

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

SAVUNMA SANAYİNDE
BULANIK İŞLEM ZAMANLI GELENEKSEL
MONTAJ HATTI DENGELEME ÇALIŞMASI

AHMET DOĞAN

MAYIS 2015

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Ahmet DOĞAN tarafından hazırlanan SAVUNMA SANAYİNDE BULANIK İŞLEM ZAMANLI GELENEKSEL MONTAJ HATTI Dengeleme Çalışması adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Burak BİRGÖREN
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Ümit Sami SAKALLI
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Ahmet Kürşad TÜRKER
Üye (Danışman) : Doç. Dr. Ümit Sami SAKALLI
Üye: : Yard. Doç. Dr. Talip KELLEGÖZ

04/05/2015

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

SAVUNMA SANAYİİNDE BULANIK İŞLEM ZAMANLI GELENEKSEL MONTAJ HATTI Dengeleme ÇALIŞMASI

DOĞAN, Ahmet

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Ümit Sami SAKALLI

Mayıs 2015, 93 sayfa

Montaj hattı dengeleme problemi, üzerinde en çok çalışılan Endüstri Mühendisliği problemlerinden biridir. Literatür incelendiğinde hat yerleşimine, dengeleme amacına ve görev sürelerinin durumuna göre çeşitli montaj hattı dengeleme problemleri üzerinde akademik çalışmalar yapılmış olmakla birlikte, bu alandaki çalışmaların Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Problemi üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu tezde de görev sürelerinin bulanık olduğu varsayımı altında geleneksel montaj hattı dengeleme problemi için bir çözüm algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma, savunma sanayinde faaliyet gösteren bir fabrikada uygulanmış, bulanık sayıların farklı durumları için elde edilen optimum atama sonuçları, yöneticiye en doğru kararı verebilmesi açısından özet olarak sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Montaj hattı dengeleme, bulanık mantık, modelleme.

ABSTRACT

TRADITIONAL ASSEMBLY LINE BALANCING STUDY WITH FUZZY OPERATION TIME IN DEFENSE INDUSTRY

DOĞAN, Ahmet

Kırıkkale University

Institute of Science and Technology

Department of Industrial Engineering, M.Sc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ümit Sami SAKALLI

May 2015, 93 pages

Assembly line balancing problem is one of the most studied Industrial Engineering problems. Although the academic publications of this issue have mostly focused on traditional assembly line balancing problem, there are a lot of works on according to different line placements, balancing aim and the operation times' various situations. Also in this study, an algorithm has been developed to solve the traditional assembly line balancing problem with fuzzy operation times. The algorithm applied in a factory which is in the defense industry. Optimum assignment results that obtained from various situations of fuzzy numbers presented to the manager for making decision correctly.

Key words: Assembly line balancing, fuzzy logic, modeling.

TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐması sűresince deęerli vakitlerini bana ayıran, tecrűbe ve bilgileri ile yol gűsteren ok deęerli hocam Sayın Do. Dr. Ŭmit Sami SAKALLI'ya, eęitim hayatım boyunca űzerimde emeęi bulunan bűtűn hocalarıma, saęlamıŐ oldukları imkânlardan űtűrű MKEK Műhimmat Fabrikası Műdűrű Sayın A. Sait ALTINTAŐ'a, teknik műdűr yardımcısı Sayın Halil İbrahim GEREM'e ve çok kıymetli Tapa Montaj Atűlyesi çalıŐanlarına, maddi manevi bűtűn fedakarlıklarından ve desteklerinden űtűrű aileme teŐekkűr ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. MONTAJ HATLARI	3
2.1 Montaj Hatlarının Temel Karakteristikleri	5
2.2 Montaj Hatlarının Sınıflandırılması.....	6
2.2.1 Ürün Sayısına Göre Sınıflandırma	6
2.2.2 Yerleşim Tipine Göre Sınıflandırma.....	9
3. MONTAJ HATTI Dengeleme Problemi	12
3.1 Hat Dengelemede Problem Tipleri	14
3.1.1 Tek Modelli Deterministik (TMD) Hat Dengeleme Problemi	16
3.1.2 Tek Modelli Stokastik (TMS) Hat Dengeleme Problemi.....	18
3.1.3 Tek Modelli Bulanık Hat Dengeleme Problemi	18
3.1.4 Çok/Karışık Modelli Deterministik Hat Dengeleme Problemi	19
3.1.5 Çok/Karışık Modelli Stokastik Hat Dengeleme Problemi	20
3.1.6 Çok/Karışık Modelli Bulanık Hat Dengeleme Problemi	20
3.2 Hat Dengeleme Problemlerinde Kullanılan Kavramlar	20
4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	26
4.1 Deterministik MHD Literatür İncelemesi.....	26
4.2 Stokastik MHD Literatür İncelemesi.....	29
4.3 Bulanık MHD Literatür İncelemesi.....	31
5. BULANIK MANTIK KAVRAMI	36
5.1 Bulanık Mantık Kavramının Tarihsel Gelişimi.....	37
5.2 Bulanık Küme Teorisi.....	38
5.3 Bulanık Küme Üyelik Fonksiyonları.....	39

5.4 Bulanık Sayılar	41
5.4.1 Üçgensel Bulanık Sayılar	41
5.4.1.1 Üçgensel Bulanık Sayıların Derecelendirilmesi.....	43
5.4.1.2 İki Üçgensel Bulanık Sayı Arasındaki Uzaklığın Bulunması	45
5.4.2 Yamuk Bulanık Sayılar	45
5.4.3 Üyelik Fonksiyonu	46
5.4.4 Bulanık Dilsel Değişkenler.....	47
6. GELENEKSEL MONTAJ HATTI Dengeleme Problemi (TİP-2) İÇİN Bulanık Mantık Yaklaşımı	50
6.1 GMHDP Tip-2 Modeli	51
6.2 Operasyon Zamanları Bulanık GMHDP Tip-2 Modeli.....	52
6.3 Bulanık GMHDP Tip-2 Modeli İçin Geliştirilen Algoritma	54
7. UYGULAMA	60
7.1 Mevcut Montaj Hattıyla İlgili Veriler	62
7.2 Tapa Üretim Hattının Dengelenmesi.....	70
8. SONUÇ.....	81
KAYNAKÇA.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	93

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Bir Montaj Hattı.....	3
2.2. Öncelik Diyagramı	6
2.3. Ürün Sayısına Göre Montaj Hattı Tipleri.....	9
2.4. Düz Montaj Hattı	10
2.5. U-Tipi Montaj Hattı	10
2.6. Paralel Montaj Hattı	11
2.7. Dairesel Montaj Hattı.....	11
3.1. MHD Problemlerinin Sınıflandırılması.....	16
3.2. Teknolojik Öncelik Diyagramı	24
5.1. Üyelik Fonksiyonu Yapısı.....	40
5.2. \tilde{A} Üçgensel Bulanık Sayısının Grafikselsel Gösterimi	42
5.3. PERT'in Faaliyet Sürelerinin Olasılık Dağılımının Modeli.....	44
5.4. B Yamuk Bulanık Sayısının Grafikselsel Gösterimi	46
5.5. t1 Bulanık Sayısına Ait Üyelik Fonksiyonu.....	46
5.6. Kriterler için Bulanık Dilsel Değişkenler ve Sayıların Grafik Gösterimi	49
6.1. Geliştirilen Algoritmanın Akış Şeması Şeklinde Gösterimi	58
7.1. Teknolojik Öncelik Diyagramı	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
5.1. Kriterler için Bulanık Dilsel Değişkenler ve Bulanık Sayılar	49
7.1. Tapa Üretimi İçin Gerekli Görevler ve Görev Tanımları.....	62
7.2. Görev Süreleri (sn).....	67
7.3. Görev Sürelerinin Optimistic/Minimum Durumu İçin Sonuçlar	72
7.4. Görev Sürelerinin Most Probable/En Muhtemel Durumu İçin Sonuçlar	74
7.5. Görev Sürelerinin Pessimistic / Maksimum Durumu İçin Sonuçlar	75
7.6. Bütün Durumlarda Aynı İstasyonlara Atanan Görevler.....	76
7.7. Dönüşüme Göre Hesaplanan Görev Süreleri İçin Sonuçlar	77
7.8. Sonuçların Değerlendirilmesi	78

KISALTMALAR DİZİNİ

BM	Bulanık Mantık
C	Çevrim Süresi
DOBS	Derecelendirilmiş Ortalama Sunum Metodu
GMHD	Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme
GMHDP	Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Problemi
K	İstasyon Sayısı
MHD	Montaj Hattı Dengeleme
MHDP	Montaj Hattı Dengeleme Problemi
PERT	Program Evaluation and Review Technique
ÜBS	Üçgensel Bulanık Sayı

1. GİRİŞ

Günümüzde artan rekabet koşulları, firmaları müşterilerin hızla değişen istek, ihtiyaç ve hatta beklentilerine olabildiğince çabuk cevap vermek zorunda bırakmaktadır. Pazarda tutunabilmek, ancak doğru ürünün doğru miktar ve zamanda, doğru yerde bulunabilmesiyle mümkündür. Bu açıdan firmalar, büyük miktardaki siparişleri tam zamanında sevk edebilmek adına, genellikle ürüne göre yerleşim sistemlerini benimsemişlerdir. Bu üretim sistemlerinin özel bir hali olan montaj hatları ise bir işin bölünemez en küçük hali olan görevlerin, aralarındaki öncelik ilişkilerine göre art arda sıralandıkları ve istasyonlar arasında belirli bir sürede transfer edildikleri, hammadde veya bir yarı mamulün hattın sonundan nihai ürün olarak çıktığı bir sistemdir. Bir montaj hattının temel amacı, ürüne olan büyük miktarlardaki taleplerin, en ekonomik ve hızlı şekilde karşılanmasıdır.

Montaj hatlarıyla ilgili en önemli sorun hattın uygun bir metot ile dengelenmesidir. Montaj hattı dengeleme; görevlerin, öncelik ilişkileri dikkate alınarak belirli bir çevrim süresini aşmayacak ve istasyon boş zamanlarını en küçükleyecek şekilde iş istasyonlarına atanmasıdır. Dengede olmayan bir montaj hattı, denge kayıplarının fazla olması ve darboğazların oluşması nedeniyle kuruluş amacı olan etkin, ekonomik ve hızlı üretim yapabilme olgusuyla ters düşebilmektedir.

Montaj hattı dengeleme problemleri NP-Hard yapıda problemler oldukları için, görev sayısı veya öncelik ilişkilerinde meydana gelebilecek her artış, çözüm uzayını üstel olarak arttırmakta ve dolayısıyla optimum dengeyi bulmak zorlaşmaktadır. Ancak günümüz bilgisayarlarının saniyedeki işlem yapabilme kapasitelerinin, bu alandaki akademik çalışmaların başladığı dönemlere kıyasla olağanüstü arttığını düşünürsek, sadeleştirilmiş bir model yardımıyla gerçek hayattaki bir çok montaj hattı dengeleme problemi için makul bir süre içerisinde optimum sonuçlara ulaşmak mümkün olabilmektedir.

Literatüre bakıldığında montaj hattı dengeleme problemlerinin analitik olarak ilk defa ele alındığı 1955'ten bu güne, sayısız çalışma yapıldığı ve halen de bu problem

tipinin popülaritesini koruduğu görülmektedir. Yapılan çalışmalara bakıldığında montaj hattı dengeleme problemlerinin, genel olarak çevrim zamanının verilip istasyon sayısının en küçüklenmesinin istendiği **tip-1** ve istasyon sayısının verilip çevrim süresinin minimize edilmek istendiği **tip-2** montaj hattı dengeleme problemi olarak iki temel sınıfa ayrılmaktadır. Bunun dışında ürün sayısına göre; tek modelli, çok modelli ve karma modelli olarak üç grupta, yerleşim tipine göre düz, U-tipi, paralel ve dairesel olarak dört grupta ve görev sürelerine göre ise işlem sürelerinin önceden bilinen standart süreler olduğu deterministik, sürelerin belirli bir olasılık dağılımına dayandığı stokastik ve son olarak da bulanık mantık kavramının yaygınlaşmasıyla birlikte sıkça karşımıza çıkmaya başlayan sürelerin bulanık olduğu durumlara göre montaj hattı dengeleme problemlerini üç grupta incelemek mümkündür.

Bu tezde, savunma sanayiinde faaliyet gösteren MKEK Mühimmat Fabrikası Müdürlüğü'nün tapa montaj atölyesinde bulunan ve daha önce herhangi bir dengeleme çalışması yapılmamış olan montaj hattının dengelenebilmesi amacıyla çeşitli nedenlerden dolayı tamamlanma sürelerinin farklılık gösterdiği operasyonlar için görev sürelerinin bulanık olduğu, çevrim süresinin en küçüklenmesine dayalı bir algoritma geliştirilmiş ve adım adım uygulaması gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen algoritma LINGO optimizasyon programında modellenerek Branch&Bound (dalsınır) tekniği ile çözülmeye çalışılmış ve görev sürelerinin iyimser, en muhtemel, kötümser ve de son olarak bulanık sayıların derecelendirilmiş ortalama sunum tekniğine göre dönüştürülmüş durumu için minimum çevrim süresini sağlayacak olan optimal atama sonuçları elde edilmiştir.

Tezde yer alan bölümlere kısaca değinilecek olursa, ikinci bölümde montaj hatları ile ilgili genel bilgi ve tanımlar, üçüncü bölümde montaj hattı dengeleme problemi tipleri, dördüncü bölümde literatür çalışması, beşinci bölümde bulanık mantık kavramı ve bulanık mantığın tarihsel gelişimi, altıncı bölümde geliştirilen algoritma ve yedinci bölümde ise bu algoritmanın gerçek bir montaj hattında uygulaması yer almaktadır. Sekizinci ve son bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, yöneticiye karar verme sürecinde yardımcı olacak alternatifler ve her alternatif için montaj hatlarıyla ilgili önemli göstergeler sunulmuştur.

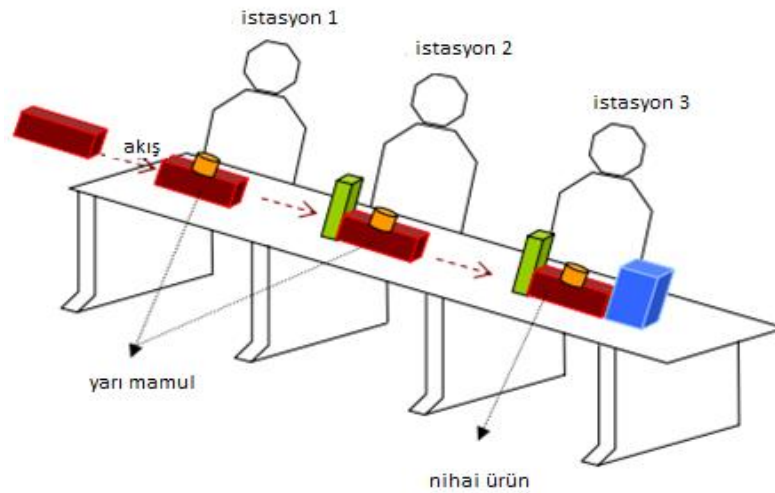
2. MONTAJ HATLARI

Nihai bir ürün için, uzun periyotlar boyunca sabit bir talep ve yüksek hacimli siparişler söz konusu olduğunda, sadece bu ürüne özel bir yerleşim yapmak, işletmeler için daha ekonomik olabilmektedir. Bitmiş ürünü elde edebilmek için yapılması gereken işlemler, teknolojik öncelik ilişkilerine göre görevleri art arda sıralamaktadır. Literatürde bu tarz bir yerleşim, montaj hattı olarak bilinmektedir.

Bir montaj hattı, malzemelerin üretim hattı boyunca insan gücünden yararlanılarak transfer edildiği ve parça üzerindeki işlemlerin sıralı istasyonlar boyunca yapıldığı bir sistem olarak tanımlanabilir. [Gökçen, 1997]

Montaj hattı, fiziksel ürün üreten işletmelerde, parçaların birleştirilerek nihai ürüne dönüştürüldüğü, genellikle hareketli bir bant veya konveyör sistem ile birbirine bağlı iş istasyonları ve bunun için gerekli ekipmanlardan oluşan bir sistemdir. Seri üretim yapan işletmelerde, ürüne göre yerleşim yapmak için oluşturulan hatlardır.

Tarihte bilinen ilk montaj hattı, Henry Ford'un arkadaşları ile birlikte hazırladığı, milyonlarca satan ünlü T modelinin üretildiği hattır. O günden buyana çok çeşitli montaj hatları kurulmuştur. Şekil 2.1'de örnek bir montaj hattı görülmektedir.



Şekil 2.1. Bir Montaj Hattı [Taşan, 2007]

Bir montaj hattının temel amacı, ürüne olan büyük miktarlardaki taleplerin, en ekonomik ve hızlı şekilde karşılanmasıdır. Montaj için gerekli olan görevler, birbirleri ardına sıralanan iş istasyonları arasına öncelik ilişkileri dikkate alınarak ve istasyonların toplam sürelerinin eşit veya birbirlerine çok yakın olması düşünülerek atanır.

Seri üretim yapan işletmelerde, ürüne göre yerleşim düzeni sıklıkla görülen bir uygulamadır. Bu yerleşim tipinde, hammadde veya yarı mamul hattın bir ucundan girmekte ve bir takım operasyonlar sonucu nihai ürüne dönüşmektedir.

Montaj hatlarında iş akışı iki şekilde sağlanır:

- i) Mekanik taşıyıcı olmayan hatlarda işler, bir istasyondan diğerine el yordamıyla aktarılır.
- ii) Bir mekanik taşıyıcı bulunan hatlarda, işler konveyör bantlar yoluyla bir sonraki istasyona taşınır.

Montaj hatları düzenlenirken bazı prensiplere uyulması gerekmektedir. Bu prensipler aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır: [Gökçen, 1989]

1. İş gücü prensibi: Toplamda ne kadar işçi bulundurulacaktır ve bunlar hangi istasyonlara yerleştirilecektir.
2. İş akışı prensibi: Yapılan işlemler, belirli bir iş akışını sağlamalıdır.
3. Minimum hareket uzaklığı: Montaj hattı zaman kayıplarını ve darboğazları önlemek açısından minimum mesafede kurulmalı, operatörlerin uzanma mesafeleri de minimize edilmelidir.
4. Rota Prensibi: İşler aynı rota üzerinde ilerlemelidir
5. İşlemlerin eş zamanlılık prensibi: Montaj operasyonları, ilk istasyondan son istasyona kadar aynı anda yapılır.
6. Parçaların değişebilirliği: Montaj işlemi sırasında bazı parçalar, işlem sürekliliğini bozmadan değiştirilebilir olmalıdır.
7. Birim işlem prensibi: Ürün üzerindeki her işlem, en küçük işlem birimine ayrılmış olmalıdır.

8. Minimum işlem süresi: Montaj işlemi mümkün olan minimum sürede bitirilebilmelidir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, işlem süreleri sabit olduğundan minimizasyon işlemi, atıl zaman üzerinden gerçekleştirilmelidir.

2.1 Montaj Hatlarının Temel Karakteristikleri

Montaj hatları, birbirleri ardına gelen, hepsinin operasyon süreleri ve öncelik ilişkileri olan görevlerden oluşan akış odaklı üretim sistemleridir. Her montaj hattında mutlaka yer alan temel öğeler aşağıda yer almaktadır:

*İstasyon: Montaj hattı üzerinde verilen bir işin, işçi/işçiler tarafından yapıldığı alandır. Genellikle bir kişi çalışacak şekilde ayarlanır ama duruma göre birden fazla kişinin çalışması da mümkündür. [Çelikçapa,1999]

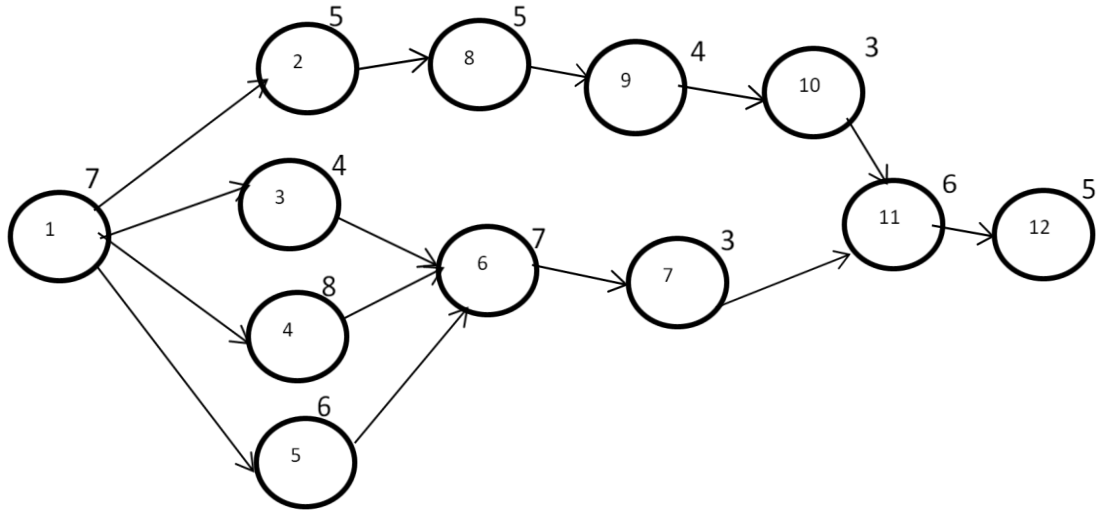
* Görev/Operasyon: Toplam işin uygun ve pratik en küçük alt parçalarıdır ve bu iş parçacıklarının bir veya birkaçı tarafından oluşturulurlar. [Üzmen, 1990]

* Operasyon Zamanı: Bir operasyonun yerine getirilebilmesi için gerekli olan zamandır. Operasyon zamanları deterministik, stokastik veya bulanık olabilir.

* İstasyon Zamanı: Bir istasyona atanan bütün görevlerin yapılması için geçen toplam zamandır. Çevrim zamanından büyük olamaz.

* Çevrim Zamanı: Bir montaj hattı boyunca birbirini izleyen iki iş istasyonu arasında geçen süredir. Çevrim süresi, iş istasyonu süresine eşit veya daha büyük olabilen, iş istasyonundaki işçinin, işini tamamlayabilmesi için kullanabileceği süredir. [Gökçen, 1989] [Çakır 2006]

* Teknolojik Öncelik Diyagramı: Yapılması gereken görevler arasındaki öncelik ilişkilerini gösteren bir tür grafiktir. Montaj hattı dengeleme çalışmalarında öncelik ilişkilerinin belirtilmesinde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Şekil 2.2’de 12 görevli örnek bir öncelik diyagramı gösterilmiştir:



Şekil 2.2. Öncelik Diyagramı

Bu diyagramda, kutucuk içerisindeki numaralar, o görevin numarasını ve kutucuğun sağ üstündeki sayılar ise ilgili görevin süresini göstermektedir. Oklar ise görevler arasındaki öncelik ilişkilerini belirtmektedir.

2.2 Montaj Hatlarının Sınıflandırılması

Montaj hatları, genel olarak ürün sayısına veya hat yerleşim tipine göre sınıflandırılır. Sınıflandırma türleri, aşağıda detaylı olarak açıklanmaya çalışılmıştır.

2.2.1 Ürün Sayısına Göre Sınıflandırma

i) Tek Modelli Hatlar: Sadece tek bir ürün modelinin üretildiği hatlardır. Literatürde basit model montaj hatları olarak da bilinirler. [Gökçen, 1989] Montaj hattı sadece ilgili ürüne göre tasarlanır. Bu tip hatların kurulmasındaki ana unsur, ürüne olan kitlesel talebin hızlı bir şekilde karşılanmasıdır. Genellikle istenilen üretim hızına göre bir çevrim süresi belirlenir ve iş ögeleri, öncelik ilişkileri dikkate alınarak ilgili istasyonlara atanır. Hattın ilk kurulumu oldukça maliyetli de olsa, seri üretim

yapıldığı için ilerleyen zamanlarda birim maliyetleri oldukça düşürmeye yardımcı olacaktır.

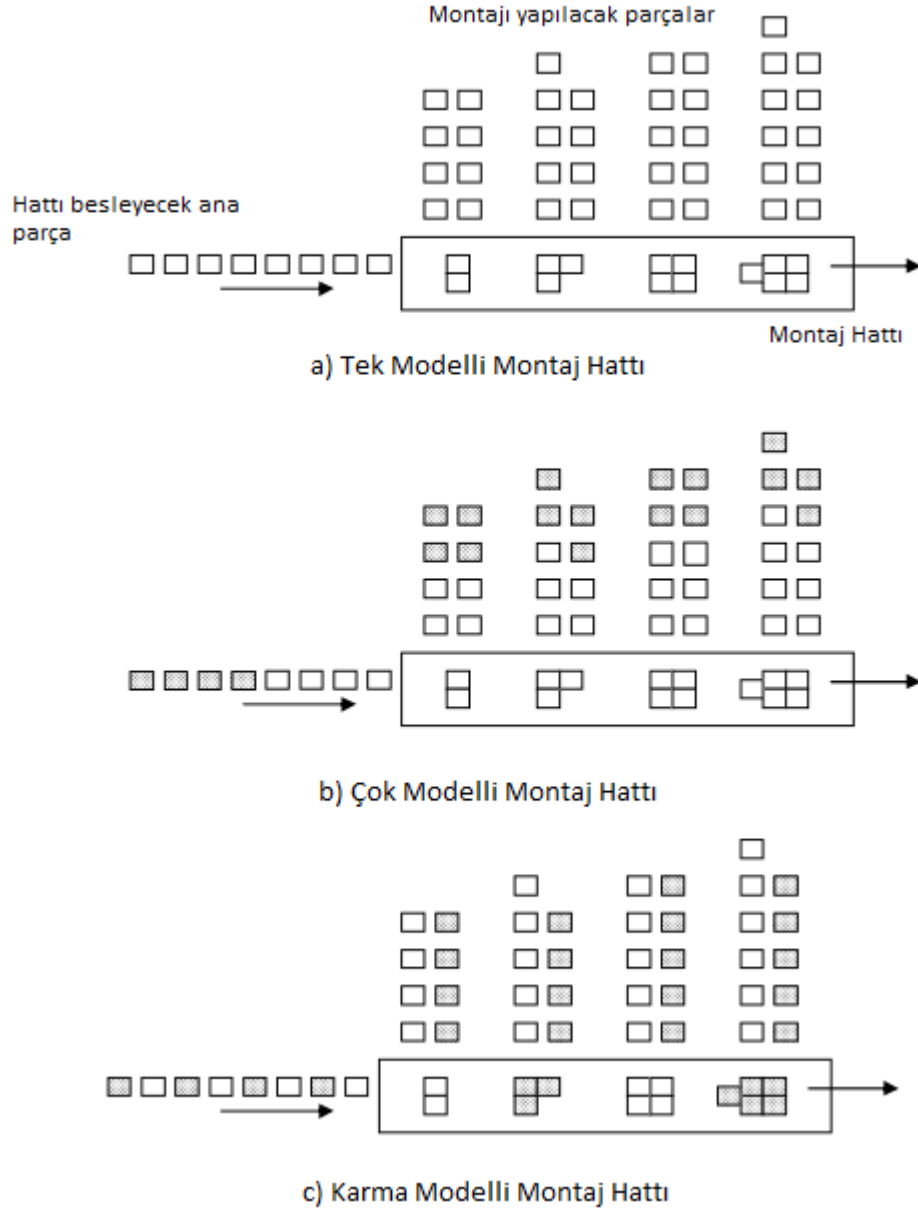
ii) Çok Modelli Hatlar: Bu tip montaj hatlarında ayrı ama birbirinden çok da farklı olmayan modeller farklı zamanlarda farklı kafileler halinde üretilirler. Bir ürün kafilésinin bittikten sonra diğer ürüne geçilir. Üretim prosesleri de benzerlik göstermektedir. Arada oluşan hazırlık zamanlarını azaltmak için kafileler büyük tutulmaya çalışılır.

