



**PARALEL KARIŞIK MODELLİ MONTAJ HATTI DENGEME
PROBLEMİ VE BİR İŞLETMEDE UYGULAMASI**

Burcu MUZOĞLU

**YÜKSEK LİSANS
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2014

Burcu MUZOĞLU tarafından hazırlanan “*PARALEL KARIŞIK MODELLİ MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ VE BİR İŞLETMEDE UYGULAMASI* ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Bilal TOKLU

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Başkan : Prof. Dr. Cevriye GENCER

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Üye : Prof Dr. Burak BİRGÖREN

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 23/06/2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Burcu MUZOĞLU

23.06.2014

PARALEL KARIŞIK MODELLİ MONTAJ HATTI Dengeleme Problemi ve Bir İşletmede Uygulaması

(Yüksek Lisans Tezi)

Burcu MUZOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2014

ÖZET

Günümüzde gittikçe yaygınlaşan yalın üretim felsefesi ve sürekli iyileşme mantığı ile israf noktalarının en küçüklenmesi, kaynak kullanımlarının optimize edilmesi, hat verimliliklerinin en büyüklenmesi gibi amaçlar altında, ürün çıktı miktarını ve ürün kalitesini artırmak, müşteri teslim süresini ve üretim maliyetlerini azaltmak için yapılacak olan her türlü iyileşme, global pazarda zorunlu hale gelmiştir. Otomotiv ve otomotiv yan sanayi kuruluşlarında ana proses olarak konumlanan montaj hatlarındaki kayıpların belirlenmesi ve en küçüklenmesi, ciddi oranda maliyet düşüşleri getirmektedir. Bir akü fabrikasında bulunan birbirine paralel, karışık modeli, deterministik üretim zamanlı, altı montaj hattındaki ürün modellerinin, montaj hattına giriş sıralarının belirlenmesi ve hat yeteneklerine göre hatların dengelenmesi problemi, bu çalışmada ele alınmıştır. Model sıralama ve montaj hattı dengeleme probleminin çözümünde tavlama benzetimi algoritması kullanılmıştır. İstasyon sayısı en küçüklenmesi amacı altında elde edilen sonuçlar teorik alt sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Bilim Kodu : 906.1.148

Anahtar Kelimeler : Paralel Montaj Hatları, Karışık Modeli Üretim, Montaj Hattı Dengeleme, Model Sıralama, Tavlama Benzetimi Algoritması

Sayfa Adedi : 93

Danışman : Prof. Dr. Bilal TOKLU

PARALLEL MIXED MODEL ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM AND AN
APPLICATION IN A FACILITY

(M. Sc. Thesis)

Burcu MUZOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL VE APPLIED SCIENCES

June 2014

ABSTRACT

Introspecting today, lean production philosophy and concept of continuous improvement are widely used techniques. This leads to a necessity in global market which covers the improvements that increases the product quality and the amount of output. Beside these, decreasing the customer delivery time and the production cost also counted as requirements. All these improvements are based on the maximization of line efficiency, the minimization of the scrap points and the optimization of source usage. In automotive industry, assembly lines are the main processes in production. Spotting and minimizing the losses in these lines provide a significant decrease in costs. This work covers the balancing of six parallel, mixed model assembly lines which have deterministic production times in battery factory. It also covers the identification of sequence of product models in these assembly lines. The simulated annealing algorithm is used for solving both balancing and identification problems. The results gathered from the minimization of the number of stations are compared with the theoretical lower limits.

Science Code : 906.1.148

Key Words : Parallel Assembly Line, Mixed Model Production, Balancing
Assembly Line, Model Sequencing, Simulated Annealing

Page Number : 93

Supervisor : Prof. Dr. Bilal TOKLU

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda desteklerini hiçbir konuda esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Bilal TOKLU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Çalışmamı her zaman yanımda olan canım Babam'a, canım Annem'e ve biricik Kardeşim'e armağan ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. FİRMA TANITIMI	5
2.1. Ürün Bilgisi	6
2.1.1. Ürün bileşenleri	6
2.2. Üretim Analizi	8
2.3. Problem Seçimi.....	10
3. MONTAJ HATLARI	13
3.1. Montaj Hattı Temel Kavramları	18
3.2. Montaj Hattı Dengeleme Problemi	22
3.3. Karışık Modelli Paralel Montaj Hatları Dengeleme Problemi	26
3.4. Model Sıralama Problemi.....	29
3.5. Literatür Araştırması	31
4. YÖNTEM	35
4.1. Paralel Karışık Modelli Montaj Hatlarında Dengeleme ve Sıralama Problemi	35
4.2. Tavlama Benzetim Algoritması	42
4.3. Problem Analizi	53

	Sayfa
4.3.1. Hat görev analizi	56
4.3.2. Hat model yetenek, kapasite analizi	58
4.3.3. Görevlerin öncelik analizi.....	59
4.3.4. Hat işgücü analizi	65
4.3.5. Hat yerleşim analizi	67
5. HESAPSAL DENEYLER.....	71
6. SONUÇ.....	89
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	93

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. İşletmede bulunan montaj hatları	9
Çizelge 3.1. Literatür taraması [21]	34
Çizelge 4.1. 12 Çevrimli örnek problemdeki model karışımları	39
Çizelge 4.2. Örnek problem 2 için görev verileri	48
Çizelge 4.3. Model karışımları ve başlangıç dengesindeki her bir çevrim için istasyon yükleri	49
Çizelge 4.4. Örnek problem 2 için son çözümde, her bir çevrimdeki istasyonların görev zamanları ve iş yükleri	51
Çizelge 4.5. Örnek problem 3 görev verileri	52
Çizelge 4.6. 11 Zaman birimli çevrim zamanında problem 3'ün optimal çözümü	52
Çizelge 4.7. 11 Zaman birimli çevrim zamanı ile örnek problem 3'ün son çözümünün istasyon model karmaları ve iş yükleri.....	52
Çizelge 4.8. Montaj hatlarının model üretim kabiliyetleri	55
Çizelge 4.9. Model hat yetenek kapasite analizi.....	59
Çizelge 4.10. MNT1 hattı görev tanımları ve öncelik ilişkileri.....	60
Çizelge 4.11. MNT2 hattı görev tanımları ve öncelik ilişkileri.....	61
Çizelge 4.12. MNT3 hattı görev tanımları ve öncelik ilişkileri.....	62
Çizelge 4.13. MNT4 hattı görev tanımları ve öncelik ilişkileri.....	63
Çizelge 4.14. MNT5 hattı görev tanımları ve öncelik ilişkileri.....	64
Çizelge 4.15. MNT6 hattı görev tanımları ve öncelik ilişkileri.....	65
Çizelge 4.16. Mevcut işgücü analizi	66
Çizelge 5.1. Modele göre yıllık dönemdeki talep miktarları.....	72
Çizelge 5.2. MNT1 hattı için model talep miktarları	72
Çizelge 5.3. MNT2 hattı için model talep miktarları	73
Çizelge 5.4. MNT3 hattı için model talep miktarları	73
Çizelge 5.5. MNT4 hattı için model talep miktarları	73

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.6. MNT5 hattı için model talep miktarları	74
Çizelge 5.7. MNT6 hattı için model talep miktarları	74
Çizelge 5.8. MNT1 hattındaki görevlerin farklı modellere göre görevler süreleri; ($n_1=13$)	75
Çizelge 5.9. MNT2 hattındaki görevlerin farklı modellere göre görevler süreleri; ($n_2=13$)	76
Çizelge 5.10. MNT3 hattındaki görevlerin farklı modellere göre görevler süreleri; ($n_3=15$)	76
Çizelge 5.11. MNT4 hattındaki görevlerin farklı modellere göre görevler süreleri; ($n_4=15$)	76
Çizelge 5.12. MNT5 hattındaki görevlerin farklı modellere göre görevler süreleri; ($n_5=19$)	77
Çizelge 5.13. MNT6 hattındaki görevlerin farklı modellere göre görevlerin süreleri; ($n_6=18$)	77
Çizelge 5.14. MNT1 hattındaki görevlerin farklı modellere göre normalize edilmiş görevler süreleri;	78
Çizelge 5.15. MNT2 hattındaki görevlerin farklı modellere göre normalize edilmiş görevler süreleri;	78
Çizelge 5.16. MNT3 hattındaki görevlerin farklı modellere göre normalize edilmiş görevler süreleri;	78
Çizelge 5.17. MNT4 hattındaki görevlerin farklı modellere göre normalize edilmiş görevler süreleri;	79
Çizelge 5.18. MNT5 hattındaki görevlerin farklı modellere göre normalize edilmiş görevler süreleri;	79
Çizelge 5.19. MNT6 hattındaki görevlerin farklı modellere göre normalize edilmiş görevler süreleri;	79
Çizelge 5.20. 3. ve 5. hat dengeleme ve sıralama problemi sonuçları	80
Çizelge 5.21. 2. ve 6. hat dengeleme ve sıralama problemi sonuçları	82
Çizelge 5.22. 1. ve 4. hat dengeleme ve sıralama problemi sonuçları	83

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Üretim akışı.....	10
Şekil 3.1. Tek modelli, çok modelli, karışık modelli hatlar	15
Şekil 3.2 Düz hatlar şematik gösterimi	15
Şekil 3.3 Çoklu üretim yerine sahip düz hatlar şematik gösterimi	16
Şekil 3.4 U-tipi hatlar şematik gösterimi.....	17
Şekil 3.5 Dairesel transferli hatlar şematik gösterimi.....	17
Şekil 3.6. Montaj hattı dengeleme sistemi.....	23
Şekil 4.1. 3 hatlı paralel karışık modelli montaj hattının şematik gösterimi	38
Şekil 4.2. Geliştirilen algoritmanın akış şeması	45
Şekil 4.3. Örnek problem 2 için görevlerin öncelik ilişkileri	48
Şekil 4.4. Örnek problem 2 için görev öncelikleri.....	49
Şekil 4.5. Örnek problem başlangıç hat dengesi.....	49
Şekil 4.6. Görevlerin öncelik atama değerleri için yeni komşu çözüm elde etme.....	50
Şekil 4.7. Örnek problem 2 için yeni çözüm	50
Şekil 4.8. Örnek problem 2'nin son çözümü	50
Şekil 4.9. Örnek problem 3'ün son çözümü	52
Şekil 4.10. MNT1 öncelik şeması.....	60
Şekil 4.11. MNT2 öncelik şeması.....	61
Şekil 4.12. MNT3 öncelik şeması.....	62
Şekil 4.13. MNT4 öncelik şeması.....	63
Şekil 4.14. MNT5 öncelik şeması.....	64
Şekil 4.15. MNT6 öncelik şeması.....	65
Şekil 4.16. MNT1 mevcut durum şematik gösterimi.....	67
Şekil 4.17. MNT2 mevcut durum şematik gösterimi.....	68
Şekil 4.18. MNT3 mevcut durum şematik gösterimi.....	68

Şekil	Sayfa
Şekil 4.19. MNT4 mevcut durum şematik gösterimi.....	68
Şekil 4.20. MNT5 mevcut durum şematik gösterimi.....	68
Şekil 4.21. MNT6 mevcut durum şematik gösterimi.....	69
Şekil 5.1. 3 ve 5. hatta ait dengelenmiş hat gösterimi.....	81
Şekil 5.2. 2. ve 6. hatta ait dengelenmiş hat gösterimi.....	82
Şekil 5.3. 1. ve 4. hatta ait dengelenmiş hat gösterimi.....	84

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Firma görseli	5
Resim 2.2. Ürün bileşenleri ve akışları	8
Resim 3.1. Sıralama ve dengeleme problemi genel gösterimi.....	29
Resim 4.1. Montaj hatları yerleşim planı	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

gr

Gram

cm³

Santimetreküp

dk

Dakika

sn

Saniye

Kısaltmalar

Açıklamalar

MHDP

Montaj hattı dengeleme problemi

MNT

Montaj

OEM

Orijinal parça üreticisi

PMHDP

Paralel montaj hattı dengeleme problemi

PKMMH

Paralel karışık modelli montaj hatları

TZÜ

Tam zamanında üretim

1. GİRİŞ

Teknolojinin anlık gelişimi üretim sektörü başta olmak üzere, tüm sektörlerde hız kavramının altını kalın çizgilerle çizmiştir. Hız kavramına olan esnek adaptasyon, kaliteden taviz verilmediğinde ve maliyette artış sağlamadığında, küresel pazarda ayakta durmanın anahtarı olarak karşımıza çıkmaktadır. Tedarik zincirinin birer halkası olan her işletmenin, kendi içerisinde iç müşterilerini doğru yönetmesi ve süreçler arasındaki problemlere mümkün olan en uygun çözümü bulması gerekmektedir. Mevcut kapasitelerin, müşteri talepleri ile dengelenerek; takt zamanına göre üretim yapılması ve ürün model sıralarının oluşturulması; bir işletme için istenmeyen bir durum olan stok maliyetini de en küçükleyecektir. Boş kapasitelerin en küçüklenmesi, makine verimliliklerinin artırılması, operatör kullanımlarının en büyüklenmesi, kaynak kullanımlarının tüm hatlar için optimize edilmesi, bir üretim tesisinin ana kayıp kalemleri üzerindeki problem çeşitleridir. Bu kayıpları ortadan kaldırmak, çevrim zamanının en küçüklenmesi ile müşteri cevap hızını artıracak, mevcut istasyon sayılarının en küçüklenmesi ile de operatör sayılarını ve kaynak kullanımlarını azaltmış olacaktır. Böylelikle ürün maliyetinde düşüş yakalanabilecektir. Otomotiv yan sanayi kuruluşları, pazardaki yüksek talebe cevap verebilmek için, fabrika içi değer akışları boyunca sürekli akışı sağlamak durumundadırlar. Genellikle işletmelerde ana üretim çizelgeleri, montaj hatları üzerinden dağıtıldığı için, montaj hatlarında yapılacak olan dengeleme çalışmaları, kapasitede ciddi oranda zincirleme bir artış sağlamış olacaktır. Bu artış ile müşterinin istediği modeli, doğru zamanda, doğru sıra ve miktarda üretebilmek ve bu sayede nihai stoğu en küçükleyebilmek için çözülen sıralama problemi, pratik dünyada karşılaşılabılır en büyük problemlerden biridir. Bu sebeple montaj hatları; üzerinde önemle durulması ve bir tempo belirleyici süreç olarak kabul edilerek incelenmesi gereken ana noktalardan birisidir.

Montaj hattına sahip imalat sistemleri incelendiğinde, bu hatların ürettikleri ürünlerin birbirinin aynı ya da benzeri oldukları ve çevrim zamanlarının birbirine eşit ya da yakın oldukları görülmektedir. Bundan dolayı Gökçen vd. (2006) çalışmalarında, üretim sisteminin verimliliğinin ve kaynak kullanımının artırılması için, paralel hatlar kullanılarak istasyonların iş yüklerinin birleştirilmesini önermişlerdir [1].

Montaj hatları yüksek kaliteli standartlaştırılmış ürünlerin imalatında en geniş çaplı olarak kullanılan üretim tekniğidir [1]. Montaj hatlarının seri üretimde verimlilik artışını beraberinde getirmesi gerçeği, 1915 yılında Henry Ford'un Taylor'un bilimsel ilkelerini kullanması sayesinde vurgulanmış olmuştur.

Teknolojinin gelişimi ile bir montaj hattında birden fazla ürün üretimi yüzlerce görev ile ancak mümkün hale gelebilmiştir. Bu sebeple, otomobil, kamyon gibi karmaşık ürünlerin üretimi için istasyon sayısı çok olan hatlara ihtiyaç duyulmuştur [9]. İstasyon sayısı arttıkça süreç yönetme kabiliyeti azalacağından, aynı bileşen sayısının daha az istasyonda yapılabilirliği üzerindeki çalışmalar artmıştır.

Akış tipi üretim yapılan işletmelerde, akışın belirli standartlarda ve işlem sıralarında yapılması gerekliliği, montaj hattı şeklinde kurgulanan imalat sistemlerine olan ilgiyi artırmıştır. Montaj hatlarında belirli kısıtlar altında en büyük çıktı miktarını, en yüksek kalite, en düşük maliyet vb. koşullar altında alabilmek için; iş istasyonlarına atanan görevlerin işlem sürelerinin dengelenmesi gerekmektedir.

Sanayileşme sürecinde sürekli gelişim felsefesi, kaynakların etkin kullanımına paralel olarak minimum zamanda maksimum iş ilkesini ön plana çıkarmıştır. Yalın felsefe gereği muda olarak adlandırılan ve israf noktalarından biri olan boş zamanların elimine edilmesi ile ürün içerisine doğrudan katma değer sağlamayan sürelerin azaltılarak toplam akış süresi içerisinde en küçüklenmesi hedeflenmektedir. Bir işletme içerisinde bir hammaddenin mamule dönüştüğü süreçteki kayıpların en küçüklenmesi temel ilkesi, montaj hatlarında dengeleme ve kapasitenin etkin kullanılması gibi kavramları tetiklemiştir.

Bu çalışmada, bir işletmede mevcut durum analizi yapılarak, paralel montaj hatlarının dengelenmesi ile hatların ortak kullanım noktalarının artırılması, istasyon sayısı en küçüklenmesi ana amacı altında, operatör sayısının düşürülmesi hedeflenmiştir. Dengelenen istasyonların boş zamanları azaltıldığında, konveyör üstü ara stoklarında da azaldığı görülmüştür. İşletmedeki hatlar görev bazında analiz edilerek; en uygun sıra elde edilmiş; daha sonra tavlama benzetim algoritması ile dengelenmiştir. Sonuç olarak; minimum istasyon sayısı elde edilmiştir ve alt sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Çok modelli ve parti tipi üretim yapan işletmede karışık modelli hat uygulaması çalışılarak, stoklarda kısa vadede ciddi oranda düşüş hedeflenmiştir. İşletmede yaklaşık 4000 çeşit nihai ürün bulunmaktadır. Bunlar üretilen kutu tipine göre sınıflandırılarak, mevcut durumda parti tipi üretilmektedir.

Karışık modelli yapı doğrultusunda problemde çözümlenen sıraların ve hat dengelerinin uygulanabilir olması için model değişim sürelerinin en küçüklenmesi sonuç kısmında önerilmiştir.

İşletmede 6 montaj hattında, yaklaşık olarak aynı işlem önceliklerine sahip, farklı tipte akülerin üretimi gerçekleştirilmektedir. Hatların üretebildikleri akü tiplerine göre sınıflandırılması çalışma içerisinde verilmiştir.

Hatlardaki görevler analiz edilerek, bunlara yönelik öncelik diyagramları oluşturulmuştur. Hatların yeteneklerine göre ürettikleri ürünlerin birbirinin aynı ya da benzeri oldukları buna paralel olarak çevrim zamanlarının aynı yakınsamada kaldığı ölçümlenmiştir. Hatlardaki istasyonların boş zamanlarını en küçüklemek, verimliliği artırmak ve kaynak kullanımını en büyüklemek için paralel olarak konumlanmış bu hatların da bazı istasyonlarının birleştirilmesi önerilmiştir. İstasyon sayısı bu sayede azaltılmıştır.

Görev sürelerinin ölçümlenen değer üzerinde deterministik kaldığı varsayılmıştır. Bu varsayımda pratik dünya koşullarında bilinen; operatör yetkinlikleri, yetenekleri, tecrübe ve koşullarına bağlı olarak görev sürelerinin değişebileceği çalışma içerisinde ihmal edilmiştir. Birden fazla hattın istasyonlarının yakın konumlandırılarak operatörlerin komşu hatlarla ortak çalışması çalışmanın çıktısı olarak sunulacaktır.

Çalışma içerisinde detaylandırılmış başlıklar altında, 2. kısımda, firmaya, üretilen ürün bilgisine, bileşenlerine ve mevcut hat yapısına dair bilgiler verilmiştir. 3. kısımda, montaj hatlarına dair genel bilgiler, genel kavramlar, montaj hattı dengeleme problemi, paralel montaj hattı dengeleme problemi ve sıralama problemi üzerinde durulmuş ve literatür araştırması yapılarak literatürdeki paralel montaj hattı dengeleme ve sıralama problemleri gözden geçirilmiştir. 4. kısımda uygulanacak olan yöntem anlatılarak ve uygulama yapılacak olan problemin veri analizi yapılmıştır. 5. kısımda problemin çözümüne ait

hesapsal deneyler ve sonuçların analizleri görülecektir. 6. ve son kısımda sonuç bölümüne yer verilmiştir.

2. FİRMA TANITIMI

Yiğit Akü A.Ş. 1976 yılında Ankara içerisinde kurulan, yerleşik bir otomotiv yan sanayi kuruluşudur. 2014 yılı itibari ile de 40 bin metrekarelik alanda 400'den fazla kişi ile 5,5 milyon adet yıllık akü üretmektedir.



Resim 2.1. Firma görseli

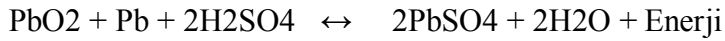
Yiğit Akü A.Ş., 6 farklı marka ile yurt içinde ve dışında pazar payına sahip bir işletmedir. Yurt dışında; Avrupa, Ortadoğu, Afrika, Latin Amerika ve Asya ülkelerinin yoğunlukta olduğu bir ihracat ağı bulunmaktadır. Türkiye dışında, özellikle Ortadoğu ve Afrika bölgesinde know - how desteği, ortaklık vb. iş birlikleriyle toplam 4 fabrikada daha faaliyet göstermektedir.

Bir otomotiv yan sanayisi olarak başta Renault, Türk Traktör, Hyundai olmak üzere birçok fabrikaya akü sağlamaktadır.

Şuan çalışmalarını starter akü kolundan, lityum iyon bataryalar üzerine yoğunlaştırmıştır.

2.1. Ürün Bilgisi

Akümülatör; araçta ateşleme, alternatörün yetersiz kaldığı durumlarda elektrik ihtiyacını karşılama ve elektrik sistemini dalgalanmalara karşı koruma gibi yaşamsal fonksiyonları gerçekleştiren, kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine çeviren elektro - kimyasal bir cihazdır. Aküler, kimyasal reaksiyonlarla elektrik enerjisi üretir, (deşarj), elektrik akımına maruz kaldıklarında ise kimyasal reaksiyon oluştururlar.



Akümülatörün araçtaki başlıca fonksiyonları,

- Aracın ilk çalışması sırasında marş motoru için gerekli elektrik akımını sağlamak,
- Enerji ihtiyacının alternatör tarafından karşılanamadığı durumlarda gerekli enerjiyi sağlamak,
- Aracın elektrik sisteminde voltaj düzenleyici olarak rol oynayarak elektrik sistemini korumaktır.

2.1.1. Ürün bileşenleri

Plakalar: Akümülatörlerin enerji vermesini sağlayan en önemli parça plakalardır. Pozitif ve negatif olmak üzere iki çeşit plaka bulunur. Plakanın iskeleti ızgaradır. Izgaranın üzerinin farklı nitelikteki hamurlarla sıvanması sonucu pozitif ve negatif plakalar elde edilir. Pozitif plakalar akım veren plakalar oldukları için oksitlenme reaksiyonu bu plakalarda olur ve negatif plakaya göre daha kalın ve ağır üretilir. Pozitif plakanın aktif maddesi PbO_2 (kurşun dioksit), negatif plakanın aktif maddesi yumuşak süngerimsi Pb (kurşun)' dur.

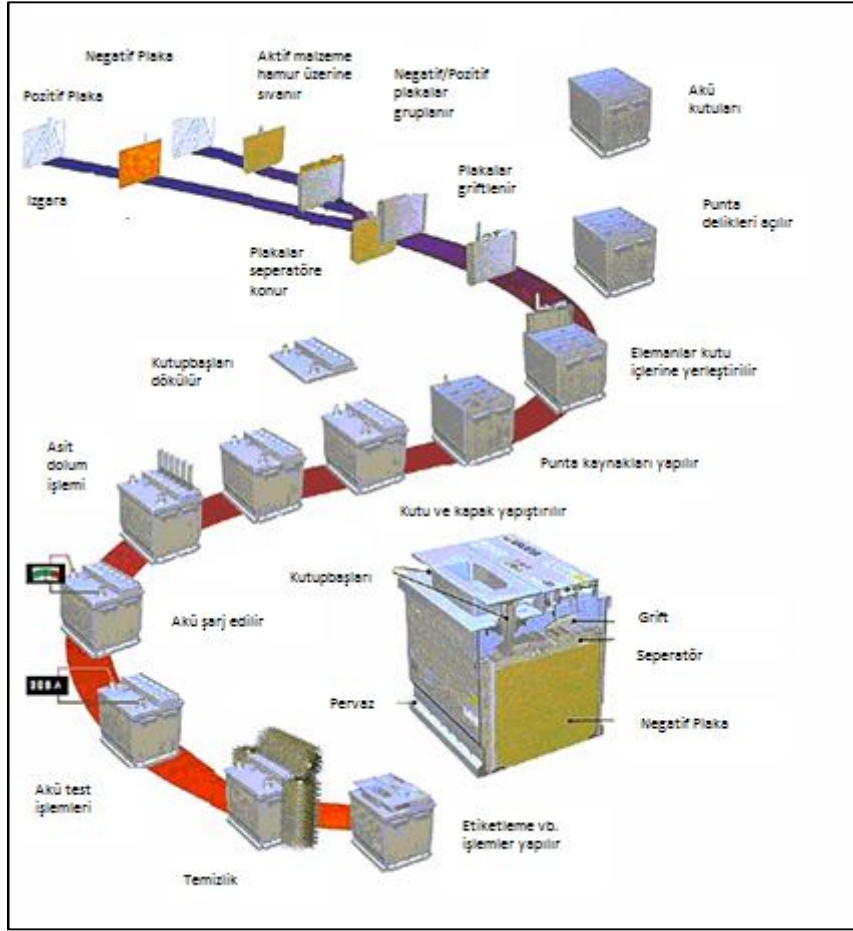
Kutu, Kapak: Kutu ve kapaklar polipropilenden üretilirler. Bu bileşenlerin görevi yeterli yalıtımı, sızdırmazlığı, uzun süreli dayanıklılığı sağlaması, mekanik ve kimyasal özellikleri korumasıdır.

Seperatör: Pozitif ve negatif plakaların birbirine temas ederek kısa devre oluşturmasını engelleyen ve aynı zamanda da elektrik akımını taşıyan iyonların geçişine izin veren mikro gözeneklere sahip zarf veya levha şeklinde yapılarıdır.

