

**B R D NAM K H BR D ESNEK AKI ATÖLYES Ç ZELGELEME
PROBLEM**

S MAY SEZG UZEL

**YÜKSEK L SANS TEZ
ENDÜSTR MÜHEND SL**

**TOBB EKONOM VE TEKNOLOJ ÜN VERS TES
FEN B L MLER ENST TÜSÜ**

ARALIK 2015

ANKARA

Fen Bilimleri Enstitü onayı

Prof. Dr. Osman ERO UL

Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans derecesinin tüm gereksinimlerini sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Tahir HANAL O LU

Anabilim Dalı Başkanı

Simay Sezgi UZEL tarafından hazırlanan B R D NAM K H BR D ESNEK AKI ATÖLYES Ç ZELGELEME PROBLEM adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Gültekin KUYZU

Tez Danışmanı

Tez Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Burcu GEDİK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gültekin KUYZU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Salih TEKİN

TEZ B LD R M

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranı ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunuldu unu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalı mada orijinal olmayan her türlü kayna a eksiksiz atıf yapıldı ını bildiririm.

Simay Sezgi UZEL

Üniversitesi : TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Enstitüsü : Fen Bilimleri
Anabilim Dalı : Endüstri Mühendisliği
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Gültekin KUYUZU
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Aralık 2015

Simay Sezgi UZEL

**B R D NAM K H BR D ESNEK AKI ATÖLYESİ ÇİZELGELEME
PROBLEMİ**

ÖZET

Bu çalışmada, bir gerçek hayat hibrid esnek akı atölyesi çizelgeleme probleminden yola çıkılarak tasarlanmıştır. Hibrid akı atölyesi standart akı atölyesi probleminin karakteristiklerine ek olarak bir amaçta birden fazla paralel makineleri içermektedir. Ayrıca mevcut sistemde bir işin tüm amaçları takip etme zorunluluğu bulunmamaktadır, bu özellikle birlikte üretim sistemi hibrid esnek akı atölyesi olarak tanımlanmaktadır. Literatürdeki çalışmalarda aynı anda esneklik ve hibrid olma özellikleri genellikle göz ardı edilmiş, bu özelliği içeren problemler nadiren tartışılmıştır. Hibrid esnek akı atölyesi çizelgeleme problemlerini ele alan yayınlarda ise probleme çözüm olarak önerilen sezgisel metodların deneysel çalışmaları sonuçlarına yer verilmiştir, incelenen bu çalışmada verilere göre problem boyutlarının gerçek hayatı yansıtmayacak kadar küçük boyutlarda ele alındığı gözlemlenmiştir. Bu projede ise bir hibrid esnek akı atölyesi problemi gerçek hayat verileri ile ele alınmıştır. Problem boyutları oldukça büyüktür ve bu durum zaten karmaşık olan problemi daha da karmaşık hale getirmektedir. Ayrıca, problem incelenirken sisteme gelen taleplerin deterministik olduğu varsayımından uzaklaşarak belirsiz taleplere cevap verecek bir dinamik çizelgeleme problemi çözülmesi amaçlanmıştır. Amaç fonksiyonu olarak yayılma zamanının en küçüklenmesi belirlenmiştir. Çözüm yöntemi olarak NEH algoritması tabanlı dinamik iş sıralama kurallarından faydalanılacak sezgisel metodlar geliştirilmiştir. Deneysel çalışmalar Java tabanlı ayrık olay simülasyonu yapan açık kaynaklı bir Java Kütüphanesi aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Öncelikle deneysel veriler üretilip geliştirilen sezgiselin etkinliği incelenmiştir. Daha sonra gerçek sistem verileri ile çalışılmıştır. Sonucunda ise geliştirilen yöntemlerin literatürdeki mevcut çözüm yöntemlerine üstünlükleri tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Üretim Çizelgeleme, Hibrid Esnek Akı Atölyesi, Simülasyon

University : TOBB Economics and Technology University
Institute : Institute of Natural and Applied Sciences
Science Programme : Industrial Engineering
Supervisor : Asst. Prof. Gültekin KUYZU
Degree Awarded and Date : M.Sc. – December 2015

Simay Sezgi UZEL

**A REALISTIC DYNAMIC HYBRID FLEXIBLE FLOWSHOP SCHEDULING
PROBLEM**

ABSTRACT

This thesis is based on a real life hybrid flexible flowshop scheduling problem. Hybrid flowshop consists of multiple identical parallel machines in addition to characteristics of standard flowshop problem. Furthermore, with the possibility of skipping stages of jobs in the current manufacturing system is defined as hybrid flexible flowshop. The flexibility and being hybrid features of the system is usually ignored and is rarely discussed in the literature. In the phase of getting results for experimental studies of heuristic methods , the other papers in the literature that handle the hybrid flexible flowshop scheduling problems deal with the problems as much more limited than the real life. Aim of this thesis is to handle hybrid flexible flowshop scheduling problem with real life data. According to literature, hybrid flexible flowshop problem is already complex and studying with real life data increases the level of complexity. Additionally, while the problem is being analyzed, it is aimed to solve the dynamic scheduling problem to meet uncertain demands by digressing the assumption of being deterministic. Minimization of makespan is defined as the objective function. Heuristic methods are improved as a solution that is based on NEH algorithm with taking advantages of dynamic dispatching rules. Experimental studies are performed with open source library that is managed by Java based discrete event simulation. Thus, experimental data is generated and the effectiveness of heuristic algorithm is analyzed. Moreover, advised heuristic algorithms are studied with real life data. Consequently, the developed methods and the current methods, of which superiority were proved in literature, are discussed.

Keywords: Production Scheduling, Hybrid Flexible Flowshop, Simulation

TE EKKÜR

Öncelikle bugüne kadar üstümden emeğini, sevgisini ve desteğini eksik etmeyen en başta anneme ve tüm aileme tekkür ederim. Çalışmamda bana bilgi ve deneyimleriyle yol gösteren danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Gültekin KUYZU'ya değerli katkılarından dolayı tekkürü bir borç bilirim. Kıymetli zamanlarını ayırıp tezimi okuyan ve tavsiyelerde bulunan tez jürimin saygıdeğer üyelerine, yüksek lisans eğitimimde bana sağladıkları katkı ve emeklerinden dolayı TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine de tekkür ederim.

Ç NDEK LER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TE EKKÜR	vi
Ç NDEK LER	vii
TABLO L STES	ix
EK L L STES	x
1. G R	1
2. L TERATÜR ÇALI MASI	5
2.1 Deterministik Yakla ım Altında Akı Atölyesi Çizelgeleme Problemleri....	6
2.1.1 Hibrid akı atölyesi çizelgeleme.....	6
2.1.2 Esnek akı atölyesi çizelgeleme.....	9
2.1.3 Hibrid esnek akı atölyesi çizelgeleme.....	10
2.2 Stokastik Yakla ım Altında Akı Atölyesi Çizelgeleme Problemleri.....	12
3. PROBLEM TANIMI	14
3.1 Mevcut Sistemin Analizi.....	14
3.1.1 Problemin karakteristi i.....	17
4. ÇÖZÜM YÖNTEMLER	19
4.1 Literatürde Mevcut Çözüm Yöntemleri.....	19
4.2 Önerilen Çözüm Yöntemleri.....	21
5. DENEYSEL ÇALI MALAR	23
5.1 Simülasyon Modeli.....	24
5.1.1 Mevcut sistemin çizelgeleme simülasyonu.....	25
5.2 Sayısal De erlendirme.....	26

6. GELİTİRİLEN ALGORİTMALARIN GERÇEK SİSTEME UYGULANMASI.....	32
6.1 Ürünlerin Gruplandırılması.....	32
6.2 Önerilen Algoritmaların Uygulanması.....	33
7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER.....	37
KAYNAKLAR.....	39
ÖZGEÇM	44

TABLO LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 5.2.1: Deneysel çalışma manının gerçekleştirildiği veri kümeleri.....	27
Tablo 5.2.2: $s=5$, $m_{si}=2, 3, 5$ ve $j_i=3, 15$ sistemleri için önerilen algoritmaların deneysel çalışma sonuçları.....	28
Tablo 5.2.3: $s=8$, $m_{si}=2, 3, 5$ ve $j_i=3, 15$ sistemleri için önerilen algoritmaların deneysel çalışma sonuçları.....	29
Tablo 5.2.4: $s=21$, $m_{si}=2, 3$ ve $j_i=3, 15$ sistemleri için önerilen algoritmaların deneysel çalışma sonuçları.....	30
Tablo 6.1.1: Ürünlerin gruplandırılması ve olasılık dağılımları.....	33
Tablo 6.2.1 Gerçek veri seti ile çalıştırılan algoritmaların sonuçları.....	34
Tablo 6.2.2: Ürün tiplerinin sistemde geçirdiği ortalama zamanlar.....	35
Tablo 6.2.3: A amallardaki toplam ortalama kuyruk zamanı.....	35

EK L L STES

ekil	Sayfa
ekil 3.1.1: akı eması.....	15
ekil 5.1.1: Simülasyon programının anahtar sınıfları.....	24

1. G R

Müteri memnuniyeti; günümüzde tüm geçerli sektörler için öncelikli bir kuraldır. Bu altın kuralın altında yatan en önemli husus ise istenilen artları sağlayan ürünler kadar o ürünlerin istenilen sürelerde tesliminin sağlanmasıdır. Bu artın yerine getirilmesi ancak ve ancak güçlü bir kaynak planlaması ile mümkün olacaktır. Rekabet artlarının gittikçe artması bu dönemde ayakta kalmak isteyen işletmeler kaynaklarının etkin kullanımını sağlamak zorundadırlar. Bunu sağlamak için temel artı ise sistemin doğru bir şekilde planlanmasıdır.

Üretim sistemlerinde planlama; siparişlerin doğru zamanda ve doğru kaynakla yapılmasının sağlanmasıdır. Bir üretim sisteminde, hammaddeye erişimden iş gücünün durumuna kadar planlamayı dinamik olarak etkileyen pek çok faktör bulunmaktadır. Bu faktörlerin üretim sisteminde doğru biçimde planlanması doğru çözümlenmesiyle mümkündür. Çizelgeleme, üretim ve hizmet endüstrilerinde temel bir karar verme prosesi olarak da tanımlanabilir. Kaynakların belirli bir zaman periyodunda görevlere atanarak bir ya da birden fazla amacı optimize etmesini amaçlar [1].

Çizelgeleme çalışmaları, 20. yüzyılın başlarında Henry Gantt öncülüğünde başlatılmasına rağmen bu konu ile ilgili yayınlar 1950'li yıllarda ortaya çıkmıştır. 1960'lara gelindiğinde dinamik programlama ve tam sayılı programlama ile problemler çözülebilir hale gelmiştir. 1980'lerde akademik ve endüstriyel alanda stokastik çizelgeleme problemleri ele alınmıştır. Yine aynı yıllarda kişisel bilgisayarların üretim tesislerine girmesi ile gerçek hayat çizelgeleme problemlerini çözecek sistemler geliştirilmeye başlanmıştır [1]. Günümüzde bilgisayar teknolojisindeki hızlı ilerleme çizelgeleme sistemlerini şirketlerin hemen her boyuttaki problemlerini çözme konusunda uygun hale getirmiştir.

Bir akı atölyesinde, her işi sıralanmış makinelerde işlem görmektedir. Makinelerin sırası işler için önem arz etmektedir, çünkü bir makinenin çıktısı sıradaki makinenin girdisi olacaktır. Kısaca, birbirinden bağımsız ve farklı işlerden oluşan N iş, m

makineye çizelgelenmelidir. Her j i i ($j \in N$) tüm m makinelerini sırasıyla ziyaret etmelidir. Bir i i lem gördü ü makinede tamamlanmadan sıradaki makinede i lem göremez ve bir makinede birden çok i i lem göremez. Ancak, bazı özel sistemlerde bazı i ler bazı makinelerde i lem görmeden sonraki sıradaki makinede i leme ba lar, bu özel tip akı atölyeleri “esnek akı atölyesi” olarak adlandırılmaktadır. Bazı durumlarda ise sistemde tek bir makine yerine ba ımsız paralel makineler mevcut bulunmaktadır, bu tip akı atölyeleri ise “hibrid akı atölyesi” olarak adlandırılmaktadır. Gerçek bir üretim sisteminde günümüz ko ullarına en uygun olan sistem hibrid esnek akı atölyesidir.

Ara tırmacılar, genellikle üretim çizelgeleme prosesini deterministik i lem zamanları ve çizelge olu turulduktan sonra beklenmedik olayların olu abilme ihtimali göz ardı ederek statik bir süreç olarak ele almı lardır. Fakat gerçek üretim sistemleri dinamik ve çok sayıda stokastik belirsizlik içermektedir. Örne in, makine bozulmaları, stokastik i lem zamanları ve acil sipari ler gibi. Bu sebeple, son yıllarda belirsizlik altında üretim çizelgeleme konusunda ki çalı maların sayısı hızla artmaktadır.

Tüm sektörlerde de mü teri beklentileri gerçek zamanlı olaylara kar ı esneklik sa lanması yönündedir. Anlık mü teri isteklerine anlık cevap verebilmek ya da beklenmeyen olaylar kar ısında verilmi taahhütlere uyarak mevcut sürecin akı nı sa lamak gerekmektedir. Böylesine de i ken bir dünyada üretim planının istekleri kar ılayabilmek ve rekabetçi dünyada bir adım öne geçmesini sa layabilmek için dinamik olması beklenmektedir.

Dinamik üretim sistemlerinde, “gerçek zamanlı olay” olarak adlandırılan ve üretim akı nı etkileyen ve de i tiren çe itli aksaklıklar söz konusudur. Gerçek zamanlı olaylar iki kategoriye ayrılmaktadır [2].

