

**TAM ZAMANINDA ÜRETİM SİSTEMLERİNDE
KARMA MODELLİ MONTAJ HATLARI İÇİN YENİ BİR SIRALAMA
YÖNTEMİ**

Fatih YİĞİT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EYLÜL 2006
ANKARA**

Fatih YİĞİT tarafından hazırlanan TAM ZAMANINDA ÜRETİM SİSTEMLERİNDE KARMA MODELLİ MONTAJ HATLARI İÇİN YENİ BİR SIRALAMA YÖNTEMİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Tez Yöneticisi

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

Başkan: : Prof. Dr. Hadi GÖKÇEN

Üye : Prof. Dr. Bilal TOKLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mustafa YURDAKUL

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.

Fatih YİĞİT

**TAM ZAMANINDA ÜRETİM SİSTEMLERİNDE
KARMA MODELLİ MONTAJ HATLARI İÇİN YENİ BİR SIRALAMA
YÖNTEMİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Fatih YİĞİT

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Eylül 2006**

ÖZET

Bu tez kapsamında, tam zamanında üretimin olduğu montaj hatlarında karma ürünlerin sıralanması problemleri incelenmiştir. Ürün sıralama amaçlarından, parçaların kullanım oranlarını sabit tutmak bu tez için amaç olarak belirlenmiş ve bu amaç üzerine Miltenburg ve Sinnamon tarafından geliştirilen iki sezgisel yönteme alternatif yeni bir yöntem önerilmiştir.

Literatürdeki iki sezgisel yöntem ve geliştirilen yeni yöntem, gerçek kullanım miktarı ile ideal parça kullanım miktarı arasındaki farkı üretimin her seviyesinde minimize etmeye çalışmaktadır. Önerilen yöntem bu farkı minimize ederken iki aşama sonrasında sıralamaya girecek ürünü dikkate almaktadır. Bu durum daha iyi sıralamaların oluşmasını sağlamaktadır.

Bu tezde, farklı talep değerleri dikkate alınarak problem setleri oluşturulmuş ve her üç yöntem için çözümler geliştirilerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

Bilim Kodu : 906.1.141
Anahtar Kelimeler : Tam zamanında üretim, sıralama problemleri, karma ürünli montaj hatları
Sayfa Adedi : 78
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Bilal TOKLU

**A NEW SEQUENCING METHOD FOR MIXED MODEL ASSEMBLY LINES
IN JUST IN TIME PRODUCTION SYSTEMS**

(M.Sc. Thesis)

Fatih YİĞİT

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

September 2006

ABSTRACT

In this thesis, the problems of sequencing mixed models on assembly lines in Just in Time Production Systems considered. One of the aims of mixed-model sequencing, keep a constant rate of part usage, determined as the aim of this thesis and on this aim a new method recommended as an alternative to two heuristic methods which are developed by Miltenburg and Sinnamoni.

Two heuristic methods in literature and a new method that was developed, try to minimize the difference between the actual part usage amount and the ideal part usage amount at the all levels of production. The recommended method takes into consideration the model which will be sequenced two step after while minimizing this difference. This situation provides better sequences.

In this thesis, problem sets are formed according to different demand amounts and for each three methods, solutions are made and results are considered.

Science Code	: 906.1.141
Key Words	: Just in time production, sequencing problems, mixed-model assembly lines
Page Number	: 78
Adviser	: Prof. Dr. Bilal TOKLU

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve desteklerini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Bilal TOKLU'ya ve tecrübelerinden faydalandığım Araştırma Görevlisi Hakan ÇERÇİOĞLU'na, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve meslektaşım Emrah AYDEMİR'e teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. TAM ZAMANINDA ÜRETİM SİSTEMİ	3
2.1. Tam Zamanında Üretim Felsefesi.....	3
2.2. Geleneksel Sistem ve Tam Zamanında Üretim Karşılaştırması	4
2.2.1. Kalite.....	4
2.2.2. Uzmanlaşma	4
2.2.3. Üretim hataları.....	5
2.2.4. Stok.....	5
2.2.5. Parti büyüklüğü	6
2.2.6. Kuyruklar	7
2.2.7. Otomasyonun değeri.....	7
2.2.8. Maliyet düşürme kaynakları.....	8
2.2.9. Malzeme akışı	8
2.2.10. Esneklik.....	8
2.2.11. İşçilik maliyeti	9

	Sayfa
2.2.12. Makine hızı.....	9
2.2.13. Tedarik	9
2.2.14. Karşılaştırma sonucu.....	10
2.3. Kanban Sistemi	11
2.3.1. Temel kanban çeşitleri ve kullanımları.....	12
2.3.2. Kanbanların kullanımı	14
3. MONTAJ HATTI TÜRLERİ VE MONTAJ HATTI PROBLEMLERİ	16
3.1. Tek Ürünlü Montaj Hattı	17
3.2. Çok Ürünlü Montaj Hatları.....	17
3.3. Karma Ürünlü Montaj Hatları.....	18
4. ÜRÜN SIRALAMA PROBLEMİ	21
4.1. Giriş	21
4.2. Literatür İncelemesi.....	23
4.3. Problem Tanımı	26
4.4. Problemin Matematiksel Modeli.....	33
4.4.1. Notasyonlar	33
4.4.2. Problemin formülasyonu.....	34
4.4.3. Amaç fonksiyonları	35
4.5. Ürün Sıralama Yöntemleri.....	36
4.5.1. Sezgisel 1	37
4.5.2. Sezgisel 2	42
4.5.3. Önerilen yöntem	44

Sayfa

5. YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI	52
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR.....	68
EKLER.....	71
EK-1 P2-10 Problemi çözümü	72
EK-2 P1-9 Problemi çözümü	75
ÖZGEÇMİŞ.....	78

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Amerikan ve Japon otomobil endüstrileri karşılaştırması	10
Çizelge 2.2. Çekme kanbanı.....	12
Çizelge 2.3. Üretim-Sipariş kanbanı.....	13
Çizelge 4.1. Örnek problem 1 için ürün ağacı ve proses gereksinimleri	28
Çizelge 4.2. Örnek problem 1 için geleneksel yığın üretim çizelgesi, S1	30
Çizelge 4.3. Örnek problem 1 için S2 ve S3 sıralaması üretim durumları	32
Çizelge 4.4. Örnek problem 2 için ürün ağaçları.....	39
Çizelge 4.5. Örnek problem 2 için montaj ve talep verileri	40
Çizelge 4.6. Örnek problem 2, Sezgisel 1 için çözüm sonuçları.....	41
Çizelge 4.7. Örnek problem 2, Sezgisel 2 için çözüm sonuçları	44
Çizelge 4.8. Örnek problem 2, önerilen yöntem için çözüm sonuçları	49
Çizelge 5.1. Problem seti 1 için alt montaj, parça ve hammadde ihtiyaçları.	52
Çizelge 5.2. Problem seti 2 için alt montaj, parça ve hammadde ihtiyaçları	53
Çizelge 5.3. Problem seti 1 için ürün talepleri	53
Çizelge 5.4. Problem seti 2 için ürün talepleri	54
Çizelge 5.5. Problem seti 1 için ürün sıraları ve toplam varyanslar	55
Çizelge 5.6. Problem seti 2 için ürün sıraları ve toplam varyanslar	56
Çizelge 5.7. Problem seti 1 için Sezgisel 1'e göre Sezgisel 2 ve önerilen yöntemin performansı	58
Çizelge 5.8. Problem seti 2 için Sezgisel 1'e göre Sezgisel 2 ve önerilen yöntemin performansı	59
Çizelge 5.9. Problem seti 1 için Sezgisel 2 ve önerilen yöntem performansı	60

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.10. Problem seti 2 için Sezgisel 2 ve önerilen yöntem performansı	61
Çizelge 5.11. İki aşama için sıralama sonuçları	64

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sorunları görünür kılmak	6
Şekil 2.2. Tam zamanında üretim felsefesinin temelleri.....	11
Şekil 2.3. Kanban tipleri	13
Şekil 4.1. Üretim sistemi çıktıları	21
Şekil 4.2. Önerilen yöntem algoritması akış diyagramı.....	46

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Kısaltmalar	Açıklama
EOQ	Ekonomik Sipariş Miktarı (Economic Order Quantity)
TZÜ	Tam Zamanında Üretim (Just In Time)

1. GİRİŞ

Günümüz rekabet ortamında, artık maliyetleri müşterilerin üzerine yıkmak müşterileri o üründen uzaklaştırmakta ve işletmelere uzun vadede büyük zararlar vermektedir. Müşteriler rekabet ortamında daha kaliteli ürünü daha ucuza almaya çalışmaktadır. Tam zamanında üretim (TZÜ) felsefesi kayıpları azaltarak hem ürünü daha kaliteli hem de daha ucuz üretmenin yollarını aramaktadır. Bu kayıpları azaltmak için hazırlık zamanlarını düşürmek, parti büyüklüklerini minimize etmek, yarı ürün kuyruklarını ortadan kaldırmak gibi amaçların yanında, montaj hattına girecek ürünlerin sıralamasını da en uygun şekilde belirlemek gerekmektedir. Monden'e göre TZÜ, gerekli ürünleri gerekli miktarda üretme yaklaşımıdır [1]. Bu durum montaj hatlarında ürün sıralama yönteminin TZÜ sistemi ile örtüşen noktalarından biridir. Bu tezde TZÜ sistemlerinde, montaj hatlarında karma ürünlerin sıralanması konusu ele alınmaktadır.

İkinci bölümde “Tam Zamanında Üretim Sistemi” başlığı altında, kısaca TZÜ’deki kavramlardan bahsedilmektedir. Ayrıca geleneksel sistem ve TZÜ sistemi, on üç konu başlığı altında, üretim yapısı, yönetim yapısı, çalışan durumları konularında karşılaştırılmakta; avantaj ve dezavantajları açıklanmaktadır. TZÜ’nün en önemli elemanlarından kanbanlar da ikinci bölümde ele alınmaktadır.

Üçüncü bölümde montaj hattı türleri ve problemleri ele alınmaktadır. Tek ürünli montaj hatları, çok ürünli montaj hatları, karma ürünli montaj hatları tanımlanmakta ve literatürde tanımlanan montaj hattı problemlerine değinilmektedir.

Dördüncü bölümde ürün sıralama amaçları incelenmektedir. Ürün sıralama problemleri ile ilgili literatürde yapılan çalışmaların özeti verilmekte, yarı ürün stoklarını minimize etmek amacı için ürün sıralama problemleri açıklanmakta ve matematiksel model oluşturulmaktadır. Daha sonra Miltenburg ve Sinnamon [2] tarafından geliştirilen iki sezgisel yöntem, Sezgisel 1 ve Sezgisel 2, incelenmekte ve

iki aşama sonrasını dikkate alarak sıralama çizelgesi oluşturan yeni bir yöntem önerilmektedir.

Ürün sıralama yöntemlerinin montaj hattında sıralama için sunmuş olduğu çözümler beşinci bölümde değerlendirilmekte; Sezgisel 1 yönteminin, Sezgisel 2 yönteminin ve geliştirilen yeni yöntemin karşılaştırması iki farklı problem seti dikkate alınarak toplam 40 ayrı problem için yapılmaktadır.

Altıncı bölümde üç yönteme ilişkin elde edilen sonuçlar değerlendirilmekte ve ürün sıralama problemi için geliştirilen yeni yöntem ile ilgili önerilerde bulunmaktadır.

2. TAM ZAMANINDA ÜRETİM SİSTEMİ

2.1. Tam Zamanında Üretim Felsefesi

TZÜ, 1970'lerin başlarında pek çok Japon üretim organizasyonunda kullanılmaya başlanılan bir Japon üretim felsefesidir. Bu felsefe ilk kez Toyota'da Taichi Ohno tarafından müşterilerin taleplerini en az gecikme ile karşılamak amacıyla geliştirilmiştir.

İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra Japonlar, Amerikan üretim yöntemi tekniklerini kendi işletmelerinde uygulamaya başlamışlardır [3]. TZÜ'nün uygulanmaya başladığı tesisler Toyota tesisleridir. TZÜ, 1973'deki petrol ambargosu boyunca Toyota'nın ayakta kalmasını sağlamış ve daha sonra pek çok şirket tarafından kabul görmüştür. Petrol ambargosu ve diğer kaynakların hızla tükenmesi TZÜ'nün geniş bir şekilde kabul görmesindeki en önemli etken olmuştur. Toyota o zamanın karakteristik yönetim tarzlarından farklı olan bir yönetim yaklaşımını uygulamaya cesaret etmiştir. Bu yaklaşım insan tesis ve sistem üzerine odaklanmıştır.

TZÜ sistemi, son yıllarda oldukça önem kazanan bir üretim tekniği olmuştur. İlk TZÜ tanımları, ideal üretim sistemlerinin tanımlarından çıkarılmıştır. Monden'e [1] göre TZÜ, gerekli ürünleri gerekli miktarda üretme yaklaşımıdır. Crawford ve Cox [4], TZÜ sistemini, bir üretim işletmesinde verimsizliklerin sürekli elimine edilmesi suretiyle mükemmelliğe ulaşma yaklaşımıdır şeklinde tanımlamaktadırlar. Hall [5] ise TZÜ'yü ihtiyaç kadar talebi, mükemmel kalite ile artıksız olarak bir an önce üretmek ve istendiği zamanda doğru yere nakletmek olarak tanımlamıştır.

TZÜ felsefesinin hedefleri; israfı ortadan kaldırmak, kaliteyi geliştirmek, verimliliği arttırmak, ürünlerde ve üretim sürecinde sürekli gelişmeyi sağlamaktır. TZÜ, israfı sürekli olarak ortadan kaldırmaya dayalı, mükemmelliğe ulaşmaya yönelik bir yaklaşımdır [3]. Bu tanım malzeme hareketlerinin tam zamanında yapılmasına engel

olan tüm problemlerin tanınması ve ortadan kaldırılmasına dikkatleri yoğunlaştırmıştır.

“Tam Zamanında” terimi, genellikle sloganlaşan tanımıyla sadece gerekli parçaların, gerekli olduğu miktarlarda, gerekli görülen kalite düzeyinde, gerekli olduğu zaman ve yerde üretilmesi durumunu açıklar. Bu tanım tam zamanında üretimin daha geniş anlamda “israfın önlenmesi yoluyla maliyetlerin azaltılması” şeklindeki temel hedefini dolaylı olarak açıklamaktadır [6].

2.2. Geleneksel Sistem ve Tam Zamanında Üretim Karşılaştırması

Tam zamanında üretim ve geleneksel üretim sistemi üretim yapısı, yönetim yapısı, çalışan durumları vb. açısından değerlendirilebilir. Schmenner’in [7] geleneksel sistem ve tam zamanında üretim sistemi arasındaki görüş farkını açıkladığı ve her iki sistemin de bakış açısını yansıttığı karşılaştırmayı on üç konu başlığı altında ele alabiliriz.

2.2.1. Kalite

Geleneksel sistemde kaliteli üretim maliyeti arttırmaktadır. Kalite ihtiyaçlarına cevap vermek genellikle zor ve maliyetlidir. Geleneksel sisteme göre maliyet ve kalite doğrudan ilişkilidir.

TZÜ sistemlerinde kalite, üretim maliyetlerini arttırmamaktadır. Uzun vadede kaliteyi geliştirme çabaları daha düşük maliyetleri de beraberinde getirmektedir. İlk defada hatasız üretim hem kaliteyi arttırmakta hem de maliyetleri düşürmektedir.

2.2.2. Uzmanlaşma

Geleneksel sistemde mühendisler ve yöneticiler uzmandır ve işletmenin yönünü belirlemektedir. İşçiler mühendisler ve yöneticiler tarafından yön verilen kişilerdir.

TZÜ sisteminde işçiler uzmandır. İşletme, üretimi ilk seferde doğru yapmak istiyorsa bunu işçiler yapmalıdır. Üretimde kaliteyi sağlayan, problemleri belirleyen, hatasız üretimi gerçekleştiren işçilerdir. Bu sebeple kalite çemberleri ve toplam kalite yönetimi çalışmaları TZÜ sistemlerinde yaygın olarak uygulanmaktadır.

2.2.3. Üretim hataları

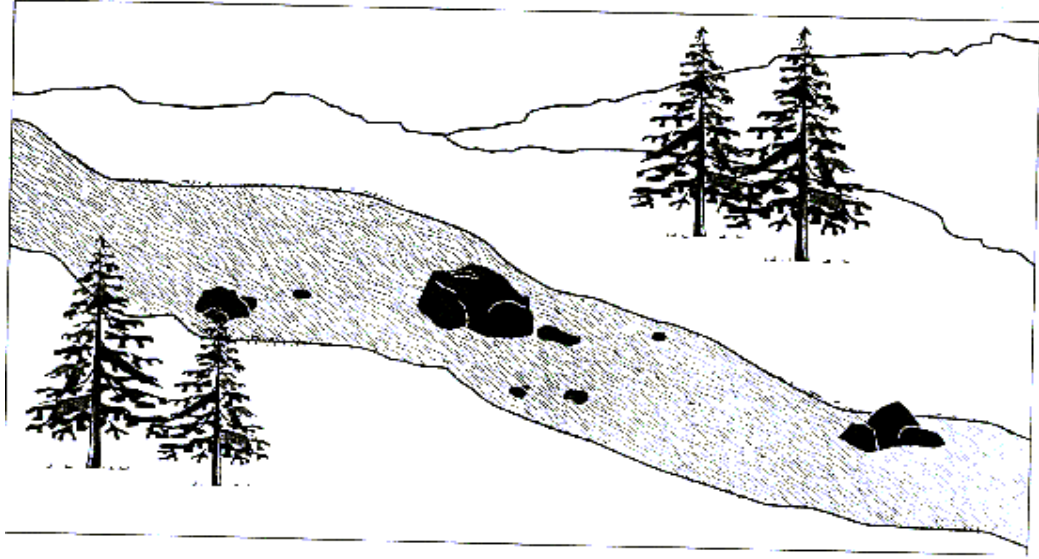
Geleneksel sistemlerde hataların belirlenmesi zorunludur. Geleneksel sistemler kimsenin mükemmel olmadığını ve iş ile ilgili hatalar yapabileceğini kabul etmekte ve bu hataların tüketiciye ulaşmaması için hata içeren ürünlerin belirlenip sistem dışına atılması gerektiğini savunmaktadır. Üretim prosesi, ürünlerdeki hataları daha kolay belirlemek ve mümkünse tekrar işlemek için uygun tasarlanmaktadır.

TZÜ sisteminde hatalar iyileştirme ve geliştirme çalışmalarında önemli bir girdidir. Bir hatanın var olduğunu belirlemek yeterli değildir. Tüm hatalar ve hataların sebepleri belirlenip adım adım çözümler geliştirilmelidir. TZÜ çalışanları kendi hatalarını düzeltmekten sorumludurlar.

2.2.4. Stok

Geleneksel sistemlerde üretimin kesintisiz devam etmesini stoklar gerekmektedir. Geleneksel sisteme göre ara stoklar operasyonun durmasına neden olabilecek hataları ve diğer problemleri engellemektedir.

TZÜ sistemine göre stok sadece yer kaplama ve maliyet getirmemekte, aynı zamanda mükemmel olmayı da belirlememizi engellemektedir. Eğer aşırı stok proseste mevcut ise prosesi mükemmelleştirmek mümkün değildir ve problemler gizli kalmaktadır.



Şekil 2.1. Sorunları görünür kılmak [7]

Su bir akıntı boyunca her zaman aynı yükseklikte akmaz. Su, bazen derin çukurlarda tuzağa düşer; kayalar ve su altındaki diğer nesneler tarafından engellenir. Bu kayalar ve nesneler suyun düzgün akmasını engeller (Şekil 2.1). Şekil 2.1’de gösterilen akıntı malzeme akışını, su havuzları stokları, kayalar da prosesteki sorunları ifade etmektedir. Eğer akıntının düzgün ve hızlı olması isteniyorsa kayalar ve nesneler kaldırılmalıdır. Bunu yapabilmek için sudaki akıntı azaltılmalı ve gizli kayalar ortaya çıkartılmalıdır. Prosesteki sorunları çözebilmek için stoklar düşürülmelidir [7].

2.2.5. Parti büyüklüğü

Geleneksel sisteme göre parti büyüklüğü ekonomik olmalıdır. Stok yönetim prensipleri stok taşıma maliyetlerini; fazla miktarda alım yaparak fiyat kırma, hazırlık maliyeti ve üretim miktarı değişince oluşacak diğer değişken maliyetlerle dengelemeye çalışmaktadır. Bu dengelemeyi tipik Ekonomik Sipariş Miktarı (EOQ) eşitliği, Eş. 2.1, vermektedir:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2 \times D \times S}{i \times c}} \quad (2.1)$$

TZÜ sistemine göre parti büyüklüğü mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. TZÜ işletmeleri, fabrikadaki değişim ve makine hazırlık zamanlarını düşürmek için büyük yatırımlar yapmaktadırlar. Hazırlık zamanlarının düşük olması parti büyüklüklerini de düşük miktarlarda tutabilmektedir.

Düşük hazırlık zamanı ve düşük parti üretimi stok seviyesini iki sebepten dolayı düşük tutmaktadır :

1. İstasyonlarda büyük partiler halinde stok biriktirmek ve daha sonra diğer istasyonlara taşımak gereksizleşmektedir.
2. Hızlı değişimlerle işlemler daha esnek olmaktadır.

2.2.6. Kuyruklar

Geleneksel sisteme göre yarı ürün kuyrukları makine kullanım oranlarının yüksek olması için gereklidir. Geleneksel sistemde makinelere önemli yatırımlar yapılmakta ve makinelerin sürekli çalışmasının garanti altına alınması için yarı ürün kuyruklarının gerekli olduğu düşünülmektedir.

