

# MONTAJ HATTI PLANLAMA

Modelleme ve Optimizasyon

DOÇ. DR. İBRAHİM KÜÇÜKKOÇ

Montaj hatları, üretimde sıklıkla kullanılan seri üretim sistemlerindedir ve yakın zamanda Endüstri 4.0 teknolojisinin en başarılı uygulama alanlarından birisi olabilir. Çoğunlukla karmaşık yapıdaki ürünlerin üretiminde kullanılan montaj hatları, üretim kaynaklarından en etkin biçimde yararlanarak birim zamandaki çıktıyı artırmaya olanak sağlamaktadırlar. İyi dengelenmiş montaj hatları, gelişen ve değişen müşteri taleplerinin zamanında ve minimum maliyetle karşılanabilmesini mümkün kılarak işletmelerin rekabet edebilirlik seviyesini de artırmaktadır.

Bu kitap, montaj hattı planlama konusunda bilgi sahibi olmak isteyen hem lisans ve yüksek lisans öğrencilerine hem de işletmelerde hat dengeleme konusunda çalışmakta olan hat yöneticilerine ve mühendislere yönelik olarak hazırlanmıştır. Sektörde en çok karşılaşılan montaj hattı türlerinin etkin bir şekilde dengelenmesine yönelik araç ve teknikler içerir. Montaj hattı dengeleme konusu öncelikle en basit hâliyle ele alınıp modellenmiş ve örnekler üzerinden çözüm yöntemleri anlatılmıştır. Sonrasında pek çok gerçek hayat kısıtları da ilave edilerek farklı problem tipleri gerekli detaya inilerek sunulmuştur. Bölüm sonlarında ise çalışma sorularına yer verilmiştir.

Sezgisel yöntemlerin yanında meta-sezgisel algoritmalarından olan genetik algoritma uygulamasını da içeren ve pratiğe yönelik olarak hazırlanan bu kitapta, geliştirilen matematiksel modellerin Python ve GAMS program kodları da eklerde sunulmuştur.

nobel AKADEMİK YAYINCILIK  
www.nobelyayin.com

E-KİTAP

atlaskitap.com

www.nobelkitap.com

ISBN 978-625-406-375-6  
9 786254 063756

MONTAJ HATTI PLANLAMA

Modelleme ve Optimizasyon

DOÇ. DR. İBRAHİM KÜÇÜKKOÇ

nobel

DOÇ. DR. İBRAHİM KÜÇÜKKOÇ

# MONTAJ HATTI PLANLAMA

Modelleme  
ve Optimizasyon

python™ ve GAMS  
kodları ile birlikte



nobel

GÜNCELLENMİŞ 2. BASIM

Güncellenmiş 2. Basım

# **MONTAJ HATTI PLANLAMA**

## **Modelleme ve Optimizasyon**

(Python ve Gams Kodları ile Birlikte)

---

Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç



# MONTAJ HATTI PLANLAMA Modelleme ve Optimizasyon

## Doç. Dr. İbrahim Küçükkoç

Yayın No.: 2928  
Mühendislik/Teknik No. : 299  
ISBN: 978-625-406-375-6  
E-ISBN: 978-625-406-376-3  
Basım Sayısı: Güncellenmiş 2. Basım, Şubat 2024

© Copyright 2024, NOBEL AKADEMİK YAYINCILIK EĞİTİM DANIŞMANLIK TİC. LTD. ŞTİ. SERTİFİKA NO.: 40340  
Bu baskının bütün hakları Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.ne aittir.  
Yayınevinin yazılı izni olmaksızın, kitabın tümünün veya bir kısmının elektronik, mekanik ya da fotokopi yoluyla basımı, yayımı, çoğaltımı ve dağıtımı yapılamaz.  
Nobel Akademik Yayıncılık, 2011 yılından beri "tanınmış uluslararası yayınevi" statüsündedir.