1. Kaynak ile ilgili kili: makineden kaynaklı problemler, operatörden kaynaklı problemler, takımdan kaynaklı problemler, hammaddeden kaynaklı problemler v.b.
2. ile ilgili kili: acil siparişler, sipariş iptali, teslim tarihi değişiklikleri, erken ya da geç gelen işler, öncelik sırası değişiklikleri, teslim zamanı değişikliği v.b.

Bu tez çalışması kapsamında hibrid esnek atölye tipi çizelgeleme problemine dayanan, metal sektöründe faaliyet gösteren bir firmanın tüm proseslerinin sırasıyla çizelgelenmesi problemi ele alınacaktır. Firma, başta otomotiv, beyaz ev eşyaları gibi ana sanayilerde faaliyet gösteren dünya çapında firmalara rulman üretilip tedarik etmektedir. Talepler, firmaya günlük hatta anlık olarak gelmektedir. Eldeki stoklar da değerlendirilerek üretim planlanmaktadır.

Üretim, uzun ve hassas prosesler boyunca gerçekleştirilmektedir. Sistem toplamda 9 temel aamadan oluşmaktadır, bu aamalar ise kendi içlerinde 3-5 alt aamaya ayrılmaktadır. Tüm aamalarda farklı adetlerde paralel makineler vardır, bu makinelerden bazıları tüm ürün tipleri için uygunken bazılarında sadece belirli tipler/boyuttakiler için kullanılmaktadır. İşler, aamaları sırasıyla takip etmek zorundadır, ancak bazı özel tipler belirli aamaları atlamaktadır.

Mevcut durumda, üretim belirli bir çizelgeye uygun olarak gerçekleştirilmektedir. Ancak bu çizelge gerçek hayat olaylarına uyum sağlayamamakta, anlık gelişen olaylara cevap verememektedir. Bir olay gerçekleştiğinde yeni çizelgeye göre verilen termin tarihleri çok uzun süreli olmaktan müddet beklentisini hiçbir şekilde karşılayamamaktadır. Bu öncelikle firmaya mali kaybı olarak dönmekte fakat süreç böyle devam ettikçe müddet kaybıyla sonuçlanması söz konusu olabilecektir.

Bu tez çalışmasında, mevcut sistem Java programlama dili üzerinde bir simülasyon kütüphanesi kullanılarak simüle edilmiştir. Öncelikle literatürde bu problem için uygun algoritmalar sırasıyla denenmiştir. Bu algoritmalar, önce deneysel çalışmaları ile üretilmiş daha küçük boyutlu problemler için çalıştırılmıştır. Aralarından başarılı sonuç alınan algoritmalara dayanarak yeni algoritmalar geliştirilmiştir. Bu

algoritmaların sonucunda daha iyi sonuçlarla karşılaştırılan algoritmalar ise ele alınan işletmede gerçek veriler kullanılarak çalıştırılmış, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda bir dinamik hibrid esnek akı atölyesi problemi için önerilen yeni çözüm yöntemlerinin mevcut yöntemlere oranla daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Bu çalışmamızda organize edilmiştir: ikinci kısımda literatürde yapılan çalışmalardan bahsedilmiş, bu çalışmalar gruplandırılarak detaylı olarak incelenmiştir. Üçüncü kısımda problemin tanımından bahsedilmiş, bu tez çalışmasının motivasyonunu oluşturan gerçek hayat probleminden ve problemin bileşenlerinden detaylı olarak bahsedilmiştir. Dördüncü kısımda bu problemi çözebilecek literatürde daha önce çalışılmış algoritmalarından bahsedilmiş ve bunun yanında problemi çözmek için geliştirilen algoritmalarından bahsedilmiştir. Beşinci kısımda ise mevcut algoritmaların ve önerilen algoritmaların üretilen deneysel veriler için gösterdiği performanslar incelenmiştir. Altıncı kısımda ise çalışmamızın temel amacını oluşturmakta olan gerçek problem için algoritmalar çalıştırılmış sonuçları karşılaştırılarak incelenmiştir. Yedinci kısımda ise genel olarak yapılan çalışmalar değerlendirilmiş ve gelecekte yapılabilecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

2. L TERATÜR ÇALI MASI

Hibrid esnek akı atölyesi problemleri gerçek hayatta sıklıkla kar ıla ılıyor olmasına ra men geçmi ten günümüze kadar literatür çalı maları incelendi inde konu üzerinde teorik olarak atölye çizelgeleme çalı malarına oranla sınırlı sayıda çalı maya rastlanmı tır. Gerçek hayat hibrid akı atölyesi çizelgeleme probleminin ele alınmı ı ve üzerine önerilen çözüm yöntemleri ula ılabilen kaynaklara dayalı olarak incelenmi tir. Yapılan çalı malarda genellikle maksimum yayılma zamanının minimizasyonu, optimizasyon kriteri olarak ele alınmı tır. Çözüm yöntemi olarak dal sınır algoritması ve karma tam sayılı programlama modeli en yaygın kullanımdır. Fakat dal sınır algoritması problemin karma ıklık boyutu açısından her zaman tercih edilememektedir.

Problem çevresini olu turan çok çe itli durumlar söz konusu oldu undan en iyi yakla ımı belirlenmesi olasılı ı güç gözükmemektedir. Sadece bazı sınırlı ifadeler altında, özel durumlar için yakla ımlar kar ıla tırılabilir. Simülasyon ve karar destek sistemi olu turma amaçlı yakla ımlar ise benzetim için i sıralama kuralları kullanılarak gerçek hayat durumlarını ele alabilecek bir karar destek sistemi hazırlamaktadırlar.

Çizelgeleme, yıllardan beri pek çok ara tırmacının üzerinde çalı tı ı bir konu olmasına kar ın literatür çalı malarında da incelendi i üzere görülebilece i gibi pek çok ara tırmacı i lem zamanları, termin tarihleri gibi önceden bilindi i varsayılan parametreler ile deterministik çizelgeleme problemleri üzerine çalı mı tır. Fakat daha önce de bahsedildi i üzere gerçek hayat problemleri içerisinde pek çok bilinmezlik içermektedir. Bilinmezlik derecesi problemin parametre özelliklerine göre de i mektedir. Örne in, i lem zamanı parametresi 2 saat iken varyansı 1 dakika ise bu parametre için belirsizlikten söz edilemez. E er problemin tüm verilerinin belirsizlik derecesi önemsiz ise, deterministik yakla ımla incelenmesi daha do ru olacaktır fakat belirsizlik ve bilinmezlik derecesi yüksek problemlere, stokastik yakla ımla yakla ımla yakla ımla alınacak sonuçlar daha gerçekçi olacaktır. Yani, problemin karakteristik özellikleri dikkate alınarak bir yakla ım getirmek do ru bir sonuca

ula mak açısından son derece önemlidir. Deterministik bir problem için i lem zamanlarının, beklenen de erleri ile de i tirilerek çözüldü ü bir problemin optimal sonucu gerçek problem için zayıf bir çözüm olacaktır [2].

Stokastik problemler iki sınıfta incelenmektedir: statik modeller ve dinamik modeller. Statik modellerde tüm i ler planlama periyodu ba nda hazırır ve önceliklerine göre sıralanmı tır. Öncelik sırası sabitlenmi tir ve planlama süresince bu liste de i tirilemez. Fakat dinamik modellerde i ler sisteme zamanla giri yapar ve ilk makinenin önündeki kuyru a katılır. lerin sıralaması ise her an de i ebilir. Çizelgelemeci, sisteme gelmi i lere göre öncelik sıralamasını yapar. Sisteme yeni bir i geldi inde ise bu sıra tekrar güncellenir. Pinedo [3] çalı masında stokastik çizelgeleme politikasının i lerin bölünebilmesi durumuna göre dörde ayrıldı nı varsaymı tır:

1. Kesintisiz statik liste politikası,
2. Kesintili statik liste politikası,
3. Kesintisiz dinamik politika,
4. Kesintili dinamik politika.

2.1 Deterministik Yakla ım Altında Akı Atölyesi Çizelgeleme Problemleri

Deterministik yakla ım altında incelenen literatür çalı maları öncelikle hibrid akı atölyesi, esnek akı atölyesi ve hibrid esnek akı atölyesi ba lıkları altında 3 ayrı bölümde incelenmi tir.

2.1.1 Hibrid akı atölyesi çizelgeleme

Ribas vd.[4] tarafından hazırlanan üretim sistemlerinde hibrid akı atölyesi probleminin karakteristikleri, kısıtlamaları ve çözüm yöntemlerinin tartı ıldı ı bu çalı ma konu hakkında genel bir bilgi edinilmesi açısından önemli bir rol sahibi olmu tur. Bu çalı maya göre, genellikle makinelerin özde oldu u varsayımı yapılmaktadır, fakat bu varsayımın gerçek problemden oldukça uzak oldu u belirtilmi tir. Bu algoritmanın çözebilece i en karma ık problem sistemi 20 i in

oldu u 5 a amalı bir sistemdir. Makine sayısı ve darbo az sayısı birden fazla oldu u durumlarda sıkı bir üst sınır arayan sezgisellere ba vurmanın daha do ru bir yöntem oldu u belirtilmi tir. Hibrid problemler için önerilen sezgiselleri birlikte kullanarak çözüm üretmeye çalı ılan bir yakla ım da söz konusudur.

200'ün üzerinde hibrid akı atölyesi probleminin çalı ıldı ı makalelerin incelendi i bir literatür taraması çalı ması Ruiz vd. [5] tarafından yapılmı tır. Bu çalı manın genelinde basit birle imsel optimizasyon problem modelleri üzerinde incelemeler yapılmı tır. Bu çalı maların %60'ı optimizasyon kriteri olarak maksimum yayılma zamanını ele alınmı tır. Geriye kalan yüzdeler dilimde ise di er amaç fonksiyonları yer almaktadır, bazı durumlar için maliyet fonksiyonları daha anlamlı olabilmektedir, ancak pratik uygulamadaki tüm bu maliyet fonksiyonlarının incelenmesi mümkün de ildir. Aynı durum kısıtlar ve varsayımlar için de geçerlidir, kısıt ve varsayımların gerçek problemlere uygun olmasından çok kapsamlı hibrid akı atölyesi çizelgeleme problemini çözebilecek sezgisel algoritmalar için esnek olması kaygısı güdülmü tür. Ayrıca kurulum zamanlarının probleme katılmasıyla çalı malar derinlik ve gerçekçilik kazanmı tır.

Nishi vd. [10] tarafından yapılan çalı mada hibrid akı atölyesi çizelgeleme problemi, lagrangian gev etmesi ve kesi ekleme algoritması kullanılarak çözülmü tür. Çok a amalı bir sistem için uygulanmı tır. Sistemler arasında öncelik ili kileri bulunmaktadır, i lerin bölünmesine izin verilmemektedir. Problem için amacı maksimum gecikmeyi minimize etmek olan bir tam sayılı matematiksel model geli tirilmi tir. En karma ık boyutlu problem i sayısı 100 iken her a amada 5'er paralel makine olan 4 a amalı sistemde gecikme ve teslim tarihi için belirli faktörler seçilmi ve bu seçenekler atında senaryo analizleri yapılmı tır. Sonuçların de erlendirilmesinde dualite farklılı ı parametresi ölçüt olarak alınmı tır. Bu parametreye göre de erlendirildi inde, standart lagrangian gev etmesine göre geli tirilen metod üç kat daha iyi sonuçlar verdi i gözlemlenmi tir.

Gicquel vd. [11] limitli bekleme kısıtı altında karmaık bir hibrid akı atölyesi çizelgeleme problemini incelemi lerdir. Karma tam sayılı do rusal programlama formülasyonu kullanılmı tır. Çözüm yöntemi olarak, yeni bir geçerli e itsizlik ailesi geli tirilmi ve matematiksel modele geçerli e itsizlikler eklenerek çözdürülmü tür. Deneysel çalı malar sonucunda bu yöntemin iyi olurlu çizelgeler olu turdu u gözlemlenmi tir.

Ziaefar vd. [12] çalı malarında hibrid akı atölyesi problemine yeni bir matematiksel model sunmaktadırlar. Bu probleme göre belirli bir sayıda ba ımsız paralel i lemciler a amalara atanmı ve a amalar arası stok alanı sınırsızdır. Çözüm yöntemi olarak genetik algoritmaya dayanan yeni bir sezgisel algoritma geli tirilmi tir. Bu yöntem, i lerin en iyi çizelgesini bulurken aynı zamanda i lemcileri a amalara atamaktadır. Önerilen bu çözüm yönteminin, belirlenen problemi her boyutta çözebildi ini söylenmektedir.

Gómez-Gasquet vd. [13] tarafından geli tirilen çalı mada sıralı ba ımsız kurulum zamanları olan bir hibrid akı atölyesinde yayılma zamanını minimize etmek amacıyla etmen tabanlı bir genetik algoritma kurmu lardır. Bu yöntem, etkinli i kanıtlanmı bilinen yöntemlerle kar ıla tırılmı ve deneysel çalı ma sonuçlarına göre daha iyi sonuçlar verdi i gözlemlenmi tir.

