



T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEK MODELLİ DETERMİNİSTİK U-TİPİ MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİNİN DEĞİŞKEN KOMŞU ARAMA YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜMÜ

Mammad TANRIVERDIYEV

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül-2014
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEK MODELLİ DETERMİNİSTİK U-TİPİ MONTAJ HATTI DENGELEME PROBLEMİNİN DEĞİŞKEN KOMŞU ARAMA YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜMÜ

Mammad TANRIVERDIYEV

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN

2014, 50 Sayfa

Jüri
Yrd. Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN
Prof. Dr. Ahmet PEKER
Yrd. Doç. Dr. Ömer Kaan BAYKAN

Endüstrileşme sürecinde daha çok miktarda, hızlı ve ucuz üretim yapabilmek için uygulanmaya başlanan montaj hatları, günümüzde seri üretim sistemlerinin en temel öğelerinden biridir. Rekabet açısından eldeki kaynakların en iyi şekilde değerlendirilmesinin bir zorunluluk olduğu günümüzde, montaj hatlarının en iyi şekilde dengelenmesi, işletmelerin kapasitelerini etkin kullanabilmeleri açısından kritik önemdedir. Son yıllarda Tam Zamanında Üretim felsefesinin kabul görmesi ile birlikte U-Tipi montaj hatlarının kullanımı yaygınlaşmıştır.

Bu tez çalışmasında, U-Tipi montaj hatları üzerinde durulmuş ve U-Tipi Montaj Hattı Dengeleme problemlerinin çözümü için Değişken Komşu Arama Algoritması tabanlı bir meta-sezgisel çözüm yaklaşımı geliştirilerek, performansı değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, tek modelli ve deterministik görev zamanlı, görev sayıları 7 ile 111 arasında değişen U-Tipi Montaj Hattı Dengeleme problemleri, istasyon sayıları en küçüklenmeye çalışılarak çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar, optimal istasyon sayıları, Genetik Algoritma sonuçları, Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritması sonuçları ve Bakteriyel Besin Arama Optimizasyonu Algoritması sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Önerilen algoritma ile U-Tipi dengeleme göz önünde bulundurulan, toplam 64 test probleminden 57'sinde, kısa sürelerde optimal sonuçlara ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Değişken Komşu Arama Algoritması, Meta-sezgiseller, Montaj Hattı Dengeleme Problemi, U-Tipi Montaj Hatları

ABSTRACT

MS THESIS

SOLUTION OF THE SINGLE MODEL DETERMINISTIC U-TYPE ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM WITH VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH ALGORITHM

Mammad TANRIVERDIYEV

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN INDUSTRIAL ENGINEERING

Advisor: Asst. Prof. Dr. İsmail KARAOĞLAN

2014, 50 Pages

Jury
Asst. Prof. Dr. İsmail KARAOĞLAN
Prof. Dr. Ahmet PEKER
Asst. Prof. Dr. Ömer Kaan BAYKAN

Recently, assembly lines which has been started being used for faster, cheaper and more production during industrialization process are one of the leading elements of mass production systems. Balancing assembly lines perfectly is very critical as a matter of effective capacity usage of enterprises because assessing the available resources in a best way is a requirement today. In recent years, U-Type assembly lines usage had been increased due to the acceptance of Just-in-Time Production philosophy.

In this thesis, U-Shaped assembly lines are studied and Variable Neighborhood Search Algorithm based meta-heuristic approach is proposed for solving U-Shaped Assembly Line Balancing problems and performance of the proposed algorithm is evaluated. A well known data set taken from the literature in which the number of tasks varies between 7 and 111 is solved to minimize the required number of workstations for single model U-Shaped Assembly Line Balancing problems with deterministic task times. The results are compared with optimal solutions, the results of Genetic Algorithm, the results of Ant Colony Optimization Algorithm and the results of Bacterial Foraging Optimization Algorithm. The proposed algorithm found optimal solutions for 57 of 64 test problems in a short time.

Keywords: Assembly Line Balancing Problem, Meta-heuristics, U-Shaped Assembly Lines, Variable Neighborhood Search Algorithm

ÖNSÖZ

20. yüzyılın başlarında, daha hızlı, ucuz ve yüksek miktarlarda üretim yapabilmek amacıyla kullanılmaya başlanan montaj hatları, bugün seri üretim sistemlerinin en temel öğesi durumuna gelmiştir. Rekabeti sürdürebilmek açısından, kaynakların etkin kullanımının kritik önem taşıdığı günümüzde, NP-Zor sınıfındaki montaj hattı problemlerinin en iyi ve etkili bir şekilde çözülmesi yüksek kapasite kullanımını da beraberinde getirir. Son yıllarda Tam Zamanında Üretim prensiplerinin uygulanmasının bir sonucu olarak birçok üretim hattı U hat şekline dönüşmektedir.

Bu tez çalışmasında, Tam Zamanında Üretim felsefesinin gereksinimi olan U-Tipi montaj hatları incelenmiş ve ele alınan U-Tipi Montaj Hattı Dengeleme problemlerinin çözümü için sezgisel yöntemlerden Konum Ağırlıklı Dengeleme Tekniği ve daha önce U-Tipi Montaj Hattı Dengeleme problemlerine uygulanmamış meta-sezgisel olan Değişken Komşu Arama Algoritması kullanılmıştır.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca beni destekleyen, önerileri ile yol gösterip, yardımlarını esirgemeyen, değerli bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım başta danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İsmail KARAOĞLAN olmak üzere, kıymetli vaktini benimle paylaşıp, görüş ve bilgi birikimini esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Yakup ATASAGUN'a, her türlü yardımı, anlayışı gösteren aileme ve tüm arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Mammad TANRIVERDIYEV
KONYA-2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

KISALTMALAR ..... **viii**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **3**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **10**

3.1. Materyal 10
3.1.1. Montaj hattı ve hat dengeleme problemi 10
3.1.1.1. Montaj hatlarının dengelemesinin amaçları 11
3.1.1.2. Montaj hattı dengeleme probleminin sınıflandırılması 11
3.1.1.3. Montaj hatlarının dengelemesinde kullanılan temel kavramlar 14
3.1.2. Düz montaj hattı dengeleme problemi 18
3.1.3. U-Tipi montaj hattı ve dengeleme problemi 19
3.1.3.1. U-Tipi montaj hatları 20
3.1.3.2. U-Tipi montaj hatlarının sağladığı yararlar 23
3.1.3.3. U-Tipi montaj hattı dengeleme problemi 25
3.1.4. Araştırmada kullanılan test problemleri 27
3.2. Yöntem 28
3.2.1. Değişken komşu arama 28
3.2.2. DKA yöntemi ile tek modelli deterministik U-Tipi hat dengeleme 31

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **37**

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **41**

5.1. Sonuçlar 41
5.2. Öneriler 41

KAYNAKLAR **42**

ÖZGEÇMİŞ **51**

KISALTMALAR

BBAOA	: Bakteriyel Besin Arama Optimizasyonu Algoritması
DKA	: Değişken Komşu Arama
GA	: Genetik Algoritma
KA	: Konum Ağırlığı
KADT	: Konum Ağırlıklı Dengeleme Tekniği
KKOA	: Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması
MHD	: Montaj Hattı Dengeleme
TA	: Tabu Arama
TB	: Tavlama Benzetimi
TKA	: Ters Konum Ağırlığı
TZÜ	: Tam Zamanında Üretim
YAA	: Yerel Arama Algoritmaları

1. GİRİŞ

Montaj hatları ilk defa 20. yüzyılın başlarında A.B.D.'de Ford firması tarafından kullanılmıştır. Üretim talebinin yıldan yıla artmasıyla birlikte montaj hatları, yüksek miktarlarda, ucuz, istenen kalitede ve hızlı ürün üretmesi hedeflenen seri üretim sistemlerinin vazgeçilmez bir parçası durumuna gelmiştir. Günümüz dünyasında işletmelerin büyük bir bölümü montaj yoluyla üretim yapmaktadır. Bu tip üretim sistemlerinde montaj hatları, sistemin temelini oluşturmaktadır.

Montaj hattı yerleşimleri ile ürünler birbirlerine bağlı iş istasyonlarında üretilmektedir. Bu birbirine bağlı istasyonların her birinde, daha önceden tanımlanan ve ürünün üretilmesi için gerekli olan operasyonlar gerçekleştirilir. Bu operasyonlar, montaj hattındaki istasyonlara öyle paylaştırılmalıdır ki, hiçbir istasyon diğerini beklemeden ilgili operasyonları yerine getirsin ve ürün tamamlanmış olarak hattan çıkartılabilsin. İşte bu istek, montaj hatlarının dengelenme problemlerini ortaya çıkarmıştır.

Günümüzdeki rekabet ortamında firmaların ayakta kalabilmesinin ilk koşulu, kaynaklarını akılcı değerlendirmeleridir. Bu nedenle firmaların var olan kapasitelerini en iyi şekilde kullanmaları gerekmektedir. Montaj hatlarının dengelenmesinin önemi de burada ortaya çıkar. İstasyonların boşta bekledikleri sürenin en küçüklenmesi, montaj hattının etkin kullanımı için esastır. İş öğelerinin bu amaçla, çeşitli kısıtlar dahilinde istasyonlara atanmasına "Montaj Hattı Dengeleme (MHD)" denir. Bir hat üzerinde dikkate alınan performans ölçütlerinde iyileşme sağlanabilmesi için, hattın iyi dengelenmesi gerekir. Dengesiz hatlar, üretimde verimsizliğe, maliyet artışlarına, işçilik ve daha birçok kayıplara neden olur. MHD, iş elemanlarının iş istasyonları arasında en uygun şekilde dağıtılması sonucu optimum istasyon sayısını tespit etmeyi amaçlar. Dengeleme sonucu optimum istasyon sayısının belirlenmesiyle beraber, optimum işçi sayısı da tespit edilmiş olur ve işletme, kapasitesinin daha büyük bir kısmını kullanabilir duruma gelir.

Montaj hattı yerleşimlerinde genelde geleneksel düz montaj hattı yerleşimi kullanılmaktadır. Bu hat yerleşiminde istasyonlar birbiri ardınca düz olarak yerleştirilir. MHD problemleri ile ilgili yapılan çalışmaların çoğu, geleneksel düz montaj hattı yerleşimi üzerinedir.

İşletmelerdeki yerleşim, işgücü ve benzeri kısıtlardan dolayı düz montaj hattı yetersiz kalmaktadır. Toyota'nın Tam Zamanında Üretim (TZÜ) prensiplerinin

uygulanabilmesi için üretim hattını "U" tipinde organize etmesiyle yeni bir hat tasarımı ortaya çıkmıştır. Geleneksel hatlardan farklı olarak U-Tipi montaj hatlarında yerleşim U şeklinde olup, hattın giriş ve çıkışı aynı pozisyonda bulunmaktadır.

Geleneksel hat dengeleme problemi ile U hattı dengeleme problemi arasındaki anahtar fark; geleneksel hat dengeleme probleminde, atanabilir görevler kümesindeki görevlerin (öncülleri daha önceden atanmış görevler) seçilerek ilgili istasyona atanması, U hattı dengeleme probleminde ise, atanabilir görevler kümesinin öncülleri atanmış görevler kümesi ile ardılları atanmış görevler kümesinin birleşiminden oluşmasıdır. İstasyona atanacak görevler bu kümeden seçilecektir. U-Tipi montaj hatlarının geleneksel düz montaj hatlarına karşı sosyal ve ekonomik üstünlüklere sahip olması, popülerliklerini daha da arttırmaktadır. Buna bağlı olarak, üretim tesislerini U-Tipi hatlarla tasarlayan işletmelerin karşısına çıkabilecek en önemli problem, U-Tipi hatların etkili bir şekilde dengelenmesi problemidir.

MHD problemi NP-Zor problemdir ve çözümü oldukça karmaşıktır. Çözüme yönelik olarak geliştirilen algoritmaların bir kısmı en iyi çözümü bulan kesin metotlar, bir kısmı ise en iyiye yakın çözümü bulan sezgisel metotlardır. Kesin metotlar, büyük boyutlu test problemlerini çözerken oldukça uzun işlem zamanı gerektirirler ve bu nedenle uygulamada sezgisel metotlar daha hızlı ve kullanışlıdır. Geleneksel düz ve U-Tipi MHD problemlerinin çözümü için çok sayıda kesin, sezgisel ve meta-sezgisel yaklaşımlar geliştirilmiştir. Tabu Araması (TA), Tavlama Benzetimi (TB), Genetik Algoritma (GA) ve Karınca Kolonisi Optimizasyon Algoritması (KKOA) MHD problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan meta-sezgisellerdir.

Hansen ve Mladenovic (1997) tarafından geliştirilen ve aramada kullanılan komşuluk yapılarının sistematik biçimde değiştirilmesi esasına dayanan bir meta-sezgisel algoritma olan Değişken Komşu Arama (DKA) Algoritması U-Tipi MHD problemlerinin çözümünde henüz kullanılmamış ve bu problemlerin çözümündeki başarısı hakkında literatürde herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, U-Tipi montaj hatlarını incelemek ve U-Tipi MHD problemlerinin çözümü için DKA tabanlı bir çözüm yaklaşımı geliştirerek performansını değerlendirmektir. Bu amaç doğrultusunda, DKA tabanlı bir algoritma önerilmiş ve önerilen algoritmanın çözüm başarısı literatürde yaygın olarak kullanılan çok sayıda test problemi kullanılarak gerçekleştirilen deneyler ile değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, tek modelli ve deterministik görev zamanlı U-Tipi MHD problemlerinin çözümü ele alınmıştır. Diğer MHD problemleri çalışma kapsamında ele alınmamıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Montaj hatları ile ilgili eski yıllardan günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır. Bu bölümde bu geniş literatür içerisinde özellikle tek modelli deterministik görev zamanlı U-Tipi MHD problemleriyle ilgili çalışmalar ve DKA algoritmasını kullanan çalışmalar üzerinde kısaca durulacaktır.

Tek modelli deterministik görev zamanlı U-Tipi MHD problemi ile ilgili ilk çalışma Miltenburg ve Wijngaard (1994) tarafından, dinamik programlama yaklaşımı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada, dinamik programlamayı 21 küçük boyutlu probleme uyguladıklarında, 19 problemde düz montaj hattı ile aynı sayıda iş istasyonu veren çözüme ulaşmışlardır. 2 problemde ise düz hatlarda gereksinim duyulan istasyon sayısından bir tane az sayıda iş istasyonu bulunmuştur. Aynı çalışmada Miltenburg ve Wijngaard, geleneksel hatlar için uygulanan Konum Ağırlıklı Dengeleme Tekniği (KADT) sezgiselini U-Tipi MHD problemi için yeniden düzenlemiş ve uygulamışlardır.

Hwang ve ark. (1996), işçilerin yürüme zamanlarını da dikkate alarak tek modelli deterministik görev zamanlı U-Tipi MHD problemi için tavlama benzetimi algoritması önermişlerdir.

Sparling (1997), tek modelli deterministik görev zamanlı U-Tipi MHD probleminin çözümü için optimal sonuçlar veren bir dinamik programlama algoritması ve iki farklı dal-sınır algoritması olmak üzere üç yeni çözüm yaklaşımı geliştirmiştir.

Deshpande ve ark. (1997), tek modelli deterministik görev zamanlı U-Tipi MHD problemi için bir tamsayılı programlama yaklaşımı geliştirmişler ve çözümü için Langrange gevşetme yöntemini kullanmışlardır.

Urban (1998), tek modelli deterministik görev zamanlı U-Tipi MHD problemi için bir tamsayılı programlama yaklaşımı önermiş ve elde ettiği sonuçları Konum Ağırlıklı Dengeleme Tekniği sezgiselinin sonuçları ile karşılaştırmıştır. Tamsayılı programlama yaklaşımı görev sayısı 21 ile 45 arasında değişen toplam 25 adet problemin çözümünde kullanılmış ve 25 problemden 24'ü için optimal sonuçları kabul edilebilir bir sürede verdiği, geriye kalan 1 problemde ise optimal çözümü bir saati aşkın sürede verdiği gözlenmiştir.

Ajenblit ve Wainwright (1998), tek modelli deterministik görev zamanlı U-Tipi MHD problemi için bir genetik algoritma yaklaşımı önermişler ve bu yaklaşımın geçerliliğini toplam 61 farklı problemden oluşan 12 problem setinde test etmişlerdir.

Genetik algoritma, 61 problemin 21'inde optimal sonuçlara ulaşmış, diğer problemlerde ise karşılaştırmada kullandıkları sezgisel yaklaşımlardan daha iyi sonuçlar vermiştir.

Aase (1999), tek modelli deterministik görev zamanlı U-Tipi MHD problemi için farklı dallandırma stratejilerine sahip üç farklı dal-sınır algoritması yaklaşımı önermiştir.

Scholl ve Klein (1999), tek modelli düz MHD problemi için geliştirdikleri ve SALOME adını verdikleri dal-sınır algoritmasını, tek modelli deterministik görev zamanlı U-Tipi MHD problemi için düzenlemişler ve yeni halini ULINO olarak adlandırmışlardır. ULINO, makalede çeşitli veri kümelerine uygulanmış ve hesaplamalar sonucunda ULINO'nun kısıtlı süre içerisinde çok iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır.

Cheng ve ark. (2000), düz ve U-Tipi hat yerleşimlerinin, hatta üretilen ürünlerin kalitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlarda, dikkate alınan bütün kalite karakteristikleri bakımından U-Tipi hatların düz hatlara karşı üstün olduğu ortaya çıkmıştır.

Miltenburg (2000), U-Tipi hatlarda arıza ortaya çıkması halinde U-Tipi yerleşimin hat yönetimi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Elde edilen çalışma sonuçları ile arıza durumunda U-Tipi hat yerleşiminin geleneksel düz hat yerleşimine göre daha etkin hat yönetimine sahip olduğunu belirtmiştir.

Ağpak ve Gökçen (2001), yeni bir sezgisel metot geliştirmişler ve bu yöntemi U-COMSOAL olarak adlandırmışlardır. Metot, Arcus tarafından geleneksel düz montaj hatları için geliştirilen COMSOAL metodunun, tek modelli deterministik görev zamanlı U-Tipi MHD problemlerini çözebilecek şekilde düzenlenmesiyle oluşturulmuştur.

