

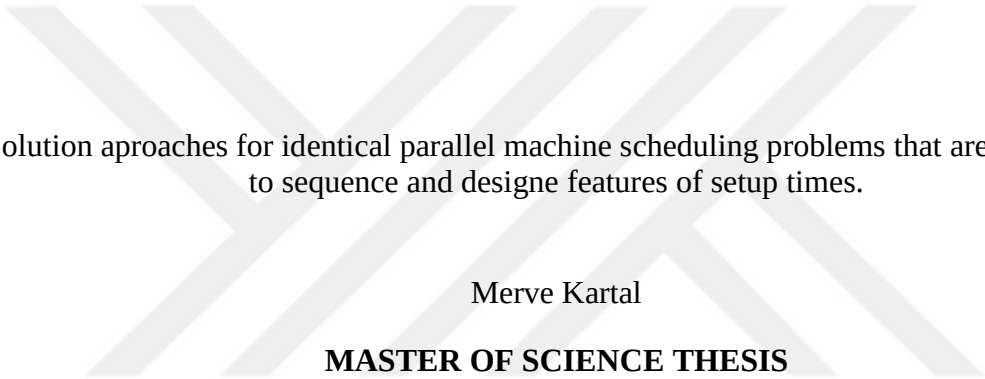
Hazırlık Sürelerinin Sıraya ve Tasarım Özelliklerine Bağlı Olduğu Özdeş Paralel
Makine Çizelgeleme Problemi İçin Çözüm Yaklaşımları

Merve Kartal

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül 2016



Solution approaches for identical parallel machine scheduling problems that are dependent to sequence and design features of setup times.

Merve Kartal

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Industrial Engineering

September 2016

Hazırlık Sürelerinin Sıraya ve Tasarım Özelliklerine Bağlı Olduğu Özdeş Paralel Makine
Çizelgeleme Problemi İçin Çözüm Yaklaşımları

Merve Kartal

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Endüstri Mühendisliği Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Servet HASGÜL

Eylül 2016

ONAY

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans öğrencisi Merve Kartal'ın Yüksek Lisans tezi olarak hazırladığı “Hazırlık Sürelerinin Sıraya ve Tasarım Özelliklerine Bağlı Olduğu Özdeş Paralel Makine Çizelgeleme Problemi İçin Çözüm Yaklaşımları” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Servet HASGÜL

İkinci Danışman : —

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Doç. Dr. Şerafettin ALPAY

Üye : Yrd. Doç. Dr. Zehra KAMIŞLI ÖZTÜRK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fırat ÖZKAN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mümtaz İPEK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Servet HASGÜL

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Yrd. Doç. Dr. Servet Hasgöl danışmanlığında hazırlamış olduğum

“Hazırlık Sürelerinin Sıraya ve Tasarım Özelliklerine Bağlı Olduğu Özdeş Paralel Makine Çizelgeleme Problemi İçin Çözüm Yaklaşımları” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi, tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 23/09/2016

Merve Kartal

İmza

ÖZET

Bu çalışma beyaz eşya sektörüne ait bir üretim işletmesinde, sıra bağımlı hazırlık sürelerine sahip paralel makinelerin çizelgelenmesi problemi üzerine yapılandırılmıştır. Kablo kesme sıyırma makinelerinin çizelgelenmesi problemi, bu problem türünün bir örneğidir. Gerçek hayatta uygulamasıyla sık karşılaşıldığından, son yıllarda sıra bağımlı hazırlık süreleri paralel makine çizelgeleme ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada ele alınan, hazırlık işlerinin yok edilmesinin yanı sıra, sıra bağımlı hazırlık sürelerinin ayrıntılı çizelgelenmesi ile de hazırlık sürelerinin en küçüklenmesi sağlanmıştır. Sıra bağımlı işlerin paralel makinelerde çizelgelenmesi ile ürünlerin tasarım özelliklerinin dikkate alındığı bir iş çizelgeleme yöntemi ele alınmıştır. Ürünlerin tasarım özelliklerine bağlı olarak değişkenlik arz edebilen bir sıralama algoritması geliştirilmiştir.

Ürün tasarım özellikleri dikkate alınarak parçalar arası sıraya bağımlı hazırlık süreleri hesaplanmıştır. Bu sürelerden faydalanılarak hazırlık süreleri çizelgesi oluşturulmuştur. Oluşturulan hazırlık sürelerinden faydalanarak proses süreleri ile birlikte gecikmeyi en küçükleyecek sıralama oluşturulmuştur. Oluşturulan sıra bağımlı hazırlık süreleri matrisi ele alınarak işlerin eldeki mevcut makinelere atamaları sonucu matematiksel model geliştirilmiştir. Bu aşamada kural tabanlı yaklaşım geliştirilmiştir. Farklı kurallar oluşturularak her işletme değişik kurallar elde ederek benzetim yöntemleri geliştirebilir. İşlerin makinelere atamaları sonucu elde edilen veriler mTSP ile çözüme kavuşturulmuştur. Ayrıca önerilen matematiksel model GAMS/Cplex ile çözüm performansı test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çizelgeleme, sıra bağımlı hazırlık süreleri, ürün tasarım özellikleri

SUMMARY

In this study, a production company belonging to the white goods sector, row scheduling problem of preparation time dependent on the owner of the machine has been configured parallel. Scheduling problems of cutting cable stripping machine is an example of this kind of problem. Is frequently encountered with real life applications, sequence dependent setup times in recent years, there are many studies on the parallel machine scheduling. This study dealt with, as well as the destruction of the preparatory work, the sequence dependent setup time of the preparation time is provided with detailed scheduling of the minimization. As well as a job scheduling method is dependent on jobs in the parallel machine is taken into account with the design features of the product is scheduled to be discussed. A sorting algorithm that can supply variable depending on the design features of the product have been developed.

Product design features between parts is calculated by taking into account sequence-dependent setup times. Schedule preparation time benefiting from this period has been established. Created by utilizing the process of preparation time with the delay time has been set up to sort minimized. The generated sequence dependent setup times are the result of the assignment at hand existing machine works by taking the matrix mathematical model has been developed. Rule-based approach has been developed at this stage. Different rules for each business by creating different rules may be developed by achieving simulation methods. Assign the result of the work of the machine and the data obtained were resolved with the mTSP. Also proposed mathematical model GAMS / performance solution with Cplex tested.

Keywords: Scheduling, sequence dependent setup times, product design, intuitive method

TEŞEKKÜR

Gerek tez çalışmalarımda ve gerekse derslerimde, bana danışmanlık eden ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Servet Hasgöl'e teşekkür ederim. Ayrıca desteklerini her zaman hissettiğim aileme ve eşim Ali Kartal'a sonsuz teşekkürler.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	vi
SUMMARY.....	vii
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Özdeş Paralel Makine Çizelgeleme Problemleri.....	19
2.2. Sıra Bağımlı Hazırlık Sürelerine Sahip Paralel Makine Çizelgeleme Problemi.....	20
2.3. Özdeş paralel makine çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılması.....	21
2.3.1. Özdeş paralel makine çizelgeleme problemlerinin yıllara göre yapılan çalışmaların sınıflandırılması.....	22
3. PROBLEM ÇÖZÜMÜ İÇİN GELİŞTİRİLEN ÇİZELGELEME SİSTEMİ.....	24
3.1. Ürün Tasarım Özelliklerinin Belirlenmesi.....	25
3.1.1. Tanımlar.....	26
3.2. İşlem Görecek Ürünlerin Tasarımları Dikkate Alınarak Sıra Şartı ile Hazırlık Sürelerinin Tespit Edilmesi.....	27
3.3. Sıralama Algoritmaları.....	30
4. BEYAZ EŞYA SEKTÖRÜNE AİT KABLO MONTAJI İLE İLGİLİ UYGULAMA...	31
4.1. Kabloların Çizelgelenmesi.....	32
4.1.1. Hazırlık süresi kazanımı odaklı en iyi sıralama algoritması.....	32
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	57
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	60
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Özdeş paralel makine çizelgeleme problemlerinin yıllara göre çalışma sayıları.....	30
3.1. Problem çözümü için geliştirilen akış şeması	32
3.2. Ürün tasarım özelliklerinin belirlenmesi için geliştirilen algoritma.....	34
4.1. Kesme-sıyırma-terminalleme çalışma alanı.....	41
4.2. Örnek 1'in kural 1'e göre gantt şeması.....	52
4.3. Örnek 2'nin kural 2'ye göre gantt şeması.....	53
4.4. Örnek 1'in Kural 1 için Gantt Şeması ile Gams arasındaki farklılığı.....	65
4.5. Örnek 1'in Kural 2 için Gantt Şeması ile Gams arasındaki farklılığı.....	65
4.6. İş sıralamaları karşılaştırma tablosu.....	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. İş parçalarının tasarım özellikleri	46
4.2. Hazırlık işleri / parça tasarım özellikleri matrisi (Q_k)	47
4.3. Yapılmayan hazırlık işleri	48
4.4. İş parçaları arasındaki hazırlık süreleri matrisi	50
4.5. Sıralanacak kablolar	59
4.6. Elde edilen ilk sıra	60
4.7. İkinci ucu boş kabloların yerleştirilmesiyle elde edilen alt sıra	61
4.8. İkinci grubun yerleştirilmesiyle elde edilen alt sıra	62
4.9. Sonuç sırası	63

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

D_{ij}	Benzerlik durum vektörü
D	Toplam tasarım özelliği sayısı
E_{ij}	Hazırlık işi durum vektörü
i	İş indisi
j	İş indisi
N	Hazırlık iş sayısı
0	Başlangıç durumu
S_{ij}	İş parçaları arası geçişte harcanan hazırlık süresi
L_{kij}	Makine hazırlık süresi matrisi
T_k	Hazırlık işlerine ait süre vektörü
u_j	Alt tur oluşumunu önlemeye yönelik değişken
v	Makine indisi
Y_{ij}	İşlem görme durum değişkeni
y	Parça tasarım özelliği indisi
x	Hazırlık işi indisi
Q_k	Etkileşim matrisi
P_s	İş parçalarına ait proses süreleri

Kısaltmalar

GIK	Üretim ortamına gönderilen iş parçaları kümesi
GIS	Üretim ortamına gönderilen iş parçası sayısı
GT	Sıralı işler arasındaki benzerlik durumu
GTA	Grup teknolojisi
KST	Kablo kesme- sıyırma- terminalleme
MIP	Karma tam sayı problem
KP	Sırt Çantası Problemi
mTSP	Çoklu Gezgin Satıcı Problemi
TSP	Gezgin Satıcı Problemi
VRP	Araç Yönlendirme Problemi

1. GİRİŞ

Çizelgeleme, zaman kısıtı dikkate alınarak, kısıtlı kaynakların gereken faaliyetlere atanması ile ilgilenen ve bir veya birden çok amacı eniyilemeye çalışan bir karar sürecidir (Pinedo,2002).

İyi yapılandırılmış bir üretim sisteminin temel alındığı firmalarda, aralarındaki rekabet sürecinde fark yaratabilmelerinde, ürünlerin müşterilere teslim edilme süreleri etkin rol oynamaktadır. Teslim sürelerinin “elde stok tutma” yolu ile hızlandırılması süreci, artan ürün çeşitliliği, talepteki belirsizlik ve firmalarda maliyet bilincinin oluşması gibi nedenlerle zorlaşmaktadır. “Elde stok tutma” yolunun olumsuzluklarını yok etmek için, mevcut stokların israf olarak değerlendirildiği yalın üretim düşüncesi temelinde, etkin teslim sürelerinde ürünlerin sevkini sağlayabilmek için üretimin temin sürelerini minimize etmek gerekir.

Üretim prosesi küçük partili üretim halinde gerçekleştirilirse, üretim temin sürelerini kısaltabiliriz. Küçük partili üretim; süreç içindeki çevrimiçi stoklarını düşürmek ve ürünlerin, üretim temin sürelerini en küçükleme şartıyla ve hazırlık sürelerinin düşürülmesiyle sağlanabilir. Çünkü küçük partili üretimlerde, istenen üretim miktarına ulaşmak için, ihtiyaç olan hazırlıkların tekrar tekrar yapılması gerektiğinden küçük partili üretim esnasında yapılacak hazırlık sayısı artacaktır. Hazırlık sürelerinin işlem süreleri haricinde incelendiği yaklaşımlar; hazırlık sürelerini sıraya bağımlı veya sıra bağımsız olarak belirler. Sıraya bağımlı hazırlık sürelerinde hem işleme tabi tutulacak mevcut iş hem de kendisinden önce işlem gören iş değerlendirmeye alınırken, sıra bağımsız hazırlık sürelerinin değerlendirilmesi sadece mevcut iş dikkate alınarak yapılır. Bu sebepten, sıraya bağımlı hazırlık süreleri, hazırlık sürelerinin düşürülmesi kapsamında ele alınması ve incelenmesi gereken konular arasında yer alır.

Güncel ve doğru olmayan parametrik verilerin, üretimin planlanması ve çizelgelenmesinde yanıltıcı sonuçlar oluşturabileceğinden hareketle, değerlendirmelerin doğru sonuçlar verebilmesi için en doğru ve güncel verilere ihtiyacımız vardır. Fakat

sıraya bağımlı hazırlık sürelerine ve işleme ait verilerin güncel ve güvenilir tutulması zordur. Sebebi metot analizindeki teknik detaylarda yapılan yanlışlıklar, süre ölçümü, yorgunluk payı vs. gibi konulardır. Sıraya bağımlı hazırlık sürelerine ait zaman ölçümü, başlı başına malî külfet oluşturmasının ve ölçüm için harcanacak zamanın çokluğunun yanı sıra, ölçüm yapılacak model sayısındaki artışların, ölçülmesi gereken sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin sayısının aşırı miktarda artması gibi sorunları beraberinde getirir.

Ele aldığımız bu çalışmada, sıra bağımlı hazırlık süreleri matrisi ele alınarak işlerin eldeki mevcut makinelere atamaları sonucu matematiksel model geliştirilmiştir. Matematiksel model geliştirme aşamasında mTSP'den faydalanılmıştır. mTSP'nin uygulamaları incelenmiştir. mTSP ile ilgili uygulamalar incelendiğinde matbaa zamanlama, ekip planlaması, otonom gezgin robotlar için görev planlaması, sıcak haddeleme zamanlama ve görüşme zamanlama uygulamalarının olduğu görülmüştür. mTSP lojistik yönetimi merkezi olan araç yönlendirme problemleri (VRPs), temelini oluşturur. VRPs' nin matematiksel formülasyonlarının çoğu mTSP'nin varyasyonları ve / veya uzantılarıdır. Böylece, ticari bir kod ile çözülebilir pratik mTSP modeli, aynı zamanda orta ölçekli VRPs, mTSP'nin varyasyonlarının çözümünü kolaylaştıracaktır.

Yukarıda bahsi geçen konular temel alınarak yapılan çalışmada, üretim sistemlerinde, ürünler arası geçişlerde işlem sıralamalarından kaynaklı, hazırlık sürelerinin belirlenmesinde, ürün tasarım özellikleri dikkate alınmıştır. Kurulan çizelgeleme sisteminin amacı toplam hazırlık sürelerini en küçükleyecek şekilde kurulmuştur.

Çalışmanın izleyen bölümünde, paralel makine çizelgeleme problemleri ile ilgili erişilebilen literatür çalışmalarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, ele alınan problemin özellikleri ve önerilen matematiksel model sunulmuştur. Dördüncü bölümde, beyaz eşya sektöründe kablo montajı uygulaması ele alınmıştır. Son olarak, elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Paralel makine çizelgeleme problemleri yıllardır hem akademi hem de endüstrinin dikkatini çekmiştir. Pinedo (2008), paralel makine problemlerini hem teorik hem de pratik açıdan tartışmaya değer olduğunu belirtmiştir. Cheng vd. (1990), paralel makine çizelgeleme problemlerinin literatür araştırmasını yapmıştır (Özpeynirci vd., 2016). Üretim ortamında, araç çizelgeleme, operasyon atama, araç yükleme dahil olmak üzere çeşitli sorunlar bulunmaktadır. Araç yükleme problemleri, makineler işleri, operasyonları işlemek için gerekli araçları atamaktır. İş atama problemi her operasyonda işlem yapacak makineleri belirlemektir. Takım değiştirme problemi, diğer bir ifade ile eğer gerekirse makineler üzerindeki takımları değiştirerek bir sonraki operasyondaki işin işlem görebilmesidir. Bilinen çizelgeleme problemi, makinelerdeki işlerin üretim sırasını belirlemektir. Crama (1997), otomatik üretim sisteminin ortaya koyduğu birleştirici optimizasyon problemlerini tartışmıştır ve matematiksel modelleri ve çözüm yaklaşımlarını incelemiştir. Blazewicz ve Finke (1994), otomatik güdümlü araçlar, fiktürler, palet gibi araçların, kaynak yönetimi konularında, imalat sistemlerinde, çizelgelemenin incelenmesini sağlar. Yeh vd. (2015), Cheng vd. (2012), Lin (2013), mevcut tüm matematiksel programlama modellerini ve sezgisel algoritmaları, paralel makineleri çizelgeleme problemleri için kullanmışlardır (Özpeynirci vd, 2016).

Özpeynirci vd. (2016)'nın çalışmasında, paralel makineler ile otomatik üretim ortamı ele alınmıştır. Bir takım operasyonlar vardır; her biri bir makinede işlenmektedir ve önceden makinelerde avadanlıkların yüklü olduğu varsayılmaktadır. Sistem içindeki mevcut araçların sayısı, ekonomik kısıtlamalar, envanter politikaları ve yönetsel sorunlar gibi çeşitli nedenlerden dolayı sınırlıdır. Üç önemli sorun bu makalede eş zamanlı olarak dikkate alınır: operasyon atama, takım yükleme ve programlama konularıdır.

Çeşitli çalışmalar esnek üretim ortamlarında, çoğunlukla meydana gelen kaynak tahsisi sorunlarını ve çizelgelemeyi birleştirir. Edis vd. (2013) ek kaynaklar ile birlikte

paralel makine çizelgeleme problemlerinin incelenmesini sağlar. Sırasıyla problem yaklaşımlarına ilişkin bazı çalışmalar; Agnetis vd. (1997) iki makineden oluşan bir esnek üretim hücresinde ortak parça/takım çizelgeleme sorunu üzerinde çalışmıştır. İki makine için bir iş dizisi göz önüne alındığında, takım çizelgeleme problemleri kolayca en iyi şekilde çözülebilmektedir. Bu nedenle, onlar çeşitli çözüm stratejilerini tanıtmış ve paylaşmışlardır. Kellere ve Strusevich (2004), her bir işin, makinede işleneceği önceden belirlenmiş olduğunu varsayarak, birden çok kaynak kısıtları altında paralel bağlı makinelerde, çizelgeleme sorunlarını dikkate almışlardır. Onlar birkaç vakayı tanıtmış ve problemlerin hesaplama karmaşıklığını tartışmışlardır. Avcı ve Aktürk (1996), makinelere ilk atanan araçları ardışık algoritmalar ile geliştirmiş, daha sonra araç kutularını düzenmişler ve son olarak operasyon sırasını belirlemişlerdir. Kumar ve Sridharan (2007), çok makineli esnek üretim sisteminde araç paylaşım problemini çalışmışlardır. (Özpeynirci vd., 2016). Üç senaryo düşünülmüş ve farklı çizelgeleme kurallarını kullanarak bir simülasyon analizi yürütmüşlerdir. Parçalardan sırayla talep edilen araçlar yüklenmeden önce ilk önce parçalar sevk kuralı kullanılarak sıralanmıştır. Gamila ve Motavalli (2003) ayrıntılı bir çizelgeleme oluşturmak için çıktısı kullanılarak, bir 0-1 tam sayılı programlama modeli olarak yükleme ve rotalama problemlerini formüle etmişlerdir.

Çok az çalışma eşzamanlı olarak tüm problemleri dikkate almıştır. Roh ve Kim (1997), toplam gecikmeyi en aza indirmek amacıyla parça yükleme, sıralama problemleri ve araç yüklemeyi aynı anda ele almışlardır, bundan dolayı, problem işin bitiş tarihlerini de içermektedir. Ayrıca işlerin, işlem sürelerinin makineye bağımlı olmadığını varsayalım. Matematiksel bir model sunmak yerine, üç sezgisel yaklaşım önermişlerdir; eşzamanlı olarak tüm problemleri liste çizelgeleme yaklaşımı ile çözmek, sıralı yaklaşımda birinci parça yükleme ve çizelgeleme problemi ve daha sonrasında araç yükleme ve yineleme (zincirleme) yaklaşımı ile çözümlemek. Bir simülasyon çalışması ile tekrarlayıcı bir yaklaşımın en iyi performansı sağladığını göstermişlerdir. Venture ve Kim (2003), işlerin ek kaynak gerektirebildiği durumlarda paralel makine çizelgeleme problemini ele almışlardır. Venture ve Kim (2003), her bir iş için birim işleme süresi olduğunu varsaymışlardır. İlk ve ikinci tek ek kaynak için ilave kaynakların keyfi sayıda olduğu iki durumu göz önüne almışlardır. Onlar ilk

problemi bir tamsayı programı gibi formüle etmişlerdir ve sınır bulmak için Lagrange gevşetme kullanmışlardır. Turkcan vd. (2007) aynı anda üretim maliyetini ve toplam ağırlıklı gecikmeyi en aza indirmek amacı ile özdeş olmayan paralel CNC tezgâhlarında parça çizelgeleme ve yükleme, araç tahsisi ve işleme koşullarının seçimini incelemişlerdir. Onlar bir genetik algoritmaya dayalı bir heuristik geliştirmişlerdir ve ardışık yaklaşıma göre eşzamanlı yaklaşımın üstünlüğünü göstermektedir. (Gökgür vd., 2016). Aldrin Raj vd. (2014), tamamlanma zamanı en aza indirmek için makine ve araçların aynı anda çizelgelenmesini ele almışlardır. Öncelik sevk kuralları, altı öncelikli sevk kuralları ile değiştirilebilir, gecikmesiz çizelgeleme oluşum algoritması, değiştirilebilir Giffler ve Thompson algoritması ve yapay bağışıklık sistemi algoritması (AIS) olmak üzere dört heuristik önermişlerdir. Hesaplamalı deneylerin sonuçları gösteriyor ki en iyi sonuçları AIS vermiştir.