Mao vd. [14] çalı malarında çelik üretiminin dar bo azı olan çelik arıtma ve sürekli döküm a amasını ele almı lardır. Bu proses, i lerin gruplandı 1, aynı grup i lerin arasında bo bekleme zamanına izin verilmeyen, kurulum zamanları dikkate alınan ve öncelik kısıtları içeren hibrid akı atölyesi eklindedir. Çalı mada, amacı toplam a ırlıklı gecikme cezalarını ve i lerin bekleme sürelerini minimize etmek olan karma tam sayılı programlama modeli kurulmu tur. Bu problemin çözülmesi çok zor olaca ından Lagrangian gev etmesi yöntemi ile makine kapasitesi kısıtları gev etilerek gev ek problem tam sayılı ve tam sayılı olmayan de i kenleri üzerinden iki alt probleme bölünerek çözülmü tür. Ek olarak sınırlılık algılama metodu ve yeniden planlama ufku yöntemleri incelenmi tir. Ayrıca, geli tirilmi alt gradyan

seviyesi algoritması ile Lagrangian dual problemi çözümlenerek global yakınsama elde edilmiştir. Hesaplama sonuçlarına göre çözüm kalitesi ve çalışma süresi açısından geliştirilen Lagrangian gevretmesi yaklaşımının geleneksel yaklaşıma göre daha üstün olduğu anlaşılmıştır.

2.1.2 Esnek akı atölyesi çizelgeleme

D. Quadt ve H. Kuhn tarafından yapılan literatür taraması çalışması [15] ile esnek akı atölyesi problemleri ve yaklaşım yöntemleri ile ilgili detaylı bilgi edinilmiştir. Bu çalışmada problemlere bütünsel yaklaşım ve ayrıntılı yaklaşım bakış açıları altında problemin çözümü için önerilen sezgisel metotları incelemiştir. Ancak inceledikleri problemlerin belirli karakteristikleri mevcuttur, bunlardan en önemlisi kesintilere izin verilmemesidir. Bu problemler altında incelenen 50'ye yakın çalışma için yayılma zamanının minimizasyonu kriterinin amaç fonksiyonu olarak ele alınması önerilmektedir.

Jayamohan ve Rajendran [17] tarafından yapılan çalışmada esnek akı atölyesi probleminin çözümüne yönelik iki farklı yaklaşım tartışılmıştır. Bunlardan bir tanesi farklı amaçlarda farklı sıralama kuralları uygulamak, ikincisi ise her amaç için aynı kuralları uygulamaktır. Her iki yöntemle amaçlanan gecikmesini minimize etmektir. Çalışmada, her amaçta 2 makine bulunan 3 amaçlı sistemin incelendiği bir problem için gerçekleştirilmiştir. Çözümler her amaç için klasik sıralama kuralları uygulanarak oluşturulmuştur. Bu sonuçlar içinde ortalama akı zamanı ve ortalama gecikme amaçlarının en aza indirgenmesi amacıyla yönelik etkili sonuç veren kurallar PDP (SPT-EDD-SPT) ve PPD (SPT-SPT-EDD)'dir. Ancak, amaç sayısı arttıkça her amaç için uygun kuralı bulmak zaman alacaktır. Bu sebeple her amaç için farklı bir kural uygulamak her zaman avantaj yaratmayabilir.

Azizolu vd. tarafından 2001 yılında [18] çalışılmış olan esnek akı atölyesinde toplam akı zamanını iyileştirilmesi problemi için optimal çizelgeyi bulması amaçlanan bir dal sınır algoritması geliştirilmiştir. 12 iş, 5 amaçlı bir sistem için

önerilen yaklaşım ba arılı bir sonuç vermi tir. Algoritmanın etkinli i, alt ve üst sınır kısıtları ile peki tirilmi tir. Deneysel çalı malar sonucunda ise geli tirilen algoritmanın orta büyüklükte problemleri makul sürelerde çözebilece i ancak daha büyük boyutlardaki problemler için yetersiz kaldı ı gözlemlenmi tir.

2.1.3 Hibrid esnek akı atölyesi çizelgeleme

Azzi vd. [22] 2012 yılında yaptıkları çalı mada esnek üretim sistemlerinin içerd i alternatif akı rotaları belirlenerek benzer ürünlerin birlikte gruplandırılmasını sa lamı lardır. Bu grupları üretime alarak kurulum zamanları için harcanan maliyetleri azaltmaya yönelik esnek i önceli i kısıtlarını dikkate almı lardır. Çalı malarında, hibrid akı atölyesi çizelgeleme problemini esnek çok a amalı grup üretim sistemi çizelgeleme olarak tanımlamı lardır. Yayılma zamanını minimize etmeyi amaçlayan bir sezgisel algoritma olu turmu lardır. Bu sezgisel algoritma aynı zamanda makine kapasitesi kullanım oranını i yükü seviyelendirme fonksiyonu aracılı ıyla minimize etmektedir. Yöntem, gerçek bir sistemde uygulanmı tir. Klasik çizelgeleme kurallarından üstünlü ü gözlemlenmi tir.

Zandieh vd. [23] yaptıkları çalı mada endüstri sistemlerinde uygulanabilecek bir çizelge üretmeyi amaçlamı lardır. Bu sebeple hibrid esnek akı hattı problemini incelemi lerdir. Yayılma zamanını minimize etmeye amaçlayan karma tam sayılı matematiksel model kurulmu tur. Çözüm yöntemi olarak temel genetik algoritmaya dayalı bir yöntem geli tirmi lerdir. Ele alınan örnekler SPT, LPT ve NEH algoritmalarıyla ve geli tirilen meta-sezgiselle çözülmü tür. Geli tirilen meta-sezgiselin en iyi performansı gösterdi i gözlemlenmi tir. En karma ık ula ılan problem 100 i , 10 a ama ve her a amada 4 paralel makine bulunan sistemdir.

Kopanos vd. [24] çalı malarında gerçek çizelgeleme problemlerinde etkili olabilecek yinelemeli bir çözüm stratejisi benimsemi lerdir. Çok ürünlü ve çok a amalı bir sistemde gruplandırma yöntemini kullanmı lardır. Karma tam sayılı matematiksel model kurulmu tur ve iki a amalı çizelgeleme formülasyonu olu turulmu tur: MIP

temelli çözüm stratejisi herhangi bir olurlu çözüm bulunmasıyla başlar ve bu çözüm yinelemeli olarak çeyitli yeniden çizelge oluşturma teknikleri kullanılarak geliştirilir. Bu yöntemin en önemli noktalarından biri, çizelgecinin bir seviyede verilecek karar sayısını belirleyebiliyor olmasıdır. Böylece, çözüm uzayının boyutu belirlenecek, yönetilebilir model büyüklüğü modelin daha kararlı olmasını sağlayacaktır. Bu yöntem karmaşık yapıda ki çok ürünlü çok amaçlı ilaç üretimi çizelgeleme problemi üzerinde örneklendirilmiştir. Ortalama olarak yüksek kalitede sonuçlara ulaşılmaktadır.

Urlings vd. [25] uygulamada sıklıkla rastlanılan ek kısıtlar ve genellemeler içeren bir hibrid esnek akı atölyesi çizelgelemesi üzerine çalışmışlardır. Bu kısıtlar, öncelik, kurulum zamanları, gecikme süreleri, makine uygunlukları ve boşalma zamanıdır. Çözüm yöntemi açgözlü algoritmayla başlayan metot ilerleyen iterasyonlarda tüm çözüm alanında yerel arama yapılarak bulunan sonuca güncellenerek devam eder. Sıklıkla karşılaşılan bir problem için önerilen yaklaşım literatürde yenidir ve elde edilen karışılmalı sayısal sonuçlara göre etkin bir yöntemdir.

Gruplandırılmış akı yönteminin sade akı atölyesi problemlerinin çözümünde verdiği etkin sonuçlar doğrultusunda, Defersha ve Chen [26], gruplandırılmış akı tekniğiyle ilgili alt gruplara bölerek üst üste binmeye izin verilen çok amaçlı bir hibrid esnek akı atölyesi sisteminde yayılma zamanını minimize etmeyi amaçlamışlardır. Bir matematiksel model geliştirilmiş ve gruplandırılmış akı çözüm yönetimini içeren bir genetik algoritma kurulmuştur. Bu algoritma hem sıralı hem de paralel durumlar için hesaplanmış ve nümerik sonuçlara göre geliştirilen sezgisel, paralel uygulama ile performans iyileştirilmiştir.

ncelenecek problem sistemine en benzer olarak yapılmış çalışmada Ruiz vd. [27] 2008 yılında gerçekleştirdikleri çalışmadır. Bu çalışmada, gerçekçi bir üretim sistemi üzerinde çalışarak çeyitli karakteristiklerin problem formülasyonuna olan etkisini incelemişler, “n” adet i, “m” amaçlı ve her amaçta belirli sayıda paralel makine olan problem için bir karma tam sayılı matematiksel model geliştirmişlerdir. Ayrıca

bu problem için sezgisel algoritmalar ile optimal sonuca ulaşmaya çalışılmaktadır. Çalışmalarında, işlemlerin bazı amaçları atlamalarına izin verilmektedir, bu sayede problem esneklik kazanmıştır. Ayrıca, sıralı veya bağımsız kurulum zamanları, makinelerde tamamlanma zamanları, makinelerin uygunluk durumu ve işlemler arası öncelik ilişkileri dikkate alınmıştır. Amaç fonksiyonu maksimum yayılma zamanını minimize etmektir. Kurulan matematiksel model ile en karmaşık duruma sahip $n=15$ $m=3$ $m_i=1$ problemi 300s CPU zamanında 0.78gap ile $m_i=3$ problemi ise 300s bilgisayar zamanında 3.12gap ile çözmeyi başarmıştır. Geliştirilen sezgisel model ise NEH algoritmasından yola çıkılarak geliştirilmiştir. NEH algoritmasıyla en karmaşık problem büyüklüğü $n=100$ $m=8$ $m_i=4$ olan problem 0.97gap ile çözülmüştür. Geliştirilmiş NEH algoritmasından beklenti ise tüm işlemleri sıralama kurallarından daha iyi sonuç vermesidir. Bu algoritma $m=4$ 'ten $m=8$ 'e kadar çalıştırılmış, amaç sayısı arttıkça sonuçlar kötüleşmiştir ancak her amaçdaki paralel makine sayısı arttıkça sonuçlar iyileşmiştir.

2.2 Stokastik Yaklaşım Altında Akı Atölyesi Çizelgeleme Problemleri

Elyasi ve Salmasi [28] çalışmalarında geciken işlemlerin beklenen değerini minimize etmeyi amaçladıkları bir dinamik m makineli hibrid akı atölyesi problemi üzerine çalışılmıştır. Bu çalışmada, deterministik işlem zamanları ve stokastik teslim tarihlerine sahip işlemlerin rastgele sisteme geldiği varsayılmaktadır. Söz konusu stokastik teslim tarihlerinin normal dağılıma göre bilinen ortalama ve varyans ile dağıldığı varsayılmaktadır. Kullanılan dinamik metod, tüm sistemi m adet stokastik tek makineli alt probleme ayırarak her problemi matematiksel model kullanılarak çözümlenmiştir. Deneylenen en büyük problem boyutu 50 işlemler, 10 makine için 10.000 tekrardır. Elde edilen sonuçlar hibrid akı atölyesi için en etkin işlemleri sıralama sezgisellerinden biri olan SPT ile karşılaştırılmış ve %23,90 oranında daha başarılı bulunmuştur.

Choi ve Wang [30] yürüttükleri çalışmada esnek akı atölyesi problemlerinin karmaşıklık sınıfının NP-zor olduğunu belirterek stokastik belirsizlikler altında daha

da zor bir hal aldı mı belirtmişlerdir. Stokastik işlem zamanları mevcut olan bir esnek akı atölyesi sistemi için yayılma zamanını minimize etmek amacı ile çalışmışlardır. Çözüm yöntemi olarak ayrı tırma tabanlı yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Bu algoritma SPT ile sıralama kuralı sezgiseli ve genetik algoritmayı birlikte kullanmaktadır. Önerilen ayrı tırma tabanlı yaklaşım ilk önce esnek akı atölyesi makinelerinin kendi stokastik yapılarına göre uygun sayıda makine kümelerine göre gruplanmasını hedefleyen bir komu K kümelenmesi için geliştirilmiştir. ki ideal geri çağırım a 1 içinde e zamanlı ve farklı zamanlı iş varlıkları için senaryolar oluşturulmuştur. Bunlar daha sonra alt çizelgeleme için her makine kümesine SPT ve ya GA'dan biri seçilerek atanır. Son olarak, geniş kapsamlı bir çizelge makine kümelerinin alt çizelgeleri entegre edilerek oluşturulmuştur. Uygulanan en büyük problem boyutu 40 i , 15 a ama, her a amada 4'er paralel makine bulunan sistemdir. Hesaplama sonuçlarına göre stokastik işleme zamanlarıyla birlikte olarak esnek akı atölyesi çizelgeleme için önerilen yaklaşım ayrı ayrı SPT ve GA'yı geride bırakmaktadır.

Wang vd. [31] çalışmalarında stokastik akı atölyesi problemi üzerine çalışmaktadır. Sistemde işlem zamanları belirsizdir. Çizelgeleme konularında sıklıkla karşılaşılmakta olan genetik algoritmadan çözüm yöntemi olarak yararlanmışlardır. Hem stokastik akı atölyesi probleminin çözümünde daha etkili olacak hem de genetik algoritmanın erken yakınsama problemini engellemek için bir hipotez test metodu genetik algoritma ile birlikte kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım, istatistiksel performans ve hipotez testine dayanmaktadır. Genetik algoritmanın global arama özelliğinden faydalanılmasının yanında tekrarlanan aramaları nüfus çeşitliliğini artırmak ve daha iyi sonuçlar elde edecek şekilde istatistiksel anlamda tekrarlanan aramaların önüne geçilmektedir. Önerilen yöntemin, olurluluk ve geçerlilik alanlarında geleneksel genetik algoritma ile karşılaştırıldığında üstün olduğu gözlemlenmiştir.