Erel ve ark. (2001), tek modelli deterministik görev zamanlı U-Tipi MHD problemlerinin çözümü için Tavlama Benzetimi tabanlı bir sezgisel yaklaşım geliştirmişlerdir.

Miltenburg (2001a), U-Tipi üretim ve montaj hatları ile ilgili teorik ve uygulamaya yönelik genel bir değerlendirme çalışması yapmıştır. Çalışmada gerçek 9 Amerikan ve 105 Japon işletmesini kapsayan toplam 114 U-Tipi montaj hatları analiz edilmiştir.

Miltenburg (2001b), U-Tipi hatlarda tek parça akışı üretim üzerinde durduğu çalışmasında, konu ile ilgili literatürde yer alan çalışmaları değerlendirmiş ve yeni çalışma alanlarını belirlemiştir.

Ağpak ve Gökçen (2002), U-Tipi montaj hattı literatüründe ilk olarak bulanık mantığı kullanmışlardır. Çalışmada, basit U-Tipi MHD problemleri için çevrim zamanı, istasyon sayısı ve istasyon iş yükü bulanık olarak düşünülerek bir tamsayılı programlama geliştirilmiştir. Burada, tahmini zor olan bu parametrelerin belirsiz olabileceği düşünülmüş ve karar vericiye bir çözüm sunmak amaçlanmıştır.

Aase ve ark. (2003), tek modelli deterministik U-Tipi MHD problemi için geliştirilen ve U-OPT adı altında toplanan dal-sınır prosedürlerini ele alarak, yeni çözüm yaklaşımları öne sürmüşler ve literatürde mevcut test problemlerinin çözümünde kullanmışlardır.

Aase ve ark. (2004), U-Tipi montaj hatlarında iş gücü üretkenliğinin gelişimini deneysel olarak belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, belirli şartlar altında düz montaj hattı yapısının U-Tipi hat yapısına dönüştürülmesi ile işgücü üretkenliğinde önemli derecede gelişme sağlanabileceğini belirtmişlerdir.

Gökçen ve ark. (2005), tek modelli deterministik U-Tipi MHD probleminin çözümü için en kısa yol yöntemini kullanmışlardır. Bu yöntem, geleneksel düz MHD problemi için geliştirilmiş olan en kısa yol modeline dayanmaktadır.

Gökçen ve Ağpak (2006), tek modelli deterministik U-Tipi MHD problemi için bir hedef programlama yaklaşımı önermişlerdir.

Baykasoğlu (2006), tek modelli düz ve U-Tipi MHD problemlerinde "düzgünlük indeksi" ile "hat performansını" (istasyon sayısının en küçüklenmesi) en büyükleyen çok amaçlı yeni bir Tavlama Benzetimi algoritması geliştirmiştir.

Hwang ve ark. (2008) tarafından tek modelli deterministik U-Tipi MHD problemlerinin çözümü için çok amaçlı bir genetik algoritma yaklaşımı önerilmiştir.

Zhang ve ark. (2008) çalışmalarında, tek modelli deterministik U-Tipi MHD probleminde istasyon sayısının en küçüklenmesi için Karınca Kolonisi Optimizasyonu tabanlı bir yöntem önermişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda önerilen yöntemin etkili olduğu görülmüştür.

Suwannarongsri ve Puangdownreong (2008), tek modelli deterministik U-Tipi MHD problemi için bir Tabu Arama algoritması geliştirmişlerdir. Literatürde bulunan üç farklı test probleminin çözümünde kullanılan Tabu Arama algoritmasının optimal çözümler verdiği belirtilmiştir.

Kara ve ark. (2009), tek modelli düz ve U-Tipi MHD problemlerinin çözümü için bulanık çok amaçlı programlama yaklaşımını kullanmışlardır. Açıklayıcı bir örnek

problemde bulanık çok amaçlı yöntemin düz ve U-Tipi MHD problemleri üzerindeki performans karşılaştırmasını yapmışlardır.

Özcan ve Toklu (2009), basit düz ve U-Tipi MHD problemlerinin çözümü için melez iyileştirme sezgiseli geliştirmişlerdir. Geliştirilen sezgisel, hat etkinliğini en büyükleme ve iş yüklerini istasyonlar arasında eşitleme için uyarlanır öğrenme yaklaşımı ve tavlama benzetimine dayanmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda geliştirilen yaklaşımın oldukça etkili sonuçlar verdiği görülmüştür.

Sabuncuoğlu ve ark. (2009), tek modelli deterministik U-Tipi MHD problemlerinin çözümü için Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritması önermişlerdir.

Baykasoğlu ve Dereli (2009), basit düz ve U-Tipi MHD problemlerinin çözümü için Karınca Kolonisi Optimizasyonu Algoritması önermişlerdir. Hem düz hem de U-Tipi MHD problemlerinde daha iyi çözüm verebilmesi için COMSOAL ve Konum Ağırlıklı Dengeleme Tekniği sezgisellerini Karınca Kolonisi algoritmasına adapte ederek yeni bir algoritma öne sürmüşlerdir. Yapılan deneysel çalışma sonuçlarına göre sezgisel tabanlı yeni algoritmanın basit ve U-Tipi MHD problemlerinin çözümünde etkili sonuçlar verdiği görülmüştür.

Hwang ve Katayama (2010) tarafından tek modelli deterministik U-Tipi MHD problemlerinde düzgün iş yükü atamaları için iyileştirme yapısına sahip Genetik Algoritma tabanlı bir yaklaşım öne sürülmüştür.

Kara ve ark. (2011), kaynak bağımlı tek modelli düz ve U-Tipi MHD problemleri için tamsayılı programlama yaklaşımları geliştirmişlerdir. Montaj hattı literatüründe kaynak bağımlı tek modelli düz MHD problemlerine yönelik çalışmalar bulunmakla birlikte, tek modelli U-Tipi MHD problemlerinde kaynak bağımlı görevlerle istasyonların dengelenmesi problemi ilk kez bu çalışmada ele alınmıştır.

Ağpak ve ark. (2012), U-Tipi ve çift taraflı hatların birleşiminden oluşan yeni melez hat tasarımı sunmuşlar ve bu hattın dengelenmesi için iki amaçlı (birinci amaç istasyon sayısının en küçüklenmesi ve ikinci amaç konum sayısının en küçüklenmesi) 0-1 tamsayılı programlama modeli geliştirmişlerdir. Geliştirilen model ile literatürden alınan, görev sayıları 65'e kadar olan birkaç test problemi çözülmüş ve çift taraflı U-Tipi hatların faydaları tartışılmıştır.

Güner ve Hasgül (2012) çalışmalarında, U-Tipi MHD problemi için, işçilerin performans değerlerini, harcadığı enerji miktarlarını ve görevler arasındaki uyumsuzluk ilişkilerini dikkate alan yeni bir tam sayılı programlama modeli önermişlerdir.

Çalışmada önerilen modelin, U-Tipi montaj hatlarında işçilere görev atama kararlarının verilmesinde yararlı olacağı sonucuna varılmıştır.

Paksoy ve Özceylan (2012), eş zamanlı olarak tedarik zinciri ağı ve U-Tipi MHD problemlerinin optimizasyonunu ele almışlardır. Çalışmalarında, istasyonların taşıma ücreti ve toplam sabit maliyetlerinin en küçüklenmesi için doğrusal olmayan karma tamsayılı matematiksel model sunmuşlar ve sayısal örnek üzerinde bu modelin geçerliliğini ve yararlılığını göstermişlerdir.

Avikal ve ark. (2013), tek modelli deterministik U-Tipi montaj hatlarında iş verimliliğini artırmak için kritik yol metodu tabanlı yaklaşım önermişlerdir. Yapılan çalışma, bu metodun iyi sonuçlar verdiğini ve iş verimliliğini artırdığını göstermiştir.

Nourmohammadi ve ark. (2013), tek modelli deterministik görev zamanlı U-Tipi montaj hatlarında iş istasyonu sayısının en küçüklenmesi için yeni popülasyon tabanlı evrimsel algoritma olan emperyalist yarışmacı algoritmasını önermişlerdir. Önerilen algoritmanın etkinliğini göstermek için sonuçlar, literatürdeki ilgili genetik algoritma sonuçları ile karşılaştırılmış ve önerilen algoritmanın genetik algoritmadan üstün olduğu gösterilmiştir.

Atasagun ve Kara (2014), basit düz ve U-Tipi MHD problemlerinin çözümü için son yıllarda araştırmacıların ilgisini çekmiş bir optimizasyon algoritması olan Bakteriyel Besin Arama Optimizasyonu Algoritması (BBAOA) tabanlı bir meta-sezgisel çözüm yaklaşımı geliştirmişlerdir. Çalışmada, tek modelli ve deterministik görev zamanlı, görev sayıları 7 ile 111 arasında değişen, istasyon sayısının en küçüklendiği düz ve U-Tipi MHD problemleri önerilen meta-sezgisel ile çözülerek, algoritmanın performans değerlendirmesi yapılmıştır. Test problemlerinden elde edilen sonuçlar, optimal istasyon sayıları, karınca kolonisi optimizasyonu algoritması sonuçları ve genetik algoritma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Önerilen algoritmanın toplam olarak 128 düz ve U-Tipi MHD probleminin 123'ünde çok kısa sürelerde optimal sonuçlara ulaştığı belirlenmiştir.

Fattahi ve ark. (2014), U-Tipi montaj hatlarında iş istasyonu sayısının en küçüklenmesi için yeni tamsayılı programlama modeli sunmuşlardır. Yeni model literatürde yer alan modeller ile karşılaştırmalı analiz yapılması için geniş kapsamlı problemler üzerinde test edilmiş ve sonuçlar bu yeni modelin önceki modellere nazaran önemli derecede iyi olduğunu göstermiştir.

Karışık modelli U-Tipi MHD problemine yönelik olarak literatürdeki çalışmalar şunlardır: Sparling ve Miltenburg (1998), Kim ve ark. (2000), Miltenburg (2002), Kim

ve ark. (2006), Kara ve ark. (2007a), Kara ve ark. (2007b), Kara (2008), Kara ve Tekin (2009), Chutima ve Olanviwatchai (2010), Kazemi ve ark. (2011), Hamzadayı ve Yıldız (2012), Rabbani ve ark. (2012), Lian ve ark. (2012), Hamzadayı ve Yıldız (2013), Manavizadeh ve ark. (2013), Chutima ve Kid-Arn (2013).

Hansen ve Mladenovic (1997) tarafından geliştirilen DKA meta-sezgisel algoritması, bugüne kadar yerleşim (Hansen ve Mladenovic, 1997; Mladenovic ve ark., 2003; Harm ve Hentenryck, 2005; Fathali ve Kakhki, 2006; Hansen ve ark., 2007; Ilic ve ark., 2010; Kratica ve ark., 2012; Davari ve ark., 2013; Puerto ve ark., 2014), araç rotalama (Braysy, 2003; Polacek ve ark., 2004; Kytöjoki ve ark., 2007; Fleszar ve ark., 2009; Hemmelmayr ve ark., 2009; Kuo ve Wang, 2012; Coelho ve ark., 2012; Xu ve ark., 2012; Yang ve ark., 2013), gezgin satıcı (Burke ve ark., 2001; Sevkli ve Sevilgen, 2006; Carrabs ve ark., 2007; Silva ve Urrutia, 2010; Li ve ark., 2011; Mladenovic ve ark., 2012; Mladenovic ve ark., 2013) ve çizelgeleme (Sevkli ve Aydın, 2007; Roshanaei ve ark., 2009; Amiri ve ark., 2010; Zandieh ve Adibi, 2010; Yazdani ve ark., 2010; Adibi ve ark., 2010; Bagheri ve Zandieh, 2011; Driessel ve Mönch, 2011; Lei ve Guo, 2011; Costa ve ark., 2012; Mozdgir ve ark., 2013; Lei ve Guo, 2014) gibi mühendislik problemlerinde başarıyla uygulanmıştır.

DKA, diğer meta-sezgisel yöntemler ile birleştirilerek de optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Paraskevopoulos ve ark. (2008) tabu arama ile DKA'yı, Göksal ve ark. (2013) ve Zou ve ark. (2013) kuş sürüsü optimizasyonu ile DKA'yı birleştirerek araç rotalama, Gao ve ark. (2008), Tayebi Araghi ve ark. (2014) ve Xiong ve Xing (2014) genetik algoritma ile DKA'yı birleştirerek çizelgeleme problemlerinin çözümünde kullanmışlardır.

DKA algoritmasının, MHD problemlerine uygulanması ile ilgili literatürde az sayıda çalışma bulunmaktadır ve bu çalışmalardan hiçbiri U-Tipi MHD problemi ile ilgili değildir. MHD problemine yönelik olarak literatürdeki çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Dou ve ark. (2012), TİP – I MHD probleminin çözümü için Kesikli Kuş Sürüsü Optimizasyonu ve İndirgenmiş DKA algoritmasının birleşiminden oluşan melez yöntem önermişlerdir. Önerilen melez yöntemin etkinliği, geniş kapsamlı problemler üzerinde test edilerek doğrulanmış ve bulunan sonuçlar ile literatürdeki ilgili genetik algoritma sonuçları karşılaştırılarak, önerilen melez yöntemin genetik algoritmadan üstün olduğu gösterilmiştir.

Hamta ve ark. (2013) çalışmalarında, esnek işlem süreli ve öğrenme etkili, çok amaçlı, tek modelli MHD problemi için, Kuş Sürüsü Optimizasyonu ve DKA algoritmasının birleşiminden oluşan melez bir algoritma önermişlerdir. Çalışmada, çevrim zamanının en küçüklenmesi, toplam donanım maliyetinin en küçüklenmesi ve düzgünlük indeksinin en küçüklenmesi olmak üzere üç amaç fonksiyonu dikkate alınmıştır. Önerilen melez algoritmanın performansı, çözüm kalitesi ve süresi açısından çeşitli test problemleri üzerinde incelenmiş ve sonuçlar algoritmanın etkili olduğunu göstermiştir.

Tang ve ark. (2014), büyük boyutlu ürünlerin üretildiği, çift taraflı MHD probleminin çözümü için, Kuş Sürüsü Optimizasyonu ve DKA algoritmasının birleşiminden oluşan melez bir yöntem geliştirmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, geliştirilen melez yöntemin, özellikle büyük boyutlu problemler başta olmak üzere, birçok durumda iyi performans gösterdiği ve kısıtlı iterasyon sayıları ile optimal ve optimale yakın çözümler verdiği görülmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

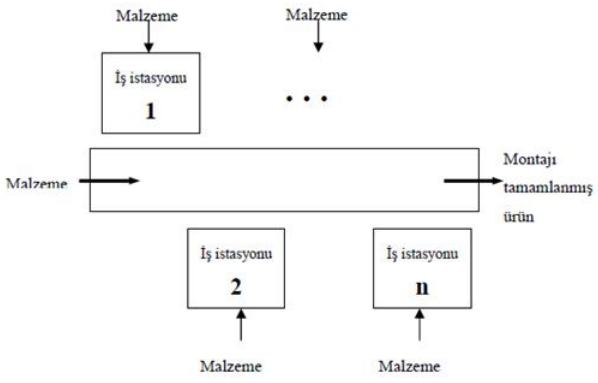
Bu bölümde ilk olarak çalışmada kullanılan materyaller ile ilgili, sonrasında ise uygulanan yöntem ile ilgili bilgi verilmiştir.

3.1. Materyal

Bu bölümde sırasıyla Montaj hattı ve hat dengeleme problemi, Düz MHD problemi, U-Tipi montaj hattı ve dengeleme problemi ve Araştırmada kullanılan test problemleri ile ilgili açıklayıcı bilgiler sunulmaktadır.

3.1.1. Montaj hattı ve hat dengeleme problemi

Ürünler genelde birden çok parçanın bir araya gelmesi ile oluşur. Üretim sürecinde bu parçaların belli bir sıra dahilinde bir araya getirilmesi montaj işlemi olarak tanımlanır. Nihai ürünü elde etmek için, montaj işleminin ve ilgili operasyonların gerçekleştirildiği, aralarında malzemelerin akış hattı boyunca taşındığı (genelde bir konveyör yardımıyla) ardışık iş istasyonlarından oluşan hatta ise montaj hattı denir. Montajı yapılan ürün, tüm istasyonları ziyaret ederek hat boyunca ilerler ve montajı tamamlanmış olarak hattı terkeder. Aşağıda Şekil 3.1'de, örnek bir montaj hattı şeması verilmiştir.



Şekil 3.1. Örnek bir montaj hattı şeması (Tanyaş ve Baskak, 2008)

Montaj hatlarının tasarlanmasında ve talep değişikliklerine göre üretim hızının tekrar ayarlanmasında ortaya çıkan en önemli problem, MHD problemidir. MHD problemi, montaj hattında yerine getirilecek görevlerin, aralarındaki öncelik ilişkileri ihlal edilmeden, belirlenen bir çevrim zamanını aşmayacak ve belirli bir performans ölçütünü eniyileyecek şekilde istasyonlara atanması problemidir (Baybars, 1986). Bu

performans ölçütü genellikle, montaj hattında açılacak olan istasyon sayısı olmakla birlikte problemin amacı, bir istasyonda bir işçinin çalışacağını varsayarak ihtiyaç duyulacak işçi (istasyon) sayısını en aza indirmektir.

3.1.1.1. Montaj hatlarının dengelemesinin amaçları

Montaj hatlarının dengelenmesinde amaçlar farklılık gösterebilirler ve birbirleriyle çelişebilirler. Ama burada asıl amaçlanan, tüm istekleri dikkate alarak en uygun çözüme ulaşmaktır.

Montaj hattının kurulmasında hedeflenenler şöyle sıralanabilir:

- Malzeme akışının düzenli olması
- İnsan gücü ve tezgah kapasitelerinin en üst düzeyde kullanılması
- İşlemlerin en kısa sürede tamamlanması
- Montaj hattı üzerindeki iş istasyonu sayısının en küçüklenmesi
- Atıl sürelerin en küçüklenmesi
- Atıl sürelerin istasyonlar arasında düzgün şekilde dağıtılması
- Üretim maliyetinin azaltılması

Burada maliyet ile hem işgücü maliyeti, hem de hattın uzunluğu ile orantılı olan kullanılan alan ve donanım maliyeti kastedilmiştir. Her ikisi de istasyon sayısını en küçüklemekle azaltılabilir.