Kutupbaşları: Her kurşun asit hücresi yaklaşık olarak 2V'tur. İstenilen akü voltajına bağlı olarak bunlar birbirlerine seri bağlanarak istenilen voltajda akü üretilir. Bunun sonucunda pozitif plakaların bağlı olduğu uç pozitif kutbu, negatif plakların bağlandığı uç negatif kutbu oluşturur. Kutupların üzerinde veya yanlarında (-) ve (+) işaretleri bulunmaktadır.

Gaz Kapakları: Akümülatörlerin içerisinde oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucu daima bir gaz çıkışı olmaktadır. Akü içerisindeki basıncın belirli değerlerin altında kalması gerekir. Bu amaçla gaz çıkışını sağlayan buşonlar kullanılır.

Elektrolit: Elektrolit plakaların içerisine batırıldığı, iyonların pozitif kutuptan negatif kutba taşınmasını sağlayan seyreltilmiş sülfürik asit (H_2SO_4) çözeltisidir. Tam şarjlı aküde elektrolit yoğunluğu 27 °C'de 1,28 gr/cm³'dür. Daha yüksek yoğunluklarda akü yüksek voltaj verir, fakat kısa sürede yıpranır. Düşük yoğunluklarda ise voltaj ve marş akımı gücünde azalma olur [6].



Resim 2.2. Ürün bileşenleri ve akışları

Resim 2.2’de bir akünün fabrikadaki üretiminin başlangıcından son ürün haline gelişine kadarki tüm süreç adımları ile gösterilmiştir [6]. Bileşenlerin tamamı akış boyunca takip edilebilir.

2.2. Üretim Analizi

İşletmede, sürekli üretim tipi ile üretim yapılmaktadır. Makine ve hatlar belirli mamul üretimleri için yetenekleri doğrultusunda atanmıştır ve aynı ya da benzer işlemlerin sıra ile yerine getirilmesi söz konusudur. Üretim hatları üzerinde bazı değişiklikler yapılarak farklı tip mamuller üretilmektedir. Makinelerin üretim içi yerleşim düzeninde işlem sıraları esas alınmıştır. Ürünün üzerindeki işlem sırası sabittir, tip bazında çevrim süreleri belirli ve bilindiğinden hatların iş yükleri dengelenebilmektedir. Ürüne düzenli ve yüksek talep vardır. Farklı tip ürün üretilse dahi, tüm ürünler aynı işlem sırasında benzer makinelerde işlem görmektedirler. Bu özellikler sürekli üretim tipinden, işletmeyi, akış tipi üretim

yapan bir alt dala ayırmaktadır. Akış tipi üretim yapan işletmede, proses içi ara stoklar çok düşük seviyededir ve iş parçaları istasyonlar arasında konveyör ile taşınmaktadır.

İşletmenin ürün çeşitliliği kutu tipi bazında genel olarak sınıflandırılabilir. Aşağıda Ah aralıklarına göre kutu tipleri verilmiştir;

- *Japon Serisi (35-70 Ah arası)*; NS40, NS60, D23, N50, N70
- *L Serisi (45-105 Ah arası)*; L1, L1B, L2, L2B, L3, L3B, L4, L5, L5B, H3, H4
- *Büyük Seri (120-250 Ah arası)*; D6, D2, 12D2, D4A, B, C, A, 12D1

İşletme bünyesinde 6 adet montaj hattı bulunmaktadır. Çalışmada, hatların yeteneklerine, özelliklerine ve kriterlerine göre gruplanması yapılmıştır. Bu hatların sınıflandırılması aşağıdaki çizelgede verildiği gibidir.

Çizelge 2.1. İşletmede bulunan montaj hatları

Hat	İşin Yapısına Göre	Model Çeşidine Göre	İstasyonların Yerleşimine Göre	Görev Zamanlarına Göre
1	Manuel, Otomatik	Çok Modelli	Paralel	Deterministik
2	Manuel, Otomatik	Çok Modelli	Paralel	Deterministik
3	Manuel, Otomatik	Çok Modelli	Paralel	Deterministik
4	Manuel, Otomatik	Çok Modelli	Paralel	Deterministik
5	Otomatik	Çok Modelli	Paralel	Deterministik
6	Otomatik	Çok Modelli	Paralel	Deterministik

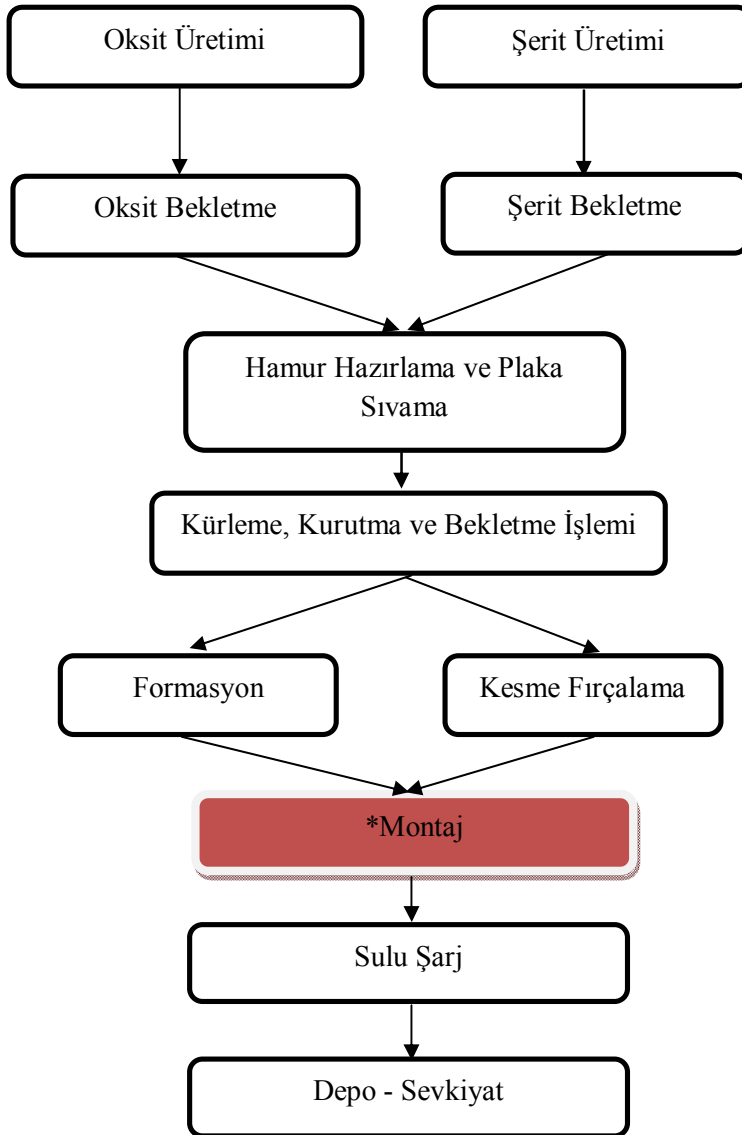
Çizelge 2.1’de işletmeye ait mevcut montaj hatları çok modellenli olarak sınıflandırılmıştır. Parti tipi üretim yapan işletmedeki üretim tipini, çok modellenli yapıdan karışık modellenli yapıya geçirerek; stokların azaltılması ve müşteriye cevap hızının artırılması hedeflenmiştir. İmalat stratejilerinin ürün değişkenliğine cevap verebilme isteği, tek modellenli yapıyı çok modellenli yapıya; çok modellenli yapıyı da karışık modellenli ürün üretebilme yapısına zorlamaktadır.

Mevcut montaj hatlarının, yerleşimlerine göre paralel oldukları için PMHDP’ne uygun olduğu düşünülmüştür ve problemin çözümü bu tip bir problemin çözümü şeklinde ilerleyecektir.

2.2. Problem Seçimi

Rekabetçi ortamın büyümesi ve minimum zamanda maksimum kaliteli çıktının alınması gerekliliği işletmedeki kayıp noktalarının analiz edilmesini ve bu noktaların iyileştirilmesi gerekliliğini baskılamıştır. Bu yönetim yaklaşımı ile işletmede üretilen bir ürün ailesine yönelik tüm işlem adımları incelenmiş ve büyük pencereden tüm süreci görerek israf noktaları belirlenmiştir.

Üretim şekline bağlı olarak; oluşturulan üretim akış şeması aşağıda gösterildiği şekildedir.



Şekil 2.1. Üretim akışı

Şekil 2.1’de paralel konumlu montaj hatlarından; maksimum çıktı sağlamak, ana proses olarak kabul edilen bu prosesin kapasitesinde sağlanacak olan artış, fabrika kapasitesini doğrudan yükseltmiş ve diğer prosesleri tetiklemiş olacaktır.

Problemin seçimindeki temel noktalar aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- Montaj hatlarındaki kayıp zamanların, kapasitede dar boğaz oluşturması,
- Operatör kayıplarının (OME) en küçüklenmesi ve operatör adam saatlerinin maksimum verimlilikte kullanılması ihtiyacı,
- Hatların iş yükü dengesini sağlayarak, en uygun vardiya planlaması ihtiyacı,
- Kaynakların ortak kullanım ihtiyacı,
- Mevcut talep akışı ile üretim akışının uyumlandırılması ihtiyacı,
- Nihai ürün ve proses içi stokların azaltılması ihtiyacı,

Problem seçiminde yukarıda belirtilen ihtiyaçlar doğrultusunda, müşteri cevap hızının artırılması için sıralama, hat verimliliğinin artırılması, kaynak optimizasyonunun sağlanması, iş gücü ve vardiya dengesinin sağlanması için dengeleme problemleri birlikte çözülmüştür.

3. MONTAJ HATLARI

Montaj hatları, birbirine bir konveyör veya benzeri bir mekanik taşıma ekipmanı ile bağlanmış iş istasyonlarının sıralı olduğu bir tesis yerleşim tipi olarak tanımlanmıştır. Bu hatlar alt parçaların birleştirilerek bir son mamul şekline getirilmesi için kullanılmaktadır. İş parçaları (görevler) sıralı olarak başlatılır ve bir istasyondan diğerine aktarılır. Yüksek kaliteli standartlaştırılmış ürünlerin imalatında en geniş çaplı olarak kullanılan, üretim tekniğidir [1].

Montaj hatları düşük maliyette, standartlaştırılmış iş süreçlerinde, kaliteli ürünlerin üretilmesi için tasarlanmış; çoğunlukla bir konveyör şeridi üzerinde montajlama komponentlerinin üretimlerinin ardarda sıralandığı bir üretim prosesidir. Mekanik sistem üzerinde bulunan istasyon kümelerinin oluşturduğu düzenli bir akış yaratır.

Bir montaj hattı akışı, ilk olarak ürünün tasarımı ve prosesin seçimi ile şekillenmektedir. Hat üzerindeki görev setleri belirli kısıtlar altında sıralanmaktadır. İş gücü için, ergonomik faktörler, çevresel koşullar, ekonomik ve teknik şartlar değerlendirilerek kaynakların kullanımına göre yerleşim yapılmaktadır. Yerleşim düzeni bu koşullar altında şekillenerek akış yönleri ve kuralları oluşturulmaktadır.

Montaj hatları tek taraflı montaj hatları ve çift taraflı montaj hatları olmak üzere sınıflandırılabilirler. Bir montaj hattının sadece tek tarafı kullanılıyorsa; *tek taraflı montaj hattı*; sağ ve sol olmak üzere her iki tarafı da kullanılıyorsa; bu montaj hatlarına *çift taraflı montaj hatları* denilmektedir. Çift taraflı montaj hatları genellikle yüksek talepli, büyük miktarda parçaların üretimi için tasarlanmaktadır; otomobil, kamyon, otobüs gibi. Çift taraflı montaj hatlarında bazı görevlerin hattın bir tarafında yapılması tercih edilirken bazı görevlerin de diğer tarafında yapılması, belirlenen önceliklere göre tercih edilebilir. Çift taraflı montaj hatları dengelenirken, boş zaman; ortak istasyonlara görevlerin atanmasında kaçınılmaz olarak ortaya çıkabilmektedir.

Çift taraflı montaj hatları tek taraflı montaj hatlarına göre aşağıdaki avantajları sunmaktadır [8];

- Tek taraflı montaj hattının uzunluğundan daha kısa olabilir,
- Malzeme elleçleme maliyetini, model değişim zamanını, operatör yürümelerini ve çevrim zamanını azaltabilir,
- Araç, gereç ve ekipman maliyetini azaltabilir.

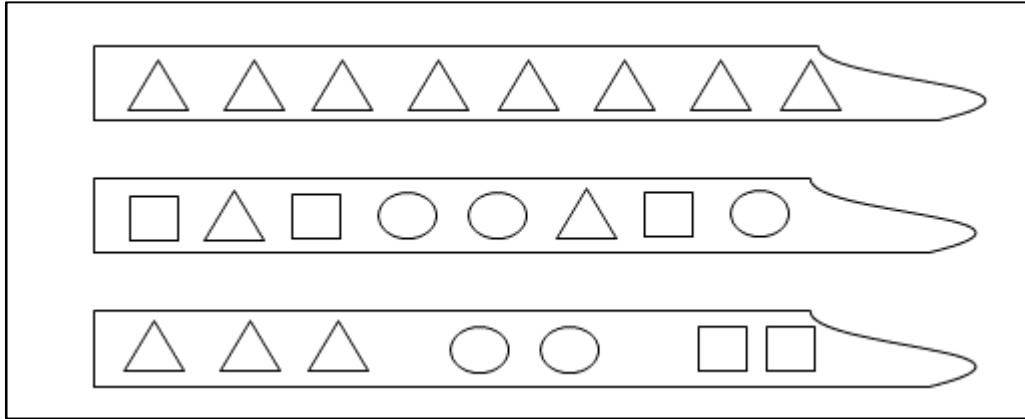
Montaj hatları ürettikleri model sayısına göre de; 3 grupta incelenmektedir;

Tek Modelli Hatlar: Tek bir modelin ya da ürünün üretimine ayrılmış hatlardır. Homojen olarak tek ürünün üretilmesini sağlarlar ve her çevrimde tekrarlanan iş setlerine sahiptirler.

Çok Modelli Hatlar: Farklı ürünler ya da aynı ürünün iki ya da daha çok benzer tipinin ayrı yığınlar halinde üretildiği hatlardır. Bu hatlara yönelik yapılacak çalışmalarda, her parti için model değişim süreleri dikkate alınarak, dengeleme yapılmalıdır. Çok modellenli hatlarda dengeleme yapılırken, parti büyüklüğü problemleri, parti sıralama problemleri ile birlikte değerlendirmek avantajlı olacaktır.

Karışık Modelli Hatlar: İki ya da daha çok benzer ürünün ya da bir ürünün farklı modellerinin aynı anda ve karışık olarak üretildiği montaj hatlarıdır. Farklı ürünler temel işlemler olarak çoğunlukla benzerlik gösterir, farklı niteliklere sahip olabilmek için farklı istasyonlara uğramaktadırlar. Karışık modellenli hatlarda dengeleme problemlerinin, sıralama problemleri ile birlikte değerlendirilmesi pratik durumlar ile problemi daha fazla örtüştürecektir.

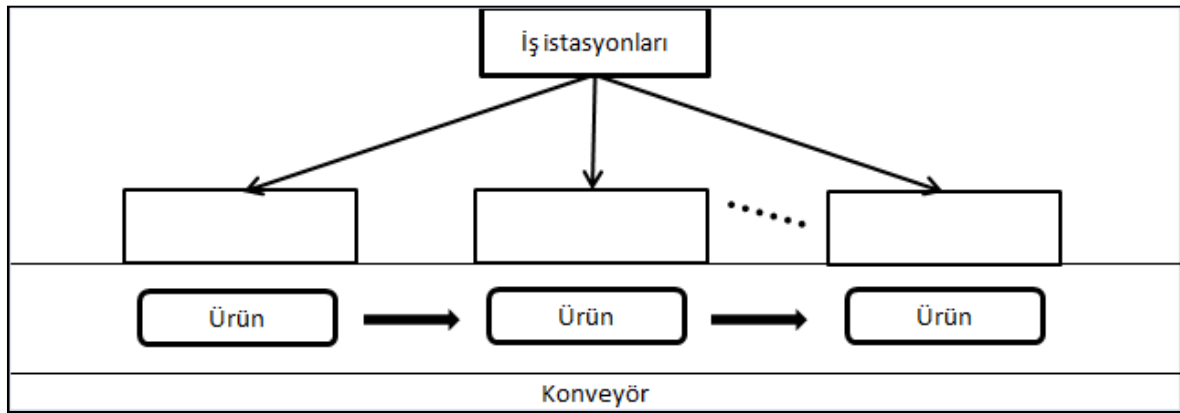
Karışık modellenli montaj hatlarında tek bir montaj hattında, birbirine yakın karakteristiklere sahip birbirinden farklı ürün modellerinin üretilmesi için kalıp değişim sürelerinin en küçüklenmesi gereklidir. Pratik dünyada bu hatlara ait problemlerin çözümlerinin uygulanabilir olması için model değişimlerdeki kayıplar üzerinde birçok ön çalışma yapılmış olmalıdır.



Şekil 3.1. Tek modelli, çok modelli, karışık modelli hatlar

Literatürde değerlendirilen yerleşim şekline göre montaj hatları aşağıdaki şekilde gruplanabilmektedir [15];

Geleneksel Düz Hatlar; her ürün hat üzerindeki tüm istasyonlara uğrar ve işlem görür.



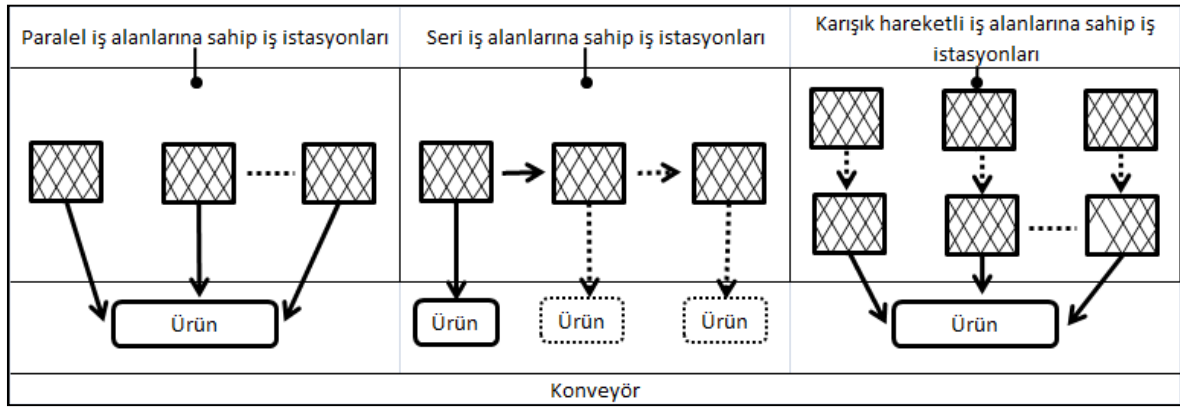
Şekil 3.2. Düz hatlar şematik gösterimi

Çoklu Üretim Yerine Sahip Düz Hatlar; düz bir şekilde hizalanmış, ancak, her bir istasyonda paralel üretim alanları, seri üretim alanları, karışık aktiviteli üretim alanları bulunmaktadır. Görevler, ekipman parçaları sırasıyla buralarda kullanılmaktadır.

Paralel hatlarda ürün modelleri hatların yeteneklerine göre aynı ya da farklı hatlarda üretilmektedirler. Her bir hat, değişik ürün modellerine olan talebin değişkenliği sebebi ile farklı çevrim zamanlarına sahip olabilir.

Aşağıda paralel montaj hatların avantajları verilmiştir [13];

- Paralel montaj hatları benzer ürünler veya aynı ürünün değişik modellerini üretmek için hazırlıklıdır,
- Boş zamanı azaltır ve hat verimini artırır,
- Her bir hatta değişik çevrim zamanı ile üretim mümkündür,
- Operatörler arasında görünürlüğü ve iletişim yeteneğini artırır,
- Operatör ihtiyacını azaltır,



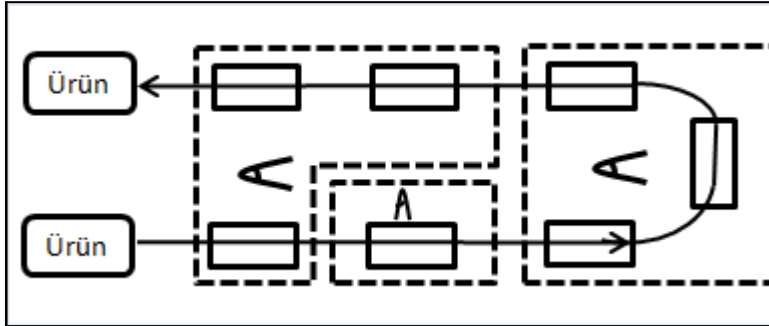
Şekil 3.3. Çoklu üretim yerine sahip düz hatlar şematik gösterimi

U- Tipi hatlar; bu hatların giriş ve çıkışları aynı yerdedir. Operatörler hattın arasında konumlanmıştır, bu sayede aynı çevrim içerisinde birden fazla görevde bulunabilirler.

Malzeme girişi ve bitmiş ürün çıkışı U tipi hattın başlangıcındadır ve U hattının son alanı komşu hattının başlangıç alanının yakınındadır. U tipi montaj hatlarının arka ve ön taraflarında konumlandırılan görevleri içeren istasyonlar çapraz geçişli istasyonlar olarak isimlendirirler.

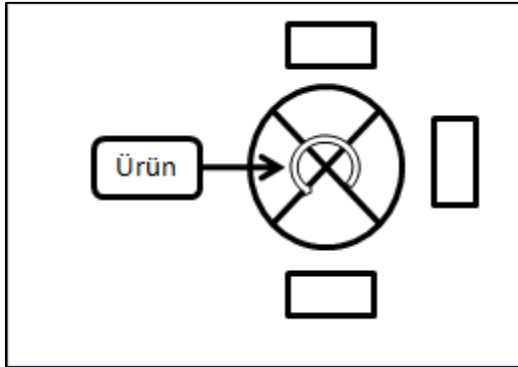
Bu tarz üretim hatlarında çapraz geçişli istasyonların kullanımı yaygındır. Herhangi bir ürün çevriminde iki farklı ürün modelinin görevleri aynı çapraz geçişli istasyonda uygulanabilir. İki değişik model tipi bir çapraz geçişli istasyonda uygulanır, böylece bu istasyonun iş yükü karışık modelli u-tipi hatların ürün çizelgesine bağlı olarak farklılık gösterebilir. İstasyonların iş yükü karışık modelli U-tipi hatlardaki model çizelgeleme ve

hat dengelemeye bağılı olarak değıştirilebilir. Buna göre; paralel karışık modelli montaj hatları ortak istasyonlarda benzer karakteristikler gösterebilmektedir [13].



Şekil 3.4. U-tipi hatlar şematik gösterimi

Dairesel Transferli Hatlar; istasyonlar, indirme, yükleme, parça hareketi gibi işlemler için kullanılan bir dönen tabla etrafında konumlanmıştır.



Şekil 3.5. Dairesel transferli hatlar şematik gösterimi

Asimetrik Hatlar; ürün çeşidinin artması ile birlikte oluşan riskleri düşürmektedir.

Çalışma içerisinde incelenecek problemde mevcut paralel montaj hatlarına yönelik; U-tipi, Geleneksel (Düz) montaj hatlarına ile karşılaştırma yapılacak olunursa, paralel montaj hatları aşağıdaki avantajları sağlamaktadır [1];

- Aynı ürün veya benzer ürünlerin birbirine paralel bitişik hatlarda üretilebilmesini sağlar,

- Ortak kaynak kullanımına izin vererek boş zamanları azaltarak hat verimliliğini yükseltir,
- Her bir montaj hattı için değişik çevrim süreleri ile üretim olanağı sağlar,
- Operatörler arasındaki iletişim ve gözlenebilirlik olanaklarını artırır,
- Operatör gereksinimlerini azaltır,
- Alet ve ekipman maliyetlerini azaltır.

Montaj hatları görev sürelerinin yapısına göre de aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadırlar [18];

Deterministik görev zamanlı; Görev zamanları üzerindeki varyans düşük veya görevler otomatik istasyonlar üzerinde yapılıyorlarsa; görev zamanlarında fazla değişkenlik beklenmemektedir.

Stokastik görev zamanlı; Operatörlerin öğrenme etkisi, yetenek, motivasyon, prosesin duyarlılığı vb. sebeplerden dolayı değişebilen görev zamanlı hatlardır.

Görev zamanları üçüncü sınıfta deterministik ve stokastik olarak birlikte değerlendirilmektedir.

3.1. Montaj Hattı Temel Kavramları

Montaj hattı dengeleme içerisinde tanımlanan kavramlar aşağıdaki gibidir [5];

Görev: Montaj prosesindeki toplam işin bölünemez en küçük parçasıdır. Görev i indisi ile ifade edilmektedir. Problemdeki görev sayısının toplamı ise N ile gösterilir.

Görev Zamanı: Bir görevi tamamlamak için gerekli süredir ve i görevine ait işlem zamanı t_i ile gösterilir. Görev zamanları sabit, değişken ve kararsız olabilmektedir. Manuel hatlarda operatörün yeteneği, motivasyonu, morali vb. etkenler göz önüne alındığında dengeleme problemlerine başladığı zaman görev zamanları kararsız kalabilmektedir. Bazı otomatik hatlarda ise görev zamanları tek ve sabit olarak gözlenmektedir [15].

Toplam İş Zamanı: Montaj hattı üzerinde montajı gerçekleştirilecek bir ürünün tüm iş ögesi sürelerinin toplamına denmektedir.

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

İş İstasyonu: Üretim hattında yapılması öngörülen toplam iş miktarının bir kısmının yerine getirildiği yerdir ve açık ya da kapalı olabilirler. Her bir istasyonda ürünlerin üretilmesi için gereken N operasyonun bir alt kümesi gerçekleştirilir ve k ile gösterilmektedir. Toplam istasyon sayısı ise K ile ifade edilmektedir.