Son çalışmalarda, aynı anda yükleme ve çizelgeleme problemlerini çözmek için bir kısıt programlama yaklaşımı kullanılmıştır. Novas ve Henning (2014), sayım makinesi yükleme, çizelgeleme, araç rotalama, tampon çizelgeleme, araç tahsisi ve AGV çizelgelemeyi dikkate alan bir kısıt programlama modeli önermişlerdir. Zeballos (2010), takım ömrü, kısıt programlama modeli içindeki takım magazin kapasiteleri ve sistem içindeki araçların sayısını ele almıştır. Zeballos vd. (2010), makine uygunluğu ve maliyetlerin üst limitleri olarak, üretim ortamında bulunan kısıt çeşitliliğini, göz önünde bulundurmışlardır.

O.Herr vd. (2015) yapmış olduğu çalışmada, toplam gecikmeyi minimize etmek maksadıyla tek makinelerde, iş çizelgeleme problemleri üzerine çalışmışlardır. Her iş belirli bir işlem süresine, teslim tarihine ve belirli bir aileye sahiptir. Makine tek seferde yalnızca tek bir işi işleyebilmekte ve her bir iş kendinden önceki işin önüne alınmadan işlenmek zorundadır. Bir hazırlık işi farklı ailelere mensup işler arasında icra edilmelidir ve bu hazırlık boyunca makine hiç iş işleyememektedir.

Orta ölçekli ve büyük ölçekli bütün imalat ortamlarında grup teknolojisinin önemli uygulamalarından birisi hücreli imalat olmuştur. Atölye tipinin esnekliği ile akış tipinin verimliliği birleştirilerek, seri üretimde olduğu gibi, üretim miktarı az olan

yığın üretimlerde de ekonomik avantaj sağlamaktadır. Lin vd. (2009), yapmış olduğu çalışmada, hücresel imalatta elde edilen ayar sürelerinde, süreç içindeki stok miktarlarında, taşıma maliyetlerinde ve kontrol maliyetleri ile üretim planlama sürecinde avantaj sağladığı görülmüştür.

Webster ve Baker (1995), grup teknolojisinin sıkça kullanılmaya başlaması ile birlikte, çalışmalarda ürün ailelerini çizelgeleme konusu aktif olarak incelenmeye başlamıştır. (Eryaşar 2010).

Hücresel imalat ortamlarının çalışma sisteminde, işler ve makineler benzerliklerine göre kendi aralarında sınıflandırılır ve gruplandırılırlar. Oluşturulan gruplar arasından, makinelerin oluşturulduğu grup, imalat hücresini oluştururken, bu makine gruplarında işlenebilecek işlerin ataması imalat hücrelerine yapılmaktadır.

Hücresel imalat sistemi ile aile gruplarının oluşturulması, şekil itibariyle benzerlikler göstermektedir. Grup teknolojisinde, işler art arda işlendiklerinde ayar süresi gerektirip gerektirmemesine göre gruplandırılırken, aile çizelgeleme modelinde de aynı şekilde aileler oluşturulacak şekilde gruplandırılır. Art arda işlem gören işler eğer aynı aile içerisinde yer alıyor ise ayar süresi gerektirmeyecektir. Başka bir ifade ile aynı aile mensubuna ait iki farklı iş peş peşe işlendiğinde ayar süresi gerekmezken, farklı aile mensubuna ait iki iş peş peşe işlem gördüğünde ayar süresi gerektirmektedir (Gen ve Cheng,2000).

Aile çizelgeleme problemlerinde, tüm işler, aynı aile ile bağdaştırılmakta ve aynı aileye mensup bir dizi iş, hazırlık olmadan peş peşe üretilmekte ve “yığın (tek seferde üretilen 1 den çok ürün)” olarak adlandırılmaktadır. İşlerin, ailelere tahsisi, bir parametre olarak verilmekle birlikte, belirli hazırlık ailesi için, işlerin yığınlara tahsisi, karar verme sürecinin bir parçasıdır. Grup Teknolojisi varsayımı altında (GTA) (Van Wassenhove,1992), aynı ailenin birkaç yığını genel durumda çizelgelenebilirken, aynı hazırlık ailesinin bütün işleri aynı yığın içinde üretilmek zorundadır (O.Herr ve A.Goel, 2015).

Gupta ve Chantaravarapan (2008) ve Schaller (2007), hedefin, toplam gecikme zamanını, en küçüklemek olduğu aile çizelgeleme problemi üzerine çalışmışlardır. Gupta ve Chantaravarapan (2008), problemi, GTA'yı göz önünde bulundurarak çalışmışlardır. Küçük problem örneklerini çözmek için karma tam sayılı programlama, büyük örnekler için sezgisel algoritma sunmuşlardır. Sezgisellerinde yazarlar bir yığındaki işlerin sırası ile yığınların sırasını ayırmışlardır. Her bir yığının içinde daha önce Holsenbeck ve Russell (1992) ve Panwalkar vd. (1993) tarafından geliştirilen komşu operatörleri kombinasyonu kullanmışlardır.

Schaller (2007), aile çizelgeleme problemini GTA ve GTA'sız olarak çalışmıştır. Emmons (1969) tarafından tanımlanan özelliklere göre, her iki durum için iki en uygun dal-sınır algoritması geliştirilmiştir. Dahası, beş yerel araştırma hareketine dayanan bir sezgisel sunulmuştur. Bu hareketler aynı hazırlık ailesine mensup iki yığını birleştirmekte, işleri aynı hazırlık ailesine mensup yığınlar arasında hareket ettirmekte, bir yığını iki parçaya ayırmakta, iş çiftlerini karşılıklı olarak değiştirmektedir. Dahası, Schaller ve Gupta (2008), aile hazırlıkları ile tek makine çizelgeleme problemini, hem erken hem de gecikmeli en küçüklemeye çalışmışlardır. Kesin ve sezgisel metotları GTA' lı ve GTA' sız olarak sunmuşlardır. Daha yakın zamanlarda, Schaller (2014), toplam gecikmeyi, en küçükleme problemi için aile hazırlıkları ile ikiz paralel makine çizelgeleme için birkaç sezgisel yaklaşım ortaya koymuşlardır.

O.Herr vd. (2015)'in yapmış olduğu çalışmada üzerinde durulan problem; her iş belli bir miktar ortak kaynak gerektirmektedir. Herhangi bir zamanda, toplam tüketim toplam arzı geçemez. Bu nedenle, kaynak yetersizliğine bağlı olarak işler beklemek zorunda kalabilir. İşletmelerde, ortak kaynak kullanımını gerektiren işlerin olduğu ortamlarda, etkin bir çizelgelemenin yapılması zorlaşmaktadır. Ortak kaynak kullanan işlerin aynı anda çizelgelenebilmesi için ortak kaynağın alternatifinin olması gerekmektedir. Kaynak alternatifinin olmadığı durumlarda işler birbirini beklemek zorunda kalacaktır. Yapılan incelemeler sonucunda, özdeş paralel makine çizelgeleme problemleri için en büyük tamamlanma zamanının, en küçüklenmesi amacıyla tavlama benzetimi algoritması, tam sayılı programlama ve kısıt programlama modeli, karma tam

sayılı matematiksel model, kısıt programlama tabanlı tam sayılı programlama yaklaşımları geliştirilmiştir. (Akyol,2013)

O.Herr (2015), kaynak yetersizliği problemi için gerçek üretim ortamını ele almıştır ve çalışmasını çelik üretiminin sürekli döküm aşamasında ortaya çıkan, karşılaşılabılır problemleri ele alarak çalışmalarını sürdürmüştür. Sürekli döküm kabı, sıvı çelik potaları ile beslenir. Her potada, belli kalitede çelik vardır ve sırasını belirleyen tahsisli bir sıraya sahiptir. İki pota peş peşe işlendiğinde, potalardaki çelik kaliteleri aynı ise (çelikler aynı aileden ise), hazırlık süresine ihtiyaç duyulmamaktadır. Bununla birlikte, çelik kaliteleri/dereceleri değiştiğinde bir hazırlık süresine ihtiyaç duyulmaktadır. Sıvı çelik, maden eritme ocağından sabit bir oranda sağlanan sıcak demirden üretilmektedir. Potaların sırası, farklı hazırlığa sahip, farklı pota ailelerinin hazırlıkları dâhil, maden eritme ocağından sağlanandan daha fazla sıcak metal tüketmelerine müsaade etmemektedir (Herbe,1988).

Makinede işleyen işin kullandığı kaynak ile hemen peşine işlenecek olan işin gerektirdiği kaynağın aynı olması demek olan, benzer durumlar, çok aşamalı üretim süreçlerinde meydana gelmektedir. Bir yukarı akış aşamasında temin edilen parçalar ve bileşenler farklı ürünlerin monte edilmesi için kullanılan montaj işlemleri bulunabilir (Kis,2013).

O.Herr (2015)' in yapmış olduğu çalışma ile ilgili literatürde 3 temel akım vardır. Birincisi, toplam gecikmeyi minimize etme hedefiyle çizelgelemedir. İkincisi, kurulum/hazırlık süreçlerini göz önünde bulundurarak yapılan tek makine çizelgelemesidir. Üçüncüsü, kaynak kısıtlamaları ile çizelgelemedir.

En küçük gecikme süreli, çizelgeleme problemi için anlaşılabilir araştırmalar Koulamas (2010)ve Sen vd. (2003) tarafından sunulmuştur. Hazırlık zamanları dikkate alınmaksızın bile, tek makine toplam gecikme problemini NP-zor olduğu ispat edilmiştir (Leung,1990). Toplam gecikmeyi minimize eden tek makine problemleri için geliştirilen çoğu metotlar Emmons (1969) ve Lawler (1977) tarafından geliştirilen özellikleri kullanmaktadır. Emmons (1969), optimal çizelgelemede tam anlamıyla yerine getirilmesi gereken şartları tanımlamaktadır, ve Lawler (1977), bir problemi

ayırmak için en uzun işi kullanan iki karşılıklı, sınırlı özellikleri olan alt problemlere ayıran, ayrıştırma yaklaşımını ortaya koymuştur. Bağımsız işleri ikiz paralel makinelerde çizelgeleme problemleri için, Shim ve Kim (2007), dal-sınır algoritmasını toplam gecikmeyi minimize etmek için sunmaktadırlar. Schaller (2009), hesaplama için gerekli olan çabayı azaltmak amacıyla bu dal-sınır algoritmasında kullanılabilen gelişmiş alt sınırları sunmaktadır. Son zamanlarda, Lee ve Kim (2015), makine hiç iş işleyemediği zamanlarda gerek duyulan her iki ikiz makinenin periyodik bakım faaliyetlerini kapsayan işlerin toplam gecikmesinin en küçüklenmesi problemi için dal-sınır algoritması sunmaktadırlar. Dahası, Mensendiek vd. (2015), problemin çözümü için mevcut sezgiseller ve sabit teslim tarihiyle paralel makinelerde ve toplam gecikmeyle optimal sıralama hedefi için özellikler geliştirdiler ve problemi çözmek için sezgiseller sundular.

Hazırlık sürecini değerlendirmeye katarak yapılan çizelgeleme, literatürde Allahverdi vd. (2008), Potts ve Kovalyov (2000), araştırmalarıyla özetlenmiştir. Sıra bağımlı hazırlık süreleri ile tek makinelerde toplam gecikmeyi en küçükleme problemleri için, Gupta ve Smith (2006), bir GRASP uzay tabanlı yerel arama prosedürü olmakla birlikte çoklu-başlamalı hazırlık zamanları sundular. Liao ve Juan (2007) karınca kolonisi optimizasyonu temelli bir metot, Lin ve Ying (2008) sahte sertleştirme (tavlama) ve tabu melez araştırması, Ying vd. (2009), tekrarlamalı sezgisel yerel araştırma temelli, Sioud vd. (2012), bir genetik algoritma geliştirdiler. Tam bir dal- sınır algoritması bu problem sınıfı için Bigras vd. (2008) tarafından sunuldu. Problemin hedefi, tüm işlerin gecikmelerinin en küçüklenmesi olduğu bir versiyon için Tanak ve Araki (2013), ardışık yüceltme dinamik programlama temelli kesin bir prosedür geliştirdiler ve Subramanian vd. (2014), bir tekrarlamalı yerel araştırma sezgiseli sundular.

Grigoriev vd. (2005) hammadde kısıtları ile çizelgeleme problemleri hakkında araştırma ortaya koydular. Üç tür hammadde kullanımında ayrıma gittiler: (a) her iş kendi hammadmesine sahiptir, (b) bütün işler ortak bir kaynağa gereksinim duymaktadır, (c) her iş için çoklu ortak hammaddelere gereksinim vardır. Üç durumun hepsi için hedefleri, en büyük gecikmeyi en küçükleme ve üretim süresini en

küçükmektir. Briskorn vd. (2010) gerek duyulan kaynağın olmadığı durumlarda işlenemeyen işler olan, tek makine çizelgeleme problemi çalışmışlardır. En büyük gecikme süresini en küçük hale getirmek ve gecikmiş işlerin sayısını en az hale getirmek, düşünülen hedefler arasındadır. Györgyi ve Kis (2014) polinomial-zaman yaklaşıklığı planı geliştirmek için, sırt çantası problemlerinden öneriler kullanarak kaynak kısıtları ile üretim süresini minimize etme probleminin çeşitlerini çalışmışlardır. Briskorn vd. (2013) tamamlama zamanlarının toplam ağırlığını minimize etmek için stok kısıtları ile tek makine problemi çalışmışlardır. Problemin çözümü için dinamik bir programlama yaklaşımının yanı sıra bir dal sınır algoritması geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritma sonucunda, 20-işli küçük örnekler için dahi, kesin yaklaşımlar yeteri kadar etkili değildir ve sezgisel yaklaşımlara gereksinim duyulmaktadır, sonucuna varmışlardır.

Çizelgeleme problemlerinde, tüm üretim planlama boyunca kaynakların mevcut olduğunu varsayalım. Fakat bu kabul her zaman gerçekçi değildir. Makineler önleyici ve iyileştirici bakım gerektirir; operatörler mola verir, aletlerin yıpranması, aletlerin değiştirilmelerini gerektirir. Yönetim, kaynaklarının geçici elverişsizliğinin sebep olduğu maliyetin farkına giderek daha da fazla varmakla birlikte, üretim ve kaynakların elverişsizliği dengesini sağlamak için sürekli olarak zor kararlar almakla karşı karşıyadır (Laalaoui vd,2016). Havayolları endüstrisinde, çizelgelenmiş bakım, üretim zamanını %15'e varan oranlarda azaltmaktadır. Böylece, yöneticiler en fazla karı elde etmek için, kaynak elverişsizliğini dikkate alarak, üretim görevleri ile alakalı dikkatli bir planlama yapmak zorundadırlar.

Makine elverişsizliklerinin sayısı pek çok araştırmacının dikkatini çekmeye devam etmektedir. Rapine vd. (2012), ek kaynak (örneğin, ürünleri ayıran ya da kimyasal ekleyen bir operatör) müdahalesi gerektiren otomatik bir makine olayında, ek kaynağın yokluğu (elverişsizliği) makineyi kilitler, düşüncesindedirler. Moncel vd. (2014), önleyici bakımın hassas çizelgelenmesinin ekonomik etkisini gözler önüne sermektedir. Low vd. (2010), havacılık endüstrisi ve mikro dönel aletlerin periyodik olarak değiştirilmeye ihtiyaç duyduğu ve bu değişim süresince makinenin kullanım dışı kalacağı PCB üretimi ile ilişkili iki uygulama belirtmektedirler. Yazarlar problemin

bilgisayar merkezleri, NC-makineleri ve IC-test endüstrileri gibi gerçek üretim çevrelerinde yaygın uygulanabilirliğini vurgulamaktalar. Taner vd. (2012), kurulduğunda/döndürüldüğünde hava araçlarının işlemlerini takip edemeyen, havacılık endüstrisinde radar örneklerinden alıntılar yapmaktadırlar. Schneider vd. (2014) ile birlikte tekrar dolum gerektiren elektrik bataryalarını düşünmektedirler (Laalaoui vd, 2016), Lassooed ve M'Hallah (1998), “ram”ların işletim indisleri; kendi güncel kilometrelerinin, son bakım tipinin ve gelecek planlı bakım tarihinin bir fonksiyonu olan metro sistemindeki “ram”ların park ve işletimlerini koordine etmekte.

Bakımın varlığı, üretimdeki makinelerin etkili kullanılmasını zorunlu kılar. Böylece çizelgelemiş bakım ile planlı üretim arasındaki çatışmadan kaçınırken kazanç da en fazla değerini almış olur. Problem üretim yatay planı sürecinde işlenen işlerden kaynaklanan toplam kârı maksimize etmek için aynı n adet işin alt-elemanlarını seçerek oluşturmuşlardır. Bu, yetişmiş işlerin (yapılması gereken zamanda yapılmış olan işler) ağırlıklı sayısını maksimize etmeye ya da gecikmiş işlerin (yapılması gereken zamanda yapılamamış iş), ağırlıklı sayısını, minimize etmeye eşittir.

Adamu ve Adewumi (2015), gecikmiş işler tek makina ağırlıklı sayısı hakkında araştırma sunmuşlardır. Lawler vd. (1969), problemi, dinamik programlama ile ele almışlardır, lakin modelleri küçük çaplı örnekleri bile çözmemiştir. Villarreal ve Bulfin (1983), 50-iş örneklerini, dalları baskın özelliklerine göre ve alt sınırları, işi aynı özelliklere sahip birçok işlere (işleme zamanı ve ağırlığı 1 olan) bölerek oluşturduğu “yumuşatma” yı kullanılarak hesaplanan dal-sınır kullanarak çözmüşdürler. “Dal-sınır”ı kuvvetli baskın kurallar ile kullanan Tang (1990), 85-işli örnekleri çözmüştür. M'Hallah ve Bulfin (2003), bir sezgisel ile sırt çantasından gözlemlenen bir dal-sınır önermişlerdir ve 2500-işli örnekleri çözmüşler. Cheng vd. (2006), probleme çok etkenli bir model önermişlerdir. Önerilen model sonucunda, sabit sayıda etkenler için, ağırlıklar tamsayı olmak şartıyla yalancı-polinomsal zamanda ve birim ağırlıklar için polinomsal zamanda problem çözülebilir, sonucuna ulaşmışlardır. Ourari ve Brian (2013), en düşük gecikme ve gecikmiş işler tek makina ağırlıklı sayısı için iç içe geçmiş işler ile baskınlık kurallarını geliştirmişlerdir.

Ma vd. (2010), makine bozulmaları ya da önleyici bakım ile birlikte çizelgeleme problemlerini detaylı bir araştırmasını çalışmışlardır. Yazarlar, tamamlanma zamanını en küçükleyen literatüre odaklanmış ve var olan yaklaşık ve gerçek algoritmaların karmaşıklığını tartışmışlardır. Birkaç kullanılabilirlik kısıtlamaları ile sınırlı en küçük tamamlanma zamanlı tek makine problemi için Low vd. (2010), dal-sınır, genetik algoritmaları ve yaklaşık 150-işli örnekleri çözmek için benzetimli sertleştirme (tavlama) uygulamışlardır. Chen vd. (2013), tek elverişsiz periyodun, elverişsizlik penceresi en küçük işlem zamanından daha az olsa bile, NP-Zor olduğunu ispat etmişlerdir. Onlar bir 20/17 en kötü-durum performans oranı algoritması sunmuşlardır. Moncel vd. (2014), bu en kötü durum oranını daha da ileri götürmüşlerdir. Ji vd. (2007), bakım periyodik olduğunda, teorik, en uzun işlem zamanı sezgisinin, performansını çalışmışlardır. Luo ve Ji (2015) bir işin işlem süresinin işin başlangıç zamanının lineer (doğrusal) bir fonksiyonu olan durumun NP-Zor olduğunu ispatlamış ve bir polinomal yaklaşık zaman algoritması sunmuşlardır.

Cassady ve Kutanoğlu (2005), makinenin, makineyi “yepyeni duruma” getiren, önleyici bakıma tabî tutulduğu, ağırlıklı akış zamanı, tek makine problemlerine sezgisel yaklaşımlarını uygulamışlardır. Wang ve Liu (2013) aynı problemi, baskın kurallarla bütünleştiren bir dal-sınır kullanarak ele almıştır. Böylece 18-işli örnekleri çözmüşlerdir. Zammori vd. (2014) toplam erkenciliği (işin vaktinden önce olma durumu, gecikmenin tersi) ve toplam gecikmeyi minimize etmek için sıra bağımlı hazırlık zamanlı, tek makineye üretim ve bakım planlayan harmonik arama uygulamışlardır.

Chen (2009), periyodik bakım ile gecikmiş işler tek makina ağırlıklı sayısı çizelgelemesi çalışmaktadır. Hem sezgiselleri hem de dal-sınırı 32-işli örnekleri çözmek için birlikte kullanmaktalar. Lee ve Kim (2012) aynı problemi bir karma tamsayı problemi Mixed Integer Problem (MIP) olarak modellemişlerdir ve 200-işli örnekleri çözmek için iki-safhalı sezgisel sunmuşlardır. Molaee ve Moslehi (2014), tek elverişsizlik periyod durumunda bir dal-sınır ve bir sezgisel kullanarak 10.000-işli örnekleri çözmüşlerdir. Ağırlıklı durumlar için, Detienne (2014), özelleşmiş kaldırılmış sırt çantası kapak kesimlerine uygulayan bir MIP yaklaşımı sunmuştur. Her bir elverişli

periyodu, bir bağımsız işlemciye benzetmiştir ki böylece, mevcut problemi zaman pencereleriyle en küçük ağırlıklı akış zamanlı paralel makine çizelgeleme problemine çevirmiştir ve 500-işli örnekleri çözmüştür.

