amac
kisit1
kisit2
kisit3
;

amac.. z =e= 30*xs+50*xl;
kisit1.. xs =l= 60;
kisit2.. xl =l= 50;
kisit3.. xs + 2*xl =l= 120;

model ornek3 /all/;
solve ornek3 using lp maximizing z;
    
```

```

Reading data...
Starting Cplex...
Tried aggregator 1 time.
LP Presolve eliminated 3 rows and 1 columns.
Reduced LP has 1 rows, 2 columns, and 2 nonzeros.
Presolve time = 0.00 sec.
    
```

Iteration	Dual Objective	In Variable
1	3300.000000	xl

LP status(1): optimal

Optimal solution found.
Objective : 3300.000000

S O L V E S U M M A R Y

MODEL	ornek3	OBJECTIVE	z
TYPE	LP	DIRECTION	MAXIMIZE
SOLVER	CPLEX	FROM LINE	21

```

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE          3300.0000
    
```

RESOURCE USAGE, LIMIT	0.035	1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT	1	2000000000

LP status(1): optimal
Optimal solution found.
Objective : 3300.000000

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- EQU amac	.	.	.	1.000
---- EQU kisit1	-INF	60.000	60.000	5.000
---- EQU kisit2	-INF	30.000	50.000	.
---- EQU kisit3	-INF	120.000	120.000	25.000

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR xs	.	60.000	+INF	.
---- VAR xl	.	30.000	+INF	.
---- VAR z	-INF	3300.000	+INF	.

Ödev 1

Aşağıdaki problemi GAMS ile çözünüz.

$$\max P = 20x_1 + 10x_2 + 15x_3$$

Subject to

$$3x_1 + 2x_2 + 5x_3 \leq 55$$

$$2x_1 + x_2 + x_3 \leq 26$$

$$x_1 + x_2 + 3x_3 \leq 30$$

$$5x_1 + 2x_2 + 4x_3 \leq 57$$

$$x_1, x_2, x_3 \geq 0$$

Bir GAMS Modelinin Temel Bileşenleri

Inputs:

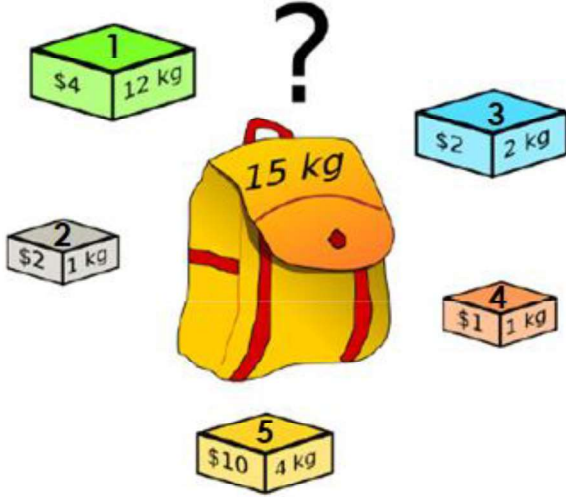
- **Sets**
 - Declaration
 - Assignment of members
- **Data (Parameters, Tables, Scalars)**
 - Declaration
 - Assignment of values
- **Variables**
 - Declaration
 - Assignment of type
- Assignment of bounds and/or initial values (optional)
- **Equations**
 - Declaration
 - Definition
- **Model and Solve statements**
- **Display statement (optional)**

Outputs:

- Echo Print
- Reference Maps
- Equation Listings
- Status Reports
- Results

Sırt Çantası (Knapsack) Problemi Örneği

Sırt çantası (knapsack) problemi, sınırlı olarak verilen kapasite kısıtını sağlarken faydayı maksimize etmeye çalışma problemidir.



n : eşya sayısı ($i = 1, 2, \dots, n$)
 w_{e_i} : i eşyasının ağırlığı (kg)
 v_i : i eşyasının faydası (\$)
 W : Çantanın kapasitesi (kg)
 X_i : 1, eğer i eşyası alınmışsa; 0, alınmamışsa

$$\max \sum_i v_i * X_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$\text{Kapasite Kısıtı: } \sum_i w_{e_i} * X_i \leq W$$

$$\text{İşaret Kısıtı: } X_i \in \{0, 1\}$$

```
set
  i eşya numarası /1*5/
;
* i eşya numarası /1,2,3,4,5/

parameters
  we(i) eşya ağırlığı
  /1 12
  2 1
  3 2
  4 1
  5 4/

  v(i) eşyanın değeri
  /1 4
  2 2
  3 2
  4 1
  5 10/
;

scalar W çanta kapasitesi /15/;
```

```
variables
  X(i) karar değişkeni
  Z amaç fonk
;

binary variables
  X(i)
;

equations
  amac
  kisitl
;

amac.. Z =e= sum(i, v(i)*X(i));
kisitl.. sum(i, we(i)*X(i)) =l= W;

model knapsack /all/;
solve knapsack using mip maximizing Z;
```


Sum kullanmadan yapılmak istenirse, amaç fonksiyonu ve kısıt aşağıdaki şekilde de tanımlanabilir:

```

equations
amac
kisit1
;

amac.. Z =e= v("1")*X('1')+v("2")*X('2')+v("3")*X('3')+v("4")*X('4')+v("5")*X('5');
kisit1.. we("1")*X('1')+we("2")*X('2')+we("3")*X('3')+we("4")*X('4')+we("5")*X('5') =l= W;

model knapsack /all/;
solve knapsack using mip maximizing Z;

```

```

          S O L V E      S U M M A R Y

MODEL   knapsack          OBJECTIVE  Z
TYPE    MIP              DIRECTION  MAXIMIZE
SOLVER  CPLEX            FROM LINE 42

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS       1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE    15.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT    0.056      1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT   1          2000000000

```

Görüleceği üzere X2, X3, X4 ve X5 karar değişkenleri 1 değerini almışlardır.

Bu durumda amaç fonksiyonu değeri \$15 olmuştur.
Çanta ağırlığı da 8 kg'dır.

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- EQU amac	.	.	.	1.000
---- EQU kisit1	-INF	8.000	15.000	.
---- VAR X karar değişkeni				
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	.	.	1.000	4.000
2	.	1.000	1.000	2.000
3	.	1.000	1.000	2.000
4	.	1.000	1.000	1.000
5	.	1.000	1.000	10.000
---- VAR Z				
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR Z	-INF	15.000	+INF	.

Z amaç fonk

Bütçe Kısıtlı Proje Seçimi

Bir şirket gelecek yıl için sekiz olası proje yatırımını değerlendirmektedir. Her bir projenin beklenen getirisi ve her bir proje için yapılması gereken başlangıç yatırımı tabloda verilmiştir. Bütçeyi (\$1.5 milyon) aşmayarak karı maksimize edecek şekilde hangi projelerin yatırıma dahil edilmesi gerektiğine karar veriniz.

Proje No	Beklenen Getiri	Başlangıç Yatırımı
1	\$500.000	\$425.000
2	\$750.000	\$450.000
3	\$1.000.000	\$550.000
4	\$600.000	\$300.000
5	\$500.000	\$150.000
6	\$500.000	\$250.000
7	\$450.000	\$350.000
8	\$500.000	\$325.000