Genel Yayın Yönetmeni: Nevzat Argun -nargun@nobelyayin.com-  
Genel Yayın Koordinatörü: Gülfem Dursun -gulfem@nobelyayin.com-

Sayfa Tasarım: Furkan Mülayim -furkan@nobelyayin.com-  
Redaksiyon: Buse Gamze Çelikleş -buse@nobelyayin.com-  
Kapak Tasarım: Mehtap Asiltürk -mehtap@nobelyayin.com-  
Görsel Tasarım Uzmanı: Mehtap Asiltürk -mehtap@nobelyayin.com-

### Kütüphane Bilgi Kartı

**Küçükkoç, İbrahim.**

**Montaj Hattı Planlama Modelleme ve Optimizasyon** / İbrahim Küçükkoç

Güncellenmiş 2. Basım, XX + 226 s., 16,5x24 cm. Kaynakça var, dizin yok.

ISBN: 978-625-406-375-6

E-ISBN: 978-625-406-376-3

1. Montaj Hattı Dengeleme 2. Üretim Planlama 3. Yöneylem Araştırması

### Genel Dağıtım

**ATLAS AKADEMİK BASIM YAYIN DAĞITIM TİC. LTD. ŞTİ.**

**Adres:** Bahçekapı Mh. 2465 Sk. Oto Sanayi Sitesi No.: 7 Bodrum Kat, Şaşmaz/ANKARA

**Telefon:** +90 312 278 50 77 - **Faks:** 0 312 278 21 65

**Sipariş:** siparis@nobelyayin.com- **E-Satış:** www.nobelkitap.com - esatis@nobelkitap.com

www.atlaskitap.com - info@atlaskitap.com

**Dağıtım ve Satış Noktaları:** Alfa, Kırmızı Kedi, Arkadaş, D&R, Dost, Kika, Kitapsan, Nezih, Odak, Pandora, Prefix, Remzi

**Baskı ve Cilt:** Ada Matbaacılık Yayın San. Tic. Ltdi. Şti. Sertifika No.: 44093

Ostim OSB Mah. 1578. Cad. No:21 Yenimahalle/Ankara

Canım ođlum Eren'e...



# ÖN SÖZ

---

Sahip olunan kaynakların en etkin kullanımı ile birim zamanda üretilen ürün miktarını arttırmak, günümüz iş dünyasında faaliyet gösteren işletmelerin rekabet edebilmeleri ve rakiplerinden bir adım önde olabilmeleri için zorunlu hâle gelmiştir. Üretim sistemine giren ham maddenin bir dönüşüm süreci sonunda bitmiş ürün olarak sistemi olabildiğince erken terk etmesi, üretim sistemi içinde kullanılan insan, makine ve malzemenin boşa kalma/bekleme ve taşınma sürelerinin azaltılması ile ilgilidir. Ürüne değer katmayan ve işletmeye ek maliyet oluşturan bu verimsiz süreleri tamamen ortadan kaldırmak mümkün olmasa da en aza indirmek mümkündür. Bu aşamada devreye otomotivden ev aletleri endüstrisine kadar birçok üretim sisteminin vazgeçilmez parçası hâline gelen montaj hatları girmektedir. Montaj hatları bir seri üretim aracıdır. Bir hat (veya kayan bant) etrafına yerleştirilmiş istasyonlarda görevlerini gerçekleştiren operatör, makina ve robotlar hat üzerinde akan yarı mamul üzerinde operasyonlarını gerçekleştirirler ve hattın sonunda nihai ürün ortaya çıkmış olur.

İlk yürüyen/kayan bant sisteminin geliştirilmesinin üzerinden 60 yılı aşkın bir süre geçmiş olsa da montaj hatları hâlen bazı işletmelerde tam olarak etkin bir şekilde yönetilememekte ve işletmeler hızlı, standartlaştırılmış ve anlamlı bir üretim sürecine sahip olamamaktadırlar. Bu ortamda hazırlanan bu kitap, montaj hatlarının planlanması konusunda hem lisans hem de lisansüstü düzeyde ihtiyaç duyulan ders materyali ihtiyacını karşılamayı amaçlamaktadır.