MIP, ikili sırt çantası probleminin (KP) genelleştirilmiştir. Aslında, MIP bir tane yerine birkaç sırt çantasına sahiptir ve her bir parça en çok bir sırt çantasına yerleştirilmelidir. MIP açık artırmalardan, kutu ambalajlamaya, kutu ambalajlamadan araç yüklemeye kadar geniş uygulama alanına sahiptir. Zayıf anlamda NP-Tam ve dinamik programlama kullanılarak çözülebilen KP (Sırt Çantası Problemi)'nin zıttı olan MIP güçlü manada NP-Tam dır.

MIP genellikle detaylandırılmış özel maksatlı sınırlama teknikleri ile dal-sınır kullanılarak çözülmektedir. Örneğin, Hung ve Fisk (1978), dal üzerinde parçalara ve çantalara sırasıyla Langrangnian gevşeme uygulamıştır. Martello ve Toth (1981), ikame rahatlatma aracılığıyla üst sınırları ve tek sırt çantası problemlerini çözen ve araştırmaya rehberlik eden açgözlü sezgisel aracılığıyla düşük (alt) sınırları elde etmişlerdir. Pisinger (1999), aynı stratejiyi takip etmiş, fakat tek bir farkı var, şöyle ki; tek sırt çantasını çözerken alt küme-toplamı yapısını indükler. Fukunaga (2011), dahası arama ağacının parçalarından kurtulmak için patika simetrisi ve patika baskınlığını kullanmıştır.

Çözücü Mulknep, ki Pisinger'in (1999), sınır dalına uyar, çok büyük MIP örneklerini (yüz binlerce parçayı) optimum olarak, eğer parçaların çantalara oranı 5'ten fazla ise, saniyeler içinde çözer. Bununla beraber, aynı çözücü şu durumlarda zayıf performans gösterir; (i) bu oran 2 ile 5 arasında ise, hatta çok küçük örneklerde bile ya da (ii) veri güçlü bir şekilde birbiriyle bağlı ise. Bu kısıttan kurtulmak için dal sınır algoritmalarına teşebbüs edilse de etkinliği sınırlı kalmaktadır. Böyle bir yolla çözülen en büyük MIP 100 parçalı ve 20 sırt çantalıdır.

Zor MIP örnekleri sadece yaklaşık teknikler kullanılarak ele alınabilir. En karmaşıklar arasında Dantzig-Wolfe ayrıştırması için toplama(biriktirme, bir araya getirme) tekniği bulunmaktadır. Basit olanlar sezgiselleri ve yarı-sezgiselleri

içermektedir. En ünlü sezgisel, parça değişimi yerel araştırmaları $O(n^2)$ zaman karmaşıklığını açgözlü yaklaşımdan elde edilen çözüme uygulayan, MTHM 'dir. Bir diğer sezgisel tekrarlamalı çalışan teknik (IRT), MTHM çözümünü bir çantadaki parçayı diğer çantadaki parça ile sıralı olarak 1 parçayı 2 parçayla, 2 parçayı 1 parçayla değiştiren, üç yerel araştırmaya bağlar. İlk araştırma $O(n^2)$ zaman karmaşıklığına sahip iken son ikisi $O(n^3)$ zaman karmaşıklığına sahiptir. Bir son sezgiseli çantanın özünü keşfedip sınırlara dayalı dinamik programlama kullanan öz yinelemeli bir metottur. Çoğu yarı-sezgiseller, UGGA ve RSGA gibi, genetik algoritma temellidir. Bununla birlikte, hiç biri tüm zor örnekler için tek başına bir baskınlık kuramamıştır.

Paralel makinelerde çizelgeleme problemi, hem gerçek üretim ortamlarındaki çizelgeleme uygulamalarına hem de teorik çalışmalara sıklıkla konu olmuştur. Paralel makinelerin sıraya bağımlı hazırlık süreleri ortamında çizelgelenmesini konu alan çalışmalar ilgili literatürün önemli bir bölümünü oluşturmaktadır (Sivrikaya vd., 1999; Kurz ve Askin, 2001; Yalaoui ve Chu, 2003; Saraç ve Sipahioğlu, 2008).

Bir ürünü oluşturan iş bölümlerinin mevcuttaki bir makinede veya birden fazla makinede, ürünlerin hangi sıra ile işleneceğini ve ne zaman işleneceğinin belirlenmesine üretimin çizelgelenmesi denir. Tek aşama, paralel makine probleminde, mevcut her iş paralel olan makinelerin bir tanesinde işlem görecektir ve sadece bir işlem görmesini gerektirir. Bu problemleri parçaların makinelerde işlenme süreleri açısından üç gruba ayırmak mümkündür (Saraç ve Sipahioğlu, 2008):

Bir ürün; mevcut tüm makinelerde aynı işlem süresinde üretilemiyor ise; fakat süredeki değişiklikler parametrik şekilde değişiklik gösteriyorsa düzgün,

Mevcut tüm makinelerde aynı işlem süresinde üretiliyorsa, özdeş,

Üretim sürelerindeki değişiklik düzensiz olarak değişiyorsa ilişkisizdir.

Ürün çeşitliliğinin yüksek olduğu üretimlerde sıra bağımlı hazırlık sürelerinin ölçümü yüksek miktarda zaman ve maliyet gerektirdiğinden, bu zamanların

belirlenmesi için ürün tasarım özellikleri dikkate alınarak değişik yöntemler geliştirilmiştir (Ashby ve Uzsoy, 1995; Tang vd., 2000, Andres vd., 2005; Charles-Owaba ve Lambert, 1988; Durmuşoğlu, 1990). Bu çalışmalardan Ashby ve Uzsoy (1995), iş parçalarının çapına bağlı olarak grupta esaslı bir sezgisel yöntem geliştirmiştir (Çevikcan vd,2009). Tang vd. (2000), haddehanedeki çalışmasında ürünlerin sıralanması problemi için ürünlerin tasarım şekillerinden yararlanarak hazırlık sürecinde ceza maliyetini dikkate alarak bir sistem kurmuştur. Charles-Owaba ve Lambert (1988), makinelerin hazırlık sürelerini ve iş parçalarındaki benzer özellikler arasındaki ilişkiden faydalanarak matematiksel model oluşturmuştur. Andres vd. (2005)'nin araştırmasında sıra bağımlı olan hazırlık sürelerine, ürünlerin boyutsal ve görsel özellikleri dikkate alınarak makine ve ekipmanların yerleşimlerdeki değişiklikler ve ayar süreleri dâhil edilmiştir. Sıra bağımlı hazırlık süresi iki ürün arasındaki, ürünlerin işlem adımları sırasındaki ilgili hazırlık işlem adımları tespitinden sonra tezgâhta çalışan operatör kısıtı adı altında çizelgeleme yöntemi ile bulunmuştur. Durmuşoğlu (1990), Charles-Owaba ve Lambert (1988)'in modelini, kopya torna tezgâhında üretilecek ürünlere uygulamıştır (Çevikcan vd. 2009). Yapılan çalışmada ilave olarak, üretilecek ürünler için, işlerin hazırlık faaliyetlerindeki benzer işlerine göre gruplandırılmış ve işlerin tezgâh atamalarında belirlenen parçaların dikkate alınması önerilmiştir.

Sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin söz konusu olduğu paralel makine çizelgeleme probleminde, Rocha vd. (2008)'nin dal sınır algoritması, Dhaenens-Flipo (2001)'nin sezgisel yöntemi, Chien vd. (2000)'nin geliştirmiş oldukları genetik algoritmalar çok amaçlı yapıdadır.

Charles-Owaba ve Lambert (1988)'in matris esaslı matematiksel modeli, yüksek ürün çeşitliliği ve tasarım özelliği sayısında artış olan ortamlarda uygulanmasının kolay olması nedeniyle ihtiyaçları karşılamaktadır. Bu nedenle, gerçek üretim ortamlarındaki problemlere çözüm getirmeye yönelik olarak geliştirilen sistematığın sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin elde edilmesi safhasında Charles-Owaba ve Lambert (1988)'in matris esaslı matematiksel modeli tercih edilmiştir (Çevikcan vd. 2009).

Paralel makine çizelgeleme problemlerinde hazırlık sürelerinin sıra bağımlı olduğu problem tiplerini dâhil eden literatürlerde teslim zamanının dikkate alındığı çalışmalar da oldukça yaygındır. Omar ve Teo (2006) bu tarz problemler için iş gruplarını aile olarak gruplandırmış ve doğrusal karma tamsayılı programlama modeli oluşturmuştur.

Tucci ve Rinaldi (1999), birbiriyle aynı özellikleri taşımayan paralel dokuma tezgâhlarının maliyetlerini azaltmayı hedef almış olup, hazırlık sürelerinin ve gecikmeden kaynaklı maliyetlerin iyileştirilmesi amacıyla çizelgeleme için tabu arama metodunu kullanmışlardır.

Bu çalışmamızda mTSP'den faydalanarak ele aldığımız sıra bağımlı paralel makine çizelgeleme problemi için çizelgeleme sistemi geliştirdik ve uyguladık. mTSP, çoklu gezgin satıcı problemi, iyi bildiğimiz gezgin satıcı probleminin (TSP) bir genellemesidir. TSP ile ilgili literatür çalışmasına örnek olarak Carlo Flippi ve Elisa Stevanato (2013) tarafından yapılan çalışma örnek verilebilir. mTSP özellikleri gerçek yaşam uygulamaları için daha uygun görünüyor ve bazı ek yan kısıtlamalar dahil edilerek araç rotalama problemlerini (VRPs) çeşitli şekilde genişletmek mümkündür. TSP ve VRP' nin literatürde geniş bir bölümün var olmasına karşın, mTSP aynı miktarda dikkate alınmamıştır. Yapılan incelemeler sonucunda mTSP' nin bazı uygulamalarına ulaşılmıştır.

- **Matbaa çizelgeleme:** Gorenstein (1970), bir derginin çoklu baskıları için çizelgeleme problemini ele almıştır. Son zamanlarda, Carter ve Ragsdale (2002), gazeteler için önceden yazdırılmış reklamların, üretim programı üzerine araştırmalar yapmışlardır.

- **Ekip çizelgeleme:** Svestka ve Huckfeldt (1973), bankanın farklı şubeleri arasında mevduat (para) taşınması için bir uygulama sunmuşlardır. Burada, mevduatın bankanın şubelerinden alınması gerekir ve elçilerin bir ekip tarafından merkez ofise dönmesi gerekir. Problem, toplam minimum maliyet ile elçilerin yollarını belirlemektir. Lenstra ve Rinnooy Kan (1975), iki benzer uygulamayı açıklamıştır. İlk uygulama, Kuzey Hollanda'da telefon kutularını ziyaret etmek için teknik ekibin, rotalarını bulmasından oluşur. İkinci uygulama, kullanılan araç sayısının en az olacak şekilde Utrecht içindeki 200

posta kutusunu, ziyaret etmek için araçların yollarının tasarımını içerir. Ekip çizelgelemenin mTSP' de bir başka uygulaması Zhang vd. (1999) tarafından yapılmıştır. İlköğretim ve orta dereceli okulların, çok sayıdaki fotoğrafçısının, birden fazla takım çizelgeleme problemini araştırmıştır.

- **Okul otobüsü rotasının belirlenmesi problemi:** Otobüs çizelgeleme problemi, Angel vd. tarafından (1972), bazı yan kısıtlamalar eklenerek mTSP' nin bir varyasyonu olarak incelenmiştir. Çizelgelemenin amacı, otobüs yollarının sayısını en az olacak şekilde, bir otobüs yükleme modeli elde etmektir. Bütün otobüsler tarafından toplam kat edilen mesafe en az tutulup, hiçbir otobüs aşırı yüklenmeden ve zaman, en fazla izin verilen süreyi aşmamak şartıyla herhangi bir rotada hareket etmesini gerekli kılmıştır.

- **Görüşme çizelgeleme:** Gilbert and Hofstra (1992), tur araçları ve turizm endüstrisinin satıcıları arasındaki görüşmelerin planlanması probleminden ortaya çıkan mTSP' nin bir uygulamasını tarif eder.

- **Görev planlaması:** Görev planlama genelde, otonom gezgin robotların kapsamında ortaya çıkar. Askeri keşif, depo otomasyonu, postane otomasyonu ve gezegen keşfi gibi çeşitli uygulamaların inşasını içerir. İnsansız hava aracı uygulamalarının planlanması sonucu ortaya çıkan rotalama problemlerinin, zaman pencereli bir mTSP olarak modellenabilir olduğu Ryan vd. (1998) tarafından incelenmiştir.

- **Sıcak haddeleme çizelgelemesi:** Demir çelik endüstrisinde, siparişler üretim sırasındaki toplam geçiş (kurulum) maliyetini minimize edecek şekilde, bir üretim vardiyası içinde, sıcak şerit haddehanesinin çizelgelenebilir olması gerekir. Bir mTSP olarak Çin'de demir ve çelik kompleksinde karşılaşılan böyle bir problem için yeni bir uygulama modeli Tang vd. (2000) tarafından ele alınmıştır. Burada, siparişler şehirlere karşılık gelir ve iki şehir arasındaki mesafe iki sipariş arasındaki üretim değişimi için ceza maliyetini oluşturur. Modelin bir çözümü, sıcak şerit haddeleme tesisi için çizelgelemeye iyi örnek olmaktadır.

- **Global navigasyon uydu sistemi ölçüm ağlarının tasarımı:** mTSP'nin çok yeni ve ilginç bir uygulaması, global navigasyon uydu sistemi (GNSS) ölçme ağlarının tasarımında ortaya çıkan çalışma, Saleh and Chelouah (2004) tarafından araştırılmıştır. Ölçmenin amacı, uydu ekipmanları kullanarak toprak üzerinde bilinmeyen noktaların coğrafi konumlarını tespit etmektir. Bu noktalar, alıcılar yerleştirildiğinde, gözlem oturumlarının bir dizisi tarafından koordine edilmektedir. Çok sayıda alıcı veya birden fazla çalışma süreleri olduğunda, alıcıları için oturumların en iyi sırasını bulma problemi bir mTSP olarak formüle edilebilmektedir.

- **mTSP'nin diğer problemler ile ilişkileri:** Gece güvenlik hizmeti sorununu Calvo ve Cordone (2003) araştırmıştır. Bu problem, belirli bir dizi yerlerin rutin denetim işlerini gerçekleştirmek için korumaların bir dizi görev atamasından oluşur.

mTSP, aynı zamanda, gemi operasyon planlaması içinde iskele vinci çizelgelemenin bir alt problemi olarak ortaya çıkmaktadır. Bu problemin çözümü için sunulan bir dal sınır algoritması, sıkı alt sınır bulmak için kullanan Kim ve Park (2004) tarafından incelenmiştir.

Macharis ve Bontekoning (2004) tarafından belirtildiği gibi zaman pencereleri ile mTSP, çok amaçlı yük taşımacılığında, problemleri modellemek için kullanılabilir. Bu bağlamda, Wang ve Regan (2002), zaman pencereli asimetrik mTSP olarak kamyon toplama ve teslimat problemini modeller.

Basu vd. (2000)' nin belirttiği gibi mTSP'nin ilginç bir uygulamasında, çok sayıda nesnelerin hareketlerini koordine etme problemi yatmaktadır. Böyle bir problem, bir depo gibi yapılandırılmış alan içerisinde, elektronik devrelerin montajında, dağıtık sistemlerin bellek yönetiminde, mobil robotların koordinasyonunda ortaya çıkabilir.

Çoklu gezgin satıcı problemi, teorik ve pratik nedenlerden dolayı her iki açıdan da önemli bir problemdir. Her şeyden önce, gezgin satıcı problemini (TSP) genelleştirmek ve teorik bakış açıdan TSP'nin daha iyi anlaşılmasını sağlamak için ele alınabilir. Öte yandan, bu tür kapasite, mesafe ve zaman pencereleri kısıtlamaları gibi ek yan kısıtlamalar dahil edilerek, kolayca araç yönlendirme problemleri (VRPs) çeşitli biçimde genişletilebilir. Bu

iki önemli problemi bağlayan bu tartışmaların doğal bir sonucu, TSP ve VRP'nin içeriğinde belirgin rolünü açık ortaya koyar. Bu nedenle, mTSP'nin kendisi, pratik dağıtım ve yönlendirme merkezi için bir rol oynar.

Bektaş (2004) tarafından yapılan çalışmada mTSP ile ilgili mevcut literatür araştırmaları, tamsayı programlama formülasyonu ve bu problem için özel olarak geliştirilen çözüm prosedürleri üzerinde durulmuştur. MTSP için farklı tamsayı programlama formülasyonları önermiştir. MTSP için çeşitli tamsayılı programlama formülasyonları mevcuttur. Bunların arasında atama tabanlı formülasyonlar, ağaç temelli formülasyonlar ve üç indisli akış tabanlı formülasyonun bulunduğu çalışmalar Bektaş (2004)'in çalışmasında yer almaktadır.

Belirlenen prosedürün aşamalarının sonucunda problemin çözümü hakkında en yakın sonuçları veren sezgisel yöntemler yerine analitik yöntemler tercih edilir. Çünkü analitik yöntemler amaç-kısıt gibi fonksiyonları problemin en uygun sonucunu bulmak için kullanır. Analitik yöntemlerin ise karmaşık problemlerin çözümünü bulmada uğraştırıcı olmaktadır. Sezgisel yöntemlerle çözüme gidilmesinde ki amaç ise, çizelgeleme problemlerinin en iyi sonucun çoğunlukla bulunmasının zorluğudur.

Yayın incelemeleri sonucunda, ürün tasarım özellikleri dikkate alınarak iş çizelgelemenin ve sıraya bağımlı hazırlık sürelerinin hazırlandığı görülmüştür. Yapılan çalışmanın, gerçek bir fabrika ortamında yapılmasından dolayı sanayiye katma değer sağlayacaktır. Ayrıca, paralel makine çizelgeleme probleminde ürünler arası sıraya bağımlı hazırlık süreleri ile ürün tasarım özellikleri arasındaki bağlantı incelenmektedir.

2.1 Özdeş Paralel Makine Çizelgeleme Problemleri

Paralel makine problemleri, aynı olan işleri yapabilme kapasitesine sahip m tane makinenin paralel olarak sıralandığı sistemlerdir. Her iş yalnız bir operasyonda işlem görebilir ve sıralı olan m makinenin herhangi birisinde işlenebilmektedir. Paralel makineler

farklı tipte bulunabilirler. Aynı tipte makineler olup, hızları aynı olabilir veya hızları farklı olabilir, farklı tipte olup hızları aynı veya farklı olabilir.

Paralel makinelerin bulunduğu üretim ortamlarında, özdeş makinelerden, birbirinden bağımsız ve benzer olan makinelerden bahsedilebilir. Aynı işi aynı sürede yapan makineler özdeştir ve işlem için gerekli operasyonlardan herhangi biri, paralel olan ve sistemde mevcut olan makinelerden, herhangi birisinde işlendiği takdirde işlem süresi değişmeyecektir. Hızları birbirinden farklı olan makineler benzerdir ve işlere göre makine hızlarının değişiklik gösterdiği makineler birbirinden bağımsızdır.

İşletmelerde aynı işi yapan birden çok makine var ise makine seçim kriteri, çizelgeleme problemlerine eklenmektedir. İşletmelerde aynı işi yapan birden fazla makinenin mevcut olması şirket içinde esneklik ve kapasite artışına yol açarken, mevcut kapasiteyi yönetmek ciddi sorunlara sebep olmaktadır. Özellikle, makinelere ait hazırlık sürelerinin, üretim sürecinin büyük bir bölümünü kapsadığı durumlarda makinelerin doğru çizelgelenmesi büyük önem taşımaktadır. Sebebi ise, her bir makinenin fazladan hazırlık süresi anlamına gelmesidir.

Çizelgelenecek işler, tek makine problemi çalışılan durumlarda belli iken, birden fazla paralel makinenin bulunduğu ortamlarda işlerin makinelere atanması ayrı bir problem oluşturmaktadır. İşleri ayırma veya birleştirme problemleri, paralel makinelerin çizelgelenmesinde ortaya çıkan ayrı bir sorundur. Bazı üretim sistemlerinde, bir iş birden fazla makinede işlem görerek tamamlanabilmekte ya da birkaç sipariş birleştirilip aynı anda tek bir makinede üretilebilmektedir. İşlerin bu şekilde birleştirme ve ya ayırma durumlarında teslim tarihlerine en uygun şekilde çizelgeleme yapılması gerekmektedir.

2.2 Sıra Bağımlı Hazırlık Sürelerine Sahip Paralel Makine Çizelgeleme Problemi

Kendinden önce çizelgelenen işe bağlı olarak, hazırlık süresinin değişiklik göstermesine, sıra bağımlı hazırlık süresi denir. Paralel makine çizelgeleme ile ilgili literatürde, sıra bağımlı hazırlık süreli özdeş paralel makine çizelgeleme problemleri ile ilgili pek çok yayın bulunmaktadır. İncelemeler sonucunda, yapılan çalışmaların çoğunda amaç, son işin tamamlanma zamanını (makespan) en küçüklemeektir. Park

vd. (2012) işlerin bölünebilir ve sıra bağımlı hazırlık sürelerinin olduğu paralel makine çizelgeleme problemi üzerine çalışmıştır (Akyol,2013). Li vd. (2012) paralel makine çizelgeleme problemleri için meta sezgisel algoritmalar geliştirmişlerdir. Joo ve Kim (2012) tamamlanma zamanları, teslim zamanları ve sıraya bağlı hazırlık sürelerinin bulunduğu paralel makine çizelgeleme problemi için meta sezgisel algoritma geliştirmişlerdir. Gokhale ve Mathirajan (2012), makine uygunluk kısıtlarının ve tamamlanma zamanlarının olduğu, akış süresinin en küçüklendiği bir matematiksel model ile sezgisel algoritma geliştirmiştir.

2.3 Özdeş paralel makine çizelgeleme problemlerinin sınıflandırılması

Çeşitli benzetim çalışmalarına, şebeke analizlerine, sezgisel çözüm yaklaşımlarına, çizelgeleme problemleri referans olmaktadır. Hangi tekniğin seçileceğine ise problemin zorluğu, model yapısı, bir de problemin amacı, karar verme sürecinde etkilidir. Çizelgeleme problemlerinde sınıflandırma için kriterler, atölye tipi, makine sayıları ve performans ölçütleridir (Baker, 1974).