Farklı ürünlerin imalatı için optimal imalat sırası, montaj hattı hazırlama maliyetlerinden direkt olarak etkilenecektir. Hat hazırlama maliyeti, değişen makine ve aletlerin maliyeti, ayarlama maliyeti, makine ve işgücünün boş zamanlarının maliyetlerinin toplamı olarak düşünülebilir. Bu durumda problem, belirli bir zaman aralığında toplam hazırlık maliyetini enazlayan parti üretim sıralamasını bulmak şeklinde tanımlanabilir. Parti üretim sıralamasının bu tip problemlerde önem kazanmasının nedeni, hazırlama maliyetlerinin genellikle sabit olmayıp değişken bir nitelik taşımasıdır. [Gökçen, 1989]

iii) Karma Modelli Hatlar: Aynı anda birden fazla çeşitteki ürünlerin üretildiği montaj hatlarıdır. Ürünler nitelik olarak benzer durumdadır ve üretim prosesleri de birbirine benzemektedir. Karışık modelli üretimin en önemli faydası, müşteri isteğini karşılamak üzere değişik modellerin sürekli olarak üretilmesi ve büyük bitmiş mamul stoklarını gerektirmemesidir. Modellerin değişik işlem zamanlarından doğan dezavantajlı yönleri ise, iş akışının düzenli olmaması, dolayısıyla daha fazla istasyon boş zamanları, yarı mamullerden oluşan yığınlardır. [Acar ve Estaş, 1986]

Karışık modelli hatlar için dengeleme problemi, bazı tek model dengeleme problemleri şeklinde düşünülebilir. Başka bir ifadeyle, her model ayrı olarak ele alınıp, toplam iş yükü iş istasyonları arasında olabildiğince eşit olarak dağıtılabilir. Örneğin A ve B gibi iki benzer model için bir montaj hattının kurulduğu varsayılımsın. A modelinin iş elemanları bu modelin montajı sırasında denge kaybı en az olacak şekilde iş istasyonlarına dağıtılır. Aynı durum B modelinin iş elemanları için de söz konusudur. Bu uygulama modellerin üretimi benzerlik gösterdiğinde sıkı sık

kullanılan ve bir ölçüde yeterli bir metottur. Burada üretim benzerliği denildiğinde anlatılmak istenen benzer iş elemanlarının, benzer bir sıra ile yapılmasıdır. Bu durumda her iş istasyonundaki işçiler, hangi model olursa olsun aynı işi yapmaktadırlar. Buna karşılık benzer olmayan modellerin üretildiği durumlarda yukarıda açıklanan şekilde her model için bağımsız bir hat dengelemesi yapmak, farklı iş elemanlarının dolayısıyla farklı yetenek ve eğitim gibi iş ihtiyaçlarının istasyonlara dağıtılması demektir. [Gökçen, 1989] Böyle durumlarda dengeleme benzer iş elemanlarının aynı istasyonlara ya da aynı grup istasyonlara hangi modelin üretildiğine bakılmaksızın dağıtılması şeklinde gerçekleştirilir. Atama işlemleri çevrim zamanına göre değil, toplam zamana göre ayarlanır. [Acar ve Estaş, 1984] Şekil 2.3'te ürün sayılarına göre montaj hattı tipleri görülmektedir.

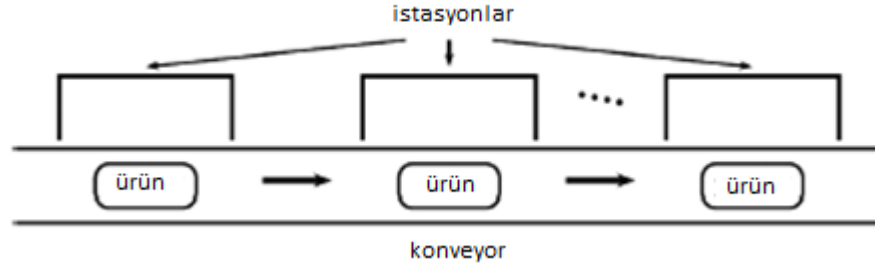


Şekil 2.3. Ürün Sayısına Göre Montaj Hattı Tipleri [Wild, 1972]

2.2.2 Yerleşim Tipine Göre Sınıflandırma

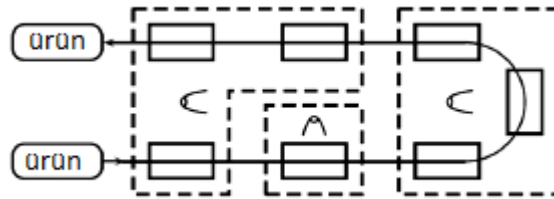
Donanımın ve iş istasyonlarının yerleşim biçimi, hat tipindeki üretimleri etkileyen önemli bir etmendir. Hattın bulunduğu yer ve üretilecek ürünün özellikleri, hattın alacağı şekli belirler. Fiziksel montaj hatları; düz, U-tipi, paralel ve dairesel gibi değişik biçimlerde tasarlanabilir. [Yılmaz, 2006]

i) Düz Montaj Hatları: İstasyonların geleneksel olarak düz bir hat boyunca sıralandıkları montaj hatlarıdır. Bu hatlar, basit ve sistemattir. Konveyör sistemlerin uygulanmasında en ekonomik ve elverişli olan sistemlerdir. Ancak bazı özel durumlar söz konusu olduğunda diğer yerleşim tipleri tercih edilebilir. Şekil 2.4'te düz montaj hattı örneği yer almaktadır.



Şekil 2.4. Düz Montaj Hattı [Battala ve Dolgui, 2012]

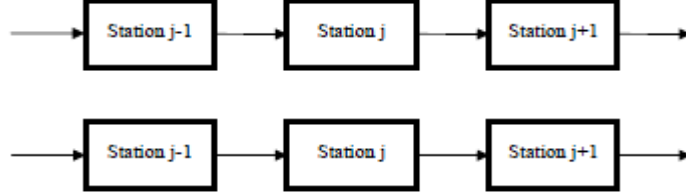
ii) U-tipi Montaj Hatları: Son yıllarda popüler hale gelen bir yerleşimdir. Eğer alan kısıtı varsa yani atölye içerisine düz hat yerleşimi mümkün değilse veya bir operatörün birden fazla makineyi kontrol etmesi gerekiyorsa bu hat yerleşim tipi tercih edilebilir. Bu tip hatların en büyük avantajı, bir operatörün sadece bir istasyona bağlı olma zorunluluğunun ortadan kalkmış olmasıdır. Şekil 2.5'te bir U-tipi montaj hattı görülmektedir.



Şekil 2.5. U-Tipi Montaj Hattı [Battala ve Dolgui, 2012]

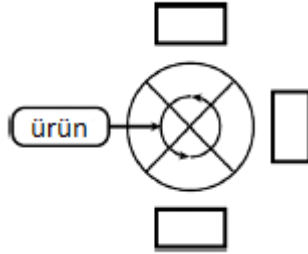
iii) Paralel Montaj Hatları: Ürüne olan talep yeterince yüksek olduğu zamanlarda, hattın karşılıklı kopyalanması şeklinde bir hat daha oluşturulması üretim hızını oldukça arttırabilir ve hat tasarımını kısaltabilir. İmalattaki esnekliğin arttırılmasını

sağlar. Fakat daha fazla ekipman ve alete ihtiyaç duyma gereksinimi vardır. Bir hatta bulunan herhangi bir istasyonda sorun olsa bile, karşıdaki hatta üretim devam edebilecektir. Bu da üretimin durma riskini azaltmaktadır. Şekil 2.6'da paralel montaj hattı görülmektedir.



Şekil 2.6. Paralel Montaj Hattı [Battala ve Dolgui, 2012]

iv) Dairesel Montaj Hatları: Bu hat yerleşimi, mevcut alanın düz hat tipine elverişli olmaması durumunda tercih edilir. Bu hat tipinde iş akışı, düz montaj hatlarında olduğu gibidir. Şekil 2.7'de dairesel montaj hattı görülmektedir.



Şekil 2.7. Dairesel Montaj Hattı [Battala ve Dolgui, 2012]

3. MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİ

Montaj hatlarında bir ürünün montajı, birçok parça bileşen ve alt montajın bir araya getirilmesi ve üzerinde bir takım işlemlerin yapılması ile gerçekleştirilir. İşlemleri yapacak olanlar, hat boyunca sıralanmış olan işçi grupları ya da başka bir deyişle iş istasyonlarıdır. Bir montaj hattının temel özelliği, iş parçalarının bir istasyondan diğer bir istasyona hareket etmesidir. Mamule göre yerleşimde, oldukça kısa bir zamanda geniş hacimde üretim yapılmakta ise de, üretim hattı bir kez kurulduktan sonra, bu tür yerleşimde, prosese göre yerleşimde o kadar önemli olmayan bir takım problemler ortaya çıkar. Bu oldukça karışık problemlerden birisi de hat dengeleme problemidir. Montaj hattında meydana gelen bu problemlere çözüm getirmekteki amaç, elemanter işler arasında bulunan öncelik şartlarını sağlayacak, her istasyondaki toplam iş yükü zamanı, verilen çevrim zamanından büyük olmayacak ve istenilen performans kriterleri sağlanacak şekilde, görevlerin iş istasyonlarına atanmasıdır. [Gökçen ve Erel, 1997]

Ürüne göre yerleşim tipindeki amaç, ortaya çıkacak olan aksaklıkların ve zaman kayıplarının minimize edilmesidir. Bu da ancak, hattın dengelenmesiyle mümkün olabilir. Konveyör bant ile işlerin taşındığı bir montaj hattında, operatörlerin boş beklememesi için, hattı besleme hızının ayarlanması gerekir. Aksi durumda ya bazı operatörler boş bekleyecek ya da işini tamamlayamamış olan operatör banttaki işi alamayacağından, işler işlenmeden o istasyonu geçmiş olacaktır. Montaj hattı kurulumu pahalıdır ama sonrasında maliyetlerin minimum olması istenir. Dengeleme işlemindeki en önemli faktör iş gücü, dolayısıyla da iş istasyonu sayısıdır. Bu nedenle montaj hattı dengelemenin amacı; elemanter işler arasında bulunan öncelik şartlarını sağlayacak her istasyondaki toplam iş yükü süresi, verilen çevrim zamanından büyük olmayacak ve montaj hattındaki istasyon sayısı minimum olacak şekilde, iş elemanlarının iş istasyonlarına atanmasıdır.

Montaj hattı dengeleme problemlerinde kullanılan performans ölçütleri genel olarak iki ana grupta toplanabilir: Birinci grup, hat boyunca yerleştirilen istasyon sayısı, ikinci grup ise istasyonlara verilen sürelerdir (çevrim zamanı). Birinci grup insan

gücü maliyetini en küçüklemede, ikinci grup ise üretim miktarını en büyüklemedir. Problemin formüle edilmesinin kolaylığına rağmen, yukarıdaki performans ölçütlerini eniyileyen iş gruplarının belirlenip istasyonlara atanması, diğer bir deyişle problemin çözümü, oldukça güçtür. N tane iş elemanı ve bu iş elemanları arasında r tane öncelik ilişkisi olan bir problem için yaklaşık olarak $N!/2r$ değişik hat tasarımı elde edilebilir. [Ignall, 1965]

Montaj hattı dengelemenin ana amacı, oluşan şartlar altında montaj hattının sürekli olarak çalışmasını sağlamaktır. Bu, işlerin çevrim zamanında tamamlanması ile mümkündür. İstasyon sayısının sabit olduğu problemlerde amaç çevrim zamanını minimize etmektir. Amaçlar aşağıda sıralanmaktadır: [Çakır, 2006]

- 1- Düzenli bir malzeme akışını sağlamak.
- 2- İnsan gücü kullanımını en üst düzeye ulaştırmak.
- 3- Makine kapasitelerini en üst düzeyde kullanmak.
- 4- İşlemler için en az miktarda süreyi kullanmak.
- 5- İşlemler için en az miktarda malzeme kullanmak.
- 6- Boş zamanları veya dengeleme kayıplarını en küçükleme.
- 7- İş istasyonu sayısını en küçükleme.
- 8- Denge kayıplarını, iş istasyonları arasında düzgün şekilde dağıtmak.
- 9- Hat dengeleme maliyetini en düşük düzeyde tutmak.

Montaj hattı dengeleme çalışması yapılmadan önce sistemde mutlaka bilinmesi gereken bilgiler vardır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır: [Savsar, 1984]

- * istenilen üretim hızı
- * iş elemanları ve bu elemanlara ait zaman standartları
- * iş sıraları ya da iş öncelikleri
- * sistemde mevcut olan kısıtlar

3.1 Hat Dengelemede Problem Tipleri

Montaj hattı dengeleme problemlerinde bütün amaçlara aynı anda ulaşmak mümkün değildir. Bazı durumlarda çevrim zamanı minimize edilmek istenir, bazen yeni tasarlanacak bir hatta yer alması muhtemel istasyon sayısının minimizasyonu istenebilir. Bu bakımdan literatürde iki tip montaj hattı dengeleme problemi bulunmaktadır:

i) Birincisi, çevrim zamanının verilip istasyon sayısının en küçüklenmesinin istendiği **tip-1** montaj hattı dengeleme problemidir. Bu tip problemlerde firmanın belirli bir çalışma döneminde üretmesi gereken miktar dikkate alınarak belirlenmiş veya yönetimin hedeflerine ulaşmasını sağlayacak olan belirli bir çevrim zamanı bulunmaktadır. Bu çevrim zamanını aşmayacak şekilde istasyon sayısını minimize edecek ve hat etkinliğini üst düzeye çıkartacak bir model oluşturulur. Genel olarak yeni bir hat tasarımı söz konusu olduğu zamanlarda karşı karşıya kalınan bir problem türüdür.

ii) İkincisi ise istasyon sayısının verilip çevrim süresinin minimize edilmek istendiği **tip-2** montaj hattı dengeleme problemidir. Bu tip problemlerde belirli bir montaj hattı bulunmaktadır. İstasyon sayısı ve çalışacak olan işçi sayısı belirlidir. Belirli bir çalışma sürecinde en fazla üretimi sağlayacak ve de işçilik maliyetlerini enazlayacak şekilde bir çevrim süresi belirlenmesi istenilmektedir. Ana amaç çevrim süresinin en küçüklenmesidir. Bu tip problemlerle genel olarak, siparişlerin mümkün olan en kısa zamanda teslim edilmesinin sağlanması durumunda karşılaşılmaktadır.

Literatüre bakıldığı zaman, montaj hattı dengeleme problemlerinin birçok gruba ayrıldığı görülmektedir:

- i) Model sayısına göre; tek modelli, çok modelli ve karma modelli hatlar.
- ii) Yerleşim tipine göre; düz (basit), u-tipi, dairesel vb. montaj hatları.
- iii) İşlem zamanına göre; deterministik, stokastik ve son zamanlarda popüler olan bulanık zamanlı montaj hatları.

Yukarıda belirtilen ana gruplar da kendi içerisinde tek modellenmiş deterministik, tek modellenmiş stokastik vb. alt gruplara ayrılabilir. Ancak son yıllarda gerçek hayat problemlerinde karşılaşılan durumların belirsiz oluşu deterministik çalışmaların popülaritesini azaltmıştır. İşlem zamanlarının belirli bir olasılık dağılımına dayandığı varsayımıyla belirli bir periyotta gözlem yapıp uygun olasılık dağılımına göre belirlendiği stokastik çalışmalar önem kazanmıştır. Yine bulanık mantık (fuzzy logic) kavramının iyice yaygınlaşmasıyla, işlem zamanlarının belirli değil de bulanık olduğu varsayımı, bulanık montaj hattı dengeleme çalışmalarını oldukça popüler hale gelmiştir. Bu bakımdan literatürde montaj hattı dengeleme problemleri üç ana başlık altında toplanabilir:

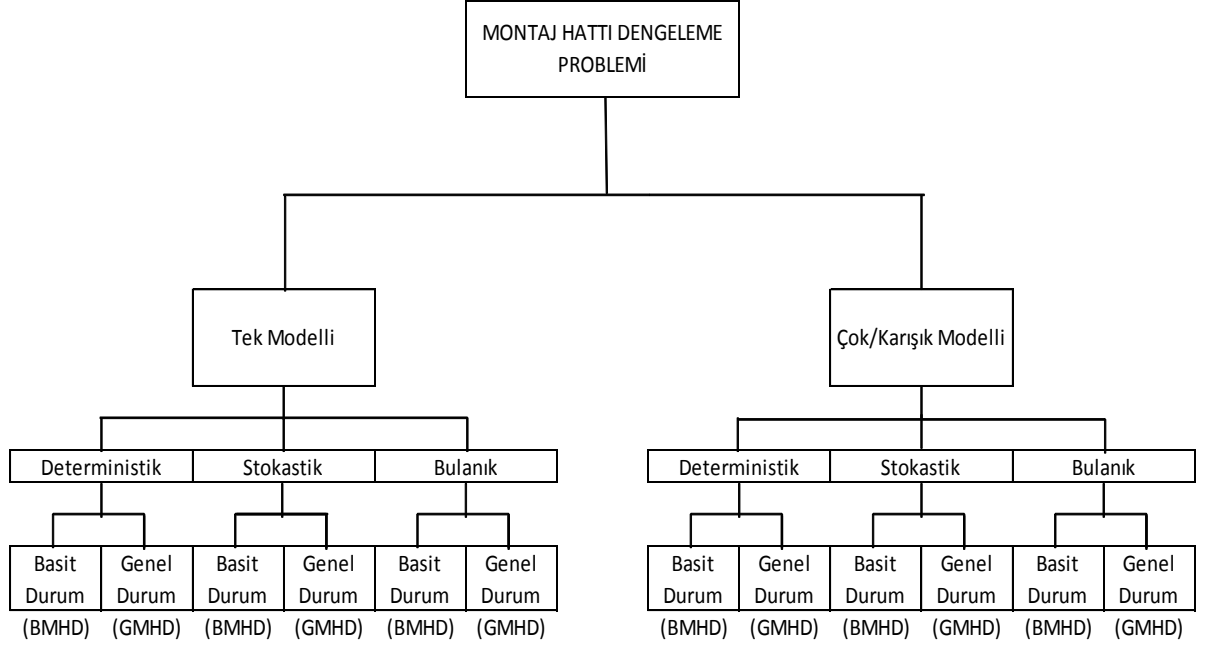
- 1) Deterministik zamanlı
- 2) Stokastik zamanlı
- 3) Bulanık zamanlı

Deterministik hat dengeleme problemlerinde, görev zamanlarının verilmiş olduğu ve bu zamanların hat boyunca herhangi bir değişim göstermediği varsayılmaktadır. Bu yaklaşım özellikle ileri teknoloji (robotlar vs.) kullanılan montaj hatlarında geçerlilik bulabilmektedir.

Stokastik hat dengeleme problemlerinde, görev zamanları belirli bir olasılık dağılımı ile ifade edilmektedir. Üretim sistemlerinde insan faktörü, görev zamanlarının deterministik olmasını engellemektedir. Yorulma, dikkat dağılması gibi faktörlerden dolayı işlem sürelerinin çevrim süresi aşması yani işlerin bazılarının bitirilememesi gibi durumlar söz konusu olabilmektedir. Genellikle görev zamanlarının Normal Dağılım'a uyduğu varsayımı bulunmaktadır.

Bulanık hat dengeleme problemlerinde ise görev zamanlarının her zaman aynı olmadığı bulanık küme fonksiyonuna göre veya üçgensel olarak yani iyimser (optimistic), kötümser (pessimistic) ve en muhtemel (most probable) değerlerden birisini aldığı varsayımı vardır. Aslında günlük hayat problemleri incelendiğinde bulanık mantık kavramının sıkça karşımıza çıktığı görülmektedir. Gerçek hayattaki montaj hatlarında da görev sürelerinin bulanık olduğu görülmektedir. Her grup da

kendi içerisinde basit ve genel montaj hattı dengeleme problemi olarak ikiye ayrılmaktadır. Şekil 3.1 hat dengeleme problemlerine ait bir sınıflandırmayı göstermektedir:



Şekil 3.1. MHD Problemlerinin Sınıflandırılması

Basit montaj hattı dengeleme (BMHD), montaj hattı dengeleme problemlerinin en basit ve orijinal halidir. Eğer modele bir takım kısıtlamalar veya faktörler (paralel istasyonlar, bölgeleme kısıtları vb.) dahil edilirse, problem genel montaj hattı dengeleme (GMHD) problemine dönüşür. [Ghosh ve Gagnon, 1989]

3.1.1 Tek Modelli Deterministik (TMD) Hat Dengeleme Problemi

Montaj hattında tek bir ürünün üretimi söz konusudur ve bütün görev zamanları sabit değerlerdir. Görevler, öncelik ilişkileri dikkate alınarak istasyonlara atanırlar. Atama sırasında bir istasyona atanan görevlerin süreleri toplamının çevrim süresini aşmamasına dikkat edilir. Probleme ait varsayımlar aşağıda yer almaktadır: [Gökçen, 1994]

1. Üretim hattında tek bir ürünün montajı yapılmaktadır.
2. Görev zamanları bilinen sabitlerdir.
3. Problemin öncelik diyagramı bilinmektedir.
4. Bir görevin iki veya daha fazla istasyon arasında paylaşılmasına izin verilmemektedir.
5. Her bir görev, kendisinden önce gelen görevler tamamlanmadan başlayamaz.

Bu tür MHD problemlerinin çözümü için genellikle kullanılan performans ölçütü, istasyon sayısının en küçüklenmesidir. Toplam boş zamanın minimize edilmesi, verilen istasyon sayısı için çevrim zamanının minimizasyonu veya denge gecikmesinin en küçüklenmesi, kullanılan diğer performans ölçütleridir.

Problemin, literatürde en çok karşılaşılan iki tipi aşağıda verilmiştir:

- i) $\text{Min } Z = K$, C veriliyor.
- ii) $\text{Min } Z = C$, K veriliyor.

Çoğu durumda yönetim, üretim oranını belirlediğinden dolayı, çevrim zamanı da belli olacağından dolayı, problemi en az istasyon sayısının bulunması şekline indirgeyebiliriz. [Gökçen, 1994] Ancak günümüzde, hâlihazırda birçok montaj hattı bulunduğundan, mevcut hatlar için görevlerin istasyonlara dağılımını en uygun hale getirerek mevcut çevrim zamanlarının minimize edilmesi, ana amaç haline gelmiştir denilebilir. Bu problem türüne ait çeşitli kısıtlar bulunmaktadır. Bunlar aşağıda verilmiştir:

- i) Bütün görevler yapılmak zorundadır.
- ii) Bir görev sadece bir defa atanabilir.
- iii) Herhangi bir istasyondaki iş yükü, çevrim zamanını aşamaz.
- iv) Eğer öncelik diyagramında x görevi y görevinden önce geliyorsa, x görevi atanmadan y görevi atanamaz.

Problemin formüle edilmesi oldukça kolay olmasına rağmen, en az istasyon sayısının bulunması için uygun görev sıralarının belirlenmesi, çok büyük bir çaba gerektirmektedir. [Erel, 1987] Aynı şekilde en küçük çevrim zamanının belirlenmesi için en uygun atama sırasının belirlenmesi de yoğun bir çaba gerektirmektedir.

3.1.2 Tek Modelli Stokastik (TMS) Hat Dengeleme Problemi

Bu tür problemlerin temel özellikleri, görev zamanlarının sabit değil de belirli bir olasılık dağılımına göre değer aldıkları varsayımdır. Bu varsayım altında amaç, öncelik ilişkileri göz önünde bulundurularak belirli bir performans ölçüsünü eniyileyecek şekilde görevlerin iş istasyonlarına atanmasıdır. Görev zamanları stokastik olduğundan dolayı, işler iki şekilde tamamlanamayabilir: Bir görev ya çevrim süresi içinde tamamlanamamıştır ya da ilgili göreve öncelik diyagramında tamamlanmamış bir işin takipçi olduğundan dolayı hiç başlanamamıştır.

Stokastik MHD problemlerinin dengelenmesinde kullanılan amaç fonksiyonu, genellikle toplam iş gücü ve toplam beklenen tamamlanmama maliyetlerinden oluşan “toplam sistem maliyeti”nin minimize edilmesidir.

$$\text{Min } Z = \text{Toplam Sistem Maliyeti} = C * L * K + \sum I(G) * \text{Pr}(G) \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1’de L birim iş gücü maliyeti, G tamamlanmayan kombinasyonların seti, I(G), G kombinasyonunun tamamlanmama maliyeti ve Pr(G) ise G kombinasyonunun meydana gelme olasılığıdır. Eşitlik 3.1’de görülen ilk terim, birim başına iş gücü maliyetini, ikinci terim ise birim başına beklenen tamamlanmama maliyetini ifade etmektedir. [Gökçen, 1994]

3.1.3 Tek Modelli Bulanık Hat Dengeleme Problemi

Bu problem türünde görev zamanlarının bulanık değerler aldığı varsayımı bulunmaktadır. Diğer tek modelli hat dengeleme problemlerindeki varsayımlar geçerli olmakla birlikte sadece görev zamanlarının bulanık olma noktasında bir farklılık bulunmaktadır. Burada veriler belirlenirken sistemi iyi bilen uzman görüşlerinden de faydalanılır.