```
*Bütçe Kısıtlı Proje Seçimi
sets
  i yatırım numarası /1*8/
;

parameters
  g(i) beklenen getirisi
  /1 500
  2 750
  3 1000
  4 600
  5 500
  6 500
  7 450
  8 500/

  y(i) başlangıç yatırımı
  /1 425
  2 450
  3 550
  4 300
  5 150
  6 250
  7 350
  8 325/
;
```

```
scalar B bütçe /1500/;

variable
  x(i) eğer i projesine yatırım yapılmışsa 1 değilse 0
  z amaç fonk değeri
;

binary variable
  x(i)
;

equations
  amac
  kisit bütçe yatırımı
;

amac.. z=e=sum(i, x(i)*(g(i)-y(i)));
kisit.. sum(i, x(i)*y(i)) =l= B;

model butce /all/;
solve butce using mip maximizing z;
```


S O L V E S U M M A R Y

MODEL butce OBJECTIVE z
 TYPE MIP DIRECTION MAXIMIZE
 SOLVER CPLEX FROM LINE 49

**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion
 **** MODEL STATUS 8 Integer Solution
 **** OBJECTIVE VALUE 1400.0000

MIP Solution: 1400.000000 (1 iterations, 0 nodes)
 Final Solve: 1400.000000 (0 iterations)

Best possible: 1516.666667
 Absolute gap: 116.666667
 Relative gap: 0.083333

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- EQU amac . . . 1.000
 ---- EQU kisit -INF 1450.000 1500.000 .

kisit bütçe yatırımı

---- VAR x eğer i projesine yatırım yapılmışsa 1 değilse 0

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	.	.	1.000	75.000
2	.	1.000	1.000	300.000
3	.	1.000	1.000	450.000
4	.	1.000	1.000	300.000
5	.	1.000	1.000	350.000
6	.	.	1.000	250.000
7	.	.	1.000	100.000
8	.	.	1.000	175.000

Doç. Dr. İbrahim Küçükoc

Probleme aşağıdaki gibi yeni bir kısıt daha ekleyelim:
 - İlk dört projeye yapılabilecek yatırım tutarı \$1milyon'u aşamaz.

W4Yatirim2.gms

```
*Bütçe Kısıtlı Proje Seçimi
*Yeni Kısıt: İlk dört projeye yapılacak yatırım tutarı 1000 ($K)'ı geçemez!
sets
i yatırım numarası /1*8/;

parameters
g(i) beklenen getiri ($K)
/1 500
2 750
3 1000
4 600
5 500
6 500
7 450
8 500/

y(i) başlangıç yatırımı ($K)
/1 425
2 450
3 550
4 300
5 150
6 250
7 350
8 325/;
```

```
scalar B bütçe ($K) /1500/;
scalar V ilk dört proje için bütçe /1000/;

variable
x(i) eğer i projesine yatırım yapılmışsa 1 değilse 0
z amaç fonk değeri
;

binary variable
x(i)
;

equations
amac
kisit toplam bütçe kısıtı
kisit2 ilk dört proje için bütçe kısıtı
;

amac.. z=e=sum(i, x(i)*(g(i)-y(i)));
kisit.. sum(i, x(i)*y(i)) =l= B;
^kisit2.. x('1')*y('1')+ x('2')*y('2')+x('3')*y('3')+x('4')*y('4') =l= V;
kisit2.. sum(i$(ord(i)<=4), x(i)*y(i)) =l= V;

model butce /all/;
solve butce using mip maximizing z;
```

S O L V E S U M M A R Y

MODEL butce OBJECTIVE z
 TYPE MIP DIRECTION MAXIMIZE
 SOLVER CPLEX FROM LINE 52

**** SOLVER STATUS 1 Normal Completion
 **** MODEL STATUS 8 Integer Solution
 **** OBJECTIVE VALUE 1350.0000

MIP Solution: 1350.000000 (2 iterations, 0 nodes)
 Final Solve: 1350.000000 (0 iterations)
 Best possible: 1484.615385
 Absolute gap: 134.615385
 Relative gap: 0.099715

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

---- EQU amac . . . 1.000
 ---- EQU kisit -INF 1250.000 1500.000 .
 ---- EQU kisit2 -INF 850.000 1000.000 .

kisit toplam bütçe kısıtı
 kisit2 ilk dört proje için bütçe kısıtı

---- VAR x eğer i projesine yatırım yapılmışsa 1 değilse 0

LOWER LEVEL UPPER MARGINAL

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	.	.	1.000	75.000
2	.	.	1.000	300.000
3	.	1.000	1.000	450.000
4	.	1.000	1.000	300.000
5	.	1.000	1.000	350.000
6	.	1.000	1.000	250.000
7	.	.	1.000	100.000
8	.	.	1.000	175.000

Ahşap Üretim Problemi

Dört tip ahşap panelin (A, B, C, D) üretildiği bir sistemi ele alalım. Her ahşap panel, çam ve meşe talaşlarının farklı miktarlarda karıştırılıp yapıştırılması ve preslenmesi sonucu oluşmaktadır.

Aşağıdaki tablo, değişik panel tipleri için bir palet panel üretiminde kullanılması gereken kaynak miktarlarını göstermektedir.

Her Bir Palet İçin Gerekli Kaynak Miktarı

	A	B	C	D
Yapıştırıcı (litre) – $y(i)$	50	50	100	50
Sıkıştırma (saat) – $s(i)$	5	15	10	5
Çam Talaşı (kg) – $c(i)$	500	400	300	200
Meşe Talaşı (kg) – $m(i)$	500	750	250	500

Eldeki (mevcut) kaynak miktarları şu şekildedir:

5800 litre yapıştırıcı (Y)

730 saat sıkıştırma kapasitesi (S)

29200 kg çam talaşı (C)

60500 kg meşe talaşı (M)

Her bir palet A, B, C ve D paneli sırasıyla \$450, \$1150, \$800 ve \$400 dolara satılmaktadır.

Firma karını maksimize etmek için her bir panel tipinden kaç palet üretmelidir?

Öncelikle problem matematiksel model olarak ifade edilmelidir.

Karar değişkenleri A, B, C ve D modellerinin üretim miktarlarıdır.

Bunlar sırasıyla X_1 , X_2 , X_3 ve X_4 olarak düşünülürse amaç fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\text{Max } Z = 450X_1 + 1150X_2 + 800X_3 + 400X_4$$

Kaynak kullanımına ilişkin kısıtlar aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$50X_1 + 50X_2 + 100X_3 + 50X_4 \leq 5800 \text{ (yapıştırıcı)}$$

$$5X_1 + 15X_2 + 10X_3 + 5X_4 \leq 730 \text{ (sıkıştırma)}$$

$$500X_1 + 400X_2 + 300X_3 + 200X_4 \leq 29200 \text{ (çam)}$$

$$500X_1 + 750X_2 + 250X_3 + 500X_4 \leq 60500 \text{ (meşe)}$$

Herhangi bir panelin üretim miktarı 0'dan küçük olamayacağı için:

$$X_1, X_2, X_3, X_4 \geq 0$$