TZÜ sistemine göre üretim tam zamanında olmalıdır. Yarı ürün kuyrukları olmamalıdır.

2.2.7. Otomasyonun değeri

Geleneksel sisteme göre otomasyon, işçi tasarrufu sağladığı için değerlidir. Geleneksel sistemdeki yaklaşım işçi tasarrufunu sermaye dengelemede birinci sıraya koymaktadır.

TZÜ sistemine göre otomasyon kaliteli üretimi kolaylaştırdığı için değerlidir. İşçi tasarrufu otomasyon için ikinci plandadır. Bir çok TZÜ makinesi tek amaç için tasarlanmaktadır.

2.2.8. Maliyet düşürme kaynakları

Geleneksel sisteme göre işçileri üretim dışına sürmek ve yüksek makine kullanımına sahip olmak maliyetlerin düşmesini sağlamaktadır. Geleneksel sistemde üretim maliyetinin iki ana elemanı işçilik ve malzeme giderleridir. Mühendislik ve yönetimin çabaları işçilik maliyetlerini nasıl düşürecekleri üzerinedir.

TZÜ sistemine göre maliyet düşürme fabrikada üretim hızını arttırmakla gerçekleşir. TZÜ sisteminde işçi ücretleri, yatırım giderleri veya diğer beklenen giderler arasında özel bir fark yoktur.

2.2.9. Malzeme akışı

Geleneksel sistemde malzemeler koordine edilmiş bir şekilde fabrika boyunca itilmektedir. Malzeme ve bilgi akışı başta sona doğru olmaktadır. Çoğu geleneksel malzeme yönetim sistemi düzenlenen ana üretim çizelgesine göre malzemelerin ilerleyişini ve sevkiyatını kontrol etmektedir. Böylece departmanlar ihtiyaç duydukları malzemeyi ihtiyaç duydukları zamandan önce almış olmaktadır.

TZÜ sisteminde malzemeler fabrika boyunca çekilmektedir. TZÜ felsefesinde yarı ürün kuyruklarının oluşmayacağından emin olmak için bilgi akışı sondan başa, malzeme akışı ise baştan sona doğru olmaktadır.

2.2.10. Esneklik

Geleneksel sisteme göre esneklik belirli bir maliyetle olmaktadır. Özel planlama ve yer, makine, insan, malzeme gibi kaynaklarla esneklik gerçekleştirilebilmektedir.

TZÜ sisteminde, esneklik üretimle ilgili tüm zamanları kısaltarak elde edilmektedir. Çalışılan zamanlar, tedarikçi sevkiyat zamanları, yeni ürün geliştirme evresi, sipariş

giriş ve üretim planlama evrelerindeki zamanların kısaltılması esnekliği de beraberinde getirmektedir.

2.2.11. İşçilik maliyeti

Geleneksel Sisteme göre işçilik maliyeti talep düştüğünde vazgeçilebilecek, değişken bir maliyettir.

TZÜ sistemine göre işçilik maliyeti sabit bir maliyettir. Güçlü işletmelerde talebin düşmesi durumunda işçi başka bölümlere aktarılmakta veya ücretli izin verilmektedir.

2.2.12. Makine hızı

Geleneksel sistemlerde makineler yüksek hızlarda, tam kapasite çalışmaktadır. Dolayısıyla makinelerde bozulmalar beklenebilmektedir. Ayrıca geleneksel sistemlerde kullanılan çok amaçlı makineler; özelleşmiş, daha az esnek makinelerden daha pahalıdır.

TZÜ sisteminde makineler yavaş ama sürekli çalışırlar. TZÜ’de makineler sadece mükemmel çıktılar üretebildikleri noktaya kadar hızlı çalıştırabilmektedirler. Koruyucu bakım TZÜ sisteminde çok önemlidir. Makinelerin prosesin kapasitesi kadar üretim yapmasını zorlamak yerine sistematik ve sık koruyucu bakıma izin verilmektedir. TZÜ işletmeleri özelleşmiş makineleri kullanmayı genelde tercih etmektedirler.

2.2.13. Tedarik

Geleneksel sistemler fazla sayıda tedarikçi kullanmaktadır. Geleneksel sistemlerde düşük fiyatlarla ürün tedarikinin gerçekleştirilmesi için çok sayıda tedarikçiye gerek duyulmaktadır.

TZÜ sisteminde mümkün olduğu kadar az tedarikçi kullanılmaktadır. Tedarikçiler, kalitenin geliştirilmesi ve tam zamanında sevkiyat için gerekli olduklarından işletmenin bir parçası olarak görülmektedir. TZÜ sistemi için fiyat, kalite ve sevkiyat kadar önemli değildir.

2.2.14. Karşılaştırma sonucu

Geleneksel sistem ve TZÜ sistemi arasında ciddi farklılıklar olduğu görülmektedir. TZÜ, birbirini tamamlayan prensipler kümesidir. Kalitenin gelişimini destekleyen ve hiç bitmeyen geliştirme çalışmalarını içeren bir üretim sistemidir. Örnek olarak Amerikan ve Japon otomobil üretimi verilerine dayanarak yapılan Çizelge 2.1'deki karşılaştırmaya bakarak TZÜ sisteminin etkilerini görebiliriz.

Çizelge 2.1. Amerikan ve Japon otomobil endüstrileri karşılaştırması [7]

Karşılaştırma Ölçütü	Japon	Amerikan
Ürün sayısı	8	6
Yarı ürün alanı	100	600
Çalışan sayısı(2 vardiya)	100	460
Ortalama tedarik zamanı	12 gün	5-6 hafta
Araçların hatta geçirdiği zaman(saat)	10,8	24,7
Hattaki istasyon sayısı	100	1000
İstasyon başına operatör sayısı	3,5(takımlar)	1,3
Konteynır pozisyonu	Kolay erişilir	Uzun yürüyüş
Hat hızı	48/saat	75/saat
Hat dengeleme boş zamanı	%6	%22
Hat hızı değişimi	%15(her ay)	Nadiren değişir
Jidoka	%3-4 durma zamanı izni	Yöneticiler durdurabilir
Günlük üretim hacmi değişiklikleri	%10	%1
Mühendislik değişiklikleri	Haftalık	Aylık
Sisteme kurulan yeni ekipmanlar	%20	<%1
Modifiye edilmiş ekipmanlar	Hemen hepsi	Çok küçük
Tedarikçiyle ilişkiler	Çok yakın	Mesafeli

TZÜ'yü adapte etmek şirket kültüründe bir değişim gerektirmektedir. TZÜ üretim sisteminin temelinde olan, şirketin insana verdiği değer ve sürekli geliştirme prosesidir. TZÜ sisteminin temelleri Şekil 2.2'deki gibidir.



Şekil 2.2. Tam zamanında üretim felsefesinin temelleri

2.3. Kanban Sistemi

Kanban sistemi, TZÜ sisteminde malzeme hareketlerinin kontrolü ve bu bağlamda üretim etkinliklerinin planlanması amacıyla kullanılan bir üretim kontrol (çizelgeleme) yaklaşımıdır. Kanban sistemi, bir işletmenin her prosesinde ve aynı zamanda işletmeler arasında gerekli zamanda, gerekli miktarlarda, gerekli ürünlerin üretimini uyumlu olarak kontrol eden bir bilgi sistemidir. Kanban sistemi, TZÜ sisteminin bir alt sistemidir [8].

Kanban sisteminde kullanılan Kanban kartları genellikle dikdörtgen biçiminde, plastik, karton veya metal olan ve üzerinde belirli bilgiler taşıyan kartlardır. Kanban kartı; kullanıldığı yer, parça numarası, parça adı, parçanın tanımı, kanban numarası, parça sayısı ve kanban oranı, kanbanın düzenli olarak konulduğu

kutunun tanımlayıcı kod numarası ve ismi, kanbanın teslim edileceği iş istasyonunun yeri gibi bilgileri içermektedir.

Kanbanlar daima üretim akışına ters yönde ancak fiziksel birimlerle birlikte sondan başa doğru hareket ederek üretim aşamalarını birbirine bağlamaktadır. Üretim aşamalarının bu şekilde birbirine bağlanması sonucunda ise sadece gereken parçalar, gerekli olan miktarda ve gerektiği zaman üretilmekte ve aşamalar arasında ara stoklara ihtiyaç kalmamaktadır.

2.3.1. Temel kanban çeşitleri ve kullanımları

Çekme kanbanı

Bir sonraki istasyonun, bir önceki istasyondan çekmek istediği parça cinsini, miktarını belirleyen, parça/malzeme çekmek için kullanılan karttır (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Çekme kanbanı [3]

Stok Raf No :	5E215	Parça arka No :	A2.15	Önceki operasyon
Parça No :	356 70 S 07			
Parça Adı :	Tahrik Pimi			Dövme
Araba Tipi :	S*50 BC			B - 2
				Sonraki operasyon
	Kutu kapasitesi	Kutu tipi	Sayı	Talaşlı imalat
	20	B	4 / 8	M – 6

Üretim - sipariş kanbanı

Bir önceki istasyonun üretmesi gereken parça cinsi ve miktarını belirleyen üretim-sipariş kanbanı sadece üretim kanbanı olarak da tanımlanmaktadır. Çizelge 2.3’de üretim - sipariş kanbanı gösterilmektedir.

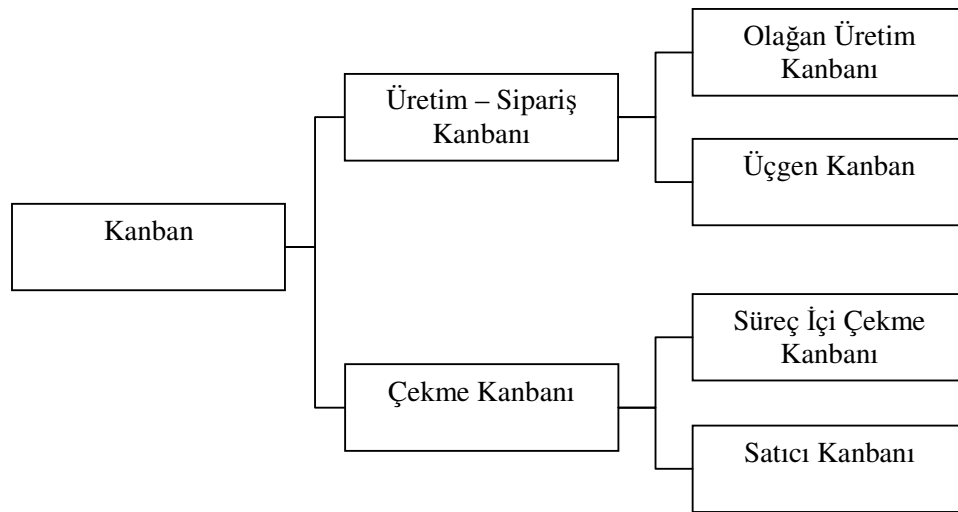
Çizelge 2.3. Üretim - Sipariş kanbanı [3]

Stok Raf No :	F26 - 18	Parça arka No : A5 - 34	Operasyon
Parça No :	56790 – 321		Talaşlı imalat
Parça Adı :	Krank Mili		SB – 8
Araba Tipi :	S*50BC - 150		

Çekme kanbanı (Bkz. Çizelge 2.2) ile; söz konusu parça için bir önceki operasyonun dövme işlemi olduğu ve talaşlı imalat M-6'da bulunan taşıyıcının tahrik pimini alabilmek için B-2 No'lu Dövme istasyonuna gitmesi gerektiği belirtilmektedir. Ayrıca söz konusu parça için bir sonraki operasyon talaşlı imalatıdır. Kutu kapasitesi 20 adet olup kutu şekli “B” olarak belirtilmiştir.

Çizelge 2.3'de verilen üretim-sipariş kanbanı; SB-8 No'lu talaşlı imalat operasyonunun S*50BC -150 kodlu araba tipi için krank mili üreteceğini göstermektedir. Ayrıca üretilen krank milinin F26 - 18 No'lu stok rafına yerleştirileceği belirtilmektedir.

Uygulamada daha başka kanban tipleri de kullanılmaktadır. Temelde kullanılan kanban tipleri Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.3. Kanban tipleri [3]

2.3.2. Kanbanların kullanımı

Kanban kullanımındaki başlıca aşamalar aşağıda özetlenmiştir.

- Sonraki üretim sürecinin taşıyıcısı, yeterli sayıda çekme kanbanı ve forklift ya da taşıyıcı arkasına yerleştirilmiş boş paletlerle bir önceki sürecin stok noktasına gitmektedir. Bu işlem; ya daha önceden belirlenmiş zaman aralıklarında, ya da kabul kutusunda belirli sayıda çekme kanbanı biriktiğinde tekrarlanmaktadır.
- Sonraki sürece ait taşıyıcı, stok noktasından parçaları çektiğinde, paletlerdeki parçalara yapıştırılmış olan üretim-sipariş kanbanları çıkarılarak kanban kabul kutusuna bırakılmaktadır. Ayrıca boş paletler de bu istasyonda önceden belirlenmiş yerlere bırakılmaktadır.
- Çıkarılan her üretim-sipariş kanbanının yerine bir çekme kanbanı yapıştırmaktadır. Bu iki tip kanbanın değiştirilmesinde çekme kanbanı ve üretim-sipariş kanbanı üzerindeki bilgilerin tutarlılık açısından kontrol edilmesi gerekmektedir.
- Sonraki üretim sürecinde çalışma başladığında çekme kanbanı, çekme kanbanı kutusuna bırakılmaktadır.
- Önceki üretim sürecinde üretim-sipariş kanbanları, belirli bir zaman noktasında ya da belirli sayıda üretim yapıldıktan sonra kanban kabul kutusunda toplanmaktadır. Bu işlemde, stok noktasında kartların çıkarılış sırası aynen korunmaktadır.
- Üretim-sipariş kanbanlarının kutudaki sırasına göre parça üretimi gerçekleştirilmektedir.
- Tüm süreç boyunca, fiziksel birimlerin kanbanla birlikte hareket etmesi gerekmektedir.

Önceki süreçte fiziksel üretim tamamlandığında, parçalar ve üretim-sipariş kanbanı stok noktasına yerleştirmektedir. Böylelikle sonraki üretim sürecinin taşıyıcısı herhangi bir zamanda gelip parçaları alabilmektedir. Birbirini izleyen süreçler arasında bu şekilde bir kanban zincirinin sürekli var olması gerekmektedir. Sonuç olarak, her süreç sadece gereken parçaları, gereken zamanda ve gereken miktarda almaktadır. Kanban zinciri, her süreçte üretimin çevrim zamanına uygun olarak gerçekleştirilmesi yoluyla hat dengesinin sağlanmasına da yardımcı olmaktadır.

3. MONTAJ HATTI TÜRLERİ VE MONTAJ HATTI PROBLEMLERİ

Montaj hattı, bir ürünü oluşturan parçaların aralarında öncelik ilişkileri gözetilerek, bir hat boyunca sıralanan iş istasyonlarında birleştirildiği üretim sistemleridir. Montaj hatlarının en belirgin özelliği malzemelerin üretim hattı boyunca iş gücünden de yararlanarak aktarılmasıdır. Bir çok ürün, stok noktaları ve montaj hatları şebekesi ile birleştirilen alt montaj ve parçaların beslediği montaj hattı sistemleri ile üretilmektedir. Montaj hattı, her birinde bir veya birden fazla işlemin yapıldığı iş istasyonları ve bunları birbirine bağlayan banttandır oluşmaktadır [9].

Kitle üretim sistemlerinin en önemli ögesi olan montaj hatları çeşitli kriterlere göre çok farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Montaj hatları ürün çeşitliliğine göre genel olarak üç gruba ayrılmaktadır:

- i. Tek ürünlü (single-model) montaj hattı
- ii. Çok ürünlü (multi-model) montaj hattı
- iii. Karma ürünlü (mixed-model) montaj hattı

Başlangıçta tek bir ürünün üretilmesi için tasarlanan montaj hatları kullanılıyor iken, kitle üretim sistemlerinin gelişmesine paralel olarak çok ürünlü ve karma ürünlü montaj hatlarının kullanımları gündeme gelmiştir.

Yukarıdaki ayrımın yanı sıra montaj hatları işlem sürelerinin deterministik veya stokastik olarak ele alınmasına göre iki alt gruba da ayrılabilir. İşlem sürelerinin deterministik olduğu montaj hattı problemlerinde işlem sürelerinin bilindiği ve birimden birime herhangi bir değişim göstermediği varsayılmaktadır. İşlem sürelerinin değişken olduğu stokastik dengeleme problemlerinde ise süreler belirli bir olasılık dağılımı ile temsil edilir.

3.1. Tek Ürünlü Montaj Hattı

Tek ürünlü montaj hatları, tek tip bir ürünün veya modelin üretildiği montaj hatlarıdır. Talep düzeyi montaj hattı kapasitesinin tamamının kullanacak kadar büyüktür.

Tek ürünlü montaj hatlarının temel yönetim problemleri; çevrim süresinin belirlenmesi, iş istasyonları sayı ve sırasının belirlenmesi ve en önemlisi montaj hattının dengelenmesidir.

Montaj hattı dengeleme, işlerin önceden belirlenmiş öncelik kurallarının gözetilerek, istenen bazı özellikleri en iyileyecek şekilde istasyonlara atanması işlemidir [10]. İş yükünün istasyonlar arasında eşit olarak dağıtılması üretim kaynaklarının verimli kullanılması için gereklidir. Tek ürünlü montaj hattı dengeleme problemlerinin çözümü için genellikle “iş istasyonu sayısının en küçüklenmesi” ölçütü kullanılmaktadır. Bunun yanında “toplam boş bekleme süresinin en küçüklenmesi”, “verilen bir istasyon sayısı için çevrim süresinin en küçüklenmesi” ve “dengeleme gecikmesinin en küçüklenmesi” literatürde karşılaşılan diğer performans ölçütleridir.

3.2. Çok Ürünlü Montaj Hatları

Çok ürünlü montaj hattı, bir ürünün birden fazla model veya tipinin partiler halinde üretildiği hatlardır. Günümüzde yaygın olarak kullanılan çok ürünlü montaj hatlarında, tek ürün montaj hattı için geçerli olan problemlerin yanı sıra; “partiler hangi sırayla ve hangi büyüklükte üretilecek?” sorusuna cevap aranmaktadır. Eğer parti hacmi çok büyük ise tek ürünlü montaj hattı, çok küçük ise karma ürünlü montaj hattı özelliği söz konusudur.

Çok ürünlü montaj hatlarında bir ürünün değişik modelleri veya farklı ürünler üretilmektedir. Her iki durumda da ürünlere benzer montaj işlemleri uygulanmaktadır. Başlangıçta montaj hattı belirli bir ürünün üretimi için

hazırlanmakta ve istenen üretim hacminden sonra diğer ürünlerin üretimleri için montaj hattında gerekli düzenlemeler yapılarak ikinci ürünün parti üretimi gerçekleştirilmektedir. Süreç bu şekilde diğer ürünler için devam etmektedir.

Çok ürünli üretim hatlarının tasarımı için;

- i. Her parti için montaj hattı nasıl dengelenecektir?
- ii. Parti büyüklükleri ne olmalıdır?
- iii. Partiler hangi sıraya göre üretilmelidir?

problemlerinin çözümü gerekmektedir.

Her bir ürün türü için parti büyüklüklerinin belirlenmesi talep düzeylerine ve hattın işletim maliyetlerine bağlıdır. Farklı ürünlerin parti sırası ise montaj hattı hazırlık (üretim değişimi) maliyetlerinden etkilenmektedir. Bu problem belirli bir zamanda, toplam hazırlama maliyetlerini en küçükleyen parti sırasının belirlenmesi şeklinde tanımlanabilir. Parti sırasının önem kazanmasının başlıca nedeni hazırlama maliyetlerinin genellikle sabit olmayıp üründen ürüne değişken bir nitelik taşımasıdır.

Çok ürünli montaj hatlarında, her ürünün üretimi için hat dengeleme problemleri birbirinden bağımsız olarak tek ürün montaj hattı dengeleme yöntemleri ile çözümlenebilir.

3.3. Karma Ürünli Montaj Hatları

Karma ürünli montaj hattı, aynı anda birden fazla farklı ürünün tek bir montaj hattında peş peşe üretebildiği montaj hatlarıdır. Bir ürünün değişik modellerinin aynı anda karışık olarak üretildiği montaj hatlarında, karmaşık tasarım ve işletim problemleri ile karşılaşmaktadır. Geleneksel montaj hattı problemlerinin yanı sıra;

“ürünler hangi sırayla hatta yüklenecek?” sorusunun cevaplanması önem kazanmaktadır.

Okamura ve Yamashita [11], etkin bir karma ürünlü montaj hattının oluşturulması ve işletilebilmesi için izleyen dört problemin çözüme kavuşturulması gerektiğini belirtmektedir:

- i. Montaj hattının çevrim süresinin belirlenmesi,
- ii. Hat üzerindeki iş istasyonlarının sayı ve sırasının belirlenmesi,
- iii. Montaj hatlarının dengelenmesi,
- iv. Farklı ürünlerin üretim sırasının belirlenmesi.

Yukarıda verilen ilk üç problem türü daha çok montaj hattının tasarım aşaması ile ilgilidir. Karma ürünlü montaj hatları için montaj hatlarının dengelenmesi kararı, üretim sistemlerinde önemli tasarım konularından birisidir [12].