İlk bölümde montaj hatlarının ilk kullanımından bahsedilerek sanayi devrimleri hakkında kısaca bilgi verilecek ve bu dönemlerde montaj hatlarının oynadığı rol kısaca anlatılacaktır. Ayrıca montaj hatlarının sağladığı faydalar üzerinde durulacak ve montaj hatları üzerine yapılan ilk çalışmalardan bahsedilecektir.

İkinci bölüm, montaj hatları konusundaki terminolojinin ve temel hesaplamaların sunulması ile başlayacak, mevcut hatların performans değerlendiril-

dirme kriterleri ile devam edecek ve montaj hattı dengeleme problemlerinin nasıl sınıflandırıldığını örnek şemalarla anlatacaktır.

Üçüncü bölümde montaj hattı dengeleme problemi en yalın hâliyle tanımlanarak matematiksel olarak modelleneyecektir. Montaj hattı dengeleme amacıyla kullanılacak çözüm yöntemleri örneklerle anlatılacaktır. Ayrıca, hat dengeleme problemlerinde karşılaşılabilecek bazı özel durumlar ve kısıtlar bu bölümde anlatılacaktır.

Farklı tipte amaçların ve çok operatörlü istasyonların dikkate alındığı matematiksel modeller ve örnek çözümleri dördüncü bölümde verilmiştir. Beşinci bölümde, U-tipi yerleşime sahip montaj hatlarının dengelenmesine yönelik modeller ve çözüm yöntemleri sunulmuştur.

Altıncı bölümde aynı hat üzerinde birden fazla modelin üretimini mümkün kılan karışık modelli montaj hatlarında ürün karmasının belirlenmesi ve hatların dengelenmesine yönelik metotlar örneklerle sunulmuştur. Yedinci ve son bölümde ise yapay zeka optimizasyon algoritmalarından birisi olan genetik algoritmanın, montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümüne nasıl uygulanabileceği örnek üzerinden anlatılacaktır.

Ayrıca her bölümde sunulan matematiksel modellerin GAMS (General Algebraic Modelling System) kodları ve elde edilen çözümler de Ekler bölümünde verilmiştir. Bu kodlar yardımıyla gerek öğrenciler gerekse hat yöneticileri veya mühendisler kendi verisini kullanarak mevcut problemlerini çözebilirler.

Bölüm sonlarında sunulan çalışma soruları, anlatılan metotların kavranması açısından uygulama olanağı sağlamaktadır. Bazı sorularda belirli çözüm yöntemleri ile çözümler yapılması istenmiş, bazı sorularda ise hangi yöntemin seçileceği okuyucuya bırakılmıştır. Gerçek şu ki, çalışma soruları da çoğunlukla bölümden bağımsız olarak farklı teknikler ve kısıtlar altında, farklı yerleşime sahip hatlar için zenginleştirilebilir ve çözülebilirler. Örneğin düz modelli hatlar için sunulan bir çalışma sorusu, sonraki bölümlerde öğrenilen U-tipi yerleşim konsepti dikkate alınarak yeniden çözülebilir ve elde edilen çözümler arasında karşılaştırmalar yapılabilir.

Son olarak, montaj hattı dengeleme konusunda test problemlerine ve daha fazla veriye <https://assembly-line-balancing.de> adresi üzerinden ulaşılabilmektedir. Ayrıca <http://ikucukkoc.baun.edu.tr> adresinde bulunan kişisel web sayfam üzerinden konu hakkında sunum dosyalarına ve farklı içeriklere ulaşılabilir.

Montaj hatları konusunda bir başlangıç niteliğinde olan bu kitabın, okurlara faydalı olmasını dilerim.