Problemin yapısı ve mevcut atölye şekli, çözüm yaklaşımlarını değiştirebilmektedir. İşlerin süreleri ve diğer gerekli parametreler kesin olarak bilinirse deterministik, ihtiyaç duyulan veriler kesin olarak belirlenemiyor ise stokastik çizelgeleme konusudur. Baker (1974), stokastik modeller, gerçek uygulamalarda deterministik modellere göre daha iyi sonuç verir (Gocuklu, 2011).

Kombinatoryal eniyileme problemleri, kesikli çözüm uzayına sahip problemler için en iyi çözümü arayan yöntemdir. Bu tür problemlere örnek verecek olursak; en kısa yol problemi, gezgin satıcı problemi, araç rotalama, atölye çizelgeleme problemleridir.

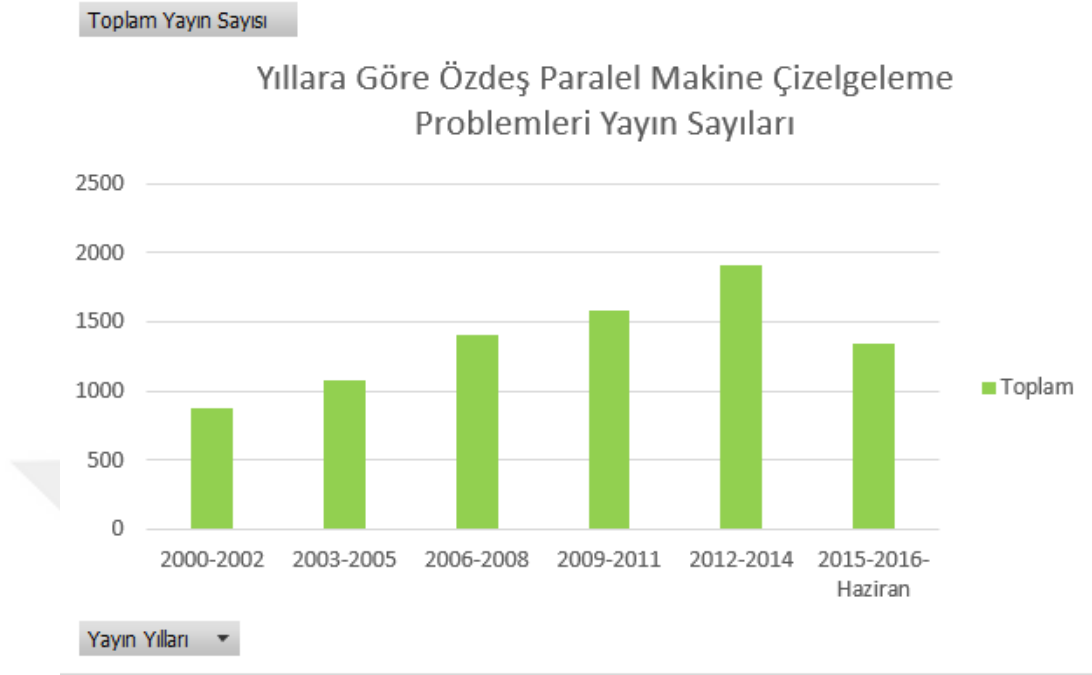
Sezgisel yöntemler, kombinatoryal eniyileme problemleri için geliştirilmiş bir yöntemdir. Çözümlerden en iyi sonucu elde etmekteki zorluktan dolayı birçok problem için sezgisel algoritmalar geliştirilmiştir. Geliştirilen sezgisel teknikler, hesaplamada yaşanan zorluklar ve çözüm kalitesinin karşılıklı etkileşimi dikkate alınarak tasarlanmıştır. En iyi sonucu verememesine rağmen, sezgisel algoritmalar, hesaplama süresi bakımından daha kısa sürmektedir (Blum ve Roli,2003).

Kombinatoryal problemler, hesaplama açısından bakıldığında, en iyi çözümü elde etme konusunda oldukça zor problemlerdir. Bu sebeple, en iyiye yakın çözümü, uygun hesaplama süresi içerisinde bulabilen, büyük boyutlu problemlerin çözümünde tercih edilen sezgisel algoritmalar önemli olmaktadır. Karaboğa (2004), etkili sezgisel yaklaşımların, zor problem çözümlerinde kullanılması üzerine, oldukça fazla araştırmaya sahiptir.

Bölgesel eniyileme yöntemleri olarak ifade edilen klasik sezgisel yöntemler, çözüm uzayında arama, belirli komşuluk yapısı ile daha iyi komşu çözüm olmadığı durumlarda sonlandırılmaktadır. Bundan dolayı, bu yöntemler en küçük yerel noktalara takılmakta ve kör bir şekilde arama stratejisi uygulanmaktadır. En küçük yerel noktalardan kurtulmak ve daha kötü çözümlerinde kabul edildiği, meta sezgisel yöntemler, bütünsel eniyileme yöntemleridir. Çözüm uzayının umut verici noktalarında arama yapılmaktadır. Burada, süreç, algoritmanın içine gömülü olan bir arama stratejisi ile yönetilmektedir. Breedam (2011), meta sezgisel algoritmalarda, en büyük sakınca, algoritmanın ne zaman duracağına bilinmemesidir. Tarantilis vd. (2004), meta sezgisel yöntemler, klasik sezgisellere kıyasla daha kesin çözüm bulunmasına rağmen ve yeni kısıtların algoritmaya kolaylıkla entegre edilebilmesine rağmen, algoritmaların yazılım diline kodlanması oldukça karmaşık ve çözüm süreleri fazlaca uzundur (Gocuklu, 2011).

2.3.1 Özdeş paralel makine çizelgeleme problemlerinin yıllara göre yapılan çalışmaların sınıflandırılması

Özdeş paralel makine çizelgeleme problemleri ile ilgili çalışmalar, paralel makine çizelgeleme problemleri ile ilgili literatür çalışmaları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Çalışmalar arasında özdeş paralel makineleri konu alan çalışmalar incelenmiştir. Şekil 2.1.'de her geçen yıl yayın sayısında artış olduğu görülmektedir. 2016 yılının ikinci yarısında da yapılacak yayınlar düşünüldüğünde sayının artacağı görülmektedir.



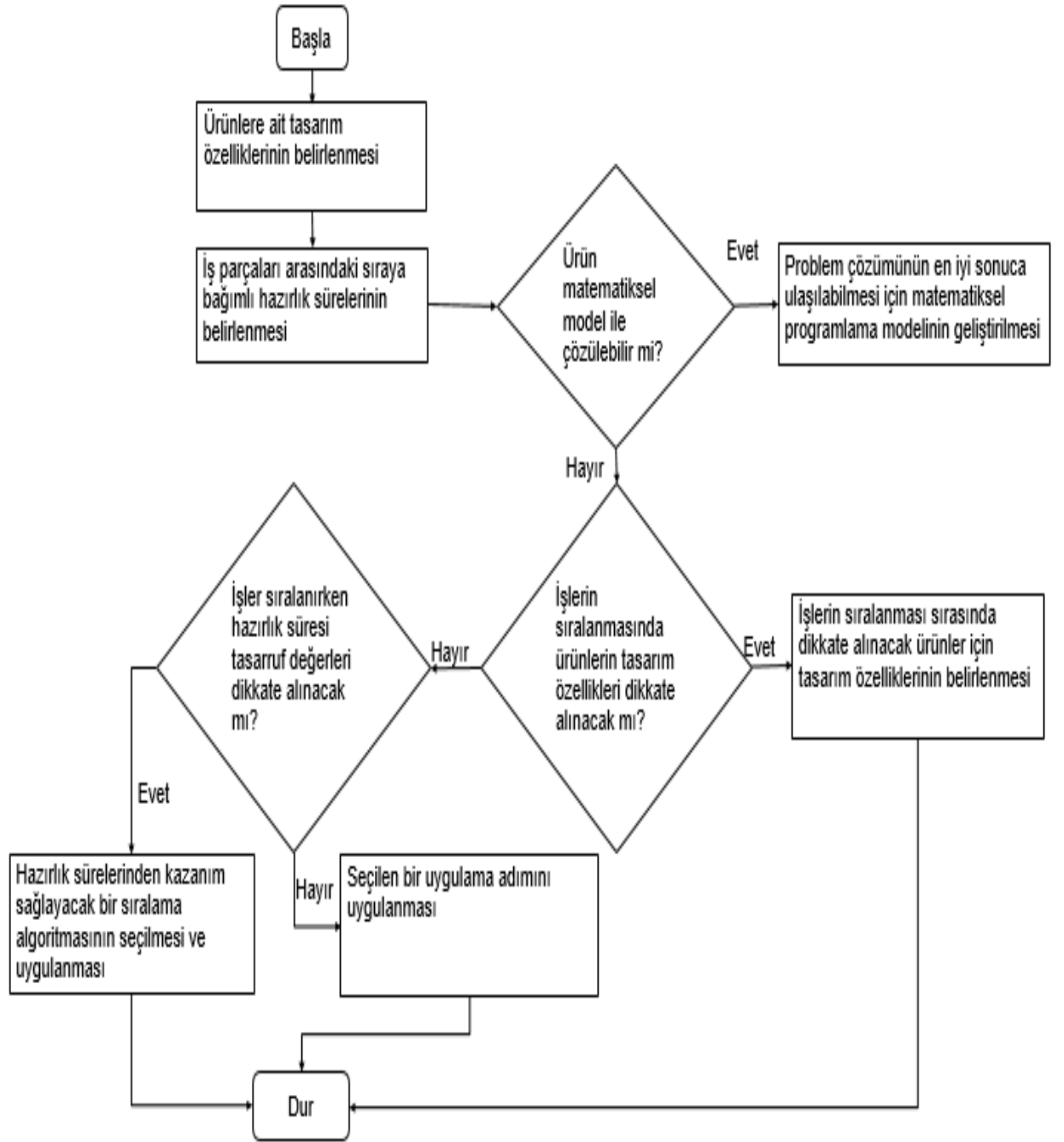
Şekil 2.1. Özdeş paralel makine çizelgeleme problemlerinin yıllara göre çalışma sayıları

3. PROBLEM ÇÖZÜMÜ İÇİN GELİŞTİRİLEN ÇİZELGELEME SİSTEMİ

Tanımlanan yöntem bilimi çerçevesinde odaklanılacak akış şeması aşağıdaki gibidir. Akış şemasında da belirtildiği gibi ürünlerin tasarım özelliklerinin belirlenmesinden sonra işler arası geçişlerde ortaya çıkan hazırlık süreleri tespit edilmektedir. İşlerin işlem görme sıralamasının belirlenmesinde ele alınan problemin boyutuna göre en iyi sonuçta değişiklik gösterebilir.

Şekil 3.1’de belirtilen akış şemasında ele alınan varsayımlar aşağıdaki gibidir:

1. İş ataması yapılacak olan makineler başlangıçta boştur.
2. Paralel makinede ardışık işlem göreceğ işlerin hazırlık adedi ve hazırlık süreleri belirlenmiştir.
3. İşler arasındaki geçiş işlemleri sırasında yapılan hazırlık işlemlerinde önceden belirlenmiş yöntem kullanılmaktadır.
4. İşlem göreceğ işlerin süreleri önceden belirlidir.
5. İşlerden herhangi birisi iki sefer aynı işlemi göremez.
6. Paralel olan makinelerin işlem hızları arasında fark bulunmamaktadır.
7. İşlem göreceğ olan işin tasarım şekli ve hazırlık adımları arasında etkileşim yoktur.
8. Ürün geçişleri sırasında ihtiyaç olacak olan hazırlık araçları ve işlem göreceğ parçalar erişilebilecek şekilde tesiste mevcuttur.
9. Kurulan bu sistemin asıl amacı sırasıyla işlem göreceğ olan farklı parçalar arasındaki hazırlık sürelerini toplamda en küçük hale getirmektir.



Şekil 3.1 Problem Çözümü İçin Geliştirilen Akış Şeması

3.1 Ürün Tasarım Özelliklerinin Belirlenmesi

Şekil 3.1’de ki akış şemasının birinci adımında, ürünlerin tasarım özelliklerinin belirlenmesi ele alınmıştır. Bu süreçte hazırlık adımları en küçük bölünmez parçalarına kadar belirlenir ve bu hazırlık adımları gruplandırılır. Bunun ardından, hazırlık

adımlarına odaklanılmakta; hazırlık adımlarındaki değişiklikler ve işlem görece ürünlerin işlem şekli dikkate alınarak ürün tasarım özellikleri belirlenmektedir.

3.1.1 Tanımlar

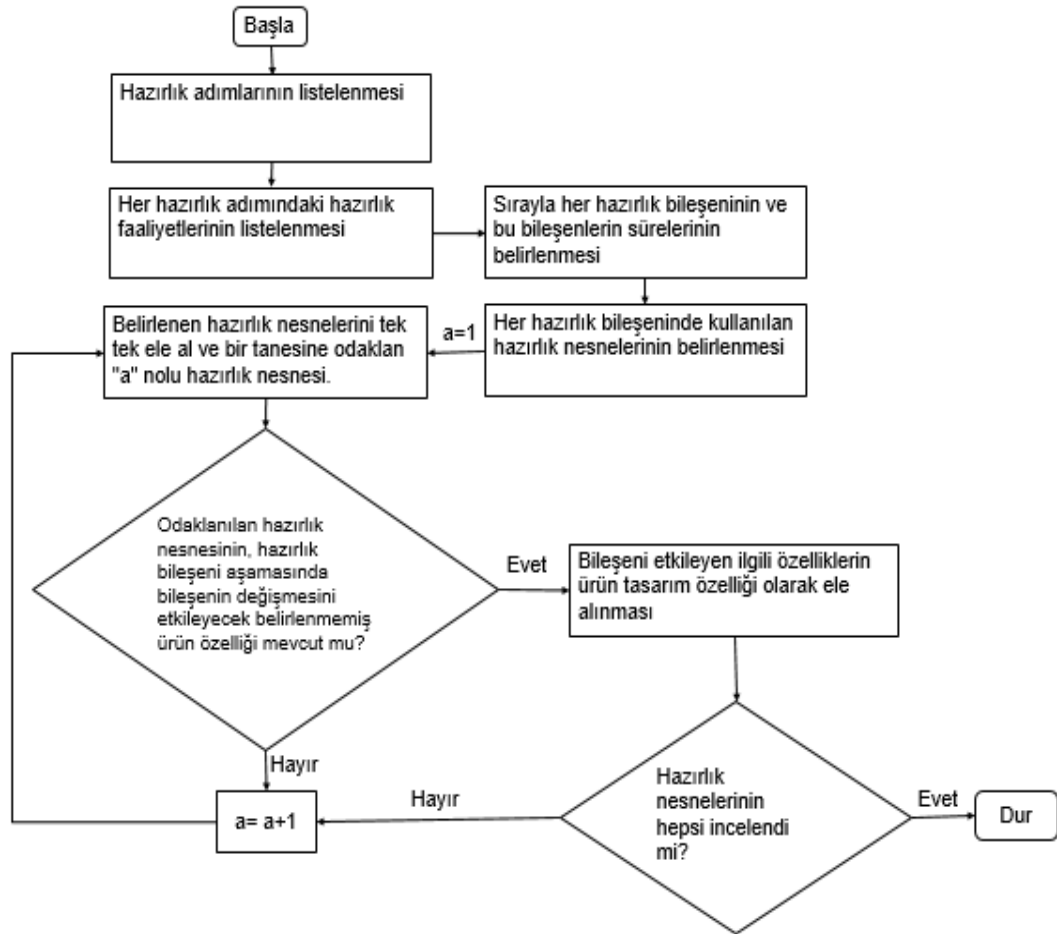
Hazırlık adımları: Makinenin hazırlık ile ilgili boş kalma süresini oluşturan aşamalar

Hazırlık nesnesi: Bir hazırlıkta kullanılan nesne

Hazırlık faaliyeti: Bir hazırlık adımında bir hazırlık nesnesinin kullanılması ile gerçekleştirilen hazırlık fonksiyonu

Hazırlık bileşeni: Herhangi bir hazırlık süresinin kullanıldığı bölünemez hazırlık süreci

Hazırlık işi: Bir dizi hazırlık bileşeni.



Şekil 3.2 Ürün tasarım özelliklerinin belirlenmesi için geliştirilen algoritma

Şekil 3.2’de belirtildiği şekilde ürünlerin tasarım özellikleri belirlenmektedir. Tanımlanan algoritmaya göre öncelikle ürünlerin işlem görmeye başlamadan önceki hazırlık adımları oluşturulmalı, daha sonra belirlenen hazırlık adımlarının hepsi için ihtiyaç görülen hazırlık işlemleri tanımlanmıştır. İşlemlerin bir önceki sıradaki işlemin hazırlık süresine bağlı hazırlık sürelerinin en küçüklenmesi amacıyla öncelikle, en küçükleme çalıştığımız zaman dilimindeki hazırlık adımlarının, işlemlerin, operasyonların Şekil 3.2’de 1. ve 2. basamakta gösterildiği şekilde tespit edildikten sonra bu faaliyetlerin birbir hesaplanması şartı ile nerede kısaltmalar yapabileceğimiz verileri tespit etmiş oluruz.

3.2 İşlem Görecek Ürünlerin Tasarımları Dikkate Alınarak Sıra Şartı ile Hazırlık Sürelerinin Tespit Edilmesi

Sıraya Bağımlı Hazırlık Süreleri, işlem görecek ürünlerin tasarımları ile işlem görebilmesi için yapılan hazırlık işlemleri arasındaki etkiden elde edilmektedir. İş parçası sırasına bağımlı olan hazırlık işlerinin sürelerinin az karmaşık problemlerde sürelerin tespiti için zaman etüdü alternatif çözüm gibi görünse de problemlerde iş parçası sırasına bağımlı hazırlık süresi ölçüm sayısı oldukça fazladır.

Ayrıca; iş ölçümü tekniklerinden bir tanesi olan zaman etüdünde bazı kurallara dikkat etmek gerekir aksi takdirde yapılan çalışma sonucu yanıltıcı olabilir. Zaman etüdünde dikkat edilecek adımlar şöyledir:

- İş, çalışan, çevre koşulları konusunda tüm bilgilerin derlenip kaydedilmesi,
- İşin ögelerine ayrılarak süreç tanımlamasının yapılması,
- Örnek büyüklüğünün belirlenmesi,
- Çalışanların, işin her bir ögesinin tamamlamaları için gereken zamanın ölçülerek, belirlenen tempo ile birlikte kaydedilmesi,
- Gözlenen zamanın temel zamanlara dönüştürülmesi,
- Çalışma için temel zaman dışında tanınacak toleransların belirlenmesi,
- Çalışma için standart zamanın belirlenmesi

Charles-Owaba ve Lambert (1988)'in geliştirdiği matematiksel modelden, geliştirilen çizelgeleme sistematidin bu aşamasında faydalanılmaktadır. Böylece, sıraya bağımlı hazırlık süreleri bire bir ölçüme gerek kalmadan belirlenebilmekte ve hem güncel hem de güvenilir olmaları sağlanmaktadır.

Çalışılan konu kapsamında, çözümün eniyilenmesine yönelik geliştirilen matematiksel model için, iř parçalarının çizelgelenmesine ait matematiksel programlama modeline yazılacak;

İndisler: “*i*”: iř indisi”, “*j*”: iř indisi”, “0”: başlangıç durumu”,

Parametreler

GIS: Üretim ortamına gönderilen iř parçası sayısı

$GIK = \{1, \dots, GIS\} \rightarrow$ Üretim ortamına gönderilen iř parçaları kümesi

$GT = GIK \cup \{0\}$

S_{ij} : “*i*” iř parçasından “*j*” iř parçasına geçilirken harcanan hazırlık süresi

$i \in GT$

$j \in GIK$

$i \neq j$

Karar Deđişkenleri

Y_{ij} = “*i*” iř parçası “*j*” iř parçasından hemen önce işlem görüyorsa 1; yoksa 0

$i \in GT$

$j \in GT$

$i \neq j$

u_j = Alt tur oluşumunu önlemeye yönelik değişken

Amaç Fonksiyonu

$$\text{Enk} \sum_{i \in GT} \sum_{j \in GIK, i \neq j} s_{ij} * y_{ij} \quad (3.1)$$

Kısıtlar

$$\sum_{i \in GT, i \neq j} y_{ij} = 1 \quad \forall j \in GT \quad (3.2)$$

$$\sum_{j \in GT, i \neq j} y_{ij} = 1 \quad \forall i \in GT \quad (3.3)$$

$$u_j \geq u_i + 1 - GIS * (1 - y_{ij}) \quad \forall i, j \in GT : i \in GT, j \in GIK \wedge i \neq j \quad (3.4)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad i \in GT, j \in GT, i \neq j \quad (3.5a)$$

$$u_j \geq 0 \quad \forall j \in GT \quad (3.5b)$$

(3.1) olarak numaralandırılan amaç fonksiyonu, iş parçası sırasına bağımlı hazırlık süresilerini en küçüklemeyi amaçlamaktadır.

(3.2) numara ile ifade edilen kısıt fonksiyonu, işlem görecekt her işten hemen önce sadece bir işin işlem görmesini sağlamaktadır.

(3.3) numara ile ifade edilen kısıt fonksiyonu, işlem görecekt veya gören her işten sonra sadece bir işin işlem görmesini sağlamaktadır.

(3.4) numara ile ifade edilen kısıt fonksiyonu, belirlenen en küçük iş parçasının, tekrar alt iş bileşenlerine bölünüp sıralamaya girmesinin oluşmasını engellemektedir.

Modeldeki değişkenlerin alabileceği değerleri gösteren kısıt fonksiyonu (3.5a) ve (3.5b) numaraları ile gösterilmiştir.