Karma ürünlü montaj hatları dengeleme probleminde öncelik ilişkilerini belirleyen öncelik diyagramı, tek ürün montaj hattı dengeleme problemlerinde kullanılan öncelik diyagramlarından oldukça farklıdır. [13]

Thomopoulos [14], iki veya ikiden daha fazla ürünün öncelik diyagramlarını tek bir diyagram halinde birleştirerek, birleşik öncelik diyagramı kavramını tanıtmıştır. Bütünleşik öncelik diyagramı farklı ürünler arasında öncelik ilişkilerinde bir çelişkinin olmadığı durumlar için geçerlidir [15].

Bu çalışmanın konusu dördüncü problem türünü kapsamaktadır. Hattın işletim aşaması ile ilgili olan farklı ürünlerin üretim sırasının belirlenmesi problemleri kuruluşların üretim sistemlerinin yapısına uygun olarak benimsediği hedefleri doğrultusunda çözülmelidir.

Üretim çizelgeleri, her üretim/montaj hattı için hat üzerinde işlenecek parçaların sırasını gösteren çizelgelerdir. Bu çizelgelerin hazırlanması karma ürün sıralama (mixed-model sequencing) olarak adlandırılmaktadır.

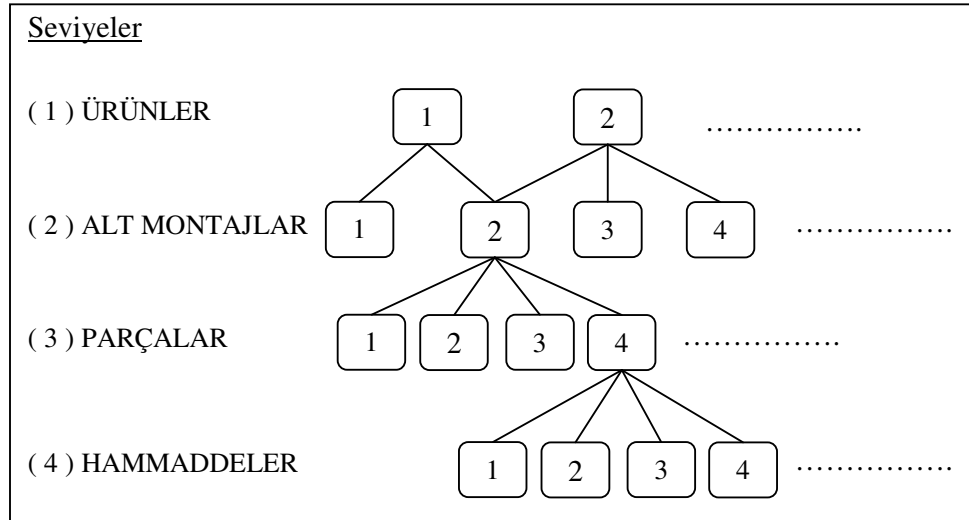
Montaj hattındaki üretim sırasının uygun bir şekilde yapılması iş istasyonlarının, iş yüklerinin dengelenmesinin yanı sıra; üretim hattında kullanılan parçaların kullanım miktarlarındaki değişimi de büyük ölçüde ortadan kaldıracaktır.

Karma ürünli montaj hatları sıralama problemleri TZÜ sistemlerinin uygulandığı işletmeler için özel bir önem kazanmıştır. TZÜ sisteminde, büyük miktarlarda stok tutulmadan ve sonradan karşılamaya gerek kalmadan müşteri isteklerinin karşılanması mümkün olmaktadır. Ancak TZÜ sisteminin doğasındaki “çekme” işleminden dolayı üretim sırası son montaj hattına, yani son ürün seviyesine bağlıdır. Bu nedenle diğer üretim seviyelerindeki üretim sırası da dolaylı olarak son montaj hattı tarafından belirlenmektedir.

4. ÜRÜN SIRALAMA PROBLEMİ

4.1. Giriş

Bir çok kuruluş farklı ürünlerin düşük partilerde üretimi gerçekleştirebilmek için karma-ürünlü üretim sistemlerini (mixed-model production systems) uygulamaktadır. Bu durum kuruluşlara, müşterilerin çeşitli ürün taleplerine büyük stoklar tutmadan cevap verebilmelerini sağlamaktadır. Üretim sistemi genelde dört seviyeli ve aşağıdaki gibi gösterebilir (Şekil 4.1) :



Şekil 4.1. Üretim sistemi çıktıları

Hammaddeler ya da satın alınan malzemeler işlenerek alt montajları oluşturacak parçalara dönüştürülür. Alt montajlar da montaj hattında birleştirilerek ürün haline getirilir. Gerekli ürünlerin, gereken miktarda, gerektiği zamanda üretilmesini sağlayan TZÜ sistemi, karma-ürünlü çok seviyeli üretim sistemlerinin kontrolünde kullanılabilmektedir.

Tam zamanlı üretim sistemi, çekme tipi üretim sistemidir. Böylece alt montajlar, parçalar, hammaddeler ihtiyaç duyulduklarında çekilmektedirler. Üretim, bir sonraki

seviyeye çıktı verebilmek için o seviyenin talebi ile başlamaktadır. Yani hammaddenin tedarik bilgisi öncelikle parçaların üretilmesi emrini beklemektedir. Alt montajların üretilmesi gerektiği için parça ihtiyacı doğmaktadır. Son ürünün montaj hattında üretilmesinde gerekli alt montajların çekilmesi ise üretimi tetiklemektedir. Sonuç olarak ürünün oluşturulduğu son montaj hattı üretimin kontrolü için düşünülebilmektedir. Montaj hattındaki ürün sıralaması, tüm üretim hattındaki üretim sıralamasını etkilemektedir. Montaj hattı ile tam zamanında üretim düşük parti büyüklüğü, gerektiğinde malzeme çekimi, yarı ürün stokları olmaması, sürekli üretim gibi noktalarda birleşmektedirler.

Hatta girecek ürünlerin sıralamasının belirlenmesi öncesinde, hattın çevrim zamanının belirlenmesi, hattaki istasyon sırasının ve sayısının belirlenmesi ve hattın dengelenmesi gerekmektedir. Bu tez montaj hattına girecek ürün sırasının belirlenmesi üzerinedir. Sıralama, kuruluşun hedeflerine göre değişiklik gösterir. Temel olarak literatürde şu dört amaç görülür:

1. Operatörün etkinliğini maksimize etmek ya da montaj hattının durma riskini minimize etmek için her iş istasyonundaki iş yükünü dengeli olarak yüklemek. Bu amaç Yano ve Rachamadugu [16] tarafından tartışılmıştır.
2. Montaj hattında kullanılan her parçanın kullanımını sabit tutmak. Bu amaç Bautista ve arkadaşları [17], Leu ve arkadaşları [18], Miltenburg ve Sinnamon [2], Monden [1], Morabito ve Krauss [19], Steiner ve Yeomans [20], Sumichrast ve Clayton [21], Sumichrast ve Russel [22], Sumichrast ve arkadaşları [23] tarafından tartışılmıştır.
3. Montaj hattına ürünlerin sabit olarak beslenmesini sağlamak. Kubiak [24] tarafından tartışılmıştır.
4. Toplam konveyör durma zamanını minimize etmek. Xiaobo ve Ohno [25] tarafından tartışılmıştır.

Üretim seviyesinde her noktada stokları düşük oranlarda tutmak maliyetler ve tam zamanında üretim açısından çok önemlidir. Ürün sıralamasını belirlemek için yukarıda belirtilen ikinci amaç, parça kullanım oranlarını sabit tutmak, bir çok çalışmada amaç olarak ele alınmıştır. Bu tez de, üretime girecek ürünleri belirlerken, parça kullanım oranlarını sabit tutmak amacı üzerine yöntemleri ele almaktadır. Tez içerisinde Miltenburg ve Sinnamon'un [2] geliştirdiği iki sezgisel yöntem, Sezgisel 1 ve Sezgisel 2, incelenmekte ve alternatif sezgisel bir yöntem önerilmektedir.

4.2. Literatür İncelemesi

Üretimi düzgünleştirmek, dolayısıyla üretim varyasyonlarındaki değişimleri ve yarı ürün stoklarını minimize etmek TZÜ sistemini gerçekleştirmek için temel amaçtır. 1980'lerin ortalarından beri Toyota Üretim Sisteminin başarısı bu amacın önemini de arttırmaktadır. Ürün sıralama probleminde ikinci amaç doğrultusunda, sezgisel bir metot olan amaç kovalama yöntemi (goal chasing method), Monden [1] tarafından geliştirilmiştir. Bautista ve arkadaşları [17], Monden'in problemi için sınırlı dinamik programlama algoritması geliştirmişlerdir. Leu ve arkadaşları [18], çok seviyeli bir üretim sistemi için ikinci amaç doğrultusunda sıralama problemini çözmek için bir genetik algoritma geliştirmişlerdir. Miltenburg ve Sinnamon [2] da çok seviyeli üretim sistemi için parça kullanım oranını sabit tutmak amacıyla sıralama problemini çözmek için 2 sezgisel yöntem geliştirmişlerdir. Bu iki yöntem bu tezde detaylı olarak ele alınmaktadır. Steiner ve Yeomans [20], ikinci amaç üzerine çok seviyeli bir üretim sisteminde sıralama problemini tartışmışlardır. Sumichrast ve Clayton [21], üretim hattında kullanılan parça ihtiyaçlarını sabit tutmak amacı ile mevcut yöntemleri sıralama problemi için modifiye etmişlerdir. Sumichrast ve arkadaşları [23], simülasyon teknikleri kullanarak sıralama problemi için çeşitli kriterleri kıyaslamışlardır.

Miltenburg [26], beklenen üretim oranları ile gerçekleşen üretim oranları arasındaki farkı minimize etmek amacıyla doğrusal olmayan tamsayılı programlama olarak ürünlerin sıralanması formüle etmiştir. Bu modellemede tüm ürünlerin aynı sayıda

benzer parçalara ihtiyaç duyduğu varsayımını yapılmıştır. Miltenburg; üretim oranlarındaki değişimlerin minimize edilerek (ürün seviyeleme problemi) parça kullanım oranlarındaki değişimin (parça seviyeleme problemi) minimize edilebileceğinin üzerinde durmuştur. Miltenburg bu problemi çözecek bir algoritma geliştirmiştir. Sonucun tam sayı olmaması sebebiyle kısmi sıralamalar kullanmış ve algoritmayı mümkün tamsayı çözüm verecek hale getirmiştir. Ürün çeşitliliğine göre algoritmanın üstel olması çözümün ürün çeşidindeki artışla beraber mümkün olmayacağını göstermiştir. Bunun üzerine Miltenburg ve Sinnamon [2] iki sezgisel yöntem geliştirerek sınırlı bilgisayar hesaplamaları ile bu sezgisel yöntemleri performanslarına göre kıyaslamışlardır.

Miltenburg ve arkadaşları [27], 1990 yılında ürün sıralama problemini çözmek için Dinamik Programlama Algoritması geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritma her ne kadar ürün çeşidi bakımından üstel artış gösterse de; Miltenburg tarafından 1989'da geliştirilen sezgisel yöntemin düşük ürün çeşidi ve yüksek taleplerde test edilmesi için yeterli olmuştur. Ancak geliştirilen algoritma büyük problemler için çok fazla zaman gerektirmektedir.

Kubiak ve Sethi [28], optimizasyon algoritması oluşturmuşlar ve belirlenen bir zaman içerisinde, montaj hattında üretilen tüm ürünlerin toplam talebi için çalışabilecek şekilde bu algoritmayı geliştirmişlerdir. Amaç fonksiyonu üretimin belirlenen bir zaman dilimi içinde dağıtılmasındaki değişimler için cezalandırma üzerine kurulmuştur. Eğer ceza fonksiyonu negatif değil ve konveks ise, problemin atama problemine dönüşebileceğini bu çalışmada belirtmişlerdir.

Cheng ve Ding [29], varolan birçok ürün seviyeleme problemini çeşitli büyüklükteki ürün grupları üzerinde test etmişlerdir.

Kubiak ve arkadaşları [30], dinamik programlama yaklaşımı geliştirmiş ve karma ürünlü sıralama problemi için optimal çözümler bulmuşlardır. Bu çalışma, karma ürünlerin sıralanması probleminin NP-zor yapıda olduğunu göstermiştir.

Zhu and Ding [31], iki istasyonlu parça seviyeleme değişimini sezgisel bir yöntem olarak ele almışlar ve ürün üzerindeki değişim oranının minimizasyonunun, parça üzerindeki değişim oranına etkisini tartışmışlardır. Bu çalışma ile, parça seviyeleme problemi için geliştirilen iki istasyonlu sezgisel çözümün, tek istasyonlu modele göre daha etkin sonuç verdiğini gözlemlemişlerdir.

Mingzhou Jin [32], 2002 yılında Monden [1] tarafından geliştirilen amaç kovalama metodu ile kendi geliştirdiğı Variance Algoritmasını karşılaştırmış ve amaç kovalama metoduna göre daha iyi bir sonuçlar elde etmiştir.

Xiaobo ve Ohno [25-33], konveyör durma zamanını minimize etmenin üretim oranındaki değişimden daha önemli olduğunu düşünmüşler ve toplam hat durma zamanını minimize eden optimal bir çizelge oluşturmuşlardır. Toplam durma zamanlarının alt sınır ve üst sınır değerlerini belirleyerek, probleme dal-sınır metodu uygulamışlardır.

Karma ürünlerin montaj hatlarında sıralanması ile ilgili çok amaçlı problemler de geliştirilmiştir.

Bard ve arkadaşları [34], iki amaçlı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Bu amaçlar, tüm hat uzunluğunu minimize etmek ve parça kullanım hızını sabitlemektir. Bu iki amacı ağırlıklandırılmış toplamlarına göre birleştirmişler ve çözüm için Tabu Arama yöntemini önermişlerdir.

Tsai [35], hat durma riskini ve toplam faydalı çalışmaları minimize eden iki amaç ile ilgili bir optimizasyon yöntem önermiştir. Ancak önerilen yöntem iki çeşit ürün ve bir istasyon için çözüm üretebilmektedir.

Hyun ve arkadaşları [36], üç amacı göz önünde bulundurmuşlardır. Bu amaçlar toplam faydalı çalışma süresini minimize etmek, parça kullanım oranını sabit tutmak

ve toplam hazırlık maliyetini minimize etmek olarak belirlenmiştir. Bu modeli çözmek için Genetik Algoritma yöntemi kullanılmıştır.

McMullen [37], parça kullanım oranını ve hazırlık sayısını minimize etmek üzerine çalışmıştır. İki amacı ağırlıklandırarak tabu arama yöntemini kullanmıştır.

McMullen ve Frazier [38], 2000 yılında parça kullanım oranını ve hazırlık sayısını minimize etmek amacı için tavlama benzetimi yöntemini geliştirmişler ve tabu arama çözümü ile kıyaslama yapmışlardır. Kıyaslama sonuçlarına göre tavlama benzetiminin, tabu arama çözümüne göre daha iyi sonuç verdiğini belirlemişlerdir.

McMullen ve arkadaşları [39], aynı amaç için Genetik Algoritma yaklaşımını kullanmışlar ve sonuçlarını hem tabu arama hem de tavlama benzetimi ile kıyaslamışlardır. Tabu arama sonuçlarının kullanım oranı ve teslim süresi açısından diğer iki yöntemle göre çok iyi sonuçlar vermediğini, tavlama benzetimi ve genetik algoritmanın aynı sonuçları verdiğini, ancak genetik algoritmanın hesaplamada daha uğraştırıcı olduğunu gözlemlemişlerdir.

4.3. Problem Tanımı

Her ürün (Seviye 1), çeşitli alt montajlardan (Seviye 2) oluşmaktadır. Bu alt montajlar çeşitli hammaddelerden (Seviye 4) oluşan parçalardan (Seviye 3) oluşmaktadır. Bu çıktıların dağılımı üründen ürüne değişiklik göstermektedir. Yığın üretim ve küçük miktarlarda dengelenmiş üretim mantığı aşağıdaki gibi düşünülebilir.

Yığın üretim olması durumunda

Ürünler yığınlar halinde sırasıyla üretilmektedir. Bu durumda hazırlıkların sayısı minimize edilmektedir. Buna karşın son ürünler için piyasa talepleri göz önünde bulundurulmadığı için stoklar çok fazla olmaktadır. Büyük yığınlarda ürünlerin

üretilmesi için büyük yığınlarda hammadde ve yarı ürün stokları gerekmektedir. Bir parça, sadece düşük miktarda üretilmesi gereken bir ürün için kullanılacaksa, bu parçanın kullanımı o ürün üretilirken çok fazla olmakla birlikte diğer durumda hiç olmayacaktır.

Dengelenmiş üretim sıralamasında

Ürünler aynı anda, küçük partiler halinde üretilmektedir. Böylelikle piyasa talepleri dikkate alınabilmektedir. Parça ve alt montaj üretimleri, aynı zamanda ürünlerin üretimleri ile senkronize edilmiştir. Stoklar düşük seviyelerdedir. Hazırlıklar çok fazla olduğu için hazırlık maliyetleri ve hazırlık süreleri küçük olmalıdır. Bunlar Tam Zamanında Üretim amaçları ile benzerdir. Dengelenmiş ürün sıralama tam zamanında üretim sistemleri için kullanılır [2].

Yığın üretim ve dengelenmiş üretim arasındaki farklılığın daha iyi anlaşılabilmesi için bir örnek problem şu şekilde düşünülebilir.

Örnek Problem 1

Bir kuruluş üretim ve montaj alanından oluşmaktadır. Üretim alanında 9 farklı parça 16 ayrı makinede imal edilmektedir. Montaj alanında bu 9 parça ile 4 farklı ürünün montajı, çok ürünlü montaj hattında gerçekleştirilmektedir. Üretim verileri Çizelge 4.1’de verilmektedir. Her parça farklı makinelerde üretildiği için makineler gruplandırılabilir (grup teknolojisi). Makineler ve makinelerde üretilecek parçalar Çizelge 4.1’de verilmektedir. Montaj hattı günde 8 saat, haftada 5 gün çalışmaktadır ve kapasitesi saatte 5 birimdir.

Toplam talep 200 birimdir. Bu 200 birimin üretilmesi için yığın üretim sıralaması ve dengelenmiş sıralama karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 4.1. Örnek problem 1 için ürün ağacı ve proses gereksinimleri

TALEPLER VE ÜRÜN AĞACI																
	Ürün Haftalık İhtiyaç					1 75	2 50	3 50	4 25							
Parça	1						2	-	-	1						
	2						1	-	3	-						
	3						-	1	-	1						
	4						3	2	2	2						
	5						2	4	1	-						
	6						-	1	-	2						
	7						-	-	1	2						
	8						-	2	-	1						
	9						-	-	3	-						
						8	10	10	9							
PARÇALAR VE ÜRETİLEBİLDİĞİ MAKİNELER																
Parça	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI
1	-	√	-	-	√	-	√	√	-	-	-	-	-	√	-	-
2	√	-	√	√	-	√	-	-	√	-	√	-	-	-	-	√
3	√	-	√	√	-	√	-	-	-	√	√	-	√	-	-	-
4	-	√	-	-	√	-	√	√	-	-	-	√	-	√	√	-
5	-	-	-	-	√	-	√	√	-	-	-	√	-	√	-	-
6	√	-	√	√	-	√	-	-	√	√	-	-	√	-	-	√
7	-	-	√	√	-	√	-	-	-	√	√	-	√	-	-	√
8	-	√	-	-	√	-	-	√	-	-	-	-	-	√	-	-
9	-	√	-	-	√	-	-	√	-	-	-	√	-	-	√	-

Çizelge 4.1. (Devam) Örnek problem 1 için ürün ağacı ve proses gereksinimleri

MAKİNELERİN İKİ HÜCREDE GRUPLANDIRILMASI																	
Parça	II	V	VII	VIII	XII	XIV	XV		I	III	IV	VI	IX	X	XI	XIII	XVI
	HÜCRE 1																
1	√	√	√	√	-	√	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	√	√	-	√	√	-	√		-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	√	√	√	√	√	√	√		-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	√	√	√	√	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	√	√	-	√	-	√	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	HÜCRE 2																
6	-	-	-	-	-	-	-		√	√	√	√	√	-	√	-	√
7	-	-	-	-	-	-	-		√	√	√	√	-	√	√	√	-
8	-	-	-	-	-	-	-		√	√	√	√	√	√	-	√	√
9	-	-	-	-	-	-	-		-	√	√	√	-	√	√	√	√

Yığın üretim altında, sırasıyla birinci üründen 75, ikinci üründen 50, üçüncü üründen 50 ve dördüncü üründen 25 birim Çizelge 4.2'deki gösterildiği gibi montajlanabilir.

Her bir ürün için gerekli parçaların hangi hücrede ve hangi makinede üretileceğinin de belirlenmesi üretimin düzgünleştirilmesi için önemlidir. Yığın üretim olması durumunda makinelerdeki iş yükü dağılımının düzgün olmaması üretimin düzgünleştirilmesi açısından sorun teşkil edebilmektedir. Bir makine çok yoğun çalışırken, diğer bir makine boş bekleyebilmektedir.