Sistemi modellerken alınacak verilerin uzman görüşünden de yararlanılarak alınması, model dışında yer alan parametrelerin etkisini daha da azaltmakta büyük fayda

sağlayacaktır. Bunun yanında; deneyimle gelen bilgi birikimi ile ilgili girdi verilerinin belirlenmesinde uzman görüşünün, büyük zaman ve maliyet kazancı sağlayacağı açıktır. Ayrıca matematiksel olarak kesin bir şekilde belirlenemeyen parametre değerlerinin, uzman görüşünden yararlanıp, bulanık olarak belirlenmesi şartıyla; karar vericiye, dengelenmiş montaj hattı alternatifleri üretilebilecektir. Dolayısıyla uzman, sistem dışı parametreleri de düşünerek hangi montaj hattı yerleşimini uygulaması gerektiğine karar verebilecektir. [Yılmaz, 2006]

Gerçek bir montaj hattı düşünüldüğünde, insan, makine ve çevresel faktörlerden dolayı deterministik modellerin aslında çoğu durumda gerçeği tam yansıtamadığı görülmektedir. Bu noktada bulanık mantık yaklaşımı büyük faydalar sağlamaktadır.

3.1.4 Çok/Karışık Modelli Deterministik Hat Dengeleme Problemi

Günümüzdeki acımasız rekabet koşulları, tek bir ürünün seri üretimini zorlaştırmaktadır. Özellikle tüketici bilinç ve isteklerinin sürekli artış göstermesi nedeniyle firmalar, aynı ürünün farklı modellerini de üretmek zorunda kalmaktadırlar. Bu da çok veya karışık modelli montaj hatlarının kurulmasını gerektirmektedir. Bu problem türünde, yine veriler deterministiktir ancak aynı hatta farklı ürünlerin üretimi söz konusudur.

Çok modelli hatlarda benzer üretim süreçlerine sahip iki ürün farklı kafiler halinde yani ayrı ayrı üretilirler. Her modelin üretimi için hat dengeleme çalışması birbirinden bağımsız olarak yapılır ve tek modelli montaj hattı dengeleme problemleri gibi çözülür. Buradaki sorun üretim sıralamasını belirleyebilmektir. Model sıralama problemi için de tezgah hazırlama maliyetlerinin minimum düzeyde olmasına dikkat edilir. Ayrıca her kafilenin büyüklüklerinin belirlenmesi yine çözülmesi gereken başka bir sorundur.

Karışık modelli hatlarda ise yine benzer üretim süreçleri olan farklı ürünlerin aynı hatta ve aynı anda üretimi söz konusudur. Bu biraz daha karmaşık bir problem türüdür. Öncelikle ürünlerin hatta hangi sırayla yükleneceği ve hattın nasıl

dengeleme sorularına çözüm aranır. Öncelik diyagramları tek modelli hatlardan farklıdır. Thomopoulos (1970), iki veya daha fazla ürüne ait öncelik diyagramını birleştirerek kombine edilmiş öncelik diyagramı kavramını geliştirmiştir.

3.1.5 Çok/Karışık Modelli Stokastik Hat Dengeleme Problemi

Görev zamanlarının stokastik oldukları varsayımı altında hat dengeleme çalışması yapılmaya çalışılır. Birleştirilmiş öncelik diyagramı kavramı, bu problem türü için geçerlidir. Ancak stokastiklikten dolayı görevlerin tamamlanamama durumu, hat dengeleme problemini iyice karmaşık ve zor bir hale getirmektedir.

Bu problem türünü zorlaştıran birçok faktör bulunmaktadır. Bunlar öğrenme etkileri, işçi hüner seviyesi, iş tasarımı ve işçinin iş zamanı değişkenliği vs. şeklindedir. Bunlardan dolayı birimlerin tamamlanmadan hat boyunca ilerlemeleri ve dolayısıyla da tamamlanmamış birimlerin hattın dışında tamamlanması, bir takım maliyetlere sebep olmaktadır. [Ghosh ve Gagnon, 1989]

3.1.6 Çok/Karışık Modelli Bulanık Hat Dengeleme Problemi

Burada işlemlere ait olan zamanların bulanık olduğu varsayımı bulunmaktadır. Oldukça zor ve karmaşık bir hat dengeleme problemi türüdür. Literatürde bu konuyla ilgili çok fazla çalışma bulunmamaktadır. Zaten çok zor olan çok/karışık modelli dengeleme çalışmalarında bir de görev zamanlarının bulanık mantık kavramıyla ifade edildiği durumlar, oldukça karmaşık yapılar haline gelmektedir.

3.2 Hat Dengeleme Problemlerinde Kullanılan Kavramlar

Bir montaj hattı düzenlenirken karşılaşılan bazı temel kavramlar bulunmaktadır. Bunlar aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır:

Montaj: Tamamlanmış bir ürün elde edebilmek için çeşitli parçaların bir araya getirilip kombine edildiği bir süreçtir.

Montaj Hattı: Öncelik ilişkileri dikkate alınarak çeşitli görevlerin yerine getirildiği, akış odaklı bir üretim sistemidir.

İş Ögesi: İşler, temel hareketlerden veya iş parçacıklarından oluşur. İş ögeleri; toplam işin uygun ve pratik en küçük alt parçalarıdır ve bu iş parçacıklarının bir veya birkaçı tarafından oluşturulurlar. İş ögesi; üretim süreci içinde, toplam iş içeriğinin, mantıksal olarak bölünmüş bir parçasıdır. Bir diğer görüşe göre; toplam işin kaç aşamada tamamlanacağını ve bunların hangi aşamalarla olacağını belirleyen, işi yeterli ve anlamlı en küçük parçalara bölme sonucu ortaya çıkan birimler ve yapılacak işlemlerdir. [Üzmen, 1990]

Hat dengeleme çalışması yaparken dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlardan birisi, şüphesiz ki ürünün üretimi için gerekli olan bütün iş ögelerinin doğru ve eksiksiz bir şekilde saptanmasıdır.

İşlem Zamanı: Bir işlemin uygun bir şekilde yapılabilmesi için gerekli olan süredir ve t_i sembolü ile gösterilir.

İş İstasyonu: Montaj hattı üzerinde verilen bir işin, işçi/işçiler tarafından yapıldığı alandır. Her istasyonda, bir işçinin bir işlem için gerekli araçlarla çalıştığı varsayılır. Genellikle iş istasyonu, bir montajcı tarafından doldurulan yer olarak düşünülür. Bir montaj hattı için; en küçük istasyon sayısının bir olduğu ve istasyon sayısı dengeleme çalışması sırasında saptanan en büyük istasyon sayısını aşmamak gerektiği kısıtları vardır. [Çelikçapa, 1999]

İstasyonlar açık veya kapalı olabilirler. Kapalı istasyonlarda işlemler, istasyon sınırları içerisinde yapılmaktadır. Açık istasyonlarda ise operatörler istasyon dışına çıkabilirler. Bu nedenle açık istasyonların sürelerinde esneklik söz konusudur.

İş istasyonlarında, üretilen ürünün elde edilmesiyle ilgili farklı niteliklerde işlemler yapılabilir. Genellikle operatör sayısı bir olarak düşünülse de bazı durumlarda birden fazla sayıda işçinin çalışması da mümkündür.

İstasyon Süresi: Bir istasyona atanmış olan toplam görevlerin bitirilmesine kadar geçen süreye denir. Başka bir deyişle, ilgili istasyona gelen iş parçası üzerinde yapılacak olan ilk işin başlangıç süresi ile son işin bitiş süresi arasında geçen süreye istasyon süresi denir. Bir montaj hattında istasyon süresi, en büyük görev zamanına sahip iş ögesinin süresinden küçük olamaz ve aynı şekilde çevrim süresinden de büyük olamaz.

Çevrim Süresi: Çevrim süresi (cycle time), montaj hattında, ürünün bir istasyonda kalabileceği en büyük süre veya bir iş istasyonundaki işçinin o istasyonda yapılması gerekli işleri tamamlaması için verilen maksimum süre olarak tanımlanabilir. Çevrim süresi, iş istasyonu süresine eşit veya daha büyük olabilen, iş istasyonundaki işçinin, işini tamamlayabilmesi için kullanabileceği maksimum süredir. Çevrim süresini seçmekteki ana düşünce, gerek duyulan üretim hızıdır. Bir istasyonda, ardışık ögeler için iş tamamlama ve başlatma arasında bir süre geçer.

Ayrıca o istasyondaki tüm işler bitmesine rağmen çevrim süresi dolmamış olabilir. Bu nedenle çevrim süresi üç alt süreye ayrılabilir: Üretken iş süresi, üretken olmayan iş süresi ve atıl süre. [Çakır, 2006]

Çevrim zamanı hedefler doğrultusunda yönetici tarafından da belirlenebilir. Ama genel olarak çevrim süresi hesaplanırken, belirli bir üretim periyodunda üretilmesi gereken ürün miktarı dikkate alınarak Eşitlik 3.2’de olduğu gibi hesaplanabilir:

$$C = \frac{T}{N} \quad (3.2)$$

C: Çevrim süresi

T: Belirli bir üretim periyodundaki toplam süre

N: T süresinde üretilmek istenen toplam ürün miktarı

Denge Kaybı: Görevlerin iş istasyonlarına ne derece dengeli atandıklarını gösteren bir değerdir. Yüzde olarak ifade edilir. Hat dengelemede önemli olan, denge kayıplarını minimize edebilecek şekilde görevlerin istasyonlara atanmasıdır. Sıfır olması istenir ama gerçek hayatta özellikle de görev sayısı arttıkça bu imkansız bir hal alır. Denge kaybı Eşitlik 3.3'e göre hesaplanmaktadır:

$$D(\%) = \frac{N*C - \sum ti}{N*C} * 100 \quad (3.3)$$

D: Denge kaybı

N: Toplam istasyon sayısı

C: Çevrim süresi

$\sum ti$: Görev süreleri toplamı

Hat Etkinliği: Montaj hattı dengelenirken görevlerin istasyonlara ne kadar dengeli atandığını gösteren bir ölçüdür. Yüzde olarak ifade edilir ve %100 olması istenir. Ama gerçek hayat problemlerinde bu çoğunlukla mümkün değildir. Hat etkinliği Eşitlik 3.4'e göre hesaplanır:

$$E(\%) = \left[1 - \frac{N*C - \sum ti}{N*C} \right] * 100 \quad (3.4)$$

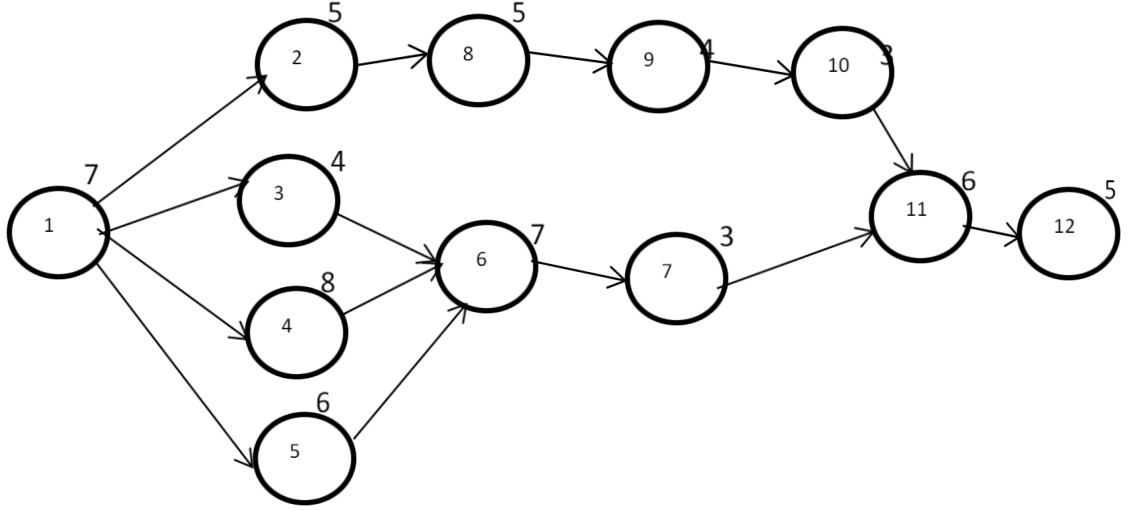
E: Hat etkinliği

N: Toplam istasyon sayısı

C: Çevrim süresi

$\sum ti$: Görev süreleri toplamı

Teknolojik Öncelik Diyagramı: Bir ürünün montajı için yapılması gereken görevlerin yani işlemlerin öncelik sıralarının grafiksel olarak gösterimidir. Şekil 3.2'de 12 elemanlı bir montaj hattı için öncelik diyagramı verilmiştir. Dairelerin içinde yer alan numaralar görevleri, dışında yer alan numaralar ise görev zamanlarını ifade etmektedir.



Şekil 3.2. Teknolojik Öncelik Diyagramı

Öncelik Matrisi: Öncelik diyagramının matris halidir. Eğer i görevini j görevi takip ediyorsa, matriste i . satır ve j . sütun kesişimi için “1” girişi yapılır. Diğer durumlar için bu değer “0” olarak girilir.

Görevlerin Paralelliği: Bir görevin birden fazla istasyonda yapılabildiği durumlardır. Özellikle işlem süresi çok büyük olan (çevrim süresini aşan) görevler olduğu durumlarda uygun olabilmektedir.

İstasyonların Paralelliği: Hat boyunca belirli noktalarda, denk iş istasyonlarının müsaade edilmesidir. Paralellik kavramı, bir hat tasarımını çeşitli şekilde düzenlemek için kullanılır. Böylece denge etkinliği geliştirilebilir ve çevrim zamanını geçen iş elemanları da rahatlatılabilir. [Gökçen, 1994]

Bölgeleme Kısıtları: Çeşitli nedenlerden dolayı bazı işlerin aynı yerde veya farklı yerde yapılması yönündeki kısıtlardır. Nitelikleri bakımından bazı işlerin bir arada yapılması sakıncalı olabilmektedir. Bazen de işlerin, üretim prosesleri gereği aynı istasyonda yapılması zorunlu olabilir. İkiye ayrılır:

- a) Pozitif Bölgeleme Kısıtı: Belirli iş parçalarının bir arada veya aynı istasyonda yapılması zorunluluğudur. Örnek olarak bütün boyama işlemleri, özel yarı kapalı bir istasyon gerektirdiği için aynı yerde yapılmalıdır. [Gökçen, 1989]

b) Negatif Bölgeleme Kısıtı: İş elemanlarının birbirlerinden ayrılmaları zorunluluğudur. Kalite kontrol gibi dikkat ve ince ayar isteyen işler, ağır ve sarsıntı yapan işlerden uzak tutulmalıdır. [Özgen, 1987]

4. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Montaj hattı dengeleme problemi, Endüstri Mühendisliği ve Yöneylem Araştırması'nda üzerinde en çok çalışılan konulardan birisidir. Literatürde bilinen ilk çalışma Bryton (1954) tarafından yapılmıştır. O günden bugüne kadar sayısız bilimsel çalışma yayınlanmıştır.

Literatüre bakıldığında bu alandaki çalışmalar çok farklı gruplamalar altında değerlendirilebilmektedir. Bu çalışmada literatür incelemesi üç ana başlık altında yapılmıştır. Bunlar deterministik, stokastik ve bulanık montaj hattı dengeleme problemi literatür incelemesidir. Her grupta bulunan önemli yayınlara, kronolojik sıraya uygun olarak yer verilmiştir. Konu ile ilgili en çok çalışma deterministik MHD problemi ile ilgili yapılmıştır. Buna karşılık daha kompleks yapıda olmasından dolayı en az çalışma ise bulanık MHD problemi üzerine yapılmıştır.

4.1 Deterministik MHD Literatür İncelemesi

Bryton (1954), montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için ilk analitik yaklaşımı geliştirmiştir. Bütün öğeler deterministik olarak düşünülmüştür. İş istasyonları sayısını sabit kabul ederek, çevrim zamanını minimize etmeyi öngören bir sezgisel geliştirmiştir. Daha sonraki çalışmalar için temel niteliği taşımaktadır.

Salveson (1955), montaj hattı dengeleme problemini tamsayılı doğrusal programlamayla modellemiştir. Modelin amaç fonksiyonu, çevrim zamanını sabit kabul ederek, istasyon sayısını ve istasyonlar arası boş zamanların minimizasyonunu amaçlamaktadır. Çevrim zamanı ve işlem zamanları deterministik olarak ele alınmıştır.

Bowman (1960), montaj hattı dengeleme problemini, 0-1 tamsayılı doğrusal programlama şeklinde formüle etmiştir. Literatürde MHD problemine tam sayılı doğrusal programlama yaklaşımını uygulayan ilk akademisyen olmuştur. Bu

yaklaşım sayesinde görevlerin, istasyonlar arasında bölünme olasılığı ortadan kaldırılmıştır. Çevrim zamanı ve işlem zamanları deterministik olarak düşünülen bu çalışmada istasyon sayısının minimizasyonu hedeflenmiştir.

Kilbridge ve Wester (1961), yaptıkları çalışmada işlem zamanları ve çevrim zamanını deterministik olarak ele almışlardır. Geliştirdikleri metot, sonraki zamanlarda birçok çalışmada kullanılmıştır. Bu metoda göre, iş elemanları öncelik ilişkilerine bağlı kalınarak gruplandırılır, bir istasyon sayısı ve çevrim zamanı belirlenir ve geliştirilen algoritmanın aşamalarına göre bir çözüm bulunur. Daha sonra farklı çevrim zamanlarına göre alternatif çözümler bulunur ve en az denge kaybının olduğu alternatif tercih edilir.

Klien (1963), bu çalışmasında montaj hattı dengeleme problemini, literatürde ilk defa en kısa yol (shortest-route) algoritmasıyla çözmeye çalışmıştır. Ancak bu metot, görevlerin mümkün olan tüm sıralarını oluşturduğundan, görev sayısı fazla olan problemler için, uygulanabilirliği yüksek değildir.

Thangavelu ve Shetty (1971), tek modelli montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için, 0-1 tamsayılı doğrusal programlama metodu önermişler ve Bowman (1960)'ın çalışmasını bir adım ileriye taşımışlardır. Probleme ilgili işlem zamanları ve çevrim zamanı, deterministik olarak ele alınmıştır. Problemin çözümü için Balas Additive adını verdikleri algoritmayı geliştirmişlerdir.

Patterson ve Albracht (1975), tek modelli montaj hattı dengeleme problemini için, oldukça etkili bir matematiksel formülasyon geliştirmişlerdir. Bu çalışmada amaç fonksiyonu olarak, verilen bir çevrim zamanına göre istasyon sayısının minimizasyonu ele alınmıştır. Ayrıca akademisyenler, çözüm prosedürü için bir Fibonacci Search prosedürü geliştirmişlerdir.

Pinto, Dannenbring ve Khumawala (1975), görevlerin paralel olduğu durumları içeren, işlem zamanlarının ve çevrim süresinin deterministik olduğu montaj hattı dengeleme problemleri için bir tamsayılı programlama modeli önermişlerdir. Çözüm için dal – sınır algoritmasını kullanmışlardır.

Talbot ve Patterson (1984) tek model montaj hattı dengeleme problemleri için bir tamsayı programlama algoritması geliştirmişlerdir. Bu çalışmada da bütün elemanlar deterministik olarak ele alınmıştır. Bu model, iş öğelerinin, iş istasyonlarına öncelik diyagramındaki ilişkileri bozmayacak şekilde atanmasını ve bir istasyona atanan elemanların toplam süresinin, çevrim zamanından daha büyük olmayacağını garanti eder. Bu model görev sayısı 50 ve altında olduğu durumlar için kabul edilebilir bir çalışma zamanında, optimal dengeyi garanti etmektedir. Daha büyük boyutlu problemler için ise, optimum sonuç garanti edilmemektedir. Bu çalışma, geliştirdiği matematiksel model ile, kendinden sonraki çalışmalara da ışık tutucu olmuştur.

Johnson (1988), büyük ölçekli montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için FABLE (Fast Algorithms for Balancing Lines Effectively) adını verdiği ve optimal çözümü veren bir algoritma önermiştir. Algoritmanın temeli dal – sınır tekniğine dayanmaktadır ve öncelikle derinlik kuralına göre çalışır. Çalışmada çok sayıda montaj hattı dengeleme problemi FABLE ile çözülmüş ve optimal sonuçlara ulaşılmıştır. Yöntemin en önemli avantajı ise, sonuca çok hızlı ulaşabilmesidir.

Hoffman (1992), yine dal – sınır tekniğine dayalı, belirli boyutlardaki problemler için optimal sonucu garanti eden bir montaj hattı dengeleme çalışmasıdır. İşlem zamanları ve çevrim süresinin deterministik olarak ele alındığı bu çalışmada, EURAKA adı verilen bir algoritma önerilmiştir.

Scholl ve Klein (1997), tek modelli ve deterministik montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için SALOME adını verdikleri ve yine dal – sınır tekniğine dayalı, optimal sonuç veren bir algoritma önermişlerdir. Klasik dal- sınır yönteminden farklı olarak çift yönlü istikamette arama yapan bir yöntemdir.

Gökçen ve Erel (1999), karma modelli montaj hattı dengeleme problemleri için, en kısa yol metoduna dayalı bir algoritma önermişlerdir. İşlem zamanları ve çevrim süresi deterministik olarak ele alınmıştır.

Sabuncuoğlu ve diğ. (2000), tek modelli montaj hattı dengeleme problemi için bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Ayrıca dinamik bölümlene adında bir modifiye kromozom yapısı geliştirerek, bilgisayar çözüm zamanını kısaltmayı hedeflemişlerdir. Bununla birlikte tavlama benzetimiyle genetik algoritmayı birleştiren elit bir yapı oluşturarak genetik algoritmanın performansını üst seviyeye taşımayı başarmışlardır.

Stockton ve diğ. (2004), tip-1 yani çevrim süresinin verilip istasyon sayısının minimize edilmek istendiği deterministik montaj hattı dengeleme problemleri için, bir genetik algoritma geliştirmişler ve bu algoritmanın performansını geleneksel bir yöntem olan RPW ile kıyaslamışlardır.

Bukchin ve Rubinowitch (2006), karma modelli montaj hattı dengeleme problemlerinde, istasyon maliyetlerini minimize etmeyi hedefleyen ve dal – sınır tekniğine dayalı optimal bir algoritma geliştirmişlerdir. Daha sonra büyük boyutlu problemleri çözebilmek için de yine dal – sınır tekniğine dayalı sezgisel bir algoritma önermişlerdir.

4.2 Stokastik MHD Literatür İncelemesi

Moodie ve Young (1965), stokastik zamanlı montaj hattı dengeleme alanındaki ilk çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada işlem zamanlarının normal dağılıma uyduğu varsayılır, çevrim zamanı ise sabittir. Geliştirilen sezgisel algoritmanın zayıf yanı, işlerin tamamlanmama durumlarını göz ardı etmesidir.

Mansoor ve Ben-Tuvia (1966), yaptıkları çalışmada görev zamanlarının normal dağılıma uyduğunu kabul etmişlerdir. İstasyon sayısının belirli olduğu durumlar için, çevrim zamanının minimizasyonu amaçlanmıştır.

Arcus (1966), hem stokastik hem de deterministik işlem zamanları olduğu durumlarda kullanılabilen COMSOAL (computer method of sequencing for assembly lines) adını verdiği tekniği geliştirmiştir. Çevrim zamanını geçmeyecek

şekilde, atanması uygun olan işler atanır ve alternatif çözümler oluşur. Bütün alternatifler bittiğinde, en az denge kaybını veren alternatif seçilir.

Kao (1976), operasyon zamanlarının; poisson, gamma, binom veya negatif binom dağılımına göre belirlendiği stokastik montaj hattı dengeleme problemleri için bir dinamik programlama yaklaşımı geliştirmiştir. Bu yaklaşımda, bir istasyona atanan işlerin süreleri toplamının, çevrim süresinin belirli bir miktarını aşması engellenmektedir.

Sculli (1979), sistemin ilk tasarımından sonra, değişen koşullara uyum sağlayabilecek şekilde hattın yeniden dengelenmesine yönelik dinamik bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu yaklaşımda, çevrim süresi değişen talep miktarına göre dinamik olarak ayarlanmakta, spesifikasyonlarda değişiklikler oluşmakta ve operatörler standart bir oranda çalışmamaktadırlar.

Driscoll ve Abdel-Shafi (1985), değişen şartlar altında hattın performansını inceleyebilmek için, simülasyon temelli bir montaj hattı dengeleme yöntemi geliştirmişlerdir. Bu yöntemde operasyonlar, RPW tekniğine göre yani pozisyon ağırlığı büyük olandan küçük olana doğru sıralanırlar. Operasyon zamanlarının normal dağılıma uyduğu varsayımı altında, probleme çözüm aranmıştır.

Betts ve Mahmoud (1989), stokastik zamanlı hat dengeleme problemi için, sınırların öncelik matrisine göre belirlendiği bir dal-sınır tekniği geliştirmişlerdir. Bu yaklaşım sayesinde, belirli boyutlardaki problemler için optimal çözüme ulaşılabilmektedir.

Nkasu ve Leung (1995), stokastik montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için, COMSOAL tabanlı bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yöntemde ilk önce hattın stokastik durumları simüle edilir ve daha sonra da COMSOAL yönteminin modifiye edilmiş bir versiyonuyla, alternatif hat yerleşimleri belirlenir. Denge kaybının en az olduğu yerleşim seçilir.

Suresh ve diğ. (1996) işlem zamanlarının stokastik olduğu tek modelli montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için bir genetik algoritma kullanmışlardır. İki

popülasyon ile çalışan bir GA geliştirmişlerdir. Bu algoritma, popülasyonun uygulanabilir çözümüne izin vermekte ve düzenli aralıklarla örnekleri değiştirmektedir. Bu yapı düzensiz arama uzayının (problem özelliklerinden kaynaklanan uygulanamazlık problemi) üstesinden gelmek için önerilmiştir. Çalışmada açıkça belirtilmektedir ki uygulanabilir çözümlerden meydana gelen bir popülasyon parçalanmış bir arama uzayına yol açar ve böylece lokal en iyi noktalarda sıkışma olasılığı artmaktadır. Akademisyenlere göre, uygunsuz çözümlerin popülasyon içerisinde bulunmasına izin verilmelidir, böylece genetik operatörler uygunsuz çözümlerden yola çıkarak uygun çözümleri bulabilir. Bu çalışma, iki popülasyon ile çalışan GA'nın tek uygun popülasyon ile çalışan GA'dan daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

Ağpak ve Gökçen (2002), operasyon zamanlarının normal dağılımla ifade edildiği U tipi montaj hatlarının dengelenmesine yönelik bir yöntem geliştirmişlerdir. Arcus (1966)'un COMSOAL yöntemini baz almışlardır. Bu metot, her istasyon için yönetim tarafından belirlenen güvenlik seviyesi kısıtı altında görevlerin, istasyon sayısı minimum olacak şekilde atanmalarını amaçlamaktadır.

