

**TAM ZAMANLI KARMAŞIK ÜRÜNLÜ
MONTAJ HATTINDA ÇOK AMAÇLI
SIRALAMA PROBLEMİ VE BİR UYGULAMA**

Salih Hakan AKÇIN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2006
ANKARA**

Salih Hakan AKÇIN tarafından hazırlanan TAM ZAMANLI KARMAŞIK ÜRÜNLÜ MONTAJ HATTINDA ÇOK AMAÇLI SIRALAMA PROBLEMİ VE BİR UYGULAMA adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ertan GÜNER
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oybirliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Zülal GÜNGÖR

Üye : Doç. Dr. Ertan GÜNER

Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Ali AKÇAYOL

Tarih : 21/09/2006_____

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

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

Salih Hakan AKÇIN

**TAM ZAMANLI KARMAŞIK ÜRÜNLÜ
MONTAJ HATTINDA ÇOK AMAÇLI
SIRALAMA PROBLEMİ VE BİR UYGULAMA
(Yüksek Lisans Tezi)**

Salih Hakan AKÇIN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Eylül 2006

ÖZET

Bu tezde, tam zamanında üretimin olduğu montaj hatlarında karmaşık ürünlerin sıralanması problemi birden fazla amaç olduğu durum için ele alınmıştır. Tez çalışmasında dikkate alınan amaçlar hazırlık sayısının ve kullanım oranının en küçüklenmesidir. Literatür araştırmasında problemin çözümü ile ilgili yaklaşımları incelendi. Problemin çözümü için bir metasezgisel yaklaşım olan karınca kolonisi sezgiseli kullanılmıştır.

NP-zor tipindeki problemde hazırlık sayısını ve kullanım oranını en küçüklemek için karınca kolonisi sezgiseli uygulanırken gezgin satıcı probleminden yararlanılmıştır. Problemin boyutsallaştırılması ile gezgin satıcı probleminin çözümünde izlenen yoldan faydalanılarak çözümler üretilmiştir. Problemin boyutsallaştırılması aşamasında hazırlık zamanı ve kullanım oranı amaçlarına farklı derecelerde ağırlık veren altı farklı strateji(KKO1, KKO2, KKO3, KKO4, KKO5, KKO6) oluşturulmuştur.

Ayrıca bu altı stratejinin kullanım oranı hesaplama yönteminde değişiklik yapılarak oluşturulan altı strateji(G-KKO1, G-KKO2, G-KKO3,

G-KKO4, G-KKO5, G-KKO6) ve rastsal sıralama stratejileri de ele alınmıştır.

Karınca kolonisi sezgiseline göre Delphi programlama dili ile yapay zeka algoritmalarının program kodları oluşturulmuştur. Oluşturulan stratejilerin performanslarını ölçmek için endüstrideki bir probleme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 450 dakikalık bir vardiyada üç farklı ürün tipinden toplam 180 adet ürün üreten ve tam zamanında üretim sistemine sahip montaj hattında montaj hattına girecek ürün sırasını belirleme problemi ele alınmıştır. Üretilen sonuçlar kullanım oranı ve CPU zamanı performans ölçütlerine göre mukayese edilmiştir. Performans ölçütlerine göre KKO1, KKO2, G-KKO1 ve G-KKO2 stratejilerinin hem CPU zamanı hem kullanım oranı performans istatistikleri açısından diğer stratejilerden daha etkin sonuçlar elde ettiği gösterilmiştir.

Bilim Kodu : 906.1.141
Anahtar Kelimeler :Sıralama Problemleri, Sezgisel Algoritmalar, Montaj Hattı, Tam Zamanında Üretim
Sayfa Adedi : 51
Tez Yöneticisi : Doç.Dr. Ertan GÜNER

**MULTI OBJECTIVE MIXED MODEL SEQUENCING PROBLEM WITH
JUST IN TIME ASSEMBLY LINE AND AN APPLICATION**

(M.Sc. Thesis)

Salih Hakan AKÇIN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

September 2006

ABSTRACT

In this study, the sequencing problem in an just in time assembly line with multiple objectives examined. The objectives that are taken in to account are minimization of number of setups and minimization of usage rate. In the literature survey related approaches for the problem examined. To solve the problem ant colony heuristic which is a meta-heuristic approach is applied.

To apply the ant colony heuristic approach for this NP-Hard type problem with the objective of minimization of usage rate and number of setups , travelling salesman problem technique is used. By spatialization of the problem, with the help of travelling salesman problem, solutions are generalized. At the phase of problem spatialization , for different weights of number of setups and usage rates, six diffrenet strategies (KKO1, KKO2, KKO3, KKO4, KKO5, KKO6) generated.

Also by improving these six strategies by changing the usage rate calculation method, six new strategies generalized(G-KKO1, G-KKO2, G-KKO3, G-KKO4, G-KKO5, G-KKO6). These six improved strategies and random sequencing strategies are also examined.

Artificial intelligence algorithms of ant colony heuristics are coded by Delphi programming language. The performances of the strategies are identified by an application on an industrial problem data. It is applied for a just in time mixed model sequencing problem for an assembly line which produces three different products with a total amount of 180 pieces in a 450 minutes shift. Generated sequences examined by CPU time and usage rate performance metrics. For the performance metrics it is observed that KKO1, KKO2, G-KKO1 and G-KKO2 strategies outperforms other strategies.

Science Code : 906.1.141
Key Words : Sequencing problems, heuristic methods,
assembly line, just in time
Page Number : 51
Adviser : Assoc. Prof. Dr. Ertan GÜNER

TEŞEKKÜR

Bu projenin çeşitli aşamalarında aktardığı tecrübelerinden,yardım ve desteklerinden dolayı tez danışmanım Doç. Dr. Ertan Güner'e en içten duygularımla teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans ve çalıştığım görevi birlikte yürüttüğüm süre içerisinde her türlü desteği gösteren çalışma arkadaşlarım Sn. K. Kazım Barmanbek'e, Sn. İ. İlkem Yıldız'a, ekip liderim Sn. Ulaş Bağcı'a ve üretim planlama bölümü müdür yardımcımız Sn. Aygün Zorer'e teşekkür ederim.

Hepsinden önemlisi beni bu aşamaya getiren ve benden desteklerini esirgemeyen aileme şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. TAM ZAMANINDA ÜRETİM MONTAJ HATLARINDA KARMAŞIK MODELLERİN SIRALANMASI PROBLEMİ.....	5
2.1.Tam Zamanında Üretim Felsefesi.....	5
2.2.Problemin Tanımı.....	9
2.3.Karmaşık Ürünlü Montaj Hatlarına Girecek Model Sırasının Belirlenmesi Problemi.....	11
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	13
4. ÇÖZÜM YAKLAŞIMI.....	21
4.1. Karıncaların Beslenme Alışkanlıkları ve Optimizasyon.....	21
4.2. Çift Köprü Deneyleri.....	23
4.3. KKO ve Gezgin Satıcı Problemi.....	25
4.4. Amaç Fonksiyonları.....	28
4.5. Etkin Sınır.....	29
4.6. Kombinatoryal Karmaşıklık.....	30
4.7.Çok Amaçlı TZÜ Sıralama İçin Karınca Kolonisi Optimizasyonu Sezgiselinde Problemin Boyutsallaştırılması.....	31
4.8 Karınca Kolonisi Sezgiseli.....	35

	Sayfa
4.9. KKO Sezgiselinin Uygulanması.....	38
4.10. Geliştirilmiş KKS.....	39
5. ENDÜSTRİYEL BİR PROBLEM UYGULAMASI.....	42
5.1. Karşılaştırma Ölçütleri ve Karşılaştırılan Algoritmalar	42
5.2. Endüstriyel Problem Verileri İle Bir Uygulama.....	44
5.3. Uygulama Sonuçları ve Değerlendirmeler.....	46
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	48
KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	51

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1 Sıralama problemleri için boyutsallaştırma stratejileri.....	32
Çizelge 5.1. Problemin talep setleri	44
Çizelge 5.2. Talep seti-1 için performans istatistikleri.....	45
Çizelge 5.3. Talep seti-2 için performans istatistikleri.....	45
Çizelge 5.4. Talep seti-3 için performans istatistikleri.....	46

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Feromon hatları.....	22
Şekil 4.2. Çift köprü deneyleri için deney tasarımı.....	24
Şekil 4.3. İki köprü deneyi sonuç istatistikleri.....	24
Şekil 4.4. Örnek problem için etkin ufuk.....	30
Şekil 4.5. Örnek problem için KKO1 stratejisi.....	32
Şekil 4.6. Örnek problem için KKO2 stratejisi.....	33
Şekil 4.7. Örnek problem için KKO3 stratejisi.....	33
Şekil 4.8. Örnek problem için KKO4 stratejisi.....	34
Şekil 4.9. Örnek problem için KKO5 stratejisi.....	34
Şekil 4.10. Örnek problem için KKO6 stratejisi.....	35
Şekil 4.11. Örnek problem için KKO1 stratejisine göre etkin ufuk.....	38
Şekil 4.12. Parça kullanım oranı hesaplama.....	41

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
Ants	Araştırmada kullanılan karınca sayısı
α	güncelleme parametresi
β	Düğümler arası yakınlığın göreceli öneminin ağırlıklandırma parametresi
B_i(t)	t anında i şehrinde bulunan karınca sayısı
D_{ij}	i ve j düğümleri arasındaki mesafe
D_t	Tüm ürünlerin taleplerinin toplamı
H	Boyut sayısı
H_i	İşçi istasyon zamanı
I	İşçilerin çalışmadığı zaman yüzdesi
I_s	Uzun dal uzunluğu
I_i	Kısa dal uzunluğu
L₀	"En yakın komşu (nearest neighborhood) sezgiseli" ile belirlenen başlangıç turunun uzunluğu
M	Karınca sayısı
M_k	Sıralamaya dahil edilmiş düğümlerin kümesi
N	Ürün çeşidi sayısı
η_{ij}	Seçilebilirlik parametresi
P_k(r, s)	Bir karıncanın r den s düğümüne hareket etme olasılığı
r	Dalların uzunluklarının birbirine oranı
ρ	Feromon buharlaşma katsayısı

Simgeler**Açıklama** $\delta(r, u)$

r ve u noktaları arasındaki uzaklık

S

sıralamada ihtiyaç duyulan hazırlık sayısı

S_k

Hazırlık indikatörü

 $\tau_{ij}(t)$

t anında i ve j şehirleri arasında depolanmış feromon miktarıdır.

Tabu_k(s)

Karıncanın tabu listesindeki s. Elemanı

U

Sıralamanın kullanım oranı

U(s)

s hazırlık için mevcut sıralamanın kullanım oranı

Ubest(s)

s hazırlık için şimdiye kadar elde edilmiş en düşük kullanım oranı

WD

Tamamlanmayan iş

X_{ik}

Sıralamadaki k. Pozisyondaki i ürününün sayısı

Kısaltmalar**Açıklama****CPU**

Bilgisayar İşlemcisi

EOQ

Ekonomik Sipariş Miktarı

GA

Genetik Algoritma Yaklaşımı

GSP

Gezgin Satıcı Problemi

KKS

Karınca Kolonisi Sezgiseli

PKD

Parça Kullanımı Düzgünleştirme

TA

Tabu Arama Yaklaşımı

TB

Tavlama Benzetimi Yaklaşımı

TZÜ

Tam Zamanında üretim

ÜKD

Ürün Kullanım Düzgünleştirme

WIP

Prosesteki İş Sayısı

YSA

Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı

1. GİRİŞ

Bu tezde, tam zamanında üretim (TZÜ) sistemlerinde montaj hatlarında karmaşık ürünlerin sıralanması problemi hazırlık sayısı ve kullanım oranı en küçüklemesi amaçları için ele alınmıştır.

Karmaşık ürünlü montaj hatlarına girecek ürünlerin sıralamasının oluşturulması problemi, ürün tiplerinin müşteri taleplerine göre değişiklik göstermeye başladığı ve kitle tipi üretimde tam zamanında üretim felsefesinin yaygınlaşmaya başladığı 1980'li yıllar ile birlikte literatürde yerini almıştır. Günümüz üretim şartlarındaki artan müşteri talebi çeşitliliği ve bu talepleri bir montaj hattında yüksek üretim adetleri ile karşılamak durumunda olan işletmelerin yüz yüze olduğu önemli problemlerden biri olan montaj hattına girecek gövde sırasının belirlenmesi problemine bir çok sezgisel yöntem ile çözümler üretilmiştir. Problemin NP-zor yapıda bir problem olması nedeni ile endüstriyel boyuttaki bu problemin çözümü için literatürde sunulan yöntemler sezgisel yöntemlerdir ve bu çalışmada gözden geçirilmiştir.

İncelenen sezgisel yöntemler içinden bir meta-sezgisel yöntem olan ve büyük boyutlu problemler için makul CPU işlem zamanları içerisinde etkin sıralamalar üretme yeteneğine sahip karınca kolonisi sezgiseli bu tezde ele alınmıştır.

Çalışmada, karınca kolonisi sezgisel yaklaşımı ve TZÜ montaj hatlarında karmaşık ürünlü çok amaçlı sıralama probleminin çözümünde kullanılma şekli açıklanmıştır. Problemin çözümünde McMullen'ın karmaşık ürün sıralama problemini gezgin satıcı problemi yapısına dönüştürme yönteminden faydalanılmıştır. Üretim sıraları geometrik fonksiyonlar ile eksenleri sıfır ve bir arasında değişen düğüm noktalarına dönüştürülerek gezgin satıcı problemine benzer bir problem yapısı elde edildikten sonra (problemin boyutsallaştırılması) karınca kolonisi sezgiseli uygulanarak karıncaların

davranış stratejilerinden yararlanarak yapay zeka algoritmaları oluşturulmuştur. Bu yapay zeka algoritmalarına göre en büyük ve en küçük değerleri sıfır ve bir olan eksenler üzerinde düğüm olarak ifade edilmiş ürün tiplerinden, düğümler arası feromon miktarı hesaplamaları ile karıncanın tercih edeceği ve ziyaret edeceği düğümlerin rotası elde edilmiş ve bu karıncaların tercih ettiği rotalar ile probleme uygun ürün sıraları üretilmiştir.

Karınca kolonisi sezgiselinde hazırlık zamanı en küçükleme ve kullanım oranı en küçükleme amaçlarına farklı derecelerde ağırlıklar veren altı değişik strateji oluşturulmuştur. Elde edilen sıralamaların hazırlık sayıları ve kullanım oranları hesaplanmış ve etkin sınır gösterimine göre her hazırlık sayısı için elde edilmiş en düşük kullanım oranı eğrisi elde edilmiştir.