Çizelge 4.2. Örnek problem 1 için geleneksel yığın üretim çizelgesi, S1
S1...[(75 birim 1. ürün), (50 birim 2. ürün), (50 birim 3. ürün),
(25 birim 4. ürün)] her hafta

Ürün	Pazartesi	Salı	Çarşamba	Perşembe	Cuma
1	40	35	0	0	0
2	0	5	40	5	0
3	0	0	0	35	15
4	0	0	0	0	25
Parça	Hücre 1				
1	80	70	0	0	25
9	0	0	0	105	45
4	120	115	80	80	80
5	80	90	160	55	15
8	0	10	80	10	25
Toplam	280	285	320	250	165
Parça	Hücre 2				
2	40	35	0	105	45
3	0	5	40	5	25
6	0	5	40	5	50
7	0	0	0	35	65
Toplam	40	45	80	150	185

Çizelge 4.2'ye göre Pazartesi günü sadece birinci ürün üretilebilir. Salı günü ilk 7 saat birinci ürün üretildikten sonra son saat içerisinde ikinci ürün üretilmeye başlar. Bu şekilde bütün ürünlerin üretimleri bir hafta içerisinde gerçekleştirilir.

Montajı gerçekleştirilecek ürün miktarları ve ürünler için gerekli parçaların üretim miktarları da Çizelge 4.2'de gösterilmektedir. Örneğin 160 birim beşinci parçaya Çarşamba günü ihtiyaç duyulmaktadır. Çünkü 40 birim üçüncü üründen üretmek için 160 birim beşinci parça gerekmektedir. Cuma günü beşinci parçanın kullanımı 15 birime düşmüştür. Parçaların günlük kullanımları, hatta saatlik kullanımları belirgin

değişiklikler göstermektedir. Perşembe gününün ilk saatinde 20 birim beşinci parça gereklidir çünkü 5 birim ikinci ürün montajlanmaktadır. Daha sonra beşinci parçanın üretimi saatte 1 birime düşmektedir. Çünkü ikinci ürünün montajı bitmiştir ve üçüncü ürünün her biri için 1 birim beşinci parçaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Her hücre için günlük kullanım miktarları da değişiklik göstermektedir. Çarşamba günü gerekli miktar üretilmesi için Birinci hücrenin kapasitesi günlük en az 320 birim olmalıdır. İkinci hücre için günlük üretim miktarları 40-185 birim arasında değişkenlik göstermektedir. Hücreler içerisinde makinelerin kullanımlarında bile değişkenlik vardır. Örneğin 12. makinenin günlük üretimi 200, 205, 240, 240 ve 140 birimdir.

Sonuç olarak üretim alanında büyük değişkenlikler açıkça görülmektedir. Seviye 1 (ürünler) için sıralama kolay görülse de, seviye 2 (üretim alanı) için sıralama çok karmaşıktır. Ayrıca ürün stokları çok fazladır. Örneğin ilk gün üretilen birinci ürünün bazılarının haftanın sonuna kadar ihtiyaç duyulmayabilir ve stokta bekletilir. Bununla beraber dördüncü ürüne olan talepler de üretim gerçekleşmediği için hafta sonuna kadar ertelenebilir.

Dengelenirilmiş sıralamada her üründen her gün üretildiği düşünölsün. Günlük üretimler; birinci üründen 15, ikinci üründen 10, üçüncü üründen 10, dördüncü üründen 5 birim olsun (Çizelge 4.3 S-2 sırası). Bu sıralama ile günlük ürün, parça ve makine kullanımları sabit olacaktır. Günlük kullanımlar birinci hücrede 265 birim, ikinci hücrede 100 birimdir ve sabittir. Bu dengelenirilmiş sıralamanın bir karakteristiğidir ve küçük kapasitelerde makinelere ihtiyaç duymaktadır. Dengelenirilmiş sıralamanın bazı avantajları şunlardır [2]:

- İnsan gücünü planlamak kolaydır.
- Her seviyedeki üretim daha düzgündür.
- Kaliteyi artırmak için prosedürler geliştirmek daha kolaydır.
- Ürünler ve parçalar sürekli üretildikleri için stoklar azdır.

- Ürünler müşterilere daha hızlı ulaştırılır çünkü tüm ürünlerin montajı sürekli yapılmaktadır.

4 saatlik periyotlarda ikinci sıralama tekrar incelendiğinde 15 birim birinci ürünün ve 5 birim ikinci ürünün montajlandığı görülmektedir (Çizelge 4.3). Bu montaj için birinci hücreden 145 birim parçaya, 2. hücreden 25 birim parçaya ihtiyaç duyulmaktadır. Öğleden sonraki 4 saatlik zaman diliminde ise ürün ve parça ihtiyaçları değişmektedir. İkinci hücrenin üretim miktarı % 300 artarak 25 birimden 75 birime yükselmiştir. Günlük 100 birim kapasitesi olan ikinci hücrede sabah diliminde 25 birim, öğleden sonraki zaman diliminde 75 birim üretim gerçekleştirilmektedir. Bu durum S2 çizelgesine göre gerçekleştirilen üretimde de değişkenliğin çok olduğunu göstermektedir.

Daha da dengelendirilmiş bir sıralamada için S3 çizelgesi ele alınmıştır. Ürün sırası 1,2,3,1,4,2,3,1 şeklinde belirlenmiştir. Sıralama bu şekilde tüm talepler karşılanıncaya kadar devam etmektedir. Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi ürün, parça ve makine kullanımları mümkün olduğu kadar sabitleştirilmiştir.

Çizelge 4.3. Örnek problem 1 için S2 ve S3 sıralaması üretim durumları

Ürün	Pzt.	Salı	Çarş.	Perş.	Cuma	S2		S3	
						sabah ¹	öğleden sonra ²	sabah	öğleden sonra
1	15	15	15	15	15	15	0	8	7
2	10	10	10	10	10	5	5	5	5
3	10	10	10	10	10	0	10	5	5
4	5	5	5	5	5	0	5	2	3
Parça	Hücre 1								
1	35	35	35	35	35	30	5	18	17
9	30	30	30	30	30	0	30	15	15
4	95	95	95	95	95	55	40	48	47
5	80	80	80	80	80	50	30	41	39
8	25	25	25	25	25	10	15	12	13
Toplam	265	265	265	265	265	145	120	134	131

Çizelge 4.3. (Devam) Örnek problem 1 için S2 ve S3 sıralaması üretim durumları

						S2		S3	
Ürün	Pzt.	Salı	Çarş.	Perş.	Cuma	sabah ¹	öğleden sonra ²	sabah	öğleden sonra
Parça	Hücre 2								
2	45	45	45	45	45	15	30	23	22
3	15	15	15	15	15	5	10	7	8
6	20	20	20	20	20	5	15	9	11
7	20	20	20	20	20	0	20	9	11
Toplam	100	100	100	100	100	25	75	48	52

¹ Sabah ilk 4 saatlik üretim dilimini ifade eder.

² Öğleden sonra 4 saatlik üretim dilimini ifade eder.

S2 [(15 br Ürün - 1), (10 br Ürün - 2), (10 br Ürün - 3), (5 br Ürün - 4)] her gün

S3 [1-2-3-1-4-2-3-1] 25 kez

Düşük hazırlık zamanları tam zamanında üretim sistemleri için hem bir gereksinim hem de bir amaçtır. Hazırlık zamanlarının uzun olması durumunda yığın üretim (S1) gerçekleştirilmektedir. Hazırlık zamanları azaltılırsa dengelendirilmiş sıralama (S2) uygulanmaktadır. Hazırlık süreleri çok daha düşükse karma modellenli üretim çizelgesi (S3) uygulanmaktadır.

4.4. Problemin Matematiksel Modeli

4.4.1. Notasyonlar

j : seviye (1 ürün, 2 alt montaj, 3 parça, 4 hammadde)

n_j : j seviyesindeki çıktı sayısı $j=1,2,3,4$

d_{i1} : i ürünü için talep $i=1,2,\dots,n_1$

t_{ijl} : l ürününden 1 birim üretmek için, j seviyesinde i çıktısının sayısı

$i=1,2,\dots,n_j$; $j=2,3,4$; $l=1,2,\dots,n_1$

$j=1$ için $i=l$ ise $t_{i1l} = 1$ 'dir. Diğer durumda $t_{i1l} = 0$ 'dır.

d_{i1} ve t_{ijl} ile aşağıdaki eşitlikleri oluşturabiliriz :

$$d_{ij} = \sum_{h=1}^{n_1} t_{ijh} d_{h1} : j \text{ seviyesindeki } i \text{ çıktısı talebi, } i=1,2,\dots,n_j; j=2,3,4$$

$$DT_j = \sum_{i=1}^{n_j} d_{ij} : j \text{ seviyesindeki üretim için toplam talep, } j=1,2,3,4$$

$$r_{ij} = d_{ij} / DT_j : i \text{ çıktısına bağlı } j \text{ seviyesi üretim oranı, } j=1,2,3,4$$

Problemin formülasyonu için kullanılan değişkenler aşağıdakilerden oluşur:

x_{ilk} : 1,2,...,k aşamalarında üretilen i ürünü miktarı

$$x_{ijk} = \sum_{h=1}^{n_i} t_{ijh} x_{h1k} : j \text{ seviyesindeki } i \text{ çıktısının 1,2,...,k aşamalarındaki üretim miktarı}$$

w_j : Ağırlıklar, $j=1,2,3,4$

Ağırlıklar çeşitli seviyelerde iyi bir sıralama için önem durumlarının ayarlanması için kullanılmaktadır. Belirli durumların öncelikleri ve d_{ij}, t_{ijl} verileri w_j 'nin belirlenmesinde etkilidir.

4.4.2. Problemin formülasyonu

İlk seviyedeki üretim miktarları, x_{ilk} , sıralamayı verecektir. Çünkü diğer seviyelerdeki üretim miktarları, ürün montaj hattındaki üretim miktarları ve ürün sıralaması ile belirlenmektedir. Amaç her seviyedeki üretim ve talep dengesini sağlamaktır. Eğer her seviyede, her aşamada, her parça için ideal kullanım ile üretim arasında tam bir denge sağlanırsa, j seviyesinde, k aşamasında, i parçası için üretim miktarı $XT_{jk} r_{ij}$ olur. Ancak bu denge her zaman mümkün olmamaktadır. Örneğin $XT_{jk} r_{ij}$ tam sayı olmayabilir. Bu sebeple üretim miktarını, x_{ijk} , mümkün olduğu kadar ideal kullanım miktarına $XT_{jk} r_{ij}$ yaklaştırmak amaçtır. Matematiksel model bu farkı minimize etmek üzerinedir. Bu farkı minimize eden x_{ilk} 'yi seçmek için amaç fonksiyonu aşağıdadır ($i = 1,2,\dots,n_1$; $k = 1,2,\dots,DT_1$).

$$\min \sum_{k=1}^{DT_1} \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{n_j} w_j (x_{ijk} - XT_{jk} r_{ij})^2 \quad (4.1)$$

Kısıtlar

$$XT_{1k} = k \quad k = 1, 2, \dots, DT_1$$

$$0 \leq x_{i1k} - x_{i1(k-1)} \leq 1 \quad \text{ve} \quad x_{i1k} \text{ tamsayı, } i = 1, 2, \dots, n_1; \quad k = 1, 2, \dots, DT_1$$

İlk kısıt, $XT_{1k} = k$, k aşamada k ürünün sıralanmasını sağlamaktadır. İkinci kısıt ise 0'dan az, 1'den fazla ve kesirli miktarda ürün sıralanmamasını sağlamaktadır. Bu o aşamada sıralanan ya da sıralamaya alınmayan her i ürününü kapsamaktadır.

4.4.3. Amaç fonksiyonları

$$\sum_{k=1}^{DT_1} \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{n_j} w_j (x_{ijk} - XT_{jk} r_{ij})^2 \quad (4.2)$$

Eş. 4.2 üretim miktarı ile ideal kullanım miktarı arasındaki farkı ölçmek için tek yöntem değildir. Diğer amaç fonksiyonları aşağıdadır [2]:

$$\sum_{k=1}^{DT_1} \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{n_j} w_j |x_{ijk} - XT_{jk} r_{ij}| \quad (4.3)$$

$$\sum_{k=1}^{DT_1} \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{n_j} w_j (x_{ijk} / XT_{jk} - r_{ij})^2 \quad (4.4)$$

$$\sum_{k=1}^{DT_1} \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{n_j} w_j |x_{ijk} / XT_{jk} - r_{ij}| \quad (4.5)$$

Tüm amaç fonksiyonları ideal kullanım miktarı ile gerçekleşen üretim arasındaki farkı ölçmeyi amaçlamaktadır. Eş. 4.2 ve Eş. 4.3'ü minimize etmek gerçekleşen

kullanım x_{ijk} , ile ideal kullanım, $XT_{jk}r_{ij}$, arasındaki farkı düşük tutmayı her durumda sağlamaktadır. Eş. 4.4 ve Eş. 4.5 eşitlikleri ise toplam üretim içerisinde gerçekleşen i ürününe ait üretim oranı (x_{ijk} / XT_{jk}) ile ideal kullanım oranı, r_{ij} , arasındaki farkı minimize etmeyi amaçlamaktadır.

Amaç Fonksiyonu (Eş. 4.2), Monden [1], Miltenburg ve Sinnamon [2] tarafından ele alınmıştır. Bu tez de yukarıda belirtilen amaç fonksiyonlarından ilki üzerinedir.

İlk iki eşitlik (Eş. 4.2, Eş. 4.3) çok benzerdir. Ayırt edici özellik ise Eş. 4.2 eşitliğinin daha büyük sapmaları cezalandırabilmesidir. Küçük birden fazla sapma, büyük bir sapmaya göre daha az önemli olabilmektedir [2].

Eş. 4.2 ve Eş. 4.4'ü karşılaştırmak için $x_{ijk} - XT_{jk}r_{ij}$ ve $x_{ijk} / XT_{jk} - r_{ij}$ ifadelerini karşılaştırmak gerekmektedir. İlk ifade bir kesrin tamsayı olarak tahminini gerektirmektedir. Bu sebeple tamsayı sıralamasıdır. İkinci ifade ise sıralamada $1/XT_{jk}$ ölçütünü dikkate almaktadır. k 'nin büyük değerler almasıyla XT_{jk} değeri büyümektedir. Bu durumda sıralamadaki son çıktılarının tüm sapmaya etkisinin ilk çıktılara göre daha az olduğu görülmektedir. Sıralama devam eden bir proses olduğu için Eş. 4.2 eşitliği; Eş. 4.4 ve Eş. 4.5'e tercih edilmektedir. Eş. 4.5 amaç fonksiyonu Eş. 4.4 ile benzer yapıdadır.

4.5. Ürün Sıralama Yöntemleri

Bu tezde, Miltenburg ve Sinnamon [2] tarafından geliştirilen iki sezgisel ürün sıralama yöntemi, Sezgisel 1 ve Sezgisel 2 ele alınmakta ve parça kullanım oranını sabit tutmak amacı doğrultusunda benzer amaç fonksiyonuna sahip alternatif bir sezgisel yöntem önerilmektedir.

4.5.1. Sezgisel 1

Miltenburg ve Sinnamon [2] tarafından geliştirilen bu yöntem parça kullanım oranını minimize etmeyi amaçlamaktadır. Her ürünün farklı alt montajlara, parçalara, hammaddelere ihtiyaç duyduğu sistemlerde, ürün sıralamasını belirlerken üretimin her seviyesini dikkate almaktadır.

İlk aşamadan başlayarak, her aşama için karar kuralını sağlayacak bir sıralama meydana getirilmektedir. Karar kuralı; $1, 2, \dots, k-1$ 'e kadar oluşan sıralamayı sabitleyerek, k . aşama için sapmayı minimize edecek ürünü sıraya koymaktır.

Karar kuralının matematiksel gösterimi

i ürününü en düşük aşağıdaki fonksiyon değeri ile sırala ;

$$H_{ik} = w_1 (x_{i1(k-1)} - kr_{i1}) + 0,5 \sum_{j=2}^4 \beta_{ijk}, \quad (4.6)$$

$$\beta_{ijk} = \sum_{l=1}^{n_j} w_j [(x_{lj(k-1)} + t_{lji}) - (XT_{j(k-1)} + \alpha_{ji})r_{lj}]^2 \text{ ve } \alpha_{ji} = \sum_{h=1}^{n_j} t_{hjl}$$

k aşamasında i ürününün sıralanması durumunda amaç fonksiyonu değeri şu şekilde olacaktır:

$$V_i = w_1 \{(x_{1,1,k-1} - kr_{1,1})^2 + (x_{2,1,k-1} - kr_{2,1})^2 + \dots + (x_{i,1,k-1} - kr_{i,1})^2 + \dots + (x_{n_1,1,k-1} - kr_{n_1,1})^2\} + \sum_{j=2}^4 \sum_{l=1}^{n_j} w_j [(x_{lj(k-1)} + t_{lji}) - (XT_{j(k-1)} + \alpha_{ji})r_{lj}]^2 \quad (4.7)$$

$$\alpha_{ji} = \sum_{h=1}^{n_j} t_{hjl}$$

Amaç fonksiyonu minimizasyon üzerine olduğu için $V_i < V_u$ (Eş. 4.7) durumunda i ürünü k aşamasında sıralanmaktadır. Benzer terimler çıkarılıp fonksiyon üzerinde gerekli sadeleştirmeler yapıldığında $H_{ik} < H_{uk}$ sonucunu veren i ürünü sıralamaya alınabilir denilebilmektedir.

Karar kuralı sapmanın en az olması üzerinedir. Bazı zamanlarda çizelge bir seviyede sapmayı en az yaparken başka bir seviyede oldukça yüksek sapma olabilir. w_j sapmaların önemini göstermektedir. Örneğin $w_3 = 0$, 3. seviyede sapmanın dikkate alınmayacağını göstermektedir.

H_{ik} 'deki ilk terim, $w_1(x_{i1(k-1)} - kr_{i1})$, i ürününü sıralamayla ilgili 1. seviyedeki ekstra sapmayı göstermektedir. β_{ijk} ise i ürününü üretmek için, k aşamasında üretilmesi gereken tüm çıktılar j seviyesindeki sapmasını göstermektedir ($j > 1$). β_{ijk} için n_j terim vardır. Seviye 2,3 ve 4 için $(n_2 + n_3 + n_4)$ terim bulunmaktadır. Bu yüzden bu sezgisel her aşama için $O(n_1(n_2 + n_3 + n_4))$ karmaşıklığa sahiptir.

Miltenburg ve Sinnamon [2] çalışmalarında bu sezgiseli “miyop” olarak adlandırmaktadırlar. Çünkü Sezgisel 1, bir çözüm adımında bir sonraki çözümleri dikkate almamaktadır. k aşaması için sapma düşükken, $k + 1$ aşaması için sapma çok yüksek olabilmektedir.

Sezgisel 1 yöntemi ile ilgili örnek problem aşağıda yer almaktadır.

Örnek Problem 2

Bir işletmede 3 ürün, $n_1=3$, için talepler sırasıyla 6000, 6000 ve 1000 birimdir. Ürünler 3 farklı alt montajdan oluşmaktadır ($n_2=3$). Bu alt montajlar ise 4 farklı parçadan meydana gelmektedir ($n_3 = 4$). Parçalar 3 farklı hammadde içermektedir ($n_4 = 3$). Ürün ağaçları Çizelge 4.4'dedir.

Çizelge 4.4. Örnek Problem 2 için ürün ağaçları

Alt Montaj	Ürün			Parça	Alt montaj			Hammadde	Parça			
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	4
1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1
2	1	1	1	2	1	1	0	2	0	1	0	1
3	0	0	4	3	0	1	0	3	1	0	1	0
				4	0	0	4					

Üretim sıralamasını oluşturmak için t_{ijl}, d_{ij}, DT_j ve r_{ij} değerlerinin öncelikle hesaplaması gerekmektedir.

Örneğin $t_{4,3,3} = 16$ birim, 4. parçadan 3. seviyede 3. ürün için üretilmesi gereken miktarı belirtmektedir. 3. ürün, 3. alt montajdan 4 birime ihtiyaç duymaktadır ve her alt montaj 4 tane 4. parçadan oluşmaktadır. Bu sebeple $t_{4,3,3} = 16$ birimdir.

2. hammadde için toplam talep $d_{24} = 35000$ birimdir. 6000 birim 1. ürün için toplam $2 \cdot 6000 = 12000$ birim, 6000 birim 2. ürün için toplam $1 \cdot 6000 = 6000$ birim, 1000 birim 3. ürün için toplam $17 \cdot 1000 = 17000$ birim 4. hammaddeden gerekmektedir. Toplam talep ise $12000 + 6000 + 17000 = 35000$ birimdir. 4. seviyedeki toplam talep ise $DT_4 = 84000$ olarak hesaplanabilir.

Bu hesaplamaların ardından talep oranları hesaplanabilir. 2. hammadde için talep oranı, $r_{2,4} = 35000 / 84000 = 0,4167$ 'dir.

Hesaplamalar sonrası bulunan t_{ijl}, d_{ij}, DT_j ve r_{ij} değerleri Çizelge 4.5'dedir. Her k

aşaması için, $H_{ik} = w_1(x_{11(k-1)} - kr_{i1}) + 0,5 \sum_{j=2}^4 \beta_{ijk}$ hesaplanmış ve en küçük değeri

veren ürün sıralamaya alınmıştır. Tüm ağırlıklar bu örnek için $w_j = 1$ alınmıştır.

Birinci aşama $k=1$ için $H_{11} = -0,462 + 0,5(0,367 + 1,800 + 0,705) = 0,974$ 'tür. $H_{21} = 0,413$ ve $H_{31} = 129,414$ 'tür. H_{21} en düşük olduğu için ilk aşamada sıralamaya girecek ürün 2. üründür. 2. ürün montaj hattına ilk ürün olarak girdiğinde birinci aşamada oluşan sapma 2,258 birimdir. Sezgisel 1 için ilk 13 aşamaya ait hesaplamalardan bazıları Çizelge 4.6'dadır.