Çevrim Zamanı: Hattın sabit ve aralıklı hareketleri ile her ürünün her bir istasyonda işlem gördüğü zamandır. C ile gösterilmektedir. Çevrim zamanı, en büyük görev zamanına eşit ya da ondan büyüktür [5]. Hat sonundaki iki ürün arasındaki süre olarak kısaca aktarılabilir.

$$C = \frac{T}{Q}$$

* T kadar zamanda Q adet ürün üretilmesi gerekiyorsa,

Teorik Minimum İstasyon Sayısı: Daha az sayı ile hattın dengelenemediği istasyon sayısıdır.

$$K_{min} = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{C}$$

İstasyon Zamanı: Aynı istasyonda yapılan görevlerin zamanları toplamıdır. K istasyonuna ait zaman S_k ile gösterilir ve montaj hattındaki bir istasyon zamanı hattın çevrim zamanından büyük olmamalıdır.

$$\text{Max } \{t_i\} \leq \text{Max } \{S_k\} \leq C$$

İstasyon Gecikme Zamanı: Çevrim zamanı ile istasyon zamanı arasındaki farka eşit olup aynı zamanda istasyonun boş zamanı olarak da ifade edilmektedir.

$$\text{Boş Zaman} = C - S_k$$

Toplam Boş Zaman: Bütün istasyonların boş zamanlarının toplamıdır.

$$TBZ = \sum_{k=1}^K C - S_k$$

Öncelik Diyagramı: Bir ürünün montajında yapılması gereken iş elemanlarının ya da görevlerinin işlem sıralarının grafiksel olarak gösterilmesine imkân veren bir araçtır. Dairelerin içindeki harfler görevleri ifade etmektedir. Diyagram soldan sağa doğru çizilen yönlü bir şemadır. PERT diyagramı gibi çizilmektedir.

Öncelik Matrisi: Öncelik diyagramındaki ilişkilerin matris sisteminde gösterimiyle oluşturulan bir üst üçgen matristir. Bu matriste her bir görevin öncesinde zorunlu olarak yapılması gereken diğer görevler tanımlanır. Bu ilişkiler göz önünde bulundurularak istasyonlara atamalar yapılır. Öncelik diyagramında eğer i görevini j görevi takip ediyorsa; matriste i. satır j. sütun 1; aksi durumda 0 değerini alır [5].

Birleştirilmiş Öncelik Matrisi: Birden fazla modelin öncelik ilişkilerinin birleşiminden oluşur.

Denge Gecikmesi: Etkinliğin bir ölçüsü olan denge gecikmesi, toplam boş zamanı, ürünün hattın başından sonuna hareketi sırasında harcadığı toplam zamana oranıdır.

$$d = \frac{KC - \sum_{i=1}^N t_i}{KC}$$

Hattın Etkinliği: Verimlilik ölçütü olarak kullanılmaktadır. 0 - 1 arası bir değer alır.

$$e = \frac{\sum_{k=1}^K S_k}{KC}$$

Düzlük İndeksi: Bir montaj hattının dengesinin göreceli düzlüğünü gösteren bir indekstir. İndeksin 0 olması dengenin tam olduğunu gösterir.

$$SI = \sqrt{\sum_{k=1}^K (S_{max} - S_k)^2}$$

Esneklik Oranı: Montaj işlemindeki görevlerin öncelik ilişkisine göre bulunabilecek uygun sıralamaların nispi belirleyicisidir.

$$E \text{ Oranı} = \frac{2Y}{N(N-1)}$$

Y: öncelik matrisindeki sıfır sayısı; N: görev sayısı

Esneklik oranı 0 - 1 arası değişmektedir. Sıfıra yaklaştıkça tüm görevlerin ardışık dizilimi kuvvetlenmektedir. Bire yaklaştıkça görevlerin diziliminde optimale yakın alternatifler aranabileceği sonucu çıkmaktadır. Bu da problemin çözümünü zorlaştıracaktır.

Görevlerin Paralelliği: Bir görevin birden fazla istasyonda yapılmasına müsaade edilmesidir.

İstasyonların Paralelliği: Hat boyunca belirli noktalarda denk iş istasyonlarına müsaade edilmesidir.

Bölgeleme Kısıtları: Belirli görevlerin aynı yerde veya aynı istasyonda yapılması gerekliliği olan kısıtlar pozitif bölge kısıtlarıdır. Görevlerin aynı istasyonda yapılmaması gerekliliği olan kısıtlar ise negatif bölge kısıtlarıdır.

İstasyon Tıkanması: Eğer istasyonda tamamlanmış birimler, yetersiz alan yüzünden stoklanamıyorsa veya bir sonraki istasyon iş yükünü tamamlamaması nedeni ile birimler söz konusu istasyonda kalmak zorunda kalıyorsa istasyon tıkanmış demektir.

İstasyon Açlığı: Eğer istasyon uygunsa ve işlemi başlatmak için mevcut birime sahip değilse, istasyon açtır denilmektedir.

Gecikmesiz Hatlar: Her istasyona aynı zaman miktarı izin verilmektedir. Her bir çevrim zamanından sonra birim tamamlansın ya da tamamlanmasın bir sonraki istasyona iletilir.

Gecikmeli Hatlar: İstasyon ilgili faaliyetlerini tamamladığında birim bir sonraki hatta iletilir.

Montaj hatlarının performans ölçütleri ya çevrim zamanı biliniyorken istasyon sayısı en küçüklemesine ya da istasyon sayısı biliniyorken çevrim zamanı en küçüklemesine dayanmaktadır.

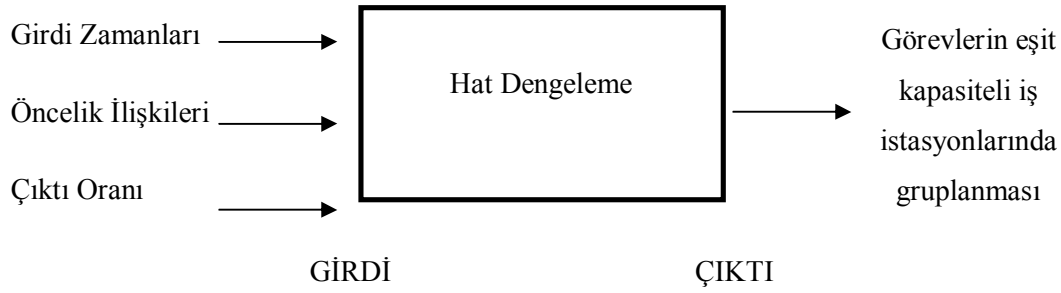
3.2. Montaj Hattı Dengeleme Problemi

Montaj hattı dengeleme probleminde hatların verimlilikleri temel alınarak, minimum maliyet ile belirlenen hat kısıtları altında talepleri maksimum hızda karşılamak üzerine modellemeler yapılır.

Bir ya da daha fazla amacın spesifik kısıtlarına göre, görevlerin istasyonlara atanarak, amaçların optimize edilmesine *Montaj Hattı Dengeleme Problemi* denilmektedir [8].

Montaj hattı dengeleme problemleri, kombinasyonel optimizasyon problemlerindeki NP-hard problem sınıfına girmektedir. MHDP'nin kombinasyonel yapısı, problem büyüklüğü arttıkça optimal sonucu vermekte zorlanmaktadır.

Montaj hattı dengeleme problemlerinde problemin yapısını ve büyüklüğünü; dengelenecek hat sayısı, görevlerin nitelikleri, istasyonların nitelikleri belirlemektedir. Kısıtların uyumlandırılması ve kriterlerin en iyi çözüm için ayrılması problemin çözümünde kullanılacak basamaklardır [15]. Montaj hattı dengeleme sistemi genel anlamda aşağıdaki şemada aktarıldığı gibidir [12].



Şekil 3.6. Montaj hattı dengeleme sistemi

Genel anlamda montaj hatlarındaki dengeleme problemlerinin çözümü;

- Düzenli bir malzeme akışı sağlar,
- İnsan gücü ve kapasitenin en uygun oranda kullanımını garanti eder,
- Toplam görev süresinin en küçüklenmesini amaçlar,
- Toplam istasyon sayısının en küçüklenmesini amaçlar,
- Boş zamanların en küçüklenmesini hedef alır,
- Üretim maliyetlerini en küçüklemek üzerine odaklanır,

Seçilecek hedeflere göre gelinen noktada israf azalacak ve maliyet en küçüklenecektir. Aşağıda, bazı amaç fonksiyonlarının formülizasyonu, verilen notasyonlar doğrultusunda gösterilmiştir [31];

n : değişken olarak iş istasyonu sayısı

N : önceden belirlenmiş istasyon sayısı

ct : değişken olarak çevrim zamanı

CT : önceden belirlenmiş çevrim zamanı

W : toplam görev uygulama süresi

T_j : j istasyonunda iş yükü, atanmış görevlerin toplam uygulama süresi

G_j : j istasyonuna atanmış görevlerin öncelik ilişkileri

SN_j : G_j deki bağlanmış ağ sayısı

Verilen notasyonlar doğrultusunda formülasyon aşağıdaki gibidir;

Amaç 1. İstasyon sayısını en küçükleme,

$$\text{minimize } f_1 = n \text{ (CT verildiğinde),}$$

Amaç 2. Çevrim zamanını en küçükleme,

$$\text{minimize } f_2 = ct \text{ (N verildiğinde),}$$

Amaç 3. Dengelenmiş iş yükünü en büyükleme,

$$\text{minimize } f_3 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left(T_j - \frac{W}{N} \right)^2 \text{ (N verildiğinde),}$$

Amaç 4. İş benzerliğini en büyükleme,

$$\text{minimize } f_4 = n - \frac{n}{\sum_{j=1}^n SN_j} \text{ (CT verildiğinde),}$$

Amaç 5. 3 ve 4. amaçları birlikte gerçekleştirmek,

$$\text{minimize } f'_3 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(T_j - \frac{W}{n} \right)^2 \text{ (N verildiğinde),}$$

$\text{minimize } f'_4 = \sum_{j=1}^n SN_j$ (üst sınır çevrim süresi ile üst sınır istasyon sayısı verilmiştir)

Montaj hattı dengeleme problemlerinde yukarıda belirtilen amaçların bir ya da birkaçına ulaşabilmek için, literatürde tanımlanan aşağıdaki ana kısıtlar altında problem çözümleri yapılmaktadır [15];

- Her görev bir istasyona atanmış olmalıdır. (atama kısıtı)
- İşler arasındaki tüm öncelik ilişkileri bilinmelidir. (öncelik kısıtı)
- İstasyonlara atanmış görevlerin toplam görev zamanı çevrim zamanının geçemez. (çevrim zamanı kısıtı)

Bu ana kısıtların dışında aşağıdaki bazı kısıtlar da hat özelliklerine ve koşullarına göre dikkate alınabilmektedirler;

- Konum kısıtı

- Sabit donanım kısıtı
- İstasyon yük kısıtı
- Aynı istasyona atanması istenen iş ögeleri kısıtı
- Aynı istasyona atanmaması gereken iş ögeleri kısıtı

İstasyonlardan hiçbirisi çevrim süresinde yapabileceğinden fazla işe sahip olmamalı ve atıl süre tüm istasyonlarda en küçüklenmiş olmalıdır [12].

Montaj hattında yer alan iş istasyonlarının her birinin doluluk seviyesi operatörlerin verimliliklerini en büyükleyecek ya da hattın durma riskini en küçükleyecek şekilde olmalıdır [12]. Belirtilen bu kısıtlar altında;

- Çevrim zamanı sabitken istasyon sayısını azaltmak,
- İstasyon sayısı sabitken çevrim zamanını azaltmak,

Amaç fonksiyonlarına problemin yapısına göre ulaşılmaya çalışılır. Bu amaç fonksiyonlarına ek olarak, hat verimliliğini artırmaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır. MHDP’nde, 3 ana unsur altında sınıflandırma yapılmaktadır;

Öncelik şeması özellikleri, öncelik şemaları görevlerin birbirleri ile ilişkilerini, alternatif rotaları ve görev sürelerini gösterdiğinden bu şemanın her türlü kısıtı direkt olarak problemin sınıfını etkilemektedir. Sıralamaya bağlı görev zamanları, proses alternatifi kaynaklı oluşan karar verme problemleri, malzeme, ekipman vb. kaynaklı atamama kısıtları gibi bir çok özelliğe göre detaylandırılmaktadır.

İstasyon ve hat karakteristikleri, iş parçalarının hareketlerine göre kabul edilen varsayımlara yönelik çevrim zamanı değişkenliği problemi sınıflandırmaktadır.

Amaçlar, çevrim zamanı en küçüklemek, istasyon sayısı en küçüklemek ya da hat verimliliği en büyüklemek amaçlarına yönelik problemler sınıflandırılmaktadır.

Montaj hattı dengeleme problemleri, endüstriyel ortamlarda değişkenlik gösterebilmektedir. Bir ürün modeli çeşitli mekaniksel işlemlerden geçerek

tamamlanabilmektedir. Bu tarz iş akışlarında genellikle öncelik ilişkileri montajlama işlemlerine göre düşük önem taşıyabilmektedir. Montajlama işlemlerinde, genellikle bitmiş ürün birçok bileşenden oluşmaktadır, öncelik diyagramları birçok başlangıç noktasından oluşurken, genellikle son bir final noktasında tamamlanır. Bu endüstriyel çeşitlemenin yanı sıra literatürde birçok sökme işlemlerine de rastlanmaktadır [15].

Bütün bunların yanı sıra Henry Ford'dan günümüze kadar değişen koşullar altında, montaj hattı dengeleme problemlerine bakış açısı, çok çeşitli modellerin üretimindeki kalıp değişim sürelerine ve maliyetlerine odaklanmıştır.

3.3. Karışık Modelli Paralel Montaj Hatları Dengeleme Problemi

Birden fazla montaj hattına sahip imalat sistemlerinin örneklerine sanayide oldukça yaygın olarak rastlanmaktadır. Bu hatların ürettikleri ürünlerin birbirinin aynı ya da benzeri oldukları ve çevrim zamanlarının birbirine eşit ya da yakın oldukları görülmektedir. Bundan dolayı da, Gökçen vd. (2006), üretim sisteminin verimliliğinin ve kaynak kullanımının artırılması için, paralel bitişik hatların bazı istasyonlarının iş yüklerinin birleştirilmesini önermişlerdir. Birden fazla hattın ortak bir şekilde dengelendiği bu problem *Paralel Montaj Hattı Dengeleme Problemi* (PMHDP) olarak isimlendirilmiştir [1].

Paralel montaj hattı dengelemenin ana amacı; birden fazla montaj hattının eş zamanlı dengelenmesidir.

Gökçen vd. çalışmasına göre eğer fabrikada ürünler birden fazla hatta üretiliyor ve bu hatların tasarımı da birbirine paralel olarak yapılmışsa, PMHDP yaklaşımı kaynak kullanımında oldukça önemli gelişmeler sağlayacaktır. Bu çalışmada PMHDP için aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır [1];

Her bir ürünün öncelik diyagramları bilinmektedir.

- Her bir ürün içi görev süreleri belirlidir.
- Her hattın her istasyonunda çalışan operatörler esnektir.
- Hattın her iki tarafında da çalışılabilmektedir.

Karışık modelli hatlar, standartlaştırılmış ancak, farklı renk, farklı malzeme kullanımı farklı ekipman kullanımı gibi sebeplerden farklılaşan farklı görevler, görev süreleri ve öncelik ilişkilerine göre farklılaşan modeller üretebilir [17].

Yüksek miktarlı standartlaştırılmış homojen ürünler üretebilmek için tasarlanmış tek modelli montaj hatları; yüksek değişkenlik gösteren müşteri talebi için model sayısı açısından uygun olmamaktadır. Fakat karışık modelli montaj hatları pazar talebindeki değişikliklere adapte olabilmek için esnekliği artıran endüstri şirketlerinde daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Karışık modelli hatlar, iki önemli problem içermektedirler. İlki karışık modelli hat dengeleme problemi, ikincisi ise model sıralama problemleridir.

Karışık Modelli Dengeleme Problemi, bazı performans göstergelerinin optimizasyonu ile görevlerin düzenlenmiş istasyon sırasına atanması problemi iken; modellerin üretim sırasının belirlenmesine de *Model Çizelgeleme Problemi* denilmektedir [13].

Karışık modelli dengeleme problemleri, operatör sıralarını oluşturmak ya da model karışımlarını oluşturmak için de kullanılabilirler. Operatör sıralarını oluştururken, operatör boş zamanlarına odaklanırken, model karışımlarında minimum parça miktarı stratejisine göre çalışmalar yapılır. Operatör maliyetlerinin minimizasyonu ve hat uzunluğunun minimizasyonu gibi amaçlar altında modellemeler yapılır [24].

Karışık modelli dengeleme problemleri, minimum istasyon sayısı bulmayı içerir ve kapasite ya da maliyete yönelik amaçların optimizasyonunu araştırır. Bu tarz problemler, tek modelli problemlere göre oldukça zordur, çünkü her modelin görev süreleri değişmektedir. Boş zaman ya da aşırı iş yükü bu koşullar altında sakınılan iki önemli konudur. PKMMH’da sıralama problemleri ile birlikte çözüm araştırılarak daha iyi bir yaklaşım sağlanmaktadır.

Günümüzde verimli bir akış üretimi sağlayabilmek için, karışık modelli montaj hatları kullanımı artık kaçınılmaz olmuştur. Karışık modelli bir montaj hattında esnek işçi ve makine kullanımı kalıp değişim sürelerinin ve maliyetlerinin azalmasını sağlayacaktır. Bu sayede aynı hatta karışık sıralarda, farklı ürünlerin üretimleri mümkün hale gelebilecektir. Buna ek olarak ortak kaynak kullanımları da artacaktır. Karışık modelli montaj hatları içerisinde model sıralama problemlerinin önemi bu sebeple çok fazladır. İstasyonlardaki

işçilik kullanımı ve model sıraları ile malzeme taleplerinin ayrılması iki farklı genel amaçta merkezlenmektedir [16];

Aşırı İş Yükleme; farklı işlerin proses süresi içerisinde aynı istasyonlara atanması sonucunda aşırı iş yükleme meydana gelebilir. Böyle durumlarda ekstra işçi ihtiyacı doğmaktadır. Bu durum yüksek istasyon sürelerine ve düşük işçi verimliliğine neden olduğu için istenmeyen bir durumdur.

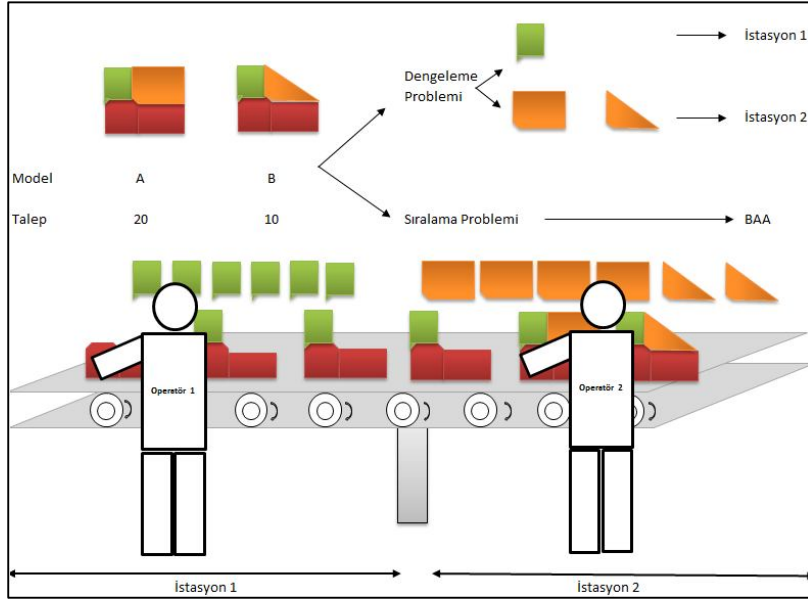
Tam Zamanında Amaçları; JIT sıralamada, çarpık malzeme ihtiyaçlarına odaklanır. Karışık model sıraları birbirine geçmiş, kompleks malzeme ihtiyaç sıraları oluşturur, bu da malzeme talep sırasını zamanla etkilemektedir. Bu durum talep dalgalanmalarında, stok altı olmamak için bir güvenlik stoğu tutma zorunluluğu ortaya çıkarmaktadır. JIT üzerinde odaklanan sıralama yaklaşımının amacı, malzeme ihtiyaç dağıtımlarını planlama zamanı içerisinde düzgün olarak yaymaktır.

Bu iki ana amaç, iş yükü en küçüklemek ve parça kullanımlarını seviyelendirmek şeklinde özetlenebilmektedir.

Karışık model dengelemede sakınılması gereken en önemli konulardan biri, hat üzerinde hesaplanmış görev zamanlarını, işçi yürümelerini ve diğer operasyonel karakteristikleri doğrudan ele alan detaylı sıralama üzerindeki iş yükü ile model sırası arasındaki bağlantının en küçüklenmesidir. JIT felsefesi ile seviyelendirilmiş çizelgelemede model sıraları aranır. İdeal ve gerçek oranlar arasındaki dalgalanmayı en küçükleyen bir ideal model sırası üzerinde çalışılır.

Karışık modellenli üretimler farklı üretim parçalarının tedariğini ve farklı proses işlemlerini gerektirmektedir. Stok altı olma durumlarının, makine arızaları vb. kayıplara olan toleransı düşüktür.

Genel anlamda montaj hatlarındaki sıralama ve dengeleme problemi modeli genel olarak aşağıdaki gibidir [14];



Resim 3.1. Sıralama ve dengeleme problemi genel gösterimi

3.4. Model Sıralama Problemi

Modeller, farklı montaj görevlerini, metotlarını, standart zamanları, ekipmanları, hammadde ya da yarımamulleri içerebilirler. Model sıralama problemlerinde, mevcut modelin ya da modellerin hattı en yüksek verimlilikte kullanılan sıralarının oluşturulması sağlanmaktadır [24].

Montaj hattı sıralama problemleri, genel olarak NP-hard problem sınıfına girmektedir. Problem boyutu büyüdükçe çözüm süresi optimizasyon problemlerinde zorlaşacağından, çözümlerinde genellikle sezgisel algoritmalarından yararlanılmıştır [24].

Montaj hattının özelliklerine göre model sıralama problemleri de sınıflandırılmaktadır [25];

Tek modelli montaj hattı dengeleme problemleri, deterministik, stokastik ya da bulanık zamanlı görev sürelerine sahip olarak,

Çok modelli montaj hattı dengeleme problemleri, deterministik, stokastik ya da bulanık zamanlı görev sürelerine sahip olarak,

Karışık modelli montaj hattı dengeleme problemleri, deterministik, stokastik ya da bulanık zamanlı görev sürelerine sahip olarak,

Bu doğrultuda ele alınacak problemin sınıflandırma stratejileri de değişmektedir.

Karışık modelli sıralama problemleri, çeşitli amaçlar altında bir planlama periyodundaki tüm modellerin talepleri ile ilişkili model sıralarını bulmayı amaçlamaktadır [18].

Karışık modelli montaj sıralama problemlerinde, aşağıdaki amaçlar değerlendirilmektedir [24];

- Toplam iş faydasını en küçüklemek,
- Parça kullanım oranını sabitlemek,
- Toplam model değişim süresini en küçüklemek,
- Konveyör durma riskini en küçüklemek,
- Toplam hat uzunluğunu en küçüklemek vb.

Karışık model sıralama problemlerinde çevrim zamanları genellikle tüm modellerin ortalamasından elde edilir. Proses işlem süreleri bazı modeller için çevrim zamanını aşarken bazı modeller için çevrim zamanının altında kalabilmektedir. Eğer bir çok çevrim zamanından yüksek proses süresine sahip model birbirini izlerse hat üzerinde aşırı iş yükü oluşacak, operatör dengesi oluşamayacaktır.

Model sıralarına bağlı olarak görev süreleri değişkenlik gösterecektir. İki model arasında kalıp değişim, araç gereç değişimi ve malzeme değişimi ihtiyaçları oluşacağından görev süreleri dalgalanacaktır [17]. Bu dalgalanmalar problem içerisinde yoksayılabılır, değerlendirilebilir ya da bu bir görev süresindeki dalgalanmanın diğer görev süresi üzerindeki etkileri problemin sınıfına, amacına göre değerlendirilebilir.

Karışık modelli sıralama problemlerinde genellikle sıraya bağlı oluşan model değişim süreleri ihmal edilmektedir. Ancak gerçekte bu kısıt MHDP'nin yapısını direkt olarak değiştirmektedir. İki görev arasındaki sıra bağımlı model değişim süreleri hat dengeleme

probleminin verimliliğini doğrudan etkiler ve hattın oluşan çevrim zamanını model sırasına göre değiştirmektedir [19].

3.5. Literatür Araştırması

Literatürde montaj hattı dengelemeye yönelik bir çok çalışma bulunmaktadır.

Hat dengelemeye yönelik ilk fikir Bryton tarafından 1954 yılında ortaya atılmıştır [23].

Geleneksel Düz MHDP üzerinde ilk analitik çalışma Salveson tarafından 1955 yılında yapılmıştır. Bu çalışmada MHDP'nin matematiksel formülasyonu gösterilmiş ve bu problem için bir çözüm önerisi yapılmıştır. Çalışmada çevrim zamanı kısıtı altında belirlenen öncelik diyagramına göre istasyon sayısı en küçüklenmesi yapılmıştır [15].

Karışık model sıralamasındaki ilk matematiksel çalışmayı Wester ve Kilbridge 1964 yılındaki çalışmalarında yapmışlardır [16].

Karışık modelli hat dengeleme üzerinde literatürdeki ilk araştırma, Thomopoulos tarafından 1970 yılında yapılmıştır [19].

Van ve Herroelen tek modelli, deterministik görev zamanlı hat dengeleme problemi için 1979 yılında optimum çözüm geliştirmişlerdir [26].

Hat boyunca sabitlenmiş çevrim zamanı için istasyon sayısını en küçüklemek amacı ile birlikte basit montaj hattı dengeleme için, 1987 yılında kapalı-liste algoritması üzerinde Matthew ve Baybars çalışmaları yayınlanmıştır [27]. Montaj görevlerindeki uygulamalarında değişkenlik varolduğunda, montaj hatlarında iş istasyonlarına görev atanması problemine yönelik çalışma Shin tarafından 1990 yılında yayınlanmıştır [28].

Toplam iş maliyetlerini ve model değişim sürelerini en küçükleyen sırayı belirlemek için bir dal sınır algoritması ile iki sezgisel algoritma Bolat vd. 1994 yılında tarafından geliştirilmiştir [29].

Karışık modellenli sıralama problemine ait geliştirilen diğler matematiksel modeller için, 1989 yılında Yano ve Bolat, 1992 yılında Bard vd., 1998 ve 1999 yıllarında Scholl, ve 1996 yılında Domschke vd. çalışmalarına göz atılabilir [18].