Birebir çözüm ile elde edilmiş tüm mümkün sıralamaların hazırlık sayısı ve kullanım oranı değerleri ile karınca kolonisi sezgiseli stratejileri ile üretilmiş sıralamaların hazırlık sayısı ve kullanım oranı karşılaştırılarak stratejilerin performansları belirlenmiştir. Üç ürün tipinin olduğu ve örnek olarak bu üç ürün tipinin talepleri eşit olduğu durum için toplam 180 adet ürün ile oluşturulabilecek mümkün sıralama sayısı yaklaşık $180!/(60! \times 60! \times 60!) = 3,84 \times 10^{84}$ adettir. Bu tüm mümkün sıralamalar için birebir çözüm ile her sıralamanın hazırlık sayısı ve kullanım oranı kodlanan program ile hesaplanmış ve karınca kolonisi sezgiseli ile üretilen sıralamaların performansının ortaya konulmasında kullanılmıştır.

Sıralamaların performanslarının ölçümünde kullanılan kullanım oranı hesabında karınca kolonisi sezgiseli için oluşturulan altı strateji için McMullen'in kullanım oranı hesaplama yöntemi gözden geçirilmiş ve kullanım oranı hesabı yönteminde değişiklik yapılarak geliştirilmiştir. McMullen'in kullanım oranı hesabı her ürün tipinin talebini ortalama talep eğrisine mümkün olduğunca yakın tutmak amacını içerir. Bu yaklaşım ürün tipleri arasında büyük benzerlikler olduğu durumlarda uygulanabilir. Fakat

sıralaması oluşturulacak ürün tipleri arasında belirgin farklar olduğu durumlar için her ürün tipinin talebini ortalama talep eğrisine yakın tutmak yerine her ürün tipi için kullanılan parçaların ortalama parça kullanım eğrisine yakın olmasını sağlayacak şekilde kullanım oranı hesaplamasında geliştirme yapılmıştır. Karmaşık modellenmiş sıralama problemini bir ticari araç montaj hattı için uygulandığını düşünürsek, müşteri taleplerinin kullanım amacına göre çok büyük değişiklikler gösteren araç tiplerinin parça kullanım adetlerinde de büyük farklılıklar göstereceği açıktır. Bir örnek ile ifade edersek van tipi bir araçta sadece sürücü ve yolcu koltuğu olmak üzere iki koltuk monte edilecek olmasına rağmen jumbo tipi bir araçta on sekiz koltuk monte edilecektir. Kombi gövde tipinde bir araçta ise ancak sekiz koltuk monte edilecektir.

Endüstriyel boyutta karşılaşılmakta olan ürün tipleri arası parça kullanım adetlerindeki büyük değişiklikler mevcut olduğu durumda kullanım oranı hesaplama yöntemini ürün tiplerinin taleplerine göre yapmak yerine ürün tipleri için kullanılan parça kullanım adetlerine göre yapmak gerçek durum ile daha iyi uyuşan sıralamalar seçmemizi sağlar.

Çalışmada karınca kolonisi sezgiseli stratejileri endüstrideki bir montaj hattının verilerine uygulanarak stratejilerin performanslarının ortaya konulması için bir uygulama yapılmıştır. Karıncaların davranışlarını modelleyen yapay zeka algoritmaları Delphi 7.0 programlama dili ile kodlanmıştır. Ürün tipi sayısının üç olduğu ve 450 dakikalık bir vardiyada toplam üç ürün tipinden 180 adet ürünün üretildiği varsayılmıştır. Kodlanan bilgisayar programı üç farklı talep seti için çalıştırılmış ve altı karınca kolonisi stratejisi (KKO1, KKO2, KKO3, KKO4, KKO5, KKO6), kullanım oranı hesaplaması yönünden geliştirilmiş altı karınca kolonisi stratejisi (G-KKO1, G-KKO2, G-KKO3, G-KKO4, G-KKO5, G-KKO6) ve rastsal sıralama stratejisi sonucu elde edilen sıralamalar için CPU zamanı ve sapma oranı performans ölçütleri elde edilmiş, stratejilerin karşılaştırılmaları üç farklı talep seti için yapılmıştır.

Endüstrideki bir tam zamanında üretim montaj hattında hazırlık sayısı ve kullanım oranı en küçükleme amaçlarını dikkate alan sıralama problemi için yapılan uygulama çalışması ile elde edilen sonuçlar ve öneriler son bölümde açıklanarak çalışma tamamlanmıştır.

İkinci bölümde karmaşık ürünlü montaj hatlarına girecek model sırasının belirlenmesi problemi detaylı olarak ele alınmıştır.

Üçüncü bölümde ele alınan problem için literatürde bu problem konusunda önerilen çözümler incelenmiştir.

Dördüncü bölümde problemin çözümü için seçilen yöntem olan karınca kolonisi sezgiseli ve bu problemde nasıl kullanıldığı anlatılmıştır.

Beşinci bölümde karınca kolonisi sezgiseli tekniğinin endüstrideki bir probleme uygulaması yapılmış, çıktıları analiz edilmiştir.

Altıncı bölümde ele alınan problem ve karınca kolonisi sezgiseli ile ilgili sonuç ve değerlendirmelere yer verilerek çalışma tamamlanmıştır.

2. TAM ZAMANINDA ÜRETİM MONTAJ HATLARINDA KARMAŞIK MODELLERİN SIRALANMASI PROBLEMİ

2. 1. Tam Zamanında Üretim Felsefesi

Tam zamanında üretim, ürünün montaj aşamasında her parçanın, bant üzerine tam gerektiği anda ve yalnızca gereken miktarda gelmesi demektir. Bir şirket bu üretim stratejisini hayata geçirerek depoları işlevsiz bırakabilir ve stoklamayı ortadan kaldırabilir. Doğal olarak bir çok parçadan oluşan bir üründe bu ideali gerçekleştirmek oldukça karmaşık bir iştir. Çok sayıda süreci birbirine uyumlu kılmak gerekmekte ve TZÜ'ü üretim sürecindeki tüm bölümlere başarıyla uygulamak son derece zordur. Çünkü üretim sürecinin başlangıç noktasında ortaya çıkan her sorun montaj aşamasında hatalı ürüne dönüşür. Üretim planı yaparken istenen ürünleri, bunlara ilişkin karakteristik özellikleri ve verileri belirleyen son montaj aşamasından yola çıkıldığı için bilgi akışı yönü malzeme akışının tersinedir. Her istasyon kendisinden bir sonraki istasyona en çok gereksindiği parçaları, miktarını ve elinde olması gereken zamanı sorar. Böylece yalnızca istenen parçayı istenen zaman ve sayıda üretecektir. TZÜ zincirinde her halka bir önceki ve sonrakine sıkı sıkıya bağlıdır ve eş zamanlı gerçekleşir.

TZÜ üretim sistemi otomasyondan çok oto-aktivasyonu (otonomasyon) kullanmaktadır. Oto-aktive, makine herhangi bir sorun halinde kendi kendine durarak hatanın tekrarlanmasını bunun sonucunda da sorunun büyümesini önlediği gibi, işlerin normal akışında ilerleyip ilerlemediğini göstermesi açısından da son derece önemli bir destektir.

Bir önceki banttaki hatalı parça gelmişse bir sonraki süreç anında bantı durdurarak söz konusu probleme müdahale etmek zorundadır. Ayrıca böyle bir durum gerçekleştiğinde banttaki tüm işçiler devreye girer; olaydan herkes haberdar edilir ve hatalı parça gönderene geri iade edilir.

Işıklı bir gösterge tablosu olan “andon” herhangi bir anormallik yada arıza halinde bandı durdurmakta kullanılan ve üretim süreci üzerinde doğrudan denetim sağlayan bir görsel kontrol aracıdır. Her şey yolunda gittiğinde andonda yeşil ışık yanar. İşçi bant üzerinde herhangi bir düzeltme gerçekleştirmek istediğinde ve yardım gereksindiğinde sarı ışık yanar. Sorunu çözmek için bandı durdurmak gerektiğinde ise kırmızı ışık yanar.

Tüm endüstrilerde kar yalnızca maliyetlerin düşürülmesi ile elde edilebilir. Satış fiyatı , kar ve üretim maliyeti toplamına göre belirlendiğinde , üretim maliyetlerini müşterinin üzerine yüklemiş olur. Bu da günümüzde artık uygulanması mümkün olmayan bir prensiptir. Üretim maliyetleri nedeniyle yüksek bir fiyat belirlenirse müşteri doğal olarak satın alacağı ürünü değiştirecektir. Bu durumda tüketimi fazla bir mal üreten ve günümüz piyasasında ayakta durmaya çalışan bir fabrika için üretim maliyetlerini düşürmek ana hedef haline gelmektedir.

Sınai üretimde “ kayıp” tanımı maliyetleri katma değer üretmeden artıran her şeye karşılık olarak kullanılır : örneğin personel, envanter ve donanım fazlası. Tıpkı emek fazlasında bu işçileri oturtmamak için iş icat edildiği gibi fazla işçi, fazla donanım ve fazla ürün yalnızca tali olarak adlandırılan kayıplara yol açarak maliyetleri artırır. Hepsinin içinde en büyük kayıp stok birikimi ile ortaya çıkar. Tesiste fazla miktarda stok depolamak gerektiğinde bir depo oluşturmak dolayısıyla da ürünleri nakletmek için işçi çalıştırmak, durum bu olunca da her işçi için malzeme taşıma aracı satın alma ihtiyacı doğar. Ayrıca stokların bakımı ve deponun idaresi için de personel kullanmak gerekecektir. Depo bir kez hazırlandıktan sonra düzenli olarak envanter tutulması gerekecek bu da yine başka işçilerin çalışması anlamına gelecektir. İsraf ve kayıpların tamamen ortadan kaldırılması için şu iki noktaya dikkat etmek gerekir:

1. Etkinliđi artırmak yalnızca maliyeti düşürdüğü zaman anlamlıdır. Yalnızca ihtiyaç kadar üretim yapılmalı ve mümkün olan en az düzeyde emek kullanılmalıdır.

2. Her işçinin ve her üretim bandının etkinliği gözlemlenmelidir. Sonra da etkinliği parça parça ve bütün olarak artırmak için işçileri grup olarak incelemeli ve bütün tesisin etkinliği değerlendirilmelidir [1].

Etkinliğin gerçek anlamda artırılması, kayıplar sıfıra indirildiğinde ve denklemin işe ilişkin bölümünü % 100'e çıkartıldığında gerçekleşmektedir. Kayıp faktörlerini ayırtılabilmek aşağıdaki noktaların incelenmesi ile mümkündür [2]:

1. Üretim fazlası
2. Ölü zamanlar
3. Gereksiz nakliye ve bakım işlemleri
4. Gereksiz ve uygun olmayan işler
5. Stok fazlası
6. Gereksiz hareketler
7. Hatalı parça üretimi

Etkinliğin artması ile maliyetlerin düşürülmesinin mutlaka aynı şey olmadığını hatırlamak gerekir. Örneğin 10 işçinin günde 100 parça ürettiği bir bantta etkinliği artırmak için yeni düzenlemeler ortaya koyulduğunda 10 işçi 120 parça üretebilecek, etkinlik % 20 oranında artacak bunun sonucunda da talep artışı olan bir piyasada ürünün birim maliyeti düşerken kar oranı artacaktır. Piyasa talebinin 90 parçaya düştüğü varsayıldığı durum dikkate alınsın, bu durumda daha önce yeni düzenlemeler yaparak etkinlik arttırıldığı için günde 120 parça üretmeye devam edilirse günde 20-30 parça fazlalık olacaktır. Böylelikle üretimde birim maliyet artacak ve depo sorunu ortaya çıkacaktır. Bu durumda bir yandan etkinlik artırılırken, eş zamanlı olarak maliyeti nasıl

düşürebileceği sorusunun cevabı süreçte yeniden düzenlemeye gidilerek 8 işçinin günde 100 parça üretmesini sağlamaktır [2].

TZÜ'de üretim miktarı her zaman için piyasanın talebine karşılık gelir. Bir başka deyişle satılanlar üretilir. Bunun anlamı üretim planlarının, piyasanın talebine göre şekillenen üretim miktarını keyfi olarak değiştirememesidir. Bu kural sayesinde her tür üretim fazlası, kayıp ve israfın önü kapanmış olur.

Son montaj aşamasındaki işlemlerin küçük miktarlara bölünmesi, "başlangıçtaki" süreçlerin ve taşeron firmaların istediği parçaların sayısında bir azalmayı beraberinde getirir. Bu, aynı üründen büyük miktarlarda seri üretimi benimseyen geleneksel toplu üretim modelinin tam tersini söylemektedir.

TZÜ hedefini gerçekleştirmek ve hatasız ürün üretmek için standart süreçlere uymak gerekir. Üretimin standartlaştırılmasında üç temel unsur vardır:

1. Çalışma süreci, yani belirli bir parçanın üretilebileceği zaman dilimi
2. İş sırası
3. Standart envanter yani üretim sürecinin bloke olmaması ve düzenli ilerlemesi için gerekli olan asgari mal miktarı [1].

Bir sorunla karşı karşıya kalındığında sorunun özünü anlayabilmek için kendi kendine 5 kez "neden" diye sorulmalı ve 5 kez yanıt vermek denenmeli. Diyelim ki bir makine durdu ve çalışmıyor:

1. Makine neden durdu?
"Çünkü aşırı bir yüklenme oldu ve sigortası attı. "
2. Neden aşırı yüklenme oldu?
"Çünkü yataklar yeterince iyi yağlanmamıştı. "
3. Yağlama neden iyi değildi?

“Çünkü yağ pompası iyi çalışmamıştı. ”

4. Yağ pompası neden iyi çalışmamıştı?

“Çünkü titreşimlerden dolayı pompanın mili hasar görmüştü. ”

5. Neden hasar görmüştü?

“Çünkü filtrajda bir hata olmuştu ve içeri bir metal parçası kaçmıştı. ”

Bu örnekte olduğu gibi “neden” sorusu birkaç kez yinelemek bir sorunun belirlenmesine ve çözülmesine yardımcı olabilir. Böyle bir pratik izlenmediği takdirde, yalnızca sigorta değiştirilecek ya da yağ pompası onarılacaktır. Böylece gerçek sorun olduğu yerde duracak ve aynı arıza aylarca tekrarlanacaktır [1].

2. 2. Problemin Tanımı

Üretim süreçlerine girdi oluşturan tüm kaynakların daha etkin kullanımlarının öneminin giderek daha çok farkına varılmaktadır. Bu nedenle tam zamanında üretim (TZÜ) sistemleri giderek artan bir ilgi görmektedir. Toyota Motor Company tarafından geliştirilen TZÜ kavramı, çekme sistem anlayışı ile ana hedef olarak süreçler arası stokların düşürülmesini hedeflemiştir. Bu hedefe ulaşmak için de üretim sisteminde gerekli birimlerin gerekli miktarda gerektiği zaman ulaştırılması gerekmektedir.

TZÜ sistemlerinin çekme karakteristiği ile stok seviyelerinin kararlı talep miktarından sapmalarını belirleyen üretim sıralamalarıdır. Bu durum da TZÜ hedeflerine ulaşmak için ürünler için uygun bir sıralama belirlenmesi önem kazanmaktadır.