3. PROBLEM TANIMI

Bu tez çalı masında metal sektöründe büyük otomotiv ve beyaz e ya firmaları gibi büyük OEM firmalarına rulman üretimi yapmakta olan bir firma ele alınmıştır. Rulmanın temel görevi, aralarında rölatif dönme hareketi olan iki eleman arasında sürtünmeyi minimuma indirmek ve sorunsuz yük aktarımını sa lamaktır. Redüktör, vantilatör ve pompalarda, takım tezgâhları millerinde, otomobil aftı, aks, di li kutusu, kayı gergi sistemi, alternatör ve direksiyon sistemlerinde, su pompası ve kapılarda, her çe it endüstriyel elektrik motorunda, çama ır makinesi ve elektrikli süpürgelerinde, tarım makinelerinde, a ır i makinelerinde kullanılmaktadır.

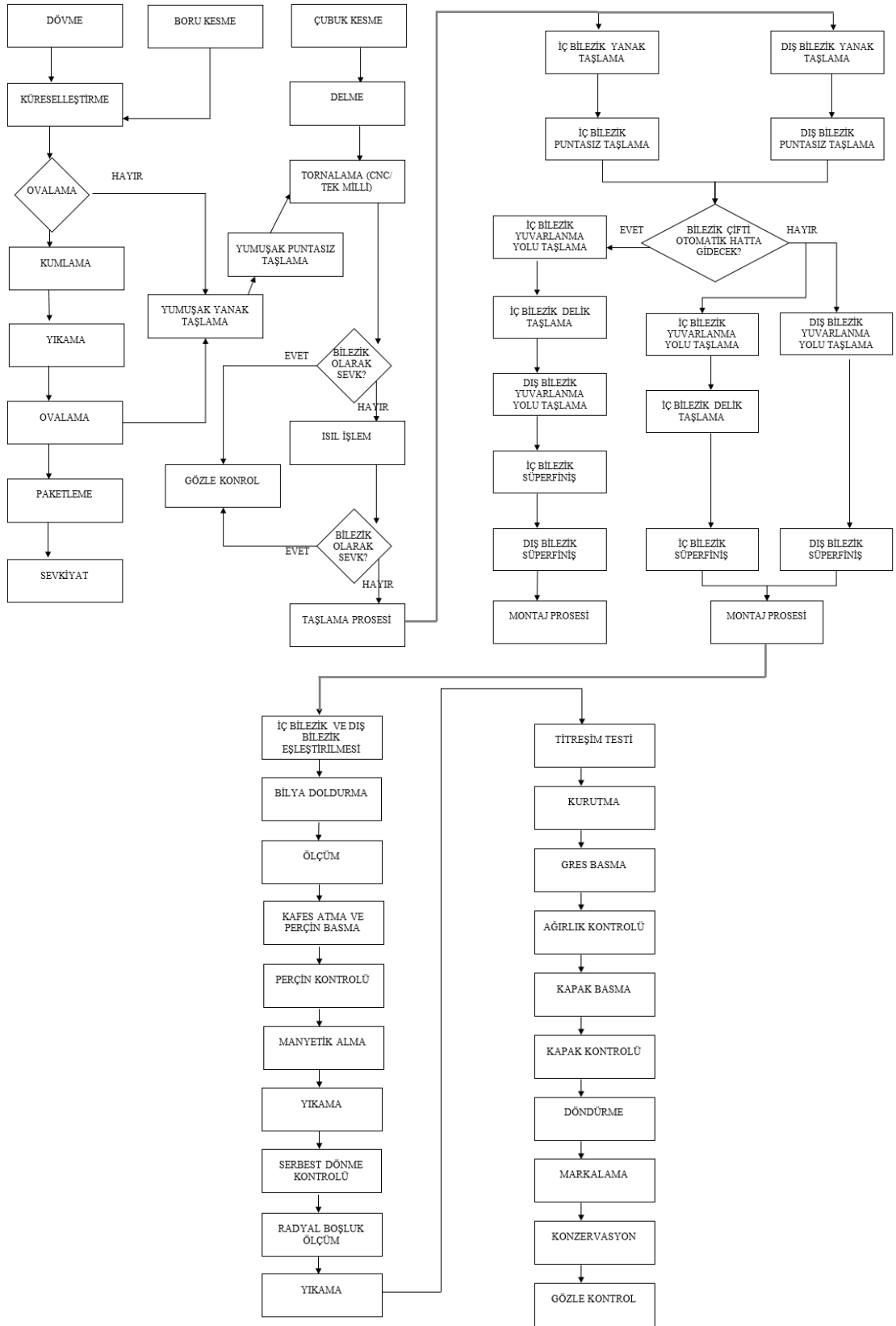
Rulman, dönen her mekanizmanın elemanı olmasına kar ın dünya üzerinde bu alanda üretimde bulunan fabrika sayısı son derece azdır. Bu sebeple rekabetçi ko ullarda öne çıkma ihtimali son derece yüksekken aynı zamanda geriye dü me ihtimali de bir o kadar yüksektir. Bu ko ullar göz önünde bulunduruldu unda en kısa terminlerle en kaliteli ürünü sa lamak mecburiyetindedir.

Rulmanlar özelliklerine göre a a ıdaki gibi sınıflandırılırlar;

1. Yuvarlanma yolu elemanına göre
 - 1.1. Bilyalı rulmanlar
 - 1.2. Makaralı rulmanlar
2. Maruz kaldıkları yüklere göre
 - 2.1. Radyal
 - 2.2. Eksenel

3.1 Mevcut Sistemin Analizi

letmede üretim hammaddenin geli i ile ba lamakta ve son ürüne kadar tüm a amaları tamamlanmaktadır. Hassas ve uzun bir üretim prosesi mevcuttur. Bazı özel tipler, mü teri özel isteklerine göre i lem görmekte ya da bazı a amaları atlamaktadır. Rulman üretim akı eması a a ıdaki gibidir:



Şekil 3.1.1: İş akış şeması

Tüm bu uzun ve hassas prosesler sonucunda ürün oluşmaktadır. Ayrıca, tüm bu işlemler bir ürünün karakteristiğini belirlemektedir. Her proses de işi ikli inde yeni bir ürün tipi ortaya çıkmaktadır. Mevcut sistemde ürün aralığı çok geniştir, yaklaşık 13.000 tip ürün üretilmektedir.

Mevcut sistemde üretim çizelgeleme yönteminde talep tahminleri taban alınarak hazırlanan imalat programlarına göre ilerlemektedir. Çizelge hazırlanırken son 3 aylık, 6 aylık, 9 aylık ve 12 aylık satış ortalamaları alınarak satış eğilimine bakılmaktadır. Bu imalat programı, geçmiş satışlar, güncel stok miktarları, sistemdeki kesin siparişler, aylık çalışma günü, ana imalat programı, tezgâh kapasitesi verileri kullanılarak hazırlanır.

Güncel olarak kullanılmakta olan sistemin etkinlik derecesi sınırlıdır. Bunun sebebi öncelikle tahmine dayalı çizelgelemedir. Önceden çalışılmış tahminleri temel alarak yapılan planlamanın her öngörülere dayalı metodun olduğu gibi dezavantajları vardır, hiçbir şekilde gelecekte önceden tam anlamıyla emin olunamaz. Önceden varsayılamayan pek çok değişkenli faktörler ne kadar kaliteli tahminler yapılmış olsa da geçersiz olmasına sebep olabilir. Örneğin, borsadaki ani değişimler gibi, beklenmedik ekonomik faktörler ya da uygulamanın gerçekleştirildiği firmanın en büyük müşterilerinden biri olan otomotiv devi firmanın dünya çapında krize girmesi gibi, beklenmedik kriz durumlarında müşteri talebindeki ani düşüşler ya da yükselişler tahminleri geçersiz kılar. Bu sebeple talep tahminine dayalı üretim yapmak firmalar için her zaman risk teşkil etmektedir.

Mevcut durum ve firmanın içinde bulunduğu piyasadaki kritik durumu incelendiğinde firmanın mevcut çizelgeleme sisteminin geliştirilmesi gerekmektedir. Ayrıca bunun yanında, literatürde, bu ölçüde büyük boyutlu gerçek üretim sisteminin çizelgelenmesi problemi üzerine bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu tez çalışmasında bu açığı doldurabilmek amacıyla kompleks bir üretim sisteminin değişken taleplere cevap verebilecek kadar esnek, aynı zamanda dengeli bir şekilde planlanarak

çizelgelenmesinin sağlanması hedef alınarak büyük boyutlu, bir hibrid esnek akı atölyesinin dinamik çizelgeleme yöntemi ile optimizasyonu üzerinde çalışılmaktadır.

3.1.1 Problemin karakteristiği

Bu tez çalışmasında, dinamik hibrid esnek akı atölyesi çizelgeleme problemi kesintisiz dinamik politika ile yayılma zamanını minimize etmek amacıyla çalışılmıştır.

Bir hibrid esnek akı atölyesinde, N kümesindeki işlemler, $N = \{1, \dots, n\}$ M kümesindeki aamalarda, $M = \{1, \dots, m\}$, işlem görecektir. Her aamada i , $i \in M$ olacak şekilde $M_i = \{1, \dots, m_i\}$ ve $m_i \geq 1$ koşulu ile birbirinden bağımsız paralel makineler bulunmaktadır. Her işlem, aynı akı rotasına sahiptir ve bütün aamalarda sadece bir makinede işlem görmek durumundadır. Ayrıca, problemin esnek olması sebebiyle bazı aamalar atlanabilmektedir. Aamada problem için tanımlanmış gösterimler bulunmaktadır:

F_j : j işleminin işlem göreceği aamalar kümesi, $1 \leq |F_j| \leq m$

p_{ilj} : i aamasında l , $l \in M_i$ makinesine atanan j , $j \in N$, işlemin işlem süresi.

Eğer j işlemi, i aamasını atlıyorsa ($i \notin F_j$) $p_{ilj} = 0$, $\forall l \in M_i$.

AT_{il} : i aamasındaki l makinesine varış zamanı.

E_{ij} : i aamasında j işlem için uygun olan makineler kümesi. Eğer j işlemi i aamasında işlem göreceği ise $1 \leq |E_{ij}| \leq m_i$ ve eğer j işlemi i aamasını atlıyorsa ise $|E_{ij}| = 0$.

Gösterim 1 ve 2'de her aamadaki uygun makinelerin paralel ve bağımsız olduğu ve işlemlerin bazı aamaları atlayabildiği tanımlanmıştır. Bu iki gösterim problemin hibrid esnek akı atölyesi olarak tanımlanması için referans olmuştur. 4. Gösterim ise özel işlemlerin belirli işlemleri ya da işlemlerini işleyebilecek makine ya da makinelerde işlem görebileceklerini göstermektedir.

Varsayımlar:

1. Önceli i yüksek olan özel i ler bulunmaktadır.
2. Kesintilere izin verilmemektedir. Ancak önceli i yüksek i beklemeden sıradaki makineye atanmalıdır.
3. ki makine arasındaki stok alanı sınırsızdır.
4. Kurulum zamanları i lem zamanlarına dâhil edilmiştir.
5. Her makine t anında sadece tek bir i i i leyebilir, her i t anında tek bir makinede i lem görebilir.
6. Her i bir önceki a amada tamamlandıktan sonra i leme ba layabilir.

Hibrid esnek akı atölyesi, akı atölyesi problemine göre daha karma ıktır. 2 a amalı çok makineli akı atölyesi problemi (FSMP) NP-Hard olarak tanımlanmıştır [49,50]. Sonuç olarak hibrid akı atölyesi probleminin NP-Hard oldu u varsayılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, geliştirilen algoritmanın sonuçlarının etkin olarak değerlendirilebilmesi amacı ile literatürde çok unlukla üzerinde çalışıldı ı tespit edilen yayılma zamanının minimize edilmesi amacı ile çalış ılmaktadır.

4. ÇÖZÜM YÖNTEMLER

ncelenen literatür çalı malarına göre hibrid akı atölyeleri çizelgelenirken öncelikle iki önemli çizelgeleme kararı verilmesi gerekmektedir:

1. Her a amanın ba langıcında i sırasına karar verilmesi
2. Her a amada i lerin makinelere atanması.

Standart akı atölyelerinde, i lerin sırasının belirlenmesi yeterli olmaktadır. Çünkü çizelgelemeden önce belirlenen ilk sıra tüm makineler için geçerlidir. Fakat hibrid esnek akı atölyesinde, olu turulan ilk sıranın her a ama için kullanılması kötü bir performans yaratmaktadır. Çünkü akı atölyesi için olu turulan sıraya göre ilk makine ya da a amaya atanan i in tamamlanma zamanı en küçüktür ve ikinci a ama ya da makine için en dü ük hazır olma zamanını verecektir. Ancak, hibrid esnek akı atölyesi probleminde bu yöntem geçerlili ini yitirmektedir. Bunun sebebi ilk a amaya atanmı ilk i , di er i lere göre daha büyük bir tamamlanma zamanına sahip olabilir. Bu sebeple, hibrid esnek akı atölyesinde her a amanın ba ında bir i sırası olu turulması daha etkin bir yöntem olacaktır. İlk a amada i lerin sırası, kullanılan çizelgeleme algoritmalarının çıktısıdır, sonraki a amalarda ise i ler önceki a amadaki tamamlanma zamanlarına göre sıralanabilir. Bu yönteme literatürde oldukça sık rastlanmı tır. i lerin her a amanın, M , öncesinde hazır olma zamanı, $M=\{2, \dots, m\}$, bir önceki a amadaki, $M - 1$, tamamlanma zamanına e ittir. Ancak bu yöntemin mevcut problem için uygulanması problem boyutunun büyüklü ü göz önüne alındı ında karma a yaratacak ve sistemin takibini önemli ölçüde zorla tıracaktır, bu nedenlerden ötürü ilk sözü geçen yöntem olan ilk sıranın belirlenmesi yöntemi sistemde kullanılmı tır.