İşler, oluşturulan matematiksel modele göre sırasıyla gün içerisindeki çalışma süresini dolduracak şekilde ilk makineye atanmaktadır. Bu atama işini takip edecek şekilde ikinci sıradaki ve üçüncü sıradaki makinelere sırayla işler atanır. Makinelere iş atamalarını bu şekilde yapmaktaki amaç, kullanılmayan kapasitenin her makinede tek tek oluşması yerine toplamda kullanılmayan kapasitenin işin en son işlem gördüğü makinada toplanmasının sağlanmasıdır. Bu şekilde iş ataması yapılmasının sebebi işlerin makinalara transferinin uygunluğudur. Atıl kapasite, üretim biriminde kullanılabilecekken kullanılmayan ya da birkaçının tam olarak kullanılmaması durumunda ortaya çıkan fark demektir. Üretim kapasitesinin tümünün üretilen iş ile

doldurulamamasıdır. Üretim süreci içerisinde işlem görecekt işlerin tamamının bitmesini sağlayacak yeterlilikte olmadığı durumlarda şirket, vardiya sayısında artış sağlayabileceği gibi belirli makinalarda fazla mesai de öngörebilir.

3.3 Sıralama Algoritmaları

Bu aşamada, verilen işlerin birbirine bağlı olan hazırlık sürelerini kısaltmak amacıyla belirli bir sırayla işler sıralanır. "Hazırlık Süresi Kazanımı Odaklı En İyi Sıralama Algoritması (Algoritma 1)", "Tasarım Özelliklerine Bağlı Sıralama Algoritması (Algoritma 2)" çalışma kapsamında ele alınmıştır.



4. BEYAZ EŞYA SEKTÖRÜNE AİT KABLO MONTAJI İLE İLGİLİ UYGULAMA

Bu bölümde; daha önce (yukarıda) belirtilen çizelgeleme sistematığının gerçek bir ortamda uygulanışı incelenecektir. Bu inceleme, gerçek bir üretim ortamının Kesme-Sıyırma-Terminalleme bölümünde uygulanacaktır. Çalışma ortamı Şekil 4.1’de Kesme-Sıyırma-Terminalleme çalışma ortamı gösterilmektedir. Kesme-Sıyırma-Terminalleme (KST) bölümünde; rulo halindeki kabloyu uygun boyda kesme, kesilen parçanın uçlarındaki PVC’yi sıyırma ve PVC’si sıyırılmış uçlara terminal takma işlerini otomatik olarak yapan sekiz adet kablo sıyırma terminalleme makinesi mevcuttur.

İşlem gören işlere ait hazırlık süresi toplamını en küçükleyecek şekilde sıralamaya girecek olan bazı kabloların tasarım özellikleri terminal değişikliği ile yeniden düzenlenmektedir. Kabloların simetrik olmasından faydalanarak, bazı kabloların terminal (uç), kalıp ve uç açma boyları ters çevrilir. Her kablonun bir ucunda bulunabilecek en fazla terminal tipleri aynı olacak şekilde yapılan düzenlemeyle, hazırlık süreleri aşamasında en fazla süreyi işgal eden kalıp ve terminalle ilgili olan hazırlık süreleri kısaltılmış olur.



Şekil 4.1 Kesme-Sıyırma-Terminalleme Çalışma Alanı

Bu şekilde işlerin birbirine bağlı olan süreleri matematiksel model ile belirlenmiştir. Makinelerde işlenecek kablonun kesit alanına ve kablonun boyuna göre değişen kablo kesim süresi ile kablo ucuna basılan terminallenme sürelerinin toplamı birim işlem süresini verir.

4.1 Kabloların Çizelgelenmesi

İşlem görecekt işlerin ortalama toplam parti sayısı 150 adettir. Bu sayının oldukça küçük olması hazırlık sayısını artırmaktadır. Kapasite açısından kablo sıralarının hazırlık süreleri bakımından etkili olması önemlidir. Makineler önündeki kabloların makinelere çizelgelenmesindeki önemi kablolar arası geçişlerdeki hazırlık süreleri toplamının en kısa olmasıdır. Kablo sıralamalarının belirlenmesinde kullanılan iki adet sezgisel yöntem şöyledir:

- Hazırlık Süresi Kazanımı Odaklı En İyi Sıralama Algoritması
- Kablo Tasarım Özelliklerine Bağlı Sıralama Algoritması

4.1.1 Hazırlık süresi kazanımı odaklı en iyi sıralama algoritması

Burada ele alınan algorithmada, Gezgin Satıcı Probleminin içeriğinde en sık tercih edilen "En Yakın Komşu" algoritmasına birbirine bağlı işlerin hazırlık sürelerindeki tasarruf sonucu elde edilen değerler dâhil edilmiştir. "En Yakın Komşu" algoritması, hazırlık süresi kazanımlı işlerin sıralanmasıyla yapı bakımından benzerlik göstermektedir. Algoritmanın oluşturulabilmesi için her bir iş parçası çiftinin (ij) hazırlık sürelerinden elde edilen tasarruf sürelerin hesaplanması gerekir. i ve j işlerinin birbiri ardına makinelerde sıralanması pozisyonunda işlerin birbirleri ile olan benzer işlem adımları göstermeleri sebebiyle kazanılacak süre bakımından eşitine hazırlık süresi tasarrufu denir. Peş peşe işlenen işler arasındaki hazırlık sürelerinden elde edilen kazançlar belirlendikten sonra her bir makinaya iş ataması yapılarak sıralama belirlenir. İşlerin sıralanmasında dikkat edilen nokta, birbiri ardına sıralanan işlerde en fazla süre kazancı sağlanacak şekilde sıralama oluşturulur.

Yöntem 1: Ürün Tasarım Özelliklerine Bağlı-Sıraya Bağımlı Hazırlık Sürelerini Elde Etmek İçin Geliştirilen Matematiksel Model

İşler arasındaki sıraya bağlı hazırlık sürelerinin elde edilmesi safhasında, aşağıda belirtilen matematiksel model kullanılmıştır.

İndisler

i, j	: sırada işlem görecekt iş parçalarının indisleri
v	: makine indisi
l	: hazırlık işi indisi
m	: parça tasarım özelliği indisi

Varsayımlar

1. İş parçasının tasarım özellikleri ile hazırlık işleri arasında etkileşim mevcuttur.
2. Hazırlık işlemlerinde önceden belirlenmiş metot takip edilmektedir.
3. Hazırlık işleri sayı ve süreleri bakımından belirlidir.
4. Hazırlık süreleri işlem sıralarına bağlıdır.
5. Her iş parçasının kendisine özgü tasarım özelliği mevcuttur.
6. Makede başlangıç durumunda iş bulunmamaktadır.

V makinasına gelen i iş parçasının işlenmesinin peşine j iş parçasının aynı makede işleme hazırlanması arasında geçen hazırlık süresi S_v ile gösterilsin. Bir makine için S_v değerleri, makine hazırlık süresi matrisini oluşturmaktadır.

İş Parçası Tasarım Özellikleri

Öncelikle, makineye gelen iş parçalarının tasarım özelliklerini belirleme işlemleri öncelikli olarak yapılmalıdır. Parça tasarım özelliklerinin seçilmesinde iş parçaları arasındaki ortak özellikler sayesinde hazırlık adımlarının kısaldığı görülmektedir. Temelde, tasarım özellikleri arasındaki ortak özellikler, hazırlık süresini azaltacak ve hatta hazırlık faaliyetinin kendisini ortadan kaldıracak ve böylelikle toplam hazırlık süresinin düşürülmesi için imkân oluşturulacaktır. Parça benzerlikleri

bakımından tasarım özellikleri matematiksel model için tasarım özellikleri, bu noktada matematiksel modelin parça benzerlikleri boyutuna önemli dayanak oluşturmaktadır.

Makine Hazırlık İşleri

Her parça için makineye gelen işlerin, işlenmeye başlamasına kadar geçen zaman diliminde yapılacak işler için adımlar belirlenmelidir.

Makine Hazırlık İşleri / İş Parçası Tasarım Özellikleri Matrisinin Hazırlanması

Makine v 'deki, l = “hazırlık işi”;

- m = “parça tasarım özelliğindeki benzerlik” nedeniyle ortadan kaldırılabilirse, $q_{vlm}=1$ değerini,
- m = “parça tasarım özelliğindeki benzerlik” nedeniyle ortadan kaldırılamıyorsa, $q_{vlm}=0$ değerini almaktadır.

q_{vlm} değerlerini içeren matris Q_v , makine hazırlık işleri - iş parçası tasarım özellikleri matrisi olarak isimlendirilmektedir.

Toplam hazırlık işi sayısı N , toplam tasarım özelliği sayısı D olduğunda;

Q_v , $N \times D$ boyutunda bir matristir.

Süre Vektörü

t_{vx} ; v makinesindeki l =“hazırlık işini” gerçekleştirmek için gerekli standart süre olarak adlandırılın.

t_{vl} elemanlarından ibaret vektör de T_v ile simgelensin.

N adet hazırlık işi bulunuyorsa;

$T_v = (t_{v1}, t_{v2}, \dots, t_{vN})$ şeklinde gösterilir.

Yapılamayan Hazırlık İşleri

İş parça sırasına bağımlı- yapılmayan hazırlık işleri her iş parçası için ayrı ayrı tespit edilmelidir.

Benzerlik Durum Vektörü

“Hazırlık sürelerini en küçüklemek” fikri doğrultusunda, hazırlık işleri arasındaki süreyi en aza indirgemenin ötesinde, mümkün olduğunca hazırlık işlerinden sakınmakla da “süre”den kazanç sağlanabilir.

Aralarında tasarım özelliği bakımından benzerliği bulunan herhangi iki iş parçası birkaç hazırlık işinin yapılmasını ortadan kaldırabilir. Şöyle ki; i işi ile j işi arasındaki benzerliklerden dolayı bu iş parçaları arasında bir veya birden fazla hazırlık işleri yapılmayabilir.

İş parçaları arasındaki benzerlik durumu, D_{ij} ile gösterilir. D_{ij} , iş parçaları arasındaki benzer işleri gösteren M elemanlı bir vektördür. Bu benzerlikler için iş parçalarının ortak tasarım özellikleri ele alınmıştır.

Benzerlik durum vektörünün her bir elemanı d_{ijm} şeklinde gösterilir.

- i işi j işine m tasarım özelliği ile benzerlik göstermezse;
 $d_{ijm}=1$ değerini,
- i işi j işine m tasarım özelliği ile benzerlik gösterirse,
 $d_{ijm}= 0$ değerini alır.

Benzerlik durum vektörü aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$D_{ij} = \begin{vmatrix} d_{ij1} \\ d_{ij2} \\ - \\ - \\ d_{ijM} \end{vmatrix} \quad \begin{matrix} i = 0, \dots, M \\ j = 1, \dots, M \end{matrix} \quad (4.1)$$

$$D_{0j} = \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{vmatrix} \quad j = 1, \dots, M \quad (4.2)$$

$$D_{ij} = D_{ji} \quad \square \quad i, j \quad (4.3)$$

D_{0j} 'de gösterilen sıfır (0) makinenin başlangıç durumunda çalışmadığını göstermektedir. Makine başlangıçta boş olduğundan dolayı makinede benzerlik kurulacak iş bulunmamaktadır. Bu sebeple vektör, mevcut işler arasında, başlangıç konumu için benzerlik olmadığı sonucunu verir ve D_{0j} vektörünün bütün değerleri 1 değerini alır ($d_{ijm}=1$ olur).

Her İş Parçası İçin, Hazırlık İşleri (l) ile Parça Tasarım Özellikleri Arasındaki Etkileşim Matrisi (Q_k)

j işinin, k makinesinde işleme tabi tutulacağı varsayıldığında, işlem öncesi yapılacak olan hazırlık işleri ile parça tasarım özellikleri arasındaki etkileşimi gösteren matris Q_k olarak adlandırılır.

$Q_{k(iş\ parçası,örn:i,j)}$ etkileşim matrisleri; her j iş parçası için, q_{klm} elemanlarından oluşan Q_k matrisinden türetilmektedir. " l " hazırlık işi indisi " m " tasarım özelliği indisi.

Böylelikle; Q_k matrisinden iş parçası çeşit sayısı kadar " Q_{kj} etkileşim matrisi" türetilir.

Q_{kj} 'nin elde edilebilmesi için;

Her j iş parçası için $Q_{k(iş\ parçası,örn:i,j)}$ matrisinde yapılmayan hazırlık işlerine ait satırdaki değerler sıfır değerini alır.

Diğer bir ifadeyle, şayet l her j işinde yapılmayan bir hazırlık işi ise L_{kij} 'nin(makine hazırlık süresi matrisi) bulunmasında değerlendirilmeye alınmaz. Bu durumda;

$$q_{klm} \in Q_{vm} = 0 \quad \square \quad m \quad (4.4)$$

Hazırlık İş Durum Vektörünün Elde Edilmesi

Herhangi bir iş parçasının bir makinada işlem görmesinin ardından, sıradaki iş parçasının aynı makinede işlem görmesi için bazı hazırlıkların yapılması gereklidir. i işi makinede işlendikten sonra hemen peşine işlenecek olan j işinin aynı makinede işlenebilmesi için yapılan hazırlık aşamalarında l hazırlık işi için durum e_{ijl} ile ifade edilir.

Bu durumda, l hazırlık işi, iş parçası i den iş parçası j 'ye geçiş esnasında yapılıyorsa değeri e_{ijl} 1 olur fakat bu geçiş esnasında l hazırlık işi yapılmıyorsa yani i işi ile j işi arasında benzerlik bulunmuyor ($d_{ijm} = 0$) ise e_{ijl} bu sefer 0 değerini alır.

Bu şekilde oluşturulan e_{ijx} 'lerin kümesi, hazırlık işi durum vektörü olan E_{ij} 'yi oluşturur. Yukarıda Q_{kj} ile D_{ij} 'nin nasıl elde edildiği gösterilmiştir. Q_{kj} ile D_{ij} 'nin Boole çarpımı sonucu E_{ij} oluşturulur.

Sayısal bilgisayarlar ve sayısal elektronik devreler ikili sayı sistemini kullanarak işlem yaparlar. İkili sistemde kullanılan sayılar ise 1 ve 0 dan ibarettir. Boole cebri $\{0,1\}$ kümesinin kullanarak işlemler ve kurallar tanımlar (Anonim, 2015).

$$E_{ij} = Q_{kj} \text{ 'x' } D_{ij} \quad (4.5)$$

'x' Boole çarpımını simgelemektedir.

E_{ij} vektörel olarak da şu şekilde gösterilir:

$$E_{ij} = \begin{vmatrix} e_{ij1} \\ e_{ij2} \\ - \\ - \\ e_{ijx} \\ - \\ e_{ijn} \end{vmatrix} \quad j = 1, \dots, M \quad (4.6)$$

Bu işlemler ile birlikte E_{ij} 'nin hesaplanmasından sonra, makine hazırlık süresi matrisi L_{kij} 'nin hesaplanmasında aşağıdaki matris çarpımı yapılmalıdır. Bir iş istasyonundaki operasyonlar için, birinden diğerine geçişte ya da iş istasyonuna yeni gelen bir iş için, diğer işe geçişte istasyondaki yapılan operasyon değişecekse hazırlık için gereken sürelerin hesaplandığı bölümdür (Anonim, 2015).

$$L_{kij} = T_k E_{ij} \quad (4.7)$$

Uygulama

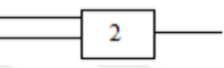
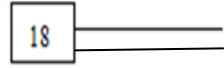
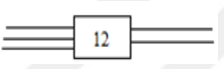
Bir Kesme-Sıyırma-Terminalleme makinesinde işlenecek sekiz adet parçaya ait birbirine bağlı hazırlık sürelerinin hesaplanmasında Çizelge 4.1’de belirtilen tasarım özellikleri dikkate alınacaktır.

1. İşlem görececek parçanın şekli,
2. İşlem türü (u terminal, çifteleme, tekli basım),
3. İş parçasının malzemesi (bakır, kalay, pirinç, kaplamasız(mat), çelik),
4. İşlenecek kısmın boyutu,
5. İşlenecek Parçanın yüzey hassasiyeti (silikon, TTR, FLRY-A, FLRY-B, 105 C (H05V2-K) ,UL, H05V-K),
6. Tolerans,
7. İş parçasının kesiti.

Kablo sıyırma terminalleme makinelerine gelen işlerin yapılması için gereken 13 adet hazırlık işi aşağıda belirtilmiştir:

1. Uygun kablonun bağlanması,
2. Uygun aplikatörün (kalıbın) bağlanması,
3. Terminalin aplikatöre bağlanması,
4. Sürgü ayarı,
5. Krimp kuvvet ayarı (çekme, krimp yüksekliği),
6. Kablo kesiti seç,
7. Pres Seçimi (terminal tipine göre),
8. Kablo boyunu ayarla (tolerans),
9. İlerleme hızını ayarlama,
10. Kısa örnek al (kontrollerini yapmak için),
11. Krimp force için uygun olan örneği al ve makineye öğret,
12. Üretim adedini gir,
13. Demet adedini gir.

Çizelge 4.1 İşParçalarının Tasarım Özellikleri

Parça No	Teknik resim	Parçanın Tasarım Özellikleri						
		1	2	3	4	5	6	7
1		Yandan Beslemeli	Tekli	Kalay	540 mm	TTR	$\pm 0,5$	1,5
2		Yandan Beslemeli	Çiftleme	Pirinç	300 mm	UL	$\pm 0,5$	0,75
3		Yandan Beslemeli	Tekli	Çelik	540 mm	FLRY-A	$\pm 0,5$	0,5
4		Yandan Beslemeli	U terminal	Bakır	2200 mm	FLRY-A	$\pm 0,5$	0,5
5		Yandan Beslemeli	Çiftleme	Bakır	2200 mm	UL	$\pm 0,5$	0,25
6		Yandan Beslemeli	Çiftleme	Kalay	540 mm	H05V-K	$\pm 0,5$	0,35
7		Yandan Beslemeli	U terminal	Kalay	300 mm	H05V-K	$\pm 0,5$	0,5
8		Yandan Beslemeli	Çiftleme	Pirinç	540 mm	Silikon	$\pm 0,5$	1

Yukarıda belirtilen hazırlık işlerine ait süreler T_k vektörü ile gösterilir ve dakika cinsinden gösterim şekli aşağıdaki gibidir.

k: iş parçasının işleneceği makina olmak üzere;

$$T_k = (8,4,5,3,2,1,4,4,7,6,1,3,2)$$

Yapılan çalışma kapsamında hazırlanan hazırlık işleri/parça tasarım özellikleri matrisi (Q_k) Çizelge 4.2'deki gibidir. Örneğin dördüncü satır ikinci sütundaki "1" değeri, dört no'lu "sürgü ayarı" hazırlık işinin iki no'lu tasarım özelliği olan "işlem türü"nden etkilendiğini belirtmektedir.

Ele alınan örnekteki sekiz adet iş parçası için yapılmayan hazırlık işleri aşağıda Çizelge 4.3’ de görülmektedir.

Çizelge 4.2 Hazırlık İşleri / Parça Tasarım Özellikleri Matrisi (Q_k)

İş No	Parçanın Tasarım Özellikleri						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0
4	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	1	1	1	0	1
6	0	0	1	1	1	0	1
7	0	0	1	1	1	0	1
8	0	0	1	1	1	0	1
9	0	0	1	1	0	0	0
10	0	0	1	1	0	0	0
11	0	0	0	0	1	1	1
12	0	0	0	0	1	1	1
13	0	0	0	0	1	1	1

L_{k25} ’in hesaplanabilmesi için Q_{k5} matrisinin elde edilmesi gerekir. Bu matris, Q_k matrisinde 5 no’lu iş parçası için yapılmayan işler olan 3,4,5,6,9,10 no’lu hazırlık işleriyle ilgili satırlardaki bütün elemanların sıfırlanmasıyla elde edilir.

$$Q_{k5} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Çizelge 4.3 Yapılmayan Hazırlık İşler

Parça No	Yapılmayan Hazırlık İşleri (Numara ile Gösterilmiştir)
1	3,4,7,8,9,10
2	3,4,7,8,9,10
3	3,4,7,8,9,10
4	7,8
5	3,4,5,6,9,10
6	3,4,7,8,9,10
7	3,4,7,8,9,10
8	7,8,9,10

2 ve 5 no' lu iş parçaları için benzerlik durum vektöründe, iki iş parçasının benzerlik göstermediği 3,4 ve 7 no'lu tasarım özelliklerine (iş parçasının malzemesi, işlenecek kısmın boyutu, iş parçasının kesiti)ait satır değerine 1 atanır.

$$D_{25} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix}$$

$$E_{ij} = Q_{kj} \text{ 'x' } D_{ij} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{vmatrix} \text{ 'X' } \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{vmatrix}$$

E_{25} matrisine göre 2 no'lu iş parçası işlendikten sonra 5 no'lu iş parçasına geçilirken 7,8,11,12,13 no'lu hazırlık işleri yapılacaktır. Bu durumda;

$$S_{25} = E_{25} T_k = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{vmatrix} (8,4,5,3,2,1,4,4,7,6,1,3,2) = 14 \text{ dakika olarak hesaplanır.}$$

Aynı işlemler diğer iş parçaları içinde yapılarak işler arasındaki geçişlerdeki hazırlık süreleri hesaplanır. Çizelge 4.4' te iş parçaları arasındaki sıra bağımlı hazırlık süreleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.4 İş Parçaları Arasındaki Hazırlık Süreleri Matrisi

i	j								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	-	21	21	21	42	26	21	21	29
1	21	-	0	0	24	14	0	9	17
2	21	9	-	9	30	14	9	9	17
3	21	0	9	-	24	14	0	9	17
4	42	3	9	3	-	14	3	9	9
5	26	9	9	9	30	-	9	9	17
6	21	0	9	0	24	14	-	9	17
7	21	9	9	9	30	14	9	-	17
8	29	9	9	9	22	14	9	9	-

Üzerinde çalıştığımız sekiz adet iş için proses süreleri dk cinsinden aşağıdaki gibidir;

$$P_s = (240, 120, 150, 30, 120, 60, 60, 90)$$

Varsayımlar ve kabuller:

- Bir makinede işlem görmeye başlayan işler, bir başka makineye bölünemez,
- Çalışma süresi bir vardiya için sekiz saattir.
- İşlerin yoğunluğuna göre gerekirse zorunluluk halinde ek vardiya açılabilir.
- İşler parti şeklindedir.
- Makinelere işlerin atama işlemi, bir gün içindeki vardiya için sekiz saatlik çalışma süresini dolduracak şekilde makinelere işler tek tek atanır.