Bu prosedür sapmanın 0 olduğu 13. aşamaya kadar devam etmektedir. Son sıralama 2-1-2-2-1-2-3-1-1-1-2-1-2 şeklindedir. 13 çevrimde toplam sapma ise 338,181'dir. Bu optimal çizelgeye yakın bir sonuçtur. Optimal çözüm 2-1-2-2-1-1-3-1-1-2-2-1-2 şeklindedir ve toplam sapma 324,03'tür. Optimal sonuç Miltenburg ve Sinnamon [2] tarafından Sezgisel 1'in çözümünün geliştirilmesiyle oluşturulmuştur ve sadece küçük problemler için optimal çözümler oluşturulabilmektedir.

Çizelge 4.5. Örnek problem 2 için montaj ve talep verileri

Bir birim l ürünü için ihtiyaçlar, t_{ijl}														
Ürün , $j=1$ l	Alt Montaj, $j = 2$				Parça, $j=3$					Hammadde, $j = 4$				Talep Oran $d_{l,1}$ $r_{l,1}$
	$i=1$	$i=2$	$i=3$	Topl.	$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$	Topl.	$i=1$	$i=2$	$i=3$	Topl.	
1	1	1	0	2	1	2	1	0	4	1	2	2	5	6000 0,461
2	0	1	0	1	0	1	1	0	2	0	1	1	2	6000 0,461
3	0	1	4	5	4	1	1	16	22	20	17	5	42	1000 0,076
Talep d_{ij} (x 1000 br)	6	13	4	23	10	19	13	16	58	26	35	23	84	
Oranlar r_{ij}	0,260	0,565	0,173		0,172	0,327	0,224	0,275		0,309	0,416	0,273		

Çizelge 4.6. Örnek problem 2, Sezgisel 1 için çözüm sonuçları

Aşama, k	Ürün, i	$\psi_{i,1,k}$	$\beta_{i,1,k}$	$\beta_{i,2,k}$	$\beta_{i,3,k}$	$\beta_{i,4,k}$	$H_{i,k}$	Sıralanan Ürün	Sapma	Topl. Sapma
1	1	-0,462	0,509	0,367	1,800	0,705	0,974	2	2,258	2,258
	2	-0,462	0,508	0,287	0,847	0,616	0,413			
	3	-0,077	1,278	14,836	152,64	91,500	129,41			
2	1	-0,923	0,036	0,412	4,240	2,542	2,674	1	7,229	9,487
	2	0,077	2,036	1,149	3,386	2,463	3,576			
	3	-0,154	1,574	13,127	133,77	77,401	111,99			
⋮		⋮								
6	1	-0,769	0,320	3,709	38,162	22,875	31,604	2	62,380	159,331
	2	0,231	2,320	4,129	33,493	22,439	30,261			
	3	-0,462	0,935	5,550	55,543	31,473	45,822			
7	1	-1,231	0,935	4,994	48,868	30,848	41,124	3	75,848	235,179
	2	0,769	4,935	6,231	44,300	30,422	41,245			
	3	-0,538	2,320	5,081	44,937	23,510	36,226			
⋮		⋮								
12	1	-0,538	0,509	0,287	0,847	0,616	0,336	1	2,258	338,181
	2	-0,538	0,509	0,367	1,800	0,705	0,897			
	3	0,077	1,740	20,193	207,76	124,54	176,32			
13	1	0,000	2,000	0,896	1,054	0,099	1,025	2	0,000	338,181
	2	-1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-1,00			
	3	0,000	2,000	17,119	173,21	106,83	148,58			

$$\psi_{i,l,k} = w_1(x_{i,l,k-1} - kr_{i1}), \quad H_{ik} = \psi_{i,l,k} + 0,5 \sum_{j=2}^4 \beta_{i,j,k} \text{ ve } \text{sapma} = \sum_{j=1}^4 \beta_{i,j,k}$$

$$\beta_{i,1,k} = w_1 \left\{ (x_{1,1,k-1} - kr_{1,1})^2 + (x_{2,1,k-1} - kr_{2,1})^2 + \dots + (x_{i,1,k-1} - kr_{i,1})^2 + \dots + (x_{n_1,1,k-1} - kr_{n_1,1})^2 \right\}$$

$$\beta_{i,j,k} = w_j \sum_{h=1}^{n_j} \left[(x_{h,j,k-1} + t_{h,j,i}) - (XT_{j,k-1} + \alpha_{j,i}) r_{h,j} \right]^2, \quad j \neq 1 \quad \alpha_{j,i} = \sum_{h=1}^{n_j} t_{h,j,i}$$

4.5.2. Sezgisel 2

Miltenburg ve Sinnamon [2] tarafından geliştirilen Sezgisel 2 yöntemi de parça kullanım oranını minimize etmeyi amaçlamaktadır. Sezgisel 1 yöntemi gibi Sezgisel 2 yöntemi de her ürünün farklı alt montajlara, parçalara, hammaddelere ihtiyaç duyduğu sistemlerde, ürün sıralamasını belirlerken üretimin her seviyesini dikkate almaktadır. Sezgisel 2 yöntemi k aşamasını ve $k+1$ aşamasını dikkate alan bir sezgisel olması sebebiyle, her aşama için $O(n_1^2(n_2 + n_3 + n_4)^2)$ karmaşıklığa sahiptir. Sezgisel 1'in miyopluğuna çare getirmesi için Miltenburg ve Sinnamon [2] tarafından geliştirilmiştir. Hesaplama için hem k aşamasını hem de $k+1$ aşamasını dikkate almaktadır.

Sezgisel 2'nin algoritması her k çevrimi için aşağıdaki gibidir :

Adım 1 : $j = 1$ yap.

Adım 2 : Rassal olarak k aşamasında üretilecek j ürününü sıraya koy. k aşaması için sapmayı hesapla ve $V1_j$ olarak tanımla.

Adım 3 : $k+1$ aşaması için $H_{i,k+1}$ değeri (1.Sezgisel için karar kuralı) en düşük olan i ürününü belirle. $k+1$ aşaması için sapmayı hesapla ve $V2_j$ olarak tanımla.

Ardından $V_j = V1_j + V2_j$ hesaplamasını yap.

Adım 4 : j 'yi 1 birim artır ($j \rightarrow j+1$). Eğer $j > n_1$ ise Adım 5'e git. Diğer durumda Adım 2'ye git.

Adım 5 : V_j değeri en düşük olan j ürününü k aşamasında sırala.

Bu sezgisel yöntem bir anda bir aşama için sıralama yapmaktadır. Ancak sıralama esnasında iki aşamayı, k ve $k+1$ aynı anda dikkate aldığı için sapma mümkün olduğu kadar minimum olmaktadır.

$w_j = 1$ alınarak ve sezgisel 1 için verilen *örnek problem 2*'deki veriler kullanılarak, sezgisel 2 için hesaplamalar yapıldığında oluşan değerler Çizelge 4.7'dedir.

1. aşamada 1. ürün sıralandığında oluşan sapma $V1_1 = 3,381$ birimdir. Aynı aşamada verilen sıralamada, bir sonraki aşama için 2. ürün sıralanmalıdır. Çünkü $H_{i,k+1}$ değerini en düşük veren 2. üründür. 2. ürün sıralandığında 2. aşamadaki sapma $V2_2 = 7,229$ birimdir. İlk aşamada 1. ürün, ikinci aşamada 2. ürün sıralandığında oluşan minimum sapma $3,381 + 7,229 = 10,610$ birimdir. Aynı prosedür 2. ürün için uygulanırsa $V1_2 + V2_1 = 9,487$ birim olarak belirlenir. Aynı prosedür 3. ürün için uygulanırsa $V1_3 = 260,3$ olarak bulunur. Bu değer 1. ve 2. ürün sıralamada yer alırsa oluşacak sapmadan, $V1 + V2$, daha büyük olduğu için hesaplamaya 3. ürün için devam edilmemiştir. Birinci aşama için toplam sapma değeri en düşük 2. ürün verdiği için sıralamadaki ilk ürün 2. üründür.

2. Sezgiselin karakteristiği 6. aşamada ortaya çıkmaktadır. 1. sezgisele göre 6. aşamada en düşük sapma, $V1_2 = 62,38$, 2. ürün sıralandığında oluştuğu için 2. ürün montaj hattına sokulmalıdır. Ancak 2. sezgisel bir sonraki aşamayı da göz önünde bulundurarak sıralanacak ürünü belirlemektedir. 6. aşamada 1. ya da 2. ürünün ardından 7. aşamada en düşük sapma değerini veren 3. ürün sıralanmaktadır. 1. ürünün ardından 3. ürünün sıralanması ile oluşan sapma $V1_1 + V2_3 = 130,1$ birimdir. 2. ürünün ardından 3. ürünün sıralanması ile oluşan sapma $V1_2 + V2_3 = 138,2$ 'dir. 1. ürünün sıralanması ile oluşan sapma daha düşük olduğu için 2. Sezgisele göre montaj hattına 1. ürün alınacaktır. Halbuki 1. sezgisele göre sıralamaya 2. ürünün alınması gerekiyordu.

Tüm işlemlerin ardından oluşan sıralama 2-1-2-2-1-1-3-1-1-2-2-1-2 (1000 tekrar) şeklindedir. Toplam sapma ise 324,03'tür. Bu aynı zamanda optimal çözümdür.

Çizelge 4.7. Örnek problem 2, Sezgisel 2 için çözüm sonuçları

Aşama , k	Aşama, k		Aşama, k + 1			V1+V2	Ürün	Sapma	Topl Sapma
	Ürün	V1	En Düşük $H_{i,k+1}$ Değeri	Ürün	V2				
1	1	3,381	2,67	2	7,22	10,610			
	2	2,258	2,67	1	7,22	9,487	2	2,258	2,258
	3	260,261	> 9,487	X					
2	1	7,229	7,22	2	15,59	22,824	1	7,22	9,487
	2	9,034	6,12	1	15,59	24,629			
	3	225,876	> 22,824	X					
⋮									
6	1	65,065	31,83	3	65,06	130,130	1	65,06	162,016
	2	62,380	36,23	3	75,84	138,228			
	3	93,501	31,14	1	65,06	158,566			
7	1	93,501	20,72	3	43,39	136,892			
	2	85,645	23,52	3	49,00	134,647			
	3	65,065	20,64	1	43,39	108,456	3	65,06	227,081
⋮									
12	1	2,258	-1,0	2	0,0	2,258	1	2,258	324,032
	2	3,381	-1,0	1	0,0	3,381			
	3	354,243	> 2,258	X					
13	1	4,049	DUR						
	2	0,0					2		324,032
	3	299,162							

4.5.3. Önerilen yöntem

Miltenburg ve Sinnamon [2] tarafından tek çözüm aşamasını dikkate alarak çözüm üreten Sezgisel 1 ve iki çözüm aşamasını dikkate alarak çözüm üreten Sezgisel 2 ürün sıralama yöntemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen her iki yöntem de, üretimin tüm seviyelerini dikkate almakta ve hatta bekleyen ürün, alt montaj, parça, hammadde miktarlarını en aza indirecek ürün sırasını belirlemektedir. Bu tezde Miltenburg ve Sinnamon [2] tarafından geliştirilen iki sezgisel yönteme alternatif, yeni bir yöntem

geliştirilmiştir. Önerilen yöntem üretimin her seviyesini dikkate alarak ürün sıralamasını belirlemekte ve sıralamada parça kullanım miktarını sabit tutmayı amaçlamaktadır.

Önerilen yöntem, üç çözüm aşamasını da dikkate alan ve ürün sıralamasını bu çözümlerin sonucuna göre gerçekleştiren bir sezgiseldir. Sezgisel 1’de k aşamasında sıralamaya girebilecek en düşük varyanslı ürün sıralamaya alınmaktadır. Sezgisel 2’de k ve $k+1$ aşamasında sıraya girebilecek iki ürünün toplam varyansı belirlenmekte ve en düşük varyansa sahip ürün hatta girmektedir. Önerilen yöntemde ise k , $k+1$ ve $k+2$ aşamalarında sıraya girebilecek üç ürünün toplam varyansı hesaplanmakta ve minimum varyansa sahip ürün hatta alınmaktadır. Sıraya girebilecek üçüncü ürün belirlenirken ilk iki sıradaki ürünün toplam varyansının en düşük olması sağlanmaktadır.

Önerilen yöntemin her k çevrimi için algoritması aşağıdaki gibidir:

Adım 1 : $j = 1$ yap.

Adım 2 : Rassal olarak k aşamasında üretilecek j ürününü sıraya koy. k aşaması için sapmayı hesapla ve $V1_j$ olarak tanımla.

Adım 3 : $k+1$ aşaması için $H_{i,k+1}$ değeri (1.Sezgisel için karar kuralı) en düşük olan i ürününü belirle. $k+1$ aşaması için sapmayı hesapla ve $V2_j$ olarak tanımla.

Ardından $V1_j + V2_j$ hesaplamasını yap.

Adım 4 : $V1_j + V2_j$ değerinin en düşük olduğu sıralamayı dikkate alarak $k+2$ aşaması için $H_{i,k+2}$ değerini (1.Sezgisel için karar kuralı) hesapla.

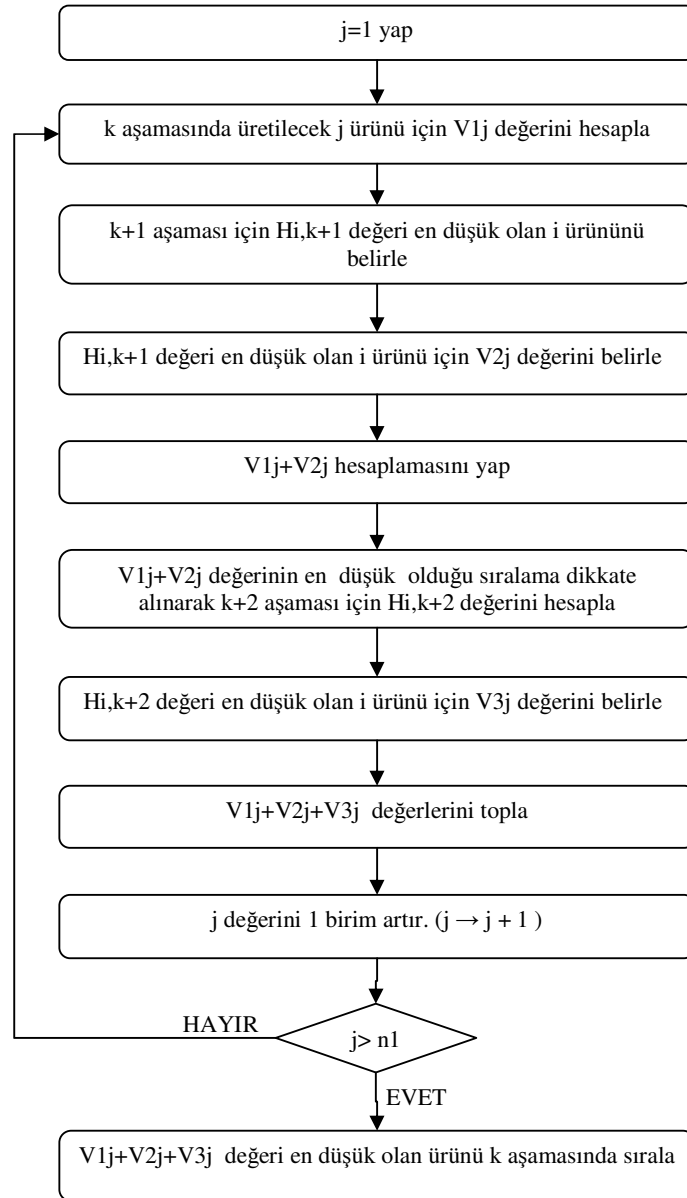
Adım 5 : $H_{i,k+2}$ değerini en düşük veren ürünü belirle ve bu ürünün sıraya girmesi ile oluşacak varyansı $V3_j$ hesapla.

Adım 6 : $V1_j + V2_j + V3_j$ değerini hesapla

Adım 7 : j 'yi 1 birim artır ($j \rightarrow j + 1$). Eğer $j > n_1$ ise Adım 8'e git. Diğer durumda Adım 2'ye git.

Adım 8 : V_j değeri en düşük olan j ürününü k aşamasında sırala.

Önerilen yönteme ilişkin akış diyagramı Şekil 4.2'dedir.



Şekil 4.2. Önerilen yöntem algoritması akış diyagramı

Miltenburg ve Sinnamon [2] tarafından geliştirilen Sezgisel 1 ve Sezgisel 2 yöntemi gibi önerilen yöntem de tek çözüm aşamasında tek ürün sıralamaktadır. Ancak bu sıralamayı yaparken iki aşama sonra sıralamaya girebilecek ürünün toplam varyansa etkisini dikkate almaktadır. Önerilen yöntemin sıralamaya girecek ürünün belirlemesi esnasında $k+1$ ve $k+2$ aşamalarını dikkate alması, daha düşük varyanslı ürün sıraları oluşturulabilmesini sağlamaktadır.

Örnek problem 2 değerleri dikkate alınarak yeni geliştirilen yönteme ait çözümler üretilmiştir. Önerilen yöntemin çözüm yöntemine ilişkin açıklamalar, ilk iki aşama için aşağıda belirtilmektedir.

$k=1$ aşaması için 1. ürün sıraya girdiği zaman oluşan varyans 3,381 birimdir. İlk sırada 1. ürün olması durumunda, $k+1$ aşamasında sıralamaya girecek en düşük varyanslı ürün, $V_{2_2} = 7,229$ ile 2. ürün olmaktadır. k ve $k+1$ aşamalarında sıralamaya girecek ürünler sonrasında $k+2$ aşamasında sıralamaya girecek 3. ürün $H_{i,k+2}$ değeri en düşük olan üründür. $k+2$ aşamasında $H_{i,k+2}$ değeri en düşük olan ürün 2. ürün olduğu için toplam varyans hesaplanırken 2. ürünün sıralamada olduğu durum dikkate alınmaktadır. Sonuç olarak $k=1$ aşamasında ilk sırada 1. ürün olması durumunda k , $k+1$, $k+2$ aşamaları dikkate alınarak oluşabilecek minimum varyanslı sıra 1-2-2 sırasıdır ve varyans değeri, $V_{1_1} + V_{2_2} + V_{3_2} = 3,381 + 7,229 + 15,60 = 26,21$ birimdir.

$k=1$ aşaması için 2. ürün sıraya girdiği zaman oluşan varyans 2,258 birimdir. Benzer şekilde hesaplamalar yapıldığında $k+1$ aşaması için sıralamaya girecek ürün 1. üründür ve varyansı $V_{2_1} = 7,229$ birimdir. $k+2$ aşaması için $H_{i,k+2}$ değeri en düşük olan ürün 2. üründür ve varyansı $V_{3_2} = 15,60$ birimdir. $k=1$ aşamasında ilk sırada 2. ürün olması durumunda k , $k+1$, $k+2$ aşamaları dikkate alınarak oluşabilecek minimum varyanslı sıra 2-1-2 şeklindedir ve varyans değeri, $V_{1_2} + V_{2_1} + V_{3_2} = 2,258 + 7,229 + 15,60 = 25,08$ birimdir.

$k=1$ aşaması için 3. ürün sıraya girdiği zaman oluşan varyans 260,260 birimdir. Benzer hesaplamalar sonrasında k , $k+1$, $k+2$ aşamaları dikkate alınarak oluşabilecek minimum varyanslı ürün sırası 3-1-1 şeklindedir. Önerilen yöntemle göre bu üç ürünün sıralaması sonrasında oluşan varyans değeri ise $V1_3+V2_1+V3_1=260,260+213,531+473,79=647,35$ birimdir.

$k=1$ aşaması için her ürünün sıraya girmesi ile oluşabilecek sapmalar belirlendikten sonra $V1_j+V2_j+V3_j$ değeri en düşük olan ürün $k=1$ aşamasında sıraya girmektedir. $k=1$ aşamasında en düşük $V1_j+V2_j+V3_j$ değerine sahip ürün olan 2. ürün, ilk olarak sıralanacaktır ve varyans değeri 2,258 birimdir.

$k=2$ aşaması için sıralamaya girecek ilk ürünün 1. ürün olması durumu, 2. ürün olması durumu, 3. ürün olması durumu ayrı ayrı hesaplanmakta ve $V1_j+V2_j+V3_j$ değeri en düşük olan ürün sıralamaya alınmaktadır. $k=2$ aşamasında en düşük $V1_j+V2_j+V3_j$ değerine sahip ürün olan 1. ürün, ikinci sırada hatta girecektir ve varyansı 7,229 birimdir.

13 aşama için çözüm gerçekleştirildiğinde toplam varyans 324,03 olarak belirlenmektedir. Önerilen yöntemin *örnek problem 2* için çözüm sonuçları Çizelge 4.8'dedir. Ürün sıralaması 2-1-2-2-1-1-3-1-1-2-2-1-2 şeklindedir. Bu sonuç Miltenburg ve Sinnamon [2] tarafından üretilen optimal ürün sıralamasını veren sıralamadır.

Miltenburg ve Sinnamon [2] tarafından geliştirilen Sezgisel 2 algoritması iki aşamayı dikkate alarak çözüm üretmekteydi. Yeni geliştirilen yöntem ise üç aşamayı dikkate alarak Sezgisel 2'nin ürettiği çözümlerden daha iyi çözümler üretmeyi amaçlamaktadır.