3.1.1.2. Montaj hattı dengeleme probleminin sınıflandırılması

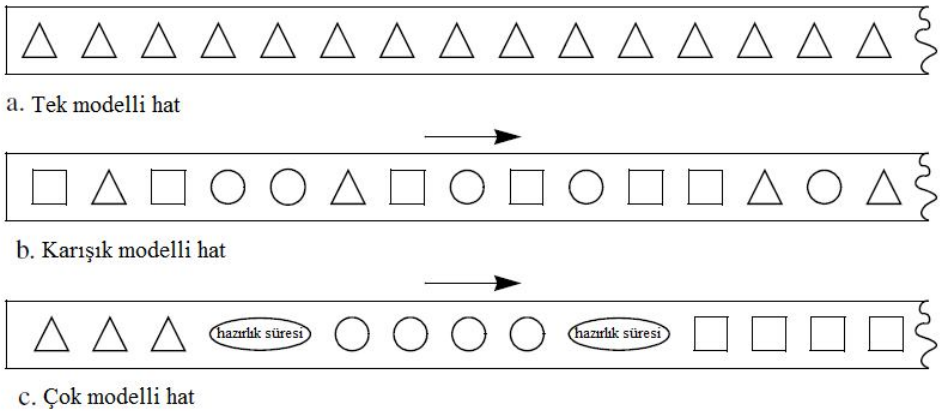
MHD problemlerinin tümünde, her iş öğesinin bir tek istasyona atandığı, öncelik kısıtlarının ve başka varolan kısıtların dikkate alındığı olurlu bir hat dengesine ulaşmak amaçtır (Becker ve Scholl, 2006).

MHD problemleri, ürün çeşitliliği, hattın şekli, görev zamanlarının durumu ve problemin performans ölçütüne göre farklı açılardan sınıflandırılabilmektedir. Aşağıda MHD problemlerinin bir sınıflandırması verilmiştir.

Ürün çeşitliliğine göre;

- *Tek Modelli MHD Problemi*, tek çeşit ürün üretilen montaj hatlarının dengelenmesi problemidir.
- *Çok / Karışık Modelli MHD Problemi*, farklı ürünlerin veya aynı ürünün farklı modellerinin üretildiği montaj hatlarının dengelenmesi problemidir.

Aşağıda Şekil 3.2.'de, ürün çeşitliliğine göre montaj hatlarının sınıflandırılması gösterilmiştir.

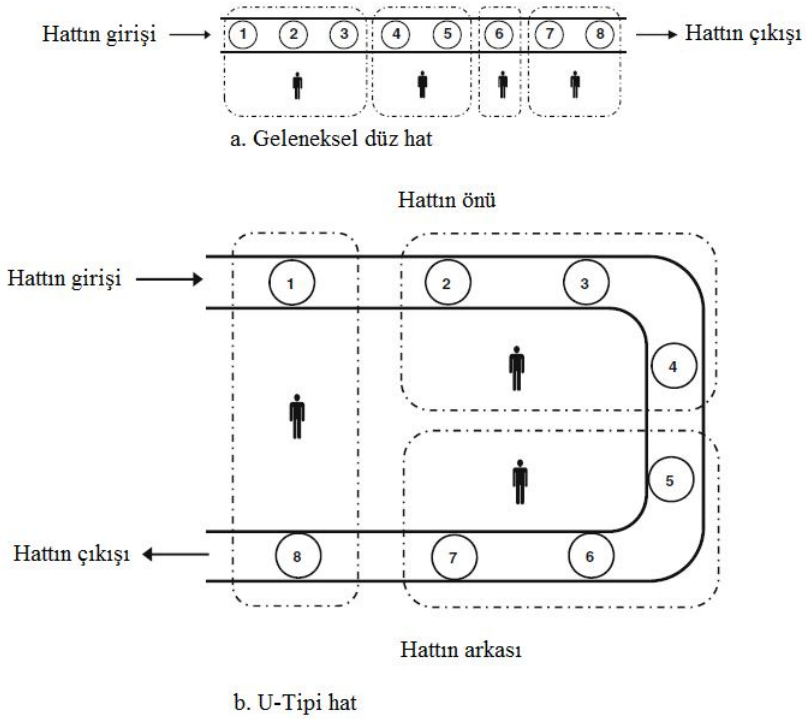


Şekil 3.2. Tekli ve çoklu ürünler için montaj hatları (Becker ve Scholl, 2006)

Hattın şekline göre;

- *Düz MHD Problemi*, düz bir çizgi şeklinde yerleştirilmiş montaj hatlarının dengelenmesi problemidir.
- *U-Tipi MHD Problemi*, U şeklinde yerleştirilmiş montaj hatlarının dengelenmesi problemidir.

Şekil 3.3.'de, Geleneksel düz ve U-Tipi montaj hattı yerleşimleri gösterilmiştir.



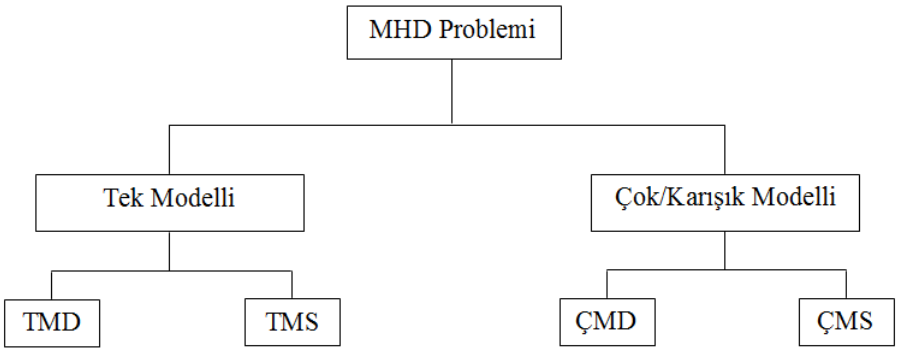
Şekil 3.3. Geleneksel düz ve U-Tipi montaj hattı yerleşimleri (Atasagun ve Kara, 2014)

Görev zamanlarının durumuna göre;

- *Deterministik Görev Zamanlı MHD Problemi*, görev zamanları belirli ve deterministiktir.
- *Stokastik Görev Zamanlı MHD Problemi*, görev zamanlarının, ortalaması ve standart sapması bilinen bir dağılıma uyduğu kabul edilir.

Buna bağlı olarak MHD problemleri, dört grupta toplanabilir; Tek modelli deterministik (TMD), Tek modelli stokastik (TMS), Çok/Karışık modelli deterministik (ÇMD) ve Çok/Karışık modelli stokastik (ÇMS) problemler.

Şekil 3.4'de, MHD problemlerinin sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 3.4. MHD problemlerinin sınıflandırılması

Tek Modelli Deterministik MHD Problemi, ürünün üretilmesi için gerekli olan işlerin sürelerinin değişken olmadığı, her tekrarda aynı sürede gerçekleştirildiği durumları içerir. İşler, öncelik ilişkileri sağlanacak ve belirli bir performans ölçütü en iyi duruma getirilecek şekilde iş istasyonlarına atanırlar. Bu tip problemlerde en sık kullanılan performans ölçütü istasyon sayısının en küçüklenmesidir. Bunun dışında toplam boş zamanın en küçüklenmesi, verilen istasyon sayısı için çevrim zamanının en küçüklenmesi ve denge gecikmesinin en küçüklenmesi gibi performans ölçütleri de bu tip problemlerde kullanılmaktadır.

Tek Modelli Stokastik MHD Problemi, tek tip ürün veya modelin üretildiği hatlarda işlerin gerçekleşme sürelerinin özellikle işgücü performansının değişkenliğinden kaynaklanan farklılaşmaların meydana geldiği durumları içerir. İşlerin gerçekleşme sürelerinin değişkenliğinin sebepleri arasında yorulma, dikkatin dağılması, yetersiz nitelikli işgücü, iş tatminsizliği, hatalı girdiler ve araç/gereç bozulmaları sayılabilir. Bu tip problemlerde amaç toplam işgücü ve toplam beklenen tamamlanmama maliyetinden oluşan toplam sistem maliyetinin en küçüklenmesidir.

Çok veya Karışık Modelli Deterministik MHD Problemi, işlerin yapılış sürelerinin her tekrarda aynı olduğu durumları içerir. Fakat bu problemlerde tek modelli hatlarda yapılan çalışmaların yanısıra model seçimi, model sıralaması, model parti büyüklükleri gibi kriterlerinde belirlenmesi gerekmektedir. Model sıralama probleminde tezgah hazırlama maliyetlerini en çok azaltan sıralamanın seçilmesi için geliştirilmiş yöntemlerden yararlanılır (Ghosh ve Gagnon, 1989).

Çok veya Karışık Modelli Stokastik MHD Problemi, işlerin yapılış sürelerinin değişkenlik gösterdiği durumları içerir. Bu problemlerin çözümünde öğrenme etkisi, işçilerin yetenek düzeyleri, işlerin yapılış sürelerindeki değişkenlik gibi faktörlerde göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak bu analizlerin farklı modeller için yapılacak olması problemin çözümünü zorlaştırmaktadır (Ghosh ve Gagnon, 1989).

Çok modelli hatlarda yapılan dengeleme işlemleri karışık modelli hatlarda yapılan işlemlerden daha kolaydır. Çünkü bu hatlarda yapılan üretimlerde benzer imalat gereksinimleri olduğundan hattın bir model için dengelenmesi (tasarlanması) ve elde edilen sonuçlardan yararlanılarak hat üzerinde gerekli düzenlemelerin yapılmasıyla diğer modeller için de uygun bir hale getirilmesi mümkündür. Çok modelli ve karışık modelli hatların dengelenmesi probleminin çözümünde yaşanılan zorluklar nedeniyle bu tip problemler için eniyi çözümü veren kesin çözüm yöntemleri yerine sezgisel yöntemlerden yararlanılır.

Performans ölçütüne göre;

TİP – I MHD Problemi, problemin amacı, belirli bir çevrim zamanı için hat boyunca açılan istasyon sayısını en küçüklemektir.

TİP – II MHD Problemi, problemin amacı belirli bir istasyon sayısı için hattın çevrim zamanını en küçüklemektir.

3.1.1.3. Montaj hatlarının dengelemesinde kullanılan temel kavramlar

MHD problemlerinde kullanılan temel kavramlar ve tanımlar aşağıda verilmiştir.

Montaj Hattı: Bir montaj hattı, birbirlerine bir malzeme taşıma sistemi ile bağlanmış, belirli sayıda ardışık istasyondan meydana gelir. Malzemeler, bu istasyonlar arasında sabit bir taşıma hızıyla hareket ettirilir. Her istasyonda, ürünün işlemlerinin tamamlanması için gerekli olan görevlerin bir kısmı tamamlanır ve hattın sonuna gelindiğinde, ürünün bütün işlemleri tamamlanmış olur.

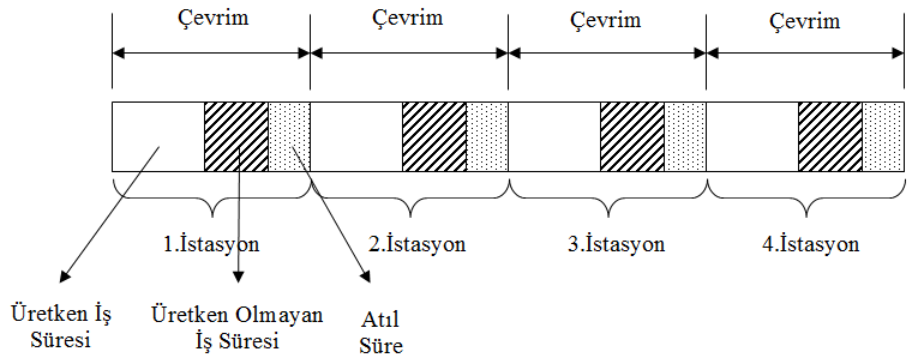
Görev: Bir montaj hattında yapılması gereken toplam işin bölünebilen en küçük parçasıdır.

Görev Zamanı: Bir görevin tamamlanabilmesi için gereken zamandır. Montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümünde bu zamanlar belirli (deterministik) olarak alınabildiği gibi, ortalaması ve standart sapması bilinen belirli bir dağılıma uyduğu da (stokastik) kabul edilebilmektedir.

İş İstasyonu: Montaj hattı üzerinde verilen bir işin, işçi/işçiler tarafından yapıldığı alandır. Her istasyonda, bir işçinin, bir işlem için gerekli araçlarla çalıştığı varsayılır. Bir montaj hattı için en az istasyon sayısının bir olduğu ve istasyon sayısı dengeleme çalışması sırasında saptanan gerekli en az istasyon sayısının altına düşmemek gerektiği kısıtları vardır.

İstasyon Zamanı: Bir iş istasyonunda yapılması gerekli olan görevlerin görev zamanlarının toplamıdır. Bir iş istasyonu zamanı, o hattaki görev zamanlarının en büyüğünden küçük olmamalıdır ve ayrıca çevrim zamanından büyük olamaz.

Çevrim Zamanı: Montaj hattında, ürünün bir istasyonda kalabileceği en büyük süre veya bir iş istasyonundaki işçinin o istasyonda yapılması gerekli işleri tamamlaması için gerekli süre olarak tanımlanabilir. Çevrim zamanı, iş istasyonu zamanına eşit veya daha büyük olabilen, iş istasyonundaki işçinin, işini tamamlayabilmesi için kullanabileceği süredir. Çevrim zamanını seçmekteki ana düşünce, gerek duyulan üretim hızıdır. Bir istasyonda, ardışık görevler için iş tamamlama ve başlatma arasında bir süre geçer. Ayrıca o istasyondaki tüm işler bitmesine rağmen çevrim zamanı dolmamış olabilir. Bu nedenle çevrim zamanı üç alt süreye ayrılabilir: Üretken iş süresi, üretken olmayan iş süresi ve atıl süre. Bunlar Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. n istasyonlu bir montaj hattında çevrim zamanının alt süreleri

Kuramsal olarak çevrim zamanı, gerçekleşmesi istenen ürün çıktısından hesaplanabilir.

C : çevrim zamanı

T : kullanılabilir üretim süresi

$ÜS$: üretilmek istenen ürün sayısı

olmak üzere aşağıdaki Eşitlik 3.1 kullanılarak hesaplanır.

$$C = T/ÜS \tag{3.1}$$

***İstasyon Boş Zamanı*:** Montaj hattının çevrim zamanı ile hatta açılan bir istasyonun istasyon zamanı arasındaki farktır.

***Toplam Boş Zaman*:** Montaj hattını oluşturan bütün istasyonlarının boş zamanlarının toplamıdır.

***Denge Kaybı*:** Görevlerin, istasyonlara dağıtımının ne ölçüde dengeli olduğunu gösteren bir ölçüttür. Denge kaybı, çoğunlukla sıfırdan büyük bir değerdir, ancak bu değerin sıfır olması ideal durumdur.

D : denge kaybı

n : dengeleme sonucunda elde edilen iş istasyonu sayısı

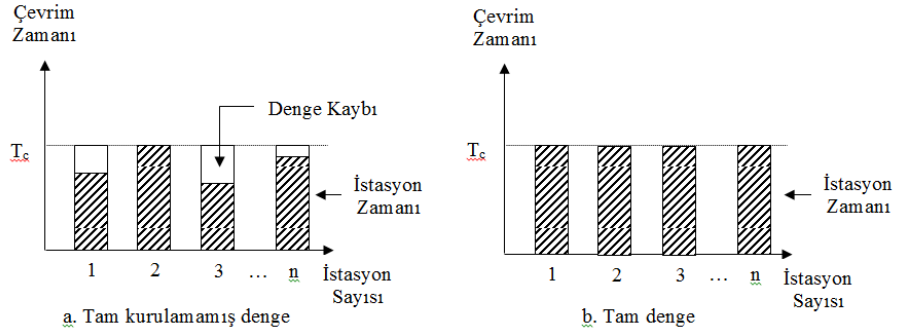
C : çevrim zamanı

$\sum_{i=1}^{N} t_i$: toplam iş süresi

olmak üzere aşağıdaki Eşitlik 3.2 kullanılarak hesaplanır.

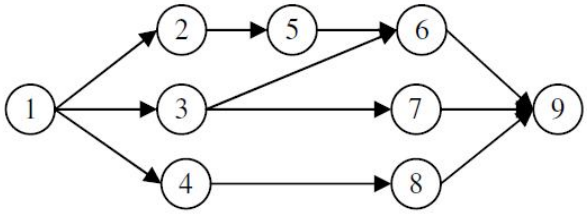
$$D(\%) = [(n \times C - \sum_{i=1}^{N} t_i)/(n \times C)] \times 100 \tag{3.2}$$

Şekil 3.6'da, denge kaybı olan ve tam dengeli hat durumları gösterilmiştir.



Şekil 3.6. n istasyonlu bir montaj hattında tam kurulamamış ve tam denge durumları

***Öncelik Diyagramı*:** Bir ürünün montaj işlemini oluşturan görevler arasında bazı öncelik veya ardıllık ilişkileri sözkonusu olmaktadır. Bir montaj hattındaki j görevinin yapılabilmesi için önce i görevinin yapılmış olması gerekiyorsa, i görevi j görevinin öncülü, j görevi ise i görevinin ardılı'dır denir. Aşağıda Şekil 3.7'de, dokuz adet görevden meydana gelen örnek bir öncelik diyagramı verilmiştir. Daire içindeki sayılar görev numaralarını ifade etmektedir.



Şekil 3.7. Dokuz görevli örnek bir öncelik diyagramı

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

Şekil 3.7'de verilen öncelik diyagramına ait öncelik matrisi aşağıda Şekil 3.8'de görülmektedir.