Liu ve Huang (2005), tek modelli stokastik montaj hattı problemini istasyon sayısının veriliş çevrim süresinin minimum olması durumuna göre çözmeyi hedefleyen bir sezgisel geliştirmişlerdir.

4.3 Bulanık MHD Literatür İncelemesi

Tsujimura ve diğ. (1995), bulanık montaj hattı dengeleme problemleriyle ilgili literatürde bilinen ilk çalışmayı yapmışlardır. Operasyon zamanları ve çevrim zamanı bulanık olarak düşünülmüş ve üçgensel bulanık operasyon zamanlarının kullanıldığı bir genetik algoritma geliştirilmiştir. Denge gecikmesi, amaç fonksiyonu olarak alınmıştır.

Tsujimura ve diğ. (1996), yaptıkları çalışmada, genetik algoritmanın bulanık MHDP'lerdeki kullanımını detaylandırmış ve örneklerle desteklemişlerdir. Bir

önceki çalışmadaki matematiksel formülasyonun aynısı kullanılmış; sadece programdaki birkaç parametrede değişiklik yapılmıştır.

Chutima ve Yiangkamolsing (2003), yaptıkları çalışmada karışık modelli montaj hattı dengeleme problemini bulanık görev zamanlı olarak ele almışlardır. Problemin çözümü için genetik algoritma geliştirmişlerdir.

Khoshalhan ve Zegordi (2003), montaj hattı dengeleme probleminin her iki modeli (tip-1 ve tip-2) için de görev zamanlarının bulanık olduğu varsayımıyla bir çalışma yapmışlardır. Çözüm yöntemi olarak bir genetik algoritma geliştirmişlerdir.

Brudaru ve Valmar (2004), işlem sürelerini bulanık sayılar olarak ele almışlar ve bir metot geliştirmişlerdir. Bu melez metot Dal-Sınır yöntemi ile GA'yı birleştirmektedir. Yazarlar özel bir kromozom gösterim şeması, embriyo gösterimi ki bunlar çözümün alt kümelerinde sunulmuştur. Aynı zamanda yeni bir tür genetik operatör olan ve büyüme operatörü olarak adlandırılan, melez GA için kullandıkları bir operatör de önermişlerdir. Önerilen genetik algoritmanın çok uzun hesaplama zamanı gerektirdiği görülmüştür.

Fonseca ve diğ. (2005), yaptıkları çalışmada görev zamanlarını bulanık olarak ele almışlardır. Stokastik montaj hattı dengeleme probleminin modellenmesi ve çözülmesi için uygulanabilir alternatif bir yöntem olarak bulanık küme teorisini kullanmışlardır. Bu çalışmada görüldüğü gibi geçmişe ait yeterli veri bulunmadığı durumlarda stokastiklik yerine bulanık küme teorisi kullanılabilir.

Hop (2006), bulanık işlem zamanlı montaj hattı dengeleme problemi için, bulanık ikili doğrusal programlama modeli geliştirmiştir. Bu model yardımıyla, 50 göreve kadar optimal sonuç alınabilmektedir. Fakat daha fazla görev sayısının bulunduğu durumlar için yetersiz kaldığından bir de sezgisel metot geliştirmiş ve bu sayede 500 görev için bile başarılı sonuçlar alabilmiştir.

Kalender ve diğ. (2008), yaptıkları çalışmada, bulanık operasyon zamanlı geleneksel montaj hattı dengeleme probleminin çözümü için bir algoritma geliştirmişlerdir.

Önerilen algoritma yeni bir montaj hattını dengelemek için bir uzman tarafından belirlenen bulanık operasyon sürelerini kullanmaktadır. Geliştirilen çözüm algoritması Java programlama dili ile kodlanmış ve bir fabrikada test edilerek yeni hattın dengelenmesi sağlanmıştır. α kesmeleri yöntemiyle, bulanık kümeden kesin kümeye geçiş sağlanmıştır. Patterson ve Albracht tarafından kurulan deterministik model için sadece operasyon zamanlarını gösteren t_i değişkeni bulanık olarak ifade edilerek bununla ilgili kısıt değiştirilmiştir.

Xu ve Xiao (2008), yaptıkları çalışmada karışık modelli montaj hattı dengeleme problemini bulanık işlem zamanlı olarak ele almışlar ve bir çözüm yöntemi geliştirmişlerdir. Operasyonların kaydırılabilir olduğu varsayımı altında problemi çözmeyi denemişler ve amaç fonksiyonu olarak da total zamanın minimizasyonunu kullanmışlardır.

Kara ve diğ. (2009), yaptıkları çalışmada tek modelli ve U-tipi montaj hattı dengeleme problemi, ikili bulanık amaç programlama yöntemiyle ele almışlardır. Chang tarafından 2007 yılında öne sürülen algoritma üzerine bazı modifikasyonlar yapılmıştır. İstasyon sayısı ve çevrim zamanını bulanık olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmadaki temel farklılık da bundan kaynaklanmaktadır. Tek modelli ve U-tipi montaj hatları için birer örnek, geliştirilen algoritma ile çözülmüş ve sonuçlar kıyaslanmıştır.

Tapkan ve diğ. (2012) tarafından yapılan bu çalışmada, paralel montaj hattı dengeleme problemi, işçilerin pozisyonu alan ve görev kısıtları açısından daha gerçekçi olarak ele alınmıştır. Bulanık amaç programlama yardımıyla, çalışma ve hat etkinliği indeksleri maksimize, denge kaybı ise minimize edilmeye çalışılmıştır. Çözüm metodu olarak, son dönemlerin popüler sezgisellerinden ve doğadaki bal arılarının yiyecek arama davranışlarının taklit edilmesiyle ortaya çıkan bir swarm intelligence yöntemi olan Bees Algoritma kullanılmıştır.

Baykasoğlu ve diğ. (2012) tarafından yapılan bu çalışmada, daha gerçekçi olması amacıyla, bulanık parametreler ile paralel montaj hattı dengeleme problemi ele alınmıştır. Operasyon zamanları ve çevrim zamanının bulanık olarak ele alındığı bu

çalışmanın çözümünde bir multi-colony Ant Algorithm (çok kolonili karınca algoritması) önerilmiştir. Problemin çözümündeki en önemli varsayımlardan birisi, operatörlerin kalifiye ve çoklu yeteneğe sahip olmalarıdır. Bu durum paralel montaj hattı dengeleme problemlerinin temelini oluşturur ve esas faydayı da karşılıklı yerleştirilen hatlarda, bir işçinin birden fazla görev yapabilme yeteneği sağlamaktadır. Çevrim zamanının bulanık olması, operasyon zamanlarının değişkenliğinden kaynaklanmaktadır. Bu durum özellikle manuel olarak yürütülen operasyonlardan doğmaktadır. Geliştirilen yaklaşımın performansı, literatürdeki test problemleriyle kıyaslanmıştır.

Adham ve Tahar (2012), yaptıkları çalışmada, bir otomotiv endüstrisinde mevcut olan montaj hattının etkinliği ve istasyonlar arası denge kayıplarının minimizasyonu amaçlamışlardır. Bunu gerçekleştirebilmek için de MOGA adını verdikleri Multi Objective Genetic Algorithm (çok amaçlı GA) geliştirmişlerdir. Bu modern yaklaşım, hattın yeniden düzenlenmesiyle, işçilerin iş yükünü yeniden ayarlayarak, istasyonlar arası yığılmaların önüne geçilmesini sağlamış, kayıp zamanları azaltmış ve üretim miktarında artış sağlamıştır. Önerilen tekniğin bütün atölyelerde uygulanmasıyla günde yaklaşık dört buçuk araba üretimi yapan firma, kapasitesini günlük altı otomobile çıkarmayı başarmıştır.

Zacharia ve Nearchou (2012) tarafından yapılan bu çalışmada, işlem zamanları, gerçek hayat problemlerine uygun olması amacıyla üçgensel bulanık sayılar olarak ele alınmıştır. Birden fazla amaç bulunmaktadır. Birincisi, çevrim zamanını ve düzgünlük indeksini minimize etmek; ikincisi ise çevrim zamanı ile her istasyonun bulanık denge gecikmesini minimize etmek ve böylece maliyetleri enazlamaktır. Çözüm metodu olarak ise, çok amaçlı bir Genetik Algoritma geliştirilmiştir. Algoritmanın performansı, literatürdeki test problemleri ile test edilmiştir.

Hazır ve Dolgui (2013) tarafından yapılan çalışmada, montaj hattı dengeleme problemi çeşitli belirsizlikler (bulanık) altında ele alınmışlardır. Problemin çözümü için optimum sonucu verecek bir model geliştirmişlerdir.

Zacharia ve Nearchou (2013) tarafından yapılan bu çalışmada, tek modelli, bulanık operasyon zamanlı bir montaj hattı için Genetik Algoritma tabanlı bir meta-heuristic yöntem geliştirilmiştir. Hattın etkinlik indeksinin maksimize edilmesi, amaç fonksiyonu olarak kabul edilmiştir. Algoritmanın performansı literatürdeki test problemleri ile test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, geliştirilen meta-heuristic hem çözüm zamanı hem de kalite bakımından oldukça iyi sonuçlar vermiştir.

5. BULANIK MANTIK KAVRAMI

Gerçek hayat problemlerinin modellenmesinde, Aristo'nun 0-1 klasik mantığının yetersiz kalması, insanları farklı bir mantık yapısı üzerine çalışmaya sevk etmiştir. Klasik mantıkta bir şey ya vardır ya da yoktur. Güzel, çok güzel, biraz iyi, çok kötü, büyük ölçüde doğru, çok fazla, biraz, orta yaşlı, ılık gibi ifadeler, Aristo'nun klasik mantığıyla bahsedilmesi pek de mümkün olmayan ifadelerdir. Bu nedenlerden dolayı, özellikle 19. yüzyıldan itibaren belirsizlik ve bulanıklık kavramı üzerinde yoğun çalışmalar başlatılmıştır.

İlk defa Lotfi A. Zadeh tarafından 1962 tarihli bir makalede bahsedilen, daha sonra 1965 yılında yayınladığı "Bulanık Kümeler" adlı çalışmayla büyük ilgi uyandıran ve bu tarihten itibaren popüler olan bulanık mantık kavramı, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmesi için kurulmuş katı bir matematik sistemi olarak tanımlanabilir. Bilindiği gibi istatistikte ve olasılık kuramında, belirsizliklerle değil kesinliklerle çalışılır. Fakat insanın yaşadığı çevre daha çok belirsizliklerle doludur. Bu yüzden insan beyninin, olaylardan sonuç çıkarabilme yeteneğini anlayabilmek için belirsizliklerle çalışmak gereklidir.

Bulanık mantık ile klasik mantık (Aristo mantığı) arasındaki temel fark, klasik mantığın önermelerin sadece aşırı uç değerleri kullanmasıdır. Aristo mantığında bilindiği gibi bir nesne, A kümesinin ya elemanıdır ya da değildir. Başka bir deyişle ya siyah ya da beyazdır. Gerçek dünyada ise tam siyah veya tam beyaz çoğunlukla bulunmaz. Arada binlerce farklı gri renk tonu da vardır. Bulanık mantık ise gerçek hayata uygun olarak grilerle çalışır. Çok uç durumlarda siyah veya beyaz vardır.

BM'nin sistemi şu şekilde işler: Bir ifade tamamen yanlış ise klasik mantıkta olduğu gibi 0 değerindedir, yok eğer tamamen doğru ise 1 değerindedir. Bunların dışında tüm ifadeler 0'dan büyük, 1'den küçük reel değerler alırlar. Yani değeri 0.25 olan bir ifadenin anlamı %25 doğru %75 yanlış demektir. [Yılmaz, 2006]

Peki sayılar bulanık mıdır? Önceleri bu sorunun yanıtı değil şeklindeydi. Sayıların sınırlarının belirli olduğu düşünülüyordu. Örneğin; tek sayı, çift sayı gibi. Ancak örnek olarak 0 sayısını düşündüğümüzde bu sayının ait olduğu bir küme vardır ve bu küme sıfır kümesidir. Diğer sayılar ise bu kümenin dışındadır. Peki sifıra yaklaşan ya da sifıra yakın sayılar hangi kümededir? İşte bu sayılarda; büyük sayılar, ufak sayılar, orta büyüklükteki sayılar gibi bulanıktır. [Kosko, 1993]

Bulanık mantığın sağladığı en büyük fayda, belirsiz sistemlerin bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak tanınması ve insana özgü tecrübe ile öğrenme olayının modellenenbilmesidir.

5.1 Bulanık Mantık Kavramının Tarihsel Gelişimi

Bulanık (fuzzy) terimi ilk olarak 1962 yılında Berkley’de California Üniversitesi öğretim üyelerinden Prof. Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Ancak asıl ilgi yine Zadeh’in 1965 yılında yayınladığı “Fuzzy Sets” adlı çalışmasıyla ortaya çıkmıştır. Bulanık kümeler teorisi, gerçek hayattaki kompleks sistemlerin ve insan davranışlarının modellenmesi amacıyla ortaya çıkmıştır. Bunun yanında bulanık kümeler teorisi, karar vericilere belirsizlik koşulları altında da karar vermeye yardımcı olabilmektedir.

Zadeh, BM teorisinin bağımsız ve tam bir teori olmaktan çok, bulanıklaştırma yönteminin herhangi bir teorisinin ayrık formdan, sürekli forma dönüştürülmek suretiyle genelleştirilmesi için kullanılan bir metodoloji olarak ele alınmasını istemektedir. Londra Üniversitesinden Prof. Dr. Mamdani, kuramı bir buhar türbinin hızının denetlenmesine uygulamayı düşünmüş ve bu amaçla, insanın davranışlarını simule eden; “Eğer türbin hızı çok hızlı artıyorsa ve basınç da çok düşükse, buhar vanasını biraz aç” türünden kurallardan oluşan bir uzman sistem geliştirmiştir. BM kuramının ilk önemli endüstriyel uygulaması çimento sanayisinde olmuştur. Bir Danimarka firması BM kontrolcüsü kullanarak çimento üretimindeki oksijen ve sıcaklık dengeleri üzerine çok başarılı sonuçlar veren bir uzman sistem geliştirmiştir. Bu veya benzeri sistemler bugün bile Japonya ve Amerika da dahil olmak üzere bir

çok ülkede kullanılmaktadır. Kronolojik sıra içerisinde bundan sonraki en önemli aşama Japonya' da 1987 yılında görülmüştür. Hitachi firması, tren ile seyahat eden yolcuların bir yere tutunmalarına gerek kalmadan yolculuklarını gerçekleştirebildikleri, trenin hızlanma ve yavaşlama durumunu kontrol eden bir BM kontrolcüsünün bulunduğu bir sistem geliştirmişlerdir. [Yılmaz, 2006]

Yukarıda açıklanan başarılı uygulamalardan sonra bulanık denetim konusundaki çalışmalar, yeni bir ivme kazanmış ve endüstriyel uygulama alanları hızla artmıştır. Çalışmaların uluslararası alanda koordinasyonu amacı ile Japonya'da 1989 yılında LIFE (Laboratory for International Fuzzy Engineering) adlı bir laboratuvar kurulmuştur. Bu laboratuvarlarda yapılan araştırma çalışmalarına, aralarında Hitachi, Toshiba, Omron, Matsushita gibi ünlü Japon firmalarının yanı sıra IBM, NCR ve Thomson gibi Japonya dışı firmaların da bulunduğu birçok firma katılmaktadır. LIFE'nin yanında FLSI (Fuzzy Logic Systems Institute) adındaki diğer bir araştırma merkezi de bulanık mantığın elektronik, otomotiv ve üretim teknolojisi alanında yeni uygulamalar kazandırmaktadır. [Yılmaz, 2003]

5.2 Bulanık Küme Teorisi

Bulanık küme teorisi, bulanık mantık sistemine dayalı olarak insan faktörünün içinde olduğu, belirsizlik, kişisel önyargı, davranış ve hedefler içeren gerçek yaşam problemleri için geçerli ve esnek bir çözüm yaklaşımıdır. Tam ve kesin olmayan bilgiler ışığında insanların tutarlı ve doğru kararlar vermesini sağlamak ve bulanık mantık yardımıyla düşünme ve karar mekanizmalarının modellenmesi ile ilgilenmektedir. [Türkbey, 2003]

Günümüzde yöneylem araştırması, kontrol teorisi ve istatistik gibi birçok bilim alanında uygulama alanı bulmaktadır. Bu teorinin geniş kullanım alanları bulmasının gerekçeleri aşağıdaki gibi sıralanabilir: [Öztürk, 2009]

- Sistemin kesin bir matematiksel modelinin elde edilmesinin gerekmemesi

- Sistemlerin doğrusal olmaması, bilgilerin eksik veya sistemin çok karışık olması gibi nedenlerden dolayı matematiksel modelin elde edilememesi veya karmaşık olması nedeniyle klasik yöntemlerin uygulanmasından kaçınılması
- Eksik veri ile çalışan sistemlerin bir uzmana bağımlı olması
- Sistem çıkışında düzgün ve yavaş bir değişim istenmesi, ani ve kesin değişimlerin istenmemesi
- Esnek olması ve değişen koşullar altında minimum değişikliklerle çalışabilmesi
- Sonuçlar klasik kontrol yöntemleri ile elde edilene göre daha doğru olması ya da daha kolay ve doğrudan elde edilebilmesi
- Bulanık çıkarsama donanımları ve bulanık kontrollerin geliştirilmesi ile kontrol algoritmalarının geliştirme süresinin ve maliyetlerinin azalması
- Daha az kodlama ve daha az hafıza gereksiniminden dolayı donanım maliyetlerinin düşmesi.

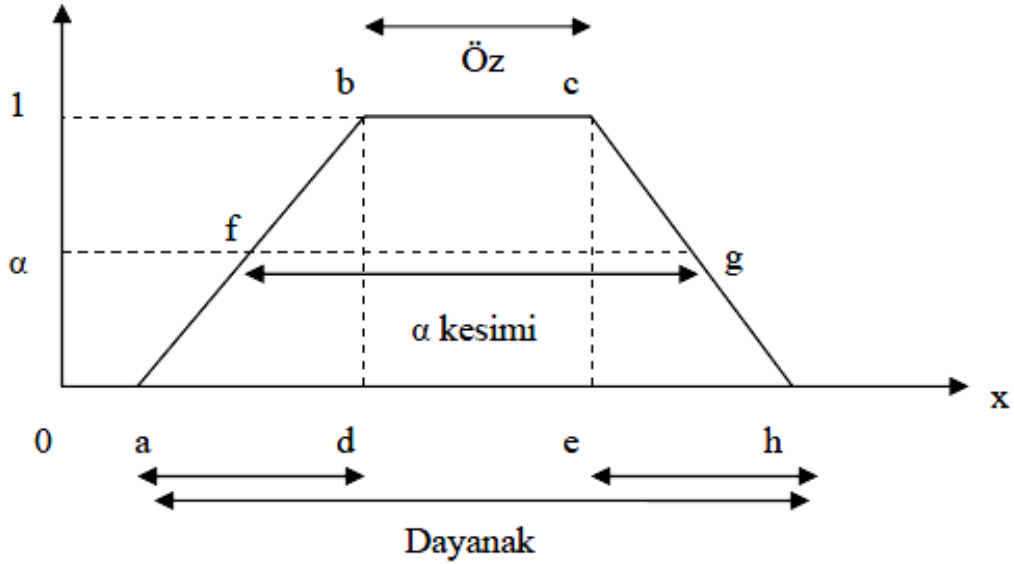
5.3 Bulanık Küme Üyelik Fonksiyonları

Klasik kümeler bulanık kümelerin özel hali olarak belirtilebilir. Klasik kümeler tüm üyelik derecesi “1” sayısı olan elemanlardan oluşan bulanık kümelerdir. Bulanık üyelik fonksiyonları kesikli ya da sürekli olabilir. Bulanık küme, her nesne için sıfır ile bir arasında bir üyelik derecesi atanmış bir karakteristik fonksiyon ile karakterize edilmektedir. [Aplak, 2010] Bulanık küme “ \tilde{A} ” ile üyelik derecesi ise “ $\mu_{\tilde{A}}(x)$ ” ile gösterilmektedir. Herhangi bir “ \tilde{A} ” kümesinden $[0,1]$ aralığına tanımlanan her bir dönüşüme “ \tilde{A} ” nin bir bulanık alt kümesi denir. [Zadeh, 1965] \tilde{A} bulanık kümesi aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\tilde{A} = \{ \{x, \mu_{\tilde{A}}(x)\}, x \in X \}$$

$\mu_{\tilde{A}}(x)$ $[0,1]$ aralığında bir reel sayıdır. Her “x” elemanının üyelik derecesi bu elemanın bulanıklık derecesini ifade eder. $\mu_{\tilde{A}}(x)$ 'in değeri 1'e yaklaştıkça bulanık üyelik derecesi artar. Üyelik derecesinin 1'e eşit olması, bu elemanın kesinlikle bu kümeye ait olduğunu gösterir. Bunun tam tersine, üyelik derecesinin “0” olması, bu elemanın kesinlikle bu kümenin elemanı olmadığını işaretidir. Bu iki değer

arasındaki değerler ise elemanların bu kümenin özelliklerini ne derece yansıttığının izafi değerlendirilmesidir. Üyelik derecesinin bir alt küme içindeki değişimine ise üyelik fonksiyonu adı verilir. [Evans ve ark., 1989] Şekil 5.1’de yamuk şekline ait üyelik fonksiyonlarının kısımları gösterilmektedir: [Aplak, 2010]



Şekil 5.1. Üyelik Fonksiyonu Yapısı

Bulanık küme elemanlarının üyelik derecelerinin tanımlanması, gerçek hayattaki belirsizliğin matematiksel olarak modellenmesini, bu belirsizlikler arasında bulanık küme işlemlerinin yapılabilmesini ve sonuçta, analitik olarak ulaşılamayacak bulanık sonuçlara ulaşılabildiğini sağlamaktadır. [Ökmen ve Öztaş, 2009]

Literatürde üyelik fonksiyonlarının tespiti için yapılan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar bulanıklığın bireysel veya grup değerlendirmesi ve objektif veya subjektif olup olmadığı ile karakterize edilmektedir. [Bilgiç ve Türkşen, 1997]

Belirsizliğin bulanık mantık teorisi ile modellenmesinde ise her değişkene ait üyelik fonksiyonu tanımlanmaktadır. Bulanık mantık, olasılık teorisinin rassal değişkenlere uydurulabilecek olasılık yoğunluk fonksiyonları alternatifleri yerine bulanık değişkenlerle üyelik fonksiyonunun tanımlanması imkanı vermektedir. Bu

yöntemler; sezgi, çıkarım, mertebelenme, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, çıkarımcı muhakeme olarak sıralanabilir. [Şen, 2001]

Üyelik fonksiyonlarının oluşturulmasında kullanılan bazı metotlar, uygun örnekler ile aşağıda yer almaktadır:

- Oylama: Ali'nin boyunun uzun olduğuna katılıyor musunuz? (evet veya hayır)
- Direkte derecelendirme: Ali'nin boyunun uzunluğunu sınıflandırınız?
- Ters derecelendirme: Boy uzunluk derecesi 0,6 olan kişileri tanımlayınız?
- Aralık tahmini: Ali'nin boyunun uzunluk derecesi için bir aralık belirleyiniz?
- Üyelik fonksiyonu örnekleme: Ali'nin uzun insanlar kümesine ait olma derecesi nedir?
- İkili karşılaştırma: Ali mi daha uzun Veli mi? [Bilgiç ve Türkşen, 1997]

5.4 Bulanık Sayılar

Bulanık sayı normal ve dışbükey özelliklerine sahip olan bulanık bir kümedir. Normallik ve dışbükeylik Eşitlik 5.1'de tanımlanmaktadır.

Normallik: $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$, en az bir $x \in R$

Dışbükeylik: $\mu_{\tilde{A}}(x_2) \geq \text{EK} [\mu_{\tilde{A}}(x_1), \mu_{\tilde{A}}(x_3)]$, $\mu_{\tilde{A}}(x) \in [0,1]$ ve $x_2 \in [x_1, x_3]$ (5.1)

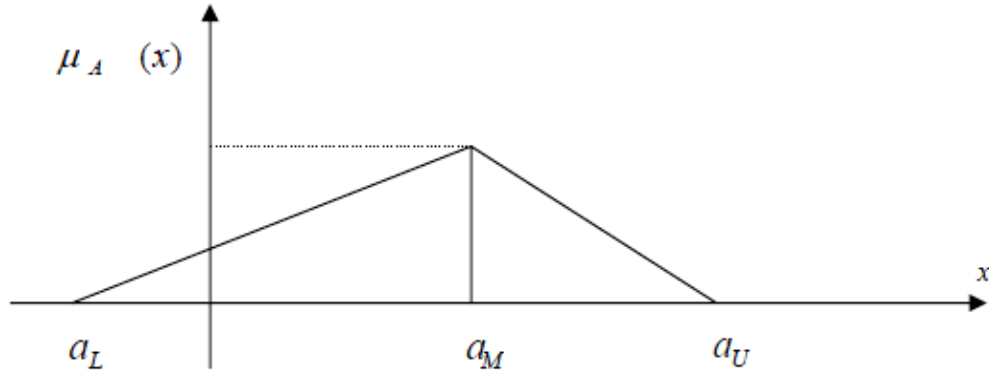
Bulanık sayılar, gerçek sayıların kümesinde tanımlanan ve tüm değerler için “ α ” kesimleri $\alpha \in (0,1]$ kapalı gerçek sayılar aralığında bulunan standart bulanık kümelerdir. [Aplak, 2010]

5.4.1 Üçgensel Bulanık Sayılar

Bulanık sayıların özel bir çeşididir ve gerçek sayılara ait üçleme ile karakterize edilir (a_L, a_M, a_U). Üçgensel bulanık sayılar Eşitlik 5.2'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_L \\ \frac{(x - a_L)}{(a_M - a_L)}, & a_L \leq x \leq a_M \\ \frac{(a_U - x)}{(a_U - a_M)}, & a_M < x \leq a_U \\ 0, & x > a_U \end{cases} \quad \text{olduğu yerde} \quad (5.2)$$

Şekil 5.2’de gösterilen bu üçlemeden “ a_M ” olarak gösterilen değer üyelik fonksiyonunun maksimum yüksekliğine ait dereceyi gösterir ($\mu_{\tilde{A}}(a_M) = 1$ gibi). “ a_L ” ve “ a_U ” değerleri değerlendirmenin en düşük ve en yüksek limitlerini gösterir. [Aplak, 2010]



Şekil 5.2. \tilde{A} Üçgensel Bulanık Sayısının Grafikselsel Gösterimi

$\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ iki üçgensel bulanık sayı olsun. Bu sayılar arasındaki temel işlemler, Eşitlik 5.3 ve 5.4’te gösterilmektedir: [Wang ve Chen, 2008]

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (\text{Toplama}) \quad (5.3)$$

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 \times l_2, m_1 \times m_2, u_1 \times u_2) \quad (\text{Çarpma}) \quad (5.4)$$

5.4.1.1 Üçgensel Bulanık Sayıların Derecelendirilmesi

Durulaştırma, bulanık olan çıktıların sayısallaştırılmasına yarayan bir işlemdir. Maksimum kriteri, ağırlıklı ortalama, maksimumların ortalaması, ağırlık merkezi, toplamların merkezi gibi farklı dönüşüm durulaştırma metotları literatürde kullanılmaktadır. Maksimumların ortalaması yöntemi geçici durum için, alanların ağırlık merkezi yöntemi ise kalıcı durum için daha iyi sonuçlar vermektedir. Ağırlık merkezi metodu durulaştırmada en çok kullanılan yöntemdir. [Ross, 2004]

Derecelendirme ve sıralandırma metotları, alternatiflerin ve kriterlerin öneminin belirlenmesinde çok önemli araçlardır ve değerlendirmede büyük önem taşıyan ideal ve ideal olmayan değerlerin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Chen ve Hwang (1992), derecelendirme metotlarını tercih ilişkileri, bulanık ortalamalar, bulanık skorlama ve dilsel ifadeler olmak üzere dört ana grupta sınıflandırmışlardır.