Doç. Dr. İbrahim KÜÇÜKKOÇ

Nisan 2020, Balıkesir





# İKİNCİ BASKI NOTU

---

Kitabın ilk baskısına ilgi gösteren ve çeşitli yollarla görüş ve önerilerini paylaşan herkese teşekkürlerimi sunarım. İlk baskının tükenmesinin ardından güncellenen bu baskıda, matematiksel modellerin Python kodları ve çözümleri kitaba dahil edilmiştir. Python, özellikle son yıllarda daha popüler bir hale gelmiş, sağladığı kolaylıklar sayesinde daha fazla tercih edilir bir programlama dili olmuştur. Dolayısıyla, Python dilinde yazılmış olan bu modeller, yalnızca montaj hattı dengeleme değil, diğer optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılan matematiksel modellerin kodlanmasına yönelik de ışık tutacaktır.

Günümüzde, doğal dil işleme algoritmalarını kullanarak yeni içerik üreten ve/veya bileşenler arasında ilişki kurup analiz/yorum yapabilen yapay zeka modelleri (özellikle “generative AI” veya “Generative Pre-trained Transformer – GPT” yapıları) hayatımızın bir parçası olma yolunda ilerlemektedir. Ancak unutulmamalıdır ki, tahminlemeden öte karmaşık optimizasyon problemlerinin çözümü çoğu kez probleme özel analitik/(meta) sezgisel yöntemler geliştirilmesi veya geliştirilen matematiksel modellerin çözümlenmesi ile mümkün olmaktadır. Bu bilinçle hem lisansüstü düzeyde araştırmacılar hem de sektörde çalışan mühendisler tarafından kullanılabilirlik biçimde sunulan model yapılarının, sınırlı kaynaklardan oluşan üretim sistemlerini daha etkin kullanmaya ve ülkemizin gelişmişlik düzeyini arttırmaya katkı sağlamasını umuyorum.

Doç. Dr. İbrahim KÜÇÜKKOÇ

Ocak 2024, Balıkesir



# İÇİNDEKİLER

ÖN SÖZ .....	v
İKİNCİ BASKI NOTU.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
TABLO LİSTESİ.....	xix

## BÖLÜM 1

GİRİŞ.....	1
1.1. İlk Montaj Hattı.....	1
1.2. Montaj Hatlarının Endüstrideki Yeri.....	5
1.3. Montaj Hatlarının Sunduğu Avantajlar.....	7
1.4. Montaj Hattı Dengeleme Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	9

## BÖLÜM 2

TEMEL HESAPLAMALAR.....	15
2.1. Montaj Hattı Dengeleme Nedir?.....	15
2.2. Terminoloji .....	17
2.2.1. Basit Tanımlamalar.....	17
2.2.2. Çevrim Zamanı .....	18
2.2.3. Üretim Hızı .....	18
2.2.4. Öncelik İlişkileri Diyagramı.....	19
2.2.5. Öncelik İlişkileri Matrisi.....	19
2.2.6. Toplam İş Süresi.....	20
2.2.7. Minimum İstasyon Sayısı.....	21
2.2.8. Kuramsal Etkinlik.....	23
2.3. Performans Kriterleri.....	23
2.3.1. Hat Etkinliği.....	23
2.3.2. Denge Gecikmesi.....	24
2.3.3. Düzensizlik İndeksi .....	24
2.4. MHD Problemlerinin Sınıflandırılması.....	28
2.4.1. Amaca Göre Sınıflandırma .....	29
2.4.2. Ürün Çeşitliliğine Göre Sınıflandırma .....	30
2.4.3. Hat Konfigürasyonuna Göre Sınıflandırma.....	31
2.4.4. Hibrit Hatlar .....	36
Çalışma Soruları.....	39