Ardıl görevler

Öncül görevler	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	1	1	1	1	1	1	1	1
2		-	0	0	1	1	0	0	1
3			-	0	0	1	1	0	1
4				-	0	0	0	1	1
5					-	1	0	0	1
6						-	0	0	1
7							-	0	1
8								-	1
9									-

Şekil 3.8. Dokuz görevli örnek öncelik matrisi

3.1.2. Düz montaj hattı dengeleme problemi

Bu bölümde, tek modelli deterministik görev zamanlı düz MHD probleminin temel varsayımları, kısıtları ve tamsayılı programlama modeli verilmiştir.

Tek modelli deterministik görev zamanlı düz MHD problemi ilk olarak Salveson (1955) tarafından ortaya koyulmuştur ve *basit MHD problemi* olarak bilinmektedir.

Problemin varsayımları:

- Montaj hattında tek bir ürünün montajı büyük miktarlarda gerçekleştirilir.
- Görev zamanları deterministiktir.
- Görevler arasındaki öncelik ilişkileri bilinmektedir.
- Bir görev iki ya da daha fazla sayıda istasyon arasında paylaştırılamaz.
- Bir görev, kendisinden önce gelen görevler (öncüller) tamamlanmadan başlayamaz.

Problemin kısıtları:

Tek modelli deterministik görev zamanlı düz MHD probleminin temel olarak, atama kısıtları, çevrim zamanı kısıtları ve öncelik ilişkileri kısıtları olmak üzere üç tane kısıtı vardır.

Atama kısıtları: Montaj hattındaki bütün görevler istasyonlara atanmak zorundadır ve bir görev yalnızca bir istasyona atanabilir.

Çevrim zamanı kısıtları: Montaj hattında yer alan herhangi bir istasyonun zamanı, belirlenen çevrim zamanını aşamaz.

Öncelik ilişkileri kısıtları: Bir görevin bir istasyona atanabilmesi için, o görevden önce gelen tüm görevlerin (öncüllerin) daha önce açılmış istasyonlara veya üzerinde atama yapılan istasyona atanmış olması gerekir.

Basit düz MHD probleminin Talbot ve Patterson (1984) tarafından önerilen tamsayılı programlama modeli aşağıda verilmiştir:

$$En\ küçükle \sum_{j=1}^{m_{max}} j k_{nj} \tag{3.3}$$

$$\sum_{j=1}^{m_{max}} k_{ij} = 1 \qquad \forall i \tag{3.4}$$

$$\sum_{i=1}^{n} t_i k_{ij} \leq C \qquad \forall j \tag{3.5}$$

$$\sum_{j=1}^{m_{max}} j \left(k_{rj} - k_{sj}\right) \leq 0 \qquad \forall (r,s) \in S \tag{3.6}$$

$$k_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i; \forall j \tag{3.7}$$

Burada:

i, r, s : görev

j : istasyon

C : çevrim zamanı

m_{max} : en büyük istasyon sayısı

n : toplam görev sayısı

t_i : i görevinin tamamlanma süresi

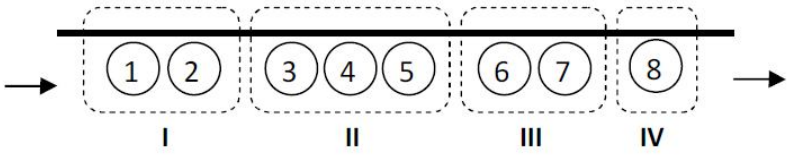
S : öncelik ilişkileri kümesi

$(r, s) \in S$: bir öncelik ilişkisi; r görevi s görevinin komşu öncülüdür

k_{ij} : 1, i görevi j istasyonuna atanmış ise; 0, aksi halde

Problemin amaç fonksiyonu (3.3), öncelik diyagramındaki son görevi mümkün olan en erken istasyona atamak, dolayısıyla montaj hattı boyunca açılan istasyon sayısını en küçüklemektir. (3.4) numaralı kısıt, bütün görevlerin istasyonlara atanmasını ve her görevin bir kere atanmasını sağlamaktadır. (3.5) numaralı kısıt, açılan bir istasyondaki görevlerin görev zamanları toplamının çevrim zamanını aşmaması içindir. (3.6) numaralı kısıt öncelik ilişkileri kısıtı olup, öncülü olan bir görevin ya öncülüyle aynı istasyona ya da öncülünden sonraki bir istasyona atanmasını sağlamaktadır. (3.7) numaralı kısıt ise modeldeki bütün k_{ij} değişkenlerinin ikili düzende $(0-1)$ olduğunu ifade etmektedir.

Şekil 3.9'da dengelenmiş ve dört iş istasyonundan meydana gelen bir düz montaj hattı görülmektedir.



Şekil 3.9. Dengelenmiş bir düz montaj hattı

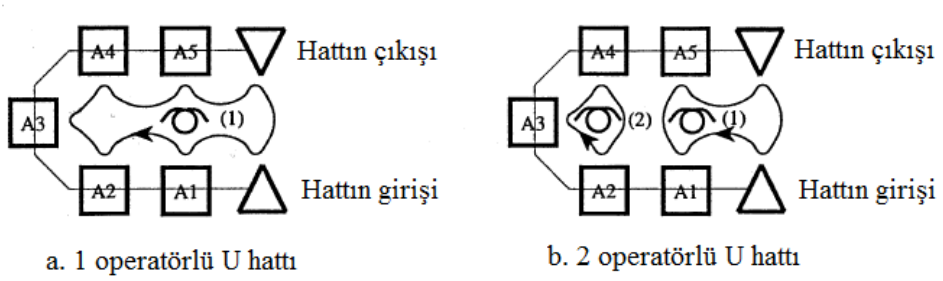
3.1.3. U-Tipi montaj hattı ve dengeleme problemi

Geleneksel düz hatlardan farklı olarak U-Tipi montaj hatlarında yerleşim U şeklinde olup, hattın giriş ve çıkışı aynı pozisyonda bulunmaktadır. U-Tipi montaj hatlarının en önemli avantajı ise, talepte meydana gelen değişikliklere uyum sağlanırken, ihtiyaç duyulan işçi sayısını kolayca değiştirebilecek esnekliği

sunmalarıdır. U-Tipi montaj hattı uygulamalarında karşılaşılan en önemli problem, işçilerin yapacakları görevlerin belirli bir çevrim zamanına göre belirlenmesidir. Yani, istasyonlara atanacak görevlerin belirlenmesidir. Bu problem literatürde U-Tipi MHD problemi olarak adlandırılır. Bu bölümün alt başlıkları altında tez çalışmasının esas konusu olan U-Tipi montaj hattı ve dengeleme problemi detaylı olarak anlatılmıştır.

3.1.3.1. U-Tipi montaj hatları

Son yıllarda işletmelerin TZÜ ilkesini uygulamaya başlaması ile geleneksel düz hatların yerini U-Tipi hatlar almaya başlamıştır. U-Tipi hatta, makinalar hattın etrafına dizilidir, işçiler ise hattın iç tarafında çalışırlar. U-Tipi hatlarda çalışan işçilerin yüksek nitelikli olmaları, yani birden çok süreç içerisinde çalışabilecek durumda olmaları, U-Tipi montaj hatlarının esnekliğinin dayandığı noktadır. Genelde hattın girişi ve çıkışından bir işçi sorumludur. Bu sayede hattan bir ürün çıkmadan, yeni bir ürünün hatta girmesine izin verilmez, dolayısıyla da hatta bir sorun olduğunda, hattın hemen durdurulması olanaklı olur. U-Tipi hatlarda çalışan işçi sayısı, hattaki istasyon sayısına bağlı olarak değişebilir. Bir ve birden fazla işçinin çalıştığı U-Tipi hatlar vardır (Miltenburg, 2001a). Şekil 3.10'da bir ve iki operatörlü U-Tipi hatlar gösterilmiştir.



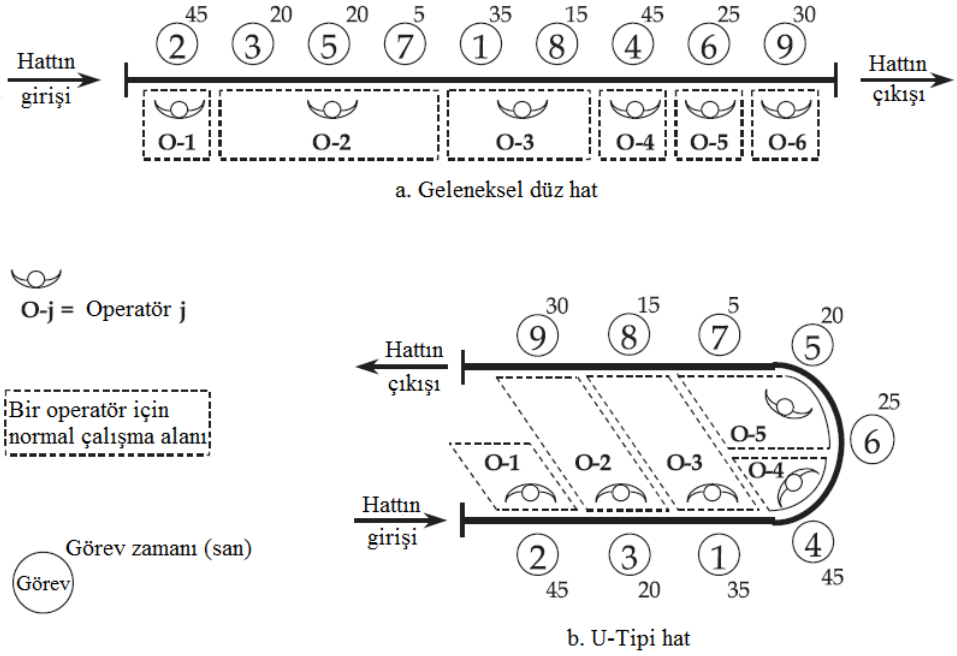
Şekil 3.10. Bir ve iki operatörlü U-Tipi hatlar (Miltenburg, 2001a)

Düz montaj hattı sistemlerini U-Tipi montaj hattı sistemlerine dönüştürme kararı, büyük bir yerleşim tasarımı değişikliği ve montaj işlemleri için yatırımı içerir. Yalın üretim destekçileri ve TZÜ felsefesi, U-Tipi montaj hattı sistemlerinin geleneksel düz hat yerleşiminden daha fazla işgücü verimliliği gelişimini içeren fayda sunduğunu ileri sürer. Bu faydalar firmaların montaj hatlarını neden geleneksel düz hattan, U-Tipi hatta dönüştürmeyi düşündüklerinin esas sebebini genellikle ortaya koyar (Aase ve ark., 2004).

U-Tipi hatların geleneksel düz hatlara kıyasla çeşitli üstünlükleri vardır. Geleneksel düz hatlarda bir veya birkaç görevden sorumlu olan işçi, hattın belirli bir

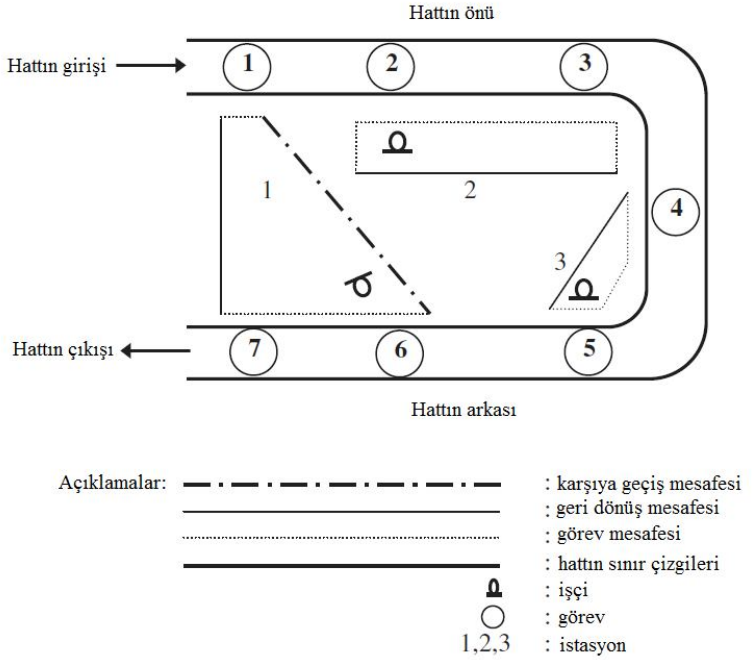
kısmında çalışırken, U-Tipi hatlarda geleneksel düz hatlardan farklı olarak hattın farklı kısımlarında çalışabilmektedir, yani hat üzerinde ardışık olarak bulunmayan görevlerden sorumlu olabilirler. İşçilerin birbirleriyle yakın konumlanmış olması, işçiler arasındaki iletişim düzeyini yükseltir. İşçiler sorun yaşandığında iletişime geçebilir, birbirlerine yardım edebilir ve böylece sorunu kısa sürede çözebilirler. Ayrıca U-Tipi hatlarda, hat işçiler tarafından daha rahat gözlemlenebilir, bu da kalite sorunları gibi sorunların çabuk saptanabilmesine ve anında müdahaleye olanak tanır. U-Tipi hatlarda işçilerin hat üzerindeki tüm işleri yapabilecek kadar nitelikli olmaları, geleneksel düz hatlar karşısındaki başka bir üstünlüktür. Bu sayede işçiler talebin artıp azalmasına göre hatlara rahatlıkla atanabilir, bu da beraberinde yüksek oranda esnekliği getirir. Artan talebin, düşük nitelikli işgücü nedeniyle çevrim süresini değiştiremeyip, üretim saatini arttırarak karşılandığı geleneksel düz hatlara kıyasla, U-Tipi hatlardaki bu esneklik sayesinde talep değişiklikleri, hat üzerindeki çalışan sayısının değiştirilmesi ile kolayca çözülür. Ayrıca işçilerin bir bütün olarak yapılan iş hakkında bilgi sahibi olmaları, sürecin geliştirilmesine yardımcı olabilmelerini sağlar.

U-Tipi montaj hattını geleneksel düz montaj hattından ayıran en önemli özelliği, hattın girişinin ve çıkışının aynı yönde olmasıdır. U-Tipi montaj hatları ile geleneksel düz montaj hatları arasındaki yerleşim farkı, Şekil 3.11.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Geleneksel düz ve U-Tipi hat yerleşimi farkı (Aase ve ark., 2003)

Aşağıda Şekil 3.12'de, yedi adet görevin yapıldığı bir U-Tipi montaj hattı verilmiştir. U-Tipi montaj hatlarının, parçanın hatta girdiği tarafına *hattın önü*, parçanın hattan çıktığı tarafına ise *hattın arkası* adı verilir. Bu hatlarda, hattın önü ve arkası aynı uzunluktadır. Şekil 3.12'de görülen U-Tipi montaj hattı üç adet istasyondan meydana gelmektedir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar U-Tipi montaj hatlarında ihtiyaç duyulan işçi sayısının (farklı bir ifade ile istasyon sayısının) aynı üretim miktarı için düz montaj hatlarında ihtiyaç duyulan işçi sayısına eşit veya bundan az olduğunu göstermektedir (Kara, 2004).



Şekil 3.12. Yedi görevli bir U-Tipi montaj hattı (Kara ve Tekin, 2009)

Bir U-Tipi montaj hattında, istasyonlara atanan görevlerin hat üzerindeki yerlerine bağlı olarak iki farklı istasyon ortaya çıkmaktadır. Bunlar (Kara, 2004);

- Görevleri hat üzerinde sıralı bir biçimde yerleştirilmiş olan *Klasik* istasyonlar. Şekil 3.12'deki (2) ve (3) nolu istasyonlar klasik istasyonlardır. Bir klasik istasyonda çalışan işçi, iki farklı türde mesafeyi yürür. Bunlardan ilki: bir görevin tamamlanabilmesi için gerekli olan *görev mesafesi*, diğeri ise, çevrim tamamlandıktan sonra istasyonun başlangıcına geri dönmek için gerekli olan *geri dönüş mesafesi*'dir.
- Hattın hem önünden hem de arkasından görevler içeren *Karşıya Geçişli* istasyonlar. Şekil 3.12'deki (1) nolu istasyon karşıya geçişli istasyondur.

Karşıya geçişli istasyonlarda, klasik istasyonlardan farklı olarak bir de *karşıya geçiş mesafesi* vardır. Karşıya geçiş mesafesi, işçinin sorumlu olduğu bir görevi yerine getirebilmesi için hattın önünden hattın arkasına yürüdüğü mesafedir.

U-Tipi montaj hatlarında, bir istasyonun yükü, istasyona atanan görevlerin zamanları toplamının yanı sıra, işçinin istasyondaki yürüme zamanına bağlıdır. U-Tipi MHD problemleri çözülürken yürüme zamanları istasyon yüküne dahil edilebileceği gibi, göz ardı edilmeleri de çok fazla sorun oluşturmayacaktır. Bazı çalışmalarda, yürüme zamanlarının görev zamanlarına dahil edildiği de görülmektedir (Kara, 2004).

3.1.3.2. U-Tipi montaj hatlarının sağladığı yararlar

Pek çok faktör U hattının popülaritesine katkıda bulunmuştur. Bu faktörler ve U hattının faydaları literatürde birçok bilim adamı tarafından tartışılmış ve izleyen fayda ve faktörler bulunmuştur (Cheng ve ark., 2000).

Miktar Esnekliği:

TZÜ ortamında bir hattın üretim hızı sık sık değişir. Böylesi bir ortamda, miktar esnekliğinden dolayı U-Tipi hat düz hatta tercih edilir. Hattaki operatör sayısını arttırma ya da azaltma yoluyla, şirket gereksinim duyulduğunda üretim hızını ayarlayabilir. Miktar esnekliğini bu ölçüde düz bir hatla elde etmek zordur.

Operatör Esnekliği:

U-Tipi hatta yürüme mesafesi düz hattan daha kısa olduğu için, bir operatörün pek çok iş merkezini izlemesi daha kolaydır.

İş İstasyonu Sayısı:

U-Tipi hatta gereksinim duyulan iş istasyonu sayısı düz hatta gereksinim duyulandan asla daha fazla değildir, bazen daha azdır. Bu, U-Tipi hattaki iş istasyonlarına görev gruplamada daha fazla imkan olduğundandır.