Chou ve arkadaşları (2008), Chen ve Hsieh tarafından 2000 yılında geliştirilen derecelendirilmiş ortalama birleşim sunum metodu (the graded mean integration representation method) ağırlık değerlerini durulaştırmak ve derecelendirmek amacıyla kullanmıştır. Araştırmacılar tarafından metodun, mevcut derecelendirme metotlarının eksikliklerini geliştirmekte ve problem çözümünde kullanım kolaylığı sağladığı belirtilmektedir. [Aplak, 2010]

Derecelendirilmiş ortalama birleşim sunum metodu (DOBS) temel alındığında, ÜBS kümesi $\tilde{A} = (l,m,u)$ için derecelendirme ve sunum değeri Eşitlik 5.5'teki gibi hesaplanmaktadır:

$$R(A_i) = \frac{l+4m+u}{6} \quad (5.5)$$

Bu değerler kullanılarak $(R(A_i), i = 1, 2, 3, \dots, n)$, “n” sayıdaki üçgensel bulanık sayı (A_1, A_2, \dots, A_n) derecelendirilmektedir. DOBS metodunda kullanılan hesaplama tekniği ile proje yönetimi tekniklerinden program değerlendirme ve gözden geçirme

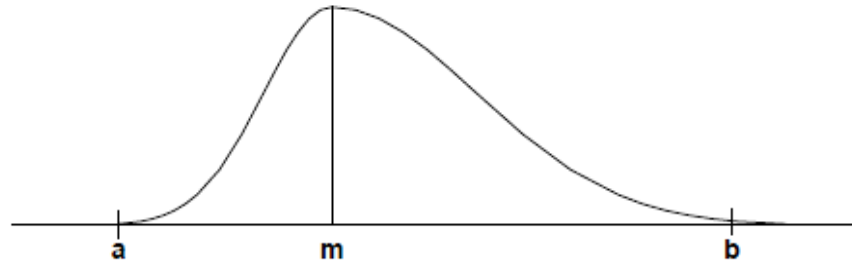
tekniki (Program Evaluation and Review Technique - PERT) metodunda kullanılan teknik, aynı esaslarda hesaplama işlemi yapmaktadır.

PERT tekniği, bir proje yönetimi tekniği olup proje zamanlarının etkinliği ile ilgilenmektedir. Gerçekte, projelerde yer alan olayların zamanlarına ait belirsizlik söz konusu olup beklenen olay zamanlarının hesaplanmasında beta dağılımı kullanılmaktadır. PERT tekniğinde her faaliyet süresi için iyimser, muhtemel ve kötümser olmak üzere üç adet zaman tahmini parametresi bulunmaktadır. Şekil 5.3'te PERT'in faaliyet sürelerinin olasılık dağılım modeli görülmektedir.

a = İyimser tahmin (her şey yolunda giderse)

m = En muhtemel tahmin (en gerçekçi zaman)

b = Kötümser tahmin (her şey ters giderse)



Şekil 5.3. PERT'in Faaliyet Sürelerinin Olasılık Dağılımının Modeli [Aplak, 2010]

Ortalama süre ve varyansın sadece üç tahmin ile hesaplanabilmesi, beta dağılımının seçilme nedeni olarak gösterilmektedir. Her projenin kendine özgü bir yapısı olduğundan, faaliyet sürelerinin dağılımı hakkında bir bilgi olmaması normal karşılanmaktadır. Bu yüzden diğer dağılımların beta dağılımından daha uygun olup olmadığı konusunda kesin bir şey söylemek mümkün değildir. Faaliyet süresinin ortalama (beklenen) değeri Eşitlik 5.6'ya göre hesaplanmaktadır. [Hillier ve Liberman, 2001]

$$t = \frac{a+4m+b}{6} \quad (5.6)$$

5.4.1.2 İki Üçgensel Bulanık Sayı Arasındaki Uzaklığın Bulunması

Vertex metodu, üçgensel bulanık sayılar arasındaki uzaklığın bulunmasında yaygın olarak kullanılan bir metottur. $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ ve $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ iki üçgensel bulanık sayı olsun. Bu sayılar arasındaki uzaklık Vertex metodu yardımıyla, Eşitlik 5.7'deki şekilde hesaplanabilir:

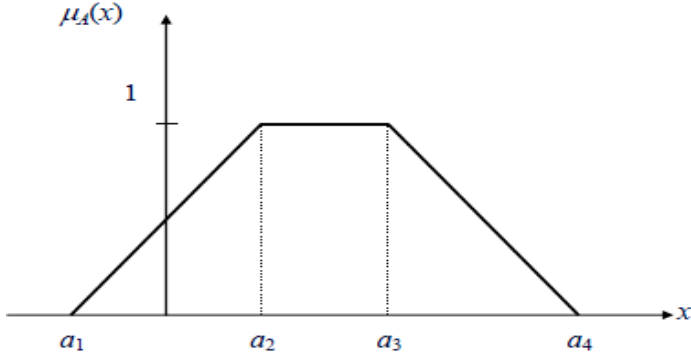
$$D(\tilde{A}_1, \tilde{A}_2) = \sqrt{\frac{1}{3} [(l_1 - l_2)^2 + (m_1 - m_2)^2 + (u_1 - u_2)^2]} \quad (5.7)$$

5.4.2 Yamuk Bulanık Sayılar

Bulanık sayıların diğer bir çeşididir ve gerçek sayılara ait dörtleme ile karakterize edilir; (a_1, a_2, a_3, a_4) . Yamuk bulanık sayılar için üyelik fonksiyonu Eşitlik 5.8'de tanımlanmaktadır: [Bector ve Chandra, 2005]

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x < a_1 \\ \frac{(x - a_1)}{(a_2 - a_1)}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 < x \leq a_3 \\ \frac{(a_4 - x)}{(a_4 - a_3)}, & a_3 < x \leq a_4 \\ 0, & x > a_4 \end{cases} \quad (5.8)$$

Şekil 5.4'te \tilde{B} yamuk bulanık sayısının (a_1, a_2, a_3, a_4) grafiksel gösterimi yer almaktadır.



Şekil 5.4. \tilde{B} Yamuk Bulanık Sayısının Grafiksel Gösterimi [Aplak, 2010]

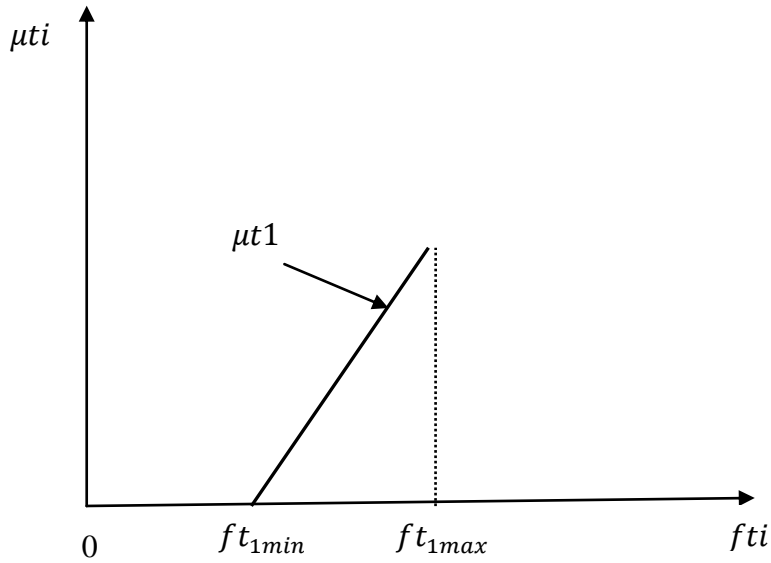
5.4.3 Üyelik Fonksiyonu

Bulanık bir sayı, alabileceği maksimum ve minimum değerler arasında aşağıda tanımlanan üyelik fonksiyonuna göre değerler alır:

ft_{1min} = iyimser tahmin (her şey yolunda giderse)

ft_{1max} = kötümser tahmin (her şey ters giderse)

Şekil 5.5'te $\tilde{t1}$ bulanık sayısına ait üyelik fonksiyonu görülmektedir.



Şekil 5.5. $\tilde{t1}$ Bulanık Sayısına Ait Üyelik Fonksiyonu

\tilde{t}_1 bulanık sayısına ait üyelik fonksiyonu, Eşitlik 5.9'da gösterilmektedir.

$$\mu_{t_1}(ft_1) = \begin{cases} 0, & ft_1 \leq ft_{1min} \\ \frac{(ft_1 - ft_{1min})}{(ft_{1max} - ft_{1min})}, & ft_{1min} < ft_1 < ft_{1max} \\ 1, & ft_1 \geq ft_{1max} \end{cases} \quad (5.9)$$

Burada ft_{1min} , her şeyin en iyi gitmesi durumunda \tilde{t}_1 bulanık sayısının alabileceği en küçük değeri ft_{1max} ise bütün her şeyin en kötü gitmesi durumunda \tilde{t}_1 bulanık sayısının alabileceği en büyük değeri göstermektedir. Bu durumda \tilde{t}_1 bulanık değişkeni Eşitlik 5.10'a göre dönüştürülür:

$$ft_1 = ft_{1min} + (ft_{1max} - ft_{1min}) * \alpha \quad (5.10)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (5.11)$$

5.4.4 Bulanık Dilsel Değişkenler

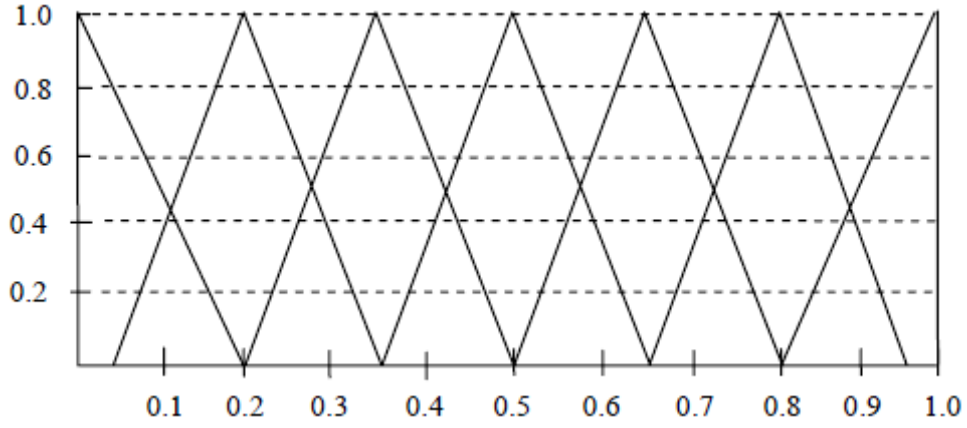
Genel olarak, kesin matematiksel değerlere ait bilgiler gerçek hayata ait bütün durumların modellenmesi için yeterli olmamaktadır. İnsan muhakemelerinin ve yargılarının belirsiz ve muğlak olması gerçek hayata ait durumların kesin sayılarla sunulmasını mümkün kılmamaktadır. Kesin matematiksel değerler yerine, dilsel değişkenlerle yapılan değerlendirmelerin kullanılması daha gerçekçi bir yaklaşım sağlamaktadır. [Aplak, 2010]

Bulanık sistemlerin esas amacı, belirsizlik içeren yargı ve fikirlerin ifade edilmesini teorik bir temele dayandırabilmektir. Bulanık mantık teorisinde, bulanık kümeler tanımsal sözcüklerle ifade edilerek değişime uğradığında dilsel değişkenlerden oluşmaktadır. Bu değişim, bulanık mantık kullanılarak insan muhakemesinin formüle edilmesinde fonksiyonel bir yaklaşım sağlamaktadır. [Zadeh, 1975]

Dilsel değişkenlerin değerleri sayısal olarak belirlenebilir ve bulanık küme teorisi yardımıyla matematiksel işlemler uygulanabilir. Dilsel değişkenlerin üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi süreci sezgisel veya bazı algoritmik ve mantıksal işlemlere dayalı olabilir. Sezgi, karar verici uzmanın zeka ve muhakeme yeteneğine göre üyelik fonksiyonu geliştirme kapasitesini gösterir. Literatürde, derecelendirme, yapay sinir ağları, sonuç çıkarma, tümevarım ve bulanık istatistikler gibi üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde birçok metot bulunmaktadır. [Ross, 2004] Ross(2004), üyelik fonksiyonlarının tam olarak gerçek şekillerinin belirlenmesine nazaran evrensel küme içinde kullanım yeri, bölümlerinin sayısı ve bölümlerin birbirleri üzerine bindirilmesinin bulanık işlemlerdeki uygulamalar için önemli olduğunu savunmaktadır. [Karsak, 2004]

Bulanık küme teorisinde, dilsel değişkenlerin bulanık sayılara dönüştürülmesi için dönüşüm skalaları uygulanmaktadır. Miller (1956), “yedi artı veya eksi iki” değerlendirme skalasının karar vericinin hedeflerine dayalı yapacağı değerlendirmeleri ve yargıları hakkında en fazla miktarda bilginin edinilmesi sağlayacağını belirtmektedir. Hung ve arkadaşları (2009) ise dönüşüm skalasının sayısının genellikle sezgisel olduğunu ifade etmektedir. Dönüşüm skalasının az sayıda olması analitik ayırım yeteneğini azaltmakta, dönüşüm skala sayısının çok olması ise sistemi çok karmaşık ve kullanışsız hale getirmektedir. [Chen ve Hwang, 1992]

Dilsel değişkenlere ait örnek olarak Wang ve Lee'nin (2009) çalışmasından alınan dilsel değişkenlerin grafik ve çizelge olarak gösterimi Şekil 5.6 ve Çizelge 5.1'de verilmektedir. Araştırmacılar, Chen ve Hwang (1992) tarafından kriterlerin değerlendirilmesi için geliştirilen dilsel değişkenleri kullanmışlardır.



Şekil 5.6. Kriterler için Bulanık Dilsel Değişkenler ve Sayıların Grafik Gösterimi

Bu çalışmada, kriterlerin önem derecelerinin ifade edilmesi için dilsel değişkenler ve üçgensel bulanık sayılar kullanılmıştır. Dilsel değişkenler çok düşükten çok yükseğe göre derecelendirilmektedir.

Çizelge 5.1. Kriterler için Bulanık Dilsel Değişkenler ve Bulanık Sayılar

Önem Derecesi	Bulanık Sayı
Çok Yüksek (ÇY)	(0,80 1,00 1,00)
Yüksek (Y)	(0,65 0,80 0,95)
Biraz Yüksek (BY)	(0,50 0,65 0,80)
Orta (O)	(0,35 0,50 0,65)
Biraz Düşük (BD)	(0,20 0,35 0,50)
Düşük (D)	(0,05 0,20 0,35)
Çok Düşük (ÇD)	(0,00 0,00 0,20)

6. GELENEKSEL MONTAJ HATTI Dengeleme Problemi (Tip-2) İÇİN BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI

Montaj hattı dengeleme problemlerine bölgeleme kısıtı, alan kısıtı vb. kısıtlar eklendiği zaman problem, geleneksel montaj hattı dengeleme problemine dönüşür. Bu problem de çevrim süresinin veriliş istasyon sayısının minimizasyonunun (tip-1) ve belirli bir istasyon sayısı için minimum çevrim süresinin elde edilmesinin amaçlandığı (tip-2) problem türü olmak üzere ikiye ayrılır. Geleneksel montaj hattı dengeleme probleminin varsayımlarından en önemlisi sürelerin (görev süreleri ve çevrim süresi) önceden tanımlı olmasıdır. Ancak üretim sistemlerini düşündüğümüz zaman özellikle insan faktörünün yoğun olduğu sistemlerde, görev süreleri için deterministik yaklaşımın çoğunlukla gerçekçi olmadığı görülmektedir. Özellikle montaj işleminde birden çok parçanın birleştirilmesi unsuru, parçaların tolerans değerlerine göre kısa sürede veya çok uzun sürede gerçekleşmektedir. Şöyle ki; farklı atölyelerden alt tolerans, tam veya üst tolerans değerlerine göre işlenmiş parçaların birleştirilmesi işleminin süreleri, uygulamalarda ve zaman etütlerinde göstermiştir ki minimum süre, standart süre veya maksimum süre gibi üçgensel olarak gerçekleşmektedir. Bunun haricinde çoğu operasyonun insan faktöründen kaynaklı (motivasyon ve performans kayıpları, iş arkadaşlarıyla muhabbet vb.) yine hep aynı standart süre çerçevesinde tamamlanamadığı görülmektedir.

Yukarıda bahsedilen unsurlar çerçevesinde, bir montaj hattında bulunan görevlerin hepsi deterministik sürelerle ifade edilemez ve uzun tecrübeler sonucunda bazı operasyonların sistem dışı etkenlerden dolayı asla standartlaştırılmadığı ve genellikle de üçgensel sayılar çerçevesinde gerçekleştiği değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, mevcut ve teknolojik sebeplerden dolayı teçhizatın tamamen değiştirilmesi mümkün olmayan, uzun tecrübeler sonucunda standart süreleri belirlenemeyen ve üçgensel bulanık sayı olarak alınan operasyonlar ile tamamlanma süreleri deterministik olarak belirlenebilen görevlerden oluşan bir montaj hattı için minimum çevrim süresinin amaçlandığı (tip-2) geleneksel montaj hattı dengeleme

problemi bulanık mantık çerçevesinde ele alınarak, karar vericiye en uygun yerleşim alternatifleri sunulacaktır.

6.1 GMHDP Tip-2 Modeli

Montaj hattı dengeleme ile ilgili literatüre bakıldığında zaman 0-1 tam sayılı programlama modeli olarak Bowman (1960), White (1961), Thangavelu ve Shetty (1971) ve Patterson ve Albracht (1975) tarafından geliştirilen modeller mevcuttur. Bunlardan Patterson ve Albracht tarafından geliştirilen metod, kendisinden sonra yapılan çalışmalara da ışık tutmuştur. Eşitlik 6.1 – 6.6’ da bu modelin **tip-1** MHDP için oluşturulmuş deterministik versiyonu yer almaktadır:

$$\text{Min } Z = \sum_{j \in S} j \cdot x_{ij} \quad (6.1)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} = 1 \quad i=1, 2, \dots, n \quad (6.2)$$

$$\sum_{i=1}^n t_i \cdot x_{ik} \leq C \quad j= 1, 2, \dots, k \quad (6.3)$$

$$\sum_{k=1}^K k \cdot x_{jk} - \sum_{k=1}^K k \cdot x_{ik} \geq 0 \quad \forall (i,j) \in P \quad (6.4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad i=1, \dots, n \text{ ve } j=1, \dots, k \quad (6.5)$$

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & i \text{ görevi } k \text{ istasyonuna atanmış ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad \text{tüm } i=1, 2, \dots, n \text{ ve } j \in W \quad (6.6)$$

Yukarıdaki modelde n görev sayısını, K istasyon sayısını, S görevler kümesini, P öncelik ilişkileri kümesini ve W istasyonlar kümesini göstermek üzere; Eşitlik 6.1 istasyon sayısını minimum yapacak amaç fonksiyonunu göstermektedir. Eşitlik 6.2’de her bir görevin sadece bir istasyona atanabileceğini gösteren atama kısıtları yer almaktadır. Eşitlik 6.3, bir istasyona atanan görevlerin toplam sürelerinin çevrim süresinden küçük veya eşit olduğunu göstermektedir. Eşitlik 6.4 ise görevlerin

öncelik diyagramındaki ilişkilere göre yani bir görevin öncülü olan görev atanmadan atanmasını engelleyecek olan öncelik kısıtını göstermektedir.

Patterson ve Albracht (1975) yukarıda yer alan modelde küçük değişiklikler yaparak **tip-2** MHDP problemlerine de uygulamışlardır. Burada amaç fonksiyonunun minimum durumu için çevrim süresi yazılıp, Eşitlik 6.3'teki sağ taraf kısmı da yine çevrim süresi olarak yazılır ve modele bu şekilde girilir. Yeni amaç fonksiyonu Eşitlik 6.7'de görülmektedir:

$$\text{Min } Z = \text{Çevrim_Süresi} \quad (6.7)$$

Bunlara ilave olarak, iki görevin mutlaka aynı istasyonda veya farklı istasyonlarda yapılması gerekiyorsa bölgeleme kısıtları modele ilave edilebilir. Aynı istasyonda yapılması gereken iki görev için pozitif bölgeleme kısıtı Eşitlik (6.8)'da ve farklı istasyonlarda yapılması gereken iki görev için negatif bölgeleme kısıtı Eşitlik (6.9)'da gösterilmektedir:

$$\sum_{k=1}^K k \times x_{jk} - \sum_{k=1}^K k \times x_{ik} = 0 \quad (6.8)$$

$$\sum_{k=1}^K k \times x_{jk} - \sum_{k=1}^K k \times x_{ik} \geq 1 \quad (6.9)$$

6.2 Operasyon Zamanları Bulanık GMHDP Tip-2 Modeli

Gerçek bir montaj hattında bütün parametrelerin kesin olarak bilinmesi pek de mümkün olmamaktadır. Birçok etkenden dolayı montaj hattı ile ilgili değişkenler özellikle de görev süreleri değişkenlik gösterebilmektedir. Böyle durumlarda bulanık mantık yaklaşımı, görev süreleri veya diğer parametreler için oldukça uygun ve gerçeğe yakın sonuçlar verebilmektedir. Burada dengelemesi yapılacak olan montaj hattında yer alan görevlere ait sürelerin bir kısmının bulanık olduğu, diğer kısmının ise deterministik olduğu, problemdeki diğer parametrelerin de önceden bilinen değerler olduğu varsayımı ile önceki bölümde belirtilen GMHDP tip-2 modeli

yeniden düzenlenmiştir. Burada en önemli farklılık, çevrim süresi kısıtında görev sürelerini belirten t_i değişkeninin bulanık olup \tilde{t}_i şeklinde ifade edilmesidir. Söz konusu model aşağıda yer almaktadır:

$$\text{Min } Z = \text{Çevrim_Süresi} \quad (6.10)$$

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} = 1 \quad i=1, 2, \dots, n \quad (6.11)$$

$$\sum_{i=1}^n \tilde{t}_i \cdot x_{ik} \leq \text{Çevrim_Süresi} \quad j=1, 2, \dots, k \quad (6.12)$$

$$\sum_{k=1}^K k \cdot x_{jk} - \sum_{k=1}^K k \cdot x_{ik} \geq 0 \quad \forall (i,j) \in P \quad (6.13)$$

$$\forall (x_{i,j}) = 0, 1 \quad (6.14)$$

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & i \text{ görevi } k \text{ istasyonuna atanmış ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad \text{tüm } i=1, 2, \dots, n \text{ ve } j \in W \quad (6.15)$$

Yukarıdaki modelde yer alan \tilde{t}_i , hep aynı sürede tamamlanamayan i görevine ait bulanık operasyon zamanını göstermektedir. Literatüre bakıldığı zaman, bulanık görev sürelerini göstermek amacıyla üyelik fonksiyonu kullanılabilir ya da değerler kesikli olarak verilebilir. Bu çalışmada bahsedilen montaj hattı için bulanık görev sürelerinin, 3 yılı aşkın bir süre boyunca detaylı incelemeler ve zaman etütleri sonucunda üçgensel bulanık sayı olarak ifade edilmesinin en uygun olacağı değerlendirilmiştir. Derecelendirilmiş ortalama birleşim sunum metoduna (DOBS) göre Eşitlik 5.6'da yer alan formüldeki gibi üçgensel bulanık sayılar dönüştürülmüş, ayrıca karar vericiye yol göstermesi açısından bulanık sayıların üyelik fonksiyonlarını bulmak için kullanılan Eşitlik 5.10'da yer alan dönüşüme göre atama alternatiflerinde yer alan her istasyon için ayrı ayrı " α " değerleri ve " α_{ort} " değerleri hesaplanmıştır.

6.3 Bulanık GMHDP Tip-2 Modeli İçin Geliştirilen Algoritma

Mevcut bir montaj hattında, operasyonlar ve görev süreleri daha önce tanımlanmıştır. Ancak üretim sistemleri dinamik sistemler olduğundan, sürekli değişen müşteri istek ve ihtiyaçlarına oldukça hızlı ve esnek bir şekilde cevap verebilecek şekilde tasarlanmalıdır. Bu nedenle geçmişte tanımlanan görevler, görev süreleri, her istasyona atanmış görevler ve çevrim süresi, montaj hattının ilk tasarlandığı haliyle devam edemez. Bu nedenle mevcut bir montaj hattının da bir anlamda yeniden tasarlanması gerekebilir.