Yukarıdaki varsayımlar ve kabuller ile işler arasındaki geçişler sırasında oluşan hazırlık süreleri matrisi dikkate alınarak iş sıralaması elde edilmektedir.

İşlerin makinelere sıralanması için geliştirilen algoritma aşağıdaki gibidir:

1. Adım: İş parçaları arasındaki hazırlık süreleri matrisinin belirle,
2. Adım: Çizelge 4.4'teki iş parçaları arasındaki geçişlerde elde edilen hazırlık süreleri matrisi kullanılarak hazırlık sürelerinin ve proses sürelerinin en küçük olduğu (Kural 1) işleri, makinede ilk sıraya ata,
3. Adım: Hazırlık süresi ve proses süresi en küçük olan işleri (Kural 1), bir vardiya içerisinde çalışma süresini (sekiz saati) dolduracak şekilde makinelere iş atamasını yap,
4. Adım: Vardiya içerisinde makinelerin çalışma süresi dolduysa bir sonraki makineye iş ataması yap,

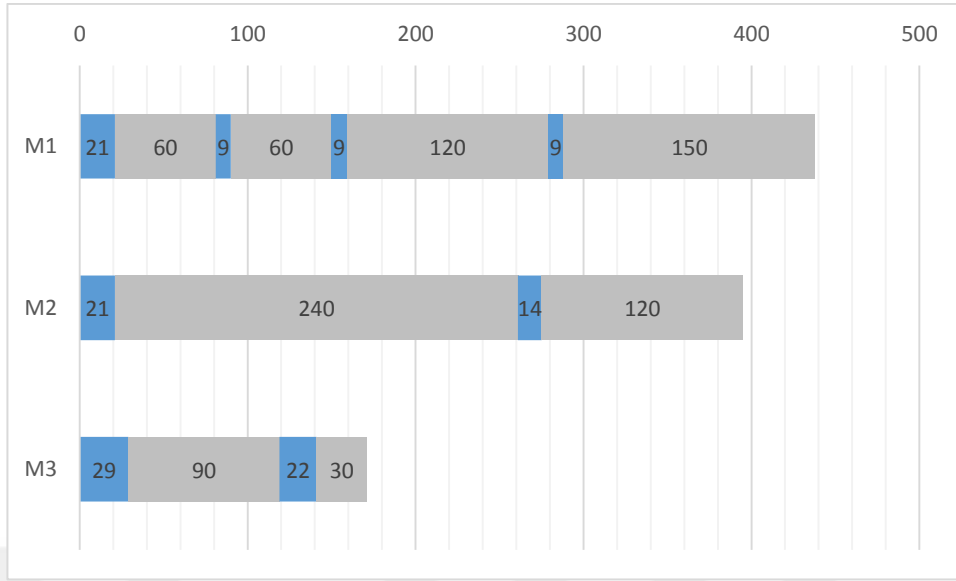
Yukarıdaki algorithmada, işlerin makinelere atanması için bir sıralama algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmanın amacı, toplam hazırlık süresini en küçüklemeektir. Ele alınan sekiz makine, sekiz iş için gantt şeması çiziminde faydalandığımız, proses süreleri ve işler arasındaki geçişler önceki bölümlerde ele alınmıştır.

İş sıralaması için örnek bir uygulama (Örnek 1) :

İşlerin proses süreleri;

$$P_s = (240, 120, 150, 30, 120, 60, 60, 90)$$

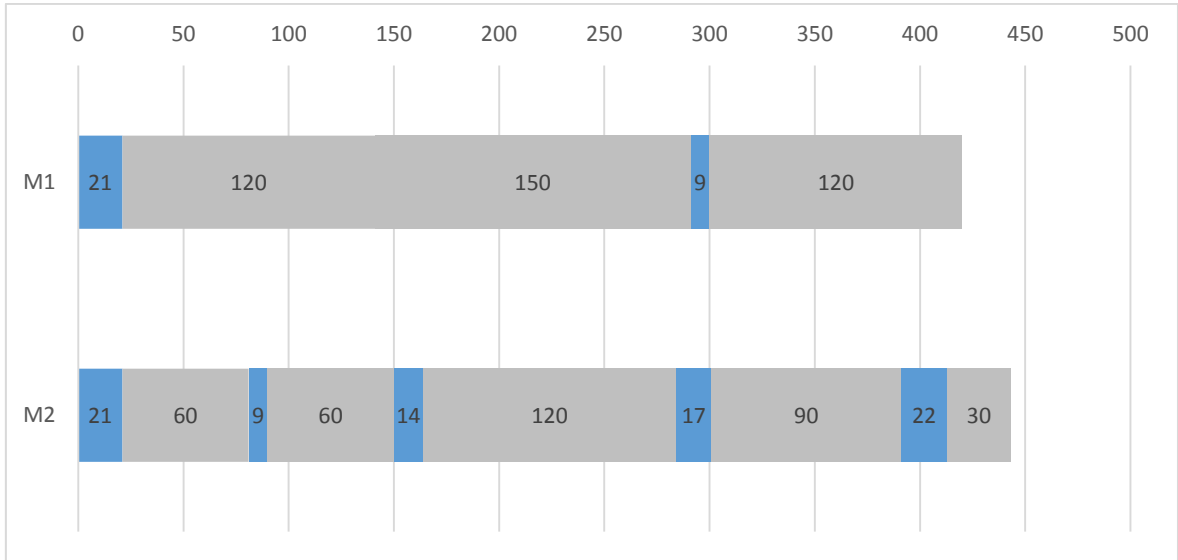
Hazırlık süreleri için Çizelge 4.4' teki verilerden faydalanılmıştır. Algoritma adımlarını takip ederek elde edilen iş sırası 7-6-2-3-1-5-8-4 şeklindedir. Bu işlerin, vardiya içerisinde çalışma süresini aşmayacak şekilde makinelere atanması sonucu sekiz iş, üç makinede bir vardiyada tamamlanmaktadır. Toplam hazırlık süresi ise 134 dk olarak gerçekleşmiştir. İşlerin makinelere atandığı sıralamayı gösteren gantt şeması Şekil 4.2'de gösterildiği gibidir:



Şekil 4.2 Örnek 1'in Kural 1'e Göre Gantt Şeması

Algoritma adımlarına göre işler makinelerle atandığında alternatif iş atama sıraları da elde edilmektedir. İşler bir vardiya süresi içerisinde üç makinede tamamlanır iken iş sıralarında yapılan değişiklik sonucu işler iki makinede de tamamlanmaktadır. İş sıralama algoritmasının 3. Adımında yapılan değişiklik ile (Kural 2) sıralama daha iyi sonuca ulaşılmıştır. Şekil 4.3'de gösterildiği gibidir. Yeni sıralamayı Örnek 1 de Kural 2 ile ele alacak olursak, proses süresi en büyük, hazırlık süresi en küçük (Kural 2) olan işler, çalışma süresini aşmayacak şekilde makinelerle atanmaktadır.

Yeni elde edilen Örnek 1'in Kural 2'ye ait iş sıralaması 1-3-2-7-6-5-8-4 şeklindedir. İşlerin farklı şekilde sıralanması sonucu sekiz iş toplamda iki makinede tamamlanmaktadır. Toplam hazırlık süresi ise 113 dk olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.3 Örnek 1'in Kural 2'ye Göre Gantt Şeması

Ele alınan problemin mTSP yaklaşımının kullanılabileceğini farkettilik. Bu amaçla, Bektaş (2004) yapmış olduğu çalışmada farklı yaklaşımlar olmasına rağmen biz atama temelli mTSP yaklaşımını tercih ettik. Atama temelli yaklaşımda alt tur önleme kısıtı da mevcuttur. Faydalanmış olduğumuz matematiksel model aşağıdaki gibidir: (Bektaş, 2004)

$$\text{Enk} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{1j} = m, \quad (2)$$

$$\sum_{j=2}^n x_{j1} = m, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j=2, \dots, n, \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i=2, \dots, n, \quad (5)$$

Alt tur önleme kısıtı;

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \forall (i, j) \in A, \quad (6)$$

$$u_i - u_j + (n - m)x_{ij} \leq n - m - 1 \text{ for } 2 \leq i \neq j \leq n \quad (7)$$

Yukarıdaki modele ek olarak, vardiyadaki çalışma kısıtını da aşağıdaki gibi yazabiliriz:

$$\sum_{i=1}^n S_{ij} + Pt_{ij} \leq 480, \quad (8)$$

Bektaş (2004)'ın atama temelli yaklaşımına ilave olarak vardiya kısıtınıda eklenmesi sonucu ele almış olduğumuz sekiz iş sekiz makinelik problemin mTSP ile çözümü için Gams/Cplex yazılımı kullanılmış ve problem çözülmüştür.

4.1.2 Kablo tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması

Kablo Tasarım Özelliklerine Bağlı Sıralama Algoritması adını kablonun simetrik yapısının olmasından dolayı belirli değişikliklerin yapılabilmesi özelliğinden dolayı verilmiştir. Algoritmanın oluşturulabilmesi için öncelik verilecek konu, kabloların sıraya göre belirlenmesi esnasında kabloların tasarım özelliklerinin tespit edilmesidir. Ele alınan algorithmada dikkat edilecek özellikler; birinci ve ikinci ucun terminali, birinci ve ikinci ucun kalıbı ve kablonun kesiti ile kablo tipi özellikleridir.

Diğer sezgisel yöntemde matematiksel model ile bulunan hazırlık süreleri esas alınır iken, bu yöntem matematiksel model ile bulunan hazırlık sürelerini esas almamaktadır. Algoritma 1 sonucunda elde edilen sıradaki her kablo için gösterilen hazırlık süreleri, matematiksel model sonucunda elde edilmiştir. Kabloları ait tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritma adımları aşağıdaki gibidir:

1. Adım: Artan kablolar topluluğu = Sıralanmaya girecek kablolar,
2. Adım: Artan kablolar topluluğunda birinci ve ikinci uçlarda kullanılacak kalıpların tekrar eden kullanılma sayılarını bul.

3. Adım: Tekrar eden, kullanılma sayısı en fazla olan kalıp, eğer birinci uç için kullanıldı ise Adım 4'e, eğer değil ise Adım 9'a git.

4. Adım: Birinci kablo ucunda kullanılan, kalıp tekrarlanma sayısı en fazla olan kablolar aynı grupta toplanırlar.

5. Adım: Kabloları tasarım özellikleri öncelik sırasına göre sırala, (birinci uçtaki kalıp, ikinci uçtaki kalıp, birinci uçtaki terminal, ikinci uçtaki terminal, kablo kesiti ve kablo tipi).

6. Adım: Gruplanmadan arta kalan kablolarda birinci ucu boşta olan kablolar var ise 7.Adıma, yok ise 14.Adım' e git.

7. Adım: Birinci ucu boşta kalan kablolar kümesi de sıralandıktan sonra 14.Adım'a, gruplanmadıysa 8.Adım'a git.

8. Adım: Birinci ucu boş olan kablolar arasından bir tanesi seçilir. Buna göre tercih edilen kablonun ikinci uç için kullanılan kalıp, ikinci uç için kullanılan terminal, kablonun çapı(kesiti) ve kablonun tipi aynı olanların bir alt satırına yerleştirilir. Eğer böyle kablolar bulunamazsa, kablo tipi özelliği değerlendirmeye alınmadan sadece ikinci uca ait kalıp, terminal ve kesit özelliklerine göre sıralama yapılır. Eğer yine tarif edilen özellikte kablolar yok ise, bu sefer de kesit özelliği sınıflandırılmadan çıkartılıp sadece ikinci uca ait terminal ve kalıp değerlendirmeye alınarak sıralama yapılır, yine aranan özelliklerde kablo yok ise bu sefer sadece ikinci uç kalıbı aynı olan kabloların alt satırına ekleme yapılır. Tarif edilen şekilde bir sıralama elde edilemez ise 7.Adıma geri dönülür ve sıralama güncellenir.

9. Adım: Tekrar eden kalıp sayısı ikinci uç için en fazla kullanılacak kalıp çeşitleri aynı grupta toplanır.

10. Adım: Gruplanan kablolar tasarım özelliklerine (kabloları ait kalıp, terminal, kesit ve tip bakımından) göre sıralanırlar.

11. Adım: Sıralamaya girmeyen kablolar arasında ikinci ucunda terminal olmayan kablolar 12 nolu adıma, değil ise 14. adıma git.

12. Adım: Ele alınan kablolar arasında ikinci ucu boş olan kabloların hepsi sıralamaya girdi ise 14.adıma geçilir, hepsi ele alınmadı ise 13. Adımdan devam edilir.

13. Adım: Sıralanmamış kablolar arasında ikinci ucu terminalli olmayan kablolardan bir tanesi seçilerek sıralamaya dahil edilir. Bu aşamada 8.Adımda uygulanan

sıralama metodu kullanılır. 8.Adımdaki metoda göre sıralamaya dahil edilemez ise kablo 12. adıma geri dönerek sıralamada güncelleme yapılır.

14. Adım: Elde edilen yeni sıralama, kablolar kümesinden çıkartılarak, yeni elde edilen sıralamaya dahil edilir.

15. Adım: Sıralamaya girecek kablo kalmadığında 18. Adıma gidilerek sıralama tamamlanır. Eğer sıralamaya girecek kablolar kaldı ise 16. Adıma geçilir.

16. Adım: Sıralamaya girecek kablolar arasında iki ucunda da terminal bulunmayan kablolar var ise 17. Adıma geçilir, söz konusu durum yok ise 2. Adıma geri dönülür.

17. Adım: İki ucunda da terminal bulunmayan kablolar sıralamaya girerken dikkat edilecek tasarım özellikleri kabloları ait kesit ve tip özellikleridir. Kesit ve kablo tipi bakımından aynı olan kabloların alt satırında sıralamaya dahil edilirler. Her iki özellik bakımından mevcut kablo yok ise sadece kabloya ait kesit dikkate alınarak sıralanır. Eğer böyle bir kablo da söz konusu değil ise en alt satıra yerleştirilir ve 18. Adıma geçilir.

18. Adım: DUR.

Yöntem 2: Kablo Tasarım Özelliklerine Bağlı Sıralama Algoritması'na Ait Sayısal Bir Örnek

Çizelge 4.5'te kabloları ait tasarım özellikleri verilmiştir. Çizelgedeki kablolar Kablo Tasarım Özellikleri dikkate alınarak algoritma adımlarına göre sıralanacaktır.

1. ve 2. Adımlar: Tasarım özellikleri bakımından yüksek öneme sahip olan özellik, terminallemede kullanılacak kalıp özelliğidir. Bu sebeple kabloların birinci ve ikinci uçlarında kullanılacak olan kalıpların kullanılma sayıları belirlenir.

3. Adım: Kablolar incelendiğinde kullanım sayısı bakımından yüksek olan kalıp, kabloların ikinci ucunda kullanılmıştır ve bu kalıp dokuz sefer kullanılan 38 nolu kalıp kodudur. Bu sebeple ikinci uç kalıbı olan 38 nolu kalıba ait olan kablolar gruplanır.

9. ve 10. Adımlar: Bu gruptaki kablolar aşağıdaki sıralamaya göre gruplanırlar.

- İkinci ucun kalıbı,
- Birinci ucun kalıbı,
- İkinci ucun terminali,

- Birinci ucun terminali,
- Kablonun kesiti ve
- Kablonun tipi özellikleri yukarıdaki öncelik sırasına göre sıralanır ve buna göre Çizelge 4.6'da ki alt sıra elde edilir.

11. Adım: Kalıp cinsi bakımından çeşitliliğin en fazla olduğu uç ikinci uçtur. Sıralamaya girmemiş kablolar arasında ikinci uçta terminal olmayan kablolar ele alınır.

12.,13. ve 14. Adımlar: Yukarıda tariflendiği şekle göre 2100 numaralı kablo Çizelge 4.6'da ki kablolardan tasarım özellikleri sırasıyla birinci uca ait kalıp,terminal,kablo kesiti ve kablo tipi bakımından aynı olan 2104 numaralı kablonun alt satırına yerleştirilir. Aynı yöntemle ikinci uçta terminal olmayan 2089 numaralı kablo 2111 numaralı kablonun alt satırına yerleştirilir. Buna göre yeni oluşan sıralama Çizelge 4.7'de belirtildiği şekildedir.

15. ve 16. Adımlar: Sıralamadan geriye kalan kablolar arasında iki ucu da boş olan, terminalsiz olan kablo bulunmadığı için 2. Adıma geri dönülür.

2.Adım: Artan kablolar topluluğunda birinci ve ikinci uçlarda kullanılacak kalıpların tekrar eden kullanılma sayılarını bul.

3. Adım: Sıralamaya girmeyen kablolar arasında kalıp sayısı bakımından en fazla kullanılan kalıp, kabloları ait birinci uçta kullanılan yedi kablo ile 76 nolu kalıptır.

4. ve 5.Adım: Bu sebeple birinci uçta kullanılan 76 nolu kalıp sıralamaya girer. Sıralamada dikkat edilecek kriter tasarım özelliklerinin önceliklerine göre sıralanmasıdır. Birinci uçtaki kalıp, ikinci uçtaki kalıp, birinci uçtaki terminal, ikinci uçtaki terminal, kablo kesiti ve kablo tipi öncelik sırasına göre gruplandırılırlar. Gruplandırılan kablolar Çizelge 4.8'de ki en son satıra eklenir.

6. ve 14. Adım: Kalıp çeşitliliği bakımından en yüksek kalıp çeşidi birinci uçta olduğu için sıralamaya girmeyen birinci ucunda terminal bulunmayan kablolar

sıralamaya alınır. Fakat geriye kalan kablolar incelendiğinde birinci ucunda terminal bulunmayan kablo söz konusu değildir.

15. ve 16. Adım: Geriye sadece kablonun iki ucunda da terminal bulunmayan 2103 numaralı kablo kalmıştır.

17. Adım: 2103 numaralı kabloda kalıp ve terminal özellikleri bulunmadığından dolayı diğer özellikler dikkate alınarak sıralama yapılır. Bu özellikler sırayla kablo kesiti ve kablo tipi özellikleridir. Bu özellikler bakımından aynı olan 2025 numaralı kablonun alt satırına yerleştirilir. Gruplandırılan kablolar Çizelge 4.9’da ki ikinci grubun yerleştirilmesiyle elde edilen sıra gösterilmektedir.

18.Adım: Bu şekilde tüm kablolar sıralanmış olur ve Çizelge 4.9’ da ki sıralama elde edilir.

Çizelge 4.5 Sıralanacak Kablolar

Kablo No	1. Uçun Kalıp Nosu	2. Uçun Kalıp Nosu	1. Uçun Terminal Nosu	2. Uçun Terminal Nosu	Kablo Kesiti	Kablo Tipi	Kablo Ana Rengi	Kablo İkincil Rengi	1. Uçun Açma Boyu	2. Uçun Açma Boyu	Kablo Boyu	Parti Miktarı
2025	76	73	22	12	0,2	H05V-K	KR	-	2,5	3,5	60	425
2120	20	38	42	12	6	H05V2-K	SY	-	2,5	3	241	60
2018	76	73	22	12	1	H05V2-K	GR	-	2,5	3,5	33	866
2104	20	38	42	12	6	H05S-K	SY	-	2,5	3	230	60
2103	-	-	-	-	0,2	H05V-K	BY	-	2	3	66	400
2100	20	-	42	-	6	H05S-K	SY	-	2,5	5	85	60
2076	76	38	24	12	3	H05V2-K	KR	-	2,5	3	133	1859
2110	20	38	42	12	6	H05V-K	SY	-	2,5	3	231	60
2028	76	69	22	12	7	H05V2-K	PB	SY	2,5	3,5	33	866
2111	20	38	42	12	4	H05S-K	SY	-	2,5	3	234	60
2038	76	69	22	12	7	H05S-K	YŞ	SY	2,5	3,5	33	866
2066	76	38	22	12	2	H05V2-K	SY	-	2,5	3	134	2574
2085	76	1	22	22	1	H05V2-K	PB	-	2,5	2,5	71	83
2089	20	-	42	-	4	H05S-K	SY	-	2,5	5	104	60
2036	76	1	22	22	1	H05S-K	MV	SY	2,5	2,5	86	1928
2046	76	38	22	12	5	H05V2-K	KH	TR	2,5	3	132	2574
2086	76	38	24	12	1	H05V2-K	KR	-	2,5	3	132	2574
2056	76	38	22	12	5	H05S-K	GR	TR	2,5	3	132	2574
2048	76	1	22	22	0,2	H05V2-K	KH	-	2,5	3,5	60	425

Sıralamaya girecek olan kabloları ait tasarım özellikler Çizelge 4.5'te verilmiştir. Yukarıdaki çizelgede ele alınan kablolar Kablo Tasarım Özellikleri dikkate alınarak algoritma adımlarına göre sıralamaya girecektir.

Çizelge 4.6 Elde Edilen İlk Sıra

Kablo No	1. Uçun Kalıp Nosu	2. Uçun Kalıp Nosu	1. Uçun Terminal Nosu	2. Uçun Terminal Nosu	Kablo Kesiti	Kablo Tipi	Kablo Ana Rengi	Kablo İkincil Rengi	1. Uçun Açma Boyu	2. Uçun Açma Boyu	Kablo Boyu	Parti Miktarı
2120	20	38	42	12	6	H05V2-K	SY	-	2,5	3	241	60
2104	20	38	42	12	6	H05S-K	SY	-	2,5	3	230	60
2110	20	38	42	12	6	H05V-K	SY	-	2,5	3	231	60
2111	20	38	42	12	4	H05S-K	SY	-	2,5	3	234	60
2046	76	38	22	12	5	H05V2-K	KH	TR	2,5	3	132	2574
2056	76	38	22	12	5	H05S-K	GR	TR	2,5	3	132	2574
2066	76	38	22	12	2	H05V2-K	SY	-	2,5	3	134	2574
2076	76	38	24	12	3	H05V2-K	KR	-	2,5	3	133	1859
2086	76	38	24	12	1	H05V2-K	KR	-	2,5	3	132	2574

Sıralamaya girecek olan kablolar incelendiğinde, kullanım sayısı bakımından yüksek olan kalıp, kabloların ikinci ucunda kullanılan 38 nolu kalıp olup öncelikli olarak sıralamaya girerek Çizelge 4.6'daki ilk sıra oluşturulmuştur.