Malzeme Taşıma:

U-Tipi hatlar konveyörler ve özel malzeme taşıma operatörleri gibi özel malzeme taşıma ekipmanlarına ihtiyacı ortadan kaldırır. Onun yerine üretim operatörleri ürünleri makineden makineye taşır.

Görülebilirlik ve Ekip Çalışması:

Küçük boyutlu bir U hattı görülebilirlik ve iletişimi geliştirir. Bu ekip çalışmasını geliştirir, daha büyük bir ait olma duygusu verir ve operatörlerin uzun bir

hat boyunca birbirlerinden ayrı hareket ettikleri ve belki stok duvarlarıyla ayrıldıkları düz bir hattan daha çok sorumluluğu ve sahipliği arttırır.

Yeniden İşleme:

Toplam Kalite Yönetiminin bir prensibi, hatalı bir ürün üretildiği istasyona geri döndükten sonra ilk fırsatta kalite problemlerini düzeltmeyi gerektiren kaynak kalitesidir. Bir U hattında hatalı ürünün geri dönmesi için mesafe, bu prensibi izlemeyi daha kolaylaştıracak kadar kısadır. Bu, hatalı ürünü ayrı bir yeniden işleme bölgesine gönderen geleneksel politikayla çelişir.

Geleneksel düz hatların yerine U hatların tercih edilmesinin çeşitli yararları vardır. Bunlar (Miltenburg ve Wijngaard, 1994);

- Yerleşim nedeniyle çalışanların birbirleriyle daha rahat görsel temas ve iletişim kurmaları sağlanır. Bu durum bir kalite problemi meydana geldiğinde daha çabuk belirlenmesi ve karar verilmesini sağlar.
- Çalışanlar U hatlarda birçok işi yerine getirebilecek veya birçok farklı makinayı kullanabilecek yüksek beceriye sahip hale gelirler. Bu durum çevrim süresinin veya çıktı hızının değiştirilmesinin gerektiği zamanlarda işçilerin herhangi bir makinaya hemen adapte olmalarını sağlar. Ayrıca çalışanlar birden fazla işi yerine getirebilme düzeyine ulaştıklarında işler arasındaki ilişkileri anlamaktadırlar. Böylece çalışanların gelişime daha iyi katkıda bulunmaları sağlanmaktadır.
- TZÜ uygulamasının sonucunda talepteki değişikliklere uyum sağlanabilmesi kolaylaşmıştır. U hattın çıktı hızı hatta yeni işçi ilave edilmesi veya işçi eksiltilmesi ile düzenlenebilmektedir. Talep düşük olduğunda hatta az işçi çalıştırılmakta ve bu durumda herbir işçi oldukça yüksek sayıda makinadan sorumlu olduğundan hattın üretim hızı düşmektedir. Sonuçta üretim adetleri de talebe uygun hale gelmektedir. Hattaki ürüne talep arttığı zaman ise, hatta işçi takviyesi yapılmaktadır. Bu durumda herbir işçi daha az sayıda makinadan sorumlu olacağından üretim hızı ve üretim miktarı talebe uyumlu hale gelecektir. Geleneksel düz hatlarda ise işçilerin farklı işlere ve farklı makinalara uyum sağlamaları güç olduğundan bu hatlarda tekrar dengeleme çalışması yapılması çok zordur. Bu tip hatlarda çevrim süresi genellikle değişmediğinden talepteki değişim hattın çalışma süresinin düzenlenmesi ile karşılanmaya çalışılır.

- U hatlarda ihtiyaç duyulan istasyon sayısı geleneksel hatlarda ihtiyaç duyulandan daha azdır. Çünkü U hatlarda işlerin istasyonlarda gruplandırılması için birçok olasılık vardır.

U-Tipi montaj hatları, yukarıdaki üstünlüklerinin yanı sıra, stokların azaltılması, malzeme taşımalarının basitleştirilmesi, üretim planlaması ve kontrolünün kolaylaştırılması, takım çalışması ve problem çözmeye elverişli olması, daha iyi kalite kontrol sağlanması gibi birçok sebepten dolayı da tercih edilmektedir.

3.1.3.3. U-Tipi montaj hattı dengeleme problemi

U-Tipi MHD problemleri, düz MHD problemlerinin üzerine inşa edilmiştir. Literatürde U-Tipi MHD problemleri ile ilgili mevcut olan çalışmaların hemen hepsinde düz MHD problemleri için önerilen yaklaşımların U-Tipi montaj hatlarına uyarlandığı görülmektedir.

Düz MHD problemleri için kullanılan *atama ve çevrim zamanı* kısıtları, U-Tipi MHD probleminde de aynen geçerli olup, sadece *öncelik ilişkileri* kısıtı, U-Tipi montaj hatlarının özel yapısından dolayı farklılık göstermektedir. U-Tipi montaj hatlarında hattın girişiyle çıkışının aynı yönde olması nedeniyle hat içerisinde çalışan bir işçi, hattın hem başlangıç hem de bitiş tarafındaki görevleri yerine getirebilecektir. Buna bağlı olarak, U-Tipi MHD problemi için *öncelik ilişkileri kısıtı* aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Miltenburg ve Wijngaard, 1994):

- *U-Tipi montaj hatları için öncelik ilişkileri kısıtı:* Bir görevin bir istasyona atanabilmesi için, o görevin bütün öncüllerinin veya bütün ardıllarının daha önce oluşturulan istasyonlara veya üzerinde atama yapılmakta olan istasyona atanmış olması gerekir.

U-Tipi MHD problemlerini düz MHD problemlerinden ayıran en önemli özellik yukarıda belirtilen öncelik ilişkileri kısıtıdır. Düz MHD'de, bir istasyona atanabilecek görevler kümesi, öncülü olmayan veya bütün öncülleri daha önceki istasyonlara atanmış görevlerden oluşmaktadır. U-Tipi MHD'de ise, bir istasyona atanabilecek görevler kümesi, hem öncülü olmayan görevler hem de ardılı olmayan görevlerden oluşmaktadır. Dolayısıyla her hangi bir istasyon için, o istasyona atanabilecek görevlerin oluşturacağı küme, U-Tipi montaj hatlarında, düz montaj hatlarına göre daha geniş olacaktır. Bunun sonucu olarak bir montaj hattını U-Tipi olarak dengelemek, aynı hattı düz olarak

dengelemeye göre daha fazla dengeleme esnekliği sağlamakta ve açılacak istasyon sayısı daha az olabilmektedir.

Aşağıda tek modelli deterministik görev zamanlı U-Tipi MHD probleminin varsayımları, kısıtları ve Urban (1998) tarafından önerilen tamsayılı programlama modeli verilmiştir:

Problemin varsayımları:

Tek modelli deterministik görev zamanlı düz MHD probleminin *öncelik ilişkileri* haricindeki diğer varsayımları tek modelli deterministik görev zamanlı U-Tipi MHD problemi için de aynen geçerlidir. *Öncelik ilişkileri* ile ilgili varsayım ise aşağıda belirtildiği şekilde değişiklik göstermektedir:

- Bir görev, kendisinden önce gelen görevler (öncüller) veya kendisinden sonra gelen görevler (ardıllar) tamamlanmadan başlayamaz.

Problemin kısıtları:

Tek modelli deterministik görev zamanlı U-Tipi MHD probleminde, tek modelli deterministik görev zamanlı düz MHD probleminin *atama ve çevrim zamanı* kısıtları aynen geçerlidir. Sadece *öncelik ilişkileri* kısıtı farklılık göstermekte olup yukarıda belirtilmiştir.

U-Tipi MHD için Urban (1998) tarafından geliştirilmiş olan tamsayılı programlama modeli aşağıda verilmiştir:

$$En\ küçükle \sum_{j=[m_{min}]+1}^{m_{max}} z_j \tag{3.8}$$

$$\sum_{j=1}^{m_{max}} (x_{ij} + y_{ij}) = 1 \qquad \forall i \tag{3.9}$$

$$\sum_{i=1}^{n} t_i (x_{ij} + y_{ij}) \leq C \qquad j = 1,2,\dots,[m_{min}] \tag{3.10}$$

$$\sum_{i=1}^{n} t_i (x_{ij} + y_{ij}) \leq C z_j \qquad j = [m_{min}]+1,\dots,[m_{max}] \tag{3.11}$$

$$\sum_{j=1}^{m_{max}} (m_{max} - j + 1)(x_{rj} - x_{sj}) \geq 0 \qquad \forall (r,s) \in S \tag{3.12}$$

$$\sum_{j=1}^{m_{max}} (m_{max} - j + 1)(y_{sj} - y_{rj}) \geq 0 \qquad \forall (r,s) \in S \tag{3.13}$$

$$x_{ij}, y_{ij}, z_j \in \{0,1\} \qquad \forall i; \forall j \tag{3.14}$$

Burada:

i, r, s : görev

j : istasyon

C : çevrim zamanı

m_{max} : en büyük istasyon sayısı

m_{min} : en küçük istasyon sayısı

n : toplam görev sayısı

t_i : i görevinin tamamlanma süresi

S : öncelik ilişkileri kümesi

$(r, s) \in S$: bir öncelik ilişkisi; r görevi s görevinin komşu öncülüdür

x_{ij} : 1, i görevi j istasyonunun ön tarafına atanmış ise; 0, aksi halde

y_{ij} : 1, i görevi j istasyonunun arka tarafına atanmış ise; 0, aksi halde

z_j : 1, j istasyonu açılmış ise; 0, aksi halde

Yukarıdaki modelin amacı (3.8), U-Tipi montaj hattı boyunca açılacak istasyon sayısını en küçüklemektir. (3.9) numaralı kısıt, bütün görevlerin istasyonlara atanmasını ve her görevin, hattın ya ön ya da arka tarafına olmak üzere bir kere atanmasını sağlamaktadır. (3.10) ve (3.11) numaralı kısıtlar, açılan bir istasyona, hattın ön ve arka tarafından atanmış tüm görevlerin görev zamanları toplamının çevrim zamanını aşmaması içindir. (3.12) ve (3.13) numaralı kısıtlar öncelik ilişkileri kısıtları olup, (3.12) numaralı kısıt öncülü olan bir görevin ya öncülüyle aynı istasyona ya da öncülünden sonraki bir istasyona atanmasını sağlamaktadır. (3.13) numaralı kısıt ise ardılı olan bir görevin ya ardılıyla aynı istasyona ya da ardılından sonraki bir istasyona atanmasını sağlamaktadır. (3.14) numaralı kısıt ise modeldeki bütün x_{ij}, y_{ij} ve z_j değişkenlerinin ikili düzende $(0-1)$ olduklarını ifade etmektedir.

3.1.4. Araştırmada kullanılan test problemleri

Araştırma kapsamında, literatürdeki çeşitli çalışmalardan elde edilmiş, görev sayıları 7 ile 111 arasında değişen 12 adet farklı MHD problemine, farklı çevrim zamanları uygulanarak oluşturulmuş 64 adet test probleminden oluşan bir veri seti kullanılmış ve tüm problemler U-Tipi MHD problemi olarak çözülmüştür. İlgili veri seti literatürde, Talbot ve ark. (1986) problem seti olarak bilinmektedir. Veri setindeki tüm problemlerin öncelik ilişkilerine, görev zamanlarına ve ilgili çevrim zamanı için optimal istasyon sayılarına ilişkin verilere http://www.assembly-line-balancing.de adresinden erişilmiştir.

Ayrıca, araştırma kapsamında KADT ve önerilen DKA Algoritması, Visual Studio 2010 C# programlama dilinde kodlanmış ve çözümler Intel Core i7 Q740 1,73 GHz işlemci, 6 Gb RAM'e sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir.

3.2. Yöntem

Bu bölümün birinci kısmında DKA meta-sezgisel yöntemi ile ilgili tanımlar ve açıklayıcı bilgiler, ikinci kısmında ise önerilen yöntemin tek modelli determinstik görev zamanlı U-Tipi MHD problemine uygulanması verilmiştir.

3.2.1. Değişken komşu arama

Büyük boyutlu problemler optimal veya etkin olarak kesin algoritmalar ile çözülemediğinde, bu problemlerin çözümü için sezgisel yöntemler kullanılmaktadır. Eğer eldeki problem NP-Zor sınıfında bir problem ve problemin çözümü için zaman kısıtlı ise, o halde optimal çözümü garanti etmeksizin daha az çözüm zamanı ile optimal yada optimale yakın iyi bir çözümü elde etmeyi hedefleyen sezgisel yöntemlerin kullanılması iyi bir seçenek olacaktır. Bu yöntemlerden biri Yerel Arama Algoritmaları (YAA)'dır.

YAA, en eski ve en kolay optimizasyon yöntemlerinden biridir. NP-Zor sınıfında yer alan problemlere makul zamanda kaliteli çözüm bulmak için kullanılan YAA, bir başlangıç çözümü ile başlar ve yerel değişmeler ile bu çözümü iyileştirmeye çalışır. Yerel değişimler ile daha fazla iyileştirilme yapılmadığında ise algoritmadan çıkılmaktadır. YAA ile bulunan çözüm, yerel değişimler açısından en iyi çözümdür, ancak bu çözüm global en iyi çözüm olmayabilir. Yerel en iyi çözümlerde saplanıp kalmamak için, tavlama benzetimi, tabu arama, genetik algoritma, karınca kolonisi optimizasyonu, kuş sürüsü optimizasyonu vb. meta-sezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Arama uzayındaki yerel en iyi tuzaklardan kurtulmak için, Pierre Hansen ve Nenad Mladenovic (1997) tarafından geliştirilen bir başka meta-sezgisel yöntem ise Değişken Komşu Arama meta-sezgisel yöntemidir. Aramada kullanılan komşuluk yapılarının sistematik biçimde değiştirilmesi esasına dayanan DKA algoritması, kombinatoryal ve global optimizasyon problemleri için basit ve etkin bir meta-sezgiseldir.

Arama sırasında tek bir çözüm kullanan DKA meta-sezgisel algoritması, mevcut çözümün artan uzaklıktaki komşuları arasında araştırmayı gerçekleştirir ve eğer daha iyi bir çözüm bulunmuş ise mevcut çözümden iyi çözüme geçiş yapar. Bu strateji ile, mevcut çözümdeki iyi özellikler korunur ve daha iyi çözümlerin elde edileceği bölgelerde aramaya yönlenilir. DKA meta-sezgisel algoritması, bu komşulardan yerel en iyi çözüme ulaşmak amacıyla yerel arama yöntemini kullanır (Hansen ve Mladenovic, 2001). DKA, aşağıda verilen 3 temel özelliğe dayalıdır:

- Bir komşuluk yapısına göre elde edilen yerel en iyi çözüm diğer komşuluk yapılarına göre bir yerel en iyi çözüm olmak zorunda değildir.
- Global en iyi çözüm, tüm komşuluk yapılarına göre bir yerel en iyi çözümdür.
- Bir veya birkaç komşuluk yapısına göre yerel en iyi çözüm genellikle birbirine benzerdir.

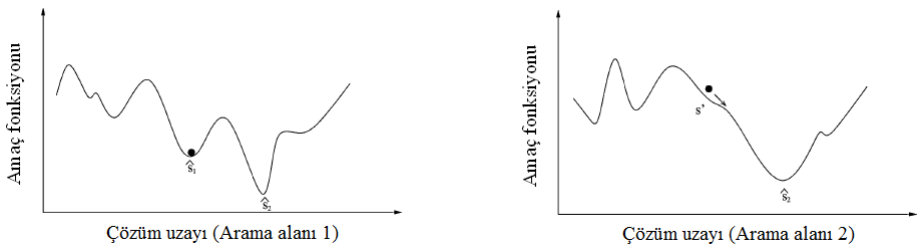
Algoritmanın çalıştırılabilmesi için önceden tanımlanması gereken parametreler vardır. Bu parametreler ve açıklamaları aşağıda verilmiştir:

Başlangıç çözümü

Başlangıç çözümü algoritmanın esas girdilerinden biridir ve rassal veya çözüm kurucu sezgisel ile oluşturulabilir. Başlangıç çözümünün oluşturulma biçimine bağlı olarak algoritmanın çözüm zamanı ve elde edilen çözümlerin kalitesi farklı olacaktır.

Komşuluk yapıları

DKA algoritmasında ilk olarak komşuluk yapıları tanımlanmalıdır. Yerel arama sezgiselleri bir komşuluk yapısı kullanırken, DKA meta-sezgisel algoritması birçok farklı komşuluk yapılarını kullanmaktadır. Birçok farklı komşuluk yapıları kullanımının avanatajı, bir komşuluk yapısına göre bulunan yerel en iyi çözümden daha iyi yerel en iyi çözümün bulunabilmesidir. Bunu yapabilmek için DKA algoritması daha önceden belirlenen ve aramada kullandığı komşuluk yapılarını değiştirmektedir. Blum ve Roli (2003) çalışmalarında, komşuluk yapılarının değiştirilmesinin etkililiğini açıklamış ve bir komşuluk yapısına göre elde edilen yerel en iyi çözümün, başka komşuluk yapılarına göre büyük bir ihtimalle yerel en iyi çözüm olmayacağını belirtmişlerdir. Farklı komşuluk yapıları kullanımının etkisi Şekil 3.13'de görülebilmektedir. Şekilde, iki farklı komşuluk yapıları ile taranan iki arama alanı gösterilmiştir. Birinci arama alanında tarama yapılan komşuluk yapısı ile, $\hat{s}_1$ yerel en küçük çözüm ile arama sonlanırken, ikinci arama alanında tarama yapılan komşuluk yapısı ile, s' çözümünden devam edilerek $\hat{s}_2$ daha iyi yerel en küçük çözümü elde edilmektedir.



Şekil 3.13. İki farklı komşuluk yapıları ile taranan iki arama alanı (Blum ve Roli, 2003)

DKA'da, Hansen ve Mladenovic (2001) tarafından tanımlanan N_k, $(k = 1,2,\dots,k_{max})$ daha önceden belirlenmiş sonlu sayıda komşuluk yapıları kümesini gösterir. S mümkün olan tüm çözüm kümesini ve $N_k(s)$ ise s çözümünün k'ıncı komşuluk yapısıyla elde edilen çözümlerinin kümesini ifade eder. Komşuluk yapılarını hem seçmek ve hem de sırasını belirlemek algoritmanın performansı açısından önemli bir karardır. Genellikle komşuluk sıralaması, yakın alandan uzak alana doğru arama yapılabilecek şekilde belirlenir.