**BÖLÜM 3**

<b>BASİT MHD PROBLEMİ .....</b>	<b>41</b>
3.1. Problem Tanımı .....	41
3.2. Matematiksel Model .....	43
3.3. En Erken ve En Geç İstasyon Hesaplamaları .....	46
3.4. Çözüm Yöntemleri .....	48
3.4.1. Numaralandırma (Enumeration) Metodu .....	50
3.4.2. Sezgisel Yöntemler .....	53
3.4.2.1. Immediate Update First Fit (IUFF) .....	53
3.4.2.2. Rank and Assign – RA (Sırala ve Ata) Yöntemi .....	60
3.4.2.3. Kilbridge ve Wester Yöntemi .....	61
3.4.2.4. Hoffmann Sezgiseli .....	67
3.4.2.5. COMSOAL Metodu .....	70
3.5. Özel Durumlar/Kısıtlar .....	72
3.5.1. Paralel İstasyonlar .....	73
3.5.2. Konum Kısıtı .....	77
3.5.3. Maksimum İstasyon Yüğü Kısıtı .....	77
3.5.4. Pozitif Bölgeleme Kısıtı .....	78
3.5.5. Negatif Bölgeleme Kısıtı .....	78
3.5.6. Senkronize Görevler Kısıtı .....	78
3.5.7. Operatörle İlgili Kısıtlar .....	79
Çalışma Soruları .....	80

**BÖLÜM 4**

<b>DÜZ MHD PROBLEMİ İÇİN FARKLI AMAÇLAR VE KISITLAR .....</b>	<b>85</b>
4.1. Tip-2 Düz MHD Problemi .....	85
4.2. Tip-E Düz MHD Problemi .....	89
4.2.1. İteratif Çözüm (MHD-E) .....	89
4.2.2. Doğrusal Olmayan Programlama (MHD-E) .....	92
4.3. Çok-operatörlü MHD-E Problemi .....	95
4.4. Çok-operatörlü, Sabit Konum ve Pozitif/Negatif Bölgeleme Kısıtlı Tip-1 MHD .....	99
Çalışma Soruları .....	102

**BÖLÜM 5**

<b>U-TİPİ MHD PROBLEMLERİ</b> .....	<b>105</b>
5.1. Matematiksel Model.....	107
5.2. Sezgisel Çözümler.....	114
5.2.1. U-tipi MHD: Pozisyon/Ters Pozisyon Ağırlığı Yöntemi.....	115
5.2.2. U-tipi MHD: Ardıl/Öncül Sayısı Kuralı.....	120
5.2.3. U-tipi MHD: COMSOAL.....	124
Çalışma Soruları.....	126

**BÖLÜM 6**

<b>KARIŞIK MODELLİ MONTAJ HATLARI</b> .....	<b>131</b>
6.1. Birleştirilmiş Öncelik İlişkileri Diyagramı.....	132
6.2. Ürün Karmasının Dengelenmesi.....	133
6.3. Ağırlıklı Görev Süreleri.....	134
6.4. Matematiksel Model.....	139
6.5. Sezgisel Çözümler.....	144
6.5.1. Karışık Modelli MHD: Pozisyon Ağırlığı Yöntemi.....	145
6.5.2. Karışık Modelli MHD: COMSOAL.....	148
Çalışma Soruları.....	151

**BÖLÜM 7**

<b>GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜM</b> .....	<b>155</b>
7.1. Genetik Algoritma Nedir?.....	155
7.2. Başlangıç Popülasyonu.....	158
7.3. Uygunluk Değerinin Hesaplanması.....	160
7.4. Seçilim.....	163
7.4.1. Turnuva Seçimi.....	163
7.4.2. Rulet Çemberi.....	164
7.5. Çaprazlama.....	165
7.6. Mutasyon.....	168
7.7. Yeni Jenerasyonun Oluşturulması.....	171
7.8. Sonuç ve Değerlendirme.....	173

**EKLER**

<b>EK-A: GAMS Kodları ve Çözümler</b> .....	<b>177</b>
Örnek 3-1 Tip-1 MHD “Açık” Yazımı (GAMS).....	177
Örnek 3-1 Tip-1 MHD “Kapalı” Yazımı (GAMS).....	179
Örnek 4-1 Tip-2 Düz MHD K=4 (GAMS).....	180