4.1 Literatürde Mevcut Çözüm Yöntemleri

Literatürde çalı malar temel alınacak olursa a amaların öncesindeki i sıralamalarının belirlenmesinde i sıralama kuralı sezgiselleri kullanılmı tır.

Akı atölyesi çizelgeleme problemi çizelgenirken i lerin dinamik olarak gelmesi durumlarında ilk gelen ilk çıkar, FIFO ve en kısa i lem süresi, SPT kuralları literatürde en çok üzerine çalışılan kurallardır. Akı atölyesi probleminde ortalama akı zamanı, maksimum akı zamanı ve akı zamanının varyansı parametrelerinde etkinli i ispatlanmı i sıralama kuralları: FIFO, SPT, PT+ WINQ, PT+ WINQ+ AT eklindedir [18].

1. FIFO (ilk giren ilk çıkar): Kuyru a i lem görmek için ilk gelen i , makineye ilk atanır. Maksimum akı zamanını ve akı zamanının varyansı parametrelerinin minimizasyonu altında yapılmı çalışmalarda iyi sonuçlar vermiştir.

2. SPT (en küçük i lem zamanı): Kuyru a i lem görmek için gelen i lerden en küçük i lem zamanına sahip olan makineye ilk atanır. Ortalama akı zamanının minimizasyonu parametresi altında iyi sonuçlar vermiştir.

3. PT+ WINQ (i lem zamanı + kuyruktaki i sayısı): Holthaus ve Rajendran tarafından [9] çalışılmıştır. Ortalama akı zamanının minimizasyonu parametresi altında iyi sonuçlar vermiştir. Öncelik indisi: $Z_i = p_{ij} + W_i$.

4. PT + WINQ +AT (i lem zamanı + kuyruktaki i sayısı + i lerin geli zamanı): Holthaus ve Rajendran (1997) tarafından çalışılmıştır. Maksimum akı zamanını ve akı zamanının varyansı parametrelerinin minimizasyonu altında yapılmı çalışmalarda iyi sonuçlar vermiştir. Öncelik indisi: $Z_i = p_{ij} + W_i + T_i$.

Hibrid esnek akı atölyesinde, standart akı atölyesi problemine ek olarak bir de her a amada hangi makineye atama yapılacağına karar verilmelidir. Aslında, hibrid esnek akı atölyesi problemi, her a aması için bir bağımsız paralel makine problemi olarak varsayılabilir. Bu sebeple, ilk uygun makineye atama kuralı, FAM, en erken tamamlanma zamanı hedeflenen ve kurulum zamanı i lem zamanına katılmış durumlar için uygun bir çözüm olarak varsayılabilir [51].

sıralama sezgiselleri haricinde akı atölyesi çizelgeleme problemlerinde sıralamanın belirlenmesinde literatürde sıklıkla kullanılan diğer bir sezgisel algoritma ise NEH algoritmasıdır. Nawaz ve diğerleri tarafından standart akı atölyesi probleminin çözümü amacıyla geliştirilmiştir [52]. NEH algoritması yukarıda bahsedildiği sıralama sezgisellerinin aksine tek tek her amaç için çizelgenin sıralamaya çalışmaktadır. Geliştirilmiş NEH algoritması:

Amaç 1: Göstergeler ile işlerin ilk sıralamasının oluşturulması.

Amaç 2: Amaç 1'de oluşturulan sıralamaya göre işleri parça parça çizelgeye ekler.

Amaç 3: İlk uygun makineye atama kuralına göre en erken tamamlanma zamanı hedeflenen makineye atama yapılır.

4.2 Önerilen Çözüm Yöntemleri

Yukarıda bahsedildiği literatürde sıklıkla rastlanılan bu çözüm yöntemlerinden esinlenilerek üzerinde çalışılacak gerçek hayat probleminin yapısına uygun 3 adet çözüm yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemlerle bir permütasyon çizelgesi oluşturularak bir rotalama yapılmıştır.

Tüm algoritmalar geliştirilirken iş yükü olarak tanımlanan makinelere atanan işlerin ortalama işlem zamanlarının toplamından oluşmaktadır. Bu diğer iş, bir makineye atanma kararı verildiğinde ortalama işlem zamanı kadar artarken iş, işleminin tamamlanıp makineden başka bir deyişle o amaçı terk ederken azalmaktadır.

1. PT: Bu yöntem ile amaçya ilk gelen iş ilk çizelgenecektir. Amadaki makine seçimi ise ilk boş kalacak makine seçilerek yapılacaktır.
2. RANDOM: Amaya gelen işlerin belirli bir kural gözetmeksizin rastgele olarak makinelere atanmasıdır.

3. APT (assign work load): A amaya gelen i ler en dü ük i yükü de erine sahip olan makineye atanmaktadır. Bu algoritmayı PT algoritmasından ayıran özelli i ise makinenin bo alma zamanına de il i yükü parametresini dikkate almasıdır.
4. wPT + wWINQ: Ortalama i lem zamanları ve makinenin önündeki kuyrukta beklemekte olan i lerin a ırlıklandırılarak de erlendirilmektedir. Bu de erler iki a amada belirlenmektedir: ısınma periyodu ve kalibrasyon periyodu. Isınma periyodunda de erler 0,5 ve 0,5 de eriyle ba lar, Delta de eri 0,01 ile de i ir. Kalibrasyon periyodunda sistemde ilk a ama için en dü ük sonucu veren katsayılar sabitlenir ve çözüme bu katsayılar ile devam edilir.
5. APT / AT: APT algoritmasına ek olarak zamanın etkisinin sisteme yansıtılmasını amaçlar. Zaman parametresinin dikkate alınması sonucunda, sistemde olu abilecek fırsatların kaçırılması engellenecektir. Örne in, t anında sistemde bulunan x i inin i lem süresi birim iken y i inin i lem süresi birim ise ve sayısı, sayısına göre çok büyük bir sayı ise y i i atanıncaya ve i lemi tamamlanıncaya kadar x i inin kuyrukta beklemesi ve incelenen parametreleri etkiliyor olması büyük bir problemdir. Bunun yerine sistemde uzun süre zaman geçirmek yerine atanacak olursa sistemdeki bu yı lmanın önüne geçilmi olacaktır. Sistemde bulunulan zamanı toplam zamana oranlayabilecek ve ideal zamanı verecek bir formülasyon geliştirilmi tir:

$$\sum_i \frac{PT_i}{1+AT_i} \quad (4.2.1)$$

Sistemdeki her a amadaki her i için ortalama i lem zamanının, her i in varı zamanının bir fazlasına oranlanmasıyla elde edilen parametre ile zamanın a ırlıklandırılmı etkisinin ölçülmesi mümkün kılınmı tır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında, sistemdeki işlemlerin rastsal olarak oluşturulan dinamik bir sistem ayrık olay simülasyonu ile modellenmiştir. Java programlama dilinde, ayrık olay simülasyon modellerini işleten açık kaynaklı nesne tabanlı bir kütüphane olan JSL (java simulation library) kullanılarak programlanmıştır. Kullanılan bilgisayar, Intel Core i5 4210H CPU, 2.90Ghz 8GB RAM özelliklerindedir.

Geliştirilen ayrık olay simülasyonunda bir “olay” gerçekleştiğinde belirlenen kurallara göre yeniden çizelgeleme sistemi çalışmaya başlar. Bu sistemde, “olay” bir işlemin sisteme gelmesi ve her amaç için o amaçtaki makineyi terk etmesi olarak tanımlanmıştır.

Gelen işlemler için yapay kod:

- 1) Sıradaki gelme zamanı için çizelgele
 - a) $AT =$ işlemlerin gelme zamanı dağılımına göre oluşturulan zaman
 - b) Gelen olayı çizelgele, $t + AT$
- 2) Servislerin durumunu incele (dolu, müsait)
 - a) Eğer müsait ise;
 - i) Servis için atan.
 - ii) $ST =$ servis zamanı dağılımına göre servis zamanı oluştur.
 - iii) Ayrılan işlemleri çizelgele, $t + ST$
 - b) Eğer dolu ise;
 - i) Kuyrukta bekleyen işlemler sayısını 1 artır.

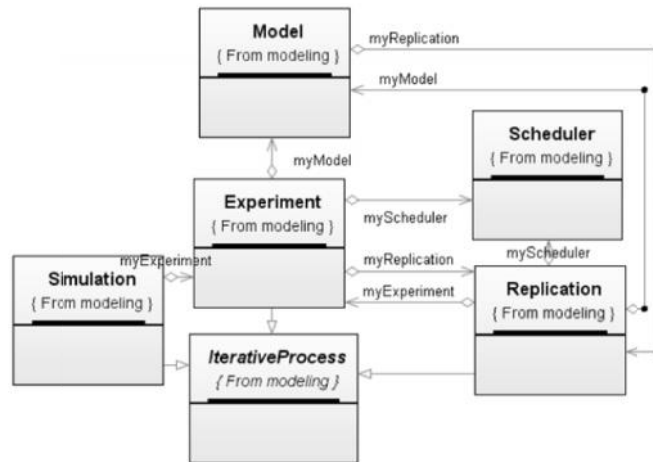
Ayrılan işlemler için yapay kod:

- 1) Eğer kuyrukta bekleyen işlemler varsa
 - a) Sıradaki müşteriyi kuyruktan kaldır.
 - b) Kuyruktaki sıradaki işlemleri servise ata.
 - c) $ST =$ servis zamanı dağılımına göre servis zamanı ata.
 - d) Sistemi terk eden olayı çizelgele, $t + ST$.
- 2) Eğer kuyrukta bekleyen işlemler yok ise
 - a) Servisi müsait yap.

5.1 Simülasyon Modeli

Bu tez çalışmasında Java programlama dilinde, ayrık olay simülasyon modellerini i leten açık kaynaklı nesne tabanlı bir kütüphane olan JSL (java simulation library) kullanılmı tır. Bu kütüphane, paketler, sınıflar ve fonksiyonlardan olu maktadır. JSL, 4 temel paket üzerine düzenlenmi tir: yardımcı programlar, takvim, modelleme ve gözlemlleme. Yardımcı program paketi, rastgele sayı üretme ve istatistiksel veri toplama amaçlı rastsal ve istatistiksel paketleri içermektedir. Modelleme paketi, kuyruk ve ya kaynak modelleme gibi temel simülasyon modeli gereksinimleri içermektedir. Gözlemlleme paketi, istatistiksel veri toplama, veri raporlama ve çıktıları belli ba lı programlara yazdırma gibi fonksiyonları içermektedir. Ayrıca bu yazılımın tercih edilme sebebi di er yazılımlara kar ı avantajı esnek ve geli tirilebilir bir yazılıma sahip olmasıdır.

Bir simülasyon modeli, bir sistemin zamandaki davranı nı tanımlar. Her bir tekrar bir örnek uygulamadır. Bir tekrar da deneyde, tek bir adımı temsil eder. Bu simülasyon modelinin anahtar sınıfları ekil 5.1.1' de gösterilmi tir.



ekil 5.1.1: Simülasyon programının anahtar sınıfları

Replication sınıfı, simülasyonun ısınma periyodunu kontrol altına almak ve simülasyonun uzunlu unu belirlemek için kullanılan bir replikasyon uzunlu una sahiptir. Bu sınıf tekrarlamalar arasındaki tesadüfî sayıdaki akımların nasıl ele

alındı nı kontrol eder. Ayrıca her bir tekrar zamana ba lı gruplandırmayı ölçebilir ve her a amada gözlemsel ve zamana ba lı istatistiksel miktarlar toplanır. Zamanla ili kilendirilebilir olması sayesinde, veri gruplarının daha ba ımsız çalı abilecek partilerde gruplanmasını sa layacak bir i leyi biçimi sa larlar. Experiment sınıfı, her bir tekrarın di er tekrarlardan ba ımsız olarak gerçekte mesini sa lar. Böylece, deneylerin de uzunluk ve ısınma periyotlarının oldu u söylenebilir. Bu deney sınıfı, tekrarlama periyotlardaki istatistiklerin toplanmasını sa lar ve tesadüfî sayıdaki akımların her bir tekrarın birbirinden ba ımsız olmasını sa layacak de erlerde ayarlanmasını sa lar. Simülasyon sınıfı uygulanacak bir dizi deneyi temsil eder. IterativeProcess sınıfı, herhangi bir sebep nedeniyle zamanla son bulacak olan bir dizi adımı içeren bir i lemdir. [62]

5.1.1 Mevcut sistemin çizelgeleme simülasyonu

Bu tez çalı masında i lerin çizelgelemesi, her a ama için i lerin geli zamanına göre yapılmaktadır. Modül, sisteme bir i girdi i zaman temel kuyruk teorisi esasınca, sistemde uygun durumda yani bo bir servis, mevcut sistemde makine, var ise i lem görmek için atanır. Aksi bir durum söz konusu ise yani sistemde tüm servis verebilecek makineler me gul ise kuyru a atanır.