```

variables
x1, x2, x3, x4
z;

positive variables
x1, x2, x3, x4;

equations
amac
kisit1
kisit2
kisit3
kisit4
;

amac..  z =e= 450*x1+1150*x2+800*x3+400*x4;
kisit1.. 50*x1 + 50*x2 + 100*x3 + 50*x4 =l= 5800;
kisit2.. 5*x1 + 15*x2 + 10*x3 + 5*x4 =l= 730;
kisit3.. 500*x1 + 400*x2 + 300*x3 + 200*x4 =l= 29200;
kisit4.. 500*x1 + 750*x2 + 250*x3 + 500*x4 =l= 60500;

model ornek3 /all/;
solve ornek3 using lp maximizing z;

```

```

          S O L V E      S U M M A R Y

MODEL   ornek3           OBJECTIVE   z
TYPE    LP              DIRECTION  MAXIMIZE
SOLVER  CPLEX           FROM LINE 23

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE    58800.0000

RESOURCE USAGE, LIMIT      0.005      1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT    4          20000000000

```

```

LP status(1): optimal
Optimal solution found.
Objective :      58800.000000

```

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- EQU amac	.	.	.	1.000
---- EQU kisit1	-INF	5800.000	5800.000	0.429
---- EQU kisit2	-INF	730.000	730.000	71.429
---- EQU kisit3	-INF	29200.000	29200.000	0.143
---- EQU kisit4	-INF	32500.000	60500.000	.
	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR x1	.	23.000	+INF	.
---- VAR x2	.	15.000	+INF	.
---- VAR x3	.	39.000	+INF	.
---- VAR x4	.	.	+INF	-7.143
---- VAR z	-INF	58800.000	+INF	.

Modeli bu şekilde açık olarak yazmak doğru olmasına rağmen, bu yaklaşım kullanıldığında büyük kapsamlı modellerin yazılmasında problemler çıkabilir. Bu sebeple yazım üstünde bazı değişiklikler yapılabilir.

Modelde verilen dört karar değişkeninin ayrı ayrı tanımlanmasına gerek yoktur. Bunun yerine bir x değişkeni tanımlanıp, dört ayrı **indis** atanabilir.

GAMS modellerinde indislerin “**set**” komutu ile tanımlanabileceği gösterilmiştir.

set i /1, 2, 3, 4/

Bu komut aynı sonucu verecek şekilde aşağıdaki gibi de yazılabilir:

set i /1*4/

Ayrıca parametreler ve scalar değerler de kullanılabilir.

Bu model kapalı formda aşağıdaki şekilde yazılabilir:

Amaç Fonksiyonu:

$$\max Z = \sum_{i \in I} p_i X_i$$

Kısıtlar:

$$\sum_{i \in I} y_i X_i \leq Y$$

$$\sum_{i \in I} s_i X_i \leq S$$

$$\sum_{i \in I} c_i X_i \leq C$$

$$\sum_{i \in I} m_i X_i \leq M$$

$$X_i \geq 0, \quad \forall i \in I$$

Notasyon:

I : Ürün kümesi (A, B, C, D)

p_i : Bir palet i ürünü satışından elde edilecek gelir

y_i : Bir palet i ürünü için gerekli yapıştırıcı miktarı

s_i : Bir palet i ürünü için gerekli sıkıştırma kapasitesi kullanım miktarı

c_i : Bir palet i ürünü için gerekli çam talaşı miktarı

m_i : Bir palet i ürünü için gerekli meşe talaşı miktarı

X_i : i ürününden üretilecek miktar (palet)

Y : Mevcut yapıştırıcı kapasitesi

S : Mevcut sıkıştırma kapasitesi

C : Mevcut çam talaşı kapasitesi

M : Mevcut meşe talaşı kapasitesi

```

sets
i /1*4/

variables
x(i)
z;

positive variables
x(i);

parameters
y(i) yapıştırıcı
/ 1 50
  2 50
  3 100
  4 50/

s(i) yapıştırıcı
/ 1 5
  2 15
  3 10
  4 5/

c(i) yapıştırıcı
/ 1 500
  2 400
  3 300
  4 200/

m(i) yapıştırıcı
/ 1 500
  2 750
  3 250
  4 500/

p(i) yapıştırıcı
/ 1 450
  2 1150
  3 800
  4 400/
;

scalars
YK /5800/
SK /730/
CK /29200/
MK /60500/
;

equations
amac
kisit1
kisit2
kisit3
kisit4
;

amac.. z =e= sum(i, p(i)*x(i));
kisit1.. sum(i, y(i)*x(i)) =l= YK;
kisit2.. sum(i, s(i)*x(i)) =l= SK;
kisit3.. sum(i, c(i)*x(i)) =l= CK;
kisit4.. sum(i, m(i)*x(i)) =l= MK;

model ornek3 /all/;
solve ornek3 using lp maximizing z;

```

S O L V E S U M M A R Y

```

MODEL   ornek3           OBJECTIVE  z
TYPE    LP               DIRECTION  MAXIMIZE
SOLVER  CPLEX           FROM LINE  65

```

```

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE    58800.0000

```

```

RESOURCE USAGE, LIMIT    0.003    1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT  4    2000000000

```

```

LP status(1): optimal
Optimal solution found.
Objective :      58800.000000

```

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- EQU amac	.	.	.	1.000
---- EQU kisit1	-INF	5800.000	5800.000	0.429
---- EQU kisit2	-INF	730.000	730.000	71.429
---- EQU kisit3	-INF	29200.000	29200.000	0.143
---- EQU kisit4	-INF	32500.000	60500.000	.