Örnek 4-2 Tip-2 Düz MHD K=5 (GAMS) .....	182
Örnek 4-3 Tip-E Düz MHD İteratif (GAMS) .....	183
Örnek 4-4 Tip-E Düz MHD Nonlineer (GAMS) .....	185
Örnek 4-5 Çok-operatörlü MHD-E (GAMS) .....	187
Örnek 4-6 Çok-operatörlü Tip-1 Sabit Konum ve Bölgeleme Kısıtlı MHD (GAMS) .....	189
Örnek 5-1 U-tipi MHD (GAMS) .....	192
Örnek 6-1 Karışık Modelli MHD (GAMS) .....	194
<b>EK-B: Python Kodları ve Çözümler .....</b>	<b>196</b>
Örnek 3-1 Tip-1 MHD (Python) .....	196
Örnek 4-1 Tip-2 Düz MHD K=4 (Python) .....	198
Örnek 4-2 Tip-2 Düz MHD K=5 (Python) .....	200
Örnek 4-3 Tip-E Düz MHD İteratif (Python) .....	201
Örnek 4-4 Tip-E Düz MHD Nonlineer (Python) .....	204
Örnek 4-5 Çok-operatörlü MHD-E (Python) .....	206
Örnek 4-6 Çok-operatörlü Tip-1 Sabit Konum ve Bölgeleme Kısıtlı MHD (Python) .....	208
Örnek 5-1 U-tipi MHD (Python) .....	211
Örnek 5-2 U-tipi MHD (Python) .....	213
Örnek 6-1 Karışık Modelli MHD (Python) .....	215
Örnek 6-2 Karışık Modelli MHD – Dosyadan Okuma (Python) .....	217
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>221</b>

# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

---

Bu bölümde üretim sistemlerinin tarihsel gelişimi ile birlikte montaj hatlarının ilk ortaya çıkışı konusunda kısaca bilgi verilecektir. Ardından, montaj hatlarının endüstrideki yeri ve sağladığı avantajlar konusuna değinilecektir. Son olarak da montaj hattı üzerine yapılan bilimsel çalışmalar belirli bir sistematik dâhilinde özetlenecektir.

### 1.1. İlk Montaj Hattı

18. yüzyılda İngiltere’de başlayan ve insan gücünün yerini su ve buhar gücüyle çalışan makinelerin almasıyla sonuçlanan dönem, günümüzde Birinci Sanayi Devrimi olarak kabul edilmektedir. 1760’lı yıllardan başlayarak, 1830’lu yıllara kadar devam eden ve makineleşmenin hızla arttığı bu dönemde, üretim teknolojisi hızlı bir değişim geçirmiştir. Demir üretiminden tekstile pek çok sektörde büyük partiler hâlinde üretim ve standart parçaların kullanımı büyük önem kazanmıştır. İzleyen dönemde buharlı makinelerin yerini, elektrik, petrol ve doğalgaz ile sistemlerin ürünlerin almasıyla 19. yüzyılda İkinci Sanayi Devrimi gerçekleşmiştir (1840-1870’li yıllar arası). Böylelikle, Birinci Sanayi Devrimi’ndeki buhar gücüyle çalışan gemi ve tren gibi araçların yanına, akaryakıtla çalışan otomobil ve uçak gibi araçlar da eklenmiştir.

18. ve 19. yüzyıllarda sanayide yaşanan bu büyük dönüşüm sonrası takım tezgâhlarının ve diğer üretim elemanlarının gelişmesiyle ortaya çıkan mekanik üretim yöntemleri, seri üretim olarak da adlandırılan kitle üretiminin (*ing. mass production*) temelini oluşturmuştur. Bu takım tezgâhlarının yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte yüksek hassaslık derecesine sahip ürünlerin büyük miktarlarda üretilebilmesi söz konusu olmuştur. Bu dönemde karışık ürünler değil de basit tek parçalı ürünler büyük boyutlarda üretilmiştir. Bu nedenle tek parçadan oluşan ürünlerin üretilmesi kitle üretim