Durdurma koşulu

Kullanılabilir süreden verimli şekilde yararlanmak için, durdurma koşulu dikkatle ayarlanmalıdır. Algoritma, optimal ya da optimale yakın çözümler bulabilmesi için yeterince uzun çalışmalıdır, ama aynı zamanda iyileşme yapmadan boş yere çalışmaya devam etmemelidir. Genellikle durdurma koşulu olarak, en büyük çözüm zamanı, en büyük iterasyon sayısı ve iki iyileşme arasındaki en büyük iterasyon sayısı kullanılmaktadır. Durdurma koşullarından sadece biri kullanılabildiği gibi, iki veya daha fazlasıda beraber kullanılabilir. Çözülecek problemin yapısına ve kullanılabilir süreye bağlı olarak, başka durdurma koşullarıda geliştirilebilir.

DKA yöntemine ait adımlar aşağıda verilmiştir:

N_k komşuluk yapıları kümesini seç $(k = 1,2,\dots,k_{max})$

s başlangıç çözümünü bul $(s \in S)$

Bir durdurma koşulu seç ve durdurma koşulu sağlanıncaya kadar aşağıdaki adımları tekrarla

Adım 1. $k = 1$ olarak ayarla

Adım 2. $k = k_{max}$ oluncaya kadar aşağıdaki adımları tekrarla

Adım 2.1. s'den k. komşuluk yapısına göre en iyi komşuyu (s') seç

Adım 2.2. Eğer $f(s') < f(s)$ ise $s = s'$ olarak kaydet ve $k = 1$ olarak devam et; değilse $k = k + 1$ olarak devam et

Yukarıda adımları verilen DKA algoritmasında, başlangıç çözümünün (s) tanımlanan birinci komşuluk alanının içindeki en iyi çözümü (s') bulunur. Eğer s' çözümü daha iyi ise algoritma s' için yeniden birinci komşuluk alanı içinde en iyi çözümü araştırır. Çözüm kötü ise bir sonraki komşuluk alanından çalışmaya devam eder. Elde edilen son çözüm bütün komşuluk yapılarına göre (k_{max}) yerel en iyi çözüm olmalıdır ve böylece global en iyi çözüme ulaşma olasılığı tek bir komşuluk yapısı kullanma durumuna göre daha yüksek olmaktadır.

3.2.2. DKA yöntemi ile tek modelli deterministik U-Tipi hat dengeleme

Başlangıç çözümünün oluşturulması

DKA algoritması için öncelikle bir başlangıç çözümünün oluşturulması gerekmektedir. Başlangıç çözümünün oluşturulmasında Konum Ağırlıklı Dengeleme Tekniği (KADT) algoritması kullanılmıştır. Bu yöntem, 1960'lı yılların başlarında Helgeson ve Birnie tarafından General Electric Company'de geliştirilmiş olan, diğer yöntemlere göre daha hızlı ve iyi çözümler veren ancak optimal çözümü vermeyi garanti etmeyen sezgisel bir yöntemdir. Her göreve, kendisinden sonra gelen görevlerin toplam süresinin büyüklüğüne göre bir ağırlık verilir. Bu ağırlığa Konum Ağırlığı (KA) denir. Burada amaç, KA'sı büyük olan göreve, atamada öncelik vermektir (Helgeson ve Birnie, 1961). Bu yöntemde aşağıda verilen adımlar izlenir:

Adım 1. Öncelik diyagramını oluştur.

Adım 2. Her bir görev için KA değerini hesapla (Bir görevin KA'sı, o görevin kendi süresi ile, o görevin ardılı olan görevlerin süreleri toplamına eşittir).

Adım 3. Görevleri KA'lara göre büyükten küçüğe sırala.

Adım 4. En yüksek KA'ya öncelik vererek görevleri sıraya göre istasyonlara ata.

Adım 5. Sıradaki görev atandığında istasyon zamanı çevrim zamanını aşıyorsa, öncelik ilişkilerini ihlal etmediği sürece bir sonraki görevi atamaya çalış. Atanabilecek görev yoksa yeni bir istasyon aç.

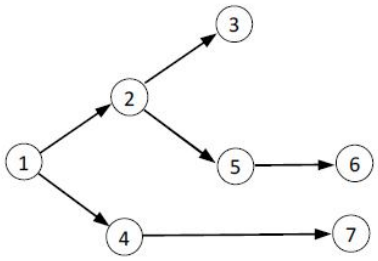
Adım 6. Tüm görevler istasyonlara atanıncaya kadar Adım 4 ve 5'i tekrarla.

KADT yönteminde, tüm görevleri KA'lara göre sıralamadan şöyle bir yöntem de izlenebilir. Öncelik diyagramı üzerinden ilerlenerek, öncülü olmayan veya tüm öncülleri atanmış görevler belirlenir. Bu görevler, öncelik ilişkileri kısıtına göre atanabilecek durumda olan görevlerdir. Belirlenen bu atanabilir görevler arasından en büyük KA'ya sahip görev seçilir ve istasyona atanmaya çalışılır. Çevrim zamanı aşılıyorsa atanabilir görevler arasından bir sonraki en büyük KA'ya sahip görev atanmaya çalışılır. Atanabilir görevler arasında çevrim zamanı kısıtını sağlayan görev olmaması durumunda yeni bir istasyon açılır ve en büyük KA'lı görev yeni istasyona atanır. Bir görev atandıktan sonra öncelik ilişkilerine bağlı olarak atanabilir görevler kümesi güncellenir.

Yukarıda bahsedilen KADT algoritmasının çalışma prensibi tek modelli geleneksel düz MHD problemleri için geçerlidir. Tek modelli U-Tipi MHD problemini KADT algoritması ile çözebilmek için, algoritmada küçük uyarlamalar yapılarak,

problemin çözümüne uygun hale getirilmesi gerekir. Tek modelli düz MHD problemi için en büyük KA'ya sahip görevin atanmasının amacı, kendisinden sonra yapılması gereken görevlerin süresi en uzun olan görevi önceki istasyonlara atamak ve böylece istasyon sayısını azaltmaktır. Ancak, tek modelli U-Tipi MHD probleminde öncelik diyagramı üzerinden gidilirse, öncülü olmayan veya öncülleri atanmış görevlerin yanı sıra, ardılı olmayan veya ardılları atanmış görevlerin atanabilmesi de söz konusu olacaktır. Öncelik diyagramına göre ardılı olmayan bir görev, öncelik diyagramının en sonunda yer alan görevdir. Dolayısıyla, KA kullanarak dengeleme yapacağımızda, kendisi ve kendisinden sonra yapılması gereken görevlerin süreleri toplamına eşit olan KA bu görev için birşey ifade etmeyecektir. Ardılı olmayan bir görevin KA'sı yalnızca kendi görev süresine eşit olacak ve diğer KA'lara göre oldukça küçük bir değer alacaktır. Bu durumda alternatifler arasından bu görevin seçilme ihtimali ortadan kalkacaktır. Buradan anlaşıldığı üzere, tek modelli U-Tipi MHD probleminin yapısına bağlı olarak öncelik diyagramı üzerinden hem ileriye doğru hem de geriye doğru ilerleme imkanı bulunmakta ancak geriye doğru ilerlerken görevlerin seçilmesi sürecinde, ileriye doğru ilerlerken kullanılan seçme kriterinden farklı bir kritere ihtiyaç duyulmaktadır. Bahsedilen bu kriter, KADT yöntemi için Ters Konum Ağırlığı'dır (TKA). TKA, KA'nın tersine, bir görevin kendi süresi ile tüm öncüllerinin görev süreleri toplamına eşittir. Tek modelli U-Tipi MHD problemi KADT yöntemiyle dengelenirken, öncelik diyagramının hem ön hem de arka tarafından atanabilecek görevler karşımıza çıkacaktır. Atanabilir görevler kümesi bu iki kümenin birleşimininden oluşur ve bu görevler arasından seçim yaparken, öncelik diyagramının ön tarafından gelen görevler için KA, arka tarafından gelen görevler için TKA değerleri dikkate alınır ve bu değerler arasından en büyük değere sahip görev seçilir.

Aşağıda Şekil 3.14'de, öncelik diyagramı verilen Merten (1967) probleminin $C = 10$ çevrim zamanı için, KADT yöntemiyle U-Tipi olarak dengelenmesi örnek üzerinde açıklanmıştır. Çizelge 3.1'de, ilgili problemin görev süreleri verilmiştir.



Şekil 3.14. Yedi görevli bir öncelik diyagramı (Merten, 1967)

Çizelge 3.1. Merten (1967) problemi için görev süreleri

Görev No	Görev Süresi
1	1
2	5
3	4
4	3
5	5
6	6
7	5

Öncelik diyagramı ve görev süreleri dikkate alınarak, her bir görevin KA'sı ve TKA'sı hesaplanmış ve Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Merten (1967) problemi için konum ve ters konum ağırlıkları

Görev No	Konum Ağırlığı	Ters Konum Ağırlığı
1	29	1
2	20	6
3	4	10
4	8	4
5	11	11
6	6	17
7	5	9

İlgili problemin KADT yöntemi ile çözümü şu şekilde oluşturulur:

Öncelik diyagramı üzerinden hem ileriye doğru hem de geriye doğru ilerlenerek oluşturulan önden ve arkadan atanabilir görevler kümeleri, $AGK\ddot{O}n = \{1\}$ ve $AGKArka = \{3, 6, 7\}$;

1. İstasyon:

1. görev için KA, 3, 6 ve 7. görevler için TKA değerlerine bakıyoruz. KA ve TKA'lar arasında en yüksek değer 29 ile 1. göreve ait olduğundan, bu görev 1. İstasyona, hattın ön tarafından atanır. AGKÖn güncellenir, $AGK\ddot{O}n = \{2, 4\}$;

KA ve TKA'lar arasında en yüksek değer 20 ile 2. göreve ait olduğundan, bu görev 1. İstasyona, hattın ön tarafından atanır. AGKÖn güncellenir, $AGK\ddot{O}n = \{4, 5\}$. AGKArka'da bulunan 3. görevin ardılı olmadığından ve tüm öcülleri atandığından dolayı, bu görev hattın hem ön hem de arka tarafına atanabilir, $AGK\ddot{O}n\&Arka = \{3\}$. AGKArka güncellenir, $AGKArka = \{6, 7\}$;

KA ve TKA'lar arasında en yüksek değer 17 ile 6. göreve ve 11 ile 5. göreve aittir, ancak bu görevler çevrim zaman kısıtı nedeniyle 1. İstasyona atanamazlar. Bir sonraki en yüksek değer 3. göreve aittir ve bu görev hattın hem ön hem de arka tarafına atanabilir. 3. görev hattın ön tarafına atanır ve AGKÖn&Arka güncellenir, $AGK\ddot{O}n\&Arka = \{\emptyset\}$;

Atanabilir görevler arasında, çevrim zamanı kısıtını ihlal etmeden 1. İstasyona atanabilecek görev olmadığından dolayı, yeni bir istasyon açılır.

2. İstasyon:

KA ve TKA'lar arasında en yüksek değer 17 ile 6. göreve ait olduğundan, bu görev 2. İstasyona, hattın arka tarafından atanır. AGKArka güncellenir, $AGKArka = \{7\}$. AGKÖn'de bulunan 5. görevin tüm ardılları ve öncülleri atandığından dolayı, bu görev hattın hem ön hem de arka tarafına atanabilir. AGKÖn&Arka ve AGKÖn güncellenir, $AGKÖn\&Arka = \{5\}$ ve $AGKÖn = \{4\}$;

KA ve TKA'lar arasında en yüksek değer 11 ile 5. göreve ve 9 ile 7. göreve aittir, ancak bu görevler çevrim zamanı kısıtı nedeniyle 2. İstasyona atanamazlar. Bir sonraki en yüksek değer 4. göreve aittir ve bu görev hattın ön tarafına atanır. AGKÖn güncellenir, $AGKÖn = \{\emptyset\}$. AGKArka'da bulunan 7. görevin ardılı olmadığından ve tüm öncülleri atandığından dolayı, bu görev hattın hem ön hem de arka tarafına atanabilir. AGKÖn&Arka ve AGKArka güncellenir, $AGKÖn\&Arka = \{5, 7\}$, $AGKArka = \{\emptyset\}$;

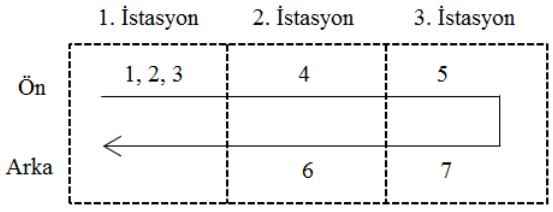
Atanabilir görevler arasında, çevrim zamanı kısıtını ihlal etmeden 2. İstasyona atanabilecek görev olmadığından dolayı, yeni bir istasyon açılır.

3. İstasyon:

KA ve TKA'lar arasında en yüksek değer 11 ile 5. göreve aittir. Bu görev hattın hem ön hem de arka tarafına atanabilir. 5. görev hattın ön tarafına atanır ve AGKÖn&Arka güncellenir, $AGKÖn\&Arka = \{7\}$;

Geriye kalan 7. görev hattın hem ön hem de arka tarafına atanabilir. 7. görev hattın arka tarafına atanır ve AGKÖn&Arka güncellenir, $AGKÖn\&Arka = \{\emptyset\}$;

Atanabilir görevler kümesinde atanmamış görev kalmadığından dolayı, Merten (1967) problem için U-Tipi hat dengeleme işlemi 3 istasyon ile tamamlanmıştır. Aşağıda Şekil 3.15'de, dengeleme sonucu gösterilmiştir.



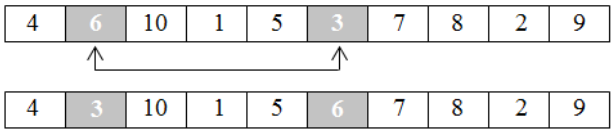
Şekil 3.15. Merten (1967) problemi için dengelenmiş U-Tipi hat

Komşuluk yapılarının belirlenmesi

Başlangıç çözümünün elde edilmesinden sonraki aşama DKA algoritmasında kullanılacak olan komşuluk yapılarının belirlenmesidir. DKA algoritmasında komşuluk yapılarını tespit etmek en önemli işlemlerden biridir. Komşuluk yapılarını belirlemek ve sıralamak genel performansı doğrudan etkiler. Bu çalışmada ele alınan tek modelli deterministik U-Tipi MHD probleminin DKA algoritması ile çözümünde, yer değiştirme ve ekleme olmak üzere 2 adet komşuluk yapısı kullanılmıştır. Bu komşuluk yapılarına ilişkin ayrıntılar aşağıda verilmiştir:

Yer değiştirme

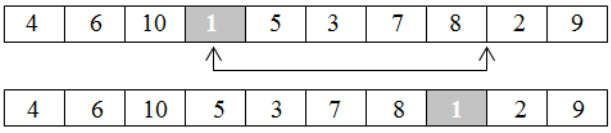
Çözümün yakınında bir komşu çözüm elde etmek için kullanılan yer değiştirme komşuluk yapısında, rastgele seçilen iki görev birbirleri ile yer değiştirir. Şekil 3.16'da, 6 ve 3 numaralı görevler rastgele olarak seçilmiş ve birbirleri ile yer değiştirmiştir.



Şekil 3.16. Yer değiştirme komşuluk yapısı

Ekleme

Yer değiştirme komşuluk yapısından biraz daha uzak alanda arama yapmayı sağlayan ekleme komşuluk yapısında, rastgele seçilen bir görev rastgele seçilen diğer bir görevin önüne veya arkasına eklenir. Şekil 3.17'de, 1 ve 8 numaralı görevler rastgele olarak seçilmiş, 1 numaralı görev 8 numaralı görevin arkasına eklenmiştir.



Şekil 3.17. Ekleme komşuluk yapısı

Durdurma koşulunun ayarlanması

Tek modelli deterministik U-Tipi MHD problemine DKA algoritması uygulanırken, durdurma koşulu olarak en büyük iterasyon sayısı kullanılmıştır. İterasyon sayısı, denemelerle belirlenerek her problem için görev sayısının bin katı $(Görev\ Sayısı \times 1{,}000)$ olarak alınmış, problemin bilinen optimal sonucuna ulaşılamaması durumunda ise artırılarak görev sayısının on bin katı $(Görev\ Sayısı \times 10{,}000)$ olarak alınmış ve çözümler yapılmıştır. Görev sayısının on bin katı iterasyonla

bilinen optimal sonucun bulunamadığı problemlerde ise, iterasyon sayısı artırılarak sırasıyla görev sayısının on milyon katı $(Görev\ Sayısı \times 10{,}000{,}000)$ ve görev sayısının yüz milyon katı $(Görev\ Sayısı \times 100{,}000{,}000)$ olarak alınmıştır.