Çizelge 4.7 İkinci Ucu Boş Kabloların Yerleştirilmesiyle Elde Edilen Alt Sıra

Kablo No	1. Uçun Kalıp Nosu	2. Uçun Kalıp Nosu	1. Uçun Terminal Nosu	2. Uçun Terminal Nosu	Kablo Kesiti	Kablo Tipi	Kablo Ana Rengi	Kablo İkincil Rengi	1. Uçun Açma Boyu	2. Uçun Açma Boyu	Kablo Boyu	Parti Miktarı
2120	20	38	42	12	6	H05V2-K	SY	-	2,5	3	241	60
2104	20	38	42	12	6	H05S-K	SY	-	2,5	3	230	60
2100	20	-	42	-	6	H05S-K	SY	-	2,5	5	85	60
2110	20	38	42	12	6	H05V-K	SY	-	2,5	3	231	60
2111	20	38	42	12	4	H05S-K	SY	-	2,5	3	234	60
2089	20	-	42	-	4	H05S-K	SY	-	2,5	5	104	60
2046	76	38	22	12	5	H05V2-K	KH	TR	2,5	3	132	2574
2056	76	38	22	12	5	H05S-K	GR	TR	2,5	3	132	2574
2066	76	38	22	12	2	H05V2-K	SY	-	2,5	3	134	2574
2076	76	38	24	12	3	H05V2-K	KR	-	2,5	3	133	1859
2086	76	38	24	12	1	H05V2-K	KR	-	2,5	3	132	2574

Sıralamaya girmemiş olan kablolar arasında ikinci uçta terminal olmayan kablolar ele alınır. İkinci uçta terminal olmayan kablolar sıralamaya girerken, kabloların tasarım özellikleri sırasıyla birinci uca ait kalıp, terminal, kablo kesiti ve kablo tipi bakımından aynı olan kabloların alt satırına sıralamaya girer. Oluşturulan yeni çizelge, Çizelge 4.7'deki gibidir.

Çizelge 4.8 İkinci Grubun Yerleştirilmesiyle Elde Edilen Alt Sıra

Kablo No	1. Uçun Kalıp Nosu	2. Uçun Kalıp Nosu	1. Uçun Terminal Nosu	2. Uçun Terminal Nosu	Kablo Kesiti	Kablo Tipi	Kablo Ana Rengi	Kablo İkincil Rengi	1. Uçun Açma Boyu	2. Uçun Açma Boyu	Kablo Boyu	Parti Miktarı
2120	20	38	42	12	6	H05V2-K	SY	-	2,5	3	241	60
2104	20	38	42	12	6	H05S-K	SY	-	2,5	3	230	60
2100	20	-	42	-	6	H05S-K	SY	-	2,5	5	85	60
2110	20	38	42	12	6	H05V-K	SY	-	2,5	3	231	60
2111	20	38	42	12	4	H05S-K	SY	-	2,5	3	234	60
2089	20	-	42	-	4	H05S-K	SY	-	2,5	5	104	60
2046	76	38	22	12	5	H05V2-K	KH	TR	2,5	3	132	2574
2056	76	38	22	12	5	H05S-K	GR	TR	2,5	3	132	2574
2066	76	38	22	12	2	H05V2-K	SY	-	2,5	3	134	2574
2076	76	38	24	12	3	H05V2-K	KR	-	2,5	3	133	1859
2086	76	38	24	12	1	H05V2-K	KR	-	2,5	3	132	2574
2085	76	1	22	22	1	H05V2-K	PB	-	2,5	2,5	71	83
2036	76	1	22	22	1	H05S-K	MV	SY	2,5	2,5	86	1928
2048	76	1	22	22	0,2	H05V2-K	KH	-	2,5	3,5	60	425
2025	76	73	22	12	0,2	H05V-K	KR	-	2,5	3,5	60	425
2018	76	73	22	12	1	H05V2-K	GR	-	2,5	3,5	33	866
2028	76	69	22	12	7	H05V2-K	PB	SY	2,5	3,5	33	866
2038	76	69	22	12	7	H05S-K	YŞ	SY	2,5	3,5	33	866

Geriye kalan kablolar incelendiğinde kalıp kullanılma sayısı bakımından birinci uçta bulunan 76 nolu kalıp yedi sefer kullanılmıştır. 76 nolu kablo Çizelge 4.7'nin alt satırlarına kablo tasarım özellikleri öncelik sırasına göre sıralamaya girerek Çizelge 4.8 elde edilir.

Çizelge 4.9 Sonuç Sırası

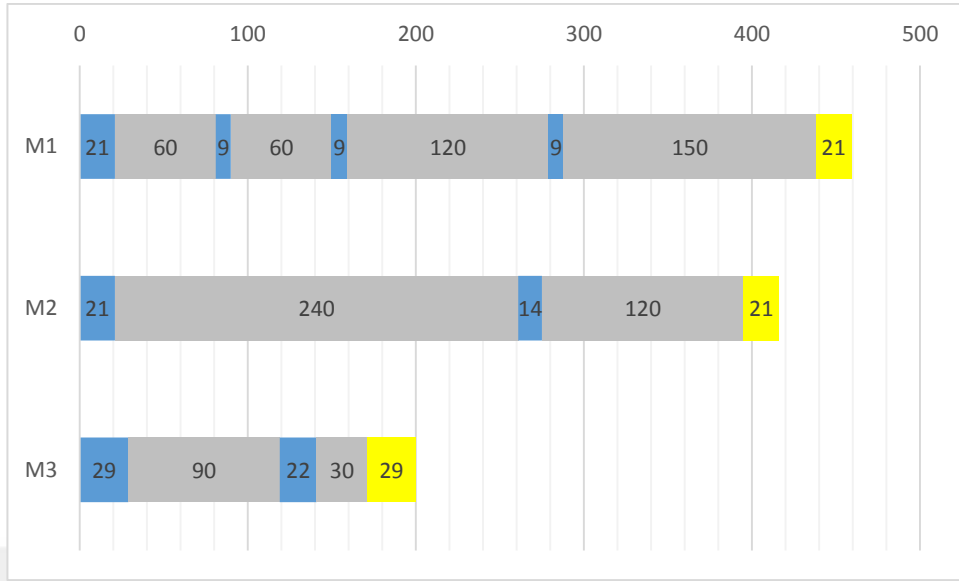
Kablo No	1. Uçun Kalıp Nosu	2. Uçun Kalıp Nosu	1. Uçun Terminal Nosu	2. Uçun Terminal Nosu	Kablo Kesiti	Kablo Tipi	Kablo Ana Rengi	Kablo İkincil Rengi	1. Uçun Açma Boyu	2. Uçun Açma Boyu	Kablo Boyu	Parti Miktarı
2120	20	38	42	12	6	H05V2-K	SY	-	2,5	3	241	60
2104	20	38	42	12	6	H05S-K	SY	-	2,5	3	230	60
2100	20	-	42	-	6	H05S-K	SY	-	2,5	5	85	60
2110	20	38	42	12	6	H05V-K	SY	-	2,5	3	231	60
2111	20	38	42	12	4	H05S-K	SY	-	2,5	3	234	60
2089	20	-	42	-	4	H05S-K	SY	-	2,5	5	104	60
2046	76	38	22	12	5	H05V2-K	KH	TR	2,5	3	132	2574
2056	76	38	22	12	5	H05S-K	GR	TR	2,5	3	132	2574
2066	76	38	22	12	2	H05V2-K	SY	-	2,5	3	134	2574
2076	76	38	24	12	3	H05V2-K	KR	-	2,5	3	133	1859
2086	76	38	24	12	1	H05V2-K	KR	-	2,5	3	132	2574
2085	76	1	22	22	1	H05V2-K	PB	-	2,5	2,5	71	83
2036	76	1	22	22	1	H05S-K	MV	SY	2,5	2,5	86	1928
2048	76	1	22	22	0,2	H05V2-K	KH	-	2,5	3,5	60	425
2025	76	73	22	12	0,2	H05V-K	KR	-	2,5	3,5	60	425
2103	-	-	-	-	0,2	H05V-K	BY	-	2	3	66	400
2018	76	73	22	12	1	H05V2-K	GR	-	2,5	3,5	33	866
2028	76	69	22	12	7	H05V2-K	PB	SY	2,5	3,5	33	866
2038	76	69	22	12	7	H05S-K	YŞ	SY	2,5	3,5	33	866

Çizelge 4.5'teki tüm kablolar arasında sıralamaya girmeyen bir tane kablo kalmıştır. 2103 nolu kablo sıralamaya girmemiştir. Bu kabloyu sıralamaya eklerken kalıp ve terminal özellikleri bulunmadığı için diğer tasarım özelliklerine göre sıralamaya eklenir. Kablo kesiti ve kablo tipi bakımından aynı olan 2025 nolu kablonun alt satırına eklenerek son sıralama Çizelge 4.9'daki gibi elde edilir. Tüm kablolarımız, tasarım özellikleri bakımından aynı olan, daha az hazırlık işi gerektirecek şekilde sıralanmış olur.

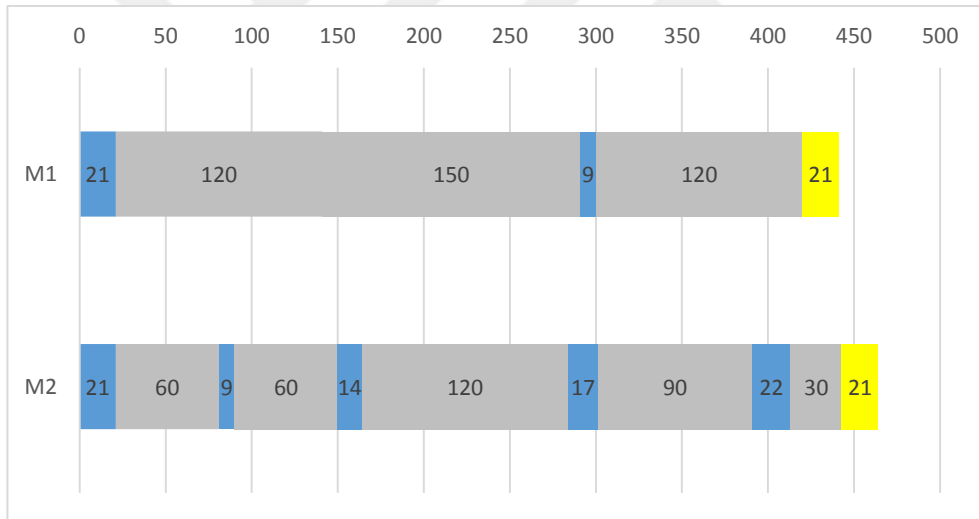
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada 2 farklı sezgisel yöntem kullanılmıştır. Ele alınan birinci yöntemde sıra bağımlı işler arasındaki geçişlerde oluşan hazırlık süreleri elde edilerek sekiz adet işin makinelere atanması işlemi gerçekleştirilmiştir. Problem Gantt Şeması ile manuel olarak çözdürülüp, daha sonra mTSP'den faydalanılarak matematiksel model elde edilmiştir. Elde edilen matematiksel model Gams/Cplex' te çözdürülmüş olup sonuçlar karşılaştırılmıştır. Gams'de elde edilen sonuçlarda farklı kombinasyonlar oluşmuştur. Gams'de elde edilen sonuç Gantt Şeması ile elde edilen sonuçtan farklılık göstermiştir. Sebebi ise, Gams'de mTSP ile elde edilen matematiksel modelin çözdürülmüş olmasıdır.

mTSP'de, gezgin satıcılar başladıkları noktaya tekrar geri dönerek döngüyü tamamlamaktadır. Gams'de matematiksel model çözdürüldüğünde başlangıçtaki makineler için harcanan hazırlık zamanı modele eklediğinden en iyi çözüm elde edilmiyor gibi gözükmemektedir. Sebebi ise, fazladan hazırlık zamanını modele eklemesidir. Oysaki, Gantt Şeması ile elde edilen çözümde işler hazırlık süreleri ile beraber proses sürelerinin de kapsayacak şekilde bir günlük çalışma süresini doldurması şartı ile makinelere atanmış olup, tekrar başlangıç durumundaki makine hazırlık koşulları Gantt Şemasına ilave edilmemiştir. Bu durumun sebebi, bir vardiya içerisindeki çalışma süresini aşıyor olmasıdır. Bir vardiyadaki çalışma süresi sekiz saat olup 480 dk'dır. Vardiya içerisindeki, makineye atanacak işler eğer çalışma süresini aşıyor ise yeni bir iş atanmamıştır ve yeni bir hazırlık süresi oluşmamıştır. Bundan dolayı, sırada bekleyen iş yeni makineye atanmıştır. Fakat bu aşamada Gams'in modeli çalıştırdığı gibi, yani gezgin satıcının turu tamamlayıp tekrar başlangıç noktasına döndüğü varsayılmadığından, makineye başlangıçtaki hazırlık süresi eklenmemiştir. Hazırlık süreleri eklendikten sonra yapılacak işin proses süreside ilave edildiğinde çalışma süresini aşmaktadır. Bahsi geçen farklılık aşağıdaki Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Örnek 1'in Kural 1 için Gantt Şeması ile Gams Arasındaki Farklılığı



Şekil 4.5. Örnek 1'in Kural 2 için Gantt Şeması ile Gams Arasındaki Farklılığı

Ele aldığımız Örnek 1 için Kural 1 çalışması sonucunda sekiz iş, bir vardiyada toplam hazırlık süresi 134 dk ve toplam tamamlanma zamanı ise 1004 dk olarak üç makinede tamamlanmıştır. Örnek 1 için Kural 2 çalışması sonucunda ise, sekiz iş ,bir vardiyada toplam hazırlık süresi 113 dk ve toplam tamamlanma zamanı ise 863 dk olarak iki makinede tamamlanmıştır. Örnek 1'in Kural 1 ve Kural 2 için elde edilen çalışmalarının sonuçları Şekil 4.6' da karşılaştırma tablosunda verilmiştir.

Açıklama	Kural 1	Kural 2
Toplam makine sayısı	3 makine	2 makine
Toplam tamamlanma zamanı (dk)	1004	863
Toplam hazırlık zamanı (dk)	134	113

Şekil 4.6. İş Sıralamaları Karşılaştırma Tablosu

Büyük boyutlu problemlerde sezgisel yaklaşım kullanılabilir. Bundan sonraki çalışmalarda işletmenin kullanabileceği, gerekli olan veriler kullanılarak, parametrelerde değişiklikler yapılarak, iş sayısı artırılarak problem çözülmeye çalışılabilir ve performans kıyaslama yapılabilir.

İkinci ele alınan yöntem ise bir sıralama algoritmasıdır. Bu sıralama ele alınan kabloların tasarım özelliklerine bağlı olarak, işler arasında geçişlerde tasarım özelliklerinin benzerliklerinden faydalanarak en az hazırlık adımı ile işlerin sıralaması gerçekleştirilir.

Bu çalışmamızı farklı kılan bazı özellikler söz konusudur. Bunlar, işlerin çizelgelenmesi sırasında ürünlerin tasarım özelliklerinden ve birbirine bağlı sıra bağımlı işlerin sürelerinden tasarruf edilmesi dikkate alınarak işler çizelgelenmiştir. Çizelgelemenin temelinde işlerin hazırlık süreleride dahil edilmiştir. Aynı zamanda, gerçek hayattan alınan bir problem için matematiksel model uygulanabilmiş olup benzer problemler içinde uygulanabilir olduğu görülmüştür. Ele aldığımız problemin, çoklu gezgin satıcı problemi ile çözülebilirliği ve modellenebilirliği gösterilmiştir. Gerçek hayattan alınacak farklı problemler içinde bu çalışma, farklı veriler ve parametreler kullanılarak da çözülebilir.

Bizim bu çalışmadaki amacımız, ele almış olduğumuz problemimizin mTSP olmamasına rağmen, mTSP ile çözülebildiğini göstermektir. Tolga Bektaş (2004)'ın mTSP'nin atama temelli yaklaşım modelinden faydalanarak modele bir vardiya içindeki çalışma süresi kısıtı eklenerek yeni bir yaklaşım geliştirilmiş ve mTSP modeli güncellenmiştir. Problemimiz Gams/Cplex ile kısa sürede analitik olarak çözülebilmektedir. Fakat problem boyutu büyüdükçe tavlama benzetimi, karınca kolonisi, genetik algoritmalar gibi metasezgisel yaklaşımlar geliştirilebilir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Üretim çizelgeleme problemi pek çok şirketin üzerinde çalıştığı konular arasındadır ve yine pek çok şirket uygulamalı olarak bu çalışmayı aktif olarak yürütmektedir. Kaynak araştırmalarında paralel makine çizelgeleme ile ilgili teorik ve uygulamalı birçok çalışma bulunmaktadır. Fakat bu çalışmalar sırasında yapılan yanlışlıklardan bir tanesi, işlem görecektir olan iş parçalarının hazırlık sürelerinin çizelgeleme sırasında dikkate alınmamasıdır. Şirketlerin iyi bildiği konular arasında, bahsedilen işlerin hazırlık süreleri, zaman ve maliyet faktörleri bakımından kapasiteyi etkileyen unsurlar arasındadır. İşlem görecektir ürünlerin hazırlık süreleri işlerin sırasına bağlı ise çizelgelemenin, üretim kapasitesi üzerinde hazırlık faaliyetlerinin etki oranı daha da önemli hale gelmektedir. Müşteri isteklerini düşük partilerde en kısa termin sürelerinde teslim etmenin yolu hazırlık sürelerinin düşürülmesinden geçmektedir.

Yapılan bu çalışmada işlerin çizelgelenmesinde ürünlerin tasarım özellikleri dikkate alınarak yapılmıştır. Ürünlerin çizelgelenmesi sırasında ürünlerin tasarım özelliklerine bağlı sıralama algoritması kullanılması, iş çizelgelemede sık karşılaşılmayan tasarım özelliklerinden faydalanılarak hazırlık sürelerinin çizelgelemeye dahil edilmesi çalışmaya farklılık kazandırmıştır. Yapılan çalışma, uygulandığı kablo montajı üretimi yapan bir sistemde, iş parçalarının hazırlık sürelerinin düşürülmesi yönünden ciddi kolaylıklar ve avantajlar sağlamıştır. İlk uygulama torna tezgahında yapılmış olan matematiksel model kablo montajı üretim sürecinde uygulanmıştır.

Bu çalışmada, kablo kesme-sıyırma-terminalleme makinelerinin çizelgelenmesi probleminde, işlerin hangi makinelere atanacağı ve makinelerde hangi sırada üretilmesi gerektiği belirlenmektedir. Aynı zamanda işlerin atanabileceği makineler, tasarım özellikleri bakımından benzer işlerin, mümkün olduğunca aynı hazırlık sürecini kullanabileceği durumlar göz önünde bulundurularak makineler çizelgelenmiştir.

Bu çalışmada, sıra bağımlı hazırlık sürelerinin, tasarım özellikleri gibi önemli karakteristiğinin olduğu özdeş paralel makine çizelgeleme problemi için matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin performansını test etmek için GAMS/Cplex çözücüsü

kullanılarak çözdürülmüştür. Bundan sonraki çalışmalarda işletmenin kullanabileceği, gerekli olan veriler kullanarak, parametrelerde değişiklikler yapılarak, problem çözülmeye çalışılabilir ve performans kıyaslaması yapılabilir.