```

---- VAR x

```

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
1	.	23.000	+INF	.
2	.	15.000	+INF	.
3	.	39.000	+INF	.
4	.	.	+INF	-7.143

	LOWER	LEVEL	UPPER	MARGINAL
---- VAR z	-INF	58800.000	+INF	.

The Balancing Act: An Example of Line Balancing

Simulation expert Brian Harrington explains the key steps every Industrial Engineer should take when considering Line Balancing, and simulation can take your analysis to the next level.

Written By: **Brian Harrington**

About the Author

Brian Harrington is a Six Sigma Black Belt with 20 years operations research and simulation experience at Ford Motor Company. He designs and implements manufacturing process improvements which incorporate many conflicting objectives such as robust, flexible, and Lean systems.

Simulation expert Brian Harrington discusses how simulation can play a key part in the successful completion of a manufacturing project when the conflicting objectives of cost, quality and time all need to be delivered on.

This paper outlines the key steps to take when starting out a Line Balancing project and is an ideal guide for an Industrial Engineer. The paper focuses on why simulation is a key tool to take the project to the next level.

Line Balancing is challenging, particularly when we are limited to deterministic calculations. When designing a new line with deterministic calculations we can only approximate behaviors rather than have exact data. With so many different and potentially conflicting requirements on the system, the outcomes of a new process design, or re-design, may be difficult to predict.

Simulation can create a well-balanced line that has the flexibility to hit targeted throughput consistently. With a simple simulation of the line assembly operations we can identify system bottlenecks, run different production schedules, and evaluate the impact of design and scheduling decisions, such as buffering requirements and product mix. This “what-if” analysis can be done quickly and accurately to evaluate all the conflicting decision criteria.

The key Line Balancing steps we will focus on are:

- ① The Core Essentials**
- ② Going Beyond with Simulation**

1

The Core Essentials

When designing and managing a mixed-model line-assembly, system engineers strive to satisfy objectives such as maximizing line throughput, minimizing the number of stations, maintaining a balance of work across stations, satisfying delivery rates, accommodating product mix changes, and more. Before we move on to the more complex steps it is important to understand how many stations are required and how we assign tasks to those stations.

Key learning points:

- ➔ Determining how many stations are needed
- ➔ Assigning tasks to stations

How many stations do I need?

One of the first questions when designing a new facility or line will be; “How many stations are required? The answer is a simple calculation derived from the “Takt Time” and the “Total Task Cycle Time”. The takt time is a calculation for what is required to meet demand.

Takt time = Available working Time/ Customer Demand

In this example let's say that our target is to produce 500 units per day within an 8 hour shift. Therefore, the Takt Time would be as follows:

Takt Time = 480 minutes / 500 units = 0.96 minutes = 57.6 seconds

Each station should at least have a 57.6 second design cycle time to meet market demand of 500 units. In order to know how many stations are required we need to know some detailed insight into the underlying product, bill of material, and bill of process. This is how we can establish the required tasks to assemble the product. Let's assume that this new line has 12 required steps to complete the assembly.

The steps have been labeled [A-L] and each have a unique cycle time associated to that specific task. These cycle times could have been captured using MODAPTS or actual stop watch calculations. We now have the two key pieces of information to calculate the required number of stations. The number of stations is simply calculated by the below equation.

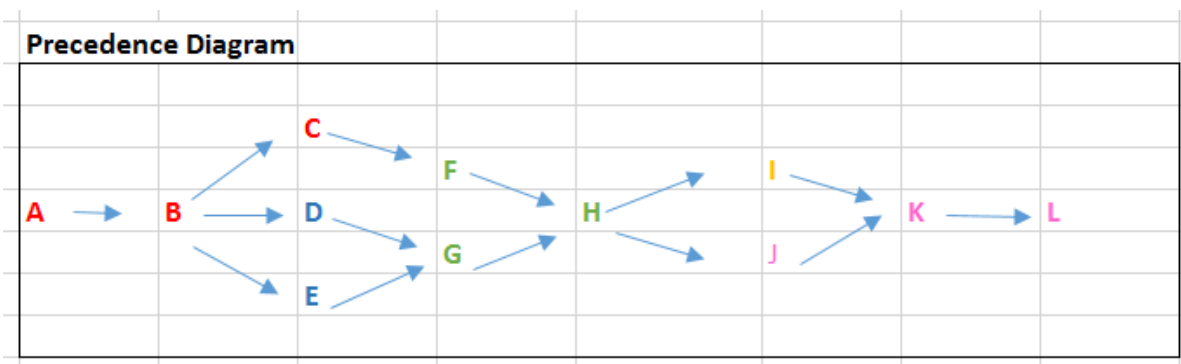
Task	Task Time (Seconds)
A	15
B	23
C	17
D	42
E	15
F	37
G	5
H	12
I	34
J	27
K	18
L	7
Total Time	252

Number of Stations = Total task Cycle Time / Takt Time

Assigning tasks to stations

Now we have 12 tasks that need to be accomplished within 5 stations it becomes a question of which tasks to include within a specific station. This is where the “Bill of Process” comes in; we need to know some information of the precedence or the order of the tasks. Certain tasks must be completed prior to taking action on other tasks. The “Bill of Process” is where each step or task is described to assemble the unit. It should clearly demonstrate the order of steps, including synchronous and simultaneous tasks. This is often captured in a “Precedence Diagram”.

A Precedence Diagram is a lot like a process flow diagram; with shapes and arrows describing significant and critical steps within assembly of the product or service. In our example we will assume that we have been supplied with the following Precedence Diagram for our 12 tasks (A-L):



This clearly shows that task A must be completed before task B can be started. It also shows that that tasks C, D, and E can be started simultaneously after task B has been completed. Moreover, both tasks F and G must be completed before task H can start. We can now add a Precedence column to our initial Task Table:

Given the precedence we can now start assigning tasks to stations. One common approach is to use a “Task Assignment Table”. This table will look at all eligible tasks to be included within a station, and keeping track of the accumulated cycle time within the station. A common scheme is to start in the order of the precedence diagram and seek the longest cycle time.