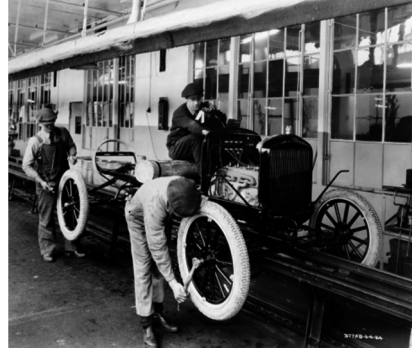


sürecinin ilk aşamasını oluşturur. Karmaşık birimlerin üretilmeye başlanması ise kitle üretim sürecinin ikinci aşamasını oluşturur. Bu dönemde ürünün, akışı olan bir üretim teknolojisiyle üretilmesi nedeniyle kitle üretimi, “akış tipi üretim” (*ing. flow production*) olarak nitelendirilmiştir. Bu sistemlerde üretim, ürünün bir seri üretim tesisinden sürekli akışıyla gerçekleştirilir. Karmaşık birimlerin üretilmesi için de ürünün akış hâlinde olması ve bu ürünün üretiminde ikame edilebilen, yani birbirlerinin yerine kullanılabilen parçaların kullanılması önemlidir (Karaca 1996).

Akış tipi üretim sistemlerinden olan montaj hatları, Ekim 1913'te Henry Ford ve arkadaşları tarafından ilk defa kurulan yürüyen bant sistemi ile birlikte, kitle üretiminin vazgeçilmez bir parçası olmuştur. Henry Ford, ürettiği araçları (otomobilleri) sadece bir makine olmaktan öte, bir iş teorisinin işe yaradığının somut bir parçası olarak görmüştür. Ford'un Detroit'teki ünlü Highland Park (Şekil 1-1) fabrikasında kullandığı bu sistem aslında Frederick Winslow Taylor'ın Bilimsel Yönetimin İlkeleri (orijinal adı: *The Principles of Scientific Management*) kitabında vurguladığı, üretim yönetiminde verimlilik artışı, organizasyon, insan gücü verimi, iş yeri düzeni vb. temel kavramların uygulamaya koyulmaya başlanması olarak kabul edilebilir. İş bölümü ve çalışanların yerleştirilmesinde sistematik yaklaşımları gerektiren bu sistemde, hat üzerinde üretilen ürün işçinin önüne getirilmiş (Şekil 1-2), son montaj hattındaki 12 saat olan işçilik süresi üç saatin altına indirilmiştir. 1908'de üretilmeye başlanan ve 1912 yılında, yani montaj hattı kullanılmaya başlamadan önce, 600 \$'a satılan ünlü model-T, montaj hattı kullanımının sağladığı avantajlar sayesinde 1916 yılına gelindiğinde 360 \$'a satılmaya başlanmıştır. 1924 yılına gelindiğinde ise Ford Motor Fabrikası siyah renkli ünlü aracından (model-T) 10 milyon adet üretebilmeyi başarmıştır. Bu hat üzerinde toplamda 15 milyon adet model-T üretildiği bilinmektedir. Bu başarı, getirdiği kapasite artışı ile birlikte ürün fiyatlarını yaklaşık olarak yarıya düşürmüştü ve 20. yüzyılın başlarına kadar sadece seçkinlerin sahip olabildiği bir ürünü daha kolay ulaşılabılır hâle getirmiştir. Zamanla, araç fiyatı 295 \$'a kadar düşmüştür. Firma tarafından 1924 yılında yayınlanan bir reklama ait görsel Şekil 1-3'te sunulmuştur.