Scholl ve Klein tarafından 1996 yılında basit montaj hattı dengeleme problemlerinde, üretim oranını en büyüklemek amacı ile, dal sınır prosedürü, lokal alt sınır metodu kullanılarak geliştirilmiştir [30].

Kim vd. tarafından belirlenen amaç fonksiyonları altında montaj hattı dengeleme problemi çözümü için genetik bir algoritma geliştirilmiştir [31].

Düz montaj hattı dengeleme problemlerinin en kısa yol formülizasyonu 1999 yılında Erel ve Gökçen tarafından sunulmuştur. Karışık modellenli sistemi, tek modellenli sisteme, birleştirilmiş öncelik diyagramı kullanarak dönüştüren bir algoritma üzerinde çalışmıştır [32].

Paralel iş istasyonlu karışık modelleri montaj hattı dengeleme problemi için bir iterativ genetik algoritma ve matematiksel model Simaria ve Vilarinho tarafından geliştirilmiştir [33].

Paralel hatların tasarımında hatların sayısını ve donanımını dinamik olarak belirleyebilmek için Süer ve Dağlı sezgisel yöntem ve algoritmalar geliştirmişlerdir. Gökçen vd. çalışmasında birden fazla geleneksel montaj hatlarının ortak kaynaklarla dengelenmesi üzerinde durmuşlardır [1]. Basit montaj hatlarında paralel iş istasyonlarını konu alan, Simaria ve Vilarinho çalışmaları ve karışık modellenli paralel montaj hatlarını konu alan Askin ve Zhou, McMullen ve Frazier, Vilarinho ve Simaria çalışmaları mevcuttur [10].

Karışık modellenli montaj hattı dengeleme problemlerine yönelik farklı modellerin aynı istasyonlara atanmasına ilişkin problem çözümüne Bukchin çalışması ile ulaşılabilir. Benzer bir çalışma, Bukchin ve Rabinowitch tarafından farklı istasyonlarda farklı modellerin ortak görevlerinin atanması üzerine yapılmıştır [19].

Boysen ve Flidner, montaj hattı dengeleme için çok amaçlı algoritma üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada, paralel iş istasyonları ve görevleri, maliyet sinerjisi,

uygulama alternatifleri, alan kısıtları, tahmini uygulama zamanları ve U-tipli montaj hatları gibi ilişki kısıtlarını içeren hat dengeleme problemlerini çözmek için dizayn edilen iki bölümlü grafik algoritması ele alınmıştır [34].

İki amaçlı paralel montaj hatları için yeni bir çoklu karınca kolonisi algoritması Özbakır vd. tarafından geliştirilmiştir [20].

Belirli çevrim süresi verilen basit montaj hattı dengeleme problemleri çözümü için yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Bu algoritma istasyon orjinli iki yönlü dal sınır algoritması ile, azalmayan boş zaman sıraları için uygun çözüm ağaçları ortaya çıkarmıştır [35].

İki görev arasındaki sıra bağımlı hat dengeleme problemini, karışık modelli dengeleme problemleri içerisinde yer vererek; model değişim süresini ele alan çalışma 2014 yılında Akpınar ve Baykasoğlu tarafından yapılmıştır [19].

Çizelge 3.1. Literatür taraması [21]

Yazarlar	Hat Özellikleri	Metodoloji
Askin ve Zhou (1997)	Düz Hat, Paralel İstasyon	Non linear programlama, Sezgisel
McMullen ve Frazier (1997)	Düz Hat, Paralel İstasyon	Sezgisel, Simülasyon
Gökçen ve Erel (1997)	Düz Hat	Amaç Programlama
Gökçen ve Erel (1998)	Düz Hat	Tamsayılı Programlama
Erel ve Gökçen	Düz Hat	Şebeke Programlama
Merengo vd. (1999)	Konumlanmış ve Konumlanmamış	Sezgisel
Vilarinho ve Simaria (2002)	Düz Hat, Paralel İstasyon	Matematiksel Model, Tavlama Benzetim
Bukchin vd. (2002)	Düz Hat	Matematiksel Model, Sezgisel
McMullen ve Tarasewich (2003)	Düz Hat, Paralel İstasyon	Karınca Kolonisi, Simülasyon
Zhao vd. (2004)	Düz Hat	Sezgisel
Hop (2006)	Düz Hat	Bulanık Programlama, Sezgisel
Bock (2006)	Düz Hat	Dağıtılmış Arama Prosedürleri
Bukchin ve Rabinowitch (2006)	Konumlanmış	Dal Sınır Algoritması Tabanlı Sezgisel
Noorul Haq vd. (2006)	Düz Hat	Hibrid Genetik Algoritma
Kara vd. (2007)	U-Tipi	Tavlama Benzetim
Bock (2008)	Düz Hat	Tabu Arama
Simaria ve Vilarinho (2009)	Çift Taraflı Hat	Karınca Kolonisi
Özcan ve Toklu (2009)	Çift Taraflı Hat	Matematiksel Model, Tavlama Benzetim

3. YÖNTEM

Bu çalışmada, paralel karışık modellenli montaj hatları dengeleme ve sıralaması probleminin çözümü için tavlama benzetim algoritması kullanılmıştır. Paralel montaj hattı dengeleme problemlerindeki önemli amaçlardan biri kaynak artırılması yapmadan ortak kaynak kullanımını sağlamaktır. Önerilen yaklaşım hat verimliliğini en büyüklerken; iş istasyonları arasında iş yükünü dengeli bir şekilde dağıtmaktadır. Verilen sayısal örneklerde elde edilen sonuçlar önerilen yaklaşımın etkili olduğunu göstermiştir.

4.1. Paralel Karışık Modelli Montaj Hatlarında Dengeleme ve Sıralama Problemi

Birbirine paralel olarak konumlanmış karışık modellenli düz montaj hatlarındaki ($h=1,2, \dots, H$) benzer ürün karakteristikleri ile ürün model takımlarını icra etmek için paralel karışık modellenli montaj hatları tasarlanabilir. Hatların her biri kendi ürün model ($j=1, \dots, M_h$) takımına sahiptir ve bu üretim prosesi içerisinde değişmez. Karışık modellenli düz hatlar üzerinde ürün modelleri daha önceden belirlenmiş bir planlama zamanı (U) içerisinde üretilirler. Bir planlama zamanında, h montaj hattında üretilen j modeli için talep; D_{jh} 'dir. Bununla birlikte her hattın kendi görev setleri bulunmaktadır. ($i=1,2, \dots, N_h$). Görevler eş zamanlı olarak uygulanmaktadır ve h hattında j modelinin üretilmesi için gereken görev süresi (t_{ijh}) olarak gösterilmektedir. İstasyonlar, ($k=1, \dots, K$) paralel karışık modellenli montaj hatlarında kullanılmaktadır. Karışık modellenli düz hatların her biri değişik çevrim zamanlarına sahip olabilirler. Her bir hat için çevrim süreleri aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$C_h = \frac{U}{\sum_{j=1}^{M_h} D_{jh}}, \quad h = 1, \dots, H. \quad (4.1)$$

Bu çalışmada, Bard (1992) tarafından da kullanılan minimum parça set prensibi temel alınarak her bir hattın model çizelgelemesi değerlendirilmiştir. q_h ($h=1, \dots, H$), D_{jh} ($j=1, \dots, M_h$) in en büyük ortak katıdır. D_h vektörü, ($d_h=d_{1h}, \dots, d_{M_hh}$) $h=1, \dots, H$, $d_h=D_{jh}/q_h$ ($j=1, \dots, M_h$), ($h=1, \dots, H_h$) hattına ait model karışımı MPS_h olarak isimlendirilir. Bir A modelinin h hattındaki sırası (MS_h) diğer modellerin sıralarından

bağımsızdır. Bir MPS_h için bir h hattında üretilen toplam ürün miktarı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$S_h = \sum_{j=1}^{M_h} D_{jh} \quad (4.2)$$

Operatörler bir veya iki komşu hat üzerinde açılmış olan istasyon takımlarındaki görevleri uygularlar. Bir h hattında uygulanan görevler arasındaki verilen öncelik ilişkilerine göre düzenlenmiş istasyon sıralarına atanırlar.

Çalışma içerisindeki paralel karışık modellenli montaj hatları için aşağıdaki varsayımlar değerlendirilmiştir,

- İki ya da daha fazla karışık modellenli düz hat, birbirlerine paralel olacak şekilde konumlandırılmıştır.
- Karışık modellenli düz hatlar değişik çevrim zamanlarına sahip olabilirler.
- Benzer üretim karakteristiklerine sahip olan ürün modelleri karışık modellenli paralel montaj hatlarında üretilirler,
- Hatların her biri kendi ürün model takımına sahiptir ve bu üretim prosesi içerisinde değişmez.
- Farklı modellerin öncelik diyagramları bilinmektedir. Macaskill (1972) tarafından geliştirilen birleştirilmiş öncelik diyagram konsepti her bir hat için ayrı ayrı kullanılmaktadır.
- Minimum parça set prensibi temel alınarak her bir hattın model çizelgelemesi değerlendirilmiştir
- Görev zamanları deterministiktir.
- Değişik modeller arasında ortak görevler mevcuttur. Bir model ile diğer model arasında görev zamanı değişebilir hatta 0'a da eşit olabilir.
- Operatör yürüyüş zamanı ihmal edilmiştir.
- Her bir hatta çalışan operatör çoklu beceriye sahiptir.
- Tüm hatlarda üretim aynı zamanda başlar ve biter.
- Paralel görevlere ve paralel istasyonlara izin verilmemiştir.

Kullanılan notasyon aşağıdaki gibidir [13];

h	Karışık modellenli hat indisi ($h = 1, \dots, H$).
k	İstasyon indisi ($k = 1, \dots, K$).
j	Model indisi ($j = 1, \dots, M_h$).
i	Görev indisi ($i = 1, \dots, N_h$).
s	Üretim çevrim indisi ($s = 1, \dots, S_{\max}$).
H	Karışık modellenli montaj hattının toplam sayısı
K	Paralel karışık modellenli hat üzerinde kullanılan toplam istasyon sayısı
N_h	Bir h hattındaki birleştirilmiş öncelik diyagramındaki görevlerin toplam sayısı
M_h	h hattında üretilen farklı model sayısı
$S_{\max}$	İki komşu hat üzerindeki istasyonda görülebilir maksimum model karışımı sayısı
U	Önceden belirlenmiş planlama zamanı
MPS_h	Modellerin taleplerinin en büyük ortak katı ile modellerin toplam talep miktarı parçalanarak hesaplanan h hattının minimum parça seti,
MS_h	h hattının model sırası
S_h	Her bir MPS_h için h hattındaki model sıra uzunluğu
D_{jh}	h hattında üretilen j modeli için talep miktarı
d_{jh}	Bir MPS_h için h hattında üretilen j modelinin talep miktarı
C_h	h hattının çevrim zamanı
C	Sistemin çevrim zamanı [1.0.]
P_{ih}	h hattındaki i görevinden önce gelenler seti
t_{ijh}	h hattındaki j modeli için i görevinin görev süresi
t_{ijh}^{norm}	h hattındaki j modeli için i görevinin normalize görev süresi
α_{k-h}^s	h hattındaki k istasyonunun s çevrimindeki ürettiği model indisi
ST_{ks}	k istasyonunun s çevrimindeki iş yükü
$ST_{\max}$	maksimum istasyon zamanı
FL_{k-h}	h hattındaki k istasyonuna atanmış görev seti
PR_{ih}	h hattındaki i görevine ait öncelik atama değeri
SAT	Atanmış görev seti
T_0	Başlangıç sıcaklığı
T_{iter}	Güncel sıcaklık
p	Hat denge olasılığı

$iter_{max}$ Maksimum iterasyon sayısı

$iter$ İterasyon sayıcı

S_0 Başlangıç çözümü

S_C Güncel çözüm

S_N Komşu çözüm

S_{best} En iyi çözüm

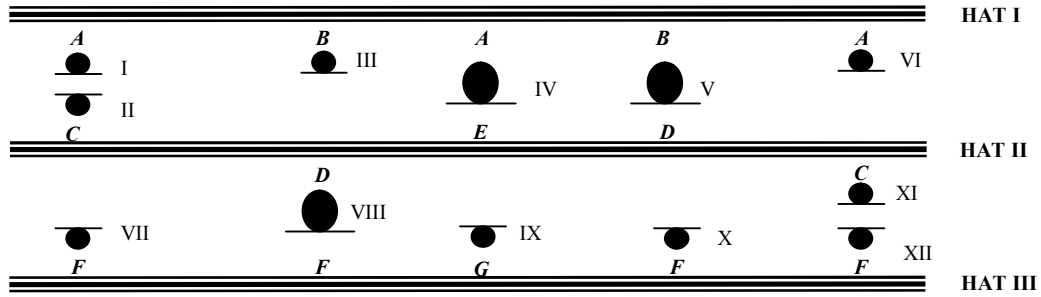
E_0 Başlangıç çözümün maliyeti

E_C Güncel çözüm maliyeti

E_N Komşu çözüm maliyeti

E_{best} En iyi çözüm maliyeti

Özcan vd. (2009) çalışmasındaki örnek problem - 1 üzerinden, formülasyon aktarılabacak olunursa [13],



Şekil 4.1.3 Hatlı paralel karışık modelli montaj hattının şematik gösterimi

Karışık modelli paralel montaj hatlarının yapısı Şekil 4.1.3’de gösterilmiştir. 3 değişik, karışık modelli düz hatlar; paralel olarak konumlandırılmıştır. Bu örnekte 2 model (A, B) 3 model (C, D, E) ve iki model (F, G) sırasıyla 1, 2, 3. hatta eş zamanlı olarak 2400 zaman birimli planlama periyodu içerisinde üretilmektedir. Her model tipi için talepler sırasıyla 60, 60, 30, 60, 30, 80, 40’tır. Hatların çevrim zamanları aynıdır. ($C_1 = 2400 / (60+60) = 20$). En büyük ortak bölen D_{j1} , D_{j2} , ve D_{j3} ün sırasıyla 60, 30 ve 40 olan q_1 , q_2 , q_3 ’üdür. ($j=1, \dots, M_h$) Bu koşulda, $MPS_1 \ d_1 = (1, 1)$ $MPS_2 \ d_2 = (1, 2, 1)$ $MPS_3 \ d_3 = (2, 1)$ dir. Varsayılan model sıralaması AB, CEDE, FFG’dır.

Şekil 4.1’de karışık modelli paralel montaj hattında 12 istasyon bulunmaktadır. İstasyon 4, 5 ve 8 ortak istasyondur. Operatör, üretim çevrim zamanı esnasında sadece bir model için

görevleri uygulamaktadır. (İstasyon 1, 2, 7). Ancak ortak istasyonlarda bir operatör üretim çevrimi içerisinde iki farklı model üzerinde çalışabilir. Örneğin 4. istasyondaki bir operatör hat 1'deki model A üzerinde ve hat 2'deki model E üzerinde görevi uygular. İki komşu hat üzerinde istasyonda birçok farklı karışık model görülebilir. Bir çevrim için bir istasyona atanmış olan görev sayısı hat dengesine bağlıdır ve model çizelgesi tarafından etkilenir. Yani paralel karışık modelli montaj hatlarındaki çizelgeleme ve dengeleme problemleri eş zamanlı olarak değerlendirilmelidir. Model karışımları 12 üretim çevrimi ile birlikte Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. 12 çevrimli örnek problemdeki model karışımları

İstasyon	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
Üretim çevrimi s	α_{1-1}^s	α_{2-2}^s	α_{3-1}^s	α_{4-1}^s	α_{4-2}^s	α_{5-1}^s	α_{5-2}^s	α_{6-1}^s	α_{7-3}^s	α_{8-2}^s	α_{8-3}^s	α_{9-3}^s	α_{10-3}^s	α_{11-2}^s	α_{12-3}^s
1	A	C	B	A	E	B	D	A	F	D	F	G	F	C	F
2	B	D	A	B	D	A	E	B	G	C	F	F	G	D	F
3	A	E	B	A	C	B	D	A	F	D	G	F	F	E	G
4	B	D	A	B	D	A	C	B	F	E	F	G	F	D	F
5	A	C	B	A	E	B	D	A	G	D	F	F	G	C	F
6	B	D	A	B	D	A	E	B	F	C	G	F	F	D	G
7	A	E	B	A	C	B	D	A	F	D	F	G	F	E	F
8	B	D	A	B	D	A	C	B	G	E	F	F	G	D	F
9	A	C	B	A	E	B	D	A	F	D	G	F	F	C	G
10	B	D	A	B	D	A	E	B	F	C	F	G	F	D	F
11	A	E	B	A	C	B	D	A	G	D	F	F	G	E	F
12	B	D	A	B	D	A	C	B	F	E	G	F	F	D	G
$MS_1 = AB, MS_2 = CD\bar{E}D, MS_3 = FFG$															

$MS_1 = AB, MS_2 = CDED, MS_3 = FFG$

Çizelge 4.1'de sırasıyla 4, 5, 8 istasyonda 3, 3, 6 değişik model görünmektedir. İstasyon 8'de 12 üretim çevrimi içerisindeki son model karışımı görünmektedir. Böylece, tüm üretim çevrimi çevrim süresi kısıtlarının tatmini için incelenebilir. İki komşu hatta kullanılan istasyonda görünecek maksimum model karışımı sayısı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$S_{max} = \max \{S_{h_1} * S_{h_2}\}, \quad h_1 = 1, \dots, H - 1 \quad h_2 = h_1 + 1 \quad (4.3)$$

h_1 ve h_2 komşu hat çiftidir. Maksimum model karışım sayısı örneğin; $4(S_2)*3(S_3)=12$. Problemin karışık model doğasından dolayı S_{max} hesaplamalarda değerlendirilmelidir.

Çevrim Zamanı Kısıtı; karışık modellenli düz hatlar üzerinde üretilen ürünlerin çevrim zamanı aynı ya da farklı olabilir. İki durum için de, aşağıdaki eşitlik kullanılır,

$$t_{ijh}^{norm} = t_{ijh}/C_h \quad i=1, \dots, N_h \quad j=1, \dots, M_h \quad h=1, \dots, H \quad (4.4)$$

Özellikle farklı çevrim zamanının olması durumunda; istasyonlar için çevrim zamanı kısıtını kontrol etmek zorlaşır. Bu nedenle, ortak bir çevrim zamanı kullanılmalıdır. Gökçen ve diğerleri (2006) farklı çevrim zamanı durumu için çevrim zamanlarının en düşük ortak katını temel alan bir yaklaşım kullanmışlardır. Anlatılan çalışmada kullanılan pratik bir prosedürde, gerçek görev zamanı yerine revize görev zamanları değerlendirilmiştir. Bu durumda, 1, 0 sistemine göre çevrim zamanları revize etmek gerekmektedir. İstasyon zamanı 1, 0 değerini aşmadığı için, hattın gerçek çevrim zamanı her üretim çevriminde geçilmemiş olur. K istasyonunun iş yükü miktarı, revize görev zamanları ile S_{th} üretim çevriminde aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$ST_{ks} = \sum_{i \in FL_{k-h} \wedge i \in N_h} t_{i\alpha_{k-h}^s}^{norm}, \quad k = 1, \dots, K \quad s = 1, \dots, S_{max} \quad (4.5)$$

Paralel karışık modellenli montaj hatlarında, hat dengesi ve model sıralaması arasında kayda değer bir ilişki bulunmaktadır. ST_{ks} ; MS_h ı temsil eden α_{k-h}^s ın bir fonksiyonu olduğundan dolayı, her bir hattaki çevrim zamanı kısıtını karşılamak için, MS_h ile istasyonlara görev atamalarını yapmak etkili olacaktır. Bunun sonu olarak MS_h değişikliği ST_{ks} kadar istasyon sayısını artırabilir ya da azaltabilir. Dolayısıyla, istasyon sayısı ve her bir istasyonun iş yükü o hattın dengesine ve model sıralamasına bağlıdır.

Amaç Fonksiyonu; esas amaç istasyon sayısını en küçükleme. İstasyonlar arasındaki iş yükünü dengelemek değerlendirilmiştir. İstasyon sayısını en küçükleme amacı, hat verimliliğinin en büyüklenmesi ile eşdeğer bir amaçtır. Ağırlıklandırılmış hat verimliliği aşağıda verilen çözüm ile hesaplanmıştır,

$$Maksimize f_1(WLE) = \frac{\sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^{M_h} \sum_{i=1}^{N_h} \frac{d_{jh}}{S_h} * t_{ijh}^{norm}}{K * C} \quad (4.6)$$

İstasyonlar arasındaki iş yükü eşitliği, mümkün olduğu kadar eşit bir şekilde istasyonlara boş zamanı dağıtmayı amaçlar. Aşağıdaki takip eden eşitlik, istasyonlar arasındaki ağırlıklandırılmış iş dengesini (EW) verilen K istasyon çözümü için hesaplar. Daha önce bahsi geçen S_{max} hatların ağırlıklandırılmış iş yükünü sağlamak için anahtar değişkendir.

$$Minimum f_2(EW) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^K \sum_{s=1}^{S_{max}} (ST_{ks} - ST_{max})^2}{K * S_{max}}} \quad (4.7)$$

Buradaki ST_{max} maksimum istasyon zamanını vermektedir;

$$ST_{max} = \max_{k=1}^K \left\{ \max_{s=1}^{S_{max}} \{ST_{ks}\} \right\} \quad (4.8)$$

Ağırlıklandırılmış hat verimliliği en büyüklenmesi ile istasyon sayısı azalabilir. Ağırlıklandırılmış iş yükü dengesi en küçüklenmesi ile de istasyonlar arasındaki iş yükü azalabilir. Anlatılan çalışmada, eşitlik 6 ve 7 de verilen amaç fonksiyonlarının birleştirilmesi ile tek bir amaç fonksiyonu elde edilebilir.

Özcan vd. (2009) çalışmasında geliştirilen amaçların kısmı bilgi analizi esnasında, minimum sapma metodu kullanılır [13].

$$Minimum E = \frac{f_1^{max}(WLE) - f_1(WLE)}{f_1^{max}(WLE) - f_1^0(WLE)} + \frac{f_2^{min}(EW) - f_2(EW)}{f_2^{min}(EW) - f_2^0(EW)} \quad (4.9)$$

Buradaki, $f_1^{max}(WLE)$ ve $f_2^{min}(EW)$, WLE ve EW'nin sırasıyla hedeflenen değerleridir. EW'nin minimum seviyesi ve WLE'nin maksimum seviyesi mükemmel dengeyi temsil etmektedir. EW'nin ve WLE'nin amaç değerleri sırasıyla 0 ve 1'dir. Eşitlik $f_1(WLE)$ nin en büyükleyeceği ve $f_2(EW)$ yi en küçükleyeceğini garanti eder.

Teorik olarak h hattındaki minimum istasyon sayısı (LB_h) aşağıdaki şekilde hesaplanabilir: (detaylar için Merengo (1999)).

$$LB_h = \left\lceil \frac{\sum_{j=1}^{M_h} \sum_{i=1}^{N_h} \frac{d_{jh}}{s_h} * t_{ijh}}{C_h} \right\rceil, \quad h = 1, \dots, H \quad (4.10)$$

PKMMH için LB_h kullanılarak, teorik minimum istasyon sayısı (LB) aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$LB = \left\lceil \sum_{h=1}^H \frac{\sum_{j=1}^{M_h} \sum_{i=1}^{N_h} \frac{d_{jh}}{S_h} * t_{ijh}}{C_h} \right\rceil \quad (4.11)$$

Buradaki $[X]$ X'den küçük en küçük tamsayı değeri ya da X'e eşitliği ifade eder.

Çalışmada PKMMH'daki sıralama ve dengeleme problemlerinde, EW en küçüklenmesi ve WLE en büyüklenmesine ait çözüm; Özcan vd. (2009) çalışmasında geliştirilen bir tavlama benzetim yaklaşımı ile önerilmektedir.

4.2. Tavlama Benzetim Algoritması

Problemlerin kombinasyonel doğası gereği, özellikle yüksek ölçekli problemler için, geleneksel matematiksel teknikler veya kesin çözüm metotlarından olan dal sınır, dinamik programlama gibi algoritmalar ile çözmek kolay olmamaktadır. Bu sebeple, problemin çözümü için tavlama benzetim yönetimi gibi hızlı ve efektif bir algoritma geliştirilmiştir. Tavlama benzetim yöntemi iterativ rastsal arama tekniğidir ve MHDP içeren çeşitli kombinasyonel optimizasyon problemlerinin çözümü için geniş çaplı olarak kullanılmaktadır [13].

Tavlama benzetim algoritması, 1983 yılında Kirkpatrick tarafından sunulan stokastik bir yaklaşımdır [22]. Fiziksel metal tavlama prosesinden esinlenerek; birçok kombinasyonel optimizasyon problemlerinin çözümü için kullanılmaktadır. Bu proses, erime sıcaklığına kadar ısıtıldıktan sonra en düşük enerji durumuna veya temel haline ulaşınca kadar yavaş yavaş sıcaklığı azaltılmaktadır.

Yaklaşım bir çok mühendislik bilimleri ile ilgili problemlerde kullanılmaktadır; fabrika yerleşim problemleri, esnek işçi çizelgeleme problemleri, okul görev planlamaları vb. [22].

Önerilen yaklaşımda, revize edilmiş görev zamanlarını kullanan bir başlangıç çözümü ile başlanmaktadır. Bu çözüm güncel çözüm olarak tanımlanır. Bu güncel çözümden komşu çözümler elde edilir. Elde edilen komşu çözümün maliyeti hesaplanarak, güncel çözümün maliyeti ile karşılaştırılır. Eğer komşu çözümün maliyeti, güncel çözümün maliyetinden daha iyi ise, güncel çözüm olarak kabul edilir. Eğer komşu çözümün maliyeti güncel çözümün maliyetinden kötü ise, metropolis kriterine başvurulur ve onun çözümü $\exp(-\Delta/T_{iter})$ olasılığı ile güncel çözüm olarak kabul edilir, buradaki Δ maliyet içindeki değişimi ifade eder. Başka bir deyişle, güncel çözüm, değişmeden aynen kalır. Önerilen sezgisel algoritma detaylandırılmıştır.