Halihazırda bir montaj hattı varken, görevlerin istasyonlara dağılımının değiştirilerek çevrim süresinin minimize edilmesi amaçlanabilir. Aynı şekilde buna ilaveten, uzun tecrübeler sonucunda görev sürelerinin deterministik olarak belirlendiği bazı operasyonların, uygulamada sürekli aynı zamanda tamamlanamadığı ve bulanık olarak ifade edilmesinin daha doğru olacağı, üretim hattının mühendisi veya ilgili uzman tarafından değerlendirilebilir. Bu gibi durumlar için öncelikle izlenmesi gereken yol aşağıda özetlenmektedir:

- a) Bütün operasyonlar yeniden tanımlanır.
- b) Teknolojik öncelik diyagramı çizilir.
- c) Zaman etütleri yapılarak her operasyonun standart zamanları belirlenmeye çalışılır.
- d) Daha önceki tecrübelere dayanarak sürekli farklı sürelerde tamamlanan görevler var ise bunlar ayrı değerlendirilir. Eğer bu görevler genel olarak minimum ve maksimum şeklinde iki ayrı sürede bitiyor ise süreleri t_{\min} ve t_{\max} şeklinde tanımlanır. Fakat görevler genel olarak belirli bir değerde tamamlanmakla beraber, montajda kullanılan parçaların tolerans durumuna göre normalden çok kısa veya uzun sürelerde de tamamlanabilir ki gerçek hayat problemlerinde daha sık karşılaşılan durum da budur. Bu durumda görev süreleri t_{\min} , $t_{\text{enmuhtemel}}$ ve t_{\max} şeklinde tanımlanmalıdır. Bu şekildeki gösterim, görev sürelerinin üçgensel bulanık sayılar ile gösterimidir.
- e) Görev süreleri bulanık olan operasyonlar için üyelik fonksiyonları ve bu üyelik fonksiyonlarına ait α kesmeleri belirlenir.

f) İstasyon sayısı belirlenir ve çevrim süresinin minimizasyonunu amaçlayan bir model yazılarak, uygun bir optimizasyon programı vasıtasıyla çözülmeye çalışılır.

Yukarıdaki süreç, ilgili uzman veya montaj hattında görevli uzman tarafından tamamlandıktan sonra en iyi alternatifi verecek algoritma tanımlanmalıdır. Bu tezde, bulanık operasyon zamanlı GMHDP tip-2 problemi için geliştirilen çözüm algoritması aşağıda yer almaktadır:

Algoritma:

Adım 1: Görevlerin tamamlanma sürelerini deterministik ve üçgensel bulanık sayı olarak belirle.

Adım 2: Görev sürelerini, deterministik olanlar için deterministik değerleri, bulanık olanlar için de minimum, en muhtemel ve maksimum şeklinde üçe ayır ve toplamda üç ayrı görev seti belirle.

Adım 3: Daha sonra bulanık sayıları Eşitlik 5.6'da yer alan derecelendirilmiş ortalama birleşim sunum metoduna (DOBS) göre dönüştür. Deterministik olanları da aynen yaz ve dördüncü bir görev seti oluştur.

Adım 4: Çevrim süresini minimum yapacak şekilde operasyon zamanları bulanık tip-2 GMHDP modelini kur.

Adım 5: Teknolojik gereksinimlerden dolayı sadece belirli bir istasyonda yapılması gereken görevleri, modelde ilgili istasyonlara sabitleyecek kısıtları gir.

Adım 6: Modele, yönetici tarafından belirlenen veya olması istenen maksimum istasyon sayısını gir.

Adım 7: İlk önce bulanık sayıların minimum durumu için (görev seti 1) görev sürelerini modele gir ve programı çalıştır. Optimal sonuçlara göre her istasyona atanan görevleri belirle. Her istasyon için ayrı ayrı bulanık sayıların Eşitlik 5.10'da

yer alan formülasyona göre üyelik fonksiyonlarını belirle ve bulunan minimum çevrim süresi değerine göre α değerleri ile hattın etkinliğini hesapla.

Adım 8: Daha sonra bulanık sayıların en muhtemel durumu için (görev seti 2) görev sürelerini modele gir ve programı çalıştır. Optimal sonuçlara göre her istasyona atanan görevleri belirle. Her istasyon için ayrı ayrı bulanık sayıların Eşitlik 5.10'da yer alan formülasyona göre üyelik fonksiyonlarını belirle ve bulunan minimum çevrim süresi değerine göre α değerleri ile hattın etkinliğini hesapla.

Adım 9: Bulanık sayıların maksimum durumu için (görev seti 3) görev sürelerini modele gir ve programı çalıştır. Optimal sonuçlara göre her istasyona atanan görevleri belirle. Her istasyon için ayrı ayrı bulanık sayıların Eşitlik 5.10'da yer alan formülasyona göre üyelik fonksiyonlarını belirle ve bulunan minimum çevrim süresi değerine göre α değerleri ile hattın etkinliğini hesapla.

Adım 10: Üç durumda da aynı istasyonlara atanan görevleri belirle.

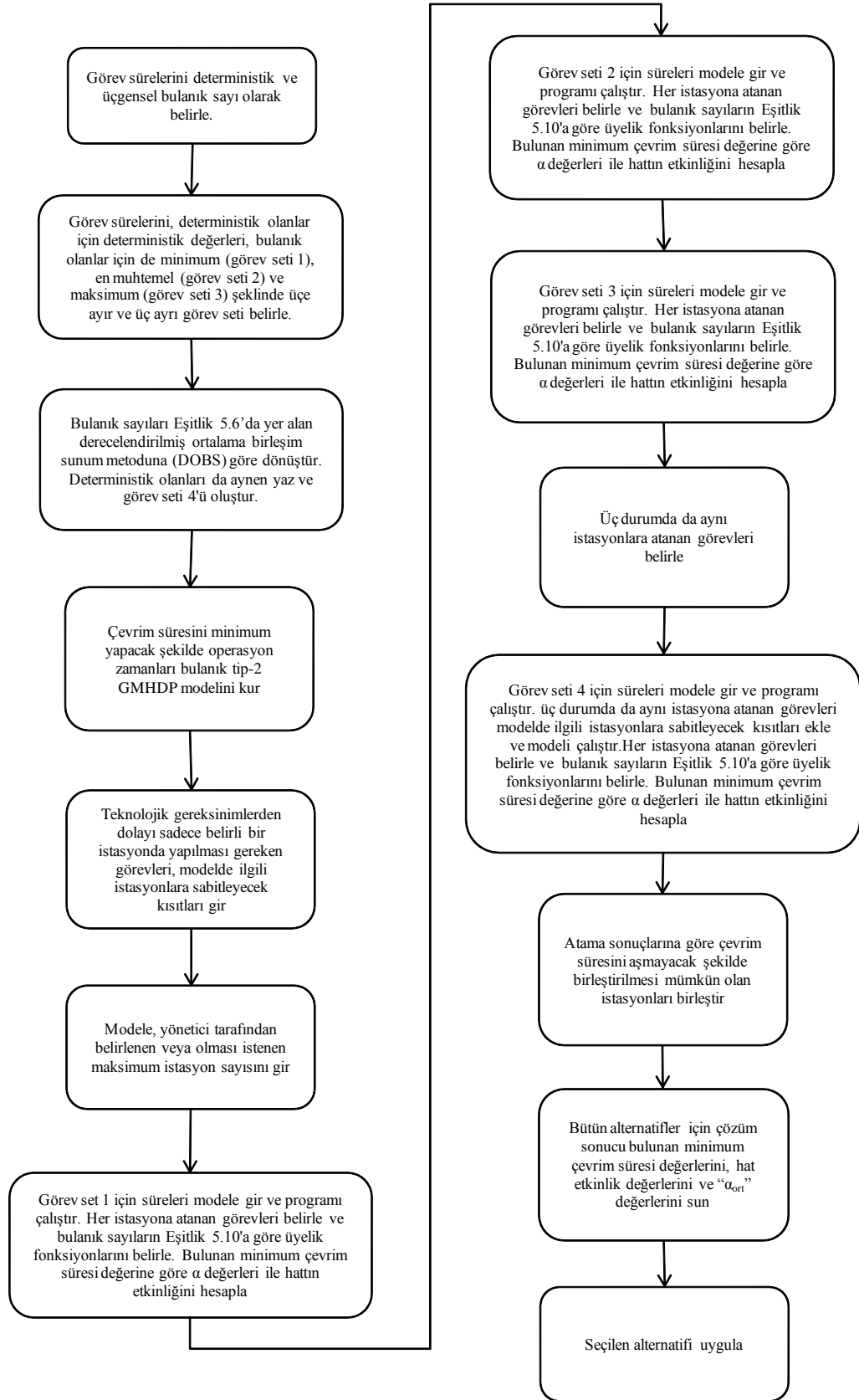
Adım 11: Bulanık sayıların dönüştürülmüş durumu için görev sürelerini belirle (görev seti 4) ve modele gir. Bir önceki adımda üç durumda da aynı istasyona atanan görevleri modelde ilgili istasyonlara sabitleyecek kısıtları ekle ve modeli çalıştır. Optimal sonuçlara göre her istasyona atanan görevleri belirle. Her istasyon için ayrı ayrı bulanık sayıların Eşitlik 5.10'da yer alan formülasyona göre üyelik fonksiyonlarını belirle ve bulunan minimum çevrim süresi değerine göre α değerleri ile hattın etkinliğini hesapla.

Adım 12: Atama sonuçlarına göre çevrim süresini aşmayacak şekilde birleştirilmesi mümkün olan istasyonları birleştir.

Adım 13: Yöneticiye uygun karar vermesini sağlayacak şekilde bütün alternatifler için çözüm sonucu bulunan minimum çevrim süresi değerlerini, hat etkinlik değerlerini ve " α_{ort} " değerlerini sun.

Adım 14: Seçilen alternatifi uygula.

Şekil 6.1'de yukarıda ayrıntılı bir şekilde ifade edilen algoritmanın akış şeması şeklinde gösterimi yer almaktadır:



Şekil 6.1. Geliştirilen Algoritmanın Akış Şeması Şeklinde Gösterimi

Yukarıda adımları özetlenen algoritmanın literatüre eklediği yenilik, bulanık sayıların bütün durumları için (iyimser, en muhtemel ve kötümser) ayrı ayrı sonuçların bulunup, üç durumda da aynı istasyona atanan görevlerin sabitlenip, bulanık sayıların dönüşümü yapılarak programın görev seti 4 için yeniden çalıştırıldığı durumda, çözüm süresinin oldukça kısaltılması ve görevlerin tamamlanma süreleriyle ilgili olarak muhtemel bütün atama alternatiflerinin çıkartılarak, hepsi ile ilgili çözüm sonucu bulunan minimum çevrim süresi, hat etkinlik değeri ve “ α_{ort} ” değeri gibi karar verme sürecinde kritik önem taşıyan değişkenlerin toplu halde sunulmasıdır. Algoritmada yer alan modelin çözümünde LINGO optimizasyon programı kullanılmıştır. LINGO’da bu modelin çözümünde Branch & Bound (dal-sınır) Algoritması kullanılmakta ve optimal çözüm alınmaktadır.

Literatürde bulanık montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için genellikle kullanılan yöntem; bulanık sayıları Eşitlik 5.6’da yer alan derecelendirilmiş ortalama birleşim sunum metodu (DOBS)’na göre dönüştürüp, sadece tek bir sonuç bulmaktır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı ise bulanık montaj hattı dengeleme problemlerinin şüphesiz en önemli parametresi olan α değerlerinin göz ardı edilmesidir. Oysaki bir istasyonun α değeri, o istasyona atanan bulanık işlem zamanlı operasyonların, olası bir gecikme durumunda çevrim süresi içerisinde tamamlanıp tamamlanamayacağını gösteren en önemli parametredir. İlgili istasyonun α değeri büyüdükçe; bulanık işlem zamanlı operasyonların, hatta meydana gelebilecek herhangi bir problem durumunda çevrim süresi içerisinde rahatça tamamlanabileceğini, aksi durumda tamamlanamayacağını gösterir.

Bu çalışmada geliştirilen algoritmada ise, yöneticiye bulanık sayıların bütün muhtemel durumları ve DOBS’a göre dönüştürülmüş durumu için, minimum çevrim süresi, hat etkinlik değeri ve “ α_{ort} ” birlikte sunularak, yöneticiye o hattın özel durumlarına göre en iyi alternatifin seçilebilme şansı tanınmaktadır.

7. UYGULAMA

Makine ve Kimya Endüstri Kurumu (MKEK) Kırıkkale Mühimmat Fabrikası, Askeri Fabrikalar Umum Müdürlüğüne bağlı bir fabrika olarak 1929 yılında faaliyetine başlamış ve 1993 tarihine kadar bu statüde faaliyetlerine devam etmiştir. MÜHİMMATSAN (Mühimmat Sanayi ve Ticaret A.Ş.) unvanı altında 1 Mayıs 1993 tarihinden 31 Mart 2003 tarihine kadar bağlı ortaklık statüsünde devam etmiştir. Daha sonra MKEK'nin yeniden yapılandırılması çerçevesinde, Yüksek Planlama Kurulu'nun 6 Şubat 2003 tarihli kararı gereği, bağlı ortaklık statüsü ve tüzel kişiliği 31 Mart 2003 günü feshedilerek, 1 Nisan 2003 tarihinden itibaren fabrika statüsünde faaliyetlerini sürdürmeye başlamıştır. Fabrikanın ana amacı; milli savunmanın ihtiyacı olan her çeşit ağır silah mühimmatını NATO standartları çerçevesinde üretmektir.

8.526.107 m² açık alanda 1.555.712 m² fabrika yerleşimi olan Mühimmat Fabrikası Müdürlüğü'nün 120'si mühendis olmak üzere toplamda 180 teknik, 83 idari, 721 işçi, 128 güvenlik ve 17 itfaiye personeli olmak üzere toplamda 1129 çalışanı bulunmaktadır. Mermi Üretim, Tapa Üretim ve İmla Dolu olmak üzere 3 ana tesisten oluşan fabrikada, toplamda 21 adet atölye bulunmaktadır.

Bu tez çalışması, Tapa Üretim Müdürlüğü'ne bağlı Tapa Montaj (Terkip) Atölyesi'nde yapılmıştır. Bu atölyede 60 mm ve 81 mm komando mühimmatlarında kullanılan AZ DM 111 A2 Tapası'nın montaj hattı bulunmaktadır. Hat oldukça eski olup, kurulduğu günden bu yana hiçbir verimlilik çalışması yapılmamıştır. İlerleyen zamanla birlikte, artık montaj hattı esnekliğini kaybetmiş, görev sürelerinin yeniden belirlenmesi ve görevlerin istasyonlara en küçük çevrim zamanını sağlayacak şekilde atanması zorunlu hale gelmiştir.

Montaj atölyesinin mevcut halinde bir tanesi boyama istasyonu olmak üzere toplamda 12 adet istasyon bulunmaktadır. Teknolojik gereksinimler ve bazı istasyonlardaki ekipmanın taşınması mümkün olmadığından istasyon sayısının aynı şekilde kalması, ancak mümkün olan en kısa sürede montajın tamamlanması

istenildiğinden, bu durum çalışmayı literatürde tip-2 GMHDP yani belirli bir istasyon sayısı için minimum çevrim süresinin hesaplandığı montaj hattı dengeleme problemine götürmektedir.

Mevcut durumda net bir çevrim süresi bulunmamakla birlikte, molalar hariç günde 6,5 saat civarında çalışılan atölyede her gün yaklaşık 280 adet tapanın nihai ürün haline geldiğini düşündüğümüzde yaklaşık 84 - 85 saniyede bir tapanın üretildiği anlaşılmaktadır. Hatla ilgili dengeleme çalışması yapılmadığından bazı istasyonlarda darboğazlar oluşmakta bazılarındaysa çok fazla boş zaman kalmaktadır. Özellikle siparişlerin teslim tarihlerini belirleme aşamasında, net bir üretim hızı olmadığından büyük sıkıntılar çıkmakta ve sözleşmeler gereği geciken her gün için ceza bedelleri ödenmektedir.

Yapılan gözlemler sonucunda montaj atölyesine diğer atölyelerden ve piyasadan gelen parçaların hep aynı ölçüde olmaması, özellikle işleme toleransı yüksek parçaların alt veya üst toleransa yakın olarak işlenmesine bağlı olarak, bazı operasyonlar sürekli standart bir sürede tamamlanamamakta, süreler parçaların durumuna göre bazen normalden çok düşük bazen de çok yüksek sürelerde tamamlanabilmektedir. Literatürde bu duruma bakıldığında, bulanık mantık kavramının ilgili görev süreleri için uygun olduğu ve sürelerin üçgensel bulanık sayılar olarak ifade edilmesinin, gerçekteki durumu daha realist bir şekilde yansıtılabileceği değerlendirilmiştir.

Bulanık montaj hattı dengeleme çalışmalarında süreler uzman tarafından belirlenir. Bu hatta 3 yılı aşkın bir süre gözlem ve çalışmalar yapıldığından, mevcut hatla ilgili önemli sayıda veri bulunmaktadır. Gözlemler ve yapılan zaman etütleri sonucunda, tamamlanma süreleri hep aynı olan operasyonlar için zaman etütleri sonucunda bulunan standart süreler deterministik olarak kabul edilmiş ancak tamamlanma süreleri oldukça değişken olan görevler için ise görev süreleri, geçmiş tecrübeler ışığında üçgensel bulanık sayılarla ifade edilmiştir.

7.1 Mevcut Montaj Hattıyla İlgili Veriler

Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için yapılması gereken ilk şey, şüphesiz ki nihai ürünün meydana gelebilmesi için gerekli olan bütün operasyonların net bir şekilde tanımlanmasıdır. Daha sonra bu görevlerle ilgili teknolojik öncelik diyagramının doğru bir şekilde çizilmesi gerekmektedir çünkü sonraki bütün adımlar bu öncelik diyagramına göre şekillenecektir. Daha sonra farklı zamanlarda yapılan zaman etütleri ve gözlemler çerçevesinde görevlerin deterministik veya üçgensel bulanık olan süreleri belirlenir. Mevcut montaj hattında tapa üretimi için gerekli olan toplamda 50 adet operasyon tanımlanmıştır ve Çizelge 7.1’de bu görev tanımları ve her bir görevin öncülleri yer almaktadır:

Çizelge 7.1. Tapa Üretimi İçin Gerekli Görevler ve Görev Tanımları

Görev No	Öncül Öğeler	Görev Tanımı
1	-	alt gövdeyi plakaya yerleştir
2	-	mihver milini, yuvasına tak ve presle
3	-	masterla kontrol et
4	1,2,3	alt gövdeyi kalıba yerleştir
5	4	çark milini, yuvasına tak ve presle
6	5	masterla kontrol et
7	6	alt gövdeyi al, ters çevir, mihver milinin altına somunu tak
8	7	bir damla kırmızı lak sür, ters çevir ve bırak
9	-	tavik tanzim anahtarına contayı tak ve yağla
10	8, 9	alt gövde kısmi kompleksini aparata yerleştir, tavik tan. anahtarını tak
11	10	tutma milini yuvasına yerleştir, aparatla çalıştığını kontrol et
12	-	sustalı ve sustasız millerine yaylarını tak
13	11	emniyet yayını, alt gövdeye tak
14	12, 13	sustalı ve sustasız emniyet millerini tak, çalıştığını kontrol et
15	-	kapsül hamiline tahdit pimi çak
16	15	dm1019 ve dm1020 kapsüllerini yerleştir ve destek halkalarını tak
17	16	kapsülleri aparatla yuvalarına presle
18	14	büyük ve küçük pulu mihver miline tak
19	18	kurma yayını alt gövdedeki yuvasına bırak
20	17, 19	kapsül hamili kompleksini yerleştir

Çizelge 7.1. (devam)

21	20	şapkalı somunu vidala
22	21	çark kompleksini tak
23	22	sustalı em. milini kanalına yerleştir
24	23	bilyeyi yuvasına yerleştir
25	24	emniyet köprüsünü tak ve vidala
26	25	pandülü ve tespit köprüsünü oturtur, çalıştır, kilitliyorsa çark ve/veya pandülü değiştir ve tespit köprüsünü vidala
27	26	1. zaman testinde kurulma zamanını kontrol et
28	27	testten çıkan alt gövde komplelerini tekrar kur
29	28	2. zaman testinde kurulma zamanını kontrol et
30	29	testten çıkan alt gövde komplelerini tekrar kur
31	30	göz kontrol
32	-	nakil emniyet teli contasını (2 adet) tak
33	-	detanator kovanı içine, tetril kompleksini yerleştir
34	-	üst gövde yayını, iğneye geçir
35	34	üst gövdeyi tezgaha yerleştir, iğneyi sabitle, pul at ve sıvama yap
36	35	mastarla kontrol et
37	31, 36	alt gövde kompleksi ile üst gövde kompleksini, lak sürerek birleştir
38	37	sıkma aparatı ile sıkma işlemini gerçekleştir
39	38	üst gövdenin hassasiyet puluna kırmızı lak sür
40	39	sıvama aparatı ile sıvama işlemini gerçekleştir
41	40	tapa kısmı komplelerini alkollü bez ile sil
42	41	markalama tezgahında soğuk markalama yap
43	42	yazı ve ayak vidası kontrolü (vida mastar ile) yap ve sandıkla
44	32, 43	tapa kısmi komplelerine astar boya atılması
45	44	gri enamel boya ile boyanması
46	45	nakil emniyet teli takılması
47	46	yemleme tetri ve detanator contası tak
48	33	buster komplelerine macun sür
49	47, 48	mengede tapa kısmi kompleksine, buster kompleksini vidala
50	49	mastarla kontrol et

NOT: Fabrika savunma sanayiinde faaliyet göstermekte olduğundan, görev adları stratejik önem taşımaktadır. Bu nedenle bazı görevlerin adları küçük değişiklikler yapılarak verilmiştir.

Yukarıdaki çizelgede tapa üretimi için gerekli olan bütün operasyonlar ve tanımları, öncül öğeler ile birlikte tanımlanmıştır. Tapa üretiminin gerçekleştiği montaj hattının kendine özgü çeşitli kısıtları mevcuttur. Bu kısıtlar aşağıda yer almaktadır:

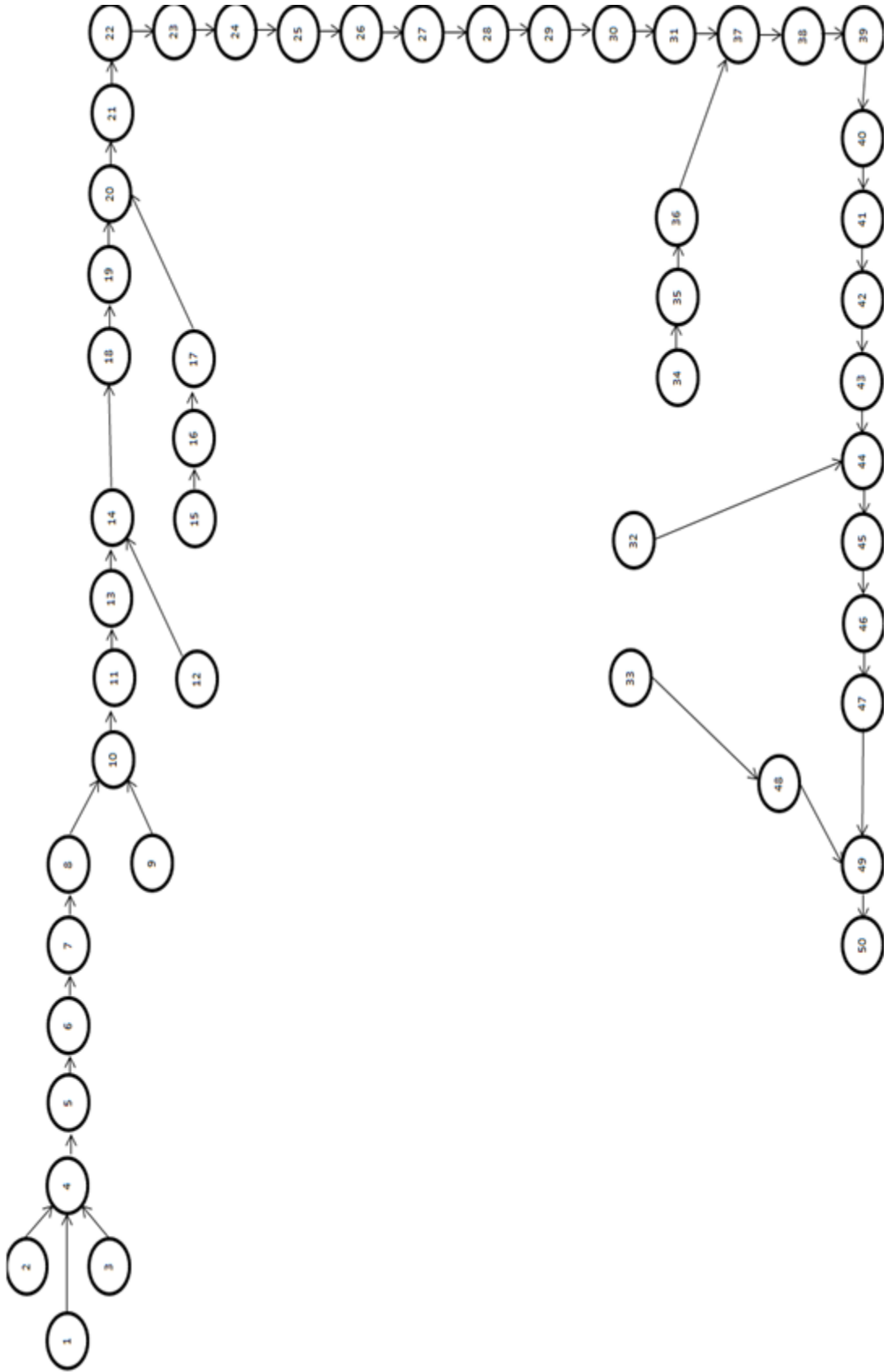
Kısıtlar: Tapaların içerisinde çeşitli ve oldukça kuvvetli patlayıcılar bulunduğundan, özellikle bu patlayıcıların montaj işlemi hep aynı sürede tamamlanamamaktadır. Patlayıcı maddelerin ilgili kısımları montaj işlemi sırasında çok dikkatli ve hassas olunması gerektiğinden dolayı zaman zaman montaj işlemi çok uzun zaman alabilmekte ya da operatör tarafından parçanın yerine çok hızlı bir şekilde oturtulması sonucunda çok kısa sürebilmektedir.