Kuyru a atama i lemi, çalı ılan uygulamalarda öncelik esasına dayanmaktadır. Sisteme giri yapan i in öncelik durumu incelenir, e er öncelik listesinde ise derecesine göre kuyru a atanır, de il ise kuyru un en sonunda yerini alır. Sistemde öncelik kurallarının i leyi i i kesmeye izin verilen bir sistem olmaması sebebiyle sıradaki i olarak atama eklindedir. öyle ki, sisteme bir i geldi inde e er kuyruktaki sıradaki i ten yüksek bir öncelik derecesine sahipse yeni gelen i ilk sıraya atanır.

ncelenen problemin karakteristi i gere i i lem zamanlarının deterministik olması yakla ımdan uzakla ılarak stokastik i lem zamanları üzerinden hareketle çözüm algoritmaları üzerinde durulmu tur. Literatürde [64] bahsedildi i gibi stokastik problemlerde i lem zamanlarının gerçek de erleri yerine beklenen de erlerini i leme

almak daha do ru sonuçlar vermektedir. Geli tirilen uygulamada her a ama için ve o a amada i lem görecek her uygun i için, ortalama i lem zamanı belirlenir. Ortalama i lem zamanı (APT), j i için $i \in F_j$ a aması için u ekilde hesaplanır:

$$APT_{ij} = \frac{\sum_{l \in E_{ij}} p_{ilj}}{|E_{ij}|} \quad (5.1.1)$$

Kurgulanmı sistemde önceden gelece e dair hangi i in gelece i, gelecek olan i in tipi, i in i lem zamanı gibi herhangi bir bilgi mevcut de ildir. Sistemde dinamik olarak anlık çizelgeleme yapılmaktadır. ler sisteme gelir, uygun makine mevcut ise makineye mevcut de il ise önceli i kontrol edilerek kuyru a atanır, seçilen algoritmaya göre kuyruktaki i ler sıralanır, bu sırada makineye atanır ve i lemi tamamlanan i sistemden ayrılır. Her a ama için yeni bir i olu tukça bu süreç tekrarlanır.

Bu tez çalı masında çözüm yöntemleri bölümünde bahsedilmi i sıralama sezgiselleri incelenmi tir. ncelenen sonuçlar, sayısal de erlendirme bölümünde tartışılmı tir. Mevcut algoritmalar çalı tırılarak elde edilen sonuçlar tüm veri boyutları için de erlendirilmi tir. Bu de erlendirmeler sonucunda çözümlenmesi amaçlanan gerçek hayat hibrid esnek akı atölyesi problemi için en etkin sonucu verecek algoritma ara tırılmı tir.

5.2 Sayısal De erlendirme

Deneaylenen algoritmaların problem boyutlarına göre etkinli inin incelenebilmesi amacıyla do rudan büyük boyutlu problemin incelenmesi yerine a ama a ama problem boyutlarının yükseltilmesine karar verilmi tir. Yapay veri setleri literatürde [2 - 18] incelenen çalı malar temel alınarak olu turulmu tur.

Tablo 5.2.1'de görülebilece i üzere pek çok farklı problem boyutları deneysel çalı maya katılmı tir. Öncelikle verilerin kolaylıkla kar ıla tırılması amacıyla küçük

boyutlu problemler ile çalışılmıdır. 5 aamalı sistemde 2' er, 3'er ve 5'er baımsız paralel makine oldu u durumda, 3 i tipi ve 15 i tipi yaratılan durumlar için i lerin geli zamanlarının 2,75 parametrelili üssel dağılıma göre dağıldığı durumda, i lem zamanlarının yine üssel dağılıma göre ortalamasının 12 birim ile 99 birim arasında oldu u durum için tüm varsayılan algoritmalar çalışılmıdır.

Tablo 5.2.1:Deneyisel çalışmanın gerçekleştirildiği veri kümeleri

FACTOR	LEVELS	VALUES
Number of Stages	3	5, 8, 21
Number of unrelated machines on stages	3	2, 3, 5
Number of Job Types	3	3, 15
Arrival of Jobs	1	Expo(2.75)
Process Times	2	EXPO(12)-EXPO(99)

İlk olarak en küçük boyutlu, 5 aamalı, problem için algoritmalar çalıştırılmıdır ve sonuçları Tablo 5.2.2'de gösterilmiştir. Her aamada 3'er ve 5'er paralel makine oldu u durumlarda 15 i tipi ile i lerin üssel dağılımla 2,75 parametresiyle yaratıldığı durumda i lem zamanlarının üssel dağılıma göre ortalamasının 12 birim ile 99 birim oldu u durum için çalışılmıdır.

Tablo 5.2.2 tartışıldığında, algoritmalar problem boyutlarına göre topluca değerlendirildiğinde, APT algoritması, PT algoritmasına göre ortalama %10 iyileme sağlarken WINQ algoritmasına göre ortalama %3 oranında üstünlük göstermiştir. APT/AT algoritması aynı şartlar altında değerlendirildiğinde PT algoritmasına göre ortalama %23, WINQ algoritmasına göre ortalama %11, APT algoritmasına göre ise ortalama %15 daha iyi sonuçlar sağlamıştır. wPT + wWINQ algoritması aynı koşullar altında incelenecek olursa PT algoritmasına göre ortalama %66, WINQ algoritmasına göre ortalama %62, APT algoritmasına göre ise ortalama %62 ve APT/AT algoritmasına göre %52 daha iyi sonuçlar sağlamıştır.

Tablo 5.2.2: $s=5$, $m_{si}=2, 3, 5$ ve $j_i=3$ sistemleri için önerilen algoritmaların deneysel çalışma sonuçları

Seviyeler			Algoritma	Toplam Ortalama Kuyruk Zamanı	Toplam Ortalama Kuyrukta Bekleyen Sayısı
s=5	$m_{si}=2$	$j_i=3$	PT	622,13	106,23
			RANDOM	371,88	60,90
			APT	505,60	107,20
			APT/AT	336,24	116,63
			WINQ	623,62	90,85
			wPT + wWINQ	232,71	70,68
	$m_{si}=3$	$j_i=3$	PT	343,22	82,56
			RANDOM	171,20	20,55
			APT	339,40	105,49
			APT/AT	315,03	118,66
			WINQ	318,79	36,54
			wPT + wWINQ	143,24	38,70
	$m_{si}=5$	$j_i=3$	PT	354,21	125,33
			RANDOM	85,14	5,48
			APT	317,26	105,36
			APT/AT	300,72	119,66
			WINQ	261,40	23,96
			wPT + wWINQ	86,08	24,88

Sonraki amaçta da 8 amaçlı sistem diler parametreleri sabit tutularak ele alınmıştır. Her amaçta 3'er ve 5'er paralel makine olduğu durumlarda 15 i tipinde i lerin üssel dağılımla 2,75 parametresiyle yaratıldığı durumda i lem zamanlarının üssel dağılıma göre ortalamasının 12 birim ile 99 birim olduğu durum için çalışılmıştır. Sonuçları ise Tablo 5.2.3'te sunulmuştur.

Tablo 5.2.3: $s=8$, $m_{si}=2, 3, 5$ ve $j_i=15$ sistemleri için önerilen algoritmaların deneysel çalı ma sonuçları

Seviyeler			Algoritma	Toplam Ortalama Kuyruk Zamanı	Toplam Ortalama Kuyrukta Bekleyen Sayısı
s=8	$m_{si}=2$	$j_i=15$	PT	525,46	84,67
			RANDOM	410,56	64,64
			APT	458,88	102,59
			APT/AT	337,53	120,60
			WINQ	666,87	92,90
			wPT + wWINQ	260,70	76,76
	$m_{si}=3$	$j_i=15$	PT	432,12	62,20
			RANDOM	249,61	29,06
			APT	330,75	107,79
			APT/AT	324,45	121,89
			WINQ	576,14	62,37
			wPT + wWINQ	177,20	46,27
	$m_{si}=5$	$j_i=15$	PT	365,82	127,60
			RANDOM	115,47	8,27
			APT	315,07	107,70
			APT/AT	314,95	122,58
			WINQ	541,24	49,60
			wPT + wWINQ	135,01	30,78

Tablo 5.2.3 tartıldı ında, algoritmalar problem boyutlarına göre topluca de erlendirildi inde, APT algoritması, PT algoritmasına göre ortalama %18 iyile me sa larken WINQ algoritmasına göre ortalama %39 oranında üstünlük göstermi tir. APT/AT algoritması aynı artlar altında de erlendirildi inde PT algoritmasına göre ortalama %25, WINQ algoritmasına göre ortalama %45, APT algoritmasına göre ise ortalama %9 daha iyi sonuçlar sa lamı tır. wPT + wWINQ algoritması aynı ko ullar altında incelenecek olursa PT algoritmasına göre ortalama %57, WINQ algoritmasına göre ortalama %68, APT algoritmasına göre ise ortalama %49 ve APT/AT algoritmasına göre %42 daha iyi sonuçlar sa lamı tır.

Bir sonraki a amada ise çözümlenmesi amaçlanan gerçek boyutlu problem verilerine yakın bir veri kümesi olan ve en büyük yapay veri seti olan 21 a amalı sistem için 2' er 3'er ve 5'er ba ımsız paralel makine var iken i lem zamanlarının üssel dağılıma göre ortalamasının 12 birim ile 99 birim oldu u durum ele alınmı tır. Ortalama kuyrukta bekleme zamanı ve ortalama kuyrukta bekleyen i adedi parametreleri altında incelenen algoritmaların sonuçları a a ıdaki Tablo 5.2.4' de görülmektedir:

Tablo 5.2.4: $s=21$, $m_{si}=2, 3$ ve $j_i=3, 15$ sistemleri için önerilen algoritmaların deneysel çalı ma sonuçları

Seviyeler			Algoritma	Toplam Ortalama Kuyruk Zamanı	Toplam Ortalama Kuyrukta Bekleyen Sayısı
s=21	$m_{si}=2$	$j_i=15$	PT	604,46	121,78
			RANDOM	593,71	84,98
			APT	508,71	108,76
			APT/AT	361,36	120,55
			WINQ	823,14	111,67
			wPT + wWINQ	354,90	91,12
	$m_{si}=3$	$j_i=15$	PT	523,12	108,66
			RANDOM	472,72	49,73
			APT	340,42	105,05
			APT/AT	339,15	120,53
			WINQ	936,02	100,05
			wPT + wWINQ	292,75	60,33

Tablo 5.2.4 tartı ıldı ında, algoritmalar problem boyutlarına göre topluca değerlendirildi inde, APT algoritması, PT algoritmasına göre ortalama %25 iyile me sa larken WINQ algoritmasına göre ortalama %51 oranında üstünlük göstermi tir. APT/AT algoritması aynı artlar altında de erlendirildi inde PT algoritmasına göre ortalama %38, WINQ algoritmasına göre ortalama %60, APT algoritmasına göre ise ortalama %15 daha iyi sonuçlar sa lamı tır. wPT + wWINQ algoritması aynı ko ullar altında incelenecek olursa PT algoritmasına göre ortalama %43, WINQ algoritmasına göre ortalama %63, APT algoritmasına göre ise ortalama %22 ve APT/AT algoritmasına göre %8 daha iyi sonuçlar sa lamı tır.

Tüm deney kümelerine ait veriler hep birlikte değerlendirildiğinde ise geliştirilen algoritmadan wPT + wWINQ algoritmasının tüm deneysel çalışma kümeleri için en iyi sonucu verdiği ayrıca problem boyutu büyüdükçe daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sonuçlar incelenecek olursa işlem zamanları ve kuyrukta bekleyen iş sayısının birlikte ele alındığı durumda bekleme zamanlarını minimize etmek de oldukça yararlı bir uygulama olduğu görülmüştür. Alınan bu sonuçlardan hareketle gerçek veri kümesi için de en yararlı sonucu verecek algoritmanın wPT + wWINQ olması beklenmektedir. Bir sonraki aşamada derlenen gerçek veri seti ile deneysel çalışma bölümünde incelenen tüm algoritmalar incelenecek ve sistem için en etkin sonuçları verecek algoritma araştırılacaktır.

6. GELİTİRİLEN ALGORİTMALARIN GERÇEK SİSTEME UYGULANMASI

Gerçek veriler uygulamanın gerçekleştirildiği sistemden alınarak “Minitab 17” istatistiksel programında derlenerek geliştirilen uygulamada kullanılan veri setleri elde edilmiştir. Veri setleri «Microsoft Office Excel 2007» ile tekrar derlenerek uygulamada kullanılacak veri tablosu elde edilmiştir.

6.1 Ürünlerin Gruplandırılması

Mevcut sistemde, ürün aralığı çok geniştir, toplamda yaklaşık 13.000 adet ürün bulunmaktadır. Bu ürünler daha önceki bölümlerde bahsedilmiş olduğu gibi öncelikle yuvarlanma yolu elemanına göre daha sonra boyutlarına göre ve son olarak ısı ile ilgili karakteristiklerine göre gruplandırılmaktadır. Sistemde bulunan bu çok sayıda ürün bu gruplandırılabilme imkânından faydalanılarak ortak üretim özellikleri göz önüne alınarak 15 farklı ürün tipine indirgenmiştir.

Pazar verilerinin güncel olması açısından gerçek sistemin geçmişi 12 aylık üretim periyodu dikkate alınmıştır. Gerçek sistemden çekilen veriler, “Minitab 17” istatistik programında derlenerek geliştirilen uygulamada kullanılan veri setleri elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler tip bazındadır. Ortak üretim özelliklerine göre 15 grupta birleştirilmesi amacıyla yine “Minitab 17” istatistik programında yapılmıştır.

Öncelikler firmanın özel üretim kategorisinde bulunan ürünler ayrıdır. Standart ürünler ise önce boyutlarına göre; küçük, orta, büyük daha sonra ısı ile ilgili kategorilerine göre ayrıdır. Bunun sebebi boyutsal ölçüleri yakın olan ürünlerin tezgâh ayarına gerek kalmadan aynı tezgâh üzerinde işlem görebilmesidir. Sistemden yarı ürün olarak çıkmakta olan bilezik ve makaralar ise ayrı gruplara ayrıdır. Özel ürünler ise müşteri taleplerinin benzerliklerine göre 8 grupta tanımlanmıştır.