Başlangıç sıcaklığı, soğuma çizelgesi ve kaliteli çözüm sağlama üzerinde oldukça etkilidir. Yüksek sıcaklıklarda ulaşılan bu çözümler en yaygın olarak kabul edilen çözümlerdir. Sıcaklık seviyesi düştüğünde, zayıf çözümler veren hareketlerin kabul edilebilir olma olasılıkları, güncel sıcaklık seviyesine daha az bağımlı hale gelir. Önerilen yaklaşım iterasyon sayısı $iter_{max}$ 'ı belirlemek için çalıştırılmıştır. Her bir iterasyonda, sıcaklık seviyesi düşüşünü kullanarak lokal optimum noktalardan yakalamak arzu edilir. Aşağıda soğutma çizelgesi için kullanılan çalışma verilmiştir;

$$T_{iter} = T_0 / (1 + \ln(iter)) \quad (4.12)$$

Tavlama prosesinde, eşitlik 12'de verilen Geman ve Geman 1984 yılında geliştirdiği logaritmik çizelgesi kullanılmaktadır. Çözüm prosesinde, sıcaklık yavaşça azalmalıdır. Bu soğuma çizelgesi ile başlangıç iterasyonunda daha geniş soğuma oranları sağlanırken, sonraki soğuma oranları daha küçülür ve sıcaklık yavaşça azalır. Böylece, yüksek sıcaklık seviyelerinde sağlanmış zayıf çözümlerin sayısı, azalmaya başlar. Önerilen yaklaşımın adımları aşağıdaki tekrarlama verilmiştir. Önerilen yaklaşımın akış şeması ise Şekil 4.2'de verilmiştir [13]. Algoritmanın adımları aşağıdaki gibidir;

Adım 1: Parametrelerin ayarlanması, T_0 , $iter_{max}$, p

Adım 2: S_0 oluşturulması, E_0 hesaplanması

Adım 3: $S_C = S_0$, $S_{best} = S_0$, $E_C = E_0$, $E_{best} = E_0$, $iter = 1$

Adım 4: S_C den S_N oluşturulması, E_N hesaplanması

Adım 5: $\Delta = E_N - E_C$

Adım 6: Eğer $\Delta \leq 0$ ise, yeni güncel çözüm olarak komşu çözüm kabul edilir, $S_C = S_N$, $E_C = E_N$ oluşturulur ve 8. adıma gidilir

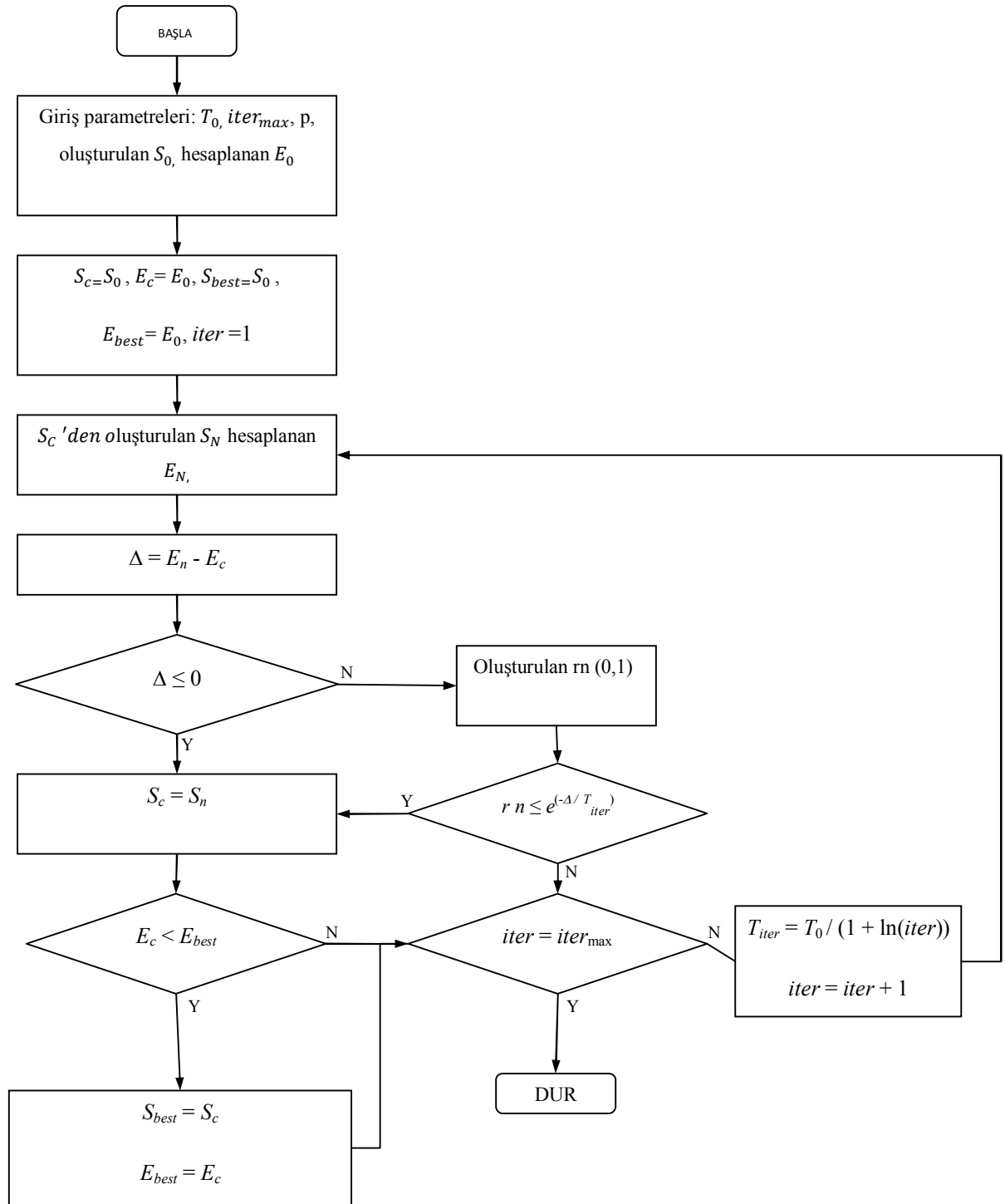
Adım 7: Eğer $\Delta > 0$ ise, yeni güncel çözüm olarak, $\exp(-\Delta/T_{iter})$ olasılığı ile komşu çözüm kabul edilir ve $S_C = S_N$, $E_C = E_N$ oluşturulur. Diğer bir deyişle, S_C ve E_C değişmeden aynen kalır ve 9. adıma gidilir,

Adım 8: Eğer $E_C < E_{best}$ ise, $S_{best} = S_C$ $E_{best} = E_C$. Diğer bir deyişle, S_{best} ve E_{best} değişmez.

Adım 9: Eğer $iter = iter_{max}$ ise 11. adıma gidilir

Adım 10: $T_{iter} = T_0 / (1 + \ln(iter))$, $iter = iter + 1$ ve 4. adıma gidilir

Adım 11: Durulur.



Şekil 4.2. Geliştirilen algoritmanın akış şeması

Uygun çözümün kurulumu; Paralel karışık modelli montaj hatları içerisinde, dengeleme ve sıralama problemlerini birlikte değerlendirmeye alınmalıdır. Bu problemleri eş zamanlı değerlendirmek, problem boşluğunda verimli çözümleri bulmayı kolaylaştırır. Bu sürecin başında, iki başlangıç çözümü üretilir. MHDP’nde, sezgisel tabanlı prosedürler, aday iş takımlarının oluşturulması için iki farklı stratejide sınıflandırılırlar.

İstasyona yönelik, bu strateji ilk istasyon ile başlar ve diğer istasyonlar sırasıyla değerlendirilir. Her bir iterasyonda, atanmış görevler içerisindeki en yüksek öncelikli görev seçilir ve güncel istasyona atanır. Güncel istasyon mümkün olduğunca dolduktan sonra, kapatılır ve bir sonraki istasyon açılır.

Göreve yönelik, bu stratejide, tüm mevcut görevler arasından bir görev seçilir ve atanabilir en erken istasyona atanır.

Sayısal deneyimlerinin sonuçlarına göre, School ve Vob (1996) yılındaki çalışmalarında, istasyona yönelik prosedürlerin göreve yönelik prosedürlere göre daha üstün olduğunu işaret etmektedirler. Örnek çalışmada uygun çözümü sağlamak için istasyona yönelik strateji kullanılacaktır. Başlangıç model sırası rastsal oluşturulmuştur. Başlangıç görev öncelikleri aşağıdaki şekilde yapılandırılmıştır;

- 1- Karışık modelli düz hatlardaki, her bir görev için düzgün dağıtım ile 1 ile 1000 arasında rastsal bir sayı oluşturulur.

$$RN_{ih} \in [1, 1000] \quad i=1, \dots, N_h, h=1, \dots, H$$

- 2- Her bir görev için bir atama öncelik değeri oluşturulur.

$$PR_{ih} = RN_{ih} \quad i=1, \dots, N_h, h=1, \dots, H$$

Daha sonra, işlerin öncelik değerlerine ve hattaki model sırasına göre uygun bir çözüm aşağıdaki adımlar kullanılarak sağlanır.

Adım 1; $k = 1$

Adım 2; Tüm hatlar için SAT belirle,

$SAT = \{i, p \in N_h \mid \text{tüm } p \in P_{ih} \text{ henüz atanmış olan}\}$ Eğer $SAT = \emptyset$ ise dur.

Adım 3; PR_{ih} azalan düzeni içerisinde; SAT içerisindeki görevleri sınıflandır.

Adım 4; SAT içerisinde çevrim zamanı kısıtını geçmeyen i ilk görevini seç, sonra i görevini k istasyonuna ata. Başka bir deyişle, $k=k+1$ ile devam et, adım 2'ye git.

Komşu Oluşturma, komşu çözüm olarak adlandırılan spesifik hareket kullanılarak, güncel çözümden yeni çözüm elde edilmiştir. Bu çalışmada, iki yakın komşu çözümü oluşturulur. İki komşu çözümde bir operatör tarafından kullanılır. P olasılığı ile görevlerin öncelik atama değeri için yeni komşu çözüm oluşturulurken, çözüm model sırası için (1-p) olasılığı ile yeni komşu çözüm sağlanır. Bu komşu oluşturma stratejisi; Kara vd. (2007) yılındaki çalışmasında kullanılır. İlişkili adımlar aşağıda verildiği gibidir,

Adım 1; 0-1 arasında rastsal bir sayı (rnd_1) oluştur,

Adım 2; Eğer $rnd_1 > p$ ise, 4. Adıma git,

Adım 3; Rastsal iki görev seç, değiş tokuş yapılabilen bir operatör kullanarak yeni komşu çözüm oluştur,

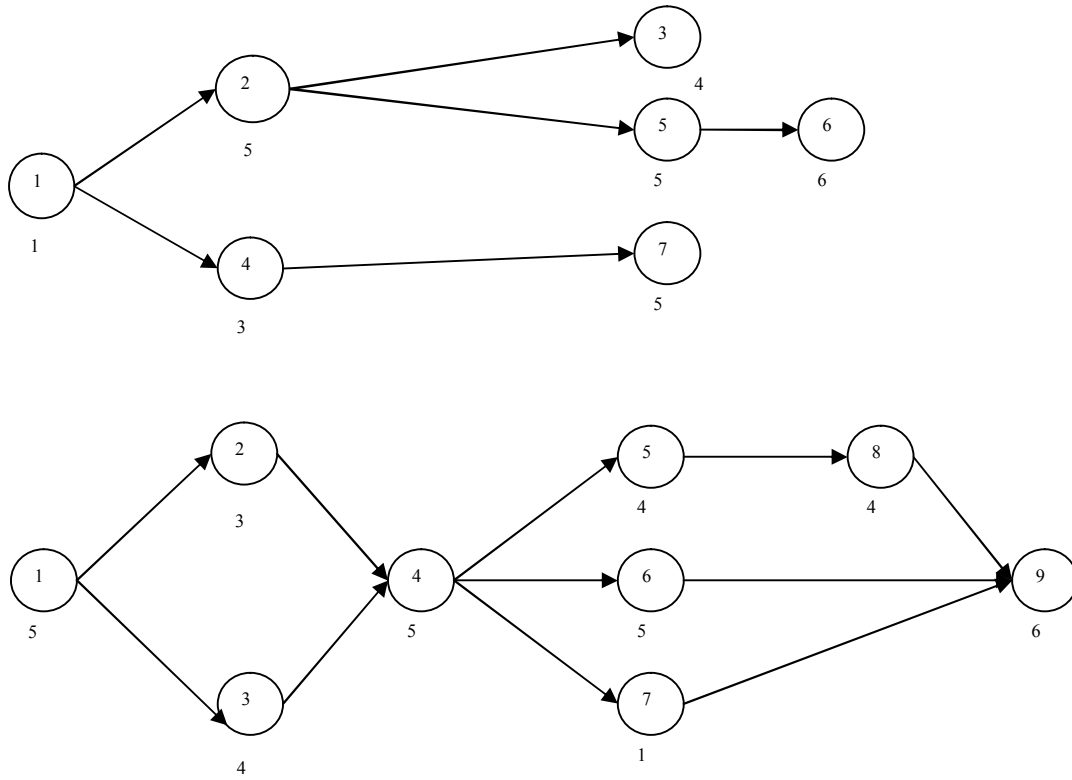
Adım 4; Sırasıyla bir hat ve seçilen hattın model sırasından 2 farklı model seç. Değiş tokuş yapılabilen bir operatör kullanarak, seçilen hat için yeni model sırası oluştur.

Adımlar, Bir sayısal örnek üzerinde açıklanacak olunursa [13]; *Örnek Problem – 2;*

Beş model; A, B, C, D ve E iki karışık modelli düz hatta eş zamanlı olarak üretilmektedir. Modellerden A ve B birinci hatta montajlanmakta ve geri kalanlar ise diğer hatta montajlanmaktadır. Önceden belirlenmiş planlama zamanı 840 zaman birimidir. Bütün modellerin sırasıyla müşteri talebi; 42, 42, 20, 20 ve 20'dir. Eşitlik 1 kullanılarak hesaplanan hatların çevrim süreleri $C_1=10$ ve $C_2=14$ 'dür. Ortak bölenlerin en büyüğü sırasıyla, $Dj_1=$ ve Dj_2 ($j=1, \dots, M_h$) nin q_1 ve q_2 42 ve 20'dir. Bu durumda, d_1 in MPS_1 (1, 1)'e eşit olmaktadır ve d_2 nin MPS_2 (1, 1, 1)'e eşit olmaktadır. Örnek problemin birleştirilmiş öncelik diyagramaları Şekil 4.3'de, ve gerekli veriler ise Çizelge 4.2 de verilmiştir. Görev zamanları Eşitlik 4 kullanılarak revize edilmiştir ve sistemin değiştirilmiş çevrim süreleri (0,1) olarak belirlenmiştir.

Düzgün dağılım ile 1 ve 1000 arasında rastgele üretilen başlangıç görev öncelikleri Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Başlangıç model sıralamaları yine rastgele üretilmiştir. Bunlar; birinci hat için BA, ikinci hat için ise EDC'dir.

Başlangıç hat dengesi Şekil 4.5'de verilmiştir. İstasyonlardaki ve istasyon iş yüklerindeki karışık modeller değiştirilmiş görev zamanlarıyla Çizelge 4.3 'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Örnek problem 2 için görevlerin öncelik ilişkileri

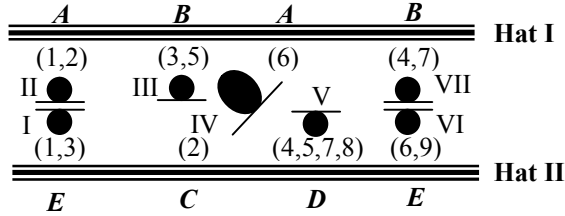
Örnek problem 2 için görev öncelikleri ve görev süreleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.2. Örnek problem 2 için görev verileri

Hat I			Hat II			
i	t_{iA}	t_{iB}	i	t_{iC2}	t_{iD2}	t_{iE2}
1	1	5	1	5	6	1
2	5	2	2	3	4	2
3	4	3	3	4	1	5
4	3	1	4	5	3	3
5	5	1	5	4	1	3
6	6	0	6	5	5	1
7	5	0	7	1	0	4
			8	4	1	3
			9	6	0	2

$i\{h\}$	1{1}	2{1}	3{1}	4{1}	5{1}	6{1}	7{1}	1{2}	2{2}	3{2}	4{2}	5{2}	6{2}	7{2}	8{2}	9{2}
PR_{ih}	235	431	435	84	842	391	464	522	205	524	648	466	131	723	376	566

Şekil 4.4. Örnek problem 2 için görev öncelikleri



Şekil 4.5. Örnek problem başlangıç hat dengesi

Çizelge 4.3. Model karışımları ve başlangıç dengesindeki her bir çevrim için istasyon yükleri

İstasyon	I			II			III			IV			V			VI			VII		
Hat Dengesi	FL_{1-1}	FL_{1-2}		FL_{2-1}	FL_{2-2}		FL_{3-1}	FL_{3-2}		FL_{4-1}	FL_{4-2}		FL_{5-1}	FL_{5-2}		FL_{6-1}	FL_{6-2}		FL_{7-1}	FL_{7-2}	
	{Ø}	{1,3}		{1,2}	{Ø}		{3,5}	{Ø}		{6}	{2}		{Ø}	{4,5,7,8}		{Ø}	{6,9}		{4,7}	{Ø}	
Üretim Çevrimi s	α_{1-1}^s	α_{1-2}^s	ST_{1s}	α_{2-1}^s	α_{2-2}^s	ST_{2s}	α_{3-1}^s	α_{3-2}^s	ST_{3s}	α_{4-1}^s	α_{4-2}^s	ST_{4s}	α_{5-1}^s	α_{5-2}^s	ST_{5s}	α_{6-1}^s	α_{6-2}^s	ST_{6s}	α_{7-1}^s	α_{7-2}^s	ST_{7s}
Çevrim 1	-	E	0.429	A	-	0.600	B	-	0.400	A	C	0.814	-	D	0.357	-	E	0.214	B	-	0.100
Çevrim 2	-	D	0.500	B	-	0.700	A	-	0.900	B	E	0.143	-	C	1.000	-	D	0.357	A	-	0.800
Çevrim 3	-	C	0.643	A	-	0.600	B	-	0.400	A	D	0.886	-	E	0.929	-	C	0.786	B	-	0.100
Çevrim 4	-	E	0.429	B	-	0.700	A	-	0.900	B	C	0.214	-	D	0.357	-	E	0.214	A	-	0.800
Çevrim 5	-	D	0.500	A	-	0.600	B	-	0.400	A	E	0.743	-	C	1.000	-	D	0.357	B	-	0.100
Çevrim 6	-	C	0.643	B	-	0.700	A	-	0.900	B	D	0.286	-	E	0.929	-	C	0.786	A	-	0.800

$MS_1 = BA$ ve $MS_2 = EDC$

$MS_1 = BA$ ve $MS_2 = EDC$

Çizelge 4.3’de bir üretim çevrimi sırasında bir istasyonda üretilen modelleri gösterir. Görevlerin atandığı (örnek olarak hat 1’deki görev 1 ve 2 istasyon 2’ye atanmış, hat 1 deki görev 6 ile hat 2 deki görev 2 ise aynı istasyona atanmıştır.) yedi istasyon vardır. 2. hattaki model E’nin görev 1 ve 3’ü istasyon 1’deki bir operatör tarafından uygulanırken, hat 1’deki model A’nın görev 6’sı ve hat 2’deki model C’nin görev 2’si istasyon 4’deki bir başka operatör tarafından uygulanır. 6 değişik model karması (A-C), (B-E), (A-D), (B-C), (A-E) ve (B-D) istasyon 4’de üretilmesine rağmen, 3 değişik model istasyon 1, 5 ve 6’da, 2 değişik model ise istasyon 2, 3 ve 7 de üretilmektedir.

Başlangıç çözümünden yeni bir çözüm elde etmek için, 0 ile 1 arasında bir sayı (rnd_1) rastgele elde edilir ve önceden belirlenen p değeri ile karşılaştırılır. Eğer $rnd_1 \leq p$ ise, rastgele seçilmiş iki görevin öncelik değerleri (örneğin 4 {1} ve 9 {2}) operatörler

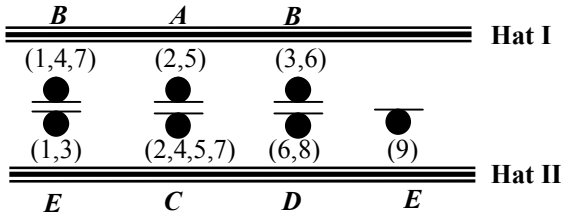
karşılıklı yer değiştirirler. Yeni görev öncelikleri kullanılarak, yeni görev öncelikleri ve elde edilmiş yeni hat dengeleri Şekil 4.6 ve 4.7’de sırasıyla gösterilmiştir.

Eğer $rnd_1 > p$ ise, daha önce de bahsedildiği gibi operatör karşılıklı değişim metodu kullanılarak yeni komşu model sıralaması elde edilir. Örnek problemin son çözümü Şekil 4.8’de verilmiştir.

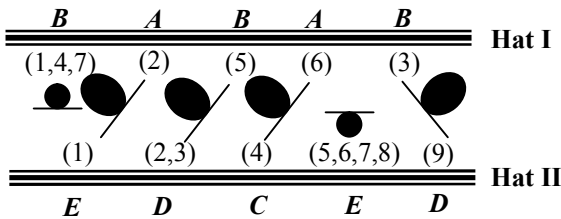
Şekil 4.9’de görüldüğü gibi, görevleri 2’si ayırık istasyon 4’ü ortak istasyon olmak üzere 6 istasyona ayrılmıştır. Model karmaları ve iş yükleri istasyonlardaki değiştirilmiş görev zamanlarıyla birlikte Tablo 4.4’de verilmiştir.

$i\{h\}$	1{1}	2{1}	3{1}	4{1}	5{1}	6{1}	7{1}	1{2}	2{2}	3{2}	4{2}	5{2}	6{2}	7{2}	8{2}	9{2}
PR_{ih}	235	431	435	84	842	391	464	522	205	524	648	466	131	723	376	566
$i\{h\}$	1{1}	2{1}	3{1}	4{1}	5{1}	6{1}	7{1}	1{2}	2{2}	3{2}	4{2}	5{2}	6{2}	7{2}	8{2}	9{2}
R_{ih}	235	431	435	566	842	391	464	522	205	524	648	466	131	723	376	84

Şekil 4.6. Görevlerin öncelik atama değerleri için yeni komşu çözüm elde etme



Şekil 4.7. Örnek problem 2 için yeni çözüm



Şekil 4.8 Örnek problem 2’nin son çözümü

Çizelge 4.4. Örnek problem 2 için son çözümde, her bir çevrimdeki istasyonların görev zamanları ve iş yükleri

İstasyon	I			II			III			IV			V			VI		
Hat Dengesi	FL_{1-1}	FL_{1-}	FL_{2-}	FL_{2-2}	FL_{3-}	FL_{3-2}	FL_{4-}	FL_{4-2}	FL_{5-}	FL_{5-2}	FL_{6-}	FL_{6-2}						
	$\{1,4,7\}$	$\{\emptyset\}$	$\{2\}$	$\{1\}$	$\{5\}$	$\{2,3\}$	$\{6\}$	$\{4\}$	$\{\emptyset\}$	$\{5,6,7,8\}$	$\{3\}$	$\{9\}$						
Üretim çevrimi s	α_{1-1}^s	α_{1-2}^s	ST_{1s}	α_{2-1}^s	α_{2-2}^s	ST_{2s}	α_{3-1}^s	α_{3-2}^s	ST_{3s}	α_{4-1}^s	α_{4-2}^s	ST_{4s}	α_{5-1}^s	α_{5-2}^s	ST_{5s}	α_{6-1}^s	α_{6-2}^s	ST_{6s}
Çevrim 1	B	-	0.600	A	E	0.571	B	D	0.457	A	C	0.957	-	E	0.786	B	D	0.300
Çevrim 2	A	-	0.900	B	C	0.558	A	E	1.000	B	D	0.214	-	C	1.000	A	E	0.543
Çevrim 3	B	-	0.600	A	D	0.929	B	C	0.600	A	E	0.814	-	D	0.500	B	C	0.729
Çevrim 4	A	-	0.900	B	E	0.271	A	D	0.857	B	C	0.357	-	E	0.786	A	D	0.400
Çevrim 5	B	-	0.600	A	C	0.857	B	E	0.600	A	D	0.814	-	C	1.000	B	E	0.443
Çevrim 6	A	-	0.900	B	D	0.629	A	C	1.000	B	E	0.214	-	D	0.500	A	C	0.829

$MS_1 = BA$ ve $MS_2 = DEC$

Örnek Problem – 3 [13] için açıklamalar detaylandırılmıştır.

Gökçen ve Erel (1998)'den alınan bir problem, tasarlanan yaklaşımla çözülmektedir. Bu problemde iki model (A ve B) eşzamanlı olarak karışık modelli düz bir hatta üretilmektedirler. Her bir model için öncelik ilişkileri ve görev zamanları Çizelge4.5'te gösterilmiştir. Örnek problem, 11 zaman birimli bir çevrim zamanı ile çözülmektedir. Problemin tek hatlı çözümü üç çözüm içermektedir. Eşitlik 10 ile hesaplanmış teorik minimum istasyon sayısı, tekli hat ile üç olduğundan, Çizelge 4. 6'da gösterilen istasyonlara verilen görev atamaları problemin optimal çözümünü oluşturmaktadır. Çizelge 4.6'da görülebileceği gibi, toplam boş zaman 14'dür.

İki özdeş karışık modelli tek hatta A ve B modellerinin aynı 11 zaman birimli çevrim zamanı ile üretildiği varsayılırsa; problem tasarlanmış yaklaşım tarafından çözüldüğünde, Çizelge 4.7 ve Şekil 4.9'de verilen paralel hat çözümü elde edilir. Elde edilen paralel hat çözümü 5 istasyona sahiptir ki; bu tekli hat çözümünden (3+3) bir eksiktir. Eşitlik 10 ile hesaplanan teorik minimum istasyon sayısı 5'tir. Yani paralel hat çözümünün problemin optimal çözümü olduğu söylenebilmektedir. Dahası, paralel hat çözümündeki toplam boş zaman, çevrim zamanı 22 olan ve tek hatlı çözümünden (14+14) daha az olan iki üretim çevrimi için 6'dır. Bu sonuçlar, paralel karışık modelli hatların kullanım avantajlarını açıkça göstermektedir.