TZÜ sistemi daha çok otomotiv ve elektronik üretim endüstrisi için önem arz etmektedir ve bu endüstrilerin müşteri talebi odaklı olması nedeni ile çok geniş bir ürün yelpazesi söz konusudur. Bu geniş ürün yelpazesinin montaj hatlarında TZÜ felsefesine göre üretilmesi için karmaşık modellerin montaj

hatlarında üretim sırasının belirlenmesi konusunda literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Montaj hatlarına girecek karmaşık modellerin hatta giriş sırasının belirlenmesi hatta kullanılan ekipmanların, çalışan operatörlerin ve diğer kaynakların daha verimli kullanılması demektir.

Karmaşık ürünlerin montaj hatlarında sıralanması konusunda temel olarak 4 amaç mevcuttur:

1. Operatörün etkinliğini en büyükmek için veya hattın durma riskini en küçükmek için her iş istasyonundaki iş yükünü dengeli olarak yüklemek gerekir.
2. İkinci amaç, hatta kullanılan her parçanın kullanımını sabit tutmaktır ve bu TZÜ kavramını gerçekleştirmenin iyi bir yoludur.
3. Üçüncü amaç, hatta ürünlerin sabit olarak beslenmesidir ve ikinci amaçtan türetilmiştir.
4. Dördüncü amaç ise toplam konveyör durma zamanını en küçükmektir.

Karmaşık modelli montaj hattında model sıralama problemine şirket kendi amaçlarına en çok hizmet eden amacı kullanan sıralama metodunu izler. Karmaşık ürün tiplerinin sıralanması probleminin en çok dikkate alındığı otomotiv ve elektronik sektöründe ağırlıklı olarak ikinci amacı kullanan sıralama metotları izlenmiştir. Hafif ticari araç üreten bir otomotiv fabrikasında karmaşık ürünlü model sıralama probleminin nasıl ele alındığı bölüm 2.3.'da açıklanmıştır.

2. 3. Karmaşık Ürünlü Montaj Hatlarına Girecek Model Sırasının Belirlenmesi Problemi

Bir hafif ticari araç montaj hattı araçların kullanım amaçlarının müşteri taleplerine göre oldukça değişkenlik göstermesi nedeni ile karmaşık ürünlü sıralama probleminin uygulanması ve yararlarının gözlenmesi açısından oldukça elverişli bir tam zamanında üretim sistemidir.

Sadece montaj hatlarında kullanılan 8 000 adet farklı parça mevcuttur ve malzeme kontrol sistemine tanımlı 20 000'den fazla parça mevcuttur. En büyük değişken olan gövde tipleri bu hafif ticari araç için şase cab, double cab, van, bus, kombi, jumbo gibi değişiklik gösterir. Bunlara ek olarak yüksek tavan, alçak tavan , orta tavan yüksekliği seçenekleri ve uzun şase, orta şase ve kısa şase uzunluğu seçenekleri vardır. Tek kayar kapı , çift kayar kapı, kargo kapı gibi opsiyonlar da eklendiğinde 20 000 üzerine gövde çeşitliliği mevcuttur.

Ortalama bir van tipi araç 900 parçadan, ortalama bir jumbo bus araç 1700 parçadan oluştuğu göz önüne alındığında üretimin dengeli olarak yapılması ve müşteri taleplerinin zamanında karşılanabilmesi için üretime girecek gövde tiplerinin yönetimi vardiyada 180 adet araç üretim yapan bir montaj hattı için zorunludur.

Gövde tipleri sıralamada dikkate alınacak en temel faktör olarak göze çarpmaktadır. Montaj hattının yürüme hızının sabit olduğu göz önünde bulundurulduğunda koltuk montajı prosesini yapan operatörün bir van tipi araçta sadece sürücü ve yolcu koltuğu bulunması nedeni ile 30 sn seviyesinde prosesini yapması operatörde verimsiz zaman boşluğuna neden olmakta fakat bir jumbo bus tipi araçta 18 koltuk bulunması nedeni ile ardı ardına bus tipi araç eğer hatta ise andon ipini çekip hattı durdurması kaçınılmazdır. Koltuk montajı istasyonu örneği gibi diğer darboğaz proseslere

göre montaj hattına göre girecek gövde sırası belirlenerek ancak hat duruşları en küçüklenir ve çıktı en büyüklenir. Bir montaj hattında ürün tiplerine göre büyük değişiklik gösteren koltuk örneğindeki gibi yüzlerce proses ve parça olabileceği için karmaşık ürünlü sıralama problemi bu tezin konusu olarak seçilmiştir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Karmaşık ürünlü tam zamanında üretim montaj hatlarında ürün sıralama problemi için bu bölümde literatürde yer alan çalışmalar hakkında özet bilgilere yer verilmiştir.

Tam zamanında üretim sistemli karmaşık ürünlü montaj hatları için çeşitli yaklaşımlar benzetim analizi kullanılarak istatistiksel olarak Sumichrast, Roberta S. Russel ve Bernard W. Taylor tarafından karşılaştırılmıştır [3]. Prosedürler sabit detay parça kullanımına odaklanan Toyota'da geliştirilmiş iki amaç kovalama sezgisel algoritması [4], her model için düzgün üretim oranlarına ulaşmak için Miltenburg tarafından tasarlanmış bir algoritma [5], yazarlar tarafından geliştirilmiş her montaj hattı istasyonunda iş yükünü düzgünleştiren bir zaman çizelge metodu ve pratik olarak sık olarak kullanılan geleneksel parti sıralama metodudur. Bu beş sıralama yaklaşımı montaj hattı etkinsizliği, tamamlanmayan iş, işçi atıllığı, işçi istasyon zamanı ve düzgün detay parça kullanımında değişkenlik ölçütü gibi dört ölçüt ile incelenmiştir. Sağlanan sonuçlar montaj hattı yöneticilerine kendi operasyonel amaçlarına göre en etkin sıralama yaklaşımını seçmede yol gösterir. Amaç kovalama ve amaç kovalama II prosedürleri Toyota'da geliştirilmiş ve Monden tarafından 1983'de yayınlanmış olup detay parçaları sabit kullanımının sağlanması amacına odaklanır. Test edilen üçüncü yaklaşım Miltenburg'un 1989 yılında yayınladığı üçüncü algoritmasıdır(M-A3H2). Her model için düzgün üretim oranlarına ulaşmak dolayısı ile de dolaylı olarak düzgün detay parça kullanımını sağlamayı amaçlar. Zaman çizelgeleme metodu isimli dördüncü algoritma araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Hattın her istasyonundaki iş yükünün düzgünleştirilmesi dolayısı ile etkin montaj proseslerine ulaşmayı amaçlar. Beşinci yaklaşım olan parti sıralama, geleneksel montaj hatları için kullanılmaktadır ve pratik olduğu için sıklıkla kullanılan bir algoritma olduğundan karşılaştırmalarda iyi bir temel oluşturur. Sıralama prosedürleri dört ölçüte göre incelenecektir. İş

etkinsizliği tamamlanmamış işlerin tüm işlere oranıdır. İşçi atıllığı işçilerin çalışmadığı zaman yüzdesidir. İşçi istasyon zamanı işçilerin kendi istasyonunda geçirdikleri tüm zamandır (çalışırken ve atılken). Son ölçüt detay parçaların doğrusal kullanımından ortalama sapmasının karesidir. Bu dört ölçüte göre beş prosedür Pascal programı ile kodlanmış simülasyon analizi yapılmış ve sonuç olarak montaj etkinliği (işçi-proses esnekliği) açısından zaman çizelge prosedürü tercih edilirken ana amaç fabrika etkinliği olduğunda M-A3H2 algoritmasının karmaşık ürün yapıları için ve düzgün parça kullanımı gerçekleştirmede diğerlerinden oldukça üstün olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

H. Aigbedo ve Y. Monden tarafından da karmaşık modelli tam zamanında üretim montaj hatlarında iki aşamalı sıralama-çizelgeleme için bir simülasyon analizi çalışması yapılmıştır [6]. Toyota'nın amaç kovalama metodu, tam zamanında üretim sistemlerinde karmaşık modelli montaj hatları için pratik büyüklükteki sıralama problemlerinde etkin olduğunu göstermiştir fakat Miltenburg TZÜ montaj hattı sıralamasına çok seviye kavramını sunmuştur [7]. Miltenburg'un Toyota'nın montaj hattı ürün sırasını belirlerken ürün kullanım düzgünleştirmesini (ÜKD) ihmal ettiğine dair notları bu çalışmaya ana neden olmuştur. H. Aigbedo ve Y. Monden 'in çalışmalarında vurgulanan düşünceye göre çoğu TZÜ sistemi için, ürün kullanım düzgünleştirme eğer sadece alt montaj parçaları ve parça kullanımı düzgünleştirmeyi (PKD) de sağlıyorsa pratikte fayda sağlayacaktır. Bu makalede, TZÜ montaj hatlarında iki seviyeli sıralama çizelgesi için bir simülasyon deneyi gerçekleştirilmiştir. Parça kullanım düzgünleştirme amacı metrik olarak kabul edildiğinde sonuçlar gösteriyor ki karşılaştırmalı olarak durumların çoğunda istatistiksel olarak daha baskın sıralamalar üretilmektedir.

R. T. Sumichrast ve E. R. Clayton [8] tam zamanında bir üretim sisteminde, konveyörlü ve karmaşık modelli montaj hatları için sıralamalar geliştirme

konusunda çalışmalarda bulunmuştur. Tam zamanında üretim sistemli fabrikaların hedefleri ile belirgin uygunlukları nedeni ile doğrusal alt montaj parçası kullanımından sapmanın karesi ve benzer ölçütler ağırlıklı olarak kullanılmaktadır. Bu makale doğrusal alt montaj parçası kullanımından sapmayı daha doğrudan ölçen daha değişik bir istatistik geliştirmiştir. Detay parça kullanım zamanı ölçüldüğünde tamamen rastsal sıralamaların, doğrusal detay parça kullanımı için geliştirilmiş metotlardan her zaman daha iyi sonuç vermediği ispatlanmıştır. Daha sonra istenilen üretim hedeflerine ulaşma yeterliliklerine göre sıralama prosedürleri karşılaştırılmıştır. Ulaşılan sonuç, benzetimi yapılmış montaj hattının montaj zamanlarını düzgünleştiren sıralama metotlarının, geleneksel doğrusal parça kullanım ölçütünü baz alan algoritmalar kadar iyi derecede yüksek üretim seviyelerine ulaştırabildiğidir. Varılan sonuç, yapılan çalışmalara göre, sistem üretkenliğinin direkt ölçümü, doğrusal detay parça kullanımından daha yararlı olduğudur. Bu makale en geçerli sıralama tekniklerini gözden geçirir, hem konveyörlü hem karmaşık modelli TZÜ tipi montaj hatlarını içeren bir simülasyon modeli geliştirir ve değişik yollardan sıralamalar üretir. Kullanılan beş algoritma Toyota'nın goal-chasing metodu, Miltenburg(1989)'un iki aşamalı sezgisel algoritması, Sumichrast(1992)'in zaman yayılımı metodu, rastsal sıralama ve partiler halinde üretim yöntemidir. Ulaşılan sonuç en uygunsuz seçeneğin partiler halinde üretim yapılmasıdır. Diğer dört modelden en iyi sonuç verenler goal chasing ve zaman yayılımı metodudur. Miltenburg'un algoritması istatistiksel olarak daha düşük bir performans göstermiş, fakat rastsal sıralama test koşulları içinde Miltenburg'un algoritması kadar iyi sonuçlar üretmiştir.

P. R. McMullen tabu arama kullanarak hazırlıkların ihmal edilmediği durumda karmaşık modelli tam zamanında üretim montaj hattı sıralama ile ilgili çalışmalarda bulunmuştur [9]. Bu çalışma tam zamanında üretimin bir amaç olduğu ve hazırlık ihtiyaçlarının mevcut olduğu durum için karmaşık ürünlü montaj hatları için bir sezgisel sunar. Sezgisel, parça kullanım oranını ve ihtiyaç duyulan hazırlık sayısını baz alarak (Miltenburg 1989) bir amaç

fonksiyonu ve bir sıralama oluşturur. Bu teknik çeşitli problemlere uyarlanmış ve sonuçta çıkan sıralamalar üretim sürecince geçen zaman, sistem zamanı ve ortalama WIP stok seviyesi gibi üretim performans ölçütlerini belirlemek için simüle edilmiştir. Parçaların kullanımını olabildiğince sabit veya olabildiğince düzgün belirlemek çok büyük öneme sahipse de dikkate alınması gereken tek amaç değildir. Farklı ürünler arasındaki ihtiyaç duyulan ekipman değiştirme zamanları ihmal edilebilir olmadığı durumda toplam ekipman değişiklik miktarını minimize etmek için de çaba sarf edilmelidir. Bu çok amaçlı tip problem için her biri iki amaca farklı derecede önem vererek beş değişik çözüme ulaşılmıştır. Bu TZÜ sıralamaları çok amaçlı problemler için Tabu arama kullanılarak bulunduktan sonra üretimin simülasyonu için çizelgeler olarak kullanılmıştır. Üretim çevrimlerinin simülasyonu sonucu elde edilmiş olan performans ölçütü çıktıları ortalama WIP, bir birimin sistemde geçirdiği ortalama zaman ve tüm üretim çizelgesinin tamamlanması için geçen toplam süredir. Üretim çevrimlerinin simülasyonu sonuçları bir veri tabanı olarak kullanılmış ve bu sonuçlar her problemin beş değişik çözüm için en iyi performans göstereceğini performans ölçütlerine göre belirlemede ışıktutmuştur. Sonuç olarak iki amaç için değişik seviyelerde önem verilerek yönetime sıralama problemi için yardımcı olan tabu arama kullanan üç değişik amaç fonksiyonu geliştirilmiştir. Kullanıcının bu iki amaca değişik önem verilerek seçenekler sunulması her iki amacın birbiri ile ters ilişkili olmasından dolayı önemlidir. Eğer amaçlardan birisine ne kadar önem verilirse diğer hedefin gerçekleşmesi o kadar düşük olur.