Gerçek sistemden sadece işlem zamanı verileri de il aynı zamanda sisteme girilen siparişler yine 12 aylık zaman periyodunda incelenerek işlemlerin oluşma olasılığı da ılımları da elde edilmiştir. Tip ve mü teri bazında elde edilen bu veriler ise daha önce yapılan ürün tipi gruplandırması altında sınıflara dağıtılmıştır.

Minitab 17 aracılığıyla derlenmiş veriler yazılan programda kullanılabilmesi amacıyla «Microsoft Office Excel 2007» ile tekrar derlenerek uygulamada kullanılabilir hale getirilmiştir. Tablo 5.2.5’de ürün sınıfları ve sınıflara göre ürünlerin gelişme olasılıkları verilmiştir. Sistemdeki sipariş verileri sınıflara göre yorumlandığında öncelikle özel ürün kategorisindeki tiplerin 0,20 olasılıkla standart kategorisindeki tiplerin ise 0,80 olasılıkla sistemde bulunduğu gözlemlenmiştir. Daha sonra alt sınıfların gelişme ılımları yapılmıştır. Sisteme gelen taleplerin yüzde 65’i standart son ürün iken yüzde 14’ü yarı ürün yani bilezik ya da makara olarak dağılmaktadır. A1 olarak tanımlanmış, dış çapı 42mm’den küçük olan küçük boyutlu ürünlerin sisteme işlemleri olarak gelişme olasılığı 0,1974’tür. A2 olarak tanımlanmış, dış çapı 42mm ile 82mm arasında olan orta boyutlu ürünlerin gelişme olasılığı ise 0,1266’dır. Dış çap ölçüsü 82mm’den büyük olan ürünlerin gelişme olasılığı ise 0,1102’dir. A1i olarak adlandırılmış işlemleri gören küçük boy ürünlerin gelişme olasılığı 0,1535 iken A2i olarak adlandırılmış işlemleri göre orta boy ürünlerin gelişme olasılığı 0,0682’dir. Bileziklerin sisteme giriş olasılığı 0,1045, makaraların ise 0,0394’tür. Özel ürünler, bilgi gizliliği açısından tanımlanmamıştır ancak gelişme olasılıkları; 0,043, 0,045, 0,018, 0,028, 0,007, 0,018, 0,004 ve 0,037 eklindedir.

6.2 Önerilen Algoritmaların Uygulanması

İncelenen problem verisi özetle 21 amaçta bulunan ve her amaçta birbirinden bağımsız 5 adet paralel makine olan bir sistem eklindedir. Gerçek işlem zamanları tüm ürünler için grup bazında “Minitab 17” programında incelenmiştir. Alınan sonuçlara göre üssel dağılıma uygun olduğu görülmüştür.

Tablo 6.2.1: Ürünlerin gruplandırılması ve olasılık dağılımları

Tipi		Geli Olasılı ı
A	Standart Ürün	0,6500
A1	Küçük Boy Ürün	0,1974
A2	Orta Boy Ürün	0,1266
A3	Büyük Boyutlu Ürün	0,1102
A1i	Isıl ılem Gören Küçük Boy Ürün	0,1535
A2i	Isıl ılem Gören Orta Boy Ürün	0,0682
B	Yarı Ürün	0,1400
B1	Bilezik	0,1045
B2	Makara	0,0394
C	Özel Ürün	0,2100
C1	Özel Ürün	0,0430
C2	Özel Ürün	0,0450
C3	Özel Ürün	0,0180
C4	Özel Ürün	0,0280
C5	Özel Ürün	0,0070
C6	Özel Ürün	0,0180
C7	Özel Ürün	0,0040
C8	Özel Ürün	0,0370

Daha öncede bahsedildi i üzere sistemin belirsizlik derecesi yüksek oldu undan stokastik yakla ım altında incelenmesi do ru olacaktır. Programda ortalama ılem zamanı verisi kullanılmaktadır. Bu sebeple, üssel da ılımın ortalama (μ) parametresi dikkate alınarak uygulamaya alınmı tır. Bunun sebebi daha önceki bölümlerde bahsedildi i üzere Tablo 5.3.2’de gerçek problem verisi üzerinde çalı ılmı algoritmaların sonuçları görülmektedir. Algoritmalar çalı tırılırken süre birimi saat olarak adet gösterim birimi ise 100.000 adettir.

Tablo 6.2.2 Gerçek veri seti ile çalı tırılan algoritmaların sonuçları

Algoritma	Toplam Ortalama Kuyruk Zamanı	Toplam Ortalama Kuyrukta Bekleyen Sayısı
PT	442,62	808,66
RANDOM	362,95	39,56
APT	257,77	121,52
WINQ	660,15	110,10
wPT + wWINQ	219,24	36,88
APT / AT	319,77	120,50

Tablo 6.2.1 incelendi inde APT algoritması, PT algoritmasına göre ortalama %42 iyile me sa larken WINQ algoritmasına göre ortalama %61 oranında üstünlük göstermi tir. APT/AT algoritması ise PT algoritmasına göre ortalama %28 iyile me sa larken WINQ algoritmasına göre ortalama %52 oranında üstünlük göstermi tir. wPT + wWINQ algoritması aynı ko ullar altında incelenecek olursa PT algoritmasına göre ortalama %50, WINQ algoritmasına göre ortalama %67, APT algoritmasına göre ise ortalama %15, APT/PT algoritmasına ise %31 daha iyi sonuçlar sa lamı tır.

Tablo 6.2.3: Ürün tiplerinin sistemde geçirdi i ortalama zamanlar

Sistem Zamanları	PT		RANDOM		APT		WINQ		wPT + wWINQ		APT / AT	
	Ort.	St.Sp	Ort.	St.Sp	Ort.	St.Sp	Ort.	St.Sp	Ort.	St.Sp	Ort.	St.Sp
A1	569,49	60,19	401,46	13,97	566,09	59,83	534,26	41,70	376,01	10,50	556,93	52,54
A2	558,97	65,90	403,26	14,11	555,64	65,50	546,58	55,04	375,06	15,27	543,09	53,42
A3	577,74	65,25	404,45	11,53	574,29	64,86	545,48	56,95	377,76	15,86	556,65	63,56
A1i	553,42	44,70	401,51	11,34	550,12	44,44	543,30	39,55	377,08	10,92	542,14	38,60
A2i	552,33	81,90	400,05	14,81	549,04	81,41	544,75	74,46	376,80	17,93	546,62	91,80
B1	549,55	61,58	400,35	11,92	546,27	61,21	549,02	52,63	385,55	14,19	534,99	43,29
B2	572,69	117,63	401,85	16,13	569,27	116,93	536,39	100,80	386,19	23,77	572,29	115,28
C1	545,65	118,50	398,32	17,26	542,40	117,79	532,47	112,66	379,82	21,91	522,77	103,91
C2	564,34	112,31	405,71	13,99	560,97	111,64	550,67	113,66	387,64	21,06	546,31	103,10
C3	555,20	125,79	397,51	25,32	551,89	125,04	506,13	57,05	390,98	47,67	548,44	124,49
C4	543,41	117,38	395,67	16,58	540,16	116,68	542,02	147,15	375,08	32,75	528,36	115,93
C5	574,13	145,90	407,33	35,32	570,71	145,03	478,92	204,96	384,25	47,42	545,53	128,73
C6	577,93	134,10	399,15	22,26	574,48	133,30	577,62	153,45	371,53	29,58	557,19	123,85
C7	648,35	127,87	405,78	35,81	644,48	127,11	588,77	80,88	377,86	54,37	623,02	150,13
C8	543,87	120,24	401,51	15,49	540,63	119,52	553,13	82,49	382,79	21,77	547,75	125,27

Mevcut sistem hakkında genel bir yorum yapılacak olursa ilk olarak kullanılması önerilen algoritma wPT+ wWINQ algoritması olacaktır. Tüm deneysel veri seti ile çalı ılan uygulamalarda oldu u gibi gerçek veri kümesi için de kuyrukta bekleme zamanlarının minimize edilmesi amacı do rultusunda en ba arılı algoritma olarak wPT + wWINQ algoritması belirlenmi tir. Ürün tiplerinin sistemde geçirdi i

ortalama zamanlar başlı 1 altında Tablo 6.2.2 incelendi inde görülebilece i üzere wPT + wWINQ algoritması ürün bazında sistemde geçirilen ortalama zamanı da minimize etmi tir.

Tablo 6.2.4: A amalardaki toplam ortalama kuyruk zamanı

A ama	PT	RANDOM	APT	WINQ	wPT + wWINQ	APT / AT
1	7,02	14,94	6,97	8,54	7,02	81,81
2	6,41	14,71	6,37	51,59	6,32	12,74
3	7,25	14,32	7,21	88,27	7,04	10,23
4	225,99	103,45	224,65	99,28	68,85	193,79
5	0,75	13,79	0,75	94,01	7,33	1,41
6	0,67	14,07	0,66	83,29	7,24	1,33
7	0,67	14,23	0,67	29,65	7,47	1,35
8	2,37	13,67	2,36	17,46	10,09	2,75
9	0,96	12,90	0,95	16,63	8,25	1,42
10	1,00	13,33	1,00	14,14	8,20	1,42
11	0,90	12,99	0,90	13,07	8,00	1,32
12	0,86	12,73	0,86	9,71	8,15	1,34
13	0,69	12,79	0,69	8,35	7,85	1,12
14	0,63	12,59	0,62	7,52	7,49	0,99
15	0,46	12,33	0,46	5,81	7,09	0,87
16	0,45	11,66	0,45	5,73	7,20	0,97
17	0,47	12,03	0,47	5,04	7,30	0,92
18	0,34	11,61	0,34	4,26	7,22	0,75
19	0,40	11,04	0,40	4,17	6,95	0,77
20	0,54	12,30	0,54	3,10	7,29	1,15
21	0,48	11,45	0,47	0,01	6,88	1,31

Bunun haricinde Tablo 6.2.3 incelendi inde sistemde 4. a amada bir dar bo az gözlemlenmektedir. Tüm tipler için uzun i lem zamanlarının mevcut oldu u bu a amada bu a amanın üretim akı ı için önemli bir darbo az olu turdu u görülmü tür.

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu tez çalışmasında bir gerçek hayat hibrid esnek akı atölyesi problemi ele alınmıştır. Literatür çalışmasında hibrid akı atölyesi, esnek akı atölyesi ve hibrid esnek akı atölyesi problemleri üzerine yapılmış farklı çözüm yöntemleri öneren çalışmalar incelenmiştir.

Stokastik işlem zamanları dikkate alınarak dinamik programlama, simülasyon tabanlı programlama üzerine çalışılmıştır. Ayrıca, yayılma zamanlarını minimize etmek amacıyla dört farklı algoritma incelenmiş, bu algoritmalarından esinlenilerek 5 farklı algoritma geliştirilmiştir.

Kullanılan ve geliştirilen algoritmalar Java programlama dili altında JSL kütüphanesinde kodlanarak çözdürülmüştür. Geliştirilen çözüm yöntemleri belirli kurallara göre rastgele üretilen örneklerle çözdürülmüş, etkinlikleri test edilmiştir. Bunun yanında gerçek sistemden alınarak derlenen gerçek verilerle çözüm yöntemleri karşılaştırılmıştır.

Geliştirilen çözüm yöntemleriyle makul sürelerde makul çözümler elde edilmiştir. Elde edilen bu çözümler mevcut sıralama sezgiselleri ile ve kendi aralarında karşılaştırılarak en etkin yöntem belirlenmeye çalışılmıştır. wPT + wWINQ algoritmasının tüm veri boyutlarıyla deneylenen algoritmalara göre daha iyi sonuçlar sağladığı gözlemlenmiştir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar, bir takım detaylı yapılarak genişletilebilir. Bu amaçla devam eden çalışmalar konu üzerinde ne gibi detaylı yapılabilecek ve bunun ne gibi sonuçlar gösterebileceği üzerine tartışılacaktır. Bu tez kapsamında çalışılan konular üzerinde yapılabilecek detaylı yapılar ve iyileştirmeler, gelecekte yapılabilecek çalışmalar olarak da nitelendirilebilir.

İlk olarak, duyarlılık çalışmaları gerçekle tirilebilir. Problemin çözümünde kullanılan di er parametrelerde tek tek ya da gruplar halinde geli tirilerek çözümlere olan etkileri analiz edilebilir ve ek olarak elde edilen çözümler birbirleriyle kar ıla tırılarak detaylı analizler yapılabilir.