Çizelge 4.5. Örnek problem 3 görev verileri

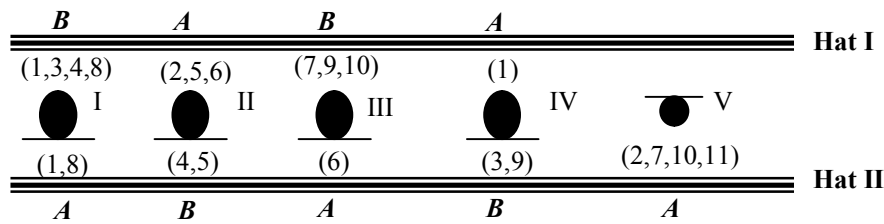
Görevler	Öncülü	Görev Zamanları	
		Model A	Model B
1	-	1	1
2	1	5	0
3	1	4	4
4	1	0	1
5	4	0	5
6	5	0	6
7	2, 3 ve 6	2	2
8	1	4	0
9	8	3	3
10	9	0	5
11	7 ve 10	3	3

Çizelge 4.6. 11 Zaman birimli çevrim zamanında problem 3'ün optimal çözümü

İstasyon	Görevler	Model A		Model B	
		Görevler	Boş Zaman	Görevler	Boş Zaman
1	1, 8, 9, 10	1, 8, 9	3	1, 9, 10	2
2	2, 3, 4, 5	2, 3	2	3, 4, 5	1
3	6, 7, 11	7, 11	6	6, 7, 11	0

Çizelge 4.7. 11 Zaman birimli çevrim zamanı ile örnek problem 3'ün son çözümünün istasyon model karmaları ve iş yükleri

İstasyon I			II		III		IV		V						
Hat	FL_{1-1}	FL_{1-2}	FL_{2-1}	FL_{2-2}	FL_{3-1}	FL_{3-2}	FL_{4-1}	FL_{4-2}	FL_{5-1}	FL_{5-2}					
Dengesiz	{1,3,4,8}	{1,8}	{2,5,6}	{4,5}	{7,9,10}	{6}	{11}	{3,9}	{Ø}	{2,7,10,11}					
Üretim Çevrim s	α_{1-1}^s	α_{1-2}^s	Boş Zaman	α_{2-1}^s	α_{2-2}^s	Boş Zaman	α_{3-1}^s	α_{3-2}^s	Boş Zaman	α_{4-1}^s	α_{4-2}^s	Boş Zaman	α_{5-1}^s	α_{5-2}^s	Boş Zaman
Çevrim 1	B	A	0	A	B	0	B	A	1	A	B	1	-	A	1
Çevrim 2	A	B	1	B	A	0	A	B	0	B	A	1	-	B	1
$MS_1 = BA$ ve $MS_2 = AB$															



Şekil 4.9. Örnek problem 3'ün son çözümü

4.3. Problem Analizi

Bu problem birden fazla karışık modellenli paralel montaj hattının ortak kaynaklarla dengelenmesi üzerine, istasyon sayısı en küçüklenmesi amacı ile oluşturulmuştur.

PMHDP, istasyon sayısının en küçüklenmesi için iki ya da daha fazla hattın birlikte dengelenmesini içermektedir. Montaj hatlarının ortak istasyonlarına görevlerin atanması için her bir montaj hattında üretilen her bir ürünün öncelik diyagramları ayrı ayrı dikkate alınmıştır.

Problemde çalışılacak 6 birbirine paralel konumlandırılmış montaj hattı bulunmaktadır. Belirtilen yerleşim şekline göre, konumsal uygunluk PMDHP'ne uygun olduğu için, bu tip bir dengeleme ve sıralama problemi ile çözülmüştür. Akış tipi üretim yapan; ürüne göre yerleşimin özel bir şekli olarak üretim hattında yapılmakta olan işlerde zaman kaybının ortadan kaldırılması amaçlanmıştır.

Ürettiği ürün cinsine göre; montaj hatlarında çok modellenli üretim yapılmaktadır. Bu üretim tipinin en büyük avantajı müşteri isteğini karşılamak üzere değişik modellerin sürekli olarak üretilmesidir. Ancak işletmede bu sebeple parti tipi üretim yapılmaktadır. Parti tipi üretimlerin en büyük dezavantajı ise stok tutma problemidir. İşletme stok maliyetini azaltmak amacı ile iyileştirme çalışmaları talep etmektedir. Parti tipi üretim yapan işletmeyi karışık modellenli üretim tipine çevirerek, stoklarda düşüş ve müşteri cevap hızında yükseliş beklenmektedir.

Problemdeki paralel hatların özellikleri aşağıdaki gibidir;

- İşlem tamamlandığında bir sonraki istasyona gönderim söz konusudur
- Her bir göreve ait öncelik şemaları bilinmektedir.
- İstasyonlar arası ara stoklamaya izin verilmemektedir.
- Görevler paralel değildir. Aynı hat üzerindeki başka bir istasyonda yapılamaz.
- Mevcut düzende hat boyunca istasyonlar paralel değildir.
- Düz hattır.

İşletmede akü üretimi yapan mevcuttaki 6 montaj hattı; teknik özelliklerine, yapabildikleri ürün modellerine ve kapasitelerine göre ayrılmaktadır. Buna göre; montaj hatları kabiliyetleri ve kısıtları aşağıdaki gibidir;

MNT1, dünya akü standartları içerisinde bulunan L serisi, N serisi ve H serisi akü modellerini üretebilir durumdadır.

MNT2, standart içerisindeki A, B, C serisi ağır hizmet akülerini üretebilir durumdadır. Buna ek olarak, bu hatta bulunan üretim araç gereçlerinin teknolojisi çok eski olduğu için bir dakikadaki üretim adedi ortalama 1.72 adet aküdür ve diğer hatlara göre oldukça yavaştır.

MNT3, standart içerisindeki bazı L serisi (L1, L2, L3) modelleri üretebilir durumdadır. Bu hat, işletmede onaylı OEM hattı olarak geçmektedir. Renault vb. otomotiv firmalarının siparişleri bu hatta üretilmektedir. Bu sebeple, bünyesinde bulunan bazı ekipmanlar sadece OEM ürünlerin kontrolü için kullanılmaktadır.

MNT4, standart içerisindeki L serisi, H serisi ürün modellerinin tamamını üretebilir durumdadır.

MNT5, standart içerisindeki tüm L serisi ürün modellerini üretebilir durumdadır. Bu montaj hattı teknolojisi itibari ile bir dakikada 5 adet akü üretimi ile en hızlı üretim kapasitesine sahip hattır.

MNT6, standart içerisindeki A, B, C serisi ürün modellerini üretebilir durumdadır. Bu montaj hattı yine teknolojisi itibari ile muadil hat olan MNT2 hattından daha hızlı bir hattır. Kapasitesi dakikada 2,5 adet aküdür.

Bütün bu teknik kısıtlamalar sonrasında ürün aileleri bazında; hatların yapabilirlikleri aşağıdaki gibidir;

Çizelge 4.8. Montaj hatlarının model üretim kabiliyetleri

	L Serisi	N Serisi	H Serisi	A Serisi	B Serisi	C Serisi
MNT1	X	X	X			
MNT2				X	X	X
MNT3	X					
MNT4	X		X			
MNT5	X					
MNT6				X	X	X

Çizelge 4.8 analiz edildiğinde, 1, 3, 4, 5. montaj hatları L serisi bazında kendi aralarında dengelenebilir sonucu çıkmaktadır. Fakat burada farklı makinelerin farklı teknik kısıtları ve kapasiteleri bulunduğundan bu pratikte mümkün görünmemektedir ve problem içerisinde tek modellenmiş üretim söz konusu değildir.

Hatların dengelenebilme kısıtları aşağıdaki şekilde belirtilmiştir;

Akü hücreleri arasında mekanik seri bağlantı yapan punta makinesi, fabrikada sadece 1. ve 4. montaj hatlarında mevcuttur. N serisi aküler bu iki hat dışındaki hatlarda bu teknik yetersizlik sebebi ile üretilmemektedirler.

OEM standartları, diğer akü üretim standartlarından farklı olarak, değişik teknik özelliklere sahip kutu kapama makinesine ve kontrol makinelerine sahiptir. Bu müşteri özel isteği sadece 3. ve 5. montaj hatlarında karşılanabilmektedir. Bu kısıta ek olarak, akü yükseklik ve ağırlık ölçümlerinin yapıldığı istasyonlar da, sadece bu hatlarda bulunmaktadır. Bu iki sebep dolayısıyla, 1. ve 4. montaj hatları ile bu hatlar dengelenememektedirler. 1. ve 4. montaj hatlarından üretimi yapılabilen H serisi ürün modelleri yine üretim araç gereçlerinin (kutu kapak ve COS kalıpları) uygunsuzluğu nedeniyle 3. ve 5. montaj hatlarında üretilmemektedir.

2. ve 6. montaj hatlarının diğer hatlarla dengelenememesinin ana nedeni ürün tasarımlarıdır. Bu hatlarda ağır hizmet aküleri üretilmekte olup diğer hatlar bu aküleri üretecek şekilde tasarlanmamıştır. Bu iki hat sadece kendi arasında dengelenebilmektedir. Yukarıda belirtilen kısıtlar altında; mevcutta bulunan 6 montaj hattına ait hat dengeleme rotası aşağıdaki şekilde çıkarılmıştır;

- 1. ve 4. montaj hatları hat teknik kabiliyetleri ve ürün model benzerlikleri sebebiyle birbirleriyle;
- 3. ve 5. montaj hatları hat teknik kabiliyetleri ve OEM standartları karşılayabilme yetenekleri sebebiyle birbirleriyle;
- 2. ve 6. montaj hatları hat teknik kabiliyetleri ve ürün model benzerlikleri sebebiyle birbirleri ile dengelenebilir durumdadır.

Problem senaryoları 3 adet 2 karışık modelli paralel montaj hattının dengelenmesi ve modellerin başlangıç sıralarının oluşturulması şeklinde ortaya çıkmıştır.

Problemdeki hatları teknik, model, işçi sayısı, yerleşim düzeni vb. özellikleri açısından aşağıdaki başlıklar altında detaylı inceleyebiliriz.

4.3.1. Hat görev analizi

Montaj hatlarında genel olarak yapılan görevleri, hat bazında detaya inmeden kısaca aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür;

- Kutu Delme İşlemi
- Zarflama İşlemi
- COS - Griftleme İşlemi
- Punta Kaynak İşlemi
- Kısa Devre İşlemi
- Kutu Kapama İşlemi
- Kutup Başı Dökme İşlemi (manuel ya da otomatik)
- Hava Testi İşlemi
- Numaralandırma İşlemi
- Son Kontrol İşlemi

Kutu Delme: Kutunun özelliğine ve tasarımına göre kutular delinir. Kutuların delinmesinin amacı, gözenekler arasında griftlerin kaynatılmasını sağlayarak devreyi tamamlamaktır.

Zarflama: Zarflama işleminde, akünün hammadde olan plakalar zarflanır. Zarflama yapılmasının amacı seperatör ile pozitif (+) ve negatif (-) plakaların birbirine temas etmemesini sağlayarak, kısa devre oluşmasını engellemektir.

COS: COS işleminde, görevler 4 aşamada yapılır. İlk olarak zarflama işleminden gelen gruplanmış plakalar, COS makinesinin sepetine sırası ile dizilir. Yerleştirme esnasında plaka kulaklarının düzgünlüğüne ve paralel olmasına dikkat edilir. Daha sonra bu plakaların kulakları fırçalanır ve fluks kimyasalı sürülür. Fluks işlemi bir sonraki aşamada yapılacak olan kurşun dökümünün tutuculuğunu ve kalitesini artırır. Bu işlemden sonra plakalar kutup başlarının ve griftlerinin dökülmesi amacı ile kurşun kalıbına sokulur. Kutup başları ve griftleri dökülen elamanlar robot aracılığı ile akü kutusunun gözeneklerine yerleştirilir.

Punta Kaynak: Akünün gözlerine yerleştirilen elamanlar ile delinen gözlerden, griftlerin birbirine kaynatılması işlemidir. Punta kaynağı, metal (kurşun) parçalardan geçirilen elektrik akımına karşı, bu parçaların gösterdiği dirençten oluşan ısı yardımıyla yapılan birleştirmedir. Punta kaynak; ısı, basınç ve sürenin kombinasyonuyla yapılır.

Kısa Devre: Akünün kısa devre testi yapılır. Bu işlem punta kaynak işleminden hem önce hem de sonra yapılır. Punta kaynaktan çıkan akülere kısa devre testi yapmak için akım verilerek devrenin tamamlanıp tamamlanmadığına bakılır. Sorun olan göz olursa dijital ekrandan kontrol edilir ve ayrılır. Otomatik kontrollü bir sistemdir.

Kutu Kapama: Elemanları sorunsuz bir şekilde punta kaynak yapılan ve kısa devre testinden geçen akülerin kutu - kapak birleştirme işlemidir. Birleştirme işlemi belirlenen sıcaklık değerleri içerisinde ısıtıcı kalıplar ile kutunun üst yüzeyinin ve kapağın alt yüzeyinin aynı anda ısıtılarak, presle yapıştırma işlemidir. Kutu kapama işlemi aküde sızdırmazlık açısından önemli bir aşamadır.

Hava Testi: Kapakları kapatılan akülerin sızdırmazlık testi yapılır. Sızdırmazlık testi esnasında akünün gözlerine, uçları sızdırmazlık keçesi ile kaplanmış uçlardan hava verilerek basınç testi yapılır. Bu işlemde akülere belirli basınçta hava verilerek akünün sızdırmazlığına ve kutu kapak birleşmesinin uygunluğuna bakılır.

Numaralandırma: Numaratör ile akü kapaklarına “Montaj Kodu” basılır. Numaratör Darbeli tip (nokta vuruşlu) ve Eritmeli tip olarak 2 çeşittir.

Son Kontrol, işleminde akünün;

- Kutup başı kontrolü
- Darbe, çizik kontrolü
- Numaratör kontrolü
- Ağırlık kontrolü
- Temizlik kontrolü yapılarak akü paletlere dizilip, ambalajlanarak ya sulu şarj bölümüne ya da doğrudan depoya sevk edilir.

4.3.2. Hat model yetenek, kapasite analizi

Tüm model çeşitlerine göre hatların o modeli yapabilirlikleri aşağıdaki tabloda; modellerin dakikadaki üretim miktarları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 4.9. Model hat yetenek kapasite analizi

Tip / Hat	MNT1	MNT2	MNT3	MNT 4	MNT5	MNT6
L1	2,35 *	0,00	2,29	2,29	0,00	0,00
L2	2,35	0,00	2,29	2,29	3,87	0,00
L3	2,34	0,00	2,29	2,29	3,87	0,00
L4	2,33	0,00	0,00	2,26	0,00	0,00
L5	2,25	0,00	0,00	2,26	3,87	0,00
D23	2,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NS40	2,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NS60	2,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N50	2,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N70	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H3	0,00	1,57	0,00	2,12	0,00	0,00
H4	0,00	1,57	0,00	2,00	0,00	0,00
A	0,00	1,57	0,00	0,00	0,00	2,13
B	0,00	1,28	0,00	0,00	0,00	2,13
C	0,00	1,28	0,00	0,00	0,00	2,13
12D1	0,00	1,57	0,00	0,00	0,00	0,00
12D2	0,00	1,28	0,00	0,00	0,00	2,13
D2	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00

* Örneğin; 2,35 adet/dk kapasite ile MNT1 hattında L1 tip akü üretimi verilmiştir.

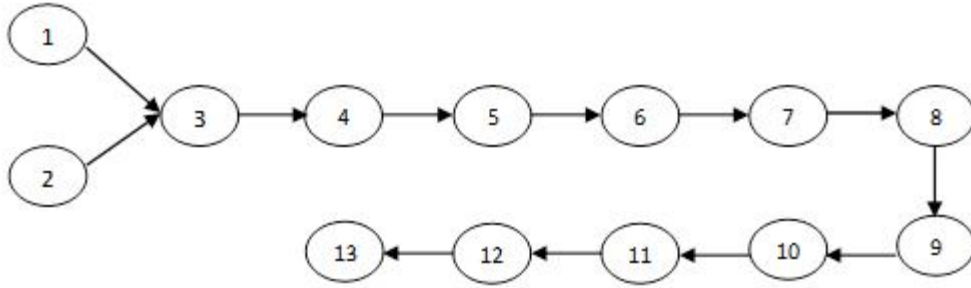
4.3.3. Görevlerin öncelik analizi

Mevcutta bulunan 6 montaj hattında yukarıda açıklanan görevlerin hat bazında detaylı öncelik ilişkileri, öncelik şemaları ve tanımlamaları aşağıda belirtildiği gibidir.

MNT1 hattı görev tanımlamaları ve görevlerin öncelik analizleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. MNT1 hattı görev tanımları ve öncelik ilişkileri

İstasyon Sayısı	Görev Tanımı	Ardılı
1	Zarflama	3
2	Kutu Delme	3
3	COS	4
4	Kısa Devre 1	5
5	Puntalama	6
6	Kısa Devre 2	7
7	Kapak Koyma (manuel)	8
8	Kutu Kapama	9
9	İndikatör Çakma (manuel)	10
10	Kutupbaşı Dökme	11
11	Sızdırmazlık	12
12	Markalama	13
13	Paletleme ve Toplama (manuel)	-

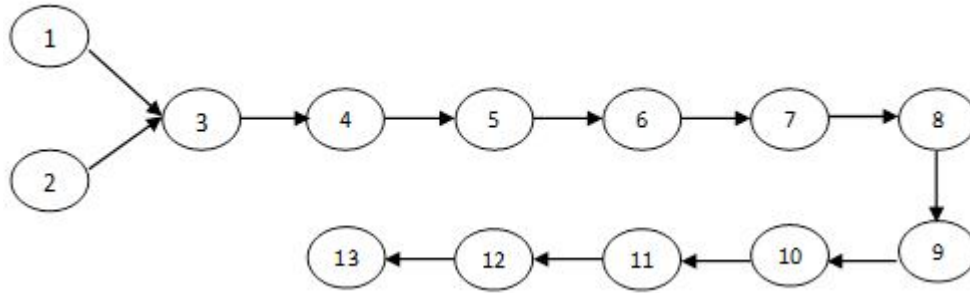


Şekil 4.10. MNT1 öncelik şeması

MNT2 hattı görev tanımlamaları ve görevlerin öncelik analizleri Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. MNT2 hattı görev tanımları ve öncelik ilişkileri

İstasyon Sayısı	Görev Tanımı	Ardılı
1	Zarflama	3
2	Kutu Delme	3
3	COS	4
4	Kısa Devrel	5
5	Puntalama	6
6	Hotmelt Uygulama (manuel)	7
7	Kapak Koyma (manuel)	8
8	Kutu Kapama	9
9	İndikatör Çakma (manuel)	10
10	Sızdırmazlık	11
11	Markalama	12
12	Kutupbaşı Dökme (manuel)	13
13	Paletleme ve Toplama	-

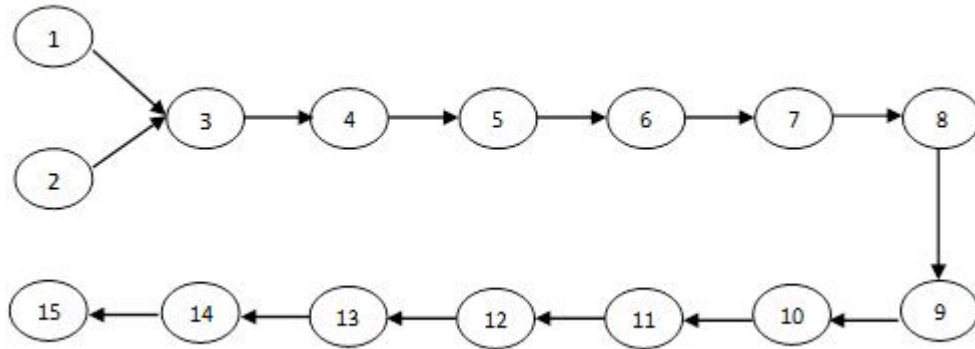


Şekil 4.11. MNT2 öncelik şeması

MNT3 hattı görev tanımlamaları ve görevlerin öncelik analizleri Çizelge 4.12’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.12. MNT3 hattı görev tanımları ve öncelik ilişkileri

İstasyon Sayısı	Görev Tanımı	Ardılı
1	Zarflama	3
2	Kutu Delme	3
3	COS	4
4	Kısa Devre1	5
5	Puntalama1	6
6	Puntalama2	7
7	Kısa Devre2	8
8	Kapak Koyma (manuel)	9
9	Kutu Kapama	10
10	Kutupbaşı Dökme	11
11	İndikatör Çakma (manuel)	12
12	Sızdırmazlık	13
13	Markalama	14
14	Ağırlık/Yükseklik Ölçme	15
15	Paletleme (toplama) (manuel)	-

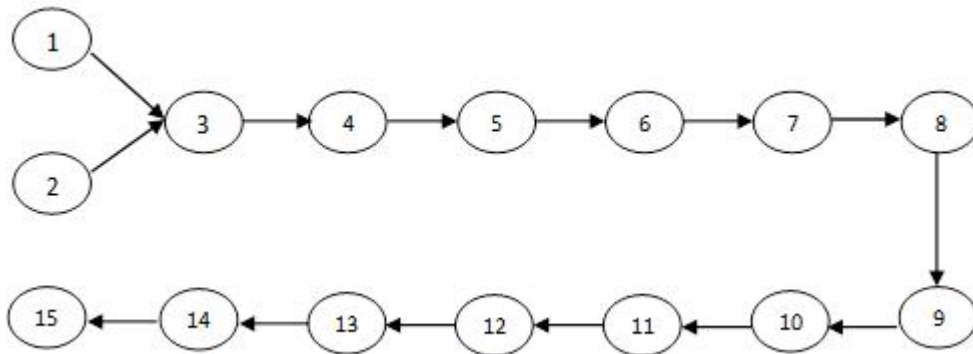


Şekil 4.12. MNT3 öncelik şeması

MNT4 hattı görev tanımlamaları ve görevlerin öncelik analizleri Çizelge 4.13’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.13. MNT4 hattı görev tanımları ve öncelik ilişkileri

İstasyon Sayısı	Görev Tanımı	Ardılı
1	Zarflama	3
2	Kutu Delme	3
3	COS	4
4	Kısa Devre1	5
5	Puntalama1	6
6	Puntalama2	7
7	Hotmelt Uygulama	8
8	Kısa Devre2	9
9	Kapak Koyma (manuel)	10
10	Kutu Kapama	11
11	Kutupbaşı Dökme	12
12	İndikatör Çakma (manuel)	13
13	Sızdırmazlık	14
14	Markalama	15
15	Paletleme (toplama) (manuel)	-

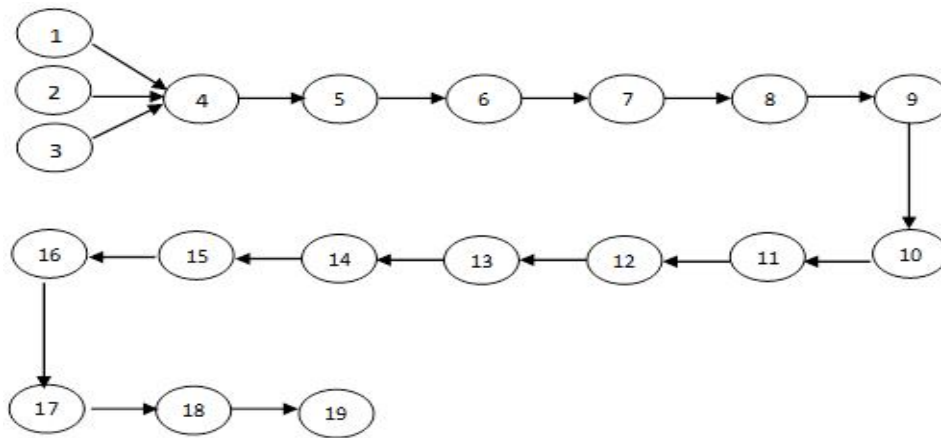


Şekil 4.53. MNT4 öncelik şeması

MNT5 hattı görev tanımlamaları ve görevlerin öncelik analizleri Çizelge 4.14’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.14. MNT5 hattı görev tanımları ve öncelik ilişkileri

İstasyon Sayısı	Görev Tanımı	Ardılı
1	Zarflama1	4
2	Zarflama2	4
3	Kutu Delme	4
4	COS	5
5	Kısa Devre1	6
6	Puntalama1	7
7	Puntalama2	8
8	Punta Kaynak Kontrol	9
9	Kısa Devre2	10
10	Kutupbaşı Düzeltme ve Vazelinleme	11
11	Kapak Koyma (manuel)	12
12	Kutu Kapama	13
13	Kutupbaşı Dökme	14
14	İndikatör Çakma (otomatik)	15
15	Sızdırmazlık	16
16	Yükseklik Ölçme	17
17	Ağırlık Ölçme	18
18	Markalama	19
19	Paletleme (toplama) (otomatik)	-

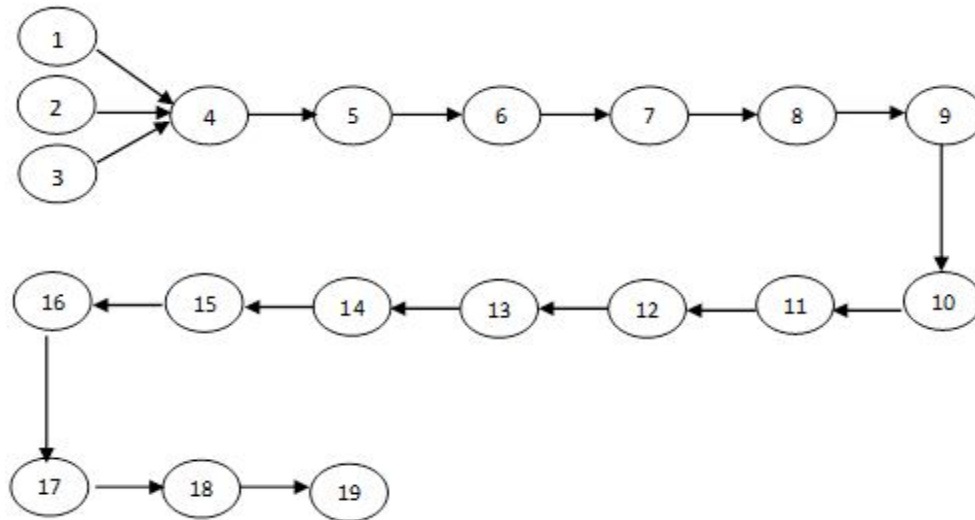


Şekil 4.64. MNT5 öncelik şeması

MNT6 hattı görev tanımlamaları ve görevlerin öncelik analizleri Çizelge 4.15’de verildiği gibidir.