*Şekil 1-1: Yürüyen bant sisteminin ilk defa uygulamaya konulduğu Ford'un ünlü Highland Park fabrikası*



*Şekil 1-2: İlk montaj hattına ait görüntüler*

**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

Rambler \$265 Coupe \$325 Tudor Sedan \$390 Fordor Sedan \$465  
All prices in U. S. dollars

**SEE THE NEAREST AUTHORIZED  
FORD DEALER**

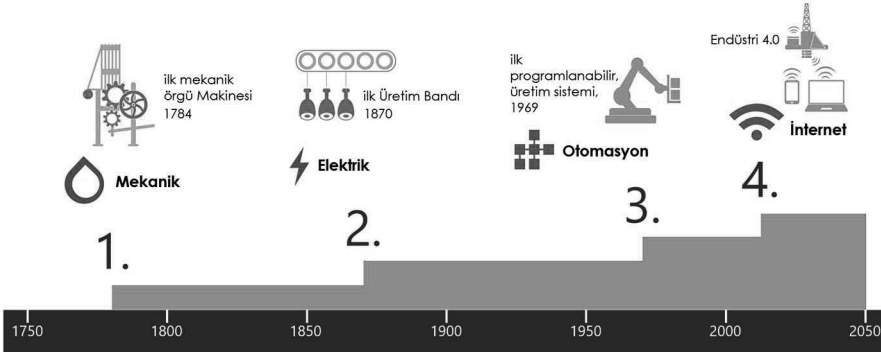
The Touring Car  
**\$295**  
F. O. B. Detroit  
Demountable Rims  
and Slatet '95 extra



Ford Newspaper 73  
800 lines—Week of June 8, 1924

**Şekil 1-3:** Ford tarafından 1924 yılında yayınlanan bir reklam

Dijital teknolojinin gelişmesiyle birlikte 1950'li yıllardan itibaren üretim süreçlerinde ilkel bilgisayar ve iletişim sistemlerinin kullanılması, Üçüncü Sanayi Devrimi'nin temellerini atmıştır. Makinelerin sadece üretimde değil, insan yaşamında da kullanılmaya başlaması büyük bir talep doğurarak zamanla tek tip üretim yerine müşteri isteklerinin ön planda tutulduğu organizasyonlara duyulan ihtiyacı arttırmıştır. Elektronik ve bilgisayar teknolojilerinin kullanılmasıyla da bu talepleri karşılayabilmek amacıyla otomasyona ve sonrasında esnek üretim sistemlerine geçiş sağlanmıştır.



**Şekil 1-4:** Üretim sistemlerinin geçirdiği büyük dönüşüm

Günümüzde Endüstri 4.0 olarak adlandırılan Dördüncü Sanayi Devrimi, kavramsal olarak ilk defa 2011 Hannover fuarında gündeme getirilmiştir. Sonrasında Almanya hükümeti tarafından da sahiplenilen ve uygulama yönergeleri hazırlanan bu yeni dönüşüm, siber fiziksel sistemlerin kullanılmasını kapsamaktadır. Endüstri 4.0 kavramı, nesnelerin interneti (*ing.* Internet of Things–IoT) olarak adlandırılan gelişmiş bir yapı sayesinde bilgisayar, iletişim ve internet teknolojilerini kullanan makinelerin, insan müdahalesine gerek kalmadan üretim süreçlerini yönetmesi esasına dayanmaktadır. Bu dönüşüm de diğer tüm üretim süreçlerinde olduğu gibi montaj hatlarında da nesnelerin interneti ile birlikte yeni yönetim yaklaşımlarının kullanılmasının önemini arttırmaktadır. Üretim süreçlerinin geçirdiği dönüşümü özetleyen bir görsel Şekil 1-4'te verilmiştir.

## 1.2. Montaj Hatlarının Endüstrideki Yeri

Montaj hatları üst düzey yetenek gerektirmeden karmaşık ürünlerin üretimini mümkün kılmaktadır ve bu yüzden seri üretimde en çok kullanılan süreçlerden birisidir. Bunu yaparken makinelerden ve/veya robotlardan faydalanılmaktadır ve böylece üretim süreci daha az eğitimle tamamlanabilmektedir. Böylece üretim maliyetleri minimize edilebilmekte ve üretim hattının karmaşıklığı azalmaktadır (Wild 1972).

Günümüzde montaj hatları başta otomotiv, elektronik, beyaz eşya olmak üzere birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok sayıda işletme,