E. A. Duplaga ve D. J. Bragg [10] parça kullanımını düzgünleştirmek için karmaşık modellenmiş montaj hatlarında sıralama sezgiselleri için karşılaştırmalı bir analiz çalışması yapmıştır. Makale altı sezgiselinin karşılaştırmasını yaparak karmaşık modellenmiş sıralama problemini inceler. Sıralama sezgiselleri, her parçanın kullanımının mümkün olduğunca düzgünleştirme yeteneklerine göre çeşitli test problemlerinde denenmiştir. Test problemleri, sezgisellerin performanslarını problem büyüklüğü, ürün yelpazesi, ürün yapısı, ürün

karışımı gibi etkenlerin etkilerini belirleyecek şekilde dizayn edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan altı sezgisel: Toyota'nın her iki goal chasing algoritması (Monden 1983), Hyundai'nin geliştirdiği ve kullandığı bir algoritma (Duplega,1996) [11] ve Miltenburg ve Sinnamon tarafından geliştirilmiş üç sıralama sezgiselidir [7, 5, 12]. Karşılaştırma, geniş boyutlu problemler ve gerçekçi durumları içeren 16 değişik üretim senaryosu için yapılmıştır. Elde edilen sonuçta genişletilmiş goal chasing ve Miltenburg-Sinnamon'un ikinci sezgiseli istatistiksel olarak belirgin şekilde daha iyi performans gösterebilir de diğer sezgiseller de yeterli performans göstermişlerdir.

Karmaşık modelli montaj hatlarında çok amaçlı sıralama problemi için bir genetik algoritma Chul Ju Huyn, Yeongho Kim, Yeo Keun Kim tarafından sunulmuştur [13]. Sunulan algoritma karmaşık modelli montaj hatlarında çok amaçlı sıralama problemini çözmek için bir genetik algoritmadır. Çok amaçlı problemler literatürde görece daha az yer almıştır. Problem literatürde genellikle konu edilen üç amacı içerir. Genetik algoritma farklı, baskılanmamış çözümlerin kümesini araştırmaya vurgu yapar. Göz önüne alınan üç önemli amaç toplam iş yükünü minimize etmek, parça kullanım oranını sabit tutmak ve toplam hazırlık maliyetini minimize etmektir. Montaj hattı yöneticisi bu üç amacı göz önünde bulundurmalıdır. Problem için yakın-pareto veya optimal pareto çözümler bulmak için bir genetik algoritma dizayn edilmiştir. Pareto stratum-niche cubicle isimli yeni bir genetik oluşum ve seçim mekanizması oluşturulmuştur. Sunulan bu algoritmanın mevcut üç genetik algoritma ile karşılaştırması çeşitli test problemleri için çözüm kalitesi ve farklılıklar açısından karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, özellikle geniş problemler ve hazırlık maliyetinde yüksek sapma gösteren problemlerde diğer genetik algoritmalarından daha iyi performans göstermektedir. Üç amaç birbirleri ile çakışabildikleri için tüm üç amacın da aynı anda optimize edilebildiği bir sıralama mevcut olmayabilir. Ayrıca problem bilgisayar işlemleri açısından maliyetlidir. Bu nedenle sunulan

genetik algoritma ile baskılanmamış farklı çözümler araştırmaya önem verilmiştir.

Karmaşık modellenmiş montaj hatlarında bir bypass alt montaj hattı ile parça kullanım oranı ve iş yükü düzgünleştirmek için bir sıralama problemi Takayoshi Tamura, Hong Long, Katsuhisa Ohno tarafından incelenmiştir[14]. Karmaşık modellenmiş montaj hatlarındaki ürün tipindeki yüksek değişkenlik üretim etkinliğini düşürür ve hat duruşlarına neden olabilir. Montaj zamanlarındaki sapmalar, prosesleri görece yüksek olan montaj operasyonlarının bir bypass alt montaj hattında gerçekleştirilmesi ile düşürülebilir. Parça kullanım oranlarını ve iş yüklerinin düzgünleştirilmesi hedeflerini içeren sıralama problemi formüle edilmiş ve goal chasing algoritması, Tabu arama ve dinamik programlama algoritmaları problemi çözmek için geliştirilmiştir. Problemin amaç fonksiyonu parça kullanım oranları ve iş yükünün düzgünleştirilme hedeflerinin ağırlıklı ortalamasıdır. İki sezgisel ve bir optimizasyon algoritmalarının etkinliğini ölçmek için yedi sayısal örnek çözülmüştür. Sonuçlar değerlendirildiğinde dinamik programlama tabanlı optimizasyon algoritması sadece çok küçük boyutlu problemler için pratiktir. Tabu arama en etkin sonucu vermekte,goal chasing algoritması da bilgisayar işlem zamanı açısından büyük avantaj sergilemektedir.

Wieslaw Kubiak döngüsel tam zamanında üretim sıralamaları optimal olduğunu yaptığı çalışmada ispatlamıştır [15]. Çalışmada ispatlanan durum eğer β ,talepleri $d_1, \dots, d_i, \dots, d_n$ için optimal bir optimal sıralama ise β_m , β 'nin m kopyası da $md_1, \dots, md_i, \dots, md_n$ için de optimal bir çizelgedir. "m" değeri talep değerlerinin OBEB'idir. Buna göre optimal TZÜ çizelgelerinin döngüsel olduğu ispatlanmıştır. Sonuçlar uzun zaman ufkuna sahip çizelgeler üretmek yerine tekrarlayan görece daha kısa sıralamalar üretilmesinin yeterli olacağını desteklemek açısından önemli bir teorik çalışmadır. Ayrıca çalışmanın tüm mevcut algoritmaların bilgisayar işlem zamanını düşürmek

gibi önemli sonuçları vardır. Optimal TZÜ çizelgeleri $O(T3)$ zaman kompleksitesine sahipken bu süre önemli ölçüde düşmektedir.

Parça kullanım değişkenliğini azaltmak için değiştirilmiş iki aşamalı bir metot ve karmaşık model sıralamada ürün seviyesi ve parça seviyesi çözümlerinin karşılaştırılması çalışması Jin Zhu, Fong-Yuen Ding tarafından yapılmıştır [16]. Karmaşık modellenli sıralama problemi için iki aşamalı parça seviyesinde değişkenliği azaltmaya yönelik problem ürün seviyesi şeklinde modifiye edilmiştir. Geliştirme mevcut tek aşamalı parça seviyesi değişkenliğinin basitleştirilmesi, iki aşamalı parça seviyesi değişkenliğinin basitleştirilmesi ve çeşitli modeller için ürün yapısını gösteren ilişki matrisinin kullanılması şeklinde yapılmıştır. Modifikasyonun Bautista (1996)'ninkine eşdeğer olduğu gösterilebilir fakat iki aşamalı değişkenlik minimizasyonunu daha kısa bilgisayar işlem zamanı ile sağlamaktadır ve ürün-karışımı değişikliklerinden bağımsız olan ilişki matrisleri içerir. Bilgisayar işlem zamanları göstermektedir ki büyük problemler için modifiye edilmiş iki seviyeli algoritma genellikle tek aşamalı algoritmalarından standart sapma bazında ve çözüm kalitesi açısından daha iyi performans göstermektedir. İlişki matrisini ve normalize edilmiş standart sapmaları baz alarak ürün seviyesi ve parça seviyesi tabanlı sıralama problemleri genellikle eşdeğerdir.

Çok amaçlı tam zamanında üretim sıralama problemi için karınca kolonisi optimizasyonu yaklaşımı Patrick McMullen tarafından incelenmiştir [17]. Bu çalışma iki amacın söz konusu olduğu üretim sıralama probleminde görece yeni bir yaklaşım olan karınca kolonisi optimizasyonunu kullanır. Bu iki amaç hazırlık sayılarının minimizasyonu ve parça kullanım oranının kararlılığının optimizasyonudur. Bu tip problem NP-zor tiptedir, dolayısı ile tamsayı programlama ve doğrusal programlama ve bu tip yöntemler pratik bir opsiyon değildir. Bu zorluklar nedeni ile en az bilgisayar işlem ihtiyacı ve yeterli çözümler üretebilmesi nedeni ile bu yaklaşım kullanılabilir. Karınca kolonisi optimizasyonu ile elde edilen çözümler tavlama benzetimi, tabu arama,

genetik algoritma ve sinir ağıları gibi diğer sezgiseller ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar da bu yöntemin diğer sezgiseller ile performans ve bilgisayar işlem zamanı açısından baş edebilir düzeyde olduğunu göstermektedir. Hazırlık zamanlarının ihmal edilmediği TZÜ sıralama problemi 6 karınca kolonisi sezgiseli (KKS) stratejisi ile uygulanmıştır. Haritalama yaklaşımı ve bu sosyal böceklerin yiyecek ihtiyacı davranış şekillerinin simülasyonu ile altı stratejinin ikisinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu 2 strateji (KKO-1 ve KKO-2) performans ve CPU ihtiyacı açısından etkin sonuçlar üretmiştir. Tavlama benzetimi ve Tabu arama yaklaşımlarının performans bazında daha etkin çözümler üretmesine rağmen yazar KKO-1 ve KKO-2 stratejilerini bunlarla baş edebilir olarak görmekte. Ayrıca, karınca kolonisi optimizasyonu henüz yeni bir alan olduğu için bu alanda yeni gelişmeler bu yöntemin genel performansını zamanla daha da arttıracaktır.

Bu çalışmada karmaşık ürün tiplerinin sıralanması probleminin McMullen'in öne sürdüğü problemin boyutsallaştırılması tekniği ile gezgin satıcı problemine benzer bir yapıya kavuşturma çalışması temel alınmıştır. Dördüncü bölümde ele alınan problemin çözümünde kullanılan çözüm yaklaşımları detaylı olarak verilecektir.

4. ÇÖZÜM YAKLAŞIMI

Aynı anda hem istenen hazırlık sayısını hem istenen malzeme kullanım oranlarını sağlayan imalat sıralamaları bulmak NP-zor tipteki kombinatoryal problem çözme tekniklerine başvurmayı gerektirir.

Bu problemde birbiri ile çelişen iki amaç vardır. İki amaç birbiri ile ters ilişkilidir ve problem NP-zor yapıdadır. Çaba harcanması gereken konu makul CPU zamanları dahilinde hem ihtiyaç duyulan hazırlık sayısını hem kullanım oranını sağlayan çözümler bulmaktır. Arama sezgiselleri bu tip bir problemi çözmede kullanılabilir. Karınca kolonisi sezgiseli (KKS) bu çalışmada problem çözümü için kullanılacak olan yöntemdir. KKS sosyal böceklerin davranış şekillerini, bazı karmaşık görevleri gerçekleştirmek için benzetimini yapan bir yapay zeka prosedürüdür.

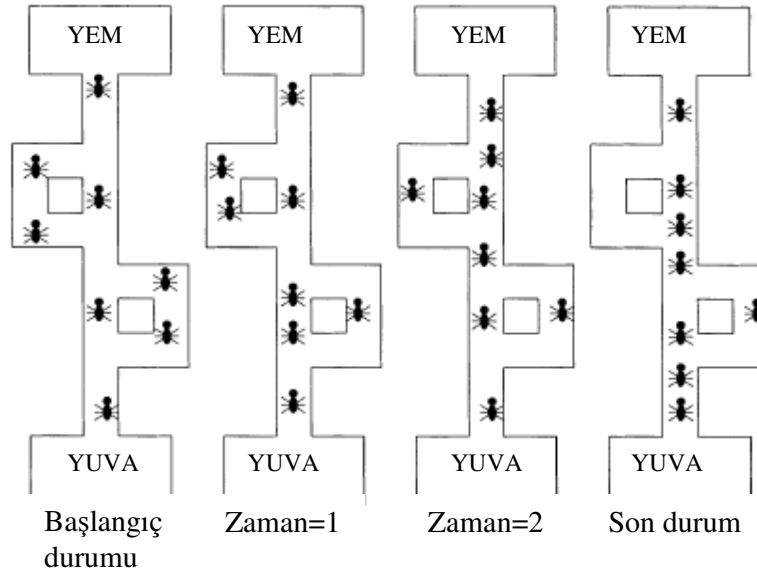
KKS daha geniş bir alan olan böcek sürüsü zekasının (swarm intelligence) bir dalıdır. Böcek sürüsü zekası termit, karınca, arı gibi sosyal böceklerin davranışlarının benzetimidir. Bu davranış benzetimi tekniğinin ortaya çıkma nedeni; sistemlerin optimizasyonu ve kendi kendine organizasyonu, öğrenme becerisi nedeni ile bilim adamlarının böceklerin benzetimini yapmaya yönelmesidir. Daha spesifik olarak KKS karıncaların yemek aramada, buldukları yiyeceği tekrar yuvaya getirmede gösterdikleri kolektif iletişim ve hareket şekillerinin benzetimini yapar. Tek bir karınca kısıtlı görme yeteneğine ve iletişim yeteneğine sahiptir. Fakat geniş bir grup karınca, yiyecek toplamak, iş bölümü gibi karmaşık görevleri gerçekleştirebilir [17].

4. 1. Karıncaların Beslenme Alışkanlıkları ve Optimizasyon

Gurubun etkinliğini sağlayan karıncaların hareketleri esnasında yaydıkları feromon denilen kimyasal maddedir. Feromon karıncaların birbirleri ile iletişim kurması yeteneğini sağlar. Karıncalar esas olarak rastsal hareket

eder fakat bir feromon hattına rastladıklarında bu hattı izleyip izlemeyeceklerine karar verirler. Eğer izlemeye karar verirlerse kendi feromonlarını da aynı hatta bırakırlar ve bu da o hattaki feromon miktarını artırır. Bir karıncanın bir hat yerine diğerini seçmesini belirleyen potansiyel hat üzerindeki feromon miktarıdır. Feromon nedeni ile daha çok ziyaret edilen hatlar karıncalar için daha çekici olmaktadır. Daha az ziyaret edilenler daha az çekici olmaktadır.

Zamanla hat üzerindeki feromon buharlaşır. En çok tercih edilen feromon hatları oluşmadan önce başlangıçta karıncalar tüm potansiyel yolları eşit sayıda kullanarak, yol aldıkça feromon yayacaklardır. Fakat en kısa yolu bulan karınca ilk önce yiyeceğe ulaşacak ve ilk olarak yuvaya dönecektir. En kısa hat en çok feromon barındıracaktır çünkü hat taze feromon (henüz buharlaşmamış) içermektedir ve diğer karıncalara daha cazip gelecektir [17].



Şekil 4. 1 Feromon hatları-karıncalar en popüler hatlara yönelir [17].

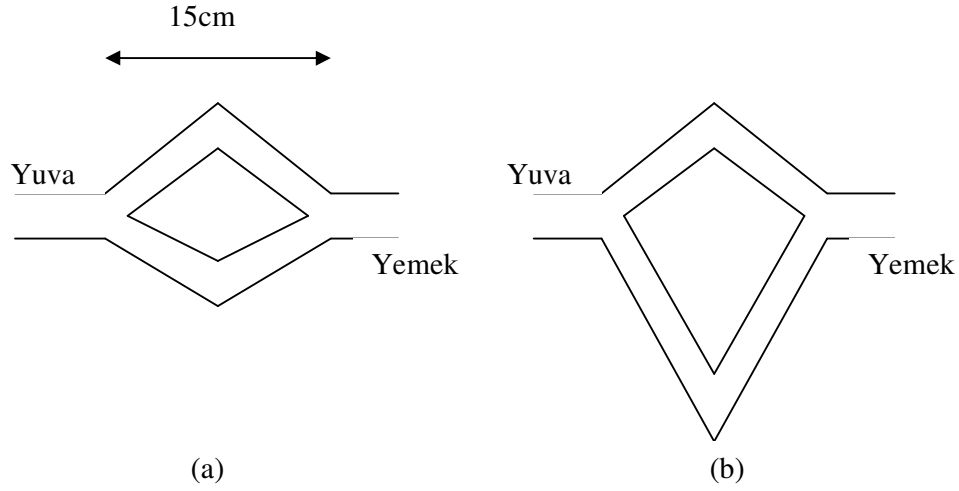
Yuva ve yiyecek arasındaki hatların üzerindeki karıncaların dağılımının zamanla değişimi şekil 4.1.'deki gibidir. Başlangıçta karıncalar eşit dağılmışken zamanla daha kısa hattı seçmekteler.