Çizelge 4.15. MNT6 hattı görev tanımları ve öncelik ilişkileri

İstasyon Sayısı	Görev Tanımı	Ardılı
1	Zarflama1	4
2	Zarflama2	4
3	Kutu Delme	4
4	COS	5
5	Ters Göz Ölçme	6
6	Kısa Devre1	7
7	Puntalama1	8
8	Punta Kaynak Kontrol	9
9	Kısa Devre2	10
10	Kapak Koyma (manuel)	11
11	Kutu Kapama	12
12	Kutupbaşı Dökme (manuel)	13
13	İndikatör Çakma (manuel)	14
14	Sızdırmazlık	15
15	Yükseklik Ölçme	16
16	Ağırlık Ölçme	17
17	Markalama	18
18	Paletleme (toplama) (otomatik)	-



Şekil 4.75. MNT6 öncelik şeması

4.3.4. Hat işgücü analizi

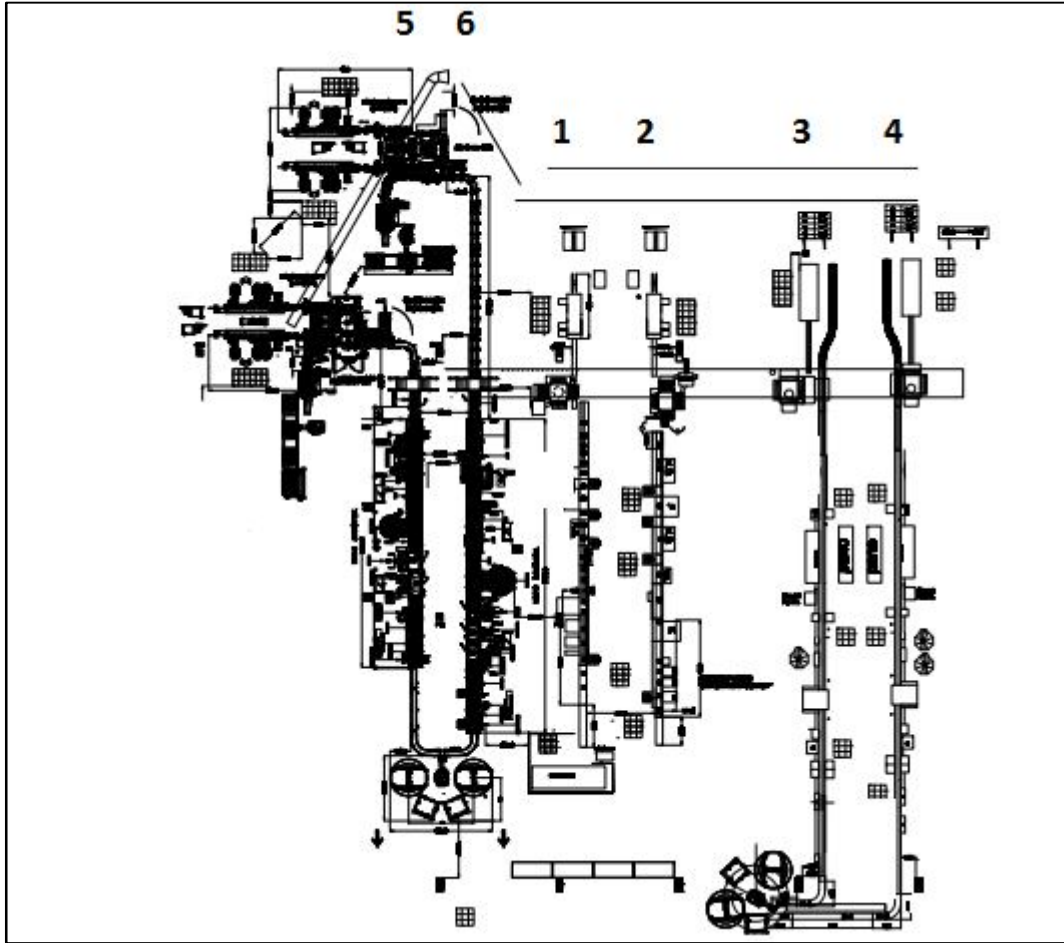
İşletmede vardiyalık çalışma düzeni içerisinde ölçümlenen iş gücü analizi neticesinde; montaj hatlarındaki sıralı istasyonlarda Çizelge 4.16’da verildiği miktarda eleman istihdam edilmektedir. Mevcut durumda, toplamda ürüne direkt etkisi olan 71 adet işçi montaj hatlarında çalışmaktadır.

Çizelge 4.16. Mevcut işgücü analizi

Görev/Vardiya	1. vardiya	2. vardiya	3. vardiya
Kutu Delme	2	2	2
Zarflama 1	1	1	1
Zarflama 2	2	-	-
Zarflama 3	1	1	-
Zarflama 4	1	1	1
Zarflama 5-1	1	1	1
Zarflama 5-2	1	1	1
Zarflama 6-1	1	1	-
Zarflama 6-2	1	1	-
COS 1	2	2	2
COS 2	3	-	-
COS 3	1	1	-
COS 4	2	2	2
COS 5	1	1	1
COS 6	1	1	-
Kutu Kapama 1	1	1	1
Kutu Kapama 2	1	-	-
Kutu Kapama 3	1	1	-
Kutu Kapama 4	1	1	1
Kutu Kapama 5	1	1	1
Kutu Kapama 6	2	2	-
Kutupbaşı Kaynak 2	1	-	-
Toplama 1	1	1	1
Toplama 2	-	-	-
Toplama 3	1	1	1
Toplama 4			

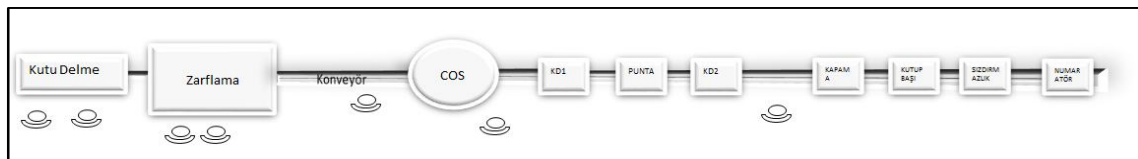
4.3.5. Hat yerleşim analizi

Mevcut 6 montaj hattı yerleşim planı kesiti aşağıdaki Resim 4.1'deki gibidir. Hatların konumu birbirine paraleldir. Hatların şematik gösterimleri yine aşağıdaki çizimlerde verilmiştir.



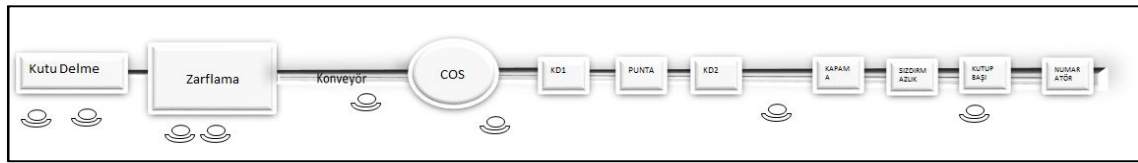
Resim 4.1. Montaj hatları yerleşim planı

MNT1 hattına ait görev ve operatör konumları Şekil 4.16'de verildiği gibidir.



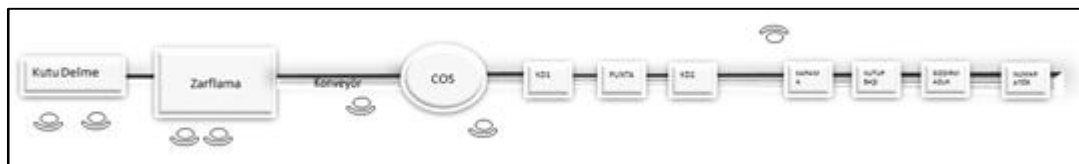
Şekil 4.86. MNT1 mevcut durum şematik gösterimi

MNT2 hattına ait görev ve operatör konumları, Şekil 4.17’de verildiği gibidir.



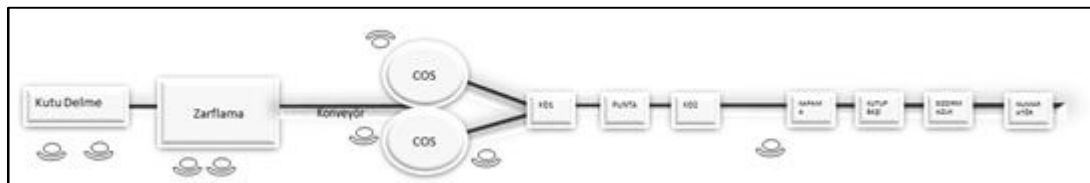
Şekil 4.97. MNT2 mevcut durum şematik gösterimi

MNT3 hattına ait görev ve operatör konumları, Şekil 4.18’de verildiği gibidir.



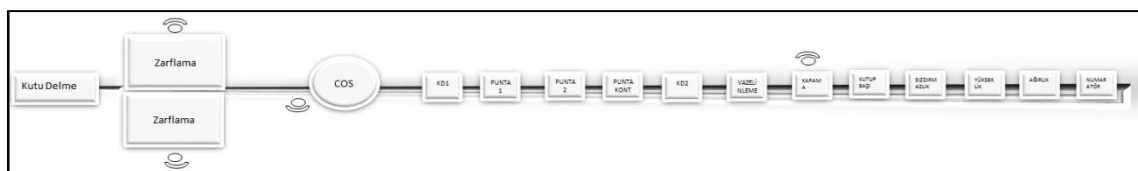
Şekil 4.108. MNT3 mevcut durum şematik gösterimi

MNT4 hattına ait görev ve operatör konumları, Şekil 4.19’de verildiği gibidir.



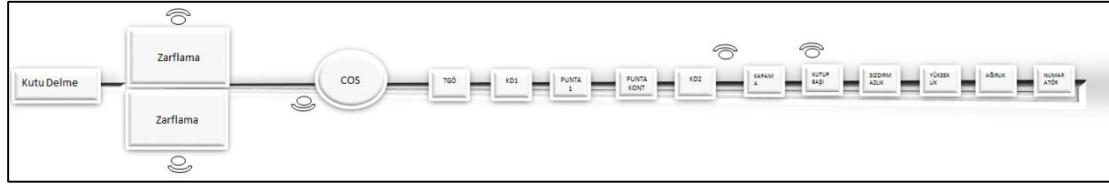
Şekil 4.119. MNT4 mevcut durum şematik gösterimi

MNT5 hattına ait görev ve operatör konumları, Şekil 4.20’de verildiği gibidir.



Şekil 4.20. MNT5 mevcut durum şematik gösterimi

MNT6 hattına ait görev ve operatör konumları, Şekil 4.18’de verildiği gibidir.



Şekil 4.21. MNT6 mevcut durum şematik gösterimi

4. HESAPSAL DENEYLER

İki farklı senaryo üzerinde karışık modellenli paralel montaj hattı dengeleme problemi modifiye edilen tavlama benzetim algoritması ile çözülecektir.

Problem girdileri aşağıda detaylandırılmıştır; problemde 6 adet birbirine paralel montaj hattı bulunmaktadır.

$$H = 6 (h_1, h_2, h_3, h_4, h_5, h_6)$$

Toplam model sayısı 18'dir. $M=18$

Her hatta ait model sayısı detaylandırılanacak olunursa; $M_1=10$, $M_2=8$, $M_3=3$, $M_4=7$, $M_5=3$, $M_6=4$ şeklindedir.

Planlama zamanı, 1 yıllık dönem olarak alınmıştır. Ancak her hat için farklı çalışma vardiyaları, günleri saatleri bulunduğundan her hattın planlama periyodu farklılık gösterecektir. $U=1$ yıl

$$U_1=380407,5 \text{ dk}, \quad U_2=170791,5 \text{ dk}, \quad U_3=378521,5 \text{ dk}, \quad U_4=467148,5 \text{ dk}, \\ U_5=3804071,5 \text{ dk}, \quad U_6=190203,5 \text{ dk}$$

Toplam talep miktarı toplamda $D = 2401360$ adettir.

Çizelge 5.1. Modele göre yıllık dönemdeki talep miktarları

Model Tipi	d_j	Miktar
L1	d_1	198830
L2	d_2	921212
L3	d_3	554128
L4	d_4	3831
L5	d_5	94651
D23	d_6	25330
NS40	d_7	44290
NS60	d_8	50946
N50	d_9	89613
N70	d_{10}	72517
H3	d_{11}	52301
H4	d_{12}	55836
A	d_{13}	52063
B	d_{14}	98780
C	d_{15}	25000
12D1	d_{16}	16539
12D2	d_{17}	10989
D2	d_{18}	34504

Hat bazında, hatların üretebildikleri *model tipine göre modellerin talep miktarları*; MNT1 için model talepleri, Çizelge 5.2 ‘de gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.2. MNT1 hattı için model talep miktarları

Model Tipi	d_{j1}	Miktar
L1	d_{11}	67427
L2	d_{21}	200625
L3	d_{31}	120311
L4	d_{41}	1949
L5	d_{51}	25401
D23	d_{61}	25330
NS40	d_{71}	44290
NS60	d_{81}	50946
N50	d_{91}	89613
N70	d_{101}	72517

$$S_1=698406 \text{ adet}$$

MNT2 için model talepleri, Çizelge 5.3’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.3. MNT2 hattı için model talep miktarları

Model Tipi	d_{j2}	Miktar
H3	d_{12}	22291
H4	d_{22}	24598
A	d_{32}	22145
B	d_{42}	37191
C	d_{52}	9388
12D1	d_{62}	16539
12D2	d_{72}	4138
D2	d_{82}	34504

$$S_2=170791 \text{ adet}$$

MNT3 için model talepleri, Çizelge 5.4’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.4. MNT3 hattı için model talep miktarları

Model Tipi	d_{j3}	Miktar
L1	d_{13}	65702
L2	d_{23}	195265
L3	d_{33}	117556

$$S_3=378521 \text{ adet}$$

MNT4 için model talepleri, Çizelge 5.5’de gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.5. MNT4 hattı için model talep miktarları

Model Tipi	d_{j4}	Miktar
L1	d_{14}	65702
L2	d_{24}	195265
L3	d_{34}	117556
L4	d_{44}	1883
L5	d_{54}	25497
H3	d_{64}	30011
H4	d_{74}	31239

$$S_4=467148 \text{ adet}$$

MNT5 için model talepleri, Çizelge 5.6'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.6. MNT5 hattı için model talep miktarları

Model Tipi	d_{j5}	Miktar
L2	d_{15}	330060
L3	d_{25}	198707
L5	d_{35}	43755

$$S_5=572520 \text{ adet}$$

MNT6 için model talepleri, Çizelge 5.7'de gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.7. MNT6 hattı için model talep miktarları

Model Tipi	d_{j6}	Miktar
A	d_{16}	29919
B	d_{26}	61590
C	d_{36}	15613
12D2	d_{46}	6852

$$S_6=113971 \text{ adet}$$

Her hat için eşitlik 1 ile hesaplanan çevrim süreleri hesaplanmıştır. Detaylar hat bazında aşağıdaki gibidir.

MNT1 için çevrim zamanı, $U_1= 380407$ dk'lık planlama zamanı içerisinde,

$$C_1 = 32,68 \text{ sn / adet}$$

MNT2 için çevrim zamanı, $U_2= 190203$ dk'lık planlama zamanı içerisinde,

$$C_2 = 66,81 \text{ sn / adet}$$

MNT3 için çevrim zamanı, $U_3 = 253605$ dk'lık planlama zamanı içerisinde,

$$C_3 = 40,19 \text{ sn / adet}$$

MNT4 için çevrim zamanı, $U_4 = 380407$ dk'lık planlama zamanı içerisinde,

$$C_4 = 48,85 \text{ sn / adet}$$

MNT5 için çevrim zamanı, $U_5 = 380407$ dk'lık planlama zamanı içerisinde,

$$C_5 = 39,86 \text{ sn / adet}$$

MNT6 için çevrim zamanı, $U_6 = 190203$ dk'lık planlama zamanı içerisinde,

$$C_6 = 100,13 \text{ sn / adet}$$

Çevrim zamanı kısıtı altında, modellerin hatlardaki üretimleri görev süreleri bazında değişkenlik göstermektedir. Yapılan zaman etütlerinin sonuçları aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 5.8. MNT1 hattındaki görevlerin farklı modellere göre görevler süreleri; ($n_1=13$)

Tip	t_{ijn}/t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
L1	t_{i11}	17,1	5	24	19,3	21,1	21	3,3	19,4	2,1	18,7	15,9	8,4	24,8
L2	t_{i21}	17,2	5	24	19,3	21,1	21	3,3	19,4	2,1	18,7	16,0	8,4	24,8
L3	t_{i31}	17,5	5	24	19,3	21,3	21	3,3	19,4	2,1	18,7	16,0	8,4	25
L4	t_{i41}	17,5	5	25,4	19,3	21,3	21	3,3	19,4	2,1	18,7	16,1	8,4	25,4
L5	t_{i51}	17,5	5	26,4	19,3	21,3	21	3,3	19,4	2,1	18,7	16,1	8,4	25,4
D23	t_{i61}	17,2	5	24	19,3	21,1	21	3,3	19,4	2,1	18,7	16,0	8,4	24,8
NS40	t_{i71}	16,2	5	23,5	19,3	21,1	21	3,3	19,4	2,1	18,7	14,8	8,4	24,6
NS60	t_{i81}	16,2	5	23,5	19,3	20,4	21	3,3	19,4	2,1	18,7	14,8	8,4	24,6
N50	t_{i91}	17,2	5	24	19,3	21,1	21	3,3	19,4	2,1	18,7	16,0	8,4	24,8
N70	t_{i101}	17,5	5	25,8	19,3	21,1	21	3,3	19,4	2,1	18,7	16,0	8,4	25,4

* $t_{111} = 17,1$ sn şeklinde tablo okunmalıdır.

Çizelge 5.9. MNT2 hattındaki görevlerin farklı modellere göre görevler süreleri; ($n_2=13$)

Tip	t_{ijh}/t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
H3	t_{i12}	28,0	5,0	37,8	17,4	24,2	6,7	5,9	18,7	1,5	20,6	6,5	17,3	21,0
H4	t_{i22}	28,2	5,0	37,8	17,4	24,2	6,7	5,9	18,7	1,5	20,6	6,5	17,3	21,0
A	t_{i32}	30,0	5,0	37,8	17,4	24,4	6,7	5,9	18,7	1,5	20,8	6,5	17,3	21,0
B	t_{i42}	40,0	5,0	44,8	17,4	24,5	6,7	5,9	18,7	1,5	21,0	6,5	17,3	21,0
C	t_{i52}	50,0	5,0	44,9	17,4	24,6	6,7	5,9	18,7	1,5	21,3	6,5	17,3	21,0
12D1	t_{i62}	30,0	5,0	37,8	17,4	24,4	6,7	5,9	18,7	1,5	20,8	6,5	17,3	21,0
12D2	t_{i72}	40,0	5,0	44,8	17,4	24,5	6,7	5,9	18,7	1,5	21,0	6,5	17,3	21,0
D2	t_{i82}	27,9	5,0	28,0	17,0	22,6	6,7	6,2	18,0	6,4	19,9	5,6	17,3	21,0

* $t_{112} = 28$ sn şeklinde tablo okunmalıdır.

Çizelge 5.10. MNT3 hattındaki görevlerin farklı modellere göre görevler süreleri; ($n_3=15$)

Tip	t_{ijh}/t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
L1	t_{i13}	25,1	5,0	21,7	15,9	18,6	12,7	0,0	17,3	6,0	14,9	11,6	6,9	16,3	5,1	24,2
L2	t_{i23}	25,2	5,0	22,2	15,9	18,6	12,7	0,0	17,3	6,0	14,9	11,6	6,9	16,5	5,1	24,2
L3	t_{i33}	25,4	5,0	24,3	15,9	18,6	12,7	0,0	17,3	6,0	14,9	11,6	6,9	16,5	5,1	24,2

$t_{113} = 25,1$ sn şeklinde tablo okunmalıdır.

Çizelge 5.11. MNT4 hattındaki görevlerin farklı modellere göre görevler süreleri; ($n_4=15$)

Tip	t_{ijh}/t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
L1	t_{i14}	25,1	5,0	21,7	15,9	18,6	12,7	0,0	17,3	6,0	14,9	11,6	6,9	16,3	5,1	24,2
L2	t_{i24}	25,2	5,0	22,2	15,9	18,6	12,7	0,0	17,3	6,0	14,9	11,6	6,9	16,5	5,1	24,2
L3	t_{i34}	25,4	5,0	24,3	15,9	18,6	12,7	0,0	17,3	6,0	14,9	11,6	6,9	16,5	5,1	24,2
L4	t_{i44}	25,8	5,0	25,5	15,9	18,6	12,7	0,0	17,3	6,0	14,9	11,6	6,9	16,6	5,1	24,2
L5	t_{i54}	25,8	5,0	26,7	15,9	18,6	12,7	0,0	17,3	6,0	14,9	11,6	6,9	16,6	5,1	24,2
H3	t_{i64}	27,8	5,0	27,7	15,9	18,6	12,7	5,0	17,3	6,0	14,9	11,6	6,9	16,3	5,1	24,2
H4	t_{i74}	28,1	5,0	27,7	15,9	18,6	12,7	5,0	17,3	6,0	14,9	11,6	6,9	16,3	5,1	24,2

* $t_{114} = 25,1$ sn şeklinde tablo okunmalıdır.

Çizelge 5.12. MNT5 hattındaki görevlerin farklı modellere göre görevler süreleri; (n5=19)

Ti p	$t_{ijh}/$ t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
L2	t_{i15}	10	10,1	9	14,4	13	14	14	9,8	13,1	7	5,4	12,4	11,5	5	15	6,1	6,1	8,9	7,8
L3	t_{i25}	10	10,1	9	14,4	13	14	11	9,8	13,1	7	5,4	12,4	11,5	5	15	6,1	6,1	8,9	7,8
L5	t_{i35}	10	10,1	9	14,4	13	14	14	9,8	13,1	7	5,4	12,4	11,5	5	15	6,1	6,1	8,9	7,8

* $t_{115} = 10,1$ sn şeklinde tablo okunmalıdır.

Çizelge 5.13. MNT6 hattındaki görevlerin farklı modellere göre görevlerin süreleri; (n6=18)

Tip	$t_{ijh}/$ t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A	t_{i16}	20,5	20,5	9,0	32,2	10,1	24,2	29,1	18,2	24,3	5,4	24,8	23,4	3,8	21,4	0,0	6,1	8,9	7,8
B	t_{i26}	23,1	23,1	9,0	32,2	10,1	24,2	29,1	18,2	24,3	5,4	24,8	23,4	3,8	21,4	0,0	6,1	8,9	7,8
C	t_{i36}	25,6	25,6	9,0	32,2	10,1	24,2	29,1	18,2	24,3	5,4	24,8	23,4	3,8	21,4	0,0	6,1	8,9	7,8
12D2	t_{i46}	23,1	23,1	9,0	32,2	10,1	24,2	29,1	18,2	24,3	5,4	24,8	23,4	3,8	21,4	0,0	6,1	8,9	7,8

* $t_{116} = 20,5$ sn şeklinde tablo okunmalıdır.