KAYNAKLAR DİZİNİ

- Adamu, M., Adewumi, A. O., 2015, A Survey of Single Machine Scheduling to Minimize Weighted Number of Tardy Jobs, *Journal of Industrial and Management Optimization*, 10(1): 219-241.
- Agnetis, A., 1997, Joint Job/Tool Scheduling in a Flexible Manufacturing Cell with no On-Board Tool Magazine, *Comput. Integr. Manufacturing System*, 10, 61-68.
- Akyol, E., 2013, Hazırlık Süreli, Makine Uygunluk Kısıtları ve Ortak Kaynakların Olduğu Sıra Bağımlı Paralel Makine Çizelgeleme Problemi için Model Etkileşimli Genetik Algoritma, 1-8.
- Aldrin Raj, J., 2014, Simultaneous Scheduling of Machines and Tools in Multimachine Flexible Manufacturing Systems Using Artificial Immune System Algorithm, *International Journal Computer*, 27(5), 401-414.
- Allahverdi, A., Ng, C., Cheng, T., Kovalyov, M., 2008, A Survey of Scheduling Problems with Setups Times or Costs, *European Journal of Operational Research*, 187, 985-1032.
- Angel RD., Caudle WL., Noonan R., Whinston A., 1972, Computer assisted school bus scheduling, *Management Science* 18:279-88.
- Anghinolfi, D., Paolucci, M., 2007, Parallel Machine Total Tardiness Scheduling with a New Hybrid Metaheuristic Approach, *Computers and Operations Research*, 34(2), 3471-3490.
- Andres, C., Albarracin, J. M., Tormo, G., Vicens, E., Garcia-Sabater, J. P., 2005, Group Technology in a Hybrid Flowshop Environment: A Case Study, *European Journal of Operational Research*, 167(5), 272-281
- Anglani, A., Grieco, A., Guerriero, E., Musmanno, R., 2005, Roboust Scheduling of Parallel Machines with Sequence- Dependent Set-Up Costs, *European Journal of Operational Research*, 161(8), 704-720.
- Armantano, V. A. A., Filho, M. F. F., 2007, Minimizing Total Tardiness in Parallel Machine Scheduling with Setup Times: An Adaptive Memory-Based GRASP Approach, *European Journal of Operational Research*, 183(6), 100-114.
- Ashby, J. R., Uzsoy, R., 1995, Scheduling and Order Release in a Single-Stage Production System, *Journal of Manufacturing Systems*, 14 (4), 290-306.
- Avcı, S., Aktürk, M., 1996, Tool Magazine Arrangement and Operations Sequencing on CNC Machines, *Computers and Operations Research*, 23, 1069-1081.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Balakrishnan, N., Kanet, J. J., Sridharan, S. V., 1999, Early/Tardy Scheduling with Sequence Dependent Setups on Uniform Parallel Machines, *Computers and Operations Research*, 26(7), 127-141.
- Basu A., Elnagar A., Al-Hajj A., 2000, Efficient Coordinated Motion, *Mathematical and Computer Modelling*, 31:39–53.
- Bektaş T., 2004, The Multiple Travelling Salesman Problem: An Overview of Formulations and Solution Procedures, *The International Journal of Management Science*, 212-213.
- Bilge, Ü., Kırac, F., Kurtulan, M., Pekgün, P., 2004, A Tabu Search Algorithm for Parallel Machine Total Tardiness Problem, *Computers and Operations Research*, 31(11), 397-414.
- Bigras, L. P., Gamache, M., Savard, G., 2008, The Time Dependent Travelling Salesman Problem and Single Machine Scheduling Problems with Sequence Dependent Setup Times, *Discrete Optimization*, 5(4): 685-699.
- Blazewicz, J., Finke, G., 1994, Scheduling with Resource Management in Manufacturing Systems, *European Journal of Operational Research*, 76, 1-14.
- Briskorn, D., Choi, B. C., Lee, K., Leung, J., Pinedo, M., 2010, Complexity of Single Machine Scheduling Subject to Nonnegative Inventory Constraints, *European Journal of Operational Research*, 207(2): 605-619.
- Briskorn, D., Jaehn, F., Pesch, E., 2013, Exact Algorithms for Inventory Constrained Scheduling on a Single Machine, *Journal of Scheduling*, 16, 105-115.
- Calvo RW., Cordone R. A., 2003, Heuristic Approach to the Overnight Security Service Problem, *Computers and Operations Research*, 30:1269–87.
- Flippi C., Stevanato, E., 2013, Approximation Schemes for Biobjective Combinatorial Optimization and Their Application to the TSP with Profits, *Computer and Operations Research*
- Carter AE., Ragsdale CT., 2002, Scheduling Preprinted Newspaper Advertising Inserts Using Genetic Algorithms, *Omega* 30:415–21.
- Cassady, C. R., Kutanoğlu, E., 2005, Integrating Preventive Maintenance Planning and Production Scheduling for a Single Machine, *IEEE Transactions on Reliability* 54: 304-309.
- Charles-Owaba, O. E., Lambert, B. K., 1988, Sequence Dependent Set-Up Times and Similarity of Parts: A Mathematical Model, *IIE Transactions*, 20(1), 12-21.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Chen, Y., Zhang, A., Tan, Z., 2013, Complexity and Approximation of Single Machine Scheduling with an Operator Nonavailability Period to Minimize Total Completion Time, *Information Sciences* 251: 150-163.
- Chen, W. J., 2009, Minimizing Number of Tardy Jobs on a Single Machine Subject to Periodic Maintenance, *Omega* 37: 591-599.
- Chend, B., 2012, Minimizing Makespan and Total Completion Time for Parallel Batch Processing Machines with Nonidentical Job Sizes, *Applied Mathematical Modelling*, 36, 3161-3167.
- Cheng, T. C. E., Ng, C. T., Yuan, J. J., 2006, Multi Agent Scheduling on a Single Machine to Minimize Total Weighted Number of Tardy Jobs, *Theoretical Computer Science*, 362: 273-281
- Cheng, T. C. E., Sin, C. C. S., 1990, A State of the Art Review of Parallel Machine Scheduling Research, *European Journal of Operation Research*, 47(3), 271-292.
- Chien, C. F., Chen, C.H., 2000, Using Genetic Algorithm (GA) and a Coloured Timed Petri Net (CTPN) for Modelling The Optimization-Based Schedule Generator of a Generic Production Scheduling System, *International Journal of Production Research*, 45(8), 1763-1789.
- Crama, Y., 1997, Combinatorial Optimization Models for Production Scheduling in Automated Manufacturing Systems, *European Journal of Operational Research*, 99, 136-153.
- Çevikcan, E., Durmuşoğlu, B., Başkak, M., 2009, Paralel Makinelerde Ürün Tasarım Özellikleri İle İş Çizelgelemenin Bütünleştirilmesi,
- Dastidar, S. G., Nagi, R., 2005, Scheduling Injection Molding Operations With Multiple Resource Constraints and Sequence Dependent Setup Times and Costs, *Computers and Operations Research*, 32(9), 2987-3005.
- Detienne, B., 2014, A Mixed Integer Linear Programming Approach to Minimize the Number of Late Jobs with an without Machine Availability Constraints, *European Journal of Operational Research*, 235: 540-552.
- Dhaenens-Flipo, C., 2001, A Bicriterion Approach to Deal with a Constrained Single Objective Problem, *International Journal of Production Economics*, 74(6), 93-101.
- Du, J., Leung, J. Y. T., 1990, Minimizing Total Tardiness on one Machine is NP-Hard, *Mathematics of Operations Research*, 15(3), 483-495.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Durmuşoğlu, B., 1990, Toplam Hazırlık Sürelerini Düşürme ve Yükleme Sorununun Çözümüne Yönelik Bir Yaklaşım, Endüstri Mühendisliği, 9, 4-17.
- Edis, E., 2013, Parallel Machine Scheduling with Additional Resources: Notation, Classification, Models and Solution Methods, European Journal of Operational Research, 230, 449-463.
- Ellis, K.P., Lu, Y., Bish, E. K., 2004, Scheduling of Wafer Test Processes in Semiconductor Manufacturing, International Journal of Production Research, 42(2), 215-242.
- Emmons, H., 1969, One Machine Sequencing to Minimize Certain Functions of Job Tardiness Operations Research, 17(4), 701-715.
- Eryaşar, F. S., 2010, Tek Yönlü Dairesel Bir Üretim Hattında Sıra Bağımlı Aile Ayar Süreleri Yaklaşımı ile Çizelgeleme.
- Fukunaga, A., 2011, A Branch and Bound Algorithm for Hard Multiple Knapsack Problems, Annals of Operations Research, 184(1): 97-119.
- Gamila, M. A., Motavalli, S., 2003, A Modelling Technique for Loading and Scheduling Problems in FMS, Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 19, 45-54.
- Gen, M., Cheng, R. 2000, Genetic Algorithms and Engineering Optimization, John Wiley & Sons, p.491.
- Gilbert KC., Hofstra RB., 1992, A New Multiperiod Multiple Traveling Salesman Problem with Heuristic and Application to a Scheduling Problem, Decision Sciences 23:250-9
- Gorenstein S., 1970, Printing Press Scheduling for Multi-Edition Periodicals, Management Science;16(6):B373-83.
- Grigoriev, A., 2005, Basic Scheduling Problems with Raw Material Constraint, Naval Research Logistics, 52, 527-535.
- Gupta, J. N. D., Chantaravarapan, S., 2008, Single Machine Group Scheduling with Family Setups to Minimize Total Tardiness, International Journal of Production Research, 46(6), 1707-1722.
- Gupta, S. R., Smith, J. S., 2006, Algorithms for Single Machine Total Tardiness Scheduling with Sequence Dependent Setups, European Journal of Operational Research, 175, 722-739.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gravel, M., Price, W. L., Gagne, C., 2000, Scheduling Jobs in an Alcan Aluminium Foundry Using a Genetic Algorithm, *International Journal of Production Research*, 38(13), 3031-3041.
- Györgi, P., Kis, T., 2014, Approximability of Scheduling Problems with Resource Consuming Jobs, Working Paper.
- Herr, O., Goel, A., 2015, Minimizing Total Tardiness for a Single Machine Scheduling Problem with Family Setups and Resource Constraints, *European Journal of Operational Research*.
- Holsenback, J., Russel, R. M., 1992, A Heuristic Algorithm for Sequencing on one Machine to Minimize Total Tardiness, *Journal of the Operational Research Society*, 43(1), 53-62.
- Hung, M. S., Fisk, J. C., 1978, An Algorithm for 0-1 Multiple Knapsack Problems, *Naval Research Logistic*, 25: 169-175.
- Ji, M., He, Y., Cheng, T. C. E., 2007, Single Machine Scheduling with Periodic Maintenance to Minimize Makespan, *Computers & Operations Research* 34: 1764-1770.
- Kellerer, H., Strusevich, V.A., 2004, Scheduling Problems for Parallel Dedicated Machines Under Multiple Resource Constraints, *Dis. Appl. Mathematical*, 133, 45-68.
- Kim KH., Park Y., 2004, A Crane Scheduling Method for Port Container Terminals, *European Journal of Operational Research*, 156:752-68.
- Koulamas, C., 2010, The Single Machine Total Tardiness Scheduling Problem: Review and Extensions, *European Journal of Operational Research*, 202(1): 1-7.
- Kumar, N. S., Sridharan, R., 2007, Simulation Modeling and Analysis of Tool Sharing and Part Scheduling Decisions in Single Stage Multimachine Flexible Manufacturing Systems, *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, 23, 361-370.
- Kurz, M. E., Askin, R. G., 2001, Heuristic Scheduling of Paralel Machines with Sequence-Dependent Set-Up Times, *International Journal of Production Research*, 39(16), 3747-3769.
- Laalaoui, Y., M'Hallah, R., 2016, A Binary Multiple Knapsack Model for Single Machine Scheduling with Machine Unavailability, *Computers and Operation Research*,
- Lassoued, B., M'Hallah, R., 1998, Daily Parking of Subway Vehicles, *LEcture Notes in Artificial Intelligence*, 1416: 857-866

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Lawler, E. M., Moore, J. M., 1969, A Functional Equation and Its Application to Resource Allocation and Sequencing Problems, *Management Science*, 16: 77-84.
- Lawler, E. L., 1977, A Pseudopolynomial Algorithm for Sequencing Jobs to Minimize Total Tardiness, *Annals of Discrete Mathematics*, 1, 331-342.
- Lee, Y. H., Pinedo, M., 1997, Scheduling Jobs on Parallel Machines with Sequence-Dependent Setup Times, *Euro-pean Journal of Operational Research*, 100(8), 464-474.
- Lee, J. Y., Kim, Y. D., 2012, Minimizing the Number of Tardy Jobs in a Single Machine Scheduling Problem with Periodic Maintenance, *Computer & Operations Research*, 39: 2196-2205.
- Lee, J., Kim, Y., 2015, A Branch and Bound Algorithm to Minimize Total Tardiness of Jobs in a Two Identical Parallel Machine Scheduling Problem with a Machine Availability Constraint, *Journal of the Operational Research Society*.
- Lenstra JK., Rinnooy Kan AHG., 1975, Some Simple Applications of the Traveling Salesman Problem, *Operational Research Quarterly* 26:717-33.
- Liao, C. J., Juan, H. C., 2007, An Ant Colony Optimization for Single Machine Tardiness Scheduling with Sequence Dependent Setups, *Computers Operations Research*, 34, 1899-1909.
- Lin, S. W., Ying, K. C., 2008, A Hybrid Approach for Single Machine Tardiness Problems with Sequence Dependent Setup Times, *Journal of the Operational Research Society*, 59, 1109-1119.
- Lin, Y., 2013, Fast LP Models and Algorithms for Identical Job, 37, 3436-3448.
- Low, C., Ji, M., Hsu, C. J., Su, C. T., 2010, Minimizing the Makespan in a Single Machine Scheduling Problems with Flexible and Periodic Maintenance, *Applied Mathematical Modelling*, 34: 334-342.
- Luo, W., Ji, M., 2015, Scheduling a Variable Maintenance and Linear Deteriorating Jobs on a Single Machine, *Information Processing Letters* 115: 33-39.
- Ma, Y., Chu, C., Zuo, C., 2010, A Survey of Scheduling with Deterministic Machine Availability Constraints, *Computers & Industrial Engineering*, 58: 199-211.
- Macharis C., Bontekoning YM., 2004, Opportunities for OR in Intermodal Freight Transport Research: a Review, *European Journal of Operational Research*, 153:400-16.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Martello, S., Toth, P., 1981, Heuristic Algorithm for the Multiple Knapsack Problem, *Computing* 27: 93-112.
- Mendes, A. S., Müller, S. M., França P. M., Moscato, P., 2002, Comparing Meta-Heuristic Approaches for Parallel Machine Scheduling Problems, *Production Planning and Control*, 13 (2), 143-154.
- Mensendiek, A., Gupta, J. N. D., Herrmann, J., 2015, Scheduling Identical Parallel Machines with Fixed Delivery Dates to Minimize Total Tardiness, *European Journal of Operational Research*, 243(2), 514-522.
- M'Hallah, R., Bulfin, R.L., 2003, Minimizing the Weighted Number of Tardy Jobs on a Single Machine, *European Journal of Operational Research*, 145(1): 45-56.
- Molaei, E., Moslehi, G., 2014, Minimizing the number of the Tardy Jobs on a Single Machine with an Availability Constraint, *Journal of Industrial Engineering*.
- Moncel, J., Thierry, J., Waserhole, A., 2014, Computational Performances of a Simple Interchange Heuristic for a Scheduling Problem with an Availability Constraint *Computers Industrial Engineering*, 67: 216-222.
- Nessah, R., Chu, C., Yalaoui, F., 2007, An Exact Method for Pm/sds,ri Problem, *Computers and Operations Research*, 34(3) , 2840-2848.
- Novas, J. M., Henning, G. P., 2014, Integrated Scheduling of Resource Constrained Flexible Manufacturing Systems Using Constraint Programming, *Expert System Application*, 41, 2286-2299.
- Herr O., and Goel, A., 2015, *European Journal of Operational Research*, Minimising total tardiness for a single machine scheduling problem with family setups and resource constraints,
- Omar, M. K., Teo, S. C., 2006, Minimizing the Sum of Earliness/Tardiness in Identical Parallel Machines Schedule with Incompatible Job Families: An improved MIP Approach, *Applied Mathematics and Computation*, 181(4), 1008-1017.
- Ourari, S., Briand, C., 2013, Dominance Conditions for Particular Single Machine Scheduling Problems with Nested Execution Intervals, *IEEE Conference on Open Systems*, Sarawak, Malaysia.
- Özpeynirci, S., Gökğür, B., Hnich, B., 2016, *Applied Mathematical Modelling*, Parallel machine scheduling with tool loading,

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Panwalker, S. S., 1993, A Heuristic for the Single Machine Tardiness Problem, *European Journal of Operational Research*, 70(3), 304-310.
- Park, Y., Kim, S., Lee, Y. H., 2000, Scheduling Jobs on Parallel Machines Applying Neural Network and Heuristic Rules, *Computers and Industrial Engineering*, 38(8), 189-202.
- Pinedo, M., 2002, *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems*, Prentice Hall, 378p.
- Pinedo, M., 2008, *Scheduling: Theory, Algorithms and Systems*, Prentice Hall, New Jersey.
- Pisinger, D., 1999, An Exact Algorithm for Large Multiple Knapsack Problems, *European Journal of Operational Research*, 114: 528-541.
- Pfund, M., Fowler, J. W., Gadkari, A., Chen, Y., 2008, Scheduling Jobs on Parallel Machines with Setup Times and Ready Times, *Computers and Industrial Engineering*, 54(6), 764-782
- Potts, C. N., Kovalyov, M. Y., 2000, Scheduling with Batching: A review, *European Journal of Operational Research*, 120(2), 228-249.
- Radhakrishnan, S., Ventura, A., 2000, Simulated Annealing for Parallel Machine Scheduling with Earliness-Tardiness Penalties and Sequence-Dependent Set-Up Times, *International Journal of Production Research*, 38 (10), 2233-2252.
- Rocha, P. L., Ravetti, M. G., Mateus, G. R., Pardalos P. M., 2008, Exact Algorithms for a Scheduling Problem with Unrelated Parallel Machines and Sequence and Machine-Dependent Setup Times, *Computers and Operations Research*, 35(3), 1250-1264.
- Roh, H. K., Kim, Y. D., 1997, Due-dated Based Loading and Scheduling Methods for a Flexible Manufacturing System with an Automatic Tool Transporter, *International Journal Production Resource*, 35, 2989-3003
- Ryan, J. L., Bailey, T.G., Moore, J.T., Carlton, W.B., 1998, Reactive Tabu Search in Unmanned Aerial Reconnaissance Simulations, *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, vol. 1, p . 873–9.
- Saleh HA., Chelouah R., 2004, The Design of the Global Navigation Satellite System Surveying Networks Using Genetic Algorithms, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 17:111–22
- Saraç, T., Sipahioğlu, A., 2008, Plastik Enjeksiyon Makinelerinin Çizelgelenmesi Problemi, *Endüstri Mühendisliği*, 20(2), 2-14.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Schaller, J. E., 2007, Scheduling on a Single Machine with Family Setups to Minimize Total Tardiness, *International Journal of Production Economics*, 105(2), 329-344.
- Schaller, J. E., Gupta, J. N. D., 2008, Single Machine Scheduling with Family Setups to Minimize Total Earliness and Tardiness, *European Journal of Operational Research*, 187(3), 1050-1068.
- Schaller, J. E., 2009, Note on Shim and Kim's Lower Bounds for Scheduling on Identical Parallel Machines to Minimize Total Tardiness, *European Journal of Operational Research*, 197(1), 422-426.
- Schneider, M., Stenger, A., Hof, J., 2014, An Adaptive VNS Algorithm for Vehicle Routing Problems with Intermediate Stops, *OR Spectrum*, 1-35.
- Sen, T., 2003, Sulek, J. M., Dileepan, P., 2003, Static Scheduling Research to Minimize Weighted and Unweighted Tardiness: A State of the Art Survey, *International Journal of Production Economics*, 83, 1-12.
- Shim, S. O., Kim, Y. D., 2007, Scheduling on Parallel Identical Machines to Minimize Total Tardiness, *European Journal of Operational Research*, 177(1), 135-146.
- Sioud, A., Gravel, M., Gagne, C., 2012, A Hybrid Genetic Algorithm for the Single Machine Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Times, *Computers Operations Research*, 39(10), 2415-2424.
- Sivrikaya - Şerifoğlu, F., Ulusoy, G., 1999, Parallel Machine Scheduling with Earliness and Tardiness Penalties, *Computers and Operations Research*, 26(5), 773-787.
- Subramanian, A., Battarra, M., Potts, C. N., 2014, An Iterated Local Search Heuristic for the Single Machine Total Weighted Tardiness Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Times, *International Journal of Production Research*, 52(9): 2729-2742.
- Svestka JA., Huckfeldt VE., 1973, Computational Experience with an m-Salesman Traveling Salesman Algorithm, *Management Science* 19(7):790-9.
- Tahar, D. N., Yalaoui, F., Chu, C., Amodeo, A., 2006, A Linear Programming Approach for Identical Parallel Machine Scheduling with Job Splitting and Sequence Dependent Setup Times, *International Journal of Production Economics*, 99(8), 63-73.
- Tanak, S., Araki, M., 2013, An Exact Algorithm for the Single Machine Total Weighted Tardiness Problem with Sequence Dependent Setup Times, *Computer Operations Research*, 40(1): 344-352.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Taner, M. R., Karasan, O. E., Yavuztürk, E., 2012, Scheduling Beams with Different Priorities on a Military Surveillance Radar, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 48(2): 1725-1739.
- Tang, G., 1990, A New Branch and Bound Algorithm for Minimizing the Weighted Number of Tardy Jobs, *Annals of Operations Research* 225-232.
- Tang, L., Liu, J., Rong, A., Yang, Z., 2000, A Multiple Traveling Salesman Problem Model for Hot Rolling Scheduling in Shanghai Baoshan Iron and Steel Complex, *European Journal of Operational Research*, 124(2), 267-282.
- Tucci, M., Rinaldi, R., 1999, From Theory to Application: Tabu Search in Textile Production Scheduling, *Production Planning and Control*, 10(4), 365-374.
- Turkcan, A., 2007, Due Date and Cost Based FMS Loading, Scheduling and Tool Management, *International Journal Production of Resource*, 45, 1183-1212.
- Wang X., Regan AC., 2002, Local Truckload Pickup and Delivery with Hard Time Window Constraints, *Transportation Research Part B*, 36:97–112.
- Wang, S., Liu, M., 2013, A Branch and Bound Algorithm for Single Machine Production Scheduling Integrated with Preventive Maintenance Planning, *International Journal of Production Research* 51: 847-868.
- Webster, S. T., Baker, K. R., 1995, Scheduling Groups of Jobs on a Single Machine, *Operation Research*, 692-703.
- Weng, M. X., Lu, J., Ren, H., 2001, Unrelated Parallel Machine Scheduling with Setup Consideration and a Total Weighted Completion Time Objective, *International Journal of Production Economics*, 70(7), 215-226.
- Ventura, J. A., Kim, D., 2003, Parallel Machine Scheduling with Earliness Tardiness Penalties and Additional Resource Constraints, *Computers and Operations Research*, 30, 1945-1958.
- Villarreal, F. J., Bulfin, R. L., 1983, Scheduling a Single Machine to Minimize the Weighted Number of Tardy Jobs, *IIE Transactions* 337-343.
- Yalaoui, F., Chu, C., 2003, An Efficient Heuristic Approach for Parallel Machine Scheduling with Job Splitting and Sequence Dependent Set-Up Times, *1EE Transactions*, 35(3), 183-19.
- Yeh, W., 2015, Uniform Parallel Machine Scheduling with Resource Consumption Constraint, *Applied Mathematical Modelling*, 39(8), 2131-2138.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ying, K. C., Lin, S. W., Huang, C. Y., 2009, Sequencing Single Machine Tardiness Problems with Sequence Dependent Setup Times Using an Iterated Greedy Heuristic Expert Systems with Applications, 36, 7087-7092.
- Zammori, F., Braglia, M., Castellano, D., 2014, Harmony Search Algorithm for Single Machine Scheduling Problem with Planned Maintenance, Computer & Industrial Engineering 76: 333-346.
- Zeballos, L. J., 2010, A Constraint Programming Model for the Scheduling of Flexible Manufacturing Systems with Machine and Tool Limitations, Engineering Applications of Artificial Intelligence, 23, 229-248.
- Zhang T., Gruver WA., Smith MH., 1999, Team Scheduling by Genetic Search, Proceedings of the Second International Conference on Intelligent Processing and Manufacturing of Materials, vol. 2, p. 839-44.