Bunun dışında çoğu montaj hatlarının en büyük sorunu olan çeşitli yerlerden gelen parçaların birbirine takılması işlemi, tapa montajında çok daha ciddi bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Çok fazla sayıda ve oldukça küçük parçadan oluşan tapaların parçalarının bir kısmı yine aynı fabrika içerisindeki farklı atölyelerden, bir kısmı ise piyasadaki çeşitli firmalardan gelmektedir. İşleme sırasında dar toleranslı parçaların montajı genellikle daha kolay olmakta çünkü artı veya eksi yönde çok sapma olmamaktadır. Ancak işleme tolerans aralığı çok geniş olan parçalarda, bir parçanın üst toleransa diğer parçanın ise alt toleransa yakın olması durumunda montaj işlemi ya hiç gerçekleşmemekte ya da oldukça uzun zaman alabilmektedir. Tam tersi durumda ise normalden kısa sürede de tamamlanabilmektedir. Bu da görev sürelerinin en muhtemel, minimum ve maksimum gibi değerler çevresinde yoğunlaştığını ve görev sürelerini bulanık sayılarla ifade etmenin daha doğru olacağını bizlere göstermektedir.

Tapaların sızdırmazlık sağlaması için önce astar boya daha sonra ise enamel boya ile boyanması gerekmekte olup, boyama işlemleri sadece bu iş için özel olarak hazırlanmış bir istasyonda (boyama bölümü) gerçekleştirilmektedir. Boyama istasyonu mevcut yerleşimde 10 uncu sırada yer aldığından boyama görevleri, kurulan modelde bu istasyona sabitlenmiştir ki, optimal çözümde bu görevler farklı istasyonlara atanamamış olsunlar.

Yukarıda sayılan kısıtların haricinde bazı makinelerin yerinin değişmesi teknolojik anlamda çok mümkün görünmemekle birlikte, eskiyen makinelerin de özellikle tapa alt ve üst gövdelerinin sıvanması ve markalanması operasyonlarında aksamalar yaşanması söz konusudur.

Bundan sonraki adım yukarıda tanımlanan öncül görevler çerçevesinde teknolojik öncelik diyagramının çizilmesidir. Sonraki sayfada yer alan Şekil 7.1’de teknolojik öncelik diyagramı yer almaktadır:



Şekil 7.1. Teknolojik Öncelik Diyagramı

Teknolojik öncelik diyagramında da görüldüğü gibi, tapa üretiminin gerçekleşmesi için toplam 50 adet görev tanımlanmıştır. İlk 3 görevin kendi aralarında önceliği bulunmadığından rassal bir sıraya göre yapılabilir. Ancak 4 numaralı görevin yapılabilmesi için, ilk 3 görevin mutlaka yapılmış olması gerekmektedir. Bu kurallar çerçevesinde oluşturulan öncelik diyagramında görülen görevlerden 44 ve 45 numaralı olanlar ise astar ve enamel boyama operasyonları olup mutlaka onuncu sırada yer alan boyama istasyonunda yapılması gerekmektedir.

Görevlerle ilgili işlem sürelerinin belirlenmesi için, tamamlanma süreleri değişkenlik göstermeyenler için deterministik, duruma göre değişebilen görevler için ise üçgensel bulanık sayı olarak en muhtemel (most probable), minimum (iyimser/optimistic) ve maksimum (kötümser/pessimistic) şeklinde ifade edilmesi uygun görülmüştür. Sonda yer alan dönüşüme göre süreler ise derecelendirilmiş ortalama birleşim sunum metoduna (DOBS) göre üçgensel bulanık sayıların dönüştürülmüş halidir. Çizelge 7.2’de görev süreleri yer almaktadır:

Çizelge 7.2. Görev Süreleri (sn)

en muhtemel = most probable		minimum=optimistic		maksimum=pessimistic		dönüşüme göre	
görev no	süresi (sn)	görev no	süresi (sn)	görev no	süresi (sn)	görev no	süresi (sn)
1	5	1	5	1	5	1	5
2	6	2	6	2	6	2	6
3	4	3	4	3	4	3	4
4	5	4	5	4	5	4	5
5	6	5	6	5	6	5	6
6	4	6	4	6	4	6	4
7	8	7	8	7	8	7	8
8	5	8	5	8	5	8	5
9	6	9	6	9	6	9	6
10	9	10	9	10	9	10	9
11	9	11	8	11	12	11	9,33
12	6	12	6	12	6	12	6
13	5	13	5	13	5	13	5
14	20	14	18	14	25	14	20,50
15	24	15	20	15	30	15	24,33

Çizelge 7.2. (devam)

16	16
17	23
18	10
19	8
20	7
21	13
22	5
23	10
24	10
25	14
26	40
27	13
28	9
29	12
30	16
31	24
32	10
33	9
34	10
35	34
36	11
37	9
38	9
39	9
40	9
41	3
42	9
43	16
44	20
45	22
46	8
47	8
48	5
49	9
50	6
Toplam	568

16	13
17	21
18	10
19	8
20	7
21	12
22	5
23	10
24	10
25	12
26	30
27	13
28	9
29	12
30	15
31	18
32	10
33	9
34	10
35	29
36	7
37	9
38	9
39	9
40	9
41	3
42	9
43	14
44	20
45	22
46	7
47	8
48	5
49	8
50	6
Toplam	523

16	17
17	28
18	10
19	8
20	7
21	16
22	5
23	10
24	10
25	18
26	48
27	13
28	9
29	12
30	21
31	29
32	10
33	9
34	10
35	44
36	13
37	9
38	9
39	9
40	9
41	3
42	9
43	21
44	20
45	22
46	12
47	8
48	5
49	12
50	6
Toplam	637

16	15,67
17	23,50
18	10
19	8
20	7
21	13,33
22	5
23	10
24	10
25	14,33
26	39,67
27	13
28	9
29	12
30	16,67
31	23,83
32	10
33	9
34	10
35	34,83
36	10,67
37	9
38	9
39	9
40	9
41	3
42	9
43	16,50
44	20
45	22
46	8,50
47	8
48	5
49	9,33
50	6
Toplam	572,0

Yukarıda yer alan çizelgede, işlem süreleri bulanık olan görevler dolgulu hücrelerle gösterilmiştir. Buna göre 50 görevden oluşan tapa üretim hattında toplamda 15 görevin işlem sürelerinin bulanık olduğu görülmektedir. İşlem kolaylığı açısından süreler uygun olan alt veya üst değerlere yuvarlanmıştır.

Bu verilere ilaveten mevcut montaj hattında 12 adet istasyon bulunmaktadır ve yönetim tarafından, istasyon sayısının aynı kalması, çevrim süresinin minimize eden görev dağılımının gerçekleştirilmesi istenmektedir. LINGO çözümleri sonucunda, teknolojik kısıtlardan dolayı oluşan görev dağılımına göre, birleştirilmesinde sıkıntı olmayan (iki istasyon birleştiğinde toplam süreler çevrim süresinden küçük olacak ve atamalar teknolojik öncelik diyagramına göre şekillenecek) istasyonlar birleştirilebilir. Eğer birleşecek istasyonlar var ise etkinlik ve α değerleri ile ilgili hesaplamalar, istasyonların birleşmiş durumlarına göre yapılır. Burada bahsedilen hat etkinlik değeri Eşitlik 7.1'deki gibi hesaplanır:

$$\text{Hat Etkinliği} = \frac{\sum_{i=1}^n ti}{K \times C} \quad (7.1)$$

K: İstasyon Sayısı

C: Çevrim Süresi

Olmak üzere yukarıdaki formülde görevlerin toplam sürelerinin istasyon sayısı ile çevrim süresinin çarpımına bölümünden hat etkinlik değeri hesaplanmaktadır. Hat etkinlik değeri maksimum 1 değerini alabilir ve bu durumda ideal bir dengelemeden bahsedilebilir. MHD problemlerinde amaç hat etkinliğinin mümkün oldukça 1'e yaklaşmasıdır. α değerleri ise Eşitlik 5.10'da yer alan formüle göre üyelik fonksiyonları bulunduktan sonra her istasyon için o istasyondaki toplam süreler ve α değerleri toplamının, bulunan çevrim süresine eşitleme yapılarak hesaplanır.

α değerleri 0 ile 1 arasında değer alır. 1'den büyük çıkan değerler, α 1'den büyük olamayacağı dan "1" olarak kabul edilir. Burada önemli olan, ilgili istasyon için α değerinin mümkün olduğunca 1'e yakın olması istenir. Bunun anlamı bulanık görev

süreleri operasyonların mevcut çevrim süresinde, atandıkları istasyonda rahatça yapılabilecek olmasıdır. Aksi durumda yani α değerleri 0'a yakın olursa, bulanık görev süreli operasyonların, iyimser sürelerine göre değer aldıkları ve herhangi bir gecikme yaratacak sorun olduğunda, bulanık görevlerin atandıkları istasyonda mevcut çevrim süresi boyunca tamamlanamayacağı anlaşılmaktadır.

7.2 Tapa Üretim Hattının Dengelenmesi

Önceki bölümde, bulanık tip-2 montaj hattı dengeleme çalışması yapmak için gerekli olan veriler sunulmuştur. Bu bölümde ise, problemin çözümü için geliştirilen algoritmanın adım adım uygulaması ve bölüm sonunda her bir durum için elde edilen minimum çevrim süreleri, etkinlik ve α değerleriyle ilgili hesaplamalar yer alacaktır.

Algoritmanın Uygulaması:

Adım 1: Görevlerin tamamlanma sürelerini deterministik ve üçgensel bulanık sayı olarak belirle.

Adım 2: Görev sürelerini, deterministik olanlar için deterministik değerleri, bulanık olanlar için de minimum, en muhtemel ve maksimum şeklinde üçe ayır ve toplamda üç ayrı görev seti belirle.

Adım 3: Daha sonra bulanık sayıları Eşitlik 5.6'da yer alan derecelendirilmiş ortalama birleşim sunum metoduna (DOBS) göre dönüştür. Deterministik olanları da aynen yaz ve dördüncü bir görev seti oluştur.

*Algoritmanın ilk 3 adımı yukarıda yer alan Çizelge 7.2'de tamamlanmıştır.

Adım 4: Çevrim süresini minimum yapacak şekilde operasyon zamanları bulanık tip-2 GMHDP modelini kur.

*Problemin çözümü için kurulan model aşağıda yer almaktadır:

Toplam görev sayısı, N= 50;

Toplam istasyon sayısı, K =12;

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & i \text{ görevi } k \text{ istasyonuna atanmış ise} \\ 0, & \text{diğer durumda} \end{cases} \quad \text{tüm } i=1, 2, \dots, 50 \text{ ve } j \in W \quad (7.2)$$

$$\text{Min } Z = \text{Çevrim_Süresi} \quad (7.3)$$

$$\sum_{k=1}^{12} x_{ik} = 1 \quad i=1, 2, \dots, 50 \quad (7.4)$$

$$\sum_{i=1}^{50} \tilde{t}_i \cdot x_{ik} \leq \text{Çevrim_Süresi} \quad j= 1, 2, \dots, 12 \quad (7.5)$$

$$\sum_{k=1}^{12} k \cdot x_{jk} - \sum_{k=1}^{12} k \cdot x_{ik} \geq 0 \quad \forall (i,j) \in P \quad (7.6)$$

$$\forall (x_{i,j}) = 0, 1 \quad (7.7)$$

Adım 5: Teknolojik gereksinimlerden dolayı sadece belirli bir istasyonda yapılması gereken görevleri, modelde ilgili istasyonlara sabitleyecek kısıtları gir.

44 ve 45 numaralı görevler, astar ve enamel boyaların atılması ile ilgili olduğundan yalnızca boyama istasyonu olan 10 numaralı istasyonda gerçekleştirilebilir. Bu yüzden modelde bu görevlerin ilgili istasyona sabitlenmesi gerekmektedir. Girilmesi gereken kısıtlar aşağıda yer almaktadır:

$$X_{(44, 10)} = 1; \quad (7.8)$$

$$X_{(45, 10)} = 1; \quad (7.9)$$

Adım 6: Modele, yönetici tarafından belirlenen veya olması istenen maksimum istasyon sayısını gir.

Bu montaj hattı için kabul edilen maksimum istasyon sayı 12'dir. Burada amaç görevlerin istasyonlara minimum çevrim süresini sağlayacak şekilde atanması olduğundan, optimal çözüme göre çevrim süresini aşmayacak şekilde istasyonların birleştirilmesinde bir sakınca yoktur.

Adım 7: İlk önce bulanık sayıların minimum durumu için (görev seti 1) görev sürelerini modele gir ve programı çalıştır. Optimal sonuçlara her istasyona atanan görevleri belirle. Her istasyon için ayrı ayrı bulanık sayıların Eşitlik 5.10'da yer alan formülasyona göre üyelik fonksiyonlarını belirle ve bulunan minimum çevrim süresi değerine göre α değerleri ile hattın etkinliğini hesapla.

Modelin çözümünde LINGO optimizasyon programı kullanılmış ve burada modelin Data bölümüne optimistic/minimum duruma göre görev süreleri girilmiştir. Görev seti 1 için model çalıştırıldığında çıkan sonuçlar özet olarak Çizelge 7.3'te yer almakta olup birinci kısım LINGO çözümüne göre, ikinci kısım ise 11 ve 12 numaralı istasyonların birleşimine göre çıkan sonuçları vermektedir:

Çizelge 7.3. Görev Sürelerinin Optimistic/Minimum Durumu İçin Sonuçlar

İstasyon No	Atanan Görevler	İstasyon Süresi	Alfa Değeri	İstasyon No	Atanan Görevler	İstasyon Süresi	Alfa Değeri
1	1,2,3,4,15,34	50	0,2	1	1,2,3,4,15,34	50	0,2
2	5,6,7,8,9,10,11	46	1	2	5,6,7,8,9,10,11	46	1
3	12,13,14,16,18	52	0	3	12,13,14,16,18	52	0
4	17,19,20,21	48	0,363	4	17,19,20,21	48	0,363
5	22,23,35	44	0,533	5	22,23,35	44	0,533
6	24,25	52	0	6	24,25	52	0
7	27,28,29,30	49	0,5	7	27,28,29,30	49	0,5
8	31,36,37,38,39	52	0	8	31,36,37,38,39	52	0
9	32,40,41,42,43	45	1	9	32,40,41,42,43	45	1
10	44,45	42	-	10	44,45	42	-
11	33,48	14	-	11	33,48,46,47,49,50	43	1
12	46,47,49,50	29	1				
Çevrim Süresi = 52				Çevrim Süresi = 52			
Hat Etkinliği = 0,8381		$\alpha_{ort} = 0,46$		Hat Etkinliği = 0,9143		$\alpha_{ort} = 0,46$	

Not: Alfa değerleri 1'den büyük olamayacağından, hesaplama sonucu 1'den büyük çıkan Alfa değerleri "1" alınır.

Burada yer alan sonuçlara göre 11 ve 12 numaralı istasyonlara atanan görevlerin süreleri toplamı (43) çevrim süresinden (52) daha küçük olduğundan birleştirilmesinde bir sakınca bulunmamaktadır ve yeni durumda hat etkinlik değeri 0,8381'den 0,9143'e çıkmaktadır.

Buradaki α hesaplamalarına bir örnek vermek gerekirse; Eşitlik 5.10'a göre üyelik fonksiyonları belirlendikten sonra her istasyon için ayrı ayrı çevrim süresine eşitlenerek hesaplama yapılır:

İstasyon 1 için görev süresi bulanık olan sadece 15 nolu görevdir.

$$ft_1 = ft_{1min} + (ft_{1max} - ft_{1min}) * \alpha \quad (5.10)$$

$$ft_{15} = 20 + (30-20) * \alpha$$

$$ft_{15} = 20 + 10\alpha$$

Böylece 1 nolu istasyonun toplam süresi $50 + 10\alpha$ olmakta ($t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + ft_{15} + t_{34}$)

$$50 + 10\alpha = 52 \text{ ve } \alpha = 0,2 \text{ bulunmaktadır.}$$

Bu şekilde bütün istasyonlar için α değerleri hesaplanır. Daha öncede α değerleri ile ilgili belirtilen bir ifadenin burada tekrar özetlenmesi sonuçların anlaşılması açısından faydalı olacaktır:

“ α ”, 0 ile 1 arasında değer alır. 1’den büyük çıkan değerler, α 1’den büyük olamayacağından “1” olarak kabul edilir. Burada önemli olan, ilgili istasyon için α değerinin mümkün olduğunca 1’e yakın olmasıdır. Bunun anlamı bulanık görev süreli operasyonların mevcut çevrim süresinde, atandıkları istasyonda rahatça yapılabilecek olmasıdır. Aksi durumda yani α değerleri 0’a yakın olursa, bulanık görev süreli operasyonların, herhangi bir gecikme yaratacak sorun olduğunda, bulanık süreli görevlerin atandıkları istasyonda mevcut çevrim süresi boyunca tamamlanamayacağı anlaşılmaktadır.

Adım 8: Daha sonra bulanık sayıların en muhtemel durumu için (görev seti 2) görev sürelerini modele gir ve programı çalıştır. Optimal sonuçlara göre her istasyona atanan görevleri belirle. Her istasyon için ayrı ayrı bulanık sayıların Eşitlik 5.10’da yer alan formülasyona göre üyelik fonksiyonlarını belirle ve bulunan minimum çevrim süresi değerine göre α değerleri ile hattın etkinliğini hesapla.

Burada modelin Data bölümüne most probable / en muhtemel duruma göre görev süreleri girilir. Bu data seti için model çalıştırıldığında çıkan sonuçlar özet olarak Çizelge 7.4’te yer almakta olup birinci kısım LINGO çözümüne göre, ikinci kısım ise 11 ve 12 numaralı istasyonların birleşimine göre çıkan sonuçları vermektedir:

Çizelge 7.4. Görev Sürelerinin Most Probable/En Muhtemel Durumu İçin Sonuçlar

İstasyon No	Atanan Görevler	İstasyon Süresi	Alfa Değeri	İstasyon No	Atanan Görevler	İstasyon Süresi	Alfa Değeri
1	1,2,3,4,5,6,15	54	0,4	1	1,2,3,4,5,6,15	54	0,4
2	7,8,9,10,11,16	53	0,625	2	7,8,9,10,11,16	53	0,625
3	12,13,14,17	54	0,285	3	12,13,14,17	54	0,285
4	18,19,20,21,22,23	53	0,5	4	18,19,20,21,22,23	53	0,5
5	24,34,35	54	0,333	5	24,34,35	54	0,333
6	25,26	54	0,5	6	25,26	54	0,5
7	27,28,29,30	50	0,833	7	27,28,29,30	50	0,833
8	31,36,37,38	53	0,647	8	31,36,37,38	53	0,647
9	39,40,41,42,43	46	1	9	39,40,41,42,43	46	1
10	32,44,45	52	-	10	32,44,45	52	-
11	46,47	16	1	11	46,47,33,48,49,50	45	1
12	33,48,49,50	29	1				
Çevrim Süresi = 54				Çevrim Süresi = 54			
Hat Etkinliği = 0,8765		aort = 0,65		Hat Etkinliği = 0,9562		aort = 0,61	

Not: Alfa değerleri 1'den büyük olamayacağından, hesaplama sonucu 1'den büyük çıkan Alfa değerleri "1" alınır.

Burada yer alan sonuçlara göre 11 ve 12 numaralı istasyonlara atanan görevlerin süreleri toplamı (45) çevrim süresinden (54) daha küçük olduğundan birleştirilmesinde bir sakınca bulunmamaktadır ve yeni durumda hat etkinlik değeri 0,8765'ten 0,9562'ye çıkmaktadır.

Adım 9: Bulanık sayıların maksimum durumu için (görev seti 3) görev sürelerini modele gir ve programı çalıştır. Optimal sonuçlara göre her istasyona atanan görevleri belirle. Her istasyon için ayrı ayrı bulanık sayıların Eşitlik 5.10'da yer alan formülasyona göre üyelik fonksiyonlarını belirle ve bulunan minimum çevrim süresi değerine göre α değerleri ile hattın etkinliğini hesapla.

Burada modelin Data bölümüne pessimistic / maksimum duruma göre görev süreleri girilir. Bu data seti için model çalıştırıldığında çıkan sonuçlar özet olarak Çizelge 7.5'te yer almakta olup birinci kısım LINGO çözümüne göre, ikinci kısım ise 11 ve 12 numaralı istasyonların birleşimine göre çıkan sonuçları vermektedir:

Çizelge 7.5. Görev Sürelerinin Pessimistic / Maksimum Durumu İçin Sonuçlar

İstasyon No	Atanan Görevler	İstasyon Süresi	Alfa Değeri	İstasyon No	Atanan Görevler	İstasyon Süresi	Alfa Değeri
1	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	58	-	1	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	58	-
2	11,15,16	59	1	2	11,15,16	59	1
3	12,13,14,18,19	54	1	3	12,13,14,18,19	54	1
4	17,20,21	51	1	4	17,20,21	51	1
5	22,23,24,25,34	53	1	5	22,23,24,25,34	53	1
6	26,27	61	1	6	26,27	61	1
7	28,32,35	63	1	7	28,32,35	63	1
8	29,30,31	62	1	8	29,30,31	62	1
9	36,37,38,39,40,41,42	61	1	9	36,37,38,39,40,41,42	61	1
10	43,44,45	63	1	10	43,44,45	63	1
11	33,48	14	-	11	33,48,46,47,49,50	52	1
12	46,47,49,50	38	1				
Çevrim Süresi = 63				Çevrim Süresi = 63			
Hat Etkinliği = 0,8426		aort = 1		Hat Etkinliği = 0,9192		aort = 1	

Not: Alfa değerleri 1'den büyük olamayacağından, hesaplama sonucu 1'den büyük çıkan Alfa değerleri "1" alınır.

Burada yer alan sonuçlara göre 11 ve 12 numaralı istasyonlara atanan görevlerin süreleri toplamı (52) çevrim süresinden (63) daha küçük olduğundan birleştirilmesinde bir sakınca bulunmamaktadır ve yeni durumda hat etkinlik değeri 0,8426'dan 0,9192'ye çıkmaktadır.

Adım 10: Üç durumda da aynı istasyonlara atanan görevleri belirle.

Yukarıda yer alan çözümlere göre, 3 durumda da aynı istasyonlara atanan görevlerin listesi Çizelge 7.6'da gösterilmektedir:

Çizelge 7.6. Bütün Durumlarda Aynı İstasyonlara Atanan Görevler

İstasyon No	3 Durumda da Atanan Görevler
1	1,2,3,4
2	11
3	12,13,14
4	20,21
5	-
6	26
7	28
8	31
9	40,41,42
10	44,45
11	-
12	49,50

Adım 11: Bulanık sayıların dönüştürülmüş durumu için görev sürelerini belirle (görev seti 4) ve modele gir. Bir önceki adımda üç durumda da aynı istasyona atanan görevleri modelde ilgili istasyonlara sabitleyecek kısıtları ekle ve programı çalıştır. Optimal sonuçlara göre her istasyona atanan görevleri belirle. Her istasyon için ayrı ayrı bulanık sayıların Eşitlik 5.10’da yer alan formülasyona göre üyelik fonksiyonlarını belirle ve bulunan minimum çevrim süresi değerine göre α değerleri ile hattın etkinliğini hesapla.

Görev seti 4 daha önce Çizelge 7.2’de verilmişti. Burada modelin Data bölümüne dönüşüme göre hesaplanan görev süreleri girilir. 3 durumda da aynı istasyonlara atanan görevleri modele sabitleyecek kısıtlar ise aşağıda yer almaktadır:

$$X_{(1,1)}=1; X_{(2,1)}=1; X_{(3,1)}=1; X_{(4,1)}=1;$$

$$X_{(11,2)}=1;$$

$$X_{(12,3)}=1; X_{(13,3)}=1; X_{(14,3)}=1;$$

$$X_{(20,4)}=1; X_{(21,4)}=1;$$

$$X_{(26,6)}=1; X_{(28,7)}=1; X_{(31,8)}=1;$$

$$X_{(40,9)}=1; X_{(41,9)}=1; X_{(42,9)}=1;$$

$$X_{(44,10)}=1; X_{(45,10)}=1;$$

$$X_{(49, 12)} = 1; X_{(50, 12)} = 1;$$

Bu kısıtlar modelin sonuna eklenerek çalıştırıldığında elde edilen sonuçlar özet olarak Çizelge 7.7’de verilmiş olup birinci kısım LINGO çözümüne göre, ikinci kısım ise 11 ve 12 numaralı istasyonların birleşimine göre çıkan sonuçları vermektedir:

Çizelge 7.7. Dönüşüme Göre Hesaplanan Görev Süreleri İçin Sonuçlar

İstasyon No	Atanan Görevler	İstasyon Süresi	Alfa Değeri	İstasyon No	Atanan Görevler	İstasyon Süresi	Alfa Değeri
1	1,2,3,4,5,6,15	54,33	0,5	1	1,2,3,4,5,6,15	54,33	0,5
2	7,8,9,10,11,16	53	0,75	2	7,8,9,10,11,16	53	0,75
3	12,13,14,17	55	0,357	3	12,13,14,17	55	0,357
4	18,19,20,21,22,23	53,33	0,75	4	18,19,20,21,22,23	53,33	0,75
5	24,34,35	54,83	0,4	5	24,34,35	54,83	0,4
6	25,26	54	0,541	6	25,26	54	0,541
7	27,28,29,30	50,67	1	7	27,28,29,30	50,67	1
8	31,36,37,38	52,5	0,705	8	31,36,37,38	52,5	0,705
9	39,40,41,42,43	46,5	1	9	39,40,41,42,43	46,5	1
10	32,44,45	52	-	10	32,44,45	52	-
11	33,46	17,5	1	11	33,46,47,48,49,50	45,83	1
12	47,48,49,50	28,33	1				
Çevrim Süresi = 55				Çevrim Süresi = 55			
Hat Etkinliği = 0,8667		α _{ort} = 0,73		Hat Etkinliği = 0,9455		α _{ort} = 0,7	

Not: Alfa değerleri 1’den büyük olamayacağından, hesaplama sonucu 1’den büyük çıkan Alfa değerleri "1" alınır.

Burada yer alan sonuçlara göre 11 ve 12 numaralı istasyonlara atanan görevlerin süreleri toplamı (45,83) çevrim süresinden (55) daha küçük olduğundan birleştirilmesinde bir sakınca bulunmamaktadır ve yeni durumda hat etkinlik değeri 0,8667’den 0,9455’e çıkmaktadır.

Adım 12: Atama sonuçlarına göre çevrim süresini aşmayacak şekilde birleştirilmesi mümkün olan istasyonları birleştir.

Bu adımda yer alan birleştirme işlemi yukarıda verilen sonuç çizelgelerinde yer almaktadır.

Adım 13: Yöneticiye uygun karar vermesini sağlayacak şekilde bütün alternatifler için çözüm sonucu bulunan minimum çevrim süresi değerlerini, hat etkinlik değerlerini ve “α_{ort}” değerlerini sun.