Yine de her zaman bir karıncanın yoğun feromonlu bir hattı seçmeme olasılığı vardır. Bu olasılık (küçük olsa da) diğer hatların bulunmasını sağlayabilir. Bu da yeni yiyecek yolları, alternatif hatlar, daha kısa hatlar bulmasını sağlayabilir. Feromon hattındaki feromon zamanla buharlaşacağı için uzun hatlarda feromon miktarı daha az olacak, çünkü bu hatlardan gitmek daha uzun zaman alacaktır. Bu nedenle uzun hatlar daha az caziptir [17].

4. 2 Çift Köprü Deneyleri

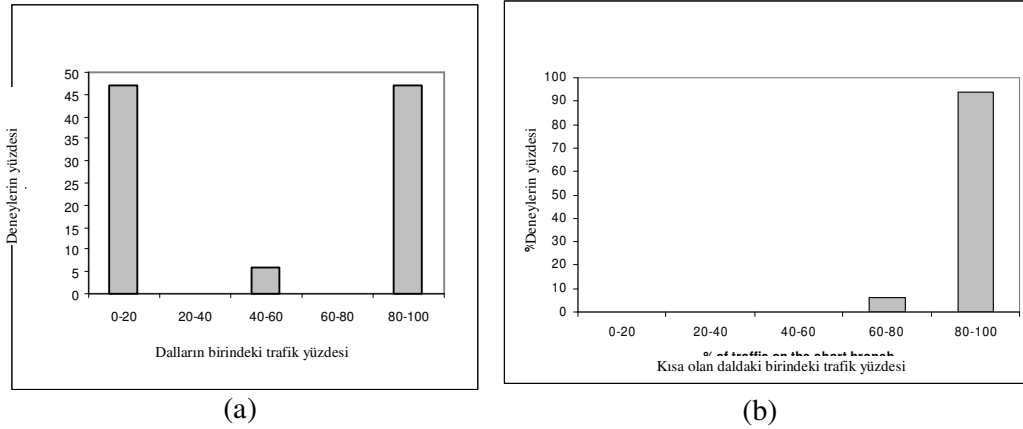
Bir çok karınca türünün beslenme davranışları(*Linepithema Humile* ve *Lasius Niger*) endirekt bir haberleşme olan feromonlar tarafından sağlanır[18].

Bazı karınca türlerinin feromon hattı oluşturma ve izleme davranışları bazı araştırmacılar tarafından kontrollü deneyler ile incelendi. Başarılı bir deney Deneubourg ve arkadaşları tarafından tasarlandı ve yürütüldü [5]. Deneubourg bir Arjantin karınca türü olan *I. humilis* ile yuvaları ve yiyecek kaynağı arasına iki köprü kurarak deneylerini gerçekleştirdi. Deneylerini değişik $r = l_l / l_s$ köprü uzunlukları arasındaki oranlar ile yürütmüşlerdir. l_l uzun dalı , l_s kısa dalı temsil etmektedir.



Şekil 4. 2. İki köprü deneyleri için deney tasarımı[19].

İlk deneyde köprü eşit uzunlukta iki daldan oluşmakta ($r = 1$). Başlangıçta karıncalar yuvadan yiyeceğe hareket etmekte serbest bırakıldı ve karıncaların dallardan hangilerini seçtikleri zamanla gözlemlendi. Deney çıktısı Şekil 4.3.(a)'daki gibi, başlangıç durumunda rastsal seçimler olsa da karıncalar sonuçta tek dalı kullanıyor.



Şekil 4.3. İki köprü deneyi sonuç istatistikleri [13].

(a)dallar eşit uzunlukta($r=1$) (b) dalların biri diğerinin iki katı uzunlukta($r=2$)

Sonuç şöyle açıklanabilir: deneme başladığında her iki dalda da feromon yoktur. Dolayısı ile karıncaların bir seçimleri yoktur ve dalları eşit olasılıklar ile seçerler. Rastsal dalgalanmalar nedeni ile birkaç karınca dallardan birini diğerine tercih eder. Karıncalar ilerledikçe feromon bıraktıkları için de daha fazla sayıda karınca bu dalda daha fazla feromon bırakacaktır, bu da daha çok karıncanın bu yolu seçmesine neden olur. Sonuçta karıncalar bu dalı diğerine tercih ederler.

İkinci deneyde iki dal arasındaki uzunluk oranı $r=2$ olarak belirlenmiştir. Bu durumda denemelerin büyük çoğunluğunda belirli bir zaman sonra karıncalar sadece kısa dalı seçmişlerdir. İlk deneyde olduğu gibi karıncalar yuvadan ayrılarak hangi dalı seçecekleri kararı noktasına gelmişlerdir. Her iki dal da aynı gözüküyordu için rastsal olarak seçimlerini yaparlar. Ortalama olarak beklenen her iki dalı da seçen karınca sayısının eşit olacağıdır fakat bu deneyde önceki deneyden belirgin bir fark vardır: dallardan biri diğerinden daha kısadır. Kısa dalı seçenler yiyeceğe ilk ulaşacaklardır ve yiyeceği alıp yuvaya dönmek üzere tekrar iki dal ile karşılaşır. Kısa yoldaki feromon daha baskın olacağı için de büyük çoğunluk kısa yolu seçecektir. Kısa yoldaki feromon miktarı böylece gittikçe artacak ve Şekil 4.3. (b)'deki gibi karıncalar bu yolu kullanmaya başlayacaklardır [13].

4 .3 KKS ve Gezgin Satıcı Problemi(GSP)

Karıncaların bu bahsedilen yiyecek arama yöntemleri gezgin satıcı problemi (GSP) ile güçlü şekilde ilişkilidir. Çünkü GSP bir ağdaki en etken rotayı bulmayı amaçlar. Bu güçlü bağ önceden bahsedilen amaç fonksiyonlarını optimize edecek üretim sıralamaları oluşturmada kullanılacaktır.

GSP, n tane şehir verildiğinde yapay gezgin satıcının her bir şehri bir kez ziyaret etmek şartı ile en kısa uzunlukta bir tur oluşturma problemi olarak tanımlanabilir. i . ve j . şehirler arasındaki yolun uzunluğu d_{ij} olarak

tanımlansın. Euclidean gezgin satıcı problemi durumunda d_{ij} , i ve j şehirleri arasındaki euclidean mesafedir. Yani:

$$d_{ij} = \left[(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \right]^{1/2} \quad (4.1)$$

GSP probleminin herhangi bir durumu ağırlıklandırılmış bir graf (N,E) ile tanımlanabilir. Burada N , şehirler seti ve E ise mesafeler ile ağırlıklandırılmış şehirler arasındaki bağlantılar setidir. m , kolondaki toplam karınca sayısını gösterirse ve t anındaki i . şehirde bulunan karıncaların sayısı $b_i(t)$ ($i=1,2,\dots,n$) ile verilirse bu durumda bu iki büyüklük arasındaki ilişki için

$$m = \sum_{i=1}^n b_i(t) \quad (4.2)$$

bağıntısı yazılabilir.

İlave olarak her karıncanın aşağıdaki özelliklere sahip bir bireyi temsil ettiği kabul edilsin:

- i şehrinden j şehrine giderken (i,j) hattına bir miktar feromon maddesi bıraksın
- Gideceği şehri, o hatta mevcut olan feromon maddesi miktarı ile iki şehir arasındaki mesafenin fonksiyonu olan bir olasılıkla seçsin
- Karıncalar, şartları sağlayan turu gerçekleştirebilmeleri için zorlanmalıdır. Bunun için ziyaret edilmiş şehirlerin tekrar ziyaret edilmesi yasaklanarak tur tamamlansın.

$\tau_{ij}(t)$, t anında i ve j şehirleri arasındaki (i,j) hattında depolanan feromon maddesi miktarını gösterirse $t+1$ anındaki feromon maddesi “Eş. 4.3” ile tanımlanabilir.

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij}(t, t+1) \quad (4.3)$$

Burada ρ buharlaşma katsayısı olarak tanımlanan bir parametredir ve feromon maddesinin sınırsız şekilde büyümesini önlemek için birden küçük pozitif bir değere set edilmektedir. $(1-\rho)$ faktörü ise feromon maddesinin buharlaşan oranını belirlemektedir. Birim zamanda, (i,j) hattına bırakılan feromon maddesi miktarı ise

$$\Delta \tau_{ij}(t, t+1) = \sum_{k=1}^n \Delta \tau_{ij}^k(t, t+1) \quad (4.4)$$

olarak tanımlanabilir ve burada $\Delta \tau_{ij}^k(t, t+1)$, t ve $t+1$ zaman aralığında k karınca tarafından (i,j) şehir hattına bırakılan feromon maddesinin birim uzunluk başına miktarıdır.

Bir karıncanın n farklı şehir(n şehirli tur) ziyaret etmesi şartını sağlaması amacı ile her karıncaya bir veri yapısı atanır (tabu listesi). Böylece karınca t anına kadar ziyaret etmiş olduğu şehirleri hafızaya alır ve tur tamamlanıncaya kadar bu şehirlerin tekrar ziyaret edilmesi önlenir. Tur tamamlandığında Tabu listesi boşaltılır ve bu karınca yolunu seçmek için tekrar serbest kalır. k , karıncanın tabu listesini ihtiva eden bir vektör, tabu_k tanımlanır ve $\text{tabu}_k(s)$, k . karıncanın tabu listesindeki s . elemanını yani karınca tarafından ziyaret edilmiş s . şehri göstermektedir.

Seçilebilirlik parametresi olarak adlandırılan $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ şeklinde tanımlandıktan sonra k . karıncanın i . şehirden j . şehre geçiş olasılığı aşağıdaki eşitlik ile tanımlanır;

$$P_{ij}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta} \quad \text{eğer } j \in \text{izin verilen değerler}$$

0

aksi taktirde

(4.5)

Burada izin verilen şehir: $j \notin \text{tabu}_k$ anlamındadır ve α ile β parametreleri kullanıcıya, olasılık değerini hesaplarken yapay feromon maddesi ile seçilebilirlik arasında nispi önemi belirleme imkanı vermektedir. Bundan dolayı geçiş olasılığı, seçilebilirlik değeri ve koku maddesi miktarı arasında bir uzlaşmayı tayin eder. Yani seçilebilirlik yakın şehirlerin daha yüksek ihtimal ile seçilmesini teşvik ederek bir açgözlü (greedy) sezgisel kural tanımlarken koku maddesi miktarı ise bir hatta daha fazla trafik varsa bu hattın daha çok tercih edilmesi gerektiğini belirtir. Bu şekilde koku maddesi oto-katalitik bir işleme sebep olmaktadır [20].

4.4 Amaç Fonksiyonları

Çok amaçlı problem için şu değişkenler tanımlanmıştır: S , sıralamda ihtiyaç duyulan hazırlık sayısı, U sıralamanın kullanım oranı, X_{ik} sıralamadaki k . pozisyonundaki i ürününün sayısı, s_k hazırlık indikatörü – eğer k pozisyonundaki ürün $\neq k-1$ pozisyonundaki ürün, $s_k = 1$, değilse $s_k = 0$, d_i i ürününün talebi, sıralamadaki ürünleri sayısı, D_t ise tüm ürünlerin talepleri toplamıdır.

Sıralamadaki tüm ürünlerin talepleri toplamı:

$$D_t = \sum_{i=1}^n d_i \quad (4.6)$$

Sıralamadaki hazırlık sayısının hesaplaması şu eşitlik ile yapılır:

$$S = 1 + \sum_{k=1}^{D_r} s_k \quad (4.7)$$

doğal olarak düşük S değerleri tercih edilir. Kullanım oranı, Miltenburg tarafından sunulan parça kullanım oranının kararlılığının ölçütü, şu şekilde hesaplanır [21]:

$$U = \sum_{k=1}^{D_r} \sum_{i=1}^n \left(x_{ik} - k \frac{d_i}{D_r} \right)^2 \quad (4. 8)$$

daha düşük kullanım oranları tercih edilir, malzeme kullanımında daha kararlı olduğunun göstergesidir[17].

4.5 Etkin Sınır

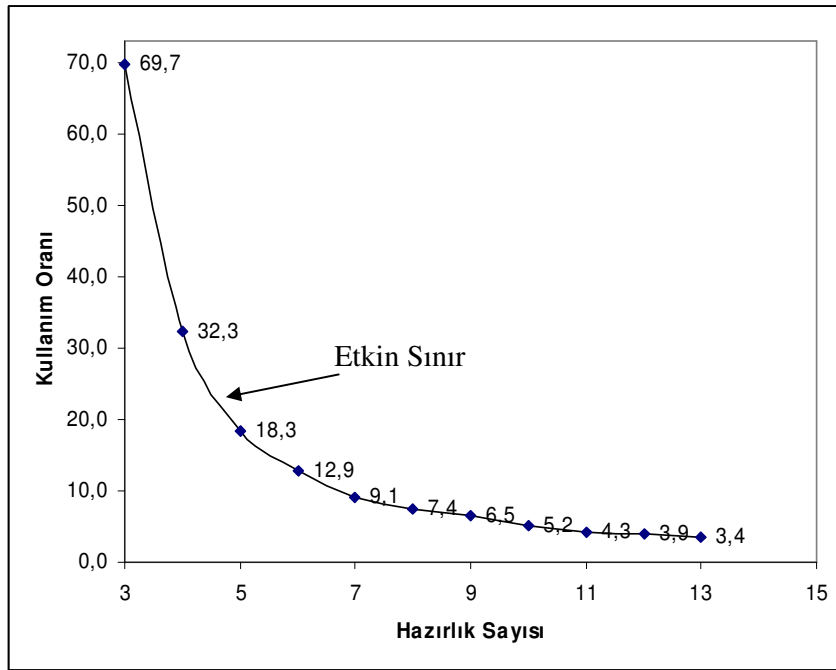
İlgilenilen iki farklı amaç olduğu için toplam performansı ölçebilmek için kullanılabilecek bir yöntem hem hazırlık sayısı hem kullanım oranı faktörlerinin ağırlıklarını belirlemek ve bileşik bir ölçüt oluşturmaktır. Fakat bu yöntem ağırlıklandırma ve ölçme konuları nedeni ile kullanılmamıştır. Bunun yerine etkin sınır yaklaşımı kullanılmıştır. Etkin sınır yöntemi genel ekonomi prensiplerindeki noktalardan oluşan bir topluluk birlikte diğerlerine baskındır, prensibine benzerdir. Burada noktalar, sıralamadaki hazırlık ihtiyacı ve kullanım oranlarının kombinasyonudur. Bir nokta (sıralama) eğer kullanım oranı ilgili hazırlık sayısı ihtiyacı için en küçük ise bu nokta etkindir. Aksi halde, nokta etkisizdir veya ihtiyaç duyulan hazırlık sayısı için etkin sıralama tarafından etkisiz kılınmıştır.