Task	Task Time (Seconds)	Precedence
A	15	
B	23	A
C	17	B
D	42	B
E	15	B
F	37	C
G	5	D, E
H	12	F, G
I	34	H
J	27	H
K	18	I, J
L	7	K
Total Time	252	

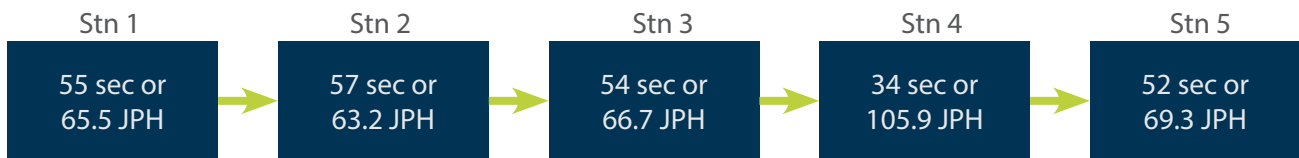
We start out with Station 1; the only eligible task is Task A. We then assign Task A using its 15 second cycle time. The remaining time left within the station is the Takt Time minus the assigned task; [57.6 seconds – 15 seconds] = 42.6 seconds. Therefore, we have 42.6 seconds remaining in Station 1 to assign additional tasks. The only qualified task is Task B, so we then assign Task B with its 23 second cycle time to Station 1. We now have a remaining time of 19.6 seconds.

Stn	Eligible Task	Assigned Task	Task Time	Cumulative Time	Remaining Time
1	A	A	15	15	42.6
	B	B	23	38	19.6
	C, E	C	17	55	2.6
2	D, E	D	42	42	15.6
	E	E	15	57	0.6
3	F, G	F	37	37	20.6
	G	G	5	42	15.6
	H	H	12	54	3.6
4	I, J	I	34	34	23.6
5	J	J	27	27	30.6
	K	K	18	45	12.6
	L	L	7	52	5.6

The next tasks are C, D, and E; but D does not qualify because its cycle time is greater than the remaining cycle time. Therefore, C and E become the next eligible tasks. Since we are using the longest cycle time rule; we will then select Task C using its 17 second cycle time. This now completes station 1 with a remaining time of 2.6 seconds; as there are no other identified tasks less than 2.6 seconds.

We are now ready to assign tasks to the 2nd station; the eligible tasks are D and E. Since D has a higher cycle time of 42 seconds it will be the first task assigned to Station 2. Task E can now close out the station with a remaining idle time of 0.6 seconds.

We then complete the remaining 3 stations using the same eligible task scheme to fill out the completed table. The newly designed line will then appear on the layout as depicted below. We can see that Station 4 is under-cycle with 23.6 seconds of idle time; but it could be the best available design according to the process precedence rules.



2

Going Beyond with Simulation

Our key steps now emphasize that with simulation line balancing can be carried out much more effectively. Adding to the previous steps we can really look further into the line balancing process and how we can help reach targeted throughputs.

Key learning points:

- ➔ Going Beyond Deterministic Calculations with Simulation
- ➔ Adding Operators to the Analysis
- ➔ Adding Additional Stochastic Behavior

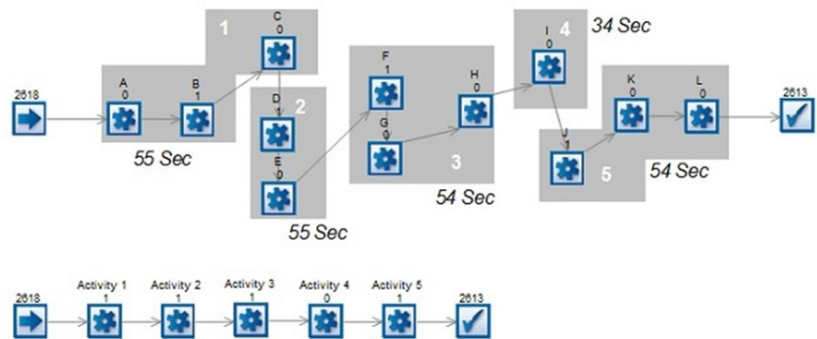
Going Beyond Deterministic Calculations with Simulation

The deterministic Excel base tools can offer a lot of insight into designing and laying out your company's facility; but when we couple the initial designs with some simple simulation analysis we can vastly go beyond these deterministic calculations.

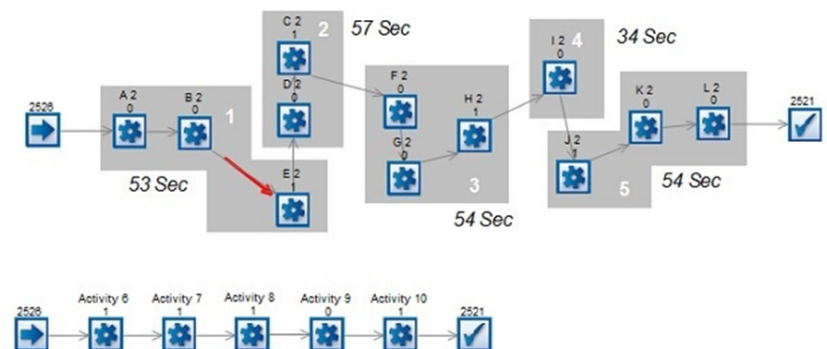
All of these charts and calculations assume no random downtime, over cycles, changeovers, etc. They also do not consider shared operators capable of working on various tasks. As soon as we bring this stochastic variation into the analysis; the calculations would become very complex. Although, with the use of simulation these stochastic parameters are handled with ease!

Simulation can easily be applied at the start of your Precedence Diagrams. This is a natural starting point as it is a depiction of the process steps and routing links. Each line can be modeled, and all eligible routing variations can be compared by simply changing routing links. These small models are at the task level, once the best precedence diagram scheme model has been proven. They can be then rolled-up and modeled at the station level with the achieved cycle time.

Precedence Diagram 1: Longest Eligible Task



Precedence Diagram 2: Exploring other Eligible Task Options



The above simulation shows two precedence diagrams that can be compared against throughput or number of units delivered. Remember our original target was to achieve a minimum of 500 units per shift. This model is set up to explore a week's worth of production; hence a target of 2500 units per week. We can clearly see that the first model has greater capability as it is achieving 2613 units versus the second feasible solution which is at 2521 units per week.

Adding Operators to the Analysis

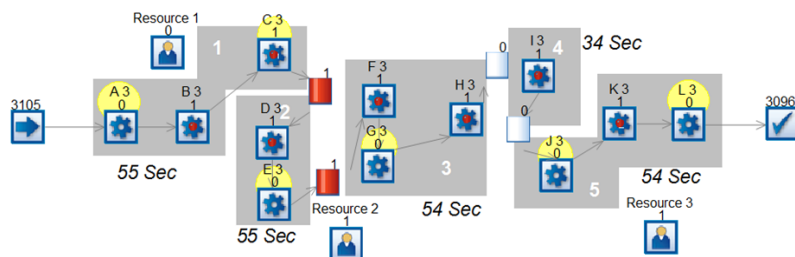
Another typical consideration is adding manual operations or resources to the precedence diagram models. This is easily accomplished within a simulation model. Let's consider that the following tasks (A, C, E, G, J, and L) are manual operations which require an operator. All of the other operations are assumed to be automated.

Typical questions that arise are:

1. How many operators are required?
2. What impact do they have on throughput?
3. Can we meet our target of 500 units per shift with 3 operators?
4. Which operator is potentially causing losses?

All these questions can be answered within the simulation by testing various operator schemes including associated travel time between stations. By simply adding resources to the above tasks we can examine the effects of manual operations within the precedence models.

Allowing Simultaneous Tasks and Adding Decouplers



In this simulation we placed 3 operators to cover the 6 manual operations within the Line. The first operator handles task A & C of station 1. The second operator covers task E & G, hence this operator may incur additional travel time to walk between stations. The third operator covers tasks J & L within station 5. The overall number of units produced has dropped from 2613 to 2521; which is slightly above the target.