Sistemin varsayımları de i tirilerek daha karma ık problemler için de önerilen çözüm yönteminin etkinli i de erlendirilebilir. Örne in, kurulum zamanlarının i lem zamanlarına eklenmi olması varsayımından uzakla ılarak sıraya ba lı kurulum süreleri dikkate alınarak algoritmalar çalı tırılarak algoritmalar çalı tırılabilir ve birbirleriyle kar ıla tırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] M. Pinedo, *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. Prentice Hall, 1995.
- [2] H. R. Kia, H. Davoudpour, ve M. Zandieh, Scheduling a dynamic flexible flow line with sequence-dependent setup times: a simulation analysis, *International Journal of Production Research*, c. 48, sayı 14, ss. 4019–4042, Tem. 2010.
- [3] Pinedo ML (2008) *Scheduling: Theory, algorithms, and systems*, 3rd edn. Prentice Hall, New York
- [4] I. Ribas, R. Leisten, ve J. M. Framiñan, Review and classification of hybrid flow shop scheduling problems from a production system and a solutions procedure perspective, *Computers & Operations Research*, c. 37, sayı 8, ss. 1439–1454, A u. 2010.
- [5] R. Ruiz ve J. A. Vázquez-Rodríguez, The hybrid flow shop scheduling problem, *European Journal of Operational Research*, c. 205, sayı 1, ss. 1–18, A u. 2010.
- [6] S. Carpov, J. Carlier, D. Nace, ve R. Sirdey, Two-stage hybrid flow shop with precedence constraints and parallel machines at second stage, *Computers & Operations Research*, c. 39, sayı 3, ss. 736–745, Mar. 2012.
- [7] G.-C. Lee, Real-time order flowtime estimation methods for two-stage hybrid flowshops, *Omega*, c. 42, sayı 1, ss. 1–8, Oca. 2014.
- [8] W. Zhang, C. Yin, J. Liu, ve R. J. Linn, Multi-job lot streaming to minimize the mean completion time in m-1 hybrid flowshops, *International Journal of Production Economics*, c. 96, sayı 2, ss. 189–200, May. 2005.
- [9] R. Linn ve W. Zhang, Hybrid flow shop scheduling: A survey, *Computers & Industrial Engineering*, c. 37, sayı 1–2, ss. 57–61, Eki. 1999.
- [10] T. Nishi, Y. Hiranaka, ve M. Inuiguchi, Lagrangian relaxation with cut generation for hybrid flowshop scheduling problems to minimize the total weighted tardiness, *Computers & Operations Research*, c. 37, sayı 1, ss. 189–198, Oca. 2010.
- [11] C. Gicquel, L. Hege, M. Minoux, ve W. van Canneyt, A discrete time exact solution approach for a complex hybrid flow-shop scheduling problem with limited-wait constraints, *Computers & Operations Research*, c. 39, sayı 3, ss. 629–636, Mar. 2012.
- [12] A. Ziaiefar, R. Tavakkoli-Moghaddam, ve K. Pichka, Solving a new mathematical model for a hybrid flow shop scheduling problem with a processor assignment by a genetic algorithm, *Int J Adv Manuf Technol*, c. 61, sayı 1–4, ss. 339–349, Tem. 2012.
- [13] P. Gómez-Gasquet, C. Andrés, ve F.-C. Lario, An agent-based genetic algorithm for hybrid flowshops with sequence dependent setup times to minimise makespan, *Expert Systems with Applications*, c. 39, sayı 9, ss. 8095–8107, Tem. 2012.

- [14] K. Mao, Q. Pan, X. Pang, ve T. Chai, A novel Lagrangian relaxation approach for a hybrid flowshop scheduling problem in the steelmaking-continuous casting process, *European Journal of Operational Research*, c. 236, sayı 1, ss. 51–60, Tem. 2014.
- [15] D. Quadt ve H. Kuhn, A taxonomy of flexible flow line scheduling procedures, *European Journal of Operational Research*, c. 178, sayı 3, ss. 686–698, May. 2007.
- [16] B. Naderi, R. Ruiz, ve M. Zandieh, Algorithms for a realistic variant of flowshop scheduling, *Computers & Operations Research*, c. 37, sayı 2, ss. 236–246, ub. 2010.
- [17] M. S. Jayamohan ve C. Rajendran, A comparative analysis of two different approaches to scheduling in flexible flow shops, *Production Planning & Control*, c. 11, sayı 6, ss. 572–580, Oca. 2000.
- [18] M. Azizo lu, E. Çakmak, ve S. Kondakci, A flexible flowshop problem with total flow time minimization, *European Journal of Operational Research*, c. 132, sayı 3, ss. 528–538, A u. 2001.
- [19] Z. Wang, W. Xing, ve F. Bai, No-wait flexible flowshop scheduling with no-idle machines, *Operations Research Letters*, c. 33, sayı 6, ss. 609–614, Kas. 2005.
- [20] O. Holthaus ve C. Rajendran, A study on the performance of scheduling rules in buffer-constrained dynamic flowshops, *International Journal of Production Research*, c. 40, sayı 13, ss. 3041–3052, Oca. 2002.
- [21] M. S. Jayamohan ve C. Rajendran, New dispatching rules for shop scheduling: A step forward, *International Journal of Production Research*, c. 38, sayı 3, ss. 563–586, ub. 2000.
- [22] A. Azzi, M. Faccio, A. Persona, ve F. Sgarbossa, Lot splitting scheduling procedure for makespan reduction and machine capacity increase in a hybrid flow shop with batch production, *Int J Adv Manuf Technol*, c. 59, sayı 5–8, ss. 775–786, Mar. 2012.
- [23] M. Zandieh, E. Mozaffari, ve M. Gholami, A robust genetic algorithm for scheduling realistic hybrid flexible flow line problems, *J Intell Manuf*, c. 21, sayı 6, ss. 731–743, Ara. 2010.
- [24] G. M. Kopanos, C. A. Méndez, ve L. Puigjaner, MIP-based decomposition strategies for large-scale scheduling problems in multiproduct multistage batch plants: A benchmark scheduling problem of the pharmaceutical industry, *European Journal of Operational Research*, c. 207, sayı 2, ss. 644–655, Ara. 2010.
- [25] T. Urlings, R. Ruiz, ve T. Stützle, Shifting representation search for hybrid flexible flowline problems, *European Journal of Operational Research*, c. 207, sayı 2, ss. 1086–1095, Ara. 2010.
- [26] F. M. Defersha ve M. Chen, Mathematical model and parallel genetic algorithm for hybrid flexible flowshop lot streaming problem, *Int J Adv Manuf Technol*, c. 62, sayı 1–4, ss. 249–265, Eyl. 2012.

- [27] R. Ruiz, F. S. erifo lu, ve T. Urlings, Modeling realistic hybrid flexible flowshop scheduling problems, *Computers & Operations Research*, c. 35, sayı 4, ss. 1151–1175, Nis. 2008.
- [28] A. Elyasi ve N. Salmasi, Stochastic flow-shop scheduling with minimizing the expected number of tardy jobs, *Int J Adv Manuf Technol*, c. 66, sayı 1–4, ss. 337–346, Tem. 2012.
- [29] Y.-Y. Chen, C.-Y. Cheng, L.-C. Wang, ve T.-L. Chen, A hybrid approach based on the variable neighborhood search and particle swarm optimization for parallel machine scheduling problems—A case study for solar cell industry, *International Journal of Production Economics*, c. 141, sayı 1, ss. 66–78, Oca. 2013.
- [30] S. H. Choi ve K. Wang, Flexible flow shop scheduling with stochastic processing times: A decomposition-based approach, *Computers & Industrial Engineering*, c. 63, sayı 2, ss. 362–373, Eyl. 2012.
- [31] S. Wang ve M. Liu, A heuristic method for two-stage hybrid flow shop with dedicated machines, *Computers & Operations Research*, c. 40, sayı 1, ss. 438–450, Oca. 2013.
- [32] M. Cheng, N. J. Mukherjee, ve S. C. Sarin, A review of lot streaming, *International Journal of Production Research*, c. 51, sayı 23–24, ss. 7023–7046, Haz. 2013.
- [33] B. Scholz-Reiter, H. Rekersbrink, ve M. Görges, Dynamic flexible flow shop problems—Scheduling heuristics vs. autonomous control, *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, c. 59, sayı 1, ss. 465–468, 2010.
- [34] B. Naderi ve R. Ruiz, A scatter search algorithm for the distributed permutation flowshop scheduling problem, *European Journal of Operational Research*.
- [35] F. S. Yao, M. Zhao, ve H. Zhang, Two-stage hybrid flow shop scheduling with dynamic job arrivals, *Computers & Operations Research*, c. 39, sayı 7, ss. 1701–1712, Tem. 2012.
- [36] G.-C. Lee, Estimating order lead times in hybrid flowshops with different scheduling rules, *Computers & Industrial Engineering*, c. 56, sayı 4, ss. 1668–1674, May. 2009.
- [37] J. Yin, T. Li, B. Chen, ve B. Wang, Dynamic Rescheduling Expert System for Hybrid Flow Shop with Random Disturbance, *Procedia Engineering*, c. 15, ss. 3921–3925, 2011.
- [38] B. R. Sarker ve Z. Li, Job Routing and Operations Scheduling: A Network-Based Virtual Cell Formation Approach, *The Journal of the Operational Research Society*, c. 52, sayı 6, ss. 673–681, 2001.
- [39] T. Li, Y. Xiao, ve H. Wang, Dynamic Constraint Satisfaction Approach to Hybrid Flowshop Rescheduling, içinde 2007 IEEE International Conference on Automation and Logistics, 2007, ss. 818–823.
- [40] B. R. Sarker ve Y. XU, Designing multi-product lines: job routing in cellular manufacturing systems, *IIE Transactions*, c. 32, sayı 3, ss. 219–235, Mar. 2000.

- [41] D. Ouelhadj ve S. Petrovic, A survey of dynamic scheduling in manufacturing systems, *J Sched*, c. 12, sayı 4, ss. 417–431, A u. 2009.
- [42] J. Aspnes, Y. Azar, A. Fiat, S. Plotkin, ve O. Waarts, On-line Load Balancing with Applications to Machine Scheduling and Virtual Circuit Routing, içinde *Proceedings of the Twenty-fifth Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, New York, NY, USA, 1993, ss. 623–631.
- [43] P. Brandimarte, Routing and scheduling in a flexible job shop by tabu search, *Ann Oper Res*, c. 41, sayı 3, ss. 157–183, Eyl. 1993.
- [44] K. Katragini, E. Vallada, ve R. Ruiz, Flow shop rescheduling under different types of disruption, *International Journal of Production Research*, c. 51, sayı 3, ss. 780–797, Mar. 2012.
- [45] H.-S. Woo ve D.-S. Yim, A heuristic algorithm for mean flowtime objective in flowshop scheduling, *Computers & Operations Research*, c. 25, sayı 3, ss. 175–182, Mar. 1998.
- [46] J. T. Havill ve W. Mao, On-line algorithms for hybrid flow shop scheduling, 1998.
- [47] H. Tokola, L. Ahlroth, ve E. Niemi, A comparison of rescheduling policies for online flow shops to minimize tardiness, *Engineering Optimization*, c. 46, sayı 2, ss. 165–180, ub. 2014.
- [48] G. Vairaktarakis ve M. Elhafsi, The use of flowlines to simplify routing complexity in two-stage flowshops, *IIE Transactions*, c. 32, sayı 8, ss. 687–699, A u. 2000.
- [49] Gupta JND. Two-stage, hybrid flowshop scheduling problem. *Journal of the Operational Research Society* 1988;39(4):359–64.
- [50] J. Xie ve X. Wang, Complexity and algorithms for two-stage flexible flowshop scheduling with availability constraints, *Computers & Mathematics with Applications*, c. 50, sayı 10–12, ss. 1629–1638, Kas. 2005.
- [51] Ruiz R, Maroto C. A genetic algorithm for hybrid flowshops with sequence dependent setup times and machine eligibility. *European Journal of Operational Research* 2006;169(3):781–800
- [52] Nawaz M, Ensore Jr ee, Ham I. A heuristic algorithm for the m-machine, n-job flowshop sequencing problem. *OMEGA, The International Journal of Management Science* 1983;11(1):91–5
- [53] B. L. Maccarthy ve J. Liu, Addressing the gap in scheduling research: a review of optimization and heuristic methods in production scheduling, *International Journal of Production Research*, c. 31, sayı 1, ss. 59–79, Oca. 1993.
- [54] G. E. Vieira, J. W. Herrmann, ve E. Lin, Rescheduling Manufacturing Systems: A Framework of Strategies, Policies, and Methods, *Journal of Scheduling*, c. 6, sayı 1, ss. 39–62, Oca. 2003.

- [55] A. Negahban ve J. S. Smith, Simulation for manufacturing system design and operation: Literature review and analysis, *Journal of Manufacturing Systems*, c. 33, sayı 2, ss. 241–261, Nis. 2014.
- [56] A. Caggiano ve R. Teti, Modelling, Analysis and Improvement of Mass and Small Batch Production through Advanced Simulation Tools, *Procedia CIRP*, c. 12, ss. 426–431, 2013.
- [57] A. Juan, A. Guix, F. Adelantado, P. F. i Casas, ve R. Ruiz, Using simulation to Provide Alternative Solutions to the flowshop sequencing problem, *Integrationsaspekte der Simulation: Technik, Organisation und Personal: Karlsruhe*, 7. und 8. Oktober 2010, sayı 131, s. 349, 2010.
- [58] Rossetti, Manuel D. Java Simulation Library (JSL): an open-source object-oriented library for discrete-event simulation in Java *International Journal of Simulation and Process Modelling* 4.1 (2008): 69-87.
- [59] Pinedo, M. (1983). Stochastic scheduling with release dates and due dates. *Operations Research*, 31(3), 559-572.

ÖZGEÇM

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı: : UZEL, Simay Sezgi
Uyru u: : T.C.
Do um tarihi ve yeri: : 24.11.1991 Ankara
Medeni Hali: : Bekâr
Telefon: : +90 553 493 7536
e-mail: : simayuzel@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/Endüstri Müh.	2013

Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
Mayıs 2014 – (Devam)	ORS Ortado u Rulman Sanayi	Satı Mühendisi
Haziran – A ustos 2012	Man Türkiye A. .	Stajyer Mühendis
Haziran – A ustos 2011	Türk Traktör A. .	Stajyer Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce (iyi)

Almanca (Ba langıç)

Yayınlar

[1] Kuyzu G., Uzel S., Bir Dinamik Hibrid Esnek Akı Atölyesi Çizelgeleme Problemi, 35. Ulusal Yöneyim Ara tırması ve Endüstri Mühendisli i Kongresi (YAEM 2015), 9-11 Eylül 2015.