Örnek olarak üç ayrı ürün üretiliyor olsun($n=3$) ve bu ürünlerin talepleri $d_1=6$ $d_2=4$ $d_3=3$ olsun. Mümkün sıralamalardan biri BBBBAAAAACCC olabilir. “Eş. 3. 7” ile ihtiyaç duyulan hazırlık sayısı üçtür ($S=3$). “Eş. 3. 8” ile bu sıralamanın kullanım oranı 69. 7’dir($U=69. 7$). Diğer bir mümkün sıralama ABCABACABACBA ‘dır. Bu sıralamanın 13 hazırlık ihtiyacı vardır ($S=13$) ve ilgili kullanım oranı 3. 4’tür ($U=3. 4$).

Bu rakamlar incelendiğinde ihtiyaç duyulan hazırlık sayısı ile kullanım oranı arasında belirgin bir ters ilişki vardır. İlk sıralama daha düşük hazırlık ve daha yüksek kullanım oranına sahipken ikinci sıralama daha düşük kullanım oranı, daha yüksek hazırlık ihtiyacı gerektirir. Bu ters ilişki bu tür iki amaçlı

problemlerde tipiktir. Bu ters ilişki sonunda etkin olan yaklaşım karar vericiye her ihtiyaç duyulan hazırlık sayısı için en düşük kullanım oranı veren sıralamalar bulma şansı verir.

Örnek problem için etkin alan, tüm mümkün sıralamaların belirlenip her birinin en düşük kullanım oranlarının ve her birinin hazırlık sayısının hesaplanması ile oluşturulur. Bu problem için etkin alan çizimi şöyledir:



Şekil 4.4. Örnek problem için etkin sınır – rakamlar belirtilen hazırlık sayısı için kullanım oranlarını gösterir [17].

Bu örneğin oldukça basit bir problem olduğunu, endüstriyel ölçütte bir problemin sıralanması gereken 13'ten fazla biriminin olacağını hatırlatmak gerekir [17].

4. 6 Kombinatoryal Karmaşıklık

Bu tip problem için mümkün sıralama sayısı şu şekilde hesaplanabilir:

$$\text{Mümkün Sıralama Sayısı} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n d_i \right)!}{\prod_{i=1}^n (d_i!)} \quad (4.9)$$

Bu örnek problem için mümkün sıra sayısı 60 060'dır.

$$\frac{(6+4+3)!}{(6!)(4!)(3!)} = 60\ 060$$

Eğer her ürün için talep bir adet arttırılısaydı ($d_1=7$, $d_2=5$, $d_3=4$) toplam mümkün sıralama sayısı 1 141 440 olacaktı. Bu nedenle endüstriyel sistemlerde ortaya çıkan problemleri çözmek için optimal sınırları belirlemek oldukça zordur. Sonuç olarak karar vericiler gerekli CPU kaynağını makul bir seviyeye çekmek için kabul edilebilir veya optimale yakın sonuçlar bulmalıdır. Arama sezgiselleri bu tip bir imkan sağlar. Tavlama benzetimi, tabu araştırma, genetik algoritma, KKS algoritmaları NP-zor problemlere optimale yakın sonuçlar sağlarken göreceli olarak hesaplama zorluklarını azaltmaktadır [17].

4.7. Çok Amaçlı TZÜ Sıralama İçin Karınca Kolonisi Optimizasyonu Sezgiselinde Problemin Boyutsallaştırılması

İstenilen seviyede hazırlık sayılarını ve kullanım oranlarını sağlayacak üretim sıralamalarını bulabilmek için gezgin satıcı problemi yaklaşımı, problem verileri boyutsal veriye dönüştürerek uygulanabilir. Uzaydaki her bir nokta sıralamaya girecek bir üründür. Boyutsal sistemdeki rotalar bir üretim sıralaması haline gelir.

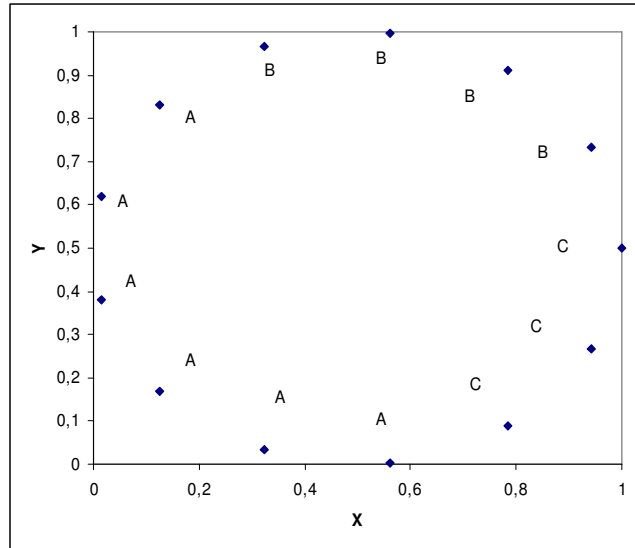
Spesifik olarak, altı farklı boyutsal yaklaşım incelenmiştir ve her biri istenen üretim sırasına ulaşmak için farklı bir strateji sunar. Her boyutsal strateji iki boyutlu veya üç boyutludur, ve minimumları 0 maksimumları 1'dir. Bazı

stratejiler en az hazırlık stratejisi , bazıları en az kullanım oranları , diğerleri de her ikisini de gerçekleştirebilecek sıralamalar oluşturmayı amaçlar [17].

Çizelge 4. 1. Sıralama problemleri için boyutsallaştırma stratejileri (Not: i notasyonu 1 ile başlayan D_T ile biten bir değerdir) [17].

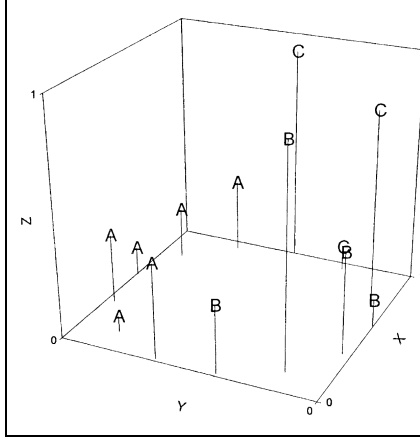
strateji	x-ekseni	y-ekseni	z-ekseni	amaç
KKO1	$0,5+0,5\cos(360(i/D_T))$	$0,5+0,5\sin(360(i/D_T))$	yok	en düşük hazırlık sayısı
KKO2	$0,5+0,5\cos(360(i/D_T))$	$0,5+0,5\sin(360(i/D_T))$	rastsal	hazırlık sayısı/her iki amaç
KKO3	rastsal	rastsal	yok	?
KKO4	$0,5+0,5\cos(360(i/D_T))$	$0,5+0,5\sin(360(i/D_T))$	yok	en düşük kullanım oranı
KKO5	$0,5+0,5\cos(360(i/D_T))$	$0,5+0,5\sin(360(i/D_T))$	yok	her iki amaç
KKO6	$0,5+0,5\cos(360(i/D_T))$	$0,5+0,5\sin(360(i/D_T))$	rastsal	kullanım oranı/her iki amaç

KKO1 stratejisi düşük hazırlık sayısı gerektiren sıralamaları oluşturmayı amaçlar. Çizelge 4.1.'de x ve y eksenlerinin trigonometrik fonksiyonlarında bölüm 4.5.'deki örnek veriler yerine konulduğunda elde edilen boyutsal gösterim yer almaktadır.



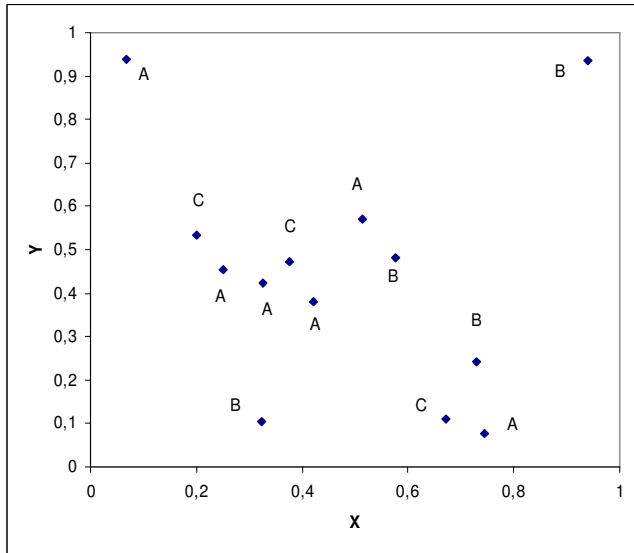
Şekil 4. 5. Örnek problem için KKO1 stratejisi.

KKO2 aynı amaca üçüncü ve rastsal üretilen bir komponent ekleyerek aynı zamanda en düşük kullanım oranlarını sağlayan sıralamalar elde etmeye çalışır ve bu stratejinin boyutsal gösterimi şekil 4.6.'da görülebilir.



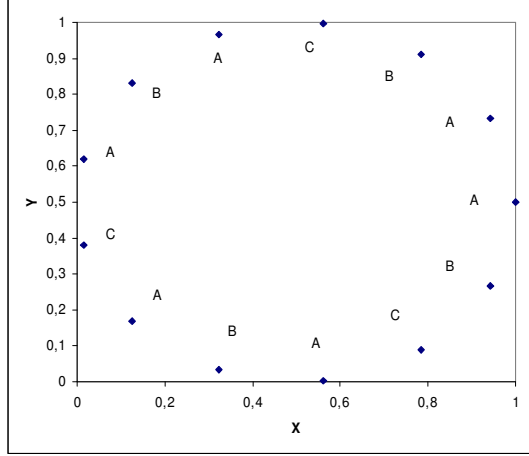
Şekil 4. 6. Örnek problem için KKO2 stratejisi.

KKO3 stratejisi iki rastsal bileşen oluşturarak hazırlık sayısı ve kullanım oranının ikisini birden sağlamasını amaçlar. Bu stratejinin boyutsal gösterimi şekil 4.7.'de gösterilmiştir.



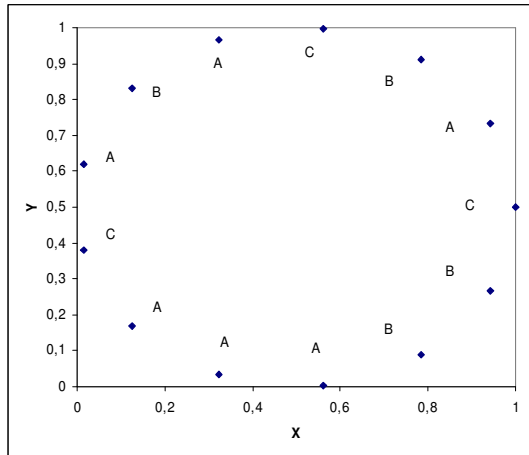
Şekil 4. 7. Örnek problem için KKO3 stratejisi.

KKO4 stratejisi KKO1 stratejisine benzerdir, farklı olarak en düşük kullanım oranı minimum hazırlık yerine tercih edilir. KKO4 stratejisinin boyutsal gösterimi şekil 4.8.'de verilmiştir.



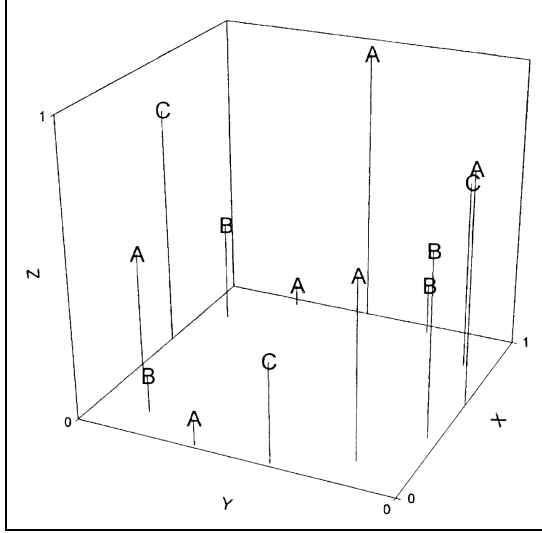
Şekil 4. 8. Örnek problem için KKO4 stratejisi.

KKO5 ise hem istenen hazırlık sayılarını hem kullanım oranlarını elde etmeye yönelik bir stratejidir. Burada en düşük kullanım oranı sıralamanın ilk %50'si için tercih edilirken geri kalan %50 ise en küçük hazırlıklar tercih edilir. KKO5 stratejisinin boyutsal gösterimi şekil 4.9.'da verilmiştir.



Şekil 4. 9. Örnek problem için KKO5 stratejisi.

KKO6, KKO2 ile benzerdir fakat en düşük kullanım oranları rastsal üretilen üçüncü bir bileşen ile tercih edilmektedir. KKO5 stratejisinin boyutsal gösterimi örnek problem için şekil 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4. 10. Örnek problem için KKO6 stratejisi.

4. 8. Karınca Kolonisi Sezgiseli

Sıralamadaki her birim uzayda bir nokta olarak gösterildiği daha önce belirtilmişti. Bu boyutsal gösterimde , nokta çiftleri arasındaki uzaklıklardan oluşan bir uzaklık matrisi hesaplanır. Boyutsal gösterimde iki düğüm noktası olan r ve u noktaları arasındaki uzaklık $\delta(r, u)$ olarak gösterilir ve şöyle hesaplanır:

$$\delta(r, u) = \sqrt{\sum_{i=1}^h (y_{r,i} - y_{u,i})^2} \quad (4. 10)$$

Burada $y_{r,i}$ ve $y_{u,i}$, r ve u düğümlerinin koordinatlarını h ise boyut sayısını gösterir. Bu durumda h sadece 2 veya 3 olabilir. Ek olarak şu değişkenler tanımlanmıştır:

$\tau(r, u) = r$ ve u düğümleri arasındaki feromon miktarı

M_k = Sıralamaya dahil edilmiş düğümlerin kümesi

β = düğümler arası yakınlığın göreceli öneminin ağırlıklandırma parametresidir

α = Güncelleme parametresidir

ants= araştırmada kullanılan karınca sayısı

$P_k(r, s)$ = Bir karıncanın r den s düğümüne hareket etme olasılığıdır.