From the analysis we can determine that the shared resource between station 2 & 3 is causing the slight loss in throughput. It could be considered within the design specifications; but it also should be noted as a potential sensitive area within the line. Therefore, it would likely cause significant losses if it experiences over-cycles, changeovers, large downtime stoppages, etc.

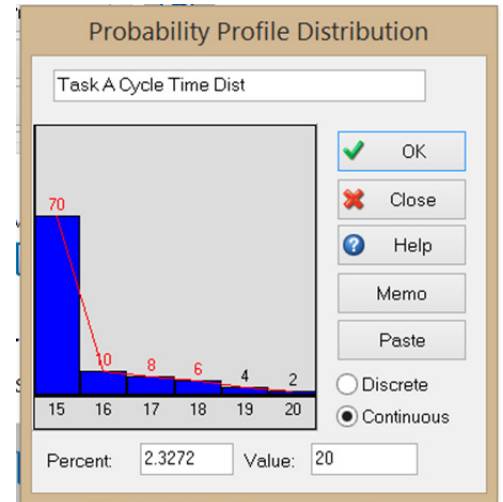
These are very typical scenarios that exist; as most companies strive to keep their work force to a minimum and achieve high utilization per operator. The simulation will offer great insight into optimal placement of operators and achieving targeted resource utilization. Moreover, not just target utilization, but achieving a balanced utilization of the line side operator crew.

Adding Additional Stochastic Behavior

Over Cycles

We can now explore a scenario that takes over-cycles into account. For example, all the above manual operations can experience up to a 5 second over-cycle 30% of the time, so, instead of “Task A” using a fixed 15 seconds, we can use a user defined distribution that captures the random 30% over cycle condition.

This is known as a **Probability Profile Distribution**, in this case 70% of the time it will yield 15 seconds and the remaining skewed tail will account for over cycles all the way to 20 seconds. Hence, the cycle time will range from 15 to 20 seconds. We would then place this type of distribution on the remaining manual operations (C, E, G, J, and L) using their respective parameters. When we run this scenario with all of the over cycle distributions on the manual operations we fall below the targeted throughput by 28 units only achieving (2472 units / week).



Downtime

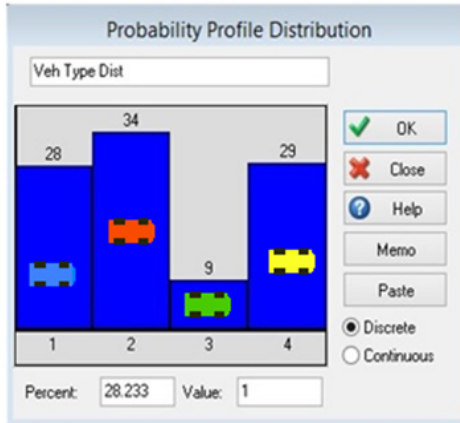
We could also add downtime to the simulation by applying “Mean Time Between Failures” (MTBF) and “Mean Time to Repair” (MTTR). For example, all of the automated tasks might be 95% efficient with a MTBF of 90 minutes and an average repair time of 5 minutes. When we run the previous scenario with the additional downtime on all of the automated tasks (B, D, F, H, I, K) the throughput significantly drops to 1777 units / week. This is where more advanced line balancing techniques are required; like allowing additional units into stations referred to as simultaneous tasks.

If we consider the first station with tasks (A, B, & C), where A and B require an operator and B is the automated task. Maybe the next task A can be started while task B is cycling. As you can imagine, there are many different types of schemes that could be built into the process steps of station 1. Station one could have an input buffer and an output buffer, commonly referred to as decouplers, these are techniques used to minimize the losses of sequential downtime on synchronous stations. All of these design scenarios would be extremely difficult without the use of simulation.

As you can see from the scenario below which allows for simultaneous tasks within stations and also has small decouplers (buffers) between stations, we can bring the throughput back to over target even with the additional downtime. Our next step would be to back off on some of the protective actions, and to hone in on which actions are feasible, affordable, and required to achieve targeted throughput.

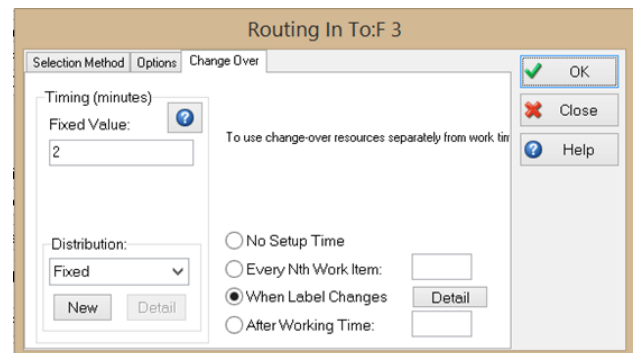
Changeovers

Lastly, let's examine the impacts of changeovers. Changeovers often occur when the product type changes. In other words, our facility might be producing 4 unique variations of the product. This is usually referred to as the "Product Mix". The facility might build these variations of the product in batches or completely random. Either way, this adds great complexity to line balancing; as each station may have unique cycle times per type. Furthermore, it can incur additional change over time within the station as a new product type enters the station.



As soon as we add a product mix to the analysis the deterministic calculations even become more complex. With the use of simulation this can be made simple. It is very common to have product mixes within a model, unique cycle times according to type, and changeovers as necessary. In this example we see a product mix of 4 different types of vehicles (28% Blue, 34% Red, 9% Green, and 29% Yellow). We can easily run this product mix through the above simulation scenarios to see the impacts of unique cycle times according to vehicle type, and the impacts of changeovers.

In this example we can see the 4 vehicle types traveling through the model, where each type can have its own unique cycle time and can invoke a changeover. In this case a 2 minute changeover will occur when the vehicle type changes. This would more than likely require a batch build scheme to minimize the number of changeovers. One scheduling scheme would be to group the daily orders of 500 units in 4 unique groups.

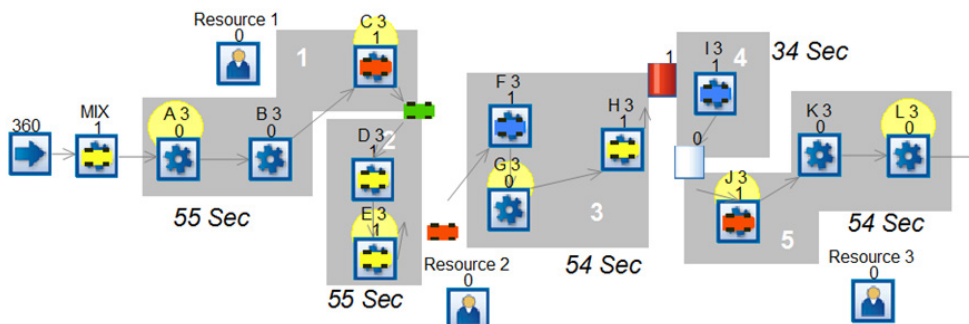


Batch Build Schedule approximately as follows:

$$500 * 0.28 = \mathbf{140 \text{ units}}, 500 * 0.34 = \mathbf{170 \text{ units}}, 500 * 0.09 = \mathbf{45 \text{ units}}, 500 * 0.29 = \mathbf{145 \text{ units}}$$

This would reduce the average number of changeovers to 4 per shift.

Product Mix and Change Overs



Concluding thoughts on Line Balancing

As we can see Line Balancing can become very complex especially when we start adding realistic stochastic parameters to the equation. The deterministic calculations are very useful for setting up the framework for designing a new line. They can be adjusted to test out worst case/best case, but can only approximate a steady case, such as a random product mix through a flexible manufacturing system. This is where simulation can add a world of realistic behavior to the analysis.