Her durum için program çalıştırılmış ve optimal sonuçlar alınmıştır. Modelin çıktıları değerlendirildiğinde 11 ve 12 nolu istasyonların birleştirilmesinin makul olduğu sonucuna varılmış ve montaj hattının 11 istasyon olmasına karar verilmiştir. Problemin çözümündeki ana amaç, çeşitli kısıtlar altında görevlerin 11 istasyona en küçük çevrim süresini sağlayacak şekilde dağıtılmasıdır. Bulunan minimum çevrim süresi değerleri, hat etkinlikleri ve α_{ort} değerleri Çizelge 7.8’de özetlenmiştir:

Çizelge 7.8. Sonuçların Değerlendirilmesi

	Optimistic	Most Probable	Pessimistic	Dönüşüm
Çevrim Süresi	52	54	63	55
Hat Etkinliği	0,9143	0,9562	0,9192	0,9455
Alfa Ortalama	0,46	0,61	1	0,7

Adım 14: Seçilen alternatifi uygula.

Algoritmanın bu adımı, büyük ölçüde üst yönetimin takdirindedir. Ancak modelin çıktılarını kısaca değerlendirmek gerekirse, şu sonuçlara ulaşılabilir:

İlk önce çevrim süresi değerlerine bakılacak olursa, modellemedeki amaç belirli bir istasyon sayısı için minimum çevrim süresinin bulunmasıydı. Burada minimum çevrim süresi (52) 4 alternatif içinden, görev sürelerinin minimum olduğu durumda elde edilmiştir ki bu bize belirli bir üretim sürecinde en fazla çıktının elde edileceği alternatifi bu olduğunu göstermektedir. Ancak bu alternatifi hat etkinlik değeri (0,9143) en düşük olan değerdir. Bulanık mantık açısından değerlendirdiğimizde ise en önemli parametre olan ortalama α değeri (0,46) yine en düşük değerini bu alternatif için almıştır. Bu demek oluyor ki, bulanık görev süreli operasyonların, montaj hattının işleyişi açısından herhangi bir geciktirici veya engelleyici bir durum söz konusu olduğunda, bu alternatif seçildiğinde bulanık görevli operasyonlar, çevrim süresi içerisinde tamamlanamayacaktır. Çünkü optimistic/iyimser görev süreleri, montaj hattında en küçük bir aksama bile olmayacak şekilde bulunan

değerlerdir. Tezin uygulaması gerçek hayat problemi üzerinde yapıldığından bu alternatif çok uygun görünmemektedir.

Çevrim süresi en yüksek (63) alternatif olan pessimistic/kötümser görev süreli duruma baktığımızda ise ortalama α değerinin 1 olduğu ve en yüksek α_{ort} değerinin bu alternatifte elde edildiği görülmektedir. Bu demek oluyor ki, bu alternatifin seçilmesi durumunda bütün bulanık görevler, en kötü durumda bile ilgili çevrim süresi boyunca rahatça tamamlanabilecektir. Yine bu alternatifin hat etkinlik değeri (0,9192), MHD problemleri için oldukça iyi bir değerdir. Ancak bu alternatifin en olumsuz yanı şüphesiz ki çevrim süresinin diğer alternatiflere kıyasla aşırı büyük bir değer almış olmasıdır. Bu da aynı üretim süresi içerisinde en az nihai ürünün elde edileceği anlamına gelecektir. Ayrıca görevlerin erken tamamlandığı durumlarda hatta boş beklemeler olacak, istasyon boş süreleri ciddi şekilde artacak ve etkinlik düşecektir. Ayrıca hattın boş beklemesi fabrika açısından ciddi maliyet kayıplarına yol açacaktır.

Görev sürelerinin most probable/en muhtemel olduğu duruma baktığımızda çevrim süresinin 54 saniye olduğu, hat etkinlik değerinin ise 0,9562 değeri ile bütün alternatifler arasında en yüksek olduğu görülmektedir. Bu alternatifin ortalama α değerinin 0,61 ile makul bir değer aldığı söylenebilir. Çevrim süresi ve hat etkinlik değerleri yakın olan alternatifleri kıyaslarken en önemli parametre olan ortalama α değerinin, bulanık görev süreli operasyonların çevrim süreci içerisinde tamamlanabilmesi için mümkün olduğunca 1'e yakın olması istenir. Sonuç olarak most probable/en muhtemel durum makul bir alternatif olarak değerlendirilebilir.

Son olarak bulanık görev sürelerinin Eşitlik 5.6'da yer alan derecelendirilmiş ortalama birleşim sunum metodu (DOBS)'na göre dönüştürülmüş durumuna göre çıkan sonuçlara baktığımızda, çevrim süresinin 55 saniye gibi makul bir süre, hat etkinlik değerinin 0,9455 ile oldukça iyi bir değer ve ortalama α değerinin ise 0,7 ile oldukça iyi bir değer aldığı gözlemlenmiştir. Bu alternatif, ortalama α değerinin 0,7 olması sayesinde bulanık görev süreli operasyonların genellikle belirlenen çevrim süresinde rahat bir şekilde tamamlanabileceği; bunu 0,9455 gibi yüksek bir etkinlik düzeyinde başarabileceği ve de 55 saniye gibi bir çevrim sürecinde oldukça fazla

çıkııı alabileceği anlamı taşımaktadır. İstasyon boş zamanlarının oldukça az olduğu ve yüksek ortalama α değeri ile hatta meydana gelebilecek olumsuz durumlarda bile görevlerin tamamlanabildiği düşünöldöğünde, bu alternatifin sečilmesi oldukça mantıklı olacaktır.

Yukarıdaki açıklamalar çerçevesinde tapa üretiminin yapıldığı montaj hattının, bulanık görev süreli operasyonlar için, bulanık sayıların dönüşümüne göre belirlenen görev sürelerinin dikkate alınarak dengelemesi yapıldığında, 11 istasyon ile 55 saniye çevrim süresi, 0,9455 hat etkinlik değeri ve 0,7 ortalama α değeri sonuçlarına ulaşılacaktır. Bu da özellikle işçilik maliyetleri, etkinlik ve verimlik açısından en uygun seçeneğin bu alternatif olduğu anlamına gelmektedir.

Elde edilen sonuçlar mevcut durumla kıyaslanacak olursa, mevcut durumda çevrim süresi yaklaşık 85 saniye ve 6,5 saat net çalışma süresi ile günlük üretilen tapa sayısı ortalama 280 adetti. Geliştirilen algoritmaya göre ise çevrim süresi 55 saniye ve günlük üretim miktarı 425 adet olabilecektir. Böylece mevcut hattın, geliştirilen algoritmanın uygulanarak dengelenmesi sonucu üretim oranının %50 civarlarında artırılabilen değeri değerlendirilmektedir.

8. SONUÇ

Tarihte bilinen ilk montaj hattı olan ve Henry Ford'un arkadaşlarıyla birlikte oluşturdukları ünlü T modelinin üretildiği hattan buyana, üretim sistemlerinde sabit bir talep ve yüksek hacimli siparişlerin söz konusu olduğu durumlarda montaj hatları oldukça ekonomik ve etkin sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Literatüre bakıldığında çok fazla yerleşim tipi görülse de aslında gerçek hayat problemlerinde en çok karşımıza çıkan montaj hattı tipi düz montaj hatlarıdır.

Geleneksel montaj hattı dengeleme problemleri literatürde iki tip olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlardan ilki tip-1 olarak adlandırılan ve belirli bir çevrim süreci için, minimum istasyon sayısının elde edilmesini amaçlayan problem tipidir. Diğeri ise bu tez çalışmasında olduğu gibi tip-2 olarak adlandırılan ve genellikle mevcut bir montaj hattının bulunması durumunda, belirli bir istasyon sayısı için minimum çevrim süresinin amaç fonksiyonu olduğu problem tipidir.

Bu tez çalışmasında uygulamanın yapıldığı tapa montaj atölyesinde mevcut bir montaj hattı bulunmaktadır. Ancak hatla ilgili daha önceden bir dengeleme çalışması yapılmadığından bu hat için verimlilik ve etkinlikten bahsetmek mümkün değildi. Tapa üretiminde en çok göze çarpan şey diğeri atölyelerden ve piyasadan farklı tolerans değerlerine sahip parçalar nedeniyle montaj işlemlerinin hep belirli bir sürede tamamlanamaması, her görev için standart sürenin belirlenmesini zorlaştırmasıdır. Üç yıl boyunca yapılan inceleme ve gözlemler sonucunda bazı operasyonlara ait işlem sürelerinin üçgensel bulanık sayılarla ifade edilmesinin, hattın modellenmesinde gerçeğe daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen algoritmada, görev sürelerinin önce optimistic/iyimser, sonra most probable/en muhtemel ve sonra da pessimistic/kötümser durumları için minimum çevrim süresini sağlayacak şekilde ayrı ayrı data setleri ile LINGO modeli oluşturulmuş ve optimal sonuçlar elde edilmiştir. Görevlerin istasyonlara dağılımları incelenmiş ve üç durumda da aynı istasyonlara atanan görevler belirlenmiştir. Daha sonra bulanık görev sürelerinin derecelendirilmiş ortalama birleşim sunum metodu

(DOBS)'na göre dönüştürülmüş durumuna göre yeni bir model oluşturulmuş ve bu modelde daha önce üç durumda da aynı istasyonlara atanan görevler, ilgili istasyonlara sabitlenmiştir. Bu modelin de çözümünde LINGO programı Branch&Bound (dal-sınır) metodunu kullanmış ve optimal sonuçlara ulaşılmıştır. Bütün sonuçlar için hattın etkinlik değerleri ve her istasyon için ayrı ayrı α değerleri ve her çözüm için ortalama α değeri hesaplanmış, yöneticiye karar vermesi sürecinde yardımcı olması açısından sunulmuştur.

Hat etkinlik değeri, montaj hattı dengeleme problemlerinde önemli bir göstergedir. 1'e ne kadar yakın olursa hattın o kadar etkin olduğu istasyon boş zamanlarının olabildiğince az olduğu anlamı taşımaktadır. α ise bulanık mantık içerisinde önemli bir parametredir. α değerleri 1'e ne kadar yakın olursa, bulanık görev süreli operasyonların, hatta meydana gelebilecek olası aksiliklerde bile belirlenen çevrim sürecinde o denli rahatça tamamlanabileceği anlamı taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında kullanılan algoritmaya göre tapa montaj hattı için toplamda 4 adet alternatif üretilmiş ve bunlar içerisinde en uygun olan alternatifin, bulanık görev süreli operasyonlar için, bulanık sayıların DOBS'a göre dönüşümü sonucunda belirlenen görev sürelerinin dikkate alınarak dengelemesi yapıldığında, 11 istasyon ile 55 saniye çevrim süresi, 0,9455 hat etkinlik değeri ve 0,7 ortalama α değeri sonuçlarına ulaşılmıştır. Bu da özellikle işçilik maliyetleri, etkinlik ve verimlik açısından en uygun seçeneğin bu alternatif olduğu anlamına gelmektedir.

Bu tezde geliştirilen algoritmanın, mevcut bir montaj hattı için çevrim süresinin minimize edilmek istendiği ve bütün görevlerin veya bazı görevlerin operasyon sürelerinin bulanık olduğu durumlar için, üst yöneticiye karar verme sürecinde oldukça yardımcı olacak, her durum için ayrı ayrı optimum yerleşim alternatiflerini verecek olan etkin bir yöntem olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKÇA

- Acar, N., Estaş, S., Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları, MPM Endüstri Şubesi No: 309, Ankara, (1984).
- Acar, N., Estaş, S., Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları, MPM Endüstri Şubesi No: 309, Ankara, (1986).
- Adham, A., J., A., Tahar, R., B., M., Enhancing Efficiency of Automobile Assembly Line Using the Fuzzy Logical and Multi-objective Genetic Algorithm, WCCI 2012 IEEE World Congress on Computational Intelligence, Brisbane, Australia June, 10-15, (2012).
- Ağpak, K., .Gökçen, H., Saray, N., Özel, S., Stokastik Görev Zamanlı Tek Modelli U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Bir Sezgisel, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 17, No 4, 115-124, (2002).
- Aplak, H. S., Karar Verme Sürecinde Bulanık Mantık Bazlı Oyun Teorisi Uygulamaları , Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Ankara, (2010).
- Arcus, A. L., COMSOAL: A Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines, International Journal of Production Research, Cilt 4, No 4, 259-277, (1966).
- Battala, O., Dolgui, A., Reduction Approaches for a Generalized Line Balancing Problem. Computers & Operations Research 39, 2337–2345, (2012).
- Baykasoğlu, A., Özbakır, L., Görkemli. L., Görkemli, B., Multi-Colony Ant Algorithm For Paralel Assembly Line Balancing With Fuzzy Parameters, Journal of Intelligent & Fuzzy Systems (23), pages 283–295, (2012).

- Bector, C. R., Chandra, S., Fuzzy Mathematical Programming and Fuzzy Matrix Games, Studies in Fuzziness and Soft Computing, Vol. 169, 236 p., (2005).
- Betts, J, Mahmoud, K. I., Identifying Multiple Solutions for Assembly Line Balancing Having Stochastic Task Times, Computers Industrial Engineering, Vol. 16 No.3, p. 427-45, (1989).
- Bilgiç, T., Türkşen, I.B., Measurement of Membership Functions: Theoretical And Empirical Work, 17 (1997).
- Bowman, E. H. Assembly Line Balancing By Linear Programming. Operations Research, 8(3), 385-389, (1960).
- Brudaru, O., & Valmar, B. Genetic Algorithm with Embryonic Chromosomes for Assembly Line Balancing with Fuzzy Processing Times. The 8th International Research/Expert Conference Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, Neum, Bosnia and Herzegovina, (2004).
- Bryton, B. Balancing of a Continuous Production Line, Unpublished M.S. Thesis, Northwestern University, (1954).
- Bukchin, Y., Rubinowitch, J. A Branch-and-Bound Based Solution Approach for the Mixed-Model Assembly Line-Balancing Problem for Minimizing Stations and Task Duplication Costs. European Journal of Operational Research, 174, 492-508, (2006).
- Chen, S. J., Hwang, C. L., Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, Springer-Verlag, Berlin (1992).
- Chen, S., H., Hsieh, C.H., Representation, Ranking, Distance, and Similarity of L-R Type Fuzzy Number and Application, Australian Journal of Intelligent Processing System 6 (4): 217–229 (2000).

- Chou, T.-Y., Hsu, C.-L., Chen, M.-C., A Fuzzy Multi-Criteria Decision Model for International Tourist Hotels Location Selection, *International Journal of Hospitality Management*, 27:293–301 (2008).
- Chutima, P. Yiangkamolsing, C., Application of Fuzzy Genetic Algorithm for Sequencing in Mixed-Model Assembly Line with Processing Time, *International Journal of Industrial Engineering: Theory Applications and Practice*, Cilt 10, No 4, 325-331, (2003).
- Çakır, B., Stokastik İşlem Zamanlı Montaj Hattı Dengeleme İçin Tavlama Benzetimi Algoritması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Ankara, (2006).
- Çelikçapa, F., Üretim Planlaması, Alfa Basımyayım, İstanbul, (1999).
- Driscoll, J., Abdel-Shafi A., A Simulation Approach to Evaluating Assembly Line Balancing Solutions *Int. J. Prodn Res.* 23(5), 975-985, (1985).
- Erel, E., A Methodology to Solve Single-Model Assembly Line Balancing Problem and Its Extension, Ph.D Thesis, Blacksburg, Virginia, (1987).
- Erel, E., A Methodology to Solve Single Model Assembly Line Balancing Problem and Its Extention, Ph.D Thesis ,Blacksburg, Virginia, 30-32 (1987).
- Evans, G., Karwowski, W., Wilhelm, M., R., Applications of Fuzzy Set Methodologies in Industrial Engineering, Elsevier Science, 242-286 (1989).
- Fonseca, D., J., Guest, C.L., Elam, M. and Karr, C.L., Fuzzy Logic Approach to Assembly Line Balancing, *Mathware & Soft Computing*, Cilt 12, 57-74, (2005).

- Gen, M., Tsujimura, Y., Li, Y. X., Fuzzy Assembly Line Balancing Using Genetic Algorithms, *Computers and Industrial Engineering*, Cilt 31, No (3-4), 631-634, (1996).
- Ghosh, S. R., Gagnon, J., A Comprehensive Literature Review and Analysis of the Design, Balancing and Scheduling of Assembly Systems, *International Journal of Production Research*, 27(4): 789-810 (1989).
- Gökçen, H., Çok Modelli Montaj Hatlarında Model Parti Sıralarının Belirlenmesi: Dal ve Sınır Yaklaşımı, *Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (1): 34-45 (1997).
- Gökçen, H., Erel, E. A Goal Programming Approach to Mixed-Model Assembly Line Balancing, *International Journal of Production Economics*, 48: 177-185 (1997).
- Gökçen, H., Erel, E. Karışık Ürünlü Montaj Hattı Dengeleme Problemleri için Bir Sezgisel Yöntem, *Verimlilik Dergisi*, 23-34 (1997).
- Gökçen, H., Erel, E., Shortest-Route Formulation of Mixed Model Assembly Line Balancing Problem, *European Journal of Operations Research*, Cilt 116, 194-204, (1999).
- Gökçen, H., Karışık Modelli Deterministik Hat Dengeleme Problemleri için Yeni Modeller, *Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi*, (1994).
- Gökçen, H., Tek Model Montaj Hattı Dengeleme Metotları ve Bir Uygulama, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi*, (1989).
- Hazır, Ö., Dolgui, A., Assembly Line Balancing Under Uncertainty: Robust Optimization Models And Exact Solution Method, *Computers and Industrial Engineering*, Cilt 65, No 2, 261-267, (2013).

- Hillier, F. S., Lieberman, G. J., Introduction to Operational Research, Tata McGraw-Hill Education, (2001).
- Hoffmann, T. R., 'Eureka: A Hybrid System for Assembly Line Balancing', Management Science, 38 (1), 39-47, (1992).
- Hop, N. V., A Heuristic Solution for Fuzzy Mixed- Model Line Balancing Problem European Journal of Operational Research, Cilt 168, 798–810, (2006).
- Hung, K. C., Julian, P., Chien, T. ve Jin, W., A Decision Support System for Engineering Design Based on an Enhanced Fuzzy MCDM Approach, Expert Systems with Applications, 1-3 (2009).
- Ignall, E. J., A Review Of Assembly Line Balancing Journal Of Industrial Engineering, Vol. 16, No 4, (1965).
- Johnson, R. V., 'Optimally Balancing Large Assembly Lines with 'FABLE'', Management Science, 34 (2), 240-253, (1988).
- Kalender, F. Y., Yılmaz, M. M., Türkbey, O., Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Bir Yaklaşım Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 23, No 1, 129-138, (2008).
- Kao, E., A Preference Order Dynamic Program for Stochastic Assembly Line Balancing Management Science Vol. 22, No 10, (1976).
- Kara, Y., Paksoy, T., Chang, C. T., Binary Fuzzy Goal Programming Approach To Single Model Straight And U-Shaped Assembly Line Balancing, European Journal of Operational Research, Cilt 195, 798–810, (2009).
- Karsak, E. E., Fuzzy Multiple Objective Decision Making Approach to Prioritize Design Requirements in Quality Function Deployment, Int. J. Prod. Res., 42 (18): 3957-3974 (2004).

- Khoshalhan, F., Zegordi, S.H., Solving Type One and Type Two Fuzzy Assembly Line Balancing Problems using Genetic Algorithms Journal of Science and Technology, Cilt 14, No 55, (2003).
- Kilbridge, M. D., & Wester, L. A Heuristic Method of Assembly Line Balancing. The Journal of Industrial Engineering, 12(4), 292-298, (1961).
- Klein, R., 'On Assembly Line Balancing', Operations Research, Vol. 11, 274-281, (1963).
- Kosko, B., Fuzzy Thinking: The New Science of Fuzzy Logic, New York, 123125 (1993).
- Liu, S. B., Ong, H. L., & Huang, H. C. A Bidirectional Heuristic For Stochastic Assembly Line Balancing Type II Problem. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 25, 71-77, (2005).
- Mansoor, E., Ben-Tuvia, S., Optimizing Balanced Assembly Lines Journal of Industrial Engineering, XVII, 126-132, (1966).
- Miller, G. A., The Magical Number Seven, Plus or Minus Two, Psychological Review, 63 (2): 81-97, (1956).
- Moodie, C. L., and H.H. Young, A Heuristic Method of Assembly Line Balancing for Assumptions of Constant or Variable Work Element Times, The Journal of Industrial Engineering, 16(1): 23-29, (1965).
- Nkasu, M. M., Leung, K. H., A Stochastic Approach To Assembly Line Balancing, International Journal of Production Research Volume 33, Issue 4, (1995).

- Ökmen, Ö., Öztaş, A., A New Procedure For Activity Network Calculations of Critical Path Method with Fuzzy Sets, 1st International Fuzzy Systems Symposium, Fuzzyss October 2009, TOBB Üni., Ankara, 20-26 (2009).
- Özgen, H., Üretim Yönetimi, Bizim Büro Basımevi, Ankara, (1987).
- Öztürk, Ö., Deterministik Yoksatmalı/Yoksatmasız Üretim-Sipariş Modeline Bulanık Küme Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Ankara, 14 (2009).
- Patterson, J. H., and Albracht, J. J., Assembly-Line Balancing: Zero-One programming with Fibonacci Search, Operations Research, 23, 166-174, (1975).
- Pinto, P., Dannenbring, D. G., Khumawala, B. M., A Branch And Bound Algorithm For Assembly Line Balancing with Paralleling, International Journal of Production Research Volume 13, Issue 2, Pages 183-196, March (1975).
- Ross, T., Fuzzy Logic with Engineering Applications 2nd Ed., John Willey & Sons Ltd. , West Sussex, England, 7, 13, 35, 91, 92, 99-107, 308-326 (2004).
- Sabuncuoğlu, I., Erel, E. ve Tanyer, M., Assembly Line Balancing Using Genetic Algorithms, Journal of Intelligent Manufacturing, Cilt 11, No 3, 295-310, (2000).
- Salveson, M. E., The Assembly Line Balancing Problem. The Journal of Industrial Engineering, 6 (3), 18-25, (1955).
- Savsar, M., Üretim Sistemleri Analizi, Anadolu Üniversitesi MMF Yayın no: 59, Eskişehir, (1984).
- Scholl, A., Klein, R., SALOME: A Bidirectional Branch and Bound Procedure for Assembly Line Balancing, Journal on Computing, Cilt 9, 319-334, (1997).

- Sculli, D., Dynamic Aspects of the Line Balancing OMEGA—Int. J. Management Sciences, 7 pp. 557–562, (1979).
- Stockton, D. J., Quinn, L., & Khalil, R. A. Use of Genetic Algorithms in Operations Management Part 1: applications. Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers-Part B: Journal of Engineering Manufacture, 218(3), 315-327, (2004).
- Suresh, G., Vinod, V. V., Sahu, S., A Genetic Algorithm for Assembly Line Balancing, Production Planning and Control, 7(1), 38-46, (1996).
- Şen, Z., Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, İstanbul, Bilge Kültür Sanat, 21-24 (2001).
- Talbot, F. B., and Patterson, J. H., An Integer Programming Algorithm with Network Cuts for Solving the Single Model Assembly Line Balancing Problem, Management Science, 30, 85-99, (1984).
- Taşan, Ö., S., Solving Simple and Mixed-Model Assembly Line Balancing Problems Using Hybrid meta-heuristic Approaches, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2007).
- Tapkan, P., Özbakır, L., Baykasoğlu, A., Bees Algorithm for Constrained Fuzzy Multi-Objective, Optimization Letters, Volume 6, Issue 6, pp 1039-1049, (2012).
- Thangavelu, S. R., Shetty, C. M., ‘Assembly Line Balancing by Zero-One Integer Programming’, AIIE Trans., 3, 61-68, (1971).
- Thomopoulos, N. T., Mixed Model Line Balancing with Smoothed Station Assignments, Management Science, 16, 593-603 (1970).

- Tsujimura, Y., Gen, M. ve Kubota, E., Solving Fuzzy Assembly Line Balancing Problem with Genetic Algorithms, Computers and Industrial Engineering, Cilt 29, No 1-4, 543-547, (1995).
- Tsujimura, Y., Gen, M. ve Li, Y. X., Fuzzy Assembly Line Balancing Using Genetic Algorithms, Computers and Industrial Engineering, 31 (3-4) : 631-634 (1996).
- Türkbey, O., Çok Amaçlı Makina Sıralama Problemi İçin Bir Bulanık Güçlü Metot, DEU Müh. Fak. Fen ve Müh. Dergisi, 5 (3): 1 (2003).
- Üzmen, M., Montaj Hattı Dengeleme, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 32, (1990).
- Wang, T.-C., Chen, Y.-H., Applying Fuzzy Linguistic Preference Relations to the Improvement of Consistency of Fuzzy AHP, Information Sciences, 178: 3755–3765 (2008).
- Wang, T.-C., Lee, H.-D., Developing a Fuzzy TOPSIS Approach Based on Subjective Weights and Objective Weights, Expert Systems with Applications 36: 8980–8985 (2009).
- Wild, R., The Design and Operation of Production Flow Line Systems, John Wiley and Sons, London (1972).
- Xu, W., Xiao, T., Mixed Model Assembly Line Balancing Problem With Fuzzy Operation Times And Drifting Operations, Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference, (2008).
- Yılmaz, M. M., Bulanık Operasyon Zamanlı Geleneksel Montaj Hattı Dengeleme Problemi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Ankara, (2006).

Yılmaz, M., Amaç Fonksiyonu Kısıtlı Ulaştırma Problemlerinde Tamsayılı Bulanık Optimizasyon, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2003).

Zacharia, P. Th., Nearchou, A. C., A Meta-heuristic Algorithm for the Fuzzy Assembly Line Balancing Type-E Problem, Computers and Operations Research, Cilt 40, No 12, 3033-3044, (2013).

Zacharia, P. Th., Nearchou, A. C., Multi-Objective Fuzzy Assembly Line Balancing Using Genetic Algorithms, J Intell Manuf 23:615–627, (2012).

Zadeh, L. A., Fuzzy sets, Information and Control, Information Sciences 8, 338-353, (1965).

Zadeh, L. A., The Concept of a Linguistic Variable and Its Application to Approximate Reasoning, Information Sciences, 8, 301-357, (1975).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DOĞAN, Ahmet
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi : 22.08.1986
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 201 44 97
e-mail : ahmetdogan@epdk.org.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Endüstri Mühendisliği Bölümü	2009
Lise	Ceyhan Halil Çiftçi Anadolu Lisesi	2004

İş Deneyimi

Yıl	İşyeri	Görev
04.2011 - 05.2014	MKEK Mühimmat Fb.	Mühendis
05.2014 -	EPDK	Enerji Uzman Yardımcısı

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Basketbol, Motor Sporları, Fitness.