Tüm parametreler belirlenir β ve α değerleri seçilir ants değeri belirlenir. Tüm düğüm bağlantıları için feromon miktarı $(\tau_0(r, u))$ belirlenir. $(\tau_0(r, u))$, başlangıç L_0 turunun uzunluğu ve sistemdeki düğüm sayısının(D_T) aşağıdaki eşitlikte konulması ile hesaplanır;

$$\tau(r, u) = (D_T \cdot L_0)^{-1} \quad (4. 11)$$

L_0 =”en yakın komşu (nearest neighborhood) sezgiseli” ile belirlenen başlangıç turunun uzunluğudur.

Her karınca turuna başladığında tura dahil olan düğümlerin kümesi boştur. Bir karıncanın r düğümünden s düğümüne hareket etme olasılığı;

$$\rho_k(r, s) = \frac{\tau(r, s)\delta(r, s)^{-\beta}}{\sum_{u \notin M_k} \tau(r, s)\delta(r, s)^{-\beta}} \quad \text{eğer } s \notin M_k ; \text{ yoksa } 0 \quad (4. 12)$$

Seçilen düğüm daha sonra ziyaret edilen düğümler kümesi M_k 'a dahil edilir. Feromon hattının lokal güncellemesinin yapılma nedeni 1) çeşitli hat bağlantılarını baskın olmasını engellemek, 2) feromon hattındaki

buharlaşmayı sağlamaktır. Eğer s düğümünün r düğümünü izleyeceği belirlenirse yerel güncelleme bu ilişki ile yapılır:

$$\tau(r, s) = (1 - \alpha)\tau(r, s) + \alpha\tau_0(r, s) \quad (4.13)$$

Tek turunu tamamlayan her bir karınca bir üretim sıralaması oluşturmuş olur. Bu sıralamanın euclidean uzaklığı L 'dir. Eğer bulunan L değeri daha önce bulunmuş olan en düşük L değerinden düşükse aşağıdaki ilişkiye göre global güncelleme tüm bağlantılara uygulanır.

$$\tau(r, s) = (1 - \alpha)\tau(r, s) + \alpha L^{-1} \quad (4.14)$$

Global güncelleme bu daha kısa turların oluşması olasılığını güçlendirir. Kısacası, yerel feromon güncellemesi alternatif çözümlerin üretilmesini (optimale yakın çözümler oluşturmasını) sağlarken, global güncelleme en umut verici çözümlerin araştırılmasını sağlar.

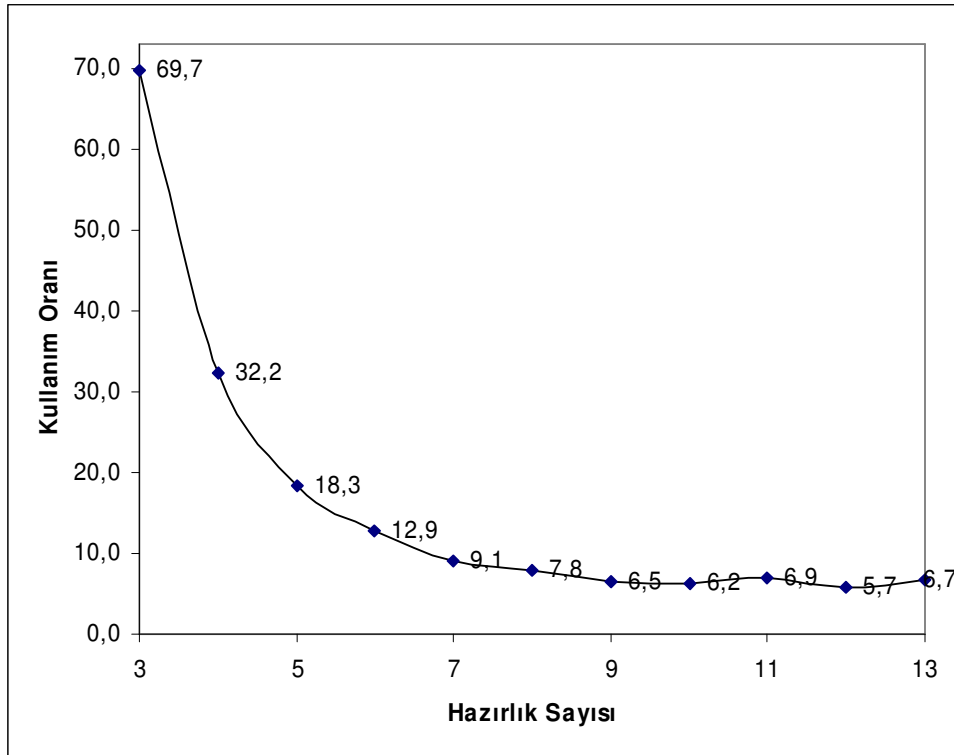
Belirtildiği gibi turu tamamlayan her bir karınca bir sıralama oluşturur. Her sıralama ile hazırlık sayısı (S) ve kullanım oranı (U), “Eş. 4. 7” ve “Eş. 4. 8” ile hesaplanır. Eğer ilgili hazırlık sayısı için kullanım oranı, o ana kadar elde edilmiş olan ilgili hazırlık sayısı için kullanım oranından daha düşükse, yeni bulunan hazırlık sayısı için çıkan kullanım oranı yerini etkin sınırdan alır. Matematiksel olarak şöyle gösterilir :

$$\text{Eğer } U(S) < U_{\text{Best}}(S) \text{ ise } U_{\text{Best}}(S) = U(S) \quad (4.15)$$

Burada $U(S)$, S hazırlık için mevcut sıralamanın kullanım oranıdır. $U_{\text{Best}}(S)$ ise S hazırlık için şimdiye kadar elde edilmiş en düşük kullanım oranıdır. Toplam ants kadar karıncanın benzetimi yapıldıktan sonra araştırma prosesi tamamlanır. Etkin sınır oluşturulur.

4. 9. KKO Sezgiselinin Uygulanması

Şekil 4.11. bölüm 4.5.'de verilmiş örnek problem için KKO1 sezgiseli uygulandığında elde edilen etkin ufku göstermektedir. Kullanılan parametrelerin değerleri $\alpha=0,1$ $\beta=2$ ve $\text{ants}=1000$ 'dir.



Şekil 4. 11. Örnek problem için KKO1 stratejisine göre etkin sınır.

Şekil 4.11.'in yakından incelenmesi ile iki sınır görülmektedir- alt sınır Şekil 4.4.'deki ile aynıdır. Üst sınır da yukarıda açıklanan KKO1 sezgiseli ile elde edilmiştir ve kullanım oranları çizelgelerde gösterilmiştir. 3 hazırlıktan 7 hazırlığa, ve 9 hazırlık için KKO1 sınırı optimal sınır ile özdeştir. 8 hazırlık için ve 10-13 hazırlık için KKO1 sınırı optimal sınırdan sapmış sonuçlar verir. Ortalama olarak sapma 0. 741%'dir, ve bu değer sınırdaki her pozisyondaki ortalama sapma yüzdesinin hesaplanması ile ulaşılmıştır. Bu performans ölçütü ortalama sapma olarak adlandırılır. Tek tek hesaplanan 60 060

çözümünden belirtilen hazırlık sayıları için 37'si KKO1 yaklaşımı ile elde edilen sonuçlara üstün gelmiştir. Bu, optimal sınır ile karşılaştırdığımızda KKO1 stratejisini 99. 9384üncü sapma yapmaktadır. Bu sapma performansını daha iyi açıklamak için her 1 000 000 çözümdeki (tek tek hesaplama ile) sapma , yukarıdaki problem için 616. 05 olur.

4.10. Geliştirilmiş KKS

Kullanım oranı hesaplamasında kullanılan “Eş. 4.8” formülü her modelin d_i talebinin, toplam talebe (D_T) oranına göre hesaplama yapar ve bu şekilde sıralamanın kullanım oranı, i modelinin üretim adetinin tüm üretim adetine oranına en yakın olacak şekilde hesaplanmış olur. Bu hesaplama yöntemi beklenen üretim ile gerçekleşen üretim arasındaki sapmanın en küçüklenmesini amaçlar.

Kullanım oranının talep oranına göre hesaplanması her modele kullanılan parça sayısının birbirine çok yakın olduğu durumlarda ya da ihmal edilebildiği durumlarda işlem sayısının az olması nedeni ile tercih edilebilecek bir yöntemdir.

Fakat uygulama bölümünde belirtilen problemdeki gibi modeller arasındaki kullanılan parça sayıları ihmal edilemeyecek düzeyde farklılık gösteren montaj hatlarında kullanım oranının talep oranına göre değil her modele kullanılan parçanın oranına göre hesaplanması tercih edilebilecek bir yöntemdir.

Bu yöntemde üretilen modeller için darboğaz olan proseslerdeki parça kullanımları dikkate alınarak gerçekçi sıralamalar elde edilebilir. Örnek olarak bir van tipi ticari araçta sadece sürücü ve yolcu koltuğu bulunurken, kombi tipi bir araçta ortalama 8 koltuk bulunur, buna karşın jumbo tipi bir araçta 18 koltuk bulunur. Bunun gibi ürün tipine göre oldukça değişkenlik gösteren

parçalara göre prosesler için ortalama kullanım oranına en yakın şekilde sıralamalar oluşturarak montaj hattında arka arkaya jumbo tipi araçların gelmesinin önüne geçilebilir. Aksi halde konveyör tipli montaj hattında koltuğun takılması prosesini gerçekleştiren operatör arka arkaya jumbo modelinden araç hatta iken koltuk takma prosesini her jumboya 18 koltuk kullanıldığı için yetiştiremeyecek ve hat durdurma ipini çekerek üretim konveyörünü durduracaktır. Buna rağmen van tipi araçlar üretim hattında arka arkaya geldiğinde operatör sadece sürücü ve yolcu koltuğu takacağı için hat hızından çok daha kısa bir sürede prosesini bitirecek ve kalan zamanı atıl olarak bekleyecektir.

Bu nedenle Toyota'da kullanılmış olan amaç kovalama tekniği kullanılabilir [5]. Bu teknikte her modelde hangi parçadan kaç adet kullanıldığı bilgisi amaç fonksiyonunda yer alır. Monden'in bu amaçla oluşturduğu amaç fonksiyonu :

$$D_k = \|G_k - P_k\| = \sqrt{\sum_{j=1}^{\beta} \left(\frac{K * N_j}{Q} - X_{jk} \right)^2} \quad (4.16)$$

Bu formülde kullanılan notasyonlar

Q : Tüm A_i ($i=1, \dots, \alpha$) ürünlerinin toplam üretim adedi

$$Q = \sum_{i=1}^{\alpha} Q_i \quad (4.17)$$

N_j : Tüm A_i ürünlerini üretmek için a_i parçasından tüketilmesi gereken toplam gerekli miktar ($i=1, \dots, \alpha$) , ($j=1, \dots, \beta$)

X_{jk} : 1'den K'ye kadar olan tüm sıralardaki üretilecek ürünler için gerekli, ayarlanması gereken toplam a_j parça ihtiyacı

Bu notasyonlarla şu iki değer geliştirilebilir :

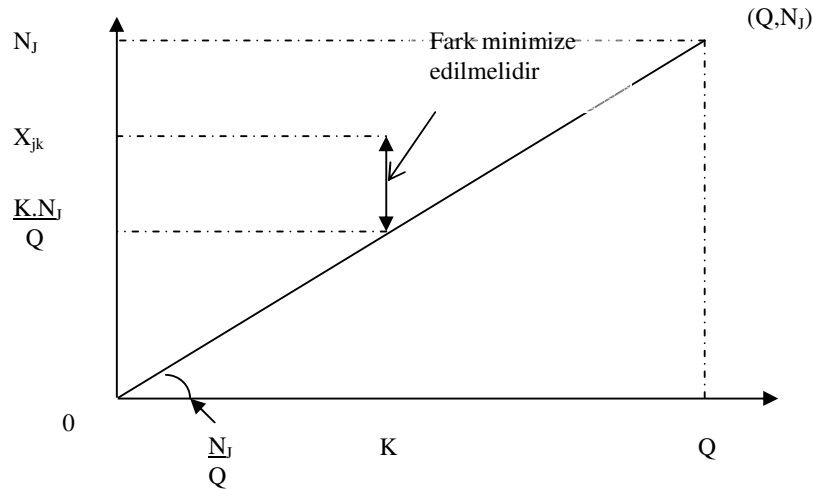
$\frac{N_j}{Q}$: Her ürün için gerekli ortalama a_j parçası miktarı

$\frac{K * N_j}{Q}$: K adet ürün için gerekli ortalama a_j parçası miktarı

$$G_k = \left\{ \frac{K * N_1}{Q}, \frac{K * N_2}{Q}, \dots, \frac{K * N_\beta}{Q} \right\}$$

$$P_k = \{X_{1k}, X_{2k}, \dots, X_{\beta k}\}$$

a_j parçasının üretim hızını sabit tutmak için , X_{jk} miktarını , $(K*N_j)/Q$ miktarına mümkün olduğunca yaklaştırılmalıdır. Tüketilecek her parçanın sabit tüketim hızından emin olmak için P_k noktası mümkün olduğunca G_k noktasına yakın olmalıdır ve aralarındaki mesafe D_k ile ifade edilir. Bu Toyota'nın sıralama algoritmasındaki temel amacdır. Şekil 4.12. bu ilişkiyi göstermektedir[5].



Şekil 4. 12. Parça kullanım oranı hesaplama.

Karınca kolonisi sezgiseli stratejileri ile üretilen sıralamaların performanslarını belirleyen iki ölçütten biri olan kullanım oranı hesaplamasında yukarıda detaylı olarak ifade edilen geliştirme yöntemi ile endüstriyel sistemlerde daha etkili sıralamaların seçilebilmesi sağlanmıştır.

5. ENDÜSTRİYEL BİR PROBLEM UYGULAMASI

Bu bölümde karınca kolonisi sezgiselinin performansını ölçmek için Delphi 7.0 programlama dili ile gerçek bir sistemdeki bir problem veri seti için bir program kodlanmış, performans istatistikleri ölçülmüş ve bu performans ölçütleri literatürdeki diğer bazı yöntemler ile karşılaştırılmıştır.

Uygulamada bir ticari araç üretim montaj hattında üretilen van, kombi ve jumbo olmak üzere 3 tip gövde olduğu varsayılmıştır. Ticari araçlarda alçak tavan, orta tavan, yüksek tavan, uzun şase, orta şase, kısa şase, çift kayar kapı, tek kayar kapı, kargo kapı,... gibi müşterinin kullanım amacına yönelik 20 000'in üzerinde gövde çeşidi vardır. Fakat esas olarak van, kombi ve jumbo bus olmak üzere bu 3 gövde tipi, bu gövde tiplerinin kendi içindeki parça kullanım oranlarının oldukça yakın olması nedeni ile problem için model sayısı olarak belirlenmiştir. Bu gövde tiplerinden van tipi gövde en düşük parça kullanım oranına, jumbo bus gövde ise en yüksek parça kullanım oranına sahiptir.