What is evident is that we can build small scale models that follow the deterministic line balancing paradigms, but with all the dynamic features of a complex model. We can easily add shared resources, simultaneous tasks, mix product variants, downtime, over-cycles, and changeovers to the analysis. **Thereby, achieving a well-balanced flexible manufacturing line that will hit their targeted throughput.**

Further Reading

[Line Balancing at Chrysler](#)

Read about how SIMUL8 have developed a relationship with Chrysler over a number of years. Across various line balancing projects SIMUL8 helped the Chrysler simulation team save **millions of dollars**.

[More Than a Cycle?](#)

In this paper Brian Harrington focuses on the cycle time of the tasks and operations within the stations. Find out how to calculate takt time and how to collect all of the necessary data before beginning a Line Balancing project.

Increasing revenue by \$1,000,000 a day without increasing costs

Leading automotive manufacturer Chrysler increased revenue by \$1m a day without increasing costs and coped with increased demand for their new 2015 models.

Headquartered in Auburn Hills, Michigan, The Fiat Chrysler Group operates 33 manufacturing facilities in four countries and employs more than 52,000 people. The Brampton Assembly plant builds the Chrysler 300, Dodge Charger and Dodge Challenger with an annual output of 200,000 units.

Chrysler's simulation team was tasked with determining if the Brampton Assembly Plant could increase throughput by 39 units per day to cope with increased demand for their new 2015 range.

The Challenge

In early 2015 Chrysler launched the Chrysler 300, Dodge Charger and Dodge Challenger. Due to the release of the new models an increase in demand was expected and the Brampton Assembly plant was asked to increase its daily rate from 930 to 969 units to ensure that the demand could be met.

Steve Lin, a member of Chrysler's simulation team was tasked with studying the line speed at Trim Chassis Final (TCF) to determine what changes could be made in order to achieve the higher number of units each day. This would require increasing the Jobs Per Hour (JPH) from 64 to 66.

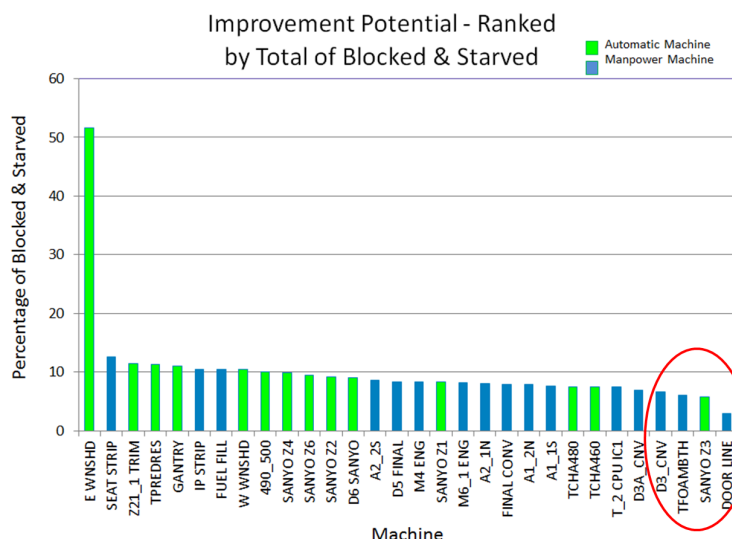
The Solution

The simulation team used a base simulation of the Brampton assembly plant and was able to change the line speeds to understand the impact this would have. Each plant has its own base simulation and then changes can be made to the simulation depending on the area they are trying to improve.

The first thing that was looked at in this case was the low performing machines, and 2 were identified that were causing a bottleneck. As these were automatic stations, with no staff working at them the team were able to look at what would happen if the cycle times at the machines were decreased.

The simulation model allows ranking of all the lines based on their performance. The poorly performing lines which are the bottlenecks will be sped up. After the first trial, these lines are ranked again and new bottlenecks are identified. Further trials are conducted to speed up the new bottleneck lines until the target has been reached.

In the adjacent chart, Door Line, Sanyo Loop, Foam Booth, D3 are the bottlenecks because they have the least block and starve time. They will be sped up in the first trial.



Chrysler used real life data in their simulation that had been collected from the factory floor using their Factory Information system which collects the data from PLC, a real time recording system which records line speed, cycle time, MTTR and MTBF. This was then imported into the simulation, meaning that the only assumption needed was that MTTR and MTBF would remain the same, all the input data was real.

The simulation was run over a 1 month cycle and used real data that was imported from Excel so that the results would be as accurate as possible. This also allowed for the simulation to be validated by comparing it to actual throughput numbers and therefore know if decreasing the cycle times at these stations would improve throughput.

The Result

The simulation team was able to identify two machines that could have their cycle times decreased to make the line run faster so the plant could meet the increased throughput schedule of 969 units.

By meeting the increased throughput target and creating 39 extra units per day the plant was able to **increase revenue by \$1,000,000 per day**. Speeding up these lines didn't have any knock on effects in the process and you could see the results of the lines getting better with improved throughput.

Management at Chrysler were able to use this simulation to help make decisions about how to improve TCF in order to meet the desired throughput, and as the simulation used was created from a base simulation, this means it can be used to help make future decisions for the plant too.

What's next?

Chrysler's simulation team continue to use SIMUL8 across the organization to help make effective business decisions, this can be on projects ranging from pre-launch studies of new plants and lines, to how to make existing lines work more efficiently. Steve Lin and his team are now supporting suppliers with simulation to improve their processes too.

The Chrysler Story

Taking the guesswork out of capital investment

Read about our work with The Jefferson Plant and how we helped them **save \$250,000** by taking the guesswork out of capital investment.

Saving \$5 million with SIMUL8

Read about how the Throughput and Simulation team at Chrysler is on target to save **\$5 million** using a Line Speed Reduction tool created using SIMUL8 software.