Çevrim zamanı kısıtı altında; $c \leq 1$ olmak koşulu ile; eşitlik 4 kullanılarak tüm hatlara ait t_{ijh} süreleri normalleştirilmiştir. Normalleştirilmiş süreler aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Çizelge 5.14. MNT1 hattındaki görevlerin farklı modellere göre normalize edilmiş görevler süreleri;

Tip	t_{ijh}^{norm} / t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
L1	t_{i11}^{norm}	0,085	0,025	0,120	0,096	0,105	0,105	0,017	0,097	0,011	0,093	0,079	0,042	0,124
L2	t_{i21}^{norm}	0,086	0,025	0,120	0,096	0,105	0,105	0,017	0,097	0,011	0,093	0,080	0,042	0,124
L3	t_{i31}^{norm}	0,087	0,025	0,119	0,096	0,106	0,104	0,017	0,096	0,011	0,093	0,080	0,042	0,124
L4	t_{i41}^{norm}	0,086	0,025	0,125	0,095	0,105	0,104	0,016	0,096	0,011	0,092	0,079	0,042	0,125
L5	t_{i51}^{norm}	0,086	0,025	0,129	0,095	0,104	0,103	0,016	0,095	0,011	0,091	0,079	0,041	0,125
D23	t_{i61}^{norm}	0,086	0,025	0,120	0,096	0,105	0,105	0,017	0,097	0,011	0,093	0,080	0,042	0,124
NS40	t_{i71}^{norm}	0,082	0,025	0,119	0,098	0,107	0,106	0,017	0,098	0,011	0,095	0,075	0,043	0,125
NS60	t_{i81}^{norm}	0,082	0,025	0,119	0,098	0,104	0,107	0,017	0,099	0,011	0,095	0,075	0,043	0,125
N50	t_{i91}^{norm}	0,086	0,025	0,120	0,096	0,105	0,105	0,017	0,097	0,011	0,093	0,080	0,042	0,124
N70	t_{i101}^{norm}	0,086	0,025	0,127	0,095	0,104	0,103	0,016	0,096	0,011	0,092	0,079	0,042	0,125

Çizelge 5.15. MNT2 hattındaki görevlerin farklı modellere göre normalize edilmiş görevler süreleri;

Tip	t_{ijh}^{norm} / t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
H3	t_{i12}^{norm}	0,133	0,024	0,179	0,083	0,115	0,032	0,028	0,089	0,007	0,098	0,031	0,082	0,100
H4	t_{i22}^{norm}	0,134	0,024	0,179	0,082	0,115	0,032	0,028	0,089	0,007	0,098	0,031	0,082	0,100
A	t_{i32}^{norm}	0,141	0,023	0,177	0,082	0,115	0,032	0,028	0,088	0,007	0,098	0,030	0,081	0,099
B	t_{i42}^{norm}	0,174	0,022	0,195	0,076	0,106	0,029	0,026	0,081	0,007	0,091	0,028	0,075	0,091
C	t_{i52}^{norm}	0,208	0,021	0,186	0,072	0,102	0,028	0,025	0,078	0,006	0,088	0,027	0,072	0,087
12D1	t_{i62}^{norm}	0,141	0,023	0,177	0,082	0,115	0,032	0,028	0,088	0,007	0,098	0,030	0,081	0,099
12D2	t_{i72}^{norm}	0,174	0,022	0,195	0,076	0,106	0,029	0,026	0,081	0,007	0,091	0,028	0,075	0,091
D2	t_{i82}^{norm}	0,138	0,025	0,139	0,084	0,112	0,033	0,031	0,089	0,032	0,099	0,028	0,086	0,104

Çizelge 5.16. MNT3 hattındaki görevlerin farklı modellere göre normalize edilmiş görevler süreleri;

Tip	t_{ijh}^{norm} / t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
L1	t_{i13}^{norm}	0,125	0,025	0,108	0,079	0,092	0,063	0,000	0,086	0,030	0,074	0,058	0,034	0,081	0,025	0,120
L2	t_{i23}^{norm}	0,125	0,025	0,110	0,079	0,092	0,063	0,000	0,086	0,030	0,074	0,058	0,034	0,081	0,025	0,120
L3	t_{i33}^{norm}	0,124	0,024	0,119	0,078	0,091	0,062	0,000	0,085	0,029	0,073	0,057	0,034	0,081	0,025	0,118

Çizelge 5.17. MNT4 hattındaki görevlerin farklı modellere göre normalize edilmiş görevler süreleri;

Tip	t_{ijh}^{norm}/t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
L1	t_{i14}^{norm}	0,125	0,025	0,108	0,079	0,092	0,063	0,000	0,086	0,030	0,074	0,058	0,034	0,081	0,025	0,120
L2	t_{i24}^{norm}	0,125	0,025	0,110	0,079	0,092	0,063	0,000	0,086	0,030	0,074	0,058	0,034	0,081	0,025	0,120
L3	t_{i34}^{norm}	0,124	0,024	0,119	0,078	0,091	0,062	0,000	0,085	0,029	0,073	0,057	0,034	0,081	0,025	0,118
L4	t_{i44}^{norm}	0,125	0,024	0,124	0,077	0,090	0,062	0,000	0,084	0,029	0,072	0,056	0,033	0,081	0,025	0,117
L5	t_{i54}^{norm}	0,125	0,024	0,129	0,077	0,090	0,061	0,000	0,083	0,029	0,072	0,056	0,033	0,080	0,025	0,117
H3	t_{i64}^{norm}	0,129	0,023	0,129	0,074	0,086	0,059	0,023	0,080	0,028	0,069	0,054	0,032	0,076	0,024	0,113

Çizelge 5.18. MNT5 hattındaki görevlerin farklı modellere göre normalize edilmiş görevler süreleri;

Tip	t_{ijh}^{norm}/t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
L2	t_{i15}^{norm}	0,052	0,052	0,047	0,075	0,068	0,073	0,073	0,051	0,068	0,036	0,028	0,064	0,060	0,026	0,079	0,032	0,032	0,046	0,040
L3	t_{i25}^{norm}	0,052	0,052	0,047	0,075	0,068	0,073	0,073	0,051	0,068	0,036	0,028	0,064	0,060	0,026	0,079	0,032	0,032	0,046	0,040
L5	t_{i35}^{norm}	0,052	0,052	0,047	0,075	0,068	0,073	0,073	0,051	0,068	0,036	0,028	0,064	0,060	0,026	0,079	0,032	0,032	0,046	0,040

Çizelge 5.19. MNT6 hattındaki görevlerin farklı modellere göre normalize edilmiş görevler süreleri;

Tip	t_{ijh}^{norm}/t_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
A	t_{i16}^{norm}	0,071	0,071	0,031	0,111	0,035	0,084	0,100	0,063	0,084	0,019	0,086	0,081	0,013	0,074	0,000	0,021	0,031	0,027
B	t_{i26}^{norm}	0,078	0,078	0,031	0,109	0,034	0,082	0,099	0,062	0,082	0,018	0,084	0,079	0,013	0,073	0,000	0,021	0,031	0,026
C	t_{i36}^{norm}	0,085	0,085	0,030	0,107	0,034	0,081	0,097	0,061	0,081	0,018	0,083	0,078	0,013	0,071	0,000	0,021	0,031	0,026
12D2	t_{i46}^{norm}	0,078	0,078	0,031	0,109	0,034	0,082	0,099	0,062	0,082	0,018	0,084	0,079	0,013	0,073	0,000	0,021	0,031	0,026

Yukarıdaki veriler göz önüne alınarak örnek problem 1’de açıklanan eşitlik ile hesaplanarak her hat için elde edilen en büyük ortak kat (q_h) ($h=1,2, \dots, 6$) sırasıyla aşağıdaki gibidir;

$$q_1 = 1949, q_2 = 4138, q_3 = 65702, q_4 = 1883, q_5 = 43755, q_6 = 6852$$

Hatların model sırası bu doğrultuda her hat için aşağıdaki şekilde oluşmuştur; (MPS_h) ($h=1,2, \dots, 6$)

$$MPS_1 d_1 = (35, 103, 62, 1, 13, 13, 23, 26, 46, 37)$$

$$MPS_2 d_2 = (5, 6, 5, 9, 2, 4, 1, 8)$$

$$MPS_3 d_3 = (1, 3, 2)$$

$$MPS_4 d_4 = (35, 104, 62, 1, 14, 16, 17)$$

$$MPS_5 d_5 = (8, 5, 1)$$

$$MPS_6 d_6 = (4, 9, 2, 1)$$

Her bir hatta ait görevlerin öncelik ilişkileri ürettikleri modelden bağımsız olarak problem analizi kısmında verilmiştir. Bu bölümdeki veriler problemin çözümünde kullanılmıştır.

Problem 3 parçada çözülmüştür. İlk parçada mevcutta bulunan 6 hattan 1. ve 4. hat; ikinci parçada 2. ve 6. hat; üçüncü parçada 3. ve 5. hat birbirleriyle paralel karışık modellenli hat dengeleme ve sıralama probleminde çözülmüşlerdir.

3. ve 5. hattın birlikte dengelenmesi ve sıralanması probleminde, Çizelge 5.20’de belirtilen değerler elde edilmiştir.

Çizelge 5.20. 3. ve 5. hat dengeleme ve sıralama problemi sonuçları

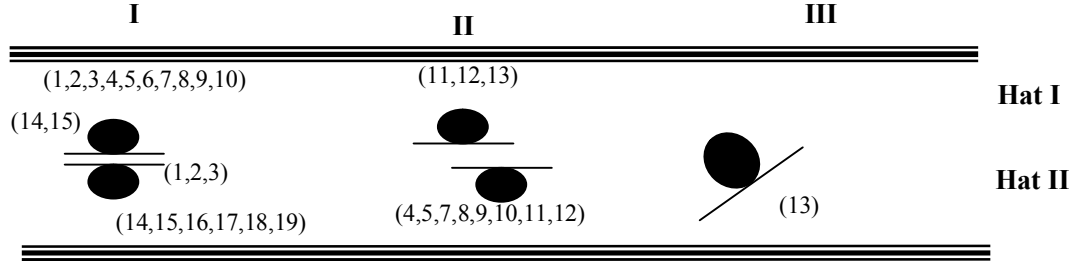
	İSTASYON 1	İSTASYON 2	İSTASYON 3
MNT3	1[1];2[1];3[1];4[1];5[1];6[1];7[1];8[1];9[1];10[1];14[1];15[1]	11[1];12[1];13[1]	
MNT5	1[2];2[2];3[2];14[2];15[2];16[2];17[2];18[2];19[2]	4[2];5[2];6[2];7[2];8[2];9[2];10[2];11[2];12[2]	13[2]
SIRALAMA 1	2;3;1;3;2;2		
SIRALAMA 2	1;1;1;1;2;2;2;1;2;1;1;3;1;2		

$k_{min}=3$, $LB_1=2$, $LB_2=2$, $NS=3$, $LE=66,66$, $SI=0,5$ olarak hesaplamıştır.

Problemdeki, 3 ve 5. montaj hatlarının dengelenmesi ve aynı anda sıralanması sonucunda, Çizelge 5.20’de belirtildiği üzere, 3 istasyona atama yapılmıştır. Sıralama 1 ve 2’de model karmaları görülmektedir.

Başlangıçtaki istasyon sayısı her göreve bir istasyon ataması şeklinde ve operatör sayısı toplamda 9 adet iken; son çözümde, istasyon sayısı alt sınıra ulaşmıştır. Düzgünlük indeksi 0-1 arasında kaldığı için çözüm güvenilirdir. Hat verimliliği % 66,7 dir. 3. istasyonun açılma sebebi çevrim zamanı kısıtının aşılabilmesidir. 11,5 sn lik görev süresi

bulunmaktadır. İstasyonlardaki iş yükünün dengesi bu anlamda pratik ortamda gözlenerek; değerlendirilmelidir.



Şekil 5.1. 3 ve 5. hatta ait dengelenmiş hat gösterimi

Şekilde 2 hatta ait 3 istasyonun şematik gösterimi bulunmaktadır. İlk istasyondaki operatör 1. hattın görevlerini tamamlarken, 2.hattın görevlerini yapan operatör 29,2 sn sonra boş çıkacak ve 1. hattın görevlerini yapacaktır. Burada atama 1. hattın 8 görevini yapması yönünde gerçekleşmiştir. İlk istasyonda esnek operatör kullanılmalıdır. Toplam operatör sayısı 9 adetten 5 adede düşmüştür. İstasyon sayısı en küçüklenmiş ve operatör sayısı azaltılmıştır. 3. istasyona yerleştirilen operatör kutupbaşı dökme işlemi için atanmıştır. Bu işlemde geriye kalan 91,9 sn lik boş zamanı için görev tanımlamaları yapılmış ve 2. istasyondaki 2. hattın görevlerinin bir kısmı ile malzeme taşıma, mamul ambalajlanmış mamulleri raflara taşıma gibi ekstra görevler atanmıştır. Bu sayede fabrikanın diğer önemli problemlerinden biri olan forklift kaynaklı duruşları da azaltmak amaçlanmıştır. Karışık modelli hatlarda karşılaşılan en büyük problem olan malzeme çeşitliliğine yönelik gerekli taşımaları ve organizasyonları yapmaktadır. Bu sayede hatta gerekli malzemelerin beslenmesi için ekstra bir operatöre gerek kalmayacaktır. Bu problemde istasyon sayısı en küçükleme amacı optimum sonuç ile çözülmüştür.

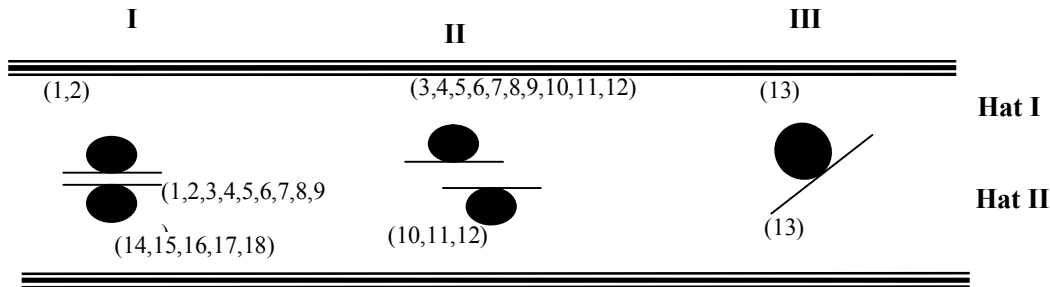
2. ve 6. hattın birlikte dengelenmesi ve sıralanması probleminde, Çizelge 5.21’de belirtilen değerler elde edilmiştir.

Çizelge 5.21. 2. ve 6. hat dengeleme ve sıralama problemi sonuçları

	İSTASYON 1	İSTASYON 2	İSTASYON 3
MNT2	1[1];2[1]	3[1];4[1];5[1];6[1];7[1];8[1];9[1];10[1];11[1];12[1]	13[1]
MNT6	1[2];2[2];3[2];4[2];5[2];6[2];7[2];8[2];9[2];14[2];15[2];16[2];17[2];18[2]	10[2];11[2];12[2]	13[2]
SIRALAMA 1	8;8;8;8;1;8;3;1;7;4;6;3;2;6;4;3;8;4;4;4;5;6;4;4;1;3;8;6;2;2;5;2;2;2;1;4;3;1;8		
SIRALAMA 2	2;2;4;2;3;2;1;2;2;2;1;3;2;1;2;1		

$k_{min}=3$, $LB_1=2$, $LB_2=1$, $NS=3$, $LE=66,66$, $SI=0,44$ olarak hesaplamıştır.

2. ve 6. hattın çözümünde güvenilirlik indeksi 0'a daha yaklaşmıştır. Hat verimliliği %66,7 olarak ilk problem ile aynıdır. Minimum istasyon sayısı 3'tür ve çözüm 3 istasyonda tamamlanmıştır. Altsınır değerine ulaşılmıştır.



Şekil 5.2. 2. ve 6. hatta ait dengelenmiş hat gösterimi

İlk istasyondaki operatör 1. hattın görevlerini bitirdikten sonra 2. hattın görevlerini yapacaktır. 2. hattın görevlerinden bu istasyona atamalar yapılmıştır. 2. hattın 1. istasyonunun iş yükü fazladır bu sebeple dengelemek için çapraz görevlerde operatörler kullanılmalıdır. 3. istasyonda iki istasyonunda 13. görevi bulunmaktadır. Bu görev 1. hattın son görevi, 2. hattın da ara görevidir. Bu kısımda boşta bekleme oluşacaktır. Bu sebeple 1. hattın 2. istasyonundaki görevler 1. hattın 3. istasyonundaki operatöre de atanmalıdır. İstasyonlar arasında görev değişimleri yapılabilmelidir. Bu sayede iş yükü dengelenmiş, boşta bekleme azaltılmış olacaktır.

Şekilde 3 istasyon üzerinde görevlerin dağıtıldığı görülmektedir. 3.istasyondaki tek görev 2. hattın 2. istasyonundaki operatöre atanmıştır. Modellerin karmaşık yapısında ortalama hesaplanan çevrim zamanlarının pratikte denenmesi gerekmektedir. Modellere göre istasyonlarda boş zamanlar oluşabilir. İş yükleri dengeli görünmektedir. 5 operatör ile dengeleme ve sıralama gerçekleşmiştir.

Sonuç olarak amaç fonksiyonu olarak istasyon sayısı azaltılmıştır. Başlangıçtaki operatör sayıları hat sırası ile, 5, 6, 5, 6, 4, 5 toplamda 31 kişi iken; sıralama ve dengeleme çözümünden sonra 15 kişiye düşürülmüştür. Maliyet ve işçilik ciddi oranda azaltılmıştır. Dolayısıyla boşta beklemeler azaltılmış olacaktır. Geline bu noktada elde edilen teorik çözümün pratik ile örtüşmesi için saha denetlemeleri yapılmalıdır. İstasyonların birleştirilmesinde oluşabilir sair durumlar olarak fiziki kısıtlar meydana gelebilir. Bu kısıtlar aşıldığında oluşan net uygulanabilir durum altında operatör sayısındaki teorik hesaplanan %51 lik iyileşme gerçek değerini gösterecektir. Zaman etütlerinin yapıldığı anlarda operatörlerin daha çok yürüme ve taşıma ile vakit kaybettiği gözlenmiştir. Elde edilen iyileşme sonuçları bu bilgi ile anlamlı hale gelmektedir. Çalışmalar değerlendirilirken ölçümlenen görev sürelerinin deterministik kaldığı varsayıldığı için iyileşme oranında gerçek durumda azalma gözlenebilecektir.

Kullanılan sezgisel algoritma sonucunda ortaya çıkan sonuçlar optimal çıkmıştır. Minumum istasyon sayılarında atamalar gerçekleştirilmiştir. Alt sınır değerlerine, tüm problemlerde ulaşılmıştır. 2 karışık modelli paralel montaj hattı toplamda 3 istasyonda dengelenmiş olmuştur. İstasyon sayısında en küçük değere ulaşılmıştır. 3 birbirinden farklı 2 paralel karışık modelli montaj hattı dengeleme ve sıralama problemi çözülmüştür. İstasyon sayıları azaltılmış, operatör sayıları bu paralelde azalmıştır. Operatörler arasında esnek çalışma sağlandığı için, işçi kalifiyesi bu sayede artmış olacaktır. Birbirinden farklı görevleri yapan operatörler bir hatanın kök nedenini araştırırken; saha yüksek bilinçle yaklaşacaktır. Bu da ürün kalitesini doğrudan etkileyecektir. İstasyonların yakın olması operatör yürümelerini de azaltmış olacaktır. Ergonomi puanı açısından hatların puantajları artmış olacaktır. Oynar geriye dönebilen oturma tablaları ile çapraz görevlerde çalışan operatörlere ergonomik koşul iyileştirmeleri de bu sayede sağlanabilecektir.

İstatistiksel analiz sonuçlarına göre t_0 ve p'nin etkili seviyesi sırasıyla 1000 ve 0.90 olarak kullanılmıştır.

Kullanılan yaklaşım, Microsoft Visual Basic 6.0 programlama dili kullanılarak yazılmıştır ve problemler G B RAM'li Intel® Core™ i7-2670QM CPU 2,2 GHZ özellikli bilgisayarda çözümlenmiştir.

6. SONUÇ

Bu çalışmanın birinci bölümünde, montaj hatlarının, günümüz piyasa şartlarındaki hızlı adaptasyon sürecindeki yerine değinilmiştir. Standartlaştırılmış ürün üretim süreçlerine olan ilgi, akış tabanlı üretim gerekliliğini doğrudan tetiklediğinden, montaj prosesinde görev sürelerindeki, hat verimliliğindeki, operatör adam/saat verimliliğindeki kayıpların iyileştirilmesi ve dengelenmesinin önemi üzerinde durulmuştur. İkinci kısımda uygulama yapılacak olan işletmenin tanıtımı yapılmıştır. İşletme içerisinde mevcut bulunan altı adet montaj hattının özelliklerine değinilerek, karışık modelli ve paralel konumlu, deterministik görev zamanlı montaj hatlarının dengelenmesi ve sıralanmasına yönelik problem sınıflandırılması yapılmıştır. İşletmede üretilen ürünün tanıtımı yapılarak, ürün bileşenlerine, ürün modellerinin miktarsal analizlerine, üretim analizlerine değinilmiştir. Problem seçiminde, yönlendirici olan noktalar aktarılmıştır. Üçüncü kısımda montaj hatları genel olarak incelenmiş, montaj hattı dengeleme problemlerinin temel kısıtları, varsayımları, amaç fonksiyonları, montaj hatlarındaki performans göstergeleri olarak tanımlanan montaj hattı temel kavramları üzerinde yapılan araştırmalar aktarılmıştır. Paralel karışık modelli montaj hattı dengeleme problemlerinin çerçevesi çizilmiştir, varsayımları ve kısıtları üzerinde durulmuştur. Karışık modelli montaj hatlarına ait problemlerin çözümlerinde, modelin karmaşık doğasından dolayı oluşan model değiştirme süreleri, modele göre değişebilen görev süreleri ve malzeme planlamasındaki modele göre oluşan varyasyonların problemleri daha da karmaşık hale getirdiği aktarılmıştır. Model sayısının artması ile sıralama problemlerinin dengeleme problemleri ile bütünleşik çözülmesi gerekliliğinin altı çizilmiştir. Paralel montaj hattı dengeleme problemlerine yönelik literatüre yer verilmiştir. Dördüncü kısımda yöntem ve uygulamaya yer verilmiştir. Yöntem olarak Özcan vd. (2009) makalesinde geliştirilen tavlama benzetim algoritması üzerinde çalışılmıştır. Paralel karışık modelli montaj hattı dengeleme probleminde kullanılan formülasyona, problemin kısıtlarına ve varsayımlarına yer verilmiştir. Problemdeki altı montaj hattının, görev öncelik diyagramları, görev süreleri, model talepleri, planlama periyotları gibi notasyonlar ve formülasyonlar verilmiştir. Problemin görev tanımları, analizleri yapılmıştır. Yerleşim şemaları verilmiştir. Beşinci kısımda hesapsal deneyler yer almaktadır. Burada çevrim zamanları, normalize edilmiş görev süreleri, minimum parça miktarları, minimum istasyon sayısı, hat verimliliği ve model sıraları verilerek problemin çözümü aktarılmıştır. Sezgisel algoritma, K_{min} ile karşılaştırılmış ve optimum çözüme ulaşılmıştır. Çözümün güvenilirlik indeksleri 0-1

arasında kaldığı için; elde edilen çözümün tutarlılığına güvenilmektedir. Ayrıca problemin çözümdeki yorum ve analizler de bu kısımda verilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Çerçioğlu, H., Özcan, U., Gökçen, H., ve Toklu, B. (2009). Paralel montaj hattı dengeleme problemleri için tavlama benzetim yaklaşımı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24(2), 331-341.
2. Baybars, I. (1986). A survey of exact algorithms for the simple assembly line balancing problem. *Management Science*, 32, 909-932.
3. Salveson, M.E., (1955), The assembly line balancing problem, *Journal of Industrial Engineering*, 6, 18-25.
4. Gökçen, H., Ağpak, K., ve Benzer, R. (2006). Balancing of parallel assembly. *Lines International Journal of Production Economics*, 103(2), 600-609.
5. Gökçen, H. (2013). *Gazi Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Hattı Dengeleme Ders Notları*. Ankara:Gazi Üniversitesi, 1-50.
6. Yiğit Akü A. Ş. (2013). *Oryantasyon El Kitabı*. Ankara: Yiğit Akü A. Ş., 1(2), 1-30.
7. Scholl, A. (1999). Balancing ve sequencing of assembly lines. *Newyork Springer Verlag*.
8. Özcan, U., Toklu, B. (2009). Balancing ve mixed model two sided assembly line. *Computers and Industrial Engineering*, 57(1), 217-227.
9. Kellegöz, T., Toklu, B. (2012). An efficient branch ve bound algorithm for assembly line balancing problems with parallel multi-manned workstations. *Computers and Operations Research*, 39(12), 3344-3360.
10. Gökçen, H., Ağpak, K., ve Benzer, R. (2006). Balancing of parallel assembly lines. *International Journal of Production Economics*, 103(2), 600-609.
11. Ağpak, K., Yegül, F., ve Gökçen, H. (2011). Two sided u-type assembly line balancing problem. *International Journal of Production Research*, 50(18), 5035-5047.
12. Keskindürk, T., Küçük, B. (2006). Karışık modellenli montaj hatlarının genetik algoritma kullanılarak dengelenmesi. *Yönetim*, 17(53).
13. Özcan, U., Çerçioğlu, H., Gökçen, H., ve Toklu, B. (2009). Balancing and sequencing of parallel mixed model assembly line. *International Journal of Production Research*, 48(17), 5089-5113.
14. Mosadegh, H., Zveieh, M., Fatemi, and Ghomi, S.M.T. (2012). Simultaneous solving of balancing and sequencing problems with station-dependent assembly times for mixed-model assembly lines. *Applied Soft Computing*, 12(4), 1359-1370.
15. Battaia, O., Dolgui, A. (2012). A taxonomy of line balancing problems and their solution approache. *International Journal Producton Economics*, 142(2), 259-277.
16. Boysen, N., Flidner, M., and Scholl, A. (2007). Sequencing mixed model assembly lines: Survey, classification and model critique. *European Journal of Operational Research*, 192(2), 349-373.

17. Boysen, N., Fliedner, M., and Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems.
18. Beckers, C., Scholl, A. (2006). A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 694-715.
19. Akpınar, Ş., Baykasoğlu, A. (2014). Modeling and solving mixed model assembly line balancing problem with setups parti: a mixed integer linear programming model. *Journal of Manufacturing System* ,33(1), 177-187.
20. Özbakır, L., Baykasoğlu, A., Görkemli, B., ve Görkemli, L. (2011). Multiple-colony ant algorithm for parallel assembly line balancing problem. *Applied Soft Computing*, 11(3), 3186-3198.
21. Scholl, A., Fliedner, M., and Boysen, N. (2010). Absalom: balancing assembly lines with assignment restrictions. *European Journal of Operational Research*, 200(3), 688-701.
22. Seçkiner, S., Kurt, M. (2007). A simulated annealing approach to the solution of job rotation scheduling problems. *Applied Mathematics and Computation*, 188(1), 31-45.
23. Ağpak, K., Gökçen, H. (2005), Assembly line balancing: Two resource constrained cases. *International Journal of Production Economics*, 96(1), 129-140.
24. Hyun, C., Kim Y., and Kim, Y. (1998). Genetic algorithm for multiple objective sequencing problems in mixed problem assembly lines. *Computers & Operations Research*, 25(7-8), 675-690.
25. Hop, V. (2006). A heuristic solution for fuzzy mixed-model line balancing problem. *European Journal of Operational Research*, 168(3), 798-810.
26. Van Assche, F., Herroelen, W.S. (1979). An optimal procedure for the single model deterministic assembly line balancing problem. *European Journal of Operational Research*, 3(2), 142-149.
27. Matthew, J.S. ve Baybars, İ. (1987). A two process implicit enumeration algorithm for the simple assembly line balancing problem. *European Journal of Operational Research*, 32(1), 118-129.
28. Shin, D. (1990). An efficient heuristic for solving stochastic assembly line balancing problems. *Computers&Industrial Engineering*, 18(3), 285-295.
29. Bolat, A., Savsar, M., and Al-Fawzan, M. (1994). Algorithms for real-time scheduling of jobs on mixed model assembly lines. *Computers & Operations Research*, 21(5), 487-498.
30. Klein, R., Scholl, A. (1996). Maximizing the production rate in simple assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 91, 367-385.
31. Kim, Y., Kim, Y. (1996). Genetic algorithms for assembly line balancing with various objectives. *Computers Industrial Engineering*, 30(3), 397-409.

32. Erel, E., Gökçen, H. (1999). Shortest-route formulation of mixed-model assembly line balancing problem. *European Journal of Operational Research*, 116(1), 194–204.
33. Simaria, S., Vilarinho, P. (1999). A genetic algorithm based approach to the mixed-model assembly line balancing problem of type II. *Computers Industrial Engineering* 47(4), 391-407
34. Boysen, N., Fliedner, M. (2008). A versatile algorithm for assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 184, 39–56.
35. Vila, M., Pereira, J. (2013). An enumeration procedure for the assembly line balancing problem based on branching by non-decreasing idle time. *European Journal of Operational Research*, 229(1), 106-113.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : MUZOĞLU, Burcu
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 29.04.1986, Ankara
Medeni hali : Bekâr
Telefon : 0 5053066713
Faks : -
e-mail : burcumuzoglu@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /FBE	2014
Lisans	Dumlupınar Üniversitesi/MF	2009
Lise	Kayabayazıtöğlu Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011 - Halen	Yiğit Akü A.Ş.	Planlama Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Yan Flüt, Yalın Felfese



GAZİ GELECEKTİR..