Üretilen üretim sıraları vardiyada 180 araç üretildiği varsayımına göre maksimum 180 araçlık sıralamalar oluşturulmaktadır. Bir vardiya 450 dakikadır.

5. 1 Karşılaştırma Ölçütleri ve Karşılaştırılan Algoritmalar

Aynı örnek seti için karşılaştırılması yapılan teknikler KKO1, KKO2, KKO3, KKO4, KKO5, KKO6 stratejileri, bölüm 4.10. da detaylı olarak açıklanmış olan G-KKO1, G-KKO2, G-KKO3, G-KKO4, G-KKO5, G-KKO6 stratejileri ve rastsal sıralama tekniğidir. Algoritmaların performansları ilk olarak dördüncü bölümde belirtildiği şekilde birebir hesaplama ile elde edilmiş sıralamalar ile sapma oranı ölçütü kullanılarak karşılaştırılmıştır. İkinci performans ölçütü CPU zamanıdır.

Sapma oranı ölçütü, kullanılan tekniğin birebir hesaplama ile elde edilmiş etkin ufuk ile karşılaştırılması sonucu tekniğin performansını gösterdiği için üretilen sıralamanın kalitesini göstermektedir.

Eş. 4.9 ile hesaplama yöntemi gösterilmiş olan kombinatorial kompleksite her 3 modelden eşit adette talep olduğu durumda 180 araç için hesaplandığında yaklaşık $3,48 \times 10^{83}$ adet farklı üretim sırası üretilebilir. Tüm mümkün sıraların birebir hesaplama ile S ve U değerleri hesaplanarak optimal etkin sınır oluşturulması Amd Athlon 64bit işlemcili bilgisayar ile yaklaşık 170 saat sürmektedir. 180 aracın üretiminin 450 dakika sürdüğü durum için optimal sıralamayı belirlemek için 170 saat hesaplama yapılması beklenemez. Bu nedenle belirtilen tekniklerin karşılaştırılmasında ikinci performans ölçütü olarak CPU zamanı kullanılmıştır.

Bölüm 4.7’de KKO1, KKO2, KKO3, KKO4, KKO5, KKO6 stratejilerinden bahsedilmiştir.

Rastsal sıralama tekniği ile her modelin talebi kadar yer alması ön koşulu ile üretilen birbirinden farklı sıralamalar oluşturulur. Toyota üretim sistemine göre parti büyüklüğü sayısı teorik olarak bir olmalıdır. Rastsal sıralamada da oluşturulan sıralamada arka arkaya aynı modelin ardışık olarak tekrar etme olasılığı o modelin talebinin toplam talepteki oranının karesi olması nedeni ile rastsal olarak üretilen sıralamalar da kayda değerdir.

Bölüm 4.10’da belirtilen kullanım oranı hesaplamasında yapılan geliştirmeye göre KKO1, KKO2, KKO3, KKO4, KKO5, KKO6 stratejilerinin hesaplama yöntemleri değiştirilerek edilerek G-KKO1, G-KKO2, G-KKO3, G-KKO4, G-KKO5, G-KKO6 stratejilerine göre sonuçlar elde edilmiştir.

5. 2 Endüstriyel Problem Verileri İle Bir Uygulama

Tüm karşılaştırılan teknikler Delphi 7.0 programlama dili ile kodlanmış ve P4 2.4 GHz işlemciye ve 256MB hafızaya sahip kişisel bilgisayar üzerinde çalıştırılmıştır. Bu farklı sezgiseller arasında doğru bir mukayese yapabilmek için araştırma proseslerinde eşit sayıda çözüm oluşturulmuştur. İlgilenilen performans ölçütlerinde sapma oranı ve CPU zamanı için düşük değerler tercih edilir. KKO yaklaşımlarında parametre değerleri Ants=1000, $\alpha=0,1$ ve $\beta=2$ seçilmiştir, bunun nedeni daha önceki araştırmalar ile bu değerlerin kararlı sonuçlar ürettiği kanıtlanmıştır[17].

Van, Kombi ve Jumbo-bus modellerinden talepleri toplamı 180 adet olmak üzere pazar ihtiyaçlarının değişkenlik göstereceği varsayılarak 3 farklı talep seti için sıralamalar üretilmiştir.

Çizelge 5.1. Problemin talep setleri

	Talep seti-1	Talep seti-2	Talep seti-3
Van Talebi	60	40	40
Kombi Talebi	60	60	40
Jumbo-Bus Talebi	60	80	100
Toplam	180	180	180

Karmaşık modellenmiş sıralama problemi için “Çizelge 5.1.”deki talep setlerine göre kodlanmış programlar çalıştırılmış ve performans istatistikleri not edilmiştir.

Toplam 180 adet talebin modeller arasında eşit olarak dağıldığı durum için performans istatistikleri çizelge 5.2.’deki gibi not edilmiştir.

Çizelge 5.2. Talep seti-1 için performans istatistikleri

Yaklaşım	Sapma oranı	CPU zamanı(dk.)
KKO1	0,68	25
KKO2	0,85	27
KKO3	1,60	26
KKO4	3,15	25
KKO5	2,10	27
KKO6	2,72	26
Rastsal Sıralama	7,25	4
G-KKO1	1,15	32
G-KKO2	1,38	36
G-KKO3	3,02	35
G-KKO4	4,06	32
G-KKO5	2,86	36
G-KKO6	3,18	35

Taleplerin modeller arasında 40 van, 60 kombi, 80 jumbo-bus şeklinde dağıldığı durum için performans istatistikleri çizelge 5.3.'deki gibi not edilmiştir.

Çizelge 5.3. Talep seti-2 için performans istatistikleri

Yaklaşım	Sapma oranı	CPU zamanı(dk.)
KKO1	1,11	29
KKO2	1,27	30
KKO3	1,92	30
KKO4	4,45	29
KKO5	3,15	30
KKO6	3,18	30
Rastsal Sıralama	10,12	4
G-KKO1	1,62	34
G-KKO2	1,91	37
G-KKO3	3,75	36
G-KKO4	4,22	34
G-KKO5	3,18	37
G-KKO6	3,86	36

Taleplerin modeller arasında 40 van, 40 kombi, 100 jumbo-bus şeklinde dağıldığı durum için performans istatistikleri çizelge 5.3.'deki gibi not edilmiştir.

Çizelge 5.4. Talep seti-3 için performans istatistikleri

Yaklaşım	Sapma oranı	CPU zamanı(dk.)
KKO1	1,45	29
KKO2	2,02	31
KKO3	2,77	31
KKO4	6,22	29
KKO5	3,58	31
KKO6	4,14	31
Rastsal Sıralama	17,90	4
G-KKO1	2,21	33
G-KKO2	2,45	37
G-KKO3	3,66	36
G-KKO4	4,41	33
G-KKO5	3,35	37
G-KKO6	4,67	36

5. 3. Uygulama Sonuçları ve Değerlendirmeler

Çizelge 5.2, 5.3. ve 5.4.'de açıkça görüldüğü gibi rastsal sıralama tekniği sapma oranı performansını dikkate almadığımız durum için en kısa işlem süresine sahip olduğu için CPU performansı olarak en iyi performansı gösterir. Fakat sıralamanın kalitesini gösteren sapma oranı performansında en son sırada yer almaktadır. KKO1, KKO2, G-KKO1, G-KKO2 stratejileri sapma oranı performansı açısından diğer tekniklere göre oldukça güçlüdür, aynı zamanda makul CPU zamanları ile de üstün performans sergilemişlerdir. G-KKO stratejileri kullanım oranı hesaplama tekniğinin KKO stratejilerine göre daha karmaşık olması nedeni ile performans ölçütleri açısından yakın sonuçlar elde etmiş olmalarına rağmen genel olarak daha yüksek sapma oranı ve daha yüksek CPU zamanına ihtiyaç duymaktadırlar.

Endüstriyel boyuttaki bir TZÜ sıralama problemi hazırlık zamanlarının ihmal edilemediği durum için çeşitli sezgisel teknikler ile incelenmiştir. Boyutsal haritalama yaklaşımı ve bu sosyal böceklerin beslenme alışkanlıklarının benzetiminin yapılması ile sunulan on iki stratejinin dördü başarılı sonuçlar vermiştir. Bu dört strateji, KKO1, KKO2, G-KKO1, G-KKO2, sapma performansı ve CPU performansı olarak arzu edilir sonuçlar üretmiştir. KKO1

ve KKO2 stratejileri, G-KKO1 ve G-KKO2 stratejilerine göre daha iyi performans göstermiş olsalar da kullanım oranı hesaplama yönteminin talep oranı değil de her modele kullanılan ortalama parça oranı hesaba katıldığı için montaj hatlarındaki gerçek hayatı yansıtabilmesi açısından G-KKO-1 ve G-KKO-2 stratejilerinin tercih edilmesi daha uygundur.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Karmaşık ürün tipli ve tam zamanında üretim sistemine sahip bir montaj hattında üretim hattında girecek ürün sırasının belirlenmesi problemi hazırlık sayısı ve kullanım oranı en küçüklmesi amaçları bu tez çalışmasında incelenmiştir. Bu problemin çözümü için karınca kolonisi sezgisel tekniği kullanılmıştır. Ele alınan problem için karınca kolonisi sezgiseli ile oluşturulan stratejilerin performansları, endüstriyel bir problemin çözümünde test edilmiş, etkin ürün sıralamalarını üreten stratejiler belirlenmiştir.

Karmaşık ürün tiplerinin montaj hatlarına giriş sırasının belirlenmesi probleminde birerleme tekniği ile optimal çözüme ulaşmak makul CPU zamanları içerisinde mümkün değildir. 450 dakikalık bir vardiyada 180 ürünün üretildiği bir karmaşık ürünlü montaj hattına girecek ürün sırasını belirlemek AMD Athlon 64bit işlemcili bir bilgisayarda 140 saat CPU zamanı gerektirmektedir.

Bu tez çalışmasında karınca kolonisi sezgisel tekniği stratejileri ile etkin ürün sıralamalarına makul CPU zamanları içinde ulaşılabildiği gösterilmiştir. 180 adet ürün için ürün sırasının belirlenmesi her ürün tipinin taleplerine bağlı olarak 32 dakika ile 37dakika arasında işlem zamanı almaktadır. Bu tarz problemin ortaya çıktığı elektronik ve otomotiv endüstrilerinde karınca kolonisi sezgiseli ile uygun CPU zamanları içerisinde etkin sonuçlar üretilir, bu nedenle ele alınan problem için karınca kolonisi sezgiseli tekniği uygulanması tavsiye edilir.

KAYNAKLAR

1. Feyzan,C., " Toyota üretim sisteminin doğuşu ve evrimi 2nd ed.",**Scala Yayıncılık**,İstanbul,116-142(2001).
2. Schmenner,R.W., "Production in JIT Systems" ,operations management . 5th ed,**School of business**,Indiana,345-378(1999).
3. Sumichrast,R., Russel,S., Taylor,B., "A comperative analysis of sequencing procedures for mixed model assembly lines in a just in time production system", **International Journal of Production Research**,30(1):192-214(1992).
4. Monden,Y., " Toyota Production System.2nd ed.",**Institute of Industrial Engineers**,Norcross,45-155(1993).
5. Miltenburg,J.,Sinnamon, G., " Scheduling mixed-model multi-level just-in-time production systems",**International Journal of Production Research**,27:1487-1509(1989).
6. Aigbedo,H.,Monden,Y., "A simulation analysis for two level sequence scheduling for just in time mixed model assembly lines",**International Journal of Production Research**, 34(11):3107-3124(1996).
7. Miltenburg,J., "Level schedules for mixed model assembly lines in just in time productions",**Management science** ,35(1):192-207(1989).
8. Sumichrast,R., "Evaluating sequences for paced,mixed model assembly lines with just in time component fabrication", **International Journal of Production Research**,34(11):3125-3143(1996).
9. McMullen,P.R., "JIT sequencing for mixed model assembly lines with setups using tabu search",**Production Planning And Control**,9(5):504-510(1998).
10. Duplaga,E.A.,Bragg,D.J., "Mixed model assembly line sequencing heuristics for smoothing component parts usage:a comperative analysis",**International Journal of Production Research**,36(8):2209-2224(1998).
11. Duplaga,E.A.,Hahn,C.K.,Hur,D., "Mixed model assembly line sequencing at Hyundai Motor Company",**Production and inventory management journal**,37(1):20-26(1996).
12. Miltenburg,J.,Sinnamon,G., "Revisiting the mixed model multi level just in time production systems",**International journal of production research**,33:2061-2063(1995).

13. Huyn, C.J., Yeongho, K., Yeo, K., "A genetic algorithm for multiple objective sequencing problems in mixed model assembly lines", **Computers Operations Research**, 25(7):675-690(1998).
14. Takayoshi, T., Hong, L., Katsuhisa, O., "A sequencing problem to level part usage rates and work loads for a mixed model assembly line with a bypass routine", **International Journal of Production Economics**, 60(1):557-564(1999).
15. Kubiak, W., "Cyclic just in time sequences are optimal ", **Journal of global optimization**, 27:333-347(2003).
16. Zhu, J., Ding, F.Y., "A transformed two stage method for reducing the part usage variation and a comparison of the product level and part level solutions in sequencing mixed model assembly lines", **European Journal of Operational Research**, 127(1):203-216(2000).
17. McMullen, P., "An ant colony optimization approach to addressing a JIT sequencing problem with multiple objectives", **Artificial Intelligence in Engineering**, 15(3):309-317(2001).
18. Bonebeau et al., "Routing in telecommunication networks with smart ant like agents", **Proceedings of IATA'98 second international workshop on intelligent agents for telecommunication applications**, Berlin, 60-72, (1998).
19. Dorigo M., Stützle T., "From real to artificial ants" , Ant colony optimization , **The MIT press**, London, 115-195(2001).
20. Karaboğa D. , "Karınca koloni algoritması" , Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları , **Atlas yayın dağıtım** , İstanbul, 117-119 (2004).
21. Miltenburg, J., "Level schedules for mixed model assembly lines in jit production systems", **Management Science** , 35(2):208-218 (1989).

ÖZGEÇMİŞ**Kişisel Bilgiler**

Soyadı, adı : AKÇIN, Salih Hakan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 30.07.1981 Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (262) 315 64 73
Faks : 0 (262) 315 58 62
e-mail : sakcin@ford.com.tr

Eğitim**Derece**

Lisans

Lise

Eğitim Birimi

Gazi Üniversitesi/ Endüstri Müh.

Mehmet Emin Resülzade A.L.

Mezuniyet tarihi

2003

1999

İş Deneyimi**Yıl**

2003-2006

Yer

Ford Otomotiv Sanayi A.Ş.

Görev

Endüstri Müh.

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Masa Tenisi, Basketbol, Müzik, Sinema