Önerilen DKA algoritmasında kullanılan komşuluk yapılarının işleyişindeki rastsallıktan dolayı, algoritma her problemin ilgili çevrim zamanı için beş defa çalıştırılmış ve her denemede ulaşılan çözüm ile çözüm süresi kaydedilerek, bulunan istasyon sayısının alt ve üst sınırı ile ortalama çözüm süresi kabul edilmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan tek modelli deterministik U-Tipi MHD probleminde kullanılan DKA algoritmasının adımları şu şekildedir:

N_k komşuluk yapıları kümesini belirle $(k = 1, 2)$

KADT ile görevleri istasyonlara atayarak başlangıç çözümünü (s) oluştur. *En İyi Çözümü* başlangıç çözümü ve *En İyi İstasyon Sayısını* başlangıç çözümün istasyon sayısı $\big(f(s)\big)$ olarak kaydet

Durdurma koşulu olarak en büyük iterasyon sayısını gir ve bu koşul sağlanıncaya kadar aşağıdaki adımları tekrarla

Adım 1. $k = 1$ (*Yer Değiştirme Komşuluk Yapısı*)

En İyi Çözümden, k. komşuluk yapısını kullanarak aday çözüm (s') üret

Adım 1.1. Bulunan aday çözümü öncelik diyagramına göre kontrol et. Eğer öncelik ilişkileri kısıtına uygunsa *Adım 1.2*'ye git, değilse *Adım 1*'e git

Adım 1.2. Görevleri istasyonlara yeniden atayarak istasyon sayısını hesapla. Eğer bulunan istasyon sayısı $\big(f(s')\big)$ *En İyi İstasyon Sayısından* $\big(f(s)\big)$ küçükse, *En İyi Çözüm* ile *En İyi İstasyon Sayısını* güncelle ve *Adım 1*'e git, değilse *Adım 2*'ye git

Adım 2. $k = 2$ (*Ekleme Komşuluk Yapısı*)

En İyi Çözümden, k. komşuluk yapısını kullanarak aday çözüm (s') üret

Adım 2.1. Bulunan aday çözümü öncelik diyagramına göre kontrol et. Eğer öncelik ilişkileri kısıtına uygunsa *Adım 2.2*'ye git, değilse *Adım 2*'ye git

Adım 2.2. Görevleri istasyonlara yeniden atayarak istasyon sayısını hesapla. Eğer bulunan istasyon sayısı $\big(f(s')\big)$ *En İyi İstasyon Sayısından* $\big(f(s)\big)$ küçükse, *En İyi Çözüm* ile *En İyi İstasyon Sayısını* güncelle ve *Adım 1*'e git, değilse ***Dur*** ve *En İyi Çözüm* ile *En İyi İstasyon Sayısını* ***Raporla***

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, araştırma kapsamında ele alınan test problemlerinin önerilen DKA algoritması için U-Tipi MHD sonuçları ve çözüm sürelerinin yanı sıra, aynı problemlerin literatürde bilinen optimal sonuçları, Ajenblit ve Wainwright (1998) tarafından önerilen GA sonuçları, Baykasoğlu ve Dereli (2009) tarafından önerilen KKOA sonuçları ve Atasagun ve Kara (2014) tarafından önerilen BBAOA sonuçları ile karşılaştırması verilmiştir.

Çizelge 4.1. Önerilen DKA algoritması için U-Tipi MHD sonuçları

Problem Adı (Görev Sayısı)	Çevrim Zamanı	Optimal İstasyon Sayısı	DKA Algoritması Sonucu	CPU (sn)
Merten (7)	6	6	6	0.26
	7	5	5	0.26
	8	5	5	0.28
	10	3	3	0.27
	15	2	2	0.26
	18	2	2	0.26
Bowman (8)	20	4	5**	0.36
Jaeschke (9)	6	8	8	0.46
	7	7	7	0.48
	8	6	6	0.49
	10	4	4	0.47
	18	3	3	0.48
Jackson (11)	7	7	8**	0.76
	9	6	6	0.76
	10	5	5	0.78
	13	4	4	0.77
	14	4	4	0.75
	21	3	3	0.79
Mansoor (11)	48	4	4	0.72
	62	3	3	0.72
	94	2	2	0.72
Mitchell (21)	14	8	8	3.27
	15	8	8	3.38
	21	5	5	3.65
	26	5	5	3.36
	35	3	3	3.42
	39	3	3	3.61
Heskiaoff (28)	138	8	8	8.27
	205	5	5*	71.16
	216	5	5	8.73
	256	4	4	8.24
	324	4	4	8.30
	342	3	3	8.24
Sawyer (30)	25	14	14	8.63
	27	13	13	7.8
	30	11	12**	7.76
	36	9	10**	7.48
	41	8	[8, 9]*	79.54
	54	6	[6, 7]*	73.31
	75	5	5	8.63

Çizelge 4.1. (Devam)

Problem Adı (Görev Sayısı)	Çevrim Zamanı	Optimal İstasyon Sayısı	DKA Algoritması Sonucu	CPU (sn)
K. & Wester (45)	57	10	10	23.11
	79	7	[7, 8]*	174.88
	92	6	[6, 7]*	164.35
	110	6	6	27.07
	138	4	4	26.14
	184	3	3	22.69
Tonge (70)	176	[20, 21]	21	74.19
	364	10	10	60.20
	410	9	9	66.37
	468	8	8	54.29
	527	7	7	68.54
Arcus (83)	5048	16	16	94.11
	5853	13	14**	113.89
	6842	12	12	99.74
	7571	11	11	102.42
	8412	10	10	111.60
	8898	9	9	105.53
	10816	7	8**	104.07
Arcus (111)	5755	27	28**	140.05
	8847	[17, 18]	18	144.27
	10027	[15, 16]	16	156.63
	10743	[14, 15]	15	156.23
	11378	14	14	161.25
	17067	9	9	165.59

* İterasyon sayısı $Görev\ Sayısı \times 10{,}000$ alınarak, optimal istasyon sayısıyla elde edilen çözümler için ilgili çözüm süreleri gösterilmiştir.
** İterasyon sayıları sırasıyla $Görev\ Sayısı \times 10{,}000{,}000$ ve $Görev\ Sayısı \times 100{,}000{,}000$ alınarak çözümler yapılmış, ancak optimal istasyon sayısına ulaşılamamıştır. Optimalden bir fazla istasyon sayısıyla elde edilen çözümler için ilgili çözüm süreleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1'de önerilen DKA algoritmasının U-Tipi MHD problemi sonuçları ve ilgili çözümlere ulaşıldığı andaki çözüm süreleri verilmiştir. Problem adının yanında parantez içindeki sayı problemin görev sayısını ifade ederken, optimal sonuçların verildiği sütunda köşeli parantez kullanılması ilgili problemin optimal sonucunun bilinmediğini göstermektedir. Köşeli parantez içindeki sayılar optimal sonuç için alt ve üst sınırları ifade etmektedir. DKA algoritması sonuçlarının verildiği sütunda kullanılan köşeli parantez ise, yapılan denemeler sonucu bulunan istasyon sayıları için alt ve üst sınırı göstermektedir. Çizelge incelendiğinde, önerilen DKA algoritmasının ilgili test problemleri üzerinde etkili olduğu, optimal sonuçlara kısa süreler içerisinde ulaştığı görülmektedir. Önerilen DKA algoritması ile Çizelge 4.1'de verilen 64 adet test probleminin 57'sinde optimal sonuçlara ulaşılmış, yalnızca yedi problemde, daha önce belirtildiği üzere en yüksek iterasyon sayıları alınarak çözümler yapılmasına rağmen optimal sonuçlara ulaşılamamıştır. Önerilen DKA algoritması ile, U-Tipi MHD

problemleri için optimal istasyon sayısına ulaşılamayan yedi problemde de optimal istasyon sayısından bir fazla sayıda istasyondan oluşan çözümler elde edilmiştir.

Çizelge 4.2'de U-Tipi MHD problemi için, önerilen DKA algoritması ile Ajenblit ve Wainwright (1998) tarafından önerilen GA sonuçları, Baykasoğlu ve Dereli (2009) tarafından önerilen KKOA sonuçları ve Atasagun ve Kara (2014) tarafından önerilen BBAOA sonuçlarının karşılaştırması verilmiştir.

Çizelge 4.2. U-Tipi MHD problemi için DKA, GA, KKOA ve BBAOA karşılaştırması

Problem Adı (Görev Sayısı)	Çevrim Zamanı	Optimal İst. Sayısı	DKA Sonucu	GA Sonucu	KKOA Sonucu	BBAOA Sonucu
Merten (7)	6	6	6	6	6	6
	7	5	5	5	5	5
	8	5	5	5	5	5
	10	3	3	3	3	3
	15	2	2	2	2	2
	18	2	2	2	2	2
Bowman (8)	20	4	5	4	4	4
Jaeschke (9)	6	8	8	8	8	8
	7	7	7	7	7	7
	8	6	6	6	6	6
	10	4	4	4	4	4
	18	3	3	3	3	3
Jackson (11)	7	7	8	7	7	7
	9	6	6	6	6	6
	10	5	5	5	5	5
	13	4	4	4	4	4
	14	4	4	4	4	4
	21	3	3	3	3	3
Mansoor (11)	48	4	4	4	4	4
	62	3	3	3	3	3
	94	2	2	2	2	2
Mitchell (21)	14	8	8	8	8	8
	15	8	8	8	8	8
	21	5	5	5	5	5
	26	5	5	-	5	5
	35	3	3	-	3	3
	39	3	3	-	3	3
Heskiaoff (28)	138	8	8	8	8	8
	205	5	5	6	5	5
	216	5	5	5	5	5
	256	4	4	4	4	4
	324	4	4	4	4	4
	342	3	3	3	3	3
Sawyer (30)	25	14	14	14	14	14
	27	13	13	13	13	13
	30	11	12	12	12	11
	36	9	10	10	10	10
	41	8	[8, 9]	8	8	8
	54	6	[6, 7]	7	7	6
	75	5	5	5	5	5

Çizelge 4.2. (Devam)

Problem Adı (Görev Sayısı)	Çevrim Zamanı	Optimal İst. Sayısı	DKA Sonucu	GA Sonucu	KKOA Sonucu	BBAOA Sonucu
K. & Wester (45)	57	10	10	10	10	10
	79	7	[7, 8]	8	7	7
	92	6	[6, 7]	6	6	6
	110	6	6	6	6	6
	138	4	4	4	4	4
	184	3	3	3	3	3
Tonge (70)	176	[20, 21]	21	21	21	21
	364	10	10	10	10	10
	410	9	9	9	9	9
	468	8	8	8	8	8
	527	7	7	7	7	7
Arcus (83)	5048	16	16	16	16	16
	5853	13	14	14	14	14
	6842	12	12	12	12	12
	7571	11	11	11	11	11
	8412	10	10	10	10	10
	8898	9	9	9	9	9
	10816	7	8	8	8	8
Arcus (111)	5755	27	28	28	27	28
	8847	[17, 18]	18	18	18	18
	10027	[15, 16]	16	16	16	16
	10743	[14, 15]	15	15	15	15
	11378	14	14	14	14	14
	17067	9	9	9	9	9

Çizelge 4.2'de verilen, U-Tipi MHD problemi için DKA algoritması ve 64 U-Tipi MHD probleminden 61 adedine uygulanan GA karşılaştırmasında, üç problemde, önerilen DKA algoritması, GA'ya göre daha iyi sonuçlar elde ederken, iki problemde GA önerilen DKA algoritmasından daha iyi sonuçlar elde etmiştir. KKOA ve DKA algoritması karşılaştırmasında ise, bir problemde, önerilen DKA algoritması, KKOA'ya göre daha iyi sonuç elde ederken, üç problemde KKOA önerilen DKA algoritmasından daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Öte yandan, Atasagun ve Kara (2014) tarafından önerilen BBAOA'nın üç problemde DKA algoritmasından daha iyi sonuçlara ulaştığı görülmektedir. Bu veriler ışığında, Talbot ve ark. (1986) problem seti için her dört algoritmanın da oldukça yüksek ve birbirleriyle rekabet edebilecek düzeyde performans gösterdiği söylenebilir.

Önerilen DKA algoritması, U-Tipi MHD problemleri üzerinde literatürde ilk defa uygulanmış ve görev sayıları 7 ile 111 arasında değişen U-Tipi MHD problemlerinin büyük çoğunluğunda optimal sonuçlara kısa sürelerde ulaşmıştır. Algoritmanın optimal sonuçlara ulaşamadığı az sayıda problem, görev süreleri, öncelik ilişkileri ve çevrim zamanları itibariyle diğer problemlere nazaran daha zor problemlerdir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Gün geçtikçe giderek daha zor koşulların ortaya çıktığı rekabetçi ortamda şirketlerin ayakta durabilmeleri için kaynaklarını en etkin şekilde kullanması oldukça önemlidir. Montaj hatları, üretimde maliyetlerin düşürülmesi için üzerinde çalışma yapılması gereken en önemli üretim sistemleridir. Dolayısıyla, kurulumu oldukça pahalı olan montaj hatlarının en başta etkin bir şekilde düzenlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, MHD problemleriyle ilgili genel bilgilerin yanı sıra, U-Tipi montaj hatları üzerinde durulmuş, TZÜ veya Toyota Üretim Sistemi tekniki olarak U-Tipi montaj hatlarının basit düz montaj hatlarına olan üstünlüklerinden bahsedilmiştir.

Çalışma kapsamında, tek modelli deterministik görev zamanlı U-Tipi MHD problemi, literatürde henüz U-Tipi MHD problemlerine uygulanmamış bir meta-sezgisel algoritma olan, DKA algoritması ile istasyon sayısı en küçüklenmeye çalışılarak çözülmüştür.

Önerilen DKA algoritması ile U-Tipi MHD problemleri için etkili sonuçlar elde edilmiş, görev sayıları 7 ile 111 arasında değişen 64 test probleminin 57'sinde kabul edilebilir süreler içerisinde optimal sonuçlara ulaşılmıştır.

5.2. Öneriler

Önerilen DKA algoritmasının U-Tipi MHD problemleri üzerinde, karşılaştırma yapılan GA, KKOA ve BBAOA ile rekabet edebilecek düzeyde performans gösterdiği görülmüş, gelecekte daha da geliştirilerek MHD problemlerinin diğer varyasyonları üzerinde de başarıyla uygulanabileceği konusunda fikir sahibi olunmuştur.

Bu çalışmada, KADT ile oluşturulan başlangıç çözümü ve iki komşuluk yapısı kullanılarak uygulanan DKA algoritmasının, daha iyi başlangıç çözümü ve daha çok komşuluk yapıları kullanılarak, daha büyük boyutlu ve nispeten daha zor MHD problemleri üzerinde de başarıyla uygulanabileceği öngörüsüne ulaşılmıştır.

Ayrıca, büyük boyutlu ve daha zor problemlerde kısa sürede etkin çözümler elde etmek amacıyla, DKA algoritması ile literatürde bilinen diğer meta-sezgisel yöntemler birleştirilerek melez algoritmalar geliştirilmesi yoluyla da etkin çözümlere ulaşılabileceği söylenebilir.

KAYNAKLAR

Aase, G. R., 1999, Algorithms for Increasing Labor Productivity in U-Shaped Assembly Systems, Unpublished Phd. Thesis, *Indiana Üniversitesi*, ABD.

Aase, G. R., Schniederjans, M. J., Olson, J. R., 2003, U-OPT: An analysis of exact U-shaped line balancing procedures, *International Journal of Production Research*, 41 (17), 4185– 4210.

Aase, G. R., Olson, J. R., Schniederjans, M. J., 2004, U-shaped assembly line layouts and their impact on labor productivity: An experimental study, *European Journal of Operational Research*, 156 (3), 698–711.

Adibi, M. A., Zandieh, M., Amiri, M., 2010, Multi-objective scheduling of dynamic job shop using variable neighborhood search, *Expert Systems with Applications*, 37 (1), 282–287.

Ağpak, K., Gökçen, H., 2001, U-Tipi Montaj Hatlarının Dengelenmesi için Bir Sezgisel Metot: Düzenlenmiş COMSOAL (U-COMSOAL), *Endüstri Mühendisliği Dergisi*, 12 (2), 23-32.

Ağpak, K., Gökçen, H., 2002, Basit U Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemine Bulanık Programlama Yaklaşımı, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4 (2), 29-40.

Ağpak, K., Yegül, M. F., Gökçen, H., 2012, Two-sided U-type assembly line balancing problem, *International Journal of Production Research*, 50 (18), 5035-5047.

Ajenblit, D. A., Wainwright, R. L., 1998, Applying Genetic Algorithms to the U-Shaped Assembly Line Balancing Problem, *Proceedings of the IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, 96-101.

Amiri, M., Zandieh, M., Yazdani, M., Bagheri, A., 2010, A variable neighbourhood search algorithm for the flexible job-shop scheduling problem, *International Journal of Production Research*, 48 (19), 5671-5689.

Anonymous, 2014, http://www.assembly-line-balancing.de.

Atasagun, Y., Kara, Y., 2014, Bacterial Foraging Optimization Algorithm for assembly line balancing, *Neural Computing & Applications*, 25 (1), 237-250.

Avikal, S., Jain, R., Mishra, P. K., Yadav, H. C., 2013, A heuristic approach for U-shaped assembly line balancing to improve labour productivity, *Computers & Industrial Engineering*, 64 (4), 895–901.

Bagheri, A., Zandieh, M., 2011, Bi-criteria flexible job-shop scheduling with sequence-dependent setup times—Variable neighborhood search approach, *Journal of Manufacturing Systems*, 30 (1), 8–15.

Baybars, I., 1986, A Survey of Exact Algorithms for the Simple Assembly Line Balancing Problem, *Management Science*, 32 (8), 909-932.

Baykasoğlu, A., 2006, Multi-rule multi-objective simulated annealing algorithm for straight and U type assembly line balancing problems, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17 (2), 217-232.

Baykasoğlu, A., Dereli, T., 2009, Simple and U-Type Assembly Line Balancing by Using an Ant Colony Based Algorithm, *Mathematical and Computational Applications*, 14 (1), 1-12.

Becker, C., Scholl, A., 2006, A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing, *European Journal of Operational Research*, 168 (3), 694-715.

Blum, C., Roli, A., 2003, Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison, *ACM Computing Surveys*, 35 (3), 268-308.

Braysy, O., 2003, A reactive variable neighborhood search for the vehicle-routing problem with time windows, *INFORMS Journal on Computing*, 15 (4), 347-368.

Burke, E. K., Cowling, P. I., Keuthen, R., 2001, Effective local and guided variable neighbourhood search methods for the asymmetric travelling salesman problem, *Lecture Notes in Computer Science*, 2037, 203-212.

Carrabs, F., Cordeau, J. F., Laporte, G., 2007, Variable neighborhood search for the pickup and delivery traveling salesman problem with LIFO loading, *INFORMS Journal on Computing*, 19 (4), 618-632.

Cheng, C. H., Miltenburg, J., Motwani, J., 2000, The Effect of Straight and U-Shaped Lines on Quality, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 47 (3), 321-334.

Chutima, P., Olanviwatchai, P., 2010, Mixed-Model U-Shaped Assembly Line Balancing Problems with Coincidence Memetic Algorithm, *Journal of Software Engineering & Applications*, 3, 347-363.