For more information on SIMUL8 products and solutions, contact:

t: (Europe) +44 141 552 6888 (US) 800-547-6024 / e: info@SIMUL8.com / w: www.SIMUL8.com

Chrysler saved \$250,000 by taking the guesswork out of capital investment

Leading automotive manufacturer Chrysler avoided \$250,000 of capital investment by proving that the current system was able to cope with demand.

Headquartered in Auburn Hills, Michigan, The Fiat Chrysler Group operates 33 manufacturing facilities in four countries and employs more than 52,000 people. The Jefferson North assembly plant of Fiat Chrysler Automotive produces the Jeep Grand Cherokee and Dodge Durango with an annual output of 300,000 vehicles. The plant employs 4,000 employees and runs 2 shifts with 3 crews.

Chrysler's simulation team wanted to find out if an additional 15 clamshell carriers were required to increase throughput at Trim Chassis Final (TCF) in the Jefferson Plant.

The Challenge

The Jefferson North Plant was experiencing some throughput issues and the plant thought that this was due to the line being short of Clamshell Carriers at the Trim Chassis Final Stage. The plant submitted a proposal to add 15 more Clamshell Carriers to the line, which would require \$250,000 of investment from Chrysler.

Before the investment was made the simulation team was asked to conduct a simulation study to confirm if the line was short of Clamshell carriers. They were tasked with determining a feasible range for the total number of carriers that would ensure the system is not short of carriers, and not overcrowded with too many clamshell carriers either.

The Solution

The simulation team created a simulation of the assembly shop for the Jefferson North Assembly Plant. The study was to determine a feasible range for the total number of carriers and decide how much capital investment would be needed to make the line run efficiently.

The simulation team has base simulation models for the assembly lines and this simulation has been used as the template for creating the simulation. The team has then been able to change the number of carriers so that they can determine the feasible range for carriers in the system that wouldn't affect throughput.

By changing the number of clamshell carriers in the simulation you could see the different throughput numbers that the assembly plant could produce. This allowed an upper and lower limit of clamshell carriers to be determined.

Chrysler used real life data in their simulation that had been collected from the factory floor using their Factory Information system which collects the data from PLC, a real time recording system which records line speed, cycle time, MTTR and MTBF. This was then imported into the simulation, meaning no assumptions needed to be made, all the input data was real.

The simulation was run for one month using the real data and the results validated by comparing them with the real throughput amounts over the same time period, when the throughput numbers were close then that validated that the simulation was working like the real system. The simulation was then used to test varying numbers of carriers until a feasible range was determined.

“It doesn't take long to get results when you change the number of carriers. It takes like a few seconds, maybe less than half a minute to run the simulation and then you start to get a curve.”

Steve Lin, Throughput and Simulation Specialist Chrysler

The Result

The simulation showed that the feasible range for Clamshell Carriers on the line was between 426 and 502. Any less than 426 and any more than 502 begins to make the system less efficient and begins to have a negative impact on throughput.

There were 475 Clamshell Carriers in the system already, so the simulation showed that with the current number of carriers in the simulation the system was working within the feasible range. This meant that the desired throughput could be achieved and therefore additional clamshell carriers were not needed for the plant. This allowed Chrysler to avoid a \$250k investment without having an impact on their throughput targets.

The simulation also highlighted that although the line appeared to have a shortage of clamshell carriers; it was more likely an issue with downtime upstream and that should be where improvements are made.

Not only did this simulation help ensure the correct decisions were made about capital investment at the Jefferson plant, but it will also be reused to test the number of Clamshell Carriers needed at other plants. This is one of nine plants that Chrysler operates with Clamshell Carriers, and this simulation can be used to test the number of carriers needed at any plant simply by changing the relevant data making the simulation invaluable to Chrysler.

What's next?

Chrysler's simulation team continue to use SIMUL8 across the organization to help make effective business decisions, this can be on projects ranging from pre-launch studies of new plants and lines, to how to make existing lines work more efficiently. They've even started to outsource their team to their tier 1 suppliers to ensure efficiency right through the process.

Further Reading

Increasing revenue by \$1m a day

Read about our work with The Brampton Plant and how we helped them **increase revenue by \$1,000,000 a day** without increasing costs.

Saving \$5 million with SIMUL8

Read about how the Throughput and Simulation team at Chrysler is on target to save **\$5 million** using a Line Speed Reduction tool created using SIMUL8 software.

For more information on SIMUL8 products and solutions, contact:

t: (Europe) +44 141 552 6888 (US) 800-547-6024 / e: info@SIMUL8.com / w: www.SIMUL8.com