Çizelge 4.8. Örnek problem 2, önerilen yöntem için çözüm sonuçları

k	k aşaması		k+1 aşaması						
	i	V1	Hi,k+1	Hi,k+1	Hi,k+1	min H değeri	ürün	V2	V1+V2
1	1	3,381	5,821	2,674	105,055	2,674	2	7,229	10,61
	2	2,258	2,674	3,576	111,228	2,674	1	7,229	9,49
	3	260,260	105,825	111,997	518,811	105,055	1	213,531	473,79
2	1	7,229	8,806	6,123	88,540	7,123	2	15,595	22,82
	2	9,034	7,123	8,489	96,176	6,123	1	15,595	24,63
	3	225,876	89,694	96,330	483,179	88,540	1	180,736	406,61
3	1	18,962	17,811	13,542	69,724	13,542	2	28,918	47,88
	2	15,595	13,542	13,322	74,774	13,322	2	28,478	44,07
	3	180,736	70,262	75,312	435,927	69,724	1	142,358	323,09
4	1	28,918	23,832	20,027	56,244	21,027	2	43,391	72,31
	2	28,478	21,027	21,270	62,758	20,027	1	43,391	71,87
	3	152,459	57,167	62,681	403,330	56,244	1	115,671	268,13
5	1	43,391	31,604	28,261	44,514	30,261	2	62,380	105,77
	2	45,877	30,261	30,968	52,491	28,261	1	62,380	108,26
	3	128,699	45,822	51,799	372,484	44,514	1	93,501	222,20
6	1	65,065	46,052	41,124	31,142	31,834	3	65,065	130,13
	2	62,380	42,124	41,245	36,533	36,226	3	75,848	138,23
	3	93,501	31,834	36,226	330,676	31,142	1	65,065	158,57
7	1	93,501	63,373	56,859	20,642	20,719	3	43,391	136,89
	2	85,645	56,859	54,395	23,448	23,525	3	49,002	134,65
	3	65,065	20,719	23,525	291,740	20,642	1	43,391	108,46
8	1	43,391	13,014	13,234	254,214	13,014	1	28,478	71,87
	2	49,002	13,234	17,503	263,754	13,234	1	28,918	77,92
	3	585,586	255,676	265,215	810,628	254,214	1	513,801	1099,39
9	1	28,478	8,258	6,892	221,637	5,892	2	15,595	44,07
	2	28,918	5,892	8,576	228,591	6,892	1	15,595	44,51
	3	513,801	222,483	230,437	749,615	221,637	1	448,777	962,58
10	1	20,326	6,373	3,422	191,932	1,422	2	9,034	29,36
	2	15,595	1,422	2,520	196,301	2,520	2	7,229	22,82
	3	448,777	192,163	199,889	691,474	191,932	1	390,515	839,29
11	1	9,034	2,824	0,336	168,882	-0,664	2	2,258	11,29
	2	7,229	-0,664	0,897	174,713	0,336	1	2,258	9,49
	3	399,252	169,497	176,329	649,307	168,882	1	342,580	741,83
12	1	2,258	1,025	-1,000	147,581	-1,000	2	0,000	2,26
	2	3,381	-1,000	1,025	154,876	-1,000	1	0,000	3,38
	3	354,243	148,581	155,876	608,889	147,581	1	299,162	653,41
13	1	4,049	0,000	0,000	0,000	0,000	1	0,000	4,05
	2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1	0,000	0,00
	3	299,162	0,000	0,000	0,000	0,000	1	0,000	299,16

Çizelge 4.8. (Devam) Örnek problem 2, önerilen yöntem için çözüm sonuçları

$k+2$ aşaması							
k	i	$H_{i,k+2}$	$H_{i,k+2}$	$H_{i,k+2}$	min H değeri	i	V3
1	1	8,81	8,81	84,95	7,12	2	15,60
	2	7,12	7,12	88,54	7,12	2	15,60
	3	89,69	89,69	470,27	84,95	1	173,56
2	1	13,54	13,54	69,72	13,32	2	28,48
	2	13,32	13,32	74,77	13,32	2	28,48
	3	75,31	75,31	435,93	69,72	1	142,36
3	1	23,83	20,03	53,78	21,03	2	43,39
	2	21,03	21,27	56,24	20,03	1	43,39
	3	57,17	62,68	391,55	53,78	1	110,74
4	1	31,60	31,60	41,59	30,26	2	62,38
	2	30,26	30,26	45,51	30,26	2	62,38
	3	45,82	45,82	360,24	41,59	1	85,65
5	1	41,12	41,12	31,14	36,23	3	75,85
	2	41,25	41,25	36,53	36,23	3	75,85
	3	36,23	36,23	330,68	31,14	1	65,07
6	1	20,64	22,45	20,64	20,64	1	43,39
	2	23,45	29,30	23,45	22,45	1	49,00
	3	291,74	302,87	291,74	20,64	1	43,39
7	1	13,01	13,23	13,01	13,01	1	28,48
	2	13,23	17,50	13,23	13,23	1	28,92
	3	255,68	265,22	255,68	13,01	1	28,48
8	1	8,26	6,89	221,64	5,89	2	15,60
	2	5,89	8,58	228,59	6,89	1	15,60
	3	222,48	230,44	749,61	221,64	1	448,78
9	1	3,42	3,42	191,93	2,52	2	7,23
	2	2,52	2,52	196,30	2,52	2	7,23
	3	198,53	198,53	691,47	191,93	1	390,52
10	1	2,82	0,34	165,10	-0,66	2	2,26
	2	-0,66	0,90	166,88	0,34	1	2,26
	3	169,50	176,33	636,20	165,10	1	339,02
11	1	1,02	1,02	143,33	-1,00	2	0,00
	2	-1,00	-1,00	146,58	-1,00	2	0,00
	3	148,58	148,58	595,32	143,33	1	292,67

Çizelge 4.8. (Devam) Örnek problem 2, önerilen yöntem için çözüm sonuçları

k	Sıralama				
	i	V1+V2+V3	Ürün Sırası	Varyans	Toplam Varyans
1	1	26,21			
	2	25,08	2	2,26	2,26
	3	647,35			
2	1	51,30	1	7,23	9,49
	2	53,11			
	3	548,97			
3	1	91,27			
	2	87,46	2	15,60	25,08
	3	433,84			
4	1	134,69			
	2	134,25	2	28,48	53,56
	3	353,78			
5	1	181,62	1	43,39	96,95
	2	184,11			
	3	287,27			
6	1	173,52	1	65,07	162,02
	2	187,23			
	3	201,96			
7	1	165,37			
	2	163,57			
	3	136,93	3	65,07	227,08
8	1	87,46	1	43,39	270,47
	2	93,51			
	3	1548,16			
9	1	51,30	1	28,48	298,95
	2	51,74			
	3	1353,09			
10	1	31,62			
	2	25,08	2	15,60	314,54
	3	1178,31			
11	1	11,29			
	2	9,49	2	7,23	321,77
	3	1034,50			
12	1	2,26	1	2,26	324,03
	2	3,38			
	3	653,41			
13	1	4,05			
	2	0,00	2	0,00	324,03
	3	299,16			

5. YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Miltenburg ve Sinnamon [2] tarafından geliştirilen Sezgisel 1, Sezgisel 2 yöntemleri ve bu tezde önerilen yeni yöntemin benzer problem setleri için karşılaştırılması yapılarak sonuçlar bu bölümde değerlendirilecektir.

Her üç yöntemin çözümü için Microsoft Excel ortamında algoritmalar formüle edilmiştir. Farklı talep değerleri için üç algoritmanın ürün sıraları ve toplam varyans değerleri belirlenmiştir.

İki farklı problem setinde toplam 40 ayrı çözüm üretilmiştir. İlk problem seti 13 birimlik ürün talebini, ikinci problem seti 14 birimlik ürün talebini dikkate almaktadır. İlk problem setinde Miltenburg ve Sinnamon'un çalışmasında [2] kullanılan alt montaj, parça, hammadde miktarları farklı ürün talepleri için kullanılmaktadır. İkinci problem setinde ise alt montaj, parça ve hammadde miktarları belirlenmiş ve ürün talebinin değiştirildiği farklı problem setleri oluşturulmuştur. Her iki problem setinde de üç farklı ürün sıralanmaktadır. Her ürün 3 farklı alt montajdan oluşmakta, her alt montaj 4 farklı parçadan meydana gelmekte ve her parça için 3 farklı hammaddeye ihtiyaç duyulmaktadır.

Problem setleri için alt montaj, parça, hammadde ihtiyaçları Çizelge 5.1'de ve Çizelge 5.2'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.1. Problem seti 1 için alt montaj, parça ve hammadde ihtiyaçları

Bir birim l ürünü için ihtiyaçlar, t_{ijl}													
Ürün $j=1$	Alt Montaj, $j = 2$				Parça, $j=3$					Hammadde, $j = 4$			
l	$i=1$	$i=2$	$i=3$	Toplam	$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$	Toplam	$i=1$	$i=2$	$i=3$	Toplam
1	1	1	0	2	1	2	1	0	4	1	2	2	5
2	0	1	0	1	0	1	1	0	2	0	1	1	2
3	0	1	4	5	4	1	1	16	22	20	17	5	42

Çizelge 5.2. Problem seti 2 için alt montaj, parça ve hammadde ihtiyaçları

Bir birim l ürünü için ihtiyaçlar, t_{ijl}													
Ürün $j=1$	Alt Montaj, $j = 2$				Parça, $j=3$					Hammadde, $j = 4$			
l	$i=1$	$i=2$	$i=3$	Toplam	$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=4$	Toplam	$i=1$	$i=2$	$i=3$	Toplam
1	3	1	0	4	1	2	1	2	6	1	2	0	3
2	2	2	3	7	0	2	4	2	8	3	2	1	6
3	4	2	4	10	3	22	3	2	30	1	0	1	2

Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’de belirtilen alt montaj, parça ve hammadde ihtiyaçları kullanılarak iki farklı problem seti oluşturulmuştur. Problem setleri oluşturulurken ürün talepleri değiştirilmiştir. İlk problem setinde toplam 13 birimlik talep dikkate alınmıştır. Farklı ürün talepleri için oluşturulan problem seti Çizelge 5.3’de tanımlanmıştır.

Çizelge 5.3. Problem seti 1 için ürün talepleri

Problem No	Talepler (Ürün1, Ürün2, Ürün3)
P1-1	1 - 9 - 3
P1-2	1 - 10 - 2
P1-3	1 - 11 - 1
P1-4	2 - 8 - 3
P1-5	2 - 9 - 2
P1-6	2 - 10 - 1
P1-7	3 - 8 - 2
P1-8	3 - 9 - 1
P1-9	4 - 6 - 3
P1-10	4 - 7 - 2
P1-11	4 - 8 - 1
P1-12	5 - 3 - 5
P1-13	5 - 6 - 2
P1-14	5 - 7 - 1
P1-15	6 - 5 - 2
P1-16	6 - 6 - 1
P1-17	7 - 5 - 1
P1-18	8 - 4 - 1
P1-19	9 - 3 - 1
P1-20	10 - 2 - 1

İkinci problem setinde toplam 14 birimlik talep dikkate alınmıştır. Farklı ürün talepleri için oluşturulan problem seti Çizelge 5.4’de tanımlanmıştır.

Çizelge 5.4. Problem seti 2 için ürün talepleri

Problem No	Talepler (Ürün1, Ürün2, Ürün3)
P2-1	1 - 8 - 5
P2-2	2 - 6 - 6
P2-3	2 - 7 - 5
P2-4	3 - 4 - 7
P2-5	3 - 5 - 6
P2-6	3 - 7 - 4
P2-7	3 - 6 - 5
P2-8	4 - 3 - 7
P2-9	4 - 4 - 6
P2-10	4 - 5 - 5
P2-11	4 - 6 - 4
P2-12	4 - 7 - 3
P2-13	5 - 4 - 5
P2-14	5 - 5 - 4
P2-15	5 - 6 - 3
P2-16	6 - 1 - 7
P2-17	6 - 4 - 4
P2-18	6 - 5 - 3
P2-19	7 - 4 - 3
P2-20	8 - 5 - 1

1. problem seti ve 2. problem seti için çözümler gerçekleştirilmiştir. Çözüm sonrası oluşan sıralama ve toplam varyans değerleri sırasıyla Çizelge 5.5’de ve Çizelge 5.6’dadır.

Çizelge 5.5. Problem seti 1 için ürün sıraları ve toplam varyanslar

PROB. NO	SEZGİSEL 1		SEZGİSEL 2		YENİ YÖNTEM	
	SIRALAMA	TOPLAM VARYANS	SIRALAMA	TOPLAM VARYANS	SIRALAMA	TOPLAM VARYANS
P1-1	2-2-3-2-2-2-3-1-2-2-3-2-2	90,785	2-2-3-2-2-2-3-1-2-2-3-2-2	90,785	2-2-3-2-2-2-3-1-2-2-3-2-2	90,785
P1-2	2-2-2-3-1-2-2-2-2-3-2-2-2	148,612	2-2-2-3-1-2-2-2-2-3-2-2-2	148,612	2-2-2-3-1-2-2-2-2-3-2-2-2	148,612
P1-3	2-2-2-2-2-2-3-1-2-2-2-2-2	303,360	2-2-2-2-2-2-3-1-2-2-2-2-2	303,360	2-2-2-2-2-1-3-2-2-2-2-2-2	303,360
P1-4	2-2-3-1-2-2-3-2-2-2-3-1	103,699	2-2-3-1-2-2-3-2-2-1-3-2-2	95,558	2-2-3-1-2-2-3-2-2-1-3-2-2	95,558
P1-5	2-2-2-3-1-2-2-2-2-3-1-2-2	152,406	2-2-2-3-1-2-2-2-1-3-2-2-2	152,069	2-2-2-3-1-2-2-2-1-3-2-2-2	152,069
P1-6	2-2-2-2-1-2-3-2-1-2-2-2-2	308,658	2-2-2-2-1-2-3-2-1-2-2-2-2	308,658	2-2-2-2-1-2-3-2-1-2-2-2-2	308,658
P1-7	2-2-2-3-1-1-2-2-2-3-1-2-2	164,613	2-2-1-3-1-2-2-2-2-3-1-2-2	159,390	2-2-1-3-1-2-2-2-2-3-1-2-2	159,390
P1-8	2-2-1-2-2-2-3-1-2-2-1-2-2	314,336	2-2-1-2-2-2-3-1-2-2-1-2-2	314,336	2-2-1-2-2-2-3-1-2-2-1-2-2	314,336
P1-9	2-2-3-1-2-2-3-1-1-2-3-1-2	123,931	2-1-3-2-2-1-3-1-2-2-3-1-2	107,790	2-1-3-2-1-2-3-1-2-2-3-1-2	110,119
P1-10	2-2-2-3-1-1-2-2-2-2-3-1-1	199,114	2-2-1-3-1-2-2-2-1-3-1-2-2	159,569	2-1-2-3-1-2-2-2-1-3-1-2-2	163,671
P1-11	2-2-1-2-2-2-3-1-1-2-1-2-2	326,662	2-2-1-2-2-2-3-1-2-2-1-2-2	314,793	2-2-1-2-1-2-3-1-2-2-1-2-2	317,851
P1-12	2-3-1-2-3-1-3-1-2-3-1-3-1	78,716	2-3-1-3-1-2-3-1-2-3-1-3-1	77,626	2-3-1-3-1-2-3-1-2-3-1-3-1	77,626
P1-13	2-2-2-3-1-1-1-2-2-2-3-1-1	214,051	2-2-1-3-1-2-1-2-1-3-1-2-2	171,100	2-1-2-3-1-2-1-2-1-3-1-2-2	174,028
P1-14	2-1-2-2-2-1-3-1-1-2-2-1-2	322,541	2-1-2-2-2-1-3-1-1-2-2-1-2	322,541	2-1-2-2-2-1-3-1-1-2-2-1-2	322,541
P1-15	2-2-2-3-1-1-1-2-2-1-3-1-1	231,801	2-2-1-3-1-1-2-2-2-1-3-1-1	197,306	2-1-1-3-1-2-2-2-1-3-1-1-2	182,015
P1-16	2-1-2-2-1-2-3-1-1-1-2-1-2	338,183	2-1-2-2-1-1-3-1-1-2-2-1-2	324,033	2-1-2-2-1-1-3-1-1-2-2-1-2	324,033
P1-17	2-1-2-1-2-1-3-1-1-1-2-1-2	332,874	2-1-2-1-2-1-3-1-1-1-2-1-2	332,874	2-1-2-1-2-1-3-1-1-1-2-1-2	332,874
P1-18	2-1-2-1-2-1-3-1-1-1-1-1-2	354,636	2-1-2-1-2-1-3-1-1-1-1-1-2	354,636	2-1-2-1-2-1-3-1-1-1-1-1-2	354,636
P1-19	1-2-1-2-1-2-1-3-1-1-1-1-1	389,029	1-2-1-2-1-1-3-1-1-1-1-2-1	346,180	1-2-1-2-1-1-3-1-1-1-1-2-1	346,180
P1-20	1-2-1-1-2-1-3-1-1-1-1-1-1	374,415	1-2-1-1-2-1-3-1-1-1-1-1-1	374,415	1-2-1-1-2-1-3-1-1-1-1-1-1	374,415

Çizelge 5.6. Problem seti 2 için ürün sıraları ve toplam varyanslar

PROB. NO	SEZGİSEL 1		SEZGİSEL 2		YENİ YÖNTEM	
	SIRALAMA	TOPLAM VARYANS	SIRALAMA	TOPLAM VARYANS	SIRALAMA	TOPLAM VARYANS
P2-1	1-2-3-2-3-2-2-3-2-2-3-2-3-2	169,736	2-3-2-2-3-1-2-3-2-2-3-2-3-2	134,126	2-3-2-2-3-2-3-2-1-2-3-2-3-2	134,126
P2-2	1-3-2-3-2-3-2-1-3-2-3-2-3-2	141,748	2-3-2-3-1-2-3-2-3-2-3-1-2-3	129,829	2-3-2-3-1-2-3-2-3-2-3-1-3-2	125,426
P2-3	1-3-2-2-3-2-1-3-2-2-3-2-3-2	164,762	2-3-1-2-3-2-2-3-2-3-2-1-3-2	119,685	2-3-1-2-3-2-2-3-2-3-2-1-3-2	119,685
P2-4	3-2-1-3-3-2-3-1-2-3-3-1-2-3	98,578	3-2-1-3-3-2-3-1-2-3-3-1-2-3	98,578	3-2-1-3-3-2-1-3-2-3-3-1-2-3	98,578
P2-5	1-3-2-3-2-3-1-2-3-2-3-1-3-2	100,723	2-3-1-3-2-3-2-1-3-2-3-1-2-3	99,101	2-3-1-3-2-3-1-2-3-2-3-1-3-2	98,403
P2-6	1-2-3-2-1-3-2-2-3-2-1-2-3-2	162,319	2-3-2-1-2-3-2-1-2-3-1-2-3-2	145,096	2-3-2-1-2-3-1-2-2-3-1-2-3-2	145,096
P2-7	1-3-2-2-3-2-3-1-2-3-2-1-3-2	120,440	2-3-1-2-3-2-3-1-2-3-2-1-3-2	108,581	2-3-1-2-3-2-1-3-2-3-2-1-3-2	108,581
P2-8	3-1-2-3-3-1-3-2-1-3-3-2-1-3	95,519	3-1-2-3-3-1-2-3-1-3-3-2-1-3	95,519	3-1-2-3-3-1-2-3-1-3-3-2-1-3	95,519
P2-9	1-3-2-3-1-2-3-1-3-2-3-1-2-3	102,148	1-3-2-3-2-3-1-1-3-2-3-2-3-1	94,906	1-3-2-3-2-3-1-1-3-2-3-2-3-1	94,906
P2-10	1-3-2-1-3-2-1-3-2-3-2-1-3-2	145,853	2-3-1-2-3-1-2-3-1-3-2-1-2-3	129,642	2-3-1-2-3-1-2-3-1-3-2-1-3-2	118,954
P2-11	1-2-3-2-1-3-2-1-2-3-2-1-3-2	141,738	2-3-1-2-1-3-2-2-3-1-2-1-3-2	128,412	2-3-1-2-1-3-2-2-3-1-2-1-3-2	128,412
P2-12	1-2-3-2-1-2-1-3-2-2-1-2-3-2	190,820	1-2-3-2-1-2-2-3-2-1-2-3-2-1	158,571	1-2-3-2-1-2-2-3-2-1-2-3-2-1	158,571
P2-13	1-3-2-1-3-2-1-3-2-3-1-1-3-2	108,242	1-3-2-1-3-2-1-3-2-3-1-2-3-1	101,612	1-3-2-1-3-2-3-1-2-3-1-2-3-1	101,612
P2-14	1-3-2-1-2-3-2-1-3-2-1-1-3-2	128,502	2-3-1-1-2-3-2-1-3-2-1-1-3-2	124,756	2-3-1-1-2-3-1-2-3-2-1-1-3-2	124,756
P2-15	1-2-3-2-1-2-3-1-2-1-2-3-2-1	140,843	1-2-3-2-1-2-3-1-2-1-2-3-2-1	140,843	1-2-3-2-1-2-1-3-2-1-2-3-2-1	140,843
P2-16	3-1-3-1-3-1-3-2-1-3-1-3-1-3	88,889	3-1-3-1-3-1-2-3-1-3-1-3-1-3	88,889	3-1-3-1-3-1-2-3-1-3-1-3-1-3	88,889
P2-17	1-3-2-1-1-3-2-1-3-2-1-1-3-2	135,740	1-2-3-1-2-3-1-1-2-3-1-2-3-1	135,173	1-2-3-1-2-3-1-1-2-3-1-2-3-1	135,173
P2-18	1-2-3-1-2-1-1-3-2-2-1-3-2-1	154,507	1-2-3-1-2-1-2-3-1-2-1-3-2-1	138,487	1-2-3-1-2-1-3-2-2-1-2-1-3-2-1	138,487
P2-19	1-2-3-1-1-2-3-1-2-1-1-3-2-1	133,767	1-2-3-1-1-2-3-1-2-1-1-3-2-1	133,767	1-2-3-1-1-2-3-1-2-1-1-3-2-1	133,767
P2-20	1-2-1-1-2-1-1-3-2-2-1-1-2-1	249,366	1-2-1-1-2-1-2-3-1-2-1-1-2-1	231,963	1-2-1-1-2-1-2-3-1-2-1-1-2-1	231,963

İlk problem seti ve ikinci problem seti için Sezgisel 2 ve yeni geliştirilen yöntemin Sezgisel 1'e göre çözüm performansı sırasıyla Çizelge 5.7'de ve Çizelge 5.8 kıyaslanmıştır. Toplam varyans değerlerindeki artış ya da azalış yüzde olarak çizelgeye yansıtılmıştır. Varyans farkının % olarak negatif olması toplam varyans değerinin Sezgisel 1'e göre azalmış olduğunu, pozitif olması Sezgisel 1'e göre artmış olduğunu göstermektedir.