Chutima, P., Kid-Arn, S., 2013, PSONK: Particle Swarm Optimization With Negative Knowledge For Multi-Objective U-Shaped Assembly Lines Balancing With Parallel Workstations, *Journal of Advanced Manufacturing Systems*, 12 (1), 15-41.

Coelho, I. M., Munhoz, P. L. A., Haddad, M. N., Souza, M. J. F., Ochi, L. S., 2012, A hybrid heuristic based on General Variable Neighborhood Search for the Single Vehicle Routing Problem with Deliveries and Selective Pickups, *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 39, 99–106.

Costa, W. E., Goldbarg, M. C., Goldbarg, E. G., 2012, New VNS heuristic for total flowtime flowshop scheduling problem, *Expert Systems with Applications*, 39 (9), 8149–8161.

Da Silva, R. F., Urrutia, S., 2010, A General VNS heuristic for the traveling salesman problem with time windows, *Discrete Optimization*, 7 (4), 203-211.

Davari, S., Zarandi, M. H. F., Turksen, I. B., 2013, A greedy variable neighborhood search heuristic for the maximal covering location problem with fuzzy coverage radii, *Knowledge-Based Systems*, 41, 68-76.

Deshpande, V., Rajaram, K., Guignard, M., 1997, An Integer Programming Based Formulation of the U-Line Balancing Problem, *INFORMS Meeting Proceedings*, San Diego, ABD.

Dou, J. P., Su, C., Li, J., 2012, Discrete particle swarm optimization algorithms for assembly line balancing problems of type I, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 18 (5), 1021-1030.

Driessel, R., Mönch, L., 2011, Variable neighborhood search approaches for scheduling jobs on parallel machines with sequence-dependent setup times, precedence constraints, and ready times, *Computers & Industrial Engineering*, 61 (2), 336–345.

Erel, E., Sabuncuoğlu, I., Aksu, B. A., 2001, Balancing of U-type assembly systems using simulated annealing, *International Journal of Production Research*, 39 (13), 3003-3015.

Fathali, J., Kakhki, H. T., 2006, Solving the p-median problem with pos/neg weights by variable neighborhood search and some results for special cases, *European Journal of Operational Research*, 170 (2), 440–462.

Fattahi, A., Elaoud, S., Azer, E. S., Turkay, M., 2014, A novel integer programming formulation with logic cuts for the U-shaped assembly line balancing problem, *International Journal of Production Research*, 52 (5), 1318-1333.

Fleszar, K., Osman, I. H., Hindi, K. S., 2009, A variable neighbourhood search algorithm for the open vehicle routing problem, *European Journal of Operational Research*, 195 (3), 803–809.

Gao, J., Sun, L., Gen, M., 2008, A hybrid genetic and variable neighborhood descent algorithm for flexible job shop scheduling problems, *Computers & Operations Research*, 35 (9), 2892 – 2907.

Ghosh, S., Gagnon, J., 1989, A Comprehensive Literature Review and Analysis of the Design, Balancing and Scheduling of Assembly Systems, *International Journal of Production Research*, 27 (4), 637-670.

Gökçen, H., Ağpak, K., Gencer, C., Kızılkaya, E., 2005, A shortest route formulation of simple U-type assembly line balancing problem, *Applied Mathematical Modelling*, 29 (4), 373-380.

Gökçen, H., Ağpak, K., 2006, A goal programming approach to simple U-line balancing problem, *European Journal of Operational Research*, 171 (2), 577-585.

Göksal, F. P., Karaoğlan, İ., Altıparmak, F., 2013, A hybrid discrete particle swarm optimization for vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery, *Computers & Industrial Engineering*, 65 (1), 39–53.

Güner, B., Hasgül, S., 2012, Sürdürülebilir denge için ergonomik faktörleri içeren U-Tipi montaj hattı dengelemesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 27 (2), 407-415.

Hamta, N., Fatemi Ghomi, S. M. T., Jolai, F., Akbarpour Shirazi, M., 2013, A hybrid PSO algorithm for a multi-objective assembly line balancing problem with flexible operation times, sequence-dependent setup times and learning effect, *International Journal of Production Economics*, 141 (1), 99-111.

Hamzadayı, A., Yıldız, G., 2012, A genetic algorithm based approach for simultaneously balancing and sequencing of mixed-model U-lines with parallel workstations and zoning constraints, *Computers and Industrial Engineering*, 62 (1), 206-215.

Hamzadayı, A., Yıldız, G., 2013, A simulated annealing algorithm based approach for balancing and sequencing of mixed-model U-lines, *Computers & Industrial Engineering*, 66 (4), 1070–1084.

Hansen, P., Mladenovic, N., 1997, Variable neighborhood search for the p-median, *Location Science*, 5 (4), 207-226.

Hansen, P., Mladenovic, N., 2001, Variable neighborhood search: Principles and applications, *European Journal of Operational Research*, 130 (3), 449-467.

Hansen, P., Brimberg, J., Urosevic, D., Mladenovic, N., 2007, Primal-dual variable neighborhood search for the simple plant-location problem, *INFORMS Journal on Computing*, 19 (4), 552-564.

Harm, G., Hentenryck, P. V., 2005, A multistart variable neighborhood search for uncapacitated facility location, *Proceedings of the 6th Metaheuristics International Conference*, Vienna, Austria, August 22–26.

Helgeson, W. B., Birnie, D. P., 1961, Assembly Line Balancing using The Ranked Positional Weight Technique, *Journal of Industrial Engineering*, 12 (6), 384-398.

Hemmelmayr, V. C., Doerner, K. F., Hartl, R. F., 2009, A variable neighborhood search heuristic for periodic routing problems, *European Journal of Operational Research*, 195 (3), 791–802.

Hwang, H., Sun, J. U., Yoon, T. H., 1996, U-Line Line Balancing with Simulated Annealing, *First Asia Pacific Decision Sciences Institute Conference*, Hong Kong, 101-108.

Hwang, R. K., Katayama, H., Gen, M., 2008, U-shaped assembly line balancing problem with genetic algortihm, *International Journal of Production Research*, 46 (16), 4637-4649.

Hwang, R. K., Katayama, H., 2010, Uniform workload assignments for assembly line by GA-based amelioration approach, *International Journal of Production Research*, 48 (7), 1857-1871.

Ilıc, A., Urosevic, D., Brimberg, J., Mladenovic, N., 2010, A general variable neighborhood search for solving the uncapacitated single allocation p-hub median problem, *European Journal of Operational Research*, 206 (2), 289-300.

Kara, Y., 2004, U-Tipi Montaj Hattı Dengeleme Problemleri İçin Yeni Modeller Ve Otomotiv Yan Sanayiinde Bir Uygulama, Yayınlanmamış Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Konya.

Kara, Y., Özcan, U., Peker, A., 2007a, An approach for balancing and sequencing mixed-model JIT U-lines, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 32 (11-12), 1218-1231.

Kara, Y., Özcan, U., Peker, A., 2007b, Balancing and sequencing mixed-model just-in-time U-lines with multiple objectives, *Applied Mathematics and Computation*, 184 (2), 566-588.

Kara, Y., 2008, Line balancing and model sequencing to reduce work overload in mixed-model U-line production environments, *Engineering Optimization*, 40 (7), 669-684.

Kara, Y., Tekin, M., 2009, A mixed integer linear programming formulation for optimal balancing of mixed-model U-lines, *International Journal of Production Research*, 47 (15), 4201-4233.

Kara, Y., Paksoy, T., Chang, C. T., 2009, Binary fuzzy goal programming approach to single model straight and U-shaped assembly line balancing, *European Journal of Operational Research*, 195 (2), 335–347.

Kara, Y., Özgüven, C., Yalçın, N., Atasagun, Y., 2011, Balancing straight and U-shaped assembly lines with resource dependent task times, *International Journal of Production Research*, 49 (21), 6387-6405.

Kazemi. S. M., Ghodsi, R., Rabbani, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., 2011, A novel two-stage genetic algorithm for a mixed-model U-line balancing problem with duplicated tasks, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55 (9-12), 1111-1122.

Kim, Y. K., Kim, S. J., Kim, J. Y., 2000, Balancing and sequencing mixed-model U-lines with a co-evolutionary algorithm, *Production Planning & Control: The Management of Operations*, 11 (8), 754-764.

Kim, Y. K., Kim, J. Y., Kim, Y., 2006, An endosymbiotic evolutionary algorithm for the integration of balancing and sequencing in mixed-model U-lines, *European Journal of Operational Research*, 168 (3), 838–852.

Kratica, J., Leitner, M., Ljubic, I., 2012, Variable Neighborhood Search for Solving the Balanced Location Problem, *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 39, 21-28.

Kuo, Y., Wang, C. C., 2012, A variable neighborhood search for the multi-depot vehicle routing problem with loading cost, *Expert Systems with Applications*, 39 (8), 6949–6954.

Kytöjoki, J., Nuortio, T., Bräysy, O., Gendreau, M., 2007, An efficient variable neighborhood search heuristic for very large scale vehicle routing problems, *Computers and Operations Research*, 34 (9), 2743 – 2757.

Lei, D., Guo, X. P., 2011, Variable neighbourhood search for minimising tardiness objectives on flow shop with batch processing machines, *International Journal of Production Research*, 49 (2), 519-529.

Lei, D., Guo, X., 2014, Variable neighbourhood search for dual-resource constrained flexible job shop scheduling, *International Journal of Production Research*, 52 (9), 2519-2529.

Li, Y., Lim, A., Oon, W. C., Qin, H., Tu, D., 2011, The tree representation for the pickup and delivery traveling salesman problem with LIFO loading, *European Journal of Operational Research*, 212 (3), 482–496.

Lian, K., Zhang, C., Gao, L., Shao, X., 2012, A modified colonial competitive algorithm for the mixed-model U-line balancing and sequencing problem, *International Journal of Production Research*, 50 (18), 5117-5131.

Manavizadeh, N., Hosseini, N. S., Rabbani, M., Jolai, F., 2013, A simulated Annealing algorithm for a mixed model assembly U-line balancing type-I problem considering human efficiency and Just-In-Time approach, *Computers and Industrial Engineering*, 64 (2), 669-685.

Merten, P., 1967, Assembly Line Balancing by Partial Enumeration, *Ablaufund Planungforschung*, 8, 429-433.

Miltenburg, G. J., Wijngaard, J., 1994, The U-Line Line Balancing Problem, *Management Science*, 40 (10), 1378-1388.

Miltenburg, J., 2000, The effect of breakdowns on U-shaped production lines, *International Journal of Production Research*, 38 (2), 353–364.

Miltenburg, J., 2001a, U-shaped production lines: A review of theory and practice, *International Journal of Production Economics*, 70 (3), 201–214.

Miltenburg, J., 2001b, One-piece flow manufacturing on U-shaped production lines: a tutorial, *IIE Transactions*, 33 (4), 303-321.

Miltenburg, J., 2002, Balancing and Scheduling Mixed-Model U-Shaped Production Lines, *The International Journal of Flexible Manufacturing Systems*, 14 (2), 123-155.

Mladenovic, N., Hansen, P., 1997, Variable Neighborhood Search, *Computers & Operations Research*, 24 (11), 1097-1100.

Mladenovic, N., Labbe, M., Hansen, P., 2003, Solving the p-center problem with tabu search and variable Neighborhood Search, *Networks*, 42 (1), 48–64.

Mladenovic, N., Urosevic, D., Hanafi, S., Ilic, A., 2012, A general variable neighborhood search for the one-commodity pickup-and-delivery travelling salesman problem, *European Journal of Operational Research*, 220 (1), 270–285.

Mladenovic, N., Todosijevic, R., Urosevic, D., 2013, An efficient general variable neighborhood search for large travelling salesman problem with time windows, *Yugoslav Journal of Operations Research*, 23 (1), 19-30.

Mozdgir, A., Fatemi Ghomi, S. M. T., Jolai, F., Navaei, J., 2013, Two-stage assembly flow-shop scheduling problem with non-identical assembly machines considering setup times, *International Journal of Production Research*, 51 (12), 3625-3642.

Nourmohammadi, A., Zandieh, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., 2013, An imperialist competitive algorithm for multi-objective U-type assembly line design, *Journal of Computational Science*, 4 (5), 393–400.

Ozcan, U., Toklu, B., 2009, A new hybrid improvement heuristic approach to simple straight and U-type assembly line balancing problems, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 20 (1), 123–136.

Paksoy, T., Özceylan, E., 2012, Supply chain optimisation with U-type assembly line balancing, *International Journal of Production Research*, 50 (18), 5085–5105.

Paraskevopoulos, D. C., Repoussis, P. P., Tarantilis, C. D., Ioannou, G., Prastacos, G. P., 2008, A reactive variable neighborhood tabu search for the heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows, *Journal of Heuristics*, 14 (5), 425–455.

Polacek, M., Hartl, R. F., Doerner, K., Reimann, M., 2004, A variable neighborhood search for the multi depot vehicle routing problem with time windows, *Journal of Heuristics*, 10 (6), 613–627.

Puerto, J., Perez-Brito, D., Garcia-Gonzalez, C. G., 2014, A modified variable neighborhood search for the discrete ordered median problem, *European Journal of Operational Research*, 234 (1), 61-76.

Rabbani, M., Kazemi, S. M., Manavizadeh, N., 2012, Mixed model U-line balancing type-1 problem: A new approach, *Journal of Manufacturing Systems*, 31 (2), 131-138.

Roshanaei, V., Naderi, B., Jolai, F., Khalili, M., 2009, A variable neighborhood search for job shop scheduling with set-up times to minimize makespan, *Future Generation Computer Systems*, 25 (6), 654-661.

Sabuncuoğlu, İ., Erel, E., Alp, A., 2009, Ant colony optimization for the single model U-type assembly line balancing problem, *International Journal of Production Economics*, 120 (2), 287-300.

Salveson, M. E., 1955, The Assembly Line Balancing Problem, *Journal of Industrial Engineering*, 6 (3), 18-25.

Scholl, A., Klein, R., 1999, ULINO: Optimally balancing U-shaped JIT assembly lines, *International Journal of Production Research*, 37 (4), 721-736.

Sevkli, Z., Sevilgen, F. E., 2006, Variable Neighborhood Search for the Orienteering Problem, *Lecture notes in computer science*, 4263, 134-143.

Sevkli, M., Aydin, M. E., 2007, Parallel variable neighbourhood search algorithms for job shop scheduling problems, *IMA Journal of Management Mathematics*, 18 (2), 117−133.

Sparling, D. H., 1997, Topics in U-Line Balancing, Unpublished Phd. Thesis, *McMaster University Business Administration*, Hamilton, Ontario.

Sparling, D., Miltenburg, J., 1998, The mixed-model U-line balancing problem, *International Journal of Production Research*, 36 (2), 485-501.

Suwannarongsri, S., Puangdownreong, D., 2008, Balancing of U-Shape Assembly Lines using Tabu Search Method, *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2008, 5th International Conference on Proceedings*, 609-612.

Talbot, F. B., Patterson, J. H., 1984, An Integer Programming Algorithm with Network Cuts for Solving the Single Model Assembly Line Balancing Problem, *Management Science*, 30 (1), 85-99.

Talbot, F. B., Patterson, J. H., Gehrlein, W. V., 1986, A comparative evaluation of heuristic line balancing techniques, *Management Science*, 32 (4), 430-454.

Tang, Q., Li, Z., Zhang, L., Floudas, C. A., 2014, A hybrid particle swarm optimization algorithm for large-sized two-sided assembly line balancing problem, *ICIC Express Letters*, 8 (7), 1981-1986.

Tanyaş, M., Baskak, M., 2008, Üretim Planlama ve Kontrol, *İrfan Yayımcılık*, İstanbul, 323-375.

Tayebi Araghi, M. E., Jolai, F., Rabiee, M., 2014, Incorporating learning effect and deterioration for solving a SDST flexible job-shop scheduling problem with a hybrid meta-heuristic approach, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 27 (8), 733-746.

Urban, T. L., 1998, Optimal Balancing of U-Shaped Assembly Lines, *Management Science*, 44 (5), 738-741.

Xiong, F., Xing, K., 2014, Meta-heuristics for the distributed two-stage assembly scheduling problem with bi-criteria of makespan and mean completion time, *International Journal of Production Research*, 52 (9), 2743-2766.

Xu, Y., Wang, L., Yang, Y., 2012, A New Variable Neighborhood Search Algorithm for the Multi Depot Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Time Windows, *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, 39, 289–296.

Yang, Y., Xu, Y., Wang, L., 2013, Study on Multi Depot Heterogeneous Vehicle Routing Problem with an Improved Variable Neighborhood Search Algorithm, *Information Technology Journal*, 12 (23), 7137-7142.

Yazdani, M., Amiri, M., Zandieh, M., 2010, Flexible job-shop scheduling with parallel variable neighborhood search algorithm, *Expert Systems with Applications*, 37 (1), 678–687.

Zandieh, M., Adibi, M. A., 2010, Dynamic job shop scheduling using variable neighbourhood search, *International Journal of Production Research*, 48 (8), 2449-2458.

Zhang, Z., Cheng, W., Cheng, Y., Liang, J., 2008, A novel ant colony optimization algorithm for U-shaped line balancing problem, *Proceedings – 4th International Conference on Natural Computation*, 455-459.

Zou, S., Li, J., Li, X., 2013, A Hybrid Particle Swarm Optimization Algorithm for Multi-Objective Pickup and Delivery Problem with Time Windows, *Journal of Computers*, 8 (10), 2583-2589.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Mammad TANRIVERDIYEV
Uyruğu	**:**	Azerbaycanlı
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Şeki/Azerbaycan, 31/12/1987
Telefon	**:**	0 (505) 553 21 59
Faks	**:**	
e-mail	**:**	memmed_tanriverdi@hotmail.com mammad_tanriverdi@hotmail.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	Ş.A.T.Ö.L., Şeki	2006
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği, Konya	2011

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
16.07.2011 - 08.09.2012	Doğrular Madeni Eşya Sanayi ve Tic.Ltd.Şti.	Üretim Planlama ve Kontrol

UZMANLIK ALANI

Meta-Sezgisel Yöntemler, Montaj Hattı Dengeleme

YABANCI DİLLER

İngilizce, Rusça, Türkçe