İlk problem seti incelendiğinde Sezgisel 2 ve yeni geliştirilen yöntemin 20 farklı talep değeri için gerçekleştirilen çözümler sonrasında Sezgisel 1'e göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. 20 problemin 11'inde toplam varyans değeri daha düşük sıralamalar tespit edilmiştir.

İkinci problem seti incelendiğinde Sezgisel 2 ve yeni geliştirilen yöntemin 20 farklı talep değeri için gerçekleştirilen çözümler sonrasında Sezgisel 1'e göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. 20 problemin 15'inde toplam varyans değeri daha düşük sıralamalar tespit edilmiştir.

İlk problem setinin ve ikinci problem setinin sonuçları incelendiğinde, Sezgisel 2'nin $k+1$ aşamasını, yeni geliştirilen yöntemin $k+1$ ve $k+2$ aşamalarını dikkate alması sonrasında oluşan sıralamanın karma modelli montaj hatlarında Sezgisel 1'e göre daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Her iki problem seti için çözümler Microsoft Excel ortamında gerçekleştirilmiştir. EK-1 ve EK-2'de sırasıyla P2-10 ve P1-9'a ilişkin Sezgisel 1, Sezgisel 2 ve önerilen yöntem çözüm sonuçları gösterilmektedir. Sezgisel 1 için k aşaması, Sezgisel 2 için k aşaması ve $k+1$ aşaması ve önerilen yöntem için k , $k+1$ ve $k+2$ aşamalarında elde edilen değerler ayrı ayrı belirtilmektedir.

Çizelge 5.7. Problem seti 1 için Sezgisel 1'e göre Sezgisel 2 ve önerilen yöntemin performansı

	SEZGİSEL 1	SEZGİSEL 2		YENİ YÖNTEM	
PROBLEM NO	TOPLAM VARYANS	TOPLAM VARYANS	VARYANS FARKI %	TOPLAM VARYANS	VARYANS FARKI %
P1-1	90,785	90,785	0,00%	90,785	0,00%
P1-2	148,612	148,612	0,00%	148,612	0,00%
P1-3	303,360	303,360	0,00%	303,360	0,00%
P1-4	103,699	95,558	-7,85%	95,558	-7,85%
P1-5	152,406	152,069	-0,22%	152,069	-0,22%
P1-6	308,658	308,658	0,00%	308,658	0,00%
P1-7	164,613	159,390	-3,17%	159,390	-3,17%
P1-8	314,336	314,336	0,00%	314,336	0,00%
P1-9	123,931	107,790	-13,02%	110,119	-11,14%
P1-10	199,114	159,569	-19,86%	163,671	-17,80%
P1-11	326,662	314,793	-3,63%	317,851	-2,70%
P1-12	78,716	77,626	-1,38%	77,626	-1,38%
P1-13	214,051	171,100	-20,07%	174,028	-18,70%
P1-14	322,541	322,541	0,00%	322,541	0,00%
P1-15	231,801	197,306	-14,88%	182,015	-21,48%
P1-16	338,183	324,033	-4,18%	324,033	-4,18%
P1-17	332,874	332,874	0,00%	332,874	0,00%
P1-18	354,636	354,636	0,00%	354,636	0,00%
P1-19	389,029	346,180	-11,01%	346,180	-11,01%
P1-20	374,415	374,415	0,00%	374,415	0,00%

Çizelge 5.8. Problem seti 2 için Sezgisel 1'e göre Sezgisel 2 ve önerilen yöntemin performansı

PROBLEM NO	SEZGİSEL 1	SEZGİSEL 2		YENİ YÖNTEM	
	TOPLAM VARYANS	TOPLAM VARYANS	VARYANS FARKI %	TOPLAM VARYANS	VARYANS FARKI %
P2-1	169,736	134,126	-20,98%	134,126	-20,98%
P2-2	141,748	129,829	-8,41%	125,426	-11,51%
P2-3	164,762	119,685	-27,36%	119,685	-27,36%
P2-4	98,578	98,578	0,00%	98,578	0,00%
P2-5	100,723	99,101	-1,61%	98,403	-2,30%
P2-6	162,319	145,096	-10,61%	145,096	-10,61%
P2-7	120,440	108,581	-9,85%	108,581	-9,85%
P2-8	95,519	95,519	0,00%	95,519	0,00%
P2-9	102,148	94,906	-7,09%	94,906	-7,09%
P2-10	145,853	129,642	-11,11%	118,954	-18,44%
P2-11	141,738	128,412	-9,40%	128,412	-9,40%
P2-12	190,820	158,571	-16,90%	158,571	-16,90%
P2-13	108,242	101,612	-6,12%	101,612	-6,12%
P2-14	128,502	124,756	-2,92%	124,756	-2,92%
P2-15	140,843	140,843	0,00%	140,843	0,00%
P2-16	88,889	88,889	0,00%	88,889	0,00%
P2-17	135,740	135,173	-0,42%	135,173	-0,42%
P2-18	154,507	138,487	-10,37%	138,487	-10,37%
P2-19	133,767	133,767	0,00%	133,767	0,00%
P2-20	249,366	231,963	-6,98%	231,963	-6,98%

Yeni geliştirilen yöntem ve Sezgisel 2 karşılaştırıldığında genellikle benzer sonuçlar verdikleri görülmektedir. Bu iki yöntem için toplam varyans değerlerindeki artış ya da azalış yüzde olarak 1. ve 2. problem setleri için sırasıyla Çizelge 5.9'da ve Çizelge 5.10'da verilmektedir.

Çizelge 5.9. Problem seti 1 için Sezgisel 2 ve önerilen yöntem performansı

PROBLEM NO	SEZGİSEL 2	YENİ YÖNTEM	
	TOPLAM VARYANS	TOPLAM VARYANS	VARYANS FARKI %
P1-1	90,785	90,785	0,00%
P1-2	148,612	148,612	0,00%
P1-3	303,360	303,360	0,00%
P1-4	95,558	95,558	0,00%
P1-5	152,069	152,069	0,00%
P1-6	308,658	308,658	0,00%
P1-7	159,390	159,390	0,00%
P1-8	314,336	314,336	0,00%
P1-9	107,790	110,119	2,16%
P1-10	159,569	163,671	2,57%
P1-11	314,793	317,851	0,97%
P1-12	77,626	77,626	0,00%
P1-13	171,100	174,028	1,71%
P1-14	322,541	322,541	0,00%
P1-15	197,306	182,015	-7,75%
P1-16	324,033	324,033	0,00%
P1-17	332,874	332,874	0,00%
P1-18	354,636	354,636	0,00%
P1-19	346,180	346,180	0,00%
P1-20	374,415	374,415	0,00%

Çizelge 5.10. Problem seti 2 için Sezgisel 2 ve önerilen yöntem performansı

PROBLEM NO	SEZGİSEL 2	YENİ YÖNTEM	
	TOPLAM VARYANS	TOPLAM VARYANS	VARYANS FARKI %
P2-1	134,126	134,126	0,00%
P2-2	129,829	125,426	-3,39%
P2-3	119,685	119,685	0,00%
P2-4	98,578	98,578	0,00%
P2-5	99,101	98,403	-0,70%
P2-6	145,096	145,096	0,00%
P2-7	108,581	108,581	0,00%
P2-8	95,519	95,519	0,00%
P2-9	94,906	94,906	0,00%
P2-10	129,642	118,954	-8,24%
P2-11	128,412	128,412	0,00%
P2-12	158,571	158,571	0,00%
P2-13	101,612	101,612	0,00%
P2-14	124,756	124,756	0,00%
P2-15	140,843	140,843	0,00%
P2-16	88,889	88,889	0,00%
P2-17	135,173	135,173	0,00%
P2-18	138,487	138,487	0,00%
P2-19	133,767	133,767	0,00%
P2-20	231,963	231,963	0,00%

Çizelge 5.9 ve Çizelge 5.10'da Sezgisel 2 ve önerilen yöntemin çözümlerinin performansı karşılaştırılmıştır. Birinci problem setinde, P1-15 probleminde bu tezde önerilen yöntem Sezgisel 2'ye göre % 7,75 oranında daha iyi sonuç veren ürün sırasını belirlemiştir. İkinci problem setinde ise P2-2, P2-5, P2-10 problemlerinde sırasıyla % 3,39, % 0,70, % 8,24 oranında daha iyi sonuç veren ürün çizelgeleri elde edilmiştir. Bu durum önerilen yöntemin $k+1$ ve $k+2$ aşamalarını dikkate almasının bir sonucudur. Yeni geliştirilen yöntem sıraya girecek ürünü belirlerken üç aşamayı dikkate almakta ve minimum varyanslı ürünü sıralamaya eklemektedir.

Önerilen yöntem, 1. problem setinde Sezgisel 2'ye göre P1-9, P1-10, P1-11 ve P1-13 problemleri için sırasıyla % 2,16, % 2,57, % 0,97 ve % 1,71 oranında daha kötü varyansa sahip ürün çizelgeleri elde etmiştir. Önerilen yöntemin daha kötü sonuç verme sebebi P1-9 problemi için aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Yeni geliştirilen yöntem ve Sezgisel 2 için P1-9 probleminde ilk dört aşamada hatta girecek ürün sırası 2-1-3-2 şeklindedir.

Önerilen yöntem, $V_1+V_2+V_3$ değeri en küçük olan ürünü sıralamaya koymaktadır. $k=5$ aşaması için;

- Sıralamada 1. ürün bulunması durumunda 1-2-3 sırası en düşük varyans değerini vermektedir. $V_{1_1}+V_{2_2}+V_{3_3} = 33,980$
- Sıralamada 2. ürün bulunması durumunda 2-2-3 sırası en düşük varyans değerini vermektedir. $V_{1_2}+V_{2_2}+V_{3_3} = 42,411$
- Sıralamada 3. ürün bulunması durumunda 3-1-1 sırası en düşük varyans değerini vermektedir. $V_{1_3}+V_{2_1}+V_{3_1} = 119,739$

Bu durumda 1. ürün $k=5$ aşamasında sıralamaya alınmıştır.

Sezgisel 2, V_1+V_2 değeri en düşük olan ürünü sıralamaya koymaktadır. $k=5$ aşaması için;

- Sıralamada 1. ürün bulunması durumunda 1-2 sırası en düşük varyans değerini vermektedir. $V_{1_1}+V_{2_2} = 19,278$
- Sıralamada 2. ürün bulunması durumunda 2-2 sırası en düşük varyans değerini vermektedir. $V_{1_2}+V_{2_2} = 13,815$
- Sıralamada 3. ürün bulunması durumunda 3-1 sırası en düşük varyans değerini vermektedir. $V_{1_3}+V_{2_1} = 108,170$

Bu durumda 2. ürün sıralamaya alınmaktadır. $k=5$ aşamasında 2. ürün sıralamaya alınırken bir sonraki aşamada da 2. ürünün sıralamaya alınması beklenmektedir. Çünkü 13,815 varyans değerini $k=5$ aşamasında 2. ürün, $k=6$ aşamasında 2. ürün sıralamada olursa ulaşılabilir.

Sezgisel 2 için $k=6$ aşamasına bakıldığında;

- Sıralamada 1. ürün bulunması durumunda 1-3 sırası en düşük varyans değerini vermektedir. $V_{11}+V_{23}= 29,404$
- Sıralamada 2. ürün bulunması durumunda 2-3 sırası en düşük varyans değerini vermektedir. $V_{12}+V_{23}= 40,165$
- Sıralamada 3. ürün bulunması durumunda 3-1 sırası en düşük varyans değerini vermektedir. $V_{13}+V_{21}= 62,450$

$k=6$ aşamasında en düşük varyans değerini veren 1. ürün sıralamaya alınmaktadır. Ancak $k=5$ aşamasında sıralamaya giren ürün 2. üründür ve varyans değeri olarak 2-2 sıralamasının sonucunu dikkate almaktadır. $k=6$ aşamasında 2. ürün yerine 1. ürünün sıralanması sebebiyle varyans değeri önerilen yönteme göre daha düşük çıkmaktadır.

$k=5$, $k=6$, $k=7$ aşamaları dikkate alındığında oluşan sıralama Sezgisel 2 için 2-1-3'tür ve bu üç ürüne ait varyansların toplamı $2,246+14,702+14,702 = 31,651$ birimdir. Önerilen Yöntem için ise $k=5$, $k=6$ ve $k=7$ aşamalarında sıralamaya girecek üç ürün sırasıyla 1-2-3'tür ve bu ürünlere ait varyansların toplamı $4,575+14,702+14,702 = 33,980$ birimdir. Bu iki sıralama arasında oluşan varyans farkı ürün sıralama sonucundaki toplam varyansa yansımaktadır.

1. Problem setinde P1-10, P1-11 ve P1-13 problemleri için de yukarıdakine benzer bir süreç söz konusudur.

Yeni geliştirilen sezgisel yöntemin hangi durumlarda daha kötü sonuçlar verebileceğini göstermek için küçük bir örnek verilebilir. Çizelge 5.11’deki verilere göre önerilen sistem hakkında aşağıdaki yorumlar yapılabilir.

Çizelge 5.11. İki aşama için sıralama sonuçları

Aşama	k	k+1	k+2
1	1	2	3
	2	1	1
	3	2	2
2	1	1	3
	2	3	2
	3	1	1

İlk aşamada 2-1-1 sıralamasının en düşük varyansa sahip olduğu varsayalım. Bu durumda $k=1$ aşamasında hatta girecek ürün 2. ürün olacaktır. $k=2$ aşamasında en düşük varyansa sahip sıralama 1-1-3 sıralaması olması durumunda yeni geliştirilen yöntem Sezgisel 2’ye göre ya daha iyi bir sonuç vermekte ya da benzer sonuçları bulmaktadır. Çünkü $k=1$ aşamasında bulunan ve iki aşama sonrasında dikkate alan sıralamayı (2-1-1 sırası), $k=2$ aşamasında 1. ürünün sıralanması durumu sağlamaktadır. Bunun aksi bir durumda ise yeni önerilen yöntem Sezgisel 2’ye göre daha kötü sonuçlar bulabilmektedir. Ancak problem setlerindeki çözümlere bakıldığında bu oranın % 1-2 civarında olduğu görülmektedir.

1. problem setinde P1-15 probleminde önerilen yöntem, Sezgisel 2’ye göre % 7,75 oranında daha iyi sonuç veren ürün sırasını belirlemiştir. 2. problem setinde ise P2-2, P2-5, P2-10 problemlerinde sırasıyla % 3,39, % 0,70, % 8,24 oranında daha iyi sonuç veren ürün çizelgeleri elde edilmiştir.

Önerilen yöntem, P1-15 probleminde “2-1-1-3-1-2-2-2-1-3-1-1-2” sırasını elde etmiş ve Sezgisel 2’nin “2-2-1-3-1-1-2-2-2-1-3-1-1” sırasına göre %7,75 oranında iyi bir ürün sırası belirlemiştir. $k=2$ aşamasında sıralamaya girecek ürünü belirlerken üç aşamayı dikkate alması önerilen yöntemin daha iyi sonuç vermesini sağlamıştır.

P2-2, P2-5, P2-10 problemlerinde de benzer şekilde yeni geliştirilen yöntemin iki aşama sonrasını dikkate alması daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Yeni geliştirilen yöntem, Sezgisel 1 ve Sezgisel 2 yöntemleri için Microsoft Excel ortamında gerçekleştirilen çözümlerden ikisi EK-1 ve EK-2’de gösterilmektedir. EK-1 yeni geliştirilen yöntemin Sezgisel 2’ye göre daha iyi sonuç verdiği problem setine ilişkindir. EK-2 ise yeni geliştirilen yöntemin Sezgisel 2’ye göre daha kötü sonuç verdiği problem setine ilişkindir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde müşteri taleplerini istenilen zamanda düşük maliyetlerle karşılamak, ürünleri hızla piyasaya sürmek ve ürün stoklarını mümkün olduğu kadar düşük seviyelerde tutmak karma ürünlü montaj hatlarının gerekliliğini biraz daha artırmaktadır.

Çeşitlilik gösteren müşteri taleplerini karşılamak için kurulacak karma ürünlü montaj hatları aynı zamanda ürünleri oluşturacak alt montaj, alt montajları oluşturacak parça ve üretim seviyesinin dördüncü aşamasında bulunan hammadde stoklarını da düzenleyecek ve stok maliyetleri düşük seviyelere inecektir. Çünkü hatta girecek ürün sırası üretim seviyesinin tüm aşamalarındaki bileşenlerin de düzenlenmesini sağlayacaktır.

TZÜ sisteminin gerekliliklerini yerine getirebilmek için karma ürünlü montaj hatları ideal bir araç olarak düşünülebilir. TZÜ sisteminin gerekliliği olan stoksuz çalışma üretim çizelgesi oluşturulmuş bir montaj hattında sağlanabilir. Ürünler arasındaki geçişlerde hazırlık zamanlarının düşürülmesi de aynı zamanda TZÜ sisteminin hedeflerindendir. Hattı besleyen bileşenlerin ideal kullanım oranlarının tespit edilmesi ve bunun sonucunda ürün çizelgelerinin oluşturulması da yarı ürün stoklarının minimize edilmesini sağlamaktadır.

Bu tez ile Miltenburg ve Sinnamon [2] tarafından geliştirilen Sezgisel 1 ve Sezgisel 2 yöntemleri ile karma ürünlü montaj hatlarında ürün sıralaması için önerilen yeni bir yöntemin karşılaştırılması yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Yeni geliştirilen yöntem k aşamasında hatta girecek ürünü belirlemek için $k+1$. ve $k+2$. aşamaları dikkate almakta ve böylelikle daha iyi ürün çizelgelerinin oluşmasını sağlamaktadır.

Ürün sıralama problemlerinin NP-zor yapıda olması sebebiyle $k+3$. aşamayı dikkate alan bir sezgisel geliştirmek ve bu sezgisel ile ürün sıralama problemi için çözüm üretmek oldukça zor olacaktır. Çünkü aşama sayısının artması ile hesaplama sayısı

üstel olarak artmaktadır. Aynı şekilde ürün, alt montaj, parça ve hammadde çeşitliliğinin artması da bu sezgiselin çözüm karmaşıklığını üstel olarak arttırmaktadır.

Yeni geliştirilen yöntem; k , $k+1$ ve $k+2$ aşamalarını dikkate alarak çözümler üreten bir yöntem olduğu için problem setinde tanımlanmış tüm problemler için Sezgisel 1'den daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Oluşturulan problem setlerinin çözümü sonrasında yeni geliştirilen yöntemin Sezgisel 1'e göre % 27'e varan oranda daha iyi ürün sıralaması verdiği görülmüştür.

Yeni geliştirilen yöntem, Sezgisel 2 yöntemi ile birçok problem için benzer sonuçlar bulmuştur. Problem setinde tanımlanan problemlerden dördünde, üç aşamayı dikkate alarak yapılan sıralamanın %1-2 oranında Sezgisel 2'ye göre kötü sonuçlar verdiği, ancak farklı sonuçlara ulaşılan diğer dört problemde %7-8'e varan oranlarda Sezgisel 2'ye göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu durum önerilen yöntemin karma ürünli montaj hatlarında iyi bir ürün sıralama yöntemi olduğunun bir göstergesidir.

KAYNAKLAR

1. Monden Y. "Toyota Production System. 2nd ed." *Institute of Industrial Engineers*, Norcross, Georgia, 4, 181-192 (1993).
2. Miltenburg, J., Sinnamon, G., "Scheduling mixed-model multi-level just-in-time production systems", *Int. J. Prod. Res.*, 27(9):1487-1509 (1989).
3. Emre, A., "Tam Zamanında Üretim Sisteminin Ülkemizdeki Uygulamaları ve Sorunları", *MPM Yayınları*, ANKARA, 2-3 (1995).
4. Crawford, K.M., Cox J.F., "Addressing manufacturing problems through the implementation of Just-In-Time", *Production and Inventory Management Journal*, 32 (1): 33-36(1991).
5. Hall, R.W., "Zero Inventories", *American Production and Inventory Control Society*, Dow Jones-Irwin,1, (1983).
6. Acar, N., "Tam Zamanında Üretim", *MPM Yayınları*, Ankara, 4, 10-11 (1999).
7. Schmenner, R. W., "Production/operations management 5th ed.", *Macmillan Publishing Company*, Indiana, 378-410 (1993).
8. Acar, N., "Tam Zamanında Üretim ve Kanban Sistemi", *Verimlilik Dergisi*, 3:5 (1992).
9. Acar, N., Ertas, S., "Kesikli Seri Üretim Sistemlerinde Planlama ve Kontrol Çalışmaları", *MPM Yayınları*, Ankara, 156 (1986).
10. Redford, A., Chal, J., "Design For Assembly : Principles and Practice, *Mcgraw-Hill International Limited*, New York, 202 (1994).
11. Okamura, K., Yamashina, H., "A heuristic algorithm for the assembly line model-mix sequencing problem to minimize the risk of stopping the conveyor", *International Journal of Production Research*, 17:233 (1979).
12. Merengo, C., Nava, F., Pozzetti, A., "Balancing and sequencing manual mixed-model assembly lines", *International Journal of Production Research*, 37(12):2835-2860 (1999).
13. Gokcen, H, Erel, E., "A goal programming approach to mixed-model assembly line balancing problem", *International Journal of Production Economics*, 48: 177-185 (1997).
14. Thompoulos, N., T., "Mixed model line balancing with smoothed station assignments", *Management Science*, 16(9):593-603 (1970).

15. Erel, E., Gokcen, H., "Shortest-route formulation of mixed-model assembly line balancing problem", *European Journal of Operational Research*, 116:194-204 (1999).
16. Yano, C., Rachamadugu, R., "Sequencing to minimize work overload in assembly lines with product options", *Manage. Sci.*, 37:572-586 (1991).
17. Bautista, J., Companys, R., Corominas, A., "Heuristics and exact algorithms for solving the Monden problem" *Eur. J. Opl. Res.*, 88:101-113 (1996).
18. Leu, Y., Matheson, L., Rees, L., "Sequencing mixed-model assembly lines with genetic algorithms", *Comput. Ind. Eng.*, 30:1027-1036 (1996).
19. Morabito, M., Kraus, M., "A note on scheduling mixed-model multi-level just-in-time production systems". *Int. J. Prod. Res.*, 33:2061-2063 (1995).
20. Steiner, G., Yeomans, J., "Optimal level schedules in mixed-model, multi-level JIT assembly systems with pegging" *Eur. J. Opl. Res.*, 95:38-52 (1996).
21. Sumichrast, R., Clayton, E., "Evaluating sequences for paced, mixed-model assembly lines with JIT component fabrication", *Int. J. Prod. Res.*, 34 (31):25-43 (1996).
22. Sumichrast, R., Russell, R., "Evaluating mixed-model assembly line sequencing heuristics for just-in-time production systems", *J. Oper. Manage.*, 9:371-390 (1990).
23. Sumichrast, R., Russell, R., Taylor, B., "A comparative analysis of sequencing procedures for mixed-model assembly lines in a just-in-time production system" *Int. J. Prod. Res.*, 30:199-214 (1992).
24. Kubiak, W., "Minimizing variation of production rates in just-in-time systems: a survey" *Eur. J. Opl. Res.*, 66:259-271 (1993).
25. Xiaobo, Z., Ohno, K., "Algorithms for sequencing mixed models on an assembly line in a JIT production system", *Comput. Ind. Eng.*, 32:47-56 (1997).
26. Miltenburg, J., "Level schedules for mixed-model assembly lines in just-in-time production systems" *Management Science*, 35 (2): 192-207 (1989).
27. Miltenburg, J., Steiner, G., Yeomans, S., "A dynamic programming algorithm for scheduling mixed-model just-in-time production systems" *Mathematical Computation Modeling*, 13: 57-66 (1990).

28. Kubiak, W., Sethi, S.P., “A note on level schedules for mixed-model assembly lines in just-in-time production systems” *Management Science*, 37: 121–122 (1991).
29. Cheng, L., Ding, F., “Sequencing mixed-model assembly lines to minimize the weighted variations in just-in-time production systems”, *IIE Transactions*, 28: 919–927 (1996).
30. Kubiak, W., Steiner, G., Yeoman, J.S., “Optimal level schedules for mixed-model multi-level just-in-time assembly systems” *Annals of Operations Research*, 69: 241–259 (1997).
31. Zhu, J., Ding, F.-Y., “A transformed two stage method for reducing the part-usage variation of the product-level and part-level solutions in sequencing mixed-model assembly lines”, *European Journal of Operational Research*, 127 (1): 203–216 (2000).
32. Mingzhou J., David Wu, S., “A new heuristic method for mixed model assembly line balancing problem”, *Computers & Industrial Engineering*, 44: 159–169 (2002).
33. Xiaobo Z., Ohno K., “A sequencing problem for a mixed-model assembly line in a JIT production system”, *Computers & Industrial Engineering*, 27:71-74 (2003).
34. Bard, J.F., Shtub, A., Joshi, S.B., “Sequencing mixed-model assembly lines to level parts usage and minimize line length” *International Journal of Production Research*, 32: 2431–2454 (1994).
35. Tsai, L., “Mixed model sequencing to minimize utility work and the risk of conveyor stoppage”, *Management Science*, 41: 485–495. (1995).
36. Hyun, C.J., Kim, Y., Kim, Y.K., “A genetic algorithm for multiple objective sequencing problems in mixed model assembly lines” *Computers & Operations Research*, 25 (7/8): 675–690 (1998).
37. McMullen, P.R., “JIT sequencing for mixed-model assembly lines with setups using tabu search”, *Production Planning & Control*, 9 (5): 504–510 (1998).
38. McMullen, P.R., Frazier, G.V., “A simulated annealing approach to mixed-model sequencing with multiple objectives on a JIT line”, *IIE Transactions* 32 (8): 679–686 (2000).
39. McMullen, P.R., Tarasewich, P., Frazier, G.V., “Using genetic algorithms to solve the multi-product JIT sequencing problem with setups”, *International Journal of Production Research*, 38 (12): 2653–2670 (2000).

EKLER

EK-1. P2-10 problemi çözümü

Çizelge 1.1. Sezgisel 1 çözüm sonuçları

K	i	H Değerleri	Sıralanacak ürün	Varyasyon	Toplam Varyasyon
1	1	4,386	1	10,108	10,108
	2	8,137			
	3	13,481			
2	1	19,115			
	2	15,394			
	3	7,378	3	16,960	27,068
3	1	11,832			
	2	-0,885	2	0,404	27,472
	3	39,116			
4	1	6,584	1	14,556	42,029
	2	8,841			
	3	11,513			
5	1	23,182			
	2	17,966			
	3	7,278	3	17,118	59,147
6	1	13,816			
	2	-0,395	2	1,617	60,764
	3	36,934			
7	1	9,156	1	19,813	80,577
	2	9,918			
	3	9,918			
8	1	27,623			
	2	20,913			
	3	7,553	3	18,085	98,662
9	1	16,173			
	2	0,467	2	3,639	102,301
	3	35,124			
10	1	12,102			
	2	11,370			
	3	8,698	3	19,069	121,370
11	1	8,987			
	2	-0,742	2	0,404	121,774
	3	44,603			
12	1	2,561	1	6,469	128,243
	2	7,806			
	3	15,822			
13	1	15,422			
	2	13,195			
	3	7,851	3	17,610	145,853
14	1	10,223			
	2	-1,000	2	0,000	145,853
	3	41,673			

EK-1. (Devam) P2-10 problemi çözümü

Çizelge 1.2. Sezgisel 2 çözüm sonuçları

k	k aşaması		k+1 aşaması			sıralama			
	İ	V1	min H değeri	ürün	V2	V1+V2	Sıralanacak ürün	Varyasyon	Toplam Varyasyon
1	1	10,108	7,378	3	16,960	27,068			
	2	17,610	2,276	3	6,469	24,079	2	17,610	17,610
	3	28,298	2,276	2	16,960	45,257			
2	1	32,992	-0,885	3	0,404	33,396			
	2	70,439	8,058	3	19,861	90,300			
	3	6,469	-0,670	1	0,404	6,874	3	6,469	24,079
3	1	0,404	6,584	1	14,556	14,961	1	0,404	24,484
	2	19,861	8,126	1	19,069	38,930			
	3	51,925	10,798	1	24,413	76,338			
4	1	14,556	7,278	3	17,118	31,674			
	2	19,069	0,896	3	3,639	22,708	2	19,069	43,552
	3	24,413	0,896	2	17,118	41,531			
5	1	38,494	-0,395	3	1,617	40,111			
	2	72,953	7,267	3	18,085	91,038			
	3	3,639	0,033	1	1,617	5,256	3	3,639	47,192
6	1	1,617	9,156	1	19,813	21,430	1	1,617	48,809
	2	18,085	8,656	3	19,813	37,898			
	3	44,805	8,656	2	21,336	66,141			
7	1	19,813	7,553	3	18,085	37,898			
	2	21,336	-0,110	3	1,617	22,954	2	21,336	70,145
	3	21,336	-0,110	2	18,085	39,422			
8	1	44,805	0,467	3	3,639	48,444			
	2	76,275	6,850	3	17,118	93,393			
	3	1,617	1,110	1	3,639	5,256	3	1,617	71,763
9	1	3,639	8,698	3	19,069	22,708	1	3,639	75,402
	2	17,118	6,156	3	14,556	31,674			
	3	38,494	6,156	2	19,069	57,563			
10	1	25,878	8,201	3	19,861	45,739			
	2	24,413	7,666	3	17,220	41,633			
	3	19,069	-0,742	2	19,861	38,930	3	19,069	94,471
11	1	19,861	1,704	2	6,469	26,330			
	2	17,220	2,561	1	6,469	23,689	2	0,404	94,875
	3	91,094	14,822	2	70,439	161,534			
12	1	6,469	7,851	3	17,610	24,079	1	6,469	101,344
	2	16,960	4,029	3	10,108	27,068			
	3	32,992	4,029	2	17,610	50,601			
13	1	32,752	9,223	3	22,445	55,197			
	2	28,298	-1,000	3	0,000	28,298	2	28,298	129,642
	3	17,610	-1,000	2	21,445	39,055			
14	1	59,853	0,000	1	0,000	59,853			
	2	85,346	0,000	1	0,000	85,346			
	3	1,000	0,000	1	0,000	1,000	3	0,000	129,642

EK-1. (Devam) P2-10 problemi çözümü

Çizelge 1.3. Önerilen yöntem çözüm sonuçları

k	k aşaması		k+1 aşaması			k+2 aşaması			sıralama			
	İ	V1	min H değeri	ürün	V2	min H değeri	Ürün	V3	V1+V2+V3	Sıralanacak ürün	Var.	Toplam Var.
1	1	10,108	7,378	3	16,960	-0,885	2	0,404	27,472			
	2	17,610	2,276	3	6,469	-0,670	1	0,404	24,484	2	17,610	17,610
	3	28,298	2,276	2	16,960	-0,670	1	0,404	45,662			
2	1	32,992	-0,885	3	0,404	6,584	1	14,556	47,952			
	2	70,439	8,058	3	19,861	8,126	1	19,069	109,369			
	3	6,469	-0,670	1	0,404	6,584	1	14,556	21,430	3	6,469	24,079
3	1	0,404	6,584	1	14,556	7,278	3	17,118	32,079	1	0,404	24,484
	2	19,861	8,126	1	19,069	0,896	3	3,639	42,569			
	3	51,925	10,798	1	24,413	0,896	2	3,639	79,977			
4	1	14,556	7,278	3	17,118	-0,395	2	1,617	33,292			
	2	19,069	0,896	3	3,639	0,033	1	1,617	24,325	2	19,069	43,552
	3	24,413	0,896	2	17,118	0,033	1	1,617	43,148			
5	1	38,494	-0,395	3	1,617	9,156	1	19,813	59,924			
	2	72,953	7,267	3	18,085	8,656	3	19,813	110,851			
	3	3,639	0,033	1	1,617	9,156	1	19,813	25,069	3	3,639	47,192
6	1	1,617	9,156	1	19,813	7,553	3	18,085	39,515	1	1,617	48,809
	2	18,085	8,656	3	19,813	-0,538	1	1,617	39,515			
	3	44,805	8,656	2	21,336	-0,538	1	1,617	67,759			
7	1	19,813	7,553	3	18,085	0,467	2	3,639	41,537			
	2	21,336	-0,110	3	1,617	1,110	1	3,639	26,593	2	21,336	70,145
	3	21,336	-0,110	2	18,085	1,110	1	3,639	43,061			
8	1	44,805	0,467	3	3,639	8,698	3	19,069	67,513			
	2	76,275	6,850	3	17,118	6,156	3	14,556	107,950			
	3	1,617	1,110	1	3,639	8,698	3	19,069	24,325	3	1,617	71,763
9	1	3,639	8,698	3	19,069	-0,742	2	0,404	23,112	1	3,639	75,402
	2	17,118	6,156	3	14,556	-0,956	1	0,404	32,079			
	3	38,494	6,156	2	19,069	-0,956	1	0,404	57,967			
10	1	25,878	8,201	3	19,861	1,704	2	6,469	52,208			
	2	24,413	7,666	3	17,220	2,561	1	6,469	48,102			
	3	19,069	-0,742	2	19,861	2,561	1	6,469	45,399	3	19,069	94,471
11	1	19,861	1,704	2	6,469	7,851	3	17,610	43,940			
	2	17,220	2,561	1	6,469	7,851	3	17,610	41,299	2	0,404	94,875
	3	91,094	14,822	2	70,439	4,029	2	10,108	171,642			
12	1	6,469	7,851	3	17,610	-1,000	2	0,000	24,079	1	6,469	101,344
	2	16,960	4,029	3	10,108	-1,000	1	0,000	27,068			
	3	32,992	4,029	2	17,610	-1,000	1	0,000	50,601			
13	1	32,752	9,223	3	22,445							
	2	28,298	-1,000	3	0,000							
	3	17,610	-1,000	2	21,445					3	17,610	118,954
14	1	22,445	0,000	1	0,000							
	2	0,000	0,000	1	0,000					2	0,000	118,954
	3	86,346	0,000	1	0,000							

EK-2. P1-9 problemi çözümü

Çizelge 2.1. Sezgisel 1 çözüm sonuçları

K	i	H Değerleri	Sıralanacak ürün	Varyasyon	Toplam Varyasyon
1	1	4,467			
	2	1,375	2	4,110	4,110
	3	28,724			
2	1	10,916			
	2	7,422	2	16,442	20,552
	3	16,424			
3	1	21,038			
	2	17,142			
	3	7,796	3	18,302	38,854
4	1	-0,700	1	1,144	39,998
	2	3,917			
	3	67,617			
5	1	1,584			
	2	0,419	2	2,246	42,244
	3	36,856			
6	1	6,393			
	2	4,826	2	11,569	53,813
	3	22,915			
7	1	14,874			
	2	12,906			
	3	12,647	3	28,596	82,409
8	1	0,660	1	4,575	86,984
	2	7,206			
	3	79,993			
9	1	-0,239	1	1,144	88,128
	2	0,524			
	3	46,049			
10	1	8,411			
	2	3,392	2	8,262	96,391
	3	21,653			
11	1	16,501			
	2	11,079			
	3	10,993	3	23,430	119,820
12	1	1,144	1	4,110	123,931
	2	4,236			
	3	77,196			
13	1	1,690			
	2	-1,000	2	0,000	123,931
	3	44,697			

EK-2. (Devam) P1-9 problemi çözümü

Çizelge 2.2. Sezgisel 2 çözüm sonuçları

k	k aşaması		k+1 aşaması			sıralama			
	İ	V1	min H değeri	ürün	V2	V1+V2	Sıralanacak ürün	Varyasyon	Toplam Varyasyon
1	1	10,295	10,608	2	23,430	33,724			
	2	4,110	7,422	2	16,442	20,552	2	4,110	4,110
	3	58,809	10,541	1	23,602	82,411			
2	1	23,430	3,315	3	8,262	31,692	1	23,430	27,540
	2	16,442	7,796	3	18,302	34,743			
	3	34,445	3,084	1	8,262	42,707			
3	1	63,338	-0,245	3	2,669	66,008			
	2	44,786	-0,393	3	1,144	45,929			
	3	8,262	-0,316	2	1,144	9,406	3	8,262	35,803
4	1	2,669	0,814	2	4,575	7,245			
	2	1,144	0,419	2	2,246	3,390	2	1,144	36,946
	3	110,713	27,951	1	59,619	170,332			
5	1	4,575	6,469	2	14,702	19,278			
	2	2,246	4,826	2	11,569	13,815	2	2,246	39,193
	3	75,120	15,182	1	33,050	108,170			
6	1	14,702	6,623	3	14,702	29,404	1	14,702	53,895
	2	11,569	12,647	3	28,596	40,165			
	3	47,748	6,085	1	14,702	62,450			
7	1	47,748	-0,120	3	2,246	49,994			
	2	33,050	1,276	3	4,575	37,625			
	3	14,702	0,265	1	2,246	16,948	3	14,702	68,597
8	1	2,246	-0,623	2	1,144	3,390	1	2,246	70,843
	2	4,575	-0,239	1	1,144	5,719			
	3	132,320	35,294	1	74,362	206,683			
9	1	10,379	6,873	2	18,302	28,681			
	2	1,144	3,392	2	8,262	9,406	2	1,144	71,987
	3	74,362	16,450	1	36,994	111,356			
10	1	18,302	6,807	3	16,442	34,743			
	2	8,262	10,993	3	23,430	31,692	2	8,262	80,249
	3	44,786	6,961	1	16,442	61,227			
11	1	34,445	1,067	3	4,110	38,555			
	2	23,602	4,005	3	10,295	33,897			
	3	23,430	1,144	1	4,110	27,540	3	23,430	103,679
12	1	4,110	-1,000	2	0,000	4,110	1	4,110	107,790
	2	10,295	-1,000	1	0,000	10,295			
	3	156,215	43,697	1	91,394	247,609			
13	1	5,380	0,000	1	0,000	5,380			
	2	0,000	0,000	1	0,000	0,000	2	0,000	107,790
	3	91,394	0,000	1	0,000	91,394			

EK-2. (Devam) P1-9 problemi çözümü

Çizelge 2.3. Önerilen yöntem çözüm sonuçları

k	k aşaması		k+1 aşaması			k+2 aşaması			sıralama			
	İ	V1	min H değeri	ürün	V2	min H değeri	Ürün	V3	V1+V2+V3	Sıralanacak ürün	Var.	Toplam Var.
1	1	10,295	10,608	2	23,430	3,315	3	8,262	41,987			
	2	4,110	7,422	2	16,442	7,796	3	18,302	38,854	2	4,110	4,110
	3	58,809	10,541	1	23,602	2,622	2	8,262	90,674			
2	1	23,430	3,315	3	8,262	-0,316	2	1,144	32,836	1	23,430	27,540
	2	16,442	7,796	3	18,302	-0,700	1	1,144	35,887			
	3	34,445	3,084	1	8,262	-0,316	2	1,144	43,851			
3	1	63,338	-0,245	3	2,669	0,814	2	4,575	70,583			
	2	44,786	-0,393	3	1,144	0,419	2	2,246	48,176			
	3	8,262	-0,316	2	1,144	0,419	2	2,246	11,652	3	8,262	35,803
4	1	2,669	0,814	2	4,575	6,469	2	14,702	21,947			
	2	1,144	0,419	2	2,246	4,826	2	11,569	14,959	2	1,144	36,946
	3	110,713	27,951	1	59,619	12,290	1	29,113	199,445			
5	1	4,575	6,469	2	14,702	6,623	3	14,702	33,980	1	4,575	41,522
	2	2,246	4,826	2	11,569	12,647	3	28,596	42,411			
	3	75,120	15,182	1	33,050	4,441	1	11,569	119,739			
6	1	28,596	3,980	3	11,569	-0,966	2	2,246	42,411			
	2	14,702	6,623	3	14,702	0,265	1	2,246	31,651	2	14,702	56,224
	3	33,050	4,441	1	11,569	-0,966	2	2,246	46,865			
7	1	47,748	-0,120	3	2,246	-0,623	2	1,144	51,138			
	2	33,050	1,276	3	4,575	-0,239	1	1,144	38,769			
	3	14,702	0,265	1	2,246	-0,623	2	1,144	18,092	3	14,702	70,926
8	1	2,246	-0,623	2	1,144	3,392	2	8,262	11,652	1	2,246	73,172
	2	4,575	-0,239	1	1,144	3,392	2	8,262	13,982			
	3	132,320	35,294	1	74,362	16,450	1	36,994	243,677			
9	1	10,379	6,873	2	18,302	6,807	3	16,442	45,122			
	2	1,144	3,392	2	8,262	10,993	3	23,430	32,836	2	1,144	74,316
	3	74,362	16,450	1	36,994	5,268	2	16,442	127,798			
10	1	18,302	6,807	3	16,442	0,298	2	4,110	38,854			
	2	8,262	10,993	3	23,430	1,144	1	4,110	35,803	2	8,262	82,579
	3	44,786	6,961	1	16,442	0,298	2	4,110	65,338			
11	1	34,445	1,067	3	4,110	-1,000	2	0,000	38,555			
	2	23,602	4,005	3	10,295	-1,000	1	0,000	33,897			
	3	23,430	1,144	1	4,110	-1,000	2	0,000	27,540	3	23,430	106,008
12	1	4,110	-1,000	2	0,000					1	4,110	110,119
	2	10,295	-1,000	1	0,000							
	3	156,215	43,697	1	91,394							
13	1	5,380	0,000	1	0,000							
	2	0,000	0,000	1	0,000					2	0,000	110,119
	3	91,394	0,000	1	0,000							

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YİĞİT, Fatih
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 29.04.1981 Malatya
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 260 48 92
 e-mail : fyigit81@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Endüstri Müh.	2003
Lise	Ankara Atatürk Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2004-2005	M.I.S. Eğitim ve Danışmanlık	Danışman
2005-2006	MMO Genel Merkezi	Teknik Görevli

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Tiyatro, Sinema, Bilgisayar teknolojileri, Basketbol